



Diagnostic électrique du lycée Jean Mermoz à Montpellier

Synthèse de l'étude

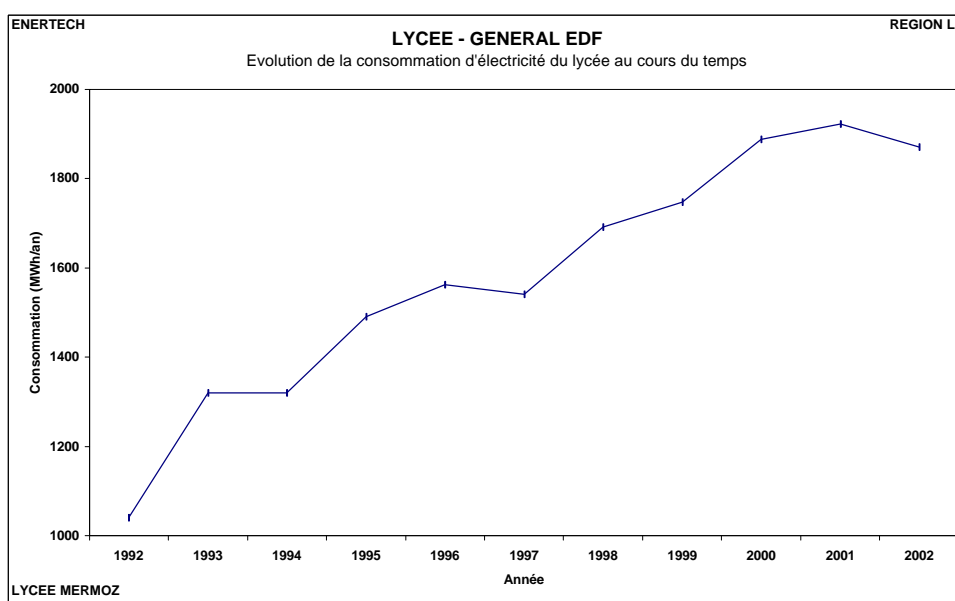
1 - Objectif de l'étude

Ce rapport réalisé à la demande de la Région Languedoc Roussillon avait pour objectif de trouver une solution pérenne aux nombreux cas de disjonction observés au cours des dernières années dans l'établissement, sans pour autant recourir à un renforcement des réseaux.

Le bâtiment B, livré rénové en 1999, a fait l'objet en 2001 de nouveaux travaux sur son réseau électrique d'alimentation pour augmenter la puissance totale disponible. Depuis, les problèmes de coupure se sont renouvelés. Par ailleurs, la consommation d'électricité du lycée a été multipliée par 1,8 entre 1992 et 2002. C'est ce qui a conduit la Région à lancer une étude pour mieux comprendre comment se construisait la consommation d'électricité de l'établissement. L'objectif était de pouvoir agir avec pertinence sur les mécanismes amonts plutôt que subir des croissances de consommation mal expliquées, donc mal acceptées.

La méthode proposée s'est appuyée sur vaste campagne de mesures basée sur une métrologie abondante puisque 614 mesureurs ont été posés, permettant d'enregistrer les consommations mais aussi le mode d'utilisation des équipements et des locaux.

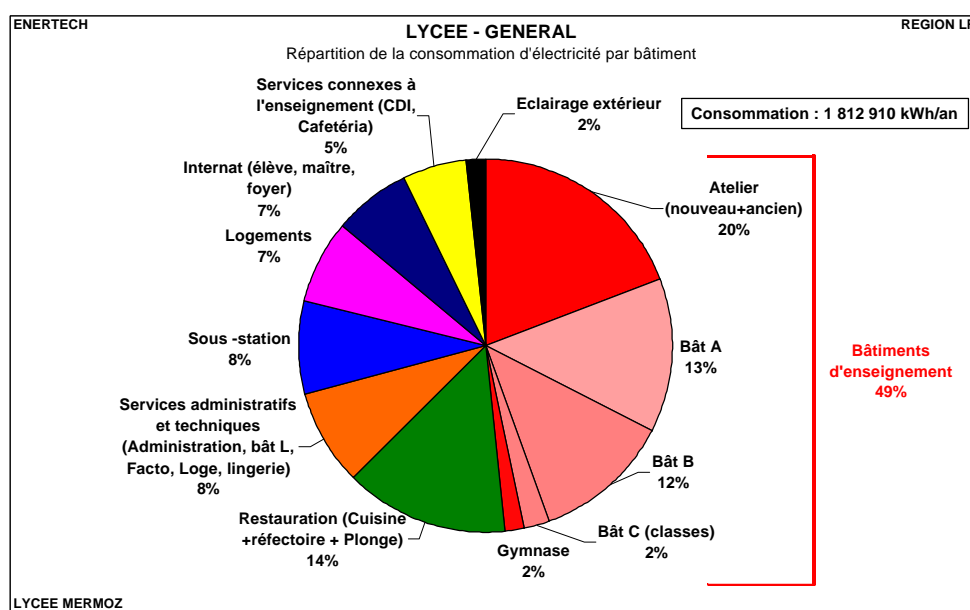
Compte tenu de la taille du lycée, il était impossible d'étudier l'ensemble des locaux, si bien que seul le bâtiment B (parfaitement représentatif d'un bâtiment d'enseignement) a fait l'objet d'une analyse détaillée. Dans les autres bâtiments, seuls les principaux départs ont fait l'objet d'un suivi.



