

L'électricité : un rôle majeur dans une politique énergétique sobre pour le bâtiment

Olivier Sidler - Directeur de la Sté ENERTECH
Vice Président de l'Association Négawatt

Parce qu'elle serait produite massivement par de l'énergie nucléaire, donc en principe avec peu d'émission de carbone, il ne serait pas nécessaire de faire des efforts particuliers pour économiser l'électricité. C'est du moins un point de vue très répandu en France. Mais cette approche partisane, car peu objective, ne résiste guère à l'analyse parce qu'elle n'est ni exacte, ni économique.

1. Il faut réduire les consommations d'électricité

Nous avons longuement explicité dans le premier chapitre de ce numéro une série de raisons qui justifient une attention très particulière aux consommations d'électricité de l'ensemble des secteurs de l'économie: économie financière, lutte contre la précarité, sécurité énergétique, problèmes d'environnement, etc.

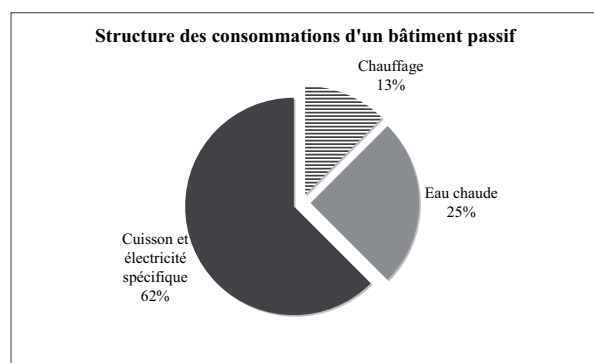
Dans le domaine du bâtiment (résidentiel ou tertiaire), à ces premières considérations s'en ajoutent d'autres qui lui sont plus spécifiques et sur lesquelles nous nous proposons de nous arrêter un instant.

1.1 En logements récents, l'électroménager coûte trois fois plus cher que le chauffage

A partir de 1975, le secteur du bâtiment s'est vu imposer des réglementations thermiques successives qui ont conduit à réduire de façon massive les consommations de chauffage. L'argument avancé auprès des populations était la réduction corrélative de la facture énergétique. Mais dès la réglementation de 1982, le coût de l'électroménager et sa consommation exprimée en énergie primaire sont devenus deux, voire trois fois plus importants que ceux du chauffage. On assistait alors à une explosion assez irrationnelle des consommations électrodomestiques basée sur la prolifération de matériels peu optimisés, souvent d'un intérêt discutable, et présentant de plus en plus fréquemment des consommations à l'arrêt (veilles).

Ce phénomène va se renforcer dans un futur proche, avec la réduction programmée des besoins de chauffage. A titre d'exemple, dans un logement au label allemand Passivhaus (besoins de chauffage inférieurs à 15 kWh/m²/an), l'électroménager et l'éclairage consomment 5 fois plus d'énergie primaire et coûtent 5 fois plus cher que le chauffage.

Figure 1 : Structure de la consommation totale d'énergie en logement passif.



Cette situation est trop incohérente pour pouvoir durer. Comment, notamment en logement social, continuer à expliquer aux usagers qu'on leur livre des logements mieux isolés pour réduire leur facture énergétique alors même que l'essentiel de cette facture est constituée de leur consommation électrodomestique...

Réduire les consommations d'électricité apparaît donc une évidente nécessité dans ce secteur.

1.2 Économiser sur le chauffage mais pas sur l'électricité, difficile à comprendre...

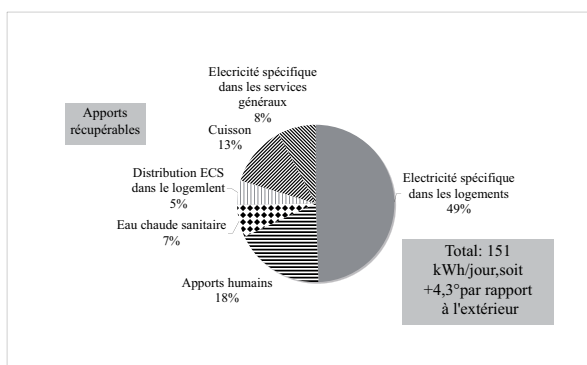
Tout apport d'énergie à l'intérieur d'un bâtiment finit en chaleur. Comment dès lors expliquer aux Français qu'il faut faire des économies de chauffage et... ne rien faire de particulier sur l'électroménager, ou sur les appareils électriques en général. Physiquement, cette approche n'a pas de sens, l'origine de la chaleur à l'intérieur des bâtiments n'étant pas « tracée ». L'avenir est tourné vers l'efficacité énergétique, et toutes les formes d'énergie sont obligatoirement concernées par cette approche. L'électricité ne fera pas exception à cette règle, et les Français ne pourraient de toute façon pas le comprendre...

L'effort doit donc porter indistinctement sur le chauffage et sur la consommation électrique de l'ensemble des usages.

1.3 Dans les bâtiments, les usages électriques sont la principale source de surchauffes en été

Les campagnes de mesure ont montré le rôle majeur joué par les usages électriques sur les surchauffes estivales dans les bâtiments construits actuellement. La figure 2 montre le cas d'un immeuble de logements à côté de Lyon.

