

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 101 (1975)
Heft: 22: SIA spécial, no 5, 1975: Chauffage - ventilation - climatisation

Artikel: Confort et économie de l'énergie calorifique dans l'habitation
Autor: Duret, Jean
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-72585>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Confort et économie de l'énergie calorifique dans l'habitation

par JEAN DURET, Genève

L'homme absorbe — ou consomme — et il rejette — ou produit — ce qu'il a défini sous le nom de calories. Il participe en cela, avec les animaux et les plantes, à la croissance de l'entropie générale, c'est-à-dire à une *dégradation de l'énergie, à l'intérieur de l'éco-système planétaire*, donc à la détérioration même du système dans lequel il évolue. L'apport constant et régulier d'*énergie solaire* a permis, par les cycles naturels (eau, carbone, etc.), outre le maintien de la bioscénose, la constitution des importantes réserves d'énergies fossiles que l'homme exploite intensivement de nos jours.

Afin de maintenir sur notre planète la vie humaine (qui inclut nécessairement celle des animaux et des plantes), nous devons à la fois capter et utiliser l'énergie dispensée de mille manières chaque jour par le soleil et gérer parcimonieusement le capital énergétique constitué durant les ères géologiques ; nous introduisons ainsi *une notion d'Economie*.

Cette notion est liée à celle d'écologie par le phénomène dénommé pollution qui est en fait une transformation de ce capital énergétique en énergie dégradée ; ainsi, toute réduction de cette transformation est salvatrice pour l'espèce humaine.

Pour faciliter les calculs nécessaires, nous considérerons une zone climatique comme celle de Genève ; en faisant varier quelques paramètres bien définis, une extrapolation serait relativement facile pour les pays « développés » (caractérisée par un arrêt de la croissance démographique), dont les « mécanismes régulateurs » [3] commencent à être connus.

L'équilibre thermique du corps humain

Il est assuré par une série de facteurs qui, au total, se compensent :

- Les pertes de calories par l'organisme sont imposées soit sous forme de chaleur sensible par conduction, convection, rayonnement, soit sous forme de chaleur latente par perspiration, sudation, respiration.
- Les apports de chaleur proviennent du métabolisme de chaque individu.

Par conséquent, les *instruments de régulation* sont les suivants :

- Le corps humain peut augmenter son métabolisme afin de lutter contre les pertes de chaleur grâce à une activité physique¹ volontaire ou bien involontaire, le « frisson thermique ».
- Le corps humain peut lutter contre une insuffisance de pertes calorifiques en évacuant des calories par évaporation ; son organisme provoque alors la sécrétion de ses glandes sudoripares.

¹ Puissance calorifique moyenne produite par le corps humain en fonction de son activité : métabolisme basal 75 W ; assis au repos 120 W ; travail léger debout 180 W ; marche 5 km/h 280 W ; course allure lente 580 W ; effort maximal (suivant puissance individuelle et durée) 750 à 1200 W ; un individu passant du repos à un travail léger (soit une augmentation du métabolisme de plus de 60 W) doit abaisser la température ambiante de 2 à 7°C selon son habillement léger ou d'extérieur [1].

Est lié aux mécanismes du confort

De ces considérations, il résulte que la notion de confort doit être abordée d'un point de vue négatif, par la *non-mise en jeu des régulations de l'organisme*. Or, les équilibres naturels s'effectuent, pour chaque individu, à un niveau différent ; dans un même bâtiment où séjournent plusieurs personnes, il sera impossible de créer des conditions telles qu'aucun facteur régulateur n'entre en jeu pour la totalité des occupants.

Ce confort est d'abord le *confort perçu* ; le corps humain ressent sa propre température (37°C) au moyen de « détecteurs thermiques » : au niveau de la peau, dans les viscères, dans le système nerveux central et, en particulier, de l'hypothalamus. La neutralité thermique est atteinte par un homme au repos, dans une enceinte isotherme, nu à 27°C et habillé entre 19,8 et 21,8°C. A 33°C, le maximum de détecteurs sont généralement mis en cause (pour certains individus, cette fréquence maximale se situe au niveau de 38°C). La température sentie par la peau est un élément primordial du confort thermique puisque c'est elle qui, en premier lieu, détecte la température ambiante. Une température de la peau de 32°C correspondant à l'état d'équilibre thermique, les sensations déplaisantes apparaissent dès 28 et 35°C. Il est prouvé que la pression moyenne de vapeur d'eau n'a pas d'influence sur la sudation, de même que l'on sait aujourd'hui que la sensation de chaleur n'est pas liée à l'humidité jusqu'à 23°C.

L'effet de paroi froide donne sensations d'inconfort assez difficiles à situer². En effet, il semble que la température de la peau soit déterminée par la quantité de chaleur apportée par le sang, donc par son débit, mais également par les apports extérieurs — convection, conduction, rayonnement ; on avance une sensibilité à un gradient³ de température de 2°C ; or, compte tenu des variations dans les surfaces d'échange, certaines parties du corps sont à des températures bien différentes (même dans des ambiances homogènes). Les variations se situent à $\pm 1,5^\circ\text{C}$ environ ; c'est dire qu'un gradient de 2°C paraît trop faible pour être ressenti de façon significative dans une ambiance hétérogène.

Mieux concevoir l'acte de construire

Il est certain que les efforts des bâtisseurs doivent porter sur l'*« élimination des effets de paroi froide »* et sur un bon contrôle de la ventilation afin d'atteindre la meilleure homogénéité possible de l'ambiance thermique des locaux d'habitation ou de travail (fig. 1, « variation de la tempé-

² Les mouvements de convection de l'air ambiant (favorisés dans ce cas) ne doivent pas dépasser 0,2 m/s ; en dessous de 0,1 m/s il peut y avoir également une sensation d'inconfort due à la stagnation de l'air ou à son état hygrométrique qui, en hiver, entre 18 et 23°C ne devrait pas s'écartez des valeurs moyennes comprises entre 40 et 70 %.

