

# État de l'art et confort thermique

Option TYLOTEC 2025-2026

Version modifiée le 19/12/2025

Responsable : Albane TRUONG

Rédacteur.ices : Victoire GUTH, Joseph GRIFFART, Albane TRUONG

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Intro.....</b>                                            | <b>2</b>  |
| <b>1. Définition du confort thermique.....</b>               | <b>2</b>  |
| a) La température ressentie.....                             | 3         |
| b) L'humidité relative.....                                  | 3         |
| c) La vitesse de l'air.....                                  | 3         |
| d) L'activité physique.....                                  | 3         |
| <b>2. Confort d'été.....</b>                                 | <b>4</b>  |
| a) Structure.....                                            | 4         |
| Les vitrages.....                                            | 4         |
| La végétalisation des façades.....                           | 6         |
| Bâdgir - Tour à vent.....                                    | 9         |
| Patio.....                                                   | 10        |
| Débords toiture et casquettes solaires.....                  | 11        |
| La ventilation naturelle.....                                | 12        |
| Le puits provençal ou canadien.....                          | 15        |
| b) Aménagements.....                                         | 16        |
| Les volets et les pares-soleil.....                          | 16        |
| Parasols et voiles d'ombrages.....                           | 17        |
| Pergolas.....                                                | 17        |
| Jouer sur les matériaux.....                                 | 18        |
| La végétalisation des environs.....                          | 19        |
| L'eau.....                                                   | 20        |
| c) La climatisation et l'apport de fraîcheur.....            | 20        |
| La climatisation adiabatique low-tech, Clément Gaillard..... | 21        |
| Les ventilateurs et brasseurs d'air.....                     | 21        |
| <b>3. Confort d'hiver.....</b>                               | <b>22</b> |
| a) Le chauffage par rayonnement.....                         | 22        |
| Le plancher chauffant.....                                   | 22        |
| Le poêle de masse.....                                       | 23        |
| b) Les solutions (quasi) passives.....                       | 24        |
| Repenser les habitudes.....                                  | 24        |
| Les vêtements.....                                           | 24        |
| Le chauffage de proximité.....                               | 26        |
| Jouer sur l'effusivité des parois.....                       | 26        |
| Le mobilier et la couverture des parois.....                 | 27        |
| <b>Bibliographie.....</b>                                    | <b>29</b> |
| <b>Annexes.....</b>                                          | <b>31</b> |
| Trajectoire du soleil.....                                   | 31        |

# Intro

Le confort thermique est une notion subjective qui dépend essentiellement de nos habitudes, de notre culture et de notre environnement. La température optimale d'un habitat est étroitement liée à la température du corps humain et de l'extérieur, mais aussi du taux d'humidité, des mouvements de l'air et de sa qualité, ainsi que de la température et de l'effusivité des parois de l'habitation.

La morphologie et le sexe jouent aussi sur la notion de confort thermique. Il y aurait 2°C de différence entre l'idéal de la température ambiante chez les hommes (entre 22°C à 24°C) et chez les femmes (entre 24°C à 26°C). [20] La masse musculaire des femmes étant en moyenne plus basse que celle des hommes, les femmes ont en moyenne plus froid que les hommes - et donc un plus fort besoin de se réchauffer. Des hormones (comme les oestrogènes [17] et la progestérone [18]) sont aussi responsables de ce besoin de température plus élevé chez les femmes que chez les hommes. Les températures de bureaux sont aujourd'hui adaptées au morphotype de l'homme moyen, et ne prennent pas en compte celui de la femme moyenne, ou d'autres personnes ayant une masse grasseuse plus importante ou une masse musculaire moindre. Selon une étude de 1972, la température idéale moyenne pour tous.tes serait de 24,3°C. [19] Le confort thermique est donc un enjeu de société et d'égalité. Actuellement, c'est la norme NF EN ISO 7730 qui traite de la question du confort thermique.

Dans une démarche low-tech, il est essentiel de faire l'état de ces standards en terme de confort thermique, et de se demander par exemple si chauffer tout un habitat à 22°C est utile, ou si se contenter de ne chauffer que les pièces de vie à 18°C n'est pas suffisant. De même, les techniques de protections sont à privilégier, à l'instar des solutions actives de chauffage ou de climatisation qui sont consommatrices d'énergie. Enfin, chauffer sans isoler est comme tenter de boire de l'eau avec une fourchette : c'est absurde.

Même si notre projet se concentre sur l'habitat breton en milieu rural, nous ne présenterons pas de solutions uniquement bretonnes, mais plutôt un panel de solutions pouvant répondre au besoin d'un habitat en France métropolitaine. Nous nous concentrerons sur l'habitat plutôt rural, et ne parlerons pas des problématiques liées à la structure de la ville, comme les îlots de chaleurs urbains.

Ce présent document propose de lister des solutions pour permettre à des habitations d'être relativement fraîches en été et chaudes en hiver, tout en assurant une atmosphère saine pour la santé et l'environnement. Il ne sera traité ici que de stratégies de chauffage et de climatisation et non d'isolation, laquelle est abordée de façon détaillée dans une autre partie.

## 1. Définition du confort thermique

Le ressenti thermique d'un individu, et donc son confort thermique, dépend de cinq paramètres que sont la température ressentie, l'humidité relative de l'air, la vitesse de l'air, l'activité physique et la couverture vestimentaire [5]. Les quatre premiers paramètres sont développés ci-après, le dernier sera développé plus en détail plus loin.

### a) La température ressentie

Dans le cas d'une vitesse de l'air nulle, celle-ci est la moyenne entre la température de l'air intérieur et la température des parois. L'inconfort thermique apparaît dès lors que l'écart entre température de l'air et température des parois dépasse 3°C [3]. Également, le gradient de température vertical, c'est-à-dire l'écart de température entre la tête et les pieds ne doit pas excéder 3°C [2].

Il convient de noter que la température de confort des femmes et des hommes est légèrement différente puisqu'elle se situe autour de 25°C pour les femmes et autour de 22°C pour les hommes [4].

### b) L'humidité relative

L'humidité relative est considérée acceptable lorsqu'elle se situe entre 30% et 70%. En deçà, l'air est trop sec et peut avoir pour répercussions une augmentation de l'électricité statique, une augmentation de la concentration de poussières dans l'air, des irritations des poumons et des yeux ainsi qu'une prolifération plus importante des bactéries et virus. Au-delà de 70% d'humidité relative, l'air devient favorable au développement de champignons et d'acariens et à l'apparition de moisissures [1].

### c) La vitesse de l'air

L'air en mouvement favorise les pertes thermiques par convection [5], ce qui apporte donc une sensation de froid sur le corps même si la température de l'air reste la même. On considère qu'en dessous de 25°C, une vitesse de l'air supérieure à 0,2 m/s crée une sensation d'inconfort. En été, les mouvements d'air favorisent l'évaporation de la transpiration, ce qui rafraîchit les corps. Cette ventilation ne doit pas dépasser les 1,5 m/s car il existe un risque de nuisances au-delà de cette vitesse. Mais une vitesse de 0,5 m/s est suffisante pour abaisser la température de confort de 2 ou 3°C. [9]

### d) L'activité physique

De façon assez évidente, l'activité physique renforce la sensation de chaleur. Cela est vrai même si celle-ci est faible, comme le fait de rester immobile debout plutôt qu'immobile assis. L'activité physique est directement reliée à la puissance que produit notre métabolisme. Une personne au repos produira environ 60W/m<sup>2</sup> alors qu'une personne marchant rapidement produit 180W/m<sup>2</sup> [22]. La puissance produite par notre corps est rapportée à la surface de notre peau, d'où l'unité surfacique.

## 2. Confort d'été

Pendant des siècles, les Hommes se sont efforcés de traiter le confort d'été de façon passive, par l'architecture et la morphologie urbaine. Les années 70, avec le développement de la climatisation, représentent une révolution culturelle pour la notion de confort d'été. Avec les problématiques environnementales que nous connaissons, on se doit de réfléchir à la manière dont on peut vivre confortablement les temps chauds, qui deviennent de plus en plus répandus. La raréfaction des énergies et leur coût croissant vont favoriser une approche passive de cette problématique. Des solutions existent déjà et sont, pour certaines, mises en œuvre dans un certain nombre de bâtiments en France métropolitaine et Europe, mais aussi plus largement dans les pays du Sud qui connaissent déjà des conditions climatiques d'été rigoureuses et un accès à l'énergie difficile. Les principaux obstacles au développement de ces techniques passives ne sont donc pas techniques mais culturels et réglementaires.

La climatisation des bureaux est essentielle en soit, sauf si nous adaptons notre cycle de travail à la température extérieure générale. Au Burkina Faso, les journées commencent entre 5h et 6h du matin, ce qui permet de profiter de la fin de la fraîcheur de la nuit au travail (et ainsi limiter la pénibilité de certains emplois). Le midi, lorsque le soleil est haut et qu'il fait très chaud, les travailleur.euses restent chez elles.eux se reposer. En Tunisie, la *séance unique* est adoptée systématiquement dans le secteur public. [26] Peut-être que cette solution ne conviendrait pas à certaines entreprises et industries qui préfèrent climatiser leurs bureaux pour inciter les employé.es à y rester plutôt qu'à prendre les transports en communs non climatisés... Cocasse quand on sait que le stress réduit la résistance au chaud. C'est peut-être pour cela que les bureaux ont autant besoin d'être climatisés...

À l'inverse, en vacances où l'on est, si l'on peut dire, plus calme et « consentant.e », on supporte bien plus facilement la chaleur, et certain.es la recherchent même.

### a) Structure

Cette partie vise à développer les solutions de structure low-tech pour répondre au confort d'été (habitats frais, ventilation naturelle, etc). En fonction du bâtiment, de l'environnement et de l'exigence des utilisateur.ices, un recours à des systèmes technologiques n'est pas forcément nécessaire.

#### Les vitrages



A l'époque mésopotamienne, les ouvertures des habitations n'étaient pas protégées. Ces ouvertures permettaient d'assurer la ventilation des habitats, de rafraîchir l'été, et étaient couvertes l'hiver pour éviter que le froid n'entre dans le bâtiment. Les fenêtres ne sont apparues qu'à l'époque gréco-romaine, lorsque se sont considérablement développées les



techniques de travail du verre. L'apparition des vitraux dans les églises marque aussi les débuts de la lumière en intérieur. Le



Corbusier, grand architecte du XXe siècle, énonce dans la Charte d'Athènes : « Introduire le soleil est le nouveau et le plus impératif devoir de l'architecte » : le soleil doit faire partie des structures architecturales. Il faut faire entrer la lumière dans les habitats. Les vitrages ont deux fonctions antagonistes : laisser entrer la lumière et isoler face aux fluctuations de température extérieures. Bien choisir son vitrage est donc d'une grande importance. Pour un résultat optimal, on ne choisira d'ailleurs peut-être pas les mêmes vitrages en fonction de la localisation de l'habitation ou de l'orientation des vitres [14].

