



ADEME Picardie

2, rue Delpech

80000 AMIENS

Tél : 03.22.45.18.90 - Fax : 03.22.45.19.47

Diagnostic électrique d'un supermarché de moyenne surface

Rapport final

Avril 2001

ENERTECH

F-26160 FELINES SUR RIMANDOULE

tél. & Fax : (33) 04.75.90.18.54

E mail : sidler@club-internet.fr

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

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
1 : METHODOLOGIE GENERALE	6
1.1 Présentation des appareils suivis	6
1.2 Métrologie mise en œuvre	6
1.3 La campagne de mesure	9
1.4 Le traitement des données	10
1.4.1 Méthode d'annualisation des résultats	10
1.5 Détermination du poids de chaque usage dans le coût de l'abonnement	10
1.5.1 Nature de l'abonnement	10
1.5.2 Calcul du coût d'abonnement par appareil	10
1.5.3 Répartition des consommations durant les pointes	11
2 : COMPARAISON AVEC LE COMPTAGE EDF	13
3 : STRUCTURE PAR USAGE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE ET DES COÛTS	14
3.1 Répartition de la consommation	14
3.2 structure de la facture	15
4 : ETUDE DETAILLEE DE CHAQUE USAGE	17
4.1 Appareils de froid	17
4.1.1 Fonctionnement des meubles frigorifiques de vente	17
4.1.2 Inventaire des appareils étudiés	19
4.1.3 Meubles de froid positif sur groupe centralisé.....	21
4.1.4 Gondoles et chambre froide négative.....	26
4.1.5 Chambre froide négative boulangerie.....	28
4.1.6 Gondoles steaks hachés.....	29
4.1.7 Vitrine jus de fruit.....	31
4.1.8 L'éclairage des meubles frigorifiques de vente.....	31
4.1.9 L'éclairage des pièces réfrigérées (chambre froide et laboratoire boucherie)	33
4.2 L'éclairage du magasin	34
4.2.1 Eclairage général du magasin	34
4.2.2 Eclairage du rayon fruits et légumes	37
4.2.3 Eclairage boulangerie	38
4.2.4 Vitrine boulangerie.....	39
4.2.5 Eclairage réserve.....	39
4.2.6 Eclairage des bureaux	40

4.2.7	Eclairage du couloir bureau.....	41
4.2.8	Eclairage des vestiaires et du couloir vestiaire	42
4.3	Les éclairages extérieurs	43
4.3.1	Spot halogène extérieur.....	43
4.3.2	Eclairage parking	44
4.3.3	Eclairage de l'auvent extérieur	44
4.4	Les services annexes au supermarché	46
4.4.1	Four boulangerie.....	46
4.4.2	Chambre de pousse boulangerie	49
4.4.3	Station de lavage haute pression.....	50
4.4.4	Station essence et lavage par rouleaux.....	53
4.5	Bureautique et électronique	55
4.5.1	Photocopieur libre-service.....	55
4.5.2	Photomaton	56
4.5.3	Photocopieur bureau	56
4.5.4	Onduleur.....	56
4.5.5	Standard téléphonique.....	58
4.5.6	Installation de sonorisation et réception satellite	58
4.5.7	Eclairage tapis + caisse	58
4.5.8	Antivol caisse.....	60
4.5.9	Etiqueteuse boucherie	60
4.5.10	Emballeuse boucherie.....	61
4.5.11	Autres veilles	61
4.6	Le chauffage et la ventilation	62
4.6.1	Circuit de commande chauffage du magasin	62
4.6.2	Chauffage bureaux	63
4.6.3	Ventilateur bureaux.....	64
4.6.4	Chauffe-eau boucherie	65
4.6.5	Chauffe-eau bureaux	66
4.7	Entretien-Usages communs	67
4.7.1	Machine à café bureau.....	67
4.7.2	Chargeur batterie palette et autolaveur	68
4.7.3	Compacteur	69
5	ANALYSE DE LA TENSION DU RESEAU	71
5.1	Variation de la tension mesurée selon la puissance appelée par le magasin	71
5.1.1	Pertes internes au magasin.....	72
5.1.2	Pertes entre le poste de comptage et le magasin.....	74
6	ETUDE DES CONSOMMATIONS DE GAZ	75
7	FAISABILITE D'UTILISATION D'UN MODULE DE COGENERATION	77

CONCLUSION **78**

ANNEXES

A1 : BILAN DES SOLUTIONS D'ECONOMIE PROPOSEES **80**

A2 : SCHEMA UNIFILAIRE DU RESEAU ELECTRIQUE **82**

A3 : FICHES DESCRIPTIVES DES APPAREILS **83**

INTRODUCTION

La part du secteur tertiaire dans le bilan énergétique national augmente chaque année. Sur l'échelle des consommations électriques rapportées aux surfaces de bâtiments, les surfaces de vente sont en tête, les besoins de froid et d'éclairage extérieur s'ajoutant aux consommations habituelles de locaux tertiaires. Par ailleurs, les durées d'utilisation annuelles étant importantes, on atteint fréquemment des consommations de 500 kWh par an et par m² de surface de vente.

La présente étude vise à connaître avec précision le détail des consommations d'énergie d'un supermarché de moyenne surface non climatisé. Pour ce faire, plus de 50 appareils de mesure ont été mis en place sur la quasi totalité des appareils électriques du magasin afin d'enregistrer leurs consommations par périodes de 10 minutes sur une durée totale de 6 mois. Plus de 90 % de l'électricité utilisée dans le supermarché a pu ainsi être attribuée à un poste précis. Le propane, qui assure les besoins de chauffage des surfaces de vente, a fait l'objet d'une analyse globale de consommation.

De nombreuses études ont été menées ces dernières années notamment aux Etats-Unis et en Europe du nord dans le but de valider des solutions plus performantes sur des usages spécifiques (climatisation, meubles de froid, éclairage...) Elles montrent qu'il existe un potentiel très important d'amélioration de l'efficacité énergétique de ce secteur. Nous avons cependant constaté que ces techniques performantes sont encore peu utilisées en France et qu'elles ne sont pour la plupart qu'à peine distribuées. Dans le cas du froid, nous avons eu la surprise de constater que certaines solutions, proposées par le passé par les fabricants, ne le sont plus aujourd'hui. La raison n'est pas nécessairement à rechercher du côté du manque de fiabilité des matériels. C'est plutôt le faible coût du kWh électrique qui a fortement découragé les investissements, en particulier dans les hypermarchés qui, équipés de groupes électrogènes, peuvent bénéficier du tarif vert EJP. De plus, les professionnels du secteur attendent une rentabilité rapide des solutions mises en œuvre, des temps de retour supérieurs à deux ans étant généralement considérés comme prohibitifs. En définitive, cela signifie que pour qu'une somme de 10 000 F soit investie, il faut que l'économie annuelle soit de 5000 F, soit près de 20 000 kWh en tarif vert EJP. On pourra remarquer que cette même somme de 10 000 F, utilisée par la collectivité pour l'installation de nouveau moyen de production d'électricité (centrales), ne fournirait guère alors plus de 6000 kWh par an, sans parler des coûts de fonctionnement et de combustible... Ainsi, certains fabricants de matériel de froid proposent effectivement des modèles plus performants, mais ceux-ci sont destinés à l'exportation. Fabriqués en séries spéciales, leurs surcoûts n'en sont que plus grands.

Dans le cas du supermarché étudié, la situation est sensiblement différente car le tarif de l'électricité y est peu favorable (tarif jaune), diminuant immédiatement le temps de retour des investissements d'économie d'énergie. Le détail des solutions préconisées ainsi que la description précise du fonctionnement réel de chaque appareil tel qu'il ressort de nos observations sont présentés dans les chapitres suivants. Tous les montants sont indiqués hors taxes.

CHAPITRE 1 : METHODOLOGIE GENERALE

L'établissement de moyenne surface suivi est un « Intermarché ». Il est situé sur la commune d'Ailly sur Noye dans la Somme. Il représente une surface de 1200m². L'énergie de chauffage du bâtiment est le gaz.

1.1 PRESENTATION DES APPAREILS SUIVIS

L'objectif de la campagne de mesure était de pouvoir suivre l'ensemble des appareils du supermarché en continu. Pour ce faire 56 compteurs ont été mis en place. Dans la pratique on rencontre deux types d'usages :

- les usages à puissance constante tout au long de l'année. Après vérification au moyen d'un enregistrement sur 24 ou 48 heures qu'il s'agit bien d'une puissance ne variant pas, ce type d'usage a fait l'objet d'une mesure précise de la puissance absorbée au moyen d'une pince ampéremétrique. La puissance a ensuite été calculée sur la période d'analyse.
- Les autres usages, les plus nombreux, présentent des variations de puissance importantes au cours du temps. Pour connaître leurs caractéristiques de consommation il n'y a pas d'autres solutions que d'utiliser des enregistreurs sur toute la période d'analyse.

Les appareils suivants ont fait l'objet d'une mesure de puissance :

- antivols caisse
- balances
- néons de sécurité
- alarme incendie
- bornes d'information

Les autres usages ont été mesurés en continu, au pas de temps de dix minutes. Leur liste est donnée dans le tableau 2.1 (voir page suivante) qui précise aussi le type de mesureur utilisé dans chaque cas.

D'autre part, le suivi de la consommation de gaz a été effectué grâce aux factures GDF.

1.2 METROLOGIE MISE EN ŒUVRE

Les dispositifs de mesure ou d'enregistrement mis en oeuvre sont originaux car ils ont été pour un certain nombre d'entre eux mis au point par notre société dans le but de réduire le coût des campagnes de mesures.

Lorsqu'un usage n'est pas utilisé en permanence 24h/24, l'énergie qu'il consomme peut varier de deux façons différentes :

- type 1 : il s'agit d'un usage dont la puissance varie dans le temps à chaque instant : c'est le cas par exemple des groupes froid. Il faut donc pouvoir mesurer à chaque instant la puissance appelée. Ce type de mesure est le plus cher,
- type 2 : l'usage appelle de façon intermittente une puissance constante : c'est le cas par exemple de l'éclairage. Il est alors possible de se ramener à une mesure du temps de fonctionnement de l'usage (toujours au pas de temps de dix minutes), puis de calculer l'énergie consommée en s'appuyant sur la mesure (une fois pour toutes) de la puissance de l'usage en marche.

USAGE	APPAREIL	MESUREUR
Froid	Meubles de froid positif sur groupe centralisé	Cpteur électrique + Pulsemètre
	Gondoles et chambre froide négative	Cpteur électrique + Pulsemètre
	Chambre froide boulangerie	Cpteur électrique + Pulsemètre
	Gondoles steacks hachés	Diace
	Vitrine jus de fruit	Diace
	Eclairage chambre froide	Lampemètre
	Eclairage laboratoire boucherie	Lampemètre
Eclairage	Rampes magasin	Lampemètre
	Rayon fruits et légumes	Lampemètre
	Boulangerie	Lampemètre
	Vitrine boulangerie	Lampemètre
	Réserves	Lampemètre
	Bureaux	Lampemètre
	Couloir bureaux	Lampemètre
	Vestiaires	Lampemètre
	Couloir vestiaires	Lampemètre
	Spot halogène extérieur	Energiemètre
	Parking	Energiemètre
	Auvent extérieur	Energiemètre
Services annexes	Four boulangerie	Cpteur électrique + Pulsemètre
	Chambre de pousse boulangerie	Diace
	Station de lavage haute pression	Cpteur électrique + Pulsemètre
	Station essence et lavage par rouleaux	Cpteur électrique + Pulsemètre
Bureautique Et électronique	Photocopieuse libre service	Diace
	Photomaton	Diace
	Photocopieur bureau	Diace
	Onduleur	Diace
	Standard téléphonique	Diace
	Installation sonorisation et réception satellite	Diace
	Eclairage tapis et caisses	Diace
	Etiqueteuse boucherie	Diace
Chauffage Et ventilation	Emballeuse boucherie	Diace
	Circuit de commande chauffage	Diace
	Convecteurs bureaux	Energiemètre
	Ventilateur bureaux	Diace
	Chauffe eau boucherie	Energiemètre
Entretien- Usages communs	Chauffe eau bureaux	Energiemètre
	Machine à café bureaux	Diace
	Chargeur batterie palette	Diace
	Chargeur batterie autolaveur	Diace
Général	Compacteur	Diace
	Compteur EDF	Cpteur électrique + Pulsemètre

Figure 1.1 : Récapitulatif des appareils suivis et des mesureurs utilisés

Pour les mesures concernant les usages du type 1, l'aspect mesure de puissance ou d'énergie a été assuré, dans tous les cas, par des appareils du marché réputés pour leur précision. Notre originalité réside dans la possibilité de transformer l'information fournie par un simple compteur (type compteur EDF/Schlumberger par exemple) en un enregistrement d'information au pas de temps de dix minutes.

Pour les mesures concernant les usages du type 2, nous avons mis au point des détecteurs permettant de connaître avec une très grande précision les moments où les usages étaient effectivement en marche ou à l'arrêt.

En définitive, les outils que nous avons utilisés présentent les caractéristiques générales suivantes :

- compteurs monophasés ou triphasés installés par nos soins

- Fabricant : Electrex. Précision : IEC 1036 Classe 1 :

Voltage : 0.2 % lecture + 0.1 % pleine échelle (de 20 à 110 % pleine échelle)

Courant : 0.2 % lecture + 0.1 % pleine échelle (de 20 à 110 % pleine échelle)

Puissance : 1 % lecture (de 5 à 120 % pleine échelle)

équipés de tores ouvrables Universal Technics Type M1 (100A/1A)

Précision sur le rapport :

+/-1 % de 10 à 300 A

+/-2 % de 1 à 10 A

Précision sur la phase : 1 à 3.5°

- pulsemètres

Les compteurs type EDF ne sont que des totalisateurs d'énergie. Afin de disposer d'une information au pas de temps de dix minutes, ils sont associés à un dispositif que nous avons conçu. L'information de la consommation instantanée est récupérée au moyen d'un « pulsemètre » qui enregistre chaque pulse lumineux (ou électrique) émis par le compteur. En fonction du « poids du pulse » propre à chaque compteur (généralement de 1 à 100Wh/impulsion) ou programmable sur les compteurs Electrex, il est aisé de connaître la consommation,

- système de mesure DIACE

Des boîtiers de mesure assurent le comptage de la puissance active et de la tension d'appareils électriques branchés sur des prises 16 Ampères ou sur des départs de tableaux au moyen de pinces ampèremétriques. Une transmission par courants porteurs permet l'interrogation à distance des boîtiers placés dans tout le magasin. Un enregistreur central assure le stockage des données recueillies chaque 10 minutes et envoie automatiquement par liaison téléphonique les mesures à nos bureaux. Un contrôle journalier à distance du bon fonctionnement de l'ensemble des points de mesure est donc effectué avec une grande facilité. La précision de mesure dépasse 2 % et les mesures étant effectuées directement auprès des appareils ou sur les départs repérés dans les tableaux, le risque d'erreur est très limité.

- énergiemètres

Il s'agit de détecteurs de champ magnétique constitués d'un capteur que l'on place à proximité du câble d'alimentation de l'usage à suivre. Ce détecteur comprend un

microprocesseur associé à une mémoire lui permettant d'enregistrer, au pas de temps de dix minutes, la durée de fonctionnement de l'usage analysé. Cet appareil permet également de connaître en fin de suivi le nombre total exact de cycles observés,

Précision sur la durée : 0.5 secondes - Résolution : 10 secondes.

- lampemètres

Le principe est identique à celui de l'énergiemètre, mais au lieu de détecter le passage d'un courant dans un conducteur, le lampemètre comporte un petit capteur optique placé à proximité de l'un des foyers lumineux de l'ensemble à suivre. Ce capteur permettra de connaître avec précision, au pas de temps de dix minutes, la durée de fonctionnement des foyers lumineux suivis. Ce détecteur comprend un microprocesseur associé à une mémoire lui permettant l'enregistrement des valeurs mesurées. Comme pour l'énergiemètre, cet appareil fournit en fin de campagne le nombre total de cycles observés (allumage/extinction des lampes).

Précision sur la durée : 0.5 secondes - Résolution : 10 secondes.

- mesureurs de puissance instantanées :

L'analyse du courant appelé a été faite par plusieurs types d'appareils :

- Analyseur Nanovip Plus (précision 0.5 % de la valeur lue)
- Pince ampèremétrique Chauvin Arnoux E6 (Précision 2 % lecture + 20mA)
- Analyseur LEM (Analyst 2050)
- Oscilloscope numérique (Fluke FL123)
- Mesureur d'énergie EMU type 1-28

L'ensemble des moyens de mesure mis en oeuvre possède, comme toujours, des avantages et des inconvénients. Au titre des avantages on retiendra le coût. Les dispositifs traditionnels de mesure auraient coûté plusieurs fois le prix des dispositifs proposés ici. Leur mise en oeuvre elle-même aurait été beaucoup plus onéreuse. Enfin, il n'existe pas à notre connaissance sur le marché français de mesureurs équivalents en prix et en performance à notre lampemètre.

Mais tout système possède aussi des inconvénients. Citons-en deux :

- tout système de « dataloger », c'est à dire de dispositif mémorisant l'information, est susceptible de tomber en panne. On n'en sera averti qu'à la fin des mesures. Mais tout sera alors perdu. Ce type d'incident, fort rare, n'existe pas avec les systèmes de transmission en continu des données (comme le système Diace) puisque les informations sont analysées au jour le jour,

- le positionnement des capteurs est fait avec précision. Si quelqu'un, par accident ou inadvertance déplace un lampemètre, la mesure s'arrête.

1.3 LA CAMPAGNE DE MESURE

La campagne de mesure a duré six mois, du 27 juillet 2000 au 27 janvier 2001.

L'ensemble des appareils ont fait l'objet d'un suivi à l'exception du rayon poissonnerie (ouvert seulement le mercredi), d'un présentoir réfrigéré à la boulangerie et de quelques petits appareils.

Les caractéristiques électriques de chaque type d'appareil ont par ailleurs été systématiquement enregistrées (courant, tension, cos phi etc).

1.4 LE TRAITEMENT DES DONNEES

L'ensemble des valeurs mesurées a été placé dans une base de données relationnelle à partir de laquelle les analyses et requêtes ont pu être conduites.

1.4.1 Méthode d'annualisation des résultats

Les mesures ayant été effectuées sur une période de 6 mois, il a été nécessaire de procéder à une estimation des consommations pour le reste de l'année. Le choix de la période était tel qu'il permettait facilement cette extrapolation. En effet, les mesures ont débuté en juillet 2000 et pris fin en janvier 2001. Ainsi, nous disposons de données d'été et d'hiver, le milieu de la campagne correspondant à l'équinoxe.

Les consommations dépendant des températures ou de l'éclairage naturel peuvent être évaluées pour les autres mois de l'année grâce à la symétrie que présentent ces valeurs autour de fin juillet.

Dans le cas des appareils présentant des consommations pratiquement stables sur toute la période, on a déterminé des valeurs moyennes que l'on a appliqué aux mois non mesurés.

Pour chaque appareil, nous avons donc procédé à une extrapolation et calculé la consommation totale pour les mois de l'année n'ayant pas fait l'objet de mesures. Nous avons tenu compte du nombre de jours de chaque type (lundi, mardi, mercredi, jeudi, vendredi, samedi, dimanche et jour férié) car les consommations diffèrent selon les jours de semaine.

Pour chaque appareil, une fiche récapitulative a été réalisée. Elle donne un profil de consommation quotidien, hebdomadaire et annuel ainsi que les consommations et coûts annuels (abonnement et consommation). Ces fiches se trouvent en annexe.

L'année est partagée en 2 saisons. Ce partage se réfère à la tarification EDF ; l'été allant d'avril à octobre et l'hiver de novembre à mars.

Les consommations mensuelles globales mesurées ont été comparées aux factures fournies par EDF. On constate des écarts mensuels pouvant atteindre 10 % et un écart sur l'ensemble de la période de seulement 1,5 %. Ces écarts sont dus au décalage entre les dates calendaires et les dates des relevés d'EDF.

1.5 DETERMINATION DU POIDS DE CHAQUE USAGE DANS LE COÛT DE L'ABONNEMENT

1.5.1 Nature de l'abonnement

Le supermarché possède un abonnement **tarif jaune longues utilisations**. La **puissance réduite** souscrite est de **170,4 kVA**, correspondant à une puissance de 180 kVA durant l'été et de 168 kVA en hiver. Le montant de l'abonnement s'élève en 2000 à 51 556 FHT. Dans la situation actuelle, l'abonnement correspond bien aux besoins car quelques dépassements de courte durée ont été enregistrés.

1.5.2 Calcul du coût d'abonnement par appareil

Le coût d'abonnement pour chaque appareil a été évalué à partir de la puissance mesurée de cet appareil lors des 10 appels maximaux de puissance enregistrés en été et en hiver. La procédure utilisée est la suivante :

1- On effectue, sur l'ensemble de la période d'étude, la somme des consommations à 10 minutes de tous les appareils mesurés.

2- On extrait les 10 valeurs maximales obtenues en été et en hiver.

3- Connaissant la consommation (kWh) durant les 10 minutes, on déduit la puissance active moyenne (kW) de chaque appareil présent dans ces moments de pointe. Puis, connaissant le facteur de puissance de l'appareil ($\cos \phi$), on la transforme en puissance apparente (kVA).

4- A partir de ces 20 points, on établit une répartition moyenne de la puissance apparente appelée par les différents usages présents au moment de la pointe en été et en hiver. On obtient donc la part de chaque appareil en été (%E) et en hiver (%H)

5- La puissance réduite souscrite se calcule de la façon suivante :

$$P_r = P_H + c (P_E - P_H) \quad \text{avec } P_H : \text{puissance souscrite en hiver, soit } 168\text{kW}$$

$$P_E : \text{puissance souscrite en été, soit } 180\text{kW}$$

$$c : \text{coefficient réducteur de puissance, égal à } 0,2$$

donc, $P_r = 0,8 P_H + 0,2 P_E$

Grâce à la formule suivante, on peut donc redistribuer le montant total de l'abonnement pour obtenir le coût pour chaque appareil :

$$\text{Coût}_{\text{abo appareil}} = \frac{C_{\text{total}}}{P_r} [0,8 \times P_H \times \% H + 0,2 \times P_E \times \% E]$$

avec $\text{Coût}_{\text{abo appareil}}$: coût d'abonnement annuel d'un appareil donné (FHT)

C_{total} : coût annuel global de l'abonnement (FHT)

P_r : puissance réduite souscrite, soit 170,4kW

P_H : puissance souscrite en hiver, soit 168kW

P_E : puissance souscrite en été, soit 180kW

donc,

$$\text{Coût}_{\text{abo appareil}} = 40664 \% H + 10892 \% E$$

1.5.3 Répartition des consommations durant les pointes

Les pointes de consommation relevées présentent les caractéristiques suivantes :

- en **été** : 5 maxima ont lieu un vendredi, les 5 autres un samedi. L'heure est variable, 8 sur 10 ont lieu entre 15H30 et 17H30, un en fin de matinée 11H40. Dans les 9 premiers cas, l'éclairage, le four boulangerie et la station de lavage sont en marche simultanément. Le dixième cas se produit un vendredi à 19H40, l'éclairage fonctionne et le dégivrage des appareils de froid négatif a lieu au même moment.

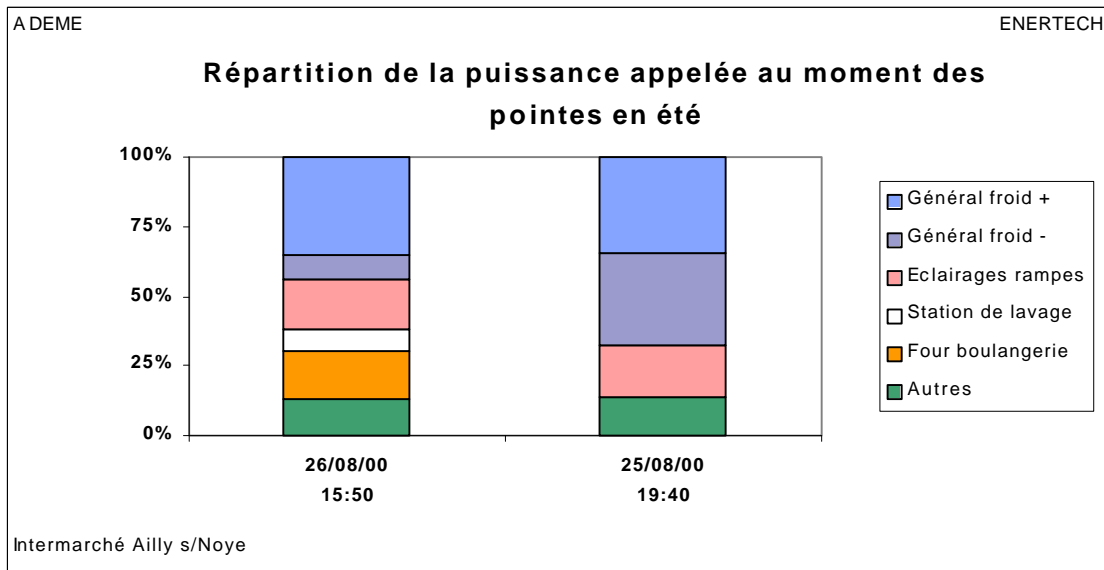


Figure 1.2 : répartition de la puissance appelée lors des pointes en été

- En **hiver** : on rencontre aussi les pointes les vendredis (3 fois) et samedis (7 fois). Elles ont lieu entre 17H50 et 18H10 au moment du dégivrage des appareils de froid négatif, quand le four et la station de lavage fonctionnent également.

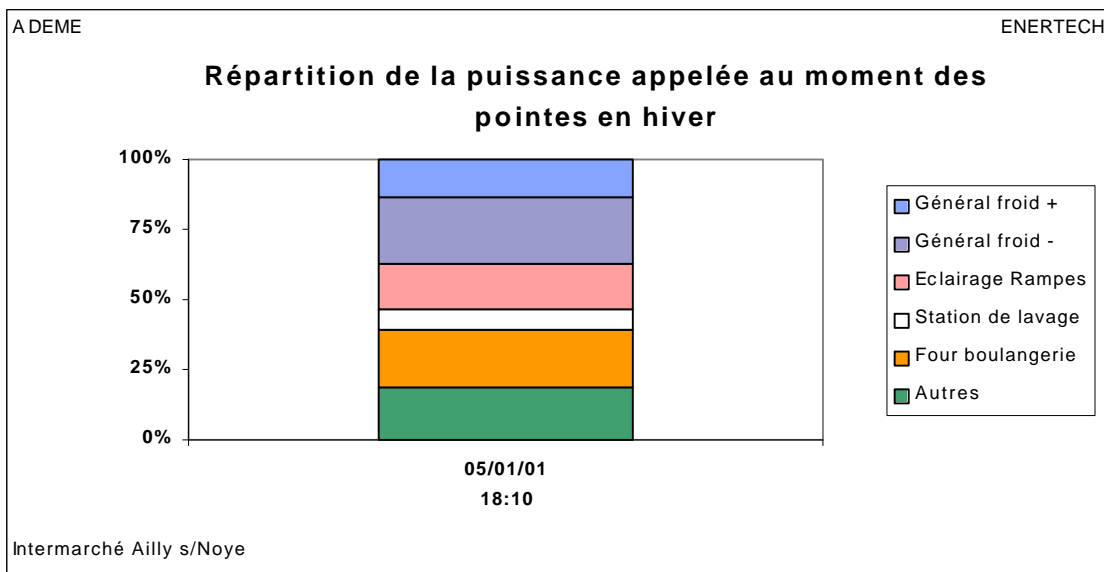


Figure 1.3 : répartition de la puissance appelée lors des pointes en hiver

Les coûts d'abonnement sont détaillés dans les paragraphes correspondant à chaque appareil et repris dans les fiches récapitulatives en annexe de ce document.

CHAPITRE 2 : COMPARAISON AVEC LE COMPTAGE EDF

La consommation totale du magasin a fait l'objet d'une mesure détaillée par périodes de 10 minutes. Pour ce faire, un enregistreur a mémorisé les informations issues du compteur général EDF tarif jaune par le biais du voyant dont chaque impulsion correspond à 10 Wh. Cette mesure a donc la même précision que le compteur utilisé pour la facturation du supermarché.