³ Le gradient de température est la différence qui existe entre la tête et les pieds d'un homme situé au centre d'une pièce chauffée (il dépend évidemment de la hauteur du plafond). Dans la plupart des chauffages, le gradient est compris entre 1,5 et 2,5°C ; dans le cas du chauffage électrique, il est inférieur à 0,5°C.

Variations de la température de l'air en fonction de la hauteur, dans les différents systèmes de chauffage

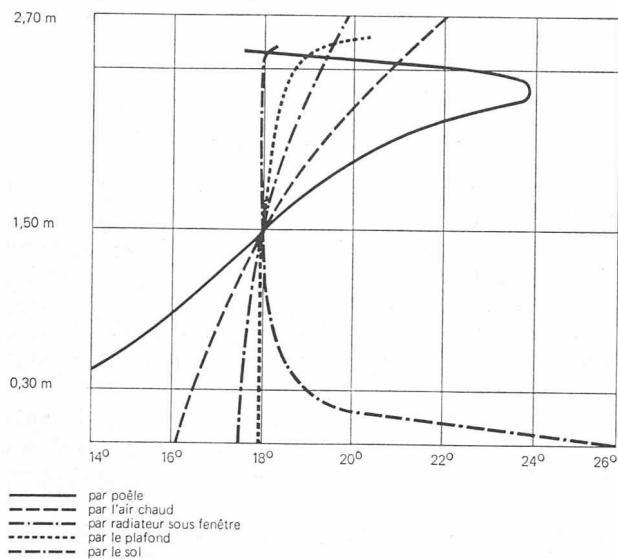


Fig. 1. — Extrait de « Chauffage et refroidissement par rayonnement » édit. EYROLLES, Paris.

rature de l'air en fonction de la hauteur dans les différents systèmes de chauffage»).

L'isolation thermique atteindra le mieux son but, qui est d'accroître les températures de surface à l'intérieur des constructions, par une *isolation extérieure* réduisant presque totalement les « ponts thermiques ». La mauvaise étanchéité risque à la fois de faire perdre de nombreuses calories, de nuire à l'homogénéité de l'ambiance thermique et, en définitive, au confort. Ainsi, *le chauffage* (ou la réfrigération) devient un élément d'apport initial et de compensation des pertes dans ce vaste ensemble de paramètre qui détermine le confort thermique.

L'isolation thermique de l'habitation

Il existe au niveau national une *Recommandation concernant l'isolation thermique des bâtiments* éditée par la SIA en 1970 (n° 180) qui, outre une définition des valeurs quantitatives (sur la base du Kcal), fixe pour le calcul thermique des éléments de construction une température ambiante (ou résultante moyenne) des locaux de 20°C⁴. Cette norme indique quelques mesures constructives très générales pour l'isolation thermique garantissant le bien-être et une exploitation économique ainsi que les « bases de calcul pour l'isolation thermique des bâtiments » ; elles sont complétées d'un tableau des données climatiques pour 172 agglomérations (dont 91 d'après les mesures faites par l'Institut suisse de météorologie et les autres par interpolation) d'une carte situant ces villes et une autre donnant pour ces mêmes villes l'altitude et la température moyenne annuelle (1931-1960) avec courbes isothermes. Des « prescriptions pour l'isolation thermique des bâtiments » sont en préparation.

A Genève, le Service de l'électricité définit dans sa circulaire n° 123 du 17 mai 1973, corrigée par l'avenant du 24 janvier 1974, les conditions d'isolation thermique

⁴ L'augmentation de la température moyenne a été progressive : de 16°C au siècle dernier, elle est actuellement de 21°C en France et 24°C aux USA ; la « Ligue suisse pour la protection de la nature » préconise dans son manifeste « Energie, halte au gaspillage », 1974, un maximum de 20°C, avec réduction la nuit et dans les locaux inutilisés.

auxquelles doivent répondre les bâtiments (neufs ou existants)⁵, pour un raccordement des installations de chauffage électrique des locaux ou « tout électrique » aux réseaux de distribution des Services industriels de Genève.

Les valeurs théoriques maximales admissibles comme coefficient de transmission thermique (*K*) doivent alors être respectées, soit dans le cas du chauffage direct :

- murs extérieurs : 0,35 Kcal/h. m² °C⁶ (chauffage indirect : 0,5) ;
- dalle du rez, inférieure : 0,5 Kcal/h. m² °C⁶ (chauffage indirect : 0,6) ;
- dalle de toiture ou toit : 0,35 Kcal/h. m² °C⁶ (chauffage indirect : 0,4).

En revanche, le texte « toutes les fenêtres avec double vitrage, cadre bois ou coefficient de conductivité thermique favorable » reste imprécis⁷ ; la surface vitrée totale ne doit pas excéder le 30 % de la surface extérieure totale.

Valeurs climatiques normalisées ou adoptées pour Genève

- Altitude 399 m au-dessus du niveau de la mer.
- Nombre annuel de jours de chauffage 212 jc⁸ (moyenne sur 10 ans).
- Nombre annuel de degrés. Jours de chauffage 3270 dj (temp. int. +20°C).
- Température extérieure minimale adoptée pour le calcul -13°C.
- Moyenne des températures extérieures minimales pour la période 1938-1965 -5°C.
- Température extérieure minimale pour les calculs de chauffage -9°C.
- Température moyenne annuelle (1931-1960) 9,3 à 10,3°C
- Température moyenne de novembre à février 1,8°C (1931-1960).
- Température moyenne octobre, mars et avril 7,6°C (1931-1960).
- Durée d'ensoleillement novembre à février 8,9 % (1931-1960).
- Durée d'ensoleillement octobre, mars et avril 22,9 % (1931-1960).
- Condensation (hiver) air du local +20°C, humidité relative 50 %.
- Durée 60 jours air extérieur -10°C, humidité relative 80 %.

