



ENERGY
advisors



Comment éviter la surchauffe d'un
bâtiment tertiaire sans avoir recours à
la climatisation ?

18 juin 2019

Contact :
energie@bruxeo.be
02/210.53.03



Programme de la matinée

| | | |
|-------|--|---|
| 9u | <i>Accueil des participants</i> | |
| 9u15 | Présentation des services des Energy advisors de BRUXEO et du soutien financier du pack énergie bruxellois | BRUXEO |
| 9u35 | Gérer les apports externes de chaleur : exposition du bâtiment, protection solaire et isolation. Diminuer les apports internes de chaleur. | Jacques Claessens - Architecture et climat |
| 10u45 | <i>Pause café</i> | |
| 11u05 | Augmenter l'inertie du bâtiment. Refroidissement par la ventilation naturelle ou mécanique (free cooling) de nuit. Refroidissement par l'eau (slab cooling). | Jacques Claessens - Architecture et climat |
| 12u30 | <i>Lunch sandwiches</i> | |



La Confédération Bruxelloise des Entreprises à profit social est une confédération patronale intersectorielle et pluraliste:



BRUXEO

OBJECTIFS :

- représenter et **défendre** le secteur à profit social auprès des pouvoirs publics et des partenaires sociaux
- **fournir des services de qualité** à ses membres.

MISSIONS :

- Assurer le suivi des accords sociaux bruxellois concernant le secteur à profit-social
- **Défendre le fonctionnement** du secteur et promouvoir ses principes
- Coordonner, représenter et défendre les **intérêts patronaux** intersectoriels au niveau de la Région de Bruxelles-Capitale en participant au dialogue socio-économique.
- **Promouvoir le développement** du secteur à profit-social, privé comme public.



Le secteur à profit social



Enseignement



Aides et soins à domicile



Aide sociale et soins de santé



Entreprises de travail adapté



Socioculturel

Privé et public!



Etablissements et services d'éducation et d'hébergement



Organisations d'action sociale (profit social)



Hôpitaux et services de santé



Le pack énergie secteur à profit social

- ✦ Pack énergie : coaching énergétique pour les entreprises bruxelloises
- ✦ BRUXEO en partenariat avec ICEDD asbl – bureau d'étude.
- ✦ Reconnu et subsidié par Bruxelles environnement
- ✦ 7 différents services
- ✦ Bilingue
- ✦ Gratuit



ENERGY
advisors



bruxelles
environnement
leefmilieu
brussel
.brussels 



Les services du pack énergie secteur à profit social

Séminaires thématiques, workshop et atelier pratiques





Les services du pack énergie secteur à profit social

Visite et quick scan énergétique de votre bâtiment



- ✦ Amélioration de la Performance énergétique du bâtiment
- ✦ Inconfort thermique
- ✦ Temps de retour estimatifs
- ✦ Priorisation des mesures
- ✦ Rapport écrit



Les services du pack énergie secteur à profit social

Check up chaufferie :



- ✦ Régulation / programmation
- ✦ Campagne de mesures t°
- ✦ Validation du fonctionnement attendu
- ✦ Vérification condensation
- ✦ Conseil en hydraulique



Les services du pack énergie secteur à profit social

Assistance travaux :



Travaux bien réalisés et énergétiquement performants



Les services du pack énergie secteur à profit social

Prêt de matériel :

Le wattmètre



Sonde CO2



L'enregistreur de température



Luxmètre





Les services du pack énergie secteur à profit social

Animation énergie pour le personnel :





Méthodologie

Accompagnement global et
méthodologique

Structure pour la gestion de l'énergie:
Responsable énergie et Eco-team

Connaissance et suivi
des consommations

Amélioration de la
performance énergétique
des bâtiments

Sensibilisation des
occupants



Objectifs

Objectif quantitatif :
baisse des
consommations
d'énergie
(chauffage + électricité
+ eau)



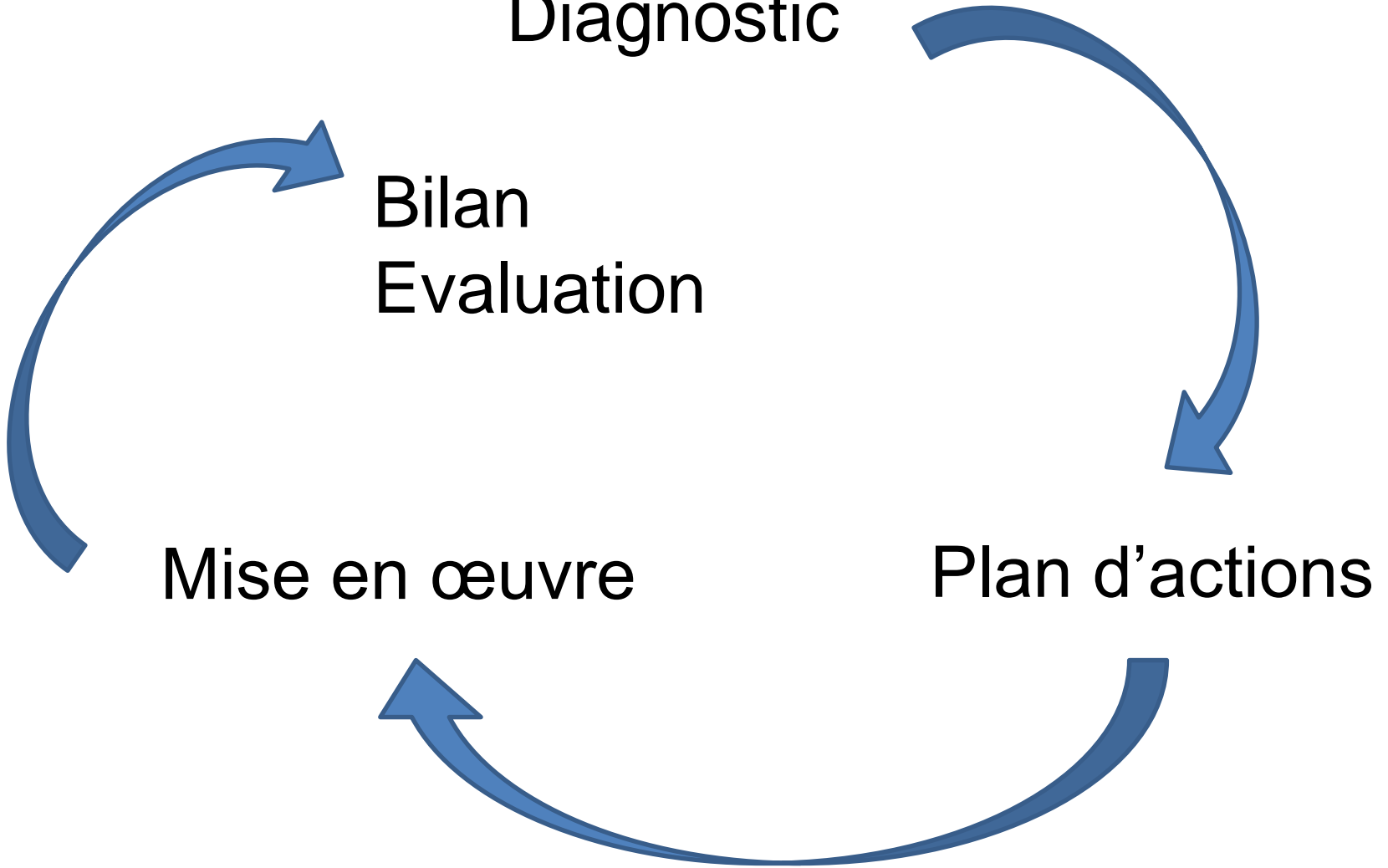
Objectif qualitatif :
instauration d'une
politique de gestion de
l'énergie pérenne

Diagnostic

Bilan
Evaluation

Mise en œuvre

Plan d'actions





Soutien à l'investissement du pack énergie

✦ Pour qui?

