Réseau
Sortir du nucléaire

Réseau "Sortir du nucléaire"
9 rue Dumenge - 69317 Lyon
Tél : 04 78 28 29 22 Fax : 04 72 07 70 04
www.sortirdunucleaire.org

Fédération de plus de 930 associations et 60 000 personnes, agrée pour la protection de l'environnement

Source : https://www.sortirdunucleaire.org/chauffer-les-personnes

25 octobre 2016

Avoir chaud à l'ancienne : chauffer les personnes et non les espaces

De nos jours, nous assurons notre confort thermique en hiver en chauffant le volume d'air de nos pièces et de nos bâtiments. Autrefois, le concept de chauffage de nos aïeuls était plus localisé : ils chauffaient les personnes, et non les espaces.

Georg Saal, 1861.

Ils utilisaient des sources de chaleur radiatives qui réchauffaient seulement certaines parties d’une pièce, créant des micro-climats de confort. Les gens luttaient contre les grandes différences de température en utilisant du mobilier isolé, tel que des chaises à hotte ou des écrans pliables, et en complément, ils employaient des sources de chaleur individuelles qui réchauffaient certaines parties de leur corps. Il serait particulièrement pertinent de retrouver aujourd’hui cette ancienne façon de se chauffer, tout en utilisant ce que la technologie moderne a mis à notre disposition, c’est-à-dire des systèmes beaucoup plus pratiques, sûrs et efficaces.

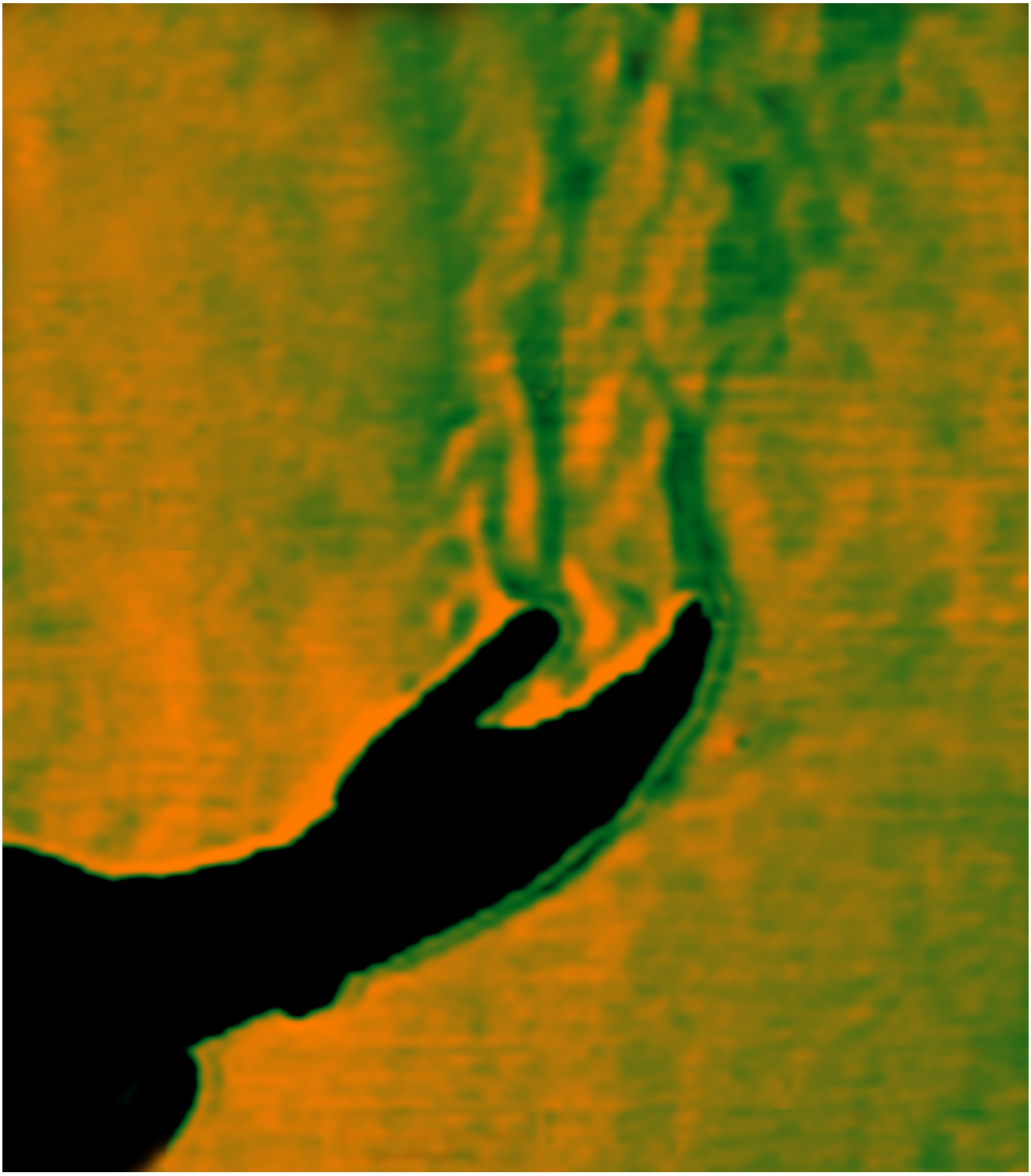
La plupart des chauffages modernes sont basés en premier lieu sur le chauffage de l’air. Cela semble être un choix évident, mais il y a des alternatives bien plus profitables. Il y a trois types de transfert de chaleur (sensible) : la convection (le chauffage de l’air), la conduction (le chauffage par contact physique), et la radiation (le chauffage via les ondes électromagnétiques).