Figure 2 : Structure des apports internes en été dans un logement performant.

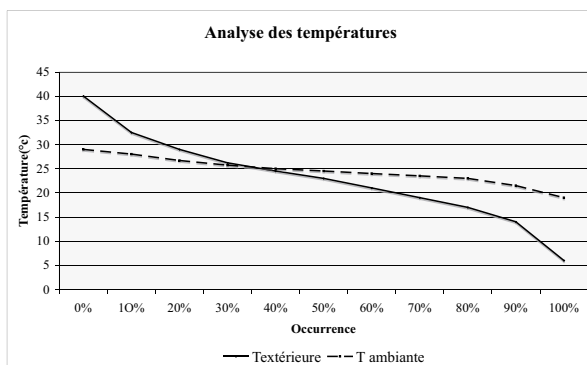


Il apparaît que l'ensemble des apports internes peut conduire à augmenter la température intérieure de 4,3 °C par rapport à la température extérieure en été, et que la moitié de cet effet est due à l'électroménager. Dans les bâtiments de bureaux la situation est encore plus caricaturale : la dérive et la gabegie de l'éclairage et surtout de la bureautique ont rendu la climatisation indispensable. On observe que ni l'un ni l'autre de ces usages n'a été optimisé : l'éclairage est surabondant : les usagers sont obligés de démonter un tube sur deux et se plaignent explicitement de sur-éclairage. Quant à la bureautique, outre la surpuissance inutile des machines et des

écrans, les campagnes de mesure ont mis en évidence qu'elle n'était utilisée que 16 % du temps pendant lequel elle était en marche.

Il est clairement établi aujourd'hui que pour faire des bâtiments qui restent d'un confort acceptable en été, il faut impérativement réduire drastiquement les consommations des usages électriques. L'expérience très concluante du bâtiment de l'INEED dans la Drôme le prouve. Grâce à un travail sur les usages électriques, le bâtiment a pu faire l'économie d'une installation de climatisation et le confort d'été est excellent.

Figure 3 : Fréquences cumulées des températures estivales à l'INEED à l'extérieur et à l'intérieur de l'ensemble des bureaux hors saison de chauffe pendant les heures ouvrées (sans climatisation).



L'inconfort estival dans les bâtiments performants, donc dans tous les bâtiments de demain, est aujourd'hui le principal problème à régler. Et aucune solution ne pourra faire l'économie d'une réduction drastique des consommations d'électricité pour y parvenir.

2. Comment économiser l'électricité ?

Autant la réduction des consommations de chauffage est coûteuse et parfois lourde à mettre en œuvre, autant économiser l'électricité est facile et peu cher. C'est pourtant un secteur d'activité très méconnu. Réduire les consommations d'électricité n'est presque jamais envisagé pour

améliorer la situation énergétique en France. Or c'est la voie la plus simple, et surtout la moins coûteuse pour parvenir très rapidement à un résultat spectaculaire.

Six principes doivent être mis en place :

1 - D'abord, **bien identifier les consommations du bâtiment**. Cela se fera non pas en faisant une campagne de mesure spécifique, ce qui serait trop coûteux, mais en identifiant les différents usages et en se rapportant aux campagnes de mesures déjà faites sur le sujet (voir www.enertech.fr). Afin d'améliorer sa connaissance des consommations propres au bâtiment étudié, on pourra poser quelques wattmètres sur les principaux départs, et pendant quelques jours seulement.

- 2 - Il faut ensuite *rechercher tous les dysfonctionnements*. Il s'agit de tout ce qui ne fonctionne pas comme tout le monde pense que c'est en train de fonctionner. Par exemple, l'éclairage d'une circulation bloquée pendant 5 mois, un éclairage extérieur qui fonctionne à midi mais est arrêté à minuit, une VMC qui fonctionne du mercredi au dimanche soir mais pas le lundi et le mardi, une pompe à eau glacée qui fonctionne toute l'année 24h/24, etc. Les illustrations sont innombrables et il n'est encore jamais arrivé au cours d'une campagne de mesure qu'on ne rencontre pas de dysfonctionnements. Le poids de ceux-ci peut être considérable et ils peuvent doubler la consommation nominale d'un usage. Ce qui frappe c'est la quantité de dysfonctionnements rencontrés dans tous les bâtiments instrumentés jusqu'à présent.
- 3 - Il faut *identifier toutes les consommations a priori insoupçonnées*. On les connaît maintenant un peu mieux. Il s'agit d'abord des consommations de veille. Plusieurs centaines de types d'appareils sont concernés. Il s'agit d'un véritable fléau dû au manque de rigueur dans la conception des matériels. Il serait parfaitement possible, et les dernières directives européennes vont désormais l'imposer, d'avoir des veilles ne dépassant pas 1 W, et même 0,5 W. Autre consommation méconnue : celle due aux surtensions du réseau. La distribution d'électricité doit s'effectuer avec une tension comprise entre 207 et 243 V. Mais on mesure parfois des tensions sensiblement supérieures. Or la consommation de la plupart des appareils croît avec le carré de la tension. Dans un lycée, les surtensions observées par rapport à 230 V conduisaient à une surconsommation annuelle de 200 MWh, soit 10 % de la consommation totale.
- 4 - Une règle simple doit être généralisée : *ne faire fonctionner les appareils qu'en cas de besoin*. Cette évidence est pourtant très peu respectée et on peut affirmer qu'environ 25 % de la consommation d'électricité de n'importe quel bâtiment pourrait être économisée par arrêt des appareils qui n'ont pas besoin de fonctionner. Appliquer cette règle ne coûte pourtant rien du tout !

