



# **Rafrachissement sans air conditionné: Etude sur les alternatives**



## **BUT DE L'ÉTUDE**

Le confort intérieur dépend du contrôle de la température intérieure. Chauffage si il fait trop froid. Machine à froid dans le cas contraire avec l'utilisation de technologie à base de fluide réfrigérant et bien entendu alimenté en électricité.

En complément à une campagne en cours portant sur les pays à climat très chaud et humide, l'étude se focalisera plus particulièrement sur les systèmes de contrôle de l'air en vue de baisser la température intérieure.

Le refroidissement actif par une machine à froid peut être remplacé par une méthode de rafraîchissement passif utilisant les ressources naturelles environnantes. Des économies sont ainsi obtenues sur le gaz réfrigérant (dans la grande majorité, des gaz fluorés 1000 à 10000 fois plus nocifs pour le climat que le CO<sub>2</sub>), mais également sur l'énergie requise pour l'exploitation et l'investissement en technologie.

Cette recherche se tourne vers les technologies «hybrides connues», alimentées mécaniquement, utilisant des ressources naturelles. Les différents systèmes de rafraîchissement naturel retenus dans cette étude sont tous actuellement réalisables et sont utilisés depuis des années mais trop souvent occultés par l'arrivée des techniques permettant de supprimer les contraintes climatiques.

## **TABLE DES MATIERES**

p.1	<b>BUT DE L'ETUDE</b>
p.2	<b>MISE EN SITUATION - ALTERNATIVES AUX CLIMATISEURS</b>
p.3	<b>PUITS CANADIEN OU PUIITS PROVENCAL</b>
p.4	<b>CHEMINEE SOLAIRE</b>
p.5	<b>FACADE DOUBLE PEAU - FACADE ACTIVE</b>
p.6	<b>ECHANGEUR ADIABATIQUE</b>
p.7	<b>L'INERTIE THERMIQUE</b>
p.8	<b>TOITURE VEGETALISEE</b>
p.9	<b>FACADE VEGETALISEE - ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE</b>
p.10	<b>VENTILATION MECANIQUE CONTROLEE</b>
p.11	<b>OMM - ORGANISATION METEOROLOGIQUE MONDIALE</b>
p.12	<b>BRE - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT</b>
p.13	<b>TOUR OFS - OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE</b>
p.14	<b>ECOLE «TANGA»</b>
p.15	<b>CODHA - IMMEUBLE D'HABITATION</b>
p.16	<b>TOUR ELITHIS - DIJON</b>

## MISE EN SITUATION

Actuellement, les technologies disponibles sont suffisamment mures pour pouvoir maîtriser le confort intérieur selon une demande standard tout en gardant un bon ratio de consommation énergétique. La Suisse par exemple fixe la température intérieure de confort à environ 21°C.

Si cette température était le standard partout, il est bien entendu que dans des pays à climat bien plus chaud comme l'Asie du sud-est, le travail sur le bâtiment, l'installation technique et la consommation en énergie (énergie grise) serait bien plus conséquente.

Dans la plupart des pays à climat tropical, les bâtiments standards sont équipés d'appareils ou d'installations à air conditionné. Dans la plupart des cas le type de construction est relativement économique et simple, les bâtiments sont très peu isolés menant à une grande perte énergétique. La chaleur externe chauffe trop facilement le bâtiment et en retour le froid fourni par les climatiseurs sort trop facilement.

Cette situation est souvent présente également dans des pays riches (USA, Japon, Corée du Sud, etc...).

La réflexion sur la physique des bâtiments en rapport aux conditions climatiques locales semble trop rarement prise en compte. Quand elle a lieu, une recherche sur les caractéristiques des matériaux disponibles pour améliorer l'isolation thermique de la construction est trop souvent vite bouclée. Le maître d'oeuvre ou l'architecte se tournant rapidement vers des choix d'appareils permettant un contrôle total du climat intérieur quelle que soit la situation extérieure.

## ALTERNATIVES AUX CLIMATISEURS

Plusieurs techniques sont disponibles et applicables dans le neuf et la rénovation. L'approche peut se faire sur plusieurs niveaux.

### Catégorie A - Circulation.

La première source de sensation de chaleur à l'intérieur d'un espace est liée à la stagnation de l'air ambiant. Une des premières formes de ventilation naturelle est le simple fait d'ouvrir les fenêtres pour renouveler le volume d'air de la pièce. Une première catégorie que l'on retrouve dans ce rapport regroupe des techniques d'apport d'air naturel sans aide mécanique.

### Catégorie B - Echange.

L'autre catégorie, directement liée au climat extérieur, travaille sur les propriétés thermodynamiques du bâtiment. L'échange de chaleur qui se produit entre l'extérieur et l'intérieur amène des apports d'air frais en vue d'une ventilation intérieure mais aussi un apport de chaleur pour les périodes de froid.

### Catégorie C - Protection.

En extension à ce chapitre, une autre approche proposerait de prendre le problème à l'envers. Ce n'est pas le fait d'amener de l'air froid qui rafraîchit la maison, mais le fait de ne pas faire entrer l'air chaud.

Ici, nous verrons les différentes techniques prouvées ainsi que les propriétés de matériaux en complément des règles standards dans la construction.

### Catégorie D - Contrôle.

Les technologies actuelles de ventilation contrôlées qui, même si elles dépendent de source d'énergie électrique, proposent de grands avantages lors de fortes demandes en renouvellement d'air.

### Répertoire des types de techniques étudiées plus bas:

#### CATÉGORIE A - CIRCULATION

1. Puits Canadien ou Puits Provençal
2. Cheminée solaire

#### CATÉGORIE B - ECHANGE

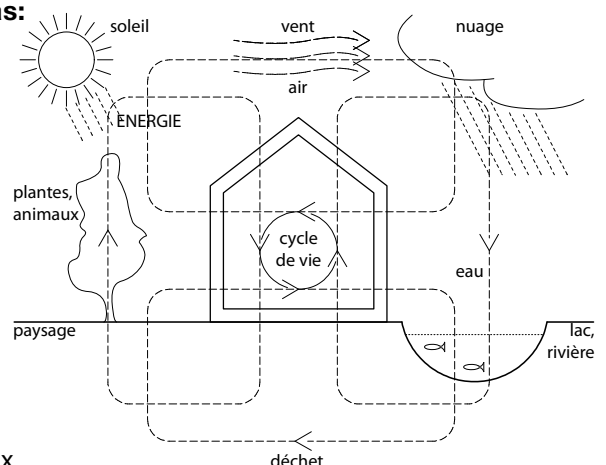
3. Façade double peau
4. Mur Capteur
5. Echangeur Adiabatique

#### CATÉGORIE C - PROTECTION

6. Inertie des matériaux
7. Toiture végétalisée
8. Façade végétalisée
9. Architecture bioclimatique

#### CATÉGORIE D - CONTRÔLE

10. Ventilation mécanique simple et double flux



### Répertoire d'exemple de réalisation

11. OMM, Genève - Suisse
12. BRE, Watford - Angleterre
13. TOUR OFS, Neuchâtel - Suisse
14. École «Tanga», Falkenberg - Suède
15. CODHA, Genève - Suisse
16. ELITHIS, Dijon - France

# CATEGORIE A - CIRCULATION

## 1. Puits canadien ou Puits provençal

Système de climatisation naturelle basé sur le simple constat que la température du sol à 1.60 mètre de profondeur est plus élevée que la température ambiante en hiver et plus basse en été. <sup>1</sup>

Le puits canadien tire profit de la capacité du sol à résister au changement de température de l'air (inertie thermique). L'air extérieur pulsé dans le bâtiment en passant au préalable à travers un tuyau d'une certaine longueur enterré à au moins 1.5 mètres dans le sol. La prise d'air se fait par une extrémité du tuyau (borne de prise d'air) sortant du sol à quelques mètres du bâtiment. Le type de sol influence aussi le rendement de rafraîchissement de l'air (cf. tableau).

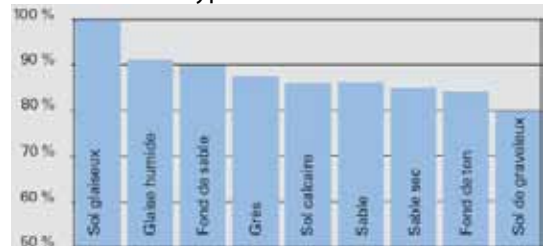
Ce système est souvent couplé à une ventilation mécanique pour obtenir le maximum d'efficacité et un bon renouvellement de l'air. Une maison constamment ventilée par un puits canadien voit ses courbes de température intérieure considérablement amorties par rapport à la même maison qui ventile 0.5 volumes/heures en journée caniculaire avec de l'air extérieur ne passant pas par des tuyaux enterrés. <sup>2</sup>

Plusieurs matériaux sont disponibles pour le tuyau servant à la circulation de l'air. Le choix se portera sur un matériau rigide à la compression (de la terre), étanche à l'humidité, aux bactéries et au Radon. Ce dernier est un gaz radioactif naturellement présent dans les sols, s'il passe dans les tuyaux et est distribué dans la maison, il est très nocif pour la santé et peut provoquer des cancers des poumons. La concentration de Radon diffère beaucoup d'une région à l'autre, des cartes du risque de Radon sont établies dans de nombreux pays. <sup>2</sup>

A l'intérieur du bâtiment, l'air passe dans un ventilateur avec récupérateur de condensât (humidité) créée par le changement de température de l'air entre l'extérieur et l'intérieur. <sup>2</sup>