Les anciens mode de chauffage étaient basés sur la radiation et la conduction, qui sont plus économes en énergie que la convection. Alors que la convection implique la montée en température de chaque centimètre cube d’air d’une pièce pour que les personnes restent au chaud, la radiation et la conduction peuvent transférer leur chaleur directement aux personnes, rendant la quantité d’énergie nécessaire indépendante de la taille de la pièce ou du bâtiment.

Conduction, convection, radiation

En premier lieu, regardons de près les différentes méthodes de transfert de chaleur. Conduction et convection ont une relation intime. La conduction concerne le transfert de chaleur à travers des solides en contact : le flux de chaleur passe de la partie la plus chaude vers la partie la plus froide. La

vitesse de ce flux dépend de la résistance thermique du matériau. Par exemple, la chaleur traverse plus rapidement le métal que le bois, le métal ayant une plus faible résistance thermique. Ceci explique, par exemple, pourquoi un objet en métal paraît plus froid qu'un objet en bois, même lorsqu'il sont à la même température.

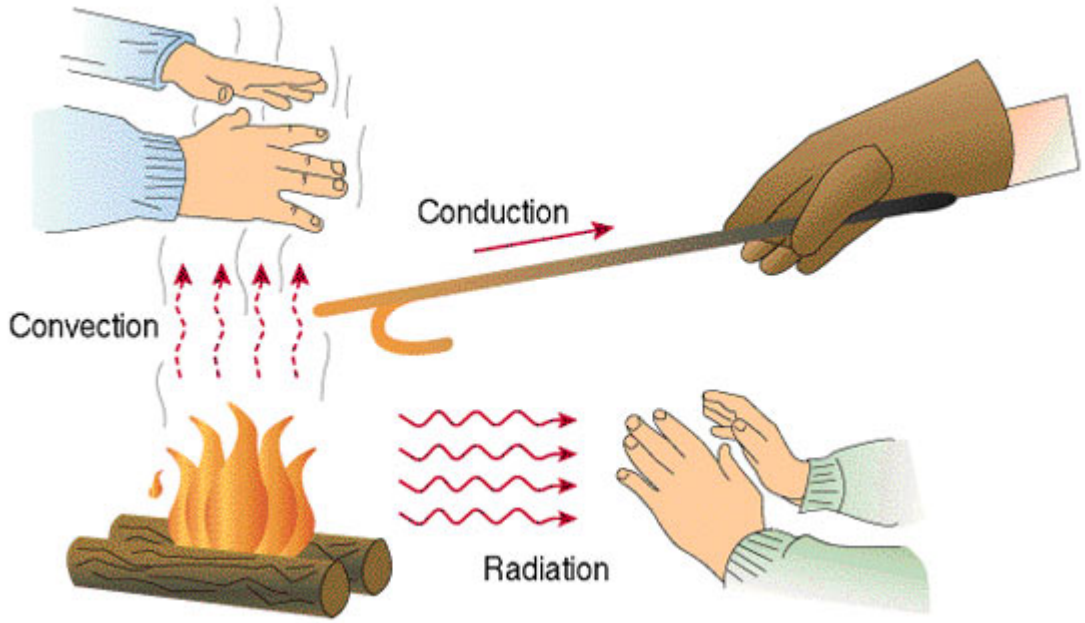


Transfert de chaleur du corps humain vers l'air ambiant vu par une caméra thermique

La conduction ne se déroule pas seulement entre les solides, mais aussi à l'interface entre un solide et un fluide (comme l'air), et entre les fluides eux-mêmes. Chaque objet plus chaud que l'air qui l'entoure, transmet une certaine quantité de chaleur à l'air grâce à la conduction. Cependant la conduction dans l'air est limitée, car l'air a une importante résistance thermique, ce qui explique pourquoi il est à la base de la plupart des matériaux d'isolation. Mais dans le même temps, l'air chauffé par la conduction se dilate et s'élève. Sa place est prise par de l'air plus froid, qui est chauffé

à son tour, qui se dilate, s’élève et ainsi de suite. Ce courant de chaleur qui monte au dessus de tous les objets plus chaud que l’air est appelé convection.

