# Etude des consommations électriques de la cuisine du lycée Jules Guesde (Montpellier)

## Rapport final

**Septembre 2009**

**ENERTECH**
**26160 Félines/Rimandoule - France**
**Tél : +33- 4 75 90 18 54**
**Email : contact@enertech.fr**
**Site : http://www.enertech.fr**

# Sommaire

*Sommaire* ..... *2*
*Partie I : Présentation* ..... *3*
I.1 Description du projet ..... 3
I.1.1 Objet ..... 3
I.1.2 Méthodologie ..... 5
I.1.3 Description des appareils de mesures ..... 8
I.1.4 Méthode d'annualisation des consommations ..... 10
*Partie II : Structure par usage de la consommation électrique* ..... *11*
II.1 Répartition de la consommation ..... 11
II.2 Etude de la pointe de puissance ..... 13
*Partie III : Etude détaillée des divers appareils* ..... *16*
III.1 LE POSTE FROID ..... 16
III.1.1 Consommation ..... 16
III.1.2 Puissance ..... 16
III.1.3 Etude détaillée des chambres froides ..... 18
III.1.4 Solution d'économies d'électricité ..... 19
III.2 LE POSTE CHAUD ..... 26
III.2.1 Consommation ..... 26
III.2.2 Puissance ..... 26
III.2.3 Solutions d'économies d'électricité ..... 27
III.3 LE POSTE LAVAGE ..... 30
III.3.1 Consommation ..... 30
III.3.2 Puissance ..... 30
III.3.3 Fonctionnement d'un lave vaisselle ..... 31
III.3.4 Solutions d'économies d'électricité ..... 32
III.4 LE POSTE VENTILATION ..... 35
III.4.1 Consommation et puissance ..... 35
III.4.2 Solutions d'économies d'électricité ..... 35
III.5 LE POSTE ECLAIRAGE ..... 37
III.5.1 Consommation ..... 37
III.5.2 Puissance ..... 38
III.5.3 Solutions d'économies d'électricité ..... 39
III.6 LES APPAREILS DIVERS ..... 41
III.6.1 Consommation ..... 41
III.6.2 Puissance ..... 41
III.6.3 Possibilités d'économies d'électricité ..... 42
*Partie IV : Résumé des préconisations* ..... *44*
*Partie V : Conclusion* ..... *49*

# Partie I : Présentation

## I.1 DESCRIPTION DU PROJET

### I.1.1 Objet

L'objet de cette étude est de fournir, à partir de données mesurées, des **informations détaillées** concernant les **consommations** et **puissances** des **cuisines collectives** des lycées. Ce rapport détaille notamment la répartition par usage des consommations et des puissances électriques appelées au moment de la pointe. Les mesures appareil par appareil permettent aussi de donner une indication des divers coefficients de foisonnement (puissance appelée par un appareil au moment de la pointe sur sa puissance nominale). Cela permettra de faciliter le dimensionnement des futures cuisines construites / rénovées. Nous établissons ensuite des préconisations visant à réduire la consommation d'énergie des divers équipements.

Nous avons suivi en 2003 les consommations électriques de la cuisine du lycée Mermoz dans le cadre d'une campagne de mesures détaillée portant sur l'ensemble de cet établissement. Comme on le voit sur le graphique de la figure 1.1 la restauration représente 14 % du total.

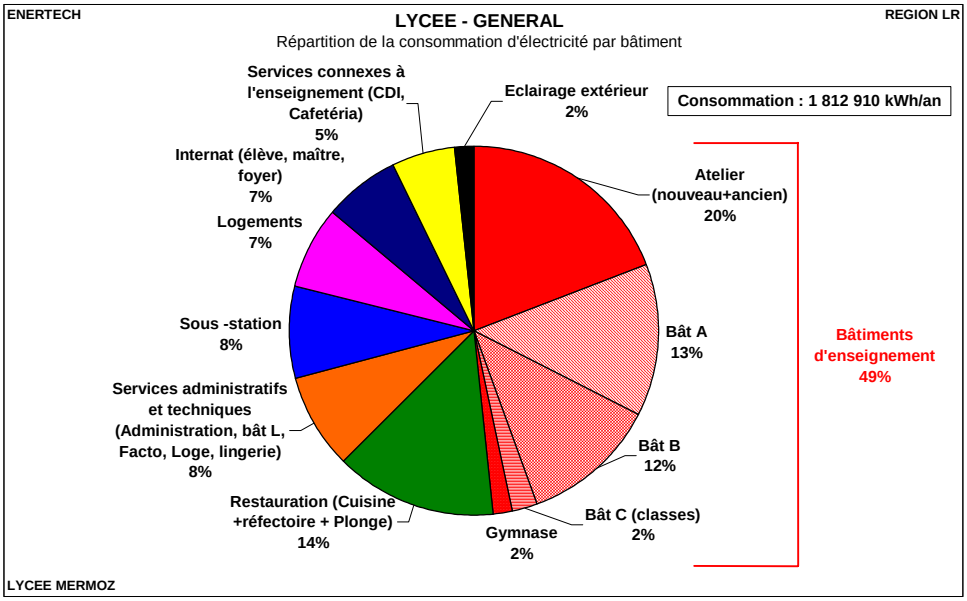



***Figure 1.1 : Répartition de la consommation d'électricité par bâtiments du lycée Mermoz***

La cuisine n'est donc pas la fonction la plus consommatrice de ce lycée. Cependant on ne peut pas généraliser cette observation et ce pour plusieurs raisons :

1- Ce lycée est une très grande entité regroupant des enseignements très variés et pour certains très consommateurs (notamment les ateliers)
2- Cet établissement ne possède pas des équipements très performants sur le plan énergétique, notamment en terme d'éclairage ce qui fait que cet usage reste prépondérant (20W/m² contre 5W/m² pour les derniers lycées construits).

Dans le cadre de la mission « évaluation » demandée par la Région en fin de chantier, des données ont également été récoltées pour un lycée récemment construit (lycée Jean Jaurès). Ce lycée possède des consommations électriques très inférieures à la plupart des autres établissements régionaux. Dans ce

dernier, l'installation d'éclairage ayant été optimisée, la consommation du bâtiment restauration représente près de 30% de la consommation totale du lycée.

Enfin, nous avons récemment établi par simulation la répartition des consommations d'énergie d'un bâtiment d'enseignement (collège) optimisé. Comme on le voit sur le graphique de la figure 1.2, lorsqu'on met en oeuvre l'ensemble des solutions énergétiquement les plus efficaces connues, la fonction restauration représente plus de la moitié de la consommation en énergie primaire du bâtiment. Cet exemple montre à quel point il est maintenant indispensable de proposer des solutions pour diminuer les consommations de cette entité, peu étudiée jusqu'à présent.

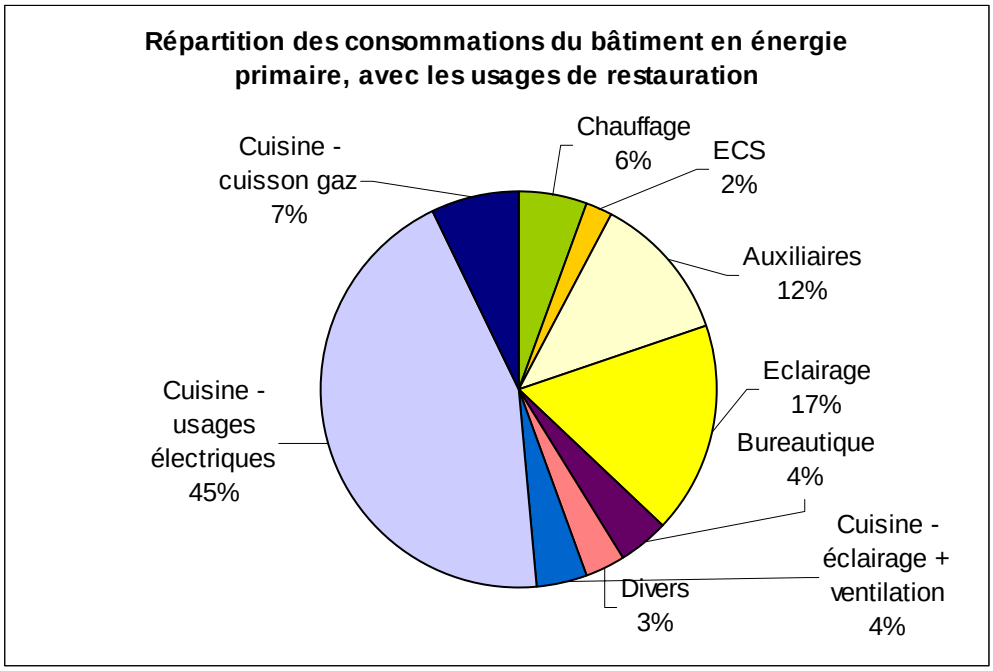



***Figure 1.2 : Répartition de la consommation d'énergie (primaire) d'un bâtiment d'enseignement performant (résultats issus de simulation)***

Cependant la réduction de consommation n'est pas l'unique raison qui pousse à agir sur l'efficacité énergétique des cuisines. En effet, les appels de puissance de la fonction restauration au moment de la pointe deviennent très importants. Le graphique de la figure 1.3 indique la part de la cuisine au moment de la pointe pour les lycées Mermoz et Jaurès.

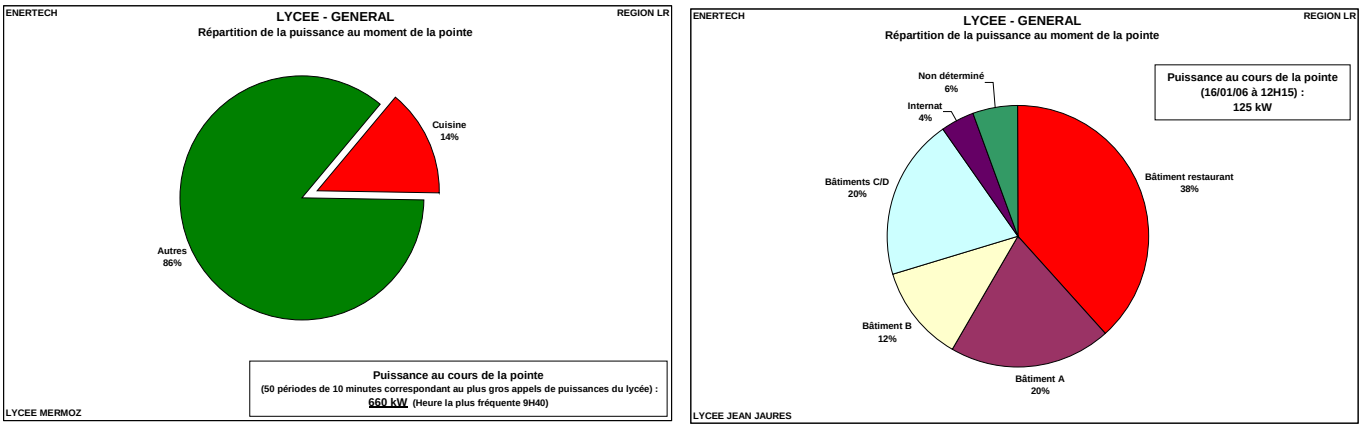



***Figure 1.3 : Répartition des puissances appelées au moment de la pointe pour les lycées Mermoz et Jaurès***

On voit que pour les lycées les plus récents l'heure de pointe a changé. Ainsi jusqu'à récemment, l'appel maximal de puissance avait lieu en début de matinée, moment où le besoin d'éclairage artificiel en hiver est important. Lorsque l'installation d'éclairage est optimisée (cas du lycée Jaurès), elle a lieu à l'heure du repas et la restauration représente alors plus du tiers de la puissance totale appelée par l'établissement.

Il devient de ce fait essentiel d'optimiser la consommation de cette fonction car la non maîtrise de ce poste entraîne :

1- Le besoin d'un abonnement tarif vert au lieu de jaune (nécessité alors pour le lycée d'avoir son propre transformateur)
2- Un coût d'abonnement accru.

A notre connaissance aucune étude globale n'a encore été menée sur cette question alors qu'on voit qu'elle est et sera, dans les lycées neufs d'aujourd'hui, essentielle.

### I.1.2 Méthodologie

L'ensemble des départs de la cuisine du lycée Jules Guesde a été suivi du 11/02/2009 au 23/03/2009 soit 40 jours. Durant cette période, on compte 12 jours de vacances scolaires. Au total, 148 mesureurs ont été installés. Ils ont enregistré des données au pas de temps de 10 minutes. Le tableau suivant reprend l'ensemble des départs électriques suivis :

| | |
|---|---|
| Armoire cuisine patisserie | Adoucisseur |
| | Alim bab coffret couteaux D16 |
| | Alim bab D14 |
| | Alim générale armoire cuisine patisserie |
| | Armoire chauffante D13 |
| | Batteur D15 |
| | Batteur mélangeur |
| | Extraction |
| | Four Frima |
| | Four Zanusi |
| | Patisserie bab tableaux travail |
| | PC cuisine D5 |
| | PC II + bab (D12) |
| | PC tri coté armoire élec |
| | Preparation froid coté couteaux D20 |
| | Preparation froid D21 |
| | Préparation froide |
| | Sauteuse D10 |
| | Sauteuse D11 |
| | Sauteuse D9 |

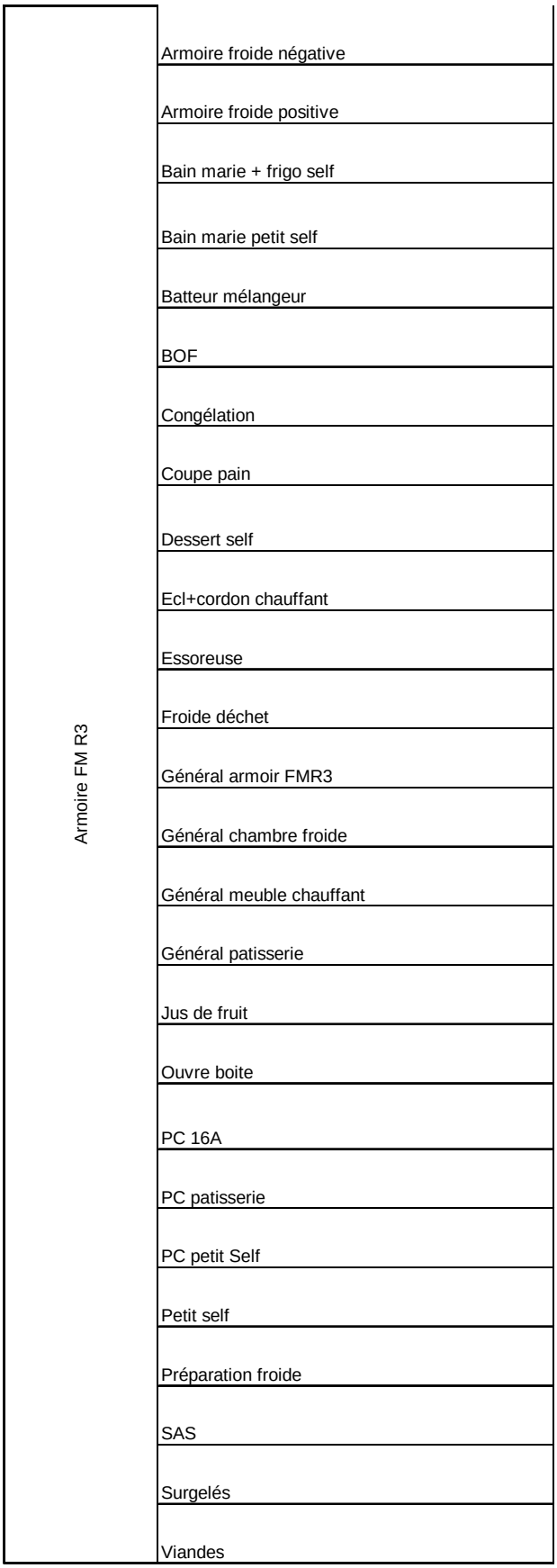



***Figure 1.4 : Détails des divers départs électriques suivis***

De plus nous avons enregistré pour l'ensemble des chambres froides :

- La température intérieure
- Les cycles d'ouverture/fermeture de portes
- Les durées d'éclairage

## I.1.3 Description des appareils de mesures

### I.1.3.1 Le système multivoies

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

- Le concentrateur qui permet d'effectuer une prise de tension
- Les modules équipés de TOR flexibles permettant la mesure du courant
- Un palm permettant la programmation de l'ensemble

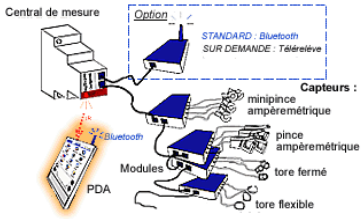



***Figure 1.5 : Principe de fonctionnement du système multivoies***

### I.1.3.2 Le thermomètre

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

***Figure 1.6 : Photographie d'un thermomètre***

### I.1.3.3 Le lampemètre

La mesure de l'éclairage sur les foyers lumineux à puissance constante est faite à l'aide de lampemètres. Le lampemètre (figure 1.7) est un enregistreur électronique de dimensions très réduites (5 x 2,5 x 1,5 cm) qui s'installe à proximité immédiate de chaque point lumineux à évaluer. Il possède un capteur optique pour la détection des durées d'allumage de ces appareils ce qui permet un montage très rapide sans intervention sur les circuits électriques. Il suffit de le fixer à proximité de la lampe à analyser et de diriger le capteur vers la source lumineuse. Un voyant clignotant indique alors si le capteur est correctement positionné.
Seules les durées de fonctionnement sont enregistrées. Il est donc nécessaire, lors de la pose, de mesurer par ailleurs les puissances des appareils d'éclairage (supposées constantes sur toute la durée de mesure). On multiplie ces puissances par les durées enregistrées afin de connaître les consommations d'énergie.