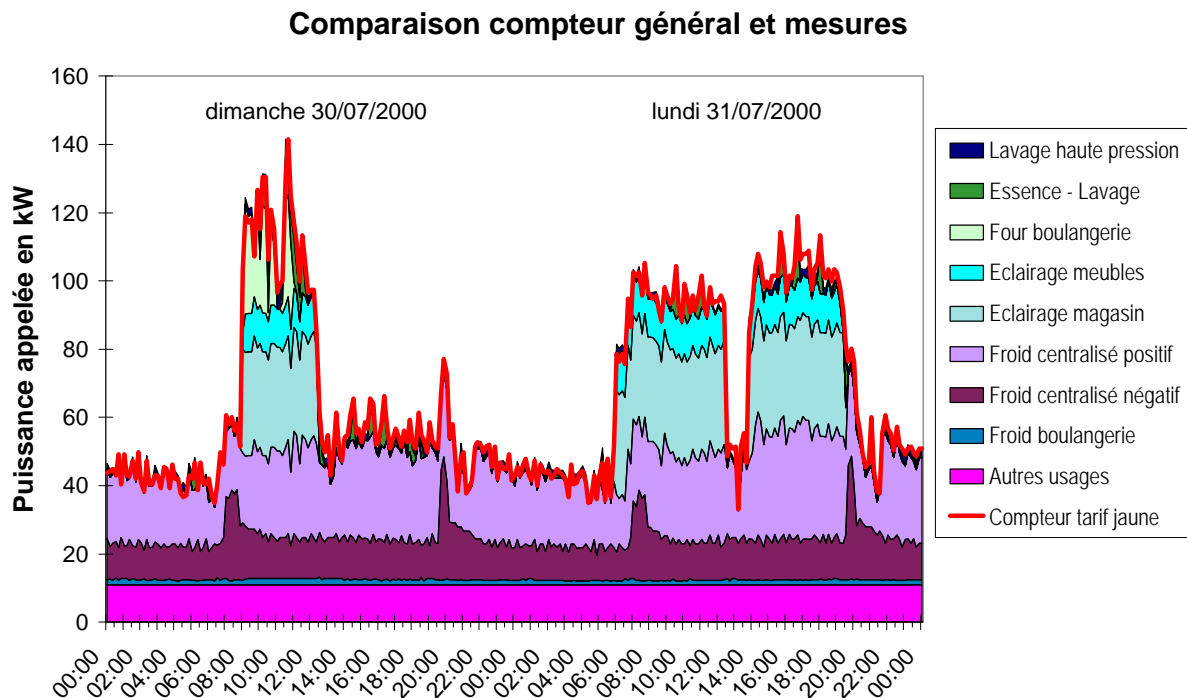


Figure 2.1 : comparaison compteur général-mesures effectuées pour deux jours types

Lorsque les consommations de l'ensemble des appareils mesurés sont additionnées, on retrouve une courbe de puissance appelée très proche de celle mesurée par le compteur général. La figure 2.3 représente un exemple de cet empilement sur 2 jours en été peu après l'installation. On constate que la somme des mesures effectuées correspond très bien à la mesure du général par le compteur EDF.

L'écart moyen entre la somme des mesures et le comptage général est de -8 %. Cette différence s'explique par le fait que quelques usages n'ont pas pu être suivis (consommation de la poissonnerie ouverte uniquement le mercredi, d'un présentoir réfrigéré en boulangerie et d'autres petits appareils). Une résistance électrique de maintien hors gel a aussi été identifiée dans le local du poste comptage. Elle fonctionnait par une température extérieure proche de 10°C... Enfin, compte tenu de la grande distance entre le poste et le supermarché et l'état général des tableaux électriques, il est probable que les pertes en ligne (dans les câbles) et dans les bornes et contacts, expliquent une partie de la différence observée. A noter qu'en cas de diminution des consommations du magasin, ces pertes seront réduites également (d'autant plus fortement que ces pertes évoluent comme le carré des intensités)

La question des pertes en ligne fait l'objet d'un paragraphe à la fin du rapport.

CHAPITRE 3 : STRUCTURE PAR USAGE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE ET DES COÛTS

3.1 REPARTITION DE LA CONSOMMATION

La consommation annuelle du supermarché (EDF) s'élève à **604 625 kWh**. La répartition est donnée sur le graphique 3.1. On peut faire plusieurs commentaires :

- Les deux postes **éclairages et froid** représente **83 % de la consommation** globale du magasin.
- Les **appareils de froid** avec **56 % de la consommation** sont les plus gros consommateurs d'énergie

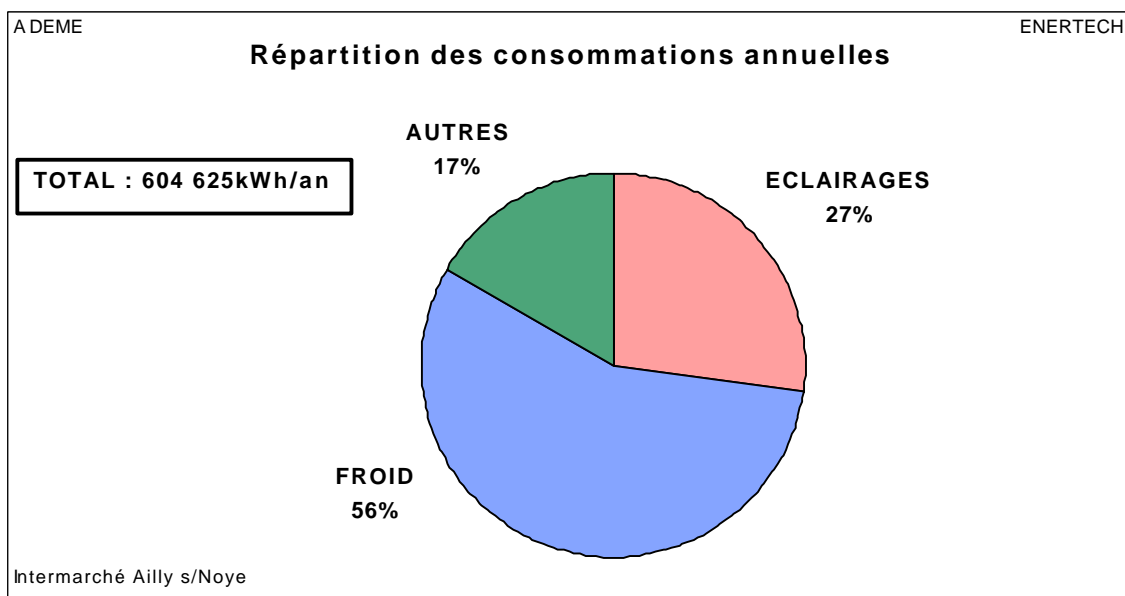


Figure 3.1 : répartition de la consommation annuelle du supermarché

Cependant, comme le montre la figure 3.2, la répartition n'est pas identique en été et en hiver.

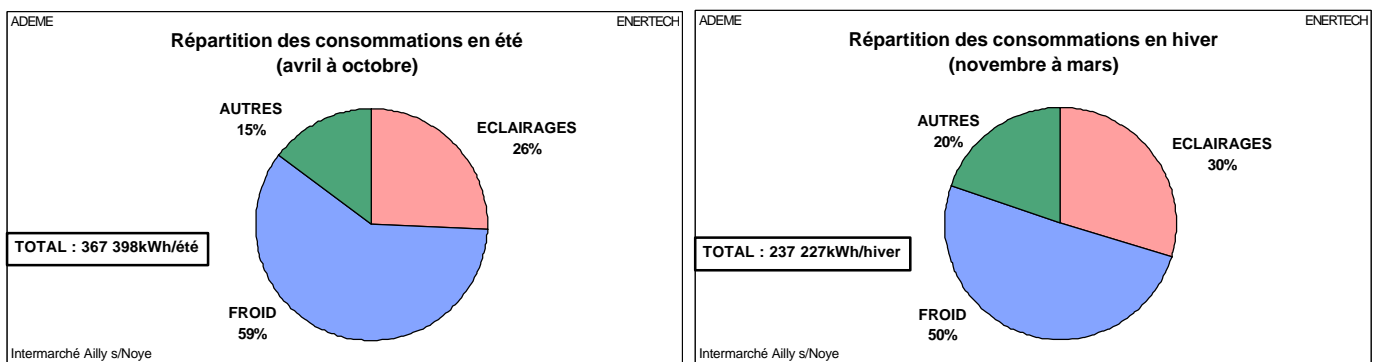


Figure 3.2 : répartition des consommations du supermarché en fonction de la saison

En effet, il s'avère que :

- La consommation en été représente 61 % de la consommation annuelle globale. Le poste de froid est un poste prépondérant et sa consommation est fortement liée à la température extérieure. Ainsi, la part du froid en été est d'environ 60 %, alors qu'elle ne représente plus que la moitié de la consommation en hiver.
- L'éclairage présente un comportement inverse, son importance passe de 30 % en hiver à 26 % en été. Ce fait s'explique en toute logique par l'évolution de la consommation de froid qui entraîne, en hiver, une augmentation relative de consommation des postes ne subissant pas la même saisonnalité. De plus, l'éclairage extérieur fonctionne davantage en hiver. La consommation totale d'éclairage est de 471 kWh/j en hiver et de 446 kWh/j en été.

3.2 STRUCTURE DE LA FACTURE

Le montant total de la facture EDF est de **234 976 FHT**. Ce montant englobe la consommation qui compte pour 78 % et l'abonnement (22 %) mais ne tient pas compte des frais divers et des taxes. La figure 3.3 montre la répartition de cette somme pour les trois postes principaux. La distribution des coûts est très proche de celle de la consommation, cependant on note quelques différences :

- la part du coût relatif au froid (poste le plus onéreux) dans la facture globale est inférieure à la part des consommations de ce poste dans la consommation globale car celles-ci sont réparties sur une très grande durée,
- contrairement au froid, le poids de l'éclairage est plus important dans la facture énergétique globale que dans la consommation électrique totale. Cet usage fonctionne principalement en heures pleines et sa consommation augmente en hiver, périodes dans lesquelles l'électricité coûte plus cher.

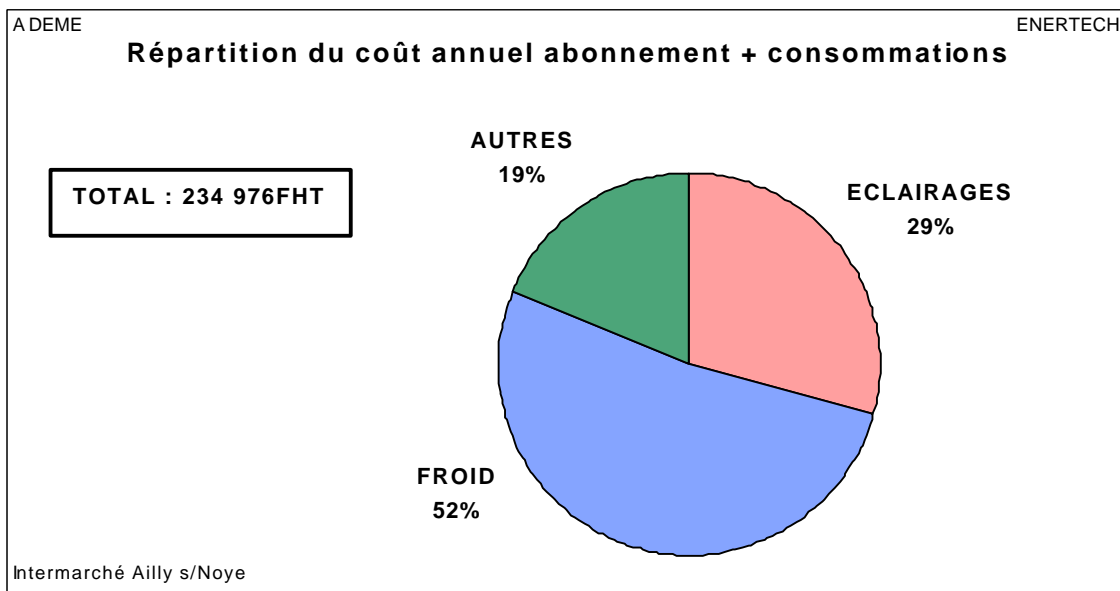


Figure 3.3 : structure de la facture d'électricité (année 2000) par usage

Comme le montre la figure 3.4, pour les postes dont les coûts d'exploitation sont les plus élevés, la part d'abonnement est assez faible comparée aux coûts de consommation. En effet, les quatre usages représentés ici fonctionnent très longtemps dans l'année.

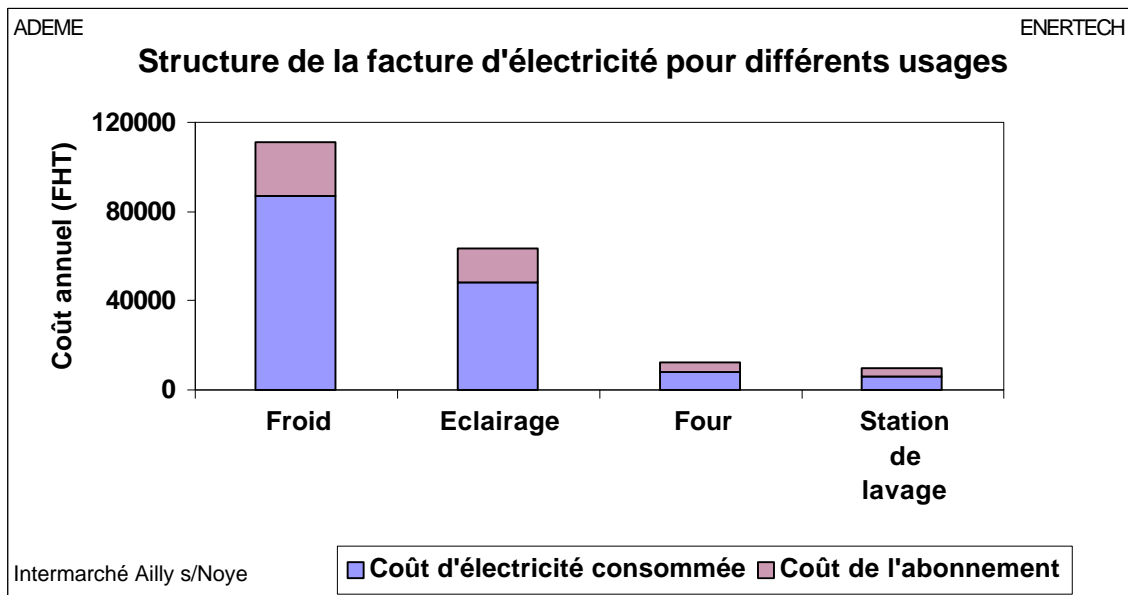


Figure 3.4 : structure de la facture d'électricité (année 2000) pour les principaux usages

CHAPITRE 4 : ETUDE DETAILLEE DE CHAQUE USAGE

4.1 APPAREILS DE FROID

4.1.1 Fonctionnement des meubles frigorifiques de vente

Cycle frigorifique

La production de froid est réalisée par des cycles de compression : un fluide frigorigène passe dans un détendeur où sa pression baisse, avant d'être admis dans un évaporateur dans lequel il prélève de la chaleur lui permettant de s'évaporer. Le fluide à l'état gazeux est alors aspiré par un compresseur et porté à une forte pression. Le gaz passe ensuite dans un condenseur où il transmet sa chaleur au milieu extérieur et se liquéfie. Le frigorigène sous forme liquide est alors distribué aux évaporateurs des meubles de froid. Un sous refroidissement du fluide frigorigène (diminution de sa température en-dessous de son point de condensation) par échange de chaleur avec le fluide gazeux froid sortant des évaporateurs (flash-gaz) permet une légère augmentation de l'efficacité du cycle.

Fonctionnement des meubles frigorifiques de vente (MFV)

Les meubles de froid sont constitués d'une enveloppe isolée thermiquement dont l'intérieur est maintenu en température par la mise en circulation d'air au travers de l'évaporateur. Dans le cas de meubles ouverts (MFV vertical, présentoirs, MFV horizontal ou gondole) un rideau d'air froid est réalisé de manière à limiter les entrées d'air neuf par la face libre. L'air est soufflé de façon laminaire et repris dans une gaine, mis en mouvement par les ventilateurs, refroidi par l'évaporateur avant d'être retourné vers les buses de soufflage.

Les meubles comprennent en outre les étagères présentant les produits et généralement des éclairages puissants pour les mettre en valeur. Certaines surfaces froides des meubles sont exposées à l'air extérieur et sont donc susceptibles d'être le siège de condensations gênantes. Dans ce cas, des cordons chauffants électriques permettent d'augmenter la température de ces surfaces au-dessus du point de rosée. De même les vitres des présentoirs sont réchauffées à une température évitant la formation de buée préjudiciable à la vente.

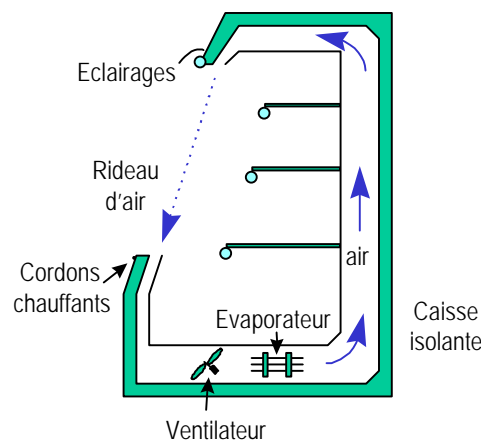


Figure 4.1 : coupe schématique d'un meuble frigorifique de vente (MFV) vertical

Principe de régulation

Pour les systèmes à groupe indépendant, le fonctionnement du compresseur est asservi simplement à la température du meuble. Il se met en fonctionnement lorsque l'ambiance du meuble dépasse la température de consigne. Un décalage des seuils de mises en fonctionnement et d'arrêt (hystérésis) permet d'éviter des cycles de démarrage / arrêt trop fréquents.

Dans le cas des groupes centralisés, plusieurs compresseurs peuvent fonctionner en parallèle. Leur mise en fonction est basée sur la pression mesurée à l'aspiration (souvent indiquée en une valeur de température correspondant à la température d'ébullition du fluide à cette pression, c'est-à-dire approximativement celle de l'évaporateur). Les ventilateurs des condenseurs sont quant à eux asservis à la pression en sortie de compresseur. De même que pour la basse pression, cette valeur est généralement indiquée en degrés et correspond à la température de condensation du fluide à cette pression.

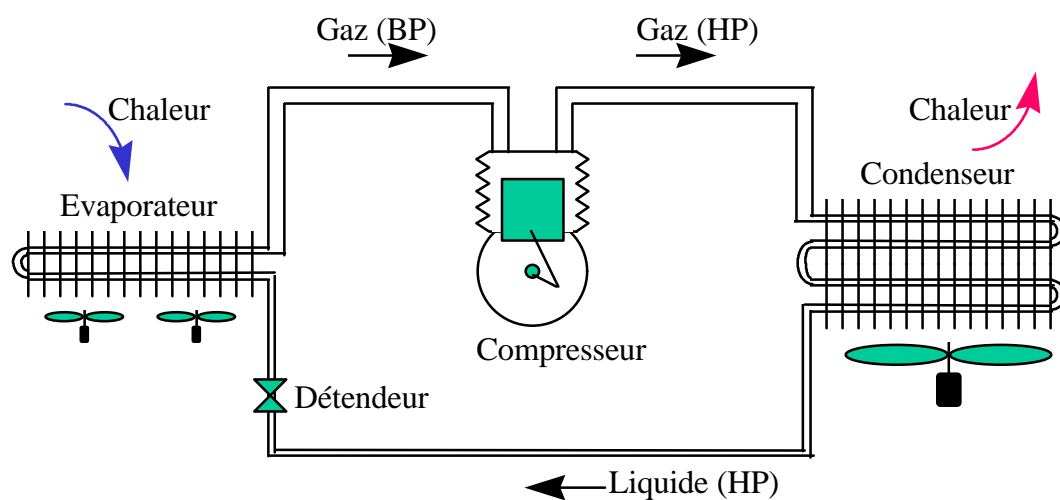


Figure 4.2 : schéma de principe d'un groupe frigorifique

Ce mode de régulation permet donc un fonctionnement des meubles frigorifiques dans des conditions de températures et de pression de fluide sensiblement constantes tout au long de l'année. Le maintien de conditions nominales de pression est essentiel pour le bon fonctionnement des détendeurs. Les points de consigne de haute et basse pression sont fixes tout au long de l'année. La valeur de basse pression correspond à la valeur la plus faible de température d'évaporateur nécessaire au bon fonctionnement de chacun des meubles (si un seul meuble nécessite une température d'évaporation très basse, le groupe centralisé devra être capable de l'assurer et ces performances seront réduites pour l'ensemble des meubles). La valeur de haute pression est fixée aux environs de 40°C.

Selon la température et l'hygrométrie de l'ambiance, la quantité de chaleur à prélever dans les meubles varie. C'est pourquoi une régulation propre à chaque meuble commande le débit d'entrée de fluide frigorigène dans l'évaporateur en fonction de ces besoins de froid. Une sonde de température placée dans le meuble ou dans la gaine d'air de reprise contrôlant une électrovanne assure cette fonction.

Dégivrage

L'air des supermarchés contient un taux d'humidité importante, de l'ordre de 60 %, notamment l'été. Cette proportion d'eau provient de l'air extérieur, de la respiration du public

et de l'utilisation d'eau pour les nettoyages. Au contact des évaporateurs des meubles frigorifiques, l'eau condense et gèle : il se forme du givre sur ces parois. Si un tel fonctionnement perdure, l'évaporateur risque de « prendre en glace » et de ne plus pouvoir absorber la chaleur de l'air à refroidir. C'est pourquoi il est nécessaire d'assurer périodiquement un dégivrage des évaporateurs. Ce dégivrage peut être soit électrique, soit naturel, auquel cas l'arrivée de fluide frigorigène est provisoirement arrêtée tandis que les ventilateurs continuent à fonctionner. Celui-ci se réchauffe donc progressivement provoquant la fonte du givre ; l'eau de fusion est alors recueillie et évacuée vers l'égout. Durant le dégivrage, l'air soufflé dans le meuble dépasse la température de consigne et les produits subissent une élévation de température. Il est donc nécessaire de limiter autant que possible les durées de dégivrage pour éviter toute dégradation. Les dégivrages sont démarrés automatiquement par une horloge et prennent fin lorsque la température de l'évaporateur dépasse environ 12°C, température à laquelle il ne peut subsister de givre. Du fluide frigorigène est alors à nouveau introduit dans l'évaporateur et le cycle reprend.

Les dégivrages naturels ne sont acceptables que pour les appareils de froid positif. Pour les appareils de froid négatifs, ils nécessiteraient des durées trop importantes, donc des hausses de température trop élevées, portant préjudice à la bonne conservation des produits. Pour diminuer les temps de dégivrage, des résistances électriques de forte puissance situées à proximité des évaporateurs sont mise en fonction pour accélérer la fusion du givre. Ainsi, il suffit de quelques minutes pour dégivrer entièrement l'évaporateur mais au prix bien sûr d'une forte consommation d'électricité, d'une part pour actionner les résistances, et d'autre part pour retirer la chaleur apportée par ces résistances de l'ambiance du meuble. Par ailleurs, les dégivrages sont effectués de préférence en dehors des périodes d'occupation des magasins car les températures affichées par les meubles durant ces périodes sont susceptibles d'inquiéter les clients (bien que la conservation des produits soit assurée dans tous les cas).

Pertes thermiques des meubles de froid

Les meubles de froid nécessitent un apport continu d'énergie frigorifique pour compenser les apports de chaleurs dus principalement :

- à l'air extérieur entraîné dans le rideau d'air ou par les ouvertures des portes dans le cas des chambres frigorifiques (air plus chaud et plus humide que celui du meuble)
- au rayonnement des surfaces extérieures, notamment du plafond du magasin vers l'enceinte refroidie.
- à la conduction des parois des meubles
- aux apports internes (énergie consommée par les ventilateurs, cordons chauffants, éclairages...)
- aux résistances de dégivrage le cas échéant.

Pour les meubles ouverts, plus des deux tiers des pertes de froid sont dues aux deux premiers postes. Dans le cas des chambres froides, la conduction par les parois est prépondérante.

4.1.2 Inventaire des appareils étudiés

Caractéristiques générales

Les appareils de froid dont est équipé le supermarché se distinguent par leur température d'application et par le type de système frigorifique, soit indépendant (compresseur situé dans le meuble), soit centralisé auquel cas plusieurs appareils sont raccordés à un réseau de fluide frigorigène préparé par un seul groupe frigorifique.

Le tableau de la figure 4.3 donne ces renseignements pour les appareils étudiés.

Appareil	Température d'application	Groupe froid
Bacs surgelés en vrac	Froid négatif	Centralisé (par 4 gondoles)
Chambre froide surgelés	Froid négatif	Indépendant
Chambre froide négative boulangerie	Froid négatif	Indépendant
Gondoles steaks hachés	Froid positif	Indépendant
Meuble crèmerie	Froid positif	Centralisé
Présentoir boucherie fromage	Froid positif	Centralisé
Meuble viande préemballée	Froid positif	Centralisé
Meuble charcuterie	Froid positif	Centralisé
Meuble volaille – plats préparés	Froid positif	Centralisé
Vitrine jus de fruit frais	Froid positif	Indépendant

Figure 4.3 : caractéristiques générales des appareils frigorifiques présents dans le supermarché

Description détaillée de chaque appareil

Les caractéristiques des divers appareils étudiés sont les suivantes :

Froid négatif

- Bacs surgelés en vrac : îlot de 8 gondoles asymétriques non éclairées d'environ 2 m² chacune. Fabricant : Bonnet. Alimentées en fluide frigorigène par deux groupes froids indépendants de 15CV. Dégivrage électrique de 30kW.
- Chambre froide « surgelés » : Pièce de stockage des produits surgelés à -20°C - environ 25 m³. Groupe froid indépendant situé dans le local des groupes centralisés. Dégivrage électrique. Les consommations électriques des bacs surgelés et de la chambre froide ont été suivies ensemble.
- Chambre froide boulangerie : Marque : Zanoti : Groupe indépendant situé dans la boulangerie. 1.7 kW. Dégivrage électrique. Suivi détaillé de la consommation.

Froid positif

- Gondoles steaks hachés : 2 meubles horizontaux d'environ 2 m² de surface ouverte alimentés chacun par un compresseur indépendant. Dégivrage électrique. Consommations électriques suivies ensemble.

- Vitrine à porte jus de fruits frais : Fabricant Bonnet - 272 Litres net. Eclairage permanent par 1 tube fluo de 36 Watts. Compresseur indépendant. Suivi détaillé de la consommation.
- Vitrine réfrigérée boulangerie : Marque : Civetta. Compresseur indépendant. Non suivie.
- Autres meubles de froid positif : 56 m de linéaires de meubles et présentoirs avec environ 70 m² de surfaces ouvertes. Alimentation en fluide frigorigène par un groupe centralisé de 3 compresseurs (25CV) et condenseurs extérieurs. Suivi de la consommation de l'ensemble du groupe centralisé froid positif.

4.1.3 Meubles de froid positif sur groupe centralisé

Etude de l'usage et de son importance dans la consommation globale

La consommation totale annuelle atteint 186 000 kWh soit 34 % de la consommation du magasin. C'est le plus gros poste. La saisonnalité de la consommation est très marquée : en plein été, ce poste absorbe deux fois plus d'énergie que durant les mois d'hiver. Le profil journalier d'appel de puissance évolue également : d'assez plat en hiver, il forme en été une courbe très accentuée durant les périodes d'occupation du magasin, et particulièrement les après-midi, lorsque les températures intérieure (déterminant les besoins de froid) et extérieure, qui influent sur les performances du système frigorifique, sont plus élevées. Des creux, dus aux cycles de dégivrage naturel, apparaissent plus nettement en été. En effet, durant ces périodes, plusieurs meubles ne demandent pas de fluide frigorigène ce qui limite le fonctionnement des compresseurs. Ces creux sont programmés de préférence en dehors des heures d'ouverture, juste avant et après l'arrivée des clients ainsi qu'aux heures de fermeture méridienne. Un pic d'appel de puissance se produit toujours après les cycles de dégivrage pour la remise en température des meubles de froid.

Durant une semaine type, la consommation stable en début de semaine, augmente légèrement les vendredis et samedis en été (+10 %) en raison des plages horaires d'ouverture étendues et du volume plus important de matériaux à stocker. Puis elle baisse à nouveau le dimanche. En hiver, la consommation d'énergie reste remarquablement constante hormis une légère diminution le dimanche.