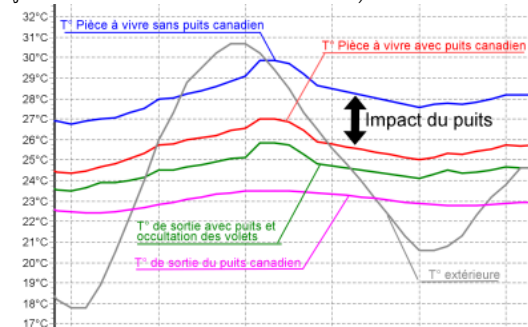
La distribution de l'air neuf à l'intérieur du bâtiment est assuré par des conduits types PE (différents que ceux d'extraction d'air) intégré dans les murs ou dalles. Les bouches d'insufflation sont principalement situés en haut des murs ou en dalle. <sup>2</sup>

Influence selon type de sol <sup>2</sup>

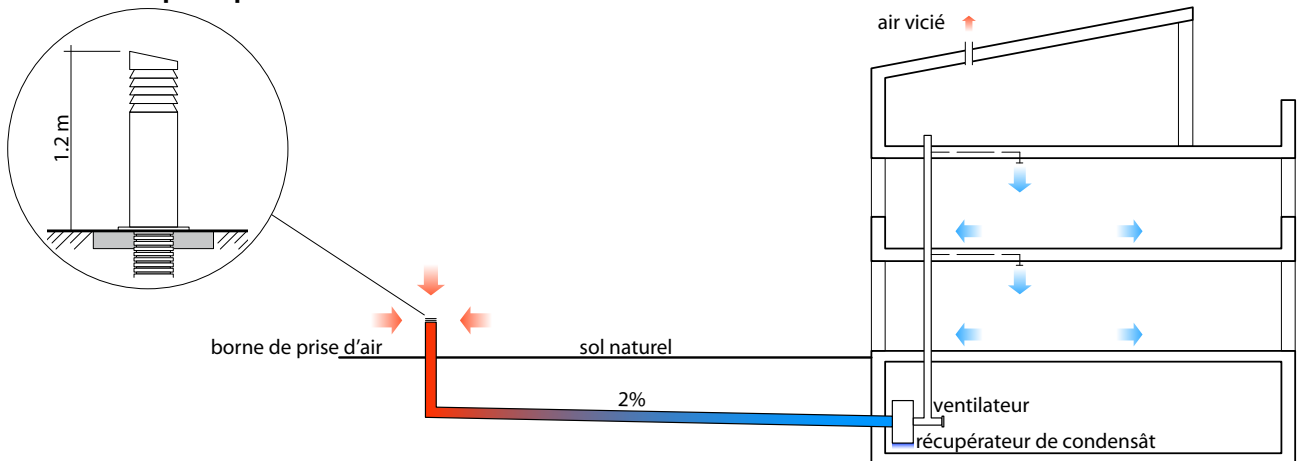


Exemple de courbe de température <sup>2</sup>

(journée ensoleillé au sud de la France)



### Schéma de principe



Prise d'air borne de prise d'air à environ 1.00 m de hauteur fixé sur un sol en béton

Tuyau enterré sous terre enterré à au moins 150cm sous terre très étanche incliné à environ 2%. La longueur des conduits enterrés est déterminé en fonction du renouvellement d'air souhaité. Il faut compter en moyenne un trajet de 50m pour obtenir un impact intéressant quand le collecteur est en diamètre 200mm.

Ventilateur + récupération de condensât

L'air neuf passe par un ventilateur installé en sous-sol (plusieurs systèmes possibles avec régulateur, sonde, mono ou double VMC, etc..) avec un récupérateur de condensat.

Tuyau de distribution + bouche d'insufflation

L'air passe dans les tuyaux en PE fixé ou intégré dans les murs et dalles. Il est important de bien étancher les tuyaux pour éviter les fuites d'air. Les bouches sont généralement placées en haut de mur ou sous dalle dans chaque pièce d'un bâtiment (à l'exception des pièces humides, cuisines et salles d'eau)

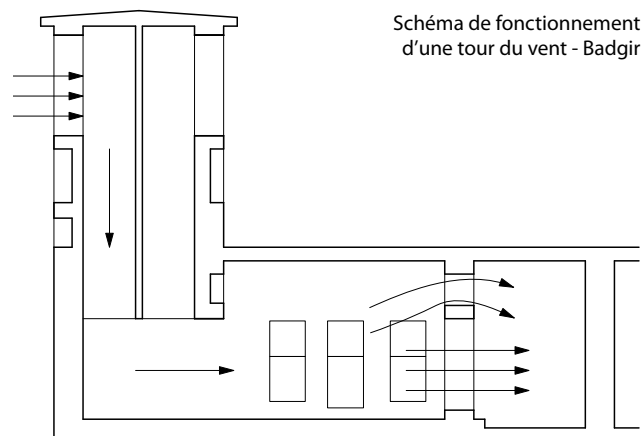
1. [http://fr.ekopedia.org/Puits\\_canadien](http://fr.ekopedia.org/Puits_canadien) 2. <http://www.fabitat.com/puits-canadien.php>

## 2. Cheminée solaire

La cheminée solaire, cheminée provençale ou cheminée thermique est un système de ventilation naturelle constitué d'un conduit vertical, souvent peint en noir, exposé au rayonnement solaire. Pendant la journée, le soleil chauffe le conduit créant un appel d'air aspirant l'air en bas de la cheminée (convection) permettant de ventiler et refroidir le bâtiment.

La cheminée solaire est probablement un des plus anciens dispositifs de ventilation. On le découvre sous d'autres noms comme «tour du vent», ou «Badgir» en persan, qui est un élément traditionnel d'architecture perse.<sup>1</sup>

On retrouve ce même type d'élément architectural dans beaucoup d'autres pays du Moyen et Proche-Orient.



Différents types de ces cheminées existent mais leur composition reste toujours la même. Une surface pour capter la chaleur située dans la partie supérieure du conduit de cheminée est cruciale pour assurer un bon gain solaire, l'isolation et les propriétés thermiques de la cheminée sont aussi cruciaux; La position, la hauteur et la section de la cheminée seront déterminants, comme le seront le dimensionnement de l'entrée et des sorties d'air pour régler le débit de ventilation voulu.

Pour optimiser l'effet de rafraîchissement, il est possible de coupler une cheminée solaire avec un puits Canadien pour un apport naturel complémentaire d'air frais sans ventilation mécanique. Un autre dispositif d'amélioration de l'ensemble du système serait d'intégrer dans le dispositif de cheminée solaire un mur à forte inertie thermique disposé derrière un vitrage exposé au soleil (mur trombe). L'absorption de la chaleur est décuplée grâce au vitrage créant un plus grand effet d'aspiration tout en chauffant le mur placé à l'arrière qui accumule la chaleur pouvant être restitués pendant la nuit, en hiver.

Une autre variante de cheminée solaire sont les combles solaires. Souvent, ces combles sont de véritables fournaies en été vu leur exposition directe au soleil. Avec l'installation d'une cheminée solaire, l'air chaud omniprésent peut améliorer la convection de la cheminée, ainsi que la performance de la ventilation.<sup>2</sup>

Une étude réalisée au Japon portant sur un système de cheminée solaire couplée avec un matériau à changement de phase a révélé plusieurs difficultés. Comme tout le dispositif fonctionne «au naturel», il doit se plier aux contraintes extérieures. Par exemple, la cheminée ne peut pas fonctionner comme ventilation naturelle pendant la nuit. Aussi, le flux de radiation solaire durant la journée change, influençant le niveau de circulation de l'air.

Dans certains cas, la cheminée solaire est considérée comme un système instable.<sup>3</sup>

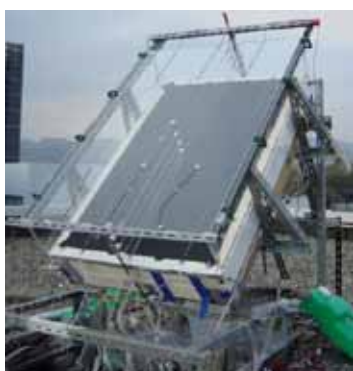
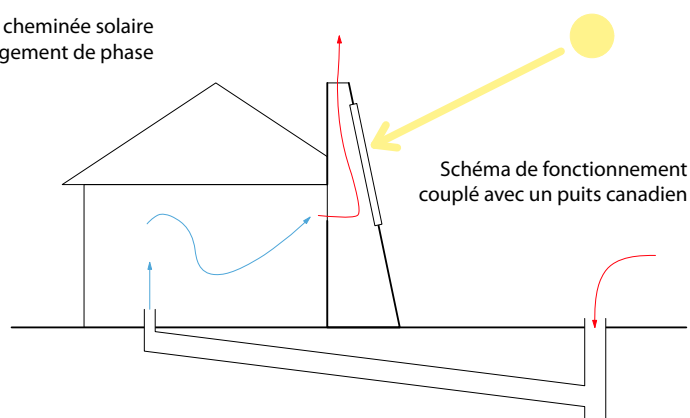


photo du prototype de cheminée solaire en matériau à changement de phase



1. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Badgir> 2. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Cheminée\\_solaire](http://fr.wikipedia.org/wiki/Cheminée_solaire) 3. [http://intraweb.stockton.edu/eyos/energy\\_studies/content/docs/FINAL\\_PAPERS/4B-7.pdf](http://intraweb.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/FINAL_PAPERS/4B-7.pdf)

## CATEGORIE B - ECHANGE

Dans la catégorie des dispositifs utilisant les principes de convection et parfois de thermodynamique, on retrouve le grand chapitre des «Façade double peau». Grand chapitre car ce système de façade s'applique dans plusieurs domaines autres que la ventilation naturelle. En effet, une façade double peut être construite; pour diminuer les déperditions thermiques, pour créer une isolation phonique ou encore pour créer un effet de serre en vue de chauffer des pièces intérieures.