2 - Description du lycée

Le lycée accueille 2624 élèves (année 2002-2003). Sa SHON est de 53 500 m², et sa consommation électrique s'est élevée en 2002 à 1 870 345 kWh pour un coût total de 149 013 euros TTC. Sa structure, basée sur une consommation mesurée en 2003 de 1 812 910 kWh/an, est la suivante :

- 49% pour les bâtiments d'enseignement dont 20% pour les seuls ateliers
- 14% pour la restauration
- 14% pour les logements
- 8% pour les deux pompes primaires de chauffage (33 kW appelés quels que soient les besoins pendant toute la saison de chauffe)
- 15% pour les autres bâtiments et l'éclairage extérieur.



Plus de la moitié de la consommation correspond à des périodes de non-occupation du lycée (talons de nuits, week-ends, vacances). Pendant ces périodes de non-occupation, 40% de la consommation est due aux bâtiments d'enseignement.

3 - Tension d'alimentation

La tension d'alimentation du lycée est très supérieure à la valeur nominale de 230V, **de l'ordre de 240V en journée et 245V les nuits**, week-ends et vacances.

Cette situation génère des surconsommations notables, et peut perturber ou endommager certains appareils.

On peut diminuer de 2,5% cette tension en agissant sur le réglage du transformateur ce qui réduira d'environ 3,5% la consommation actuelle du lycée (57 000 kWh/an) et de 4,5% la puissance en pointe. L'économie induite s'élève à plus de 4500 euros TTC/an.

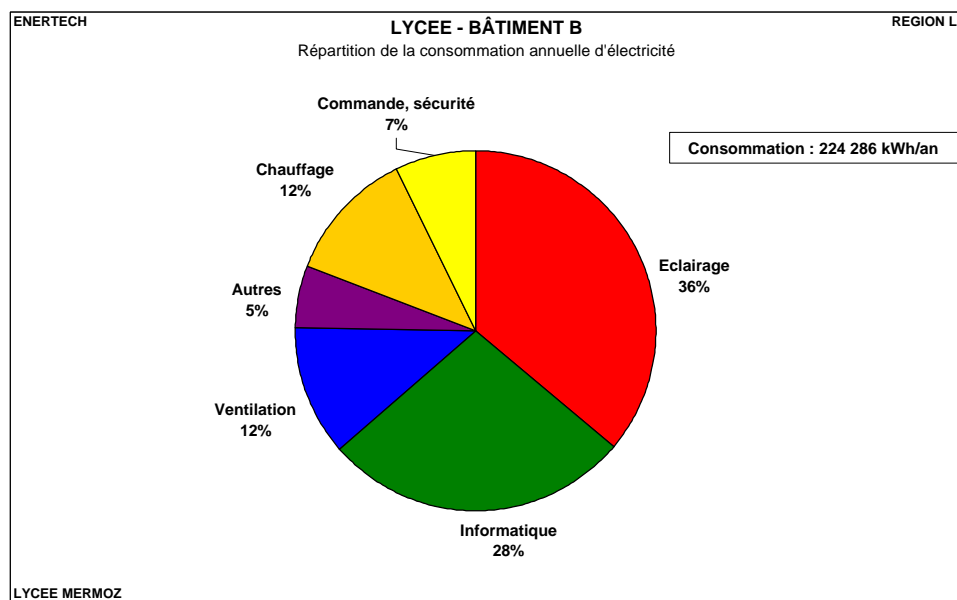
4 - Le bâtiment B

Le bâtiment B a été construit en 1965. Il a été rénové en 1999. Sa surface est de 8500 m² de SHON. Il comporte 96 salles et son parc informatique est constitué de 220 ordinateurs.