Modélisation

Afin de détailler les postes de consommation électrique pour le groupe froid positif centralisé, nous avons élaboré un modèle de ce système : les principaux paramètres ont été déterminés sur site ou par données constructeurs puis recalés afin de retrouver les valeurs de consommation mesurées. Le résultat fait apparaître la répartition suivante des pertes de froid :

Pertes moyennes (Watts)	été	hiver
Conduction par les parois	2810 W	1915 W
Air induit dans les meubles ouverts	37240 W	14570 W
Rayonnement de chaleur vers l'intérieur des meubles ouverts	4300 W	2930 W
Réchauffage dû aux ventilateurs et cordons chauffants	3820 W	3820 W
Apports moyens de chaleurs dus aux éclairages	3880 W	3880 W
Autres apports internes (dans labo. boucherie)	600 W	600 W

Le total des besoins de froid atteint donc 52,6 kW en été et 27.7 kW en hiver. Le COP du système incluant le fonctionnement des ventilateurs condenseurs et des réchauffages carters des compresseurs est estimé à environ 1.8 en été et 2.2 en hiver.

La puissance électrique moyenne à développer par les groupes atteint donc 29.2 kW en été 12.6 kW en hiver. Il convient d'ajouter les consommations dues aux ventilateurs et cordons chauffants (les consommations électriques des éclairages sont analysées séparément).

La consommation électrique totale du système calculée à partir de ce modèle atteint 790 kWh/jour en été et 390 kWh/jour en hiver qui sont des valeurs proches de celles qui ont été mesurées (740 kWh/jour en été et 400 kWh/jour en hiver).

Solutions d'économie d'énergie

.. Considérations générales

D'une manière générale, nous pouvons constater que l'installation de froid a été conçue de manière à assurer des paramètres de fonctionnement aussi stables que possibles quelles que soient les conditions extérieures. Cette préoccupation légitime pour assurer le bon fonctionnement des meubles de froid et la conservation des produits ne permet pas d'atteindre une solution optimale du point de vue des consommations d'énergie. En effet, une large partie des gains potentiels provient du fait que les paramètres extérieurs et intérieurs évoluent sans cesse et permettent une grande partie du temps de fonctionner avec un rendement bien meilleur que celui, nécessairement limité, que l'on obtient lorsque les contraintes sont les plus fortes.

.. Solutions performantes

Rideaux et couvertures de nuit

Il apparaît clairement dans ce qui précède que les pertes essentielles sont dues à l'air ambiant du magasin entraîné dans la circulation des rideaux d'air des meubles ouverts et au rayonnement de chaleur. La première mesure d'économie d'énergie consiste donc à limiter les pertes par les ouvertures en installant des systèmes d'occlusion durant les heures d'inoccupation du magasin. Des systèmes sont commercialisés depuis longtemps pour réaliser cette fonction : pour les meubles verticaux, il s'agit de rideaux aluminisés qui se déroulent soit manuellement, soit automatiquement devant les surfaces ouvertes des appareils. Pour les meubles horizontaux (gondoles), des couvercles de nuits isothermes sont disponibles dans de nombreuses dimensions. Afin de donner satisfaction, ces systèmes doivent être de grande qualité (rideaux microperforés) afin d'éviter les condensations susceptibles de provoquer des dégâts sur les produits.

L'économie potentielle résulte d'une diminution d'environ 75 % des débits d'airs induits et des pertes par rayonnement lorsque les rideaux et couvertures sont en place, c'est-à-dire en moyenne 15.5 heures par jour. Les besoins de froid moyens sont ainsi diminués de 34.5 % en été et 27.6 % en hiver. Ces gains sont en bon accord avec les études réalisées à ce sujet dans différents pays et avec certains chiffres annoncés par des fabricants. Certains fabricants sont sensiblement plus optimistes et leurs chiffres doivent être pris avec précautions car ils portent sur des durées de fermeture plus importantes, le week-end notamment.

Un avantage de ces occultations tient par ailleurs à la baisse de température constatée sur les produits pendant les périodes de fermeture et assurant ainsi une meilleure conservation. A contrario, il sera nécessaire de tenir compte du léger surcroît de main d'œuvre pour les manipulations dans le cas de systèmes non automatisés.

Enfin, l'installation doit être effectuée par un frigoriste compétent afin de s'assurer qu'on ne peut, en aucun cas, obtenir des températures anormalement basses (gel) dans les meubles lors des fermetures en hiver et de procéder aux réglages éventuels des détendeurs.

L'investissement est de 44 000 F H.T. pour des rideaux manuels. Ils seront amortis en 3,4 ans.

L'installation de rideaux automatiques revient à 49 000 F H.T. et est amortie en 3,8 ans.

Haute pression (HP) flottante

Le coefficient de performance de l'installation frigorifique (COP - rapport entre l'énergie électrique à fournir par la quantité de chaleur prélevée dans les meubles) est fortement influencé par l'écart entre la température à laquelle la chaleur est absorbée et celle à laquelle elle est refoulée. Lorsque cet écart croît, le COP baisse rapidement. Pour un groupe classique, le COP peut varier de 1.8 lorsque la température d'évaporation est de -10°C et celle de condensation de $+45^{\circ}\text{C}$ à environ 2.7 lorsque cette dernière n'est que de 30°C , générant ainsi un gain de 33 % d'énergie au niveau des compresseurs.

Diminuer la température de condensation est chose facile : il suffit de réduire la température de consigne de démarrage des ventilateurs du condenseur. Lorsque l'ambiance extérieure est suffisamment fraîche, la température atteinte dans le condenseur pourra prendre des valeurs très inférieures à la consigne normale ; le surcroît de consommation des ventilateurs est très largement compensé par les gains au niveau des compresseurs.

La baisse de température de condensation est directement liée à celle de la haute pression du système. Ainsi, au-dessous d'une température de condensation de 25°C , cette pression est tellement diminuée que les détendeurs thermostatiques des meubles ne peuvent plus fonctionner dans de bonnes conditions. Il est alors nécessaire d'utiliser des détendeurs électroniques (certains modèles multi-orifices, largement utilisés aux Etats Unis, moins chers peuvent également être utilisés mais présentent parfois des difficultés de mise en service). L'investissement nécessaire à la mise en place d'une haute pression flottante est donc directement lié au prix des détendeurs électroniques, soit environ 2 000 F H.T. par évaporateur (les meubles sont équipés d'un évaporateur par module de 3.75 mètres). Le coût total de mise en œuvre dans le supermarché atteint donc environ 40 000 F H.T. incluant les frais de réglage des éléments de commande des compresseurs et condenseurs.

Grâce au système de haute pression flottante, la consommation électrique du groupe pourrait être diminuée de 10 % en été (COP passe à 2.0) et 25 % en hiver (COP passant à 2.9, soit une température de condensation moyenne de 25°C). Ces estimations correspondent aux chiffres avancés par les fournisseurs qui estiment entre 15 et 20 % l'économie réalisable par l'ensemble du poste froid positif centralisé, ce qui représente environ 10 400 F TTC par an conduisant à un temps de retour de 3.8 ans.

Ce fonctionnement permet également une longévité accrue des moteurs des compresseurs (durée de fonctionnement réduite et pression moyenne diminuée) et la régulation bien plus fine assurée par les détendeurs électroniques permet un meilleur contrôle de la température, ce qui garantit une meilleure qualité de la conservation des produits quelles que soient les conditions extérieures.

Ventilateurs performants pour les évaporateurs des meubles

Tous les évaporateurs des meubles et chambres froides sont équipés de ventilateurs pour améliorer l'échange thermique et, dans le cas des meubles verticaux ouverts, pour mettre l'air en mouvement afin de créer les rideaux d'air. On trouve environ 3 à 6 petits ventilateurs par module de 3.75 m de large de meuble ouvert. Certains modèles récents à triple rideau d'air en comptent encore plus.

Les ventilateurs des meubles de froid positif sur groupe centralisé fonctionnent en permanence et appellent une puissance totale d'environ 2500 Watts. Etant situés dans les volumes refroidis, cet apport d'électricité, et donc de chaleur, apparaît comme une charge supplémentaire pour le groupe frigorifique.

Si le COP annuel moyen des groupes « froid » est de 2, les ventilateurs génèrent une surconsommation permanente des groupes de 1250 Watts. Au total, la consommation due aux ventilateurs atteint donc de 32850 kWh par an.

Les ventilateurs actuels sont tous des modèles axiaux de faible puissance unitaire (environ 38 watts) et utilisent des moteurs asynchrones à faible rendement. Les aubages des hélices ne sont pas non plus optimisés. Il existe depuis quelques années sur le marché des ventilateurs axiaux plus performants qui utilisent des moteurs efficaces à courant continu et qui sont équipés d'aubages classiques. Cependant, comme les dimensions des ventilateurs changent, il est alors nécessaire d'apporter quelques modifications au meuble, notamment au niveau des tôleries intérieures proches des évaporateurs.

Selon les fabricants, leur performance permet de diviser par 3 à 4 les consommations d'électricité. Le gain sur l'ensemble du poste froid positif centralisé atteindrait environ 3.8 % en été et 6.8 % en hiver. Mais il n'existe encore que très peu de fabricants pour ce type de ventilateurs et leurs prix restent élevés, entraînant un surcoût d'environ 350F par ventilateur.

Le coût engendré par le changement des ventilateurs et les modifications des tôles rend cette solution difficilement applicable en rénovation. Dans le cas de matériel neuf, le surcoût induit représente 10 à 15 % par meuble. Il est probable que l'utilisation systématique de ces ventilateurs par un fabricant pourrait diminuer le surcoût mais cela ne semble pas encore à l'ordre du jour.

Une alternative au remplacement pourrait consister en une alimentation réduite des ventilateurs lorsque les besoins sont moindres. L'arrêt complet est à éviter car, de l'avis des fabricants, le fonctionnement des rideaux d'air est alors bloqué et on atteint rapidement des températures incontrôlées dans les meubles, même lorsqu'ils sont équipés de rideaux de nuit fermés. En revanche, une idée séduisante consisterait à réduire l'alimentation des ventilateurs lorsque les besoins de froids sont faibles. Pour cela, il suffirait de raccorder en série les ventilateurs par groupes de 2 ou 3. Ce serait très bon marché. Le pilotage serait assuré par un relais électrique commandé en même temps que l'électrovanne d'arrivée de fluide frigorigène. L'économie pourrait atteindre 25 à 30 % de la consommation des ventilateurs. Des essais pourraient être menés pour valider cette solution, particulièrement pour les ventilateurs des évaporateurs de chambre froide qui ne forment pas de rideaux d'air.

Eclairage performant

Les meubles de froid positif verticaux sont équipés d'éclairages puissants dans le but d'améliorer la visibilité des produits. Ces éclairages sont constitués par des tubes fluorescents montés dans les frontons et les bordures des étagères des meubles. Placés dans le volume refroidi, à l'exception des tubes situés dans le fronton (quoique la température y régnant soit sensiblement plus basse que celle du magasin), les tubes classiques ont un rendement très faible. Malgré ces mauvaises performances et un allumage souvent difficile, cette solution est conservée car elle génère peu de rayonnement infrarouge susceptible d'abîmer les produits exposés. Les largeurs des meubles sont donc basées sur les longueurs de tubes fluorescents (de 36 Watts standards) et évoluent par modules de 1.25 mètres. Un module comporte jusque 5 tubes de 36 watts, soit 4 étagères éclairées et un tube de fronton. Le magasin est ainsi équipé de 9310 watts d'éclairage de meubles de froid positif. Comme dans le cas des ventilateurs, les éclairages situés dans le volume refroidi en augmentent la charge thermique.

Les ballasts et éclairages de frontons sont placés hors de ce volume de manière à limiter les apports liés à l'éclairage soit une diminution d'environ 7 kW. Nous pouvons noter en outre que ces apports loin d'être négligeables par rapport aux besoins de froid des meubles, imposent une température d'évaporation plus basse. Ainsi, si ses étagères n'étaient pas équipées d'éclairages, le meuble crémier pourrait accepter une température d'évaporation supérieure de 1°C. Pour un groupe frigorifique classique en froid positif, ceci signifie une baisse de 4 % de la consommation du groupe ! Les solutions d'économie préconisées sont détaillées dans l'analyse des consommations d'éclairage des meubles.

Moteurs performants pour les compresseurs

Les moteurs électriques de puissance importante sont disponibles en plusieurs gammes d'efficacité. Les moteurs standards tels ceux qui sont utilisés pour le groupe froid positif centralisé pourraient être remplacés par des modèles performants. Le gain serait d'environ 3 à 5 %. Ce remplacement pourrait se justifier lors du renouvellement d'un des moteurs et plus particulièrement pour le premier moteur de la série qui est plus souvent sollicité. Les classes d'efficacité sont définies par un label européen.

Cordons chauffants régulés

Les cordons chauffants assurent l'absence de condensations sur les parties de meubles et vitres froides soumis à l'air ambiant humide. La puissance de ces cordons est sensiblement constante (environ 1.3 kW) et s'ajoute à la charge frigorifique. Lorsque l'air extérieur est plus froid et contient en conséquence moins d'humidité, il serait possible de diminuer progressivement la puissance dissipée dans ces résistances. Des exemples aux Etats Unis montrent qu'une diminution de 27 % de la consommation des cordons semble possible en hiver (ce qui représente ici 3000 kWh/an d'économie). Nous n'avons pas trouvé de distributeur de ce type de régulation en France. Seul un fabricant nous a indiqué avoir tenu ce régulateur à son catalogue, mais qu'en raison de l'absence de demande, le produit n'est plus commercialisé.

Autres mesures envisageables

De nombreuses autres pistes se présentent pour diminuer les consommations électriques du poste froid positif centralisé. Leur analyse va bien au delà du cadre de la présente étude. Pour mémoire, citons les possibilités de renforcer les isolations des parois des meubles, l'utilisation de ventilateurs performants pour les condenseurs, la régulation optimale du chauffage des carters des compresseurs (afin d'améliorer la fluidité de l'huile), la variation de vitesse pour les compresseurs et condenseurs, l'aspersion des condenseurs en été (par exemple en utilisant l'eau de dégivrage des meubles)...

Enfin, la récupération de chaleur sur les gaz chauds en sortie de compresseurs pour un préchauffage de l'eau sanitaire et de lavage sera détaillée dans le paragraphe 4.6.4.

Solutions les plus intéressantes retenues pour le froid positif

Nous conseillons d'utiliser des rideaux et couvertures de nuit et des détendeurs électroniques. L'économie d'énergie réalisable est de 42 %. L'investissement s'élève à 84 000F et sera amorti en 4 ans.

4.1.4 Gondoles et chambre froide négative

Etude de l'usage et de son importance dans la consommation globale

La consommation totale de ce poste atteint près de 105 600 kWh par an soit 19 % de la consommation du magasin.

La puissance appelée par les groupes, en moyennes par 10 minutes, est remarquablement constante au cours de la journée, de la semaine et de l'année. Seuls deux pics d'appel de puissance ont lieu chaque jour. Ils sont dus à la mise en route des résistances électriques de dégivrage des gondoles.

Nous pouvons constater que ces résistances, bien que commandées en deux groupes distincts, sont mises en fonction simultanément, sauf en été le matin où elles sont activées l'une à la suite immédiate de l'autre. L'appel de puissance est alors moins important mais plus long.

Les dégivrages sont programmés par des horloges qui n'ont pas été remises à l'heure lors du passage à l'heure d'hiver ce qui explique le décalage d'une heure observable entre les courbes d'été et d'hiver.

Le fait que les résistances fonctionnent le matin simultanément en hiver et l'une à la suite de l'autre en été provient probablement du réglage d'une horloge, à moins qu'il ne soit dû à une dérive dans le temps.

Le détail des consommations journalières est le suivant :

Consommation journalière moyenne (kWh / jour)	été	hiver
Compresseurs et condenseurs	272,7	224,0
Cordons chauffants et ventilateurs	40,8	40,8
Résistances de dégivrage	31,4	31,4
Total groupe froid négatif centralisé	329,2	280,5

Le faible écart constaté entre la consommation hivernale et estivale est étonnant. Il peut s'expliquer par le fait que la charge de froid négatif est assez peu sensible aux différences de températures entre hiver et été (ΔT est relativement constant). D'autre part, comme les condenseurs sont situés dans le local des groupes (bien ventilé mais présentant de forts apports internes de chaleur), ils profitent moins des basses températures extérieures en hiver.

Le COP des groupes est donc très stable durant l'année et la diminution de consommation l'hiver n'est due qu'à la baisse des besoins en froid des meubles. Ces besoins sont approximativement proportionnels aux écarts de température entre ambiance et intérieur du meuble. Ainsi, lorsque la température du magasin varie de 17°C (hiver) à 24°C (été), l'intérieur des meubles surgelés proche de -20°C, les besoins internes varient de 20 % ce qui est conforme aux mesures effectuées.

Modélisation

Comme dans le cas du groupe froid centralisé positif, nous avons effectué une modélisation simplifiée qui permet de mieux appréhender les parts des différents apports de chaleur.

Pertes moyennes (Watts)	été	hiver
Conduction par les parois	21 %	21 %
Air induit dans les meubles ouverts	43 %	35 %
Rayonnement de chaleur vers l'intérieur des meubles ouverts	16 %	16 %
Réchauffage dû aux ventilateurs et cordons chauffants	6 %	7 %
Apports dus aux dégivrages électriques	5 %	6 %

Les besoins de froid liés aux pertes par les parois sont importantes car le modèle intègre la chambre froide négative qui présente des surfaces d'échange importantes entre le milieu froid et l'ambient. Le rapport cyclique moyen de fonctionnement des compresseurs est d'environ 62 % en été et 54 % en hiver.

Solutions d'économie d'énergie

••Considérations générales

Pour les groupes froids négatifs, l'économie engendrée par une variation de la température de condensation est nettement moins intéressante que dans le cas des groupes froid positif : le COP du système n'est augmenté que d'environ 20 % lorsque la température de condensation passe de 45 à 30°C. L'ajout d'un système sophistiqué de HP flottante n'est donc pas envisagé.

En revanche, il est très souhaitable de vérifier périodiquement que les condenseurs sont correctement nettoyés et ventilés afin d'assurer un bon rendement du système.

••Description des solutions performantes

Couverture de nuit

Un gain très important de consommation d'énergie peut être réalisé par l'utilisation de couvertures nocturnes pour les meubles de froid négatif horizontaux (gondoles de surgelés en vrac). Ces protections seront de type rigide isolé afin de permettre une mise en place facile et d'éviter tout risque de condensation de l'humidité de l'air du magasin au contact d'une surface froide. Le calcul de l'économie d'énergie générée est basé sur une réduction des apports par induction d'air et par rayonnement de 75 % lorsque les couvertures sont en place (données fabricant). La réduction estimée atteint 21 % du poste en hiver et 24 % en été, soit un gain annuel total de 24 000 kWh. L'investissement étant d'environ 18 000 F H.T. et le temps de retour de 3,2 ans. Il convient aussi de noter une amélioration notable de la température moyenne des produits et en conséquence, de leurs conditions de conservation. Le calcul ne tient pas compte de cette amélioration.

Réglage des périodes de dégivrage

Le dégivrage des évaporateurs des meubles de froid négatif est assuré par des résistances électriques de forte puissance, mise en route à heures fixes deux fois par jour. Il est préférable que les cycles de dégivrage aient lieu en dehors des heures d'affluence, c'est pourquoi les dégivrages sont normalement programmés juste avant l'ouverture et juste après la fermeture du magasin. La puissance appelée est très importante et intervient directement dans les frais d'abonnement EDF.

Nos mesures révèlent que les deux groupes de résistances sont commandés en même temps (hormis l'été, pour le cycle de dégivrage du matin), ils appellent une puissance de plus

de 40 kW. Nous constatons qu'en hiver, durant les périodes où le magasin absorbe le plus de puissance, le dégivrage est systématiquement en fonction. En effet, les horloges n'ayant pas été mises à l'heure d'hiver, le dégivrage du soir s'effectue vers 18 heures lorsque la consommation du reste de magasin est encore forte ce qui entraîne une pointe importante.

Ainsi, si les groupes de résistances sont commandés l'un après l'autre en dehors des heures d'allumage des rampes du magasin, on peut réaliser un **gain de 40 kVA** de puissance souscrite soit **une économie annuelle de 12 100 F sur l'abonnement**.

Optimisation des cycles de dégivrage

Les mesures montrent que les durées de dégivrage électrique ne varient quasiment pas au cours des 6 mois de mesure. Ces durées sont déterminées par une détection de température haute atteinte par l'évaporateur lors de la mise en fonction des résistances, avec un seuil d'environ 12°C. Ainsi, en toute logique, lorsque la quantité de givre accumulée est importante, la durée de fonctionnement des résistances avant que ce seuil ne soit atteint devrait être allongée.

En pratique, la majeure partie de l'électricité apportée par les résistances est entraînée par l'air qui continue d'être soufflé au travers de l'évaporateur. Moins de 20 % de l'électricité sert effectivement à la fusion du givre, le reste réchauffant le flux d'air, les tôles du meuble et les produits (qui devront être refroidis rapidement dès l'arrêt du cycle de dégivrage).

Une possibilité d'amélioration existante sur le marché consiste à optimiser la régulation du dégivrage : lorsque la température de l'évaporateur atteint 2°C, le procédé de régulation du fonctionnement des résistances change de manière à maintenir cette température pendant environ 10 minutes. Après une courte période d'égouttage, le dégivrage prend alors fin. Avec ce type de système, il semble possible d'effectuer chaque jour 4 dégivrages (dont 1 vers 13 heures) d'environ 20 minutes (avec 10 minutes de fonctionnement de résistance par cycle), soit 40 minutes de fonctionnement des résistances au lieu de 60 actuellement. L'économie journalière est de 18 kWh pour l'ensemble des gondoles. Il est possible de modifier le schéma électrique existant et le réglage des seuils de température pour réaliser cette fonction. Le coût de cette opération est d'environ 5000 F amortis en moins de 2 ans. Cette modification aurait aussi des répercussions bénéfiques sur la conservation des produits.

Une autre solution permettant de réduire les consommations électriques de dégivrage consiste, par un jeu de vannes appropriées, à injecter directement dans l'évaporateur les gaz chauds sortis du groupe compresseur. On obtient ainsi un dégivrage très rapide sans échauffement de l'air soufflé et avec une dépense d'énergie très réduite. Ce procédé très utilisé aux Etats-Unis n'est applicable que lorsque les ¾ des meubles peuvent être en fonction lorsqu'un meuble est en cours de dégivrage ce qui n'est pas le cas de l'installation présente. Il faudrait revoir complètement le système frigorifique, et cela ne se justifie pas d'un point de vue économique.

Solutions les plus intéressantes préconisées pour le froid négatif

Il paraît judicieux d'utiliser des couvertures de nuit. L'optimisation et réglage des périodes de dégivrage sont des mesures simples à mettre à œuvre. L'investissement global est de 23 000F. Il permet de réduire de 29 % la consommation de ce poste et est amorti en 1,1 ans.

4.1.5 Chambre froide négative boulangerie

Caractéristiques de l'appareil

Elle sert à conserver les produits surgelés utilisés par la boulangerie du magasin. Le groupe froid (incluant le compresseur et le condenseur) est fixé sur une paroi de la chambre froide et situé à proximité immédiate de la boulangerie.

Etude de l'usage et de son importance dans la consommation globale

Les mesures détaillées montrent la présence de 4 cycles quotidiens de dégivrage (de puissance inférieure à 2kW et d'environ 20 minutes, très visibles lors des jours fériés). En dehors de ces périodes, la puissance appelée au cours d'une journée où la boulangerie est fermée est assez stable aux environs de 1300 Watts soit un taux de fonctionnement d'environ 70 % du groupe (de puissance nominale 1.7 kW, en supposant que les consommations auxiliaires telles que les cordons chauffants et la régulation atteignent 150 watts)

Par ailleurs, on note une forte corrélation entre la consommation du four électrique de la boulangerie et de la chambre froide : une hausse de consommation de près de 40 % a lieu pendant les périodes où le four fonctionne. Cette augmentation conduit le groupe à fonctionner de manière quasi continue certains jours d'été. La corrélation s'explique par la proximité des 2 appareils et par le fait que le conduit de sortie d'air du four n'est pas raccordé correctement à l'extérieur entraînant une hausse notable de la température de la boulangerie lors de son fonctionnement.

Solution d'économie préconisée

Nous conseillons un contrôle régulier de l'état de propreté du condenseur et dans la mesure du possible, un déplacement du groupe frigorifique de la chambre froide ou la mise en place d'une séparation entre le groupe et la zone boulangerie, avec une arrivée d'air à proximité du condenseur.

4.1.6 Gondoles steaks hachés

Caractéristiques de l'appareil

Ces gondoles sont utilisées pour la présentation de viandes préemballées à conserver entre +1 et +3°C.

Les gondoles comprennent chacune un ventilateur à fonctionnement permanent pour mettre en circulation l'air au travers de l'évaporateur et créer un rideau d'air horizontal au-dessus de la surface des produits présentés. Des cordons chauffants élèvent la température des bordures des gondoles afin d'éviter la formation de condensation. Enfin, un groupe compresseur par gondole assure la production de froid afin de compenser les pertes constituées essentiellement de l'induction d'air dans le rideau et d'apports par rayonnement.

Le dégivrage est électrique et commandé par horloge 2 fois par jour et par gondole. On constate une durée de dégivrage moyenne de 50 minutes avec des disparités importantes, les dégivrages en fin de période d'ouverture du magasin étant sensiblement plus longs (jusqu'à 1 heure) et les dégivrages nocturnes plus courts (40 minutes). Le régulateur de commande de dégivrage semble donc fonctionner correctement et diminuer les durées lorsque les couches de givre sont moins importantes.

Les niveaux de puissance et consommations des différents éléments sont indiqués ci-dessous :

Appareil	Puissance	Consommation en été	Consommation en hiver
Ventilateurs et cordons chauffants	98 W	2.4 kWh/jour	2.4 kWh/jour
Dégivrage	730 et 570 W	2.2 kWh/jour	2.2 kWh/jour
Compresseurs	580 et 460 W	8.7 kWh/jour	6.3 kWh/jour
Total :		13.3 kWh/jour	10.9 kWh/jour
Pourcentage de temps de marche des compresseurs		35 %	25 %

Solution d'économie préconisée

Couverture de nuit

Nous conseillons l'emploi de couvertures nocturnes (plaques isolantes) afin de réduire les pertes par induction d'air et par rayonnement lorsque le magasin est fermé. On peut ainsi réduire de 50 % la consommation des compresseurs durant les périodes d'inoccupation soit un gain annuel de 850 kWh (-20 % de la consommation totale). L'investissement atteint environ 3000 F pour un temps de retour de 7 ans. Il est probable que l'on pourrait observer en outre un gain sur les consommations de dégivrage et des températures moyennes de produits plus basses, améliorant leur conservation.

Ventilateurs performants

Les ventilateurs pourraient être remplacés par des modèles performants (moteurs à courant continu qui, d'après les fabricants, permettent de diviser la consommation par 4).

On pourrait ainsi économiser 15 % de la consommation des gondoles (gain sur la consommation d'électricité des ventilateurs et du compresseur car toute la chaleur produite par un ventilateur à mauvais rendement est apportée dans l'enceinte froide et doit être évacuée). Compte tenu du coût de la modification des meubles pour accepter ces ventilateurs, cette solution est cependant à réserver aux meubles neufs.

Variateur de vitesse pour commande de compresseurs

Une autre solution consiste à utiliser un variateur de vitesse pour la commande des compresseurs. En effet, ceux-ci fonctionnent moins de 35 % du temps. Si leur vitesse de rotation était inférieure, les capacités d'échange des évaporateurs et condenseurs seraient mieux utilisés. Ainsi, une diminution de la vitesse de 25 % permettrait de réduire de 40 % la puissance absorbée et n'entraînerait qu'une hausse de 25 % du temps de fonctionnement. La quantité de fluide apportée à l'évaporateur est constante, seuls les niveaux de température sont modifiés entraînant une forte réduction de l'écart amont aval de pression au niveau du compresseur.

La consommation d'énergie serait alors diminuée de 25 %. Une diminution plus importante de la vitesse n'est pas souhaitable pour des raisons de lubrification du compresseur. Avec les chiffres cités plus hauts, l'économie atteint 1300 kWh par an pour un investissement de 3000 F soit un temps de retour de 5 ans.

Cette solution reste néanmoins à valider en pratique car elle n'est à l'heure actuelle pas encore proposée. La baisse des prix des variateurs de vitesse devrait permettre de rendre cette solution très séduisante sous peu. Des essais réalisés par nos soins sur un réfrigérateur

confirment une économie de 20 % pour une vitesse réduite de 20 % avec une ambiance extérieure de 19°C et des conditions intérieures ne variant pas.