La façade double peau fonctionne comme une enveloppe protégeant le bâtiment des contraintes météorologiques qui peuvent amener à des surchauffes en été, des façades froides en hiver, etc...

Ici, nous parlerons uniquement des possibilités de ventilation «naturelle» dans ce système, très similaire aux précédents principes expliqués.<sup>1</sup>

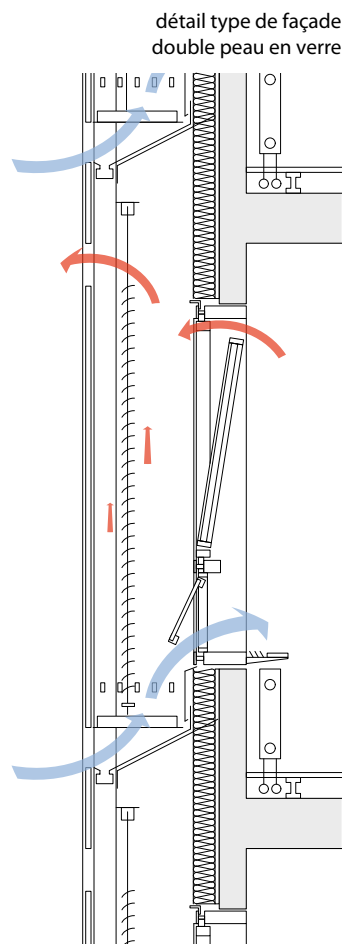
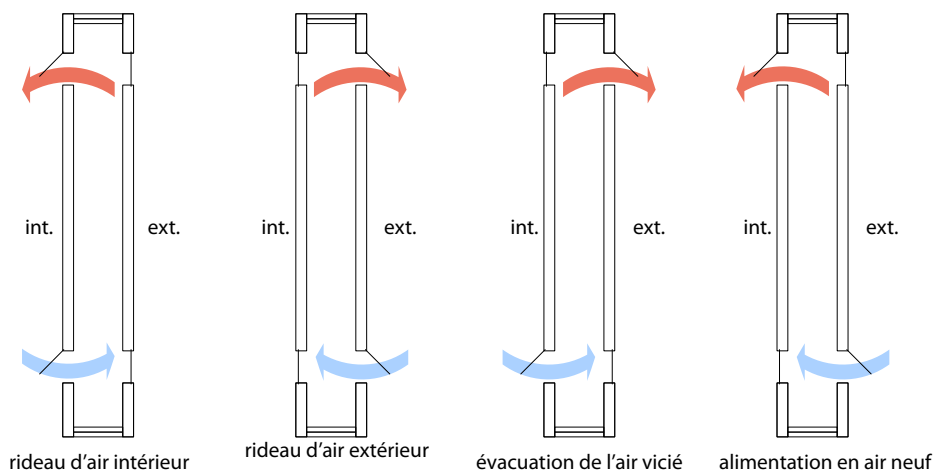
### 3. Façade double peau:

Les façades double peau aussi appelée «double façade ventilée» sont composées de deux façades généralement vitrées et séparées par une cavité de quelques centimètres à plusieurs mètres dans certains cas.

Par un effet de ventilation naturelle créée par la double peau, la circulation de l'air au sein de la paroi est obtenue grâce au phénomène de tirage thermique. L'effet de serre au sein de la façade crée une différence de température entre l'extérieur et la cavité ou entre l'intérieur du bâtiment et la cavité. Il est possible de créer cette circulation artificiellement grâce à des extracteurs d'air dans le cas où la ventilation naturelle n'est pas suffisante.

La circulation de l'air au sein de la cavité intérieure va conditionner en partie le comportement thermique et aérodynamique de la façade double peau et donc son influence sur le bâtiment.

Comme on peut le voir sur le schéma ci-dessous, les rideaux d'air intérieur et extérieur permettent respectivement de réchauffer l'air intérieur en hiver et de réguler la température dans la cavité en été pour éviter la surchauffe.<sup>1</sup>



Il faut noter que ce type de paroi du fait de la circulation d'air peut avoir tendance à augmenter les déperditions thermiques par rapport à une paroi bénéficiant du même coefficient de déperdition thermique.

Il est donc important de faire le bilan entre les gains réalisés sur le renouvellement d'air et l'augmentation de déperdition à travers la paroi afin de vérifier la pertinence d'une telle façade, selon le climat local.

De plus, la liberté d'ouverture et fermeture des organes de ventilation conditionne le mode de ventilation à travers les façades.<sup>1</sup>

### 4. Façade active:

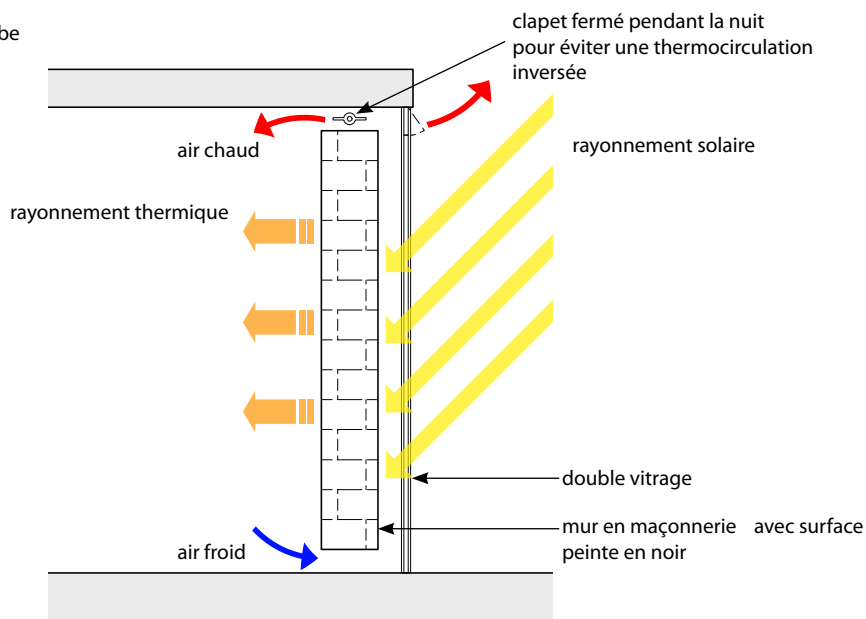
Le mur capteur est une façade active composée d'un vitrage à forte émissivité devant un mur à grande inertie thermique. Le rayonnement solaire vient chauffer une lame d'air présente entre le vitrage et le mur, cette chaleur est ensuite redistribuée avec un certain déphasage à l'intérieur. Par exemple, pour 40cm de béton, le déphasage sera de 11 heures. Ce système permet de profiter d'un apport de chaleur passif et différé dans le temps.

Le Mur Trombe est basé sur le même phénomène physique que le mur capteur mais constitué en plus de clapets situés en partie supérieure et inférieure d'un mur permettant une circulation de l'air afin d'éviter la surchauffe en été. Un évent placé en partie supérieure du vitrage en position ouverte permet d'évacuer l'air chauffé produit dans la lame d'air.

1. [http://fr.ekopedia.org/Façade\\_double\\_peau](http://fr.ekopedia.org/Façade_double_peau)

En extension, le principe de véranda ou serre bioclimatique, est identique à celui du mur trombe si ce n'est que la lame d'air se transforme en espace de vie.

schéma de principe du mur trombe

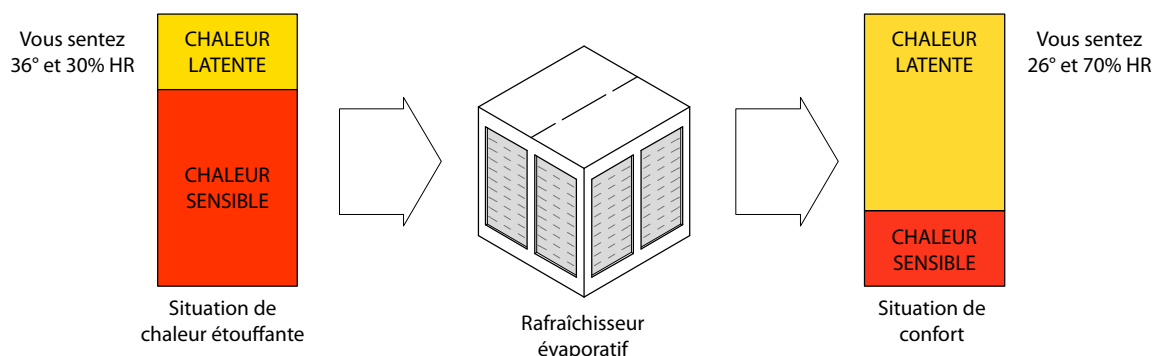


## 5. Echangeur adiabatique:

Le refroidissement adiabatique est une méthode de rafraîchissement d'air basée sur l'évaporation de l'eau. On parle aussi bioclimatisation, de rafraîchissement d'air par évaporation ou de climatisation naturelle. Le principe est simple; l'air chaud et sec qui passe à travers un échangeur humide se refroidit naturellement. L'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau est extraite de l'air qui en conséquence se refroidit. Ce système gagne en efficacité avec l'augmentation de la température extérieure. Au-delà de 30°C, l'air peut se refroidir de plus 10°C ce qui se traduit par un rendement de rafraîchissement très efficace.