Voici quelques exemples :

- les ordinateurs de bureaux, en moyenne sur 50 bâtiments analysés, sont utilisés 16 % du temps pendant lequel ils fonctionnent. Leur consommation totale est pourtant de 40 kWh/m²/an, ce qui en fait le premier poste de consommation d'électricité des bâtiments de bureaux...
 - la ventilation mécanique de l'hôtel du département du Bas-Rhin à Strasbourg (25 000 m² chauffés) fonctionnait 24h/24. En l'arrêtant on a pu remettre en route la pompe à chaleur pour le chauffage et, sans dépenser un euro, on a réduit de 67 % la consommation de gaz pour le chauffage et de 4 % la consommation d'électricité, alors que celle-ci assurait désormais le chauffage.
 - dans ce même établissement, le groupe froid fonctionnait en permanence toute l'année.
 - combien de pompes ne s'arrêtent jamais au cours de l'année ?
 - pourquoi les distributeurs de boissons, les photocopieurs, et un tas de machines ne sont jamais arrêtées ni le week-end ni la nuit alors qu'ils n'ont aucune utilité ?
- 5 - Ce n'est qu'après avoir procédé aux opérations précédentes qu'on envisagera *l'utilisation d'appareils à haute efficacité*, récemment apparus sur le marché.
- 6 - Enfin, on peut souhaiter que les industriels se penchent sur la rénovation électrique mieux qu'ils ne le font actuellement, en *mettant sur le marché des matériels spécifiquement destinés à cette rénovation*. À titre d'exemple pour améliorer la source lumineuse d'une installation, il n'est pas nécessaire de changer le luminaire. C'est pourtant ce qui est proposé actuellement à ceux qui se lancent dans l'amélioration de la performance énergétique. Dès 1996 Whestinghouse a mis au point un kit de rénovation comprenant un tube T5 doté d'un prolongateur et d'un ballast électronique incorporé, qui se substituait de manière simple au tube T8 en place. Ce type d'innovation est fondamental car il permettra rapidement et à bon marché de faire des économies d'électricité. En revanche il devra affronter la pression d'un certain nombre de lobbies dont l'intérêt n'est pas de vendre des kits, mais de faire du chiffre d'affaires sur des systèmes complets, bien plus rentables.

3. Quelles sont les technologies disponibles et quels principes mettre en œuvre pour économiser l'électricité ?

Réduire physiquement les consommations d'électricité suppose de mettre en œuvre les principes décrits au paragraphe précédent.

Deux règles dominent cette approche :

- Pour chaque appareil existant, quelles que soient sa nature et sa fonction, il faudra examiner avec soin les périodes pendant lesquelles son fonctionnement est impératif, et interdire tout fonctionnement en dehors de ces périodes.
- Il faudrait identifier toutes les technologies permettant d'améliorer l'efficacité des appareils mis en œuvre.

Mais avant toute chose une remarque s'impose : si des travaux d'amélioration thermique du bâtiment devaient aussi être entrepris, il faut impérativement qu'ils le soient avant le travail sur l'amélioration de l'efficacité énergétique des usagers électriques. En effet les interactions sont nombreuses, notamment sur les pompes, ventilateurs et production de chaleur, dont la taille sera réduite après rénovation thermique. On bénéficiera ainsi d'un effet de synergie.

3.1 La limitation du temps de fonctionnement des appareils

L'adaptation du fonctionnement des usages aux seules périodes nécessaires et au strict minimum utile s'effectuera de façon assez simple selon l'usage :