***Figure 1.7 : Photographie d'un lampemètre***

### I.1.3.4 Le feuilluremètre

Le feuilluremètre est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites qui fonctionne selon le même principe que le lampmètre. Il enregistre, les dates de début de d'ouverture de porte ainsi que les dates de fermeture. Il possède deux parties conductrices placées sur le support de la porte, à l'endroit ou vient s'encastrer le joint. Sur le joint, on installe un élément conducteur qui entre en contact avec les parties conductrices décrites précédemment lorsque la porte est fermée. L'appareil enregistre donc les événements de superpositions des deux parties conductrices.

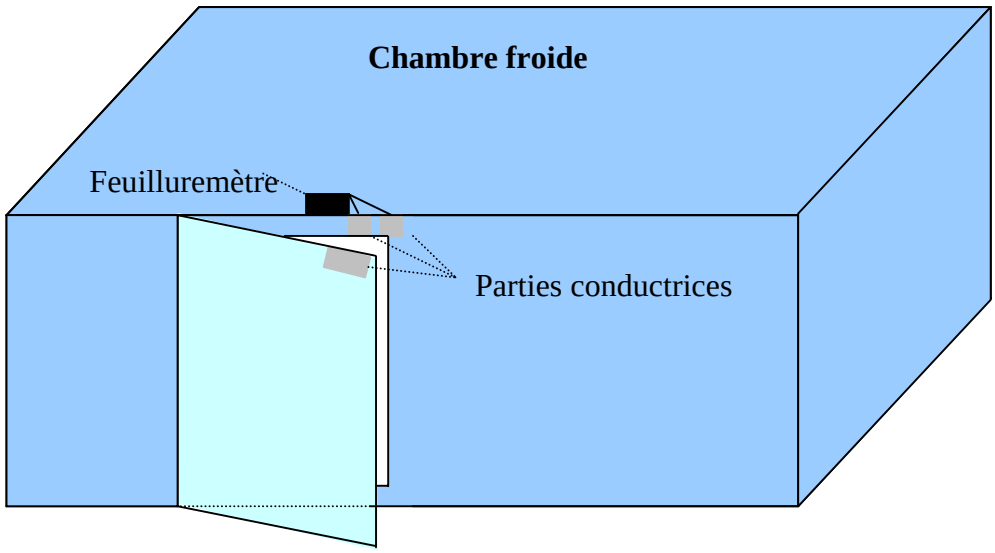



***Figure 1.8 : Schéma d'installation d'un feuilluremètre***

### I.1.4 Méthode d'annualisation des consommations

Toutes les données récoltées ont été placées dans une base de données relationnelle permettant un traitement aisé des informations.
Les mesures ont été effectuées pendant 40 jours, il est donc nécessaire d'extrapoler les valeurs mesurées pour obtenir une consommation annuelle.

La méthode employée pour l'extrapolation se décompose de la façon suivante :

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

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

$$E(t) = \sum_{t=10/02/2010h}^{t=11/02/20090h} P(t) \quad [\text{kWh}]$$

avec
E(t) : consommation annuelle de l'usage
P(t) : puissance moyenne (kW) calculée à l'étape 1

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

- Le profil de consommation pour chaque jour type (sur la période de mesures)
- La consommation annuelle (en kWh)
- La puissance maximale observée au cours de la période de mesure
- La puissance observée au moment de la pointe de la cuisine
- La moyenne des puissances observées pendant les 10 appels maximaux de la cuisine

*NB : nous n'avons pas pris en compte de coefficient de saisonnalité. On fait l'hypothèse que le comportement observé pendant les vacances de février est celui qui s'applique pendant toutes les vacances scolaires (y compris celles d'été).*

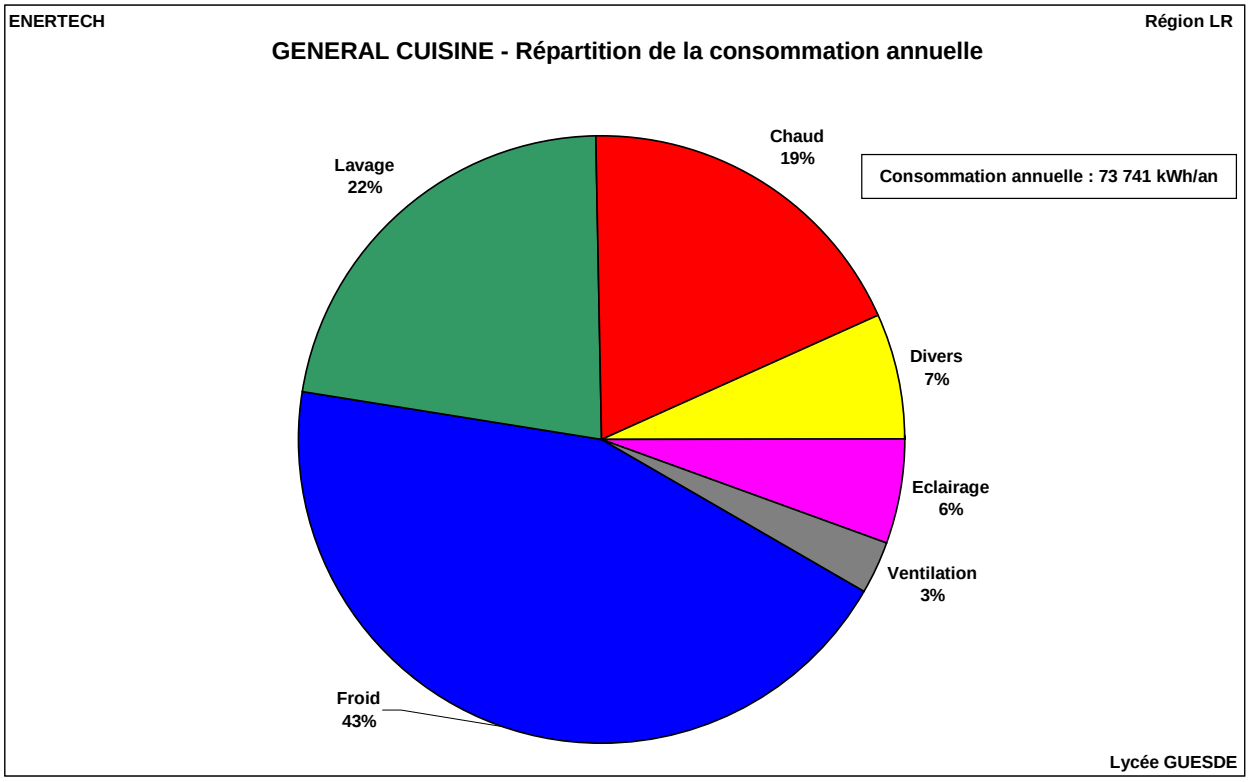
# Partie II : Structure par usage de la consommation électrique

## II.1 REPARTITION DE LA CONSOMMATION

Sur le graphique de la figure 2.1, nous avons représenté la répartition de la consommation annuelle par usage des cuisines des lycées Guesde et Mermoz. Nous remarquons que ces répartitions sont proches. Dans les deux cas, le poste froid couvre plus de 40% de la consommation annuelle. Si on lui ajoute le lavage on obtient près des deux tiers du total. Dans le cas du lycée Guesde le poste cuisson est plus important du fait de l'utilisation d'un four électrique.

La consommation électrique moyenne par repas vaut 530 Wh pour le lycée Mermoz (cuisine centrale qui prépare des repas pour plusieurs établissements) et 810 Wh pour le lycée Guesde.

On comprend immédiatement que pour réduire la consommation électrique des cuisines il est impératif d'agir sur le poste froid. En effet, si on ajoute à ce poste le cordon chauffant (permettant d'empêcher la formation de glace qui viendrait bloquer la porte de la chambre froide négative) et l'éclairage des chambres froides, l'usage froid représente 51% de la consommation.



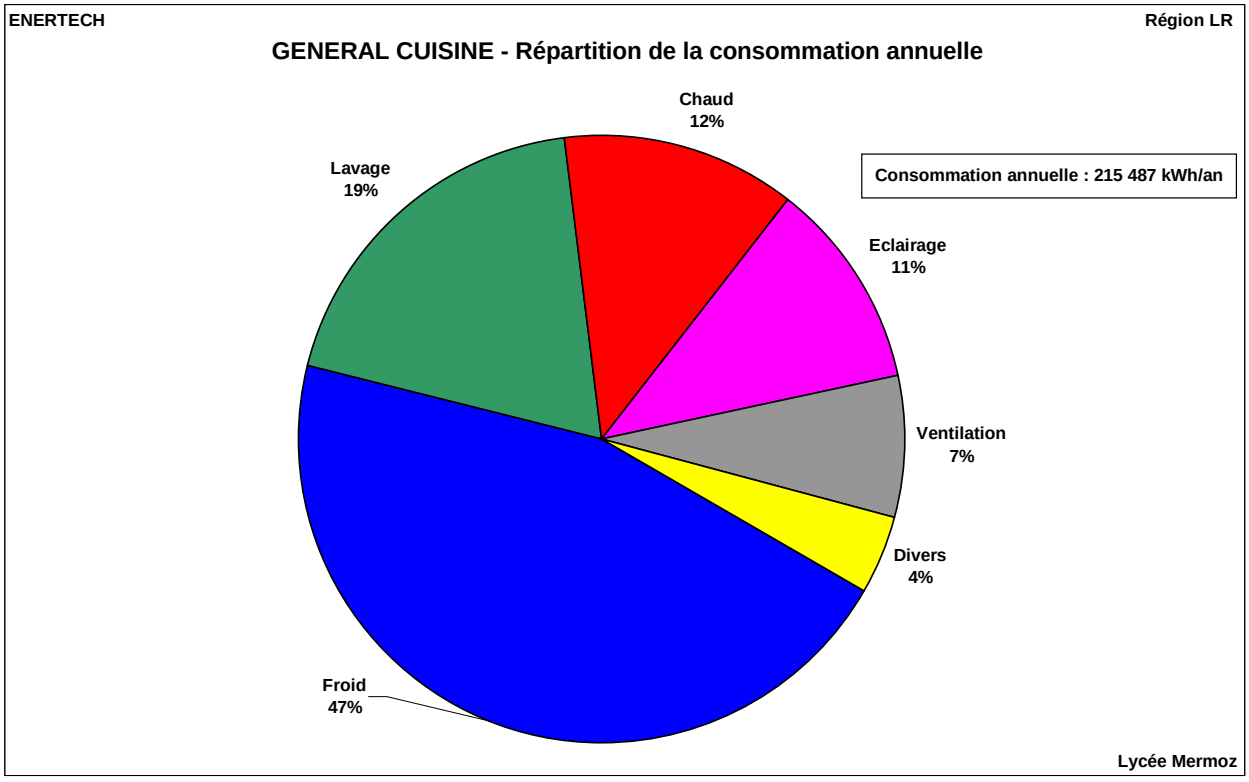




***Figure 2.1 : Répartition de la consommation annuelle par usage – Lycées Guesde et Mermoz***

Sur la figure 2.2 on a fait figurer les 17 départs les plus consommateurs de la cuisine du lycée Guesde. Ils représentent 90% de la consommation totale. Les deux premiers (lave vaisselle et chambre froide négative) correspondent à 28% du total et si on ajoute les deux suivants (four et appareils de froid du local pâtisserie) on obtient la moitié de la consommation de la cuisine.
Il est donc clair que l'action devra en priorité porter sur les postes froid et lavage.

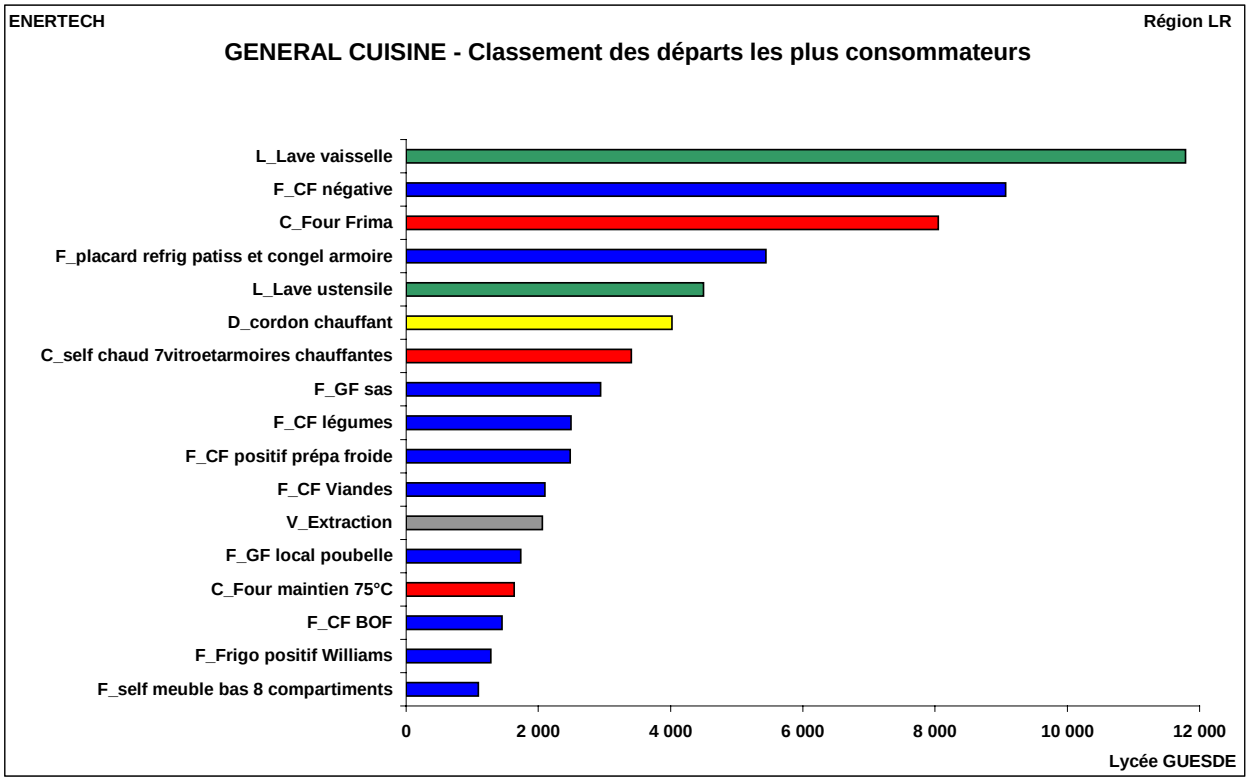



***Figure 2.2 : Classement des départs les plus consommateurs***

## II.2 ETUDE DE LA POINTE DE PUISSANCE

La dernière rénovation lourde de la cuisine suivie date de 1992. Il est donc très difficile de trouver des informations précises concernant les équipements installés. Certains appareils n'ont pas de plaques signalétiques et les documentations techniques n'ont pas été conservées par le lycée. Nous avons donc été obligés de considérer lorsque nous n'avions pas d'autres indications que la puissance nominale de l'appareil était la puissance maximale appelée pendant la période de mesures. De ce fait, le coefficient de foisonnement défini comme la puissance appelée par l'appareil au moment de la pointe sur sa puissance nominale est dans ce cas surestimé. Cela s'applique tout particulièrement au poste divers.

Sur le graphique de la figure 2.3, on représente la puissance appelée par les différents usages de la cuisine. On voit que la puissance totale installée est de l'ordre de 200 kW. Rappelons que cette valeur est sous estimée car on ne connaît pas la puissance nominale de tous les équipements. La puissance maximale appelée par la cuisine vaut 143 kW, ce qui signifie que le coefficient global de foisonnement de la cuisine serait de 0,72. Attention cette valeur ne doit pas être retenue du fait de l'incertitude de l'estimation de la puissance totale installée en cuisine.