Dans un rafraîchissement d'air par évaporation, une pompe fait circuler de l'eau sur filtres absorbants. Le ventilateur aspire l'air chaud extérieur et le fait passer à travers les filtres humides. L'air est alors refroidi par évaporation.

Pour que ce système fonctionne correctement les bâtiments doivent être bien ventilés afin de pouvoir rapidement évacuer l'humidité engendrée par le système. Les appareils sont le plus souvent installés à l'extérieur. Un système de gaine permet d'amener l'air dans la zone à rafraîchir avant d'être évacuée par les ouvertures naturelles ou par des systèmes d'extraction. Ce type de rafraîchissement convient particulièrement aux grands volumes ainsi qu'à tout bâtiment où les apports thermiques sont importants.



Le rafraîchissement par évaporation est un processus adiabatique à enthalpie constante. Il consiste à diminuer la chaleur que nous percevons (chaleur perceptible) et augmenter la chaleur que nous ne percevons pas et que nous évacuons par ventilation (chaleur latente). Un processus qui ne demande pas de variation de chaleur.

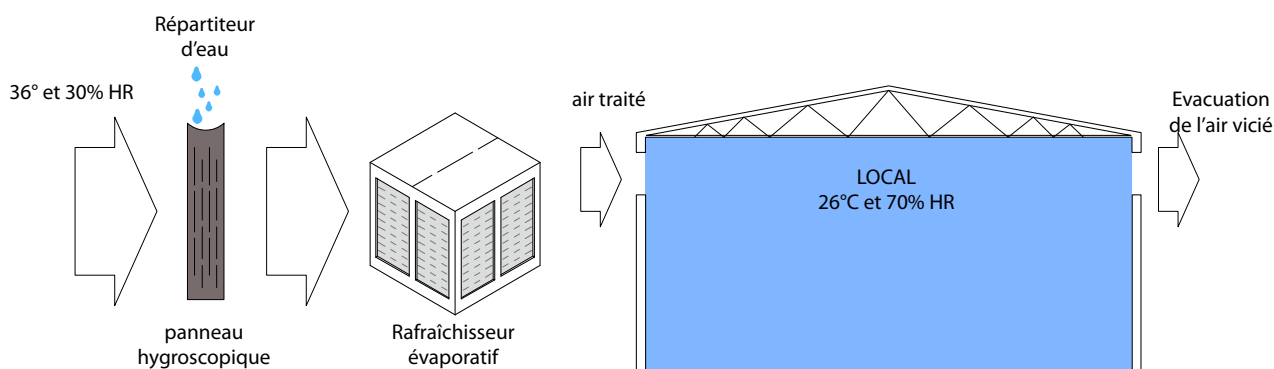
Ce système présente de nombreux avantages grâce au renouvellement constant de l'air qui améliore le bien-être des occupants et permet l'évacuation efficace des odeurs et des fumées. L'air entrant est filtré, il est donc propre et sain. Le rafraîchissement d'air par évaporation n'assèche pas l'air, ce qui procure une meilleure sensation de confort en plus de pouvoir être utilisé en système «free-cooling» en mi-saison.

1. [http://fr.ekopedia.org/Rafraichissement\\_adiabatique](http://fr.ekopedia.org/Rafraichissement_adiabatique)



Ces systèmes n'utilisent aucun réfrigérant, ils n'ont besoin que d'eau potable pour fonctionner et présentent des coûts d'investissements et d'exploitations très bas.

Par contre, il est impératif d'avoir une bonne maîtrise de la ventilation des locaux. En effet, l'humidité apportée dans les locaux habités peut provoquer une gêne si elle met du temps à s'évacuer. En complément, ce système fonctionne moins bien lorsque le climat extérieur est chaud et humide. L'air étant déjà chargé en hygrométrie, sa capacité à évaporer l'eau et donc à abaisser la température de l'air s'en trouve réduite. La température de soufflage est liée à celle de l'extérieur. On ne peut maintenir une pièce à 15°C toute l'année.



## CATEGORIE C - PROTECTION

Voici une autre catégorie de possibilité d'obtenir une température fraîche dans des locaux habitables.

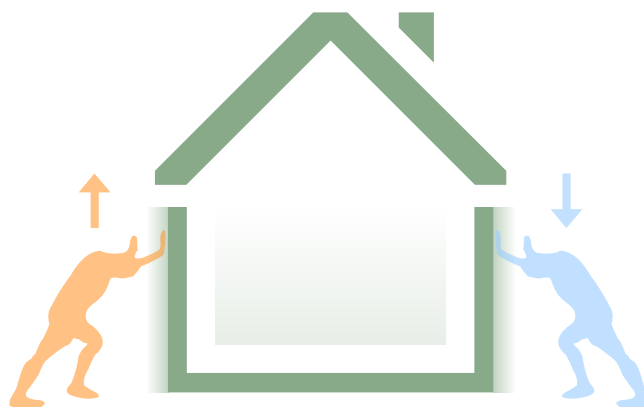
Après avoir vu les divers systèmes d'amenée d'air dans un bâtiment, prenons le problème à l'envers en voyant comment empêcher l'air chaud d'entrer dans un espace intérieur.

### 6. L'inertie thermique:

L'inertie thermique d'un matériau représente sa capacité à stocker et à déstocker de l'énergie dans sa structure quelle que soit la saison. Elle définit la vitesse à laquelle le bâtiment se refroidit ou se réchauffe et permet d'amortir les variations indésirées de température extérieure. Plus l'inertie est grande plus on obtient un «amortissement» de la température qui permet d'atténuer les effets des canicules. La notion de déphasage apparaît aussi, ce qui permet de retarder en été le front de chaleur accumulé pendant la journée.

Pour favoriser l'inertie thermique, il faut utiliser des matériaux denses comme le béton ou la maçonnerie de brique de forte épaisseur et disposer l'isolation à l'extérieur de la structure. Il importe en effet que la masse intérieure de la paroi ne soit pas soumise aux variations de la température extérieure.

Il est important de comprendre la différence entre la notion d'isolation thermique et l'inertie thermique. Dans le premier cas, c'est la technique de thermos; on place une barrière isolante entre 2 milieux de température différente. Cette barrière va limiter les passages de chaleur.



Dans des climats chauds et humides, l'inertie thermique est à rejeter totalement. Il est indispensable dans ce type de climats d'utiliser des solutions à très faible inertie comprenant une forte ventilation. Il n'y a aucune raison de privilégier une construction qui peut emmagasiner la chaleur la journée pour la restituer la nuit puisque les nuits sont presque aussi chaudes que les jours. L'emploi de matériaux lourds à fortes inerties thermiques exposés au soleil la journée rendrait les nuits encore plus inconfortables. La circulation d'air apparaît donc comme le facteur essentiel pour permettre de diminuer l'inconfort résultant du climat.

Toujours dans la recherche de réduire la consommation d'énergie, des matériaux dits «intelligents» sont apparus sur le marché de la construction: les matériaux à changement de phase ou PCM (pour Phase Change Materials). Ces matériaux sont basés sur le principe physique que lorsqu'un corps passe de l'état solide à liquide, il absorbe une certaine quantité de chaleur et à contrario lorsqu'il passe de l'état liquide à solide, il dégage de la chaleur.

1. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Inertie\\_thermique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Inertie_thermique)



Il est composé généralement de microcapsules d'une paraffine spéciale dont la température de fusion est comprise entre 21°C et 26°C.

Ainsi, en été, lors des journées chaudes les parois contenant des MCP accumulent de la chaleur grâce à la liquéfaction de la paraffine contenue dans les microcapsules, ce qui a pour effet de ne pas transmettre de chaleur dans la pièce.

Le gain de température peut atteindre 5°C sans consommation d'énergie. La nuit, lorsque la température redescend grâce à l'apport d'air frais la paraffine dans les microcapsules se solidifie en restituant la chaleur accumulé.

## 7. Toiture végétalisée:

La toiture végétalisée est un concept utilisant de la terre et des végétaux en remplacement de l'ardoise et de la tuile.

La construction de toitures végétalisées est traditionnelle dans plusieurs pays européens, notamment scandinaves.

Le mélange de terre et de végétaux enracinés sur les toits permet de réaliser une isolation phonique, une étanchéité à l'air et à l'eau, une résistance au vent et au feu, à l'aide de matériaux facilement disponibles.

L'intérêt des toitures végétalisées est particulièrement sensible en saison estivale. Elles permettent de diminuer l'absorption d'énergie solaire contribuant ainsi au maintien d'une température intérieure stable et plus fraîche.<sup>1</sup>

En absorbant la chaleur, les toits verts réduisent la charge des appareils de refroidissement des bâtiments. Appliqués largement à l'échelle d'une ville, ils peuvent atténuer l'effet d'îlot thermique réduisant considérablement la température de la ville en été. En effet, leur impact sur la température intérieure d'un bâtiment est une réduction de l'ordre de 2°C. Au niveau économique, on peut considérer qu'une diminution de 1°C de la température de surface supprime environ 5% de la demande en électricité de climatisation.