La qualité des **vitrages** est essentielle pour assurer un confort thermique été comme hiver. Pour répondre aux attentes des consommateur.ices, il faudrait pouvoir laisser entrer la lumière (rayonnement solaire visible), tout en bloquant certains rayons responsables de la hausse de température à l'intérieur l'été (rayonnement infrarouge), et sans laisser sortir la chaleur intérieure l'hiver.

Il existe aujourd'hui des vitrages ou revêtements pour vitres qui minimisent le rayonnement solaire entrant (idéal pour l'été) et minimisent les transferts thermiques de l'intérieur vers l'extérieur (idéal pour l'hiver).

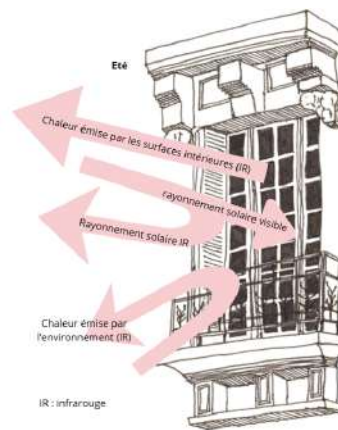


Figure 1: Fonctionnement des vitrage à revêtements en hiver et en été

Les **verres photochromiques** varient selon l'intensité du rayonnement reçu. Ils peuvent être minéraux ou organiques.

Un verre minéral contient un composé d'halogénure d'argent (aussi utilisé dans les films et papiers photographiques argentiques) et de cuivre dont les liaisons moléculaires se cassent au contact des UV. Se forme alors une association d'atomes d'argent qui provoquent un assombrissement du matériau. L'effet s'inverse dès que le rayonnement UV cesse.

Un verre organique (plastique thermodurcisseur ou thermoplastique) contient une couche de cristaux d'oxazines dont les liaisons moléculaires se cassent lors de l'exposition aux UV, ce qui assombrit le matériau (l'effet s'inverse dès que le rayonnement UV cesse). On retrouve ces verres dans les lunettes par exemple, qui foncent en quelques secondes lors d'une exposition à la lumière, et qui retrouvent leur transparence en une dizaine de secondes après l'exposition.



Les **verres thermochromes** peuvent changer de couleur et s'assombrir en fonction des variations de température. Les vitrages thermochromes sont composés de deux plaques de verre (donc double vitrage) et d'une couche de dioxyde de vanadium ou d'un film de cristaux liquides entre les deux vitres ou apposé sur l'une d'entre elles. En réaction à une haute température, le vitrage s'assombrît et réduit l'entrée de lumière et de chaleur solaires à l'intérieur de la pièce équipée en bloquant les rayons infra rouges. Cette technologie a l'avantage de ne pas avoir besoin d'alimentation électrique pour fonctionner, à l'instar de la plupart des autres vitrages dynamiques [15].

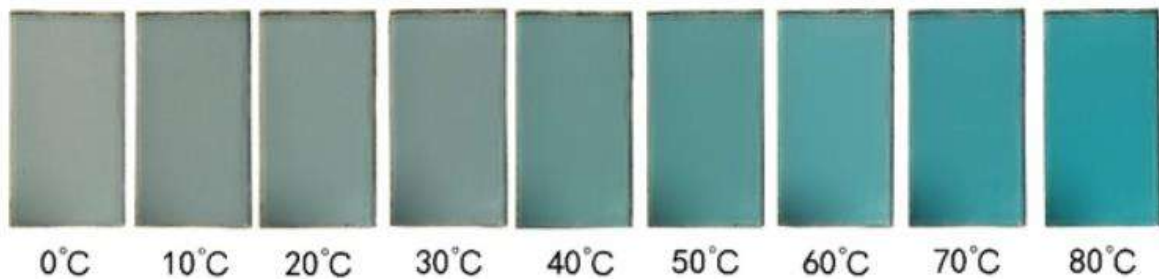


Figure 2: Teintes du verre thermochrome sous différentes températures

Les **verres électrochromes** sont composés de deux vitres entre lesquelles se trouve un film contenant des électrodes et des contre-électrodes en couches fines séparées par un électrolyte. Une réaction d'oxydoréduction s'opère dans ce vitrage, ce qui lui donne une couleur bleutée grâce au passage d'un courant électrique à faible intensité. Cette technologie est télécommandable ou programmable à l'avance pour se déclencher à une température ou un taux de luminosité donné. Le verre électrochrome est transparent et prend une teinte bleutée sur commande. Ce verre peut se retrouver dans certains rétroviseurs par exemple.

**Certaines encres liquides** permettent aussi, lorsqu'elles sont apposées sur une vitre, de réduire la proportion de rayonnements solaires, ultraviolets et infrarouges qui passent à travers, et donc d'isoler plus efficacement l'été. Ces solutions sont cependant encore assez coûteuses et peu développées.

NB : la plupart de ces solutions sont encore peu développées chez les particuliers et assez coûteuses.

Il convient d'ailleurs de souligner la complexité des procédés chimiques nécessaires aux traitements spécifiques de ces verres. Ainsi, malgré une certaine efficacité (réduction jusqu'à 60% du flux de chaleur à travers le vitrage [33]), il est nécessaire d'envisager d'abord des solutions plus résilientes avant de se tourner vers ces vitrages de pointe. Par exemple, le double vitrage, solution aujourd'hui très répandue, permet de réduire de façon considérable les pertes thermiques. L'épaisseur d'air située entre les deux vitres agit comme un très bon isolant thermique : l'air étant immobile, les déperditions par convection sont limitées.

### La végétalisation des façades

[28] Les murs végétalisés ont un impact très positif sur le confort thermique, la biodiversité et la gestion de l'eau, grâce à l'évapotranspiration des plantes. Ces murs permettent d'une part de lutter contre les îlots de chaleur urbains et d'autre part de rafraîchir l'intérieur des bâtiments. On remarque aujourd'hui que des politiques de végétalisations dans les villes, comme par exemple à Paris avec le Plan Biodiversité [27]. C'est d'ailleurs le rôle des Grenelles pour l'environnement : refonder la politique de l'écologie et [...] rendre

compatible la croissance avec les limites d'un monde fini. Lors de la rédaction de la première Grenelle en 2009, on lisait “Un plan pour restaurer la nature en ville sera préparé pour l’année 2009”. Le Code de l’environnement encourage aussi la réalisation de murs végétalisés concernant la lutte contre le changement climatique et la préservation de la biodiversité.



Une étude a montré que la végétalisation de 6% des surfaces de toits permet d’abaisser la température de la ville de 1 à 2°C à Toronto [3]. Une autre étude montre qu’une façade végétalisée baisserait de 33% la consommation énergétique du bâtiment en été [11]. De plus, les travaux de Peck, Callaghan, Kuhn et Bass en 1998 ont montré que les bâtiments sont bien plus isolés contre les fortes chaleurs estivales avec une végétalisation en plante grimpantes, les écarts de température sur les parois qui se situe entre 10°C et 60°C peuvent être ramenés à des valeurs situées entre 5°C et 30°C. Or une réduction de 5,50 °C de la température extérieure peut réduire la facture énergétique de la climatisation de 50 à 70 %. En période hivernale, les plantes grimpantes empêchant les courants d’air froid de heurter le mur permet de réduire la demande énergétique de 25 %.

Les deux figures suivantes montrent à quel point la végétation absorbe la chaleur et permet de garder des espaces frais, et à quel point le confort thermique à l’intérieur des bâtiments est affecté par une végétalisation de façade et des toits.

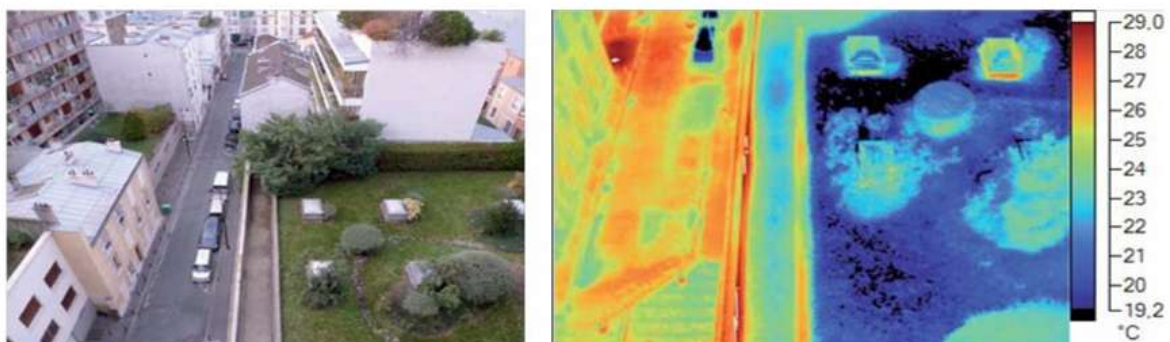


Figure 3: Thermographie d’une toiture végétale, Apur 2011

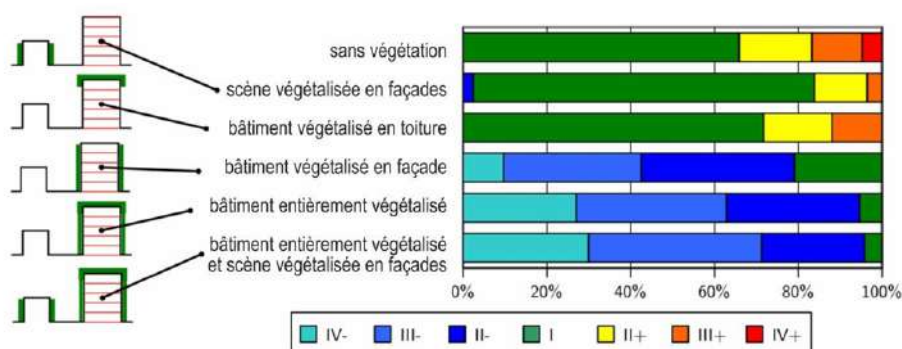


Figure 4: Impact de la végétalisation sur le confort thermique dans les bâtiments, CEREMA

La végétalisation des bâtiments est aussi un bon moyen d'isoler les habitations du bruit, voir la figure suivante.