⁵ La calculation, local par local, du bilan déperditions thermiques en Kcal/h. ou watt : 1 Kcal = 1,1625 watts-heures (Wh.), sera faite selon les règles S2 C3 de la Société suisse des constructeurs de chauffages centraux ou DIN 4701 (allemande) ou DTU 62/513.1763 (française).

⁶ Degré centigrade de différence entre la température extérieure et celle résultante intérieure.

⁷ Selon les essais du Laboratoire fédéral d'Essai des matériaux, les coefficients de transmission de chaleur *K* ont les valeurs suivantes selon les types de fenêtres fabriquées actuellement et tenant compte d'un certain vieillissement et d'une marge de sécurité :

- Fenêtres à vitrage simple 6,6 à 6,7 (à prendre en compte 7 W/m²/°C).
- Fenêtres à vitrage double 2,6 à 2,8 (à prendre en compte 3 W/m²/°C).
- Fenêtres à verre isolant 2,2 à 3,2 (à prendre en compte 3 W/m²/°C).

Ces valeurs ont tendance à diminuer grâce à des systèmes de vitrage mieux élaborés.

⁸ La limite de chauffage, soit la température extérieure journalière moyenne au-dessous de laquelle on commence de chauffer et au-dessus de laquelle on peut interrompre le chauffage étant de +12°C.

- Période de séchage (été) air ext. et int. +12°C, humidité relative 70 %. Durée 90 jours.
- Coefficient de convection thermique d'une surface extérieure α_a = situation protégée 10 à 20 Kcal/m² h. °C bâtiments espacés 20 à 50 Kcal/m² h. °C bâtiments isolés 50 à 100 Kcal/m² h. °C pour les calculs comparatifs, on admettra 20 Kcal/m² h. °C, pour une surface intérieure α_i , on admettra 5 à 7 Kcal/m² h. °C.

L'ensoleillement à travers les vitrages

Deux situations nouvelles renforcent l'intérêt de données précises en matière d'ensoleillement : l'amélioration de l'isolation thermique qui impose de mieux tenir compte des *chaleurs gratuites* et les perspectives de développement de l'énergie de rayonnement solaire : la figure 2 ci-après, valable pour la région genevoise, indique le flux moyen, jour et nuit, mesuré mois par mois (et non des flux extrêmes à utiliser pour le calcul de puissance en conditionnement d'air), reçu à travers les vitrages verticaux en watts par m² pour les huit orientations principales (les obstacles vis-à-vis faisant un angle de 20° sur l'horizontale). Ainsi à un flux moyen de 25 W/m² par exemple correspond une énergie quotidienne de $25 \times 24 = 600$ W h./m². Sur la base de 30 jours/mois, cette figure nous donne, avec une orientation SO ou SE, un total de (+) 244 000 Kcal/m² de vitrage durant les sept mois de la saison de chauffage (octobre à avril y compris).

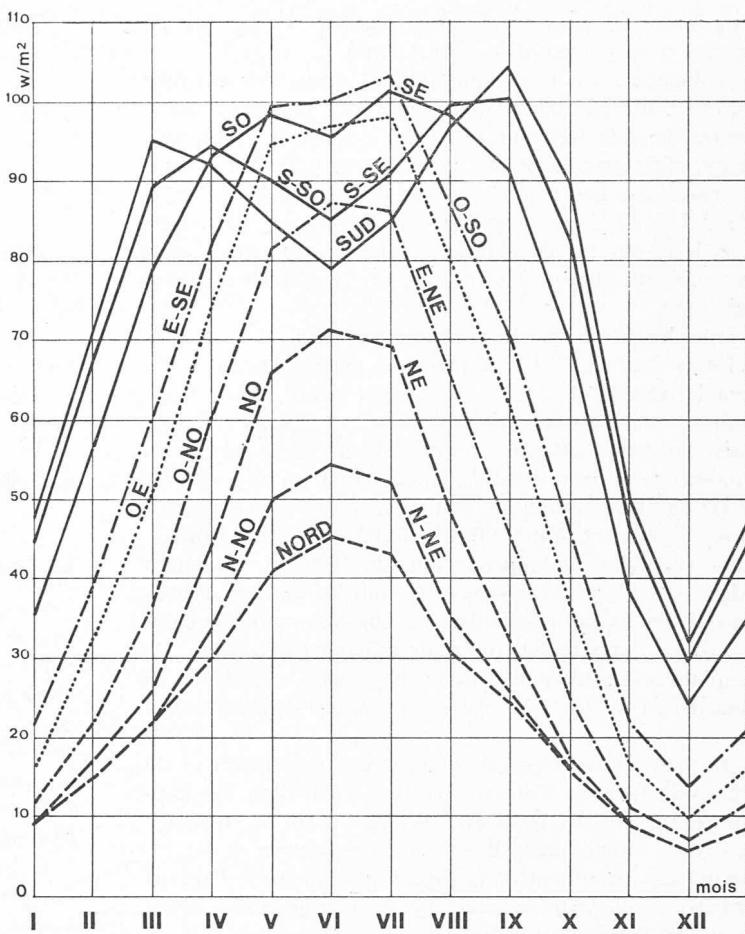


Fig. 2. — Flux moyen reçu à travers des vitrages verticaux selon les diverses orientations.

