



201, avenue de la Pompignane
34064 MONTPELLIER CEDEX 02
tél. : (33) 04.67.22.80.00
fax : (33) 04.67.22.81.92

DIAGNOSTIC ELECTRIQUE DU LYCEE JEAN MERMOZ

Rapport final

Septembre 2003

E N E R T E C H

Ingénierie énergétique et fluides

F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE

tél. & Fax : (33) 04.75.90.18.54

E mail : sidler@club-internet.fr

http ://perso.club-internet.fr/sidler

SOMMAIRE

INTRODUCTION	4
CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURES	7
1.1 DESCRIPTION DU LYCEE MERMOZ	7
1.1.1 <i>Description générale</i>	7
1.1.2 <i>Consommation d'électricité</i>	8
1.1.3 <i>Chauffage urbain</i>	10
1.2 BUT DE LA CAMPAGNE DE MESURES	10
1.3 METROLOGIE MISE EN OEUVRE	11
1.3.1 <i>Description de la méthodologie</i>	11
1.3.2 <i>Description des appareils de mesures</i>	13
1.3.2.1 Mesures des départs des tableaux électriques (PA DIACE et WP)	13
1.3.2.2 Le Lampemètre (LM)	13
1.3.2.3 Le Présencemètre (PR)	14
1.3.2.4 Le Thermomètre (TH)	14
1.3.2.5 Le PCmètre (PPC)	14
1.3.2.6 Le Wattmètre série (WM)	14
1.3.2.7 Informations fournies par EDF et la SERM	15
1.4 TRAITEMENT DES DONNEES	15
1.4.1 <i>Méthode d'annualisation des consommations</i>	15
1.4.2 <i>Détermination du poids de chaque usage dans le coût de l'abonnement</i>	17
1.5 COMPARAISON DES MESURES EFFECTUEES ET DU COMPTAGE EDF	18
CHAPITRE 2 : ANALYSE STRUCTURELLE DES CONSOMMATIONS ET DES COUTS POUR L'ENSEMBLE DU LYCEE	19
2.1 REPARTITION DE LA CONSOMMATION	19
2.2 REPARTITION DE LA FACTURE D'ELECTRICITE ENTRE LES DIFFERENTS BATIMENTS	22
CHAPITRE 3 : LE BATIMENT B	23
3.1 CARACTERISTIQUES DU BATIMENT B	23
3.1.1 <i>Caractéristiques générales</i>	23
3.1.2 <i>Occupation des salles de classe</i>	24
3.2 LES DYSFONCTIONNEMENTS	25
3.3 STRUCTURE PAR USAGE DE LA CONSOMMATION	26
3.4 ETUDE DE CHAQUE USAGE, DESCRIPTION ET EVALUATION DES AMELIORATIONS	28
3.4.1 <i>L'éclairage</i>	28
3.4.1.1 L'éclairage des salles de classe	29
3.4.1.2 L'éclairage permanent des couloirs	36
3.4.1.3 L'éclairage des couloirs sur minuteriers	39
3.4.1.4 L'éclairage des couloirs de la maison des lycéens	40
3.4.1.5 L'éclairage des autres locaux	41
3.4.1.6 L'éclairage des sanitaires	41
3.4.1.7 L'éclairage des escaliers	42
3.4.1.8 L'éclairage des préaux	43
3.4.2 <i>L'informatique</i>	43

3.4.2.1 L'onduleur	44
3.4.2.2 Les ordinateurs	47
3.4.2.3 Les autres équipements informatiques	55
3.4.2.4 Les serveurs	56
3.4.2.5 Le matériel informatique des autres locaux	57
3.4.3 <i>Le chauffage</i>	59
3.4.3.1 Les pompes de chauffage	59
3.4.3.2 Le convecteur électrique	63
3.4.3.3 Les chauffe-eau	64
3.4.4 <i>La ventilation</i>	64
3.4.5 <i>Les appareils divers</i>	68
3.4.5.1 Les distributeurs automatiques de boissons	68
3.4.5.2 Le matériel de couture	69
3.4.5.3 Le photocopieur	70
3.4.5.4 Les ensembles télévision + magnétoscope	70
3.4.5.5 Le matériel offset	71
3.4.5.6 Les appareils électroménagers	71
3.4.6 <i>« Courants faibles »</i>	71
3.5 RECAPITULATIF DES ECONOMIES ENVISAGEABLES	73
3.5.1 <i>Récapitulatif des solutions envisagées</i>	73
3.5.2 <i>Bilan des économies</i>	76
3.5.3 <i>Impact des mesures proposées sur l'appel de courant en pointe</i>	78
CHAPITRE 4 : GISEMENTS D'ECONOMIES DANS LES AUTRES BATIMENTS	80
4.1 ETUDE DE LA TENSION D'ALIMENTATION DU BATIMENT	80
4.1.1 <i>Niveaux de tension mesurés.</i>	80
4.1.2 <i>Variations mensuelles de la tension :</i>	82
4.1.3 <i>Facteur de puissance, déphasage du courant.</i>	83
4.1.4 <i>Harmoniques de courant et de tension</i>	85
4.1.5 <i>Recommandations d'actions concernant la tension :</i>	89
4.1.6 <i>Pertes du transformateur</i>	93
4.2 L'ECLAIRAGE	94
4.2.1 <i>Ajout de minuterries</i>	94
4.2.2 <i>Utilisation de sources performantes</i>	94
4.2.2.1 Ampoules fluo compactes	94
4.2.2.2 Spots halogènes performants	95
4.2.2.3 Kits de rénovation Retrolux	96
4.3 CHAUFFAGE ET CLIMATISATION	96
4.3.1 <i>Les pompes de chauffage</i>	96
4.3.1.1 Description de l'installation	96
4.3.1.2 Fonctionnement observé	97
4.3.1.3 Possibilités d'amélioration	98
4.3.2 <i>Pompes pour l'eau chaude sanitaire</i>	98
4.3.3 <i>Autres pompes</i>	99
4.3.3.1 Pompe du réseau eau glacée	99
4.3.3.2 Pompe du bassin d'agrément.	100
4.3.4 <i>Chauffage électrique</i>	100
4.3.5 <i>Les cordons chauffants</i>	100
4.4 LA VENTILATION	102

4.4.1	<i>Pilotage des ventilations par horloge</i>	102
4.5	L'INFORMATIQUE	103
4.5.1	<i>Activation du gestionnaire d'énergie et ajout de barrettes multiprises</i>	103
4.6	LES AUTRES APPAREILS	104
4.6.1	<i>Pilotage par horloge des appareils sur prises de la salle des professeurs</i>	104
4.6.2	<i>Les compresseurs</i>	104
4.6.3	<i>Le distributeur automatique de boissons du bâtiment L</i>	105
4.7	LES LOGEMENTS	106
CONCLUSION		107
ANNEXES		111

INTRODUCTION

Notre intervention sur le lycée Mermoz de Montpellier a été légitimée par la présence de dysfonctionnements électriques importants, notamment sur le bâtiment B qui était sujet à des disjonctions fréquentes. La solution à laquelle on pense immédiatement consiste à augmenter la puissance souscrite et à renforcer les réseaux. Mais compte tenu du coût déjà conséquent de la facture annuelle d'électricité de ce type d'établissement, une autre approche a été proposée. Elle consiste à essayer de comprendre comment est utilisée l'électricité, quels sont les usages les plus importants, quels sont les modes d'utilisation. L'idée est de chercher à expliquer comment se construit la consommation d'électricité du bâtiment.

L'intérêt de cette démarche est évident. Si l'on sait à quoi sert exactement l'énergie, il va être possible d'agir à la source en intervenant sur l'usage lui-même : est-il légitime qu'il fonctionne dans cette tranche horaire ? Existe-t-il une solution de substitution moins consommatrice ? Est-il absolument indispensable ? Etc. On peut imaginer qu'il soit ainsi possible de satisfaire les mêmes besoins avec beaucoup moins d'énergie, et avec une puissance appelée plus faible. Cette approche, très novatrice, a déjà été appliquée à d'autres types de bâtiments avec succès.

Mais ce travail analytique devrait aussi permettre d'étudier la qualité du courant qui circule dans le bâtiment. Cet aspect, assez négligé jusqu'à présent, est pourtant de première importance. Les usages actuels ont souvent une incidence forte sur l'allure et la qualité du courant qu'ils dégradent, notamment avec la présence abondante d'harmoniques. Ces harmoniques peuvent perturber le fonctionnement de certains usages, ou conduire à surdimensionner certains équipements. Il importait, là aussi, de comprendre pour agir de façon pertinente.

L'approche proposée a nécessité une intervention métrologique très lourde, et donc plus chère qu'une intervention classique. Mais en fournissant de nouvelles clés permettant d'expliquer et de comprendre le fonctionnement des équipements, elle dépasse largement le cadre du seul lycée Mermoz. C'est un savoir-faire nouveau, une approche différente de la programmation et de la réalisation des équipements des bâtiments neufs ou réhabilités qui devraient pouvoir émerger et s'imposer dans la Région Languedoc Roussillon. L'enjeu est donc essentiel au regard du coût d'exploitation énergie des lycées.

Mais comment ne pas rapprocher aussi cette logique du débat national actuel sur l'énergie et des enjeux planétaires induits par l'usage que le monde occidental a fait de cette énergie ? Nous sommes en effet confrontés à trois difficultés bien identifiées :

- les limites des ressources énergétiques conventionnelles : 40 ans de pétrole, 60 ans de gaz, 70 ans d'uranium et 200 ans de charbon. Même si ces réserves étaient doublées, le temps qu'elles nous laissent pour transformer les systèmes de production et de consommation est extrêmement court au regard de l'inertie de ces systèmes,

- l'énergie est à l'origine de 80 ou 90 % des nuisances environnementales. Les plus médiatisées sont le réchauffement climatique et l'accumulation non résolue des déchets radioactifs,

- la menace d'une multiplication des guerres pour contrôler puis se partager les ressources encore disponibles de pétrole et de gaz.

Faut-il rappeler que le Premier Ministre lui même, en ouverture du débat national sur l'énergie cette année, a indiqué qu'il fallait en France réduire d'un facteur 4 à 5 nos émissions de gaz à effet de serre, donc aussi nos consommations d'énergie. Toutes nos consommations d'énergie. Ce qui indique que chacun d'entre nous est concerné, à la fois dans sa vie privée (logements, transports, loisirs), mais aussi dans sa vie professionnelle. Et c'est à ce dernier titre que l'étude qui suit s'inscrit pleinement dans cette réflexion actuelle de nos sociétés modernes confrontées au problème du développement durable, ou tout simplement à la question de leur survie à court terme. Nous devons trouver comment réduire nos consommations de tous ordres, et notamment nos consommations d'énergie.

Alors, bien sûr, l'objet initial de l'étude reste la résolution du problème spécifique au lycée Mermoz à Montpellier. Mais tout le monde a compris qu'en filigrane se dessinaient des enjeux qui dépassaient très largement le cadre de ce lycée. Mais grâce à celui-ci, les premiers éléments concrets visant à apporter des solutions nouvelles ont pu être proposés à la Région Languedoc Roussillon qui fait ainsi œuvre de précurseur en France.

CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURES

1.1 DESCRIPTION DU LYCEE MERMOZ

1.1.1 Description générale

Le lycée Jean Mermoz est un des plus grands établissements scolaires de France. Il est situé dans le centre de Montpellier, en bordure du quartier Antigone. Il s'agit d'un lycée polyvalent d'enseignement général, technologique et professionnel. Il accueillait en 2001-2002 2624 élèves et on comptait 360 enseignants. Cet établissement a été mis en service en 1964. Sa surface est de 53 500 m² de SHON. Le tableau 1.1 résume les caractéristiques des différents bâtiments.

Bâtiment	Année de construction	Nombre de niveaux	SHON (m ²)	Nombre de personnes maximum	Activité
A	1964 (rénové en 1996)	5	9 000	1 500	Enseignement scientifique Enseignement général Ateliers
B	1965 (rénové en 1999)	5	8 500	1 980	Enseignement tertiaire Enseignement général Ateliers
C	1965	6	20 500	1 357	Restaurant Cuisine Cafétéria Buanderie Bureaux Logements de fonction Internat Salles de classe
L	1990	2	600	90	Locaux professeurs
Ateliers	1964 (rénové)	2	7 500	550	Enseignement technique
CDI	1992	2	3 500	500	CDI Locaux de la vie scolaire Administration Amphithéâtre Salle de conseil
Gymnase F	1965	1	1 700 (total)		Total SHON : 600m ²
Gymnase G	1965	1	1 100 (total)		
Gymnase agrès	1965	1	360 (total)		
Gymnase sol	1965	1			

Figure 1.1 : Caractéristiques des différents bâtiments du lycée Mermoz

Le lycée est principalement chauffé grâce au réseau de chauffage urbain, à l'exception de quelques locaux comme la cafétéria ou encore certaines salles de classe du bâtiment C. L'établissement abrite plusieurs services mutualisés comme une lingerie, une cuisine centrale qui prépare les repas de deux autres lycées (Vinci et Pompidou) ou encore les locaux du GRETA. Dans le bâtiment C, se trouve l'internat qui abrite environ 300 internes et 21 maîtres d'internat. Le lycée compte aussi 34 logements de fonction dont 30 seulement sont occupés.

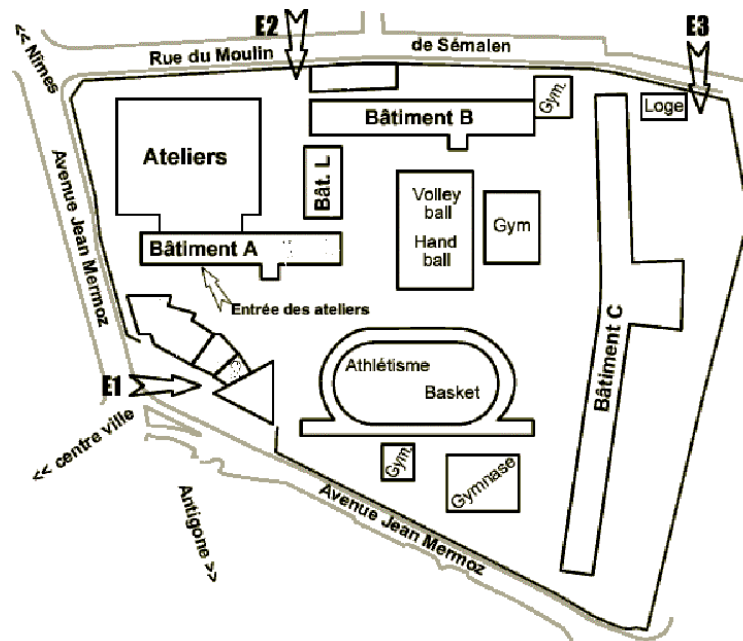


Figure 1.2 : Plan du lycée Mermoz

1.1.2 Consommation d'électricité

Le lycée est alimenté par son propre transformateur de 1 000 kVA. Un second de plus faible puissance a récemment été installé pour alimenter les ateliers.

L'abonnement du lycée est un tarif vert moyennes utilisations. La puissance réduite souscrite s'élève à 650 kW. Quant aux ateliers, ils possèdent aussi un abonnement tarif vert moyennes utilisations et une puissance souscrite réduite de 112kW.

Le graphique 1.3 montre l'évolution de la consommation électrique du lycée au cours des 10 dernières années. On voit qu'elle est en augmentation constante jusqu'en 2000 et qu'elle semble se stabiliser depuis cette date. Elle a été multipliée par 1,8 entre 1992 et 2002, présentant une croissance linéaire d'environ 100 MWh supplémentaires par an. C'est une des raisons qui a conduit la région à lancer une campagne de mesure détaillée, afin de mieux comprendre les causes et la structure de cette consommation.

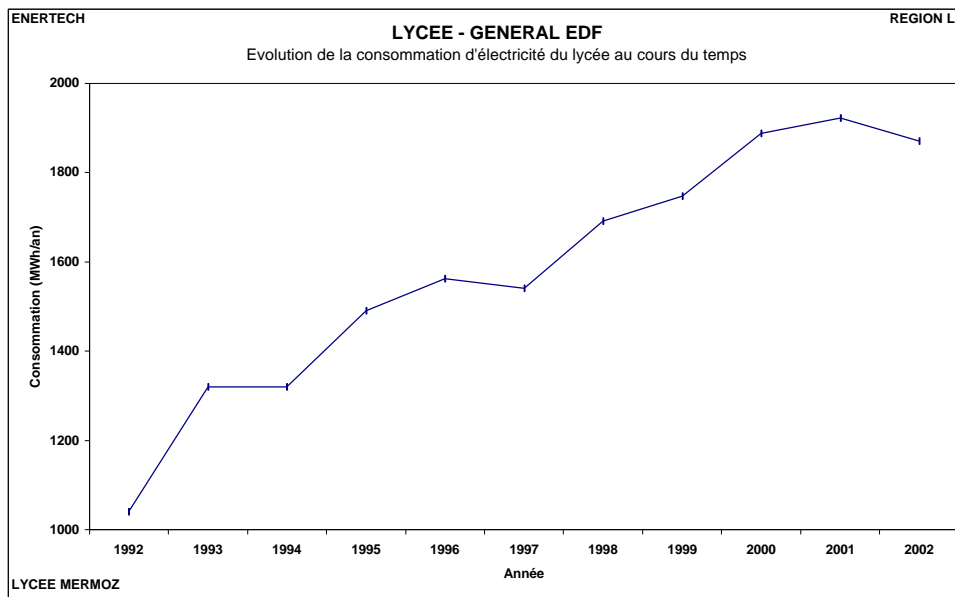
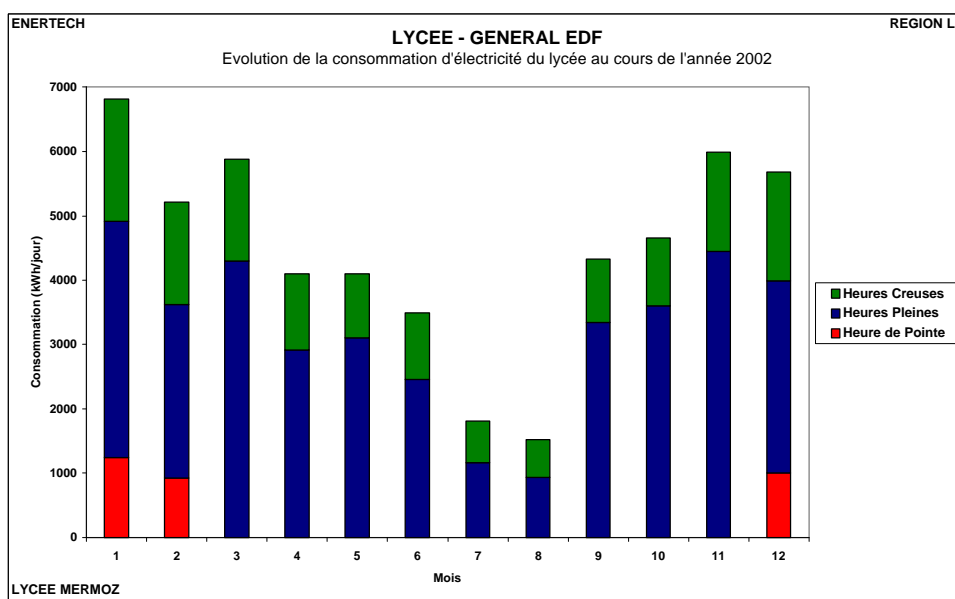


Figure 1.3 : Evolution de la consommation électrique du lycée entre 1992 et 2002

En 2002, la consommation du lycée s'élevait à 1 870 345 kWh dont 1 626 792 pour l'abonnement « lycée » et 243 553 kWh pour « les ateliers ». Le graphique 1.4 montre l'évolution de la consommation au cours de l'année 2002 (abonnement « lycée »). On remarque que la consommation en été est encore égale à plus de 20% d'un mois de l'année scolaire alors que le lycée est vide à l'exception des logements de fonction et de quelques services comme le GRETA. Janvier est le mois le plus consommateur et, de façon plus générale, les consommations les plus élevées se rencontrent pendant la période de chauffage. L'abonnement semble correctement dimensionné car la puissance maximale atteinte est égale à 652 kW (puissance réduite souscrite de 650kW en période de pointe).



Source : EDF

Figure 1.4 : Evolution de la consommation électrique du lycée en 2002

La facture totale (lycée + ateliers) s'élève, en 2002, à **149 013 euros TTC**, répartis comme indiqué sur le graphique 1.5.

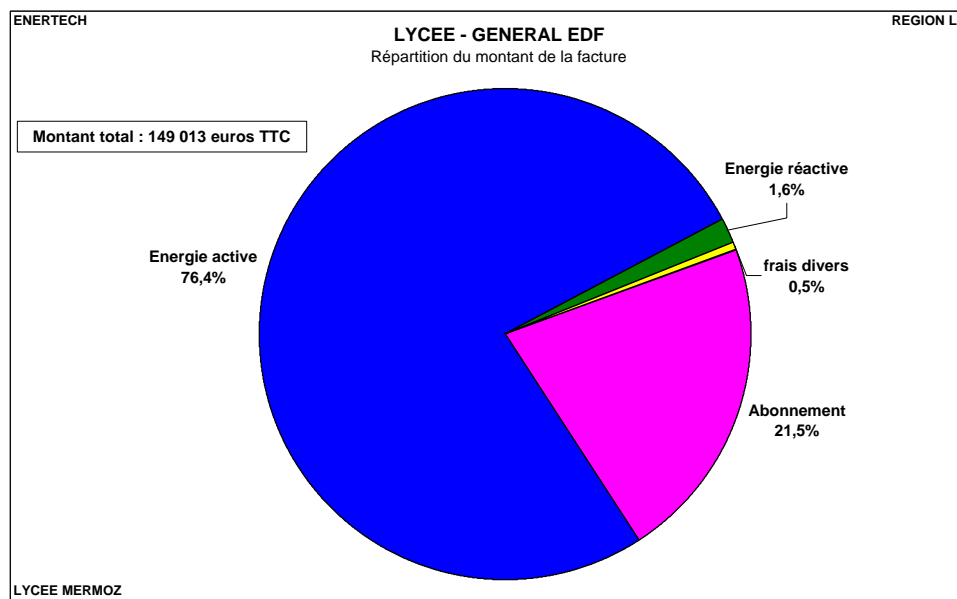


Figure 1.5 : Répartition de la facture EDF

1.1.3 Chauffage urbain

Le lycée est chauffé grâce au réseau de chauffage urbain depuis 1987. La puissance souscrite est de 4 800 kW distribuée par deux sous-stations. Le montant total de la facture pour 2002 s'élève à 197 888 euros TTC dont 55% pour l'abonnement.

1.2 BUT DE LA CAMPAGNE DE MESURES

La campagne de mesures avait pour objet de résoudre les coupures de courant fréquentes rencontrées au cours des dernières années au lycée Mermoz et dans le même temps de réduire la consommation.

Vu la taille du lycée, il était impossible d'étudier en détails l'ensemble de l'établissement. Il a donc été décidé de suivre très précisément les consommations du bâtiment B. Il s'agit, en effet, de celui qui pose actuellement le plus de problèmes. De plus, ce bâtiment est représentatif d'un bâtiment d'enseignement. Pour les autres bâtiments, les grands départs ont été instrumentés afin de pouvoir caractériser leur impact dans la consommation globale du lycée.

Cette étude vise donc à décrire comment se répartit la consommation d'électricité du lycée (par usage, par bâtiment) afin d'identifier les gisements d'économies. On étudiera ensuite l'intérêt de chacune des solutions proposées.

1.3 METROLOGIE MISE EN OEUVRE

1.3.1 Description de la méthodologie

La campagne de mesures s'est déroulée du 20 janvier au 13 mai 2003 ; elle a donc duré près de 4 mois. Cependant, l'ensemble des appareils de mesures n'a pas été installé en même temps, on ne possède donc pas le même nombre de données pour chaque usage suivi. Au total, on répertorie **616 points de mesures** sur l'ensemble du lycée dont plus de la moitié se situe au bâtiment B. La figure 1.6 détaille les différents usages suivis ainsi que le type de mesureur employé. Les mesureurs sont décrits en détails dans le paragraphe 1.3.2.

Départ	Lieu	Usage	Mesureurs	
Transformateur	Local transfo	Général lycée	Tarif vert EDF	
B	TGBT	Général	3 PA DIACE	
		Colonne 1	3 WP	
		Colonne 2	3 WP	
		Colonne 3	3 WP	
		Ascenseur	1 PA DIACE	
		Eclairage extérieur	3 PA DIACE	
		TD Maison des lycéens	3 PA DIACE	
		TD Gymnase Filles	3 PA DIACE	
		TD Gymnase sol	3 PA DIACE	
		Local vélo	1 PA DIACE	
		TD Maths sup.	3 PA DIACE	
		Entrée onduleur	3 PA DIACE	
		Sortie onduleur	3 WP	
		Onduleur 2	3 WP	
		TD Habillement	3 PA DIACE	
		Tension	3 PA DIACE	
		Température extérieure	1 T DIACE	
		Salles de classe	Eclairage fenêtre	29 LM
			Eclairage mur	29 LM
	Eclairage tableau		21 LM	
	Présence		11 PR	
	Température		15 TH	
	Matériel informatique		81 WM 33 PPC	
	TV + magnétoscope		2 WM	
	Parties communes	Eclairage	36 LM	
		Présence	14 PR	
	Autres locaux	Eclairage	15 LM	
		Présence	1 PR	
		Matériel divers	15 WM 2 PPC	
	TD Mais. lycéens	Pompes	2 WP	

Chapitre 1 : Description de la campagne de mesures

	TD Habillement	Machines à coudre	3 WP
		Prises vapeur	3 WP
	TD Colonne 3	Détails différents départs	51 WP
Atelier ancien	TGBT	Général	3 WP
	Atelier	Eclairage	11 LM
Atelier nouveau	Local transfo	Général	Tarif vert EDF
A	TGBT	Général	3 WP
		Groupe froid	3 WP
		Sous-station	3 WP
		CDI + administration	3 WP
		CDI RDC	3 WP
		CDI 1er étage	3 WP
	Infirmierie	Température	1 TH
	Salles de classe	Eclairage	4 LM
		Présence	2 PR
		Température	3 TH
		Appareils divers	2 WM
	Administration	Matériel informatique	4 WM 2 PPC
	CDI	Matériel informatique	4 WM 2 PPC
	C classe	TGBT	Général
Chauffage + éclairage classes			3 WP
Eclairage extérieur			1 WP
Gymnase Garçons			3 WP
Gymnase agrès			3 WP
C loge	TGBT	Général	3 WP
		Loge	1 PA DIACE
		Cafétéria	3 PA DIACE
		Chambres MI	3 WP
		Cordons chauffants	3 PA DIACE
		Dortoirs	3 WP
		Foyer internat	3 PA DIACE
		Lingerie	3 WP
		Logements	3 WP
		Plonge	3 WP
		Réfectoire	3 WP
		Pompes sous-station principale	1 WP
		Sous-station 36 kW	3 PA DIACE
		VMC bâtiment B	3 WP
	Tension	3 PA DIACE	
	Internat	Eclairage + prises	6 WP 6 LM
	Cafétéria	Eclairage	4 LM
	Médico-social	Température	1 TH
Réfectoire	Eclairage	7 LM	

		Fontaines	3 WM
L	TGBT	Général	3 WP
Cuisine	TGBT	Général	3 WP
		Appareils divers	86 WP
	Self	Eclairage	4 LM

Figure 1.6 : Récapitulatif des usages suivis

1.3.2 Description des appareils de mesures

Les divers mesureurs utilisés lors de la campagne de mesures sont décrits dans les paragraphes suivants. La plupart d'entre eux ont été mis au point par notre société dans le but de réduire le coût des campagnes de mesures.

1.3.2.1 Mesures des départs des tableaux électriques (PA DIACE et WP)

Des compteurs électroniques associés à des pinces ampèremétriques assurent la mesure de la puissance active d'usages électriques issus des différents tableaux. Le stockage des données peut être réalisé de deux façons :

- Une transmission par courants porteurs permet l'interrogation à distance des compteurs placés dans les armoires électriques. Un enregistreur central assure le stockage des données recueillies chaque 10 minutes et envoie automatiquement chaque jour par liaison téléphonique les mesures à nos bureaux. Il s'agit du système DIACE. Un télécontrôle quotidien du bon fonctionnement de l'ensemble des points de mesure est donc effectué avec une grande facilité. La précision de mesure dépasse 2%. Les mesures étant effectuées à proximité des appareils ou sur les départs repérés dans les tableaux, le risque d'une erreur d'identification de l'usage est pratiquement nul.
- Les pinces ampèremétriques (WP) sont associées à un compteur électronique autonome à mémoire qui enregistre la consommation au pas de temps de 10 minutes. Ce dispositif de type « datalogger » stocke les informations sur place jusqu'à la fin de la campagne de mesure.

1.3.2.2 Le Lampemètre (LM)

La mesure de l'éclairage sur les foyers lumineux à puissance constante est faite à l'aide de lampemètres. Le lampemètre (figure 1.7) est un enregistreur électronique de dimensions très réduites (5 x 2,5 x 1,5 cm) qui s'installe à proximité immédiate de chaque point lumineux à évaluer. Il possède un capteur optique pour la détection des durées d'allumage de ces appareils ce qui permet un montage très rapide sans intervention sur les circuits électriques. Il suffit de le fixer à proximité de la lampe à analyser et de diriger le capteur vers la source lumineuse. Un voyant clignotant indique alors si le capteur est correctement positionné.

Seules les durées de fonctionnement sont enregistrées. Il est donc nécessaire, lors de la pose, de mesurer par ailleurs les puissances des appareils d'éclairage (supposées constantes sur toute la durée de mesure). On multiplie ces puissances par les durées enregistrées afin de connaître les consommations d'énergie.



Figure 1.7 : Photographie d'un lampemètre

1.3.2.3 Le Présencemètre (PR)

Le présencemètre est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites muni d'un module de détection infra-rouge. Chaque passage dans la zone de détection du capteur entraîne la création en mémoire d'un événement qui se caractérise par la date et l'heure de début et de fin de détection. Ce mesureur permet de connaître avec précision le trafic dans une zone donnée.

1.3.2.4 Le Thermomètre (TH)

Le thermomètre est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites muni d'un capteur de température. Il effectue une mesure toutes les deux minutes, fait la moyenne chaque dix minutes et stocke cette valeur en mémoire. Le thermomètre possède une gamme de mesures très large (-50°C à 120°C) qui autorise des usages très variés. Sa précision est de +/-0.5°C entre -20 et +80°C.

1.3.2.5 Le PCmètre (PPC)

Le PCmètre est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites que l'on relie à la souris et au clavier d'un ordinateur. Il enregistre les séquences d'utilisation (clavier ou souris) du PC suivi. Ce mesureur permet de connaître avec précision les durées d'utilisation réelles d'un ordinateur.

1.3.2.6 Le Wattmètre série (WM)

Il s'agit d'un boîtier de 12 x 6,5 x 4 cm qui se place en série sur n'importe quel usage raccordé sur une prise de courant (ordinateurs, télévisions, distributeurs automatiques de boissons...). Pour cela il dispose, comme on le voit sur la figure 1.8, de prises mâle et femelle 16A. Il mesure l'énergie active avec un pas de temps de 10 minutes. Il dispose d'une mémoire permettant d'enregistrer les données pendant plus d'une année.



Figure 1.8 : Photographie d'un wattmètre

1.3.2.7 Informations fournies par EDF et la SERM

La consommation globale d'électricité sur toute la période de notre campagne de mesures nous a été fournie au pas de temps de 10 minutes par EDF qui dispose de cette information via les deux compteurs électriques (tarif vert) du lycée.

Nous disposons aussi des consommations de chauffage (point de livraison : chaufferie du bâtiment C) au pas de temps de 15 minutes grâce à un compteur de mesures installé par la SERM. Cependant, diverses pannes se sont produites en cours de campagne de mesures et la SERM n'a pu nous fournir qu'un mois complet de mesures (mars et une semaine en février).

1.4 TRAITEMENT DES DONNEES

Toutes les données récoltées ont été placées dans une base de données relationnelle permettant un traitement aisé des informations.

1.4.1 Méthode d'annualisation des consommations

Les mesures ont été effectuées pendant des durées qui varient selon l'usage suivi entre un et quatre mois. Dans tous les cas, il est donc nécessaire d'extrapoler les valeurs mesurées pour obtenir une consommation annuelle.

La méthode employée se décompose en quatre étapes :

- 1- A partir des données à dix minutes, on calcule pour chaque jour type et chaque tranche horaire la puissance moyenne appelée pendant la période de mesures par l'usage (appelée puissance(tranche)).
On dénombre 8 jours types : lundi, mardi, mercredi, jeudi, vendredi, samedi, dimanche et jour de vacances.

Les tranches horaires sont celles définies par EDF à savoir :

- *Heures de pointe* : de décembre à février, tous les jours (sauf le dimanche) de 9 à 11 h et de 18h30 à 20h30
- *Heures creuses* : tous les jours de l'année de 22 à 6h ainsi que le dimanche
- *Heures pleines* : les créneaux horaires restants.

- 2- Le profil normalisé de saisonnalité de l'usage est évalué à partir d'informations tirées de campagnes de mesures réalisées précédemment ou encore de renseignements collectés auprès du lycée. Ce profil indique les variations de consommation non liées au type de jour. La figure 1.9 donne l'exemple du profil normalisé obtenu pour une pompe de chauffage.

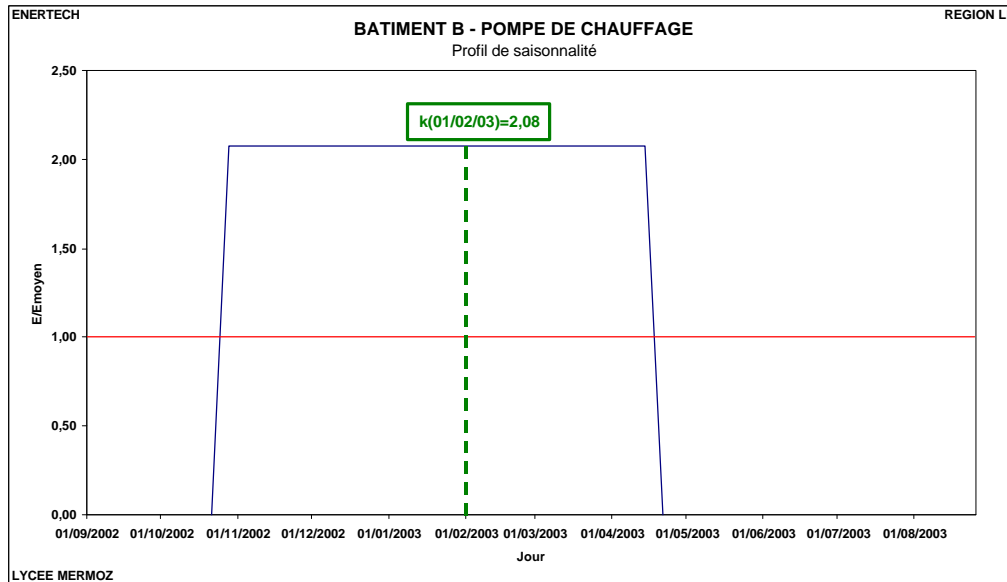


Figure 1.9 : Profil de saisonnalité d'une pompe de chauffage

- 3- A partir de ce profil, on calcule un coefficient moyen de saisonnalité (appelé par la suite $k_m(j_s)$) pour chaque jour type au cours de la période de mesure.

Exemple : la période de mesure débute le 01/10/02 et se termine le 01/11/02, le coefficient moyen de saisonnalité du jour type mardi sera égal à :

$$k_m(\text{mardi}) = k(01/10/02) + k(08/10/02) + k(15/10/02) + k(22/10/02) + k(29/10/02)$$

$$k_m(\text{mardi}) = (0 + 0 + 0 + 0 + 2,08)/5 = 0,416$$

- 4- L'annualisation s'effectue alors de la façon suivante :

$$E(t) = \sum_{j=01/09/2002}^{j=31/08/2003} \frac{N(t) \times P(t) \times k(j)}{k_m(j_s)} \quad [\text{kWh}]$$

et

$$E_{\text{totale}} = E(\text{pointe}) + E(\text{heures_pleines}) + E(\text{heures_creuses}) \quad [\text{kWh}]$$

avec tranche : tranche horaire EDF (pointe, heures pleines, heures creuses)

E_{totale} : consommation annuelle de l'usage en kWh/an

$E(t)$: consommation annuelle de l'usage dans la tranche horaire EDF

$N(t)$: nombre d'heures quotidien dans la tranche horaire EDF

$P(t)$: puissance moyenne (kW) calculée à l'étape 1

$k(j)$: coefficient de saisonnalité d'un jour donné

$k_m(j_s)$: coefficient moyen de saisonnalité pour un jour type (étape 2)

Pour chaque appareil ou chaque usage, une fiche récapitulative a été réalisée. Cette fiche indique :

- Le profil de consommation pour chaque jour type (sur la période de mesures)
- La répartition de la consommation annuelle (en euros et kWh) dans les différentes tranches horo-saisonniers
- La puissance et le coût d'abonnement (la méthode de calcul est expliquée dans le paragraphe 1.4.2)
- La répartition de la consommation entre les heures d'occupation et de non occupation

Les fiches sont données en annexe.

Si on compare au comptage EDF (année 2002) la somme de l'ensemble des usages du lycée ainsi réagréés, l'écart est de 7% (1 505 635 kWh grâce à notre méthode d'annualisation contre 1 626 792 kWh pour le comptage EDF de l'année 2002). Ce résultat est satisfaisant et l'erreur commise peut s'expliquer notamment par le fait que nous nous basons sur des données de 2003 alors que la référence EDF est l'année 2002, ou encore que ce calcul ne tient pas compte des pertes entre le transformateur et les bâtiments. Nous utiliserons donc dans ce rapport les consommations calculées grâce à la méthode d'annualisation.

1.4.2 Détermination du poids de chaque usage dans le coût de l'abonnement

La puissance souscrite par le lycée (abonnement principal) est de 650 kW dans toutes les tranches horaires. C'est donc la puissance en heures de pointe qui dimensionne l'abonnement. Réduire cette puissance serait donc économiquement très intéressant. La procédure employée pour le calcul du coût d'abonnement de chaque appareil (ou usage) est la suivante :

- 1- On extrait de la base de données les consommations à 10 minutes comprises dans les créneaux horaires 9-11 heures et 18h30-20h30 pour les sept grands départs (bâtiment A, bâtiment B, bâtiment C côté loge, bâtiment C côté classe, bâtiment L, cuisine, ateliers anciens) ainsi que le comptage général lycée (tarif vert EDF).
- 2- On classe ensuite les puissances des sept grands départs dans l'ordre décroissant des consommations à 10 minutes du comptage général lycée.
- 3- On prend la moyenne des 50 premières valeurs, c'est à dire des 50 périodes de 10 minutes correspondant aux plus gros appels de puissance du lycée pour calculer la part moyenne de chaque départ dans l'abonnement. On s'aperçoit que la contribution de chaque départ varie très peu quel que soit le nombre de valeurs prises en compte. Ainsi, l'écart maximal observé sur un départ quand on prend en compte entre 50 et 200 valeurs est de 0,8%.

Nombre de valeurs	Heure plus fréquente	Puissance atteinte moyennée	Bâtiment C côté loge	Cuisine	Bâtiment C côté classe	Atelier ancien	Bâtiment B	Bâtiment A	Bâtiment L	Somme
200	09:30	523	23,6%	16,1%	5,8%	3,4%	19,2%	28,2%	1,6%	97,9%
100	10:50	539	23,4%	16,6%	5,8%	3,5%	19,3%	27,7%	1,6%	97,9%
50	09:40	551	23,2%	16,9%	5,9%	3,6%	19,4%	27,3%	1,6%	97,8%

Figure 1.10 : Contribution des différents départs à la pointe en fonction du nombre de valeurs prises en compte

- 4- On effectue la même opération au niveau de chaque grand départ afin d'évaluer la puissance et le coût d'abonnement à attribuer à chaque appareil ou usage.

1.5 COMPARAISON DES MESURES EFFECTUEES ET DU COMPTAGE EDF

Les 7 grands départs regroupant l'ensemble des bâtiments (sauf les nouveaux ateliers) ont fait l'objet d'un suivi détaillé au pas de temps de 10 minutes. La figure 1.11 montre que la somme des consommations mesurées est très proche de la valeur fournie par le comptage général EDF. L'écart est d'environ 2% sur l'ensemble de la période. Il s'explique par les pertes en ligne qui ne sont pas prises en compte ici. En effet, la consommation des différents départs n'a pas été mesurée dans le local transformateur mais dans les tableaux électriques des bâtiments. Cet écart correspond aussi à l'ordre de grandeur de la précision des mesureurs.

En conclusion la couverture des usages que nous avons faite par mesure est d'excellente qualité et va permettre une analyse pertinente des consommations observées.