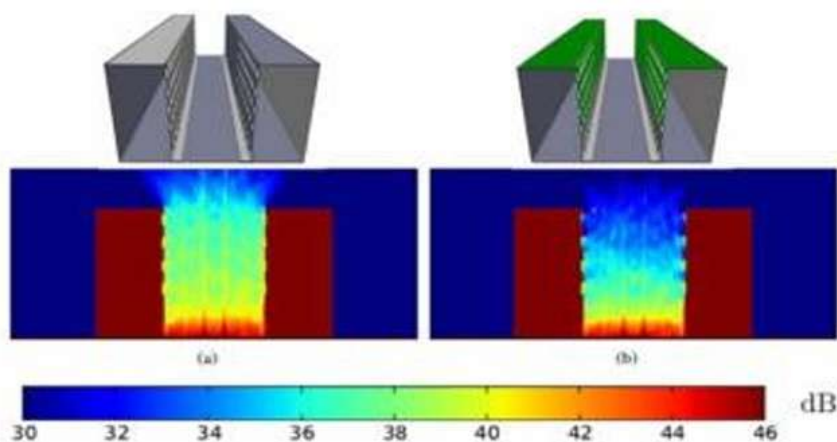


Figure 5: Cartographies des niveaux sonores selon la présence ou non de végétalisation, IFSTTAR

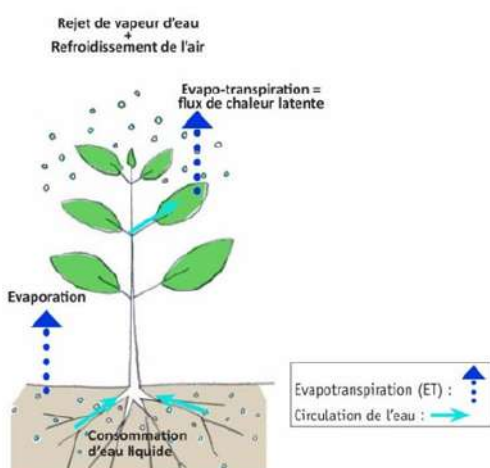


Figure 6: Schéma explicatif de l'évapo-transpiration

La végétalisation des murs est intéressante en raison du phénomène d'évapotranspiration des plantes. Ce phénomène n'existe que si la disponibilité de l'eau est suffisante. Comme l'indiquent E. Bozonnet et R. Djedjig dans leurs essais pour le LaSIE, si le substrat est sec, la végétalisation ne sera pas bénéfique au rafraîchissement général de l'air. Plus le complexe est rempli d'eau, plus il sera efficace. Le mur végétalisé étant très demandeur en eau - entre 120 et 1626 L/m<sup>2</sup>/an -, une irrigation en circuit fermé utilisant au maximum de l'eau de pluie est nécessaire. A ce sujet, le code de l'environnement préconise une "utilisation efficace, économe et durable de la ressource en eau".

Le système de distribution d'eau doit être optimal et doit faire en sorte d'éviter la rétention d'eau qui créerait un espace idéal pour la ponte d'œufs de moustiques par exemple, insectes vecteurs de maladies comme la dengue ou le chikungunya.

Avant de végétaliser un habitat, une étude de faisabilité doit être faite pour vérifier la compatibilité du bâtiment avec la mise en place de plantes grimpantes ou autres végétations sur la façade ou le toit. Certains bâtiments nécessitent l'accord des Architectes de Bâtiments de France avant de créer un mur végétalisé, car cela modifie l'aspect des façades et change leur aspect originel.

Outre le coût de l'installation de murs végétalisés (20€/m<sup>2</sup> pour les plantes grimpantes, 80€/m<sup>2</sup> pour le câblage, 700€/m<sup>2</sup> pour l'installation d'un mur végétalisé hors-sol), des frais d'entretien doivent aussi être anticipés, notamment pour les murs végétalisés hors sols qui nécessitent un entretien continu au moins 2 fois par an.

Plusieurs sortes de plantes peuvent être choisies pour la réalisation d'un mur végétal. Un feuillage persistant tel du lierre pour les façades nord et est peut être une bonne solution. Pour les façades Sud et Ouest, un feuillage caduque tel du bignone, du chèvrefeuille, clématite ou de la vigne vierge sont optimales. Le meilleur choix sera celui qui prend en compte les propriétés du sol disponible, le climat global au plus proche du mur (exposition au vent, taux d'ensoleillement, quantité de pluie moyenne, etc).

Même si la végétalisation de bâtiment est une bonne solution à des problèmes de confort thermique et permet de préserver la biodiversité, cette solution n'est pas suffisante pour pallier au changement climatique. Repenser les usages et les besoins des habitations et de ses habitants, ainsi que la structure même de ville, est la première et plus importante étape pour s'inscrire dans le monde de manière plus durable.

### Bâdgir - Tour à vent

Le Bâdgir ("attrape vent" en persan) est un élément traditionnel persan utilisé dans le moyen orient pour survivre au climat sec et chaud de cette région. La ville iranienne Yazd est d'ailleurs nommée "ville des capteurs de vent" au vu du nombre important de Bâdgir qu'elle abrite. On y trouve le plus grand Bâdgir du monde au palais de Dowlat-âbâd, d'une hauteur de 34 mètres. [30].



La forme prise par le Bâdgir variait en fonction du climat. Dans les zones désertiques, ils ne comportent généralement qu'une unique ouverture, sur la face cachée des vents du désert afin d'éviter la pénétration de sable et de poussière. Dans les zones moins affectées par le désert, les Bâdgirs adoptent une forme carrée ou octogonale permettant un captage plus constant et optimal des vents [4].

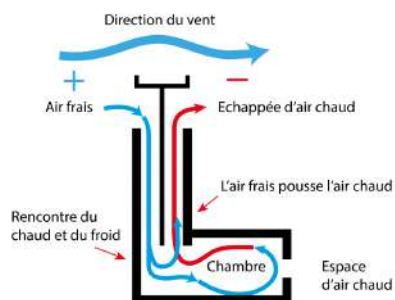


Figure 89 : Fonctionnement d'un Badgir par pression d'air

Figure 7: Schéma de fonctionnement d'un Badgir [31]

est acheminé vers les pièces d'habitation qui peuvent être naturellement ventilées.

La nuit, la colonne dissipe la chaleur emmagasinée la journée. Un équilibre thermique entre l'intérieur et l'extérieur se crée. [31]

La partie haute du Bâdgir est dotée de fentes, ce qui lui permet de capter les vents. Un conduit les achemine vers l'intérieur du bâtiment pour le rafraîchir. Un autre permet d'expulser l'air chaud du bâtiment par différence de pression. En l'absence de vent, la convection fait remonter l'air chaud du bas vers le haut de la colonne, qui est alors expulsé à l'extérieur,

ce qui crée un appel d'air frais. L'air frais

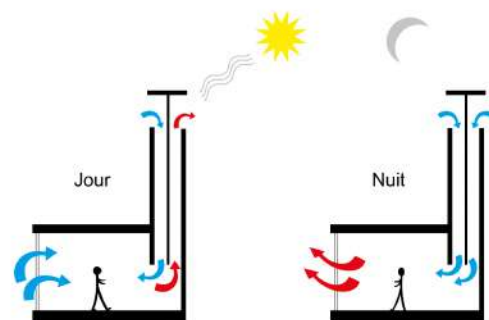


Figure 8: Schéma de fonctionnement d'un Badgir de jour et de nuit [31]

L'adobe, matériau historique de construction, pouvait capter la chaleur de l'air entrant pour l'absorber, et rafraîchir encore plus cet air. Il reste aujourd'hui intéressant de garder un tel matériau pour la construction d'un Bâdgir. L'air entrant pouvait aussi être mis en contact avec de l'eau ce qui permettait son refroidissement par évaporation de l'eau.

Le bâdgir est si efficace qu'il continue à être utilisé dans l'architecture iranienne contemporaine comme élément réfrigérant. Une [étude menée par l'AERP hypercube](#) montre que les tours à vents présentent des avantages dans toute la France, mais particulièrement dans les zones à climat méditerranéen. Selon cette même étude, le bon fonctionnement des Bâdgir se base sur 5 points :

- Climat adapté : climat chaud de type méditerranéen
- Bonne orientation du bâtiment par rapport aux vents dominants
- Bonne inertie thermique du matériau de construction
- Faible taux d'ouvertures du bâtiment
- Dimensionnement adapté

### Patio

Le patio est un élément architectural ancestral présent dans beaucoup de cultures différentes : chez les grecs et les romains sous le nom d'**Atrium**, on le trouve aussi au Maghreb (**Riad**), en Espagne (**Claustro**), mais aussi en Grèce et en Chine (**Siheyuan**) [34].



Maison romaine intérieur  
Illustration JC Golvin



Patio typique, Andalousie



Cour creusée dans le Læss pour  
un habitat tempéré. Luoyang,  
Henan.

Cet espace crée une zone de fraîcheur conviviale au sein de la maison et ventile naturellement l'habitation, qui est construite autour de cet espace favorisant ainsi la circulation de l'air au sein des pièces de vie et des chambres. Son effet cuvette engendre un microclimat frais et protège des vents.

Les murs, ayant une forte inertie thermique (souvent faits de pise, de terre crue, de pierres, ou de briques), absorbent et retiennent la chaleur du jour. La fraîcheur nocturne ne s'estompe qu'en début d'après-midi. La nuit, lorsqu'il fait plus frais, ce patio agit comme un régulateur thermique en restituant la chaleur de la journée emmagasinée dans les murs du patio. Et le cycle recommence.[34] [35]

L'aménagement de l'espace, avec des points d'eau et de la végétation, permet aussi de protéger les habitants du soleil direct et de réguler la température par évapotranspiration et évaporation (voir paragraphes dédiés à la végétation et à l'eau).

C'est la bonne compréhension du milieu et du climat qui permet aux populations de s'y adapter de manière adéquate, et de proposer une situation thermique confortable.

### Débords toiture et casquettes solaires

Les débords de toitures et les casquettes solaires sont des dispositifs architecturaux dessinés pour protéger les façades des bâtiments du rayonnement solaire. Ils évitent ainsi une surchauffe des façades qui sera traduite en surchauffe de l'ambiance intérieur des bâtiments. Ces dispositifs architecturaux sont des dispositifs "en dur", différents des stores (intérieurs ou extérieurs) qu'on vient ajouter aux fenêtres.