Les pertes calorifiques dues aux baies vitrées

Le coefficient de transmission thermique K d'un vitrage double (ou isolant) à prendre en compte étant de 3,0 (voir note 7), la perte de chaleur par m² sera de :

$$3,0 \times 2880 \text{ heures} \times (20^\circ\text{C} - 1,8^\circ\text{C}) = 157\,250 \text{ pour novembre à février}$$

$$3,0 \times 2160 \text{ heures} \times (20^\circ\text{C} - 7,6^\circ\text{C}) = 80\,350 \text{ pour octobre, mars, avril}$$

$$237\,600 \text{ W h. pour la saison d'hiver}$$

soit environ (-) 200 000 Kcal/m² de vitrage par saison de chauffage.

Sans utiliser d'échangeurs mécaniques air-air, il est possible de canaliser l'air chaud vicié, avant son évacuation, à l'intérieur d'un « élément climatique de façade » (fig. 3), ce qui diminue les pertes par rayonnement et conduction du vitrage tout en éliminant les risques de condensation ; de tels vitrages abaissent le coefficient de transmission K en dessous de 1,0 W/m²/°C.

Le renouvellement de l'air par les vitrages

Le manque d'oxygène entraîne des dyspnées, des synapses et, finalement, la mort si la teneur tombe à un tiers par m³ d'air. De l'avis des physiologues, l'homme a besoin

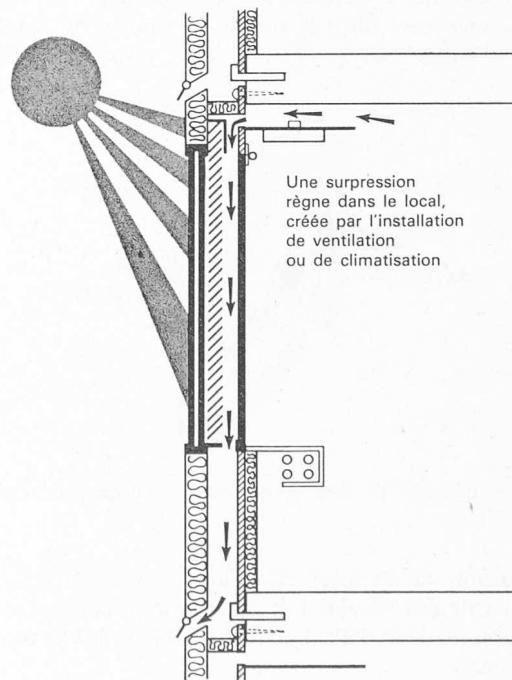


Fig. 3. — Élément climatique de façade type « Protecta-Sol »

d'au moins 30 m^3 d'air frais par heure et par individu s'il dispose d'un volume d'eau moins 6 m^3 .

A Genève, les statistiques (1973) nous donnent une surface brute habitable moyenne de $22,5 \text{ m}^2$ et une occupation de 0,75 habitant par pièce (cuisine y comprise), ce qui correspond à 30 m^2 par habitant. C'est donc 1 m^3 d'air frais par heure qu'il convient de réchauffer de $16,5^\circ\text{C}$ (de $3,5$ à 20°C en moyenne sur l'hiver), ce qui exige⁹ $4,75 \text{ Kcal}$ par m^2 de plancher et par heure, soit durant sept mois de 30 jours à 24 heures, environ $24\,000 \text{ Kcal/m}^2$ par hiver.

Une fenêtre à double vitrage avec 8 ml de battue de $2,5 \text{ mm}$ (surface 2 m^2) permet à la pression normale du vent le passage de $15,2 \text{ m}^3$ d'air par heure, soit $7,6 \text{ m}^3$ d'air/h./ m^2 de surface vitrée d'aération. Les 30 m^3 d'air frais par heure et par individu exigent donc, dans ces conditions, environ 4 m^2 de fenêtre pour un apport d'air de renouvellement naturel, soit environ 13 % de la surface utile de plancher ($4 \text{ m}^2 : 30 \text{ m}^2$). Cette valeur est correcte, étant supérieure à la proportion de 10 % au minimum exigée par la législation genevoise pour les surfaces d'éclairage des locaux habitables. La consommation de calories due à l'apport d'air de renouvellement nécessaire par ventilation naturelle est donc de ($20\,000 \text{ Kcal/m}^2$ de plancher : 13) $\times 100 = (-) 154\,000 \text{ Kcal/m}^2$ de fenêtre/hiver.

Ainsi, le bilan thermique d'un vitrage (compte tenu du renouvellement de l'air par aération périodique ou mauvaise étanchéité des fenêtres) est-il négatif si l'on considère ce dernier point ; mais il est positif en définitive car les calculs des chauffagistes négligent généralement l'apport thermique du rayonnement solaire et considèrent seulement les déperditions des vitrages (par conduction et passage d'air) [2].

Récupération de l'énergie calorifique : échangeur air-air

La chaleur contenue dans l'air évacué peut être judicieusement réutilisée grâce à l'emploi de types d'échangeurs air-air récemment développés ; actuellement, les mieux perfectionnés sont du type rotatif, le rendement d'enthalpie est d'environ 80 % (fig. 4). Il est possible d'évaluer

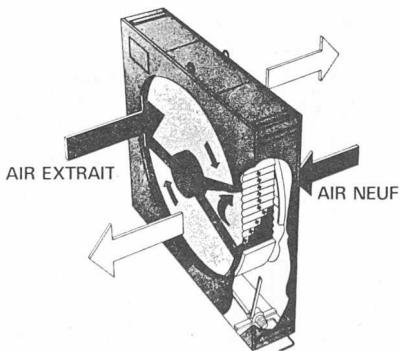


Fig. 4. — Principe de fonctionnement de l'échangeur rotatif.

la réduction de l'apport calorifique (ou frigorifique en été) à partir des besoins minima exprimés ci-dessus, soit, par heure, un débit d'air d'un mètre cube ou $1,2 \text{ kg}$ par m^2 de plancher.