La radiation, le troisième type de transfert de chaleur, fonctionne d’une manière différente de la conduction et de la convection. L’énergie radiative est transportée par des ondes électromagnétiques similaires aux ondes lumineuses ou sonores. Pour être plus précis, il s’agit d’une partie du spectre électromagnétique appelé infrarouge. La radiation n’a pas besoin d’un milieu (comme l’air ou l’eau) pour propager la chaleur. Elle fonctionne dans le vide et c’est le type de transfert thermique prépondérant dans l’espace intersidéral. La première source d’énergie radiative est le soleil, mais tout objet sur terre irradie de l’énergie infrarouge tant qu’il a une masse et une température supérieure au zéro absolu. Cette énergie peut être absorbée par d’autres objets ayant une température inférieure. L’énergie radiative n’a pas de température propre. C’est seulement lorsqu’elle frappe la surface d’un objet doté d’une masse que l’énergie peut être absorbée et convertie en chaleur.



3 modes de transfert de chaleur

Le confort thermique à basse température d’air

En raison de l’usage général du chauffage central réchauffant (ou refroidissant) l’air, nous en sommes venus à croire que notre sensation de confort interne dépend principalement de la température de l’air. Pourtant, le corps humain échange de la chaleur avec son environnement via la convection, la radiation, la conduction et l’évaporation (une autre forme de transfert de chaleur dite "latente"). La convection se réfère aux échanges de chaleur avec l’air environnant, la radiation est le transfert de chaleur entre la peau et les surfaces autour de nous, l’évaporation concerne l’eau perdue par notre peau, et la conduction est l’échange thermique qui a lieu entre une partie du corps et un objet en contact.

En hiver nous pouvons nous sentir bien à une température d’air plus faible en augmentant la part de radiation ou de conduction dans la chaleur totale transférée dans la pièce. Par exemple, une personne pieds nus sur un sol froid aura froid, même si la température de l’air est convenable à 21°C. Ceci s’explique par le fait que le corps perd de la chaleur au profit du sol via la conduction. Un bol de soupe dans les mains, un plancher chauffant ou une banquette chauffante ont l’effet opposé, car la chaleur est transférée des objets chauds vers le corps par la conduction.

La chaleur radiative peut elle aussi amener une sensation de confort aux personnes situées dans un air à basse température. La preuve parfaite est l’ensoleillement direct. Au printemps ou en automne,

nous pouvons nous asseoir confortablement à l’extérieur au soleil habillés seulement d’une chemisette, même si la température ambiante est relativement basse. Un mètre plus loin, à l’ombre, nous aurions besoin d’une veste bien que la température de l’air soit plus ou moins la même. Et en été nous préférons rester à l’ombre. La différence entre ces situations tient à l’énergie radiative du soleil qui chauffe le corps directement exposé à sa lumière. Cette "température de rayonnement" supérieure, qui peut être mesurée par un thermomètre à globe noir, nous dispense un confort thermique équivalent pour une température d’air plus froide en hiver.

Notons que sur la terre, la radiation est toujours combinée à la convection. Étant donné que l’air à une masse volumique faible, l’énergie radiative du soleil ne rencontre pas l’air directement. Néanmoins elle le rencontre indirectement. L’énergie radiative du soleil est absorbée par la terre, et elle est alors convertie en chaleur. La chaleur emmagasinée à la surface de la terre est relarguée progressivement dans l’air via les mécanismes décrits ci-dessus, c’est-à-dire grâce à la conduction et à la convection. Ce n’est pas directement le soleil mais plutôt la surface de la terre qui réchauffe l’air de notre planète.

La chaleur radiative est tout aussi importante lorsqu’on chauffe un bâtiment, indépendamment du système de chauffage utilisé. À l’intérieur, la température radiative représente la radiation infrarouge totale échangée avec toutes les surfaces de la pièce. Les systèmes de chauffage radiatifs, dont nous parlerons plus tard, fonctionnent de façon analogue au soleil : ils ne chauffent pas l’air mais les surfaces dans la pièce, y compris la peau des personnes présentes, augmentant ainsi la température de rayonnement et offrant un confort thermique pour une température d’air plus basse. L’utilisation de chauffages radiants est plus maîtrisable à l’intérieur qu’à l’extérieur, où un coup de vent peut annuler l’effet chauffant de la radiation solaire.