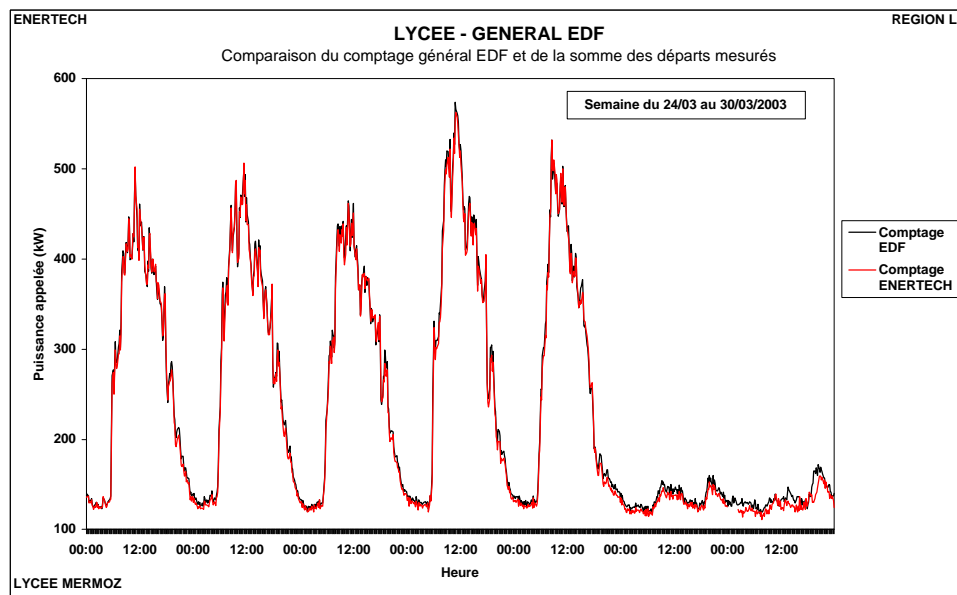


Figure 1.11 : Comparaison du comptage général EDF et de la somme des départs mesurés

CHAPITRE 2 : ANALYSE STRUCTURELLE DES CONSOMMATIONS ET DES COÛTS POUR L'ENSEMBLE DU LYCEE

2.1 REPARTITION DE LA CONSOMMATION

La consommation électrique du lycée, calculée grâce à la méthode d'annualisation, s'élève à 1 812 910 kWh/an, soit 33,9 kWh/m².an ou encore 691 kWh/élève.an. Le graphique 2.1 indique la répartition entre les différents bâtiments.

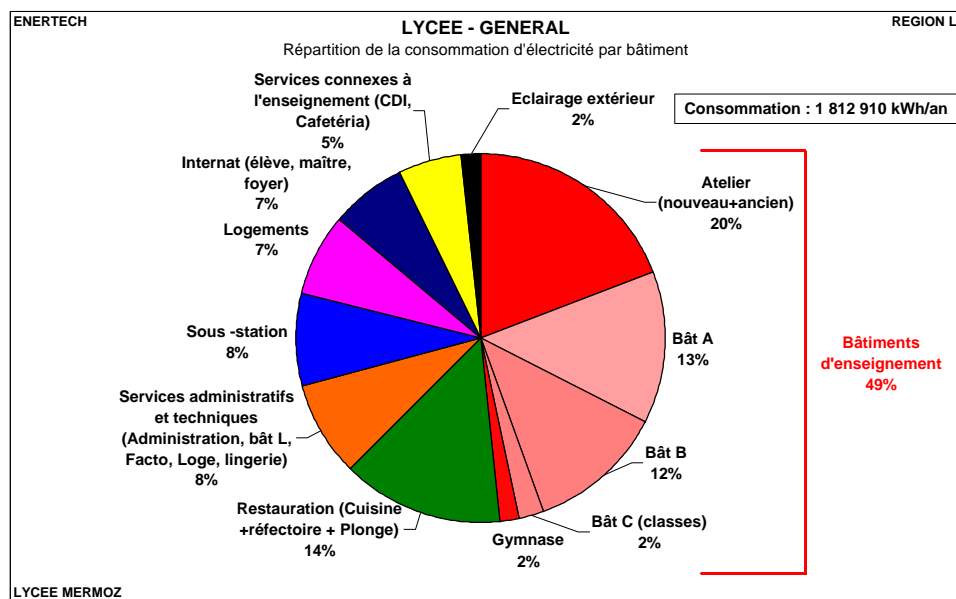


Figure 2.1 : Répartition de la consommation d'électricité entre les différents bâtiments

Près de la moitié de la consommation (49%) est utilisée par les bâtiments d'enseignement, dont 20% pour les seuls ateliers. La consommation des bâtiments A et B est assez proche, respectivement 243 000 et 224 000 kWh/an. Le tableau 2.2 donne la consommation annuelle par m² SHON de quelques entités du lycée. On voit que la consommation des bâtiments d'enseignement (A ou B) est de l'ordre de 27 kWh/m² alors que celle des ateliers représente près du double (46,5 kWh/m²). Ce fait est étonnant car ces derniers sont actuellement en rénovation et ne sont pas encore complètement opérationnels. Ils n'accueillent encore que très peu d'élèves. La présence de machines thermiques à but pédagogique explique probablement une partie de ces consommations. Il aurait été intéressant de conduire une étude plus détaillée de la consommation de ce bâtiment car les gisements d'économies sont probablement nombreux. Par exemple, la puissance appelée pendant les vacances d'hiver est de 24 kW et pendant celles de printemps de 16 kW (soit environ 1,5 fois plus que celle du bâtiment B pendant la même période). Cependant, le diagnostic de ce bâtiment n'a pas été effectué car il dépasse le cadre de cette mission.

Bâtiment	Consommation (kWh/m ² .an)
Total lycée	33,9
Bâtiment A	27,0
Bâtiment B	26,4
Ateliers	46,5
Gymnase	10,5
Bâtiment L (salle des professeurs)	65,6
CDI + administration	26,2

Figure 2.2 : Consommation annuelle par m² de différents bâtiments

La restauration, avec près de 260 000 kWh/an, est le second poste le plus important (après les ateliers). La cuisine représente près des trois quarts de cette consommation (196 000 kWh/an). On prépare environ 370 000 repas par an. Le poids énergétique lié à la préparation d'un repas est donc de 530 Wh. Notons qu'une partie des repas est destinée à d'autres établissements.

Les logements du lycée (internat et logements de fonction) représentent autant que le poste restauration (252 000 kWh/an). La consommation par logement de fonction est en moyenne de 4436 kWh/an. Cette valeur inclut la consommation des deux chauffe-eau électriques dont sont munis les logements. Si on retranche cet usage thermique de l'électricité la consommation des logements est du même ordre de grandeur que les valeurs moyennes obtenues au niveau national.

Le poste sous-station n'inclut que la consommation des deux pompes primaires du réseau de chauffage du lycée. Elles assurent la distribution de l'eau chaude produite par le chauffage urbain aux différents bâtiments du lycée. Elles appellent une puissance constante de 33 kW durant toute la saison de chauffage. Leur consommation est équivalente à celle de l'ensemble des services techniques et administratifs, soit 8% de la consommation annuelle du lycée !

On peut enfin noter que la consommation de certains locaux semble particulièrement élevée au vue de leur usage du fait par exemple de consommations d'éclairage élevées ou encore de la présence de convecteurs électriques. C'est le cas du bâtiment L (salle des professeurs) avec 65,6 kWh/m².an, soit 2,5 fois plus que la consommation annuelle surfacique du bâtiment B. C'est aussi le cas pour la cafétéria (dont la surface est estimée à 200 m²) avec 365 kWh/m² ! A titre de comparaison, la cafétéria consomme deux fois plus que l'ensemble des gymnases du lycée. Comme on le verra par la suite, cela s'explique notamment par l'utilisation de chauffage électrique.

La figure 2.3 donne la répartition de la consommation pendant les heures d'ouverture du lycée (7h30 à 18h30 du lundi au vendredi) et les périodes où celui-ci n'accueille pas d'élèves.

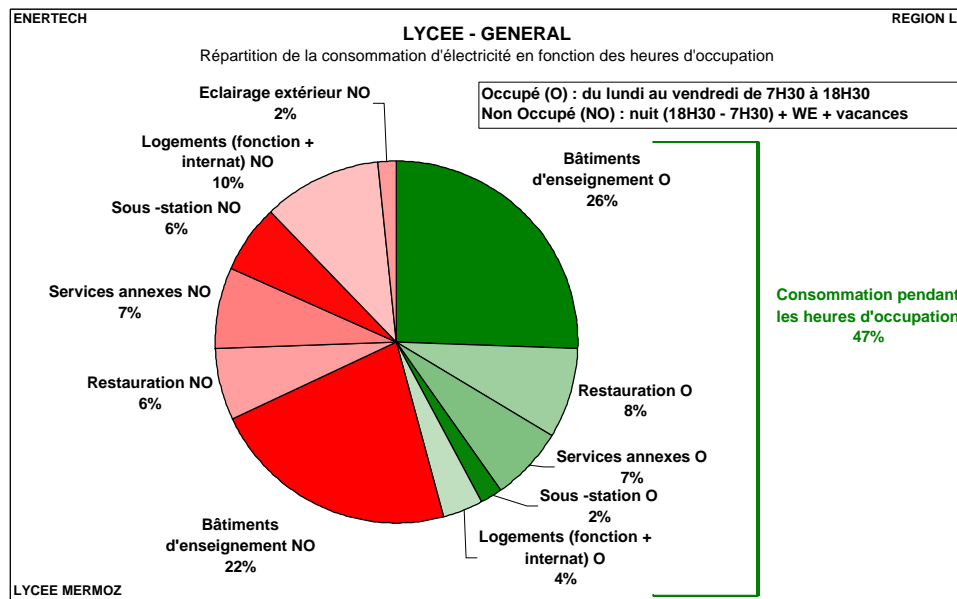


Figure 2.3 : Répartition de la consommation d'électricité entre les périodes d'occupation et de non-occupation

Plus de la moitié de la consommation a lieu en période de non occupation. Il paraît normal qu'elle ne soit pas nulle en dehors des heures d'ouverture du lycée du fait de la présence de l'internat et des logements de fonction qui entraîne une occupation permanente du lycée. Cependant, il est étonnant que la consommation globale des bâtiments d'enseignement ou encore les services annexes soit pratiquement la même pendant les heures ouvrées et non ouvrées. La puissance appelée est bien entendue inférieure durant les périodes d'inoccupation mais compte tenu de la durée, la consommation électrique est proche. De même, les trois quarts de la consommation des pompes de chauffage (sous-station) ont lieu en dehors des heures de cours. Or les besoins réels de chauffage en période non ouvrée sont minimes (en dehors des relances et des logements à chauffer en permanence qui ne représentent que 5% de la surface du lycée).

Le graphique 2.4 indique comment se répartit le « talon de puissance » (niveau de puissance observée en permanence y compris la nuit et les vacances). On a représenté sur ce graphique les puissances moyennes observées entre minuit et quatre heures au cours de deux jours types (période de chauffage et de non chauffage). En période de chauffage (jour type : 25/03/03), près d'un quart de cette base correspond à la puissance appelée par les deux pompes primaires. Les bâtiments d'enseignement appellent 57 kW en hiver (soit près de 40% de la base) et 39 kW en été (soit 45% de la base) dont 44% pour les seuls ateliers. Une fois de plus, on peut s'interroger sur les raisons qui justifient de tels appels de puissance dans des bâtiments inoccupés. Le détail de ces consommations sera exposé plus avant lors de l'examen de chaque usage. La puissance de nuit de l'internat est aussi très élevée (plus de 10 kW). Elle prend en compte les cordons chauffants de maintien en température de l'eau chaude sanitaire de l'internat, qui consomment en permanence environ 3 kW. Enfin l'éclairage extérieur représente une part relativement faible de la consommation, de l'ordre de 5% l'hiver et 10% l'été (8 kW).

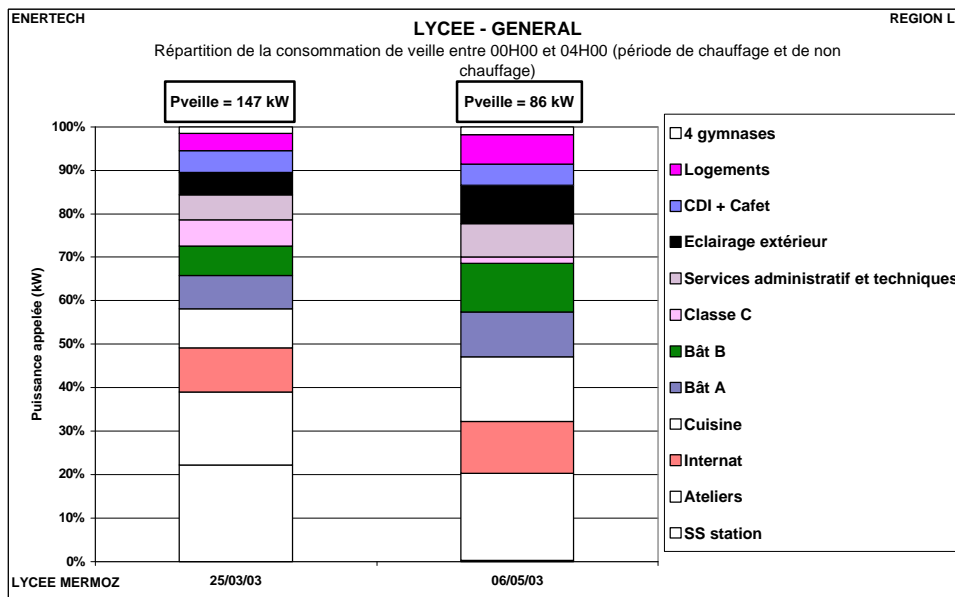


Figure 2.4 : Répartition de la puissance de veille du lycée entre les différents bâtiments (période de chauffage et période de non chauffage)

2.2 REPARTITION DE LA FACTURE D'ELECTRICITE ENTRE LES DIFFERENTS BATIMENTS

La répartition de la facture d'électricité (coût de l'électricité et de l'abonnement) est très similaire à celle de la consommation. La part des bâtiments d'enseignement et de la restauration est légèrement supérieure car la plupart des usages fonctionnent au moment de la pointe et interviennent donc dans le calcul de l'abonnement. Au contraire, les logements de fonction et l'internat dont la consommation se situent essentiellement en dehors des heures d'occupation du lycée représente 11% du coût total contre 14% en consommation.

A noter que le coût moyen du kilowattheure, abonnement inclus, est de 0,079 centimes d'euros TTC.

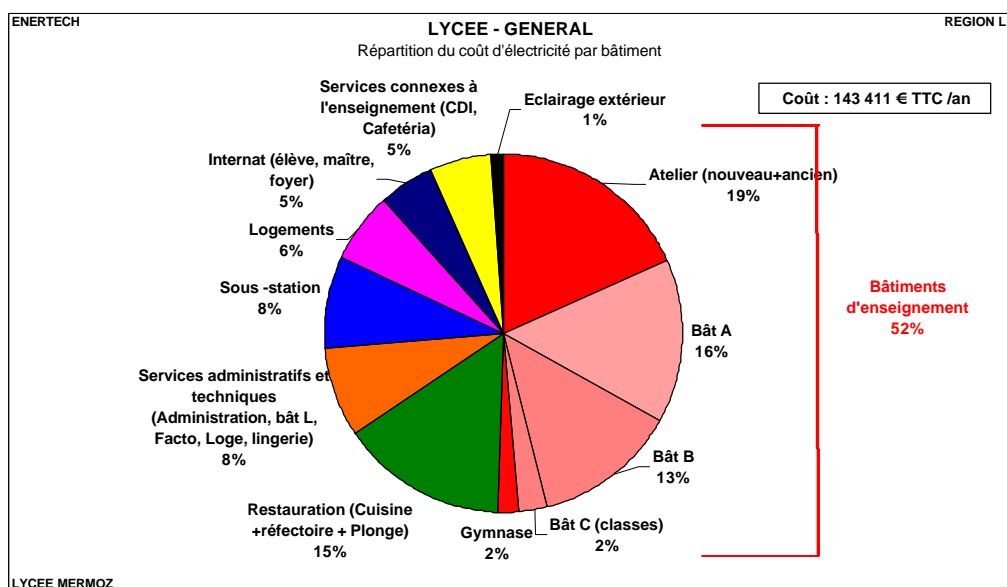


Figure 2.5 : Répartition de la facture d'électricité entre les différents bâtiments

CHAPITRE 3 : LE BATIMENT B

Comme nous l'avons indiqué dans le chapitre 1, il était impossible vu la taille du lycée d'étudier en détails l'ensemble des bâtiments. Il a donc été décidé de focaliser l'étude sur le bâtiment B puisque c'est celui qui présentait des dysfonctionnements importants.

3.1 CARACTERISTIQUES DU BATIMENT B

3.1.1 Caractéristiques générales

Le bâtiment B comporte 5 niveaux pour une surface totale de 8 500 m² de SHON. Il a été construit en 1965 et a été rénové en 1999. Il peut accueillir 1980 élèves. L'axe longitudinal du bâtiment est orienté est-ouest. Un plan schématique du bâtiment est donné sur la figure 3.1.

R+4	Enseignement tertiaire			Chef des travaux	Salle des profs
R+3	Enseignement général	Vie scolaire	Enseignement général		
R+2	Enseignement général				
R+1	Vie scolaire	Enseignement général			
RDC	Habillement	Maison des lycéens	Offset	Vestiaires agents	Ateliers sup-spé TGBT

Figure 3.1 : Coupe longitudinale du bâtiment B

Le bâtiment comporte 96 salles de classe et 13 locaux divers (salles des professeurs, locaux de la vie scolaire, local ménage...). On dénombre 220 ordinateurs situés principalement dans les salles du quatrième étage. Les salles d'enseignement général ne comportent pas d'équipements électriques particuliers à l'exception de quelques ensembles télévision + magnétoscope.

Au rez-de-chaussée, on trouve :

- des salles destinées à l'enseignement de la couture (équipées de machines à coudre, de repasseurs vapeur...)
- la maison des lycéens qui contient des salles de travail et de loisirs
- l'imprimerie du lycée (presses, photocopieurs...)
- le vestiaire des agents
- l'atelier des élèves de maths-sup qui se compose d'une salle de machines outils ainsi que de salles de travaux pratiques
- le TGBT du bâtiment

3.1.2 Occupation des salles de classe

Le graphique 3.2 donne le pourcentage d'occupation des salles d'après l'emploi du temps. On estime que la durée maximale d'occupation des salles de classe est 50 heures par semaine, à savoir 10 heures par jour (8 à 18 heures) du lundi au vendredi. En effet, dans ce lycée, des cours ont lieu entre 12 et 14 heures ainsi que le mercredi après-midi.

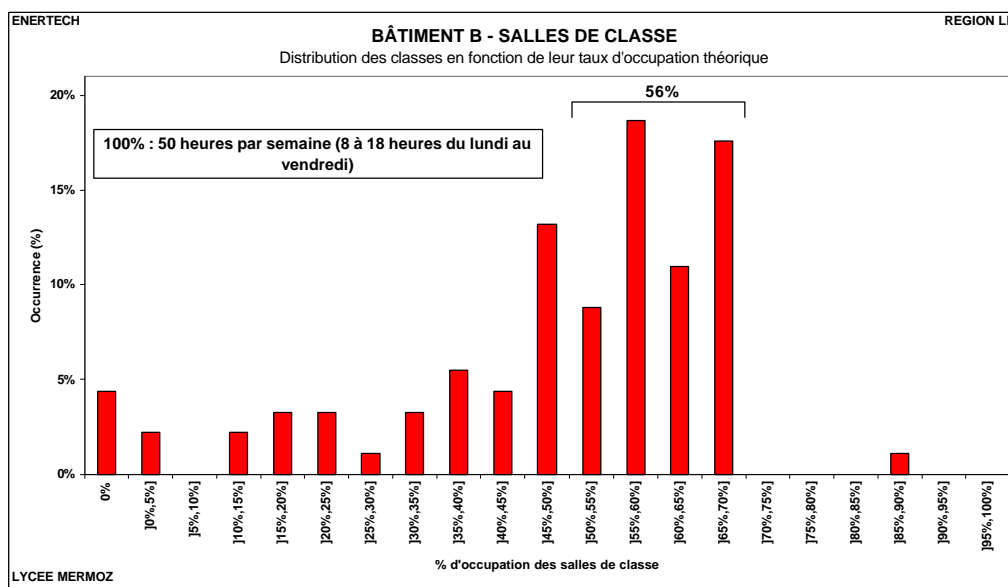


Figure 3.2 : Distribution des classes en fonction de leur taux d'occupation théorique

Si on se fie aux emplois du temps, les salles sont globalement peu occupées. En effet, un quart d'entre elles est utilisé moins de 40% du temps et une seule présente un taux d'occupation supérieur à 70%. On dénombre même 4 salles dans lesquelles aucun cours n'est programmé ! Mais 56% ont quand même un taux d'utilisation compris entre 50 et 70%.

Cependant, il semble que les emplois du temps ne reflètent pas parfaitement l'occupation réelle des salles de cours. Nous avons donc installé pendant 2 mois des mesureurs afin de connaître l'occupation exacte de 11 salles du bâtiment B et de 2 salles du bâtiment A. Le tableau 3.3 donne les durées d'occupation annualisées des salles suivies. La méthode d'annualisation à partir des mesures est similaire à la méthode décrite dans le paragraphe 1.4.1. On calcule donc les durées moyennes de fonctionnement pour chaque jour type et on multiplie par le nombre de jours de chaque type d'une année. Aucun coefficient de saisonnalité n'est pris en compte ici.

Il y a donc effectivement des écarts entre occupations réelle et théorique (emplois du temps) des salles de classe. Cependant, en moyenne, les deux valeurs sont proches : 762 heures pour la valeur mesurée sur onze classes (soit un taux d'occupation annuel de 43%) et 752 heures pour la valeur théorique.

Salle	Occupation mesurée (h/an) et taux d'occupation (%)	Occupation théorique (h/an) et taux d'occupation (%)	Ecart relatif (%)
A 305	969 (55%)		
A 308	915 (52%)		
B 1103	679 (39%)	950 (54%)	-29%
B 2107	990 (56%)	1162 (66%)	-15%
B 2112	183 (10%)	176 (10%)	4%
B 1204	999 (57%)	915 (52%)	9%
B 1209	343 (19%)	282 (16%)	22%
B 1303	905 (51%)	1021 (58%)	-11%
B 3325	712 (40%)	317 (18%)	+125%
B 1401	972 (55%)	845 (48%)	+15%
B 2413	1370 (78%)	1197 (68%)	+14%
B 3416	205 (12%)	352 (20%)	-42%
B 3427	1025 (58%)	1056 (60%)	-3%

NB : Occupation théorique élaborée à partir de l'emploi du temps officiel communiqué

Figure 3.3 : Durées annuelles d'occupation des salles de classe (mesures et emploi du temps)

3.2 LES DYSFONCTIONNEMENTS

Le bâtiment B rencontre depuis plusieurs années des dysfonctionnements importants. En effet, de nombreuses coupures électriques ont poussé, en 2001, à renforcer les câbles d'alimentation afin d'augmenter la puissance électrique disponible. Malgré ce changement, les coupures ont persisté et il a donc été décidé d'alimenter provisoirement les ventilations mécaniques contrôlées (VMC) du bâtiment B à partir de l'alimentation du bâtiment C. Ces travaux ont été effectués à l'automne 2002 et depuis lors, on n'observe plus de disjonction intempestive du disjoncteur général du bâtiment B. Cependant, le bureau de contrôle n'a fourni qu'une autorisation provisoire pour cette modification. Il est donc nécessaire de trouver une solution qui permette d'alimenter à nouveau les VMC depuis le TGBT du bâtiment B.

La puissance appelée devrait par ailleurs augmenter dans les années à venir du fait de l'acquisition de nouveaux équipements informatiques.

Il est donc impératif de comprendre les causes des dysfonctionnements et d'analyser comment se construit la consommation électrique du bâtiment afin de pouvoir assurer un même service sans augmenter la puissance appelée. En effet, accroître la puissance disponible nécessite des travaux coûteux. De plus, comme on l'a déjà évoqué dans le paragraphe 2.1, la consommation des bâtiments d'enseignement en dehors des périodes d'occupation reste très élevée ce qui laisse envisager des économies. Nous allons donc dans les paragraphes suivants détailler le fonctionnement des différents usages présents dans le bâtiment et évaluer le potentiel de réduction de consommation ainsi que le coût afférent.

3.3 STRUCTURE PAR USAGE DE LA CONSOMMATION

La consommation du bâtiment B s'élève à 224 286 kWh/an dont 6% en heures de pointe, 73% en heures pleines et 21% en heures creuses. Le graphique 3.4 donne la répartition entre les différents usages.

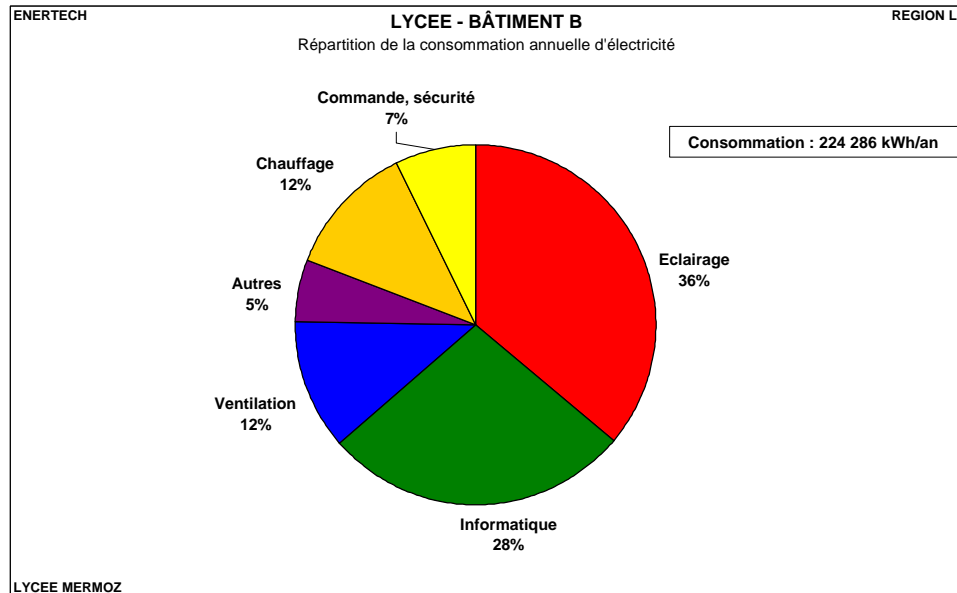


Figure 3.4 : Répartition de la consommation d'électricité entre les différents usages

Le poste le plus consommateur est, avec 80 781 kWh/an soit 36% de la consommation totale du bâtiment, l'éclairage. L'informatique, second poste, représente 28% de l'ensemble. Les consommations de ces deux usages se construisent très différemment. Alors que, comme le montre la figure 3.5, l'essentiel de la consommation d'éclairage (84%) a lieu pendant les heures de classe, les deux tiers de celle de l'informatique se produit alors que les équipements ne sont en pratique pas utilisés.

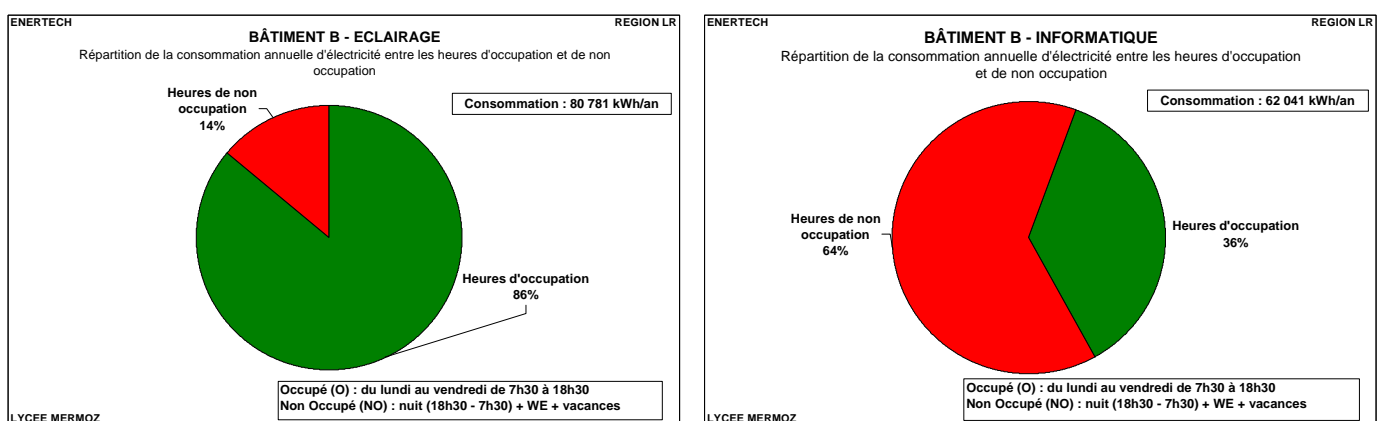


Figure 3.5 : Répartition de la consommation d'éclairage et d'informatique entre les périodes d'occupation et de non-occupation

Les deux postes suivants par ordre d'importance sont ensuite la ventilation et les consommations électriques liées au chauffage (pompes, régulation et convecteurs électriques

d'appoint) qui représentent chacun 12%. Les appareils divers (cafetières, distributeurs automatiques de boissons, machines à coudre..) consomment 12 097 kWh/an (soit 5% du total). Enfin, les équipements de sécurité (éclairages de secours –BAES-, système de détection incendie...) et les organes de commande qui fonctionnent 24/24 heures correspondent à 7% de la consommation de l'ensemble.

La facture d'électricité pour le bâtiment B s'élève à 19 245 euros TTC/an, dont 25% incombe à l'abonnement. La structure du coût d'électricité (graphique 3.6) est très différente de celle de la consommation.

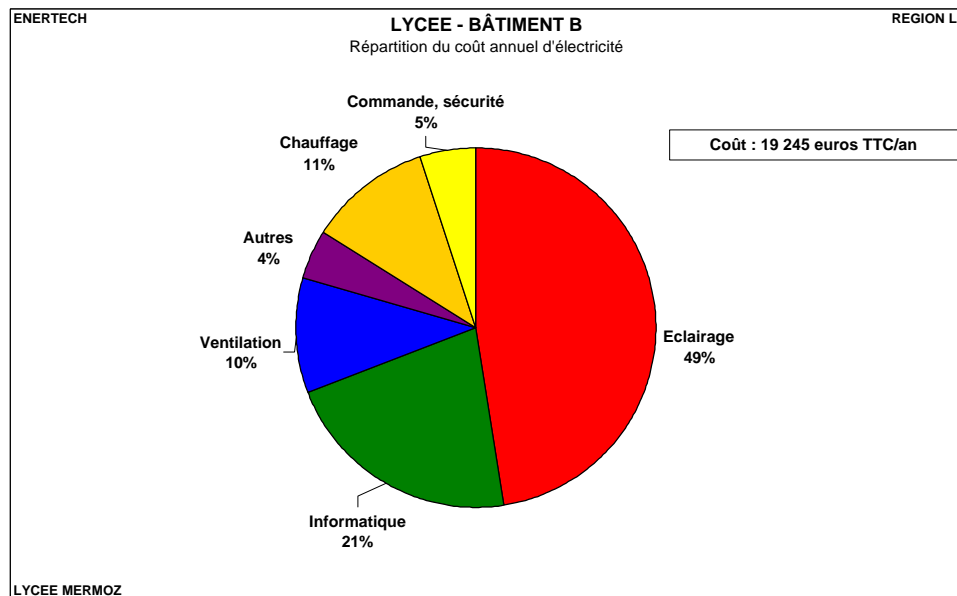


Figure 3.6 : Répartition des coûts d'électricité (abonnement + consommation) des différents usages

L'éclairage est le poste le plus coûteux avec près de la moitié du total. En effet, cet usage fonctionne majoritairement en hiver pendant les heures de pointe et les heures pleines, périodes où l'électricité est la plus chère et qui, de plus, déterminent la puissance d'abonnement souscrite (période de pointe). Ce dernier point est parfaitement visible sur le graphique 3.7 qui représente la répartition du coût d'abonnement entre les différents usages. L'éclairage, avec 71% du montant total d'abonnement, est sans conteste l'usage qui appelle le plus de puissance pendant la pointe.

La part de l'informatique diminue car comme on l'a vu précédemment une grande partie de sa consommation a lieu en heures creuses. Pour les autres usages, la répartition en coût est similaire à celle en énergie.

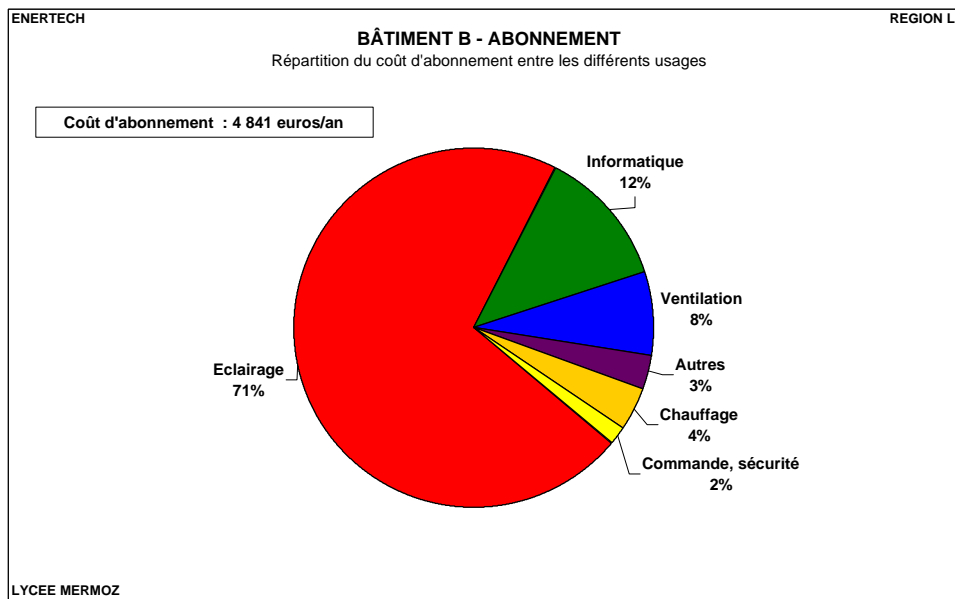


Figure 3.7 : Répartition des coûts d'abonnement des différents usages

3.4 ETUDE DE CHAQUE USAGE, DESCRIPTION ET EVALUATION DES AMELIORATIONS

3.4.1 L'éclairage

L'éclairage est, avec une consommation annuelle de 80 781 kWh et 9 168 euros TTC/an, le plus gros poste du bâtiment B. Il se répartit en (figure 3.8) :

- 64% d'éclairage des classes (74% en coût)
- 22% d'éclairage des couloirs (15% en coût)
- 8% d'éclairage des autres locaux (7% en coût)
- 4% d'éclairage des sanitaires (3% en coût)
- 2% d'éclairage des escaliers, combles et préaux (1% en coût).

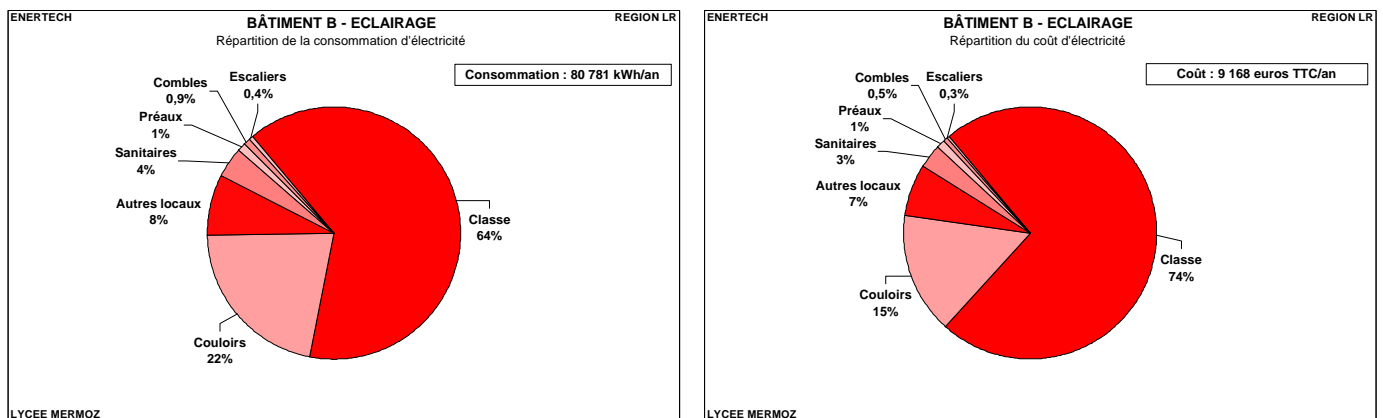


Figure 3.8 : Répartition de la consommation d'éclairage (énergie et coût)

3.4.1.1 L'éclairage des salles de classe

3.4.1.1.1 Description de l'usage

L'installation d'éclairage est identique pour l'ensemble des salles de classe. Elle est décrite par le schéma de la figure 3.9. On dénombre, en fonction de la taille de la pièce, entre 6 et 15 pavés de tubes fluorescents 4x18W commandés en deux zones. La zone proche du mur se compose de deux rangées de luminaires alors qu'il n'y en a qu'une pour la zone côté fenêtre. Chaque zone est commandée par un interrupteur. Les deux interrupteurs se situent à côté de la porte d'entrée. L'éclairage du tableau s'effectue grâce à deux tubes fluorescents de 36W commandés par un interrupteur situé à proximité du bureau du professeur.

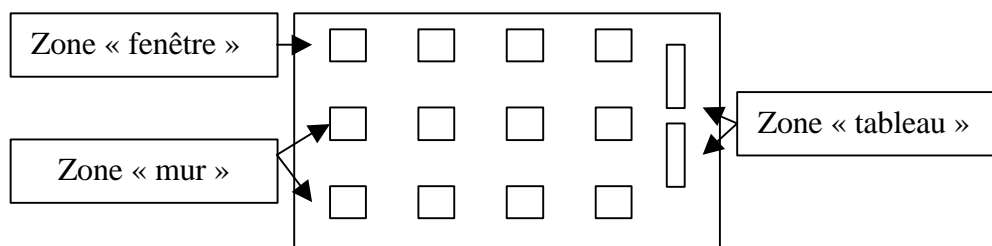


Figure 3.9 : Schéma de l'installation d'éclairage d'une salle de classe

La puissance installée pour l'ensemble des salles atteint 67 kW côté mur, 36 kW côté fenêtre et 18 kW dans la zone tableau.

Un dispositif qui coupe à 21 heures les éclairages oubliés et les rallume le lendemain matin à 6 heures hors week-ends a été mis en place par les électriciens du lycée.

Lors de la campagne de mesures, les luminaires de 31 salles de classe ont été instrumentés. Ainsi près d'un tiers des classes a été suivi en continu durant 4 mois. De plus, le choix de l'échantillon a été effectué en tenant compte des emplois du temps, c'est à dire que l'on a choisi un échantillon de salles reflétant l'occupation globale du bâtiment. A partir de la période de mesures on a utilisé la méthode décrite dans le paragraphe 1.4.1 pour obtenir les durées annualisées d'éclairage. Le profil de saisonnalité employé pour les calculs est tiré des résultats de l'étude en référence¹ que nous avons réalisée en 2001 pour l'ARENE PACA. En effet, dans cette campagne de mesures, nous avons suivi les consommations d'éclairage de plusieurs salles de classe au pas de temps de 10 minutes pendant une année scolaire.

Les durées moyennes d'éclairage sont de **479 heures/an** pour la zone « fenêtre », **496 heures/an** pour la zone « mur », 80 heures/an pour la zone « tableau ». La figure 3.10 représente l'histogramme des durées annuelles d'éclairage des côtés « mur » et « fenêtre ». Dans les deux zones la moitié des durées d'éclairage est supérieure à 500 heures/an. Côté « fenêtre », on observe un pic entre 600 et 700 heures/an alors que le profil est relativement plat pour le côté « mur ». Ces durées sont cependant très variables selon les salles et l'orientation Nord ou Sud n'apparaît pas être un critère déterminant.