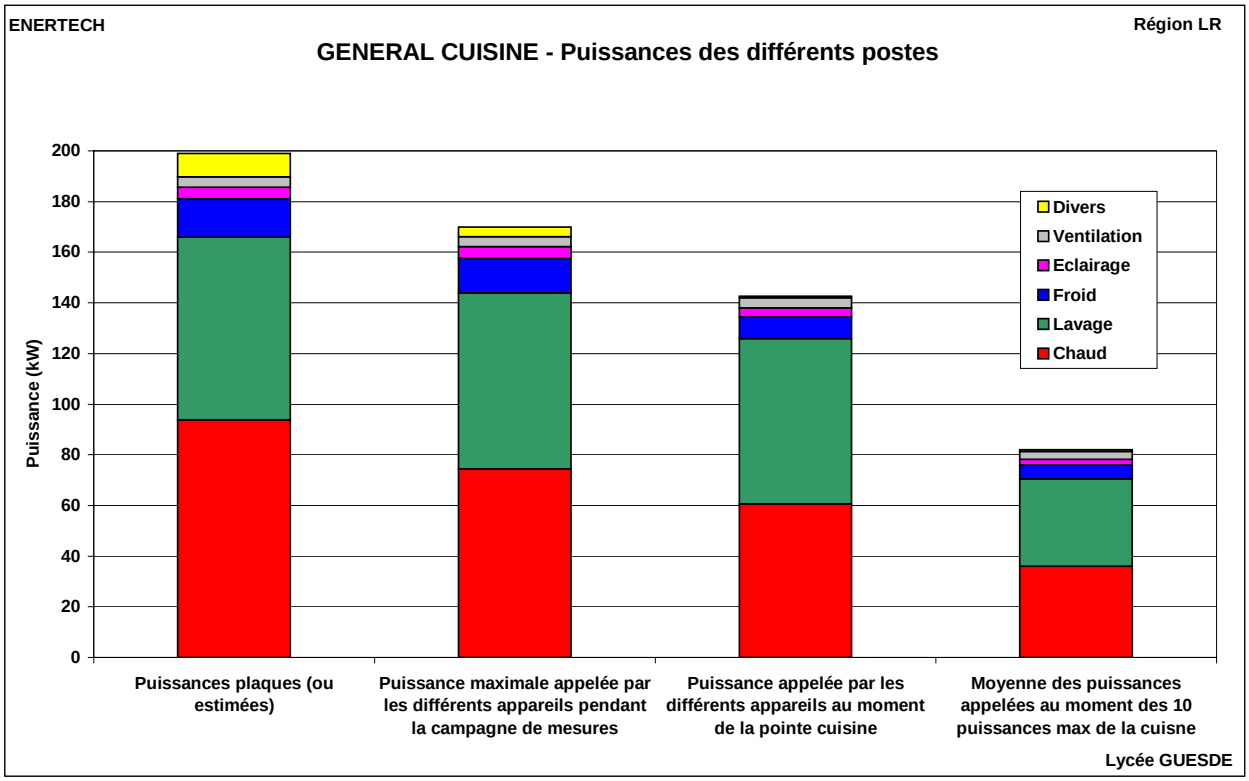



***Figure 2.3 : Etude des puissances électriques des différents postes de la cuisine***

La pointe cuisine a eu lieu le lundi 02 mars à 10H40. Le graphique de la figure 2.4 donne la répartition de la puissance appelée à ce moment-là.

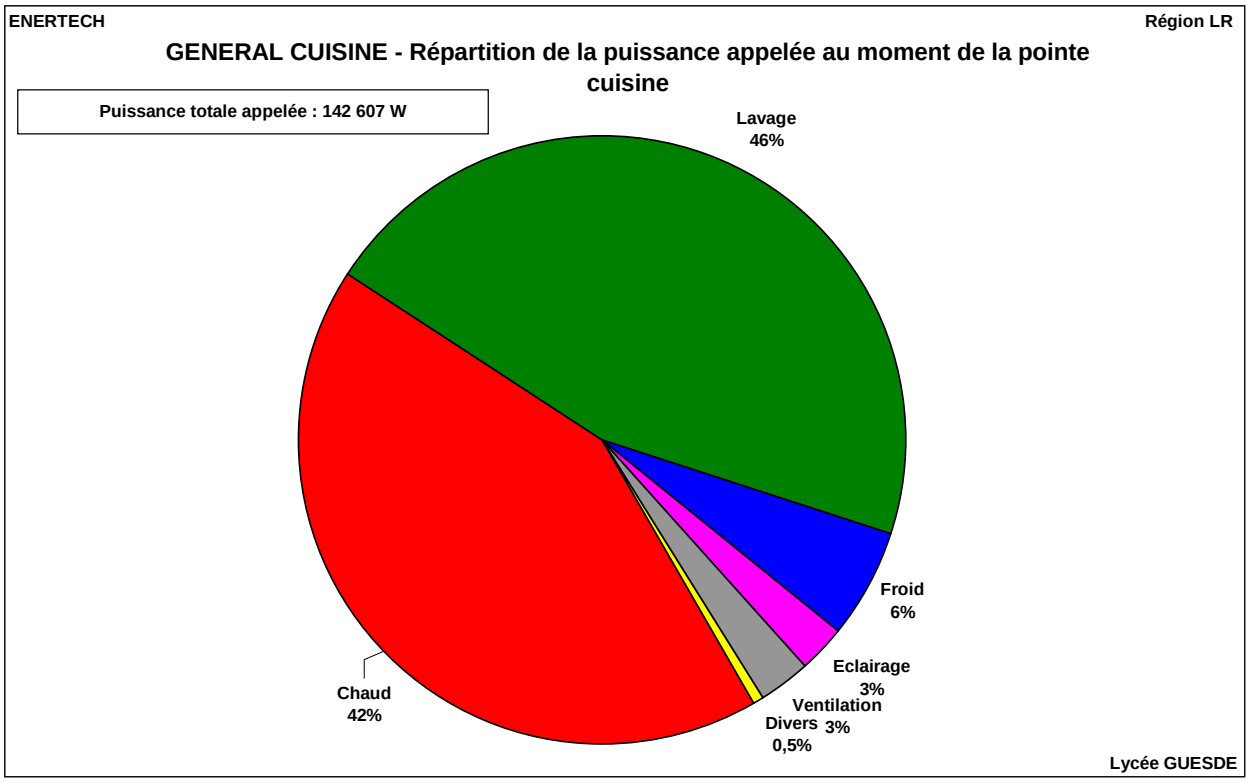



***Figure 2.4 : Répartition entre les différents usages de la puissance appelée au moment de la pointe cuisine***

Les postes chaud et lavage représentent près de 90% de la puissance de pointe. La part du poste divers est pratiquement nulle.
Dans le tableau de la figure 2.5, on donne les coefficients de foisonnement des différents usages au moment de la pointe. Attention les coefficients des postes froid et divers sont probablement surestimés du fait du manque d'information pour ces appareils.

| Usage | Coefficient de foisonnement | Par de l'usage lors de la pointe cuisine |
|---|---|---|
| Lavage | 0,90 | 45,8% |
| Chaud | 0,65 | 42,5% |
| Froid | 0,56 | 6,0% |
| Eclairage | 0,80 | 2,6% |
| Ventilation | 0,97 | 2,8% |
| Divers | 0,07 | 0,5% |

***Figure 2.5 : Coefficient de foisonnement des différents usages au moment de la pointe cuisine***

Si on veut réduire la puissance appelée en pointe il faut donc agir prioritairement dans ce lycée sur les appareils de cuisson et de lavage.

Le graphique de la figure 2.6 représente la puissance des départs appelant 90% de la puissance totale de la cuisine. La somme des lave vaisselle, lave ustensile et four couvrent les trois quarts de la puissance.

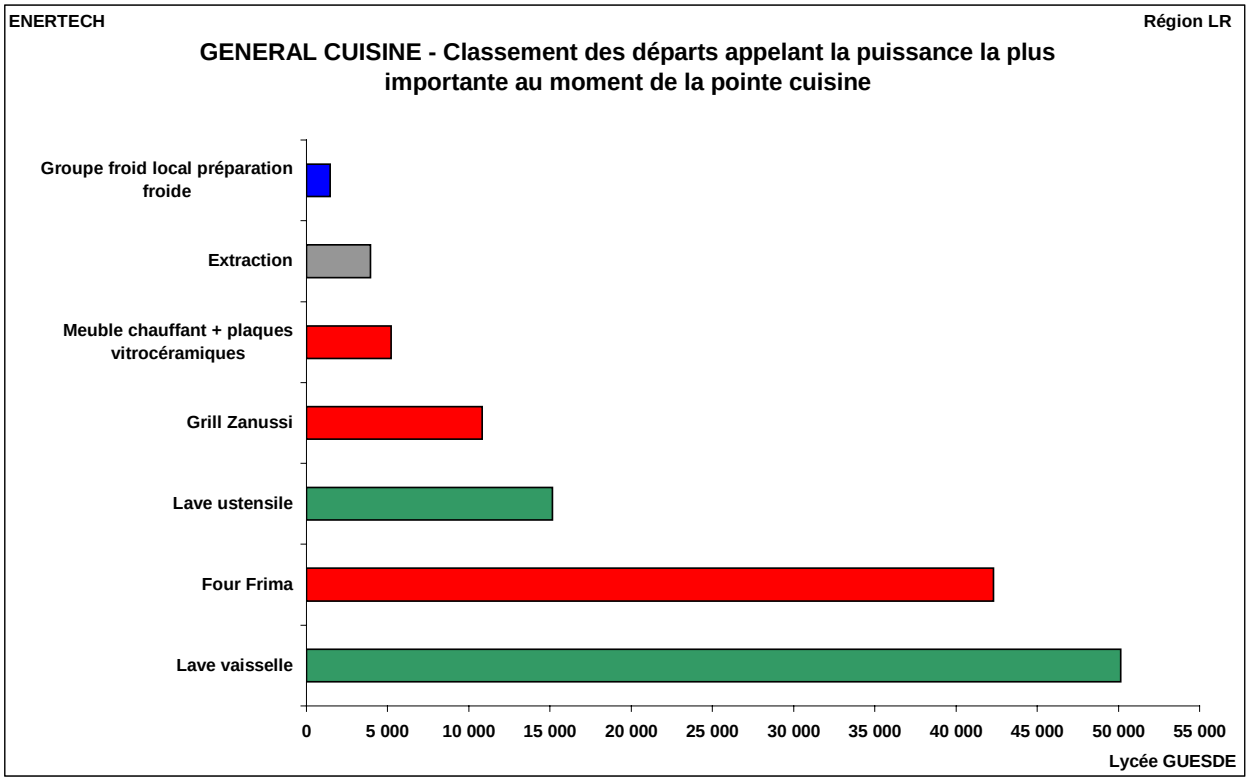



***Figure 2.6 : Appareils appelant la puissance la plus importante au moment de la pointe cuisine***

# Partie III : Etude détaillée des divers appareils

## III.1 LE POSTE FROID

### III.1.1 Consommation

Avec 47% de la consommation de la cuisine, le froid est l'usage le plus consommateur. Les chambres froides représentent 63% du total dont 28% pour la seule chambre froide négative (37% en comptant le sas d'accès à cette dernière). On remarque aussi que la consommation du groupe froid du local poubelle représente 5% du total. Cela paraît élevé étant donné la fonction de cette pièce.

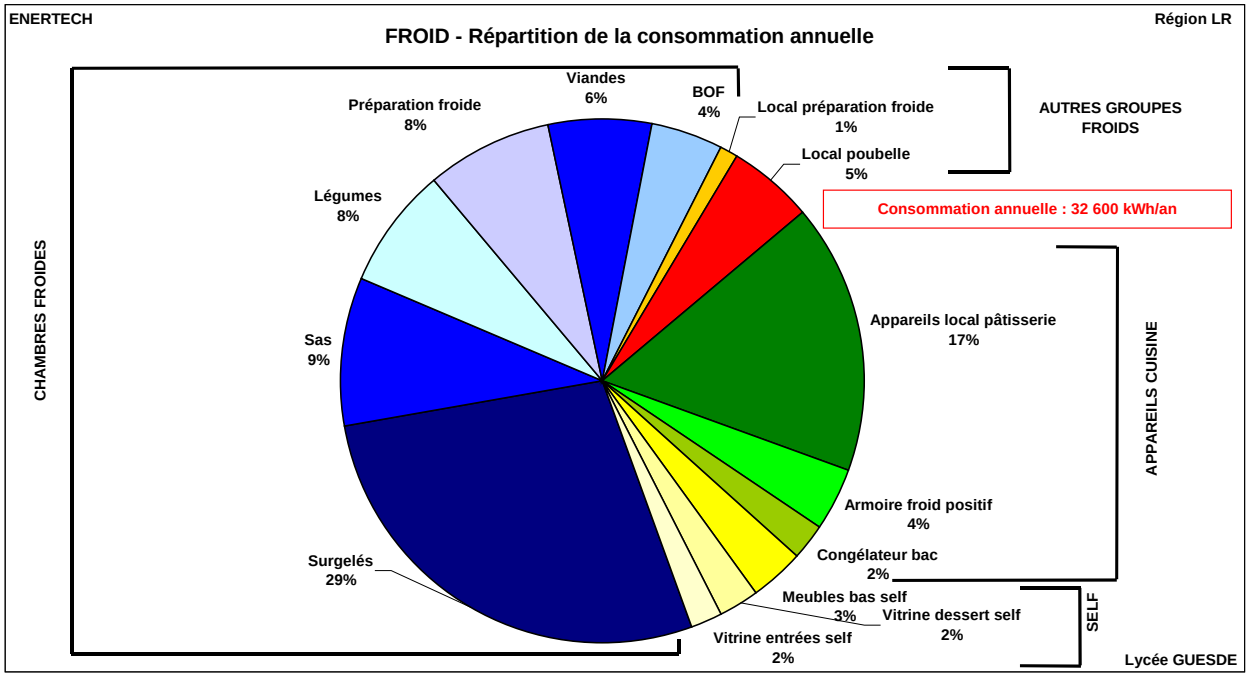



***Figure 3.1 : Répartition de la consommation annuelle du poste froid***

### III.1.2 Puissance

Comme on le voit sur le graphique de la figure 3.2, la répartition en puissance au moment de la pointe cuisine est différente de celle de la consommation. Les chambres froides représentent « seulement » 47% du total.

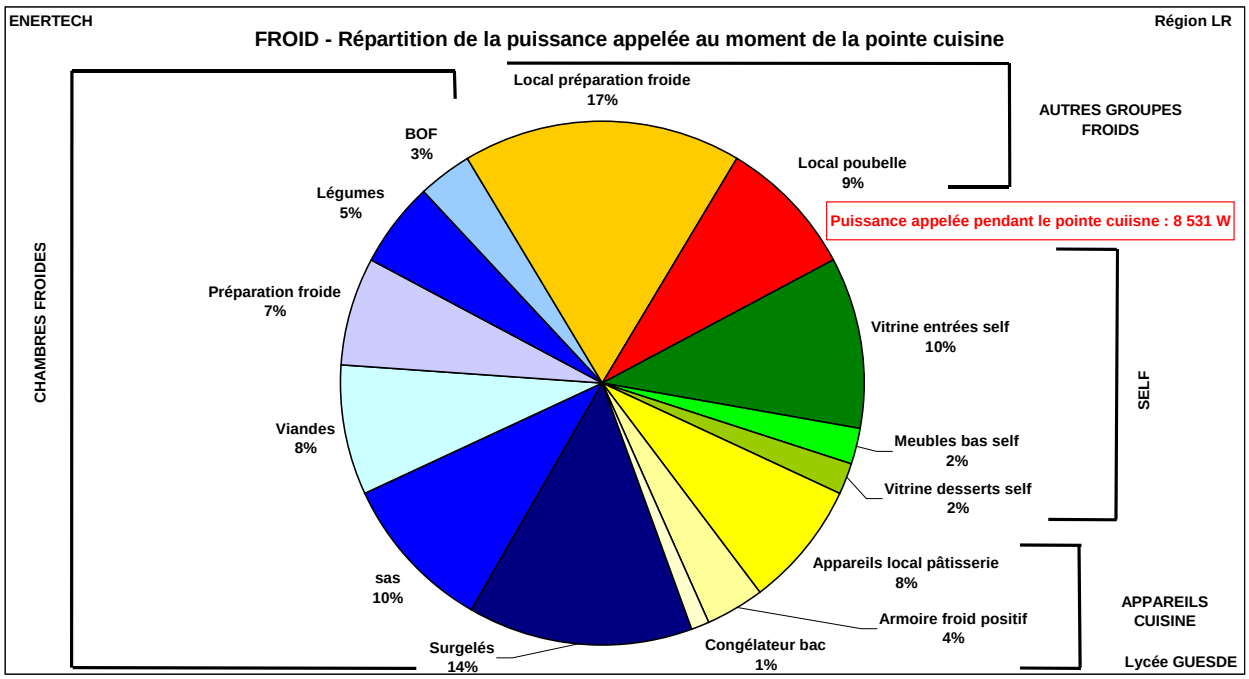



***Figure 3.2 : Répartition de la puissance appelée par le poste froid au moment de la pointe cuisine***

Le tableau de la figure 3.3 donne les coefficients de foisonnement des différents composants du poste froid.