⁹ Référence Prof. PAUL HALLER, ing. dipl. EPF/SIA, LFEM, *L'Informateur de la Construction* n° 7-8/1974.

Dans les conditions extrêmes suivantes :

- air extérieur (minima) (—) 10°C
- 80 % HR (—) $2,0 \text{ Kcal/kg}$ d'air,
- air intérieur (extrait) (+) 20°C
- 30 % HR (+) $7,5 \text{ Kcal/kg}$ d'air,

l'économie sur le chauffage est de : $1,2 \text{ kg/h.}$ ($7,5 + 2,0$) $80\% = 9,12 \text{ Kcal/h.}$

Tenant compte d'un réchauffement de l'air extérieur de $16,5^\circ\text{C}$ (valeur moyenne sur l'hiver) au lieu de 30°C (de -10°C à $+20^\circ\text{C}$), l'économie sur le chauffage sera de demi à un tiers du résultat ci-dessus, soit pour les sept mois de la saison d'hiver $15\,000 \text{ à } 20\,000 \text{ Kcal/m}^2$ de surface utile de plancher. Ces chiffres qui sont à rapprocher de ceux du paragraphe précédent montrent l'importance de la récupération de l'énergie calorifique dans un apport d'air de renouvellement contrôlé.

La pompe à chaleur

La nature est ainsi faite que, lorsque deux éléments sont mis en présence à des températures différentes, l'écart de température entre eux tend vers zéro (entropie). Un « compresseur frigorifique » ou une « pompe à chaleur » est un appareil qui a pour mission de s'opposer à ce processus naturel en créant un écart de température entre ces deux éléments ; ce fait « contre nature » impose de faire appel à un travail (force) extérieur complémentaire (deuxième principe de la thermodynamique).

La pompe échange de la chaleur avec une source froide — l'évaporateur — à la température absolue et avec une source chaude — le condensateur — à la température désirée. Elle prend une quantité de chaleur à la source froide et transporte cette énergie à la source chaude, moyennant un travail, où elle restitue la quantité de chaleur.

Exemple : Source froide : air extérieur à -10°C .

Source chaude : local à chauffer $+20^\circ\text{C}$.

Le coefficient de performance théorique initial est $293/30 =$ environ 10.

Une puissance mécanique de 1 KW induit donc 10 KW thermique.

En fait, les échangeurs ne peuvent fonctionner que s'il existe un écart de température entre deux fluides (fréon et air dans cet exemple), l'évaporation se fait à -20°C environ (prévoir un système cyclique de dégivrage) et la condensation à $+34^\circ\text{C}$, le coefficient de performance théorique devient alors 5,7. Il est possible de calculer pas à pas tous les éléments du cycle, en tenant compte des irréversibilités ; on obtient finalement ici un coefficient de 3,9, cette valeur se ramenant à environ 3 si l'on tient compte des frottements mécaniques, pertes du moteur électrique ainsi que de la puissance du ventilateur extérieur. En pratique, le coefficient de performance réel d'une pompe à chaleur varie, selon sa puissance, entre 45 et 65 % du coefficient théorique calculé à partir des températures de condensation et d'évaporation. Nous savons que plus la source extérieure est chaude, plus la différence de température est petite, plus la température moyenne du système est élevée et qu'en conséquence, plus le coefficient d'amplification est grand. Si nous associons le système initial d'une pompe à chaleur au système de ventilation du bâtiment, nous utiliserons comme source de calories l'air extrait du bâtiment (voir paragraphe précédent et fig. 5) ; la quantité de chaleur récupérée à l'extraction est transférée sur l'air introduit, augmentée du travail nécessaire à ce transfert W .

Si par chance W était égal aux déperditions, la seule énergie consommée serait égale à W ; si cependant les déperditions restent grandes par rapport à la quantité de chaleur nécessaire à cet air (ce qui est le cas pour l'habitation) on pourra maintenir le principe de la récupération en l'associant cependant à un stockage électrique de nuit pour faire face aux températures extérieures basses et au manque d'ensoleillement. En tout état de cause, l'élévation du coefficient d'isolation thermique des parois extérieures met en évidence l'intérêt de ce système dont le coût d'investissement supplémentaire est amortissable entre deux et trois ans, tenant compte de l'exploitation selon des calculs sérieux établis par l'EDF pour des immeubles d'appartements.

Intégration de l'éclairage dans un bilan thermique

Les sources de lumière sont des convertisseurs d'énergie électrique en énergie thermique, soit :

- énergie de conduction, convection (échauffement de l'air),
- énergie de rayonnement (infrarouge visible), d'où échauffement des parois par absorption du rayonnement.

L'augmentation des niveaux d'éclairement à des valeurs psychologiquement agréables (comprises entre 100 et 700 lux) conduit à des puissances installées qui dissipent environ 40 Kcal/m^2 .¹⁰ Il est à remarquer à ce propos que les jours étant plus courts en hiver, cet apport agit dans le même sens que la demande de calories.

