

# Les besoins d'énergie thermiques des bâtiments

Bernard Lachal,  
Cuepe, Université de Genève,  
19 avenue de la Jonction,  
1205 Genève  
email : [bernard.lachal@cuepe.unige.ch](mailto:bernard.lachal@cuepe.unige.ch)

## **1. Introduction**

Le chauffage des bâtiments et de l'eau chaude sanitaire constitue dans nos pays une prestation vitale, qui a toujours été au centre des préoccupations humaines. Jusqu'au milieu de ce siècle, les maisons et les villes ont été conçues en fonction du climat, et principalement de la protection contre le froid hivernal. Malgré tout, les prestations offertes en température et quantité d'eau chaude sont restées pendant longtemps à un stade de confort que l'on qualifierait aujourd'hui de spartiate; ce n'est que très récemment que le chauffage central et l'eau chaude au robinet se sont généralisés sous nos contrées. Des pays européens situés un peu plus au sud n'ont encore pas étendu ce type de confort et, malgré un climat plus serein, on risque bien de plus souffrir du froid en janvier, en tout cas à l'intérieur des locaux, à Lisbonne qu'à Berlin. Cette généralisation du confort, auquel l'homme s'est très vite habitué, a eu comme conséquence une forte augmentation de la consommation énergétique, couverte presque uniquement par les combustibles fossiles.

Dans un premier temps et malgré des statistiques imprécises, nous montrerons qu'environ la moitié de l'énergie dépensée en Suisse l'est pour le chauffage des locaux et de l'eau sanitaire. Après avoir discuté des mérites et des défauts de l'indicateur le plus utilisé, l'indice énergétique, nous aborderons les diverses possibilités pour améliorer la qualité thermique des bâtiments, et discuterons l'effet attendu de cette évolution positive. Le cas du refroidissement des locaux est un cas plus complexe et très différent, qui ne sera qu'effleuré.

## **2. De l'énergie thermique pour quelles prestations?**

Il convient tout d'abord de préciser les prestations couvertes par ce que l'on a nommé "les besoins d'énergie thermique des bâtiments" : le chauffage des locaux et le chauffage de l'eau chaude sanitaire (ECS). Le cas de la climatisation des locaux en été ne sera pas développé puisqu'il ne s'agit pas d'une énergie thermique à fournir mais d'une énergie thermique à dissiper. Ceci nécessite un puits de froid, que l'on ne peut obtenir en saison chaude qu'avec une machine thermique complexe (climatisation active) ou des systèmes passifs plus ou moins simples à mettre en place (ventilation nocturne, système à tubes enterrés, refroidissement adiabatique,...)

Selon l'Office Fédéral des Statistiques (OFS,99) la surface des bâtiments chauffés en 1990 était d'environ 500 millions de m<sup>2</sup> pour 1 200 000 unités. Seuls 32% des logements étaient habités par leur propriétaire, soit le plus faible taux d'Europe (il dépasse 50% en Italie et en France et approche les 80% en Finlande). A Genève, comme dans les autres cantons-villes, ce taux est très bas (14%), il dépasse par contre 50% dans les cantons de montagne comme le Valais. Cette caractéristique est importante car, dans le domaine des économies d'énergie dans

le bâtiment, on dit souvent que *"ce sont les propriétaires qui investissent et les locataires qui économisent."*

La surface par habitant (résidentielle et tertiaire) croît continûment : elle est passée de 59 m<sup>2</sup> en 1985 à 65 m<sup>2</sup> actuellement et on s'attend à ce qu'elle atteigne 70 m<sup>2</sup> dans une vingtaine d'années (OFS, 99 et Aebischer et Giovannini, 89). Ainsi, la simple maîtrise de la consommation d'énergie thermique des bâtiments suppose que les consommations des surfaces supplémentaires construites chaque année soit compensées par des baisses de consommations obtenues lors des rénovations, dont on mesure tout l'enjeu. Cela signifie aussi qu'il ne faut pas s'attendre à des miracles dans un domaine à réponse aussi lente (la durée de vie d'un bâtiment en Suisse est d'une centaine d'années, on procède à une rénovation de l'enveloppe tous les 30 ans environ...).