Un chauffage 100% radiatif n’existe pas, car la surface du système de chauffage et les surfaces irradiées sont en contact avec l’air et donc le réchauffent par conduction et convection. Cependant, pour un système radiatif, ce chauffage de l’air est décalé dans le temps et plus limité que dans le cas d’un chauffage convectif. De même, un chauffage convectif augmente aussi la température radiative de la pièce, étant donné que l’air chaud réchauffe les surfaces du bâtiment par conduction et convection. Mais bien sûr, l’augmentation de la température de rayonnement est lente et limitée par rapport à ce qui se passe avec un chauffage radiatif.

Comme pour la conduction, la radiation peut nous faire ressentir le froid malgré une température d’air importante. Si nous sommes assis près d’un fenêtre froide, notre corps irradie de la chaleur vers cette surface froide, nous faisant ressentir le froid même si la température ambiante est de 21°C. En résumé, ni une température d’air importante ni une température de rayonnement importante ne nous garantissent le confort thermique. La meilleure compréhension de l’environnement thermique dans une pièce est donnée par la "température opérative", qui est une moyenne pondérée des deux grandeurs.

Les anciennes façons de se chauffer

Avant l’arrivée des systèmes de chauffage central de l’air au cours du vingtième siècle, les bâtiments étaient chauffés principalement par une source radiative centrale, telle qu’une cheminée ou un poêle à bois, à gaz ou au charbon. D’une manière générale, on ne chauffait qu’une seule pièce dans la maison. Mais même dans cette pièce, le confort pouvait être très différent selon l’endroit occupé. Alors que le chauffage de l’air distribue la chaleur de façon relativement homogène sur la surface, un chauffage radiatif crée un microclimat local qui peut trancher radicalement avec le reste de la pièce.

Ceci s’explique par le fait que l’énergie potentiellement distribuée par un système radiatif décroît avec la distance. Il ne s’agit pas là d’un affaiblissement des radiations infrarouges, c’est en réalité une dispersion de celles-ci qui s’opère alors que l’on s’éloigne de la source. Ceci est illustré par les deux

images ci-dessous, qui proviennent du livre de Richard Watson "Radiant Heating and Cooling Handbook". Le dessin de droite montre une distribution de chaleur radiative (ou un paysage radiatif) dans une pièce vue du dessus, qui est chauffée par des radiateurs à air pulsé. La température de rayonnement moyenne est de 20°C. Hormis l'influence de la surface froide d'une fenêtre (en haut), la température de rayonnement est relativement homogène.

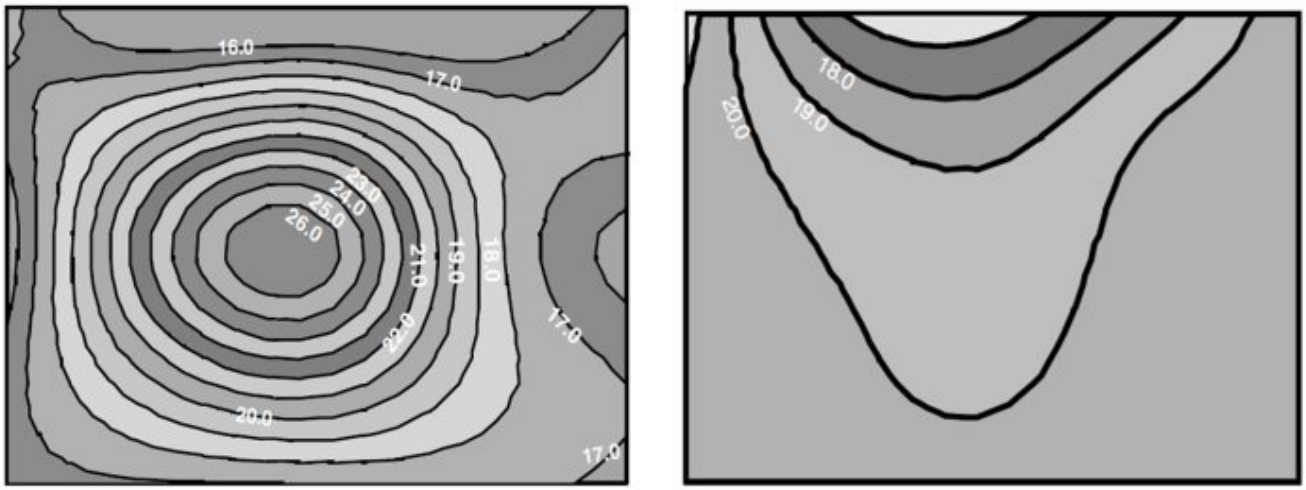


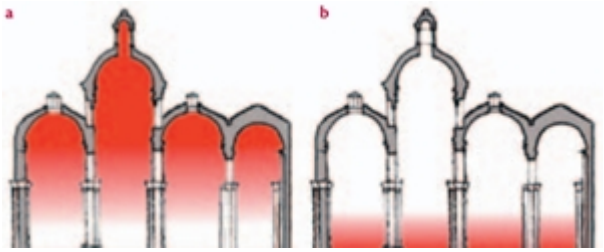
Schéma comparatif de 2 types de chauffage et leurs effets sur les températures effectives localisées dans une pièce. La pièce de gauche est chauffée avec un système radiant - les zones de confort thermique y sont plus localisées qu'avec le système de chauffage à convection d'air (vignette de droite). Source : Radiant Heating and Cooling Handbook. Richard Watson, 2008