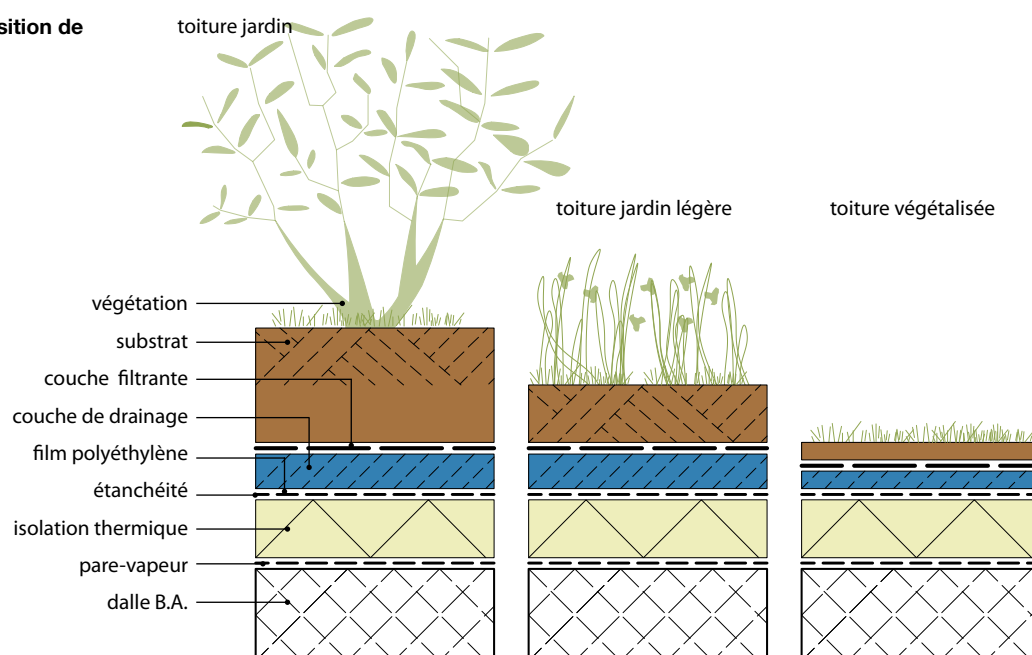
Par ailleurs, cette toiture aurait une réelle influence sur le microclimat urbain grâce aux phénomènes d'évapotranspiration et de respiration végétale. (1m<sup>2</sup> de feuillage évapore plus de 0.5 litres d'eau par jour et 1m<sup>2</sup> de gazon peut évaporer jusqu'à 2.5 litres d'eau par jour).

Au niveau de la membrane d'étanchéité, la différence de température entre une toiture classique et une toiture végétalisée va jusqu'à 30°C. L'été la végétation opère comme un rafraîchissement naturel et évite les alternances brusques de températures, prolongeant ainsi la durée de vie de l'étanchéité.

Ce type de toiture a aussi l'avantage d'être plus durable sur le long terme. Le matériau imperméabilisant ou l'étanchéité, résiste plus longtemps à l'abri des ultraviolets et des rayonnements solaires. Un goudron ou une membrane de toiture exposé au soleil peuvent atteindre une température de surface de 65°C alors que la membranes recouverte de végétaux demeure à une température de 15°C à 20°C.

Les inconvénients principaux de ce type de toiture repose sur la nécessité structurelle pour soutenir le poids propre de la terre et végétation. Ceci apporte des coûts pouvant atteindre 5 fois le prix d'une toiture classique.<sup>2</sup>

### Détails types de composition de toiture végétalisée<sup>3</sup>



1. [http://fr.ekopedia.org/Toit\\_vert](http://fr.ekopedia.org/Toit_vert)

2. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Toiture\\_vegetale](http://fr.wikipedia.org/wiki/Toiture_vegetale)

## 8. Façade végétalisée:

Le mur végétal est un écosystème vertical conçu comme un noyau écologique. C'est une paroi qui s'élève parallèlement aux murs du bâtiment à protéger. Selon son orientation et sa composition, le mur servira à la fois d'écran contre les vents dominants, contre les intempéries, le bruit, l'ensoleillement et la pollution atmosphérique.

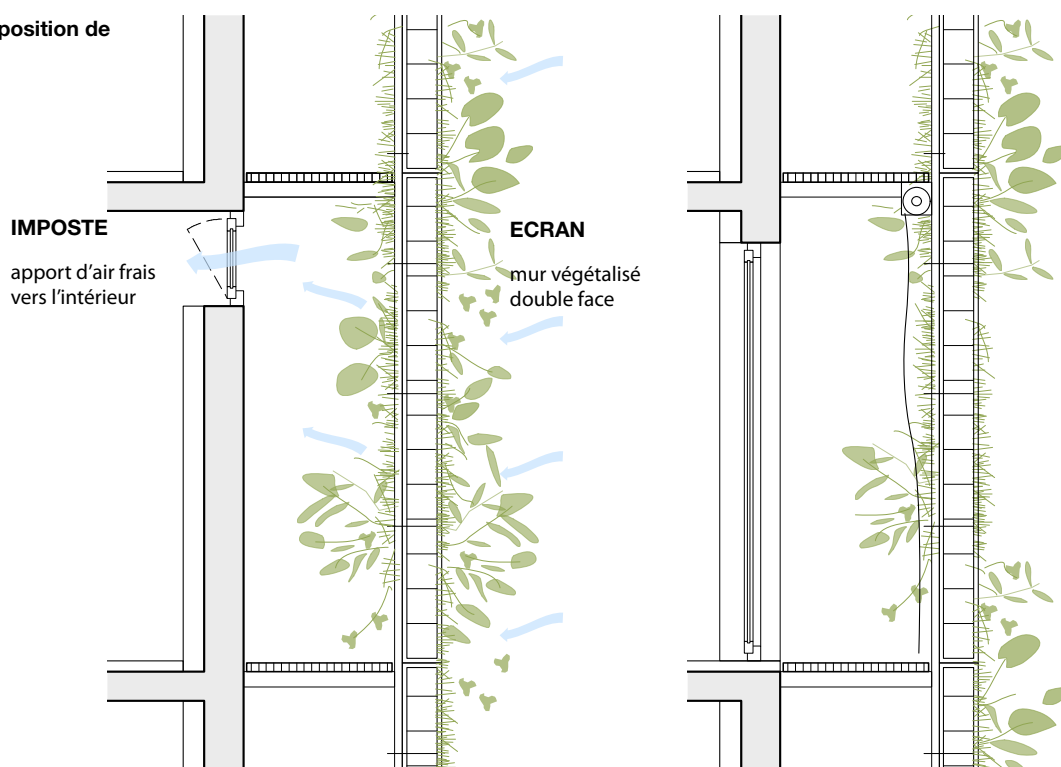
Ce mur est constitué d'une structure solide verticale, servant de support, construite parallèlement à la façade de bâtiment. La structure permet de laisser un coussin d'air entre la façade du bâtiment et le mur végétalisé, permettant ainsi de bien séparer le mur de la partie humide.

L'alimentation en eau et en matière nutritive se fait par un réseau situé en partie supérieure de la structure. La solution nutritive s'évacue le long du mur par gravité et s'infiltré dans le feutre par capillarité, de cette façon les racines ne prélèvent que ce dont elles ont besoin et ne sont pas noyées. L'eau de pluie peut très bien être utilisée à cet effet en comptant environ 200 litres/m<sup>2</sup> par an.

La couche végétale à l'effet d'un isolant thermique. Il permet une meilleure régulation thermique du bâtiment particulièrement en été, l'ensoleillement étant réduit. L'évapotranspiration de la végétation implantée contribue au rafraîchissement de l'air et à une régulation de l'hygrométrie.

Le coût de l'entretien peut être très important et compliqué si la surface est grande et si la hauteur de mur est importante. En effet, l'entretien est le même que pour toute surface plantée. Il faut tailler les végétaux pour contenir les plantes les plus envahissantes, vérifier le goutte à goutte et le minuteur pour l'alimentation d'eau, inspecter le tissu de support, apporter éventuellement de l'engrais et enfin laisser les végétaux morts, ou les enfouir dans les poches de terre, afin de maintenir le taux de matière organique.

Détails types de composition de façade végétalisée

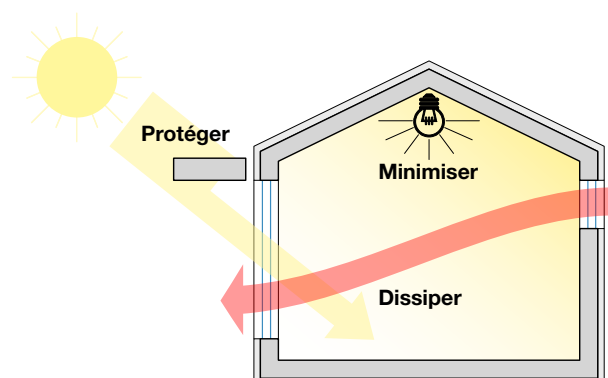


## 9. Architecture bioclimatique:

L'architecture bioclimatique vise à tirer le meilleur parti des conditions d'un site et de son environnement pour une architecture naturellement la plus confortable pour ses utilisateurs en employant le minimum d'énergie additionnelle pour y parvenir.

Cette approche n'est pas une invention du 20<sup>ème</sup> siècle, mais constitue l'architecture traditionnelle développée logiquement pour finalement être occultée lors de l'arrivée des techniques permettant d'ignorer les contraintes climatiques. Un exemple assez parlant, et présenté plus tôt, est la cheminée solaire développée au Moyen-Orient.