4.1.7 Vitrine jus de fruit

Caractéristiques de l'appareil

Il s'agit d'un meuble de froid positif vertical avec porte vitrée et éclairage intérieur pour la présentation de jus de fruits frais. Le groupe frigorifique est indépendant, d'une puissance de 210 Watts.

Appareil	Puissance	Consommation en été	Consommation en hiver
Ventilateur	31 W	0.7 kWh/jour	0.7 kWh/jour
Eclairage	44 W	1.1 kWh/jour	1.1 kWh/jour
Compresseur	210 W	1.8 kWh/jour	1.5 kWh/jour
Total :		3.6 kWh/jour	3.3 kWh/jour
Temps de marche du compresseur		36 %	30 %

Economie possible

L'éclairage est actuellement permanent. Il pourrait être commandé en même temps que l'éclairage des meubles de froid (soit manuellement par l'interrupteur situé en bas de l'appareil, soit automatiquement moyennant la mise en place d'un relais). L'économie journalière serait de 0.7 kWh (électricité pour l'éclairage) + 0.5 kWh (réduction de consommation du compresseur car le tube fluorescent ainsi que le ballast est situé dans l'enceinte refroidie). **La réduction de consommation par cette solution est de 35 % sans coût supplémentaire.**

En cas de remplacement de l'appareil on veillera à mettre en place un modèle performant (meilleure isolation thermique, meilleure compresseur, etc).

4.1.8 L'éclairage des meubles frigorifiques de vente

Considérations générales

La présentation des produits est un élément essentiel aux performances de vente d'un magasin, c'est pourquoi les éclairages des rayonnages doivent être particulièrement soignés. Dans le cas des meubles frigorifiques de vente et plus particulièrement pour les meubles verticaux ouverts, une contrainte supplémentaire vient du fait que le rendement des tubes fluorescents chute pour les basses températures.

Caractéristiques des appareils

L'éclairage des meubles de froid positif est assuré au moyen de tubes fluorescents de 36 watts placés dans les étagères et les frontons des meubles. Les tubes sont équipés de ballasts ferromagnétiques standards situés en dehors de l'enceinte refroidie. La puissance totale installée pour cet usage atteint près de 9 kW car certains meubles ont jusqu'à 5 tubes de 36 watts par module de 1.25 mètre de long. Les gondoles de froid négatif ne sont pas éclairées.

La mise en service des éclairages est effectuée manuellement dès l'arrivée du personnel chargé du remplissage des rayons. Ils sont éteints pendant la pause de midi et allumés jusqu'à la

fermeture du magasin. Les interrupteurs commandent des groupes de meubles : crèmerie d'une part et boucherie-œuf-fromage d'autre part, avec en plus l'allumage d'une rampe de luminaires pour l'éclairage de cette partie du magasin.

Fonctionnement

Les mesures montrent une durée moyenne d'utilisation quotidienne de près de 11 heures. A noter que l'extinction est systématique en dehors des périodes justifiant un éclairage (aucun oubli sur la période de mesure).

.. Répartition quotidienne

La courbe de consommation journalière est directement calquée sur les horaires d'ouverture du magasin auxquels s'ajoutent en début de journée, les périodes nécessaires au remplissage des rayons.

.. Répartition hebdomadaire et mensuelle de la consommation

Tout comme pour l'éclairage général du magasin, la consommation enregistre une hausse le samedi et une baisse significative le dimanche. Au cours de l'année, la dépense est stable.

Coût de l'usage

.. Etude individuelle de l'usage

Le coût total de cet usage atteint 16 200 F pour 37 700 kWh par an soit 7 % de la consommation du magasin. Ces chiffres ne comprennent pas la surconsommation des groupes frigorifiques rendue nécessaire par l'apport d'énergie dû à l'éclairage situé à l'intérieur des meubles de froid.

.. Importance de l'usage dans la facture globale

Si l'on tient compte des dépenses de froid engendrées par cet usage, sa consommation représente près de 10 % des besoins du magasin. Il s'agit donc d'un poste important.

Possibilités d'économie d'énergie

.. Rampe d'éclairage du rayon boucherie fromage

Pour la rampe assurant l'éclairage de la zone boucherie-fromage, nous conseillons une solution identique à celle proposée pour l'éclairage général du magasin. La transformation des luminaires 2 tubes de 58W en luminaire performant comprenant 1 tube de la même puissance est détaillée dans le paragraphe 2.1 sur les rampes d'éclairage.

Cette modification permet une économie d'énergie de l'ordre de 60 % et la puissance souscrite peut être réduite de 1,7kVA. Elle implique un investissement de 4200F amorti en 2,3 ans.

.. Eclairages des meubles

En ce qui concerne les éclairages de meubles, plusieurs solutions existent sur le marché pour réduire ces consommations :

- Les ballasts électroniques permettent un gain de 20 à 25 % de la consommation d'énergie des éclairages, avec une qualité améliorée et une durée de vie des tubes allongée signifiant une maintenance réduite. Cette solution est proposée en option par certains fabricants, notamment pour l'exportation.

- Des optiques réfléchissantes peuvent être utilisées pour les frontons, équipés alors de 2 tubes de 36 Watts et de préférence de ballasts électroniques afin d'obtenir un éclairage très puissant dirigé vers la façade ouverte du meuble qui conduit à un excellent « facing » (présentation des produits) et de supprimer les tubes équipant les étagères. Cette solution est utilisée par des grandes enseignes (Carrefour, Cora..) En revanche, elle nécessite un remplissage constant des meubles car au delà de la troisième rangée de produits peuvent apparaître des zones d'ombres peu esthétiques (bien que dans certains pays, les meubles soient vendus avec un fond de couleur noir qui ne semble pas gêner les consommateurs). Cette méthode d'éclairage conduit à un gain de plus de 60 % (passage de 5 tubes à 2 tubes par modules) tout en améliorant la qualité d'éclairage. Pour l'ensemble des meubles de froid permettant cette solution, on peut estimer le coût de la modification des frontons à 800 F par élément de 1.25 mètres (comprenant le réflecteur, ballast électronique et les 2 tubes installés). Ce montant pourrait être réduit en standardisant la mise en œuvre. Au total, l'investissement est de 25600 F générant une économie annuelle de 7 800 F amortie en 3.3 ans (ou 2.5 ans en tenant compte du gain sur le froid).

- D'autres solutions sont en cours d'études pour améliorer les performances de l'éclairage des meubles frigorifiques de vente. Une piste de recherche concerne les éclairages par LED (diodes électroluminescentes) dont les rendements et la très bonne maîtrise de la focalisation de la lumière émise conduit à des consommations très réduites. Il est en outre possible de choisir dans une large gamme la couleur (par mélange de couleurs de différentes LED). Les performances ne sont pas affectées par les températures basses. Un niveau d'éclairage de 500 lux sur une étagère devrait pouvoir être atteint avec environ 50 LED soit 5 Watts en remplacement d'un tube de 36 Watts (soit un gain de près de 85 % compte tenu des pertes ballasts des tubes). La durée de vie des LED dépasse 100000 heures et n'est pas affectée par les allumages répétés. Une variation de la luminosité pourrait également être facilement mise en œuvre avec les LED. Seul le coût reste un handicap, nous l'estimons actuellement aux environs de 10 F par watt économisé, conduisant à un temps de retour proche de 5 ans. Une démonstration de ce type d'éclairage a été effectuée par une entreprise allemande lors d'un salon récent. Le produit concerné, à notre connaissance, n'est pas encore commercialisé.

4.1.9 L'éclairage des pièces réfrigérées (chambre froide et laboratoire boucherie)

Caractéristiques des appareils

Le laboratoire boucherie est la pièce dans laquelle le boucher découpe et emballe les pièces de viande destinées à la vente. Ce local est maintenu à basse température. Il est mitoyen à la chambre froide boucherie qui constitue la réserve de viande (température d'environ 1 à 3°C). Ces 2 pièces sont éclairées par des luminaires étanches équipés de 2 tubes fluorescents classiques de 58 watts. On trouve 2 luminaires dans le laboratoire et un seul dans la chambre froide. Ces éclairages, situés dans des volumes froids, entraînent une hausse des besoins en froid lors de leur mise en service. Il est une fois encore doublement intéressant d'étudier des solutions d'économie d'énergie.

Fonctionnement

Nos mesures permettent de décrire les habitudes d'éclairage des pièces réfrigérées. Les luminaires sont commandés par des interrupteurs. Ils sont mis en route le matin lors de l'arrivée du boucher et sont éteints le soir à la fermeture du magasin. Le laboratoire est éteint pendant la pause de midi tandis que la chambre froide est fréquemment laissée éclairée. Plusieurs raisons peuvent l'expliquer : l'allumage des tubes est lent à cause de la température, l'interrupteur de la chambre froide est probablement difficile d'accès et son utilisation pose des problèmes d'hygiène lors de la manipulation de grosses pièces de viandes à moins qu'il ne s'agisse simplement d'oublis.

.. Répartition quotidienne, hebdomadaire et mensuelle de la consommation

Le profil de consommation est similaire à celui observé pour l'éclairage général du magasin (voir § 4.2).

Coût de l'usage

La dépense d'électricité de ces 2 points d'éclairage atteint 690 F par an. Si l'on tient compte des besoins de froid induits, le coût annuel dépasse 1000 F.

Possibilités d'économie d'énergie

.. Systèmes de détection

Nous conseillons l'installation d'un interrupteur automatique (détecteur infrarouge remplaçant l'interrupteur actuel) pour la chambre froide. Ce système permet une économie estimée à 80 % avec un surcroît notable de confort. On veillera à choisir un détecteur fonctionnant en milieu froid avec condensation. Il serait également possible d'imaginer un fonctionnement par contact de feuillure sur la porte de la chambre froide car celle-ci reste systématiquement ouverte lors des chargements et déchargements de la chambre froide. Le coût du détecteur installé est de 500 F amorti en 2.5 ans (gain en froid compris). Il faudra vérifier que l'allumage des tubes est suffisamment rapide et au besoin utiliser des starters électroniques (environ 40 F pièce)

.. Luminaires performants

En ce qui concerne l'éclairage du laboratoire, il est possible d'assurer un éclairage général grâce à deux luminaires étanches performants à ballasts électroniques de 1 * 55 Watt chacun. La puissance est ainsi ramenée de 294 à 120 Watts. Au besoin, l'éclairage général sera complété par lampes halogènes 12V 25 W à commandes faciles et situées à proximité de zones de travail nécessitant une forte luminosité. L'investissement est estimé à 2000 F avec un temps de retour de 3 ans.

4.2 L'ECLAIRAGE DU MAGASIN

4.2.1 Eclairage général du magasin

Caractéristiques de l'appareil

L'éclairage principal du magasin est assuré par 9 rampes de tubes fluorescents commandées 3 par 3. Chaque rampe comprend 22 luminaires de 2 tubes 58 W. La puissance totale mesurée est 24 kW. L'éclairage est commandé manuellement.

Fonctionnement

Le temps de fonctionnement annuel des rampes d'éclairage est de 4130 heures. L'éclairage fonctionne généralement de la façon décrite dans le tableau de la figure 4.4.

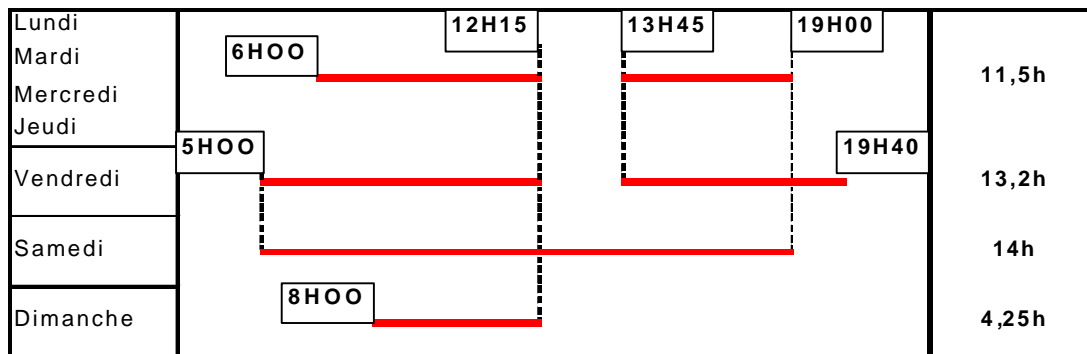


Figure 4.4 : Description du fonctionnement hebdomadaire des rampes d'éclairage

Sur la période de mesure (6 mois), hors samedi, l'éclairage n'est resté **allumé** que trois fois **entre 12H15 et 13H45**, ce qui représente, ramené à l'année, moins de **1 % de la consommation** et montre que le personnel est sensibilisé aux économies d'énergie.

Coût de l'usage

••Etude individuelle de l'usage

Le coût global est de 40 000 F, dont 77 % pour la consommation et 23 % pour l'abonnement.

La consommation annuelle s'élève à **97 000 kWh** (58 % en été et 42 % en hiver).

••Importance de l'usage dans la facture globale

Les rampes d'éclairage représentent 17,6 % de la consommation globale. La part d'abonnement que l'on peut leur imputer est aussi de 17,6 %.

Cet usage est **le plus coûteux après les groupes frigorifiques** (froid positif et froid négatif), aussi bien pour l'abonnement que pour la consommation .

Or, il semble que le temps d'utilisation soit optimisé. Il paraît donc nécessaire d'étudier une solution qui permettra de diminuer la puissance de ces éclairages afin de réduire son coût .

Solutions d'économie d'énergie

•• Description de la solution proposée

Luminaires actuels : 198 blocs de 2x58W, 1 ballast ferromagnétique par luminaire, pas de réflecteur

Luminaires proposés : 198 blocs de 1x58W (tube performant), 1 ballast électronique pour 2 luminaires, 1 réflecteur avec film argent par tube.

Les rails et platines sont conservés, seules les douilles doivent être changées pour n'utiliser qu'un tube au lieu de deux.

Tubes performants (ex : lumilux plus Eco d'Osram):

- A puissance égale, ils donnent un flux lumineux supérieur de 20 à 30 % par rapport aux tubes ordinaires.
- Leur durée de vie est allongée : la chute de flux n'est plus que de 8 % après 20 000 heures de fonctionnement avec une alimentation électronique contre 30 % après 10 000 heures pour des tubes standards avec alimentation ferromagnétique.

Ballast électronique:

- Il permet 25 à 7 % d'économie d'énergie pour un luminaire équipé de 2 tubes fluorescents de 58W.
- Il procure un confort visuel accru (pas de papillotement ni d'effet stroboscopique)
- La durée de vie utile des tubes est augmentée de 60 % par rapport à un ballast ferromagnétique
- Sa durée de fonctionnement entre pannes dépasse 50 000 heures.

Réflecteur muni d'un film argent :

- Un réflecteur permet d'éviter le rayonnement uniforme du tube fluorescent dans toutes les directions, il concentre donc le flux lumineux dans la zone désirée.
- Les qualités d'un réflecteur tiennent à sa géométrie (délimitation de la zone de rayonnement) et à sa capacité à réfléchir la lumière
- Les réflecteurs munis d'un film d'argent permettent une réflexion de 95 % contre 78-90 % pour un réflecteur en aluminium grand brillant et 60-88 % pour un réflecteur en acier prélaqué blanc neuf (cas des luminaires du supermarché).

.. Economie envisageable et temps de retour

La modification des luminaires (2 luminaires de 1x58W commandés par 1 ballast électronique au lieu de 2 luminaires 2x58W commandés par 2 ballasts ferromagnétiques) permet une **économie d'énergie de 54 %**.

De plus, l'énergie réactive des tubes commandés par ballast électronique est quasi nulle ($\cos\phi=1$ au lieu de 0,8 actuellement). La puissance à souscrire passe donc de 23 à 10,9 kVA. On réalise une économie annuelle de 5600F sur l'abonnement.

L'investissement pour l'ensemble des 9 rampes s'élève à 54 250F (274F par luminaire comprenant le tube et son réflecteur, un demi ballast électronique, le petit matériel et le montage). Le temps d'**amortissement est de 2,4 ans**.

Ce calcul ne tient pas compte des économies de maintenance. En effet, d'une part, le nombre de tubes à changer est divisé par deux. D'autre part, leur durée de vie est augmentée (utilisation de tubes performants et de ballasts électroniques) : le nombre de tubes hors service et la fréquence de changement sont fortement diminués. On peut attendre une économie de l'ordre de 1300F/an pour la maintenance (diminution de 46 % de ce poste).

Ce calcul omet en outre les économies envisageables au niveau des appareils frigorifiques. La puissance étant réduite, les apports de chaleur sont diminués. Or la chaleur

émise par l'éclairage au plafond influe par rayonnement sur la température dans les meubles de froid et donc sur leur consommation.

En été, cette solution permet une diminution de température ambiante, ce qui est appréciable dans un magasin non climatisé. En hiver, on peut éventuellement attendre une légère hausse de consommation de gaz pour le chauffage (mais ceci reste à vérifier compte tenu de la position très haute des luminaires favorisant peu l'échange de chaleur avec la zone occupée), mais à un prix d'énergie bien inférieur et avec un rendement de distribution meilleur. L'incidence devrait donc être très limitée.

•• Niveau d'éclairage amélioré

On dénombre actuellement (comptage effectué lors de la désinstallation de notre matériel) 33 tubes hors service sur les rampes d'éclairage, soit plus de 8 % d'éclairage en moins.

L'intensité lumineuse d'un tube standard (propre) muni d'un ballast ferromagnétique est de 4000 lumens, celle des tubes performants commandés par ballast électronique de 5200 lumens. Donc lors du remplacement des tubes standards par des tubes performants (+ ballasts électroniques) en moins grand nombre, le flux lumineux total serait diminuée de 29 %. Cependant, l'ajout des réflecteurs permettrait d'accroître le coefficient de réflexion du luminaire de 0,61 à 0,95, si bien que finalement la solution proposée conduirait à une **intensité utile supérieure de 10 %** à l'éclairage actuel. Le rendu des couleurs serait aussi amélioré.

•• Cas similaires en Australie et aux Etats-Unis

On peut citer deux exemples de réalisation assez proches de cette solution :

- La consommation d'énergie liée à l'éclairage a été divisée par 2 dans 7 magasins de la chaîne « Farmer Jack » (Australie). Pour ce faire, les luminaires double tubes 58 W ont été transformés en simple tube triphosphore 58 W, munis de réflecteurs munis d'un film d'argent. Le niveau d'éclairage a augmenté de 20-25 % et le rendu des couleurs a été amélioré de 40 %. Le temps de retour est de 13 mois.
- Une économie d'énergie de 65 % a pu être réalisée au siège de Pirelli (Etats-Unis) grâce à la modification de 4000 luminaires 2x34 W (1 ballast ferro-magnétique par luminaire) en 1x32 W, muni de réflecteur avec film argent. Un ballast électronique est utilisé pour deux luminaires. Le niveau d'éclairage a été maintenu. Le temps de retour est 2,2 ans.

On observe dans notre cas un temps de retour légèrement supérieur du fait du coût de l'électricité plus faible en France que dans les deux pays cités. La quantité de luminaires installés est aussi inférieure ce qui augmente leur prix unitaire.

4.2.2 Eclairage du rayon fruits et légumes

Caractéristiques de l'appareil

L'éclairage du rayon fruits et légumes est assuré par 19 tubes fluorescents de 36 W . La puissance totale mesurée est de 984 W (en incluant la puissance des ballasts).

Fonctionnement

Cet éclairage fonctionne 3408 heures/an, ce qui est environ **20 % de moins** que le temps de fonctionnement des **rampes** du magasin. Pourtant, les horaires d'utilisation

quotidienne sont globalement identiques. La seule différence réside dans l'heure de mise en route. Pour le rayon fruits et légumes, elle s'échelonne entre 5H00 et 9H00. Elle dépend probablement des arrivages et de la nécessité de réapprovisionnement du rayon.

Comme pour les rampes du magasin, l'éclairage du rayon fruits et légumes n'a fonctionné que 3 fois pendant la pause déjeuner. Dans deux cas, ces deux sont d'ailleurs restés allumés simultanément.

Coût de l'usage

Etude individuelle de l'usage

L'éclairage du rayon fruits et légumes revient à 1650 F par an, dont 66 % pour la consommation et 34 % pour l'abonnement.

La consommation annuelle s'élève à 3 353 kWh. La répartition été/hiver est identique à celle des rampes.

Importance de l'usage dans la facture globale

Cet usage pèse pour moins de 1 % de la consommation globale. Il correspond cependant à 1 % du coût de l'abonnement.

Solutions d'économie d'énergie

Pour les tubes placés sur une rampe, nous conseillons de remplacer les luminaires 2x36W par des éclairages simple tube (36W) munis de réflecteurs avec film d'argent et commandés par ballast électronique comme pour l'éclairage général du magasin.

La consommation peut être réduite de 59 % pour un investissement de départ d'environ 3400 F. Cette solution conduit à un temps de retour de 3,2 ans.

4.2.3 Eclairage boulangerie

Caractéristiques de l'appareil

L'éclairage de la boulangerie est assuré par 4 spots de puissance 40 W et 1 de 100 W.

Fonctionnement

Les heures de mise en route et d'extinction quotidienne sont données dans le tableau de la figure 4.5.

Mardi			
Mercredi	7H00	18H50	11,8h
Jeudi			
Samedi			
Vendredi		19H40	12,7h
Dimanche	8H00	12H15	4h

Figure 4.5 : Description du fonctionnement hebdomadaire de l'éclairage boulangerie

L'éclairage ne fonctionne pas le lundi car la boulangerie est fermée ; les autres jours de la semaine il suit les horaires d'ouverture du magasin. Contrairement aux rampes, l'éclairage de la boulangerie n'est éteint que dans 17 % des cas durant la pause du déjeuner.

Coût de l'usage

Le coût global est de 350 F, dont 77 % pour la consommation et 23 % pour l'abonnement. La consommation annuelle s'élève à 844 kWh.

Solutions d'économie d'énergie

Les ampoules à incandescence de 100 et 40 W peuvent respectivement être remplacées par des lampes basse consommation de 20 et 9 W. La consommation et la puissance souscrite pour cet usage sont alors réduite de 78 %. Cette solution est amortie en moins d'un an.

De plus, si l'éclairage était systématiquement éteint durant la pause du déjeuner, la consommation pourrait être diminuée de 8 %.

Il faudra cependant s'assurer que les luminaires peuvent accueillir ce type d'ampoules.

4.2.4 Vitrine boulangerie

Fonctionnement

Les horaires de fonctionnement de la vitrine sont les mêmes que ceux de l'éclairage de la boulangerie. Dans 76 % des cas, la vitrine n'est pas éteinte lorsque le magasin ferme pour la pause déjeuner..

Coût de l'usage

Le coût global est de 186F, dont 77 % pour la consommation et 23 % pour l'abonnement. La consommation annuelle s'élève à 445 kWh. La répartition été/hiver est la même que celle de l'éclairage de la vitrine.

Solutions d'économie d'énergie

Comme dans le cas de l'éclairage, la consommation pourrait être diminuée de 8 % si la vitrine était éteinte lors de la pause déjeuner.

4.2.5 Eclairage réserve

Caractéristiques de l'appareil

L'éclairage des réserves est réalisé par 2 groupes de 4 tubes fluorescents de 58 W. La puissance totale mesurée est de 441 W.

Fonctionnement

L'éclairage fonctionne 5510 heures par an, soit 30 % de plus que les rampes du magasin. Les horaires de mise en route et d'extinction sont très proches de ceux des rampes. On peut expliquer la différence de durée annuelle par deux phénomènes :

- les réserves ne sont que très rarement éteintes pendant la pause déjeuner (le cas n'a été rencontré que deux fois en 6 mois)
- elles sont restées allumées 25 % des nuits et les deux jours fériés où le magasin était fermé.

Coût de l'usage

L'éclairage des réserves revient à 915F par an (83 % pour la consommation et 17 % d'abonnement). La consommation annuelle est de 2430 kWh.

Solutions d'économie d'énergie

Si l'éclairage ne fonctionnait pas pendant la nuit ni les jours fériés, on pourrait faire une économie de 138F. Si de plus, la lumière était éteinte pendant la pause déjeuner on réaliserait une économie supplémentaire de 48F. Ces deux mesures permettraient de réduire le coût de cet usage d'un quart.

4.2.6 Eclairage des bureaux

Caractéristiques des appareils

La répartition des bureaux est donnée sur le schéma de la figure 4 .6.

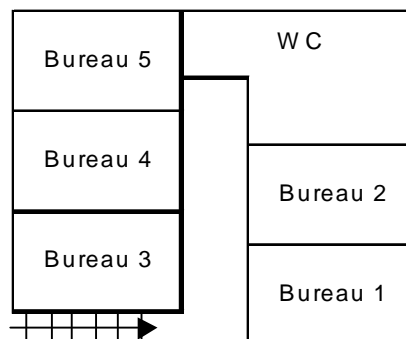


Figure 4.6 : Agencement des bureaux du supermarché

Les appareils d'éclairage sont identiques pour les 5 bureaux. Il s'agit de plafonniers comprenant 2 tubes fluorescents de 58 W. Ils sont commandés par interrupteur à l'entrée de chaque pièce.

Fonctionnement

Le temps de fonctionnement annuel cumulé de l'éclairage des 5 bureaux est de 13 423 heures, soit en moyenne 2 685 heures par bureau. Cependant, les durées de fonctionnement de chaque éclairage sont très différentes. Elles sont données sur le graphique de la figure 4.7.

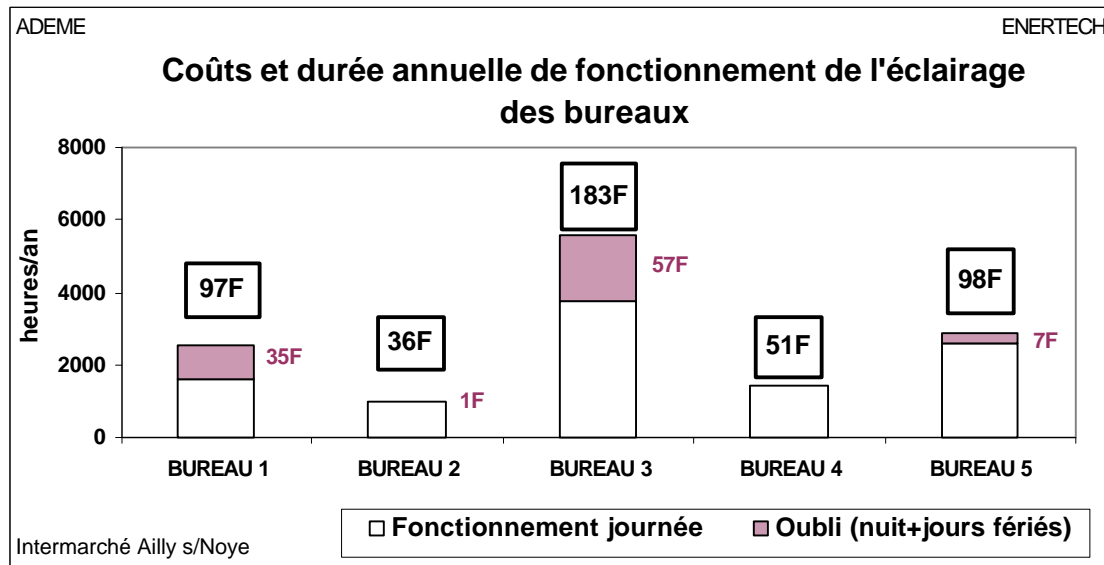


Figure 4.7 : Comparaison des durées ainsi que des coûts (hors abonnement) de fonctionnement et de dysfonctionnement des éclairages des différents bureaux

Il y a une grande disparité d'usages des bureaux : le temps de fonctionnement annuel de l'éclairage est compris entre 990 h (bureau 2) et 5589 h (bureau 3).

De plus, ils ne sont pas occupés de façon identiques tous les jours, ni d'une semaine à l'autre. Dans 4 bureaux, l'éclairage a fonctionné pendant au moins une nuit ou un jour férié (magasin fermé). Dans le cas du bureau 1, le dysfonctionnement représente 38 % du temps de fonctionnement annuel totale.

Coût de l'usage

L'éclairage des bureaux coûte annuellement 545F (abonnement compris). La consommation globale s'élève à 1 369 kWh.

Solution d'économie d'énergie

Si l'éclairage était arrêté à 20H00, une économie de 20 % (100F) pourrait être réalisée.