Le dessin de gauche montre la même pièce, avec la même température de rayonnement moyenne de 20°C, mais maintenant chauffée au moyen d'une source radiative localisée au centre du plafond. Il s'agit d'un panneau infrarouge électrique, une nouvelle technologie que nous détaillerons dans la seconde partie de l'article, mais un foyer au milieu de la pièce aurait donné le même résultat. Le paysage radiatif est maintenant très différent. La température de rayonnement la plus haute est mesurée au milieu, juste en dessous du panneau. La température de rayonnement diminue ensuite rapidement en cercles concentriques vers les bords de la pièce. La différence entre les températures de rayonnement minimale et maximale est bien plus importante que dans le cas d'un chauffage à air pulsé.

Bien sûr, un positionnement différent de la surface de chauffage radiatif, ou une combinaison de plusieurs sources, aurait engendré un paysage radiatif très différent. En plus de cela, tout comme pour la radiation solaire, d'autres objets peuvent faire de l'ombre, ce qui signifie que la position des meubles peut avoir un effet sur la distribution de chaleur dans la pièce. Notons tout de même que la distribution hétérogène de la température de rayonnement sera tempérée dans une certaine mesure par le caractère homogène de la température d'air, et ce quel que soit le système de chauffage installé.

L'efficacité énergétique

Dans une pièce chauffée par l'air, l'endroit où vous êtes importe peu. Dans une pièce chauffée par une source radiative, votre localisation est primordiale. La température de rayonnement est probablement optimale en moyenne, mais elle peut être trop basse à certains endroits de la pièce. Le contraire est tout à fait possible, la température de rayonnement moyenne peut être trop basse, alors qu'à certains endroits elle est parfaitement confortable. C'est l'ancien principe du foyer ou de la zone limitée de chauffage, qu'il n'est pas possible de reproduire avec un chauffage de l'air. Plutôt que de chauffer l'espace complet, nos ancêtres chauffaient seulement les pièces occupées du bâtiment.



Une église chauffée à gauche par convection de l’air, à droite par un système radiatif - l’air chaud monte, le chauffage radiatif ne chauffe quant à lui qu’à hauteur d’homme - beaucoup plus efficace pour le confort thermique réel des personnes présentes - Source : Fabric-friendly heating, Dario Camuffo.

Dans le plan vertical, la situation est similaire. L’air chaud monte, et la majeure partie de l’énergie finit sous le plafond, où son utilité est limitée. Avec un chauffage radiatif, il est clairement possible de ne chauffer que le bas d’une pièce, et ce quelle que soit la hauteur de plafond. La chaleur radiative ne monte pas plus qu’elle ne descend, à moins que le système radiatif soit directionnel et orienté vers le haut. En conclusion, au lieu de chauffer le volume d’air complet, un chauffage radiatif peut ne chauffer qu’une partie occupée de l’espace, ce qui est bien sûr plus efficace énergétiquement. À moins que la pièce ne soit très petite ou remplie de personnes, seule une toute petite partie de l’énergie dépensée par un système de chauffage de l’air profite vraiment aux personnes. À l’inverse, quasiment toute l’énergie d’un chauffage radiatif finit par chauffer effectivement les occupants d’une pièce.

L’isolation locale

Un des problèmes de l’hétérogénéité du climat intérieur au temps jadis était le côté asymétrique du rayonnement, c’est-à-dire la différence de température entre les différents côtés du corps. Une personne assise en face d’un feu recevra assez de chaleur rayonnée sur un côté de son corps, alors que son autre côté perdra de la chaleur en raison du contact avec l’air et de la présence de surfaces froides de l’autre côté de la pièce. Le bilan thermique peut être équilibré, les pertes d’un côté étant égales aux gains de l’autre côté, mais si la différence de température est trop forte, le confort thermique n’est pas assuré.