- ✦ Indépendants, TPE et PME
- ✦ ASBL
- ✦ Services à la collectivité gérés par un pouvoir public

✦ Conditions d'Eligibilité

- ✦ Situé en Région de Bruxelles-Capitale
- ✦ Bâtiment de plus de 10 ans
- ✦ Locaux à 100% professionnel
- ✦ Diagnostic énergétique du bâtiment
- ✦ Réalisé par des entrepreneurs professionnel



Soutien à l'investissement du pack énergie

✦ Postes non couverts par les primes énergie

- ✦ Relighting
- ✦ Isolation conduit chauffage
- ✦ Equipements énergétiquement performants des cuisines des collectivités
- ✦ Optimisation des installations de chauffage
- ✦ Protection solaire
- ✦ Toitures vertes
- ✦ ...



Soutien à l'investissement du pack énergie

- ✦ Montant min des travaux éligibles (TTC): 1.000€
- ✦ Plafond (TTC): 15.000 € par demandeur par année civile
- ✦ Montant du soutien :
 - ✦ 40% de la facture des travaux < 50 ETP
 - ✦ 30% de la facture des travaux pour les autres
- ✦ Demande de promesse de prime avant les travaux

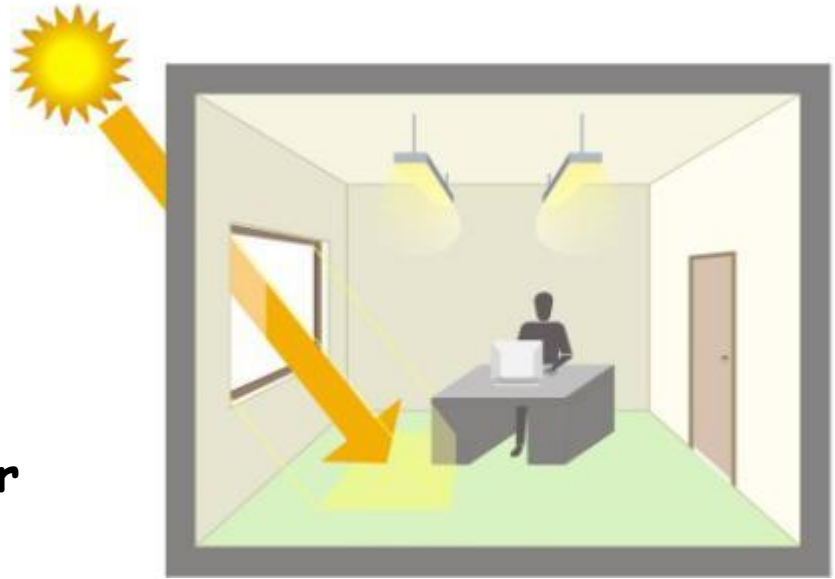
! Tous les documents disponibles sur:

<https://energie.bruxeo.be/fr/soutien-a-linvestissement-pour-le-secteur-a-profit-social-bruxellois>

Quelle est l'origine de la surchauffe d'un local ?



Bilan thermique d'hiver :



Exemple :

bureau pour 2 personnes (4m x 5m x 3m)
Entouré d'autres bureaux,
surface au sol de 20 m²,
volume de 60 m³
un jour ensoleillé, avec 0°C extérieur

Déperditions :

- Mur de façade :
 $0,4 \text{ W/m}^2\text{K} * 8 \text{ m}^2 * (20-0) \text{ K}$
 $+ 1,5 \text{ W/m}^2\text{K} * 4 \text{ m}^2 * (20-0) \text{ K}$
 $= 184 \text{ W}$
- Toiture :
 $0,3 \text{ W/m}^2\text{K} * 20 \text{ m}^2 * (20-0) \text{ K}$
 $= 120 \text{ W}$
- (Ventilation :
 $60 \text{ m}^3 * 0,34 \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{K} * (20-0) \text{ K} = 400 \text{ W}$)

TOTAL : 304 ... 704 W

Apports :

- soleil fen. :
 $150 \text{ W/m}^2 * 4 \text{ m}^2 = 600 \text{ W}$
- 2 ordinateurs : = 160 W
- Eclairage : = 200 W
- 2 occupants : = 140 W

TOTAL : = 1100 W



METHODE DE CALCUL POUR L'EVALUATION DU BILAN FRIGORIFIQUE

LOCAL:

CLIENT DATE
 ADRESSE TELEPHONE
 EFFECTUE PAR

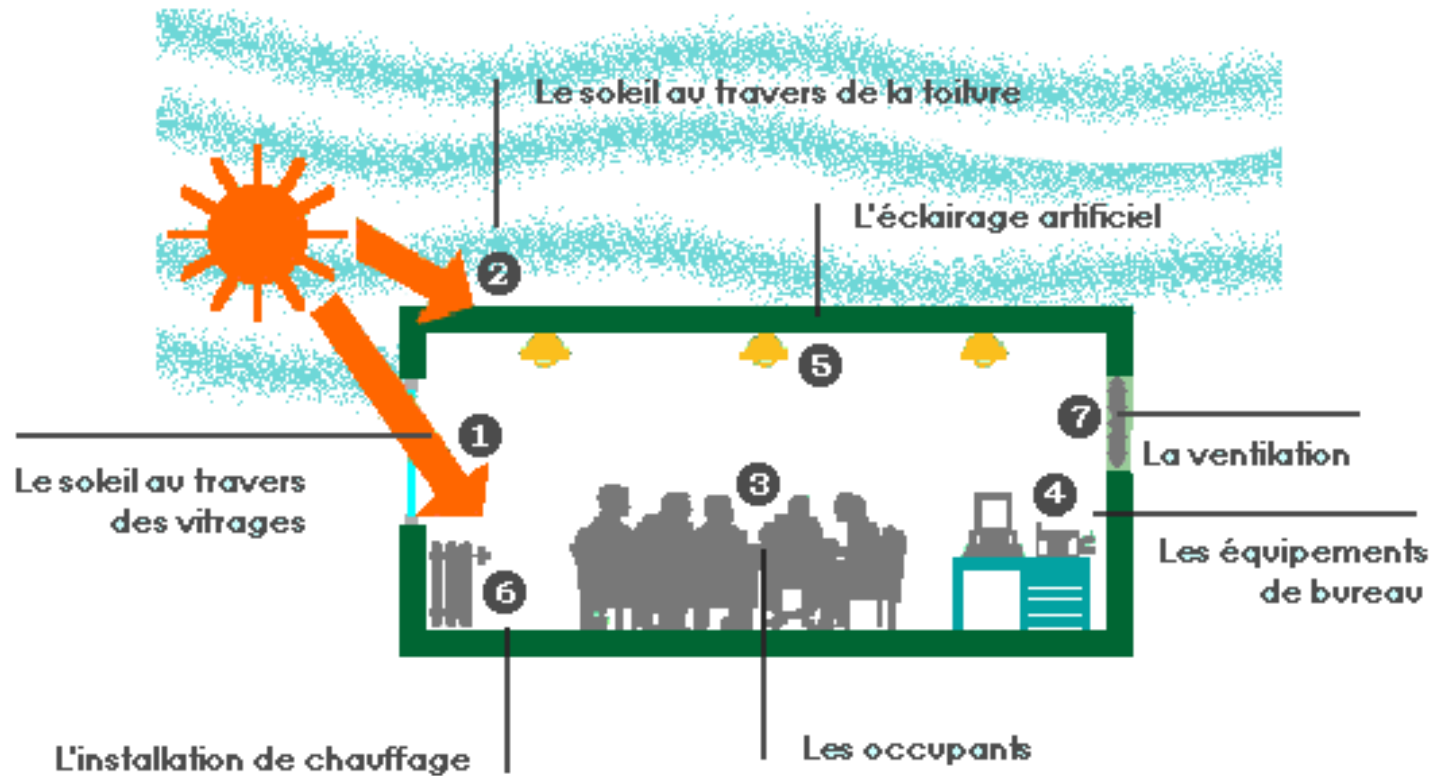
VALABLE POUR LAT. 50° NORD CONDITIONS EXTERIEURES: 30°C CONDITIONS D'AMBIANCE: 24 C., 50% R.V