On peut décomposer le rayonnement solaire incident selon deux angles : l'angle vertical (VSA) et l'angle horizontal (HSA). La combinaison de ces deux angles est appelé la hauteur solaire

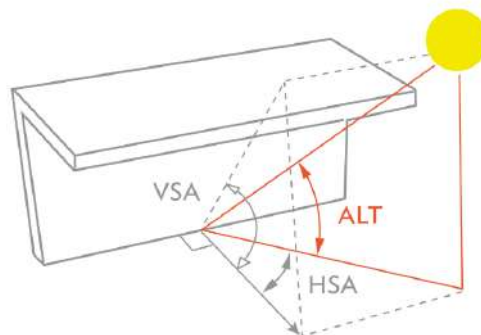


Figure 9: Schéma de l'angle vertical et horizontal du soleil

La stratégie d'implantation de ces dispositifs dépend de l'orientation des façades à protéger. A titre d'exemple, en Bretagne [annexe] :

Pour l'angle vertical :

- Les façades sud reçoivent des rayons ayant un angle vertical (ou hauteur solaire) de  $20^\circ$  au solstice d'hiver, et  $60^\circ$  au solstice d'été
- Les façades est/ouest reçoivent des rayons ayant un angle vertical de  $5^\circ$  au solstice d'hiver, et  $45^\circ$  au solstice d'été

Pour l'angle horizontal :

- Les façades sud reçoivent des rayons ayant un angle horizontal de  $-30^\circ$  à  $+30^\circ$  à la fois au solstice d'été et d'hiver

- Les façades est/ouest reçoivent des rayons ayant un angle horizontal de  $\pm 50^\circ$  au solstice d'été et  $\pm 30^\circ$  au solstice d'hiver

Pour les façades sud, on utilisera des protections horizontales, préférablement ajourées pour évacuer la chaleur accumulée. Les façades est/ouest seront protégées par des lames verticales. La figure suivante résume l'intérêt (ou non) des protections selon l'orientation et la saison :

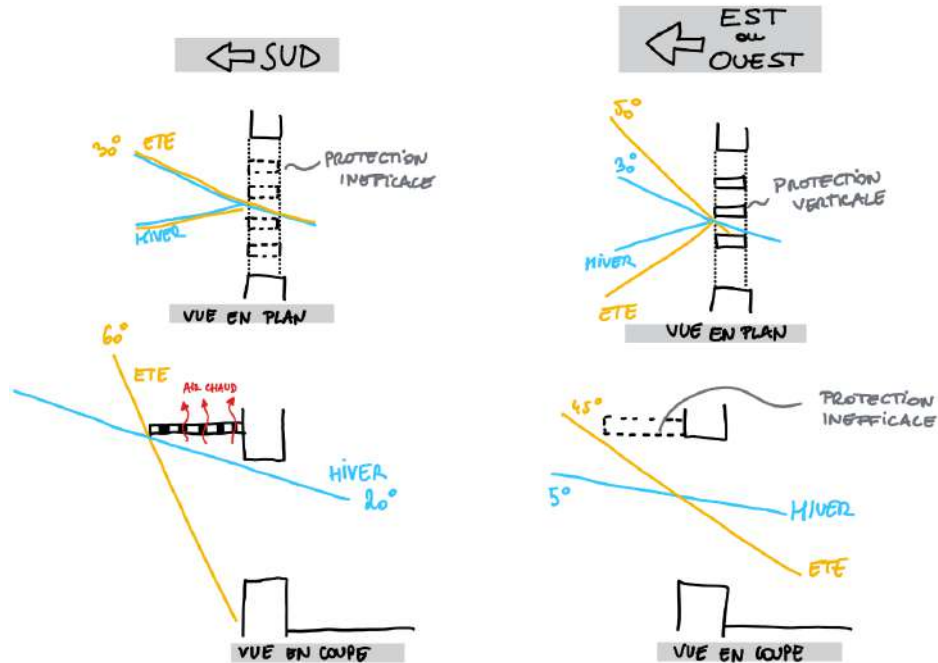


Figure 10: Dessins des angles des rayons solaires incidents selon la saison et l'orientation de la façade en Bretagne

### La ventilation naturelle

Le diagramme de Givoni établit des zones de confort en fonction de la température, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air, tout en considérant le phénomène d'évapo-transpiration du corps humain. On identifie alors des zones de confort (en couleur) selon différentes vitesses de l'air:

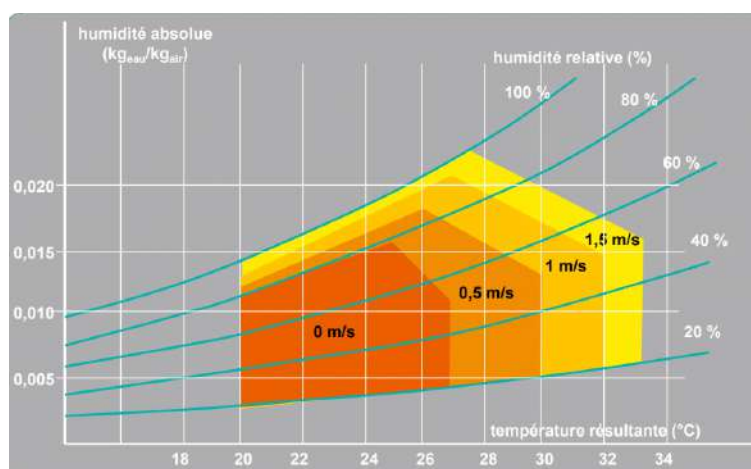
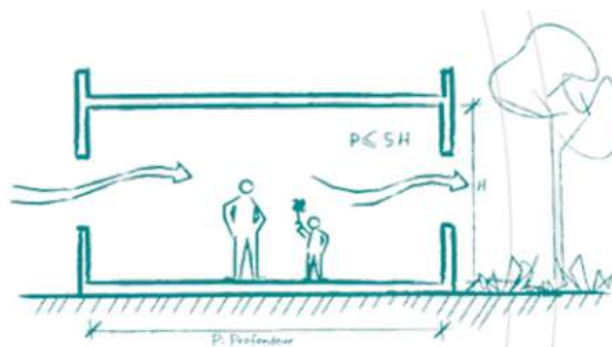


Figure 11: Diagramme de Givoni [9]

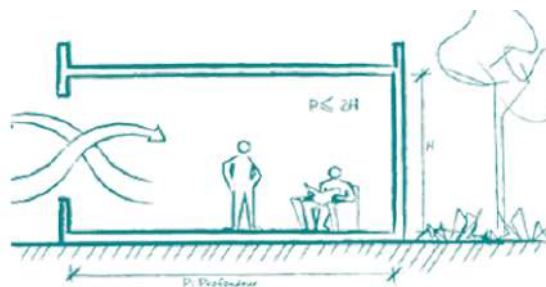
Il convient de noter que la ventilation naturelle ne permet d'atteindre qu'une vitesse de l'air de 0,5 m/s, ce qui ne permet pas d'être confortable au-delà de 30°C. Au-delà, il est nécessaire d'avoir recours à des systèmes mécaniques. Les solutions présentées ci-dessous sont donc adaptées pour des températures jusqu'à 30°C.

Il est intéressant de tirer profit de la ventilation traversante, qui consiste à ouvrir les fenêtres de part et d'autre du bâtiment de façon à créer un courant d'air par différence de pression. Cela fonctionne pour une distance de maximum 12 m entre les deux ouvertures. [9]

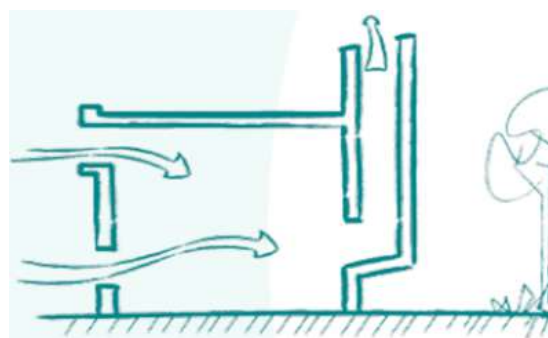
Il existe d'autres stratégies de ventilation naturelle comme la ventilation mono-latérale et les effets de cheminées:



Ventilation traversante



Ventilation mono-latérale



Ventilation par effets cheminée

Figure 12: Dessins des différents types de ventilation naturelle [16]

Il existe plusieurs bonnes pratiques permettant une ventilation optimale:

- des ouvertures de sortie de plus grande surface que les ouvertures d'entrée,
- des ouvertures de forme carré plutôt qu'en fentes,
- une seule grande ouverture est préférable à plusieurs petites,

- des cheminées, accompagnées de conduits carrés ou circulaires, permettent d'augmenter l'effet thermosiphon pour les bâtiments à faible hauteur
- une orientation optimale du bâtiment
- des obstacles au niveau des ouvertures pour augmenter la surpression

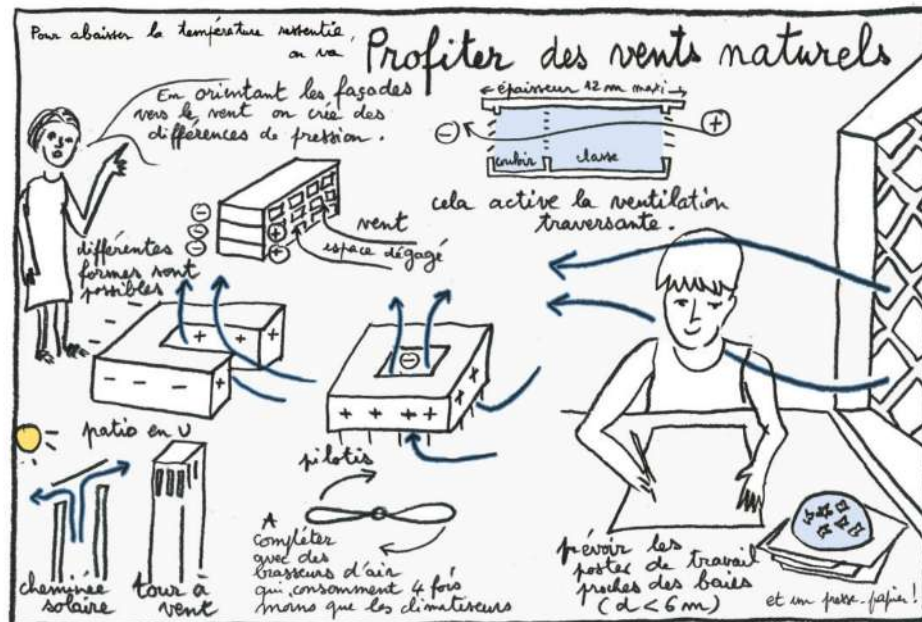


Figure 13: Dessins autour de la ventilation naturelle [7]

### Le puits provençal ou canadien

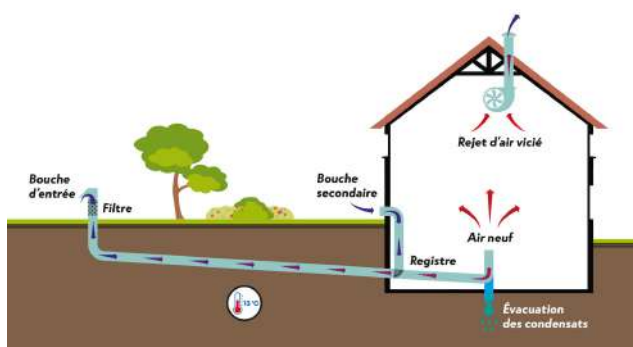


Figure 14: Schéma de fonctionnement du puits provençal

du sol reste plutôt constante (entre 10°C et 18°C).

Le puits provençal (été) / canadien (hiver) est une solution de climatisation très efficace. Aérer son logement peut être un frein en hiver étant donné la température extérieure. Le puits canadien (en hiver) / provençal (en été) permet de faire rentrer de l'air frais dans son habitation sans que celui-ci ne soit trop froid / chaud. Son fonctionnement repose sur des échanges thermiques entre l'air extérieur, qui passe dans des tuyaux en profondeur, et le sol, permettant ainsi l'entrée d'air frais dans l'habitat. L'air extérieur peut en effet varier entre -20°C et 35°C, alors que la température



[Enterrement du tuyau](#)

Pour un fonctionnement optimal, le tuyau doit mesurer entre 25m et 30m de long, avec un diamètre maximal de 20 cm, et être enterré à au moins 80cm de profondeur avec une pente de 2 à 3% dans le sens de l'aspiration pour que les condensats éventuels soient évacués correctement. L'entrée d'air extérieur doit être située à au moins 1m20 de haut, équipée d'une grille fine/d'un filtre qui nécessite d'être nettoyé tous les quatre mois. Un ventilateur permet la circulation de l'air vers l'intérieur de la maison.