Banc à dossier ajustable - Source : Dictionnaire de l’ameublement et de la décoration depuis le XIIIè siècle, 1887-1890

Ce problème est illustré par l’image ci-dessus. Le dossier du banc pouvait être passé d’un côté ou de l’autre. En se mettant tour à tour face et dos au feu, les deux côtés du corps étaient réchauffés alternativement. Bien que l’asymétrie radiative puisse aussi se rencontrer dans un système de chauffage de l’air, on s’attend à la retrouver plus systématiquement dans les pièces chauffées par un système radiatif. Autrefois, cette différence de température était amplifiée par le fait que les murs des bâtiments n’était pas isolés. Les courant d’air étaient également une source d’inconforts locaux, car les vieux bâtiments étaient tout sauf étanches à l’air.

Pour créer un microclimat confortable sans asymétrie radiative et sans courants d’air, nos aïeuls ajoutaient au chauffage local une isolation locale. Par exemple ils utilisaient des chaises à hotte. Ces chaises, qui pouvaient s’intégrer dans un demi caisson de bois ou être couvertes de cuir ou de tissus, exposaient intégralement leur utilisateur à la source de chaleur rayonnante, et dans le même temps elles protégeaient son dos des courants d’air et des pertes liées aux surfaces froides environnantes.

Chaises à hotte du XIXè siècle

La forme de ce mobilier était également étudiée pour qu’une fraction plus importante de la chaleur rayonnée par le feu soit utilisée efficacement : la chaise était chauffée par le feu via la radiation et cette chaleur était ensuite transférée à la personne assise. Une étude récente a montré qu’une telle chaise avait une isolation équivalente à 0,4 clo (unité d’isolation des vêtements), ce qui correspond à l’isolation d’un gros pull-over ou d’un manteau. Certaines chaises pouvaient aussi accueillir plus d’une personne. L’écran pliable, utilisé seul ou en complément de la chaise hotte, constituait une seconde solution d’isolation. Utilisé comme mobilier d’hiver, il était isolé à l’aide de tissus épais ou par des panneaux en bois. Il pouvait entre autres être positionné derrière une chaise hotte, ou derrière une table. À l’instar de la chaise hotte, l’écran pliant protégeait le dos des personnes des éventuels courants d’air et des températures froides, créant ainsi un microclimat confortable.

Écran pliable du début du XXè siècle, sa simplicité n’en fait pas moins un atout contre les courants d’air et pour retenir la chaleur dans une partie de la pièce occupée. Source : London fine antiques

Des assises proches du foyer illustrent un troisième exemple d’isolation locale . Elles pouvaient être constituées de bancs placés entre le feu et les parois de la cheminée, ou alors être maçonnées en alcôves permettant aux personnes de s’asseoir. Dans les deux cas, la personne s’appuyait sur un mur qui avait été chauffé par le feu et qui le protégeait des courant d’air. La cheminée pouvait parfois être placée dans une pièce à l’intérieur de la pièce. Dans la chambre en général non chauffée, un élément du mobilier permettait lui aussi de créer un microclimat : le lit à baldaquin, qui était composé d’une voûte et de rideaux épais. Lorsque les rideaux du lit étaient fermés, les courants d’air ne passaient plus et la chaleur du corps était piégée à l’intérieur.

Les chauffages portatifs

L’inconvénient apparent d’un chauffage local est que les personnes doivent être à un endroit précis pour jouir du confort thermique. Autrefois, la famille se réunissait autour de la cheminée ou du poêle pour des activités calmes, ou lorsque le corps devait être réchauffé après un passage prolongé dans un endroit froid. Les autres zones de la pièce, ainsi que les pièces non chauffées, étaient plutôt

dédiées à des activités nécessitant un effort métabolique important. Les gens "migraient" alors dans la pièce et dans la maison à la recherche du climat le plus indiqué pour leurs besoins. Cependant l'efficacité de sources de chaleur radiative et de l'isolation locale était améliorée par les chauffages portatifs qui apportaient de la chaleur par radiation, convection et/ou conduction. Ces systèmes mobiles permettaient d'augmenter encore le confort thermique dans les endroits où était placée une source de chaleur localisée, et ils étaient utiles pour transporter de la chaleur dans d'autres lieux. Les chauffages portatifs étaient spécialement conçus pour réchauffer les mains et les pieds, qui sont les parties du corps les plus sensibles au froid.

On peut citer par exemple le chauffe-pieds, une boîte avec une ou plusieurs partitions perforées qui contenaient un bol en métal ou en terre cuite rempli de braises venant de la cheminée. Les pieds étaient posés sur ce "poêle" et les vêtements longs de l'époque augmentaient encore l'efficacité de ce petit appareil de chauffage : la chaleur était guidée par la jupe ou la robe de chambre et montait le long des jambes pour réchauffer le haut du corps. La partie supérieure de l'objet était en bois ou en pierre, en général un matériau à faible conductivité thermique pour éviter les brûlures. Dans de nombreux endroits de par le monde, des sources de chaleur analogues servaient à réchauffer les mains. Elles étaient faites de métal ou de céramique et étaient remplies de braises venant de la cheminée, ou éventuellement de charbon ou de tourbe. Ces chauffages individuels permettaient aussi aux gens de profiter d'un peu de chaleur issue de la cheminée hors de la maison. On les emportait dans les calèches ou dans les trains non chauffés, ou même encore à la messe du dimanche. Les pauvres gens utilisaient simplement des pierres chaudes ou des briques, ou même des pommes de terres chaudes mises directement dans leurs poches.