¹ ENERTECH. 2001. *Etude de solutions de maîtrise de la demande d'électricité pour l'éclairage des lycées*. Marseille, ARENE de la Région Provence Alpes Côte d'Azur – Téléchargeable sur <http://perso.club-internet.fr/sidler>

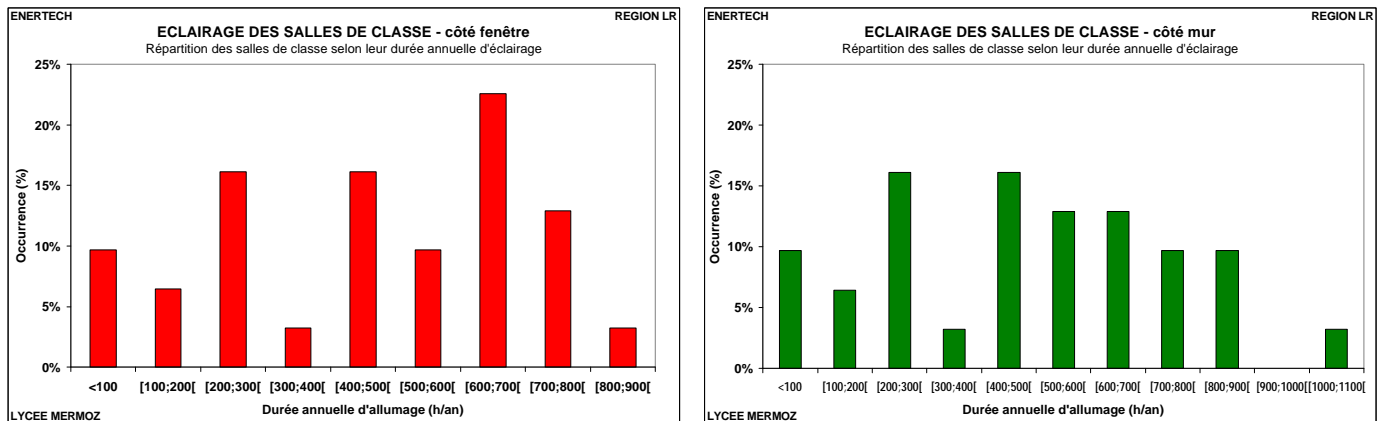


Figure 3.10 : Histogramme des durées annuelles d'éclairage des salles de classe

Ces durées paraissent relativement faibles. En effet, si on considère que les classes peuvent être utilisées 10 heures par jour (soit 1760 heures par an), le taux de fonctionnement de l'éclairage est de 28%. On peut apporter plusieurs explications à cette observation. Tout d'abord, comme on l'a vu au paragraphe 3.1.2, le taux d'occupation est faible. La durée moyenne d'occupation observée (11 salles suivies au bâtiment B) est de 762 heures/an, ce qui signifie que les classes sont en réalité éclairées 63% du temps où elles sont utilisées. Le graphique 3.11 compare la durée d'éclairage à la durée d'occupation pour 13 salles de classes (11 au bâtiment B et 2 au A). On voit que les trois salles les moins souvent utilisées ont des durées d'éclairage très proches, de l'ordre de la moitié de leur temps d'occupation. Par contre, les salles occupées environ 1000 heures par an (qui représentent plus de la moitié de notre échantillon) ont des durées d'éclairage qui varient dans un rapport de 1 à près de 3. De façon étonnante, les salles au sud sont plus souvent allumées que celles de la façade Nord. Ceci trouve son explication dans des dysfonctionnements que nous avons observés. En effet, si on compare les séquences de présence et d'allumage, on observe des périodes où la salle est allumée alors qu'elle est vide. Ce dysfonctionnement représente 7% de la consommation d'éclairage du côté « mur », 14% du côté « fenêtre » et 3% de celle du tableau. Les oublis sont plus fréquents côté « fenêtre » car il est plus difficile, quand l'éclairage naturel est suffisant, de voir que cette zone est allumée lorsque l'on est à proximité des interrupteurs, près de la porte en quittant la salle. Ainsi, dans 5 des 13 salles suivies, cette consommation inutile représente plus de 20% du total. Dans un cas, elle s'élève même à 27%.

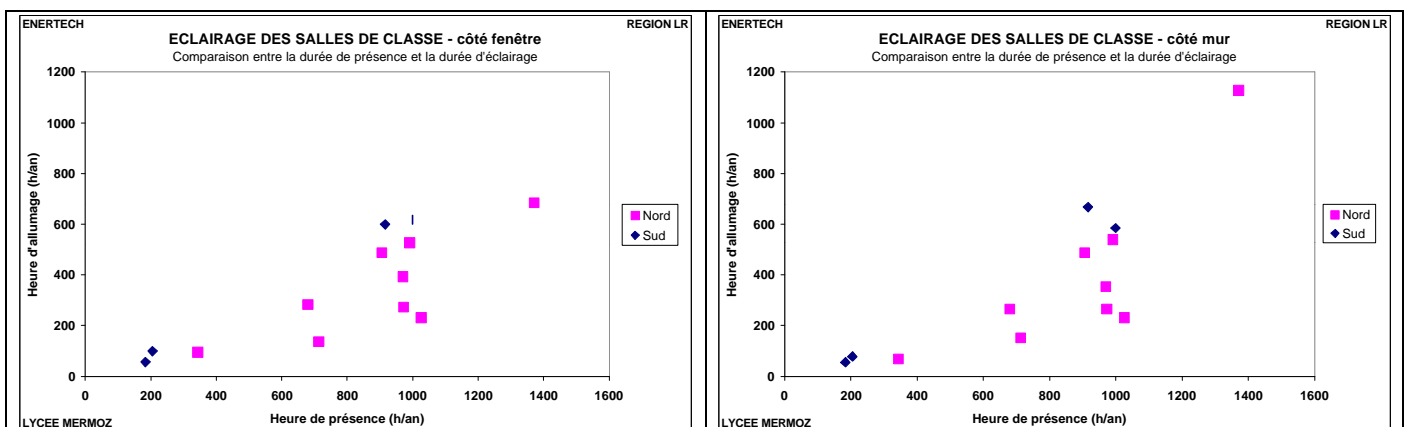


Figure 3.11 : Comparaison entre les durées d'occupation et d'éclairage des salles de classe

On a remarqué deux types de dysfonctionnements distincts :

- 1- Il s'agit de celui qui vient immédiatement à l'esprit : le cours est terminé et la dernière personne qui quitte la salle oublie d'éteindre la lumière. Ce fait est illustré par la figure 3.12. On voit, dans ce cas, l'intérêt du dispositif installé par les électriciens dans toutes les salles du bâtiment B. Ainsi à 21h00, l'éclairage est coupé grâce à une horloge ce qui évite une consommation inutile toute la nuit, voire comme cela se serait produit ici, tout un week-end. Cependant ces oublis sont rares : on en a repéré seulement 17 dans 7 salles distinctes sur un total de plus de trente salles suivies pendant près de quatre mois.

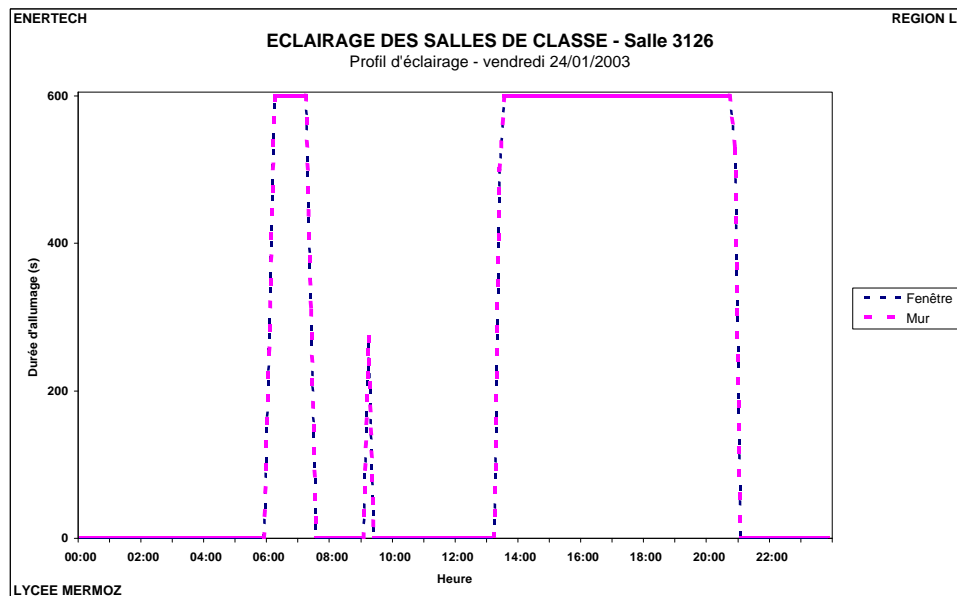


Figure 3.12 : Profil d'éclairage de la salle 3126 le vendredi 24/01/2003

- 2- La seconde cause de consommation inutile est plus surprenante. Il s'agit de l'allumage par erreur d'une zone éteinte (souvent le côté « fenêtre ») au moment de l'extinction de l'autre zone. Un exemple est donné sur la figure 3.13. En début de cours, seule la zone « mur » est allumée car l'éclairage naturel est suffisant coté fenêtre. Quand la dernière personne quitte la salle, elle coupe machinalement les deux interrupteurs, provoquant en fait l'allumage de la zone coté fenêtre ! Cet éclairage fonctionne alors inutilement dans cet exemple pendant 5 heures avant que quelqu'un ne s'en aperçoive et ne l'éteigne.

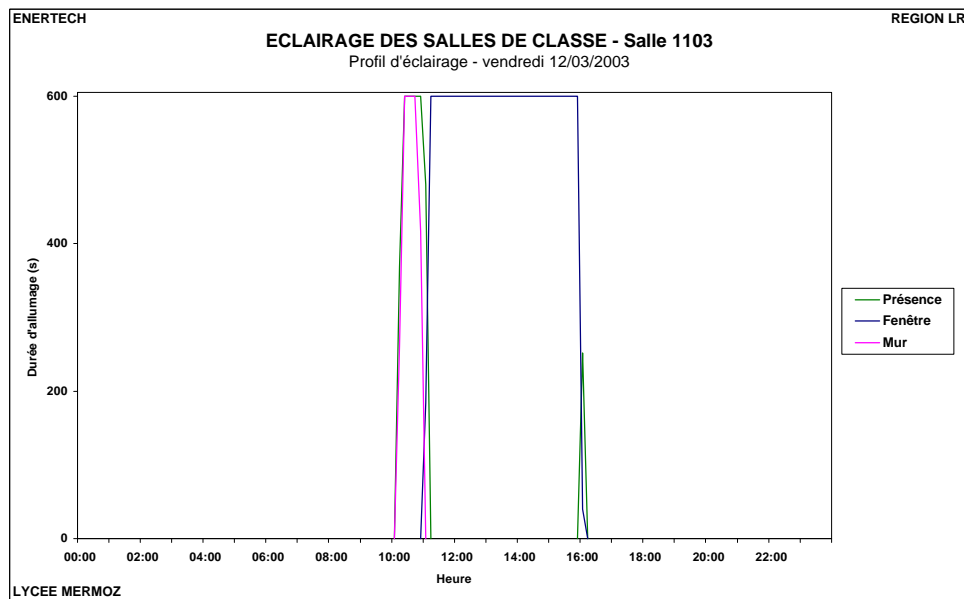


Figure 3.13 : Profil d'éclairage de la salle 1103 le vendredi 12/03/2003

La consommation totale de l'éclairage des salles de classe est égale à 51 828 kWh/an. Le montant correspondant est de 6 676 euros TTC/an dont 45% pour l'abonnement.

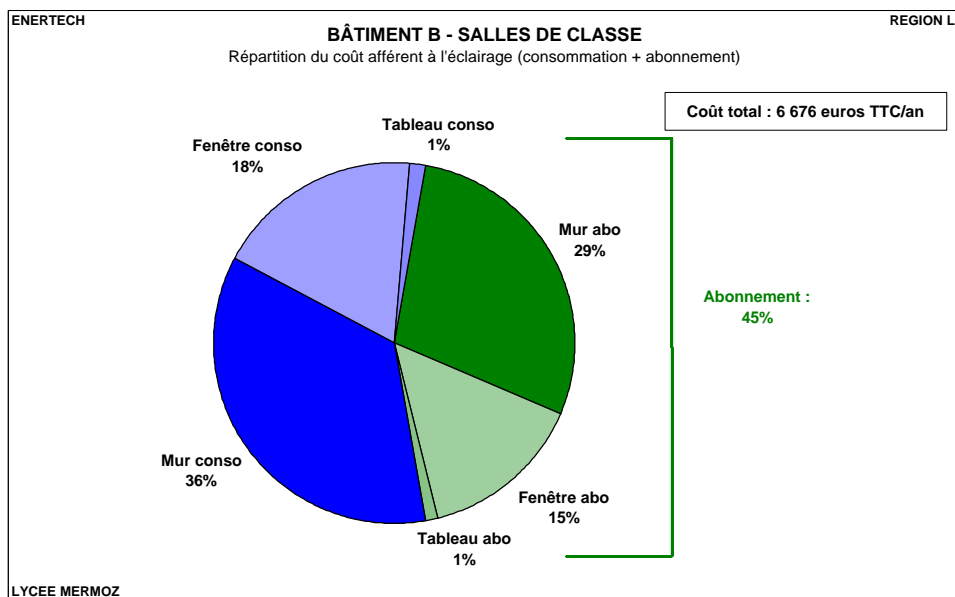


Figure 3.14 : Répartition du coût afférent à l'usage éclairage dans les salles de classe

3.4.1.1.2 Economies envisageables

Pour réduire la consommation électrique on peut agir sur :

- la durée de fonctionnement de l'usage et donc supprimer les dysfonctionnements observés
- la puissance appelée par l'usage soit grâce à l'utilisation de matériel performant, soit par une réduction de la tension d'alimentation des matériels en place

- soit pour mémoire en réduisant le nombre de luminaires ou de tubes alimentés par luminaire en place (delamping). Les expérimentations effectuées sur site ont montré que dans ce dernier cas, la qualité de l'éclairage ne pouvait pas être maintenue malgré les très confortables niveaux d'éclairement initiaux.

Information des usagers

On a vu dans le paragraphe précédent que certaines classes vides restaient allumées. On estime que la correction de ce dysfonctionnement devrait permettre d'économiser 4 800 kWh/an (7% de la consommation côté mur, 14% côté fenêtre et 3% pour le tableau). Ces oublis représentent 3% de l'abonnement des côtés mur et fenêtre et 1% pour l'éclairage du tableau. Au total on peut donc économiser 430 euros TTC/an.

Il faudra donc informer les professeurs ainsi que les agents d'entretien de la nécessité de vérifier que l'éclairage des deux zones est bien éteint quand ils quittent une classe.

Un marquage de couleur vive de l'interrupteur commandant la zone fenêtre pourrait rappeler aux usagers que lorsque l'éclairage naturel est suffisant, seule la zone coté mur peut être allumée. Il pourrait aussi être sensibiliser aux oublis et erreurs d'extinction en sortie de salle.

Utilisation de tubes performants sur les luminaires existants

Les tubes fluorescents utilisés dans les salles de classe sont de type T8. Il s'agit du standard actuel, le plus vendu et donc le moins cher. En 1995, une nouvelle gamme de tubes fluorescents, nommés tubes T5, a été introduite. Ils consomment sensiblement moins que les tubes T8 pour une quantité de lumière équivalente (64lm/W pour un tube T8 de 18W contre 96lm/W pour son équivalent T5 de 14W). De plus, ils contiennent moins de mercure que les tubes T8 standards. Enfin leur durée de vie est environ deux fois plus longue que celle des tubes T8 standards ce qui permet un changement moins fréquent. Cependant, ils sont sensiblement plus onéreux. Etant moins longs et plus fins, ils ne peuvent s'utiliser directement en remplacement des tubes T8 et nécessitent donc des luminaires adaptés ou des kits de transformation. Ils ne fonctionnent en outre qu'avec un ballast électronique.

Le ballast sert à l'amorçage de l'arc des tubes fluorescents. Il en existe deux types : ferromagnétique (standard ou faibles pertes) et électronique. Les luminaires des salles de classe sont équipés de ballasts ferromagnétiques qui représentent le standard actuel dans l'existant. Le ballast électronique est pourtant plus performant : il consomme moins et augmente l'intensité lumineuse tout en réduisant la puissance absorbée par le tube. Par exemple, le remplacement d'un ballast ferromagnétique par un ballast électronique sur un luminaire 2x58W permet une économie d'énergie d'environ 25%, une amélioration de la qualité de l'éclairage (démarrage rapide, absence de scintillement...) et un allongement de la durée de vie des tubes. Cependant, il est actuellement 3 à 4 fois plus cher à l'achat, soit environ 15 euros, qu'un ballast standard.

L'entreprise allemande GEM Deutschland propose un produit, le kit de rénovation *Retrolux*, qui permet de transformer un éclairage muni de tubes fluorescents T8 et d'un ballast ferromagnétique en un luminaire performant constitué :

- de tubes T5 qui assurent pratiquement le même éclairement pour une consommation inférieure
- d'un ballast électronique qui permet d'économiser environ 25% d'électricité et qui en outre assure un meilleur confort (pas de clignotement au démarrage, pas d'effet stroboscopique), augmente la durée de vie utile des tubes de 60 % par rapport à un

ballast ferromagnétique et améliore le facteur de puissance du luminaire ($\cos\phi=1$ au lieu de 0,8 avec un ballast ferromagnétique)

- d'un réflecteur en aluminium qui concentre le flux lumineux dans la zone désirée

Ce produit peut s'adapter sur les luminaires des salles de classe. Son montage, décrit par la figure 3.15, est simple. Il suffit en effet d'enlever les tubes en place et de les remplacer par le kit de rénovation. Cette opération, équivalente à un changement de tubes fluorescents, ne nécessite aucun recâblage.



Figure 3.15 : Procédure d'installation du kit de remplacement RETROLUX

Le kit de rénovation Retrolux permet de profiter des avantages des technologies les plus performantes (tubes T5 et ballasts électroniques) tout en conservant les luminaires en place. Il permet de réduire la puissance appelée par l'éclairage. Le tableau 3.16 résume l'économie associée à la modification des luminaires existants et précise le prix des kits de rénovation.

Luminaire en place	Kit de rénovation adapté	Consommation actuelle (W)	Consommation après rénovation (W)	Economies(%)	Prix (euros TTC)
4x18W + ballast ferromagnétique	4x14W + ballast électronique	98	64	35%	70

Figure 3.16 : Caractéristiques des kits de rénovation RETROLUX 4x14W

L'intensité lumineuse d'un tube standard (propre) de 18W muni d'un ballast ferromagnétique est de 1150 lumens, celle des tubes performants (14W) commandés par ballast électronique est de 1350 lumens. Donc lors du remplacement des tubes standards par des tubes performants (+ ballasts électroniques), le flux lumineux total sera augmenté de 17 %.

Le niveau d'éclairage a fait l'objet de relevés dans 4 salles de classe du bâtiment B. Dans chaque classe, on a effectué dix mesures d'éclairage avec les volets fermés et l'ensemble des luminaires allumés. Les points de mesures sont indiqués sur la figure 3.17.

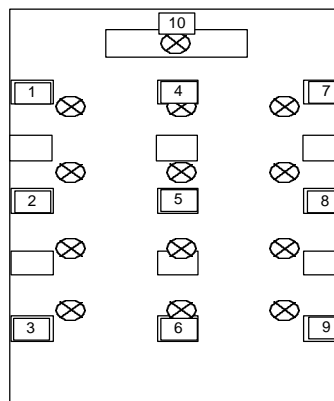


Figure 3.17 : Description des 10 points choisis pour les mesures d'éclairage

Le tableau 3.18 regroupe les résultats obtenus. L'éclairage moyen est de l'ordre de 600 lux, ce qui paraît élevé. Le fait que la tension d'alimentation soit d'environ 240V explique en partie que l'éclairage soit aussi important. Cependant, même avec une tension inférieure de 10V, le niveau d'éclairage serait encore bien supérieur à 500 lux.

Salle	Eclairage minimum (lux)	Eclairage maximum (lux)	Eclairage moyen (lux)
3115	372	890	600
2120	416	725	560
1305	472	789	624
2419	465	708	563

Figure 3.18 : Résumé des mesures de niveaux d'éclairage effectuées dans les salles de classe

Des mesures similaires ont été menées en 2001 dans différents lycées de la région PACA. A cette occasion, on avait déjà remarqué que les lycées rénovés récemment sont ceux qui présentent les niveaux d'éclairage les plus forts, phénomène qui semble se vérifier ici (le bâtiment a été rénové en 1999). Cette augmentation des niveaux d'éclairage est très liée à l'évolution des normes et recommandations utilisées par les bureaux d'études. Les valeurs préconisées varient d'une norme à l'autre. Ainsi, l'association française de l'éclairage préconise pour les salles de classe un éclairage de 300 lux, l'éducation nationale conseille 400 lux et le label Promotelec d'EDF exige 500 lux. Or il existe beaucoup d'autres éléments qui influent également sur le confort visuel (niveaux de contrastes, reflets, luminance...) et une légère diminution du niveau lumineux présente bien moins d'impact sur le confort visuel que la plupart d'entre eux. D'autre part, la médecine du travail conseille désormais un niveau d'éclairage de 220 lux pour le travail sur écran d'ordinateur. Enfin, une enquête que nous menons actuellement dans 50 bâtiments de bureaux en région PACA met en évidence l'insatisfaction croissante des usagers qui se plaignent d'un niveau excessif d'éclairage artificiel qui les amènent à arrêter l'éclairage centralisé au profit de lampes de bureau (souvent à

incandescence). Il semble donc possible de réduire le niveau d'éclairage dans les salles de classe.

GEM Deutschland propose, comme option sur les kits de rénovation Retrolux, des ballasts dimmables. Ces derniers offrent la possibilité de réduire le niveau d'éclairage à une valeur fixe ou encore de le faire varier (par exemple en fonction de l'éclairage naturel). Puisque l'utilisation de tubes T5 en remplacement des tubes T8 augmente le flux lumineux et que les salles de classe sont largement sur-éclairées, il est envisageable de réduire le niveau d'éclairage de 50%. On estime que l'économie de consommation afférente est de 50% (indication du fabricant). Ainsi, après rénovation, un luminaire appellera 32W au lieu de 98W actuellement ; sa consommation sera donc réduite de 67%. Le kit Retrolux dimmable coûte 80 euros TTC.

La rénovation de l'ensemble des luminaires des salles de cours nécessite la pose de 1049 kits de rénovation correspondant à un investissement de 83 920 euros TTC. Elle permet d'économiser 34 000 kWh/an ou encore 4 380 euros TTC/an. Le temps de retour associé à ce changement est de 19 ans.

Le temps de retour de 19 ans peut paraître important, voire rédhibitoire. Nous voudrions toutefois faire remarquer qu'il a pour principale cause un taux d'occupation des classes de seulement 43% conduisant à une durée de fonctionnement des luminaires inférieure à 500 heures par an. Le temps où les classes des lycées avaient des taux d'occupation de 80% n'est pas si loin. Qu'on nous permette ici, au risque de commettre une erreur d'évaluation grossière, de suggérer que le nombre d'heures annuel d'utilisation des classes soit doublé. Ce résultat pourrait être obtenu, soit en regroupant les élèves de plusieurs bâtiments, soit en n'utilisant qu'une partie des étages du bâtiment B. Cette disposition aurait deux conséquences immédiates : diviser par près de deux le temps de retour des solutions de rénovation de l'éclairage, et réduire de façon très conséquente la facture de chauffage. L'enjeu nous paraît mériter véritablement un examen approfondi de cette question.

Quoiqu'il en soit, on retiendra de l'analyse générale qui précède que l'utilisation de tubes T5 et de ballasts électroniques pourra être retenue lors de la construction de nouveaux bâtiments. En effet, le surcoût associé à ces technologies performantes sera alors rapidement amorti. Enfin la rénovation des luminaires permet de limiter la puissance appelée au moment de la pointe et **supprime donc tout risque de coupure de courant sans nécessité pour autant de renforcement de l'alimentation électrique du bâtiment.**

A défaut de revoir le taux d'occupation des classes, la rénovation des luminaires ainsi que l'information des usagers devraient permettre une économie sur la consommation électrique de l'éclairage des salles de classe de 35 600 kWh/an soit 4520 euros TTC/an. Si le taux d'occupation était doublé, l'économie s'élèverait à 69 500 kWh/an soit 6 950 euros TTC.

3.4.1.2 L'éclairage permanent des couloirs

L'éclairage des couloirs est réalisé par des luminaires 3 x 18W. On dénombre 37 luminaires par couloir dont :

- 15 (environ 1 sur 3) "permanents", fonctionnent de 6 à 21 heures du lundi au vendredi
- 22 sont commandés par minuterie (5 zones).

Ce qui suit attrait à l'éclairage permanent des couloirs. Le cas de l'éclairage sur minuterie sera examiné au 3.4.1.3.

3.4.1.2.1 Description de l'usage

L'éclairage permanent des couloirs fonctionne 2 760 heures/an et consomme 16 084 kWh/an. Il coûte 1 302 euros TTC/an dont 18% correspondent à l'abonnement. Il représente 20% de la consommation totale d'éclairage du bâtiment. On a observé un dysfonctionnement au cours de la campagne de mesures : pour une raison indéterminée, l'horloge n'a pas fonctionné pendant cinq jours conduisant à un fonctionnement continu de ces éclairages.

Ce mode d'éclairage permet de maintenir un éclairage d'environ 100 lux suffisant pour une circulation. Il est cependant très variable le long des couloirs car les luminaires permanents sont distants l'un de l'autre. Il présente l'intérêt, comme on le verra dans le paragraphe suivant, de considérablement limiter l'usage des luminaires sur minuterie. Cependant plusieurs points peuvent être améliorés :

- 1- La plage horaire de fonctionnement de l'éclairage paraît trop longue. En effet, l'analyse de la présence dans les couloirs montre que les trafics en dehors des heures de classe (8 à 18 heures) sont très faibles. L'éclairage permanent ne se justifie pas dans la mesure où une partie des luminaires peuvent toujours être commandés par minuterie.
- 2- Les luminaires situés au milieu et aux extrémités des couloirs fonctionnent alors que l'éclairage naturel est important. En effet, les extrémités de couloirs possèdent de grandes ouvertures et il y a au centre du bâtiment une façade de briques de verre. Ces luminaires pourraient donc être arrêtés lorsque l'éclairage naturel est suffisant.
- 3- Les luminaires existants sont des modèles standards. Ils peuvent être améliorés grâce aux technologies performantes décrites dans le paragraphe précédent mais qui sont alors bien plus rentables en raison des durées élevées d'allumage.

3.4.1.2.2 Economies envisageables

On peut apporter trois améliorations à l'installation existante.

Modification du réglage de l'horloge et correction des dysfonctionnements

L'éclairage permanent est le premier équipement sur horloge rencontré dans cette étude. On verra par la suite que beaucoup d'usages peuvent être pilotés de cette façon. Il apparaît à plusieurs titres intéressant de centraliser cette commande. En effet, cela évite la multiplication des opérations de maintenance. L'information doit être distribuée dans l'ensemble des tableaux électriques du bâtiment. Il n'y a alors plus de risque de dysfonctionnement. Il existe déjà une horloge centrale à 4 canaux, dédiée à l'éclairage dans le bâtiment B. Cependant elle ne commande actuellement que certains usages et n'est pas reliée à l'ensemble des armoires électriques du bâtiment. L'affectation horaire des différentes voies est la suivante :

- Voie 1 : 6h00 à 8h30 et 17h30 à 21h00
- Voie 2 : 6h00 à 8h30 et 17h30 à 21h00
- Voie 3 : libre
- Voie 4 : 6h00 à 21h00

La mesure préconisée est d'amener par câble l'information de ces 4 voies dans l'ensemble des armoires électriques du bâtiment afin que la possibilité de couper l'alimentation électrique d'un usage à certaines heures existe dans tout le bâtiment. Ce travail pourra être effectué par les électriciens du lycée. Dans les paragraphes suivants, on chiffrera les économies envisageables grâce à cette mesure.

Par ailleurs, la plage horaire actuelle de fonctionnement, 6 à 21 heures, est remplacée par une plage plus courte, 7h30 à 18h30, permettant une diminution des heures de fonctionnement permanent de 27%. On estime que le reste du temps les usagers utilisent l'éclairage sur minuterie. De plus, on supprime aussi l'ensemble des consommations dues aux dysfonctionnements (blocage de l'horloge). Cette mesure permet une économie de 6000 kWh/an, soit 400 euros TTC/an.

Utilisation de détecteurs crépusculaires

L'emploi de détecteurs crépusculaires est intéressant sur les deux luminaires des extrémités de couloir ainsi que sur celui du centre. On applique donc cette mesure à 12 luminaires dans le bâtiment. On utilise un détecteur crépusculaire simple pour chacun. Ce produit coûte 10 euros TTC et il faut compter 30 euros TTC pour la pose.

La mise en place de ce dispositif permet d'économiser 89% de la consommation des luminaires concernés s'ils fonctionnent 15 heures par jour (situation actuelle) ou encore 77% pour 11 heures par jour (après reprogrammation de l'horloge). De plus, ces luminaires ne fonctionneront pas au moment de la pointe ce qui réduit la puissance d'abonnement.

L'économie est de 2 250 kWh/an, soit 192 euros H.T. (dont 42 euros H.T. d'abonnement). Le temps de retour associé à cette mesure est de 2,5 ans. L'investissement et donc le temps de retour peuvent être réduits si les détecteurs crépusculaires sont posés par les électriciens de l'établissement.

Rénovation des luminaires existants grâce au kit Retrolux

On peut rénover les luminaires existants (3x18W) à l'aide d'un kit Retrolux. Cet équipement a été décrit dans le paragraphe précédent. Les caractéristiques du modèle nécessaire pour cette application sont données dans le tableau 3.19. Il s'agit d'un dispositif possédant seulement deux tubes au lieu de trois.

Luminaire en place	Kit de rénovation adapté	Consommation actuelle (W)	Consommation après rénovation (W)	Economies(%)	Prix posé (euros TTC)
3x18W + ballast ferromagnétique	2x14W + ballast électronique	80	34	58%	50

Figure 3.19 : Caractéristiques des kits de rénovation RETROLUX 2x14W

Le niveau d'éclairement est légèrement inférieur mais reste suffisant pour un éclairage de circulation.

Il est possible d'économiser 9 248 kWh/an (616 euros TTC) et la puissance à souscrire est divisée par 2,4, soit une économie supplémentaire de 133 euros TTC/an. L'investissement s'élève à 3000 euros TTC et le temps de retour est de 4 ans.

Evaluation de la solution préconisée

Les trois mesures décrites sont intéressantes. La solution consiste donc à modifier la programmation de l'horloge, commander les luminaires bénéficiant d'éclairage naturel grâce à un détecteur crépusculaire et rénover les autres grâce aux kits Retrolux.

L'économie associée est de 12 500 kWh/an (1000 euros TTC/an), ce qui correspond à une réduction de plus de 75% de la consommation actuelle. L'investissement nécessaire est de 2760 euros TTC ce qui conduit à un temps de retour de 2,8 ans.

3.4.1.3 L'éclairage des couloirs sur minuterie

3.4.1.3.1 Description de l'usage

La consommation d'éclairage des couloirs sur minuterie est 16 fois moins importante que celle de l'éclairage permanent. Avec 1 082 kWh/an (76 euros TTC/an), cet usage représente moins de 2% de la consommation totale d'éclairage du bâtiment B.

On a enregistré un seul dysfonctionnement sur l'ensemble des minuterie de tout le bâtiment : une zone du quatrième étage est restée allumée durant 20 jours (ce dysfonctionnement correspond à 53% de la consommation totale de l'éclairage des couloirs sur minuterie au cours de la période de mesure). Il semble donc que le système qui consiste à maintenir en permanence un éclairage grâce à quelques luminaires permet d'éviter le blocage des minuterie que l'on a observé pour les circulations dans plusieurs campagnes de mesures.

La durée annuelle d'éclairage varie dans un rapport de 1 à près de 6 (on ne prend pas en compte la minuterie qui est restée bloquée). La valeur moyenne est égale à 68 heures/an. Il y a deux raisons qui expliquent ces écarts. La durée des minuterie varie d'une zone à l'autre. Or, comme on le voit sur le graphique 3.20, la durée de fonctionnement augmente avec la valeur de la temporisation. Cependant, pour une même temporisation, le temps de fonctionnement peut varier du simple au triple du fait des différences de nombre d'allumages. Ainsi on observe en moyenne 1628 allumages par an par minuterie, soit environ 9 par jour de classe ou encore environ une fois par heure de présence les jours de classe. Mais les valeurs mesurées vont de 420 à 3633 allumages par an.

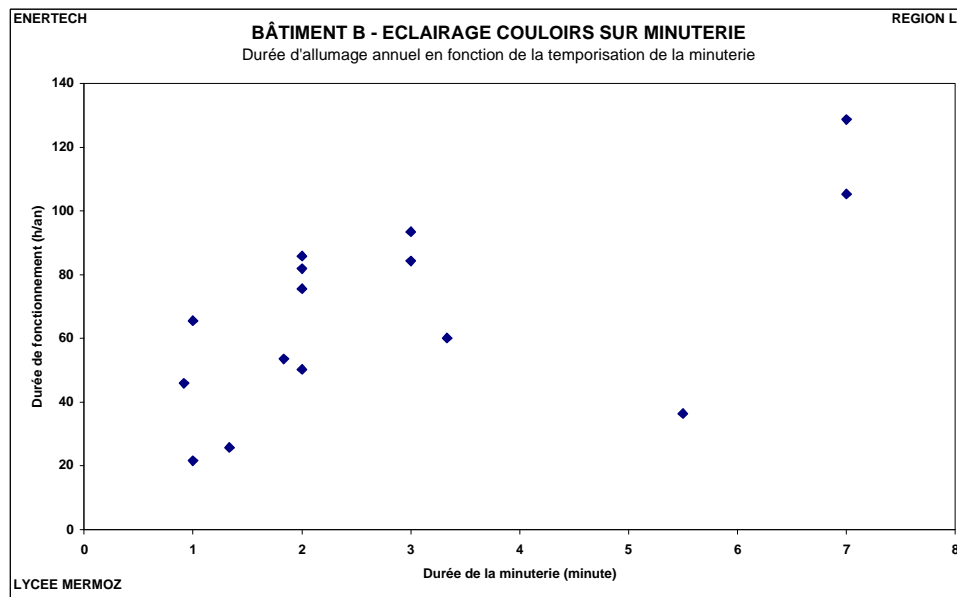


Figure 3.20 : Durée de fonctionnement annuel de l'éclairage des couloirs en fonction de la temporisation de la minuterie

3.4.1.3.2 Economies envisageables

On conseille donc de régler la temporisation de l'ensemble des minuterie à une minute. En effet, une minute est le temps qu'il faut pour aller d'une extrémité à l'autre d'un couloir d'un pas rapide. L'économie envisageable est alors de 500 kWh, soit 70% de la consommation totale de l'éclairage sur minuterie des couloirs.

3.4.1.4 L'éclairage des couloirs de la maison des lycéens

3.4.1.4.1 Description de l'usage

Cet usage, commandé par interrupteur, consomme 404 kWh/an (37 euros TTC/an), ce qui est équivalent à 40% de l'éclairage des couloirs sur minuterie des couloirs. Les luminaires installés sont des globes munis d'ampoules à incandescence (à l'exception d'un qui est équipé d'une ampoule fluocompacte). Pendant, la période de mesures, on a remarqué plusieurs oublis d'extinction la nuit.

3.4.1.4.2 Economies envisageables

On peut commander cet éclairage grâce à l'horloge centrale du bâtiment (possibilité d'éclairage entre 7 et 19 heures). En effet, nous avons installé un détecteur de présence dans ce couloir qui montre qu'il n'y a aucun passage en dehors de ce créneau horaire. De plus, on préconise de remplacer les ampoules à incandescence (60 et 75 W) par des ampoules fluo compactes de 14W. Il faut prévoir de changer 4 ampoules ce qui équivaut à un investissement de 40 euros TTC. On économise 329 kWh/an (81% de la consommation totale) ou encore 24 euros TTC/an. Le temps de retour associé est de 1,7 ans.

3.4.1.5 L'éclairage des autres locaux

3.4.1.5.1 Description de l'usage

Dans cette catégorie, on prend en compte l'ensemble des locaux autres que les salles de classe, à savoir les locaux de la vie scolaire, la maison des lycéens, la salle « machines outils » du rez-de-chaussée, le local offset, la salle des professeurs, les locaux entretien.... Les durées d'éclairage de la plupart de ces locaux sont supérieures à celles observées dans les salles de classe ce qui paraît normal du fait d'un taux d'occupation plus élevé.

La consommation pour l'ensemble de ces locaux est égale à 6 182 kWh/an, soit 612 euros TTC/an. La part de l'abonnement est de 29%. Ce poste, avec 8% de la consommation totale d'éclairage, est le troisième plus consommateur après l'éclairage des salles de classe et celui des couloirs. Cependant, vu les durées d'éclairage (inférieures pour la plupart à 1 500 heures/an) et le type de luminaires employés (principalement des 4x18W), comme dans le cas des salles de classe, le kit de rénovation Retrolux conduit à des temps de retour supérieurs à 10 ans.

3.4.1.6 L'éclairage des sanitaires

3.4.1.6.1 Description de l'usage

A l'exception du premier étage, on trouve deux blocs de sanitaires par étage. Au rez-de-chaussée, ils ne bénéficient d'aucun éclairage naturel. Par contre dans les étages, la façade des ces locaux est en briques de verre. L'éclairage est commandé à l'aide de plusieurs horloges dont les horaires de programmation sont :

- Rez-de-chaussée et 3^{ème} étage est : 6 à 21 heures
- 2nd étage ouest, 3^{ème} étage ouest, 4^{ème} étage ouest et 4^{ème} étage est : 6 à 8 h30 et 17h30 à 21 heures (horaires variables en fonction de la saison)
- 3^{ème} étage est : éclairage branché sur la minuterie du couloir

Les luminaires installés sont des 2x36W à ballasts ferromagnétiques. Les sanitaires de la maison des lycéens sont éclairés par des globes commandés par des interrupteurs. Le remplacement des ampoules à incandescence par des fluo compactes est en cours.

L'éclairage des sanitaires consomme 3 115 kWh/an et coûte 291 euros TTC/an.

3.4.1.6.2 Economies envisageables

Sanitaires des étages

Comme ces sanitaires bénéficient d'un éclairage naturel important, la durée d'éclairage pourrait être réduite. Ainsi, on propose d'ajouter au dispositif actuel (horloge), un détecteur crépusculaire par bloc. Cette mesure permet d'économiser 919 kWh/an, soit 54 euros TTC/an. Elle revient à 240 euros TTC pose comprise (6 détecteurs crépusculaires) et conduit donc à un temps de retour de 4,4 ans.

Sanitaires du rez-de-chaussée

Pour éviter de maintenir un éclairage permanent pendant 15 heures par jour, on peut commander l'allumage grâce à un détecteur de présence. On installera un détecteur par bloc et on optera pour une temporisation longue de l'ordre de 10 minutes afin d'éviter qu'une personne dans une cabine ne se retrouve dans l'obscurité.

Connaissant le trafic grâce aux mesureurs de présence qu'on a installés dans les blocs, on peut estimer l'économie associée à l'installation de détecteurs de présence à 55% de la consommation actuelle, soit 827 kWh/an ou encore 56 euros TTC/an. Le coût d'un détecteur posé est d'environ 60 euros TTC et on prévoit un détecteur par bloc. Le temps de retour est donc de 2,2 ans.

3.4.1.7 L'éclairage des escaliers

3.4.1.7.1 Description de l'usage

Le bâtiment compte 4 montées d'escaliers qui bénéficient d'un éclairage naturel important. L'éclairage se fait grâce à des appliques équipées d'ampoules fluo compactes commandées par des minuteries. La consommation annuelle est très faible, de l'ordre de 338 kWh/an (31 euros TTC/an).

L'éclairage fonctionne en moyenne 101 heures par an mais là encore les durées sont très différentes d'une cage à l'autre, variant entre 26 et 228 heures. Le nombre moyen d'allumages par an est égal à 2075 (12 allumages par jour de classe). Le graphique 3.21 décrit les variations de la durée annuelle d'éclairage en fonction de la minuterie. Là encore, plus la durée de la minuterie augmente plus la consommation est élevée.

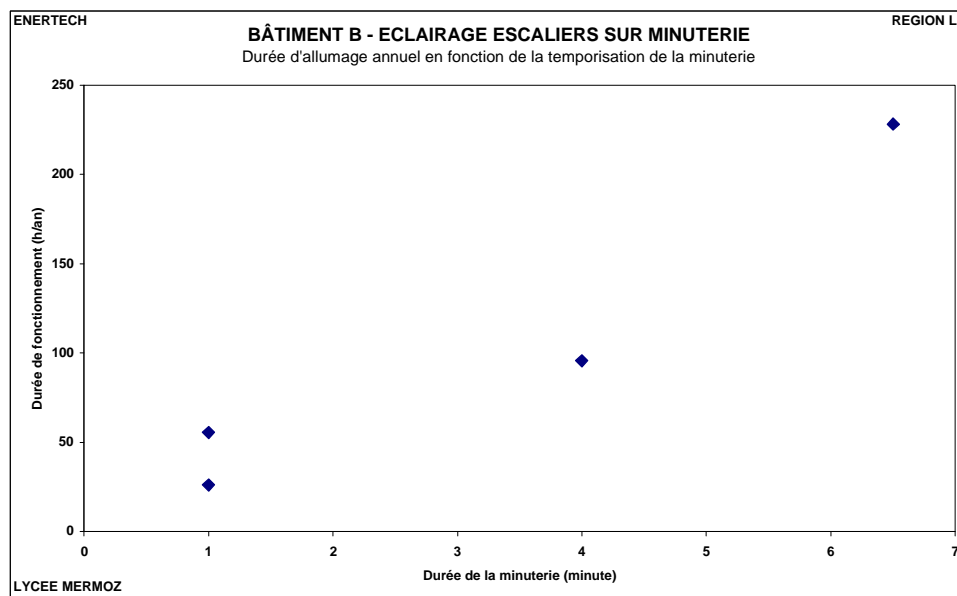


Figure 3.21 : Durée de fonctionnement annuel de l'éclairage des escaliers en fonction de la temporisation de la minuterie

3.4.1.7.2 Economies envisageables

On conseille donc de régler la temporisation de l'ensemble des minuteries à une minute. L'économie associée à cette mesure est égale à 200 kWh/an, soit 65% de la consommation initiale de cet usage.

3.4.1.8 L'éclairage des préaux

Comme dans le cas des couloirs, une partie de l'éclairage des préaux est commandée par horloge et le reste est sur minuterie. L'ensemble des luminaires du préau du 4^{ème} étage est sur minuterie. L'éclairage sur horloge des rez-de-chaussée, 2nd et 3^{ème} étage fonctionne entre 6 et 8h30 et 17 et 21 heures (ces créneaux varient en fonction de la saison). La consommation de cet usage est égale à 1 028 kWh/an, soit 99 euros TTC/an. Comme dans le cas des autres usages sur minuterie, la durée de fonctionnement varie en fonction de la temporisation. On veillera donc à régler l'ensemble des minuteries à une minute. Vu les durées de fonctionnement, on ne procèdera à aucune modification pour cet usage.