Un puits canadien bien dimensionné permet de réaliser jusqu'à 20% d'économies sur une facture de chauffage et de climatisation. La géothermie étant une source d'énergie propre, gratuite et inépuisable, il n'y a pas d'impact de cette solution d'aération sur l'environnement, outre les matériaux utilisés pour la confection du système.

## b) Aménagements

### Les volets et les pares-soleil

Avant de chercher à rafraîchir son logement, il est essentiel de penser à des solutions permettant de se protéger des effets du soleil.

Faire en sorte que les rayons du soleil ne tapent pas contre les vitres d'un habitat permet d'empêcher l'effet de serre et donc la hausse de la température intérieure. **Les volets d'extérieur** et **d'intérieur** sont une protection efficace pour lutter contre le réchauffement d'un habitat.



Volets d'extérieurs



Protection solaire intérieure

- En hiver, des **volets pleins** peuvent contribuer à protéger du froid.
- Sous forme de **persiennes**, ils permettent l'entrée de lumière tout en limitant l'entrée de chaleur et en laissant passer l'air frais.

En revanche, la solution des volets extérieurs n'est certaines fois pas envisageable lorsqu'on est locataire, lorsque l'habitat n'est pas prévu pour cela, ou que le bâtiment est classé dans un inventaire patrimonial.

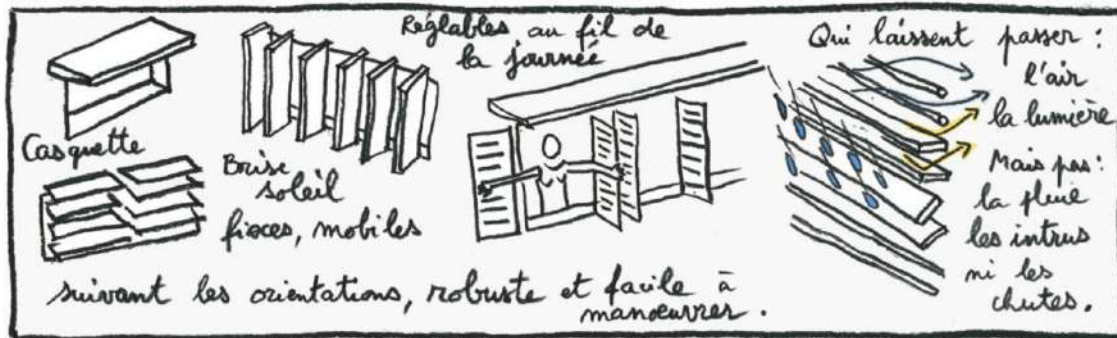


Figure 15: Dessins des protections contre le soleil [4]

Des **volets d'intérieur** peuvent être installés pour l'été. Les protections solaires intérieures restent toutefois moins efficaces que celles extérieures. Une étude espagnole conclut qu'un bâtiment équipé de protection solaire intérieure ne réduit les besoins de refroidissement que de 24%, contre 72% avec des protections extérieures [29]. Leur efficacité est intéressante à condition qu'ils soient très proches de la vitre et que leur surface soit réfléchissante.

Il existe également les **pares-soleil intérieur** maison pour se protéger de la chaleur en utilisant une couverture de survie, comme le montre ces deux tutos du Low-tech Lab ([pare-soleil](#) et [rideau thermique](#)).

Ce type de dispositifs est déjà utilisé dans les voitures pour éviter une hausse trop importante de la température lorsque celle-ci serait garée au soleil.



Pare-soleil de pare brise



Rideau réfléchissant artisanal

### Parasols et voiles d'ombrages

Pour se protéger du soleil en extérieur on peut utiliser des **parasols** ou des **voiles d'ombrages**. Attention néanmoins à ne pas refaire l'erreur de la ville de Lyon et de son œuvre Tissage urbain place Bellecour, qui n'ont pas réussi à créer l'îlot de fraîcheur promis. Pour que cela soit efficace, il faut privilégier des tissus ne laissant pas passer les UV tout en laissant passer l'air facilement, ne retenant pas la pluie, le tout sans créer d'effet de serre (effet observé à Lyon...), et dans des couleurs assez claires. Une toile d'ombrage en fibre de coco a le meilleur rapport qualité/durabilité [36].



Toile d'ombrage en fibre de coco



Oeuvre "Tissage Urbain" de la ville de Lyon,  
photo de Jules HIDROT

### Pergolas



L'utilisation de structures jardinières en combinaison avec des plantes est une tradition ancienne et remonte à l'époque des jardins de Mésopotamie, d'Égypte, de Perse et de Chine (env. 2000-500 av. J.-C.).



Il existe trois types de pergolas végétalisées : la **Tonnelle**, d'origine égyptienne, également utilisées par les Romains, puis partout en Europe, la **Pergola**, provenant aussi de l'Egypte mais introduite ensuite en Italie, et le **Treillage**, venant des jardins allemands du 17<sup>e</sup> siècle puis popularisées en Allemagne et aux Etats-Unis.

Ces structures similaires permettent de créer des zones d'ombre et de fraîcheur, généralement prisées à l'été, et incarnent aussi des espaces de convivialité.



| Tonnelle                                                                                                                    | Pergolas                                                                                              | Treillage                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Petit abri à sommet arrondi, fait de lattes en treillis soutenues par des cerceaux, sur lequel on fait grimper des plantes. | Petite construction de jardin qui sert de support à des plantes grimpantes, accolée à une habitation. | Assemblage de lattes ou d'échalas posés parallèlement ou croisés en divers sens, pour former des berceaux, des palissades, des espaliers dans les jardins, etc. |
|                                           |                     |                                                                             |

Aujourd'hui, on trouve des pergolas bioclimatiques dont le haut est fait de planches de PVC ou de bois pouvant s'incliner pour choisir la quantité de soleil à laisser passer. Alors que les colonnes étaient faites de pierres à la naissance des pergolas, l'aluminium, matériau léger, est maintenant privilégié.

### Jouer sur les matériaux

L'utilisation de matériaux à forte inertie pour la structure du bâtiment, comme de la pierre, de la brique ou de la terre crue est intéressante. Une forte inertie correspond à un déphasage fort entre le moment où le matériau reçoit la chaleur et le moment où il la restitue. Comme le montre le graphique ci-contre, un matériau à forte inertie permet de lisser la température au fil du temps. Cela signifie que la fraîcheur de la nuit est restituée la journée. À l'inverse, la forte chaleur de la journée est rendue la

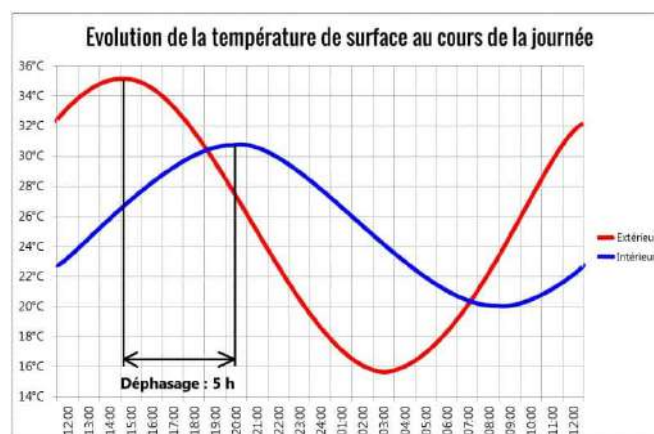


Figure 16: Graphique du [déphasage thermique](#) d'une surface

nuît, mais un bon système de ventilation et de rafraîchissement naturels permettent de contrebalancer le sentiment de chaleur. [9]



Figure 17: Dessins autour de la masse thermique [7]

Des matériaux poreux comme la brique et la terre crue ont aussi l'avantage d'absorber l'humidité et de la laisser passer : cela permet de faire des murs perspirants. Cette eau stockée dans le mur a aussi des intérêts thermiques : en été, l'eau s'évapore et consomme des calories, ce qui refroidit le mur. En hiver, l'eau se condense et libère des calories, cela réchauffe le mur [43].

### La végétalisation des environs

La végétalisation proche des bâtiments peut améliorer grandement le confort thermique des bâtiments. Il est intéressant de placer des arbres hauts à feuillage caduc devant les façades orientées est et ouest, principales orientations sujettes à la surchauffe : ces façades peuvent atteindre des températures de surface de 60°C [10]. La façade sud sera exposée à un rayonnement avec un angle plus élevé, il sera donc facile de le bloquer avec des pare-soleils fixes. L'utilisation d'arbres à feuillage caduc permet de laisser passer les apports solaires en hiver, quand les végétaux ont perdu leur feuillage. Favoriser une végétation dans les 3 premiers mètres de distance du bâtiment, avec au moins 2 strates végétales est particulièrement efficace. [9]

La végétation aux environs proches du bâtiment permet de réduire de 11 à 25°C la température de surface des façades [11]. Cette végétalisation permettra également de lutter contre la création d'îlots de chaleur, très problématique en ville. On estime que l'air ambiant sera rafraîchi de 1°C à chaque fois qu'on augmentera la couverture végétale des environs de 10% [12]. Cette baisse de température est due à la captation des apports solaires par le feuillage et à l'évapotranspiration naturelle des végétaux. En effet, les arbres absorbent puis transpirent l'eau du sol, ce qui rafraîchit l'atmosphère. C'est d'ailleurs ce phénomène qui explique la fraîcheur des forêts lors de temps chauds. Un chêne pourrait évapo-transpirer jusqu'à 320L d'eau par jour.