Ancien chauffe-pieds hollandais, des braises et cendres étaient placées dans la boite - un chauffage portatif très efficace. - Source : Motherbedford

Pour réchauffer le lit, on utilisait des poêles (analogues aux poêles à frire) en laiton, elles étaient munies d'un long manche et on les faisait circuler sous les couvertures. Certains lits avaient un réservoir spécial : il s'agissait d'un grand cadre de bois au centre du sommier, destiné à recevoir un pot de combustible ardent. Au XIXe siècle, après la démocratisation de l'adduction d'eau, l'utilisation de pots d'eau chaude en céramique devint courante, l'eau étant une substance moins dangereuse qu'un feu qui couve. Ces pots, intégrés dans des tissus de protection, devenaient des chauffe-pieds, des chauffe-mains ou des chauffe-lits.

Certains peuples poussèrent le concept du chauffe-pied un cran au-dessus. Les Japonais avaient leur "kotatsu", une table basse mobile avec un chauffage au charbon de bois dessous. Un tissu épais ou une couverture étaient posés sur la table pour piéger la chaleur et tous les membres de la famille glissaient leurs jambes en dessous, en s'asseyant sur le sol. Tout comme avec les chauffe-pieds européens et américains, les habits de l'époque amplifiaient encore l'efficacité du système. La chaleur du foyer au charbon était transférée à travers le kimono japonais traditionnel, réchauffant tout le corps. Des systèmes similaires étaient utilisés en Afghanistan (tel que le "korsi"), en Iran, en Espagne et au Portugal.

Les chauffages conductifs

Historiquement, les chauffages a priori radiatifs transféraient aussi de la chaleur par conduction, améliorant ainsi leur efficacité et le confort thermique. Il y a plus de 3000 ans, les chinois et les coréens inventèrent un système de chauffage basé sur le piégeage de fumées dans une masse thermique. Le "kang" (lit chauffé) du nord de la Chine était constitué d'une plate-forme de briques, de pierres ou de maçonnerie occupant près de la moitié de la chambre. Comme son nom l'indique, le kang était d'abord un lit chauffé, mais la plate-forme était également utilisée en journée comme un lieu de vie et de travail. Le "dikang" (plancher chauffé), qui était typique dans le nord-est de la chine, fonctionnait de la même façon que le kang, mais sur une surface plus importante.

Lit "kang" chinois - Source : Zhenbiancheng

Les coréens utilisaient le "ondol" (pierre chauffée), formé d'une plate-forme adossée à un mur. Un chauffage analogue en Afghanistan, le "tawakhaneh" (chambre chaude) est peut-être le plus ancien système de ce type : ses premières utilisations datent probablement d'il y a 4000 ans. Pour l'ensemble de ces installations, la chaleur du foyer ouvert passait d'abord sous la plate-forme avant de rejoindre la cheminée de l'autre côté de la pièce. Le foyer et la cheminée pouvaient être dans la même pièce ou dans une autre. La chaleur des fumées était transférée à la masse thermique de la plate-forme, et elle était relarguée progressivement dans l'air de la pièce. La conduction prenait une part aussi importante que la radiation dans le transfert total de chaleur.