4.2.7 Eclairage du couloir bureau

Caractéristiques de l'appareil

L'éclairage du couloir desservant les bureaux est assuré grâce à une lampe basse consommation de puissance 15 W.

Fonctionnement

Le temps de fonctionnement annuel est de 6267 heures, soit 1,5 fois plus que celui de l'éclairage général du magasin.

La lumière est restée allumée deux nuits sur trois dans ce couloir. Si on ramène à une année, ce dysfonctionnement représente 53 % de la durée totale d'éclairage.

Coût de l'usage

Malgré un temps d'allumage très élevé, la consommation annuelle de l'éclairage couloir est faible (94 kWh). Le coût annuel s'élève à 35 F, dont 3 F pour l'abonnement. L'utilisation d'une lampe basse consommation s'avère ici très judicieuse.

Solution d'économie d'énergie

Si l'éclairage était systématiquement éteint les nuits et les jours fériés, on pourrait réaliser une économie de 12F.

4.2.8 Eclairage des vestiaires et du couloir vestiaire

Caractéristiques de l'appareil

Chaque vestiaire possède une ampoule de puissance 60 W et le couloir en possède deux.

Fonctionnement

Les vestiaires sont très peu utilisés. Les temps de fonctionnement et le nombre de dysfonctionnements constatés sont donnés dans le tableau 4.8.

	Temps de fonctionnement (h)	Consommation (kWh)	Prix (F)	Nombre de nuits de fonctionnement
Couloir vestiaires	633	76	24	8
Vestiaire femmes	584	35	12	18
Vestiaire hommes	44	2,6	4	0

Figure 4.8 : durée de fonctionnement et nombre de dysfonctionnements par année de l'éclairage des vestiaires

Coût de l'usage

Le coût global de l'éclairage des vestiaires est d'environ 39 F (consommation de 114 kWh).

Solution d'économie d'énergie

Les dysfonctionnements relevés sont minimes, les corriger permettrait d'économiser moins de 10 F par an.

4.3 LES ECLAIRAGES EXTERIEURS

4.3.1 Spot halogène extérieur

Caractéristiques de l'appareil

L'éclairage extérieur de l'entrée du magasin est réalisé par 2 spots halogènes montés sur un pylône. La puissance globale mesurée est de 941 W.

Fonctionnement

Les spots halogènes extérieurs ne sont pas utilisés toute l'année. Il fonctionne 193 heures par an, dont 95 % du temps en hiver.

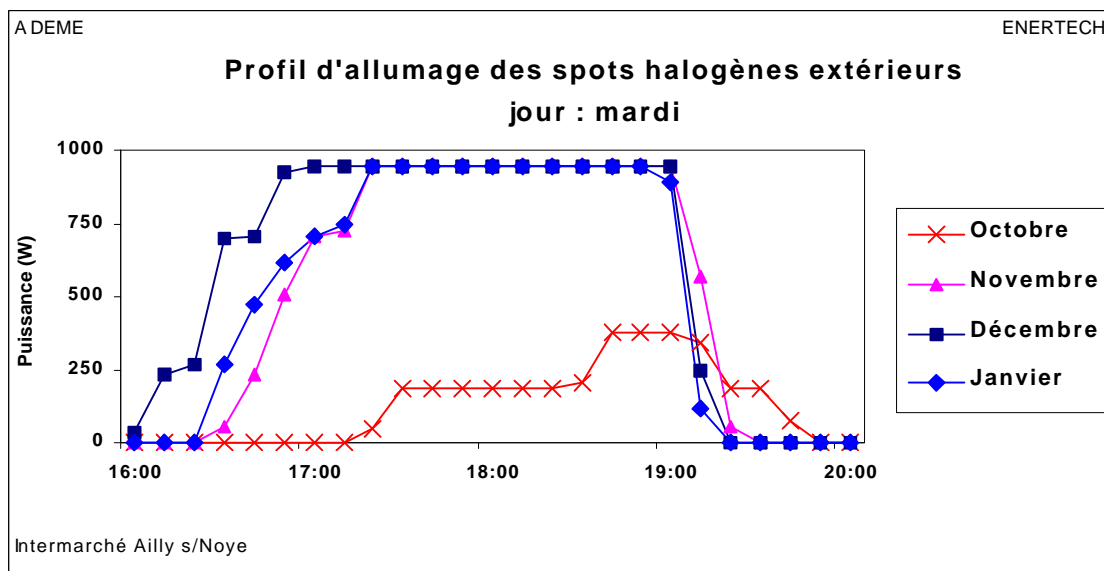


Figure 4.9 : Profil quotidien d'allumage des spots halogènes en fonction du mois

Le profil d'allumage, représenté sur le graphique de la figure 4.9., permet plusieurs observations :

- Les spots halogènes ne fonctionnent qu'à partir du mois d'octobre
- Il fonctionne de la tombée de la nuit à la fermeture du magasin. La durée d'éclairage est donc supérieure le vendredi. De plus, l'heure de mise en route varie avec le mois. Le tableau de la figure 4.10 indique la durée moyenne d'éclairage quotidien en fonction du mois. La durée maximale est observée en décembre.
- L'éclairage n'a jamais fonctionné en dehors de la plage horaire 16-20H00.

	Durée quotidienne d'allumage (h)
Octobre	0,3
Novembre	2,2

Décembre	2,5
Janvier	2,1

Figure 4.10 : durée quotidienne moyenne d'allumage (jour : lundi, mardi, mercredi, jeudi, samedi) en fonction du mois

Coût de l'usage

La consommation annuelle de cet éclairage est de 181 kWh. Son coût est de 300 F. La structure de coût diffère sensiblement des usages étudiés précédemment :

- 29 % pour la consommation
- 71 % d'abonnement

Ceci s'explique par le fait que la puissance souscrite pour ces matériels de forte puissance est importante et en tarif heures d'hiver (pas de dénivelé de puissance ici entre heures pleines et heures creuses hiver), et que leur temps de fonctionnement est relativement limité.

4.3.2 Eclairage parking

Caractéristiques de l'appareil

Le parking du supermarché est éclairé par 4 poteaux portant chacun 3 projecteurs (lampes à vapeur de sodium), de puissance totale 4890 W.

Fonctionnement

Le fonctionnement observé est identique à celui des spots halogènes extérieurs.

Coût de l'usage

••Etude individuelle de l'usage

Le coût global de l'usage s'élève à 1 700F. Comme dans le cas précédent, la part de l'abonnement dans le prix est supérieure à celle de la consommation (73 % contre 27 %).

••Importance de l'usage dans la facture globale

L'éclairage du parking représente moins de 1 % de la consommation globale mais 2,4 % du prix de l'abonnement.

La consommation reste maîtrisée grâce une mise en service limitée au minimum nécessaire pour cet usage. Sans cela, ce poste pourrait s'avérer très consommateur.

4.3.3 Eclairage du auvent extérieur

Caractéristiques de l'appareil

Cet éclairage se compose de 4 luminaires 2x58 W (tubes fluorescents). La puissance mesurée est 490 W.

Fonctionnement

L'éclairage de l'auvent fonctionne 34 fois plus que les deux autres éclairages extérieurs. Les durées d'éclairage en été et en hiver sont pratiquement identiques.

Le graphique de la figure 4.11 représente le profil d'éclairage d'un lundi, en été et en hiver.

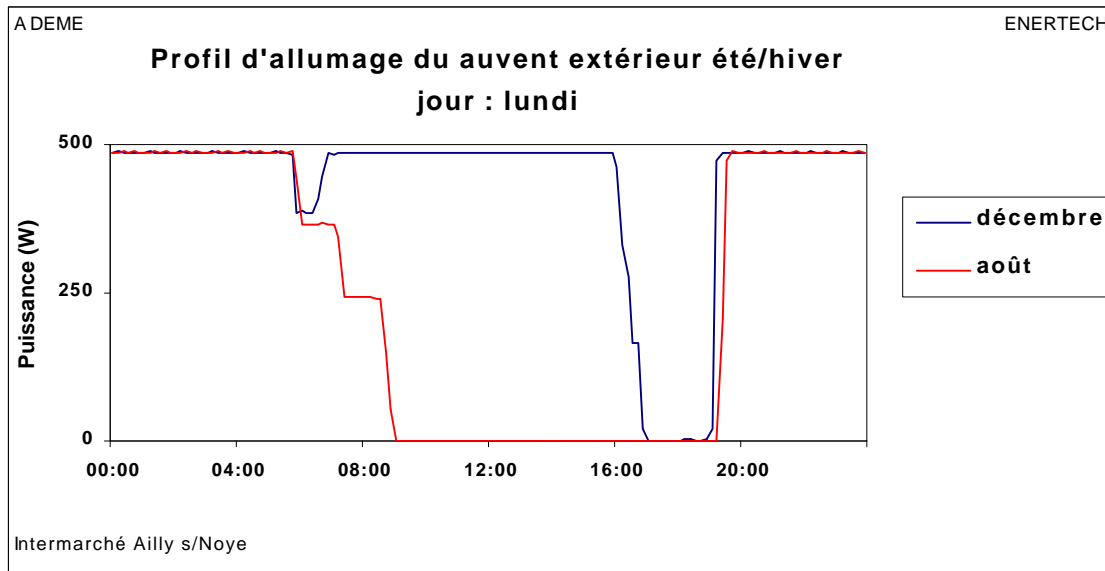


Figure 4.11 : profil d'allumage comparé été/hiver de l'auvent extérieur pour un lundi

L'observation de ce graphique entraîne plusieurs remarques :

- Quelle que soit la saison l'éclairage fonctionne en continu en dehors des heures d'ouverture du magasin (jours fériés inclus).
- Il marche pratiquement 24H/24H en hiver.
- Il est arrêté en été pendant les heures d'ouverture du magasin.

Le graphique de la figure 4.12 donne les durées d'allumage observées pour les différents mois de l'étude. La saisonnalité influe sur la durée quotidienne d'éclairage qui est maximale au mois de décembre.

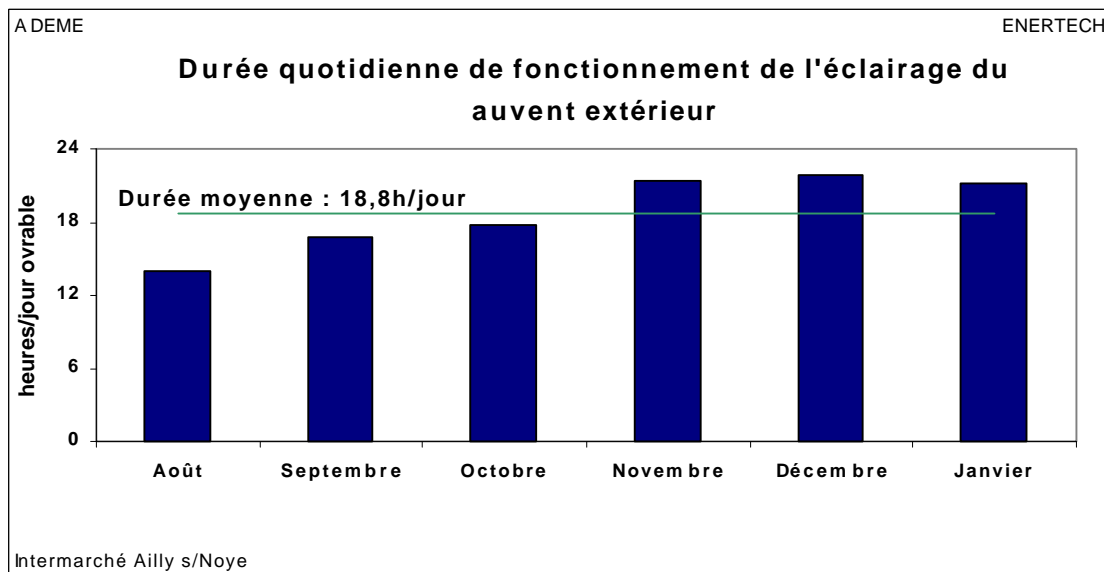


Figure 4.12 : Durée quotidienne moyenne d'allumage de l'auvent extérieur observée chaque mois

Coût de l'usage

La consommation annuelle liée à l'éclairage de l'auvent extérieur est 3204 kWh, soit 1000 F par an.

Solution d'économie d'énergie

On peut remplacer les tubes fluorescents par 2 projecteurs 70 W pour lampes à décharge (lampes aux halogénures métalliques).

Cette solution permet de :

- diminuer la puissance installée
- augmenter l'efficacité lumineuse et la qualité de lumière

La **consommation annuelle** est alors **divisée par 3,5**, soit une économie de 700F. Il faut compter 1000F par projecteur; par conséquent le **temps de retour** est de l'ordre de **2,8ans**. La qualité de l'éclairage est fortement améliorée.

4.4 LES SERVICES ANNEXES AU SUPERMARCHÉ

4.4.1 Four boulangerie

Caractéristiques de l'appareil

Le four est alimenté en triphasé (tension : 380 V, intensité : 55 A). Sa contenance est d'environ 400 litres. Il comporte un extracteur de buées qui se met en route dès la mise sous tension.

Fonctionnement

••Profil de fonctionnement quotidien

Le four fonctionne de façon cyclique entre 6H30 et 18H50, donc en heures pleines de la tarification EDF.

On ne dénombre pas exactement la même quantité de cycles tous les jours. Cependant, le nombre de mises en route est en moyenne trois fois plus important le matin que l'après midi. Le graphique de la figure 4.13 représente une journée type de fonctionnement du four.

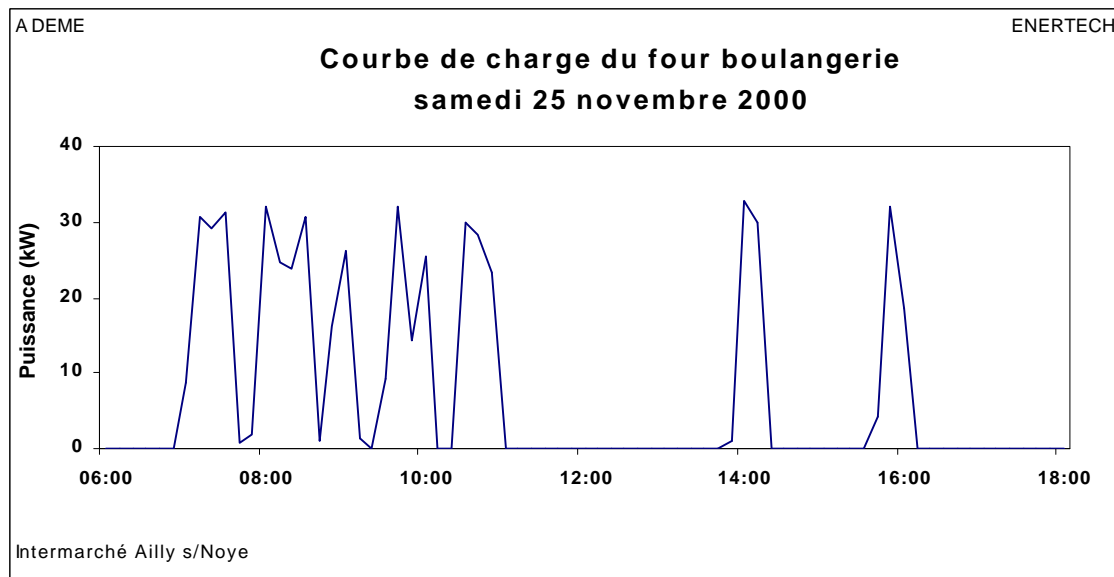


Figure 4.13 : courbe de charge journalière type du four de boulangerie

••Profil d'utilisation hebdomadaire

Le graphique de la figure 4.14 montre les consommations moyennes observées pour chaque jour de la semaine durant la période d'étude.

Le four boulangerie ne fonctionne pas le lundi et le dimanche après-midi (boulangerie fermée). La consommation du four peut être corrélée au nombre d'heures d'ouverture du magasin et donc probablement à la fréquentation. Ainsi, on relève la consommation maximale le samedi, jour de grande affluence où le magasin fonctionne en continu de 9 à 19 heures.

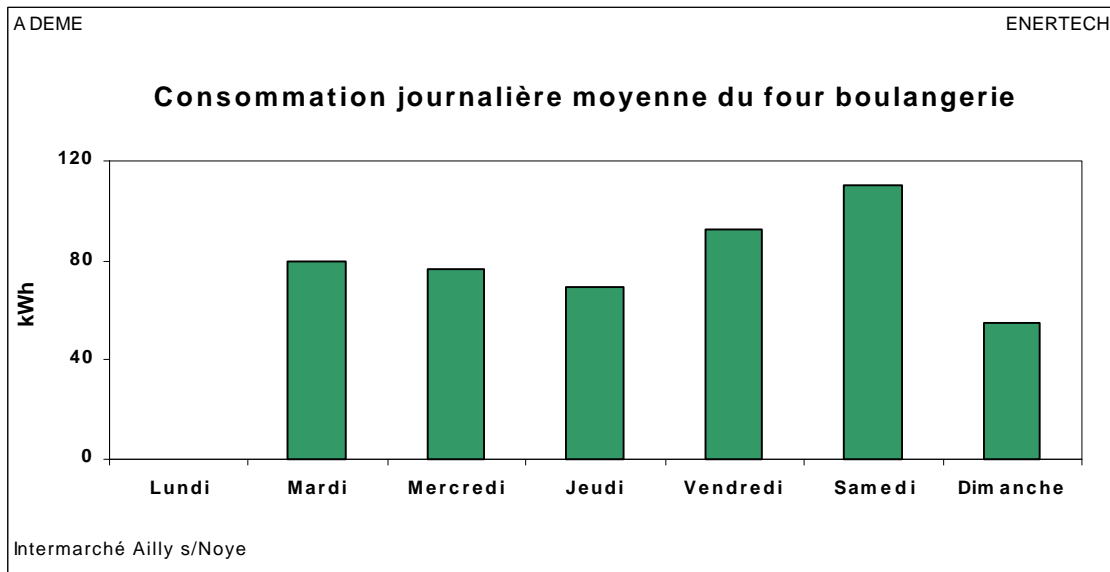


Figure 4.14 : répartition hebdomadaire de la consommation du four de boulangerie

“Variation de la consommation en fonction du mois

Le graphique ci-dessous donne la consommation moyenne par jour ouvrable en fonction du mois.

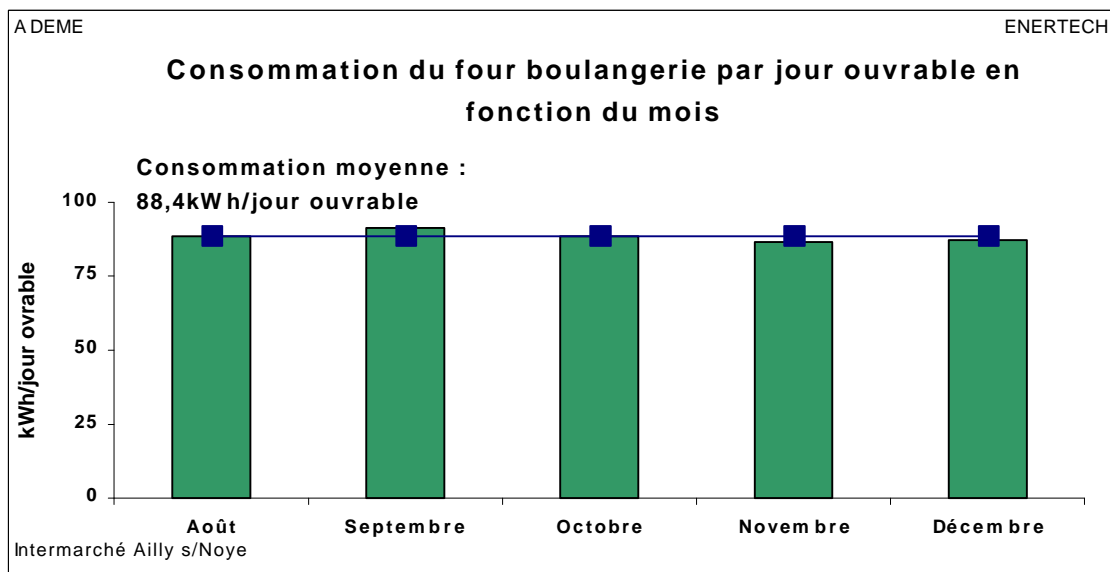


Figure 4.15 : consommation du four de boulangerie par jour ouvrable en fonction du mois

On note que la consommation est très stable, le four semble être utilisé de façon identique quelle que soit la période.

Coût de l'usage

.. Etude individuelle de l'usage

Le four est un gros consommateur d'énergie : 25 000 kWh par an, soit 8050 F pour la consommation. L'abonnement revient à 4720 F.

.. Importance de l'usage dans la facture globale

Il représente environ 5 % de la consommation globale et 9 % du coût de l'abonnement. Le coût de cet usage le place en **troisième position** dans ce supermarché.

4.4.2 Chambre de pousse boulangerie

Caractéristiques de l'appareil

La chambre de pousse est à la fois un réfrigérateur et une étuve contrôlée en température. Elle est utilisée pour conserver et faire lever les pâtes de boulangerie avant leur cuisson.

Fonctionnement

.. Courbe de charge des jours d'ouverture et de fermeture

Le fonctionnement de l'étuve est représenté, sur le graphique de la figure 4.16, pour un jour ouvrable type (mardi, mercredi, jeudi, vendredi, samedi ou dimanche) et pour un jour de fermeture de la boulangerie (lundi et jours fériés où le magasin est fermé).

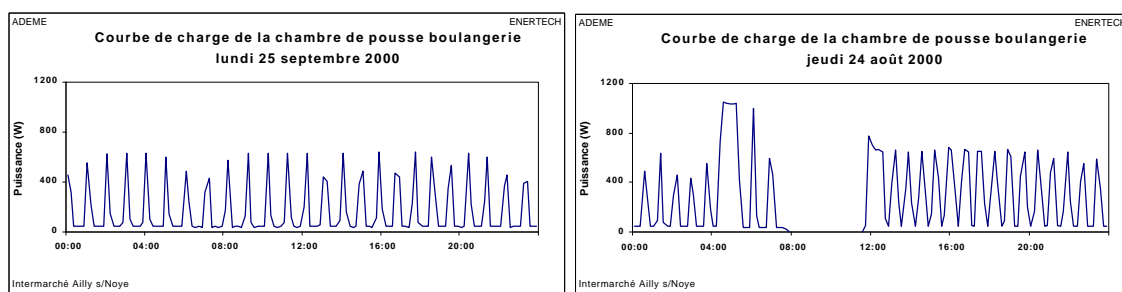


Figure 4.16 : courbes de charge comparées de la chambre de pousse pour un jour de fermeture et un jour ouvrable

L'observation des deux graphiques entraîne les commentaires suivants :

- on note des appels de puissances réguliers qui permettent de maintenir l'étuve à température (fonction réfrigérateur).
- les jours d'ouverture de la boulangerie, on note un chauffage à puissance constante (environ 1000 W) entre 4 et 5H00. L'étuve est ensuite arrêtée quelques heures pendant la matinée
- les jours de fermeture elle est maintenue en température pour conserver les pâtes de boulangerie.

.. *Variation de la consommation en fonction du mois*

Le graphique 4.17 représente l'évolution de la consommation au cours des 6 mois d'étude.

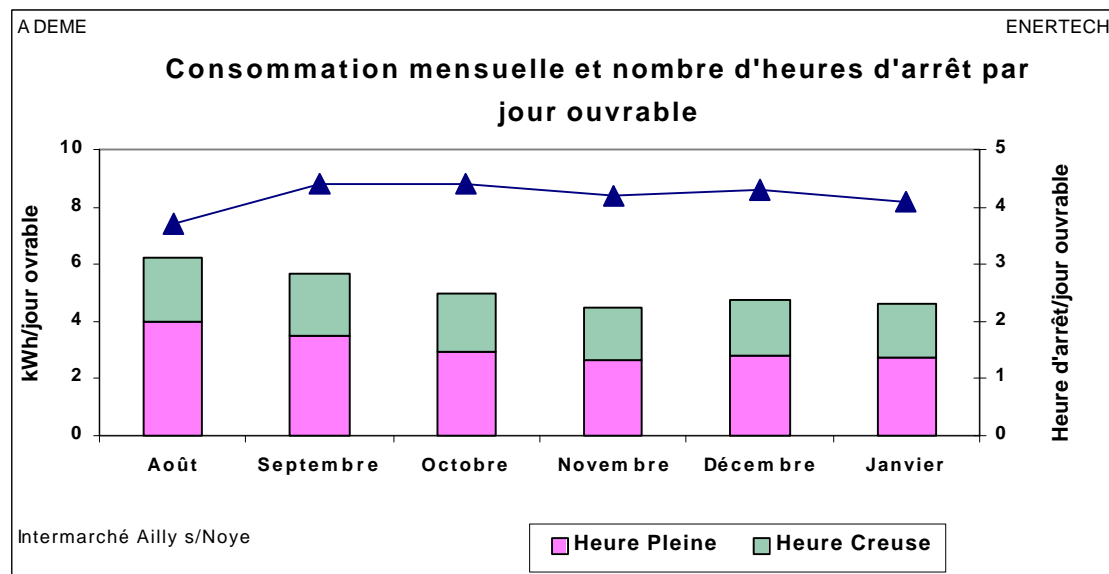


Figure 4.17 : structure de la consommation et durée moyenne des arrêts de la chambre de pousse par jour ouvrable selon le mois de l'année

On note que :

- le rapport des consommations heures pleines/heures creuses est sensiblement égal quel que soit le mois de l'année. Il est de l'ordre de 60-40 %
- La consommation est 30 % plus importante en août qu'en novembre. En effet, rappelons qu'un des usages de la chambre de pousse est de conserver les pâtes de boulangerie (mode réfrigérateur). Or, la température extérieure étant supérieure en août, elle doit fonctionner plus longtemps afin de maintenir la température de conservation.

Coût de l'usage

Le coût d'exploitation de l'étuve se monte à 585 F par an, dont 88 % pour la consommation et 12 % pour l'abonnement.

Sa consommation annuelle est de 1 837 kWh (62 % en été et 38 % en hiver).

4.4.3 Station de lavage haute pression

Caractéristiques de l'appareil

Cette station de lavage de type libre-service est équipée de pompes haute pression (Kärcher) qui projettent l'eau et les produits nettoyant au cours des cycles de prélavage, lavage, rinçage et lustrage.

La commande de fonctionnement des pompes est manuelle. Elle est activée par le client pour un laps de temps déterminé par la somme introduite dans le monnayeur.

Certaines séquences du cycle de lavage font par ailleurs appel à de l'eau chaude préparée au moyen d'une épingle électrique de 11,5 kW associée à un stockage de très faible capacité.

Fonctionnement

La station présente un fonctionnement totalement dépendant de la demande des utilisateurs, hormis l'éclairage mis en route par l'exploitant (manuellement).

La part de l'éclairage dans la consommation d'électricité de la station est d'environ 17 % mais son importance dans le coût de fonctionnement est moindre car les coûts d'abonnement afférents sont très bas (puissance appelée faible sur une période importante) et l'énergie est utilisée essentiellement de nuit. Cependant, l'éclairage est deux fois plus utilisé en hiver, période où le coût du kWh est plus important.

Globalement, la part de **l'éclairage dans la facture d'électricité de la station est de 15 %**.

Le reste est à partager entre la consommation des pompes (2640 Watts - $\cos \phi=0.7$) et de la résistance électrique de chauffage de l'eau (11.5 kW). L'analyse d'un cycle de lavage montre que la consommation de la pompe représente environ 12 % de la consommation totale du cycle alors que 88 % est utilisé pour le chauffage de l'eau (voir figure 4.18).