| | | Coefficient de foisonnement |
|---|---|---|
| Chambres froides | Surgelés | 0,90 |
| | sas | 0,87 |
| | Viandes | 0,84 |
| | Préparation froide | 0,57 |
| | Légumes | 0,57 |
| | BOF | 0,38 |
| Autres groupes froids | Local préparation froide | 0,50 |
| | Local poubelle | 0,91 |
| Self | Vitrine entrées self | 0,63 |
| | Meubles bas self | 0,40 |
| | Vitrine desserts self | 0,13 |
| Locaux cuisine | Appareils local pâtisserie | 0,59 |
| | Armoire froid positif | 0,21 |
| | Congélateur bac | 0,89 |

***Figure 3.3 : Coefficients de foisonnement des composants du poste froid***

### III.1.3 Etude détaillée des chambres froides

Le schéma de la figure 3.4 décrit les divers composants d'une chambre froide qui sont :

- L'évaporateur qui est un échangeur de chaleur fonctionnant à basse pression. Il évapore le fluide frigorigène en absorbant la chaleur de l'enceinte à refroidir.
- Le condenseur qui est un échangeur de chaleur fonctionnant à haute pression. Il refroidit puis condense le fluide frigorigène. Il transmet la chaleur à l'air extérieur.
- Le compresseur qui aspire les vapeurs de fluide frigorigène à base de pression et les comprime à haute pression.
- Le détendeur qui est un dispositif de détente de la haute pression en basse pression au travers duquel le fluide frigorigène s'écoule vers l'évaporateur

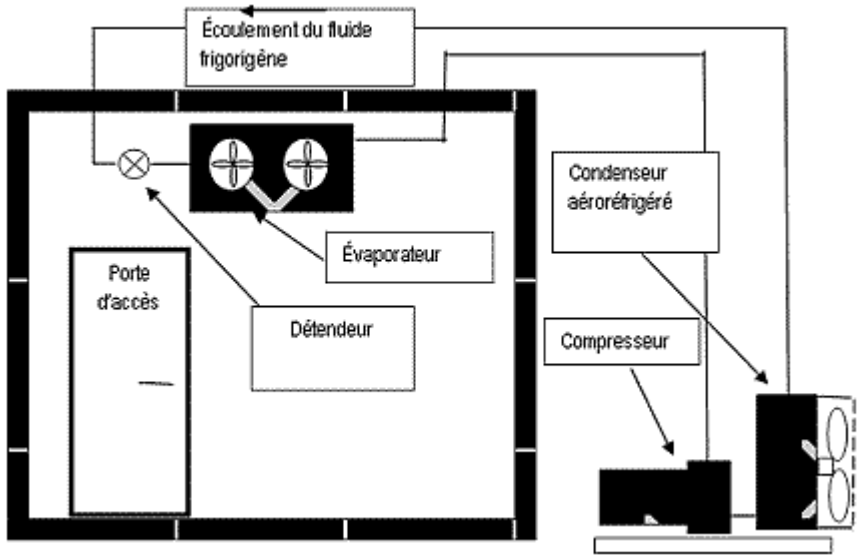



***Figure 3.4 : Représentation schématique d'une chambre froide***

Le tableau de la figure 3.5 indique la puissance appelée, la consommation annuelle ainsi que la part de la consommation totale des ventilateurs des évaporateurs. On remarque que leur consommation représente selon la chambre froide entre 13 et 45% de la consommation totale du groupe froid !

| Chambre froide | Consommation totale | Ventilateur évaporateur | | Part du ventilateur dans la consommation totale |
|---|---|---|---|---|
| | (kWh/an) | (W) | (kWh/an) | (%) |
| Surgelés | 9064 | 132 | 1 156 | 13% |
| Légumes | 2495 | 72 | 631 | 25% |
| Sas | 2943 | 103 | 902 | 31% |
| Préparation froide | 2484 | 113 | 990 | 40% |
| Viandes | 2101 | 106 | 929 | 44% |
| BOF *(Beurre œuf fromage)* | 1454 | 74 | 648 | 45% |

***Figure 3.5 : Puissance et consommation des ventilateurs des évaporateurs***

### III.1.4 Solution d'économies d'électricité

Dans les paragraphes suivants, nous avons rassemblé une série de préconisations qui visent à réduire les consommations et les puissances électriques appelées.

#### III.1.4.1 Localisation et dimensionnement du poste froid (chambres et meubles)

On essaiera, dans tous les cas, de créer une zone tampon entre les espaces cuisson, laverie et les chambres froides. Au sein des chambres froides on fera en sorte dans la mesure du possible de grouper les chambres froides et de ne pas installer de sas « vide » devant la chambre froide négative. On propose par exemple (si cela est acceptable d'un point de vue sanitaire ) que la chambre froide positive requérant la température la plus basse joue le rôle de sas. Dans la mesure du possible la chambre froide négative sera entourée par d'autres chambres froides positives.
Dans la cuisine du lycée Guesde on remarque la présence de plusieurs meubles réfrigérés (autres que les chambres froides). Il y a notamment dans le local pâtisserie un meuble bas et une armoire frigorifique, dans les selfs des meubles bas réfrigérés (alors qu'il y a par ailleurs une chambre froide permettant de stocker les préparations froides). Lors de toutes rénovation / construction de cuisine, il y a lieu de s'interroger sur la nécessité de cette multiplication d'équipements. On a par exemple remarqué que le meuble bas réfrigéré du local pâtisserie servait à stocker des équipements de cuisine (qui a priori n'ont pas besoin d'être réfrigérés…).
On limitera donc au strict minimum les équipements autres que les chambres froides. Une discussion devra peut-être être engagée avec les cuisiniers pour définir les équipements strictement nécessaires.
Enfin on peut s'interroger sur la nécessité de climatiser certaines pièces comme par exemple le local poubelles. En effet, un bon positionnement (façade nord, sans apports solaires directs) et un vidage régulier doit permettre de s'abstenir de rafraîchissement électrique.
Sinon dans les cas où le ramassage d'ordures n'est pas possible suffisamment régulièrement, il est conseillé d'utiliser des refroidisseurs de poubelles qui permettent de refroidir juste les containers.

***Figure 3.6 : Refroidisseur de poubelles KFK/1 Gamko, source : www.gamko.fr***

#### III.1.4.2 Températures maintenues dans les chambres froides

Dans le tableau de la figure 3.7, on compare les températures moyennes maintenues dans les diverses chambres froides aux valeurs imposées par l'arrêté du 9 mai 1995 réglementant l'hygiène des aliments remis directement aux consommateurs.

| Chambre froide | Température (°C) | Température réglementaire (°C) |
|---|---|---|
| Légumes | 5,3 | 4 |
| BOF *(Beurre œuf fromage)* | 5,6 | 4 |
| Viandes | 3,1 | 4 |
| Préparation froide | 1,1 | 4 |
| Sas | 4,3 | - |
| Surgelés | -21,5 | -18 |

***Figure 3.7 : Comparaison des températures des chambres froides mesurées et règlementaires***

On remarque que certaines températures sont supérieures aux valeurs imposées par la réglementation. Cependant, on note aussi que la température dans les chambres froides négative et préparation froide pourrait être relevée. L'économie possible pour la chambre froide négative est de l'ordre de 5 à 10%.

#### III.1.4.3 Amélioration de l'enveloppe

##### *III.1.4.3.1 Augmentation de l'isolation des parois des chambres froides*

On conseille d'imposer un coefficient de transmission thermique des parois de l'ordre de :

- 0,350 à 0,263 W/m²K en stockage réfrigéré,
- 0,263 à 0,162 W/m²K en stockage surgelé

Dans tous les cas l'ensemble des parois (même le sol) devra être isolé.

A titre de comparaison, le niveau d'isolation des parois des chambres froides du lycée Guesde est le suivant :

- sas, légumes, BOF, viandes : 0,39 W/m².K
- Préparation froide : 0,62 W/m².K
- Surgelés : 0,24 W/m².K

Seul le sol de chambre froide négative est isolé.

##### *III.1.4.3.2 Amélioration de l'étanchéité à l'air des parois*

Nous ne savons pas estimer précisément la surconsommation due à la mauvaise étanchéité à l'air des chambres froides. Pour préciser ce paramètre il faudrait réaliser un test à la porte soufflante. Nous conseillons de respecter les dispositions suivantes afin de limiter les fuites :

1- Utiliser les éléments de raccords préfabriqués prévus par les fabricants des panneaux isolants (notamment les éléments d'angles)
2- Tout percement des parois dans les chambres doit être rebouché soigneusement par une matière imperméable à la vapeur (mousse à cellules fermées).

3- Les portes doivent posséder des joints souples qui doivent obturer très correctement les espaces entre la porte et son encadrement dormant.

### III.1.4.4 Limitation des apports de chaleur

#### *III.1.4.4.1 Utilisation de rideaux à lanières*

Dans le but de réduire les déperditions de froid, il peut être intéressant d'installer des rideaux à lanières plastiques à l'entrée des chambres froides, et ce au moins pour la chambre froide négative.

#### *III.1.4.4.2 Asservissement de l'éclairage aux ouvertures de portes*

L'éclairage de la chambre « préparation froide » du lycée Guesde est piloté en fonction de l'ouverture de la porte à l'aide de contact de feuillure. La durée d'éclairage de cette chambre froide est 98% inférieure à celle des autres. Cette mesure est doublement intéressante car elle permet à la fois de réduire la consommation intrinsèque de l'usage et de limiter le besoin de froid nécessaire à lutter contre l'apport de chaleur lié à l'éclairage. Ce point est détaillé dans le paragraphe consacré à l'éclairage.

#### *III.1.4.4.3 Dispositif anti-oubli de fermeture des portes*

Comme le montre le tableau de la figure 3.8, les durées d'ouverture des portes des chambres froides sont relativement élevées ce qui dénote probablement des oublis de fermetures. On conseille donc de mettre en œuvre un dispositif « anti-oubli » de fermetures des portes. On pourra utiliser une alarme d'abord visuelle puis sonore qui se déclenchera après une durée donnée d'ouverture de la porte.

| Minutes/jour | Légumes | Sas | Surgelés | Viandes | BOF *(beurre œuf fromage)* | Préparation froide |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Côté cuisine | 36 | 21 | 52 | 56 | 14 | 11 |
| Côté livraison | 14 | 24 | | 3 | 25 | |

***Figure 3.8 : Durées moyennes quotidiennes d'ouvertures des portes des chambres froides les jours ouvrés (en minutes)***

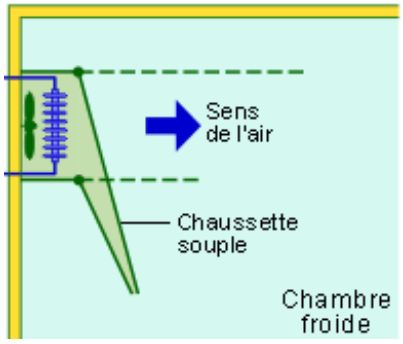
#### *III.1.4.4.4 Optimisation du dégivrage*

Pour faciliter et optimiser les opérations de dégivrage, on choisira, de préférence, une installation avec :

- Une vanne magnétique sur le circuit frigorifique (juste avant l'évaporateur). Cette vanne va permettre d'arrêter le cycle du fluide frigorigène lors d'un dégivrage : lors d'un dégivrage, l'alimentation électrique de la vanne magnétique est coupée. La vanne se ferme. La Basse Pression au compresseur descend et le compresseur s'arrête dès que le niveau réglé sur le pressostat Basse Pression est atteint. Quand il n'y a pas de vanne magnétique, le compresseur est directement arrêté électriquement (contacteur). Mais

dans ce cas, une migration de réfrigérant peut se produire et encore continuer à s'évaporer, ce qui peut poser problème.

- Des manchons souples placés à la sortie du ventilateur de l'évaporateur si la technique de dégivrage produit de la chaleur sur l'évaporateur. Lors d'un dégivrage, lorsque la ventilation est à l'arrêt, ce manchon retombe et se rabat sur la surface de pulsion du ventilateur. Une barrière physique est ainsi créée autour de la chaleur produite dans l'évaporateur pour dégivrer l'évaporateur. Ces manchon souples en fibre polyester sont encore appelé "shut up".




*Source : http://energie.wallonie.be/energieplus/script.htm*

#### *III.1.4.4.5 Réduction de la chaleur dissipée par les cordons chauffants*

Ce point est traité dans le paragraphe « divers ».

### III.1.4.5 Améliorations des performances énergétiques du système

#### *III.1.4.5.1 Fluides frigorigènes*

On conseille d'opter pour les fluides suivants en fonction de l'application :

- Chambre froide positive : R410A
- Chambre froide négative : R404A

Cependant compte tenu de l'impact énorme des fluides frigorigènes sur le réchauffement climatique (certaines substances ont en effet un impact sur l'effet de serre plusieurs milliers de fois supérieur au CO2), il faudra dans le futur envisager de transférer le froid via un fluide caloporteur (eau + antigel) plutôt que d'utiliser des HFC. Cependant ce choix entraîne une surconsommation électrique par rapport à la solution actuelle faisant appel aux fluides frigorigènes (consommation des pompes).

#### *III.1.4.5.2 Evaporateur*

Dans tous les cas on choisira des évaporateurs permettant un échange de chaleur optimum (présence de nombreuses ailettes, matériau conducteur…)
Le choix du ventilateur est lui aussi important. Etant situés dans les volumes refroidis, ce consommateur d'électricité, et donc apport de chaleur, apparaît comme une charge supplémentaire pour le groupe frigorifique. Idéalement il faudrait pouvoir opter pour des modèles équipés de moteurs à commutation électronique mais actuellement à notre connaissance aucun fabricant n'en propose. Choisir dans tous les cas des ventilateurs de larges diamètres avec de lentes vitesses de rotation.

Là encore le dimensionnement doit se faire très précisément sans surdimensionnement. On sélectionne l'évaporateur pour avoir une différence de température (entre la surface de l'échangeur et l'ambiance) de 6 à 7°C.
Le modèle choisi devra être certifié Eurovent et on pourra demander à l'entreprise de fournir la puissance du ventilateur. On conseille d'utiliser la classification Eurovent (programme HECOOL) pour sélectionner le produit le plus approprié.

Le dégivrage devra être piloté par enclenchement horaire et arrêt par consigne de température sur l'évaporateur (on conseille de régler 4°C comme valeur de consigne).

#### *III.1.4.5.3 Compresseur*

On optera pour des compresseurs de type scroll qui de part leur technologie (absence de piston) sont plus efficaces. De plus, la maintenance de ces équipements est aisée ce qui permet de garantir un bon fonctionnement de l'installation dans le temps.
Les moteurs électriques sont disponibles en plusieurs gammes d'efficacité. Les moteurs standards tels ceux qui sont utilisés pour les groupes froids pourraient être remplacés par des modèles performants de classe Eff1.
Dans la mesure du possible on centralisera la production de froid. Ainsi au lieu d'installer un groupe par chambre froide et par local rafraîchi (poubelle, préparation froide), on optera pour une production centralisée de froid positif. Celle-ci sera réalisée par plusieurs compresseurs dont un à vitesse variable et ce afin de pouvoir s'adapter au mieux aux besoins (variables) de froid.
La chambre froide négative du fait du niveau de température maintenue doit posséder son propre groupe froid qui devra être sélectionné avec soin sans aucun surdimensionnement.

#### *III.1.4.5.4 Condenseur*

Le condenseur doit être placé à l'abri de toutes sources de chaleur, protégé du rayonnement direct du soleil. L'idéal est de le placer à l'extérieur sur une façade nord à un emplacement bien ventilé.
On observe très souvent des mauvais dimensionnement qui conduise à une surconsommation. On préconise une différence de température de 10°C entre la température ambiante maximale atteinte (extérieure s'il est placé dehors) et le condenseur.
De plus afin de réduire davantage la consommation il est conseillé de choisir un modèle équipé d'un minimum de ventilateurs à vitesse variable et moteurs à commutation électronique.
Dans tous les cas on imposera que le condenseur soit certifié Eurovent afin de permettre de comparer ses performances à d'autres modèles du marché. L'outil de classification d'Eurovent (programme HECOND) permet de sélectionner les modèles les plus efficaces. Ainsi plus l'indicateur « ratio » est élevé plus le modèle est performant.

#### *III.1.4.5.5 Haute pression flottante*

Le coefficient de performance (COP) de l'installation frigorifique 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°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 ne peuvent plus fonctionner dans de bonnes conditions. Il est alors nécessaire d'utiliser des détendeurs électroniques. L'investissement nécessaire à la mise en place d'une haute pression flottante est donc directement lié au prix des détendeurs électroniques et au frais de réglage des éléments de commande des compresseurs et condenseurs.
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.