### **3. Les besoins thermiques des bâtiments en Suisse : près de la moitié de la consommation d'énergie totale.**

Pour estimer la valeur des besoins thermiques de chauffage des bâtiments totaux en Suisse, on se heurte à trois difficultés:

- les valeurs concernant la consommation de chauffage sont nombreuses dans la littérature mais recoupent des contributions souvent mal définies, comme : chaleur utile, combustibles (mazout, gaz, charbon, bois,..), chauffage, chauffage des bâtiments, chauffage résidentiel, eau chaude, eau chaude résidentielle, énergie des ménages, énergie des bâtiments,...
- des problèmes de conversion existent, particulièrement pour le gaz, où l'expression d'un volume de gaz en terme d'énergie fait intervenir différents pouvoirs calorifiques, en plus des fluctuations fines de densité et de composition:

définition	Valeur, kWh/m <sup>3</sup>
PCS standard (0 °C, 1013.25 mbar)	11.24
PCI standard (0 °C, 1013.25 mbar)	10.12
PCS d'usage (15 °C, 990 mbar)	10.43
PCI d'usage (15 °C, 990 mbar)	9.40
facturé (SIG)	10.5

PCS : Pouvoir Calorifique Supérieur, qui tient compte de la chaleur de condensation de la vapeur d'eau contenue dans les gaz de combustion.

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur, qui ne tient pas compte de la chaleur de condensation de la vapeur d'eau contenue dans les gaz de combustion.

Table 1 . Pouvoirs calorifiques du gaz naturel à Genève. D'après Services Industriels de Genève, Service du gaz, Vernier, Genève.

Pour le mazout, des statistiques correctes demandent de tenir compte de la variation de stockage dans les cuves, obtenue par jaugeage individuelle et de ce fait difficile à intégrer.

- la variation climatique d'un hiver sur l'autre. Une correction est nécessaire si on désire s'en soustraire, mais elle est difficile à réaliser du fait que tous les bâtiments ne vont pas réagir de la même façon à ces variations selon l'importance des gains internes et solaires.

On peut obtenir pour Genève la valeur de la consommation énergétique de chauffage des bâtiment (incluant l'eau chaude) à partir du feuillet "L'énergie à Genève" édité chaque année

par l'Office Cantonal de l'Energie (OCEN, 98). En sommant les ventes de combustibles (15 PJ de mazout et 6.3 PJ de gaz, compté à 9.5 kWh/m<sup>3</sup>), on arrive à 21.3 PJ de vente de combustible pour l'année 1997. Si on admet que le gaz utilisé pour la cuisson et divers processus industriels (dont la cogénération) correspond à l'apport d'autres sources de chauffage (bois, électricité, capteurs solaires,...), ces 21.3 PJ correspondent approximativement aux besoins thermiques des bâtiments et atteignent 54% de la consommation énergétique du canton (hors CERN et hors aéroport de Cointrin). Cette part varie d'année en année entre 50 et 55%. Ces valeurs sont confirmées par une étude récente de l'Office Cantonal des Statistiques (OCSTAT, 98). L'évolution sur les 10 dernières années est difficile à analyser, elle semble plutôt refléter les variations climatiques que l'augmentation du nombre de logements.

Au niveau Suisse, les valeurs ne sont pas connues avec plus de précision. Les meilleures estimations sont obtenues par des calculs "bottom-up", c'est à dire qu'en partant du parc de logements et des consommations spécifiques, on peut reconstruire la consommation totale d'énergie thermique des bâtiments (Aebischer et Giovannini, 89 et Prognos, 98):

Consommation suisse pour l'énergie thermique des bâtiments en 1996 :  
335 PJ / an , soit 42% de la consommation énergétique totale.  
1PJ = 10<sup>15</sup>J

Ces valeurs sont corroborées par les statistiques de vente des combustibles (OFS, 99) et ne sont qu'approximatives pour les raisons vues plus haut.

En recoupant les diverses sources déjà citées, on peut aussi estimer la part de l'eau chaude à un peu moins de 30% du chauffage total.