| DESCRIPTION | ORIENTATION PRINCIPALE | UNITE | MAX WATTS | COEF-FICIENT | UNITES | TOTAL |
|--|---|----------------------|-----------|--------------|--------|-------|
| 1. FENETRES EXPOSES AU SOLEIL (n'en prendre qu'une seule en même temps) | NE ou S | m ² | 200 | | | |
| | E - SE ou SO | m ² | 250 | X | X | |
| | O | m ² | 300 | | | |
| | NO | m ² | 180 | | | |
| COUPOLES HORIZONTALES | | m ² | X 400 | X | X | |
| 2. TOUTES FENETRES NON COMPRISES EN 1 | | m ² | X 60 | X 1 | X | |
| 3. MURS EXPOSES AU SOLEIL (prendre la même orientation qu'en 1) | NO + E + SE | m ² | 20 | | | |
| | O + SO | m ² | 30 | X | X | |
| | S | m ² | 25 | | | |
| 4. TOUS LES MURS NON COMPRIS EN 3 | | m ² | X 8 | X 1 | X | |
| 5. MURS INTERIEURS et CLOISONS | Tous murs ou cloisons intérieurs adjacents à un local non climatisé | m ² | X 5 | X 1 | X | |
| 6. PLAFOND ou TOITURE (prendre l'un ou l'autre) | - Local non climatisé au-dessus | m ² | 4 | | | |
| | - PLAFOND avec mansarde au-dessus | m ² | 30 | | | |
| | - TOIT plat nu | LOURD m ² | 40 | | | |
| | | LEGER m ² | 50 | | | |
| | - TOIT PLAT avec plafond | LOURD m ² | 30 | X | | X |
| | LEGER m ² | 50 | | | | |
| 7. PLANCHER | local non-climatisée au-dessus, | m ² | 5 | | | |
| | sur chaufferie | m ² | X 20 | X 1 | X | |
| | sur caves ou vide | m ² | 0 | | | |
| 8. OUVERTURE PERMANENTE A RUE A UN LOCAL NON CLIMATISE | | m ² | X 200 | X 1 | X | |
| | | m ² | X 110 | X 1 | X | |
| 9. ECLAIRAGE ET APPAREILS ELECTRIQUES en fonctionnement | | W | X 1 | X 1 | X | |
| | Tubes TL | W | X 1,25 | X 1 | X | |
| 10. OCCUPANTS (Sensible seul) | | Pers. | X 70 | X 1 | X | |
| 11. VENTILATION (Sensible seul) naturelle ou fumeurs faibles/nombreux ou mécanique | 1/2 a 1 vol/H. | m ³ /H | 2 | | | |
| | | Pers. | X 170 | X 1 | X | |
| | | m ³ /H | 2 | | | |

| COMPOSITION | COEFFICIENT |
|---------------------------|-------------|
| 1. PAS DE PERSIENNES : | 1,00 |
| PERSIENNES INTERIEURES: | 0,60 |
| PERSIENNES EXTERIEURS: | 0,20 |
| VITRE REFLECHISSANTE : | 0,60 à 0,20 |
| 3. MUR LEGER ISOLE : | 0,60 |
| MUR LOURD : | 0,80 |
| MUR LOURD ISOLE : | 0,50 |
| 6. TOIT ISOLE > = 50 MM : | 0,30 |
| AUTRES CAS : | 1,00 |

TOTAL = _____
 COEFFICIENT DE DESHUMUDIFICATION DE BATTERIE X 1,20
 PUISSANCE DE SELECTION EN WATTS.....
 = = = = =
 APPAREIL SELECTIONNE:
 CONVERSIONS:
 W x 0,86 = Kcal/H (Frig./H.)
 m³/sec. x 3600 = m³/H.

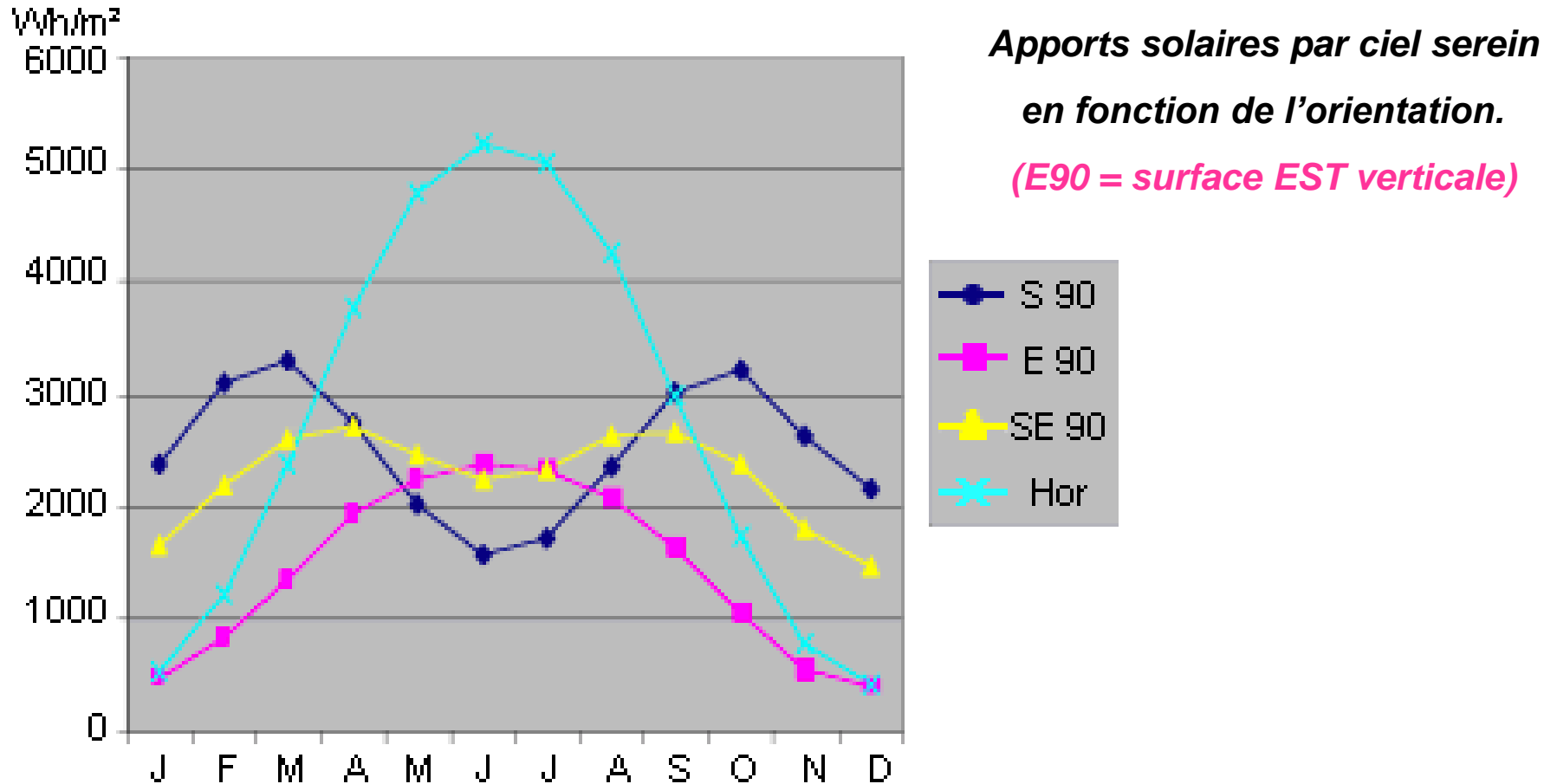
→ Nécessité de développer une stratégie globale !