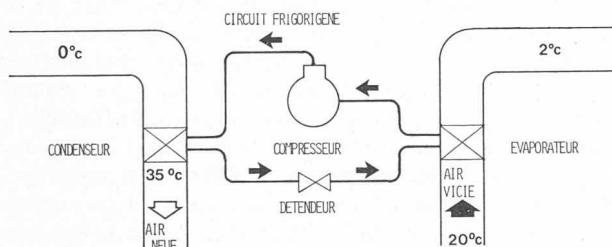


Fig. 5. — Schéma simplifié de pompe à chaleur sur l'air extrait.

Si nous estimons l'utilisation générale et moyenne des luminaires d'un appartement à 4 heures par jour de la période de chauffage, sur la base de 40 Kcal/h./m^2 de plancher, nous obtiendrons (par rayonnement, conduction ou convection) pour sept mois $33\,600 \text{ Kcal/m}^2$ de surface utile de plancher par hiver (soit environ 7 % des besoins calorifiques globaux). Si nous considérons également les autres appareils électriques dégageant des calories, notamment frigo et TV, ce pourcentage atteint 10 %, ce qui n'est pas négligeable.

L'apport du métabolisme humain

Nous devons également considérer l'apport thermique du corps humain dans une occupation des locaux d'habi-

¹⁰ A titre indicatif, pour 100 W de puissance électrique injectée dans le tube fluorescent, nous recevons 30 W sous forme de rayonnement thermique et 48 W en convection et conduction, alors que pour les mêmes 100 W dans une lampe à incandescence le rayonnement thermique est de 75 W et la conduction-convection de 10 W, soit au total 85 W à introduire dans le bilan thermique global de l'habitation (généralement éclairage à l'incandescence) [1].

tation, et cela pour $1/30^\circ$ par m^2 de surface utile de plancher. Nous répartirons cet apport en trois tranches de 8 heures (sommeil, assis-repos, debout-travail léger) sur la base des valeurs indiquées dans la note 1 desquelles nous tirerons une valeur moyenne applicable pour les 24 heures de la journée ($75 + 120 + 180 = 375 \text{ W} : 3 = 125 \text{ W}/30 \text{ m}^2$ = environ $4 \text{ W}/\text{m}^2$), soit pour les sept mois de la période de chauffage, environ $20\,000 \text{ Wh}$ ou $17\,200 \text{ Kcal}/\text{m}^2$ de surface utile de plancher.

Synthèse des données ci-dessus, exprimées sur la base annuelle

D'une étude française faite par un groupe de travail du « Commissariat du Plan » (publiée dans la *Revue française de l'Energie*, mai 1972), nous tirerons ici, à titre comparatif, et rapporté par m^2 de surface utile de plancher, la consommation d'énergie primaire selon la qualité de l'isolation thermique (rapportée au « coefficient volumique » G) pour les deux cas types suivants :

- Un logement de quatre pièces habitables* (cuisine non comprise) de 76 m^2 dans un ensemble collectif d'une cinquantaine de logements faisant partie d'une ZUP (chauffage central d'immeuble au fuel domestique).
- Une maison unifamiliale* sans mitoyenneté à deux niveaux d'une surface totale de 90 m^2 (chauffage central individuel au fuel domestique).

	Cas « A »	Cas « B »
Isolation selon les normes classiques HLM de qualité courante en 1970-71	coeff. Kcal/m ² /an G 1,33 424 700	coeff. Kcal/m ² /an G 2,29 503 440
Supplément d'isolant (sans double vitrage)	0,90 301 200	1,32 406 550
Qualité de l'isolation « tout électrique » (CEI)	0,70 254 600	1,03 —

Dans cette étude, les « apports internes » — ou chaleurs gratuites — (indépendantes du degré d'isolation thermique) sont considérées égales à :

- $76\,300 \text{ Kcal/m}^2/\text{an}$ pour les logements munis d'un système de régulation par pièce,
- $59\,200 \text{ Kcal/m}^2/\text{an}$ pour les autres.

Ainsi la régulation par pièce permet d'économiser environ $17\,000 \text{ Kcal/m}^2/\text{an}$.

Dans les deux cas, la consommation annuelle par logement de l'eau chaude sanitaire est d'environ 60 m^3 , ce qui correspond à 3400 Mcal décomposables en deux formes d'usage :

- 2200 Mcal pour les installations sanitaires (soit $30\,000 \text{ Kcal}/\text{m}^2/\text{an}$),
- 1200 Mcal pour les appareils ménagers (y compris machine à laver) qui fonctionnent à l'énergie électrique (soit $16\,000 \text{ Kcal}/\text{m}^2/\text{an}$).

La qualité d'isolation « CEI » correspond dans ses principales caractéristiques aux normes genevoises du « tout électrique » ; elle serait approximativement équivalente à la nouvelle normalisation belge qui prévoit un indice global de transmission K de 0,78 (la normalisation suisse étant en préparation selon de mêmes critères, cela

différemment de la normalisation française). Ainsi, pour un appartement locatif (cas « A »), l'économie annuelle entre la conception traditionnelle et une isolation optimisée est de $424\ 700 - 254\ 600 = 170\ 100 \text{ Kcal/m}^2/\text{an}$ (soit environ 40 %, indépendamment des apports internes). Ajoutons à cette différence les chiffres suivants :

— Régulation par pièce (par exemple vannes thermostatiques sur radiateurs)	17 000 Kcal
— Le bilan thermique des vitrages	p.m.
— Récupération de l'énergie par échangeur air-air (hiver)	20 000 Kcal
— Pompe à chaleur	p.m.
— Intégration de l'éclairage au bilan thermique, environ	40 000 Kcal
— Apport du métabolisme humain au bilan thermique, environ	17 000 Kcal

Considérant ce qui précède, on peut estimer qu'avec un investissement supplémentaire lors de la construction de 10 à 15 % pour l'isolation thermique des parois, dalles, vitrages, etc., et la rationalisation de la ventilation (échangeur air-air par exemple), la régulation par pièce, l'optimisation de l'ensoleillement, nous obtenons une réduction de la consommation d'énergie nécessaire au chauffage des locaux pendant la période d'hiver de plus de 50 % quel que soit le mode de chauffage utilisé (soit 200 000 à 250 000 Kcal/m²/an).