3.4.2 L'informatique

L'informatique est, avec 28% de la consommation du bâtiment B, le second poste le plus important. Sa consommation annuelle s'élève à 62 041 kWh/an soit 4 129 euros TTC/an.

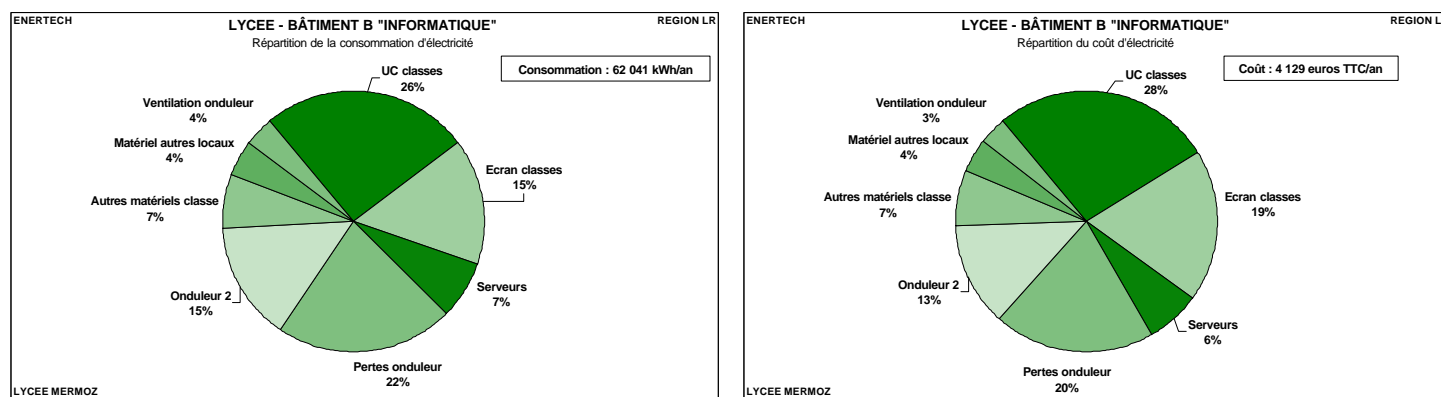


Figure 3.22 : Répartition de la consommation (énergie et coût) du poste informatique

Les 2/5 de cette consommation ou encore plus du tiers du coût de l'usage sont en fait des pertes. Comme on le voit sur le graphique 3.23, la consommation pendant les heures de classe représentent seulement un quart du total (pertes comprises).

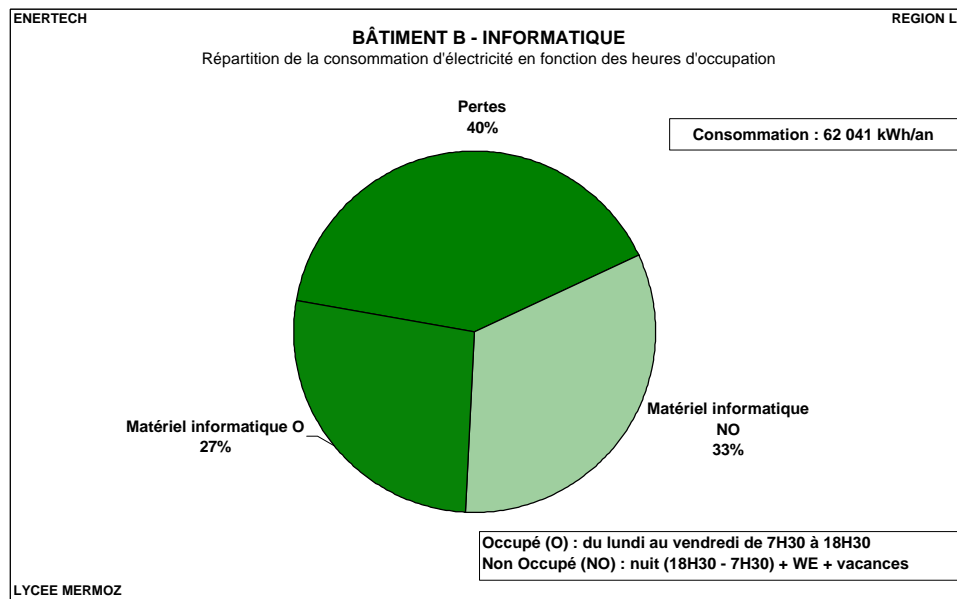


Figure 3.23 : Répartition de la consommation du poste informatique en fonction des heures d'occupation

3.4.2.1 L'onduleur

3.4.2.1.1 Description de l'usage

Le bâtiment B est équipé d'un onduleur central de type EDP80 fabriqué par la société Chloride et installé en 1999. Sa puissance maximale est de 80 kVA soit une capacité d'alimentation d'environ 64 kW d'appareils informatiques permettant l'alimentation d'environ 400 ordinateurs.

Le réseau secouru dessert l'ensemble des armoires d'étages et de là, toutes les salles disposant de matériel informatique. En règle générale, un coffret électrique d'alimentation est alors prévu par salle et des prises réseau normal et secouru (rouges) sont installées sur l'ensemble de la périphérie de la pièce.

L'onduleur est de type On-Line, c'est à dire que la totalité de la puissance transmise est convertie et remise en forme en permanence (les modèles plus simples ne s'activent et prennent la main que lors des défauts réseaux). Une armoire de batteries de forte capacité (400V 56Ah) est située à proximité de l'onduleur et permet l'alimentation des charges pendant environ 10 minutes à pleine puissance. Un bypass automatique est prévu en cas de défaut de l'onduleur et le réseau secouru est alors alimenté par le réseau normal via un transformateur (afin de garantir l'isolation galvanique du réseau ondulé comme lorsque l'onduleur fonctionne normalement). Ce transformateur sec, installé dans un petit local proche, est alimenté en permanence.

L'onduleur fonctionne la grande majorité du temps à très faible charge de sortie : il alimente alors les quelques serveurs, ordinateurs et écrans allumés, ainsi que les consommations de veille. Pendant 75% du temps, la puissance de sortie fluctue entre 2 et 3 kW (soit 3 % de la puissance nominale de l'onduleur). Durant les heures de classe et en particulier les matins, la puissance appelée en sortie s'établit entre 8 et 10 kW (correspondant à environ 75 postes de travail allumés simultanément).

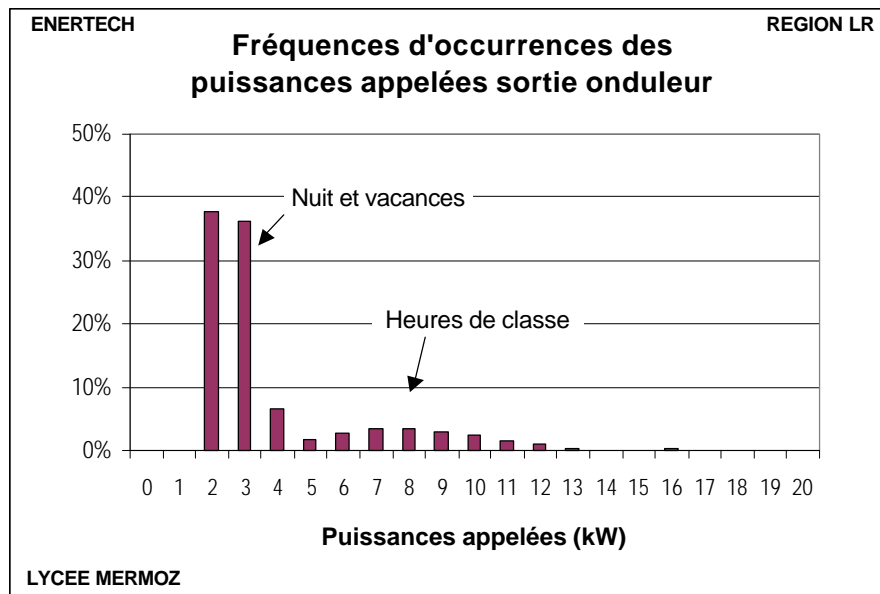


Figure 3.24 : Fréquence d'occurrence des puissances appelées en sortie de l'onduleur du bâtiment B

La puissance maximale observée sur la période de mesure (voir figure 3.24) atteint 15 kW (moyenne sur 10 minutes). Elle reste donc très inférieure à la puissance nominale de l'onduleur et laisse ainsi un facteur de sécurité de plus de 4. Un facteur de sécurité de 2 semble suffisant mais il convient de tenir également compte de l'évolution prévisible du parc informatique d'une part et des caractéristiques d'alimentation des ordinateurs (facteur de crête et facteur de puissance) qui tendent à fortement diminuer la puissance maximale que l'onduleur peut réellement alimenter. Ce dernier paramètre devrait pourtant être influencé de manière favorable suite aux évolutions des normes en la matière.

L'onduleur est un modèle récent et de bonne qualité. Son efficacité nominale est, comme on le voit sur le graphique 3.25, proche de 90%. Cependant, compte tenu du mode d'utilisation, ses pertes sont très importantes. En effet, utilisé à très faible taux de charge, son rendement moyen reste très bas. Pour une année entière, les pertes onduleur atteignent 13 710 kWh soit 833 euros. C'est une part très importante de la consommation informatique (22%) et il convient de lui ajouter les consommations de ventilation de l'onduleur (2278 kWh par an) ainsi que l'alimentation du transformateur pour le mode secours. En effet, ce dernier transformateur est raccordé en permanence au réseau. D'une puissance importante (80 kVA) et de technologie "sec", il présente des pertes élevées, supérieures à 1 kW et fluctuant selon les variations de tension du bâtiment. Il entraîne également une forte consommation d'énergie réactive (puissance réactive de 8,4 kVar) qui contribue à dégrader le facteur de puissance du bâtiment B et à augmenter inutilement l'appel de courant au niveau du TGBT.

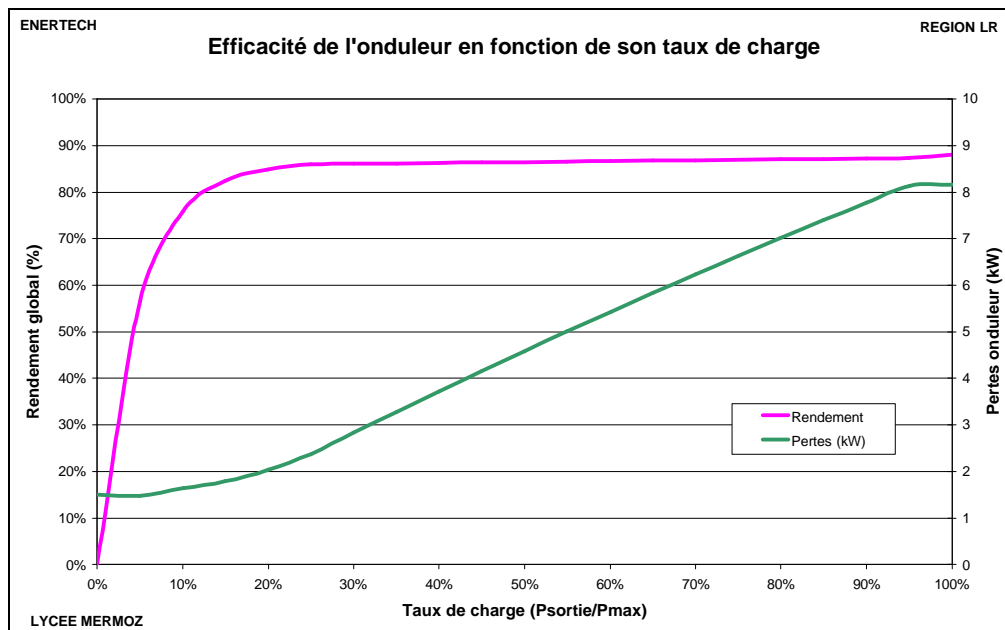


Figure 3.25 : Efficacité de l'onduleur en fonction de son taux de charge

L'onduleur a été fortement sollicité au cours des années précédentes en raison des disjonctions fréquentes de l'alimentation électrique. Depuis que les ventilations ne sont plus alimentées par cette arrivée mais raccordées sur un tableau du bâtiment C, il n'y a plus eu de dépassement de puissance. Durant la période de mesures, l'alimentation du bâtiment B n'a subi aucune interruption, même brève (micro coupure), à l'exception de l'arrêt programmé le 03 mars pour maintenance du poste de transformation.

3.4.2.1.2 Economies envisageables

La solution d'un onduleur centralisé comme dans le bâtiment B représente un investissement lourd et entraîne des coûts de fonctionnement élevés, tant en ce qui concerne la maintenance (notamment le remplacement périodique des batteries) que pour les dépenses d'énergie.

En présence d'un réseau électrique de bonne qualité, en centre ville, très peu sujet à des coupures de courant, il y a lieu de s'interroger sur la pertinence d'un onduleur pour l'alimentation de l'ensemble du parc informatique. N'est-il pas préférable d'enseigner les bonnes pratiques de sauvegardes régulières des données pour éviter les désagréments dus aux coupures ? La sécurité de l'alimentation des ordinateurs en période d'examen par exemple n'est de toute façon pas assurée à l'heure actuelle car une partie du parc informatique n'est pas reliée au réseau secouru mais branchée sur des prises classiques.

En réalité, la mise en place de petits onduleurs (très bon marché car fabriqués en série), bien dimensionnés et alimentant uniquement les appareils qui le nécessitent (tels que certains serveurs) pourrait être une solution simple et peu coûteuse permettant de réduire les consommations considérables dues aux pertes des onduleurs centralisés. A défaut, on préconisera au minimum l'arrêt des gros onduleurs durant les vacances (sachant que les opérations d'arrêt et surtout de remise en route de ces appareils sont toujours délicates...)

Si on supprime l'onduleur, l'économie est de 13 710 kWh/an ou encore de 832 euros TTC/an (749 euros de consommation et 83 euros d'abonnement, sans compter la suppression des coûts de maintenance). Si on l'arrête pendant l'ensemble des vacances scolaires, on peut réduire sa consommation de 4579 kWh/an (218 euros TTC/an). Enfin, si on ne le coupe que pendant les grandes vacances, l'économie est de 2419 kWh/an.

La suppression de l'onduleur nécessite de revoir le schéma de protection du réseau dit "ondulé", pour une alimentation directe par le secteur. Une entente avec le bureau de contrôle est nécessaire mais les protections en place devraient permettre la modification sans investissement supplémentaire.

L'alimentation du transformateur pour le mode secours ne paraît pas indispensable dans la mesure où on n'observe plus de coupures de courant. En effet, cet équipement a probablement été installé pour pallier aux dysfonctionnements observés après les coupures de courant. A ce moment, l'onduleur doit à la fois alimenter le réseau et recharger ses batteries, ce qu'il ne parvenait probablement pas à faire. On peut donc maintenant couper ce transformateur et ne l'utiliser qu'en cas de panne de l'onduleur. L'économie correspondante est égale à 9 018 kWh/an, soit 526 euros TTC/an (dont 8% correspond à l'abonnement). Le courant absorbé au tableau du bâtiment B est par ailleurs réduit d'au moins 5 ampères par phase (sur une capacité disjoncteur de 200A) par cette simple mesure.

3.4.2.2 Les ordinateurs

Tout ce qui suit attrait exclusivement aux équipements informatiques des salles de classe.

3.4.2.2.1 Description de l'usage

Au total, 25 ordinateurs ont été suivis dans les salles de classe à l'aide de Pcmètres et de wattmètres. Grâce à ces mesureurs, nous connaissons pour ces postes la durée d'utilisation (clavier et souris) ainsi que la durée de fonctionnement des écrans et unités centrales. Le graphique 3.26 donne un exemple des données obtenues. Sur cet exemple, on voit tout d'abord que l'écran et l'unité centrale consomment de l'énergie quand ils sont arrêtés (5,3W pour l'écran et 2W pour l'unité centrale). A 8 heures, l'ordinateur est allumé par l'utilisateur. Il est ensuite utilisé jusqu'à 10 heures puis ne l'est plus jusqu'à 14 heures. Cependant, à la fois l'unité centrale et l'écran restent en marche pendant cette période de non utilisation. A 14 heures, l'ordinateur est arrêté. On aurait donc pu économiser l'énergie consommée par l'ordinateur entre 10 et 14 heures (période de non utilisation).

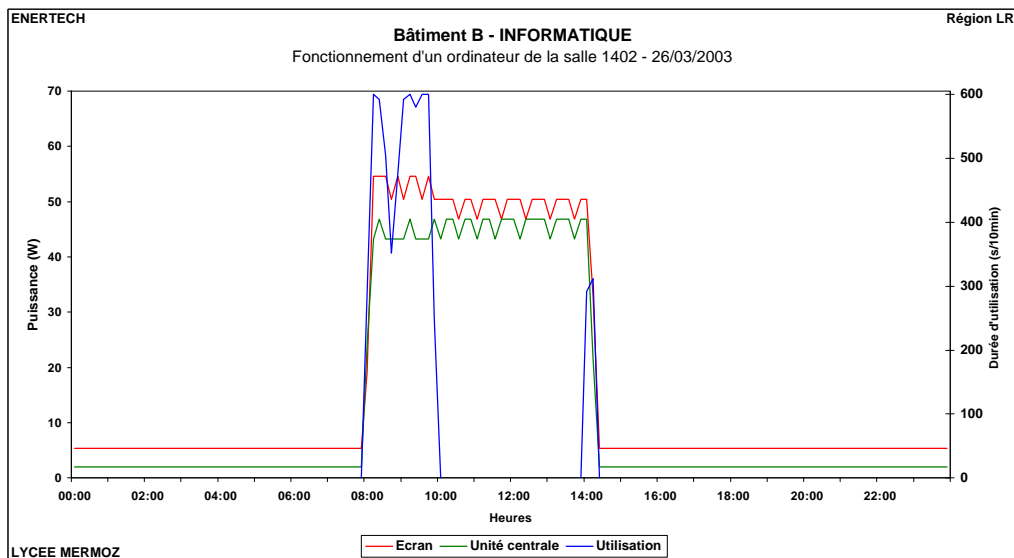


Figure 3.26 : Comparaison du fonctionnement et de l'utilisation d'un ordinateur – salle 1402, le 26/03/03

Les Unités centrales

La consommation des unités centrales est égale à 16 003 kWh/an ce qui équivaut à un coût de 1 129 euros TTC/an (dont 18% d'abonnement).

Le graphique 3.27 présente l'histogramme des consommations de l'ensemble des unités centrales suivies. On note une grande dispersion : certaines unités centrales consommant 3 kWh/an alors que d'autres consomment près de 300 kWh/an. En moyenne, les unités centrales consomment 73 kWh/an. On observe aussi que les deux unités centrales les plus consommatrices n'ont pratiquement pas été utilisées : leur consommation pourrait être en presque totalité supprimée !

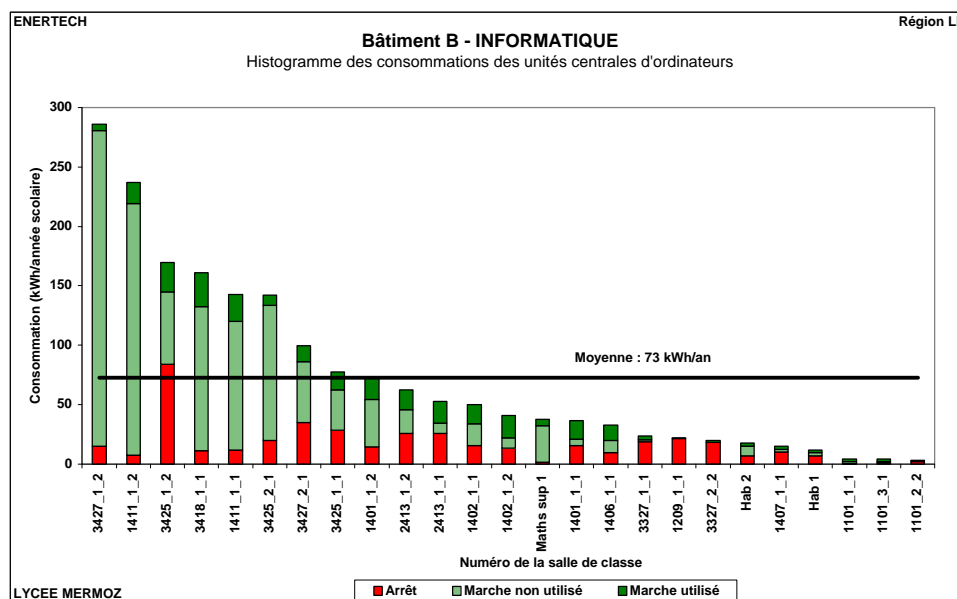


Figure 3.27 : Histogramme des consommations des unités centrales suivies

Les écrans

La consommation des écrans s'élève à 9598 kWh/an (779 euros TTC/an), soit 40% de moins que celle des unités centrales. Le graphique 3.28 présente l'histogramme des consommations des écrans suivis. La consommation moyenne d'un écran est égale à 44 kWh/an. Là encore on observe une grande dispersion des consommations (entre 3 et 98 kWh/an).

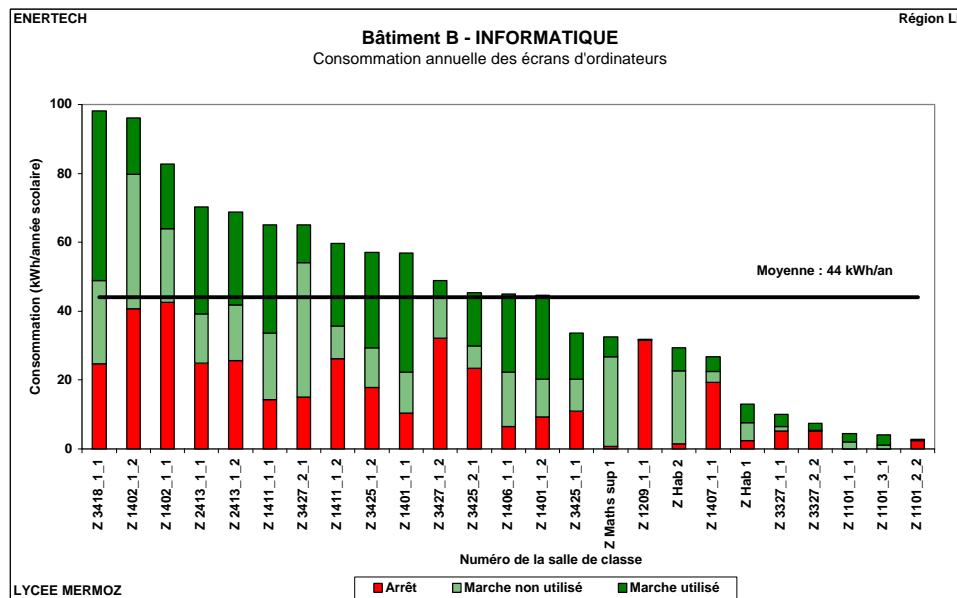


Figure 3.28 : Histogramme des consommations des écrans d'ordinateurs

Nous allons nous attacher dans ce qui suit, à analyser et étudier le mode de fonctionnement des machines pour mieux appréhender le contour des gisements d'économie.

Durée d'utilisation des ordinateurs

Les écarts de consommation observés s'expliquent tout d'abord par des durées d'utilisation très diverses. Comme on le voit sur le graphique 3.29, 45% des ordinateurs sont utilisés moins de 150 heures par an et 45% plus de 350 heures.

Remarque : par utilisation, on entend que soit la souris, soit le clavier est utilisé (avec un délai de 60 secondes après la dernière activation).

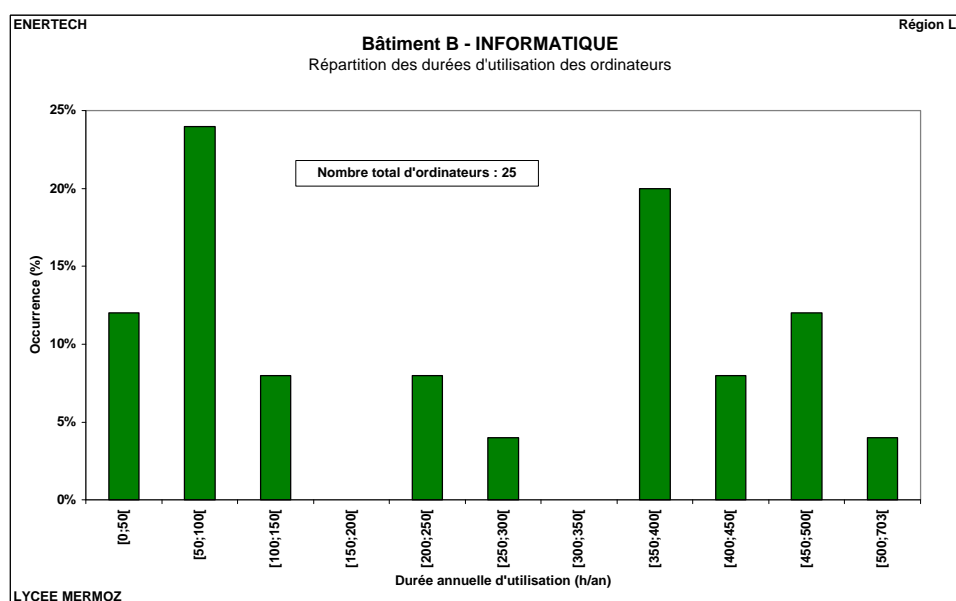


Figure 3.29 : Répartition des durées d'utilisation des ordinateurs

Répartition de la consommation d'un ordinateur

L'unité centrale et l'écran peuvent se trouver dans cinq états :

- *arrêt sans consommation* : l'équipement informatique est arrêté et débranchée, il ne consomme pas d'énergie
- *Arrêt avec consommation de veille* : l'équipement a été arrêté mais son alimentation n'est pas interrompue, le transformateur reste alimenté et consomme donc de l'énergie.
- *Marche avec utilisation* : l'équipement est allumé et l'utilisateur l'utilise (définition de l'utilisation vue plus haut)
- *Marche sans utilisation* : l'équipement est allumé et l'utilisateur ne s'en sert pas
- *Marche en veille* : l'équipement est allumé et le gestionnaire d'énergie est activé. Le gestionnaire d'énergie est un dispositif permettant, après un délai de non utilisation fixé par l'utilisateur, de placer automatiquement un équipement en mode veille, ce qui permet une réduction très importante de la consommation. Le gestionnaire d'énergie le plus répandu est Energy Star. Il est installé sur toutes les machines vendues depuis 1999.

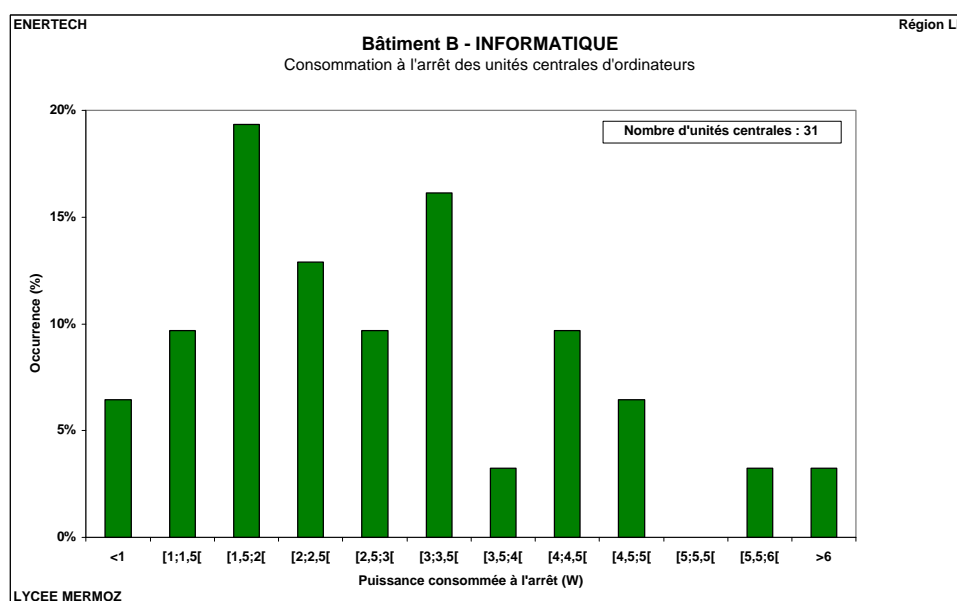
Les puissances moyennes (W) mesurées dans les cinq modes sont (échantillon de 23 ordinateurs) :

	Arrêt avec interrupteur sur l'alimentation	Arrêt avec consommation de veille	Marche avec utilisation	Marche sans utilisation	Gestionnaire d'énergie actif ⁽¹⁾
Unité centrale	0	3	50,0	50,0	27,0
Ecran	0	2,7	64,4W	64,4	5,7

(1) : moyenne pour 12 unités centrales et 20 écrans

Dans cette étude, nous n'avons pas identifié d'unités centrales dans le dernier état cité. Ainsi, 39% des ordinateurs ne possèdent pas de gestionnaire d'énergie. De plus, pour les ordinateurs qui sont munis d'un gestionnaire, il est activé sur seulement 27% des unités centrales et 55% des écrans.

Toutes les unités centrales suivies possèdent une consommation à l'arrêt. En moyenne, cette consommation s'élève à 17 kWh/an soit 23% de la consommation totale. Dans certains cas, cette consommation est très faible, car le courant est coupé quand la salle n'est pas utilisée (cas de la salle 1101). Cependant, dans la plupart des salles cette disposition n'est pas adoptée. Les puissances appelées dans cet état varient d'une unité centrale à l'autre. Les valeurs observées dans notre échantillon sont données sur le graphique 3.30. La valeur moyenne de la veille est de 3,0 W, 48% des valeurs sont inférieures à 2,5 W mais on a relevé une veille de 11,6 W !



Graphique 3.30 : Répartition des consommations de veille des unités centrales

La consommation des unités centrales en marche avec utilisation est en moyenne de 11 kWh/an, soit 15% de leur consommation totale. Le reste doit donc être considéré comme de l'énergie perdue. La consommation en marche sans utilisation s'élève à 45 kWh/an. Cette part est le maximum théorique que l'on peut économiser par l'utilisation d'un gestionnaire d'énergie. Cependant, si on étudie les cycles d'utilisation d'un ordinateur on s'aperçoit que l'on n'utilise pas en permanence le clavier et la souris et qu'il est donc impossible d'arrêter immédiatement l'ordinateur à chaque non-utilisation. On a observé que certaines unités centrales étaient restées allumées pendant plusieurs jours. C'est le cas notamment de celle qui consomme le plus (salle 3427) qui a fonctionné sans arrêt pendant 15 jours.

En ce qui concerne les écrans, près des 2/3 (28 kWh/an) de leur consommation correspond à un état de marche. Contrairement au cas des unités centrales, plus de la moitié de cette énergie, soit en moyenne 15kWh/an, coïncide avec une utilisation de l'ordinateur (clavier ou souris). Il apparaît donc que l'extinction des écrans en cas de non-utilisation est plus fréquente que celle des unités centrales ce qui est légitime. Il faut à ce sujet rappeler qu'on

peut sans conséquence néfaste éteindre son écran plusieurs fois par jour tout en laissant fonctionner l'unité centrale (pendant l'exécution de tâches par exemple).

Comme dans le cas des unités centrales, il existe une consommation de veille quand l'écran est arrêté. Cependant, il faut noter que sur certains écrans, il est possible de couper l'alimentation électrique (la consommation étant alors égale à zéro) grâce à l'interrupteur. Généralement, sur les ordinateurs les plus récents, les interrupteurs ont été remplacés par des boutons poussoirs. Or si le poussoir de l'écran est actionné pour l'arrêter, il subsiste comme dans le cas des unités centrales une consommation de veille.

Plus de la moitié des écrans suivis dans les classes du bâtiment B sont munis d'interrupteurs et la puissance moyenne consommée à l'arrêt par les écrans équipés de poussoir est égale à 2,7W. Enfin, la consommation moyenne de veille à l'arrêt des écrans est égale à 16 kWh/an (cette valeur s'applique à l'ensemble du parc suivi, avec et sans consommation à l'arrêt).

3.4.2.2 Economies envisageables

Deux mesures peuvent permettre de réduire la consommation des ordinateurs :

- La coupure physique de l'alimentation électrique (par un interrupteur à poser) quand elles ne sont pas utilisées
- L'activation du gestionnaire d'énergie

Coupure de l'alimentation électrique en cas de non utilisation

On a vu que la consommation de la grande majorité des unités centrales et des écrans n'était jamais nulle. De plus certains ordinateurs marchent alors qu'ils restent de longues périodes sans être utilisés. Pour supprimer ces consommations, il est possible et très efficace de couper l'alimentation électrique de la salle de classe quand elle n'est pas utilisée. Cela est déjà réalisé dans certaines classes, comme par exemple la 1101 à l'aide du bouton d'arrêt d'urgence placé sur le coffret électrique d'alimentation des prises sur réseau ondulé. Cette disposition présente aussi l'avantage de supprimer tout risque d'incendie puisque plus aucun appareil n'est alors sous tension. On peut généraliser l'utilisation de l'arrêt d'urgence pour couper l'alimentation électrique des salles à chaque fin de cours. Cette mesure est simple à mettre en œuvre et gratuite mais elle suppose une implication des professeurs. En revanche, elle interdit de laisser la moindre prise sous tension pour un appareil qui le nécessiterait vraiment (serveur par exemple).

On peut sinon installer un dispositif qui commande la mise sous tension à l'aide d'une clé. Le professeur actionne cette commande au début et à la fin du cours. Cela permet aussi de restreindre l'accès aux ordinateurs aux seules personnes autorisées. Il faut compter environ 30 euros par salle pour installer ce dispositif. Parfois, certains équipements doivent fonctionner en permanence. Dans ce cas, on conservera une prise alimentée en permanence et le reste des équipements sera coupé. On estime que ce recâblage coûte 60 euros TTC par salle. On fait l'hypothèse que dans quatre salles, il est nécessaire de conserver une alimentation électrique en permanence. Si on utilise les arrêts d'urgence pour couper l'alimentation électrique des autres salles, l'investissement s'élèvera à 240 euros. Si on préfère généraliser le système à clé à l'ensemble des salles, l'opération reviendra à 540 euros TTC.

Economies pour les unités centrales

En première approximation, on peut faire l'hypothèse que les unités centrales ne seront jamais utilisées entre 19 heures et 7 heures ainsi que les week-ends et vacances. L'arrêt pendant ces périodes conduit à une économie de 9131 kWh/an, soit 57% de leur consommation totale ! Le montant économisé est égal à 459 euros TTC/an.

Cependant, comme on l'a vu les salles ne sont pas occupées en permanence, l'économie devrait donc être supérieure. Dans deux salles informatiques, on a placé des mesureurs de présence. Si on corrèle la consommation de la salle à la présence, on voit que l'on peut économiser 14% de plus qu'avec l'arrêt décrit précédemment dans une des salles (3427) et 12% dans la seconde (3418). On peut donc de façon réaliste espérer réaliser, avec le dispositif de coupure centralisée, une économie 10% supérieure, soit 10 045 kWh/an ou encore 505 euros TTC/an.

Economies pour les écrans

La coupure de l'alimentation électrique des salles de classe quand elles ne sont pas utilisées doit permettre d'économiser 3 485 kWh/an sur la consommation des écrans, soit 175 euros TTC/an.

Activation du gestionnaire d'énergie

Le gestionnaire d'énergie permet de réduire la consommation d'énergie d'un ordinateur après un certain délai de non-utilisation fixé par l'utilisateur. Plus d'un tiers des ordinateurs du bâtiment B, trop anciens, ne possède pas ce dispositif qui est pourtant généralisé sur les modèles récents. On conseille de régler les paramètres « mise en veille du moniteur » et « arrêt des disques durs » à 15 minutes.

On voit sur la figure 3.31 que le gestionnaire d'énergie permet une économie sur la consommation des unités centrales variant de 21% à 23% en fonction du paramétrage du gestionnaire d'énergie (pour ce calcul on a estimé que toutes les unités centrales possédaient un gestionnaire d'énergie ce qui n'est en réalité pas le cas). Il n'est donc pas nécessaire de choisir un délai de temporisation trop court qui risquerait de gêner les utilisateurs sans pour autant augmenter réellement l'économie. L'économie envisageable est importante car rappelons qu'on a observé plusieurs unités centrales qui fonctionnaient des journées entières sans être utilisées.

L'usage du gestionnaire d'énergie pour les écrans paraît dans le cas des salles de classes moins intéressant que pour les unités centrales. En effet, comme on l'a remarqué précédemment les usagers éteignent très souvent leur écran quand ils ne l'utilisent pas. L'économie avec un délai d'activation de 20 minutes est de 11%. Elle augmente par contre sensiblement quand le délai d'activation diminue. Il faudra donc veiller à choisir pour les écrans le délai d'activation le plus court possible mais qui bien-sûr ne provoque pas de gêne pour l'utilisateur.

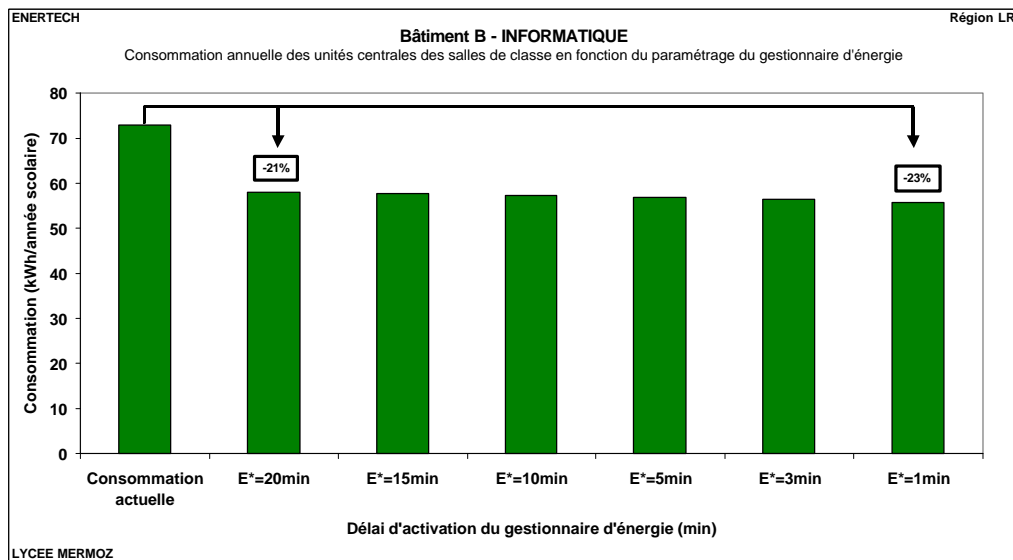


Figure 3.31: Consommation annuelle des unités centrales en fonction du paramétrage du gestionnaire d'énergie

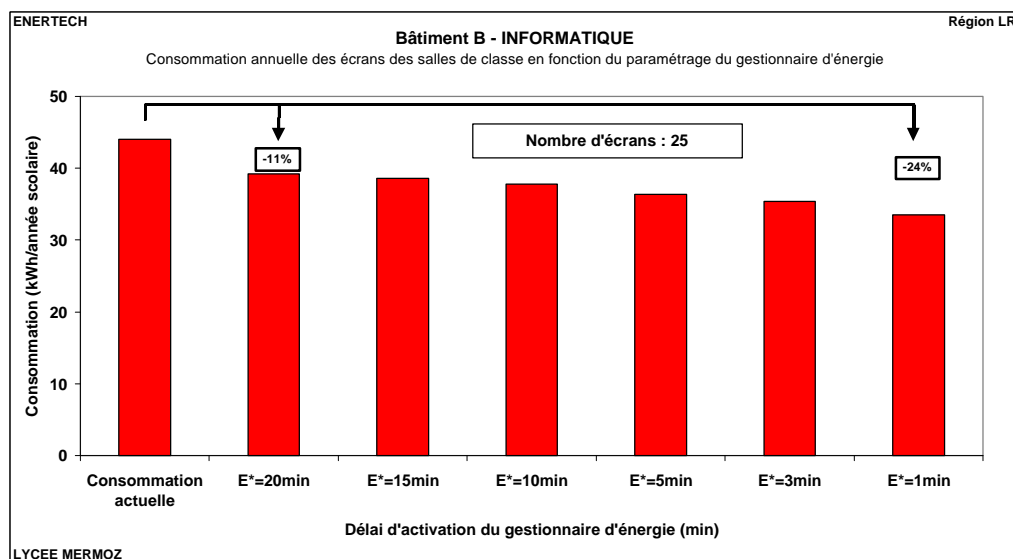


Figure 3.32 : Consommation annuelle des écrans en fonction du paramétrage du gestionnaire d'énergie

L'intérêt du gestionnaire d'énergie est plus limité dans le cas de salles de classe que pour des bureaux. En effet, on a observé ici que la majeure partie du temps, les ordinateurs sont allumés en début de cours et arrêtés à la fin. Ils fonctionnent rarement pendant des journées entières. Cependant l'activation systématique du gestionnaire d'énergie pourrait constituer une sécurité au cas où les habitudes se relâcheraient et ceci est d'autant plus fondé que le coût du gestionnaire d'énergie est nul. Enfin, il ne faut pas oublier qu'il est encore bien préférable de couper totalement les ordinateurs dès qu'on n'en a plus besoin. Dans ce cas, le gestionnaire d'énergie n'apporte plus beaucoup d'économie supplémentaire.