Au niveau européen, une comparaison entre différents pays européens a été faite (Angioletti, 92), dont les conclusions sont les suivantes:

1. les données sont peu fiables
2. les pays nordiques ne sont pas ceux qui consomment le plus d'énergie dans leurs logements
3. les pays anglo-saxons ont une consommation raisonnable, grâce au faible taux d'équipement de chauffage central
4. la Belgique est le pays le plus énergivore
5. la France et l'Italie ont des consommations moyennes
6. les pays du sud (Espagne, Portugal, Grèce) ont une très basse consommation, due, en plus du climat favorable, au faible taux d'équipement en chauffage central.

La Suisse, qui ne faisait pas partie de cette comparaison, se situe tout à fait dans la moyenne européenne au niveau du parc existant.

Finalement, on peut estimer très grossièrement qu'un quart à un tiers de l'énergie mondiale est utilisée pour les besoins thermiques des bâtiments. On trouvera dans (Leach, 89) une étude sur la consommation énergétique des bâtiments des pays du sud.

#### **4. L'indice énergétique, un bon outil pour mesurer l'efficacité énergétique des bâtiments.**

Une analyse plus fine de la situation et de son évolution nécessite la définition d'un indicateur qui permette de relier les prestations fournies et l'énergie dépensée pour ces prestations. Cet indicateur, dans la mesure du possible, devrait aussi intégrer d'autres paramètres importants comme le climat ou la qualité de l'input énergétique.

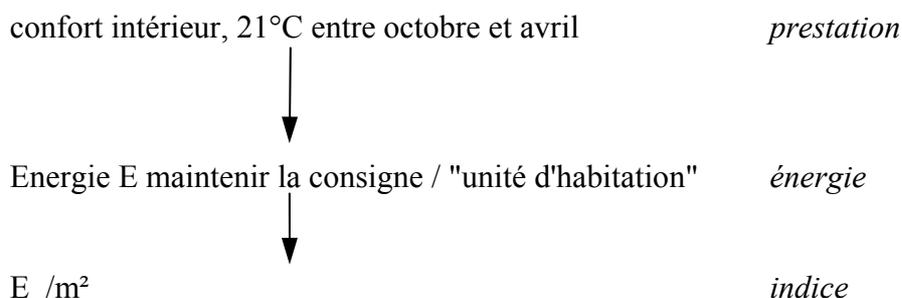
En Suisse, l'indice énergétique est l'indicateur utilisé couramment, y compris dans la législation. Il est défini comme le rapport entre l'énergie nécessaire à une prestation donnée et la surface de référence énergétique du bâtiment. Il s'exprime donc en MJ/m<sup>2</sup>. On distingue, aussi bien pour l'eau chaude que pour le chauffage, l'indice de demande et celui de dépense, ce dernier se rapportant à l'énergie achetée et tient compte du rendement de conversion de l'installation de chauffage. La surface est définie avec précision par la recommandation 180/4 de la Société des Architectes et Ingénieurs (SIA, 82), elle est un peu supérieure à la surface habitable puisqu'elle tient compte, entre autre, de la surface des murs extérieurs et intérieurs. Cet indice a de bonnes propriétés:

- simplicité
- très bien défini (recommandations SIA, 82 et SIA, 88)
- calculable simplement et avec une bonne précision dès le stade de l'avant projet, *en situation standard*
- mesurable facilement, *en situation réelle*.