- Pour l'éclairage on pourra recourir à des minuteries dites intelligentes (parce qu'elles disposent d'une dérogation permettant un fonctionnement prolongé de manière momentanée). Ces minuteries seront utilisées essentiellement dans les parties communes et les circulations. Mais on pourra aussi utiliser des détecteurs de présence à condition d'en choisir qui soient suffisamment sensibles, et à condition de mettre en œuvre des temporisations de sortie qui soient très courtes (moins de 10 secondes). A défaut, les détecteurs de présence peuvent être une solution très médiocre. Enfin on pourra aussi utiliser les coupures générales au moyen de la GTB. Ces coupures ont lieu à midi, et en fin d'après-midi. Toujours associées à une dérogation, elles permettent d'éviter tout fonctionnement en dehors des heures d'utilisation.
- La bureautique dispose depuis longtemps de gestionnaires d'énergie dont le plus connu, Energy Star, est installé sur toutes les machines vendues depuis plus de huit ans. Malheureusement ce gestionnaire n'est jamais émulé, et il est donc inopérant. Il est pourtant simple au moyen du panneau de configuration, option « optimisation alimentation », de déterminer soi-même à partir de combien de temps on souhaite l'extinction de l'écran puis l'arrêt de la machine. Rappelons que lors d'un arrêt complet, tous les paramètres sont enregistrés. Le redémarrage se fait ensuite en moins de 15 secondes en repositionnement tous les pointeurs dans tous les dossiers à l'endroit exact où ils étaient. L'ordinateur portable présente de nombreux avantages : d'abord sa puissance de fonctionnement est extrêmement faible. C'est une machine énergétiquement optimisée. Il dispose également d'un gestionnaire d'énergie obligatoirement en fonctionnement afin d'arrêter la machine à chaque fois qu'elle n'est plus utilisée pour garantir une autonomie suffisante de la batterie. C'est donc l'équipement idéal : faible puissance et temps de fonctionnement parfaitement optimisés, pour autant que le paramétrage du gestionnaire d'énergie soit correct.
- Le pilotage des pompes et ventilateurs, très gros consommateurs d'électricité dans un bâtiment, se fera en général par le biais, soit d'un programmeur associé à l'équipement, soit de la GTB. Il faut imposer des règles très strictes à leur fonctionnement. On observe partout des dérives considérables conduisant à des fonctionnements continus sur l'année alors que le besoin n'est souvent que de quelques centaines d'heures.
- De nombreux appareils comme les photocopieurs, les distributeurs de boissons, les imprimantes, etc., doivent eux aussi être arrêtés lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Cet arrêt peut être à l'échelle de chaque utilisation (plusieurs fois par jour) ou de la journée. On peut soit utiliser de simples interrupteurs permettant la mise en marche et l'arrêt, soit des programmeurs, soit encore utiliser des fonctions programmables souvent présentes sur les matériels les plus récents.

3.2 Les technologies performantes disponibles

Ce qui suit ne peut être exhaustif mais il faut quand même rappeler l'existence de nombreuses technologies très performantes en matière d'électricité, déjà parfaitement opérationnelles :

- Les sources lumineuses ont fait des progrès considérables. On dispose de tubes T5 et de ballasts électroniques permettant une division par deux des consommations des tubes fluorescents actuels. L'arrivée sur le marché des leds va également modifier profondément l'équipement domestique. Ce sera d'autant plus utile que les directives européennes proscrivent désormais la vente des ampoules à incandescence les plus puissantes.
- Les moteurs électriques eux-mêmes offrent aujourd'hui des rendements beaucoup plus élevés, avec l'utilisation des moteurs à courant continu ou la suppression du courant de magnétisation grâce aux aimants permanents sur les moteurs asynchrones. Mais la banalisation de la variation de vitesse permet d'aller encore plus loin en adaptant avec précision le débit des installations à leurs besoins réels. Sur les réseaux à caractéristiques variables, la consommation d'électricité varie avec le carré du débit.
- En 15 ans les appareils de froid domestique ont vu leur consommation divisée par un facteur cinq grâce à une isolation thermique renforcée et à une optimisation des compresseurs. Dans les années à venir cette consommation, sous la pression des directives européennes, va encore être divisée par un facteur deux.
- Les ascenseurs eux-mêmes ont fait leur révolution. On a désormais recours à des moteurs à vitesse variable, une absence de transmission par engrenages (dont le rendement n'était que de 50 % !), une réinjection du courant au freinage, un contrôle de l'éclairage en cabine. Toutes ces dispositions peuvent conduire à une réduction d'un facteur trois à quatre des consommations conventionnelles, pour un confort meilleur des utilisateurs !
- La principale révolution de la bureautique sera l'adoption généralisée des ordinateurs portables de petite dimension. Ces machines ont l'avantage d'une puissance très réduite, d'autant plus réduite que la taille de l'écran sera elle-même réduite. Or il faut se rappeler que 90 % des usages de la bureautique concernent du traitement de texte. Il n'est peut-être pas utile d'utiliser des écrans de 24 pouces à cette fin. Le second avantage des ordinateurs portables est la gestion intégrée de l'énergie qui leur permet de s'arrêter dès qu'ils ne sont plus utilisés. Enfin la présence de la batterie, qu'il convient de gérer de manière appropriée en la faisant travailler au moins une fois par semaine, permet dans un bâtiment de bureau, de s'affranchir des onduleurs dont le principal défaut est d'être généralement surdimensionnés, et de présenter un niveau de pertes continues très important obligeant même parfois à climatiser le local dans lequel ils se trouvent. Le cas des portables illustre le phénomène des économies en

cascade : les portables réduisent la consommation par rapport aux ordinateurs « tours », ils permettent également la suppression des onduleurs, et donc aussi de la climatisation spécifique qui les accompagne. Enfin, en été, toutes ces réductions de consommations vont permettre, sinon de supprimer, du moins de réduire les consommations de climatisation (il faut environ 0,5 kWh d'électricité pour supprimer 1 kWh de chaleur dans un bâtiment par climatisation).