La structure de la facture d'électricité de la station (abonnement compris) est donc la suivante :

Chauffage de l'eau :	75 %
Eclairage de la station :	15 %
Pompes haute pression :	10 %

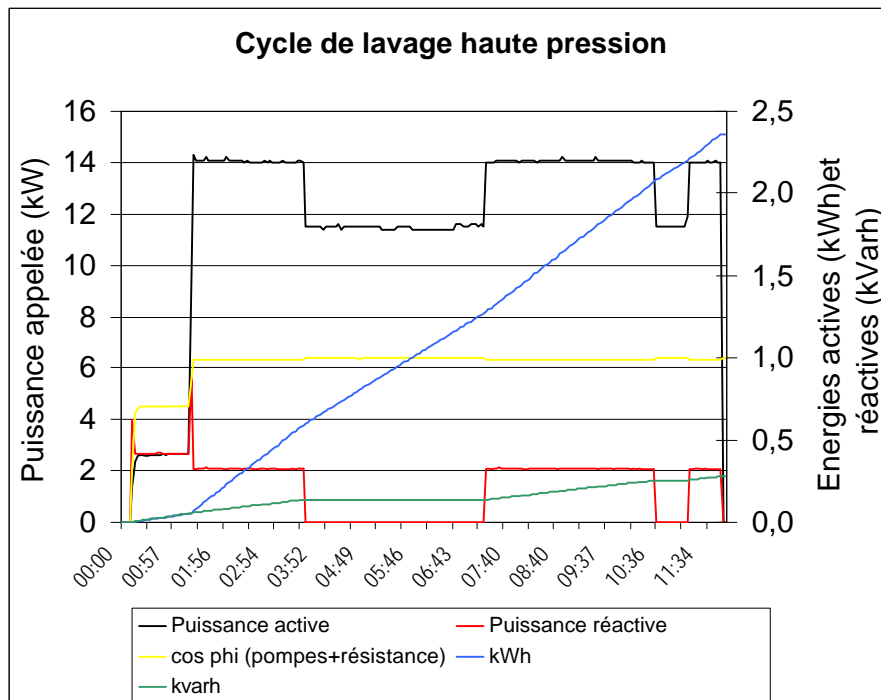


Figure 4.18 : Description d'un cycle de lavage haute pression

.. Répartition quotidienne

Les consommations ont lieu principalement en fin de matinée et durant les après-midi. En dehors de ces périodes, l'éclairage est fréquemment utilisé et quelques cycles de lavage se produisent. On peut également remarquer de petites pointes nocturnes de consommation qui correspondent au maintien en température du tampon d'eau chaude. L'ordre de grandeur de cette dépense, évalué la nuit en hiver en l'absence d'utilisations, correspond à 10 kWh/jour, soit près de 20 % de la consommation moyenne totale de la station !

.. Répartition hebdomadaire et mensuelle de la consommation

Les variations de la consommation au cours d'une semaine en fonction du mois sont données sur les graphiques 4.19 et 4.20.

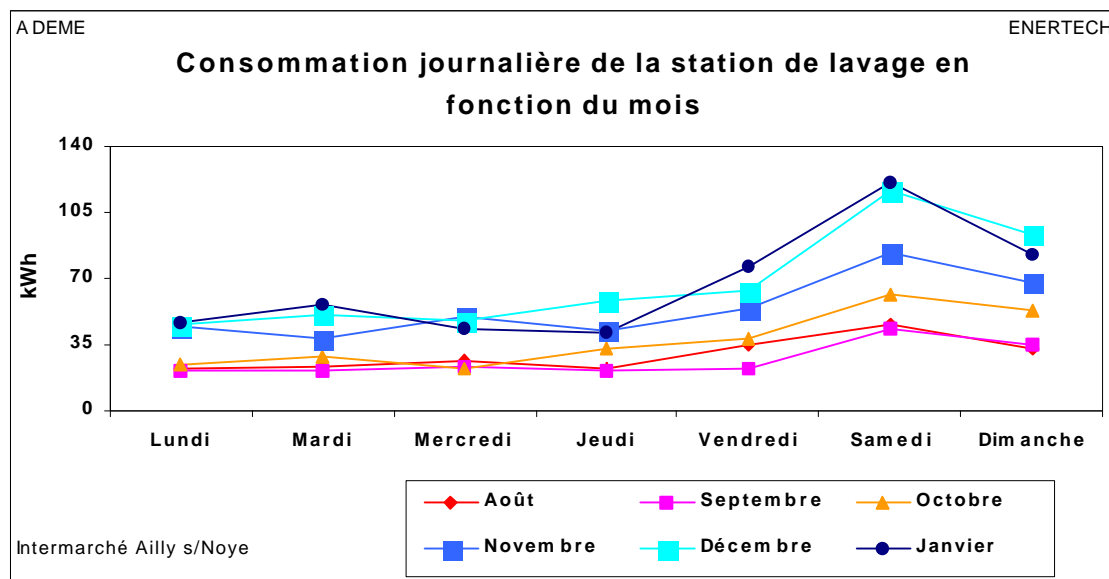


Figure 4.19 : représentation des variations de consommation de la station de lavage en fonction du jour et du mois

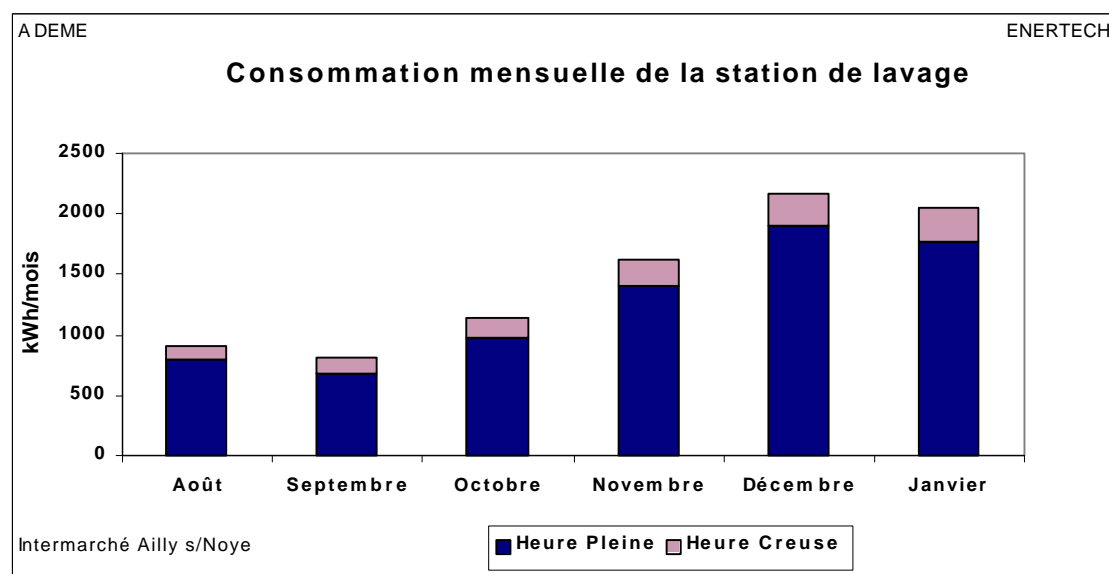


Figure 4.20 : variations de consommation mensuelle de la station de lavage

On peut faire plusieurs remarques concernant ces graphiques :

- La consommation maximale est rencontrée le samedi. Elle est environ deux fois inférieure les lundi, mardi, mercredi, jeudi. Bien que plus importantes que les jours de semaine, la consommation des vendredi et dimanche reste néanmoins inférieure à celle du samedi, de respectivement 40 et 20 %.
- Le mois influe sur la consommation. On note un rapport de 2,5 entre les mois de décembre et de septembre. L'explication tient au fait que la résistance doit fonctionner davantage en hiver qu'en été pour assurer la mise en température de l'eau. La consommation en août est légèrement supérieure à celle de septembre (12 %), probablement à cause d'une affluence plus importante pendant les vacances.
- La répartition de la consommation en heures pleines et heures creuses est constante, avec respectivement 85 %-15 %.

Coût de l'usage

..Etude individuelle de l'usage

La consommation annuelle de la station de lavage est de 17 320 kWh. Son coût électrique global se monte à 10 000 F répartis en 38 % d'abonnement et 62 % de consommation.

.. Importance de l'usage dans la facture globale

La station de lavage représente environ 3 % de la consommation globale du supermarché et 7 % du coût de l'abonnement.

Solutions d'économie d'énergie

Un premier gisement d'économie peut être mobilisé en réalisant une bonne isolation du ballon tampon d'eau chaude. Un gain d'environ 10 % sur la consommation de la station semble possible.

Une piste plus intéressante consiste à réaliser un préchauffage de l'eau par récupération de chaleur sur les gaz chauds en sortie des compresseurs du groupe centralisé de froid positif. Cette solution décrite dans le paragraphe 4.6.4 permet une économie financière de 7500 F par an, représentant 75 % du poste.

Enfin, il est possible de diminuer la consommation d'éclairage en utilisant un projecteur à décharge (modèle conseillé : lampe 150 W aux halogénures métalliques). L'économie est de 1000 F par an avec un investissement de 1200 F. L'éclairage est supérieur de 20 % avec un bon rendu des couleurs (IRC=85) et une durée de vie de la lampe multipliée par 4.

4.4.4 Station essence et lavage par rouleaux

Caractéristiques des appareils

La consommation de la station service a été mesurée associée à celle du système de lavage libre-service par rouleaux brosses. Les données comprennent donc :

- L'éclairage de la station et de la partie lavage (2200 W allumé en permanence les nuits)

- Les pompes et auxiliaires de la station essence : 4 pompes (puissance mesurée 2500 à 3000 W par pompe avec un $\cos \phi$ très bas, de 0,3 à 0,4). La puissance nominale indiquée sur les pompes est de 5300 W ce qui confirme que les pompes sont fortement surdimensionnées.
- Le chauffage de la cabine de la station
- La consommation due au lavage à rouleaux (moteurs et pompes) - le système ne semble que très peu utilisé ou sa consommation est très réduite.

Fonctionnement

..Répartition quotidienne

La consommation électrique de l'ensemble est assez constante au fil d'une journée type car les besoins d'éclairage nocturnes sont complétés par le fonctionnement diurne des pompes. Néanmoins, l'usage des pompes présentant une pointe en fin de journée, en hiver, la nuit étant alors déjà tombée, les deux usages s'additionnent et donnent lieu à un pic de consommation autour de 18 heures.

..Répartition hebdomadaire et mensuelle de la consommation

La consommation varie peu au cours de la semaine. En effet, la fermeture de la station le dimanche après midi est compensée par l'allumage des éclairages dès la fermeture du magasin.

En été, on constate une diminution d'environ 30 % de la consommation due à une baisse des besoins d'éclairage artificiels (journées plus longues).

Coût de l'usage

.. Etude individuelle de l'usage

Ces deux usages entraînent une dépense totale annuelle d'environ 6 000F, dont 1000 F dus à la part d'abonnement.

La consommation annuelle s'élève à 16 500 kWh dont les 2/3 peuvent être imputés à l'éclairage (notamment la nuit). On peut estimer que ce dernier fonctionne 5500 heures par an.

..Importance de l'usage dans la facture globale

La station service représente 3 % de la consommation du supermarché et 2 % du prix de l'abonnement.

Possibilités d'économie d'énergie

L'éclairage assuré actuellement par des luminaires étanches à 2 tubes fluorescents de 58 Watts peut être aisément remplacé par 5 projecteurs performants à halogénures métalliques de 150 Watts. La puissance installée pourrait ainsi être divisée par plus de 2 pour générer une économie de 2000 F par an pour un investissement de 6000 F amorti en 3 ans.

4.5 BUREAUTIQUE ET ELECTRONIQUE

4.5.1 Photocopieur libre-service

Fonctionnement

La photocopieuse reste allumée 24 heures sur 24 pratiquement tous les jours. Elle n'est éteinte que durant 7 % de la période étudiée. Cependant 25 % de cette période d'extinction se situent dans les plages horaires d'ouverture du magasin (machine en panne ou arrêtée malencontreusement).

Curieusement, on observe, selon les jours, deux profils distincts de consommation. Ces profils sont représentés sur la figure 4.21.

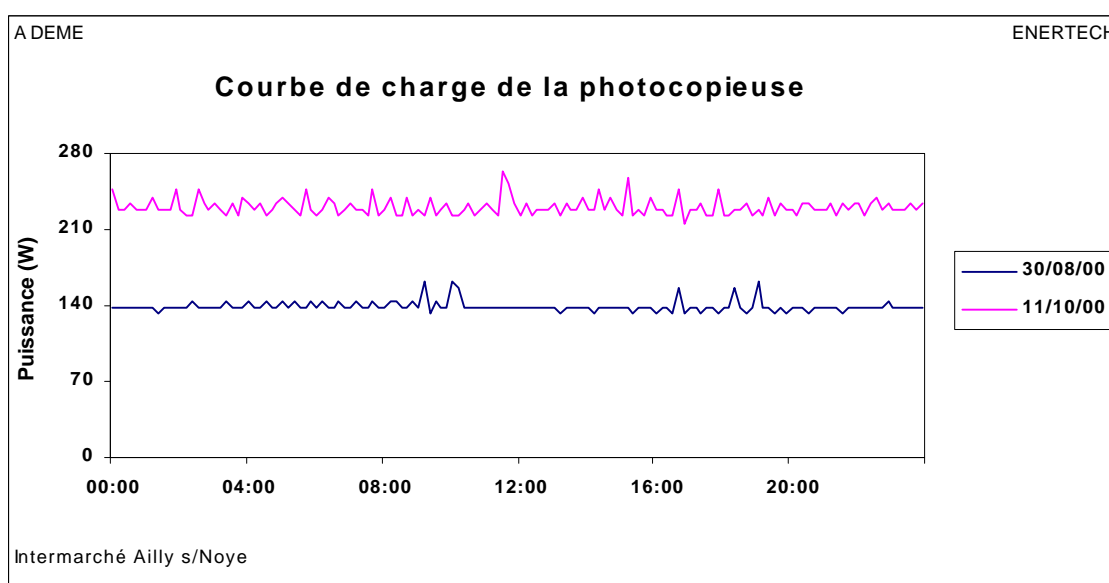


Figure 4.21 : courbes de charge du photocopieur libre-service observés pour deux jours types

Les niveaux de puissance de ces deux profils sont très différents (140 et 225 W). On peut donc penser qu'un deuxième appareil est branché à certains moments sur la prise du photocopieur.

Coût de l'usage

Cet usage consomme 1 800 kWh par an et coûte 615 F/an, dont 60 F d'abonnement.

Possibilités d'économie d'énergie

Si la photocopieuse était éteinte en dehors des heures de d'ouverture du magasin, on pourrait réduire la consommation de 2/3, soit une économie de 348F.

On peut aussi proposer d'éteindre la machine lorsqu'elle n'est pas utilisée. Le gain serait alors supérieure à 95 % et l'économie supérieure à 530 F/an.

4.5.2 Photomaton

Fonctionnement

Le photomaton fonctionne en permanence. Sa consommation de veille est de 80 W. Il effectue environ deux fois par jour une opération de maintenance (probablement un réchauffage des bains) qui consomme 130Wh. Il semble que l'appareil n'ait pas été utilisé pendant la durée de l'étude à moins que son utilisation n'entraîne pas un niveau de consommation suffisamment perceptible.

Coût de l'usage

Le photomaton coûte 240F. Cette somme est répartie en 90 % de consommation (730 kWh) et 10 % d'abonnement.

Solutions d'économie d'énergie

On pourrait envisager d'éteindre l'éclairage la cabine en dehors des heures d'ouverture du magasin, on réduirait ainsi la consommation de veille de l'appareil à certaines périodes. Cette possibilité doit être vérifiée avec le fabricant.

4.5.3 Photocopieur bureau

Fonctionnement

Le photocopieur bureau, contrairement au photocopieur libre-service ne fonctionne pas en continu. Il n'a été laissé en veille que 3 nuits durant les 6 mois d'étude. Il est la plupart du temps éteint après utilisation.

Coût de l'usage

La photocopieuse bureau consomme 50 kWh et revient à 16F par an. Ceci montre, soit dit en passant, ce que pourrait être la consommation du copieur libre-service s'il était allumé seulement aux moments de l'utilisation.

4.5.4 Onduleur

Caractéristiques de l'appareil

L'onduleur sert à assurer la continuité de l'alimentation électrique lors des pannes du secteur. Les caractéristiques techniques de l'onduleur sont les suivantes :

- marque : Merlin Gérin Comet
- 6kW/7,5kVA
- alimentation : 220V

Il alimente en continu :

- les 7 caisses enregistreuses et les lecteurs de cartes bleues
- les ordinateurs des bureaux
- les balances du magasin.

Fonctionnement

La puissance appelée par l'onduleur est constante, de l'ordre de 700 W. Elle est supérieure d'environ 6 % pendant les heures d'ouverture du magasin, probablement car les caisses enregistreuses et les ordinateurs sont utilisés.

L'onduleur est fortement surdimensionné. La puissance appelée est en effet presque 10 fois inférieure à celle indiquée (6 kW). Son rendement en est probablement affecté, de l'ordre de 80 % au maximum. Les caisses, ordinateurs et balances consomment par conséquent environ 560 W.

.. Répartition de la puissance des appareils sur onduleur

On remarque que les caisses et ordinateurs nécessitent environ la même puissance. Les balances consomment 3,5 fois moins.

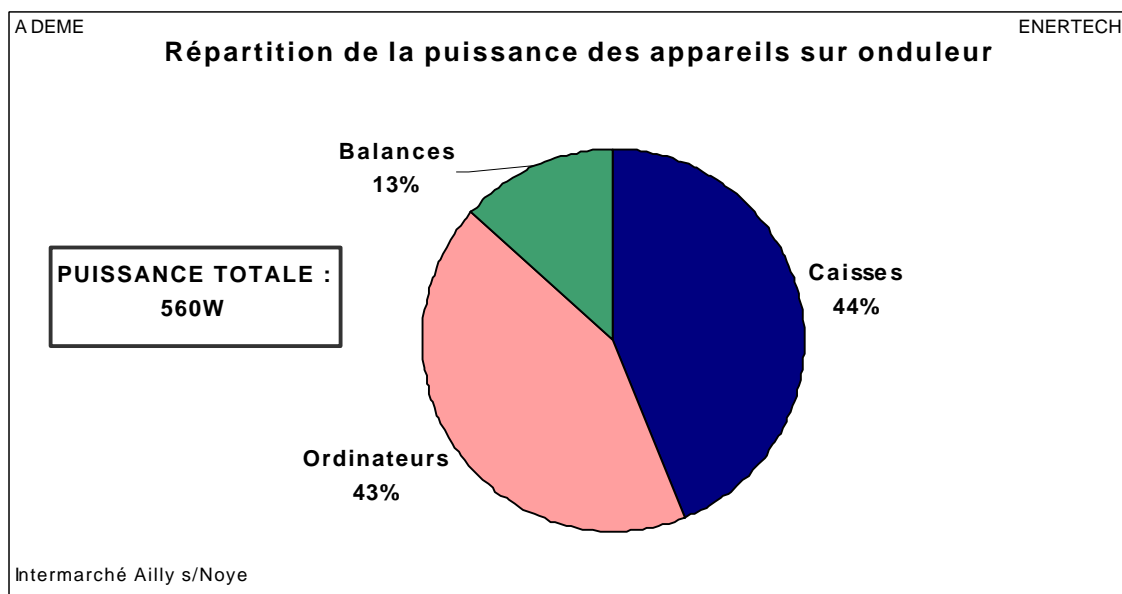


Figure 4.22 : répartition de la puissance des appareils branchés sur onduleur

Coût de l'usage

.. Etude individuelle de l'usage

L'onduleur consomme 6260 kWh par an, soit un coût de 1867 F auquel il faut ajouter 234 F d'abonnement pour obtenir un total de 2101 F.

.. Importance de l'usage dans la facture globale

La part de l'onduleur dans la consommation globale est d'environ 1 %, sa contribution pour l'abonnement est par contre négligeable.

Solutions d'économie d'énergie

Si les écrans d'ordinateur étaient éteints entre 20H00 et 6H00 et les jours fériés, la consommation diminuerait de 8 %, soit une économie annuelle de 128F.

4.5.5 Standard téléphonique

Fonctionnement

Le standard téléphonique fonctionne en permanence. La puissance appelée est de 4,5 W.

Coût de l'usage

Le standard téléphonique consomme 160 kWh et coûte 50F par an (12 % abonnement-88 % consommation).

4.5.6 Installation de sonorisation et réception satellite

Fonctionnement

L'installation de sonorisation fonctionne en continu. Pendant les heures d'ouverture, c'est à dire quand elle est utilisée, la puissance appelée est de 35 W. En dehors de ces plages horaires, on observe une veille de 25 W.

Coût de l'usage

L'usage consomme 243 kWh par an, soit une dépense de 86 F (10 % d'abonnement-90 % de consommation).

Solutions d'économie d'énergie

Si l'installation ne fonctionnait que pendant les heures d'ouverture, on réaliserait une économie de 40 F par an.

4.5.7 Eclairage tapis + caisse

Caractéristiques de l'appareil

Le supermarché est muni de 7 caisses. Chacune possède une ampoule de 14 W qui est allumée quand la caisse est ouverte. Les tapis s'ils sont laissés en veille consomment environ 14 W, soit 2W par tapis.

Fonctionnement

.. Puissance appelée en dehors des heures d'ouverture du magasin

L'ensemble éclairage des caisses et tapis n'a été arrêté (puissance appelée nulle) que pendant 2 % de la période étudiée. La plupart du temps les tapis sont laissés en veille en dehors des heures d'ouverture du magasin. De plus, durant 6% des nuits de l'étude, l'éclairage d'une caisse est resté allumé.

.. *Puissance appelée durant la journée*

Les figures 4.23 et 4.24 précisent le nombre de caisses ouvertes selon le jour de la semaine et sur l'ensemble de la période de mesures.

On remarque qu'en fin de semaine le nombre de caisses ouvertes est plus important.

Dans 21 % des cas, une seule caisse fonctionne. On rencontre très souvent cette situation dans les minutes qui suivent l'ouverture ou qui précèdent la fermeture.

	Matin	Après-midi
Lundi	●●	●●●
Mardi	●●●	●●●(●)
Mercredi	●●●●	●●●(●)
Jeudi	●●●●	●●●(●)
Vendredi	●●●●●	●●●●●
Samedi	●●●●●●(●)	●●●●●
Dimanche	●●●●●	-

(●) : caisse non systématiquement ouverte

Figure 4.23 : nombre de caisses ouvertes en fonction du jour de la semaine

Le nombre de caisses ouvertes varie aussi en fonction de la période de l'année. Ainsi la consommation électrique des caisses au mois de décembre est supérieure de 36 % à celle de novembre. Elle est relativement stable le reste de l'année.

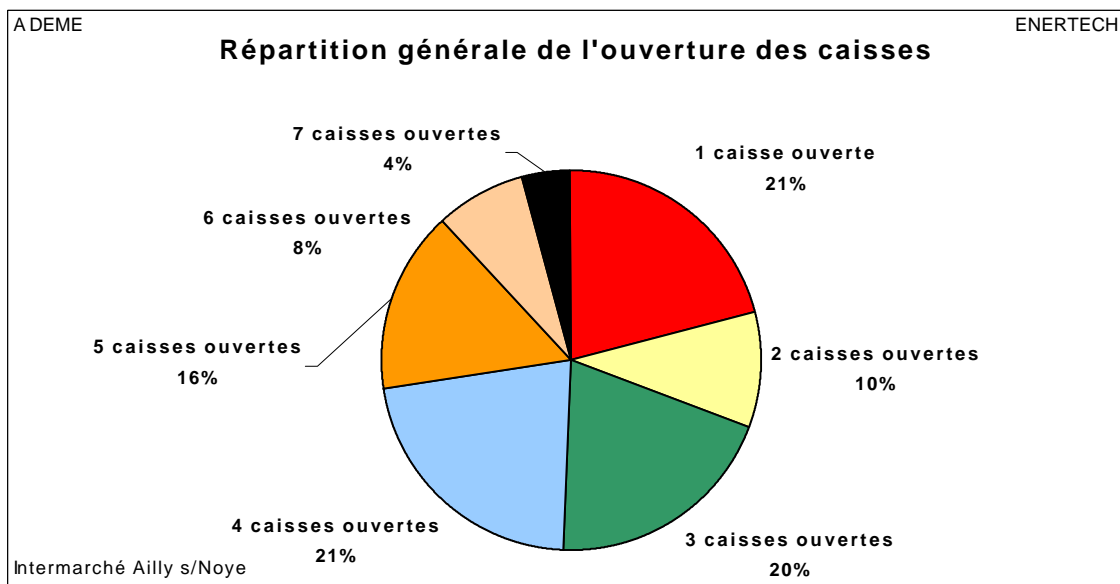


Figure 4.24 : Répartition de l'ouverture des caisses du supermarché sur la période étudiée

Coût de l'usage

La consommation de cet usage s'élève à 289 kWh. Le coût global est de 125 F réparti en 35 F d'abonnement et 90 F de consommation.

Solutions d'économie d'énergie

Si l'éclairage et les tapis des caisses ne fonctionnaient pas en dehors des heures d'ouverture on pourrait faire une économie de 80 kWh, soit 22 F par an.

4.5.8 Antivol caisse

Caractéristiques de l'appareil

Chacune des 7 caisses est équipée d'un portique antivol, la puissance globale est 622 W.

Fonctionnement

Les antivols fonctionnent en permanence.

Coût de l'usage

.. Etude individuelle de l'usage

L'usage consomme 5480 kWh par an, soit un coût annuel de 1880 F dont 13,5 % d'abonnement.

.. Importance de l'usage dans la facture globale

La consommation des antivols représente près de 1 % de la consommation globale du supermarché.

Solutions d'économie d'énergie

Si les antivols ne fonctionnaient pas entre 20H00 et 9H00, on réduirait la consommation de 55 % et l'économie serait de 832F par an.

On peut aussi envisager de commander l'antivol en même temps que l'éclairage d'une caisse (c'est à dire qu'il fonctionne simplement quand la caisse est ouverte), **on réalise alors une économie d'énergie de 87 %, soit 1300F par an.**

Le recâblage des antivols est amorti en moins d'un an.

4.5.9 Etiqueteuse boucherie

Caractéristiques de l'appareil

L'usage étudié dans ce paragraphe est une étiqueteuse boucherie de puissance 10 W.

Fonctionnement

L'étiqueteuse boucherie est alimentée en permanence. Elle consomme toujours autant, qu'elle soit utilisée ou non.

Coût de l'usage

L'usage consomme 107 kWh et coûte 36F par an dont 2F pour l'abonnement.

4.5.10 Emballeuse boucherie

Caractéristiques de l'appareil

L'emballeuse boucherie est située dans la chambre froide, sa puissance est 350 W.

Fonctionnement

L'emballeuse fonctionne 24 heures sur 24. On note une chute de puissance de l'ordre de 10 % pendant les heures d'ouverture du magasin. Cela tient au fait que beaucoup d'appareils fonctionnent en même temps entraînant une chute de tension dans le magasin lors des heures d'ouverture, ce qui diminue la consommation de la plupart des appareils. Le chapitre 5 « Analyse de la tension du réseau » sera consacré à ce problème.

Coût de l'usage

L'emballeuse boucherie consomme annuellement 2 900 kWh représentant **une dépense de 1200 F d'électricité** (71 % pour la consommation et 29 % pour l'abonnement). De plus, située dans une enceinte refroidie, elle nécessite un surcroît de fonctionnement des groupes frigorifiques afin d'évacuer l'énergie consommée.

Solution d'économie d'énergie

La consommation pourrait être divisée par 2,3 si l'emballeuse était mise en route à 8H50 et arrêtée à 20H00. On réaliserait alors une économie de 444F. De plus, cette mesure permettrait de réduire la consommation du groupe froid. Pour ce faire, on peut utiliser un programmeur. L'investissement est amorti en moins d'un an. On pourrait également demander aux utilisateurs de veiller à son extinction en fin d'usage mais cette solution demande de prévoir un préchauffage d'environ 30 minutes après remise en route et avant utilisation.

4.5.11 Autres veilles

Caractéristiques de l'appareil

Cet usage comprend des appareils qui n'ont pas été suivis par des mesureurs mais dont on connaît la puissance appelée, quasi constante au fil des jours :

- balances électroniques
- éclairage de sécurité
- alarme incendie
- borne d'information

Fonctionnement

Ces appareils fonctionnent en permanence et ne peuvent être arrêtés.

Coût de l'usage

Ces appareils consomment 2218 kWh et reviennent à 730 F par an.