#### III.1.4.6 Récupération de chaleur

On estime que la récupération de chaleur doit être envisagée lorsque la puissance de compresseur installée est supérieure à 3500W et que la production de froid est centralisée.
Les groupes froids entraînent des rejets de chaleur très importants. Il est tout naturel d'utiliser cette énergie excédentaire pour assurer le chauffage par exemple de l'eau. Pour ce faire, nous préconisons l'installation d'un ballon équipé d'un échangeur immergé à double paroi parcouru par les gaz chauds, situé en sortie des compresseurs du groupe frigorifique avant les condenseurs. Il est alors possible de préchauffer sans dépense une quantité importante d'eau. Le fabricant américain Therma-Stor propose notamment ce type de produit.

#### III.1.4.7 Réduction de consommation des armoires froides

En France, contrairement à d'autres pays comme la Grande Bretagne ou le Danemark, aucun indicateur ne permet de comparer les performances énergétiques des divers modèles d'armoires froides disponibles. On peut cependant imposer les critères fixés par l'Energy Technology List –ETL- anglaise (http://www.eca.gov.uk/etl/) ou ceux du Saving Trust danois (http://www.savingtrust.dk) (voir tableau de la figure 3.9). Les procédures de test à mettre en œuvre sont disponibles sur les sites Internet précédemment cités. Elles visent à traduire une utilisation standard des produits.

| **kWh/48h.m$^3$** | **Froid positif** | | **Froid négatif** | |
|---|---|---|---|---|
| | **ST(1)** | **ETL(2)** | **ST(1)** | **ETL(2)** |
| 400 et 600 litres | 15 | 16 | 40 | 38 |
| 1300 litres | 12 | 12 | 36 | 34 |

(1) : Saving trust danois , (2) : Energy Technology List anglaise

***Figure 3.9 : Performances minimum requises pour les armoires froides – Index d'efficacité énergétique***

#### III.1.4.8 Meubles bas frigorifiques

Il est très difficile d'obtenir des valeurs de consommation pour ce type de consommation. Même le fabricant Gram, pourtant leader sur ce marché, n'indique pas cette valeur dans ces documentations. On propose de reprendre les seuils fixés par l'ETL (tableau de la figure 3.10).

| **kWh/48h.m³** | **Froid positif** | **Froid négatif** |
|---|---|---|
| | **ETL(1)** | **ETL(1)** |
| 150 à 800 litres | 21,6 | 40 |

(1) : Energy Technology List anglaise

***Figure 3.10 : Performances minimum requises pour les meubles bas frigorifiques – Index d'efficacité énergétique***

## III.2 LE POSTE CHAUD

### III.2.1 Consommation

Avec 19% de la consommation totale de la cuisine le poste chaud est le troisième plus gros consommateur après le froid et le lavage. Ceci tient essentiellement à la présence d'un four électrique de forte puissance (un four Frima de puissance maximale 63 kW).

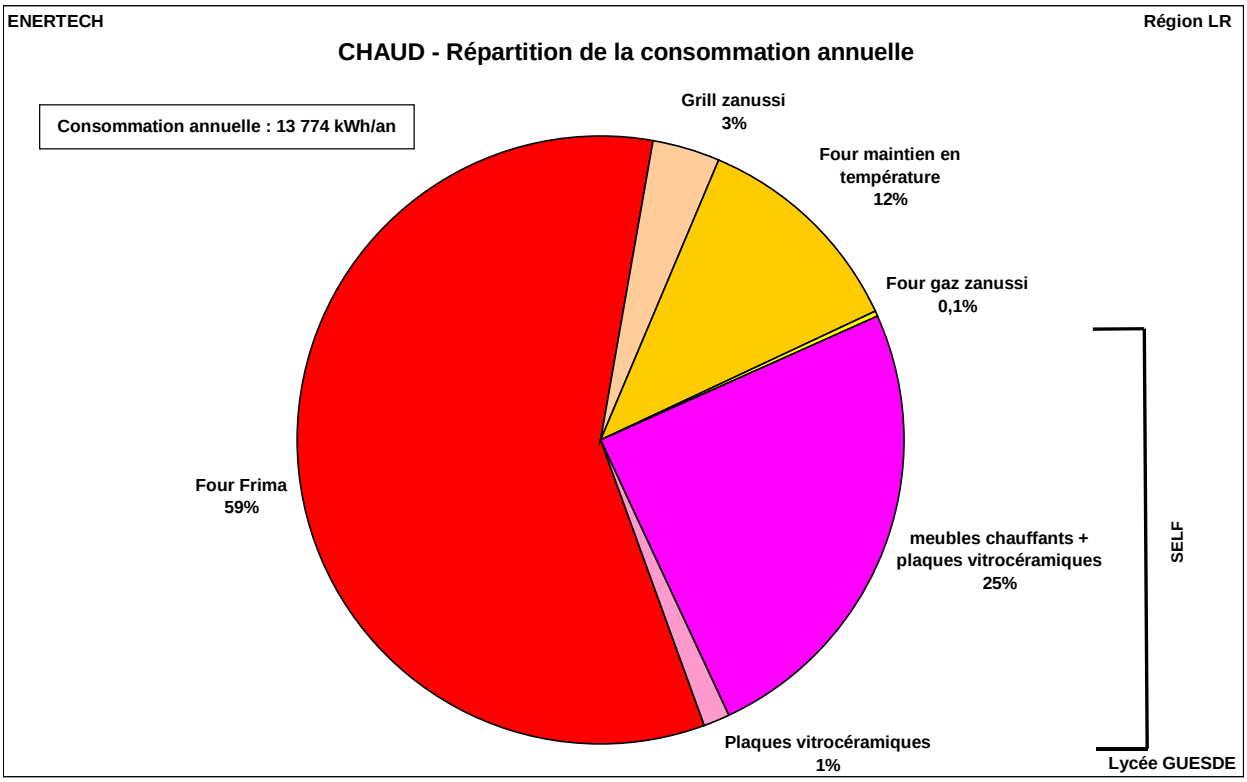



***Figure 3.11 : Répartition de la consommation du poste chaud***

### III.2.2 Puissance

Il s'agit du poste qui appelle le plus de puissance au moment de la pointe cuisine, avec 44% de la puissance totale. Cela s'explique par la présence dans cette cuisine de deux appareils de cuisson électrique de forte puissance (four et grill).

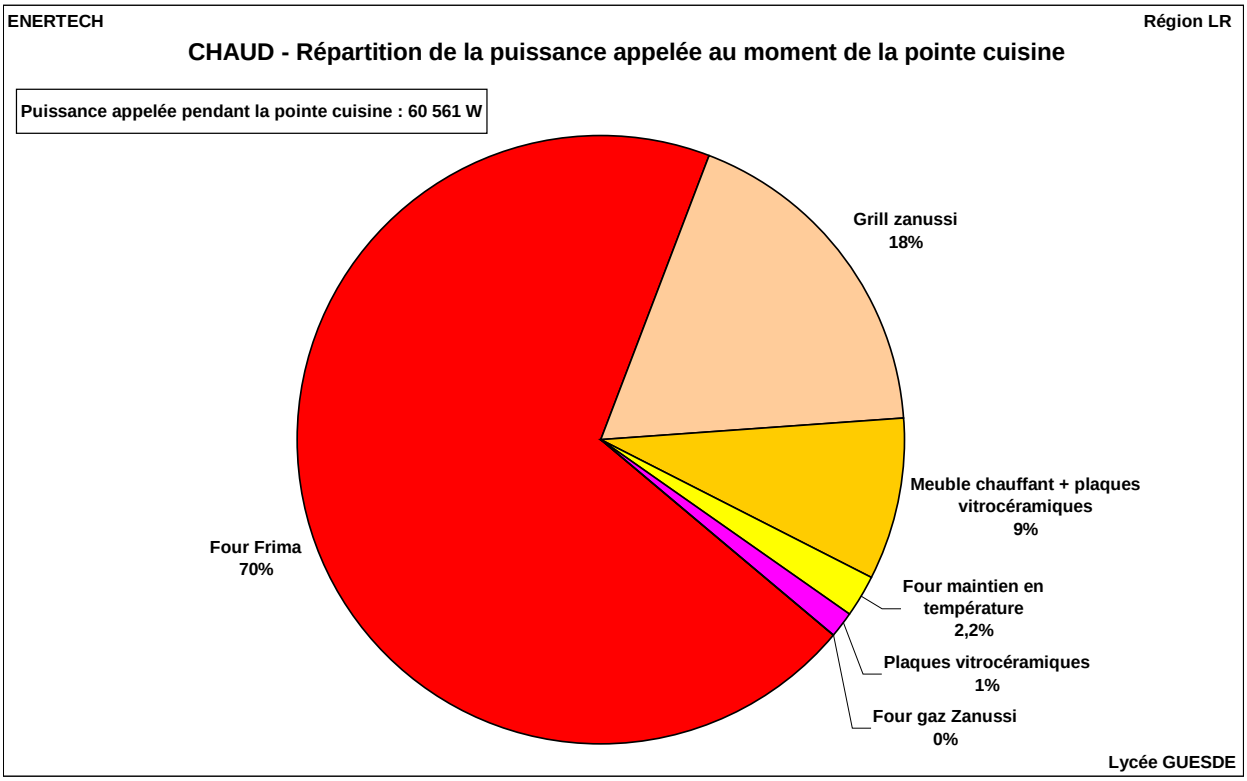



***Figure 3.12 : Répartition de la puissance appelée par le poste chaud au moment de la pointe cuisine***

Le tableau de la figure 3.13 indique les coefficients de foisonnement des divers équipements du poste chaud.

| | Coefficient de foisonnement |
|---|---|
| Four Frima | 0,67 |
| Grill zanussi | 0,72 |
| Meuble chauffant + plaques vitrocéramiques | 0,74 |
| Four maintien en température | 0,30 |
| Plaques vitrocéramiques | 0,23 |
| Four gaz Zanussi | 0,00 |

***Figure 3.13 : Coefficients de foisonnement des composants du poste chaud***

## III.2.3 Solutions d'économies d'électricité

### III.2.3.1 Dimensionnement, organisation de la cuisine et du travail

Tout d'abord il faut se poser la question du dimensionnement. Il semble que certains équipements soient surdimensionnés. Il faudrait pouvoir définir des tailles d'équipements nécessaires en fonction par exemple du nombre de repas servis.

D'autre part, il serait intéressant de revoir l'organisation de la cuisine. En effet certains appareils paraissent redondants. Ainsi, on a à la fois un four de maintien en température (possédant une porte côté cuisine et une côté self) et des placards chauffants dans le self (sous les plaques vitrocéramiques). Est ce que les deux enceintes sont réellement utilisées à leur pleine capacité ? Un meuble bien dimensionné ne serait il pas suffisant ?

Il semble aussi, comme le montre le graphique de la figure 3.14, que certains équipements soient mis en marche dès l'arrivée du personnel et ce, probablement sans besoin. Il suffit d'allumer les équipements quelques minutes avant leur utilisation.

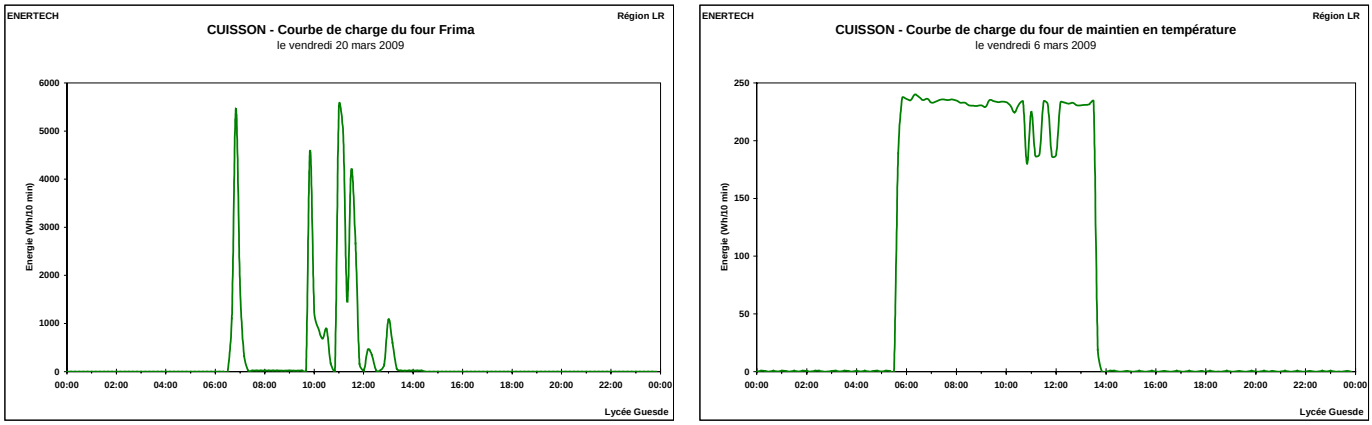



***Figure 3.14 : Illustration du fonctionnement type du four Frima et du four de maintien en température***

### III.2.3.2 Efficacité énergétique des équipements

Si on raisonne en énergie primaire, il est plus intéressant d'opter pour des appareils de cuisson fonctionnant au gaz. De plus cela permet de limiter la puissance électrique appelée en pointe et donc de réduire le montant de l'abonnement. On essaiera donc de limiter au maximum la cuisson électrique. Par exemple, dans le cas du lycée Guesde, il existe une version gaz du four Frima qui a les même caractéristiques et qui aurait donc pu être utilisé.

Les fabricants de matériel de cuisson ne mettent pas encore en avant les performances énergétiques de leur produit. Il est même très difficile d'obtenir des informations. Le seul label relatif à l'efficacité énergétique pour les appareils de cuisson est, à notre connaissance, le label Energy Star américain. Il impose pour les fours à convection une efficacité énergétique de cuisson de 44% pour les modèles gaz et 70% pour les modèles électriques. Il fixe aussi une puissance de veille à ne pas dépasser, à savoir 3,8 kW pour le gaz et 1,6 kW pour l'électrique.
L'efficacité énergétique de cuisson est définie comme la quantité d'énergie absorbée par le produit à cuire sur la quantité totale d'énergie utilisée par le four durant la cuisson. La puissance de veille est définie comme l'énergie utilisée par le four lorsqu'il maintient des conditions de fonctionnement stabilisées.

Le label Energy Star fixe aussi un objectif pour les fours de remise en température. Les modèles possédant ce label sont mieux isolés ce qui permet non seulement de réduire leur consommation d'énergie mais aussi de garantir une meilleure uniformité des températures dans ces enceintes. Leur puissance de veille ne doit pas dépasser 40W/ft3, soit 1,13W/m3. La définition de la puissance de veille est la même que celle appliquée pour les fours à convection. Le volume pris en compte pour le calcul est le volume intérieur brut.

On conseille aussi d'imposer un niveau d'isolation minimum pour les meubles chauffants, tels ceux qu'on trouve dans les selfs, à savoir une résistance thermique d'au moins 1 m².K/W (soit au moins 4 cm de laine de roche).

Enfin pour les tables de cuisson à gaz, on optera pour des brûleurs feu vif :

- de type « volcan » qui permettent d'atteindre des performances élevées tout en procurant une grande souplesse d'utilisation pour un encombrement réduit. La modulation de la puissance va de un à six, contre un à trois pour un brûleur classique. La flamme sort axialement au centre du brûleur et lèche le fond du récipient sur une plus grande surface d'échange. La zone de chauffage, mieux centrée sous la casserole, augmente le rendement énergétique et limite les déperditions de chaleur directe vers l'utilisateur. Cette gamme de brûleurs va de 3,5 kW à 14 kW.
- séquentiels qui permettent une diminution de l'apport de chaleur obtenue par une série d'arrêts et de remises en marche du brûleur selon un cycle préétabli.
- Equipés du dispositif « Top flam' » (appelé aussi « top flamme »). Avec ce système, c'est la pression exercée par le récipient sur le support qui déclenche l'allumage. La présence du récipient est détectée mécaniquement par la tige mobile qui commande l'admission de gaz.

## III.3 LE POSTE LAVAGE

### III.3.1 Consommation

Le lavage consomme 16 286 kWh par an, dont près des trois quarts pour le lave vaisselle.