**C'est d'abord la composition architecturale (vitrages, ...),
puis c'est l'équipement intérieur (bureautique, éclairage, ...),**

... qui créent la demande !

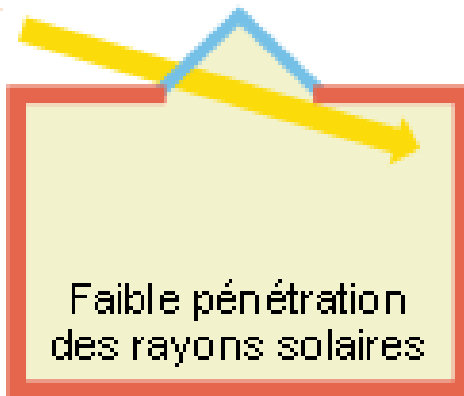
1° Apports solaires par les vitrages ?



- Les vitrages verticaux Sud reçoivent plus d'apport en hiver qu'en été !
- Mais les vitrages Est et Ouest apportent essentiellement leur chaleur en été...

Attention à la coupole horizontale, à l'atrium, ... !

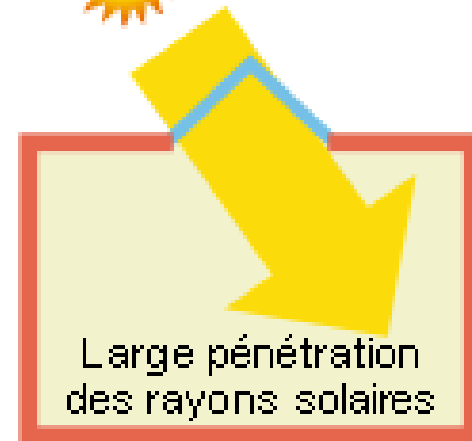
Ciel clair
en hiver



Faible pénétration
des rayons solaires

Ouverture zénithale

Ciel clair
en été



Large pénétration
des rayons solaires

Ouverture zénithale



?

?



Une enveloppe double peau est une réponse coûteuse à un problème thermique que l'architecte a lui-même créé : la boîte de verre !



CLIENT

DATE

ADRESSE

TEL EDUQUE

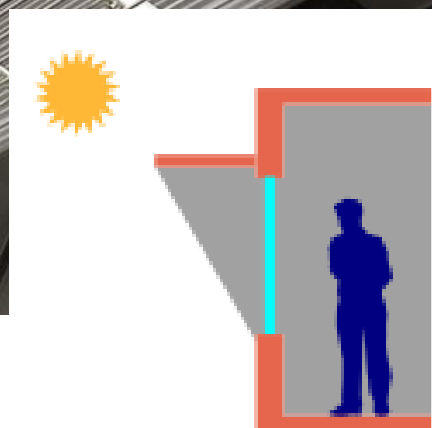
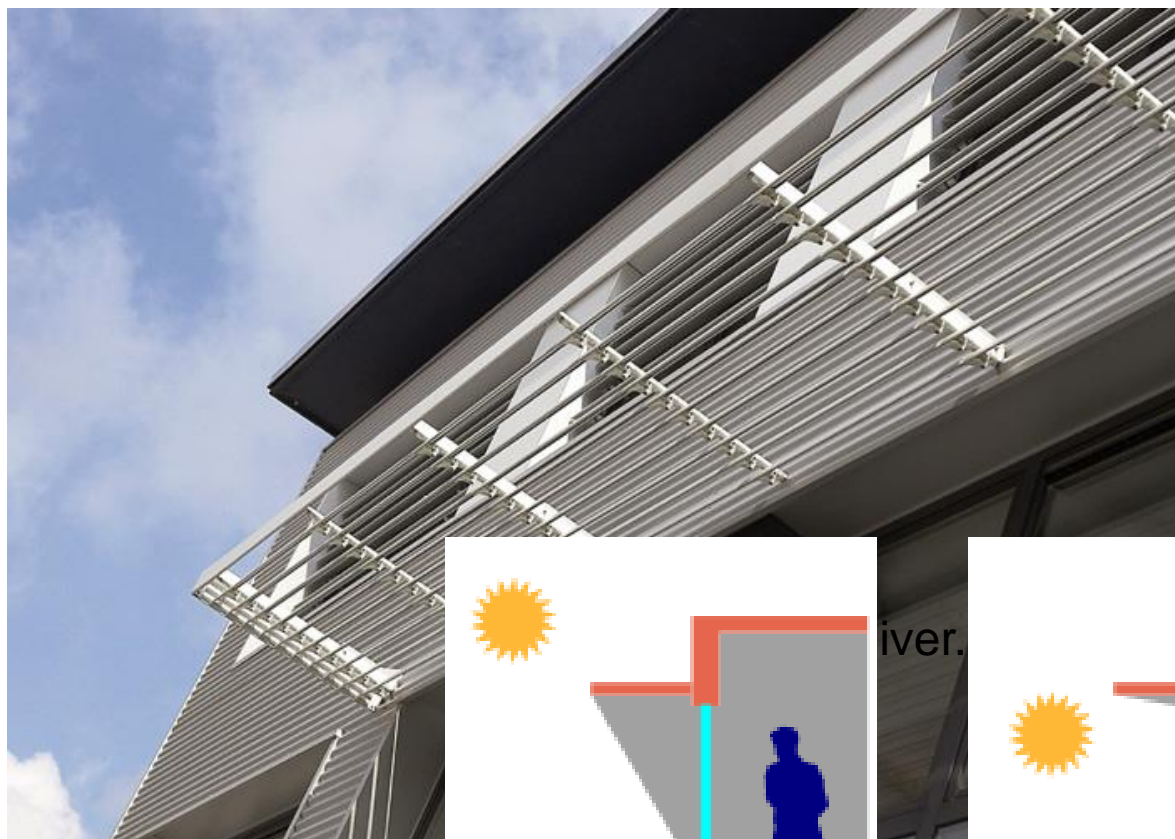
| DESCRIPTION | ORIENTATION PRINCIPALE | UNITE | MAX. WATTS | COEF-FICIENT | UNITES | TOTAL |
|--|------------------------|----------------|------------|--------------|--------|-------|
| 1. FENETRES EXPOSES AU SOLEIL (n'en prendre qu'une seule en même temps) | NE ou S | m ² | 200 | | | |
| | E - SE ou SO | m ² | 250 | X | X | = |
| | O | m ² | 300 | | | |
| | NO | m ² | 180 | | | |
| | COUPOLES HORIZONTALES | m ² | 400 | X | X | = |
| 2. TOUTES FENETRES NON COMPRISES EN 1 | | m ² | 60 | X | 1 | X |

| COMPOSITION | COEFFICIENT |
|---------------------------|-------------|
| 1. PAS DE PERSIENNES : | 1,00 |
| PERSIENNES INTERIEURES: | 0,60 |
| PERSIENNES EXTERIEURS: | 0,20 |
| VITRE REFLECHISSANTE : | 0,60 à 0,20 |
| 3. MUR LEGER ISOLE : | 0,60 |
| MUR LOURD : | 0,80 |
| MUR LOURD ISOLE : | 0,50 |
| | 1,20 |
| 6. TOIT ISOLE > = 50 MM : | 0,30 |
| AUTRES CAS : | 1,00 |

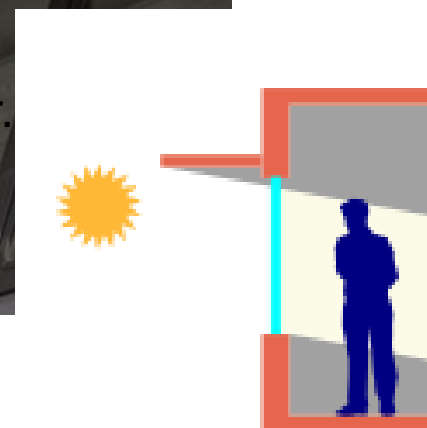


Usage des protections solaires...