4.6 LE CHAUFFAGE ET LA VENTILATION

4.6.1 Circuit de commande chauffage du magasin

Caractéristiques de l'appareil

Le circuit de commande gère les chauffages radiants de deux zones. Il régule selon 2 températures de consigne : température minimale (en dehors des heures d'ouverture du magasin) et température de confort (magasin ouvert). L'alimentation électrique des 5 rampes de chauffage assure :

- le fonctionnement de l'électrovanne gaz
- le démarrage, le contrôle, la commande des brûleurs

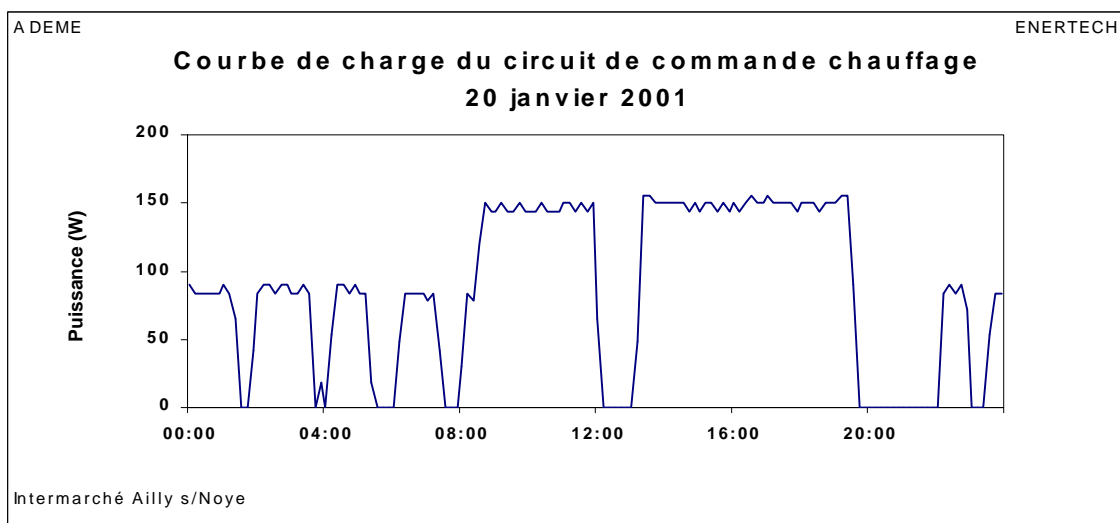


Figure 4.25 : courbe de charge journalière type observé pour le circuit de commande du chauffage

Ce graphique met en évidence plusieurs faits :

- pour atteindre la température minimale une seule rampe est actionnée la nuit
- le chauffage est arrêté pendant la pause déjeuner et la température reste supérieure à la température minimale
- le soir le chauffage est coupé au moment de la fermeture, la température minimale n'est atteinte que vers 22H00. Un des deux groupes de chauffage radiant est alors remis en fonctionnement
- Quand le magasin est ouvert, tous les chauffages radiants fonctionnent pour maintenir la température de confort.

De façon logique, la température extérieure influe sur le fonctionnement du chauffage. Ainsi observe-t-on, les nuits les plus froides, qu'il est nécessaire de mettre en route l'ensemble des chauffages radiants pendant une courte période pour atteindre la température minimale.

Coût de l'usage

Le circuit de commande consomme 279 kWh et revient à 125 F par an. L'analyse des consommations de gaz est détaillée plus bas.

4.6.2 Chauffage bureaux

Caractéristiques des appareils

Chaque bureau est muni d'un convecteur électrique de puissance 1 kW pour les bureaux 1 et 2 et 1,5 kW pour le bureau 3 et 4.

Fonctionnement

Les durées de fonctionnement des convecteurs des 4 bureaux sont données sur la figure 4.26.

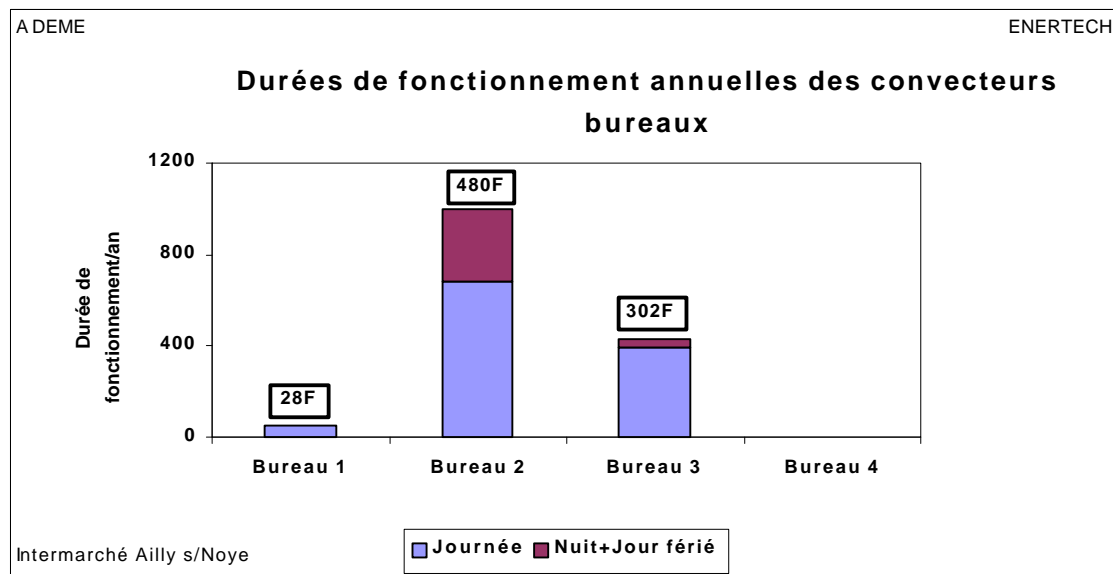


Figure 4.26 : Comparaison des durées et des coûts de fonctionnements des convecteurs des différents bureaux

On peut faire plusieurs commentaires :

- le convecteur du bureau 4 n'est jamais utilisé, c'est également le cas du convecteur du bureau de la caisse centrale.
- le convecteur du bureau 2 fonctionne 18 fois plus que celui du bureau 1.
- 30 % de la période de fonctionnement du convecteur du bureau 2 se situent entre 20H00 et 8H00 ou les jours fériés.

Il faut aussi noter que la température de ces bureaux n'a pas été mesurée et qu'elle peut aussi constituer une variable explicative.

Coût de l'usage

· Etude individuelle de l'usage

Cet usage consomme annuellement 1697 kWh, dont 20 % entre 20H00 et 8H00. Il revient à 810 F par an.

Solution d'économie d'énergie

Il est probable que la consommation électrique du bureau 2 pourrait être réduite entre 20H00 et 8H00 et les jours fériés par mise au ralenti de l'appareil. L'économie serait alors de 325 kWh/an.

4.6.3 Ventilateur bureaux

Fonctionnement

Le ventilateur a fonctionné durant la moitié de la période d'étude (août-octobre). Le graphique de la figure 4.27 représente la structure de la consommation et du coût de fonctionnement de l'appareil.

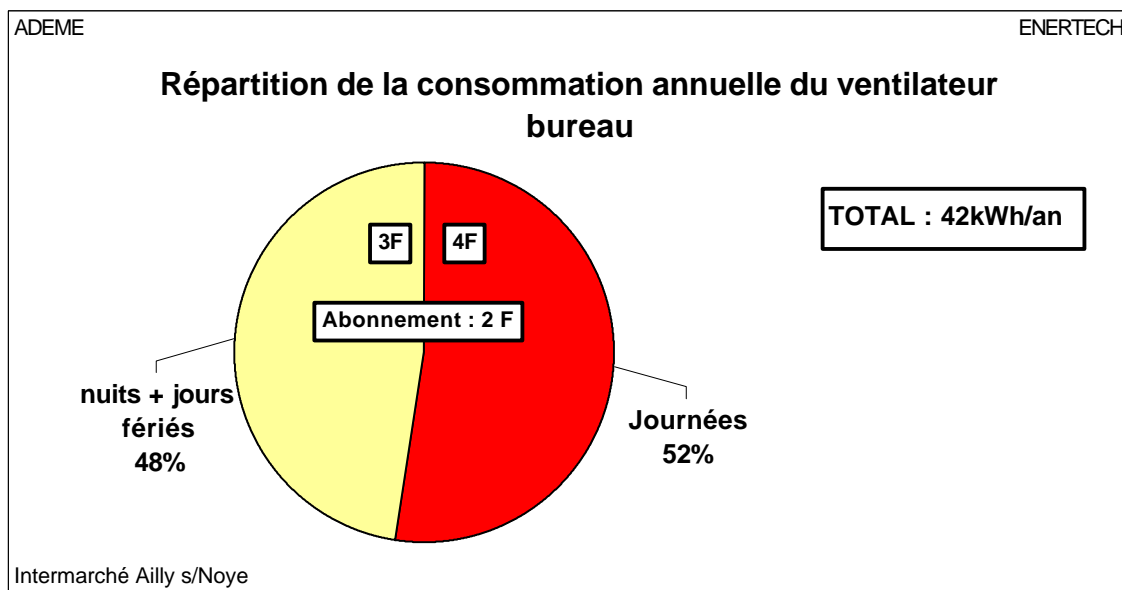


Figure 4.27 : structure de la consommation et du coût annuels du ventilateur bureau

On note que pratiquement la moitié de la consommation sert à un fonctionnement de nuit (ou les jours fériés), c'est à dire quand les bureaux sont inoccupés. Ainsi, une fois sur trois quand le ventilateur est mis en route, il n'est arrêté que le lendemain, voire même 2 ou 3 jours plus tard.

Coût de l'usage

Le ventilateur consomme 42 kWh et coûte 9 F par an.

4.6.4 Chauffe-eau boucherie

Caractéristiques de l'appareil

La boucherie consomme une quantité importante d'eau chaude sanitaire produite par un chauffe-eau électrique d'environ 200 litres équipé d'une résistance de 1120 Watts en 230 volts monophasé.

Fonctionnement

La mise en marche de la résistance est commandée par un thermostat et n'est pas asservie à un tarif d'électricité particulier.

.. Répartition quotidienne

La consommation est parfaitement en phase avec les horaires d'ouvertures du magasin. La puissance de la résistance chauffante étant faible, elle ne parvient pas à maintenir la température du ballon constante et fonctionne en permanence durant la journée pour ne s'arrêter que pendant la nuit (vers 22-23 heures l'été et 00-01 heure le lendemain durant l'hiver). En fin de nuit, on peut observer des mises en route correspondant à l'apport d'énergie nécessaire à compenser les pertes par les parois du ballon. Ces pertes peuvent être ainsi estimées en moyenne à 2.5 kWh/jour soit 14 % de la consommation du ballon.

.. Répartition hebdomadaire et mensuelle de la consommation

La consommation journalière d'eau chaude sanitaire pour la boucherie est très constante hormis une baisse le dimanche (fermeture du magasin le dimanche après midi). La saisonnalité est très peu marquée alors qu'on aurait pu s'attendre à une hausse des dépenses en hiver dû à la diminution de la température d'arrivée d'eau, nécessitant ainsi un apport plus grand d'énergie pour être portée à la température désirée. Compte tenu du sous dimensionnement de la résistance du ballon, la diminution de température d'entrée d'eau se traduit probablement essentiellement par une diminution de la température d'eau chaude obtenue.

Coût de l'usage

Le coût total de l'énergie pour cet usage est de 2400 F par an. La part des frais liés à l'abonnement est faible, la consommation assurant à elle seule plus de 2000 F par an. L'énergie dépensée annuellement atteint environ 6500 kWh, soit 1.2 % de la consommation du magasin.

Possibilités d'économie d'énergie

Le groupe froid positif centralisé situé dans un local proche de la boucherie entraîne des rejets de chaleur très importants. Il est tout naturel d'utiliser cette énergie excédentaire pour assurer le chauffage de l'eau sanitaire nécessaire non seulement à la boucherie mais aussi, aux stations de lavage.

Pour ce faire, nous préconisons l'installation d'un ballon de 300 litres équipé d'un échangeur immergé à double paroi parcouru par les gaz chauds, situé en sortie des compresseurs du groupe frigorifique avant les condenseurs extérieurs. Les gaz chauds sont

alors à une température d'environ 65°C l'été, 50°C l'hiver, (au minimum 40°C si un système de haute pression flottante est installé). Il est donc possible de préchauffer sans dépense une quantité importante d'eau entre 35 et 55°C car le rejet moyen d'énergie en hiver dépasse 30 kW ! L'eau préchauffée par ce ballon est alors utilisée en remplacement de l'eau froide pour alimenter l'entrée du ballon d'eau chaude boucherie et de la station de lavage haute pression. Un mitigeur, calé sur 55°C sera ajouté pour éviter des températures d'eau qui pourraient dépasser 65°C l'été et qui pourrait se révéler néfaste pour la station de lavage.

Le matériel nécessaire à cette installation comprend donc :

- un ballon de 3 à 500 litres avec échangeur pour gaz chaud (environ 10kW pour un DT de 25°C), installé dans le local des groupes frigorifiques.
- un raccordement au réseau d'eau froide.
- un départ du ballon récupérateur vers le ballon boucherie.
- un départ du ballon récupérateur vers la station de lavage (pour rejoindre le tuyau d'alimentation, actuellement en eau froide, entre le magasin et la station) + calorifugeage de la canalisation.
- des accessoires nécessaires (support ballon, groupe de sécurité, mitigeurs, isolations...)

On peut estimer l'ensemble de cette opération à environ 25.000 F H.T.

Ainsi, pour les besoins d'eau chaude pour la boucherie pourraient être assurés à 100 % l'été et au moins 60 % l'hiver. En ce qui concerne la station de lavage haute pression, la totalité des dépenses de chauffage de l'eau peuvent être évitées car une température d'eau de 30°C est suffisante.

Le gain annuel total se monte ainsi à 9150 F annuels pour un **temps de retour de 2.7 ans**.

Les avantages annexes sont nombreux :

- Diminution du fonctionnement des condenseurs (frigorigène pré-refroidi dans l'échangeur)
- Réserve d'eau chaude plus importante pour la boucherie.
- L'ensemble des cycles de la station de lavage se font à l'eau chaude.
- Frais d'énergie de la station de lavage quasi indépendants de sa fréquentation.
- D'autres usages de l'eau chaude peuvent être envisagés ultérieurement.

4.6.5 Chauffe-eau bureaux

Caractéristiques de l'appareil

Un chauffe-eau électrique d'environ 100 litres équipé d'une résistance de 650 Watts en 230 volts monophasé assure la production d'ECS pour les sanitaires des bureaux. Ceux-ci ne sont pas équipés de douches et comprennent uniquement 2 lavabos avec eau chaude. Le ballon est situé dans les vestiaires dames du magasin.

Fonctionnement

La mise en marche de la résistance est commandée par un thermostat et n'est pas asservie à un tarif d'électricité particulier.

.. Répartition quotidienne

Le profil journalier d'appel de puissance ne suit pas une courbe régulière car les mises en route de la résistance électrique sont très espacées dans le temps et correspondent aux consommations d'eau des heures précédentes.

.. Répartition hebdomadaire et mensuelle de la consommation

La consommation d'eau chaude sanitaire pour les bureaux est assez stable au cours de l'année . On note cependant une légère hausse en hiver due à la diminution de la température d'arrivée d'eau froide et de la température intérieure des vestiaires.

Coût de l'usage

Le coût total de l'énergie pour cet usage est de 180 F par an. L'énergie dépensée annuellement est inférieure à 600 kWh. Plus de la moitié de cette consommation sert au maintien de la température de l'eau du ballon. Ceci correspond à environ 1 kWh/j, ce qui est propre soit à un ballon bien calorifugé, soit à une température de stockage assez basse. La résistance électrique fonctionne 1h30 à 2h00 une ou deux fois par jour en fonction des besoins.

Possibilités d'économie d'énergie

Compte tenu de la distance entre les vestiaires et le local du système frigorifique, il ne semble pas judicieux d'effectuer un raccordement au système de récupération de chaleur éventuellement mis en place.

En revanche, nous conseillons l'emploi d'un simple relais heures creuses afin d'autoriser le fonctionnement du chauffe-eau aux heures les moins chères. Ceci permet également de s'assurer que la résistance n'est jamais en fonction lors des appels maximaux de puissance du magasin (ce qui a été évité de seulement quelques minutes pendant la période de mesure).

Le gain financier est d'environ 25 % soit 50 F pour un investissement de 200 F amorti en 4 ans.

Si on considère que la résistance à un risque de fonctionner en pointe, le coût d'abonnement nécessaire au chauffe-eau passe alors à 170 F/an et le relais permet alors une économie de 220 F amortie en moins de 1 an.

4.7 ENTRETIEN-USAGES COMMUNS

4.7.1 Machine à café bureau

Fonctionnement

Le fonctionnement de la machine à café bureau présente les caractéristiques suivantes :

- dans 80 % des cas le café est préparé le matin entre 8 et 9H00
- la machine est ensuite laissée en marche jusqu'à 19H00
- elle est restée allumée 6 % des nuits de la période d'étude
- dans 70 % des cas elle a été arrêtée pendant la pause déjeuner.

Coût de l'usage

La machine consomme 118 kWh par an, ce qui correspond à 43 F (dont environ 10 % d'abonnement).

4.7.2 Chargeur batterie palette et autolaveur

Caractéristique des appareils

Ces appareils sont utilisés pour charger les batteries 24 V du transpalette et du nettoyeur-autolaveur.

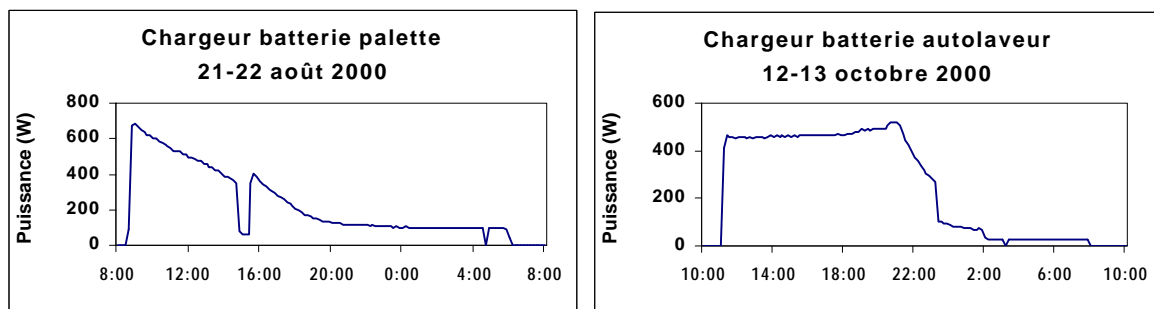


Figure 4.28 : description des cycles observés pour les chargeurs batteries palette et autolaveur

On remarque que les appareils sont en fonctionnement à 18H00, heure à laquelle se produit la pointe. Le rechargement des batteries s'effectue essentiellement en heures pleines. Une fois le rechargement effectué les chargeurs conservent une consommation de veille.

Le cycle de charge des batteries autolaveur se fait à puissance constante, contrairement au deuxième chargeur dont la puissance diminue au cours de la charge.

Lorsqu'elles sont vides, il faut compter environ 16 heures pour recharger intégralement les batteries du transpalette et 11 heures pour celles de l'autolaveur.

Coût de l'usage

Le chargeur batterie palette consomme annuellement 250 kWh, coûte 80 F par an (1 % d'abonnement) et le chargeur batterie autolaveur 308 kWh, correspondant à 138 F (30 % d'abonnement).

Solutions d'économies d'énergie

On pourrait imaginer réduire le coût de ces usages en chargeant les batteries la nuit. On diminuerait ainsi la puissance appelée en pointe et l'essentiel de la consommation serait effectué en heures creuses.

4.7.3 Compacteur

Caractéristique de l'appareil

Les compacteurs ont une contenance unitaire de 20 m³ et absorbent 5,5 kW chacun. Ils sont alimentés en triphasé.

Fonctionnement

Les mesures ont été effectuées sur un seul compacteur, car les deux appareils fonctionnent ensemble, de façon identique.

Le graphique 4.29 présente les variations quotidiennes observées en fonction du mois.

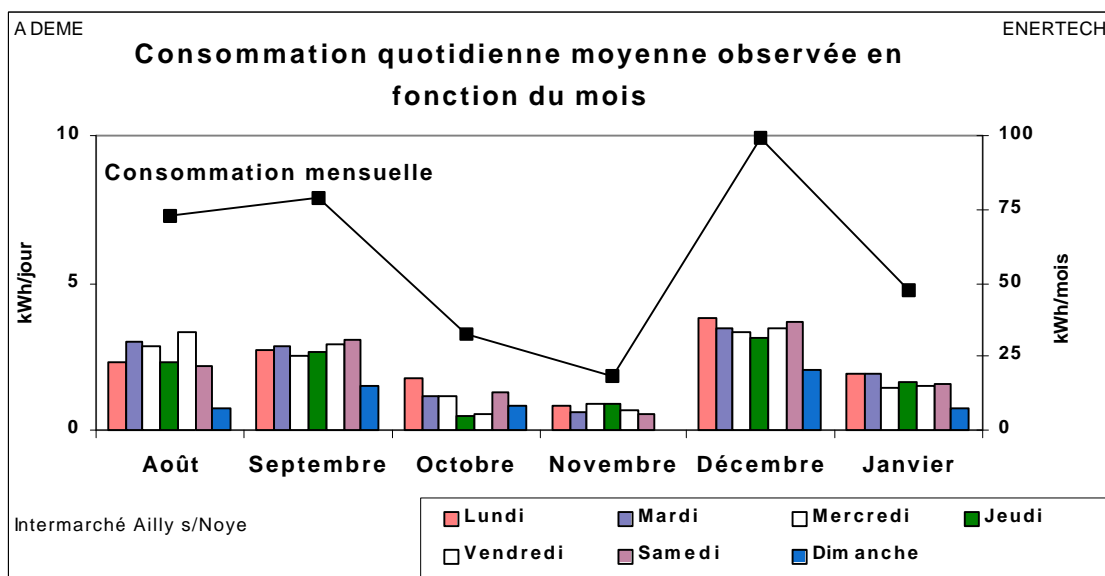


Figure 4.29 : Consommation moyenne observée par jour type et par mois pour les compacteurs

On peut faire les commentaires suivants :

- La consommation varie avec le mois, on observe par exemple un rapport de 1 à 5 entre les consommations des mois de novembre et décembre
- Le compacteur est utilisé tous les jours de façon pratiquement identique.

.. Répartition journalière

Le compacteur est resté en état de veille (40 ou 80W) plus de la moitié des nuits de l'étude.

Le graphique représente la répartition de la consommation globale au cours de la journée. Pour ce calcul on a enlevé le fonctionnement de veille.

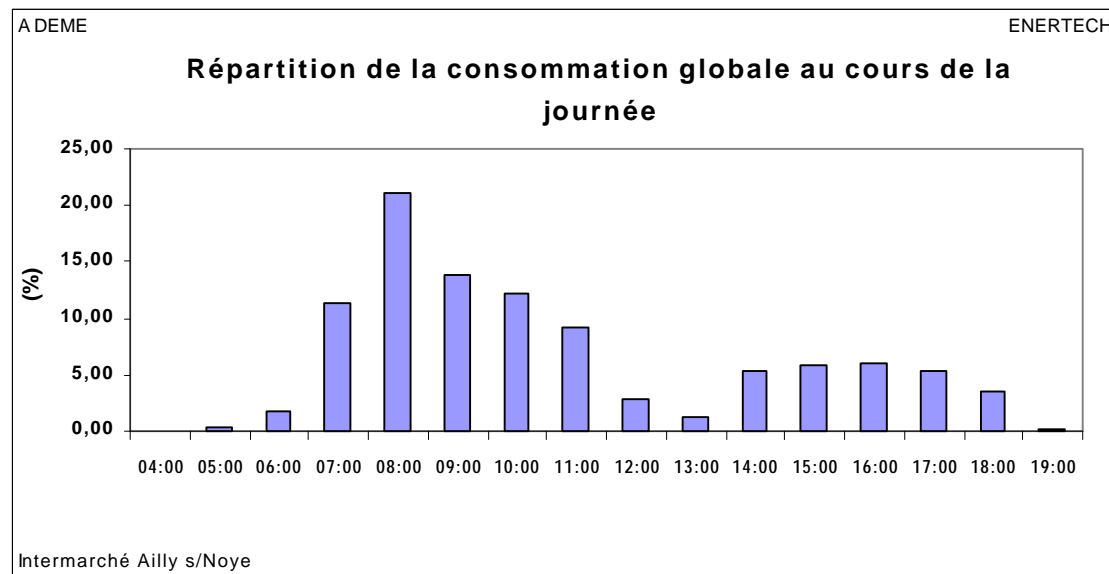


Figure 4.30 : répartition journalière de la consommation du compacteur (hors consommation de veille)

Le graphique entraîne les commentaires suivants :

- il est essentiellement utilisé le matin
- 20 % de la consommation du compacteur est réalisé le matin entre 8H00 et 9H00
- dans 5 % des cas le compacteur fonctionne au moment de l'heure de pointe (18H00)

Coût de l'usage

Le coût engendré par les deux compacteurs s'élève à 450 F, dont 28 F d'abonnement. La consommation annuelle est de 1380 kWh.

Solutions d'économie d'énergie

La consommation pourrait être réduite de 21 % si le compacteur était éteint de 20H00 à 6H00 et les jours fériés. On réaliserait alors une économie de 78 F.

Il serait également souhaitable de demander aux utilisateurs de ne jamais utiliser les 2 compacteurs en même temps et d'éviter les heures qui correspondent aux pointes de consommation du magasin. (Afin de diminuer le risque de dépassement de puissance souscrite).

CHAPITRE 5 : ANALYSE DE LA TENSION DU RESEAU

L'analyse exhaustive de la qualité de la tension d'alimentation du supermarché dépasse sensiblement le cadre de cette étude. Cependant, certains de nos appareils de mesures fournissant cette information, il nous a semblé utile de porter notre attention sur ces données.

5.1 VARIATION DE LA TENSION MESUREE SELON LA PUISSANCE APPELEE PAR LE MAGASIN

Le graphique de la figure 5.1 illustre les variations de tension observées un jour ouvrable d'août 2000 pour les appareils équipés d'enregistrement de tension (en monophasé).