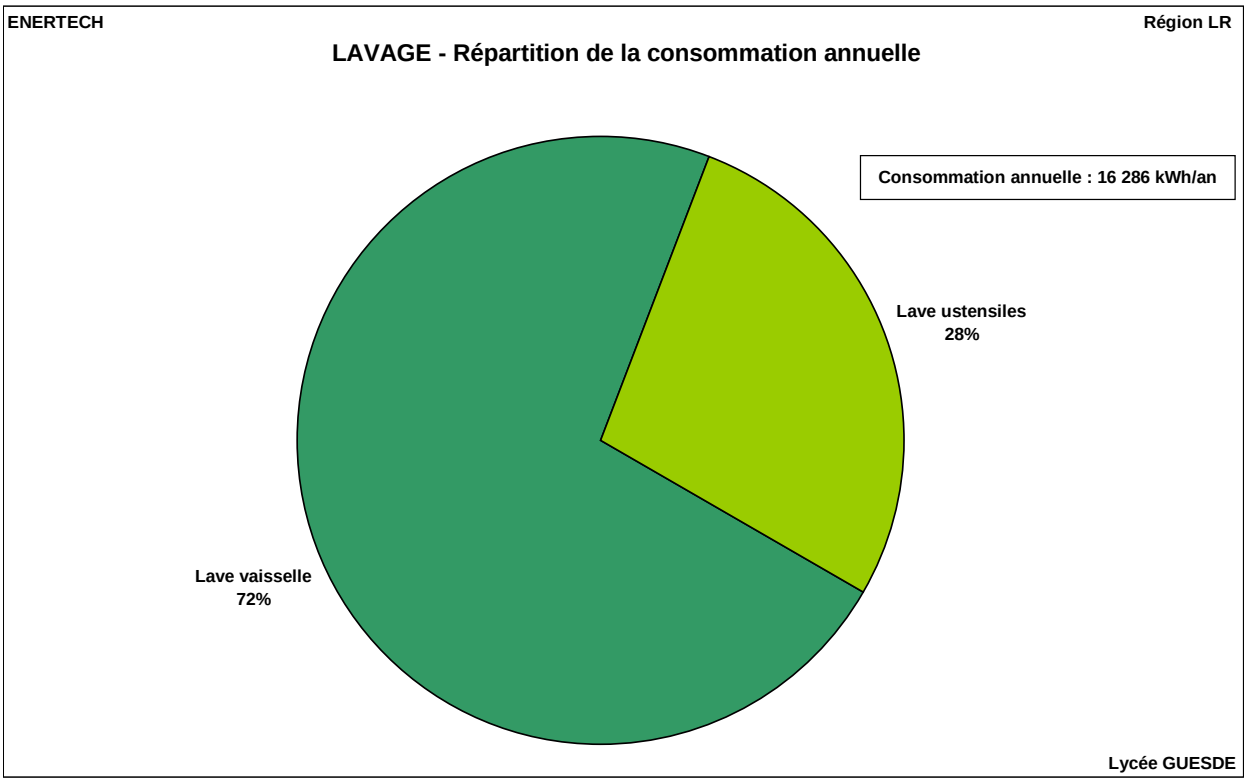



***Figure 3.15 : Répartition de la consommation annuelle – Poste lavage***

### III.3.2 Puissance

Comme on l'a vu précédemment, les appareils de lavage jouent un rôle essentiel dans la puissance appelée au moment de la pointe cuisine. Il est donc impératif de trouver des solutions pour réduire les puissances appelées par ce poste.

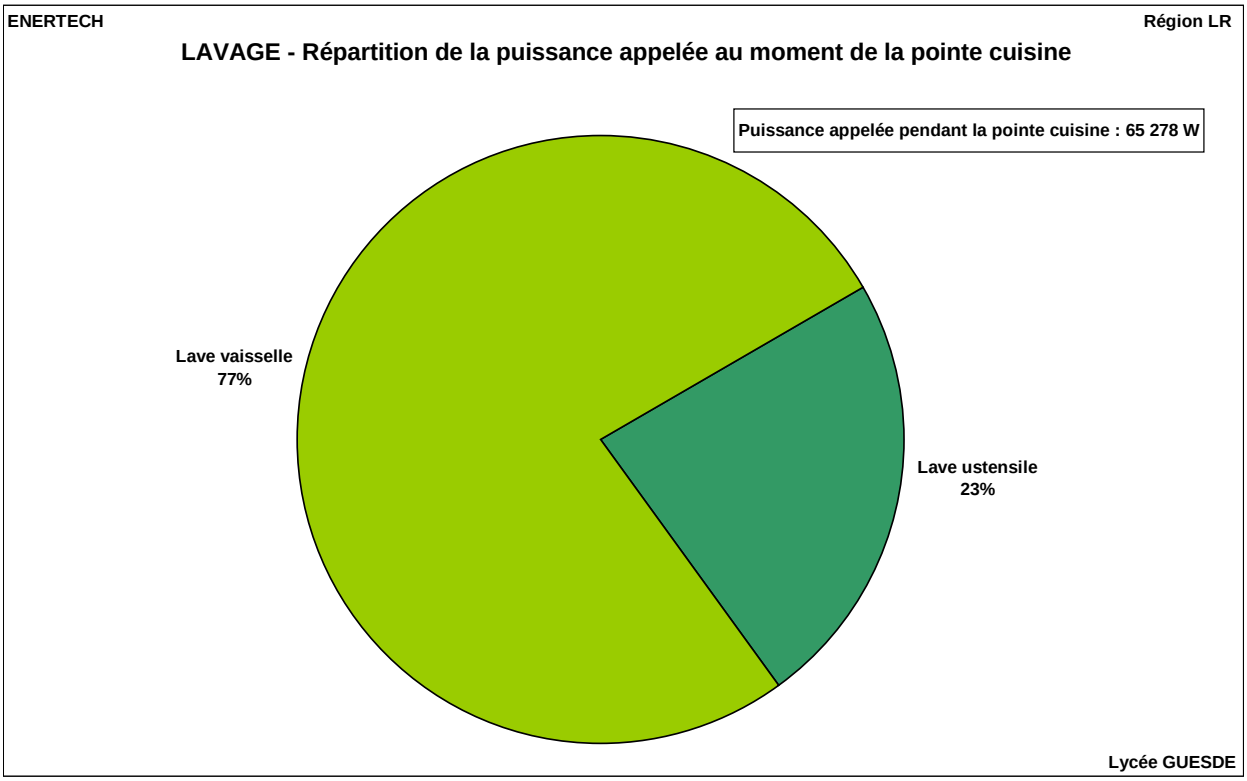



***Figure 3.16 : Répartition de la puissance appelée au moment de la pointe cuisine – Poste lavage***

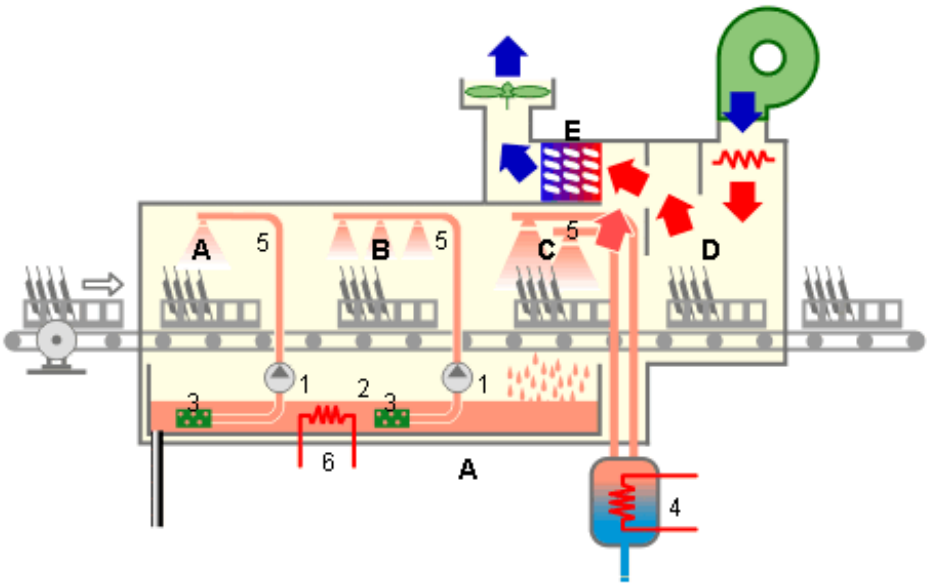
Le tableau de la figure 3.17 donne les coefficients de foisonnement des lave vaisselle et lave ustensile.

| | Coefficient de foisonnement |
|---|---|
| Lave ustensile | 0,69 |
| Lave vaisselle | 0,72 |

***Figure 3.17 : Coefficients de foisonnement des composants du poste lavage***

### III.3.3 Fonctionnement d'un lave vaisselle

Le graphique de la figure 3.18 décrit le fonctionnement d'un lave vaisselle à avancement automatique tel que celui qu'on trouve au lycée Guesde. La machine est équipée de trois résistances chauffantes (lavage, rinçage, séchage), de deux pompes (prélavage, lavage) et d'un ventilateur pour le séchage.




*A : Prélavage, B : lavage, C : rinçage, D : Séchage.*

*1 : Pompe*
*2 : Bacs de prélavage et de lavage*
*3 : Filtres des bacs*
*4 : Chauffe-eau de rinçage*
*5 : Bras de lavage*
*6 : Résistance de lavage*

*Source : [http://energie.wallonie.be/energieplus/script.htm](http://energie.wallonie.be/energieplus/script.htm)*

***Figure 3.18 : Schéma de fonctionnement d'un lave vaisselle à déplacement automatique***

Le fonctionnement du lave ustensile est proche. Le modèle du lycée Guesde utilise un procédé de lavage par sablage (projection à haute pression de granules, d'eau et de détergents).

## III.3.4 Solutions d'économies d'électricité

### III.3.4.1 Modification de l'organisation du travail

Les mesures, illustrées par le graphique de la figure 3.19, montrent que la machine est mise en route dès 8H30 alors que le lavage se fait uniquement à partir de 12 heures. La machine fonctionne donc inutilement toute la matinée. Une mise en route 30 minutes avant le service est largement suffisante. On remarque aussi une veille de l'ordre de 125 watts pour cet appareil.

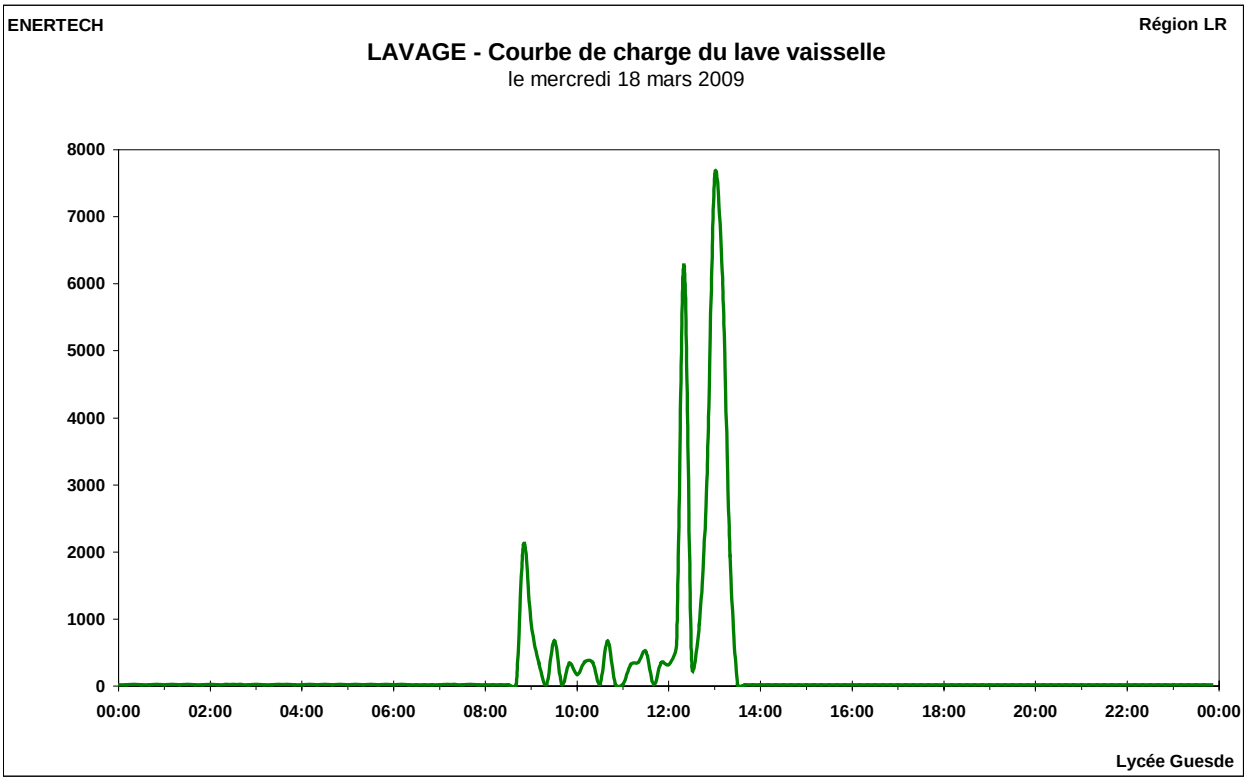



***Figure 3.19 : Exemple de fonctionnement du lave vaisselle un jour type – 18 mars 2009***

Renseignement pris auprès du lycée, la vaisselle n'est utilisée qu'une fois par jour. Il n'y a donc théoriquement pas besoin de la laver pendant les heures de pointe électrique de la cuisine. Il faudrait donc idéalement différer les horaires de lavage en dehors de cette pointe. Cependant la nourriture risque de sécher sur la vaisselle. Il serait nécessaire, si cette option est retenue, de prévoir un prélavage renforcé.

### III.3.4.2 Améliorations techniques

#### *III.3.4.2.1 Détecteur de vaisselle*

Le détecteur de vaisselle permet d'arrêter les pompes quand il n'y a pas de vaisselle qui passe sur le convoyeur. Le système de chauffage des cuves reste cependant en marche afin que la machine puisse recommencer sa tâche à tout moment. Certains fabricants proposent ce dispositif de série sur leur machine. Dans tous les cas, on le demandera.

#### *III.3.4.2.2 Isolation thermique*

Isoler un lave vaisselle permet de diminuer d'environ 5% la consommation du lave vaisselle et dans le même temps de réduire sensiblement le niveau sonore. Cette mesure permet donc d'améliorer les conditions de travail dans la laverie.

#### *III.3.4.2.3 Récupération de chaleur*

Le modèle installé ne possède pas de récupérateur de chaleur et il est alimenté en eau froide. L'eau est donc entièrement chauffée à l'aide de résistances électriques.

Afin de réduire la consommation d'énergie, les fabricants proposent plusieurs dispositifs de récupération de chaleur. Nous les décrivons ci-après. Pour tirer parti au mieux du dispositif de récupération, il faut impérativement alimenter la machine en eau froide pour le rinçage. L'alimentation de l'eau de lavage peut se faire en eau chaude.

**Echangeurs**

On trouve sur le marché deux types d'échangeurs :

1- Des récupérateurs de chaleur des buées produites tout au long du cycle de lavage qui refroidissent et assèchent l'air. Cet air est ensuite renvoyé dans la laverie grâce à un ventilateur. Dans le même temps l'eau froide d'alimentation est préchauffée. Ce sont les plus courants. Certains fabricants les proposent de série sur leur lave-vaisselle.

2- Des échangeurs sur les eaux usées qui permettent de récupérer la chaleur des eaux de lavage avant qu'elles ne partent à l'égout pour préchauffer encore davantage l'eau froide d'alimentation. Il subsiste tout de même un surchauffeur pour amener l'eau de rinçage à 85°C. A notre connaissance seul un fabricant (Winterhalter) propose ce type d'équipement.

**Pompes à chaleur**

La pompe à chaleur permet d'améliorer la récupération de chaleur contenue dans les buées et d'élever la température d'eau de rinçage d'environ 10°C à plus de 70°C. Le complément de chaleur nécessaire pour atteindre les 85°C est assuré par une résistance électrique. Si on veut s'affranchir des résistances du bac de lavage, on peut utiliser les deux techniques suivantes :

1- alimenter cette cuve directement en eau chaude produite par exemple par un préparateur gaz haut rendement
2- Utiliser une pompe à chaleur plus performante avec un deuxième échangeur et un récupérateur de chaleur sur l'air ambiant qui permet de chauffer non seulement l'eau de rinçage mais aussi celle de lavage.

Il ne reste alors des résistances électriques que pour le surchauffeur et le séchage.

Lorsqu'on opte pour une pompe à chaleur, il est nécessaire de prévoir un système de traitement (filtres à chocs) des buées pour supprimer les produits alcalins et l'humidité restante avant de renvoyer l'air dans la laverie. Dans ce cas il n'y a pas besoin d'extracteur spécifique pour le local. Il faut seulement dimensionner l'extraction pour la ventilation règlementaire de la pièce.

#### *III.3.4.2.4 Résistance de séchage*

Plusieurs fabricants proposent d'utiliser l'air sec de la laverie pour réduire la puissance de la résistance de séchage. Après utilisation, l'air humide est aspiré par le système d'évacuation et éliminé par le ventilateur.

### III.3.4.3 Lave ustensile

Nous avons consulté la documentation technique de plusieurs fabricants. Il ne semble pas que la technique de lavage par sablage permette de réelles économies d'eau ou d'électricité. Certains constructeurs proposent comme pour les lave-vaisselle des récupérateurs de chaleur sur les buées ce qui permet de réduire la puissance des résistances électriques.