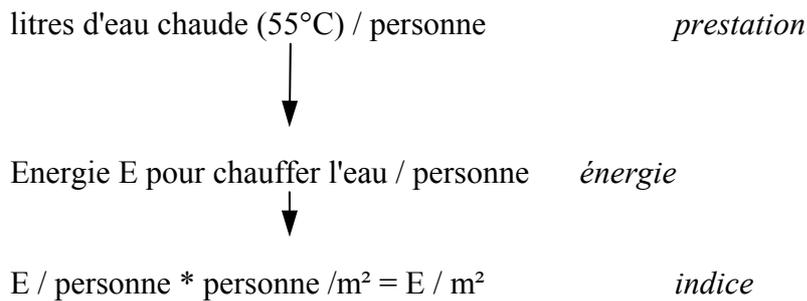
Sa valeur réelle va dépendre beaucoup des conditions d'utilisation (température intérieure, taux d'aération,..) et il peut exister de ce fait de grosses différences entre ce à quoi on s'attend lors de la conception du bâtiment et la réalité, et ceci indépendamment, de la qualité intrinsèque de la construction et des installations techniques. Pour cette raison, l'emploi de l'indice énergétique dans les lois (autorisation de construire par exemple) est pour le moment restreint au calcul en condition d'utilisation standard et il y a beaucoup de réticences à utiliser l'indice réel, le législateur ne voulant pas intervenir dans des domaines considérés comme privés (mode de vie des gens, température des logements,..). Cette différence entre calcul en condition standard et réalité, qui peut être très sensible dans les bâtiments à faible ou très faible consommation, est à l'origine de passablement de déconvenue, l'ambiguïté des conditions standards n'étant pas toujours levée au moment où un concepteur "vend" un projet mais découverte après quelques années de fonctionnement. Pour remédier à cet état de fait, on pourrait revoir les conditions standards à des valeurs plus réalistes (par exemple, température intérieur de 22.5°C plutôt que 20°C, etc..), mais, pour certains, cela reviendrait à admettre certaines habitudes qualifiées de "laxistes". Une autre solution serait de majorer l'indice calculé par un facteur qui tienne compte de la multitude d'imperfections que comporte forcément un système réel complexe. L'inconvénient de telles démarches serait la perte de la simplicité et de la transparence.

Le lien entre prestation et indice énergétique est très bon en ce qui concerne le chauffage et un peu moins en ce qui concerne l'eau chaude sanitaire:

#### Chauffage, demande



## Eau chaude sanitaire



L'indice "eau chaude" prend en compte implicitement la surface par personne, paramètre qui ne se rapporte pas directement à la prestation dans la mesure où l'espace disponible n'a pas d'influence directe sur la quantité d'eau chaude consommée. Cet indice avantage donc les logements à faible densité d'habitants dans la mesure où il répartit la consommation individuelle sur une plus grande surface.

[On trouvera les valeurs typiques des indices dans l'article de W. Weber dans ce volume.](#)

### **5. Les actions possibles sur l'efficacité énergétique : nombreuses et bien cernées.**

Eau chaude sanitaire :

Tout d'abord, **économiser de l'eau chaude, c'est surtout économiser de l'eau :**

coût de la chaleur 37°C :                      10 ct /100 litres (3 kWh à 3.3 ct)  
coût de l'eau :                                      20 ct/100 litres (2 F /m<sup>3</sup>, bientôt 3).

Les moyens à disposition pour réduire la facture énergétique sont nombreux:

- augmentation de la température de l'eau froide du réseau par récupération de chaleur à basse enthalpie (projet CORSAIRE, van Sprolant, 95). Une évaluation reste à faire afin de vérifier certains points problématiques comme les aspects sanitaires, l'acceptation sociale d'une eau moins froide, l'efficacité réelle du système,...
- baisse de la température de l'eau chaude distribuée: les effets sont limités car répercutée sur le volume sauf en cas d'aberrations comme la distribution d'eau à trop haute température (65°C ou plus) (Adnod et Marchio, 1988)
- limitation du volume d'eau consommé :
  - réducteur de débit (robinets, douche,..) : un gain d'environ 10% est attendu
  - action sur le comportement par comptage individuel. Vue la remarque introductive et dans un contexte environnemental global, un comptage d'eau (incluant l'eau froide) serait aussi judicieux, car en comptant uniquement l'énergie contenue dans l'eau chaude, on ne compte qu'une partie minoritaire (l'énergie) du coût total relatif à la prestation "eau".

- récupération de l'énergie grâce à un échangeur de chaleur sur l'eau chaude évacuée. On peut s'attendre à 30% d'économie, mais le système d'évacuation devient complexe (il faut en effet diriger vers le récupérateur de chaleur uniquement l'eau évacuée qui est chaude).
- augmentation de la fraction utile (pertes de distribution et de stockage, augmentation du rendement de la chaudière). C'est certainement là que réside le plus grand gisement d'économies en cas de rénovation.
- préchauffage solaire de l'eau chaude sanitaire. 0.5 m<sup>2</sup> de collecteurs solaires permet d'économiser environ 1/3 de la chaleur, 1 m<sup>2</sup> par personne produit la moitié de l'énergie thermique et permet d'arrêter la chaudière en été (Lachal, 99).