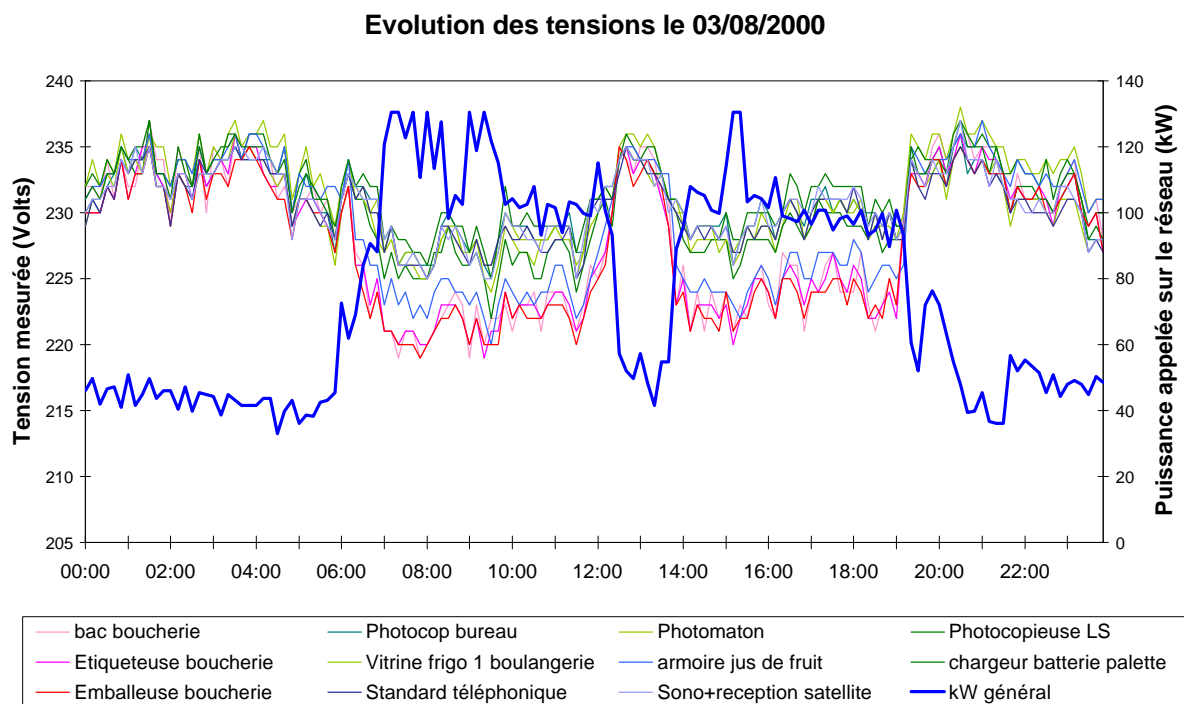
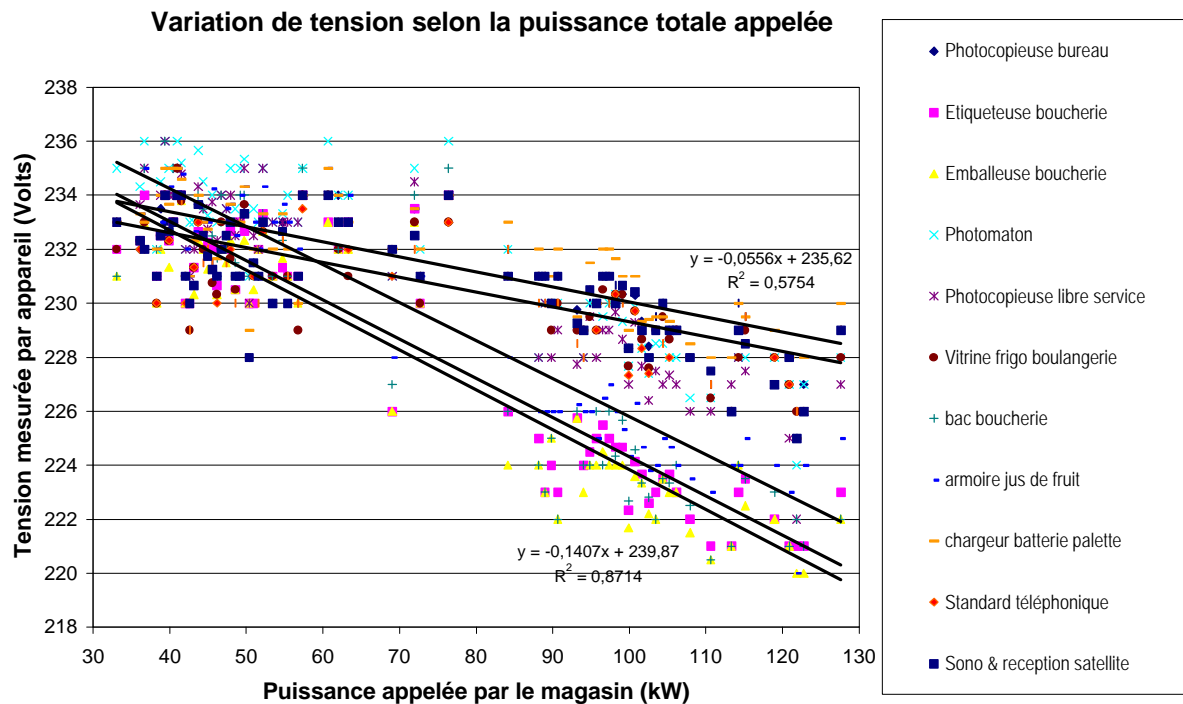


Figure 5.1 : évolution au cours la journée du 03/08/2000 de la tension aux bornes de différents appareils et de la puissance appelée par le magasin

On constate une baisse notable de la tension dès que la puissance absorbée augmente, à la mise en fonction des éclairages notamment. Chaque pic de puissance appelée se traduit par une diminution de la tension mesurée. Cependant, la baisse n'est pas identique pour l'ensemble des appareils (voir figure 5.2). Pour certains, la baisse est faible (environ 1 Volt par 10 kW). Pour d'autres, en particulier ceux qui sont situés dans la zone boucherie, la baisse est plus importante (2.5 volts par 10 kW).

Ces résultats prouvent que les chutes de tension sont essentiellement imputables aux pertes dans les câbles et bornes d'une part entre le compteur et le tableau principal (ligne enterrée d'environ 250 mètres) et d'autre part entre le tableau et les appareils, notamment pour

ceux situés dans la zone boucherie. Il n'est toutefois pas exclu qu'un déséquilibre fort des phases soit également présent.



5.1.1 Pertes internes au magasin

La chute de tension entre la zone boucherie (notamment les appareils installés à l'intérieur du laboratoire boucherie) et le reste du magasin est directement liée à la mise sous tension des éclairages Boucherie Œuf Fromage, alimentés par le même sous tableau électrique.

Le graphique 5.3 montre que l'écart moyen passe de 0.9 volts à plus de 6.5 volts (par phase soit 2.8 % de chute) lorsque les éclairages sont en fonction.

La puissance de ces éclairages atteignant environ 10 kW en triphasé 400V, la perte dans le câble de raccord et les contacts entre le tableau principal et le sous tableau boucherie est de :

$$6.5 * \sqrt{3} / 400 * 10 = 280 \text{ Watts}$$

Ces pertes impliquent une dépense annuelle de 500 F compte tenu des durées pendant lesquelles elles se produisent.

Il faut noter d'autre part que si elles sont localisées dans des mauvais contacts, elles peuvent être à l'origine d'échauffements dangereux.

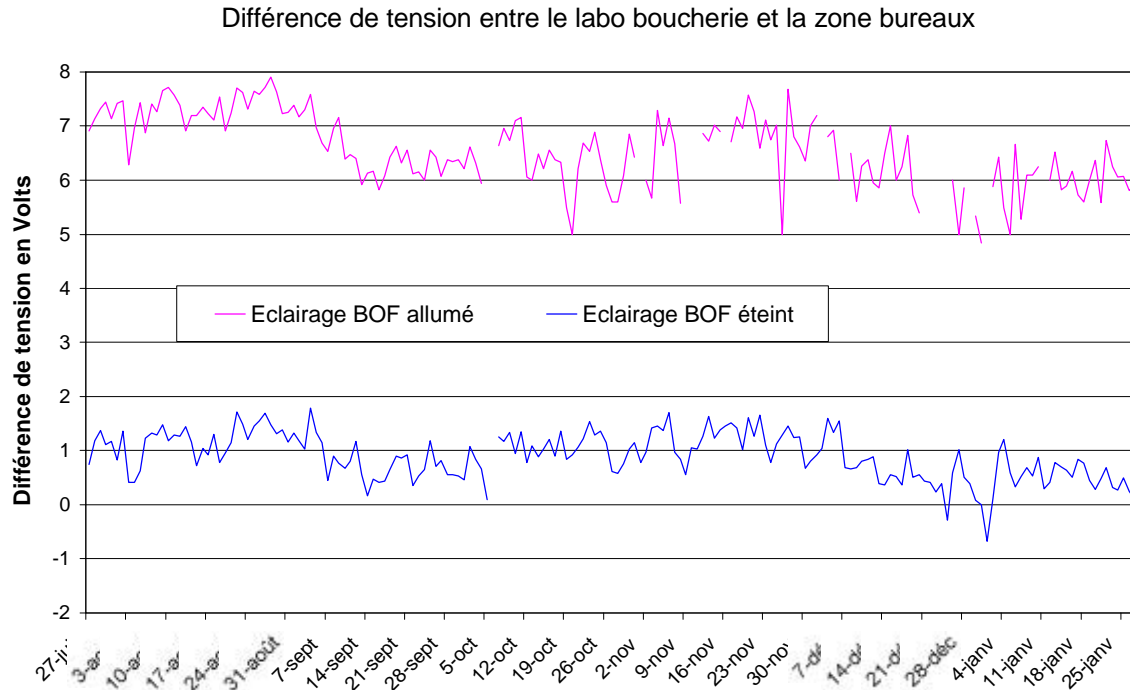


Figure 5.3 : Différence de tension observée entre le laboratoire boucherie et les bureaux

Comme le montre le graphique 5.4, la situation est identique pour les gondoles frigorifiques présentant les steaks hachés.

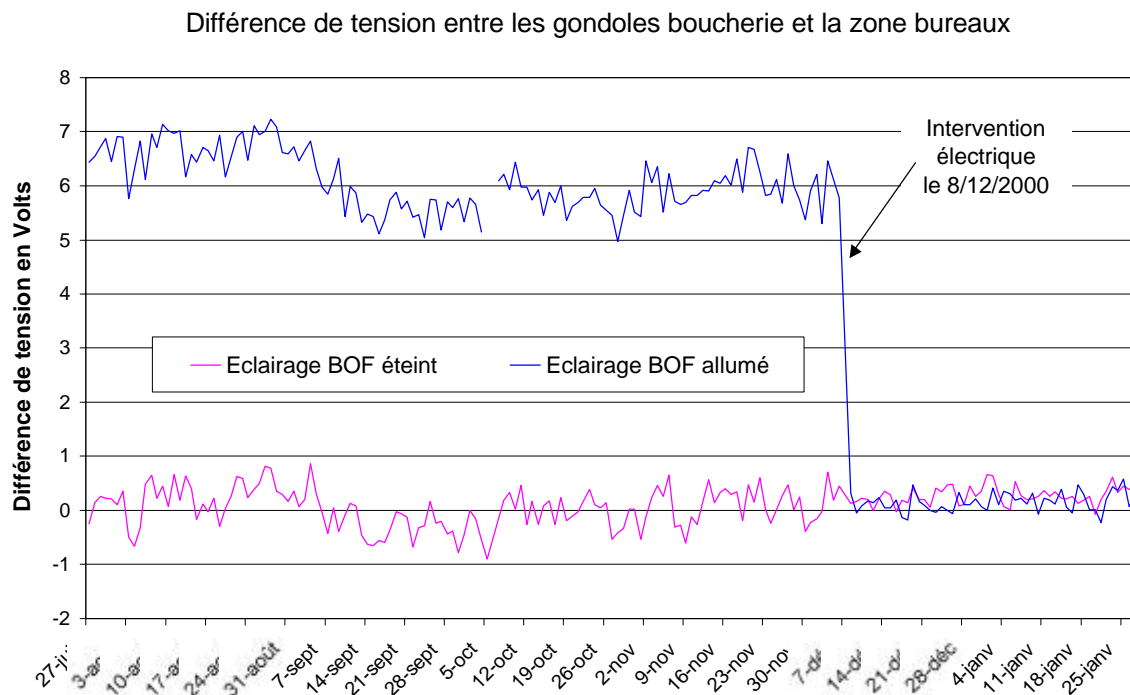


Figure 5.4 : Différence de tension observée entre les gondoles boucherie et les bureaux

Cependant, il semble qu'une modification de branchement ait eu lieu vers le 8/12/2000 car la chute de tension a alors brusquement disparu. La tension moyenne d'alimentation des bacs (éclairage allumé) qui s'élevait à 221.8 Volts est alors remontée à 226 Volts. En revanche, la tension enregistrée dans les bureaux a subi lors de cette intervention une baisse de 227.9 à 226.2 Volts. L'intervention a probablement consisté à modifier les phases d'alimentation d'appareils. Nos mesures ne permettent pas de savoir quelle phase alimente un appareil déterminé monophasé et en conséquence, à quelle phase se rapporte nos mesures de tension.

5.1.2 Pertes entre le poste de comptage et le magasin

Pour l'ensemble du magasin, la chute de tension par phase entre le poste de comptage et le tableau principal peut être estimée à 5 volts environ lorsque la puissance appelée avoisine 90 à 100 kW (magasin ouvert) et 1 volt pour 40 kW de puissance consommée (nuit). Cette perte représente donc en moyenne 2.2 % de la consommation de jour et 0.4 % de nuit soit environ 5000 F d'électricité par an. En pointe, la perte est bien plus importante car elle évolue avec le carré du courant appelé et donc, en première approximation, de la puissance appelée. Ainsi, pour une puissance de 140 kW (soit environ 180 kVA - ou encore la puissance actuelle souscrite compte tenu du $\cos \varphi$ moyen de pointe de 0.77) cette perte dépasse 4.3 %. Elle représente 6 kW.

En diminuant les consommations électriques, par exemple par les moyens proposés dans le paragraphe précédent, on réduit automatiquement les pertes dues aux chutes de tension dans les câbles. En effet, le courant y circulant est réduit.

Citons comme exemple l'amélioration proposée pour l'éclairage général du magasin : sa puissance passe de 23.5 kW (29.8 kVA) à 11kW (11 kVA). On économise ainsi 18.7 kVA ce qui permet de réduire les pertes entre poste comptage et magasin de 20 % en pointe. Ce calcul est légèrement optimiste car il ne tient pas compte du fait qu'en pointe, la tension d'alimentation des appareils est diminuée par les pertes. La plupart des appareils voient alors leur consommation (ainsi que le service rendu) diminuer. Ceci est particulièrement vrai pour les éclairages dont la puissance est réduite de 1 % pour chaque volt de diminution de tension d'alimentation monophasée.

En définitive, une division par 2 des consommations du magasin et un $\cos \varphi$ de 0.9 (amélioration possible notamment grâce aux ballasts électroniques), permettrait de réduire de 85 % les pertes dans les câbles et contacts sans entraîner de dépenses supplémentaires, soit une économie d'environ 250 F /an.

CHAPITRE 6 : ETUDE DES CONSOMMATIONS DE GAZ

Le chauffage de l'aire de vente est assuré par des brûleurs radiants alimentés actuellement en propane. Les bureaux sont chauffés par des radiateurs électriques.

Le gaz de ville est à présent distribué sur la commune d'Ailly Sur Noye et le passage en gaz naturel est prévu lors de l'agrandissement du magasin.

Actuellement, le propane est livré en fonction des besoins et facturé à chaque livraison. L'exploitant ne dispose d'aucun compteur. C'est pourquoi il ne nous a pas été possible de mesurer en détail les consommations de gaz. Les seules données disponibles concernent les factures du fournisseur. Le récapitulatif des factures de l'année 2000 est le suivant :

date	tonnes de propane livré	Montant Total FHT
03/01/2000	1,263	3662,7
15/02/2000	2,219	7100,8
16/03/2000	0,789	2524,8
31/03/2000	0,801	2563,2
04/05/2000	0,448	1433,6
30/11/2000	1,436	6246,6
15/12/2000	0,557	2422,9

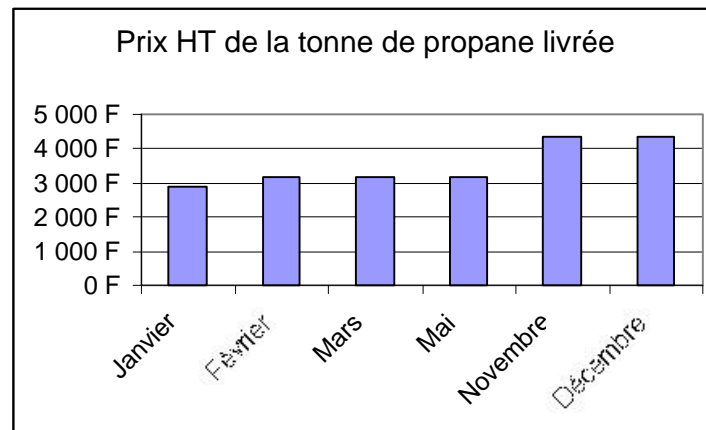
La consommation de propane ramenée à une année entière atteint 8 tonnes soit 111 000 kWh_{pcs} de gaz (Pouvoir Calorifique Supérieur) . Mais il est très difficile d'estimer les performances thermiques de l'enveloppe du supermarché, car :

- le chauffage radiant obéit à des lois complexes très différentes du chauffage traditionnel

- il y a de nombreux apports gratuits constitués par la présence des personnes, par la consommation électrique, mais on ne connaît pas le niveau de ces apports ni leur taux de récupération.

La détermination de la consommation de chauffage du supermarché ne rentre pas dans le cadre de cette étude. On peut néanmoins penser que la qualité de l'enveloppe du bâtiment, faute de contraintes réglementaires, n'est probablement pas très bonne. Seule la nature du chauffage (radiant plutôt que convectif) est favorable sur cette opération.

Le coût total annuel hors taxe du propane est d'environ 28 500 F correspondant à un prix moyen de 3525 F par tonne ou 0.256 F / kWh_{pcs}. A noter la très forte évolution du prix de vente de la tonne de propane au cours de l'année 2000 :



Compte tenu de la faible dépense que représente le poste de chauffage, il semble difficile de réaliser des économies notables avec un temps de retour satisfaisant. Il conviendra simplement de s'assurer que la programmation des appareils est effectuée correctement et que l'horloge est bien mise à l'heure. Les observations faites sur la consommation électrique des appareils de chauffage portent à croire que cela n'a pas toujours été le cas. D'autre part, un nettoyage des réflecteurs de brûleurs radiants pourrait apporter un léger gain de rendement et permettre d'améliorer le confort pour les occupants.

Enfin, le passage au gaz de ville permettra une division par 2 des coûts de combustible rendant par là-même encore plus incertaine toute mesure d'économie d'énergie concernant le chauffage.

CHAPITRE 7 : FAISABILITE D'UTILISATION D'UN MODULE DE COGENERATION

Le magasin présente des consommations élevées d'électricité et de chauffage susceptibles de justifier l'utilisation d'un module de cogénération (production simultanée d'électricité et d'eau chaude avec un rendement global très important) permettant d'assurer tout ou partie de ces dépenses. En outre, un tel module permettrait d'assurer l'alimentation de secours du magasin en cas de panne de courant. Il serait alors également possible de bénéficier d'un tarif vert EJP en assurant totalement la consommation électrique du magasin pendant les jours de pointe.

Les besoins d'énergie sous forme de chaleur sont essentiellement constitués par les dépenses de chauffage de l'ambiance du magasin. Les consommations d'eau chaude sanitaire, comprenant la station de lavage, le chauffe-eau boucherie et le chauffe-eau des bureaux, représentent quant à elle moins de 5 % de la consommation totale d'électricité du magasin.

Ainsi, les besoins en chaleurs sont très faibles en été et en hiver, n'atteignent que rarement la puissance souscrite électrique actuelle du magasin (180 kVA)

Les modules de cogénération produisent entre 1.5 et 3 fois plus de chaleur que d'électricité. C'est pourquoi le dimensionnement du module est fortement limité par les possibilités d'utilisation de la chaleur. Un module prévu pour assurer la totalité de consommation électrique lors des jours de pointe assurerait alors une production de chaleur d'au moins 270 kW dont seule une très faible part pourrait être utilisée. En outre, la chaleur serait produite à température relativement basse (<90°C) ce qui compliquerait son utilisation pour le chauffage du magasin. La solution actuelle par générateurs radiants à haute température et placés en hauteur est bien plus performante car elle évite de chauffer un énorme volume d'air dans la partie haute du magasin.

Le choix d'un module de cogénération d'environ 50 kW thermique et 25 kW électrique serait le plus approprié. Si l'on souhaite utiliser la totalité de la chaleur produite, son utilisation annuelle n'excédera pas 1000 heures par an (durée pendant laquelle la température extérieure est inférieure à 7° et le magasin chauffé). Le rendement global du module étant approximativement identique à celui du système de chauffage actuel, l'économie provient du fait que le module produit 25 kW électrique au prix de l'énergie gaz, soit un gain d'environ 35 centimes par kWh. Annuellement, l'économie atteint environ 8750 F.

L'investissement à prévoir est d'environ 350 kF pour le module de cogénération auquel il convient d'ajouter l'installation des aérothermes de soufflage d'air chaud.

Conclusion

Au terme de cette étude consacrée à l'analyse du fonctionnement des appareils électriques d'un supermarché non climatisé, on observe, par comparaison avec d'autres mesures, que le magasin instrumenté ne se classe pas parmi les plus gaspilleurs. Non, au contraire, certains équipements comme l'éclairage extérieur sont gérés avec parcimonie, et la climatisation n'existe pas, preuve que la direction est sensibilisée aux dépenses d'énergie.

Dans ce contexte, deux usages apparaissent comme extrêmement dominants : à eux seuls le froid et l'éclairage représentent 80 % de la consommation électrique totale.

Les améliorations qui ont été proposées sont nombreuses. On devrait ainsi pouvoir réduire d'un tiers la consommation du poste froid, et de moitié celle du poste éclairage. Ces améliorations sont souvent techniquement simples, mais nécessitent parfois des équipements qui, sans être pour autant complexes, ne sont pas présents sur le marché, faute d'une demande suffisante.

La seconde source importante d'améliorations consiste à récupérer une partie de la chaleur rejetée par le groupe froid positif. Cette solution pourrait assurer à moindre frais le chauffage de l'eau sanitaire nécessaire à la boucherie ainsi que l'alimentation en eau chaude de la station de lavage à haute pression.

Enfin une troisième source d'économie très simple, basée essentiellement sur quelques petits travaux électriques spécifiques à certains appareils (détecteurs antivol des caisses, emballeuse du laboratoire boucherie...) permettraient des réductions notables de consommation pour des investissements très faibles. Une plus grande vigilance devrait aussi être apportée au réglage des horloges afin d'assurer par exemple que les dégivrages électriques ne se produisent en aucun cas simultanément ou encore lorsque les éclairages du magasin sont en marche. Des gains importants de puissance souscrite pourraient être mobilisés par ce type d'action.

Globalement, la mise en place des principales solutions proposées dans ce rapport (les solutions non encore éprouvées étant bien entendu exclues), pourrait engendrer une économie de 37 % de la consommation électrique du supermarché. Pour un investissement total de 233 000 F HT, le montant de la facture EDF serait ainsi réduit de 40 %, ce qui conduirait à un temps de retour global de 2,5 ans. La diminution de la puissance souscrite dépasserait 60 %.

La plupart des techniques performantes préconisées peuvent être généralisées à l'ensemble des surfaces de vente. Dans certains cas, leur mise en œuvre pourrait être rendue très délicate par le fait de contraintes techniques particulières. Dans d'autres, elles pourraient bénéficier de conditions plus favorables et s'avérer encore plus rentables. Des diagnostics semblent nécessaires pour évaluer au cas par cas les solutions les plus avantageuses.

Mais, là comme ailleurs, nous pensons que ce serait une erreur sur l'opération d'Ailly sur Noye de ne retenir que les solutions les plus rentables aujourd'hui.

En effet, la Maîtrise de la Demande d'Electricité est en France encore au stade de l'intention. Il n'existe pas véritablement de marché, c'est à dire de demandes et d'offres en niveau suffisant. Il est frappant d'observer que pour de nombreux matériels, le problème n'est souvent pas technique : le produit existe, mais il a été retiré du catalogue faute de demandes. Probablement était-il jugé trop cher, à tort ou à raison, certainement à cause de ventes insuffisantes....

Il est également frappant d'observer que, pour apporter des solutions MDE aux équipements des supermarchés, nous avons eu recours plus souvent à des documents techniques venant des Etats-Unis qu'à des documents établis en France. Ceci traduit aussi le faible engouement des bureaux d'études pour cette fameuse Maîtrise de la Demande d'Electricité.

La France n'est donc manifestement pas encore dans l'engrenage de la MDE. Celle-ci n'apparaît ni comme une démarche énergétiquement logique, ni comme une démarche économique. Et ceci se traduit par une absence de demande induisant une absence d'offre sérieuse.

Dans ces conditions, nous voudrions proposer de faire de l'opération d'Ailly s/Noye une opération expérimentale de grande ampleur, un laboratoire de mise au point et d'évaluation des technologies performantes de la MDE pour les grandes surfaces.

Cette solution aurait de multiples intérêts :

- d'abord confirmer les gisements d'économie qui ont été calculés. Ceci permettra d'asseoir les calculs économiques de façon fiable dans les opérations futures de rénovation,

- affronter les difficultés de la mise en oeuvre de solutions nouvelles, parfois expérimentales, et surtout dans un bâtiment en état de fonctionnement (il n'y a pas d'arrêt du magasin pour ce type de travaux),

- amorcer une demande en exprimant clairement une volonté, celle de s'engager dans la MDE et plus seulement d'en parler. Ce signal clair est très attendu par les professionnels. Il doit émaner à la fois de donneurs d'ordre que sont les exploitants de grandes surfaces, mais aussi de l'ADEME,

- établir et valider des règles de bonne conception des opérations d'amélioration. L'opération constituera également une référence, un modèle à visiter. Elle contribuera ainsi grandement à diffuser les technologies de MDE dans le secteur.

Dans notre esprit, les travaux doivent être suivis d'une courte période d'instrumentation permettant de valider par mesure l'ensemble des acquis. Il faut en effet prendre l'habitude et se donner les moyens d'évaluer les opérations expérimentales afin d'en tirer pleinement parti. Ces mesures permettront de fournir des gisements d'économie très précis.

En conséquence, le financement de cette opération devra être exceptionnel et ne pas reposer exclusivement sur l'exploitant. L'idée que celui-ci met seulement ses locaux et matériels à disposition d'une expérimentation est celle qui doit prévaloir. L'objectif est scientifique et technique avant tout, et ceci justifie qu'une part importante du financement soit extérieure à l'exploitant.

Enfin, beaucoup d'innovations paraissent très prometteuses, notamment dans le domaine du froid. La diminution du surcoût qu'elles induisent passe souvent par une généralisation de leur usage dans la fabrication des matériels. Les performances obtenues pourraient constituer des atouts conséquents, en particulier à l'exportation. C'est pourquoi des actions spécifiques devraient être entreprises avec les fabricants concernés pour promouvoir la recherche et des diminutions de coûts dans ce domaine ■

ANNEXE 1 : BILAN DES SOLUTIONS D'ECONOMIE PROPOSEES

Appareil	Solutions mises en œuvre	Economie abonne- ment	Economies sur les consommations		Economie financière	Investis- sement	Temps de retour	Modification
		(kVA)	(%)	(kWh par an)	(F/an)	(F/an)	(ans)	
Froid +	- rideau de nuit - détendeur électronique (HP flottante)	12,5	42%	79019	19 660	84 000	4	technique
Froid -	- rideau - optimisation dégivrage - réglage des périodes de dégivrage	40	29%	30648	19 840	23000	1,2	technique tarif
Eclairage principal	Modification des luminaires	18,49	54%	52052	22230	54250	2,4	technique
Eclairage boucherie-fromage	Modification des luminaires	1,7	59%	4067	1309	4175	2,3	technique
Eclairage meubles de froid	Modification des luminaires	5,2	60%	17600	7800	25600	3,3	technique
Eclairage rayon fruits et légumes	Modification des luminaires	1,45	59%	1962	1073	3400	3,2	technique
Eclairage laboratoire boucherie	Utilisation de luminaires performants	0,25	59%	650	670	2000	3	technique
Eclairage boulangerie	Utilisation de lampes basse consommation	0,2	78%	658	270	250	0,9	technique
Eclairage auvent extérieur	Utilisation de projecteur à décharge	0,5	72%	2292	707	2000	2,8	technique
Eclairage station de lavage	Utilisation de projecteur à décharge	0,4	10%	1300	1000	1200	1,2	technique
Eclairage station essence	Utilisation de projecteur à décharge	1,45	50%	5875	2000	6000	3	technique
Eclairage chambre froide	Détecteur de présence	0	80%	453	1250	500	2,5	technique
Antivol des caisses	commande simultanée de l'éclairage des caisses et de l'antivol	0	87%	4766	1300	1000	0,8	technique
Emballeuse boucherie	Commande manuelle ou horloge journalière	0,35	57%	1640	444	200	0,5	technique
Station de lavage	Récupération sur groupe froid positif	11,5	75%	12988	9150	25000	2,7	technique
Chauffe eau boucherie	Récupération sur groupe froid positif	1	80%	1646				
Chauffe eau bureau	Horloge journalière	0,6	25%	145	50	200	4	tarif
Pertes en ligne	- Réduction du courant appelé - Amélioration du cos phi	6	1.3%	7860	5000	0	0	technique
TOTAL :		102 kVA	37%	225 621 kWh	93 753 F	232 775 F	2,5	

Solutions par modification du comportement ou par câblage électrique simple.

Appareil	Solutions mises en œuvre	Economie réalisée/an		
		(%)	(kWh)	(F)
Vitrine jus de fruit	éteindre la lumière en dehors des heures d'ouverture	35%	438	106
Vitrine boulangerie	éteindre la lumière en dehors des heures d'ouverture	8%	36	9
Eclairage réserve	éteindre la nuit	20%	491	138
Eclairage bureau	éteindre la nuit	20%	274	100
Eclairage couloir bureau	éteindre la nuit	47%	44	12
Photocopieuse libre service	éteindre la nuit	67%	1202	348
Onduleur	éteindre les écrans des ordinateurs la nuit	8%	492	128
Installation de sonorisation	éteindre la nuit	57%	138	40
Tapis de caisse	éteindre la nuit	28%	80	22
Compacteur	éteindre après usage.	21%	290	78
TOTAL :			3485kWh	981,00 F

Il pourrait être intéressant de distribuer dans tous les sous tableaux du magasin un signal électrique actif lorsque le magasin est en fonction. Des relais permettraient alors facilement d'éteindre tous les appareils non nécessaires en dehors de ces périodes et d'activer les appareils (chauffe-eau, dégivrages électriques..) sans risque de dépasser la puissance souscrite. Une seule horloge hebdomadaire est alors utilisée et facile à contrôler.

ANNEXE 3 : FICHES DESCRIPTIVES DES APPAREILS