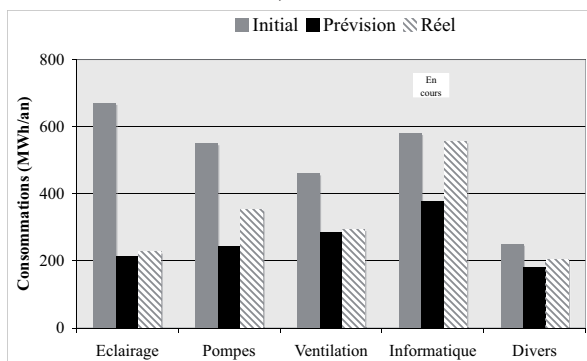
- La question de la consommation à l'arrêt des appareils, les fameuses « veilles », est très problématique. Pendant de nombreuses années les industriels ont refusé tout effort pour réduire, voire supprimer, les veilles, de manière réglementaire. Certains l'ont fait mais la majorité a ignoré ce véritable fléau. Si bien qu'aujourd'hui la plupart des appareils en service sont « infectés » par cette consommation inutile qui se fait à l'insu de son utilisateur. Pour celui-ci, la seule manière d'éviter la consommation de veille consiste à interrompre l'alimentation de l'appareil, soit manuellement, soit par le biais d'un interrupteur ou d'une programmation. Heureusement, une récente directive européenne va mettre fin à cette situation en imposant dès 2010 que la veille des appareils neufs n'excède pas 1 W, et que cette valeur soit portée à 0,5 W dès 2013.
- L'un des grands enjeux de demain est la pompe à chaleur. Elles ne constituent pas à proprement parler un usage spécifique de l'électricité, mais elles offrent une opportunité unique en permettant de fournir de la chaleur, soit pour le chauffage soit pour l'eau chaude sanitaire, en prélevant l'essentiel de cette chaleur dans l'environnement extérieur au moyen d'un cycle thermodynamique très astucieux ne nécessitant, si l'appareil est bien conçu et intelligemment mis en œuvre, que très peu de consommation électrique. Malheureusement depuis 25 ans la plupart des pompes à chaleur mises en œuvre en France l'ont été dans de très mauvaises conditions, souvent justifiées par l'économie. Cette situation doit être rapidement inversée avec l'arrivée des pompes à chaleur dont le COP (Coefficient de Performance) sera compris entre 7 et 10. Mais pour parvenir à de telles performances, il faut se souvenir que le COP théorique d'une pompe à chaleur est inversement proportionnel à l'écart de température entre les sources chaudes et froides. Il convient donc de rechercher les sources d'énergie extérieure à la température la plus haute possible (c'est généralement le sol), et les températures d'émission de chaleur les plus basses possible, c'est-à-dire les planchers chauffants dans le cas idéal, en évitant les systèmes à air chaud ou à radiateurs dont les températures sont généralement trop élevées. Ce faisant on réhabilitera un système de chauffage très vertueux qui a en plus l'avantage de pouvoir offrir une source de réfrigération passive en été, en faisant circuler l'eau, sans passer par la pompe à chaleur, du plancher chauffant au réseau de tubes placé dans le sol.

4. Des exemples d'opérations neuves et rénovées à faible consommation d'électricité

4.1 La rénovation de l'hôtel du département du Bas Rhin à Strasbourg

C'est probablement la plus grosse opération de maîtrise des consommations d'électricité dans un bâtiment de bureaux existant en France. L'hôtel du département a une surface de 35 000 m² dont 11 000 de parking. On a d'abord procédé à une campagne de mesure d'une année. La consommation d'électricité, tous usages confondus (mais hors chauffage alors assuré par du gaz), était de 158 kWh/m²/an et celle de gaz (pour le chauffage) de 147 kWh/m²/an. On découvre que 52 % de la consommation a lieu en période d'inoccupation, ventilateurs, pompes et bureautique représentant 60 % de cette consommation d'inoccupation. Le diagnostic basé sur cette campagne a montré qu'il était possible d'économiser 39 % de la consommation d'électricité et que le temps de retour était de 1,6 ans. La volonté du maître d'ouvrage a été d'aller plus loin encore et de changer certains matériels (pompes, luminaires) plutôt que les améliorer. Le résultat est assez spectaculaire : après travaux et nouvelle campagne de mesure, la consommation d'éclairage du bâtiment a baissé de 66 % (entre 90 et 92 % là où des travaux ont effectivement été faits), celle des pompes et ventilateurs de 36 % (tous les appareils n'ont pas été changés). Celle de la bureautique, encore en travaux, devrait être de 35 %.

Figure 4 : Économie d'électricité dans l'hôtel du département du Bas Rhin après travaux (pour l'informatique, les travaux sont en cours)



Le temps de retour des travaux est de 3,1 ans, et l'économie annuelle sur le budget énergie est de 130 000 € TTC.