3.4.2.3 Les autres équipements informatiques

3.4.2.3.1 Description de l'usage

Dans les salles de classe, on dénombre 52 imprimantes, 2 scanners et une dizaine de hubs. La consommation globale de ces équipements s'élève à 4 273 kWh/an (279 euros TTC/an), soit 6 fois moins que celle des ordinateurs.

3.4.2.3.2 Economies envisageables

Comme les unités centrales et les écrans, ces équipements pourraient être coupés quand ils ne sont pas utilisés. On voit en effet sur le graphique 3.33, que certains équipements n'ont pas été utilisés une seule fois sur l'ensemble de la période de mesure et que la totalité de leur consommation correspond à un état d'attente. Au contraire, certains appareils ne sont mis en marche que s'ils doivent accomplir une tâche.

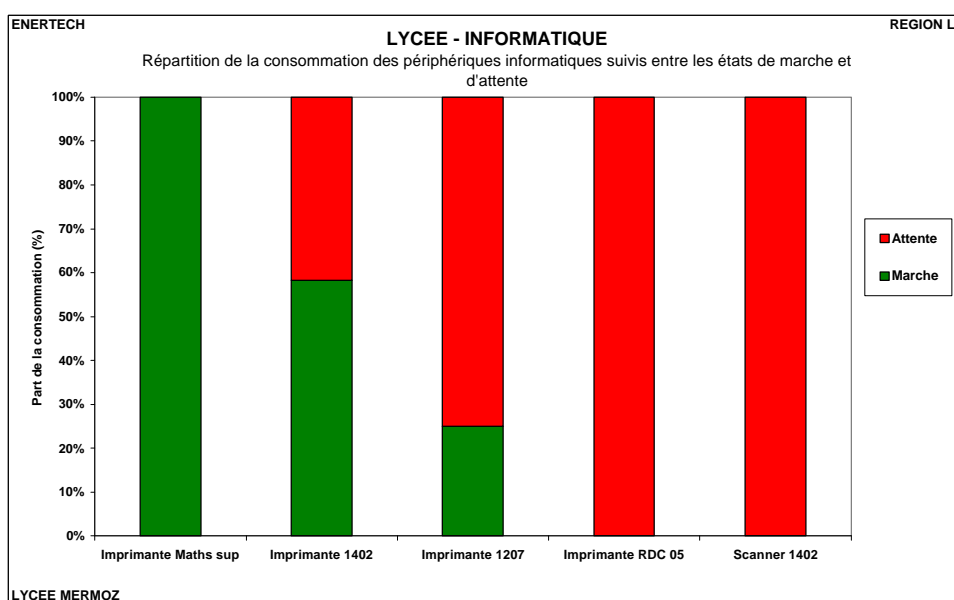


Figure 3.33 : Répartition de la consommation des périphériques informatiques suivis entre les états de marche et d'attente

Si on utilise le système de coupure générale au niveau de la salle de classe, on peut économiser 3 011 kWh/an ce qui équivaut à 182 euros TTC/an.

La coupure de l'alimentation électrique en dehors des périodes d'utilisation des salles de classe est une mesure très rentable. Elle permet d'économiser (tous matériels confondus) 16 541 kWh/an soit 55% de la consommation des ordinateurs et périphériques ou encore 27% de celle du poste informatique du bâtiment B. Le montant économisé correspondant est égal à 862 euros TTC. Que l'on choisisse la coupure par l'arrêt d'urgence ou l'ajout d'interrupteur à clé, l'investissement sera amorti en moins d'un an.

3.4.2.4 Les serveurs

3.4.2.4.1 Description de l'usage

On rencontre majoritairement deux types d'installations informatiques dans le bâtiment B. Dans le premier type, les salles sont équipées de postes simples, généralement tous similaires et le plus souvent reliés par un réseau interne. Dans le second, les salles sont équipées de matériels plus sophistiqués tels que des serveurs centraux, des réseaux et sous-réseaux munis de passerelles (hubs ou switches) pour communiquer avec les réseaux intranet et internet. Ces dernières salles sont peu nombreuses. Elles sont situées au 4ème étage du bâtiment et servent plutôt aux formations spécialisées telles que les BTS.

Les serveurs contiennent des données et programmes susceptibles d'être utilisés par tous les utilisateurs des réseaux auxquels ils sont connectés. C'est pourquoi ils doivent être disponibles à tout moment (nuits et vacances compris si les serveurs contiennent des données qui peuvent être utilisés par les élèves à distance via internet par exemple) et ne sont jamais arrêtés. Souvent, une affichette signale explicitement qu'un ordinateur (un serveur ne se distingue pas d'un ordinateur classique) est utilisé comme serveur et ne doit pas être éteint.

Quatre serveurs ont été recensés dans le bâtiment B. Leur puissance électrique totale (unité centrale + écran) avoisine les 500 Watts mais leur fonctionnement continu 24h sur 24 induit des consommations non négligeables : 4520 kWh soit 267 euros par an.

3.4.2.4.2 Economies envisageables

Il faudrait commencer par savoir quel est l'usage des serveurs dans le lycée : échangent-ils des données avec l'extérieur en dehors des heures de cours, ou bien ne sont-ils utilisés qu'à des fins pédagogiques ? Dans ce cas, on pourrait envisager de les arrêter en dehors des heures de classe (nuits, week-ends et vacances). L'économie correspondant s'élèverait à 3 439 kWh/an, soit 172 euros TTC/an.

De plus, une mesure évidente consiste à arrêter les écrans des serveurs. Nous avons constaté que ce n'était généralement pas le cas. Il conviendra toutefois alors de bien informer les utilisateurs pour qu'ils veillent à éteindre ces écrans, mais également qu'ils soient conscients du fait qu'écran éteint ne signifie pas ordinateur inactif (afin d'éviter d'arrêter un ordinateur en marche en croyant l'allumer)

Par ailleurs, des techniques permettent une meilleure gestion de l'énergie des réseaux informatiques. Ainsi, les matériels récents permettent en général d'arrêter, mettre en veille ou redémarrer un serveur à partir d'une demande du réseau. Il apparaît donc possible d'utiliser ces possibilités afin d'accroître les économies d'énergie.

Une information des responsables des cours pourrait être utile à cet égard. L'installation d'un compteur d'électricité par salle (au niveau du coffret existant sur l'arrivée réseau ondulé), permettraient aux professeurs une prise de conscience du fait que la configuration des systèmes informatiques (paramétrages des modes de veilles...) et les comportements ont une influence immédiate et importante sur les consommations d'électricité des technologies de l'information. Il paraît essentiel que les étudiants, futurs installateurs de ces matériels, y soient également sensibles. Cette mesure pourrait être prise en priorité pour les salles de BTS telles que la 3427.

3.4.2.5 Le matériel informatique des autres locaux

3.4.2.5.1 Description de l'usage

En dehors des salles de classes, on trouve des ordinateurs ainsi que d'autres équipements informatiques dans le bureau du chef des travaux, à la vie scolaire, dans la salle des professeurs et à la maison des lycéens. La consommation totale du matériel informatique des autres locaux est de 2 641 kWh/an (180 euros TTC/an) ce qui représente près de 9% de l'ensemble des équipements des salles de classes pour seulement 8 postes de travail. Ce fait s'explique par des durées de fonctionnement supérieures.

3.4.2.5.2 Economies envisageables

Deux ordinateurs de la vie scolaire ont été équipés de wattmètres et de Pcmètres. On connaît donc avec précision leur durée de fonctionnement ainsi que les temps réels d'utilisation. Comme on le voit sur les graphiques 3.34 et 3.35, l'activation du gestionnaire d'énergie permet une économie très différente d'un poste à l'autre. Ainsi, le poste 1 fonctionne pendant de longues périodes sans utilisation : il marche pendant 1950 heures par an (soit environ 11 heures par jour ouvré) alors qu'il n'est réellement utilisé (clavier ou souris) que 169 heures (moins de 1 heure par jour ouvré ou encore 9% du temps effectif de marche !). L'activation du gestionnaire d'énergie permet donc, même avec un délai d'activation long, des économies importantes (-17% pour l'unité centrale et -58% pour l'écran avec un délai de 20 minutes). La diminution de la temporisation ne présente pas beaucoup d'intérêt car l'essentiel du gisement est atteint avec une valeur de 20 minutes. Le cas du poste 2 est très différent. En effet, il n'est mis en marche pratiquement que si l'utilisateur l'utilise. Dans ce cas, les économies obtenues grâce au paramétrage du gestionnaire d'énergie sont moins importantes. Les économies envisageables sur les unités centrales sont inférieures à celles sur les écrans car la réduction de puissance possible grâce au gestionnaire d'énergie est beaucoup plus faible. Par exemple, la puissance de l'écran du poste 2 passe de 52 à 3,3W alors que celle de son unité centrale chute seulement de 72 à 47W. Il existe des unités centrales avec une consommation de veille largement inférieure, de l'ordre de 5W. Il est donc important de se renseigner sur les consommations dans les différents états au moment de l'achat.

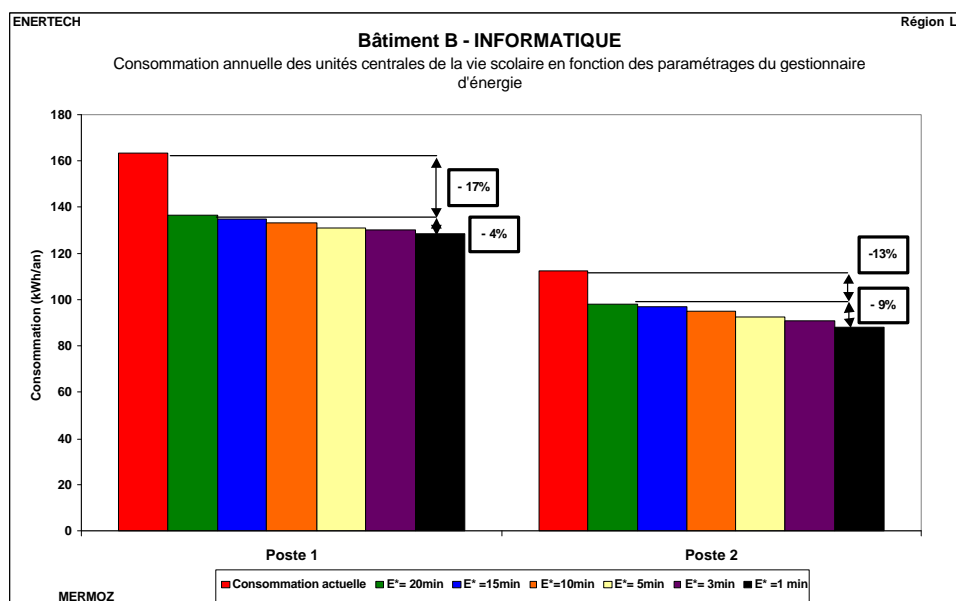


Figure 3.34 : Evolution de la consommation des unités centrales de la vie scolaire en fonction du délai d'activation du gestionnaire d'énergie

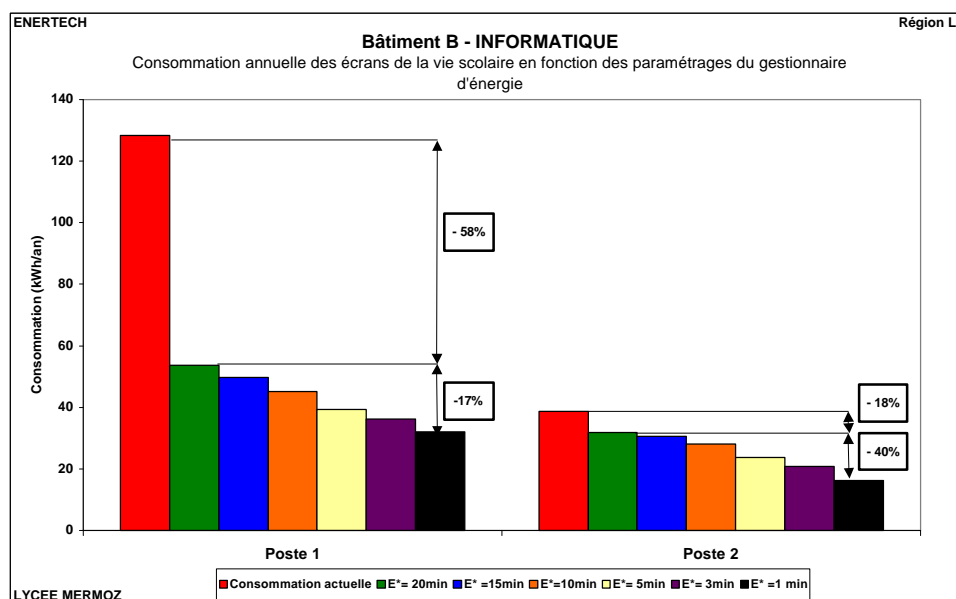


Figure 3.35 : Evolution de la consommation des écrans de la vie scolaire en fonction du délai d'activation du gestionnaire d'énergie

Ainsi, si on règle le délai d'activation à 10 minutes, on réduit la consommation du poste 1 de la vie scolaire de 54% et celle du poste 2 de 26%.

On peut comme dans le cas des classes opter pour une coupure générale de l'alimentation électrique quand l'ordinateur n'est pas utilisé. Pour ce faire, on équipera chaque poste informatique d'une barrette multiprises à laquelle on reliera l'ordinateur ainsi que ses périphériques. Le courant est alors coupé grâce à l'interrupteur. Si on estime que les ordinateurs sont utilisés au maximum entre 7 et 19 heures les jours de classe, l'économie envisageable grâce à ce dispositif est égale à 1346 kWh/an (68 euros TTC/an) soit plus de la moitié de la consommation de l'usage. Il faut compter 7 euros TTC par barrette multiprises. Le temps de retour associé à cette mesure est donc égal à moins d'un an.

L'intérêt de chaque mesure (activation du gestionnaire d'énergie et utilisation d'une barrette multiprises à interrupteur) est évalué pour les deux ordinateurs de la vie scolaire dans le tableau 3.36. On voit que l'impact du gestionnaire d'énergie est plus fort que celui de la coupure grâce à la barrette multiprises pendant les périodes de non-utilisation (nuits, week-ends, vacances).

Mesure	Economie poste 1		Economie poste 2	
	Ecran (128 kWh/an)	UC (164 kWh/an)	Ecran (39 kWh/an)	UC (112 kWh/an)
Gestionnaire d'énergie (délai : 10 min)	65%	19%	28%	15%
Barrette multiprises avec interrupteur (nuits, WE, vacances)	36%	30%	5%	21%
Gestionnaire d'énergie + barrette	77%	42%	33%	38%

Figure 3.36 : Tableau récapitulatif des économies réalisables sur les postes informatiques de la vie scolaire (vacances incluses)

En activant le gestionnaire d'énergie de l'ordinateur et en utilisant une barrette multiprises avec interrupteur, on peut réduire de 40% la consommation des unités centrales et d'environ 50% celle des écrans.

3.4.3 Le chauffage

La consommation électrique liée au chauffage avec 27 293 kWh/an représente 12% de la consommation totale du bâtiment B. Mais 74% (78% en coût) de ce poste est affecté aux deux pompes de chauffage du bâtiment. Les usages thermiques de l'électricité, à savoir un convecteur et deux chauffe-eau, représentent les 26% restant (22% en coût). La consommation des deux régulateurs de chauffage, constante tout au long de l'année, atteint 50 kWh par an ce qui est négligeable par rapport à la consommation des pompes.

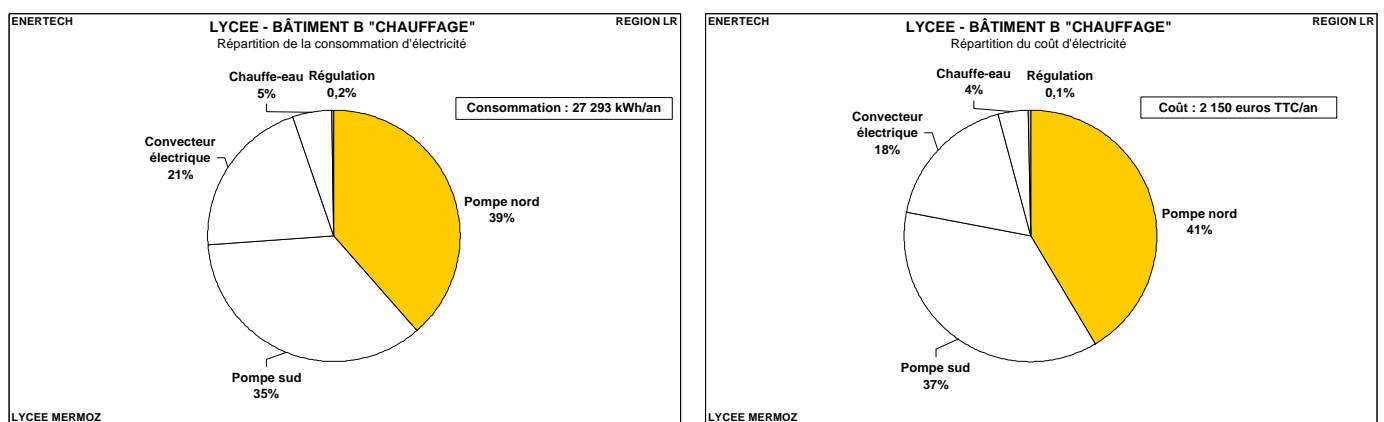


Figure 3.37 : Répartition de la consommation électrique et des coûts liés au chauffage

3.4.3.1 Les pompes de chauffage

3.4.3.1.1 Description de l'usage

Au bâtiment B, deux départs alimentent respectivement les façades Nord et sud. Chacun d'eux est équipé d'une pompe Grundfos de 2,2 kW. Au début de la campagne de mesure, les pompes n'étaient pas asservies au fonctionnement du régulateur de chauffage et tournaient donc en permanence durant la saison de chauffe.

La consommation, en intégrant ce mode de fonctionnement, est de 20 180 kWh par an, soit 9% de la consommation électrique du bâtiment B. Il faut ajouter à cette consommation, celle de la régulation qui est minime (51 kWh/an).

3.4.3.1.2 Economies envisageables

Asservissement des pompes secondaires - fonction ECO

On peut réduire le temps de fonctionnement des deux pompes de chauffage, en particulier lors de l'inoccupation des locaux. Les régulateurs peuvent en effet arrêter les pompes dans deux cas :

- Si la température extérieure dépasse la température de non chauffage.
- Avant la période de relance en fin de nuit, si la température intérieure dépasse la consigne de réduit nocturne.

L'heure de relance du matin est déterminée par l'optimiseur en fonction des paramètres du bâtiment et des conditions extérieures. Le fonctionnement de la pompe Sud ainsi asservie est décrit sur la figure 3.38. On voit que les heures de mise en route et d'arrêt de la pompe varient d'un jour à l'autre, notamment en fonction de la température extérieure. Durant cette semaine, la pompe n'a fonctionné que 23% du temps.

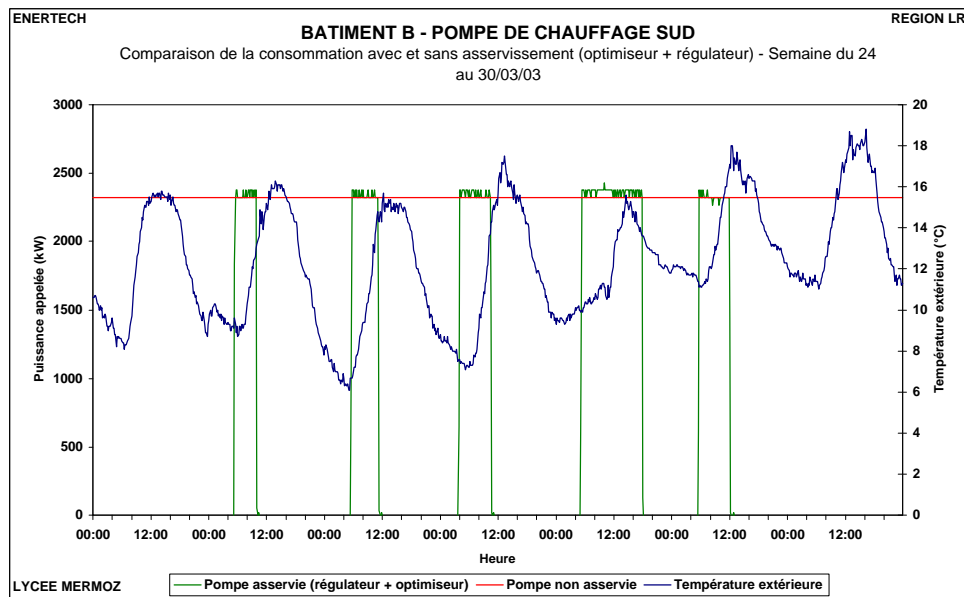


Figure 3.38 : Comparaison de la consommation de la pompe de chauffage de la façade sud sous optimiseur, avec et sans asservissement

Pour un bâtiment d'enseignement, la durée de fonctionnement des pompes est ainsi ramenée de 4500 heures à environ 1000 heures par an. L'investissement correspondant à cette mesure est souvent nul car il suffit de modifier légèrement un câblage ou simplement de programmer la fonction adéquate du régulateur.

On sait que les besoins en chaleur d'un bâtiment d'enseignement bien isolé sont nuls pour une température extérieure d'environ 12°C (les débits de ventilation des salles interviennent notablement sur cette valeur). Il est envisageable d'activer la fonction ECO des régulateurs afin d'arrêter les pompes dès 12°C extérieur. Le temps de fonctionnement annuel des pompes est alors ramené à 780 heures par an. Des économies substantielles de chauffage sont également réalisées et l'on évite par ailleurs des variations de température trop importantes, sources d'inconfort.

La fonction ECO a été activée sur nos conseils en cours de période d'étude (fin mars 2003) afin de profiter des économies possibles grâce à ce mode de régulation. L'économie induite est de 8 495 kWh/an pour la pompe Nord et 7 779 kWh/an pour la pompe sud, soit un total de 1 158 euros TTC/an. La consommation a donc été réduite d'environ 80%.

Installation de robinets thermostatiques et variation de la vitesse

Dans des locaux scolaires, les apports internes d'énergie sont élevés du fait de la présence des élèves et de l'éclairage. Le graphique 3.39 montre l'évolution de la température dans une salle de classe au cours d'une journée de février. On voit que la température atteint 27°C alors que la température extérieure est de moins de 8°C ! La pompe de chauffage est donc en marche inutilement et la salle est inconfortable (le fonctionnement de la pompe est attesté par l'écart de température entre départ et retour). Il y a gaspillage de chaleur et d'électricité.

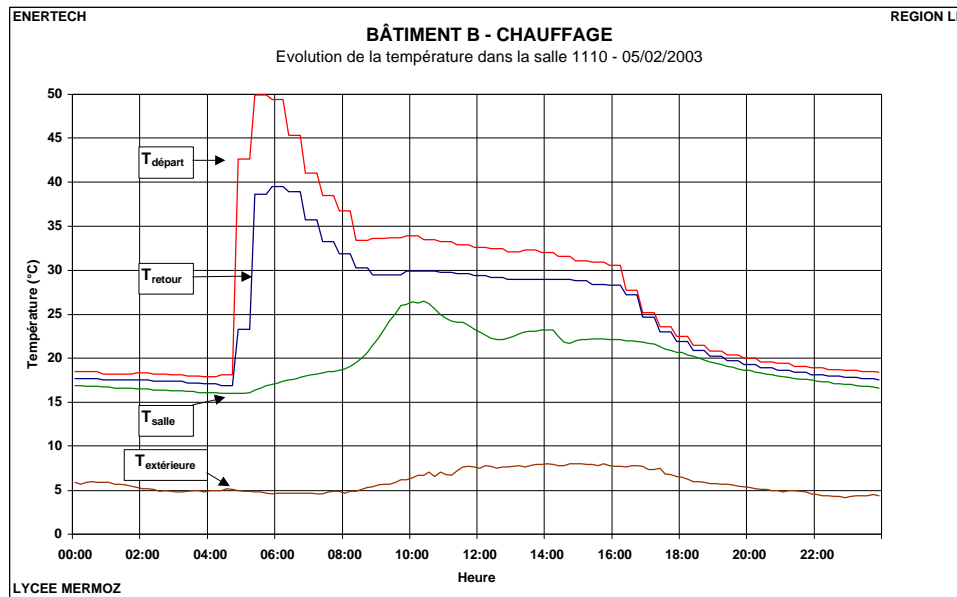


Figure 3.39 : Evolution de la température de la salle 1110, de la température extérieure et des températures départ et retour du chauffage – 05/02/2003

Les mesures de température effectuées dans les salles de classes montrent des hausses importantes lors de la présence des élèves. Le graphique 3.40 montre l'ampleur de ces variations, que seules les ouvertures de fenêtre sont à même de limiter, puisque les classes ne disposent d'aucune régulation terminale.

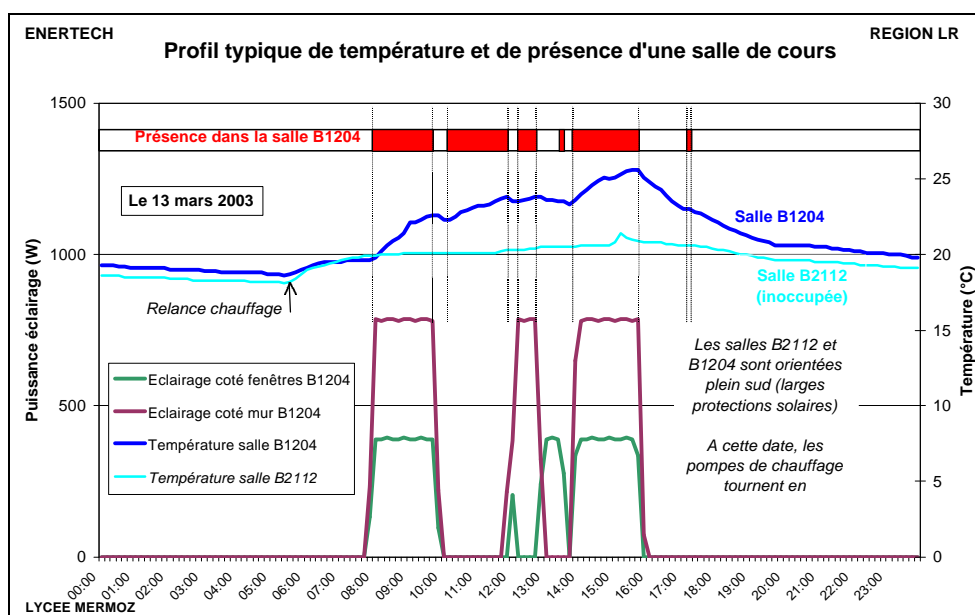


Figure 3.40 : Evolution de la température au cours d'une journée type Salles B 1204 et B2112 le 13 mars 2003

La régulation des classes est faite en sous station du bâtiment par une vanne trois voies pilotée en fonction de la température extérieure afin d'assurer à la température de départ d'eau une valeur conforme à une loi, dite loi de chauffe, programmée dans le régulateur. Ce mode de régulation est simple. Mais son action est de type "a priori", car elle ne s'intéresse pas au résultat qu'elle produit (il n'y a pas de "feed back"). C'est la raison pour laquelle les régulations de ce type sont toujours doublées d'une régulation terminale dont le rôle est de tenir compte de l'état réel de la température intérieure dans les locaux. Il s'agit souvent de robinets thermostatiques.

Le cas des locaux scolaires est assez particulier puisqu'ils bénéficient d'énormes apports internes par les élèves, l'éclairage et l'informatique. Mais si l'on ne dote pas les classes d'une régulation terminale individuelle, on conçoit que la gestion d'énergie ne soit pas bonne, comme le montre la figure 3.40 puisque le chauffage et les apports internes se cumulent pour porter la température à 26°C comme dans notre exemple. C'est du gaspillage et de l'inconfort. Et cela conduit à une régulation par ouverture des fenêtres, lesquelles restent souvent ouvertes toute la nuit aggravant encore le gaspillage.

Pour réaliser cette régulation des classes de façon simple, les appareils les plus adaptés sont les robinets thermostatiques qui ferment automatiquement l'arrivée d'eau des radiateurs lorsque la température de la pièce dépasse la consigne. Des modèles robustes (pour les casernes) et bon marché existent et ont fait leurs preuves ailleurs en milieu scolaire. Ils devraient être mis en place systématiquement en construction neuve. En rénovation, leur installation est plus coûteuse mais justifiée, notamment en raison du confort et de l'économie apportés en mi-saison. Dans le cas du bâtiment B du lycée Mermoz, l'investissement pour l'installation des robinets dans l'ensemble des salles devrait avoisiner 10 000 euros pour un temps de retour de 4 ans.

Si nous évoquons ici la pose de robinets thermostatiques, c'est parce que cette solution introduit des économies de chauffage mais également des gains sur les consommations électriques au niveau des pompes. Pour cela, il convient de mettre en place des dispositifs

permettant le fonctionnement des pompes à débit variable afin qu'elles s'adaptent à tout moment aux variations de débit dues à la fermeture d'une partie des robinets thermostatiques. Une électronique de régulation assure alors une différence de pression constante aux bornes de la pompe, par variation du débit. Des ensembles de variateurs spécialement conçus à cet effet sont disponibles chez les grands fabricants de pompes et permettent des fonctions plus évoluées (diminution de la pression lorsque le débit diminue pour tenir compte des pertes de charges réduites des canalisations), ce qui permet des économies encore supérieures et un meilleur fonctionnement des organes de réglage. En première approximation, le débit des pompes secondaires durant la journée peut être réduit en moyenne de 25 à 30%, conduisant à une consommation d'électricité divisée par 2 durant ces périodes.

La consommation énergétique annuelle des pompes secondaires du bâtiment B est ainsi ramenée de 3 700 kWh par an (fonction ECO activées) à moins de 1 800 kWh par an. L'économie, réalisée en heures pleines, atteint 180 euros et n'est amortie qu'en 10 ans.

Parallèlement, les mécanismes d'ouverture des fenêtres basculantes seront vérifiés et des consignes seront communiqués au personnel enseignant pour inciter à ne pas maintenir les fenêtres ouvertes en quittant une salle. Il va de soi que la remise en état de l'installation de ventilation contribuera à un surcroît de qualité de l'air et à faire accepter la consigne de moins ouvrir les fenêtres.

3.4.3.2 Le convecteur électrique

3.4.3.2.1 Description de l'usage

Dans un des bureaux de la vie scolaire du troisième étage (les autres bureaux disposant de radiateurs sur le réseau de chauffage), se trouve un convecteur électrique d'appoint qui est commandé manuellement pendant l'hiver. Sa consommation s'élève à 5 681 kWh/an soit pratiquement autant que l'éclairage de l'ensemble des locaux autres que les salles de classe. Le coût afférant est de 382 euros TTC/an. Il est à noter un fonctionnement tout à fait pervers qui conduit ce radiateur à fonctionner essentiellement lorsqu'il ne faudrait pas ! En effet, équipé de son propre thermostat, il est d'autant plus en marche que la température du local est basse. Ainsi, lorsque le chauffage principal des locaux est réduit (en dehors des heures d'occupation et avant les périodes de relance), le radiateur d'appoint voit la température du local baisser et fonctionne alors à pleine puissance !

3.4.3.2.2 Economies envisageables

En premier lieu, on peut s'interroger sur la pertinence d'un convecteur électrique dans un bâtiment doté d'un chauffage central. Si celui-ci présente un défaut d'équilibrage, ce doit être facile à régler. Le convecteur n'aura alors plus de raison d'être.

L'essentiel de la consommation de ce convecteur électrique est inutile puisqu'elle sert à chauffer un local vide (nuits, week-ends, vacances). Il serait donc plus judicieux, si cet appareil était maintenu, de n'autoriser son fonctionnement qu'une heure par jour le matin avant l'arrivée du personnel. On veillera à programmer la mise en route avant 6 heures afin de bénéficier de la tarification « heures creuses ». Le coût d'installation d'une horloge est estimé à

90 euros TTC (pose comprise). L'économie envisageable est de 5469 kWh/an ou encore 370 euros TTC. Le temps de retour associé à cette mesure est de moins de trois mois.

Il pourrait aussi être envisageable d'ajouter un radiateur à eau chaude sur le réseau; cette dernière solution, plus rationnelle, apparaît néanmoins un peu plus coûteuse (de l'ordre de 150 euros). Le temps de retour resterait inférieur à 6 mois.

3.4.3.3 Les chauffe-eau

3.4.3.3.1 Description de l'usage

On dénombre deux chauffe-eau qui appellent respectivement 2600 et 1350 W. Ils produisent l'eau chaude sanitaire des vestiaires des agents. L'essentiel de leur consommation correspond en fait à une consommation d'entretien, c'est à dire une consommation nécessaire pour maintenir constante la température de l'eau dans le ballon. Ainsi sur la période de mesure, l'observation des profils d'appel de puissance montre que très peu d'eau chaude a été soutirée. Ces ballons fonctionnent toute l'année, notamment pendant les 4 mois annuels de congés.

3.4.3.3.2 Economies envisageables

On peut arrêter les deux chauffe-eau pendant les week-ends et les vacances scolaires ainsi que baisser la consigne du thermostat (la capacité est largement suffisante). Mais surtout, on limitera leur fonctionnement aux heures creuses afin de réduire les coûts de consommation et d'abonnement de l'usage. Cette mesure peut-être réalisée grâce à une horloge pour 90 euros TTC. L'économie afférente est égale à 724 kWh/an soit 45 euros TTC/an. Le temps de retour est donc de 2 ans. Cette mesure permet aussi de réduire la puissance appelée en pointe par la mise en route de ces appareils puissants qui peut actuellement intervenir n'importe quand.

3.4.4 La ventilation

3.4.4.1.1 Description de l'usage

Les bâtiments scolaires sont caractérisés par des densités de présence pouvant atteindre des valeurs élevées, typiquement de 0.7 personne par mètre carré de surface. La maîtrise des renouvellements d'air est alors une condition essentielle de l'hygiène et du confort.

La réglementation autorise deux méthodes pour le renouvellement d'air : par ouverture manuelle des fenêtres ou par un système de ventilation mécanique. Bien que très simple, la pratique de l'ouverture des fenêtres s'accommode plutôt mal des améliorations de la qualité de l'isolation thermique des enveloppes observée aujourd'hui. D'une part, la recherche d'une bonne étanchéité des locaux conduit à un contrôle des débits d'air que la ventilation par ouverture de fenêtres ne peut assurer, et d'autre part, la charge thermique induite par le renouvellement d'air devient très supérieure à celle due aux pertes par les parois opaques. Il s'ensuit que toute différence de débit introduit dans les classes comparé au débit nominal a deux conséquences : la qualité de l'air n'est plus garantie et la charge de chauffage n'est plus maîtrisable, ce qui peut occasionner des insuffisances de température. Afin de résoudre ces difficultés, les installations de ventilation mécanique sont généralisées aussi bien en construction neuve qu'en rénovation. Dans le cas du lycée Mermoz, le bâtiment B a été équipé de ce système lors de sa dernière rénovation en 1999-2000.

L'installation principale est constituée de caissons indépendants d'extraction d'air situés en majeure partie dans les combles. Des bouches auto réglables assurent un certain équilibrage des débits; une salle de 50 m² est équipée de 5 bouches de 90 m³/h soit un total de 450 m³/h satisfaisant aux exigences du règlement sanitaire départemental s'il n'y a que 25 élèves dans la classe. Les entrées d'air sont situées en façades à l'arrière des radiateurs. Des réseaux de désenfumage indépendants ont également été mis en place. Ils n'ont évidemment pas d'incidence sur les consommations d'énergie. Plusieurs locaux particuliers du bâtiment possèdent leur propre caisson de ventilation : Salle de couture, local offset, foyer des élèves, vestiaires du gymnase, local TGBT.

A l'interface des compétences et prérogatives des électriciens et des chauffagistes, les systèmes de ventilation ne font pas l'objet d'une attention particulière à l'exception des visites annuelles de maintenance pour contrôler leur fonctionnement. Les défauts concernant ces installations ne sont généralement pas remarqués immédiatement par les utilisateurs des locaux et ne prêtent pas à des plaintes importantes.

Pourtant, l'incidence des ventilations sur les consommations de chauffage et d'électricité d'un bâtiment scolaire est loin d'être neutre. A titre d'exemple, le renouvellement d'air des salles prévu au bâtiment B représente des déperditions thermiques atteignant deux fois celles des parois (murs et vitrages) du bâti !

D'une manière générale, dans le lycée Mermoz comme dans la majorité des installations qui font l'objet d'études détaillées, les installations de ventilation ne fonctionnent pas de manière optimale :

- Les débits mesurés au niveau des bouches d'extraction sont très inférieurs aux débits théoriques. Les bouches encrassées, certains clapets coupe-feu en position fermée et un réseau probablement peu étanche expliquent ces débits faibles, en particulier aux étages inférieurs.
- Les programmations des plages de fonctionnement ne sont pas optimales. On a même constaté au début de nos travaux que la ventilation des classes du bâtiment B fonctionnait la nuit pour éviter de faire disjoncter le jour. Partant d'une bonne intention, cette disposition révèle en réalité qu'on ne sait pas très bien à quoi sert la ventilation. Elle n'est qu'une contrainte réglementaire de plus, mal identifiée et donc mal gérée.
- Les petits caissons dispersés ne sont souvent pas équipés d'horloge et fonctionnent en permanence.
- Le renouvellement d'air insuffisant (et l'absence de régulation de chauffage par salle) oblige les occupants à recourir à l'ouverture des fenêtres. Les dispositifs de commande des fenêtres basculantes souffrent de ces utilisations répétées et nécessitent un entretien fréquent. Même durant les périodes froides, de nombreuses fenêtres restent ouvertes à l'issue des cours et sur des périodes prolongées, avec un impact fort sur les dépenses de chauffage du bâtiment.

De plus, la campagne de mesures a permis de révéler un dysfonctionnement majeur : les moteurs des groupes de ventilation tournaient à l'envers ce qui avait pour conséquence des débits d'air quasiment nuls. L'erreur de branchement a été rectifiée en cours de campagne de mesures entraînant une multiplication par 1,9 de leur consommation. Cet incident, finalement assez fréquent révèle que, même exécuté par les meilleurs ouvriers, les meilleurs maîtres d'œuvre, le bon fonctionnement des équipements livrés doit toujours être contrôlé a posteriori. On doit toujours s'assurer que l'on n'a pas fait d'erreur.

La consommation électrique pour la ventilation du bâtiment B se répartit ainsi :

Poste	Consommation annuelle (kWh/an)	Facture annuelle d'électricité (euros TTC/an)	Remarques
Colonnes (ventilation des classes)	17 340	1 476	Horloge hebdomadaire
Salle de couture	5 957	353	Fonctionnement 24h/24h
Salles Math Sup	1 125	79	Horloge journalière
Maison des lycéens	1 752	104	Fonctionnement 24h/24h
Ventilation TGBT/Onduleur	2 278	135	Thermostat réglé à 18°C environ
Total :	28 452 kWh	2 147 euros	

En définitive, le coût d'utilisation de la ventilation atteint 10% de la facture électrique du bâtiment B. Et malgré cela, le service rendu n'est pas probant...

3.4.4.1.2 Economies envisageables

Il apparaît essentiel de remettre en état l'installation de ventilation. On procédera en particulier au nettoyage de l'ensemble des bouches d'extraction, à la vérification des clapets coupe-feu ainsi qu'à une inspection visuelle de l'étanchéité du réseau. Les bouches d'entrée d'air, peu accessibles à la fois côté intérieur (derrière radiateurs) et à l'extérieur (à cause du doublage des murs) seront nettoyées au mieux. Des mesures de débits au niveau des salles viendront confirmer le fonctionnement de l'installation selon les dispositions prévues par le bureau d'études lors de la rénovation.

L'augmentation des débits entraînera malheureusement une augmentation de la consommation électrique de la ventilation mécanique. En effet, les mesures effectuées montrent que les moteurs fonctionnent bien en deçà de leur capacité. Le courant est actuellement proche de la valeur nominale mais très déphasé par rapport à la tension, conduisant à une puissance de l'ordre de 50% du nominal et à un facteur de puissance réduit (de l'ordre de 0.4 à 0.5 seulement). Nous pouvons estimer la hausse de consommation induite par la remise en état de la ventilation à environ 17 000 kWh par an soit 1405 euros. Toutefois, cette hausse pourrait être en partie compensée par une programmation plus fine des horaires de fonctionnement (et bien évidemment l'ajout d'horloges ou de relayage pour les ventilations non équipées ou munies seulement d'horloges journalières). Mais l'augmentation des débits aura surtout un impact négatif notable sur les consommations de chauffage à moins que, du fait de la qualité d'air améliorée, les utilisateurs n'aient moins tendance à maintenir les fenêtres ouvertes sur des durées importantes comme c'est le cas actuellement.