# III.4 LE POSTE VENTILATION

## III.4.1 Consommation et puissance

La ventilation représente 3% de la consommation électrique de la cuisine et 3% de la puissance appelée au moment de la pointe cuisine. Le coefficient de foisonnement de cet usage est de 0,97. Réduire la consommation de ce poste permet non seulement de faire des économies d'électricité mais aussi de chauffage. En effet, l'air chauffé est évacué avec un taux de renouvellement du volume d'environ 40 à 60 fois par heure.

## III.4.2 Solutions d'économies d'électricité

### III.4.2.1 Choix des hottes

Dans tous les cas, pour des raisons de confort et d'économies d'énergie, on choisira des déplacements d'air à basse vitesse (0,2 à 0,5 m/s).

On préconise d'utiliser des hottes à induction. Ce dispositif a pour but d'éviter d'avoir à réchauffer de trop grands débits d'air neufs. En effet, 30 % de l'air extrait par la hotte est vicié, les autres 70 % sont de l'air ambiant servant au transport de l'air vicié. De l'air pris à l'extérieur, filtré, canalisé et non traité et accéléré par un venturi est introduit à grande vitesse par des plénums de pulsion vers l'intérieur de la hotte. Il y a aspiration, par induction, des vapeurs dégagées sous la hotte. Cet air représente 70 % de l'air neuf à introduire. Seuls les 30 % restant de l'air neuf (introduits soit par la partie frontale de la hotte, soit ailleurs dans la cuisine) sont à réchauffer. Il est intéressant d'adapter le taux d'induction à l'application. Le tableau de la figure 3.20 donne les taux recommandés en fonction de l'application

| Appareil | Taux d'induction |
|---|---|
| Friteuse | 10à 20% |
| Four à air pulsé | 20 à 30% |
| Grill et sauteuse | 20 à 30% |
| Four vapeur | 10% |
| Salamandre | 50% |
| Plaque coupe feu à induction | 40 à 50% |
| Feu nu | 40 à 50% |
| Marmite | 40 à 50% |

*Source : France Air*

***Figure 3.20 : Taux d'induction recommandés pour les hottes en fonction de l'application***

Certaines hottes à induction sont équipées de système à jets de captation qui rendent possible une plus grande précision d'extraction, en empêchant notamment la propagation des vapeurs chargées de particules de graisse en dehors du volume de cantonnement de la hotte. Cette technologie permet des économies d'énergie significatives en réduisant le débit d'extraction.

### III.4.2.2 Variation de vitesse

Pour adapter le débit au besoin réel, on conseille de mettre en œuvre des hottes à débit variable asservies à des sondes de température et d'hygrométrie permettant d'ajuster le débit d'extraction à la quantité de fumées, graisses et vapeurs dégagée au dessus de la zone de

cuisson. Le débit de soufflage doit évidemment être couplé à celui de l'extraction. La sonde mesurant l'humidité relative doit être positionnée en face avant de la hotte et le capteur de température placé dans l'ambiance de la cuisine. Le fonctionnement du système est automatique avec possibilité pour l'utilisateur de passer en mode manuel à tout moment.

Pour limiter l'encrassement des gaines d'extraction, on préconise l'emploi de filtres cycloniques.

#### III.4.2.3 Récupération de chaleur

Un fabricant propose un système de récupération d'énergie sur l'air extrait. Il indique jusqu'à 60 % d'efficacité grâce à un échangeur tubulaire Air/Eau avec coque et serpentin intégré qui permet une meilleure captation des calories.

| | Unités | VERTIGO 2 500 | VERTIGO 5 000 | VERTIGO 10 000 |
|---|---|---|---|---|
| **Poids** | Kg | 90 | 280 | 440 |
| **Débit d'air** | $m^3/h$ | 2 500 | 5 000 | 10 000 |
| **Perte de charge au débit donnée** | Pa | 290 | 290 | 290 |
| **Puissance récupéréé** | kW | 18 | 32 | 57,8 |
| **Débit d'eau** | $m^3/h$ | 1 | 1,1 | 2 |
| **Perte de charge sur l'eau** | bar | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| **Débit des condensats** | l/h | 20,0 | 36,0 | 65,1 |
| **Raccordement d'entrée d'air** | mm | Ø 250 | Ø 350 | Ø 500 |
| **Raccordement de sortie d'air** | mm | Ø 315 | Ø 450 | Ø 630 |
| **Evacuation des condensats** | mm | Ø 1" 1/4 | | |
| **Température de sortie d'eau** | °C | 25,5 | 35 | 34,8 |

*Pour des conditions d'entrée d'air de 40°C, 80 % d'HR et une température d 'entrée de 10° C.*

***Figure 3.21 : Caractéristiques techniques du système de récupération de chaleur Vertigo de France Air***

# III.5 LE POSTE ECLAIRAGE

## III.5.1 Consommation

Plus de 4 000 kWh sont consommés chaque année pour l'éclairage, soit 6% de la consommation totale de la cuisine. On peut noter la part importante liée à l'éclairage des chambres froides (16%) ainsi que celles des hottes (20%).

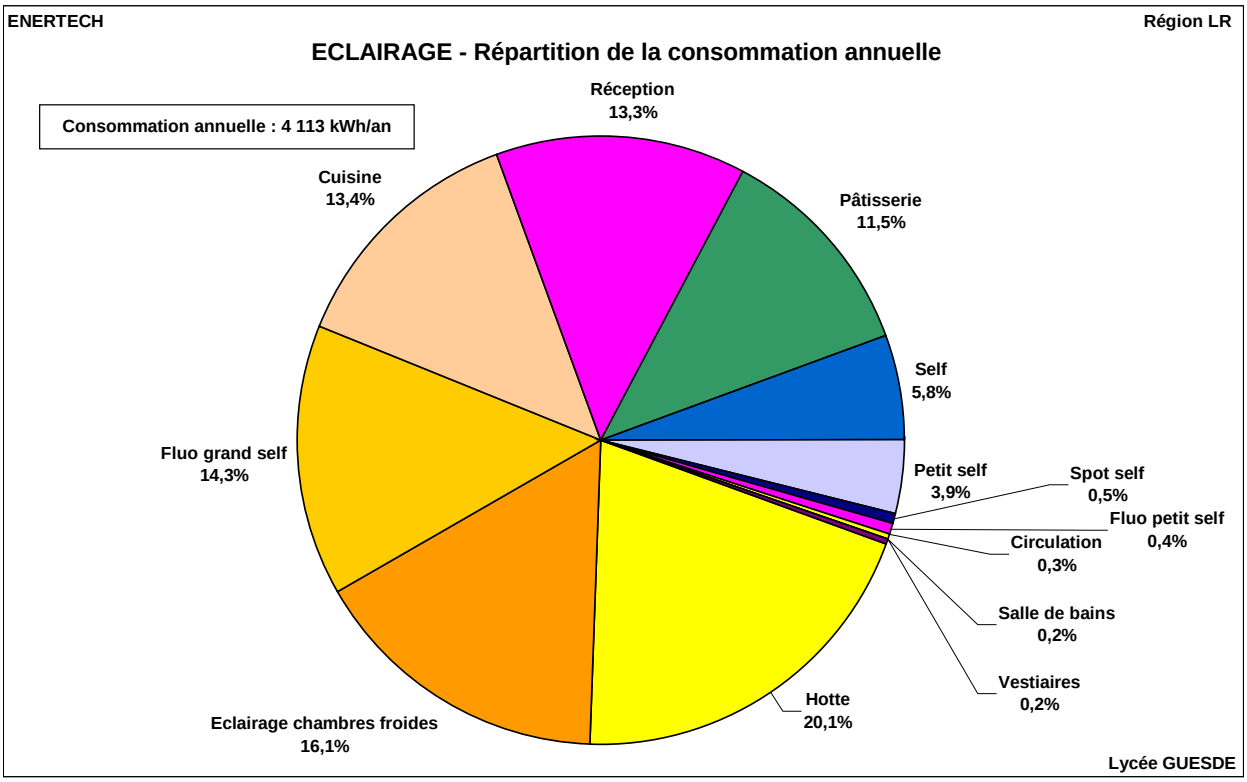



*Figure 3.22 : Répartition de la consommation annuelle d'éclairage*

### III.5.1.1 Durée de fonctionnement des luminaires

Le tableau de la figure 3.23 indique les durées de fonctionnement moyennes des divers circuits d'éclairage suivis. On s'aperçoit que ces durées sont très élevées. La plupart des luminaires fonctionne sans arrêt pendant toute la durée d'occupation des locaux. De plus pour les chambres froides on observe de nombreux oublis d'extinction pendant plusieurs jours consécutifs.

| Détails | Consommation kWh/an | Fonctionnement | |
|---|---|---|---|
| | | h/an | h/jour |
| Cuisine | 553 | 1722 | 11,0 |
| Chambres froides | 664 | 1642 | 10,5 |
| Pâtisserie | 473 | 1516 | 9,7 |
| Hotte | 825 | 1429 | 9,1 |
| Réception | 549 | 1190 | 7,6 |
| Tubes fluorescents grand self | 588 | 1071 | 6,8 |
| Self | 238 | 357 | 2,3 |
| Spot petit self | 159 | 276 | 1,8 |
| Circulation | 13 | 81 | 0,5 |
| Spot self | 19 | 78 | 0,5 |
| Vestiaires 1 | 5 | 71 | 0,5 |
| Salle de bains | 7 | 56 | 0,4 |
| Vestiaires 2 | 1 | 14 | 0,1 |

***Figure 3.23 : Consommations et durées de fonctionnement des divers circuits d'éclairage***

### III.5.2 Puissance

L'éclairage représente 3% de la puissance appelée au moment de la pointe cuisine.

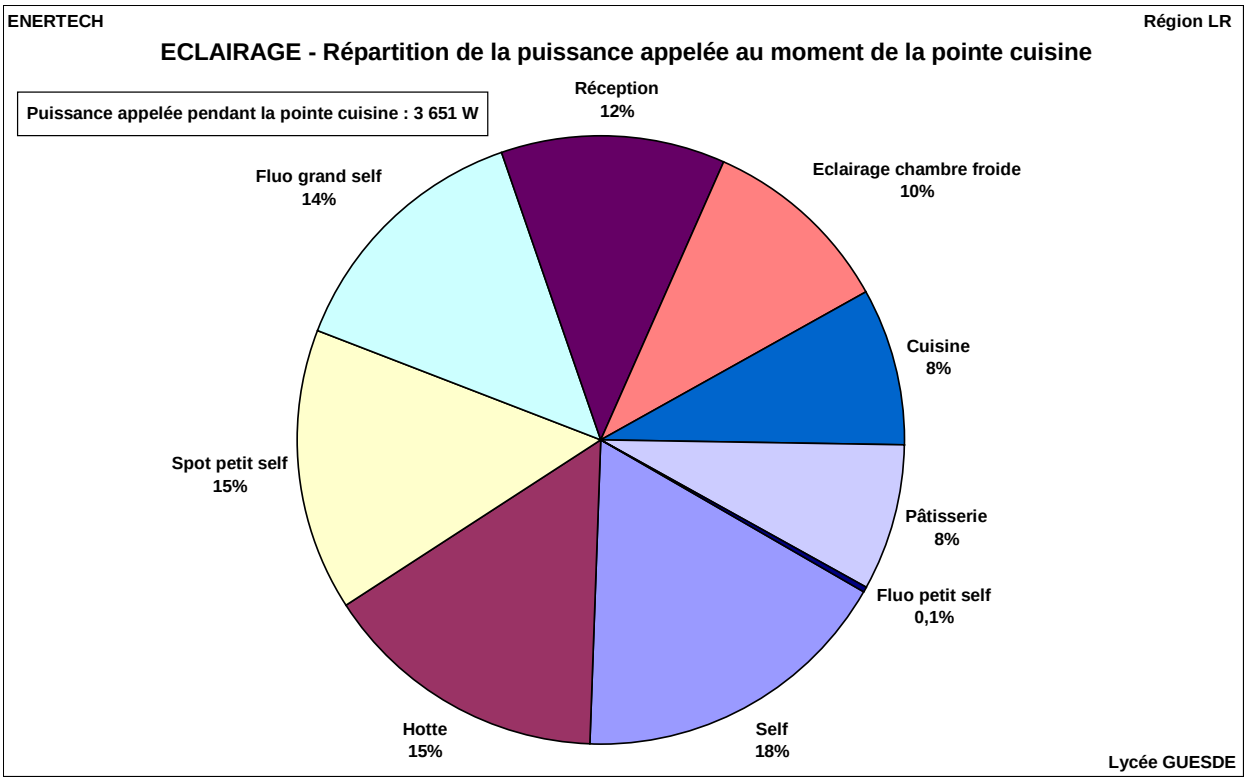



***Figure3.24 : Répartition de la puissance appelée au moment de la pointe cuisine par le poste éclairage***

Le tableau 3.25 donne les coefficients de foisonnement des divers circuits d'éclairage.

| | Coefficient de foisonnement |
|---|---|
| Self | 0,95 |
| Hotte | 0,95 |
| Spot petit self | 0,95 |
| Fluo grand self | 0,93 |
| Réception | 0,96 |
| Eclairage chambre froide | 0,91 |
| Cuisine | 0,96 |
| Pâtisserie | 0,92 |
| Fluo petit self | 0,82 |
| Circulation | 0,00 |
| Salle de bains | 0,00 |
| Spot self | 0,00 |
| Vestiaires | 0,00 |

***Figure 3.25 : Coefficients de foisonnement des composants du poste éclairage***

## III.5.3 Solutions d'économies d'électricité

### III.5.3.1 Eclairage des chambres froides

Actuellement les chambres froides sont éclairées par des ampoules à incandescence pilotées par des interrupteurs. Ce type de source doit absolument être proscrit du fait de leur faible efficacité lumineuse. On utilisera de préférence des **tubes fluorescents T5** qui fonctionnent à **basse température**.
Les durées d'utilisation sont très élevées et les oublis d'extinction fréquents. L'éclairage d'une des chambres froides (préparation froide) est piloté en fonction de l'ouverture de la porte. La durée de fonctionnement est 98% inférieure par rapport à l'éclairage des autres chambres froides. Il est donc recommandé de généraliser le pilotage de l'éclairage de ces locaux par **contact de feuillure** sur la porte. Le tableau de la figure 3.26 indique les économies réalisables si on pilote l'éclairage des différentes chambres froides en fonction de l'ouverture des portes.

| Chambres froides | Economies (%) |
|---|---|
| Légumes | 92% |
| BOF *(Beurre œuf fromage)* | 93% |
| Sas | 89% |
| Surgelés | 94% |
| Viandes | 84% |

***Figure 3.26 : Economies réalisables pour les différentes chambres froides grâce à l'asservissement de l'éclairage à l'ouverture des portes (calcul effectué à partir des durées de fonctionnement moyennes les jours ouvrés)***

Rappelons que réduire ces apports présente le double avantage de diminuer à la fois leur consommation électrique directe et celle du groupe froid.

#### III.5.3.2 Eclairage des hottes

L'éclairage de la plupart des hottes est toujours réalisé à partir de tubes T8. On recommande d'exiger des tubes T5 haute efficacité. Actuellement l'éclairage de l'ensemble des hottes est centralisé. Idéalement il faudrait pouvoir individualiser la commande de chacune. On peut aussi ajouter une minuterie (temporisation longue de 30 minutes par exemple) pour éviter un allumage permanent.

#### III.5.3.3 Eclairage des divers locaux

On utilisera des luminaires étanches équipés de tubes T5 à optique de classe C et de rendement minimum de 70%. L'éclairage de tous les locaux annexes sera piloté par détecteur de présence. Seul le local principal de cuisson sera sur interrupteur. Le tableau de commande de cette zone devra se situer à un endroit facilement accessible.

# III.6 LES APPAREILS DIVERS

## III.6.1 Consommation

Comme on le voit sur le graphique de la figure 3.27, plus de 80% de la consommation du poste divers correspond à celle du cordon chauffant (ce qui représente 5,5% de la consommation totale de la cuisine soit presque autant que la consommation d'éclairage ! ). Celui-ci permet de chauffer les joints, et ainsi autoriser l'ouverture et la fermeture, des portes des chambres froides négatives. Il est inclus dans une rainure réalisée dans l'huisserie, face au joint. On peut aussi l'utiliser pour permettre l'écoulement des eaux issues des cycles de dégivrage ; un tissu chauffant aluminium tapisse alors le bac de collecte. Lorsque la tuyauterie d'évacuation se trouve encore dans la chambre froide, on dispose alors un cordon chauffant spécifique à l'intérieur de celle-ci.