Synthèse

Il est globalement sous-occupé. En effet, la durée annuelle moyenne d'occupation des salles est de 762 heures, soit un **taux d'occupation de seulement 43%**, taux calculé sur la base des créneaux horaires actuellement utilisés par le lycée (50 h par semaine).

Sa consommation est de 224 000 kWh/an, soit 12% de la consommation totale du lycée. Les deux tiers de cette consommation correspondent aux postes éclairage et informatique, le reste se répartit entre le chauffage, la ventilation et divers appareils.



Répartition de la consommation d'électricité du bâtiment B entre les différents usages

L'usage prépondérant pendant la pointe est, avec 71% de la puissance appelée, l'éclairage. Il est donc impératif d'agir sur ce poste si on veut supprimer les risques de coupure de courant de façon durable. Près de la moitié des coûts d'électricité du bâtiment B incombe à l'éclairage et environ un quart à l'informatique.

ECLAIRAGE : la durée moyenne d'éclairage des salles de classe est égale à 479 heures/an côté fenêtre et 496 heures/an côté mur. Le niveau d'éclairement moyen est très élevé, de l'ordre de 600 lux (l'association française de l'éclairage préconise 300 lux).

INFORMATIQUE : près des trois quarts de la consommation du poste informatique correspond soit à des pertes (onduleur et transformateur rajouté) soit à des périodes de non-occupation du bâtiment.

L'unité centrale d'une salle de classe consomme en moyenne 73 kWh/an dont les deux tiers peuvent être économisés si on active le gestionnaire d'énergie Energy Star et que l'ordinateur est arrêté en dehors des heures de classe. L'écran quant à lui consomme 44 kWh/an et l'économie envisageable est d'environ 36%.

5 - Bilan des économies (bâtiment B)

L'ensemble des économies possibles dans le bâtiment B s'élève à près de 140 000 kWh/an, soit **62% de la consommation actuelle**. L'investissement nécessaire pour accéder à

Synthèse

ce gisement est de 118 000 euros TTC et conduit à un temps de retour de 8,2 ans (si on tient compte des économies sur le chauffage induites par l'action sur les ventilations).

Précisons que 20 % de l'ensemble de ces économies peuvent être réalisées directement par le lycée avec des investissements nuls ou de temps de retour inférieur à un an.

Les mesures préconisées se regroupent en trois catégories :

- Supprimer les consommations inutiles
- Activer les fonctionnalités, incluses dans les équipements, qui permettent de réduire les consommations d'électricité
- Utiliser des matériels très performants et des dispositifs de commande et de pilotage.

Usage	Economies (kWh/an)	Economies (Euros TTC/an)	Coût (Euros TTC/an)
Eclairage	- 50 900 (-63%)	- 5 700 (-62%)	87 080
Informatique	- 44 000 (-71%)	- 2 500 (-61%)	600
Chauffage	- 22 400 (82%)	- 1 570 (-73%)	180
Ventilation ⁽¹⁾	- 28 000 (-65%)	- 2 000 (- 3 300 ⁽²⁾) (-59%)	30 000
Autres	- 7 100 (-59%)	- 380 (-45%)	-
Réduction de la tension	- 3100 ⁽³⁾	- 320	-
Remise en état ventilation	+ 17 000	+ 1 400	-
	- 138 500 (-62%)	- 11 070 (-57%)	117 860

(1) % d'économie calculé à partir de la consommation de la ventilation remise en état (la ventilation du bâtiment B est actuellement câblée provisoirement sur le bâtiment C, pour éviter les coupures de courant).

(2) économie d'électricité plus économie de chauffage induite

(3) économie calculée sur la consommation résiduelle après mise en œuvre de l'ensemble des mesures proposées.

6 - Réduction des puissances appelées (bâtiment B)

La mise en place de l'ensemble des mesures proposées permettrait de réduire de 93 A l'intensité absorbée sur chaque phase (protégée par un disjoncteur 200 A), ce qui résoudrait définitivement les problèmes de disjonctions rencontrés lors des pointes de consommation. Avec une marge de sécurité de près de 80A par phase, l'augmentation du parc informatique peut se faire sans risque de coupure de courant.