En tout état de cause, on veillera à éviter absolument le fonctionnement des ventilations durant les périodes de remise en chauffe du bâtiment (donc avant 8h). Cela est à la fois inutile (inoccupation presque totale) et très dommageable sur le plan thermique car c'est dans ces moments que l'installation de chauffage doit faire face aux températures extérieures les plus basses de la journée, à des murs refroidis par le réduit de nuit et à une absence d'apports énergétiques humains ou solaires. L'arrêt de la ventilation avant 7h30-8h pourrait

éventuellement avoir des conséquences pour le travail du personnel de nettoyage en diminuant la capacité d'extraction de l'humidité. Cependant, il semble dans le cas du lycée Mermoz que le ménage soit effectué non au début mais au fil de la journée. Ajoutons que les couloirs ne sont pas équipés de ventilation et d'autre part, l'expérience a montré que les périodes pendant lesquelles la ventilation n'a pas fonctionné du tout n'ont pas fait l'objet de plaintes particulières à ce sujet.

En revanche, durant le début d'été, il pourra être intéressant de relancer la ventilation en fin de nuit (entre 4h et 6h) pour tenter d'évacuer le maximum de calories et permettre de maintenir durant la journée une température plus faible. L'incidence sur la facture électrique reste modérée en raison de la tarification heures creuses d'été et du peu de jours concernés.

Par ailleurs, une réduction importante des consommations électriques de ventilation pourrait être obtenue en individualisant l'extraction d'air des salles de classe. En effet, les salles du lycée étant en moyenne occupées à 43% du temps entre 8h et 18h, le gain en terme de débit à extraire pourrait être conséquent. Sur le plan thermique, l'arrêt de la ventilation dans les salles inoccupées est très bénéfique car il réduit considérablement les besoins de chaleur là où justement, on ne bénéficie pas d'apports gratuits puisqu'il n'y a pas d'élèves.

Pour individualiser le renouvellement d'air des salles de classe, il est nécessaire de prévoir un clapet automatique qui ferme la canalisation desservant les bouches de la salle. Le réseau aéraulique permet a priori d'utiliser un seul clapet par salle. La commande pourrait être asservie à une détection de présence ou à un interrupteur à clé (ce qui présente l'avantage de ne pas induire de consommations électriques de veille et de permettre en même temps l'arrêt d'autres appareils tels que les ordinateurs...).

Ramenée à une salle de cours, l'économie serait proche de 50 euros par an dont 16 euros (200 kWh) pour l'électricité et 34 euros (850 kWh) pour le chauffage. Il est bien entendu indispensable que les salles soient équipées de robinets thermostatiques pour profiter de la réduction de débit sans quoi l'économie ne serait pas effective sur le plan thermique. En plus des clapets, il convient de prévoir les asservissements des caissons de ventilation pour profiter des variations de débit. Des variateurs de fréquence régulant la pression du réseau (maintien d'une pression constante au niveau de la bouche la plus éloignée) doivent être installés pour chaque caisson. Le matériel à prévoir comprend donc :

- Un coffret électrique par salle alimenté sur le réseau prise de courant et muni d'un interrupteur à clé.
- Un clapet motorisé placé sur la gaine d'extraction de chaque salle et raccordé au coffret précédent.
- Un variateur de vitesse commandé par une sonde de pression pour chaque caisson de ventilation.

Nous estimons cet investissement à environ 30000 euros (hors robinets thermostatiques dont le coût est justifié par les économies possibles sur le plan thermique). Le temps de retour de cette mesure est de l'ordre de 6 ans. Un avantage annexe de cette mesure est d'améliorer le facteur de puissance des ventilateurs et de réduire notablement le courant moyen consommé.

Nous préconisons également que l'ensemble des ventilations soient dûment répertoriées, et systématiquement équipées d'horloges ou mieux, d'un relais commandé par une horloge centrale ou un système de gestion centralisée; cela permettrait un arrêt de l'ensemble des caissons pendant les périodes de vacances par exemple et simplifierait les tâches fastidieuses de remises à l'heure lors des changements d'horaire par exemple... Si on adopte le fonctionnement de l'horloge centralisée décrit dans le paragraphe 3.4.1, l'économie sur les ventilations du rez-de-chaussée est égale à 6 510 kWh/an (331 euros TTC/an).

Enfin, la ventilation du local TGBT (et surtout de l'onduleur) du bâtiment B est commandée par thermostat; Le réglage actuel du thermostat (environ 18°C) conduit à un fonctionnement quasi permanent (2278 kWh par an ou encore 135 euros). Il conviendra d'augmenter sensiblement la consigne ce qui n'aura pas d'incidence sur l'onduleur étant donné son surdimensionnement. On veillera également à améliorer l'étanchéité de ce circuit d'extraction. Plus des deux tiers des dépenses de cet usage doivent pouvoir ainsi être économisés, c'est à dire 1520 kWh/an (93 euros TTC/an). Mais ce problème sera peut être sans objet si l'onduleur est supprimé comme nous l'avons proposé. Il n'y aura alors plus besoin de ventilation mécanique, la ventilation naturelle du TGBT étant suffisante.

3.4.5 Les appareils divers

La consommation électrique des autres appareils électriques du bâtiment est de 12 097 kWh/an soit 6% de la consommation totale du bâtiment.

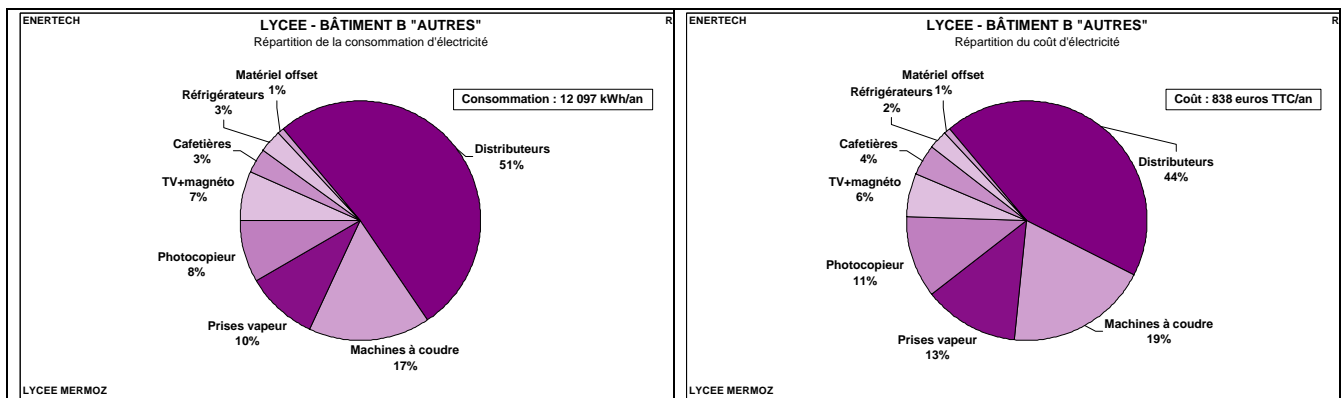


Figure 3.41 : Répartition de la consommation du poste « autres » (énergie et coût)

Plus de la moitié de la consommation (44% en coût) correspond aux deux distributeurs automatiques de boissons de la maison des lycéens. Ces appareils consomment donc près de deux fois plus que l'ensemble des équipements des salles de couture (machines à coudre et repasseurs vapeur) !

3.4.5.1 Les distributeurs automatiques de boissons

3.4.5.1.1 Description de l'usage

Le bâtiment B compte deux distributeurs automatiques de boissons situés dans la maison des lycéens. Leur consommation est de 6 248 kWh/an (369 euros TTC/an) soit près de 3% de la consommation totale du bâtiment. Ces appareils fonctionnent en permanence.

3.4.5.1.2 Economies envisageables

On peut mettre en œuvre deux mesures pour réduire la consommation des distributeurs automatiques :

- Supprimer l'éclairage interne
- Limiter leur fonctionnement aux périodes d'occupation du lycée

Suppression de l'éclairage

L'éclairage des distributeurs est peu utile dans la mesure où la salle dans laquelle il se situe est elle-même éclairée. La suppression des tubes fluorescents conduit à une économie minimale de 1 244 kWh/an ou encore 74 euros TTC/an. Cette mesure pourrait d'ailleurs être généralisée à l'ensemble des distributeurs automatiques de boissons des lycées de la région.

Programmation des horaires de fonctionnement

On peut commander ces distributeurs grâce à l'horloge centrale qui limite le fonctionnement des appareils aux heures d'occupation du bâtiment. Cela est d'autant plus justifié que la maison des lycéens est fermée le reste du temps et que les distributeurs sont donc inaccessibles. De plus, ils ne contiennent pas de denrées périssables qui nécessiteraient de maintenir une température inférieure à la température ambiante en permanence. Cette mesure permet d'économiser 4 700 kWh/an (266 euros TTC/an).

L'adoption de ces deux mesures permet une économie de 4 997 kWh/an soit 286 euros TTC/an. Cette action est gratuite car on utilise l'horloge centrale pour piloter le fonctionnement des distributeurs.

Par ailleurs, nous avons constaté que les compresseurs de ces distributeurs appellent un courant important avec un facteur de puissance faible et sont tous deux branchés sur la phase qui est la plus chargée du bâtiment (phase n°3, borne de droite du disjoncteur principal), c'est à dire probablement celle qui provoque les disjonctions en priorité. Il conviendra donc de modifier le câblage correspondant pour d'alimenter les prises concernées via une autre phase.

3.4.5.2 Le matériel de couture

3.4.5.2.1 Description de l'usage

Les salles de couture sont équipées de machines à coudre et de 2 repasseurs vapeur qui consomment respectivement 1 997 kWh/an (162 euros TTC/an dont 42 euros d'abonnement) et 1 237 kWh/an (113 euros TTC/an). Malgré les puissances importantes appelées par ces appareils leur consommation reste faible. La raison est qu'ils ne fonctionnent jamais en dehors des heures de classe. A noter que les machines à coudre électroniques récentes ont une consommation de veille (environ 120 W pour l'ensemble).

3.4.5.2.2 Economies envisageables

On peut utiliser le dispositif d'horloge centrale pour commander l'arrêt de la veille des machines à coudre en dehors des heures de classe. L'économie associée à cette mesure est de 813 kWh/an, soit 41 euros TTC/an. Elle peut encore être plus importante si les horaires d'utilisation de la salle sont programmés avec précision. Si le coût d'une horloge est de 90 euros TTC, le temps de retour de cette disposition sera d'environ 2 ans. A noter que cette mesure pourra être encore plus profitable si dans l'avenir le parc des machines électroniques augmente, ce qui est fort probable.

3.4.5.3 Le photocopieur

Le photocopieur se situe dans la salle des professeurs du quatrième étage. Il s'agit probablement d'un modèle récent. Il semble qu'il passe, comme on le voit sur la figure 3.42 en mode veille après un temps très long (plus de deux heures) de non-utilisation, la puissance appelée étant alors égale à 3 W.

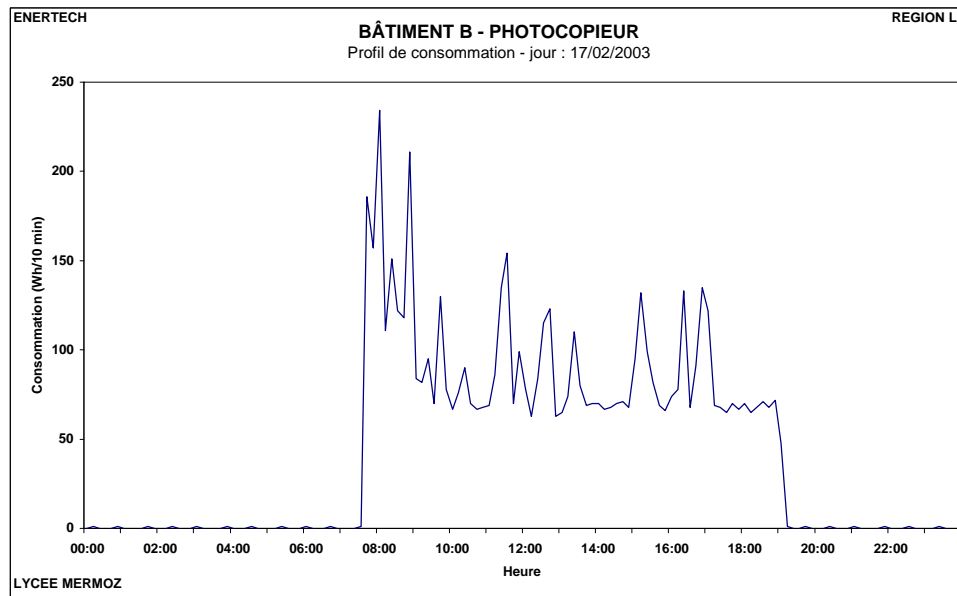


Figure 3.42 : Profil de consommation du photocopieur (jour : 17/02/2003)

Sa consommation est de 1005 kWh/an et revient à 92 euros TTC par an dont 26% d'abonnement.

3.4.5.3.1 Economies envisageables

Si effectivement le délai d'activation du mode veille est supérieur à 2 heures, on peut réduire celui-ci à 10 minutes. On peut aussi envisager d'arrêter complètement l'appareil à l'aide de son interrupteur après chaque utilisation.

3.4.5.4 Les ensembles télévision + magnétoscope

3.4.5.4.1 Description de l'usage

On dénombre une quinzaine d'ensembles télévision + magnétoscope dans les salles de classe. Plus de la moitié reste branchée en permanence et possède de ce fait une consommation de veille qui varie entre 6 et 13 W par ensemble. La consommation annuelle associée s'élève à 809 kWh (50 euros TTC/an) dont 95% correspond à l'état de veille.

3.4.5.4.2 Economies envisageables

La mesure préconisée consiste à débrancher les appareils quand ils ne sont pas utilisés. Cela est déjà effectué pour certains d'entre eux et devrait pouvoir être généralisé à l'ensemble des équipements. L'économie résultante s'élève à 767 kWh/an, soit 41 euros TTC/an.

NB : pour éviter de débrancher les appareils, on peut les placer sur des multiprises avec interrupteur, ce qui facilitera les opérations de coupure. Le temps de retour associé à cette mesure est d'environ 2,5 ans.

3.4.5.5 Le matériel offset

Le local offset contient divers équipements d'imprimerie tels des photocopieurs, des presses... Les équipements suivis (presses et photocopieurs) consomment 99 kWh/an. L'alimentation électrique du local est systématiquement coupée en dehors des heures de présence pour prévenir les risques d'incendie. En effet, des produits chimiques inflammables sont stockés dans cette pièce. Cette mesure permet dans le même temps de limiter les consommations électriques à leur juste nécessaire.

3.4.5.6 Les appareils électroménagers

3.4.5.6.1 Description de l'usage

Ce poste est composé de cafetières, bouilloires et d'un réfrigérateur. Il consomme 782 kWh/an soit 56 euros TTC/an.

3.4.5.6.2 Economies envisageables

Si les cafetières étaient arrêtées quand elles ne sont pas utilisées et le réfrigérateur était débranché pendant les vacances scolaires, on pourrait économiser 157 kWh/an ou encore 15 euros TTC/an.

3.4.6 « Courants faibles »

3.4.6.1.1 Description de l'usage

Comme tous les locaux recevant du public, le bâtiment B est équipé de systèmes de détection incendie, d'éclairage de sécurité, ainsi que des contacteurs, notamment pour les boutons d'arrêt d'urgence des armoires électriques. L'ensemble de ces appareils, que l'on peut regrouper sous le terme générique de "courants faibles" induit une consommation électrique dont la principale caractéristique est d'être constante tout au long de l'année.

La détection incendie est assurée par un réseau de capteurs de fumée qui commandent non seulement les alarmes, mais aussi directement la fermeture des portes et clapets coupe-feu permettant ainsi d'isoler les portions de bâtiments et de limiter l'éventuelle propagation d'un incendie. Les capteurs et actionneurs sont alimentés en basse tension à partir de deux sources centrales situées dans les gaines techniques des étages 2 et 4 du bâtiment B. Des onduleurs assurent une autonomie en cas de panne secteur.

Chaque armoire électrique d'étage (soit en tout 12 armoires pour le bâtiment) est équipée d'un bouton d'arrêt d'urgence qui coupe l'alimentation de l'armoire en cas de besoin.

Des bobines triphasées assurent le relaying. Les consommations électriques des armoires comprennent enfin également les alimentations des minuteriers, 180 B.A.E.S. (Blocs Autonomes d'Eclairage de Sécurité) et voyants des poussoirs de commande des minuteriers.

La puissance totale appelée en permanence pour les appareils "courants faibles" au bâtiment B atteint environ 1.8 kW soit une consommation annuelle de 15 900 kWh ou 950 euros TTC. Comme on le voit sur la figure 3.43, les consommations de loin les plus importantes concernent avant tout les éclairages de sécurité et le système de détection incendie.

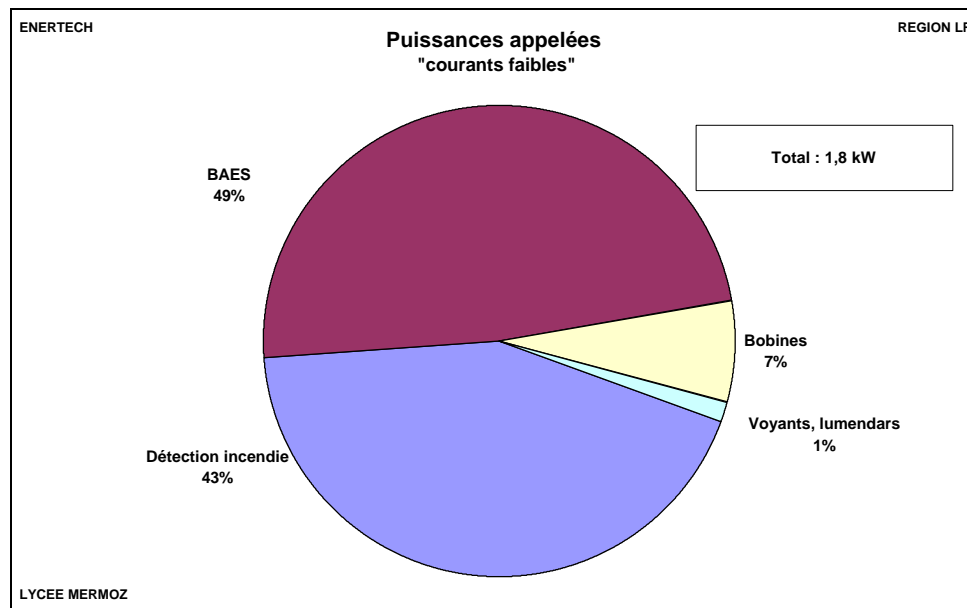


Figure 3.43 : Répartition de la puissance appelée correspondant aux « courants faibles »

3.4.6.1.2 Economies envisageables

S'agissant de matériel de sécurité, il n'est pas envisageable d'arrêter brutalement des appareils tels que les détections incendies ou les BAES, même pour des périodes prolongées comme les vacances scolaires. De plus, munis de batteries de secours internes, leur coupure conduirait à la décharge totale de ces accumulateurs, défavorable à leur durée de vie. Il est en revanche possible de couper l'alimentation TBT des électro-aimants des portes et clapets coupe-feu durant l'été (la remise en place manuelle se fera en début d'année scolaire lors du contrôle de ces dispositifs). L'économie atteint environ 400 kWh pour l'ensemble des grandes vacances (soit 20 euros - compte tenu du prix du kWh d'été).

Les principales économies seront réalisées parfois au titre de la maintenance simple (B.A.E.S.), mais plus généralement en construction neuve pour lesquelles on prévoira :

- Des blocs d'éclairage de sécurité à faible consommation (des modèles consommant 2 fois moins existent sur le marché). Cette disposition peut d'ores et déjà être mise en œuvre lors du remplacement d'un bloc hors service.
- Des gâches électriques de faible puissance pour les portes et les clapets coupe-feu (des modèles à action existent afin d'éviter la consommation permanente dans ce dernier cas).

- Pour les bobines des circuits arrêt d'urgence, (de même que pour les relayage d'horloges), des modèles à basse consommation d'énergie. (les écarts de consommation peuvent atteindre un facteur 4)
- Il est bien plus efficace d'alimenter un réseau de sécurité basse tension (12V ou 24V) à partir de batteries maintenues en charge par un chargeur automatique que d'utiliser une alimentation 12V ou 24V secourue par un onduleur. Le rendement global de cette dernière solution est généralement inférieur à 50% alors qu'il peut dépasser 80% pour la première qui n'est d'ailleurs pas plus coûteuse.

3.5 RECAPITULATIF DES ECONOMIES ENVISAGEABLES

3.5.1 Récapitulatif des solutions envisagées

Le tableau des pages suivantes présente un résumé des solutions à mettre en œuvre pour réduire les consommations d'un bâtiment d'enseignement. Il présente les idées à retenir en rénovation ainsi que dans le neuf.

Chapitre 3 : Le bâtiment B

		RENOVATION LEGERE	NEUF ET RENOVATION LOURDE
Horloge centralisée		Prévoir une horloge centrale qui dessert toutes les armoires électriques du bâtiment avec différentes programmations horaires	
ECLAIRAGE	Général	Adapter strictement la durée de fonctionnement à l'usage (délai des minuteries, réglage des horloges...)	
			Favoriser l'éclairage naturel Utiliser des sources performantes (LFC, tubes T5, ballasts électroniques, réflecteurs à haut rendement, grilles de défilement, commande centralisée, détecteurs de présence...)
	Salles de classes	Informers les usagers de la nécessité d'éteindre en quittant la salle et de vérifier que tout est correctement éteint	
		Installer des kits de rénovation Retrolux et fixer la puissance appelée pour maintenir un niveau d'éclairage maximum de 300 lux	Imposer un niveau d'éclairage de 300 lux maximum Séparer et identifier les commandes des différentes zones Mises en route et coupures gérées par horloge centralisée
	Couloirs	S'assurer que la commande installée convient aux usagers (ex : risque de blocage pour des durées de minuterie trop courtes) – Si l'installation sollicite tous les luminaires à chaque allumage, préférer un éclairage permanent sur 1/3 des luminaires et une minuterie sur les autres	Maintenir un niveau d'éclairage minimum à l'aide de sources performantes (mise en route et coupure gérées par horloge centralisée) Compléter par un éclairage d'appoint sur minuterie de courte durée
	Sanitaires	Utiliser des détecteurs de présence Si éclairage naturel : utiliser des cellules photosensibles	Commande individuelle des cabines par détecteur de présence
	Préaux	Mettre en place des détecteurs crépusculaires et des horloges	Commande par minuterie qui ne s'active que si le niveau d'éclairage naturel est insuffisant (horloge centralisée)
Escaliers		Commande par minuterie	

Chapitre 3 : Le bâtiment B

		RENOVATION	NEUF ET RENOVATION LOURDE
INFORMATIQUE	Onduleurs	Eviter d'avoir un gros onduleur central pour tout un bâtiment. Utiliser de petits onduleurs pour les salles où cela est strictement nécessaire	
	Ordinateurs et périphériques	Prévoir une coupure de l'alimentation électrique de chaque salle informatique (arrêt d'urgence ou clé) ou des barrettes multiprises pour les bureaux Activer le gestionnaire d'énergie livré sur tous les ordinateurs depuis 1999 (généralement Energy Star) Sélectionner des équipements performants (label Energy, écrans plats, bon facteur de puissance...)	
CHAUFFAGE	Pompes	Utiliser les fonctions de commande des pompes du régulateur et de l'optimiseur ainsi que la fonction ECO (quand ces fonctions existent)	
		Rajouter un variateur de fréquence sur les pompes de fortes puissances si le débit est appelé à varier	Utiliser un variateur de vitesse (les radiateurs doivent être équipés de robinets thermostatiques)
	Convecteurs	Essayer de supprimer, sinon limiter et contrôler l'usage de convecteurs électriques d'appoint	
		Si indispensable, programmer les pour qu'ils ne fonctionnent que si le local est occupé et hors période de pointe	
Chauffe-eau	Programmer le fonctionnement uniquement la nuit si les besoins en eau chaude le permettent (horloge centrale) Surisoler les ballons ou rajouter une épaisseur d'isolant Abaisser la température de stockage à 55 ou 66°C		
		Choisir des modèles très isolés	
VENTILATION	Limiter le fonctionnement aux heures d'occupation		
	Vérifier que le renouvellement d'air est suffisant Ajouter un clapet par classe pour permettre une variation de débit en fonction de la présence et prévoir un variateur de vitesse	Commander la ventilation par salle en fonction de la présence Utiliser un variateur de vitesse Dimensionner le réseau pour de faibles pertes de charge Faire des réseaux très étanches	
DIVERS	Distributeurs de boissons	Supprimer l'éclairage si l'appareil est dans une pièce éclairée Limiter son fonctionnement aux heures de présence (horloge centrale) s'il ne contient pas de denrées périssables	
	Appareils avec veille	Débrancher quand non utilisé	
SECOURS	BAES Gâches élec. Clapets CF Bobines AU	Remplacer les modèles hors service par des modèles performants	Choisir des modèles performants et optimiser la consommation électrique globale (alimentation, appareils efficaces...)

3.5.2 Bilan des économies

Le tableau 3.44 regroupe les mesures à mettre en œuvre et les économies afférentes dans le bâtiment B. L'économie envisageable s'élève à près de 140 000 kWh/an (**62% de la consommation totale du bâtiment** ou encore 7,6% de celle du lycée) et ce pour un investissement de 118 000 euros TTC. Ce sont plus de 11 000 euros TTC (57% du coût total du bâtiment B ou 7,7% de celui de l'ensemble du lycée) qui pourront être économisés chaque année. Le temps de retour global au niveau du bâtiment est égal 10,7 ans mais il est ramené à 8,2 ans si on prend en compte les économies possibles sur le chauffage grâce à l'action sur la ventilation.

Si on exclut les actions concernant l'éclairage des salles de classe et la ventilation des étages qui représentent 97% de l'investissement total, l'économie est de près de 84 000 kWh/an (60% de l'économie totale) et le temps de retour est ramené à moins d'un an. La plupart des mesures sont peu coûteuses et très rentables. Elles peuvent donc facilement être généralisées à l'ensemble des lycées de la région.

Les deux actions les plus onéreuses (éclairage des classes et ventilation) sont indispensables, comme on le verra dans le paragraphe suivant, pour résoudre les problèmes de disjonctions rencontrés au bâtiment B. Elles permettront d'éviter le renforcement de l'alimentation électrique du bâtiment (augmentation de la puissance disponible) dont on estime le coût à 15 000 euros TTC. Si on prend en compte cet investissement le temps de retour est ramené à 9,3 ans (7,2 ans si on inclut les économies de chauffage).

La mesure sur l'éclairage des classes s'avère beaucoup plus intéressante pour un bâtiment occupé « normalement » (rappelons qu'ici le taux d'occupation n'est que de 43%), le temps de retour étant alors ramené à un peu plus de 10 ans. Le prix du kit de rénovation peut probablement diminuer si les quantités achetées sont conséquentes.

Enfin malgré un temps de retour relativement élevé l'ensemble des mesures décrites dans ce rapport devraient être mises en œuvre afin juger de leur intérêt. En effet certaines solutions proposées ici n'ont, à notre connaissance, jamais été testées en France. Le financement de ce programme n'incomberait naturellement pas qu'à la seule charge de la région mais inclurait divers partenaires intéressés par les résultats de cette opération exemplaire.

Appareil	Action	Economie consommation		Economie abonnement		Total	Coût
		kWh/an	€ TTC/an	W	€ TTC/an	€ TTC/ar	€ TTC
Général	Réduction de la tension d'alimentation de 2,5% ⁽¹⁾	3107	199	2850	126	324	-
Eclairage classes ⁽²⁾	- Information des usagers - Kits Retrolux	35600	2550	45000	1980	4530	83920
Eclairage permanent couloir	- Horloge centrale - Détecteurs crépusculaires - Kits Retrolux	12500	824	3431	176	1000	2760
Eclairage couloir Maison lycéens	- Horloge centrale - Ampoules fluo compactes	329	21	58	3	24	40
Eclairage minuterie	Réglage des minuteries à 1 min (couloir, préaux, escaliers)	700	43	-	-	43	-
Eclairage sanitaires	- Détecteurs de présence - Détecteurs crépusculaires	1746	110			110	360
Onduleur	Suppression	13710	749	1887	83	832	
Transformateur de secours (onduleur)	Suppression	9018	486	908	40	526	
Unités centrales	Coupure de l'alimentation électrique des salles en cas de non-utilisation	10045	505			505	540
Ecran		3485	175			175	
Périphériques		3011	182			182	
Serveurs		3439	172			172	
Matériel info autres locaux	- Barrettes multiprises - Activation gestionnaire d'énergie	1346	68			68	56
Pompes chauffage	Programmation du mode ECO	16274	1158			1158	
Convecteur électrique	Horloge	5469	365	107	5	370	90
Chauffe-eau	Horloge	724	35	225	10	45	90
Ventilation étages ⁽³⁾	- Vitesse variable - Clapets motorisés - Interrupteurs à clé	19200	1536	-	-	1536	30000
Ventilation RDC	Horloge centrale	6510	331			331	
Ventilation TGBT	Suppression	2278	123	260	11	134	
Distributeurs boissons	- Suppression éclairage - Horloge centrale	4997	255	142	6	286	
Machines à coudre	Horloge centrale	813	41			41	
TV + magnétoscope	Débranchement quand non-utilisation	767	41			41	
Electroménager	Arrêt quand non-utilisation	157	15			15	
Electro-aimants + Clapets coupe-feu	Arrêt pendant les grandes vacances	400	20			20	
Ventilation étages	Remise en état de l'installation	-17000	-1161	-5550	-244	-1405	-
TOTAL		138 625 (-62%)	8 843	49 318	2 196	11 038 (-57%)	117856

1 : Le gain de cette mesure est fonction de la consommation du bâtiment. Il est donc fortement diminué par les mesures d'économies mises en œuvre

2 : Economies pour un taux d'occupation des classes de 43%

3 : On ne prend pas en compte dans ce tableau les économies de chauffage qui s'élèvent à 3300 euros TTC.

Figure 3.44 : Récapitulatif des économies envisageables et des coûts correspondants

3.5.3 Impact des mesures proposées sur l'appel de courant en pointe

Le but de cette étude n'est pas seulement d'estimer les économies d'électricité envisageables pour le bâtiment B mais aussi de résoudre les dysfonctionnements rencontrés. On a vu que l'intensité de chaque phase était limitée à 200 A et que les ventilations avaient du être alimentées depuis un autre bâtiment pour supprimer les disjonctions trop fréquentes. Le tableau 3.45 donne une estimation des intensités appelées par chaque usage en période de pointe (ventilation des étages comprise). On voit que lors des pointes extrêmes, la somme des usages pouvait dépasser les 200 A et que donc, malgré la tolérance des disjoncteurs, il n'est pas surprenant que le bâtiment ait subi de nombreuses coupures de courant.

Usage	Intensité actuelle (A/phase)	Action sur	Economie associée (A/phase)
Eclairage	135	Eclairage classes	72,5
		Eclairage permanent couloir	5,5
		Eclairage couloir MDL	0,1
Chauffage	9	Convecteur électrique	0,2
		Chauffe-eau sur horloge	0,3
Informatique	33	Suppression onduleur	4,6
		Suppression du transformateur de secours onduleur	5,0
Ventilation	30	Arrêt ventilation TGBT	0,9
Autres	5	Distributeurs de boissons	0,3
Veilles	4		
		Baisse de 2,5 % de la tension	4
Total	216		93,4

Figure 3.45 : Bilan de l'intensité appelée actuellement en pointe et des économies envisageables (certaines estimations d'économie intègrent une probabilité)

En 2003 durant la campagne de mesure, le courant maximal atteint est de 186 A, sur la phase 3, le 21/01/03 à 9h06. Cette pointe n'a d'ailleurs duré que 2 minutes lors de l'allumage d'un appareil résistif monophasé de 1200 Watts environ. Si la ventilation mécanique avait alors été raccordée à ce tableau, il est probable que le disjoncteur aurait sauté. Grâce au recâblage des ventilateurs colonnes, aucune coupure n'a été enregistrée mais la marge semble être faible et cette solution ne peut être que provisoire.

La dernière colonne du tableau 3.45 indique les réductions d'intensité appelée associées aux différentes mesures d'économies proposées dans la présente étude. La diminution globale dépasse 90 A, soit largement plus que la puissance appelée par les ventilations principales.

Si l'ensemble des mesures est appliqué, il sera donc à nouveau possible d'alimenter les ventilations depuis le bâtiment B sans risquer des coupures de courant. De plus, les actions décrites précédemment prévoient que certains appareils appelant des puissances importantes

(chauffe-eau, convecteur électrique...) ne fonctionnent plus au moment des pointes ce qui limite encore le risque de disjonctions intempestives. A noter également que la diminution des courants harmoniques liés à la suppression de l'onduleur diminue sensiblement le risque de disjonction parasite. L'équilibrage des phases devra aussi être contrôlé à nouveau avec soin. Des enregistrements automatiques en période de pointe seront utiles pour vérifier la marge de courant disponible sur chaque phase.

L'ensemble de ces mesures laisse une marge de sécurité de plus de près de 80A par phase qui devrait permettre d'éviter les disjonctions malgré l'augmentation du parc informatique. On veillera cependant à choisir des équipements avec correction de facteur de puissance inclus. L'utilisation de ce type de matériel permettra d'éviter d'accroître de manière trop importante le courant appelé. Ainsi, l'ajout de 60 ordinateurs (fonctionnant simultanément) sera possible avec seulement 10A de plus par phase.

CHAPITRE 4 : GISEMENTS D'ECONOMIES DANS LES AUTRES BATIMENTS

Ce chapitre, contrairement au précédent, **ne se veut pas exhaustif**. Il dépasse le cadre strict de notre étude. Il résume des actions simples à mettre en œuvre qui permettent d'accéder à des gisements supplémentaires d'économies d'électricité. Il résulte de l'observation de dysfonctionnements découverts au cours de nos visites au lycée.

4.1 ETUDE DE LA TENSION D'ALIMENTATION DU BATIMENT

Le lycée est livré en électricité moyenne tension (HTA 20 kV) au niveau d'un poste principal situé à proximité du bâtiment B et d'un second poste de plus faible puissance pour l'alimentation des nouveaux ateliers.

Un transformateur à bain d'huile de 1000 kVA, propriété du lycée, abaisse la moyenne tension en 410 V triphasé pour alimenter un tableau général de départs vers les différents bâtiments. Le comptage d'énergie en vue de la facturation est réalisé par un compteur électronique type Tarif Vert interrogeable à distance.

Le tableau électrique général basse tension du bâtiment B est alimenté à partir du poste principal via un disjoncteur de protection de 200 ampères par phase. Les câbles de liaison avec le poste ont été doublés lors de la rénovation du bâtiment. Suite à de nombreuses disjonctions générales du bâtiment B, il a été nécessaire de trouver des solutions d'effacement de puissance. Provisoirement, les ventilations principales du bâtiment B sont alimentées par le tableau électrique du bâtiment C, ce qui permet de réduire d'environ 30A par phase les courants appelés et résout le problème des disjonctions intempestives.

Des mesures de tension ont été effectuées en continu sur les trois phases au niveau des tableaux électriques des bâtiments B et C (arrivée coté loge), ainsi que sur des périodes plus réduites au bâtiment A et en sortie du poste principal. D'autres paramètres ayant trait à la qualité du courant et de la tension (déphasage, facteur de puissance, présence d'harmoniques, déséquilibre des phases...) ont été enregistrés également sur des périodes de plusieurs jours aux bâtiments A, B et C ainsi qu'en sortie du poste principal.

4.1.1 Niveaux de tension mesurés.

D'une manière générale, les mesures mettent en évidence des valeurs particulièrement élevées, bien au-dessus des valeurs nominales de fonctionnement des appareils en place, soit 230 Volts. Le graphique 4.1 donne le profil moyen mesuré aux bâtiments B et C sur la période de mesure.

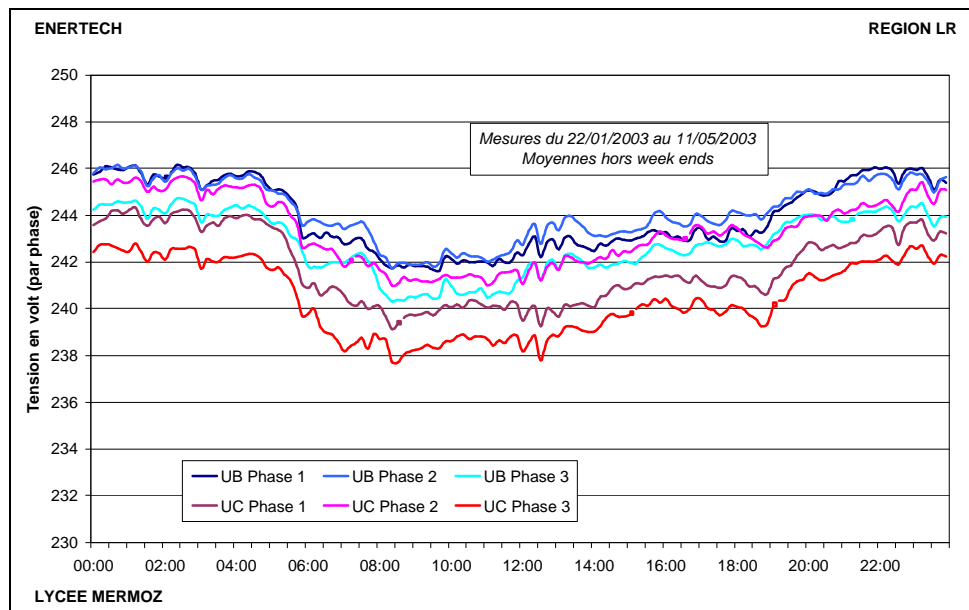


Figure 4.1 : Tensions mesurées arrivées bâtiments B et C

Durant les week-ends, les valeurs sont en moyenne plus élevées, mais surtout ne baissent pas ou très peu durant les heures ouvrables (graphique 4.2).

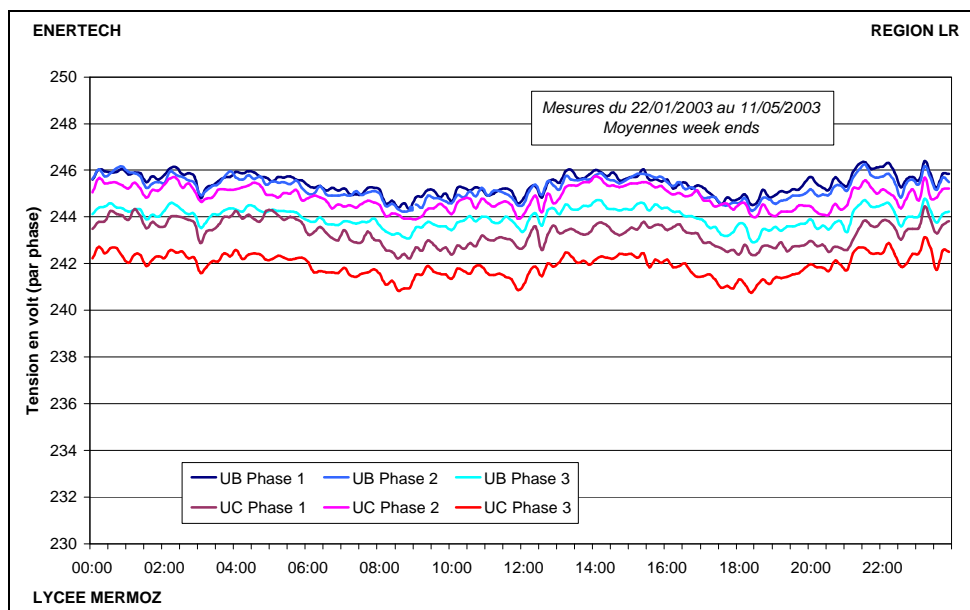


Figure 4.2 : Tensions mesurées arrivées bâtiments B et C - Week-ends

Si l'on ne sélectionne que les jours de vacances scolaires, on constate alors que les variations de tension sont presque aussi faibles que durant les week-ends (graphique 4.3).

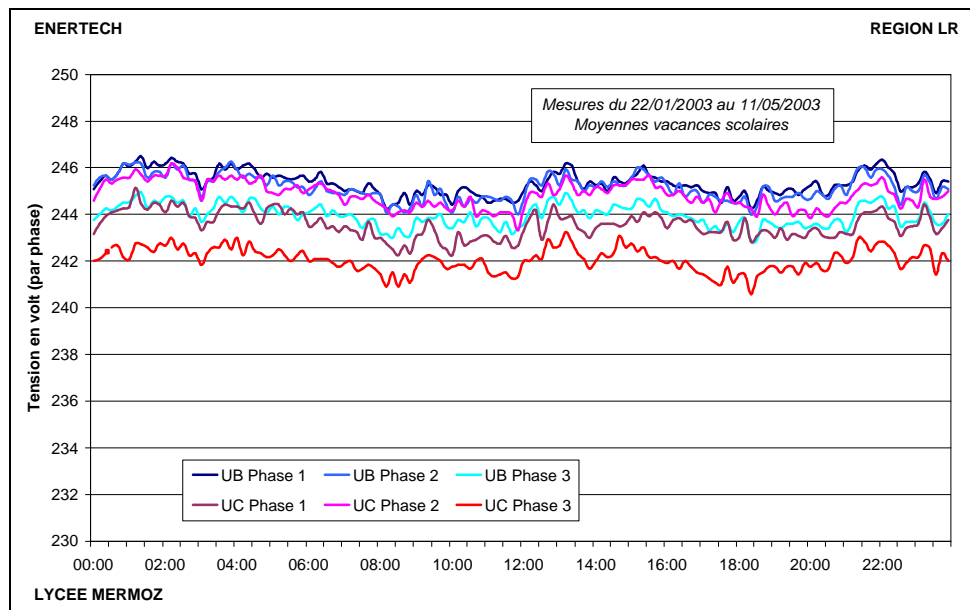


Figure 4.3 : Tensions mesurées arrivées bâtiments B et C - Vacances scolaires

On peut donc en conclure que les variations de tension sont en majeure partie dues aux chutes de tension dans l'établissement (transformateur et câbles de liaison) et non à des variations du réseau. Les niveaux de ces variations sont proches de ceux estimés par calcul avec un courant variant entre 200 ampères les nuits et en moyenne de 600 à 700 ampères en pointe avec une impédance de transformateur (rapportée au secondaire) d'environ 8 milliohms. Les pertes dans les câbles sont réduites pour le bâtiment B et un peu supérieures pour le bâtiment C, notamment sur une des phases. Par exemple, il a été observé que lors de la mise en marche d'un four électrique puissant (55 kW) alimenté par le tableau du bâtiment C (coté loge), la tension à l'arrivée de ce tableau diminue d'environ 5 volts sur une des phases alors qu'elle ne baisse que de 2.1 à 2.7 volts sur les autres. Les courants étant approximativement équilibrés, on peut en conclure qu'une des phases présente une impédance plus forte que les autres. Ce phénomène n'a pas été observé au niveau du poste ce qui laisse supposer que ce léger défaut est lié à la jonction entre poste et tableau du bâtiment C. Il conviendra donc de procéder à une vérification du serrage des liaisons correspondantes.