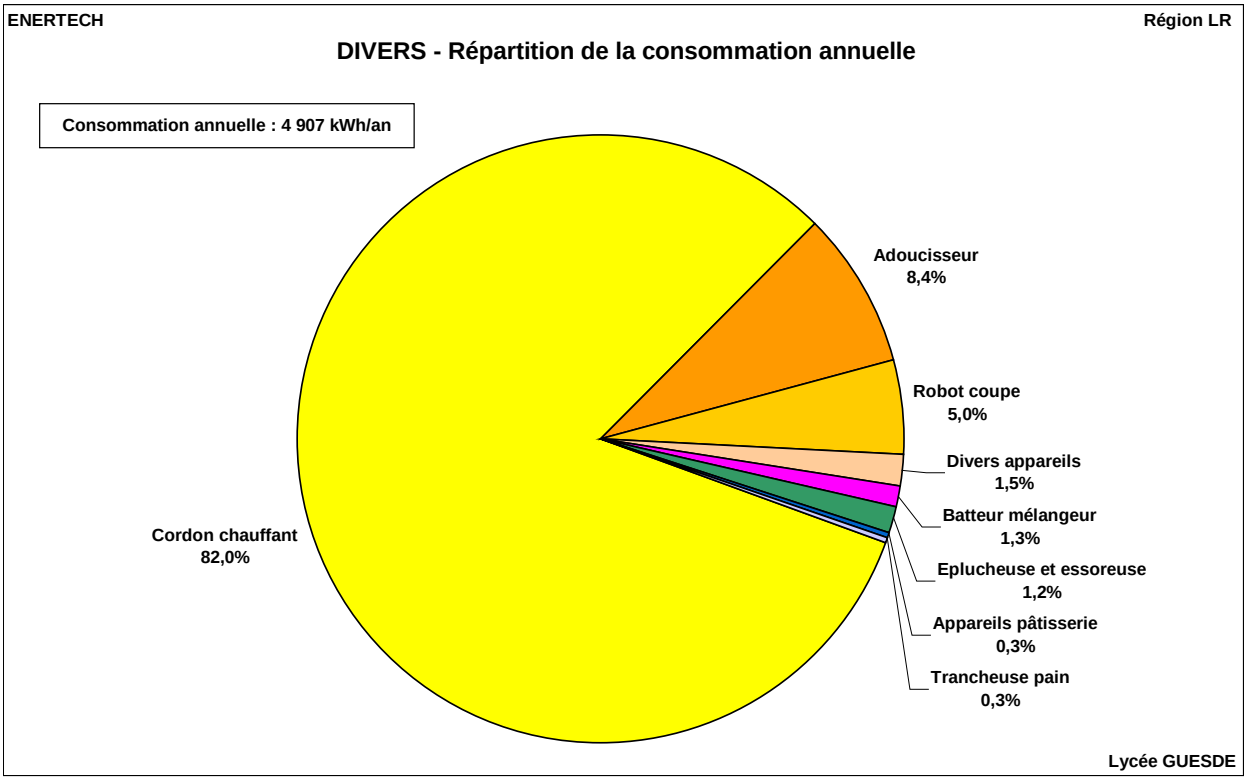



***Figure 3.27 : Répartition de la consommation annuelle – Poste divers***

## III.6.2 Puissance

Le poste divers représente moins d'1% de la puissance de la cuisine au moment de la pointe.

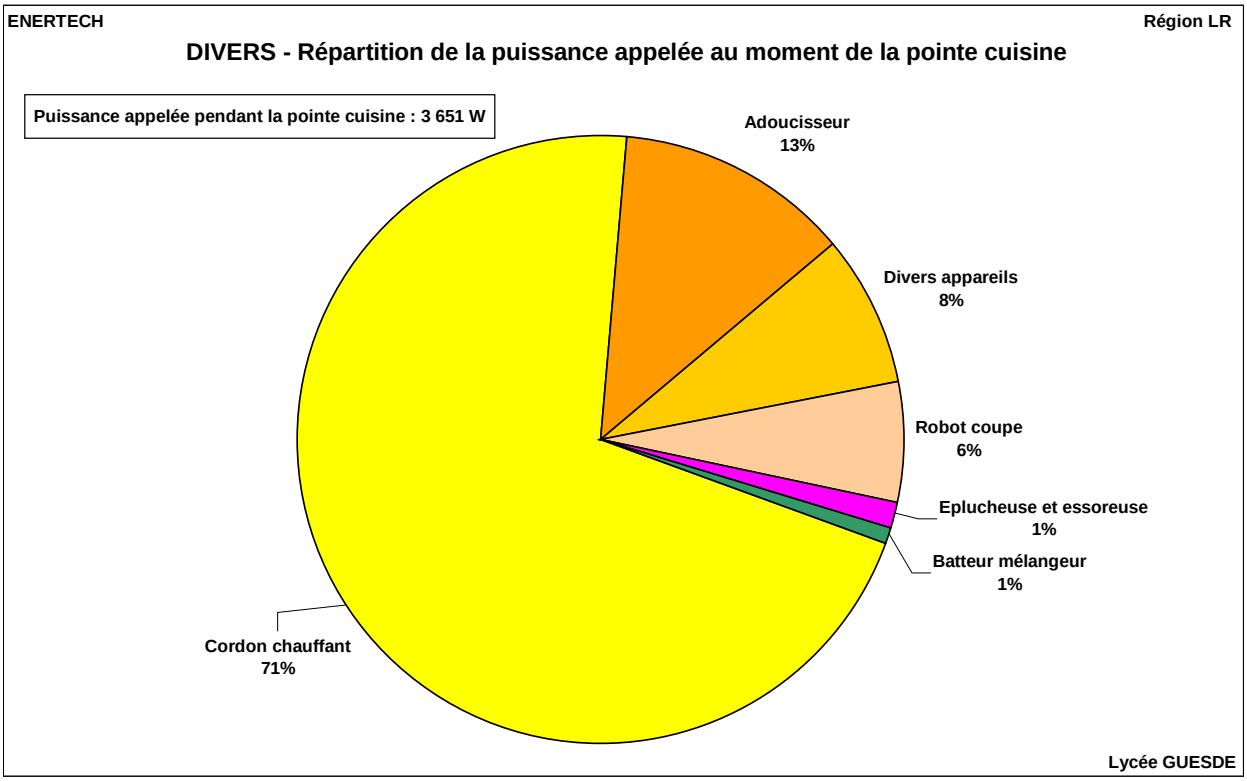



***Figure 3.28 : Répartition de la puissance appelée au moment de la pointe cuisine par le poste divers***

Le tableau de la figure 3.29 donne les coefficients de foisonnement des divers appareils suivis. Ces valeurs doivent être utilisées avec beaucoup de prudence car nous ne connaissons pas la puissance nominale de la plupart des équipements.

| | Coefficient de foisonnement |
|---|---|
| Cordon chauffant | 0,97 |
| Adoucisseur | 0,81 |
| Divers appareils | 0,03 |
| Robot coupe | 0,01 |
| Eplucheuse et essoreuse | 0,01 |
| Batteur mélangeur | 0,01 |
| Trancheuse pain | 0,00 |

***Figure 3.29 : Coefficients de foisonnement des composants du poste divers***

### III.6.3 Possibilités d'économies d'électricité

On propose ci-après des pistes de réflexion pour réduire la consommation électrique des cordons chauffants des chambres froides.

La première préconisation est de l'ordre de la conception de la chambre froide. Il faut faire en sorte que la tuyauterie d'évacuation soit à l'extérieur de la chambre froide. On limite ainsi au minimum les éléments à maintenir hors gel (à savoir la porte). Si c'est impossible, il faut a minima limiter le fonctionnement de ce cordon chauffant à la période de dégivrage.
Il semble aussi que la température maintenue sur le cadre de porte soit très supérieure à 0°C. Or cela n'est pas nécessaire pour garantir les ouvertures de porte. Il faut donc demander la mise en œuvre de cordon chauffant autorégulant avec température de consigne autour de 2°C.

# Partie IV : Résumé des préconisations

Le tableau suivant reprend l'ensemble des préconisations permettant de réduire les consommations et les puissances appelées dans les cuisines collectives.

| Poste | Détails | Préconisations | Préconisations détails |
|---|---|---|---|
| FROID | Chambres froides | Conception et organisation | - Limiter au maximum (par une bonne conception architecturale) les locaux à rafraîchir (local poubelle, laverie)<br>- Créer un espace tampon avec les fonctions cuisson et lavage.<br>- Grouper les chambres froides, interdire les locaux réfrigérés vides (sas), entourer la chambre froide négative par les positives.<br>- Limiter au maximum les meubles réfrigérés (self, cuisine) |
| | | Températures | - Respecter les températures imposées par la réglementation (pas de températures inférieures) |
| | | Isolation | - Isoler toutes les parois (y compris le sol)<br>- Coefficient de transmission thermique : 0,350 à 0,263 W/m²K en stockage réfrigéré, 0,263 à 0,162 W/m²K en stockage surgelé |
| | | Etanchéité à l'air | - Utiliser des éléments de raccords préfabriqués pour assembler les panneaux<br>- Reboucher soigneusement à l'aide d'une matière imperméable à la vapeur tout percement de parois<br>- Equiper les portes de joints souples parfaitement étanches |
| | | Réduction des déperditions | - Installer sur toutes les chambres froides des rideaux à lanières |
| | | Cordon chauffant | - Limiter à la porte les éléments à maintenir hors gel en faisant en sorte que la tuyauterie d'évacuation soit à l'extérieur de la chambre froide<br>- Mettre en œuvre un cordon chauffant autorégulant avec température de consigne autour de 2°C |
| | | Dispositif anti-oubli fermetures portes | - Prévoir un indicateur visuel puis sonore (temporisé) d'oubli de fermeture des portes |
| | | Fluides frigorigènes | - Utiliser pour les chambres froides positives du R410A et pour les chambres froides négatives du R404A |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | Evaporateur | - Ne pas surdimensionner, mettre en œuvre une différence de température entre l'ambiance et l'échangeur de 6 à 7°C<br>- Choisir un modèle certifié Eurovent (programme HECOOL) afin de pouvoir comparer ses performances à d'autres modèles du marché.<br>- Utiliser un ventilateur de large diamètre, faible vitesse de rotation, idéalement équipé d'un moteur à commutation électronique<br>- Dégivrer (le cas échéant) par enclenchement horaire et arrêt par consigne de température sur l'évaporateur (consigne 4°C) |
| | | Compresseur | - Type Scroll<br>- Moteur Eff1<br>- Centraliser la production de froid (froid positif), avec un compresseur à vitesse variable |
| | | Condenseur | - Le placer à l'abri de toutes sources de chaleur, protégé du rayonnement direct du soleil. Idéalement l'installer à l'extérieur sur une façade nord à un emplacement bien ventilé<br>- Ne pas surdimensionner, mettre en œuvre une différence de température de 10°C entre la température ambiante maximale atteinte (extérieure s'il est placé dehors) et le condenseur<br>- Choisir un modèle certifié Eurovent (programme HECOND) afin de permettre de comparer ses performances à d'autres modèles du marché.<br>- Opter pour un modèle équipé d'un minimum de ventilateurs, à vitesse variable et moteurs à commutation électronique |
| | | Haute pression flottante | - Régler les éléments de commande des compresseurs et condenseurs pour permettre la haute pression flottante<br>- Utiliser des détendeurs électroniques |
| | | Récupération de chaleur | - A envisager pour les installations centralisées avec puissance de compresseurs installés est supérieure à 3500 watts<br>- Installer un ballon équipé d'un échangeur immergé à double paroi entre compresseurs et condenseurs |
| | Armoires froides et meubles bas réfrigérés | | - Respecter les critères fixés par l'Energy Technology List ou le Saving Trust |

| | | | |
|---|---|---|---|
| CHAUD | Organisation | | - Ne pas surdimensionner les équipements<br>- Ne pas multiplier les équipements ayant la même fonction<br>- Mettre en route les équipements uniquement lorsque cela est nécessaire et non dès l'arrivée du personnel<br>- Choisir des équipements fonctionnant au gaz |
| | Four de cuisson | Efficacité | - Demander une résistance thermique des parois supérieure à 1m².K/W<br>- Imposer des équipements répondant aux critères du label Energy Star américain c'est à dire ayant une efficacité énergétique de cuisson de 44% pour les modèles gaz, 70% pour les modèles électriques et une puissance de veille inférieure à 3,8 kW pour le gaz et 1,6 kW pour l'électrique. |
| | Four de remise en température | Efficacité | - Demander une résistance thermique des parois supérieure à 1m².K/W<br>- Imposer des équipements répondant aux critères du label Energy Star américain c'est à dire ayant une puissance de veille inférieure à 1,13W/m3 |
| | Table de cuisson | Efficacité | - Utiliser des brûleurs feu vif haut rendement « volcan » et séquentiels<br>- Installer un dispositif « Top Flam » qui permet d'éviter le fonctionnement du brûleur lorsqu'il n'y a aucun récipient sur la plaque. |
| LAVAGE | Organisation | | - Mettre en route les équipements uniquement lorsque cela est nécessaire<br>- Différer les horaires de lavage en dehors des heures de pointe électrique |
| | Lave vaisselle / Lave ustensile | Efficacité | - Choisir des modèles équipés d'un détecteur de vaisselle<br>- Opter pour une machine isolée thermiquement<br>- Choisir un lave vaisselle équipé d'un récupérateur de chaleur sur les buées et l'air ambiant ainsi que d'une pompe à chaleur. L'installation doit être suffisamment performante pour pouvoir se passer de résistance électrique pour le lavage et le rinçage (à l'exception du surchauffeur)<br>- Interroger le fabricant sur la possibilité d'avoir un deuxième échangeur sur les eaux usées.<br>- Prévoir un système de traitement des buées (produits alcalins et humidité) pour pouvoir renvoyer l'air directement dans la laverie et s'affranchir d'un extracteur spécifique (uniquement ventilation au débit règlementaire dans ce cas).<br>- Faire appel pour le séchage à un système qui utilise l'air sec de la laverie pour réduire la puissance des résistances. |

| | | |
|---|---|---|
| VENTILATION | Dimensionnement | - Opter pour des systèmes permettant des déplacements d'air à basse vitesse (0,2 à 0,5 m/s). |
| | Efficacité | - Choisir des hottes à induction.<br>- Adapter le taux d'induction à l'application<br>- Envisager l'emploi de systèmes à jets de captation. |
| | Variation de vitesse | - Adapter le débit au besoin réel en faisant varier le débit d'extraction et de soufflage en fonction de l'hygrométrie et de la température.<br>- Mettre en œuvre des filtres cycloniques pour limiter l'encrassement des gaines d'extraction. |
| | Récupération de chaleur | - Etudier l'intérêt de la récupération de chaleur. |
| ECLAIRAGE | Chambres froides | - Utiliser des tubes fluorescents T5 adaptés aux basses températures<br>- Piloter l'allumage et l'extinction par contact de feuillure installé sur la porte |
| | Hottes | - Utiliser des tubes fluorescents T5 haute efficacité<br>- Individualiser la commande de chaque hotte<br>- Commander le fonctionnement par minuterie (temporisation de l'ordre de 30 minutes) |
| | Divers locaux | - Utiliser des luminaires étanches équipés de tubes T5<br>- Optique de classe C<br>- Rendement minimum de 70%<br>- Piloter l'éclairage de tous les locaux annexes par détection de présence<br>- Piloter l'éclairage du local principal cuisson par interrupteur, avec tableau de commande facilement accessible<br>. |

# Partie V : Conclusion

L'efficacité énergétique des cuisines collectives est un sujet qui a été très peu étudié jusqu'à ce jour et qui pourtant, comme on l'a vu au début de ce rapport, risque de devenir très rapidement une préoccupation majeure dans les bâtiments performants.

Cette étude a montré que seulement très peu de fabricants ont intégré la performance énergétique dans le cahier des charges de leurs produits. Cette remarque s'applique particulièrement aux équipements de cuisson et aux chambres froides. Cependant certaines solutions existent et peuvent déjà être mises en œuvre.

Il semble que les équipements soient surdimensionnés et redondants. Il est donc essentiel d'avoir une discussion avec les cuisiniers et les cuisinistes pour définir précisément les besoins, par exemple en fonction du nombre de repas servis. On limitera au strict nécessaire le nombre d'appareils et on optimisera leur positionnement.

Ensuite un agencement soigné des locaux devrait aussi permettre de limiter les consommations. Ainsi il faudra séparer les locaux soumis à de forts dégagements de chaleur des chambres froides ou encore positionner judicieusement les groupes froids et le local déchets (pour éviter le recours à la climatisation). Les chambres froides devront toutes être mitoyennes et accolées en fonction du niveau de température.

Il faudra aussi réfléchir à l'organisation du travail. Il faudrait par exemple laver la vaisselle en dehors des heures de pointe ou encore n'allumer les équipements que lorsque cela est réellement nécessaire. Un volet de sensibilisation à l'attention du personnel de cuisine paraît indispensable. On insistera aussi sur la nécessité de limiter les durées d'éclairage et d'ouverture des portes des chambres froides.

Enfin les préconisations techniques relatives aux équipements regroupées dans ce rapport devront être intégrées au cahier des charges que la Région remet aux équipes au moment de la construction / rénovation d'un établissement. Leur bonne mise en œuvre sera validée tout au long du projet.