Sur la base de 10 000 Kcal/kg de mazout (valeur hiver 74-75), l'économie annuelle sera d'environ Fr. 8.—/m². Si nous estimons le coût de construction à Genève en 1974-1975 Fr. 1000.—/m² ou Fr. 300.— à 350.—/m³ SIA (intérêts compris), cet investissement supplémentaire de 10 à 15 % sera amorti, tenant compte des intérêts composés, en douze années environ ; tenant compte du coût des installations de chauffage, aération ou climatisation qui pourront alors être d'une moindre puissance, la durée réelle de l'amortissement se réduira à huit ou dix ans au maximum.

Ces éléments d'ordre économique et financier, très importants pour le développement d'une telle tendance à la qualité dans la construction, ne doivent pas faire perdre de vue les méthodes d'amélioration des qualités de confort perçu que devrait avoir le mode de chauffage ; en voici quelques points essentiels :

1. Le sentiment de bien-être que l'on éprouve dans un local dépendant pour une très grande part de la température des parois (sols et/ou plafonds compris) ; cette dernière devrait être supérieure de 2 à 4°C à celle de l'air ambiant (qui pourrait alors être abaissé de 20 à 18°C selon les cas, d'où une nouvelle source d'économie d'énergie), afin de réchauffer d'abord par rayonnement.

2. Pour des locaux dans lesquels on séjourne en permanence, on devrait utiliser des matériaux ayant un haut pouvoir d'accumulation de chaleur. Ceux-ci ont l'avantage d'amortir sensiblement les variations de température du local lors de réduction ou d'interruption passagère du chauffage ou lors de changement brusque de la température extérieure (dans ce sens, l'isolation extérieure apparaît comme une solution d'avenir).

3. La surface des vitrages (ou fenêtres, lorsqu'il s'agit des parties ouvrantes) ne devrait pas dépasser le tiers de la surface de la façade verticale ; elle devrait être orientée entre l'est-sud et ouest, à double vitrage ou verres isolants, assurant une bonne étanchéité à l'air.

4. En cas d'aération périodique, l'air devrait être uniquement remplacé. L'installation d'échangeur air-air, récupérant la chaleur de l'air vicié expulsé, devrait se généraliser comme technique de renouvellement de l'air ambiant. A défaut de cette installation électro-mécanique, on devrait d'abord utiliser l'air à expulser pour le réchauffement des vitrages extérieurs.

5. Les apports internes ou « chaleurs gratuites » peuvent être mieux connues des chauffagistes qui devraient aussi les intégrer dans des études moins « globalisantes » ; dans ce sens, le degré d'humidité de l'air ambiant lié aussi aux phénomènes de convection de cet air ne doit pas être négligé dans l'étude du confort thermique des habitations même modestes.

Chaleur et nourriture : relations quantitatives

Il nous est apparu d'un certain intérêt de chiffrer ici, sur la même base ($\text{Kcal}/\text{m}^2 \text{ de surface utile de plancher/année}$), la consommation calorifique de l'être humain pour son alimentation afin d'obtenir :

- une relation quantitative globalisée entre la chaleur et la nourriture ;
- une totalisation des calories nécessaires au maintien de notre « éco-système urbain » dans sa conception actuelle [3].

Les chiffres qui suivent représentent plutôt des « ordres de grandeur » suffisants pour la comparaison et l'appréciation d'ensemble. Si nous estimons à 2500 Kcal/jour les besoins normaux humains sous forme de nourriture et si nous maintenons la constante de 30 m² de surface utile de plancher construit par individu, nous obtenons un chiffre de 30 000 Kcal/m²/année. Si, dans nos régions tempérées et industrialisées une « caloric industrielle » permet de produire un peu plus de deux calories alimentaires, nous devons également considérer que notre système d'alimentation n'utilise que 8 à 10 % de la consommation globale d'énergie indispensable depuis la production jusqu'à l'élimination de ses déchets. C'est donc cinq « calories industrielles » pour une « caloric nutritive » qui sont nécessaires, ce qui représente 150 000 Kcal/m²/an ; le chiffre global de 200 000 Kcal/m²/an étant retenu dans l'optique d'une économie optimisée de l'énergie calorifique. Une relation comparative de quantités avec le chiffre précédent et une totalisation des besoins annuels dans ces domaines bien définis :

— besoins « chauffage » (logement)	200 000 Kcal
— eau chaude sanitaire (30 000 + 16 000)	46 000 Kcal
— nourriture (production-élimination)	150 000 Kcal

s'établit aux environs de 400 000 Kcal/m² de surface utile de plancher¹¹.

Cet ordre de grandeur nous paraît suffisant pour apprécier l'impact quantitatif des éléments d'une réduction de notre consommation énergétique et nous en faire prendre

¹¹ Ce chiffre s'inscrit, comparativement à ceux publiés dans le livre *L'Energie c'est vous*, 1974, Editions Stock Paris (rapportés sur la même base annuelle par m² de surface utile de plancher) de la manière suivante :

Niveau économique	Consommation énergétique moyenne globale en France	dans le monde
Artisanal	env. 275 000 Kcal	env. 220 000 Kcal
Industriel	env. 1 100 000 Kcal	env. 550 000 Kcal
Post. ind.	env. 4 700 000 Kcal	env. 1 100 000 Kcal

conscience ; il nous permet de traduire également, dans le domaine banal et journalier de la nourriture, les effets de notre civilisation urbaine occidentalisée.