Casquette horizontale : uniquement efficace au sud !



Eté



Hiver



Quelle protection solaire ?

Voir :

- critères de choix sur : www.energieplus-lesite.be
- simulation des rendus : www.prosolis.be

Le store thermiquement "idéal" ?

- placé à l'extérieur, (ou intérieur avec coating réfléchissant)
- blanc vers l'extérieur (réflexion)
- noir vers l'intérieur (vision)

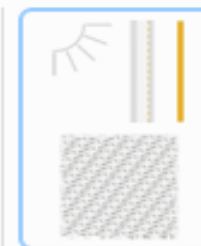
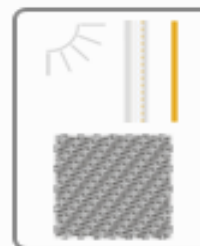
Mais store extérieur cher et fragile... et 2 couleurs est très cher !

Store intérieur noir ? Absorbant, trop chaud... Pas efficace !

Store intérieur blanc ? Diffusant, trop éblouissant ... pas de vision vers l'extérieur...!

L'optimum réaliste :

- store intérieur,
- gris clair sur les 2 faces
- < 10% d'ouverture



Protection contre la surchauffe

/

+

Apport de lumière naturelle

+

+++

Protection contre l'éblouissement

+++

+

Vue au travers

Conditions de jour
Vue depuis l'intérieur

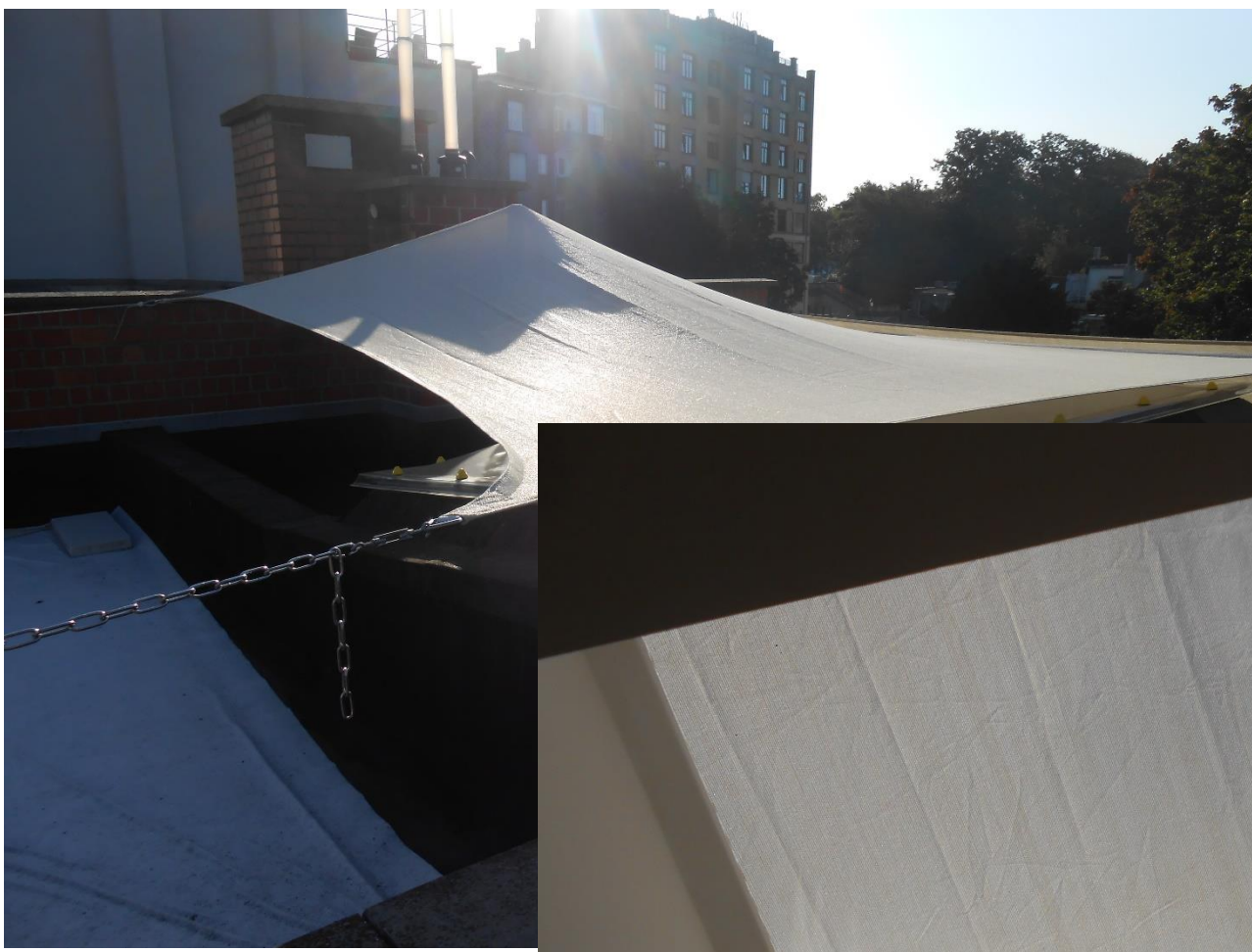


Conditions de nuit
Vue depuis l'extérieur



Alternative : le voile d'ombrage

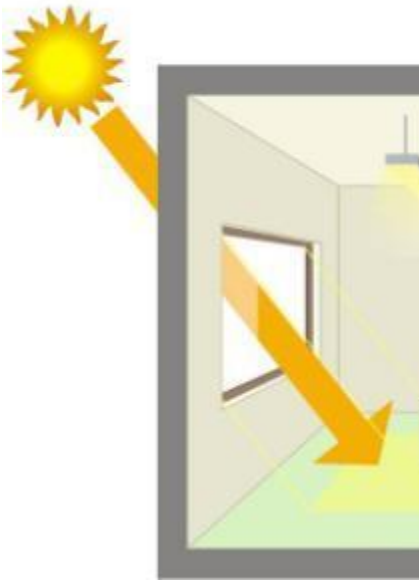




Alternative : le store enrouleur vertical



Et si la vitre comprenait la protection solaire ?



Le soleil = 48 % IR + 50 % visible + 2% UV
= 100 % de chaleur !

D'où :

- les vitrages sélectifs anti-infrarouge,
(On parle du vitrage 70-40 : TL = 70 % et FS = 40 %)
 - les films de vitrages sélectifs anti-infrarouge,
(par exemple "luxasolar" ou "luxafoil" ...(?))
- ... tout en gardant le passage intact du visible !

A mettre surtout ... à l'Ouest, et à l'Est !

IR = Infra-Rouge UV = Ultra Violet TL = Transmission Lumineuse FS = Facteur solaire

Et le film adhésif anti-solaire ?



Films réfléchissants (miroirs) ?
Films absorbants (gris) ?

S'il absorbe la lumière, le film chauffe...d'où risque de bris de vitre ?...

S'il réfléchit/absorbe la lumière, il fait plus sombre à l'intérieur...

Alternative ultime : la couverture de survie !





A l'école des Sept Deniers, deux classes sont très exposées à la chaleur. Des couvertures de survie ont été placées sur les fenêtres.

2° Apports solaires par la toiture ?



Peinture blanche réfléchissante sur roofing ... ?