4.1.2 Variations mensuelles de la tension :

Les tensions réseau observées au lycée Mermoz sont relativement stables sur des périodes longues : les écarts entre les différents mois de la période de mesure sont de l'ordre de 10 volts, soit 2.4% comme le montre la figure 4.4.

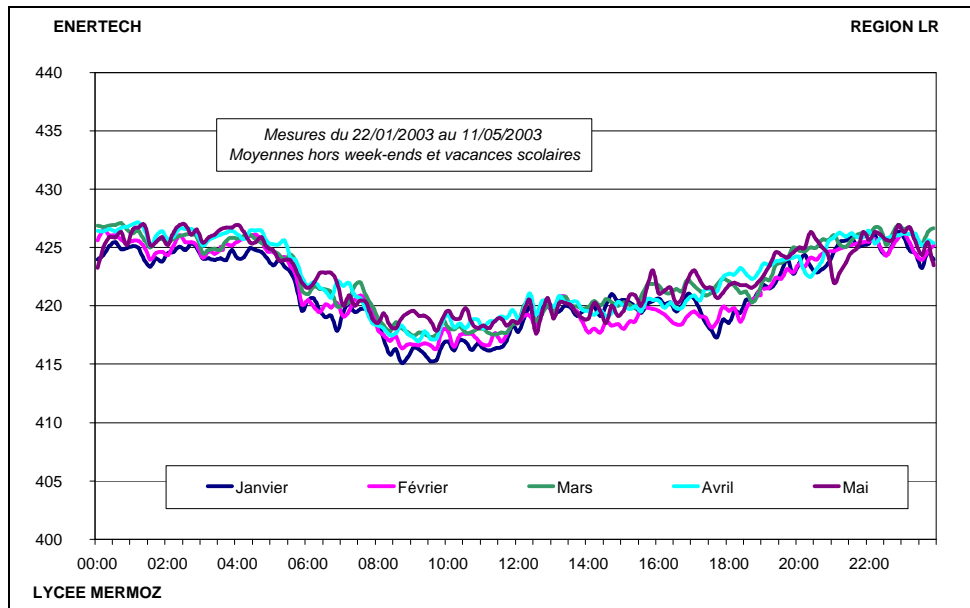


Figure 4.4 : Tension moyenne triphasée mesurée au bâtiment B

4.1.3 Facteur de puissance, déphasage du courant.

La majorité des appareils du lycée présentent des facteurs de puissance non unitaires, en général inductifs en particulier pour ce qui concerne les pompes et ventilations. La grande majorité des éclairages fluorescents sont compensés ce qui leur permet d'atteindre un facteur de puissance supérieur à 0,97. La consommation de réactif (après le transformateur) atteint environ 60 kVar en dehors des heures ouvrées et monte jusqu'à 200 kVar pendant les heures de cours.

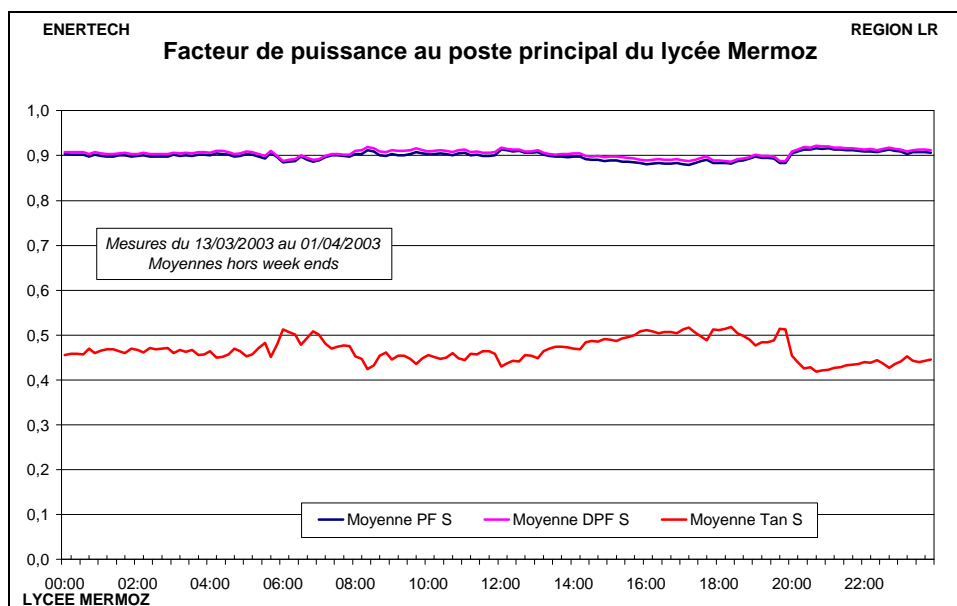


Figure 4.5 : Facteur de puissance au poste principal du lycée Mermoz

PF : facteur de puissance = Puissance active / Puissance apparente

DPF : déplacement du courant (compensable par des condensateurs)

Tan Phi = Puissance réactive / Puissance active

La valeur de $\tan \phi$ mesurée en aval du poste de livraison principal du lycée est relativement stable autour de 0,45 soit légèrement supérieure à la limite acceptée par EDF (voir figure ci dessus). En amont du transformateur, cette valeur dépasse 0.5 et fait donc l'objet d'une facturation durant les mois d'hiver. En 2002, le montant acquitté a été de 1760 euros TTC.

Seul le bâtiment A est équipé d'une batterie de condensateur de redressement de $\cos \phi$. D'une puissance de 80 kVar en un seul gradin, elle est reliée en permanence au réseau. Durant les périodes de faible consommation, la compensation est supérieure aux besoins, conduisant à une production d'énergie réactive (qui augmente inutilement le courant dans la liaison poste-bâtiment A mais permet d'améliorer le $\cos \phi$ au niveau du poste pour l'ensemble du lycée). En journée, la compensation permet d'atteindre un facteur de puissance proche de l'unité pour le bâtiment A. La surcompensation conduit par ailleurs à augmenter la tension au niveau du tableau d'arrivée du bâtiment, en particulier la nuit. Il semblerait préférable d'asservir le couplage des condensateurs à la mise en route des ventilations qui sont le plus gros consommateur de réactif de ce bâtiment.

D'une manière générale, il est préférable de compenser les consommations de réactif au niveau des appareils concernés. C'est déjà le cas pour les éclairages. Il pourrait être intéressant de le faire également au niveau des caissons de ventilation et des pompes de puissance. La compensation globale et permanente au niveau d'un tableau électrique n'est pas adaptée compte tenu de la forte variation des besoins entre périodes de classe et d'inactivité du site. Des automates permettent un contrôle électronique et la mise en service du nombre de gradins de condensateurs selon les besoins, mais ces systèmes sont coûteux. La compensation directement au niveau des appareils permet à la fois d'éviter les pénalités des distributeurs d'électricité mais aussi de réduire les courants dans les câbles de liaison des appareils et des tableaux.

Par exemple, l'ajout d'une batterie de condensateurs d'environ 10 kVar pour les ventilations des colonnes du bâtiment B (alimentés actuellement par le tableau du C), permettrait, dans l'état actuel de l'installation, de réduire le courant d'environ 40% et entraînerait une réduction des pertes en ligne de plus de 60%. Enfin, la dissipation d'énergie des batteries de condensateurs, typiquement de 0.4W/kVar, est négligeable.

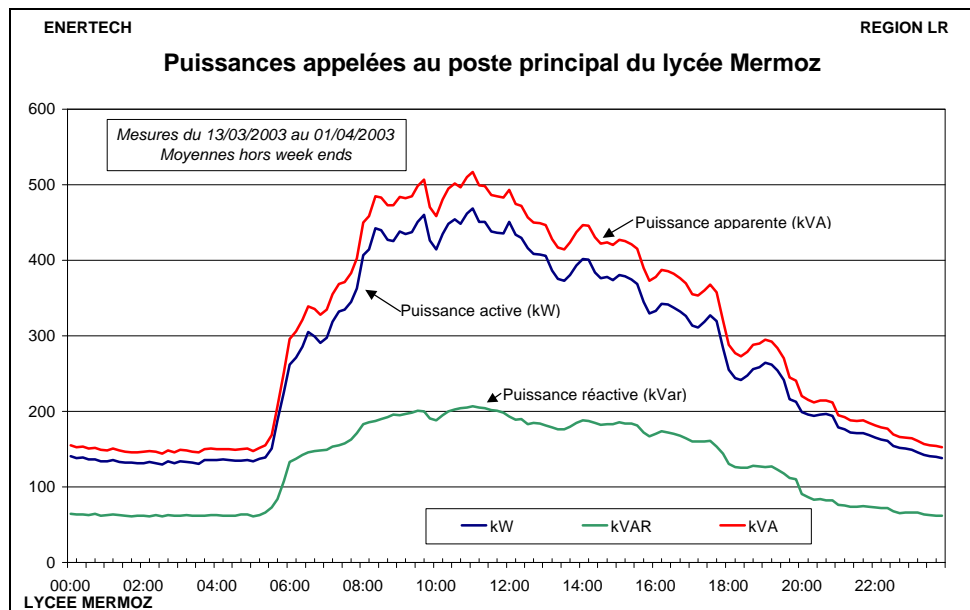


Figure 4.6 : Puissances appelées au poste principal du lycée Mermoz

Pour éviter la facturation de l'énergie réactive, il conviendrait d'installer un total d'environ 200 kVar de condensateurs (à répartir sur les différents appareils de ventilation, les pompes, les éclairages extérieurs). Le coût matériel de cette opération est limité (de l'ordre de 8000 euros TTC) mais le temps d'installation est assez important.

Cette mesure en soit présente une rentabilité assez médiocre mais offre de nombreux avantages annexes tels que la limitation des pertes dans les câbles (ce qui contribue aussi à limiter les différences de tension entre les différents points du lycée) et l'amélioration du rendement du transformateur principal. Ces économies sont difficiles à chiffrer car elles nécessitent l'analyse complète du réseau interne et dépassent donc le cadre de cette étude.

Nous retiendrons donc que la tension livrée présente une moyenne bien supérieure à 230V par phase. Les fluctuations de tension sont faibles et pourraient être encore diminuées en améliorant le facteur de puissance de certains appareils.

Nous conseillons donc de procéder à l'installation de ces batteries de condensateurs en particulier dans les tableaux qui disposent de peu de réserve de puissance. En priorité, les pompes et ventilateurs du bâtiment B seront équipés de condensateurs adaptés ce qui permettra de réduire d'environ 30 à 50% le courant qu'ils absorbent. En première approximation, les puissances des batteries à prévoir seront de l'ordre de 1 kVar pour 1 kW de ventilation et 0.5 kVar pour 1 kW de pompe.

4.1.4 Harmoniques de courant et de tension

Des mesures détaillées des taux de pollution harmonique ont été effectuées au moyen d'un analyseur de réseau triphasé placé en sortie de transformateur général, mais également à l'arrivée des tableaux des bâtiments A, B et C. En outre, les appareils les plus perturbateurs tels que les onduleurs de puissance, ont fait l'objet de mesures spécifiques sur plusieurs jours.

		Rang d'harmonique			
		1	3	5	7
Poste de livraison	Heures de classe	100%	10%	5%	10%
	Inoccupation	100%	6%	5%	6%
Tableau bâtiment B	Heures de classe	100%	12%	8%	18%
	Inoccupation	100%	6% **	20%	18%
Tableau bâtiment A	Heures de classe	100%	7%	16%	15%
	Inoccupation	100%	7%	10%	15%
Entrée onduleur B	Heures de classe	100%	6%	80%	60%
	Inoccupation	100%	10%	90%	75%
Entrée onduleur A	Heures de classe	100%	10%	55%	30%
	Inoccupation	100%	16%	60%	40%
Eclairage fluorescent	Heures de classe	100%	10%	2%	1%

** : 15% sur la phase alimentant l'éclairage extérieur soit 2 lampes à décharges

Figure 4.7 : Niveaux d'harmoniques de courant mesurés en divers points du lycée.

Les onduleurs et les tubes fluorescents sont les principaux générateurs de courants harmoniques. Les matériels informatiques interviennent moins dans la mesure où ils sont pour la plupart alimentés par l'intermédiaire des onduleurs.

Les tubes fluorescents produisent notamment des harmoniques de rang 3 à hauteur d'environ 10% du fondamental (méthode de calcul U.S.). La raison tient à la non-linéarité des ballasts magnétiques utilisés pour ces appareils. Les conséquences de ces perturbations sont cependant limitées.

Les onduleurs installés dans les bâtiments A et B sont de type on-line. Ils transforment en permanence l'ensemble de la puissance les traversant.

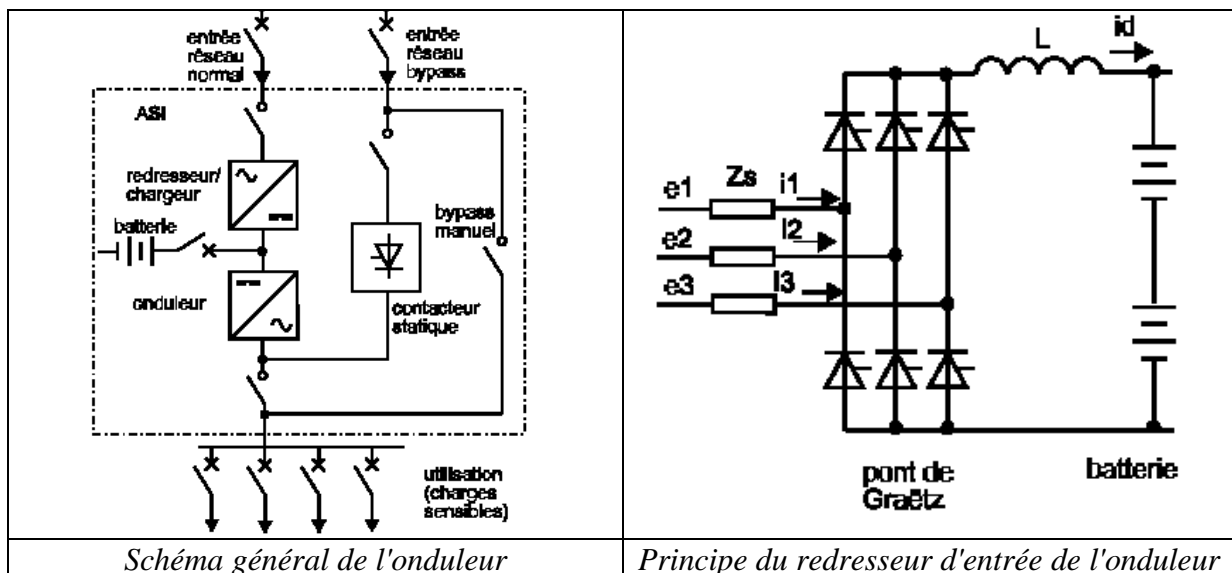


Figure 4.8 : Schéma de principe et étage d'entrée d'un onduleur on-line.

Les redresseurs en entrée des onduleurs des bâtiments A et B sont de type hexaphasé à thyristors. C'est cet étage qui est responsable de la production des courants harmoniques. Compte tenu de l'architecture électrique du redresseur, les harmoniques pairs s'annulent de même que les rangs $3 + 6 \times k$. Restent donc essentiellement les rangs 5, 7, 11 et 13 comme le montrent les mesures :

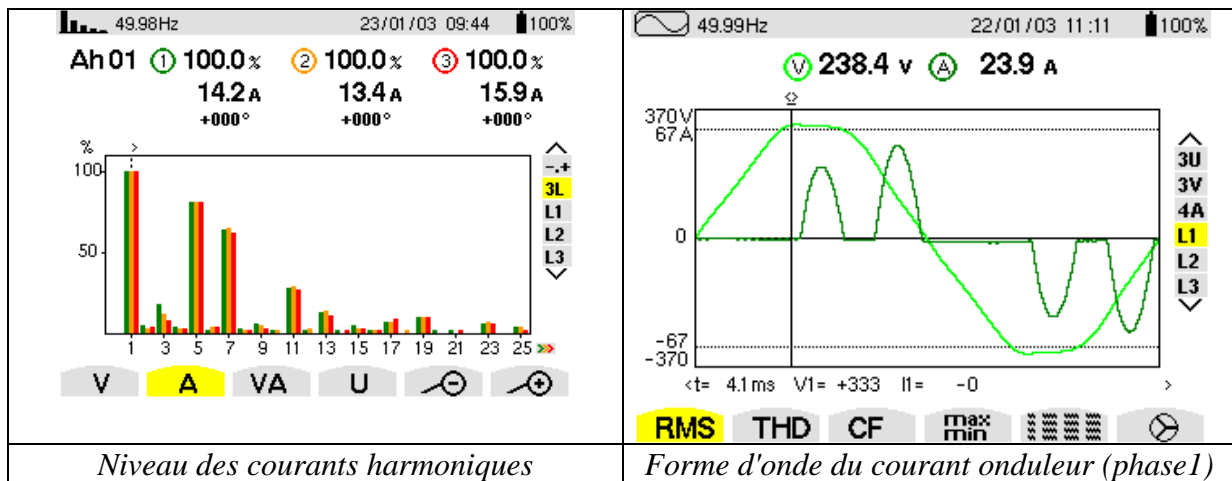


Figure 4.9 : Niveaux d'harmoniques et forme d'onde du courant Absorbé par l'onduleur.

Les niveaux d'harmoniques mesurés (80% au rang 5, 60% au rang 7) montrent clairement l'absence de filtre en entrée des onduleurs. Ils sont particulièrement élevés du fait de la faible charge des onduleurs. En théorie, les niveaux devraient être ramenés à 20% pour le rang 5 et 14% pour le rang 7 à pleine charge pour des onduleurs de ce type.

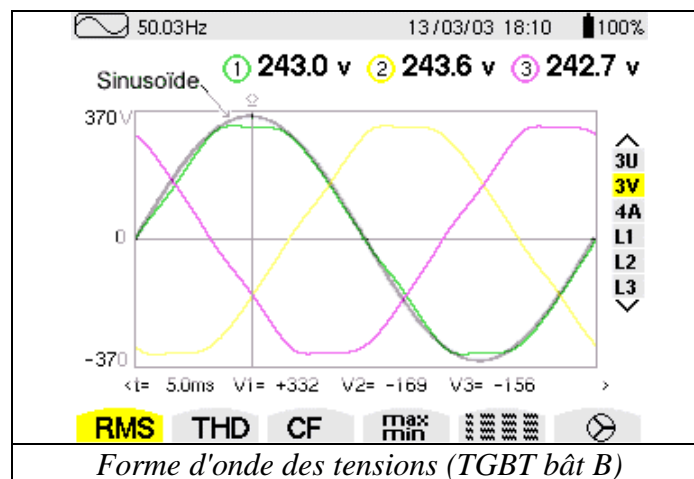


Figure 4.10 : Harmoniques de tension mesurés à l'entrée du TGBT du bâtiment B.

Le réseau électrique du lycée présente une puissance de court circuit élevée (que l'on estime à environ 20 MVA) du fait d'une part de la densité du réseau en zone urbaine et de la capacité importante du transformateur (1000 kVA -Ucc=5.5%). Les liaisons entre bâtiments sont de très forte section et, en dépit de longueur atteignant plusieurs centaines de mètres, présentent des réactances faibles. En conséquence, l'impact de courants harmoniques, même élevés, sur la qualité de la tension dans le lycée reste modéré. Le taux de distorsion harmonique global (THD, caractéristique du niveau de pollution d'un réseau) sur la tension varie entre 3 et 4,5% au niveau du poste et du bâtiment B. Cette valeur n'est pas négligeable mais reste acceptable. La forme d'onde de tension (voir figure 4.10) reste très proche de la sinusoïde. En revanche, il apparaît qu'au bâtiment A, la valeur du THD est sensiblement plus élevée. Il est très probable qu'un phénomène de résonance lié à la présence d'une batterie de condensateurs

ait lieu. Dans la journée, des THD supérieurs à 8% sont couramment observés. Des niveaux de cet ordre sont susceptibles d'avoir des conséquences sur certains appareils électriques sensibles et sur les condensateurs.

Par ailleurs, le facteur de puissance des onduleurs est limité par la présence de ces courants harmoniques, oscillant entre 0,4 et 0,5 pour celui du bâtiment B et légèrement plus au bâtiment A. Contrairement au simple déphasage entre tension et courant que l'on constate par exemple pour les ventilations, ce facteur de puissance ne peut être compensé par l'adjonction de batteries de condensateurs. Seuls des filtres harmoniques peuvent améliorer la qualité du courant absorbé par ces appareils.

Les filtres disponibles sur le marché sont de deux types : filtres passifs utilisant des selfs et des condensateurs et filtres actifs pilotés par microprocesseurs. Les premiers sont simples et relativement bon marché mais sont peu efficaces en présence de charges variables, ce qui est le cas de ces onduleurs. Les filtres actifs (encore appelés correcteurs de facteur de puissance) permettent une action bien plus fine et un résultat optimal. Mais au prix d'une complexité accrue, d'une fiabilité probablement moindre et surtout d'un coût sans commune mesure avec les premiers.

Les onduleurs centralisés de puissance devraient être équipés de systèmes de filtrage pour respecter les directives et recommandations européennes et en particulier la CEI 61000-3-4 qui fixe les niveaux d'émission de courants harmoniques. Outre la suppression des risques afférents sur les matériels sensibles alimentés sur le réseau concerné, la diminution des courants harmoniques se traduit par une hausse de rendement des transformateurs. L'impact des harmoniques sur l'efficacité des transformateurs peut être estimé au moyen du facteur K, défini par la formule suivante (pour la phase i):

$$A_{kf}[i] = \frac{\sum_{n=1}^{n=50} n^2 \cdot A_{harm}[i][n]^2}{\sum_{n=1}^{n=50} A_{harm}[i][n]^2}$$

avec $A_{harm}[i][n]$: Courant harmonique de rang n pour la phase i .

Ce facteur traduit le surdimensionnement à prévoir pour un transformateur du fait de la présence des courants harmoniques. En première approximation, nous pouvons donc considérer que les pertes joules du transformateur sont multipliées par ce facteur du fait des courants harmoniques. Notons que pour les onduleurs des bâtiments A et B, mesurés isolément, A_{kf} dépasse souvent 10, ce qui signifie que considérés isolément, ils impliquent plus de 10% de pertes pour leur alimentation en énergie au travers d'un transformateur classique !

Au niveau du poste, en raison du foisonnement, la mesure de A_{kf} est plus basse et fluctue entre 1.2 et 2 pour chaque phase. Ces valeurs sont les plus élevées durant les périodes de faible consommation car alors, la consommation des onduleurs représente une part plus importante du total. Elle ne diminue cependant pas notablement durant la journée car alors, les harmoniques apportés par les éclairages fluorescents interviennent également. C'est seulement durant le fonctionnement d'appareils de chauffe et de forte puissance, en particulier en cuisine (fours, tunnel de lavage...), que la valeur de coefficient A_{kf} baisse sensiblement.

Nous pouvons donc estimer que la présence des courants harmoniques actuels conduit à un quasi doublement des pertes joules du transformateur principal, soit une hausse de 1% de la consommation du lycée. Notons toutefois que cela n'a pas d'incidence sur la facturation EDF car le comptage est effectué sur le coté basse tension du transformateur (avant les pertes) et la dissipation du transformateur (pertes fer et pertes joules) sont calculées de manière forfaitaire (puissance constante pour les pertes fer et 1,01% de la consommation pour les pertes joules).

En conclusion, les harmoniques de courant observés au lycée Mermoz sont liés aux éclairages fluorescents à ballasts magnétiques et surtout aux onduleurs. La pollution engendrée sur la tension du réseau reste faible mais pourrait déjà avoir des conséquences sur le matériel au bâtiment A. Compte tenu du mode de comptage, les pertes d'énergie induites sont cependant sans influence sur la facture électrique du lycée mais la capacité disponible du transformateur est sensiblement réduite.

4.1.5 Recommandations d'actions concernant la tension :

La tension d'alimentation du lycée a un rôle important sur la consommation d'électricité. En effet, la plupart des usages présents voient leur puissance augmenter notablement lorsque la tension réseau s'accroît. Par exemple, les éclairages fluorescents classiques voient leur consommation croître de 0,7 à 1,1% par volt de hausse de la tension d'alimentation (pour une tension nominale de 230V).

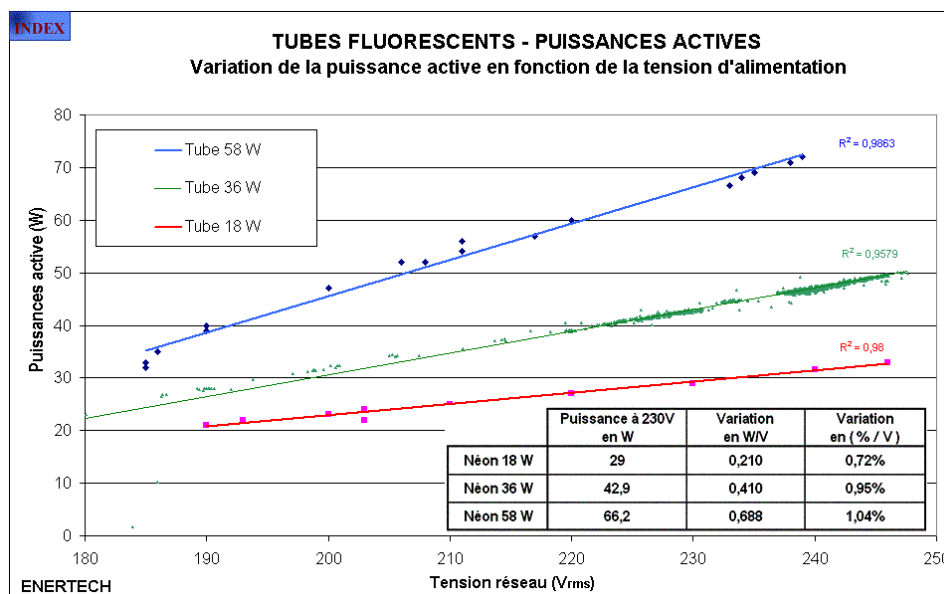


Figure 4.11 : Variation de consommation de tubes fluorescents en fonction de la tension d'alimentation.

La puissance lumineuse est bien entendu affectée par la variation de tension. Mais pour les éclairages fluorescents et les moteurs, l'efficacité augmente alors légèrement ce qui implique que la diminution de service varie dans des proportions identiques voire moindres que l'économie d'énergie. La réponse des yeux à l'éclairage n'étant pas linéaire mais logarithmique, une baisse (lente) de 10 à 15% du flux lumineux n'est en général pas perçue.

Pour les ventilateurs et les pompes, dont la puissance absorbée varie avec le cube du débit, l'impact est encore inférieur. Ainsi, ramener la tension du niveau actuel de 240-245V à environ 230V voire 225V durant les pointes (valeur mesurée au niveau des appareils les plus défavorisés), ne devrait pas avoir de conséquence dommageable et se traduirait plutôt par une amélioration de la durée de vie des appareils.

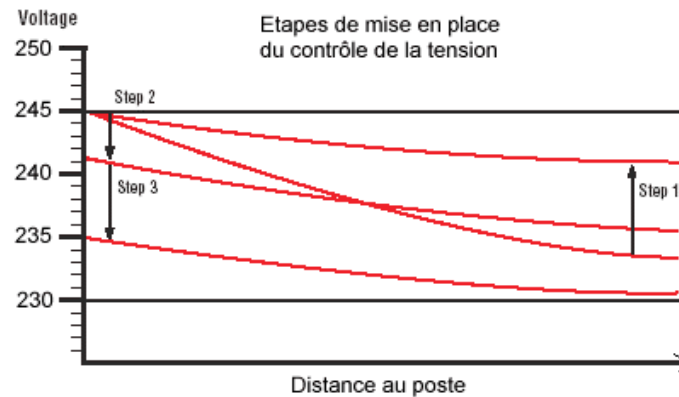
Des études suivies par la mise en place de programmes de réduction de tension ont été conduites aux Etats Unis par plusieurs distributeurs d'électricité, au niveau de postes de livraison. Les résultats montrent des valeurs sensiblement inférieures pour les ratios de diminution d'appels de puissance électrique lorsque la tension réseau est réduite : 0,8% / %V soit seulement 0,35% par volt (pour une tension nominale de 230 V).

Table 2. Voltage reduction test results among four utilities (Source: Power System Voltage Stability by C.W. Taylor, McGraw-Hill, Inc.)

Utility	Percent Demand Reduction for 1% Voltage Reduction	
	Residential	Commercial
American Electric Power 1	0.80	0.78
American Electric Power 2	0.90	0.86
Consumers Power Company	0.83	1.38
San Diego Gas & Electric Co.	1.14	0.08

Cette différence s'explique par le fait que certains appareils comportant des résistances sont dotés de systèmes de régulation. Bien que leur puissance soit effectivement notablement réduite, les durées de fonctionnement sont accrues pour parvenir à la température souhaitée, comme c'est le cas par exemple pour les chauffe eau ou les fours. La consommation d'énergie est alors quasi identique. Pour un distributeur d'énergie au niveau d'un poste, le foisonnement annule alors l'économie de puissance dans ce cas. Mais dans le cas du lycée, ces usages ne représentent qu'une part mineure de la consommation et de l'appel maximal de puissance. Compte tenu de la part importante des éclairages fluorescents à ballasts standards, nous pouvons retenir une loi de variation de 1.4 % de la consommation par pour cent de diminution de la tension d'alimentation (soit 0.6% par volt) et environ 1.8 % pour ce qui concerne l'appel de puissance (soit 0.8% par volt).

Nous avons vu plus haut que la tension d'alimentation du lycée en sortie de poste est en moyenne bien plus élevée que la tension nominale des appareils électriques en place. Les chutes de tension entre les tableaux électriques et entre les bâtiments sont relativement faibles et peuvent être améliorées (grâce aux condensateurs et aussi par amélioration de l'équilibrage des phases lorsque c'est encore possible). Le graphique suivant résume les différentes étapes de la mise en place d'une réduction de tension en vue d'économiser l'énergie :



La forte tension présente au niveau du poste est en général justifiée pour pouvoir, dans les pires conditions de charge du réseau, atteindre l'appareil le plus éloigné avec une tension encore suffisante pour un fonctionnement optimal. Il en résulte que les appareils situés à proximité du poste bénéficient en permanence d'une tension supérieure et cela est encore plus vrai lors des périodes, largement majoritaires, de faible demande du lycée.

La première étape consiste donc à limiter autant que possible les chutes de tension sur le réseau. Pour cela, la méthode la moins coûteuse consiste à améliorer le facteur de puissance des appareils consommant du réactif au moyen de condensateurs. Ce point a déjà été évoqué plus haut. Il est même envisageable de sur compenser des endroits éloignés de manière à surélever la tension (avec toutefois la contrainte d'augmenter les pertes dans ces liaisons). Si besoin, certains câbles pourraient être renforcés mais dans le cas présent, cette mesure ne semble pas nécessaire.

Une fois les tensions rendues plus homogènes sur l'ensemble du bâtiment, il devient possible de procéder à une réduction de la tension au niveau du poste lui-même. Cette réduction peut même, dans une dernière étape, être encore accrue lors des périodes de pointe afin de limiter les coûts d'abonnement

Les techniques de diminution de tension

La méthode classique de réglage de tension est applicable sur tous les transformateurs des postes de livraison et consiste en un changement de plot (qui permet l'ajout de spires du bobinage montées en série). Cette opération simple et rapide (à effectuer toutefois hors tension, c'est à dire lors d'une coupure générale) permet sur la plupart des transformateurs, d'ajuster le niveau de tension de sortie par paliers de 2,5%.

Au lycée Mermoz, le transformateur du poste principal dispose de trois plots et celui correspondant à la position médiane est utilisée actuellement. Il n'est donc possible de diminuer que de 2.5% la tension secondaire. Cette baisse est générale et permettrait de réduire d'environ 6 volts la tension phase-neutre en tout point. Compte tenu des valeurs mesurées durant la campagne, cette modification peut a priori se faire sans risque. Une étude d'EDF réalisée sur notre demande en août 2003 parvient à la même conclusion.

La diminution de tension intervient sur la puissance d'abonnement et sur la consommation électrique. **L'économie à attendre du changement de plot du transformateur est de 3.5% de l'énergie et de 4,5% de l'abonnement du lycée soit plus de 4,5 kEuros par an (pour la consommation actuelle) sans investissement.**

Pour les bâtiments neufs, on veillera à prescrire des transformateurs munis de plots en nombre suffisants pour permettre un réglage optimal de la tension dans tous les cas. (Y compris lorsque le distributeur décide de relever le niveau de tension de livraison comme cela a été le cas ces dernières années.).

Pour optimiser la variation de tension et augmenter les économies, il est nécessaire de recourir à des appareils permettant un réglage en charge. C'est le cas de systèmes d'autotransformateurs variables munis de servomoteurs ou, plus récemment développés, d'onduleurs à semi-conducteurs fonctionnant dans les quatre quadrants disposés de manière à pouvoir ajouter ou soustraire la tension nécessaire à la tension réseau. Ces derniers appareils, dotés d'électronique de régulation sophistiquée, peuvent également réduire les effets des courants harmoniques et améliorer le facteur de puissance. Ils contribuent également à amortir les transitoires véhiculés par le réseau.

La régulation permet de s'adapter en temps réel aux variations de tension du fournisseur et de compenser les chutes de tension dues au transformateur. Ainsi, il est possible d'obtenir un profil journalier totalement plat, c'est à dire de réaliser alors le maximum d'économie durant les nuits et les périodes d'occupation, lorsque la tension réseau est normalement bien au-delà du nécessaire. Malheureusement, ces dispositifs sont encore coûteux et peu distribués en Europe.

Les programmes de réduction de tension (connus outre atlantique sous le nom de Voltage Conservation Reduction), appliqués à des bâtiments entiers ou à des postes de livraison restent controversés. Rien d'étonnant à cela dans la mesure où ils affectent directement les revenus des distributeurs d'électricité et agissent comme révélateur des problèmes de qualité de la fourniture. Ainsi, une baisse rapide de tension (voltage sag) peut bien plus facilement, lorsque le réseau est initialement à son strict niveau nominal, entraîner des dysfonctionnements visibles d'appareils (extinction de lampe à décharge, blocage d'un entraînement pour un moteur travaillant en limite de couple..). Un peu comme si l'on devait régler un ralenti moteur à un niveau très élevé pour éviter de caler... Il va de soi qu'un compromis est à trouver.

Bien que la réduction de tension permette d'éviter la mise en place de moyens de production pour faire face aux pointes (et à un coût infiniment moindre), elle reste quasi inconnue en Europe. Aux Etats Unis, plusieurs programmes d'ampleur ont déjà été réalisés par des compagnies d'électricité. Lors des crises de la distribution en Californie, cette technique a connu un très vif surcroît d'intérêt. La diminution de coût des convertisseurs actifs ouvre également la voie à des applications nouvelles : des dispositifs individuels ou à destination des petites entreprises sont déjà proposées par des fabricants américains dans le but unique d'économiser l'électricité.

Les armoires automatiques de contrôle de la tension qui se trouvent sur le marché en Europe sont avant tout destinées à l'éclairage public. Dans ce secteur, on bénéficie à la fois de durées de fonctionnement élevées, de possibilités de diminution très importantes (réduction supérieure en milieu de nuit) et de niveaux de tension réseau les plus hauts durant les heures de marche. Les économies peuvent atteindre 25 à 35%. Ces investissements peuvent alors rapidement être amortis.

Il n'en va pas de même pour le cas d'un lycée où la diminution de tension ne peut guère aller au-delà de 5 à 6 %. Par ailleurs, le dispositif de contrôle doit être dimensionné pour la puissance maximale mais fonctionnera souvent avec un taux de charge moyen très bas (inférieur à 25%). En définitive, le coût actuel d'un système adapté au lycée serait d'au moins

50 keuros pour une économie annuelle de 7 à 8 % de la facture d'électricité soit 7 keuros TTC par an. De plus, la moitié de cette économie peut être obtenue sans frais par changement de plot au niveau du transformateur. L'ajout du système automatique n'est alors plus économique. Il convient toutefois de noter que le prix de ces dispositifs devrait considérablement baisser à l'avenir. Il est très probable que le contrôle automatique de tension, appliqué au niveau des postes de livraison ou encore à l'entrée des armoires des principaux bâtiments, devienne une des solutions les plus rentables et faciles à mettre en œuvre pour la maîtrise de la demande d'électricité et pour éviter les renforcements de réseau. Les niveaux moyens de tension que l'on peut mesurer dans la plupart des bâtiments en ville, mais encore plus en zones rurales, laissent en effet prévoir une marge de manœuvre importante pour ces techniques. Sans compter les possibilités de filtrage et autre amélioration de la qualité du courant qui sont incluses dans ces appareils.

On retiendra de ce qui précède que la vérification et l'ajustement éventuel des niveaux de tension livrée à un bâtiment constituent une source d'économie potentiellement très intéressante. Dans le cas présent, la réduction de tension proposée, réalisable par simple réglage au niveau du poste, conduit à une économie de près de 4% de la facture électrique du lycée !

4.1.6 Pertes du transformateur

Le transformateur du poste principal du lycée abaisse la moyenne tension 20 kV en 410V. Compte tenu de sa capacité importante (1000 kVA), celui ci présente des pertes non négligeables :

- Les pertes fer, constantes tout au long de l'année, quelle que soit la charge.
- Les pertes Joules qui sont fonction du courant transformé.

Compte tenu du mode de comptage, ces pertes sont calculées par le distributeur à partir d'un modèle du transformateur. Les pertes fer avoisinent 1900 W en permanence et les pertes Joule sont fixées à 1.01% de la consommation d'énergie active. En totalité, les pertes transformateur représentent 2% de la consommation totale du lycée soit 2500 Euros TTC. Le transformateur semble bien dimensionné pour cette application (pertes Joules du même ordre de grandeur que les pertes fer).

Des transformateurs plus performants existent sur le marché. Ils présentent des pertes réduites notamment en ce qui concerne les pertes fer (-25 à -35%) et Joule (-10 à 15%). Légèrement plus coûteux, ils pourront cependant être amortis sur leur durée de vie importante dans le cas de l'installation d'un nouveau poste.

Les frais de montage d'un transformateur empêchent de considérer un remplacement prématuré dans le seul but de faire des économies d'énergie. En revanche, dans le cas du lycée Mermoz, le remplacement pourrait être l'occasion de prévoir un transformateur présentant une plage de réglage de tension élargie et permettant ainsi une réduction plus importante de la tension de sortie. L'économie totale pourrait alors dépasser 2000 euros TTC par an pour un montant de transformateur d'environ 14000 euros (hors installation). Il y aurait bien sur alors lieu de mettre à jour le mode de calcul des pertes par EDF pour bénéficier de ces économies.

4.2 L'ECLAIRAGE

4.2.1 Ajout de minuterics

Le hall du bâtiment A est éclairé par des projecteurs halogènes et des ampoules à incandescence commandés par des interrupteurs. Les luminaires sont divisés en trois zones :

- Hall d'entrée du bâtiment A possédant un éclairage naturel important (façade vitrée)
- Couloir de liaison
- Hall d'entrée des ateliers et salle de réunion sous une verrière

Très souvent, les trois zones sont allumées le matin lorsque l'éclairage naturel n'est pas suffisant et fonctionnent ensuite inutilement pendant plusieurs heures. Deux actions peuvent être menées pour pallier à ce dysfonctionnement :

- 1- Remplacement des interrupteurs existants par des minuterics
- 2- Séparation des commandes du hall (minuterie) et de la salle de réunion (interrupteur).

Ce travail pourra être réalisé par les électriciens du lycée. Le coût de l'opération est alors estimé à 90 euros TTC (3 minuterics). On évalue l'économie à trois quarts de la consommation actuelle. De plus, ces luminaires ne devraient pas être en fonctionnement au moment de la pointe du matin vu que l'éclairage naturel est suffisant et on réalise donc aussi une économie sur l'abonnement. Enfin on pourrait remplacer les ampoules à incandescence par des lampes fluocompactes beaucoup moins consommatrices.