L'alternative, indispensable si aucune mesure de réduction des puissances appelées en pointe n'était prise, est le renforcement de l'alimentation électrique du bâtiment. Si on fait

l'hypothèse que ce renforcement coûte 15 000 euros TTC, le temps de retour du plan d'action est réduit à environ 7 ans (économies de chauffage incluses). Mais ce temps de retour pourrait être encore considérablement réduit si le taux d'occupation du bâtiment était doublé (passant de 43 à 85 %).

Au-delà du temps de retour, ce plan d'actions permettra de dégager une économie annuelle de fonctionnement de 11.000 Euros pour le seul bâtiment B. Si l'ensemble des mesures proposées était étendu à tout le lycée, l'économie de fonctionnement serait considérable (le bâtiment B ne représente que 12 % de la consommation du lycée). Une collaboration avec l'équipe de maîtrise d'œuvre sur le bâtiment C a été mise en place pour intégrer d'ores et déjà les résultats de cette campagne de mesures aux travaux de restructuration.

7 - Les 6 manières de faire des économies d'électricité

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

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

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

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

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

Cette étude a montré que ces consommations ne sont pas fatales, inhérentes aux usages qu'elles assurent. Pour simplifier, on peut affirmer qu'il y a six manières de faire des économies d'électricité :

I - Supprimer les gaspillages

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

gestes sont simples, ne coûtent rien qu'une modification des comportements et des attitudes. Nous sommes tous concernés.

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

II - Rechercher et supprimer les dysfonctionnements

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

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

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

III - Identifier les consommations insoupçonnées

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

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

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

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

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

- certains ordinateurs continuent à fonctionner alors que personne ne les utilisent,

Synthèse

- les pompes de chauffage fonctionnent 24/24, la nuit, les vacances et même lorsqu'il fait 27°C dans les classes,
- les pompes primaires (36 kW) de la sous station fonctionnent à pleine puissance alors qu'il fait 23°C dehors au mois d'avril,
- des convecteurs électriques d'appoint fonctionnent toutes les nuits alors que le bâtiment est inoccupé,
- etc...

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

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

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

V - Remplacer les équipements existants par des technologies performantes

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

- on peut rénover l'éclairage des classes au moyen de kits permettant de réduire de 67% la consommation. Le coût est relativement important, mais seule cette mesure mettra définitivement le bâtiment B hors de tout risque de disjonction aux heures de pointe (division par deux de la puissance en pointe),
- variation de vitesse des pompes et ventilateurs. Cette disposition est très intéressante si le débit des installations est appelé à varier de façon notable, ce qui est le cas. Le principal potentiel d'économie concerne les deux pompes primaires de chauffage (100 MWh d'économie).

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

VI - Mieux rentabiliser l'utilisation des équipements existants

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

8 - Conclusion

Cette étude, basée sur une méthodologie originale et une importante métrologie, a montré qu'il existait une alternative au renforcement des lignes pour maîtriser la croissance des besoins électriques du lycée. Elle a, pour la première fois en France, décrit et quantifié les potentiels d'économie d'électricité qui existaient et qui permettraient définitivement de placer le lycée en situation de faire face aux croissances actuelles de ses consommations. Elle a aussi montré le poids de l'éclairage sur la puissance de pointe, et la nécessité impérieuse d'agir sur ce poste pour apporter une réponse satisfaisante au problème posé.

Parmi les mesures préconisées, beaucoup sont d'un accès aisé et peu onéreuses. Elles peuvent être mises en œuvre immédiatement dans le lycée Mermoz, et même dans l'ensemble des lycées de la région.

D'autres dispositions, notamment celles concernant la substitution des matériels existants par des matériels très performants, ont des temps de retour plus longs. Mais prise globalement, la mise en place de l'ensemble des solutions est très rentable. Elle présente le double avantage d'apporter une solution définitive au problème posé, de réduire les coûts d'exploitation d'un facteur supérieur à deux, et de contribuer à la mise en place d'une stratégie nationale du développement durable.

Les analyses et les conclusions issues de ce travail ont un caractère général : elles sont applicables à tous les lycées de la région.

Mais il paraît essentiel, pour mener à bien une stratégie de maîtrise de la consommation d'électricité, de sensibiliser, d'impliquer et de former les personnels de maintenance de chaque lycée. Le rôle de ces techniciens de maintenance est essentiel dans la bonne marche des équipements. Bien sensibilisés et bien formés, ils peuvent être le meilleur vecteur pour rendre opérationnelle une politique efficace d'économie d'énergie.

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