6. PLAFOND ou TOITURE
(prendre l'un ou l'autre)

| | |
|-----------------------------------|----------------------|
| - Local non climatisé au-dessus | m ² |
| - PLAFOND avec mansarde au-dessus | m ² |
| - TOIT plat nu | LEURD m ² |
| | LEGER m ² |
| - TOIT PLAT avec plafond | LEURD m ² |
| | LEGER m ² |

4
30
40
50
30
50

X

X

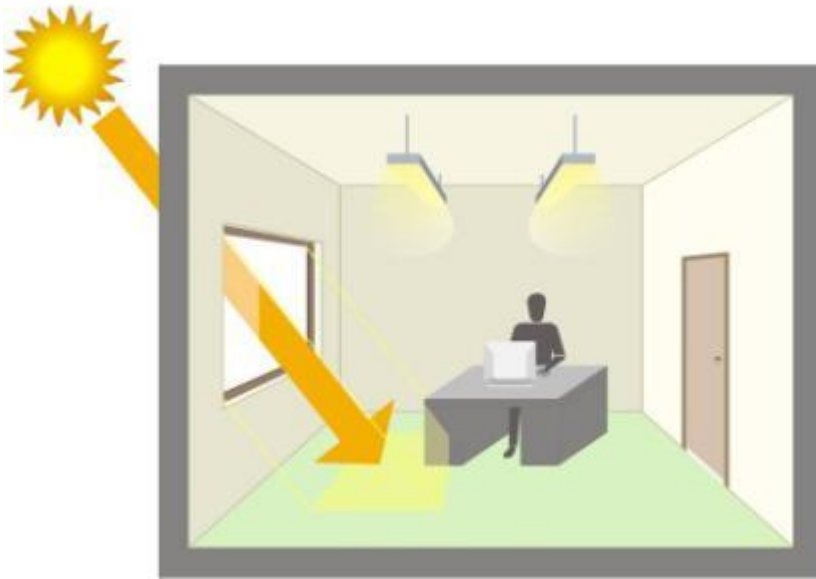
7. BLANQUE

Local non climatisé au-dessus m²

5

| COMPOSITION | COEFFICIENT |
|---------------------------|-------------|
| 1. PAS DE PERSIENNES : | 1,00 |
| PERSIENNES INTERIEURES: | 0,60 |
| PERSIENNES EXTERIEURS: | 0,20 |
| VITRE REFLECHISSANTE : | 0,60 à 0,20 |
| 3. MUR LEGER ISOLE : | 0,60 |
| MUR LEURD : | 0,80 |
| MUR LEURD ISOLE : | 0,50 |
| 6. TOIT ISOLE > = 50 MM : | 0,30 |
| AUTRES CAS : | 1,00 |

3° Quel impact de l'inertie ?



Apports :

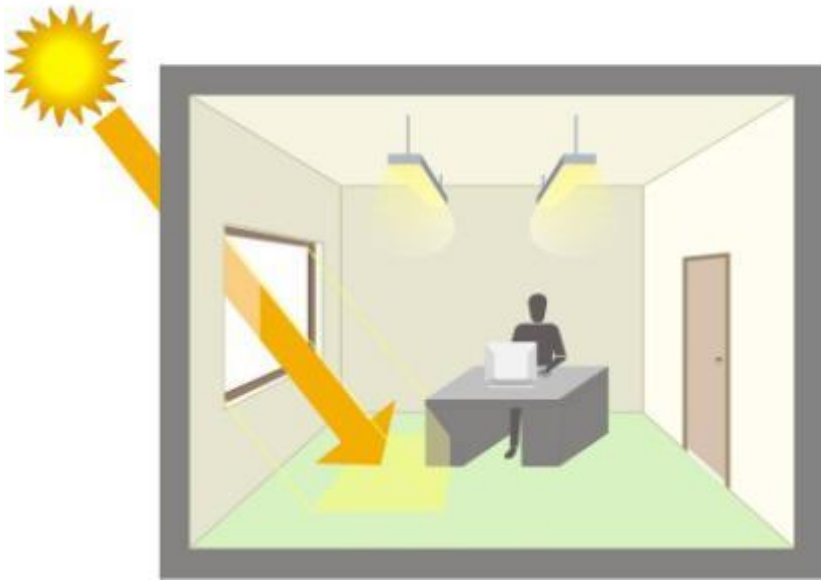
• soleil fen. :
 $150 \text{ W/m}^2 * 4 \text{ m}^2 = 600 \text{ W}$

• 2 ordinateurs : = 160 W

• Eclairage : = 200 W

• 2 occupants : = 140 W

TOTAL : = 1100 W



Sans intervention technique :

**Quelle température
après une heure
de chauffage solaire ?**

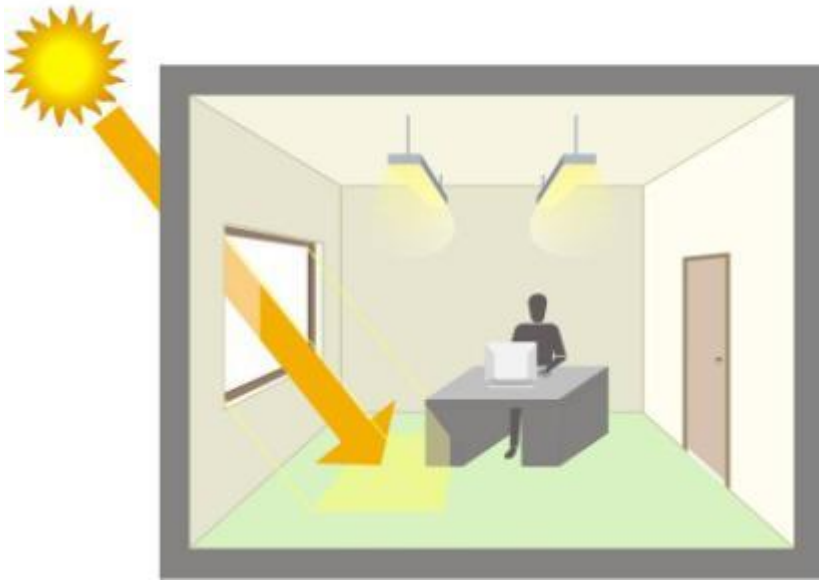
Imaginons que les 600 W du soleil chauffent **l'air du local** pendant 1 heure :

$$600 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 60 \text{ m}^3 \times 0,34 \text{ Wh/m}^3 \cdot ^\circ\text{C} \times \text{Delta } T^\circ$$

$$\rightarrow \text{Delta } T^\circ = 600 / (60 \times 0,34) = 30^\circ$$

$$T^\circ = 20^\circ + 30^\circ \text{ C} = 50^\circ \text{ C} !!!$$

Impossible...



Sans intervention technique :

**Quelle température
après une heure
de chauffage solaire ?**

Imaginons que le soleil chauffe **l'air du local et 2 cm de toutes les parois** :

$$600 \text{ W} \times 1 \text{ h} = (60 \text{ m}^3 \times 0,34 \text{ Wh/m}^3 \cdot ^\circ\text{C} + 94 \text{ m}^2 \times 0,02 \text{ m} \times 500 \text{ Wh/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}) \times \text{Delta } T^\circ$$

$$\rightarrow \text{Delta } T^\circ = 600 / (60 \times 0,34 + 1,8 \times 500) = 0,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

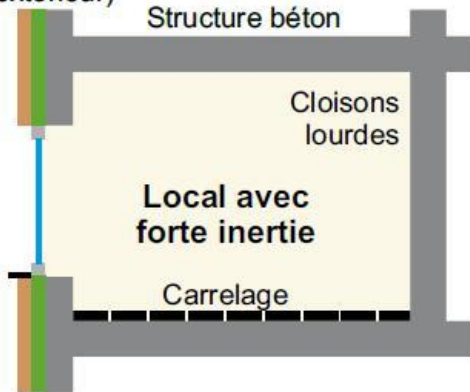
$$T^\circ = 20^\circ + 0,6 \text{ } ^\circ\text{C} = 20,6 \text{ } ^\circ\text{C} !!!$$

→ La chaleur est donc stockée dans les parois, dans l'inertie du local !