Economies consommation		Economies abonnement		Total	Coût	Temps de retour
kWh/an	euros TTC/an	W	euros TTC/an	euros TTC/an	euros TTC/an	ans
4430	299	3000	137	436	90	0,2

Figure 4.12 : Economies envisageables pour l'éclairage du hall du bâtiment A

4.2.2 Utilisation de sources performantes

4.2.2.1 Ampoules fluo compactes

Les ampoules fluocompactes présentent de nombreux avantages par rapport aux ampoules à incandescence. Ainsi elles possèdent une très longue durée de vie (environ 12 000 heures contre 1 000 pour les modèles à incandescence) et une bonne efficacité lumineuse de l'ordre de 60 lumens par watt (contre seulement 13 lumens par watt pour les ampoules à incandescence). Elles permettent donc de diviser par 4 ou 5 la puissance appelée pour un même éclairage.

Certaines ampoules à incandescence, notamment à la maison des lycéens, sous le préau de la cafétéria, ont déjà été remplacées par des ampoules fluo compactes Ces remplacements

doivent être systématisés lors des changements de lampes. A noter cependant que l'usage d'ampoules fluo compactes est déconseillé pour les luminaires soumis à de nombreux allumages (par exemple ceux commandés par minuterie).

On trouve encore des spots à incandescence de forte puissance (120W) à la cafétéria, au CDI et dans la salle des professeurs. Ceux de la cafétéria peuvent être remplacés par des modèles fluocompacts standards de 20 W qui coûtent environ 7 euros TTC. Quant à ceux du CDI et de la salle des professeurs, on utilisera de préférence des modèles à réflecteur (environ 25 euros TTC). Autre avantage de ce remplacement : il réduira les dégagements de chaleur si préjudiciables au confort d'été.

	Economies consommation		Economies abonnement		Total	Nombre d'ampoules	Coût	Temps de retour
	kWh/an	euros TTC/an	W	euros TTC/an	euros TTC/an		euros TTC/an	ans
Cafétéria	689	49	-	-	49	5	35	0,7
CDI	3040	201	1900	91	292	19	475	1,6
Salle des professeurs	2400	161	1500	34	195	15	375	1,9
	6129	411	3400	125	536	39	885	1,7

Figure 4.13 : Economies envisageables grâce à l'utilisation d'ampoules fluo compactes

4.2.2.2 Spots halogènes performants

L'éclairage de l'essentiel des bâtiments rénovés est effectué, au moins en partie, grâce à des spots halogènes basse tension (12V). Ce type d'éclairage présente le mauvais rendement intrinsèque de la technologie à incandescence. Des spots halogènes améliorés pouvant être utilisés en remplacement direct des modèles en place existent. Ils présentent une efficacité pouvant être 40% supérieure et une durée de vie accrue (4000 à 6000 heures au lieu de seulement 1000 à 2000). Ainsi les spots actuels de 50W peuvent être remplacés par des modèles performants de 30W de Philips (Masterline ES) ou Mazda (Pépité Dichro 7 Gold). Ils coûtent environ 10 euros TTC. Les économies réalisables sont données dans le tableau 4.10 pour le réfectoire et le CDI. Dans ce cas, l'économie est plus importante. En effet, vu la hauteur du plafond, il est nécessaire de louer une nacelle une fois par an pour remplacer l'ensemble des spots. Avec les spots performants, un remplacement tous les 3 ans sera suffisant.

On pourra aussi remplacer les spots du hall d'entrée de l'administration (économie non chiffrée ici).

	Economies consommation		Economies abonnement		Total	Nombre de spots	Coût ⁽¹⁾	Temps de retour
	kWh/an	euros TTC/an	W	euros TTC/an	euros TTC/an		euros TTC/an	ans
CDI	1024	68	640	31	99	32	128	1,3
Réfectoire	2267	150	1240	50	200	62	248	1,2
	3291	218	1880	81	299	94	376	1,3

(1) : la durée de vie d'un spot performant (10 euros) est 3 fois supérieure à celle d'un spot standard (2 euros) , le surcoût est donc égal à $10-3 \times 2 = 4$ euros/spot

Figure 4.14 : Economies envisageables grâce à l'utilisation de spots halogènes TBT performants

4.2.2.3 Kits de rénovation Retrolux

Plusieurs locaux, autres que les salles de classe, sont éclairés à partir de tubes fluorescents. Dans certains lieux comme le hall des machines des ateliers, l'atelier des factos ou encore le self, les durées d'allumage sont importantes. Dans ce cas, la rénovation des luminaires à l'aide des kits Retrolux décrits dans le paragraphe 3.4.1.1 est intéressante. Les économies envisageables sont décrites dans le tableau 4.15.

	Economies consommation		Economies abonnement		Total	Coût	Temps de retour
	kWh/an	euros TTC/an	W	euros TTC/an	euros TTC/an	euros TTC/an	ans
Ateliers	8495	579	3548	161	740	3768	5,1
Facto	2115	146	649	29	175	1056	6,0
Self	586	41	260	12	53	275	5,2
	11196	766	4507	202	968	5099	5,3

Figure 4.15 : Economies envisageables grâce aux kits de rénovation Retrolux

4.3 CHAUFFAGE ET CLIMATISATION

4.3.1 Les pompes de chauffage

4.3.1.1 Description de l'installation

Le lycée est chauffé à partir du réseau de chauffage urbain au moyen d'une sous station principale pour l'essentiel des bâtiments du lycée, et d'une petite sous station pour le bâtiment d'administration. A partir de l'échangeur principal, l'énergie est distribuée vers chacun des bâtiments grâce à deux réseaux primaires. Ces réseaux desservent une sous station dans chaque

bâtiment d'où partent ensuite les réseaux secondaires (généralement un par façade) - voir figure 4.16.

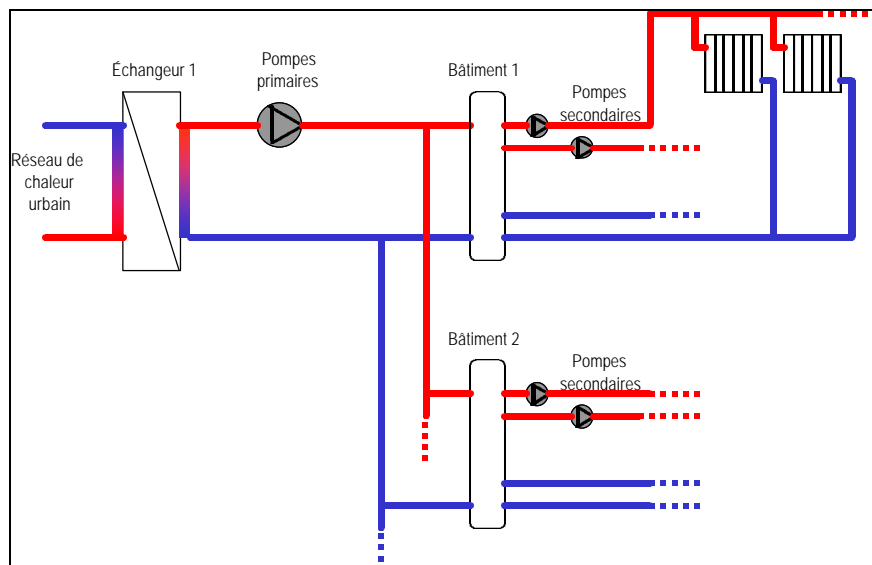


Figure 4.16 : description schématique de l'installation de chauffage

L'installation de chauffage comporte d'une part deux pompes primaires doubles (une pour chaque réseau primaire) et d'autre part un grand nombre de pompes de plus petite taille pour assurer la distribution finale. Les pompes primaires sont de forte puissance (18 kW nominal chacune) en raison des distances importantes entre les bâtiments et des débits véhiculés (300 m³/h par pompe). Les pompes primaires fonctionnent à débit constant durant toute la saison de chauffe, quelle que soit la charge thermique des bâtiments. Il en est de même durant les vacances à cause des logements de fonction.

Les pompes secondaires fonctionnent également à débit constant (puisqu'il n'y a pas de robinets thermostatiques dans les locaux) et sont asservies au régulateur qui les arrête en période d'inoccupation ou lorsque les besoins sont satisfaits.

4.3.1.2 Fonctionnement observé

Pompes primaires.

La consommation des pompes primaires est considérable. Elle atteint 143,4 MWh par an soit 11 867 euros TTC ou encore 8% de la facture d'électricité du lycée. Les pompes ont fonctionné en permanence à partir de début novembre 2002 (quelques essais de fonctionnement ont eu lieu auparavant en octobre) et jusqu'à la fin de la saison de chauffe. Le réseau desservant notamment les bâtiments A et B a été arrêté le 19 avril 2003. Le second réseau, qui alimente en particulier les logements, a fonctionné jusqu'au 5 mai.

Le coût moyen de l'électricité pour cet usage, abonnement compris, est de 0.083 euros TTC/kWh, montant assez élevé du fait que la consommation a lieu en grande majorité l'hiver.

Pompes secondaires.

Nous avons dénombré pas moins de 33 pompes secondaires (doubles) pour la distribution du chauffage dans le lycée. L'ensemble des pompes secondaires représente une consommation de 51,6 MWh par an soit 3,4% de la consommation totale du lycée. Le coût moyen de l'électricité pour cet usage est très élevé (0.12 euros par kWh) car les consommations sont maximales en heures pleines d'hiver. Les pompes secondaires fonctionnent généralement durant les périodes d'appel maximal de puissance du lycée et interviennent de façon significative dans les coûts d'abonnement.

4.3.1.3 Possibilités d'amélioration

Variation de vitesse des pompes primaires.

Le cas des pompes primaires est particulièrement favorable à la mise en place d'un dispositif de variation de vitesse. En effet, ces pompes tournent actuellement en permanence à pleine puissance alors qu'elles n'ont besoin de fournir leur débit maximal que quelques heures par an, lorsque les températures extérieures sont proches des températures de base (-5°C) et, dans une moindre mesure, lors des relances du chauffage. De plus, une diminution de 50% du débit se traduit par une division par près de 8 de la puissance électrique appelée par des pompes conduisant à des économies importantes même pour des variations de débit limitées.

Nous préconisons donc la mise en place d'un variateur de vitesse pour chacune des deux pompes primaires afin de pouvoir adapter au mieux les lois de régulation aux besoins des différents bâtiments. Les variateurs pourront être asservis à la température extérieure (débit de 100% du nominal pour la température de base diminuant linéairement jusque 30 à 50% pour 20°C extérieur par exemple) ou encore à l'écart de température entre sortie échangeur et retour réseau pompe primaire (de manière à maintenir un écart constant, par exemple de 5°C). La seconde méthode présente l'avantage de prendre en compte intrinsèquement les besoins accrus durant les périodes de relance du chauffage. Dans tous les cas, une étude technique préalable à la mise en place des variateurs est indispensable.

L'économie estimée de consommation électrique atteint 100 MWh par an ou encore 8200 euros TTC. Compte tenu d'un investissement de l'ordre de 15 000 euros, le temps de retour de cette mesure est inférieur à 2 ans.

Pompes secondaires

Les mesures décrites au paragraphe 3.4.3.1.2. pour le bâtiment B sont applicables à l'ensembles des pompes secondaires du lycée.

4.3.2 Pompes pour l'eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire des cuisines et des dortoirs du lycée est produite à partir d'une chaudière gaz centrale située près de la cuisine. Les ballons de stockage sont placés dans la galerie technique sous le bâtiment C. Une pompe réalise le bouclage de l'eau produite par la

chaudière vers l'échangeur des ballons. Elle tourne en permanence et entraîne une consommation de 7 311 kWh par an soit 463 euros TTC.

Le fonctionnement continu de cette pompe (905 Watts) occasionne une consommation électrique et des pertes de chaleur importantes alors qu'il n'est indispensable que lorsque le brûleur de la chaudière fonctionne. Cependant, il n'est pas possible d'asservir le fonctionnement de la pompe au brûleur car le thermostat de la chaudière doit être en permanence informé de la température des ballons pour commander les démarrages du brûleur. La solution consiste soit à simplement réduire la vitesse de la pompe lorsque le brûleur ne fonctionne pas (débit divisé par 4 par exemple), soit à installer un nouveau thermostat monté sur le ballon le plus froid de la série et câblé de manière à interdire la mise en route de la chaudière et de la pompe lorsque la température de ce ballon est suffisante. Un hystérésis important est souhaitable et la valeur de consigne de ce thermostat doit bien entendu être sensiblement inférieure à la température de production d'eau chaude par la chaudière. Cette solution doit apporter 80 à 90% d'économie sur la consommation de la pompe soit 6 215 kWh par an ou encore 357 euros. Le coût de mise en place de cette mesure dépend essentiellement des frais de raccordement entre le thermostat à mettre en place et la chaufferie gaz. Il devrait toutefois rester très modéré.

L'eau chaude sanitaire des gymnases est produite soit à partir du réseau de chauffage urbain, soit par des ballons électriques en période de non-chauffage. Des pompes de faible puissance (42 Watts) assurent la circulation de l'eau chaude du réseau vers les échangeurs internes des ballons. Ces pompes sont commandées par des thermostats placés en partie basse des ballons et par des horloges. Le fonctionnement observé dans plusieurs gymnases semble peu en rapport avec les besoins de production d'ECS. Il conviendra donc de vérifier la programmation des horloges (en pensant à ce qu'elles arrêtent les pompes en fin de saison de chauffe) et de s'assurer que les thermostats ne présentent pas des consignes supérieures aux possibilités du réseau urbain. Les durées de fonctionnement des pompes peuvent être diminuées fortement. L'incidence sur le plan énergétique reste limitée compte tenu de la faible puissance de ces pompes. Par ailleurs, il apparaît qu'à l'issue de la saison de chauffe, les résistances électriques des ballons des gymnases n'ont jamais fonctionné. Il est probable que l'utilisation d'ECS dans les gymnases est dérisoire par rapport à la capacité des installations. On peut se demander s'il est légitime de maintenir en puissance et en température des équipements qui ne sont pratiquement jamais utilisés.

4.3.3 Autres pompes

4.3.3.1 Pompe du réseau eau glacée

Certains locaux administratifs et un amphithéâtre disposent d'une climatisation. La production de froid est assurée par un groupe de production d'eau glacée (régime 12/7°C). Cette eau est distribuée par une pompe Grundfos de 760 Watts vers les ventilo-convecteurs des bureaux équipés ainsi que vers la batterie froide de la centrale de traitement d'air de l'amphithéâtre. Les ventilo-convecteurs sont à commande manuelle et disposent chacun d'un point de consigne de la température intérieure.

Le groupe de froid est piloté par la température extérieure: il se met en marche dès que celle-ci dépasse 18°C et maintient alors le réseau d'eau glacée à 7°C. Le choix de 18°C peut paraître faible, mais il est rendu nécessaire par les besoins matinaux de climatisation de certains bureaux orientés à l'Est.

La pompe fonctionne en continu durant toute la saison de climatisation (mai à octobre). Or les besoins de froid ne sont pas permanents. Et il faut se souvenir que lorsqu'une pompe tourne, elle consomme de l'électricité et réchauffe l'eau de quelques degrés à son passage. Pour une boucle d'eau glacée, ce n'est pas idéal.

Afin d'améliorer les performances de l'installation, il suffirait que la pompe soit asservie avec le groupe froid en fonction de la température extérieure: dès que celle ci dépasserait également 18°C, la pompe serait ainsi en fonctionnement. On pourrait aussi rajouter une horloge pour interdire le fonctionnement de la pompe durant la nuit et les week-ends.

L'économie de ces dispositions serait de l'ordre de 70 à 80%. Mais cette horloge pourrait avoir un autre intérêt : celui de couper l'alimentation du groupe froid en dehors de la saison de climatisation. En effet, ce groupe présente une consommation de veille de 150 Watts en permanence, été comme hiver. Il s'agit probablement de la résistance de chauffage de carter et du système de régulation. Une confirmation de la possibilité de coupure complète du groupe est à prévoir auprès du fournisseur. L'économie afférente atteint tout de même 672 kWh par an soit environ 55 euros TTC.

4.3.3.2 Pompe du bassin d'agrément.

Le lycée dispose aussi d'un petit bassin d'agrément situé à l'entrée principale. La filtration et le jet d'eau sont assurés par une pompe de 440 Watts en marche permanente. Sa consommation électrique atteint 3850 kWh soit 230 euros TTC. Nous préconisons une commande de la pompe sur horloge avec un fonctionnement de quelques heures par jour en hiver (hors pointe) et d'environ un quart du temps en été pour assurer une filtration suffisante. Une économie voisine de 80% des dépenses d'énergie de cet usage (3080 kWh/an ou encore 188 euros TTC/an) pourra ainsi être atteinte au prix d'une simple horloge, avec un temps de retour inférieur à 6 mois. Le filtre à sable devra faire l'objet d'un entretien régulier pour assurer un fonctionnement optimal.

4.3.4 Chauffage électrique

En dehors du bâtiment B, on trouve des convecteurs électriques dans certaines salles des ateliers, dans les salles de classes du bâtiment C, à la cafétéria ou encore à la lingerie. Pour tous ces convecteurs, on a remarqué des fonctionnements de nuit ou encore pendant les vacances. Or on pourrait très bien les arrêter pendant une grande partie de la nuit puisque l'énergie dissipée alors sert à chauffer des locaux vides. A l'exception des ateliers, tous ces espaces vont être rénovés très prochainement, cette mesure ne sera donc applicable que dans les ateliers.

4.3.5 Les cordons chauffants

4.3.5.1.1 Description de l'usage

Au bâtiment C dans l'internat actuel (dont la rénovation est prévue pour 2004), les dortoirs sont alimentés en eau chaude produite par la chaudière gaz centrale et stockée dans des ballons situés dans le sous-sol du bâtiment C.

Compte tenu des longueurs de tuyaux entre les ballons et les points de puisage, des cordons chauffants électriques ont été mis en place le long des canalisations pour assurer le maintien en température de l'eau et permettre d'obtenir aux robinets des températures adaptées sans délai. Les douches n'étant équipées ni de mitigeur, ni même d'arrivée d'eau froide, il est indispensable de réguler la température de départ vers les dortoirs de façon précise.

Les cordons électriques installés sont de type auto régulant, c'est à dire que leur puissance d'émission s'adapte en tout point à la température du tuyau. Ce dispositif séduisant présente cependant plusieurs limites :

- La puissance (nominale) du cordon doit être choisie avec soin en fonction de la température souhaitée d'ECS et surtout des déperditions du tuyau car la plage de régulation du cordon est réduite et la bande proportionnelle du dispositif. Il vaut donc mieux choisir et mettre en œuvre des isolations importantes qui réduisent les besoins électriques du traceur.
- La température de consigne, choisie pour le dimensionnement, doit être inférieure ou égale à celle du départ de la production ECS.

Dans le cas présent, la température de maintien des cordons chauffants est supérieure à celle du départ ECS. En début de puisage, l'eau est donc généralement trop chaude avant de tendre vers la température de départ ECS. Cette situation entraîne une surconsommation due au réchauffage électrique de l'eau contenue dans les tuyaux et aux déperditions plus élevées que nécessaires des tuyaux.

La puissance mesurée est d'environ de 3000 Watts. Elle augmente le matin lors des puisages du fait de l'arrivée d'eau moins chaude issue des ballons et diminue progressivement durant la nuit lorsque les tuyaux atteignent leur température d'équilibre. Les cordons chauffants sont actuellement alimentés en permanence (y compris pendant les vacances). Leur consommation annuelle est de 25 000 kWh soit 1346 euros TTC.

4.3.5.1.2 Economies envisageables

L'arrêt des cordons durant les périodes de congés a déjà été prévu et doit être mis en place. Cette procédure simple et sans investissement (hormis un éventuel interrupteur supplémentaire pour éviter une coupure au niveau du tableau électrique) conduit à une économie de 34% soit 8 200 kWh/an ou encore 400 euros TTC/an. Une commande par horloge annuelle est également possible et éviterait les oublis éventuels.

L'ajout de thermostats pourrait permettre de remédier au surdimensionnement des cordons en coupant leur alimentation lorsque la température des tuyaux est suffisante. Ce type de régulation est bien plus précis mais il est nécessaire de la mettre en place pour chaque section de tuyau. Le câblage peut s'avérer coûteux mais l'économie envisageable est importante, surtout si l'on en profite pour parfaire l'isolation des tuyaux. Cette solution n'est pas d'actualité pour le bâtiment en question qui doit faire l'objet d'une rénovation importante mais pourrait être envisagée sur d'autres lycées.

Pour la construction neuve, nous préconisons de diminuer autant que possible les longueurs de réseaux en choisissant de manière optimale la position des chaufferies et des pièces humides dès les premières esquisses d'un bâtiment. Le maintien en température pourra être assuré au moyen d'un bouclage du réseau pour permettre d'utiliser une énergie moins

noble et meilleur marché que l'électricité. Si un traçage électrique est indispensable, on veillera à installer une commande sur horloge générale afin de couper durant les vacances, et on préférera les cordons équipés de thermostats réglables aux modèles auto régulants, sauf si ceux-ci sont choisis pour assurer une température de distribution raisonnable.

Dans tous les cas, l'isolation des réseaux devra être soignée, bien au-delà des habitudes de construction et dispositions réglementaires avec des objectifs de l'ordre de 6 à 7 W de déperditions par mètre linéaire de tuyau.

4.4 LA VENTILATION

4.4.1 Pilotage des ventilations par horloge

On dénombre dans le lycée plusieurs caissons de ventilation qui fonctionnent en permanence. Comme on l'a vu pour celles du rez-de-chaussée du bâtiment B, elles peuvent être arrêtées en dehors des périodes d'occupation. Les tableaux des figures 4.17 et 4.18 reprennent l'ensemble des ventilations non asservies et décrit les modifications possibles ainsi que les économies induites.

Lieu	Consommation actuelle (kWh/an)	Programmation
Ateliers	5 046	7 à 19 heures (jours de classe)
Amphithéâtre	13 815	
Salles de professeurs (L)	3 907	
Vestiaires gymnase filles	5 256	7 à 19 heures (jours de classe) 8 à 12 heures le samedi
Vestiaires gymnase garçons	4 030	
Vestiaires gymnase sol	1 770	
Ateliers facto	1 673	6 à 21 heures (jours de classe)
Internat	9 636	18 à 8 heures (jours de classe)

Figure 4.17 : Horaires de fonctionnement préconisés pour les ventilations non asservies

	Economies consommation		Economies abonnement		Total	Coût	Temps de retour
	kWh/an	euros TTC/an	W	euros TTC/an	euros TTC/an	euros TTC/an	ans
Ateliers	3839	192	-	-	192	90	0,5
Amphithéâtre	10512	526	-	-	526	90	0,2
Salles de professeurs (L)	2973	149	-	-	149	90	0,6
Vestiaires gymnase filles	3926	195	-	-	195	90	0,5
Vestiaires gymnase garçons	3010	149	-	-	149	90	0,6
Vestiaires gymnase sol	1322	66	-	-	66	90	1,4
Ateliers facto	1175	56	-	-	56	90	1,6
Internat	6910	372	1100	45	417	90	0,2
	33667	1705	1100	45	1750	720	0,4

Figure 4.18 : Economies envisageables grâce au pilotage du fonctionnement des ventilations par horloge

Il semble qu'une partie de la ventilation du bâtiment A fonctionne en permanence. Ce fait devra être vérifié et si tel est le cas, une horloge devra être ajoutée pour limiter son fonctionnement en dehors des heures de présence. L'économie induite serait considérable.

Enfin, les ventilations de l'administration, du CDI et des vestiaires du gymnase agrès sont arrêtées. Il est nécessaire de savoir pourquoi elles ne fonctionnent plus afin de pouvoir les remettre en service. Cette mesure ne va pas dans le sens d'une économie d'électricité mais est impérative pour garantir une qualité d'air satisfaisante.

4.5 L'INFORMATIQUE

4.5.1 Activation du gestionnaire d'énergie et ajout de barrettes multiprises

Comme pour les bureaux rencontrés au bâtiment B, on préconise l'activation du gestionnaire d'énergie (délai : 10 minutes) et l'utilisation d'une barrette multiprises, pour les postes de travail de l'administration, du CDI, de la salle des professeurs ou plus généralement de l'ensemble des bureaux. Le tableau résume les économies possibles pour les postes suivis. On voit que le gestionnaire d'énergie est très intéressant, en particulier pour les écrans.

Si la mesure était appliquée à l'ensemble des ordinateurs de l'administration et du CDI l'économie serait de 1 440 kWh/an ou encore 86 euros TTC/an.

Mesure	Economie CDI 1		Economie CDI 2		Economie Administration 1		Economie Administration 2	
	Ecran 98 kWh/an	UC 63 kWh/an	Ecran 74 kWh/an	UC 115 kWh/an	Ecran 70 kWh/an	UC 71 kWh/an	Ecran 74 kWh/an	UC 80 kWh/an
Barrette multiprises avec interrupteur	5%	8%	12%	20%	0%	10%	28%	29%
Gestionnaire d'énergie (délai : 10 min)	58%	16%	20%	7%	60%	23%	53%	25%
Gestionnaire d'énergie + barrette	63%	24%	30%	27%	60%	34%	70%	49%

Figure 4.19 : Tableau récapitulatif des économies réalisables sur les postes informatiques du CDI et de l'administration

4.6 LES AUTRES APPAREILS

4.6.1 Pilotage par horloge des appareils sur prises de la salle des professeurs

Les appareils sur prises (à l'exception du distributeur automatique de boissons qui sera traité séparément) absorbent près de 30% de la consommation du bâtiment L. Or ils ne sont pas arrêtés la nuit ni pendant les vacances scolaires. Un rapide inventaire des équipements présents (qu'il faudra confirmer) a montré qu'il était inutile de les laisser en marche en dehors des heures d'occupation du bâtiment. L'économie associée à la mise en place d'une horloge autorisant leur fonctionnement seulement de 7 à 19 heures les jours de classe est décrite dans le tableau de la figure 4.20.

Economies consommation		Economies abonnement		Total	Coût ⁽¹⁾	Temps de retour
kWh/an	euros TTC/an	W	euros TTC/an	euros TTC/an	euros TTC/an	ans
8238	427	-	-	427	-	-

(1) : Le coût de l'horloge a déjà été pris en compte pour la ventilation

Figure 4.20 : Economies envisageables grâce à pilotage des appareils sur prise par horloge – bâtiment L (salle des professeurs)

4.6.2 Les compresseurs

On trouve un compresseur aux ateliers ainsi qu'un autre pour le bâtiment A. On a demandé aux électriciens d'effectuer des relevés quotidiens des durées de fonctionnement du

compresseur des ateliers pendant une semaine. Il s'avère que le temps de fonctionnement moyen est d'environ 11 heures par jour ce qui signifie que le compresseur fonctionne pratiquement en permanence. En effet, le magasinier l'arrête systématiquement le soir. Or les besoins en air comprimé semblent faibles car l'utilisation des machines outils est très ponctuelle. De plus, lorsque aucune machine ne fonctionne, des fuites d'air sont bien audibles. Il paraît donc indispensable de vérifier l'étanchéité du réseau d'air comprimé. La suppression des fuites devrait permettre de diviser au moins par deux la consommation électrique, ainsi que le nombre de mise en route au moment des pointes. Les économies relatives à cette amélioration sont chiffrées dans le tableau de la figure 4.21. On estime que la vérification ainsi que le colmatage des fuites peuvent être réalisés par des agents techniques du lycée.

Economies consommation		Economies abonnement		Total	Coût ⁽¹⁾	Temps de retour
kWh/an	euros TTC/an	W	euros TTC/an	euros TTC/an	euros TTC/an	ans
7063	466	5460	244	710	-	-

(1) : Le coût de l'horloge a déjà été pris en compte pour la ventilation

Figure 4.21 : Economies envisageables grâce à la réparation du réseau d'air comprimé des ateliers

De la même façon, il faudrait aussi s'assurer de l'étanchéité du réseau d'air comprimé du bâtiment A.

4.6.3 Le distributeur automatique de boissons du bâtiment L

On trouve dans la salle des professeurs (bâtiment L) un distributeur automatique de boissons du même type que ceux de la maison des lycéens. Les mêmes mesures (suppression de l'éclairage et pilotage par horloge) peuvent être envisagées pour cet appareil.

Economies consommation		Economies abonnement		Total	Coût	Temps de retour
kWh/an	euros TTC/an	W	euros TTC/an	euros TTC/an	euros TTC/an	ans
2499	128	71	3	131	-	-

Figure 4.22 : Economies envisageables pour le distributeur automatique de boissons – Bâtiment L

4.7 LES LOGEMENTS

Les logements, avec 133 071 kWh/an, représentent plus de 7% de la consommation du lycée. La consommation moyenne par logement est de 4 436 kWh/an. Chaque appartement est équipé deux chauffe-eau. Lors d'une récente campagne de mesures nous avons suivi une soixantaine de chauffe-eau. La consommation moyenne observée est de 2 191 kWh/an. On peut penser que les appareils installés dans les logements consomment un peu moins étant donné que chaque appartement en possède deux et que donc le volume de stockage doit être inférieur. Si on estime que l'énergie absorbée annuellement pour produire de l'eau chaude est d'environ 2500 kWh par logement (ce qui semble un minimum pour deux chauffe-eau), la consommation des chauffe-eau représentent près de la moitié de la consommation des logements. De plus, ils ne sont pas asservis et il est très probable qu'ils fonctionnent souvent après les utilisations importantes d'eau chaude le matin, c'est à dire durant les heures de pointe. Grâce à une horloge, il est possible d'interdire la mise en route pendant les heures de pointe ce qui permettrait de réduire la puissance d'abonnement à souscrire et de diminuer le coût d'énergie de cet usage.

Les logements, comme les autres bâtiments, sont chauffés grâce au réseau de chauffage urbain. Comme on l'a vu précédemment, la pompe primaire les desservant a fonctionné jusqu'au 05 mai alors que celle de la seconde boucle a été arrêtée le 19 avril. Or cette pompe n'était en marche que pour satisfaire les éventuels besoins de chauffage des logements. La consommation supplémentaire est égale à 7 060 kWh soit 9.4% de la consommation totale de cette pompe primaire.

Au vu des deux remarques précédentes, il paraît intéressant d'étudier, dans le cadre de la rénovation, l'intérêt que présente l'utilisation de chaudières individuelles gaz qui permettront de couvrir les besoins en eau chaude et chauffage des logements.

CONCLUSION

Au terme de cette étude il ressort certaines observations globales surprenantes. On retiendra notamment que :

- rapportée au nombre d'élèves, la consommation d'électricité du lycée atteint près de 700 kWh/an/personne pour un coût voisin de 55€/an/élève. Cette valeur est presque aussi importante que la consommation moyenne d'électricité spécifique à usage domestique en France (1.000 kWh/an/personne), alors même que chaque élève ne passe qu'environ 1.250 h/an dans l'établissement (soit 1/7^{ème} du temps total de l'année) et que le temps d'occupation total du bâtiment représente moins du quart d'une année,

- les bâtiments d'enseignement représentent moins de la moitié des consommations du lycée, et certains usages particuliers (pompes de chauffage, salle des professeurs, cafétéria...) ont un poids très lourd dans le bilan,

- les consommations hors présence (53 %) sont plus élevées que les consommations durant les heures d'occupation (47 %), y compris pour un bâtiment d'enseignement général tel que le bâtiment B. L'explication tient à ce que les éclairages sont utilisés pendant des durées relativement courtes (460 h/an) alors que de nombreux appareils sont branchés en permanence (informatique, onduleurs, appareils de sécurité...) et entraînent un appel de puissance ininterrompu (8.760 h/an),

- l'informatique est le second poste de consommation (28 %) du bâtiment B. Mais une part très faible (27 %) de cette consommation est effectivement utile, les pertes dues à l'onduleur et aux appareils en veille ou à l'arrêt (et qui, malgré cela, ont une consommation continue) la dépassant très largement.

Ces consommations sont-elles fatales, inhérentes aux usages qu'elles assurent ? On pourrait légitimement le penser et affirmer que c'est le prix (énergétique) à payer pour faire de l'enseignement. Mais cette étude montre qu'il n'en est rien et qu'il n'y a au contraire aucune fatalité. Pour simplifier, on peut affirmer qu'il y a six manières de faire des économies d'électricité :

1 - Supprimer les gaspillages

Le sujet peut être polémique car il touche à la notion de besoins, et chacun en a une définition différente. Pourtant on s'accordera à reconnaître qu'il n'est pas utile de laisser fonctionner 24h/24 un convecteur électrique dans un bâtiment chauffé par radiateurs, ou bien que l'on peut attendre de l'ensemble des utilisateurs, grâce à une bonne sensibilisation, qu'ils éteignent toujours l'éclairage des locaux qu'ils quittent (ou lorsque la lumière naturelle est suffisante), ou encore qu'ils coupent l'alimentation des ordinateurs après usages, etc. Ces gestes sont simples, ne coûtent rien qu'une modification des comportements et des attitudes. Nous sommes tous concernés.

Mais on peut aussi se demander pourquoi l'éclairage des classes est de 600 lux, alors que les recommandations de l'association française de l'éclairage ne sont que de 300 lux, et celles de certains médecins du travail de 200 à 250 lux. La surconsommation induite est importante.

2 - Rechercher et supprimer les dysfonctionnements

Toutes les campagnes de mesure conduites jusqu'à présent ont mis en évidence ce que nous avons baptisé des « dysfonctionnements », c'est à dire des modes de fonctionnements des équipements non conformes à ce qu'ils devraient être. Les causes de ces dysfonctionnements sont multiples. Elles peuvent même avoir pour origine une excellente intention. Ainsi en était-il, avant notre arrivée, de la ventilation dans le bâtiment B : elle fonctionnait exclusivement pendant la nuit afin de ne pas provoquer de disjonctions aux heures de pointe. L'intention était bonne, mais la finalité de l'équipement n'était plus assurée.

Au titre des dysfonctionnements on peut aussi retenir les ventilateurs qui tournaient à l'envers entraînant un renouvellement d'air quasiment nul. Ce fait montre à quel point un contrôle régulier des installations est nécessaire. L'erreur est toujours possible, même avec les meilleurs techniciens et ingénieurs. Le contrôle *a posteriori* doit donc être une règle impérative.

Enfin, il y a parfois de mauvaises réponses à des problèmes rencontrés. On se réfère ici aux disjonctions fréquentes rencontrées au bâtiment B. Pour pallier les gênes occasionnées sur le réseau ondulé, un petit transformateur de secours a été installé. L'investissement associé était probablement lourd et ne résolvait en rien la cause du problème. Le même budget aurait pu être utilisé pour financer des équipements performants ce qui aurait permis en réduisant la puissance appelée de résoudre les problèmes d'alimentation électrique rencontrés. Cette action aurait en outre évité les coûts afférents à la modification d'alimentation électrique des ventilations.

3 - Identifier les consommations insoupçonnées

Il peut apparaître surprenant de penser qu'il existe des consommations que l'on ignore. C'est pourtant une réalité rencontrée sur chaque opération. Au lycée Mermoz, on retiendra par exemple :

- le niveau de tension exceptionnellement élevé dans les bâtiments. Ils occasionnent des surconsommations puisque la puissance absorbée par la plupart des équipements est fonction de la tension,
- les consommations très élevées de l'informatique dont près des $\frac{3}{4}$ sont inutiles (pertes diverses, consommation en dehors des heures d'occupation).

Ces consommations peuvent souvent être totalement supprimées, soit par une réorganisation de leur utilisation, soit par la suppression du matériel (onduleur par exemple). Mais il fallait identifier leur existence, et les quantifier.

4 - Ne faire fonctionner les matériels qu'en cas de besoin

Ce principe simple n'est pratiquement jamais mis en œuvre. Sinon comment expliquer que :

- certains ordinateurs continuent à fonctionner alors que personne ne les utilisent,
- les pompes de chauffage fonctionnent 24/24, la nuit, les vacances et même lorsqu'il fait 27°C dans les classes,
- les pompes primaires (36 kW) de la sous station fonctionnent à pleine puissance alors qu'il fait 23°C dehors au mois d'avril,

- des convecteurs électriques d'appoint fonctionnent toutes les nuits alors que le bâtiment est inoccupé,
- etc...

Il est intéressant d'observer pourquoi il en est ainsi. Dans le cas des ordinateurs, le comportement humain est la principale cause. Mais on pourrait y pallier en partie en activant un gestionnaire d'énergie sur les machines.

Pour les pompes (hors pompes primaires), le matériel permettant de limiter leur fonctionnement aux périodes nécessaires existait mais n'était tout simplement pas câblé correctement. Il y a donc eu une erreur au moment de la mise en service de l'installation. Soit il n'était pas explicitement précisé que le fonctionnement des pompes devait être piloté par le régulateur, soit l'entreprise en charge de ce travail ne l'a pas effectué. La conclusion est donc qu'il faut être vigilant à la réception des travaux mais aussi qu'il est nécessaire d'être très précis dans l'expression des exigences.

Enfin, de nombreux matériels devraient être pilotés par une horloge de manière à supprimer toute consommation en dehors de certaines plages horaires. D'autres, comme certains éclairages, sont déjà pilotés par des minuteries, mais la temporisation de celles-ci pourrait être fortement réduite puisqu'il s'avère qu'une minute est généralement suffisant.

5 - Remplacer les équipements existants par des technologies performantes

Ce dernier volet est évidemment plus onéreux que les précédents. Mais il est souvent porteur de potentiels d'économie considérables. On en retiendra deux pour illustrer le propos :

- on peut rénover l'éclairage des classes au moyen de kits permettant de réduire de 67% la consommation. Le coût est relativement important, mais seule cette mesure mettra définitivement le bâtiment B hors de tout risque de disjonction aux heures de pointe (division par deux de la puissance en pointe),

- variation de vitesse des pompes et ventilateurs. Cette disposition est très intéressante si le débit des installations est appelé à varier de façon notable, ce qui est le cas. Le principal potentiel d'économie concerne les deux pompes primaires de chauffage (100 MWh d'économie).

En rénovation ces substitutions peuvent parfois paraître chères, même si leur temps de retour est faible, mais il faut rappeler tout l'intérêt que présenteraient ces solutions en constructions neuves où le surcoût est souvent inexistant.

6 - Mieux rentabiliser l'utilisation des équipements existants

Ce qui suit est peut-être une erreur d'analyse, qu'on nous pardonne d'avance si tel est le cas. Mais nous avons été frappé d'observer que le taux d'occupation des classes n'était que de 43% (soit 760 h/an). Ceci surprend et on a envie de suggérer de doubler cette valeur, ce qui permettrait de diviser par deux le temps de retour de nombreuses mesures proposées, notamment pour l'éclairage des classes. Mais peut-être cette approche ne prend-elle pas en compte certains autres paramètres.... La disposition mériterait néanmoins d'être étudiée, compte tenu des enjeux économiques qu'elle induit.

On voit que cet ensemble de dispositions met en œuvre un grand nombre d'actions gratuites. Quelques unes d'entre elles nécessitent un investissement, mais certaines de ces dispositions peuvent être prises en charge par le personnel technique du lycée qui est

parfaitement compétent pour cela (remplacement des sources d'éclairage standards par des modèles performants). Il est intéressant d'observer que, malgré le montant des investissements sur certaines mesures, prise globalement, la mise en place de l'ensemble des solutions est très rentable. Ainsi, au bâtiment B, le temps de retour est de l'ordre de 10 ans, et pourrait même être très sensiblement abaissé si le taux d'occupation des classes était doublé.

Enfin, il paraît essentiel, pour mener à bien une stratégie de maîtrise de la consommation d'électricité, de sensibiliser, d'impliquer et de former les personnels de maintenance de chaque lycée. Nous nous sommes aperçus qu'ils étaient toujours très intéressés et très ouverts à nos propos et qu'il serait judicieux de leur donner une formation à l'utilisation performante des équipements. Nous avons aussi acquis la conviction, au regard du mode de fonctionnement du lycée, que le rôle de ces techniciens de maintenance était essentiel dans la bonne marche des équipements, et que bien sensibilisés et bien formés, ils pouvaient être le meilleur vecteur pour rendre opérationnelle une politique efficace d'économie d'énergie.

On pourra en dernier lieu se pencher sur la question du contrôle des actions de MDE réalisées, et sur l'évaluation des performances obtenues. Sans procéder à une campagne de mesure lourde, il serait riche d'enseignements de faire des suivis simplifiés, de type mensuel par exemple, afin de vérifier que les résultats observés sont ceux escomptés.

Cette campagne de mesure, très lourde mais très riche, a montré que, comme on pouvait s'y attendre, il existait des potentiels d'économie considérable (62 % d'économie dans le bâtiment B). Elle a permis de les identifier avec précision, grâce à des dispositifs de mesure qui nous ont renseignés sur la manière dont les équipements étaient effectivement utilisés.

En hiérarchisant la consommation des différents usages et les potentiels d'économie associés, elle a montré qu'il n'y avait finalement pas un usage qui écrasait tous les autres (même si l'éclairage des bâtiments d'enseignement est important), mais une multitude d'usages présentant chacun des caractéristiques largement améliorables. Elle a montré que pour beaucoup de ces usages la nature des améliorations était simple et gratuite.

Enfin, au-delà du cas spécifique du lycée Mermoz, elle a fait apparaître clairement tous les enjeux qu'il y avait à bien concevoir et bien construire les bâtiments neufs. En choisissant les équipements avec pertinence, en prenant en compte la maîtrise des consommations d'électricité dès l'origine des projets, on obtiendra des résultats spectaculaires, sans ou presque sans surcoût ■

ANNEXES