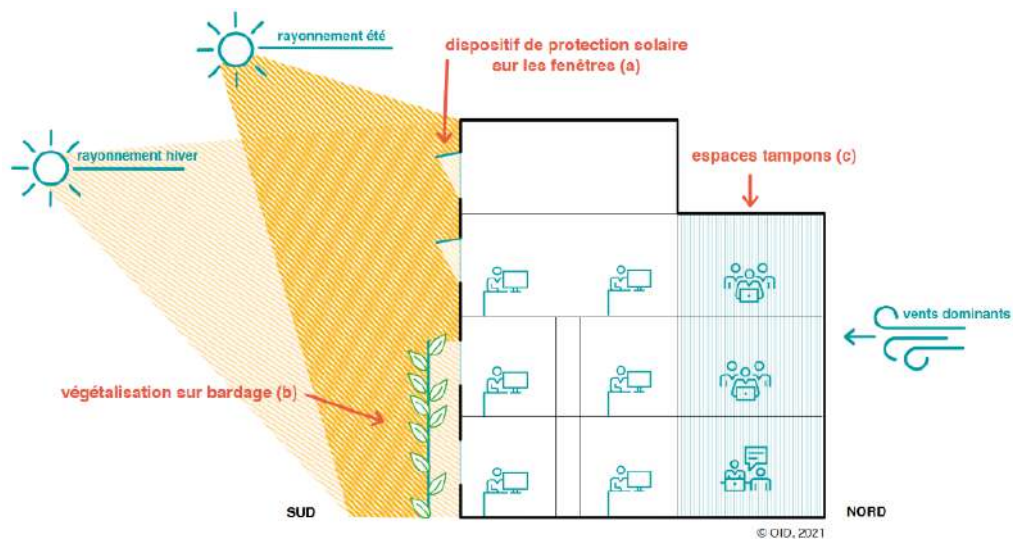


Figure 18: Schéma illustrant l'impact de la végétalisation extérieure sur le confort thermique [10]

## L'eau

Les mares sont aussi des îlots de fraîcheur intéressants en raison de la forte inertie thermique de l'eau, et permettent d'ailleurs de préserver la biodiversité en offrant un habitat pour certains animaux ou en permettant à d'autres de venir s'abreuver. Le phénomène d'évaporation de l'eau permet également de fournir de la fraîcheur à un habitat. [7]

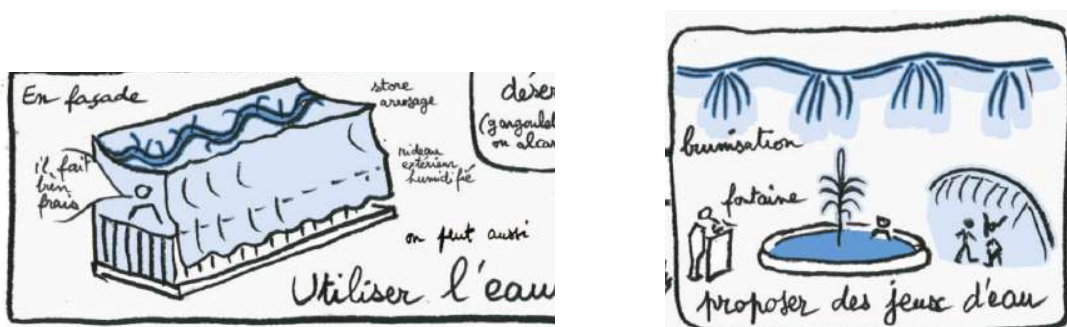


Figure 19: Dessins sur les avantages liés aux points d'eau sur le confort thermique d'été [7]

### c) La climatisation et l'apport de fraîcheur

Lorsque nous avons chaud, notre corps a tendance à transpirer. L'évaporation de cette transpiration consomme de l'énergie corporelle : elle absorbe la chaleur du corps ce qui lui permet de se refroidir. Quand l'air ambiant est saturé en vapeur (air dit humide), l'évaporation ne peut avoir lieu et la sueur stagne. C'est lorsqu'il y a un air plus sec autour du corps que l'on peut évapo-transpirer. Un courant d'air proche du corps permet donc à un individu d'évapo-transpirer et donc de ressentir une sensation de fraîcheur. [8] Ce courant d'air peut provenir du vent directement, mais peut aussi être créé par un éventail par exemple. Nous verrons ici d'autres techniques d'aménagement du bâtiment pour créer des apports de fraîcheur.

Remarque : Il faut que l'air soit mis en mouvement avec une vitesse supérieure à 0,10 m/s pour que le corps ressente une sensation de fraîcheur grâce aux phénomènes d'évapotranspiration.

La climatisation étant responsable d'environ 5% de l'impact carbone du secteur du bâtiment, il est important de trouver des solutions plus low-tech pour rafraîchir son intérieur.

### La climatisation adiabatique low-tech, Clément Gaillard

Un système de rafraîchissement dit « adiabatique » utilise l'évaporation de l'eau afin d'abaisser la température de l'air. Ce type de système est très utilisé dans les zones désertiques et les climats chauds et secs. Il constitue une alternative



performante et low-tech aux systèmes de climatisation conventionnels, qui consomment une grande quantité d'électricité, rejettent des gaz à effet de serre et contribuent à augmenter le phénomène d'îlot de chaleur urbain. La principale contrainte qui limite l'utilisation des climatiseurs adiabatiques est l'humidité de l'air : plus elle est élevée, moins l'évaporation est importante et plus les possibilités de refroidissement effectif de l'air sont faibles. Néanmoins, durant les périodes chaudes et sèches, l'abaissement de température obtenu peut être important (2 à 4 °C). [Clément Gaillard a] effectu[é] des tests en développant un prototype de climatiseur adiabatique à base de billes d'argile qui fonctionne avec deux

ventilateurs d'ordinateur (12 V). L'air est aspiré par le bas, refroidi en passant entre des billes d'argile humidifiées puis diffusé par le haut. Le capot amovible permet d'arroser facilement les billes par le dessus. Ce système n'est pas au point et doit encore être amélioré : la surface d'entrée d'air est trop faible et les billes d'argile sont trop petites, ce qui occasionne des pertes de charge importantes [13].

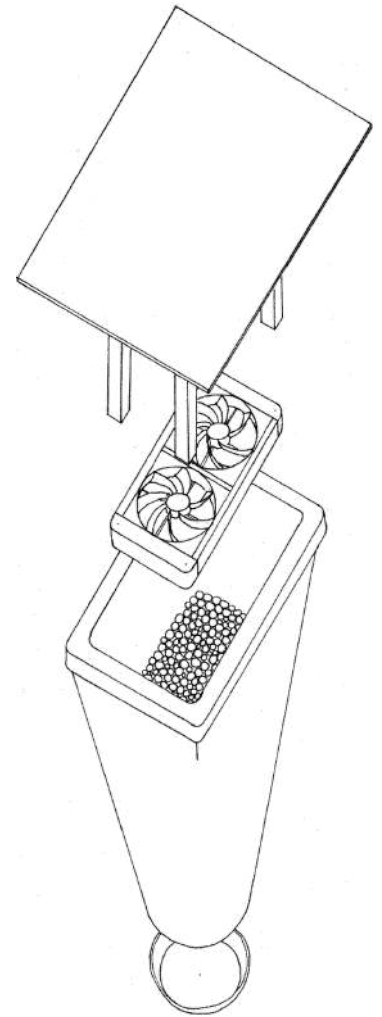


Figure 20: Schéma de la climatisation adiabatique low-tech

## Les ventilateurs et brasseurs d'air

Les **ventilateurs réversibles** au plafond / **brasseurs d'air** ne changent pas la température ambiante mais permettent de réduire la sensation d'inconfort l'été en créant un mouvement de l'air intérieur. Le système réversible permet de lutter contre la stratification de l'air en hiver, en rabattant l'air chaud stocké en hauteur vers les utilisateurs. Les parties hautes de la maison atteignent donc des températures inconfortables et un brassage de l'air permet d'obtenir une température homogène dans l'habitat [1].

Les ventilateurs au plafond ne correspondent cependant pas à tous les types de logements car une distance sol-pales d'au moins 2m30 est obligatoire. Un ventilateur suffit pour une pièce de 20 à 40m<sup>2</sup>.

Ces systèmes, certes consommateurs d'électricité, restent intéressants dans le cas où la ventilation naturelle ne suffit plus (voir diagramme de Givoni) car ils consomment quatre fois moins que des systèmes de climatisation. [7]

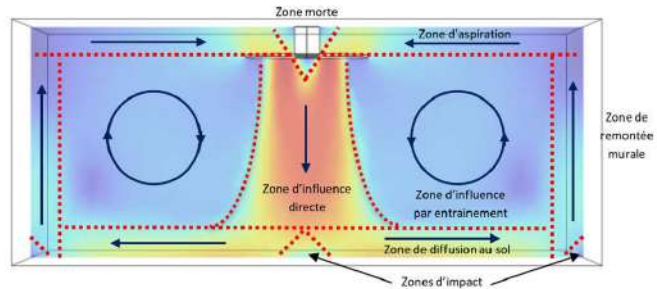


Figure 21: Schéma explicatif du brassage de l'air, ADEME

## 3. Confort d'hiver

### a) Le chauffage par rayonnement

#### Le plancher chauffant



Plancher chauffant

Ce type de chauffage est utilisé sur les murs comme sur les planchers et fonctionne grâce à un réseau de tubes transportant un fluide caloporteur. L'avantage de ces systèmes de rayonnement vis-à-vis des systèmes convectifs (qui chauffent l'air) est que leur impact est jusqu'à 40% supérieur sur le confort ressenti. En effet, un air à 24°C et des parois à 14°C engendrent une sensation de froid et d'inconfort, tandis qu'un air à 14°C et des parois à 24°C sont des conditions agréables. Le but de ce type de chauffage est donc de contribuer à l'apport de chaleur aux corps et non aux espaces.

De plus, une température de fluide de 30°C à 40°C est suffisante pour obtenir une sensation de confort en période hivernale. Ces basses températures permettent ainsi d'économiser jusqu'à 20% d'énergie par rapport à un chauffage traditionnel [39].

Ces systèmes peuvent être couplés à des capteurs solaires qui chauffent directement le fluide caloporteur. Le plancher est alors stockeur et émetteur de chaleur, sans recours à un ballon de stockage intermédiaire. [40]. Sans ballon tampon, le chauffage ne fonctionnera pas la nuit et moins longtemps l'hiver.

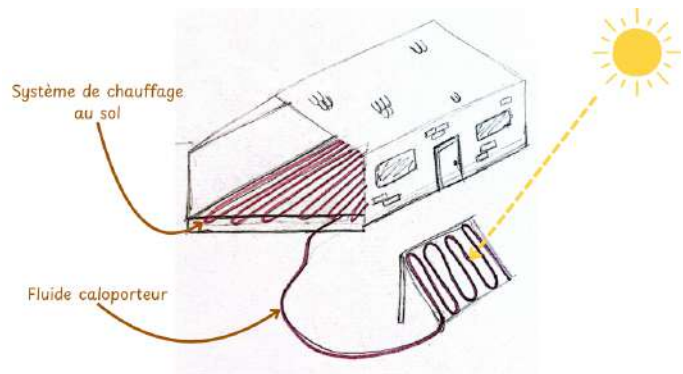


Figure 22: Dessin illustrant le fonctionnement du plancher chauffant couplé au capteur solaire

Cependant, ces chauffages sont fortement dépendants de l'inertie des matériaux. Une forte inertie est nécessaire à l'efficacité du système, mais elle implique un déphasage entre le lancement du chauffage et le ressenti de chaleur. Ce système n'est donc pas adapté à une occupation par intermittence des lieux. [3]

### Le poêle de masse

Les poêles de masse sont des poêles à bois à haut rendement. Ces systèmes de chauffage décentralisés fonctionnent par une flambée unique et intense (entre 1 et 3h) de tout le bois. Cette combustion permet d'atteindre des températures suffisamment élevées pour brûler les résidus de fumées grâce à un apport d'air supplémentaire, ce qui constitue une double combustion quasi-complète et induit le rejet de fumées moins polluantes, contenant peu de particules fines. L'utilisation de matériaux lourds tels que la pierre, la brique ou le béton pour stocker l'énergie thermique permet de restituer la chaleur progressivement pendant 24h. La chaleur est transmise principalement par rayonnement et faiblement par convection. [3] [37]. Comme ce type de chauffage ne génère que très peu de convection dans l'air, les fuites d'air due à la convection sont limitées [42].