4.2 Le Bâtiment de l'INEED à Alixan (Drôme)

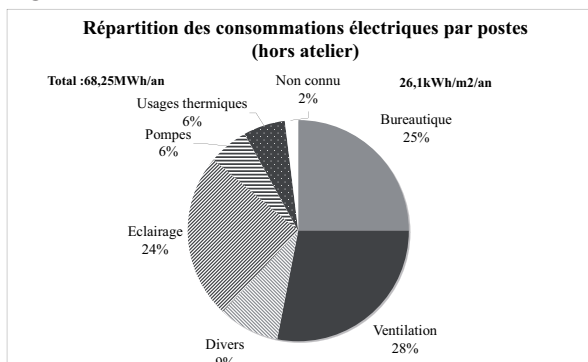
Il s'agit d'un bâtiment de bureau d'environ 3 000 m² livré en juillet 2006. Ce bâtiment est un des moins consommateurs de France. La seule exigence du maître d'ouvrage était de pouvoir se passer de climatisation. Nous y sommes parvenus en travaillant pour la première fois sur la réduction des consommations électriques. Ceci nous a conduit notamment à remettre en cause les

équipements de bureautique traditionnels, et à proposer pour la première fois l'utilisation systématique d'ordinateurs portables. Ce qui fut fait en grande partie.

La première année la consommation d'électricité globale du bâtiment (qui assure l'ensemble des usages à l'exception du chauffage) a été de 21 kWh/m²/an, ce qui était un excellent résultat. Une importante campagne de mesures d'une année a été faite l'an dernier au moyen de plus de 700 mesureurs. Il apparaît une légère dérive des consommations qui sont aujourd'hui de 26 kWh/m²/an. Ce résultat est dû aux dérèglements de certains usages qui fonctionnent désormais alors qu'ils ne sont pas utilisés. Ceci fera l'objet de corrections. Rappelons qu'en France la consommation moyenne d'électricité pour la bureautique est de 40 kWh/m²/an et celle de l'éclairage de 27 kWh/m²/an. La consommation totale d'électricité des bâtiments de bureaux n'est pas connue avec précision mais elle doit être de l'ordre de 150 kWh/m²/an pour les seuls usages spécifiques de l'électricité. Il est désormais démontré qu'on peut faire des bâtiments fonctionnant parfaitement mais consommant 5 ou 6 fois moins d'électricité que les bâtiments traditionnels.

Les solutions techniques mises en œuvre à l'INEED sont simples. Sources lumineuses très performantes associées à de la détection de présence et à une limitation du niveau d'éclairage là où c'est possible, ventilateurs et pompes ne fonctionnant (avec variations de vitesse) que lorsqu'il y a nécessité, ascenseur performant, généralisation des ordinateurs portables, etc.

Figure 5 : Structure de la consommation d'électricité dans le bâtiment de l'INEED



4.3 Le Bâtiment Descartes + de l'École des Ponts et Chaussées à Marne la Vallée

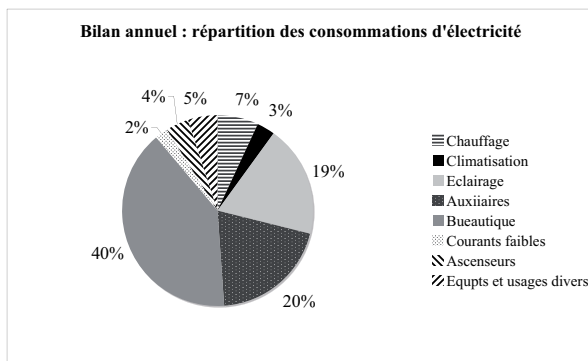
Ce bâtiment est actuellement en cours d'étude et de réalisation. Il s'agit d'un bâtiment de 5000 m² de surface utile, à énergie positive. La source unique d'énergie est l'électricité. Pour réaliser un bâtiment à énergie positive il faut d'abord réaliser un bâtiment de type passif, c'est-à-dire un bâtiment ayant très peu de besoins de chauffage mais aussi très peu de besoins d'électricité. Le travail a donc porté à la fois sur l'enveloppe (les parois, les vitrages, la toiture) et sur la qualité et la performance

énergétique des différents usages électriques. Le chauffage est assuré par une pompe à chaleur alimentée par des sondes géothermiques verticales. La figure 6 montre que dans ce bâtiment le chauffage ne représente plus que 7 % des besoins totaux, le reste étant uniquement dû à des usages spécifiques de l'électricité dont le plus important est la bureautique (dont les serveurs constituent de très loin la part prépondérante).

La consommation totale d'électricité, tous usages confondus, est que de 34 kWh/m²/an, dont 2,5 kWh/m²/an pour le chauffage. Pourtant, cette performance pourra être améliorée si le matériel de bureautique subit des améliorations qui ne sont pour l'instant pas envisagées par le maître d'ouvrage.

Enfin, il faut rappeler qu'un bâtiment à énergie positive est un bel outil, mais que ses performances dépendront directement de la manière dont les usagers se comporteront. Sa consommation peut effectivement être inférieure à la production d'énergie, mais elle peut aussi être beaucoup plus importante que la production si les usagers n'ont pas un comportement adapté. Il est nécessaire de comprendre que la sobriété énergétique reste le fondement de toute stratégie de maîtrise de la demande d'énergie. La meilleure solution du monde pourra toujours être détournée de sa finalité si elle n'est pas utilisée correctement. On estime généralement qu'un comportement sobre peut amener entre 20 et 30 % d'économie dans un bâtiment.