Il s'agit d'une architecture logique qui s'est vu être appropriée par la tendance actuelle des constructions écologiques.<sup>2</sup>



1. [http://fr.ekopedia.org/Façade\\_double\\_peau](http://fr.ekopedia.org/Façade_double_peau)

2. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture\\_bioclimatique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_bioclimatique)

## CATEGORIE D - CONTROLE

Le dernier chapitre présenté sert d'information de comparaison par rapport aux possibilités moins consommatrice en électricité. Ce type d'installation est le plus répandu actuellement et permet une très bonne maîtrise de l'air intérieur même dans les cas nécessitant un fort renouvellement d'air journalier.

On retrouve aussi très souvent un couplage avec des panneaux photovoltaïques pour alimenter le système en électricité.

### 10. Ventilation mécanique contrôlée:

Ce type d'installation couvre un ensemble de dispositifs mécaniques destinés à assurer le renouvellement de l'air à l'intérieur des pièces, notamment pour les pièces humides ou pièces d'eau (cuisines, salles de bain).

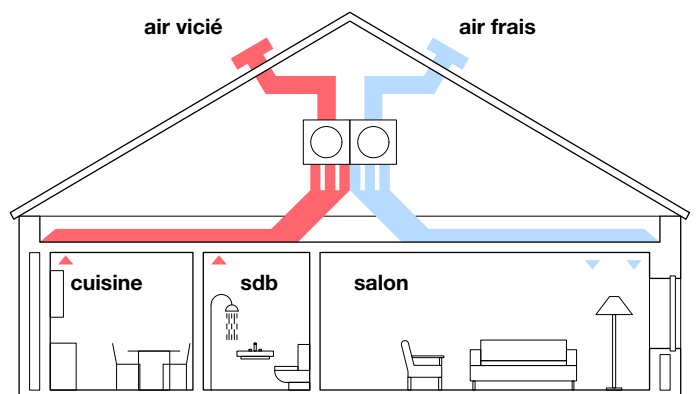
Dans le cas de la ventilation à simple flux, le plus répandu encore maintenant, le système est mis en dépression par un extracteur d'air. Un ventilateur placé dans les combles ou en toiture, aspire l'air par des conduits placés dans les pièces humides.

La circulation de l'air est à sens unique, de l'intérieur vers l'extérieur et le contrôle du volume d'air renouvelé par heure se fait manuellement par les occupants.

Le ventilation de type double-flux, permet quant à lui d'insuffler de l'air frais dans les pièces sèches (salon, chambres), l'extraction se fait de la même manière qu'en simple flux par les pièces humides. De plus, ce système permet de limiter les déperditions thermiques liées au renouvellement de l'air. L'air froid provenant de l'extérieur est amené dans la maison à l'aide d'un réseau de gaines. Filtré, l'air neuf traverse un échangeur et récupère environ 90% de la chaleur de l'air vicié évacué avant d'être distribué dans les pièces de vie.

Un ensemble ventilateur-échangeur de chaleur ou monobloc de ventilation installé dans les combles ou dans un local technique en sous-sol est relié à des bouches d'extractions placées en cuisine, salles de bains, wc et à des bouches d'insufflations placées en chambres et séjour. Ce système permet de récupérer des calories sur l'air extrait afin de tempérer l'air neuf insufflé.

En général, une ventilation naturelle se traduit par un échange d'air frais pas assez ou trop élevé, ce qui a pour résultat un gaspillage d'énergie pour le chauffage ou la climatisation. La ventilation mécanique peut-être contrôlée facilement et permet la récupération de la chaleur et la filtration d'air, mais elle consomme de l'électricité et, par conséquent, contribue à l'émission de gaz à effets de serre. La ventilation hybride, qui combine les avantages de ces deux modes de ventilation, pourrait permettre de réduire l'énergie utilisée pour la ventilation des bâtiments. Ce système est piloté suivant les conditions climatiques et bascule automatiquement entre mode naturel et le mode assistance mécanique.



## EXEMPLES DE REALISATIONS

### OMM - Organisation Météorologique Mondiale

Présentation de Brodbeck-Roulet SA:

Bâtiment emblématique du Siège de l'Organisation Météorologique Mondiale se situant sur l'avenue de la Paix à Genève. L'immeuble administratif de huit étages à haut rendement énergétique comprend : rafraîchissement naturel, façades double peau et mobile côté Sud, salle de congrès, salles de conférences, bibliothèque. Le restaurant et sa terrasse, situés en attique et protégés des vents par la double peau de façade, offre une vue majestueuse sur le jardin botanique et le lac. <sup>1</sup>

### Concept énergétique

Présentation de Erte SA:

- Pas de climatisation artificielle trop gourmande en énergie, mais un système de ventilation naturelle astucieux et révolutionnaire à multiples facettes: façades dynamiques, ventilation double flux, puits canadien, ventilation naturelle nocturne, etc. Cet ensemble intègre, en plus, les fonctions de chauffage, refroidissement et humidification. La ventilation est presque entièrement intégrée dans la structure porteuse du bâtiment. Ceci permet de supprimer faux planchers et faux plafonds et de récupérer l'équivalent d'un étage, à savoir plus de 5 mio. de CHF.-

Grâce à plus de 1200 impostes motorisés, 10 millions de m<sup>3</sup> d'air (en d'autres termes, plus de 100 fois le volume du bâtiment) traversent chaque nuit d'été tout le bâtiment évacuant ainsi 3 à 4°C de chaleur accumulé pendant la journée.

Le bâtiment est équipé du plus grand puits canadien de Suisse installé dans les fondations épaisses du parking pour préchauffer et pré-rafraîchir tout le bâtiment avec une puissance de l'ordre de 250 à 350 kW.

Les escaliers de secours contribuent aussi au rafraîchissement du bâtiment et ceci de manière verticale. Ces trois escaliers de 40 m de haut et munis de clapets motorisés deviennent des immenses cheminées d'air durant la nuit. L'air, rentrant par les 36 ouvertures latérales réparties à chaque étage et s'échappant tout en haut par de grandes ouvertures, atteint une vitesse de 50 km/h au 8ème étage.

- Une production couplée d'énergie thermique et électrique de 300kW<sub>el</sub> pour maîtriser la consommation de courant électrique, et surtout pour la réduire aux heures de pointe (groupe de secours, délestage, production de chaleur pour le groupe froid (370 kW) très modeste pour ce type de bâtiment et les locaux à climatiser).



- De manière à exploiter au maximum la lumière naturelle, le bâtiment est entièrement vitré. Ce type de construction a nécessité une conception énergétique particulière, fondée sur l'effet «thermos» avec plusieurs couches isolantes extérieures: une double peau (ou double façade). Pour réduire les infiltrations de la bise hivernale bien connue des genevois, une paroi vitrée fermée précède la façade nord et forme un bouclier. Pour lutter contre la chaleur estivale sans faire appel à la climatisation, la façade sud est composée de brise-soleil mobiles. En hiver, ces derniers se ferment et recouvrent le bâtiment d'un véritable manteau de protection, tant au nord qu'au sud. <sup>2</sup>



1. <http://www.brodbeck-roulet.com/realisation.php?pid=SigedelOMMWO11>

2. [http://www.erte.ch/fr/refs/refs\\_omm.htm](http://www.erte.ch/fr/refs/refs_omm.htm)

## BRE - Building Research Establishment

Architectes: Feilden Clegg Architects

Ingénieurs techniques spéciales: Max Fordham and Partners

Situé à Watford au nord de Londres, construit en 1997, le bâtiment est rectangulaire, orienté nord-sud, et a une surface brute totale d'environ 2 000 m<sup>2</sup> sur trois niveaux, pour une occupation d'environ 100 personnes. Il s'articule en deux parties autour d'un hall d'entrée vitré.

La partie est, la plus grande, réunit les bureaux : bureaux individuels au nord et bureaux paysagers au sud. La partie ouest, plus courte, réunit les salles de réunion et les sanitaires. Une salle de séminaire est annexée au rez-de-chaussée.

### Concept énergétique

La ventilation est entièrement naturelle et fonctionne grâce à trois composants; Les dalles de plafond des deux premiers niveaux qui ont une forme particulière, les petites fenêtres hautes commandées par gestion centrale informatisée et les cheminées de ventilation en façade sud.

L'air chaud qui entre dans les cheminées, réchauffé par les apports internes, monte naturellement pour être évacué au-dessus de la cheminée. Le mouvement de l'air à travers l'extrémité de la cheminée favorise également le tirage.

Les parois extérieures des cheminées orientées au sud sont constituées de blocs de verre afin d'augmenter encore la température de l'air dans les cheminées par les apports solaires et d'améliorer ainsi le tirage. On constate sur place que le bénéfice de ces apports solaires n'est pas immédiat. Les briques de verre et les autres parois de la cheminée ayant une certaine inertie, la chaleur apportée par les apports solaires n'est transmise à l'air qu'en soirée, ce qui est très favorable à la ventilation nocturne.

Des ventilateurs (80 W chacun) sont prévus en partie supérieure des cheminées pour assurer la ventilation lorsque ce n'est pas possible de façon naturelle (pas assez de différence de pression entre les deux façades pour la ventilation transversale; pas assez de vent ou température de l'air dans la cheminée trop basse pour ventilation par les cheminées). Néanmoins, ces ventilateurs n'ont jamais été utilisés.