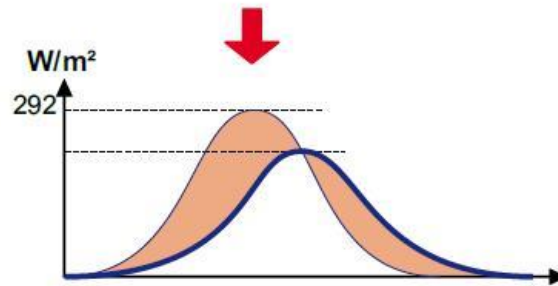
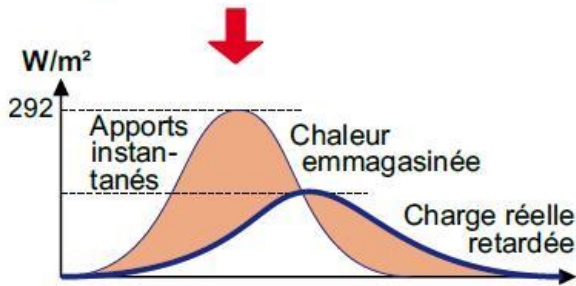
→ Le soleil chauffe les matériaux et puis les matériaux chauffent l'air !



Murs lourds
(isolés par l'extérieur)



Murs légers
(isolés par l'intérieur)



L'inertie des locaux est un stabilisateur de température intérieure.
Elle amortit la montée des températures en période d'ensoleillement.



**Oui à ce judicieux équilibre de lumière et de chaleur, ...
et à la forte inertie intérieure !**



Et l'inertie de l'isolant ?

« L'inertie dépend également de la capacité intrinsèque des matériaux à garder de la chaleur, c'est la capacité thermique. Il faut retenir que plus la capacité thermique est grande, plus le matériau aura de l'inertie.

La laine de bois a une capacité thermique 4 fois plus grande que la laine de verre et permettra donc d'avoir un déphasage plus important. »



Capacité thermique volumique de la laine de verre : 7 Wh/m³.K

Capacité thermique volumique de la laine de bois : 31 Wh/m³.K

Capacité thermique volumique du béton : 562 Wh/m³.K

4° Limiter l'apport des équipements ?



Ecrans plats



Contrôle de l'éclairage



Lampes led...

Eclairage : passer aux Leds !



Achat : ... 10...€/tube de 120 cm de longueur

Economie : réduction de 60% de la consommation !

**Allumage bureau : ... 2.000 h/an...
(chaque année on gagne 12 €)**

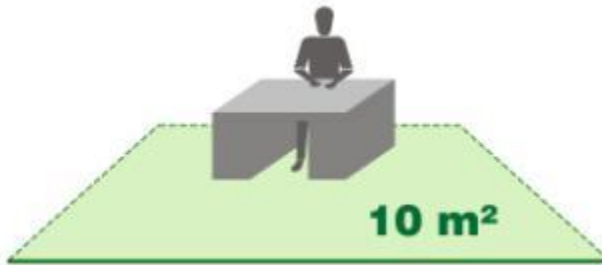


→ rénover les locaux avec éclairage de longue durée !

→ Remplacer les vieux spots halogènes !

4° Quel apport de l'air de ventilation hygiénique ?

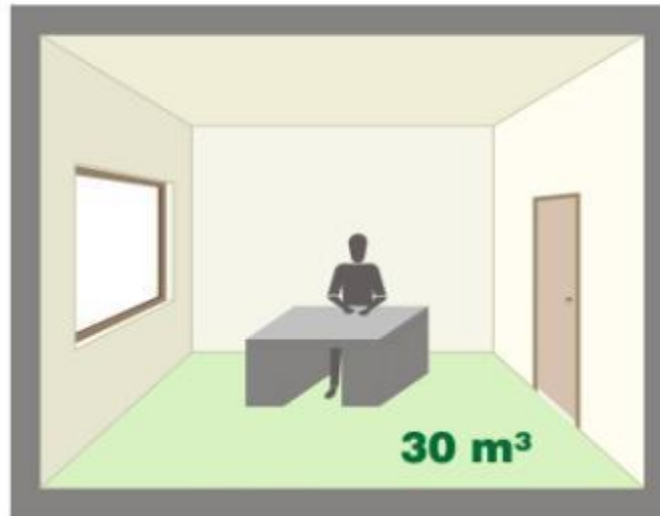
Le RGPT exige d'apporter un minimum de 30 m³ d'air neuf par heure et par personne. Qu'est-ce que cela représente ?



Un travailleur occupe en moyenne 10 m².

4° Quel apport de l'air de ventilation hygiénique ?

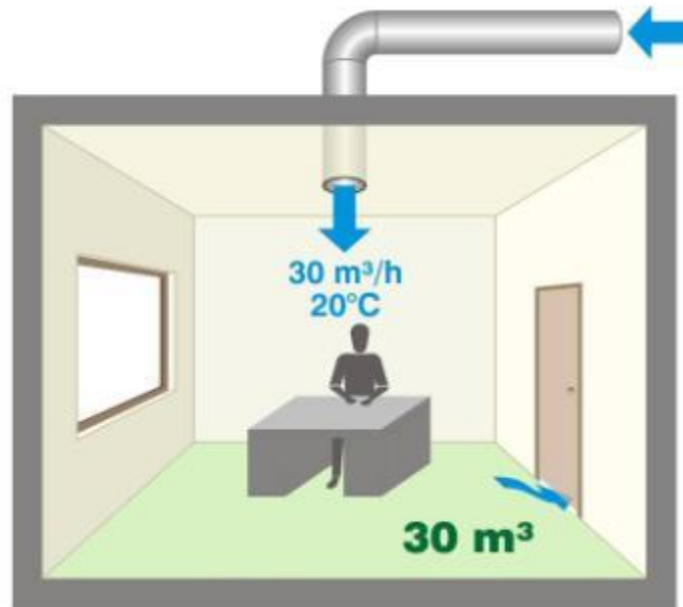
Le RGPT exige d'apporter un minimum de 30 m³ d'air neuf par heure et par personne. Qu'est-ce que cela représente ?



Si le plafond est situé à 3 m de hauteur, un travailleur vit dans un espace de 30 m³.

4° Quel apport de l'air de ventilation hygiénique ?

Le RGPT exige d'apporter un minimum de 30 m^3 d'air neuf par heure et par personne. Qu'est-ce que cela représente ?