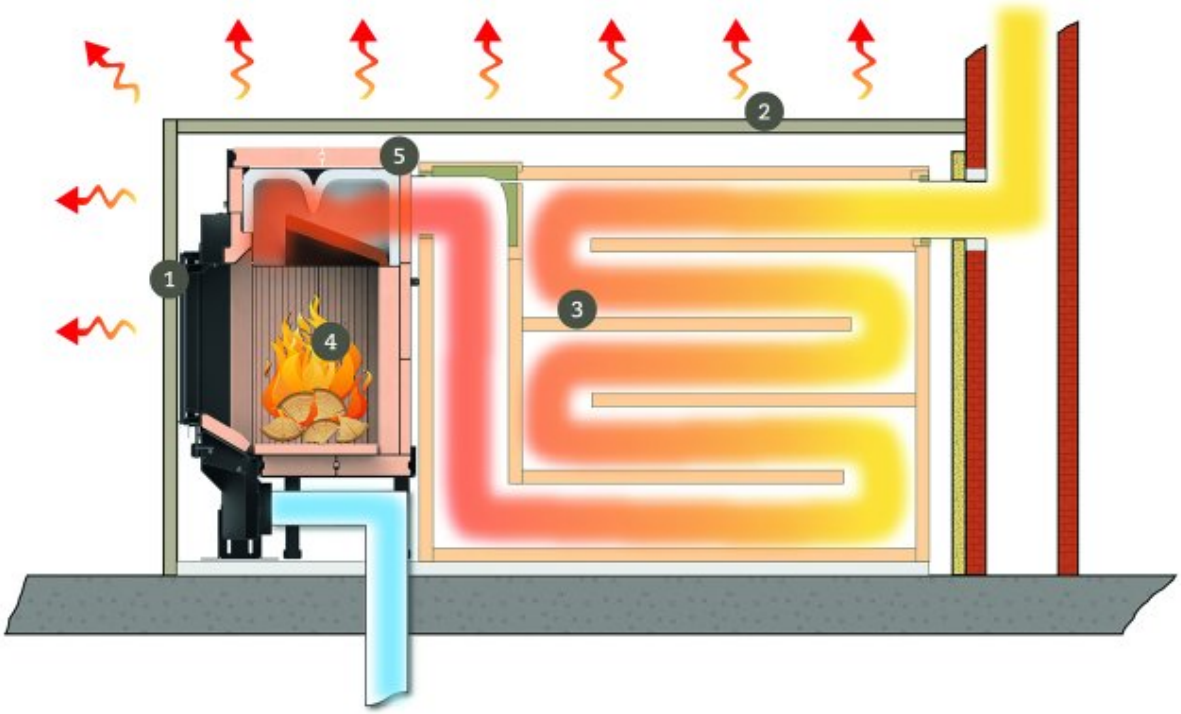
Ces anciens systèmes de chauffage nous rappellent un peu les poêles de masse européens qui apparurent au Moyen-Âge. Les poêles de masse brûlent le bois à très haute température au sein d'une importante masse thermique, ce qui est plus propre et plus efficace. Les fumées sont guidées dans un labyrinthe de canaux, transférant ainsi la majeure partie de leur énergie avant de sortir par la cheminée. Les poêles de masse émettent la majeure partie de leur chaleur via la radiation, mais en plus de cela ils permettent le transfert de chaleur par conduction, puisqu'ils ont fréquemment une plate-forme maçonnée pour s'asseoir ou dormir dessus. Dans le cas où cette plate-forme n'existait pas, on pouvait placer des bancs contre le poêle pour venir s'appuyer contre les surfaces tièdes.

un poêle de masse dans une peinture de Georg Saal, 1861.

Pourquoi nous avons tout de même besoin des technologies modernes

En conclusion, tous les systèmes de chauffage d'autrefois utilisaient la radiation ou la conduction comme mode de transfert de chaleur préférentiel, alors que la convection était plutôt un mode parasite. Il peut être pertinent de retrouver cette logique de chauffage, néanmoins cela ne signifie pas que nous devons à nouveau utiliser des cheminées en transportant des braises brûlantes dans toute la maison. Bien que le concept de ce chauffage à l'ancienne soit plus efficace énergétiquement, nous ne pouvons pas dire la même chose des anciens appareils de chauffage.

En premier lieu, les cheminées ouvertes sont extrêmement inefficaces car l'essentiel de la chaleur s'échappe par la cheminée. Elles aspirent également de grandes quantités d'air froid à travers les fissures et les trous de l'enveloppe du bâti, ce qui refroidit l'air intérieur en créant de forts courants d'air. Pour toutes ces raisons, les cheminées peuvent avoir un bilan négatif si l'on ne regarde que la température de l'air : elles peuvent rendre l'air plus froid et non plus chaud. Les poêles sont déjà d'une meilleure efficacité, mais ils doivent être chargés en bois régulièrement, tout comme une cheminée. Dans les deux cas la pollution de l'air peut être importante. Le poêle de masse (amélioré par les connaissances modernes) est le système ancien qui peut encore être conseillé, et il y a beaucoup d'autres solutions possibles aujourd'hui, telles que les systèmes radiatifs ou conductifs à eau chaude ou électriques. Ils peuvent être plus efficaces, plus pratiques et plus sûrs que les systèmes d'autrefois.



Un poêle de masse massif - les fumées issues de la combustion restent temporairement piégées dans un conduit-labyrinthe permettant d'améliorer la récupération de la chaleur stockée dans la masse conséquente du poêle.

Kris De Decker – Low Tech Magazine Traduit de l'anglais au français par Benoît Bride (www.pachama.eu) Version complète de l'article paru en version raccourcie dans la revue "Sortir du nucléaire" n°71