Figure 6 : Structure de la consommation d'énergie prévisionnelle dans le bâtiment Descartes + de l'École des Ponts et Chaussées à Marne la Vallée



5. Quel rôle pour l'électricité demain ?

L'électricité est un vecteur énergétique exceptionnel. Mais depuis quelques décennies il a été très mal traité. Car avec ce vecteur, on peut pratiquement tout faire, et pour un grand nombre d'usages il est même le seul à « savoir-faire ». Une grande politique énergétique devra obligatoirement redonner à l'électricité la place noble qu'elle n'aurait jamais dû quitter. Tous les bâtiments que nous construisons aujourd'hui, et qui sont parmi les plus performants existants en France actuellement, sont des

bâtiments « tout électrique ». Mais le rôle que nous faisons jouer à l'électricité est très différent de celui qu'elle joue généralement dans les bâtiments actuels. Nous sommes convaincus que dans la problématique très particulière des bâtiments de demain, à énergie positive dès 2020, rappelons-le, l'électricité devra nous aider à résoudre un certain nombre de problèmes délicats qui n'ont que partiellement, à l'heure actuelle, trouvé une réponse.

Faire de l'électricité une alliée et non un boulet...

L'électricité mérite l'excellence et ne doit pas être utilisée de façon dégradée. Elle doit être prioritairement utilisée partout où elle est seule à pouvoir satisfaire une fonction. Une fonction et non pas un usage. Par exemple l'électricité est seule à pouvoir faire fonctionner le cycle à compression d'une pompe à chaleur. Ce faisant elle permet de satisfaire un besoin : se chauffer. Mais elle le fait d'une manière tellement intéressante sur le plan thermique, pour autant qu'elle ait été mise en œuvre intelligemment, qu'elle possède alors une spécificité irremplaçable. Ce sont aussi les pompes à chaleur qui permettent de récupérer la chaleur d'un logement surchauffé en été pour produire de l'eau chaude sanitaire en rafraîchissant le logement. Ce sont les pompes à chaleur qui permettent de récupérer la chaleur de l'air extrait pour faire de l'eau chaude sanitaire. À chaque fois seule l'électricité permet d'assurer la fonction recherchée. Là est l'avenir de l'électricité, pas dans l'effet Joule.

L'électricité doit progresser sur son propre terrain

Les figures 1 et 6 montrent que dans les bâtiments de demain le chauffage ne représentera plus rien. À peine 7 % dans le cas de l'ENPC. Tout le reste est constitué par les usages spécifiques de l'électricité. Or dans ce bâtiment nous avons déjà mis en œuvre les technologies les plus performantes. Qu'en aurait-il été si nous avions utilisé des techniques ordinaires ?

On voit donc que le grand chantier de demain pour l'électricité est de trouver d'immenses pistes d'amélioration pour tous les usages spécifiques qu'elle assure aujourd'hui, mais qui n'ont jamais fait l'objet d'améliorations sérieuses depuis 30 ans (hormis le froid ménager), à l'inverse des équipements thermiques soumis à de nombreuses réglementations.

Tous les usages sont concernés. Parmi ceux-ci il en est un particulièrement visé : la bureautique, et plus spécifiquement les serveurs. Aujourd'hui la logique qui prévaut dans le dimensionnement et la conception des serveurs est catastrophique sur le plan énergétique. Dans un bâtiment à énergie positive les serveurs peuvent représenter plus de la moitié de la consommation totale, tous usages confondus (c'est à dire chauffage inclus). Cette situation ne peut plus durer. Mais la difficulté vient du fait que les informaticiens ne sont pas concernés par les questions énergétiques et que dès lors le dialogue avec eux est difficile...

L'autre usage dont la consommation est en train d'exploser est la téléphonie. Si au moins le service rendu était à la hauteur des consommations observées, on pourrait se dire qu'il y a un sens et une utilité à la démarche. Mais ce n'est même pas le cas et on peut vraiment s'interroger sur l'intérêt des nouveaux services et matériels proposés qui n'ont comme effet visible qu'une multiplication par un facteur 5 à 10 des consommations d'électricité nécessaires à la téléphonie.

Si l'électricité ne progresse pas rapidement sur son propre terrain au cours des années à venir, c'est tout simplement l'objectif de construire un jour uniquement des bâtiments à énergie positive qui sera remise en cause. Le défi est donc majeur... Espérons qu'il sera relevé.

Chauffer intelligemment les bâtiments avec de l'électricité

La pompe à chaleur est probablement l'une des clés de l'avenir. À deux conditions déjà énumérées : que leur mise en œuvre soit faite de façon intelligente, et qu'elles soient optimisées pour fonctionner avec des coefficients de performance situés entre 8 et 10.