Le poêle de masse est un système de chauffage décentralisé qui obtient le meilleur rendement vis à vis des autres poêles à bois du même type. Son rendement atteint en effet les 85% [41] par rapport à un rendement de maximum 70% pour les foyers fermés et de maximum 20% pour les foyers ouverts.

La bonne performance du poêle de masse est due à la double combustion qui permet de brûler non seulement le bois mais aussi les résidus des fumées grâce à un apport d'air supplémentaire.

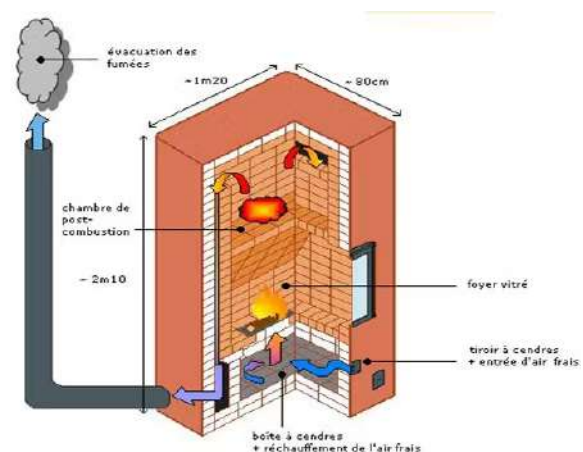


Figure 23: Schéma de fonctionnement du poêle de masse



Poêle à bois à foyer ouvert



Poêle à bois à foyer fermé



Poêle à bois insert

Infini-photo, Archi Expo, Centre Régional Cheminée

## b) Les solutions (quasi) passives

### Repenser les habitudes

Aujourd'hui, en Occident, la plupart des gens ont pris l'habitude de vivre en t-shirt dans leurs habitations, où toutes les pièces sont chauffées à la même température, souvent aux alentours de 20°C et 21°C [23]. Pourtant dans l'Histoire, les usages et notre *habitus* n'étaient pas les mêmes. Après la Première Guerre Mondiale, le combustible étant cher, la température intérieure préconisée était de 15°C et l'habitude était au chauffage de proximité [24].

Avant de chercher à réchauffer les lieux de vie, il semble donc intéressant de se pencher sur les pertes thermiques du corps humain et sur ce qu'il est possible de faire pour limiter ces pertes. Il vaut mieux chauffer les corps plutôt que les espaces à la manière des usages passés.

### Les vêtements

Les vêtements sont une première solution évidente pour limiter les différentes pertes thermiques que subit notre corps, en n'oubliant pas l'importance de couvrir les zones les plus sensibles que sont la tête, les mains, les fesses et l'abdomen. Les vêtements sont une solution rapide à mettre en place, avec un coût limité voir nul, et consommant 0 W à l'utilisation. Ci-dessous se trouve un graphe présentant le niveau de sensibilité des différentes parties du corps permettant de trouver les zones stratégiques à couvrir pour améliorer son confort thermique.

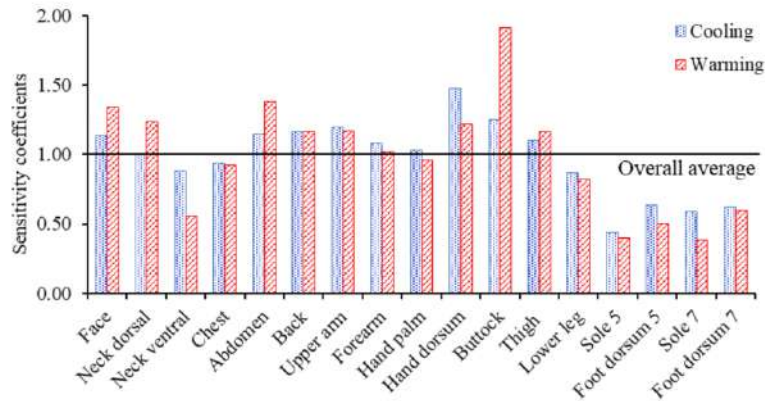


Figure 24: Diagramme de la sensibilité thermique de différentes parties du corps [6]

Notre corps perd environ 100 W au repos en hiver, les différents modes de transferts thermique sont mis en évidence sur la figure suivante :

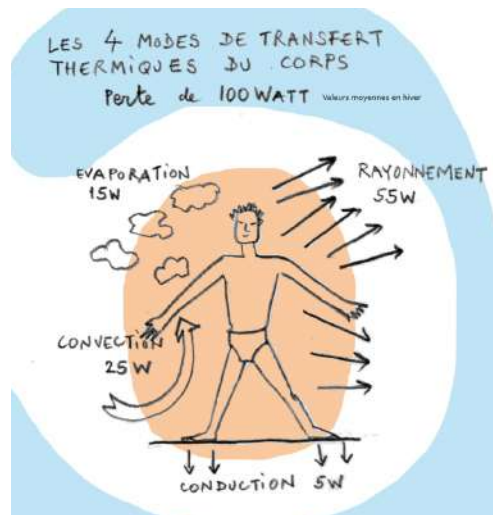


Figure 25: Dessin illustrant la répartition des pertes thermique d'un homme [5]

Afin de limiter ces transferts thermiques, l'utilisation de vêtement est une première, et très bonne, solution. Ils permettront de limiter les transferts par rayonnement, par convection et par conduction.

Ces vêtements agissent comme une barrière entre notre corps et l'environnement extérieur, la sensation de chaleur est créée grâce à la lame d'air piégée entre notre peau et la couche de vêtement qui agit comme une véritable lame d'air isolante. Le pouvoir isolant des vêtements est mesuré en *clo* et est une "sous unité" de l'isolation thermique  $\lambda$ . Il est possible de trouver des mesures en *clo* pour des vêtements usuels [21]. 1 *clo* correspond à l'habillement d'une personne (ici, un homme) au repos pour qu'elle soit à l'équilibre thermique à 21°C. Une formule empirique existe pour calculer le *clo* idéal selon l'activité physique et la température d'équilibre [22]. Par exemple, pour être à l'équilibre thermique, au repos et dans une pièce à 17°C, un habillement de 1,5 *clo* est nécessaire. Pour atteindre ce niveau de couverture vestimentaire sans modifier son confort, il est possible de porter des sous-vêtements thermiques comme une veste (0,40 *clo*) ou un pantalon (0,35 *clo*) [25]

Une autre stratégie consiste à utiliser des vêtements dits chauffants qui permettent de chauffer les corps en dépensant une énergie bien moindre qu'un radiateur électrique conventionnel. Pour une petite quantité d'énergie investie, de l'ordre de 30 à 50W, il est tout à fait possible de réchauffer notre corps à une température confortable. Il existe toute une myriade de solutions, selon les préférences de l'utilisateur.ice. Ces vêtements peuvent être soit achetés directement, ou alors fabriqués chez soi à l'aide de ruban chauffant. Cette dernière solution a l'avantage de créer une solution répondant aux besoins précis de chacun.e et elle reste moins chère. Ces vêtements chauffants peuvent se retrouver sous la forme de :

- cape chauffante, se portant sur notre tenue normale
- t-shirt sur lequel on coud des patchs chauffants agissant comme une sous couche chauffante
- doublure chauffante cousue dans une veste
- gants ou mitaines chauffant.es

L'utilisation d'appareils électriques ajoute évidemment un coût (financier et environnemental). Une campagne d'expérimentation a montré que ce surplus de consommation électrique est négligeable face à la consommation de chauffage (moins d'un pourcent) [25].

### Le chauffage de proximité

Dans la même optique de chauffer les corps plutôt que les espaces, il est intéressant de s'intéresser aux solutions de chauffage de proximité. Ce type de chauffage, dans la même philosophie que les vêtements chauffants, a pour but de chauffer les corps à l'aide d'une faible puissance électrique. Il existe une multitude de solutions :

- couverture chauffante
- tapis de souris chauffant
- sur-siège chauffant
- sur-matelas chauffant
- bouillotte

Les équipements et la philosophie présentés dans cette sous-partie et celle précédente sont issues de la démarche *SlowHeat*, développée par des chercheur.euses belges. Dans une de leur expérimentation menée sur des logements étudiants, les occupant.es, munies de divers équipements de chauffage de proximité ont pu descendre la température intérieure de leurs logements aux alentours de 14,6°C en hiver tout en gardant un confort acceptable. [25]

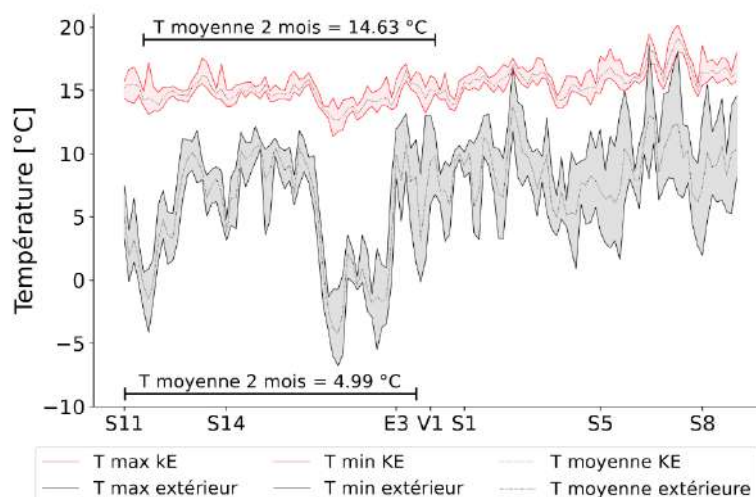


Figure 26: Graphique de la température dans l'appartement étudiant *SlowHeat* (KE) et la température extérieure au cours du temps [25]

Cette expérience a permis de réaliser entre 30% et 51% d'économie d'énergie de chauffage [25]. D'autres résultats issus de cette thèse sont très intéressants, notamment sur l'acceptabilité des mesures, mais ne seront pas développés dans le cadre de cet état de l'art.

### Jouer sur l'effusivité des parois

L'effusivité désigne la capacité d'un matériau à échanger de la chaleur plus ou moins rapidement avec son environnement. Elle est par exemple très élevée pour la pierre et très faible pour le bois. C'est pour cela qu'on a froid en marchant à pied nu sur le carrelage alors qu'il est à la même température que les parois environnantes.