Les critères de confort de conception étaient :

- pas plus de 25°C plus de 5 % du temps,
- pas plus de 28°C plus de 1 % du temps.

Le bâtiment a respecté ces critères sans utilisation du refroidissement mécanique.

Par exemple, en 1998, les 25°C ont été dépassés pendant 40 heures (2 % du temps). Pour une journée typique de l'été 98, on a relevé 23°C pour les deux premiers niveaux et de 25°C pour le troisième niveau, et cela pour une température extérieure de 27°C. Ces valeurs sont à comparer avec une température de 31°C dans un ancien bâtiment du site pris comme référence.

La consommation espérée était de 83 kWh/m<sup>2</sup> par an, dont 36 kWh/m<sup>2</sup> pour l'électricité et 47 kWh/m<sup>2</sup> pour le chauffage. La consommation mesurée est de 135 kWh/m<sup>2</sup> par an (46 en électricité / 89 en chauffage). Cette différence est attribuée à l'augmentation de l'équipement informatique par rapport au projet initial et au comportement des occupants.

Les éléments techniques nécessaires à la ventilation naturelle ont un coût qui compense sans doute l'économie d'équipements techniques mécanique. Néanmoins, ces éléments tels que la dalle sinusoïdale et les cheminées contribuent, en plus de leur rôle technique, à la forme architecturale du bâtiment.

Relativement à l'investissement, l'encombrement du système a également son importance. Sur ce point, la comparaison avec un bâtiment climatisé est difficile à faire :

le bâtiment ne comprend pas de gaine verticale pour la ventilation, et les gaines horizontales sont limitées; il n'a pas non plus d'encombrement pour une machine frigorifique et un caisson de traitement d'air.





## TOUR OFS - Office fédéral de la statistique

Architectes: Bauart Architectes SA

Ingénieurs énergies: Sorane SA

Développement durable et budget restreint. Implanté à Neuchâtel, le premier bâtiment de l'Office fédéral de la statistique (OFS) se distingue par sa géométrie longiligne qui souligne les voies CFF sur une étroite bande de terrain voisinant la gare. Son architecture et sa conception assurent une image moderne et de technicité, traduisant la nature des activités auxquelles le bâtiment est dévolu.

Aujourd'hui, un deuxième volume élancé sur une hauteur de 50 m et fort de quinze niveaux, vient compléter l'installation.

Le bâtiment marque la tête du complexe OFS, lequel s'imposera lui-même comme un premier élément du développement prévu pour ce secteur, appelé à faire figure de modèle urbanistique.

Le programme de cette construction entièrement vouée à des activités de type administratif, se définit autour du thème du développement durable, l'immeuble devant répondre par ailleurs à de nombreuses contraintes techniques et devant être réalisé dans le cadre d'un budget très comprimé.

### Concept énergétique

L'approche dans le cadre de ce projet a consisté à réduire la demande de chaleur à un niveau nettement inférieur à celui de réalisations courantes d'aujourd'hui (Valeur cible de la Recommandation SIA 380/1) par la valorisation systématique des rejets de chaleur (transfert d'air dans le bâtiment en utilisant les espaces de circulation comme vecteurs), et le recours à une installation solaire avec stockage saisonnier de chaleur couvrant une partie des besoins de chaleur restants.

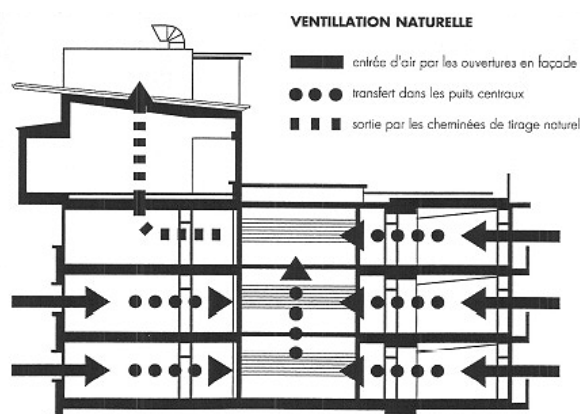
L'autre point important étant de réduire la demande d'électricité en exploitant le refroidissement passif pour le centre de calcul, et la ventilation naturelle pour les bureaux (utilisation de l'effet de cheminée des puits de lumière), ainsi qu'en tirant parti au maximum de la lumière naturelle.

Les mesures suivantes sont les éléments principaux de la réduction de la demande de froid: la suppression des installations techniques de ventilation des bureaux Nord et Sud remplacées par une ventilation naturelle. (voir figure ci-dessous). Le refroidissement du centre informatique est assuré la plupart du temps par un échange de chaleur avec l'air extérieur.

La diminution des besoins de froid, la rationalisation des pompes et la réduction de leur temps de fonctionnement, la diminution des ventilations mécanisées et les vitesses réduites de l'air dans les canaux, la simplification des installations en général sont autant de mesures diminuant la consommation d'électricité. L'utilisation et la valorisation de la lumière naturelle vont de pair avec les exigences architecturales et l'économie d'énergie.

La demande de chaleur initiale est réduite principalement par la valorisation des rejets de l'air vicié des locaux borgnes et la valorisation des dégagements de chaleur de toutes les machines en fonction (ordinateurs, photocopieuses, etc.).

Cette mise en valeur est réalisée par un système central de déplacement d'air chaud, qui utilise les couloirs du bâtiment comme moyen de transmission à la place d'un réseau de gaines. La demande de chaleur résiduelle est couverte en partie par l'installation solaire. Le reste est couvert par un chauffage à gaz.



## ÉCOLE «TANGA»

Architectes: CNA - Christer Nordström Architects en coopération avec Efem Architects  
Ingénieurs énergies: Ake Blomsterberg, WSP - SP The Swedish Testing Institute

L'école, située dans une zone suburbaine, se compose de 4 bâtiments de 2 niveaux, pour une surface totale de 9'350 m<sup>2</sup>.

Les bâtiments datent de 1968. Ils ont été partiellement rénovés en 1989 (nouvelles fenêtres) et en 1991 (amélioration de l'isolation thermique). Une nouvelle rénovation a eu lieu en 2000.

L'aile B, d'une surface de 3'672 m<sup>2</sup>, était équipée d'un système de ventilation double flux qui a été remplacé, lors de cette dernière rénovation, par un système de ventilation hybride : une ventilation naturelle avec cheminée solaire, mais assistance d'un ventilateur lorsque nécessaire.

Le temps de retour calculé sur l'ensemble des investissements est de l'ordre de 17 ans. Mais ce calcul ne tient pas compte du fait qu'une rénovation était de toute façon nécessaire à cause de la vétusté du matériel, ni de l'amélioration du confort.

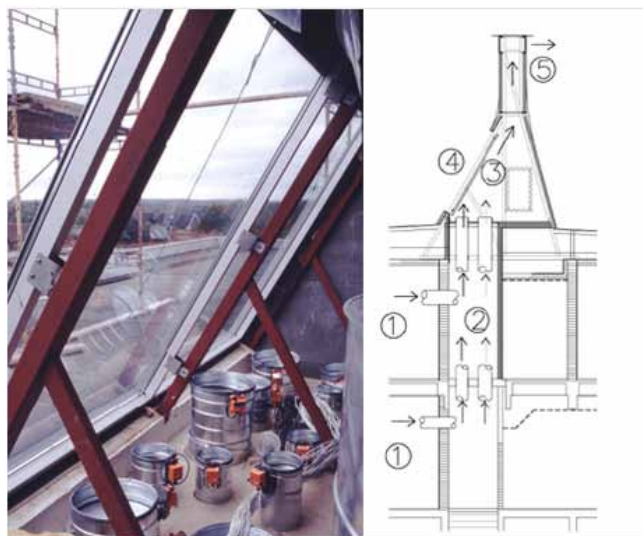
Les classes sont ventilées avec de l'air extérieur. Il est introduit par des grilles en façade (3 ou 4 par classe), et réchauffé dans des conduits circulant au-dessus des convecteurs, avant d'être libéré dans le local. Les grilles de façade sont dessinées et équipées pour éviter l'intrusion de pluie, neige, insectes, etc. Elles peuvent, ainsi que les conduites d'air, être nettoyées facilement à la main. Les occupants peuvent ouvrir une partie des fenêtres.

Cette ventilation avec de l'air extérieur non filtré est possible grâce à l'environnement suburbain de l'école, sans bruit ou pollution significative.



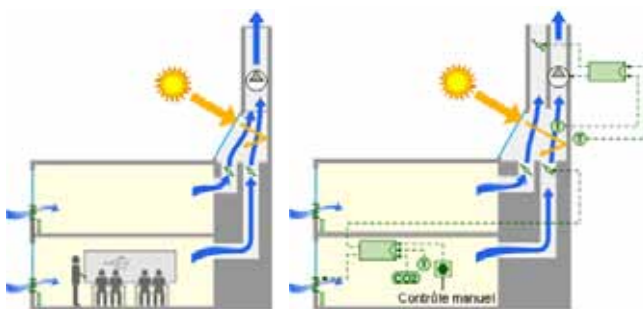
L'air est extrait naturellement par des cheminées solaires de 6 m de haut : un vitrage au pied de la souche de cheminée réchauffe l'air extrait ce qui favorise l'effet d'aspiration. Lorsque les conditions extérieures ne sont pas favorables et que le débit d'air extrait naturellement n'est pas suffisant, un ventilateur à fréquence variable permet de compenser.