Il convient donc de conduire rapidement la mise au point de ce type de matériel, ce qui ne présente aucune difficulté technique. Il est parfaitement exclu que les pompes à chaleur réapparaissent sous la forme de matériels dont le coefficient de performance ne dépasserait pas deux ou trois. Les enjeux énergétiques extrêmement exigeants que nous imposent le changement climatique et la pénurie des ressources conduisent à tirer de la pompe à chaleur le maximum de ce qu'elle peut nous offrir. C'est-à-dire des coefficients de performance très élevés.

La question du confort d'été

Les bâtiments très performants ont un gros défaut : en été, ils sont inévitablement le siège de surchauffes car on a construit des « thermos » et que toute énergie ayant pu pénétrer dans la thermos va immédiatement se transformer en chaleur puisqu'elle ne peut plus sortir vers l'extérieur. Avec le réchauffement climatique, il est à craindre que ce phénomène s'accroisse dans les années à venir. Il n'est dès lors pas très sérieux de nier la question de l'inconfort estival. Il faut l'affronter. Ceci fait partie des questions importantes qu'il faudra régler dans le futur proche.

Il existe déjà des solutions fondées sur ce qu'on appelle le « free cooling » (c'est à dire ne faisant pas appel à un groupe froid), comme par exemple une circulation d'eau dans un plancher chauffant/rafraîchissant, refroidie au moyen d'épingles géothermiques verticales. Mais il faut aller plus loin et envisager des solutions à très haute efficacité qui permettront de refroidir mécaniquement les bâtiments, mais avec une efficacité énergétique maximum. Ce peut être un groupe froid dont le condenseur est refroidi avec un fluide à la température la plus basse possible (plutôt dans le sol que dans l'air extérieur...). Mais il faut aussi imaginer des solutions par lesquels en refroidissant le logement on récupère cette chaleur par exemple pour produire l'eau chaude sanitaire. Une nouvelle fois l'électricité, via une pompe à chaleur, permet ce transfert depuis une nuisance (il fait trop chaud l'été) vers un besoin à satisfaire (la production d'eau chaude sanitaire). Aucun autre vecteur ne permet aussi simplement ce type de transfert énergétique qui est le fondement même de l'efficacité énergétique.

L'eau chaude sanitaire autrement que par un ballon électrique

La figure 1 montre clairement le rôle majeur de l'eau chaude sanitaire dans un logement à basse consommation : elle représente trois fois la consommation de chauffage. Il n'est plus possible de poursuivre cette tendance. Elle doit rapidement être inversée.

Réduire les consommations d'eau chaude sanitaire peut se faire d'abord en réduisant les volumes d'eau prélevés (dispositifs hydro économes) mais aussi et peut-être surtout en récupérant et en valorisant la chaleur à basse température des eaux grises (c'est-à-dire des eaux usées). L'idée de récupérer la chaleur des eaux grises n'est pas nouvelle. Mais on commence seulement à voir apparaître les premières opérations qui vont permettre cette récupération. Nous construisons à côté de Lyon un hôtel trois étoiles dans lequel la totalité des eaux grises sera canalisée vers un ballon à partir duquel elles seront valorisées au moyen d'une pompe à chaleur pour produire de l'eau chaude à 52 °C. Ce travail est fait en collaboration avec le Centre d'Énergétique de l'École des Mines de Paris. Le coefficient de performance sera de 7.

Voici une nouvelle application dans laquelle seule l'électricité peut permettre une amélioration considérable de la performance énergétique.

6. Conclusion

Il est évident que les consommations d'électricité très élevées que nous observons chaque jour dans les bâtiments existants ne sont pas une fatalité. On peut faire beaucoup mieux, que ce soit en construction neuve ou en rénovation. Notre activité de bureau d'études nous a amenés depuis 30 ans à travailler abondamment sur ce sujet, via des campagnes de mesures (nous disposons aujourd'hui des plus grosses bases de données du monde sur la mesure des consommations électriques dans les bâtiments), mais aussi au travers de réalisations exemplaires tant en rénovation qu'en construction neuve. Pour travailler également sur la thermique des bâtiments, nous sommes frappés par le caractère simple des dispositions permettant de réduire les consommations d'électricité comparativement à ce qui touche la thermique, et par le coût très réduit de ces dispositions dont le temps de retour en rénovation est de l'ordre de deux à trois ans. Il est étonnant que ces faits ne soient pas plus connus en France où l'on continue à penser qu'il y a peu de choses à faire pour réduire la consommation d'électricité et que le seul moyen de s'engager dans l'avenir est d'en produire encore plus.

Il existe une autre stratégie beaucoup moins coûteuse et qui peut être mise en œuvre beaucoup plus rapidement. Il s'agit d'engager de gros programmes de maîtrise de la demande d'électricité dans les bâtiments à partir des savoir-faire qui ont déjà été acquis. Ces programmes seront associés à une sensibilisation des usagers de manière à mettre en place une véritable sobriété énergétique fondée sur une modification des comportements et des exigences de chacun. Le coût de ces travaux est très faible.

Enfin, on se souviendra que cette stratégie de l'efficacité énergétique et de la réduction des consommations d'électricité s'impose de toutes façons dans les bâtiments de demain, que ce soit pour garantir le confort d'été, pour réduire la facture énergétique des ménages, ou pour ne pas se substituer de manière coûteuse au chauffage.