Adresse de l'auteur :

Jean Duret
Architecte-urbaniste SIA-FAS
75, rue de Lyon, 1203 Genève

- [1] « Chauffage et conditionnement électrique des locaux » par R. WOLF. Eyrolles, éditeur, Paris, 1974.
- [2] « Surfaces vitrées et climatisation » par Ernest WILD qui montre (fig. 9 à 14) diverses valeurs de transmissions thermiques pour vitrage simple et double et donne (tableaux 1 à 3) une comparaison entre différents types de vitrages et de protection. *Bulletin technique de la Suisse romande*, 92, 253 (16.7.66).
- [3] Voir l'article du même auteur paru dans le *Bulletin technique de la Suisse romande*, 100, 26 : 516 (19.12.1974).

Corrosion des circuits de distribution d'eau en acier galvanisé

par MICHEL COLIN, Lausanne

Parmi les diverses corrosions rencontrées dans les circuits de distribution d'eau froide et d'eau chaude dans les bâtiments locatifs, l'une des plus fréquentes est celle des tuyauteries en acier galvanisé en présence de conduites en cuivre ou de robinets et de vannes en laiton ou en bronze.

Cette corrosion affecte plus spécialement les tubes en acier galvanisé utilisés pour la distribution de l'eau chaude. Elle n'épargne cependant pas les circuits d'eau froide comme en témoignent les cas déjà observés.

1. Mécanisme de corrosion

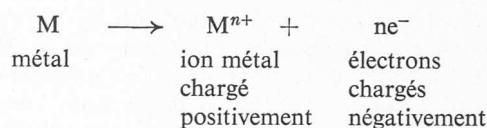
Il s'agit d'une corrosion électrochimique. Ce type de corrosion se produit dans les liquides ou les électrolytes (composés qui, à l'état liquide ou dissous, conduisent le courant électrique). Elle est provoquée dans la presque totalité des cas par la juxtaposition de deux métaux différents, ou par la présence d'hétérogénéités sur la surface d'un même métal ou encore par des différences locales de concentration d'un même composé dans le milieu environnant (oxygène en particulier). Ces discontinuités conduisent à la création de piles électriques provoquant la destruction du matériau.

La corrosion de l'acier galvanisé en présence de cuivre ou de ses alliages est due au fait que ces deux métaux ont un comportement électrochimique nettement différent. Elle revêt essentiellement deux aspects. Il peut s'agir simplement d'un contact direct entre les deux matériaux, ce qui crée une pile. Celle-ci peut facilement être éliminée en interposant un joint inerte entre eux. Un cas plus dangereux est celui où des bavures de cuivre venant du montage sont entraînées puis déposées sur le métal zingué, provoquant l'apparition de corrosions localisées. Un montage soigneux permet cependant d'éviter ce genre d'accident.

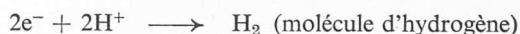
Le deuxième aspect est de loin le plus fréquent et le plus dangereux. C'est celui où les ions cuivre en solution dans l'eau viennent en contact avec les parties galvanisées créant une multitude de micropiles zinc-cuivre et l'amorce de nombreuses piqûres.

Sans entrer dans des explications trop scientifiques, examinons rapidement quel est le mécanisme de cette corrosion et tout d'abord quel est le processus de dissolution d'un métal.

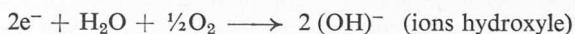
Si on plonge un métal dans un électrolyte (eau du réseau dans le cas présent), des atomes métalliques passent dans la solution à l'état d'ions positifs tandis que dans le métal apparaissent des charges négatives. Du point de vue électrique, ceci peut s'écrire :



Le passage de ces ions dans la solution est limité dans le temps car ils doivent vaincre la répulsion des ions qui se trouvent déjà en solution ainsi que l'attraction des électrons en excès qui chargent négativement le métal. Par conséquent, la dissolution d'un métal ne devrait pas s'accompagner à une échelle mesurable. Cependant, il en est tout autrement si les électrons restant dans le métal et les ions positifs passés en solution peuvent être neutralisés. Dans ce cas, le processus de dissolution pourra se poursuivre. Ainsi dans un milieu acide, les ions hydrogène H^+ peuvent neutraliser les électrons apparus à la surface métallique suivant la réaction.



En milieu neutre ou basique, c'est l'oxygène dissous qui intervient et la réaction s'écrit alors :



Des réactions analogues peuvent avoir lieu avec n'importe quel autre oxydant apte à fixer des électrons.

Dans le cas qui nous occupe, l'électrolyte est, répétons-le, l'eau du réseau, c'est-à-dire une eau potable qui, selon les normes, doit contenir au minimum 5 mg d'oxygène par litre. De plus, cette eau est sans cesse renouvelée dans le réseau de distribution.

Les ions métalliques passés en solution d'après le mécanisme ci-dessus sont ensuite véhiculés par l'eau de la conduite et peuvent entrer en contact avec une autre surface métallique. De cette façon, des ions cuivre peuvent se déposer sur le zinc et provoquer l'apparition de micropiles dans lesquelles le zinc, électrochimiquement moins noble que le cuivre, se corrode suivant la réaction :



Ces dépôts de cuivre se font généralement sur des sites préférentiels (aspérités, pics microscopiques à la surface du métal, coudes et nourrices d'alimentation). Les quantités nécessaires sont très faibles. Des teneurs inférieures à 0,1 mg par litre pour une eau ayant une dureté de 12°F¹

¹ °F = degré français.