## Chauffage

Les moyens sont aussi nombreux et, pour beaucoup d'entre eux, sont rentrés dans les moeurs.

- limitation de la température intérieure: effets importants (5 à 10 % par degré). On distingue la limitation par le dimensionnement fin des installations techniques (impossibilité physique de dépasser une certaine température) et la limitation par l'action des habitants, qui doivent alors disposer d'un moyen simple pour ce contrôle (le meilleur reste le thermostat central, les vannes thermostatiques, pourtant très efficaces, sont souvent mal utilisées).
- décompte individuel des frais de chauffage (DIFC). C'est une grande controverse dans le milieu et son efficacité est en perpétuelle discussion. Le coût d'un tel système est élevé, surtout pour une rénovation où il peut être supérieur au coût de l'énergie comptée. A Genève, son utilisation n'est obligatoire que pour les bâtiments à indice énergétique élevé (supérieur à 600 MJ/m<sup>2</sup> pour une rénovation), limite facilement atteinte pour peu qu'on agisse sur l'enveloppe. Une fois la logique de faire baisser l'indice adoptée, on le fait alors dans les règles de l'art. Le législateur a donc préféré inciter le propriétaire à investir pour économiser de l'énergie plutôt que pour compter et faire payer cette énergie. Cette incitation est un exemple d'utilisation intelligente de l'indice par le législateur.
- limitation des pertes de chaleur par transmission à travers l'enveloppe. Les facteurs de transmission des murs et des toitures ont été réduits à des valeurs très faibles. On ne pourra que difficilement aller plus bas sans atteindre des épaisseur de murs prohibitifs (coûts, emprise, réduction de la lumière intérieure,..) Les fenêtres connaissent une évolution remarquable, puisque le standard d'aujourd'hui (vitrage double avec couche sélective) ne diffuse que la moitié de la chaleur que celle perdue par la fenêtre standard d'il y a une quinzaine d'année et les meilleures fenêtres actuellement sur le marché ont des coefficients de transmission 3 fois inférieurs au standard actuel. En tenant compte des gains solaires, un tel vitrage a un bilan équilibré pour une surface nord et par une journée couverte de janvier.
- limitation des pertes d'énergie par ventilation, la baisse de l'indice est d'environ 20 MJ /m<sup>2</sup>. an pour une diminution de 0.1 V/heure La nécessité d'une aération suffisante (> 0.4 V/heure) limite les gains possibles si on se contente de rendre l'enveloppe plus étanche. Reste alors la récupération d'énergie sur l'air extrait, qui nécessite un double flux

(extraction, insufflation) mais qui a le mérite d'assurer le taux de renouvellement d'air nécessaire pour éviter les problèmes comme condensation, mauvaises odeurs,... Enfin, il faut faire remarquer que la nécessité d'un taux d'aération élevé permet de rendre plus compétitif tout investissement pour récupérer l'énergie sur l'air extrait (coûts à peu près constants, économie proportionnelle au taux de ventilation).

- optimisation des gains solaires et internes. Possible en neuf, plus problématique en rénovation. Il faut souligner l'importance des protections solaires pour le confort d'été.
- augmentation de la fraction utile (diminution des pertes de distribution, augmentation du rendement de la chaudière). Les chaudières à gaz actuelles atteignent des rendements très élevés (100% PCI, >90% PCS) et peuvent amener à de substantielles économies lors d'un remplacement.
- utilisation du solaire actif, possible mais difficile sous nos latitudes (période critique entre novembre et janvier très peu ensoleillée et froide, surchauffe estivale). Plusieurs expériences montrent que seul le stockage saisonnier permet d'atteindre une grande couverture solaire, il doit être de grande taille et son prix de revient reste encore élevé (coût final de la chaleur utile : 30ct/kWh), (Lachal, 99).