Les registres d'entrée et d'extraction d'air de chaque classe sont gérés automatiquement en fonction d'une sonde CO<sup>2</sup>. Ils commencent à s'ouvrir lorsque la concentration de CO<sup>2</sup> dépasse 1 000 ppm, et sont complètement ouverts au-delà de 1 500 ppm. Le professeur a toujours la possibilité de déroger au mode automatique et d'ouvrir ou de fermer manuellement les registres dans une plage de 50 à 100 % d'ouverture. Pour l'aider dans cette gestion manuelle, une lampe rouge s'allume dans la classe si le niveau de CO<sup>2</sup> dépasse 1 000 ppm.



Le tirage des cheminées est aussi régulé automatiquement en fonction de la différence de température mesurée entre le pied de la souche de cheminée et l'extérieur. Si elle n'est pas suffisante, le ventilateur démarre et le registre du by-pass est fermé.

Le prix d'investissement et les économies d'énergie réalisées sur le chauffage grâce au système de ventilation hybride utilisé sont du même ordre de grandeur que ceux qui résulteraient du choix d'un système de ventilation traditionnel double flux avec récupérateur de chaleur et simple gestion horaire. Par contre ce système permet une économie conséquente sur les consommations électriques des ventilateurs.





## CODHA - Immeuble d'habitation

Architectes: Ganz & Muller

Ingénieurs énergies: Dominique Hirt

Les deux immeubles de la SCHG, de la coopérative Rhône-Arve et de la Codha viennent compléter la réalisation du quartier du Pommier, où une vingtaine de bâtiments ont été construits en dix ans. Situé sur la commune du Grand-Saconnex, entre – mais à distance! – de la piste de l'aéroport de Cointrin et le quartier des organisations internationales, ce terrain de 98 000 m<sup>2</sup> doit son nom à la famille genevoise qui en était propriétaire.

Le bâtiment de la CODHA est construit selon des normes Minergie Plus et Eco. Minergie Eco implique le recours à des matériaux naturels et des listes de critères relatifs et absolus. Toutes les colles, tout ce qui contient des formaldéhydes est interdit, tout comme les mousses utilisées par les menuisiers.

Au premier coup d'oeil, les éléments, non porteurs, qui caractérisent ces façades actives font penser à des stores à lamelles de bois qui auraient été mis sous verre. Pour le fonctionnement, le verre solaire laisse pénétrer la quasi totalité de l'énergie solaire à l'intérieur du dispositif. Et les lamelles en bois, de par leur inclinaison, permettent d'amener la chaleur produite par l'énergie lumineuse dans la composition de la façade. L'inclinaison des lamelles est calculée pour obtenir les meilleurs résultats tant en hiver qu'en été. Le principe de fonctionnement du concept Lucido® s'apparente à celui du mur trombe.<sup>1</sup>



La façade solaire Lucido® récupère de l'énergie solaire et améliore l'efficacité énergétique du bâtiment en conséquence. La lumière du jour parvient aux lamelles de l'absorbeur. La façade emmagasine l'énergie issue de la lumière solaire et laisse entrer une partie de la chaleur à l'intérieur de la maison.

La façade Lucido® remplit une fonction isolante très importante grâce à l'énergie stockée.

En été, lorsque le soleil est haut, les rayons solaires sont, d'une part, réfléchis par la structure du verre solaire et d'autre part, confrontés aux lamelles inclinées de l'absorbeur.

Du fait de l'inclinaison des lamelles, la majeure partie de l'absorbeur est ombragée ; ainsi, seuls les chants des lamelles sont en contact avec la lumière. La chaleur contenue dans la lame d'air est évacuée par convection thermique. Ce processus empêche ainsi une surchauffe du système.

Un mur conventionnel en bois ou en béton, nouvellement construit ou existant, assure la fonction statique de la façade; les lames de bois sont fixées sur le mur. Un verre solaire est installé sur des supports en aluminium, en bois ou en métal; ces supports distancient le verre de la lame bois et constituent ainsi un espace d'air.<sup>2</sup>



1. <http://www.habitation.ch/images/sommaire1-2.11.pdf> 2. <http://www.lucido-solar.com/>

## TOUR ELITHIS - DIJON

Architectes: Jean-Marie Charpentier - Cabinet Arte-Charpentier Paris

Ingénieurs énergies: Elithis Ingénierie

Livrée en 2009, la 'Tour Elithis', 1er bâtiment de bureaux à énergie positive à coût standard au monde.

En plaçant l'utilisateur final au cœur des réflexions, la Tour Elithis, immeuble de bureaux à énergie positive, est reconnue comme l'un des bâtiments les plus sobres au monde. La Tour Elithis est un emblème du bâtiment tertiaire 'nouvelle génération' et la preuve qu'il est possible de construire des bâtiments de haute performance énergétique et environnementale à prix standard.<sup>1</sup>

La tour Elithis a donc été conçue comme un bâtiment à énergie positive, produisant davantage d'énergie qu'il n'en consomme. Dans le détail, la consommation estimée du bâtiment sera de 70 kWh/m<sup>2</sup>/an. Les concepteurs espèrent réduire cette consommation de 20 kWh/m<sup>2</sup>/an au minimum grâce à ce qu'ils appellent «l'éco-management», c'est-à-dire la sensibilisation des employés aux gestes permettant de réduire la consommation grâce à des multiprises permettant de couper totalement l'alimentation des appareils informatiques ; en incitant les employés à emprunter les escaliers décorés de fresques plutôt que l'ascenseur ; et en adaptant l'éclairage en fonction de la luminosité naturelle.

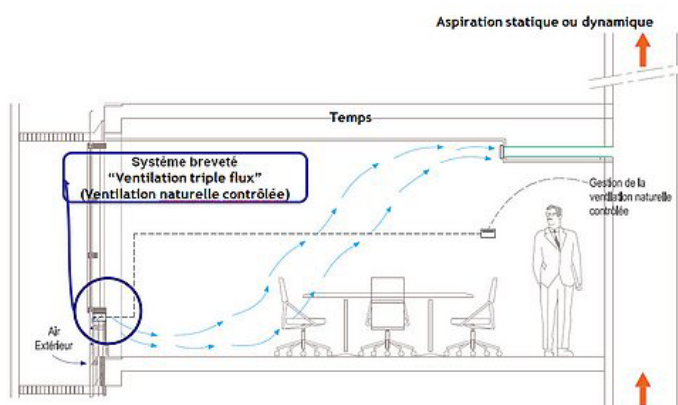
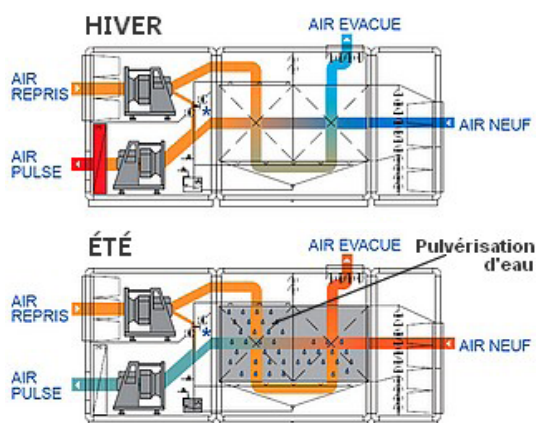
La construction d'un «bouclier solaire» a été nécessaire afin de limiter les problèmes de surchauffe dans ce bâtiment vitré sur 75 % de la façade. Cette dernière est ainsi recouverte partiellement d'une maille en tôle plate cisailée. L'angle créé par les lames permet de laisser entrer une partie de la chaleur en hiver et en mi-saison alors qu'en été, elle ne laisse rentrer aucun rayon solaire direct mais laisse pénétrer la lumière.



Pour renouveler l'air et rafraîchir le bâtiment dont les fenêtres ne s'ouvrent pas, un système breveté de ventilation triple flux a également été intégré.

Elithis Ingénierie a en effet mis au point une ventilation permettant à la fois de renouveler l'air du bâtiment, tout en récupérant les calories de l'air extrait comme dans un système de ventilation double flux classique. Il s'agit d'un système de volets ouvrants intégrés dans les parties opaques de la façade extérieure permet d'introduire l'air extérieur afin de rafraîchir la température du bâtiment l'été.

Plus innovant encore, quand le triple flux ne suffit plus, la centrale de refroidissement adiabatique prend le relais. Une fois refroidi l'air extrait est amené vers un échangeur de chaleur et refroidit ainsi l'air entrant au travers d'un échangeur.



1. <http://www.elithis.fr/2012/01/30/tour-elithis/>

2. <http://www.ddmagazine.com/1131-tour-a-energie-positive-Elithis-Dijon.html>

3. <http://fr.lombard.free.fr/>



**Noé21 est l'acronyme de Nouvelle Orientation Economique pour le 21<sup>e</sup> siècle  
ONG indépendante spécialisée dans les solutions au changement climatique  
Membre du Bureau européen de l'environnement et du Réseau action climat Europe CAN-E  
Accrédité à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques**

**Cet ouvrage peut-être commandé auprès de:  
Noé21 - Quai Charles Page 19 - 1205 Genève – Suisse  
Tel : +41 22 329 51 36 - [www.noe21.org](http://www.noe21.org) - [info@noe21.org](mailto:info@noe21.org)**



**Dans la même collection:**

- **Biochar, solution carbone acceptable ?**, février 2011 [PDF]
- **Les Dirigeables: une alternative à l'aviation civile**, octobre 2010 [PDF]