En hiver, des matériaux à faible effusivité sont recherchés afin d'éviter la sensation de parois froides. On peut pour cela choisir une matière différente du carrelage pour sa salle de bain, dans laquelle le corps est souvent nu, préférer une assise en bois pour ses toilettes et proscrire les murs en pierre.

### Le mobilier et la couverture des parois

Le mobilier permet encore une fois d'isoler le corps des parois froides et de le couper du mouvement de l'air. L'idée est de créer des espaces fermés et isolés.

Une première idée est de cloisonner les espaces. Nous connaissons le **lit à baldaquin**, mais il existe dans d'autres cultures des techniques peu répandues dans notre pays. "Traditionnellement dans les maisons nippones, plutôt que de chercher à atteindre une température homogène pour l'ensemble des espaces, on chauffe ou ventile des espaces réduits, voire les corps, pour des périodes provisoires." [45]. Cette philosophie japonaise se retrouve dans les **kotatsu**, des tables basses en bois recouvertes d'une couverture épaisse. Assis.es autour de la table, les habitant.es ont les jambes couvertes voire chauffées si un système de chauffage est placé sous la table. Le mobilier vient alors créer des "boîtes" de volumes réduits, et donc plus facile à chauffer.

Par exemple, un lit double à baldaquin représente 8m<sup>2</sup> à chauffer, alors qu'une chambre "classique" de 15m<sup>2</sup> représente 36m<sup>2</sup> à chauffer, soit une réduction d'un facteur quatre. Cette stratégie de cloisonner les espaces peut également se faire avec des brises vue, des cloisons, des rideaux thermiques.

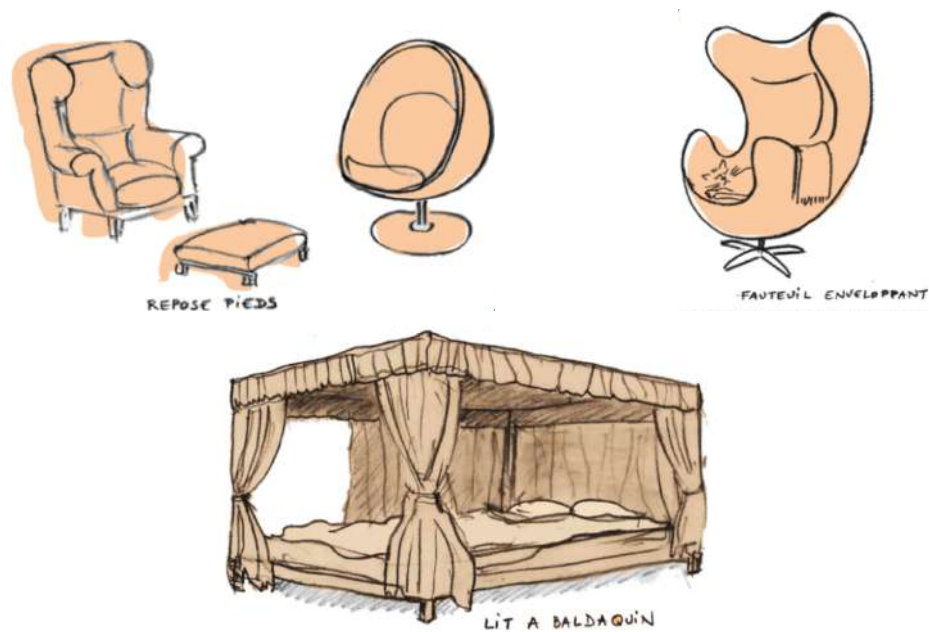


Figure 27: Dessins de mobilier isolant [5]



*kotatsu*, Wikipedia commons

On peut aussi chercher à réduire l'effusivité des parois déjà existantes avec l'installation de **rideaux**, **tapis**, **volets**, **tapisseries**. Une étude menée dans des maisons de cités minières du Nord a montré que l'ajout de rideaux en lin, de faible résistance thermique ( $R=0,5$  à  $1,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ), a le potentiel d'augmenter la température intérieure de  $2^\circ\text{C}$  [44].

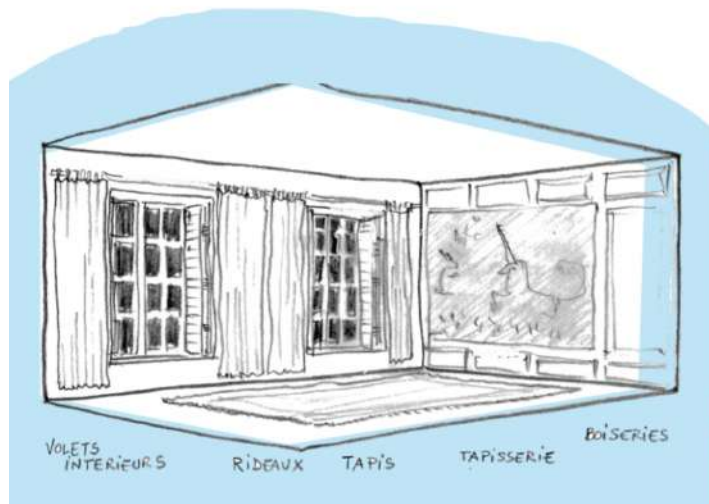


Figure 26: Dessin d'éléments apposés aux murs pour améliorer le confort thermique [5]

# Bibliographie

- [1] [Supports CORECOL](#)
- [2] [Les risques sanitaires de la précarité énergétique, Fiche pratique numéro 3](#), Le réseau des acteurs contre la pauvreté et la précarité énergétique dans le logement, 17 janvier 2019
- [3] [Une maison plus saine pour ses habitants et l'environnement](#), Marie-Pierre Dubois Petroff, 2005
- [4] [Energy consumption in buildings and female thermal demand](#), Boris R M Kingma, Wouter D. van Marken Lichtenbelt, 2025
- [5] [Livret confort d'hiver low-tech « Bien chaleureusement »](#), ICEB, décembre 2023
- [6] [High-density thermal sensitivity maps of the human body](#), Luo, Maohui Wang, Zhe Zhang, Hui et al., 2020
- [7] [Rester cool, Fraîcheur sans climatisation](#), B.D. Confort en climat chaud, ICEB, Alain Bornarel et Emmanuelle Patte, 2019
- [8] [Pourquoi un ventilateur donne-t-il un sentiment de fraîcheur ?](#), Coralie Thieulin, 2025
- [9] [Le confort d'été passif](#), ICEB, 2014
- [10] [Orienter le bâtiment et les espaces](#), Ouvrer pour l'immobilier durable
- [11] [Rôle du végétal dans le développement urbain durable](#), Marjorie Musy, Emmanuel Bozonnet, VegDUD, 2009
- [12] [Les arbres et les îlots de chaleur urbains](#), M. Saudreau, Thierry Ameglio, Jérôme Ngao, Echos Paysage, 2019
- [13] [Recherches pour un système de climatisation adiabatique low-tech](#), Clément Gaillard, 2021
- [14] [La fenêtre sur l'histoire](#), Working Process, 2018
- [15] [Vitrage thermochrome : Une protection aux infrarouges](#), Guidefenêtre
- [16] Guide CIBSE, 2005
- [17] [Cold hands, warm heart](#), Han Kim, Clark Richardson, Jeanette Roberts, Lisa Gren, Joseph L Lyon, 1998
- [18] [Temperature regulation in women: Effects of the menstrual cycle](#), Fiona C Baker , Felicia Siboz, Andrea Fuller, 2020
- [19] [Spontaneous magnitude estimation of thermal discomfort during changes in the ambient temperature](#), D P Wyon, I Andersen, G R Lundqvist, 1972
- [20] [Pourquoi les femmes sont-elles plus sensibles au froid que les hommes ?](#), William Audureau, Le Monde
- [21] [Calculer le niveau d'habillement en CLO](#), Energieplus-lesite, 2023
- [22] [Isolation vestimentaire](#), Wikipedia, consulté en décembre 2025
- [23] [À quelle température les Français ont-ils chauffé leur logement cet hiver ?](#), La Dépêche, consulté en décembre 2025
- [24] [Les températures de chauffage préconisées au XXe siècle](#), Renan Viguié, 2020, consulté en décembre 2025
- [25] [Quantification du potentiel d'une pratique de Slowheating en kot à l'UCLouvain](#), Loïc Lieutenant, 2024
- [26] [Contre la canicule, les ruses venues d'Afrique](#), Sophie Douce, Le Monde, 2019
- [27] [Découvrez le nouveau Plan Biodiversité](#), Paris, consulté en décembre 2025
- [28] [Contexte réglementaire favorisant ou limitant l'installation et le maintien de murs végétalisés à Paris](#), Xavier Lagurgue, 2017
- [29] [Influence of Sun Shading Devices on Energy Efficiency, Thermal Comfort and Lighting Comfort in a Warm Semi-Arid Dry Mediterranean Climate](#), Pérez-Carramiñana, C., González-Avilés, Á. B., Castilla, N., & Galiano-Garrigós, A, 2024
- [30] [Badguir](#), Wikipedia, consulté en décembre 2025

- [31] [Les systèmes de ventilation et refroidissement dans l'architecture traditionnelle du Golfe Persique](#), Roland Dehghan Kamaragi, 2014
- [32] [Diagrammes des trajectoires du soleil](#), Enertech Scop, 2010, consulté en décembre 2025
- [33] [Verre thermochrome: une excellente maîtrise de la température](#), Bati Advisor
- [34] [Le patio, secret ancestral pour garder la fraîcheur en été](#), BATIBOUW
- [35] [La maison urbaine à patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud](#), Meriama Bencherif Salah Chaouche, 2013
- [36] [Les voiles d'ombrage écologiques : matériaux durables et respect de l'environnement](#), Les Ombrières de Provence
- [37] [Habitat low-tech](#), rapport d'expérimentation du low-tech lab
- [39] [Plancher chauffant : le guide essentiel pour votre maison](#), Guide Renov', 2024, consulté en décembre 2025
- [40] [Plancher solaire direct : faites le choix du chauffage au sol solaire](#), Engie, 2022, consulté en décembre 2025
- [41] [Poêle de Masse Accessible à Tous](#), Oxalis, 2019
- [42] [Efficacité Des foyers de masse thermique](#), CBMQ, consulté en décembre 2025
- [43] [Propriétés Hygrothermiques De Briques De Terre Crue Produites En Midi-Pyrénées](#), p.753, CAGNON Hugo, AUBERT Jean-Emmanuel, COUTAND Marie, 2012
- [44] [L'art du rideau : le confort thermique autrement](#), Topophile, 2024
- [45] [Choix énergétiques à la française ou à la japonaise ?](#), Yann Nussaume, 2013

# Annexes

## Trajectoire du soleil

Ce graphe montre la trajectoire du soleil pour un point situé à une latitude de  $48^{\circ}\text{N}$ . En Bretagne, on se trouve entre les latitudes  $47,5^{\circ}\text{N}$  et  $48,5^{\circ}\text{N}$ . Cette carte est issue du site *Enertech* [32].