Notons pour finir que la législation vise principalement à limiter la consommation énergétique par diminution de l'indice; il y a peu de réflexions pour, à indice égal, diminuer la consommation d'énergie par diminution de la surface. On pourrait par exemple proposer des meilleurs plans, avec moins de surfaces perdues, des espaces modulables pour améliorer l'habitabilité... Il s'agit sans doute d'une conséquence malheureuse de l'utilisation intensive et exclusive de l'indice énergétique.

Les effets de cette amélioration constante de la qualité thermique des bâtiments sur la consommation globale sont encore peu visibles, mais l'ensemble des statistiques citées dans cette contribution montrent une relative stagnation de la consommation malgré une forte augmentation de la surface construite. On arrive ainsi à compenser les besoins nouveaux par des économies réalisées lors des rénovations. Une baisse de consommation pour ces besoins est possible, mais sera longue à se dessiner du fait de la grande inertie du système (taux de renouvellement du parc de l'ordre du %).

## **6. Conclusions**

Elles sont au nombre de 5:

1. les besoins thermiques des bâtiments, difficiles à estimer globalement, représentent un enjeu important pour l'utilisation rationnelle de l'énergie puisque près de la moitié de l'énergie est y consacrée en Suisse et dans les pays voisins.
2. L'indice énergétique (basé sur la surface) représente un bon outil d'analyse, pour la conception (valeur cible) et pour la politique énergétique (valeur limite). Sa principale limite est la différence entre indice théorique et indice réel.

3. Les possibilités d'actions pour maîtriser l'usage de l'énergie sont nombreuses, mais ne peuvent être mises en place que lentement, du fait du faible taux (structurel) de renouvellement du parc.

4. Malgré une forte augmentation de la surface construite, la consommation énergétique liée aux besoins thermiques des bâtiments est caractérisée par une relative stabilité en Suisse comme dans les pays voisins, preuve de l'amélioration thermique progressive du parc immobilier.

5. De nouveaux besoins apparaissent ou vont apparaître dans les pays méditerranéens (encore peu chauffés) ou du sud (ECS). Le cas de la climatisation, beaucoup plus complexe, n'a pas été abordé mais peut devenir préoccupant dans nos pays si la tendance actuelle se poursuit.

## ***Bibliographie***

Adnot, J. et Marchio D., "Besoin en eau et en eau chaude", in *Energétique des bâtiments*, volume 1, pp. 187-206, PYC édition, 1988

Aebischer B. et Giovannini B., "Evaluation d'économie d'énergie en Suisse", Série de publication du Cuepe N° 34, 1989

Angioletti R., "Efficacité énergétique des logements. Comparaison internationale", Journée du Cuepe 1991, 19 Avenue de la Jonction, 1205 CH - Genève, 1992.

Lachal B., "Spécificités des énergies renouvelables", Volume 1, Cuepe 1999

Leach, G.A., "Residential energy in the third world", *Ann. Rev. Energy*, 13:47-65, 1988

OCEN, "L'énergie à Genève en 1997", édité par: OCEN, 4, rue du Puits-Saint-Pierre, CH-1204 Genève, 1998.

OCSTAT, "Statistiques de l'énergie à Genève, une rétrospective commentée (1987 - 1996)", Office Cantonal de la Statistique, Etudes et documents, N°25, 1998

OFS, "Annuaire statistique suisse 1999", Office Fédéral des Statistiques, Verlag Neue Zürcher Zeitung, Zürich, 1998

Prognos, "Energieperspektiven des Szenarien I bis III 1990-2030, Synthesebericht", p 27, édité par Office Fédéral de l'Energie, 3000 Berne

SIA, "L'indice de dépense d'énergie", recommandation 180/4, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Case postale, CH-8039 Zürich, 1982

SIA, "L'énergie dans le bâtiment", recommandation 380/1, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Case postale, CH-8039 Zürich, 1988

Van Sprolant W., "Correction saisonnière de la température du réseau d'eau potable du canton de Genève par la valorisation des rejets thermiques du Cern", projet de maîtrise en énergie, EPFL, 1995.