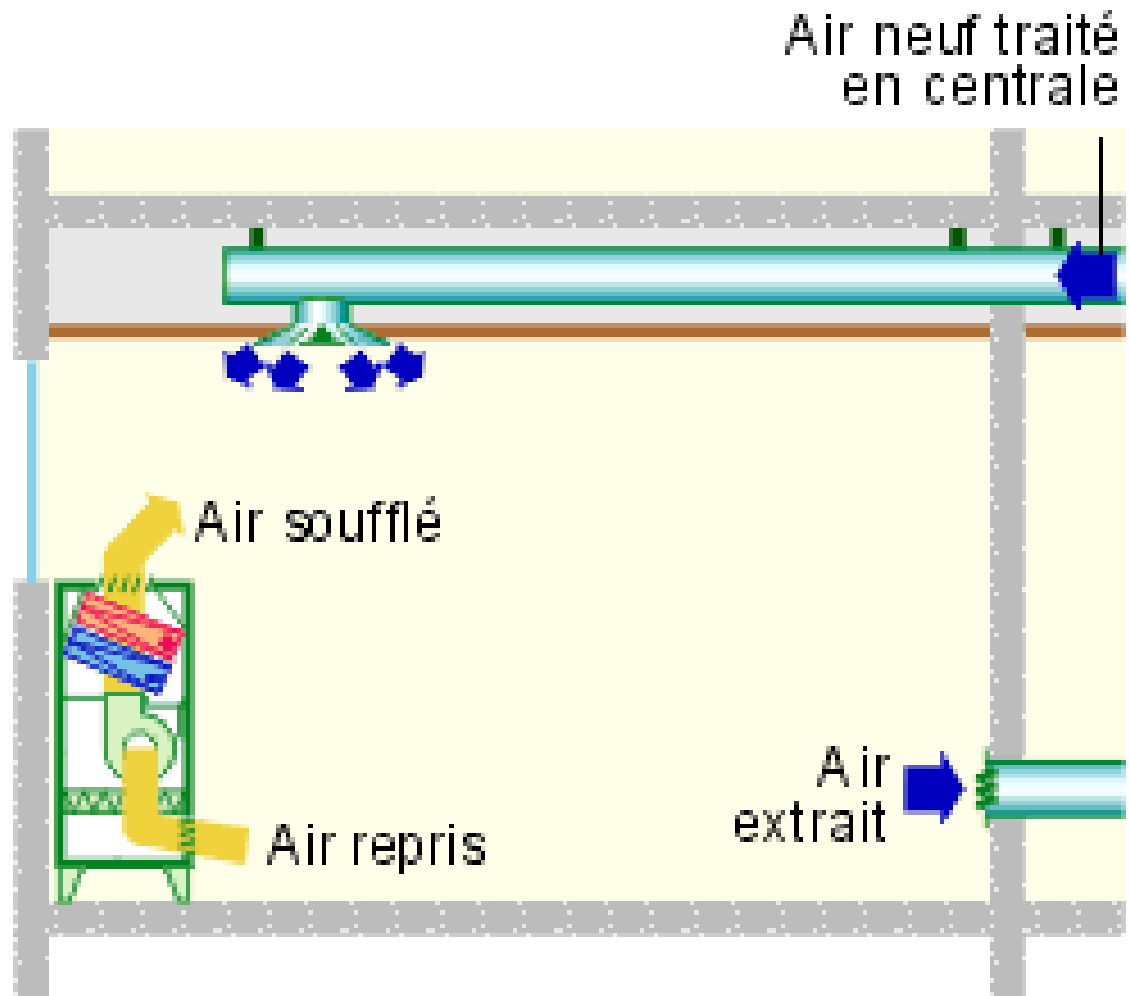


Lui apporter $30 \text{ m}^3/\text{h}$ d'air hygiénique, c'est donc renouveler l'air du local 1 fois par heure.

Et si cet air arrive à une $T^\circ > T^\circ$ local, c'est une source de surchauffe... ☹...

En mi-saison, abaisser au maximum la température de pulsion de l'air hygiénique !

Si $T^{\circ}\text{ext}$ 15°C ,
Si batterie de froid en
marche,
Si Air pulsé à 20°C ,
destruction d'énergie
entre chaud et froid !



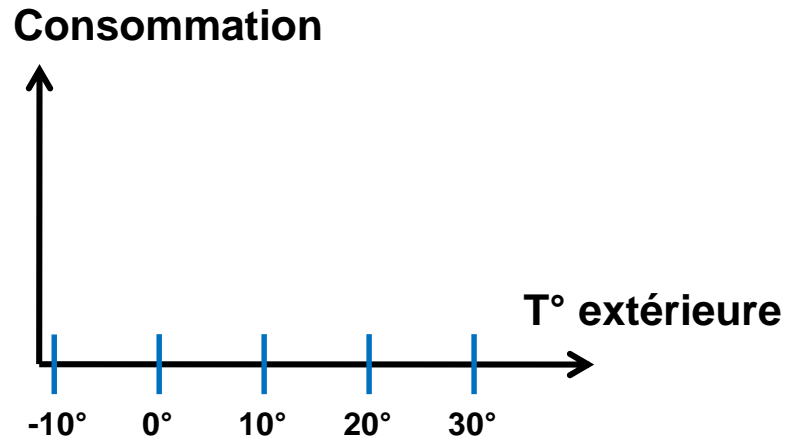
Réflexion : en isolant nos bâtiments, n'avons-nous pas déplacé le problème de l'hiver vers l'été ?...



Comparons la consommation de deux immeubles de bureaux-type :

- un bâtiment de 1960
- un immeuble récent...

Exprimons leur consommation annuelle en fonction de la température extérieure :

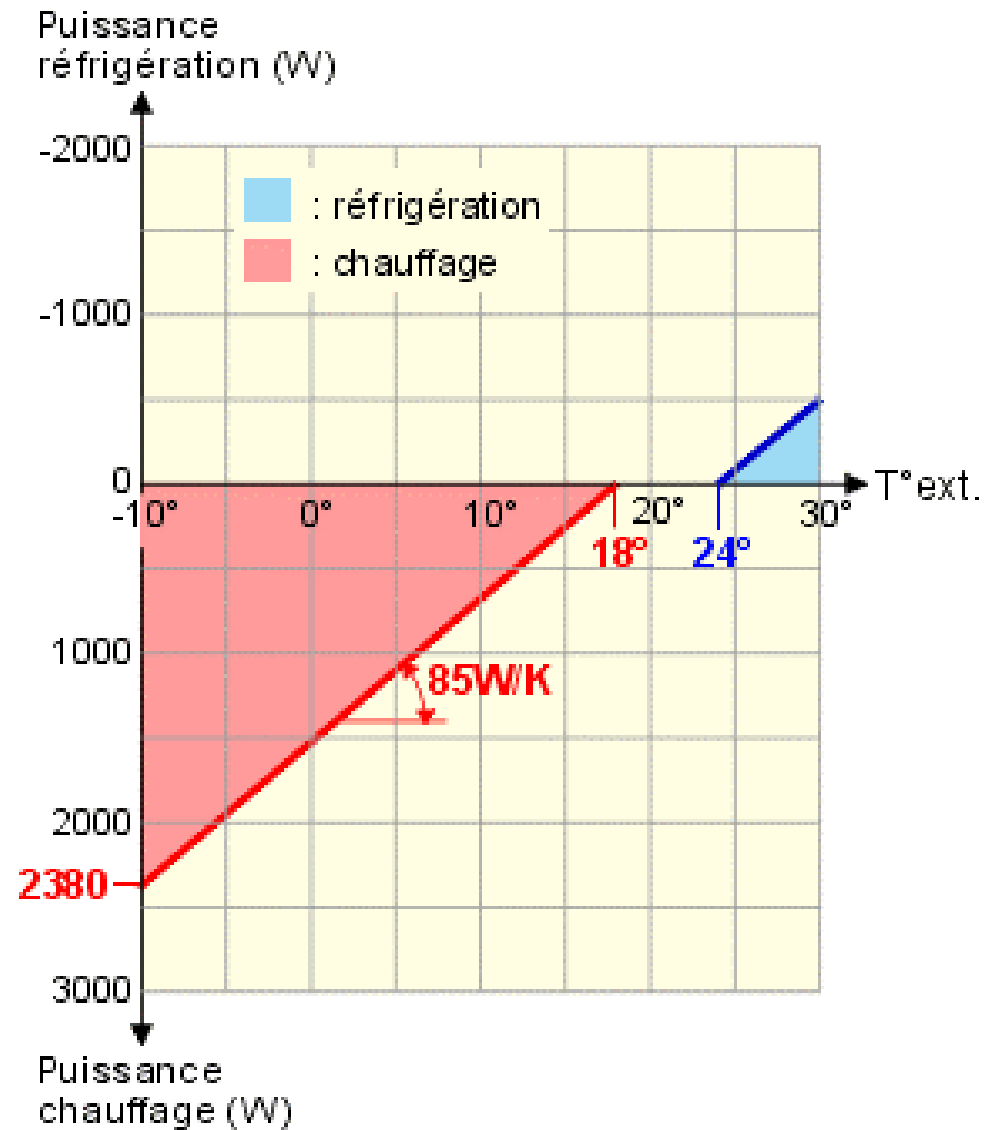


Mais Consommation = Puissance x Temps

Puissance ?

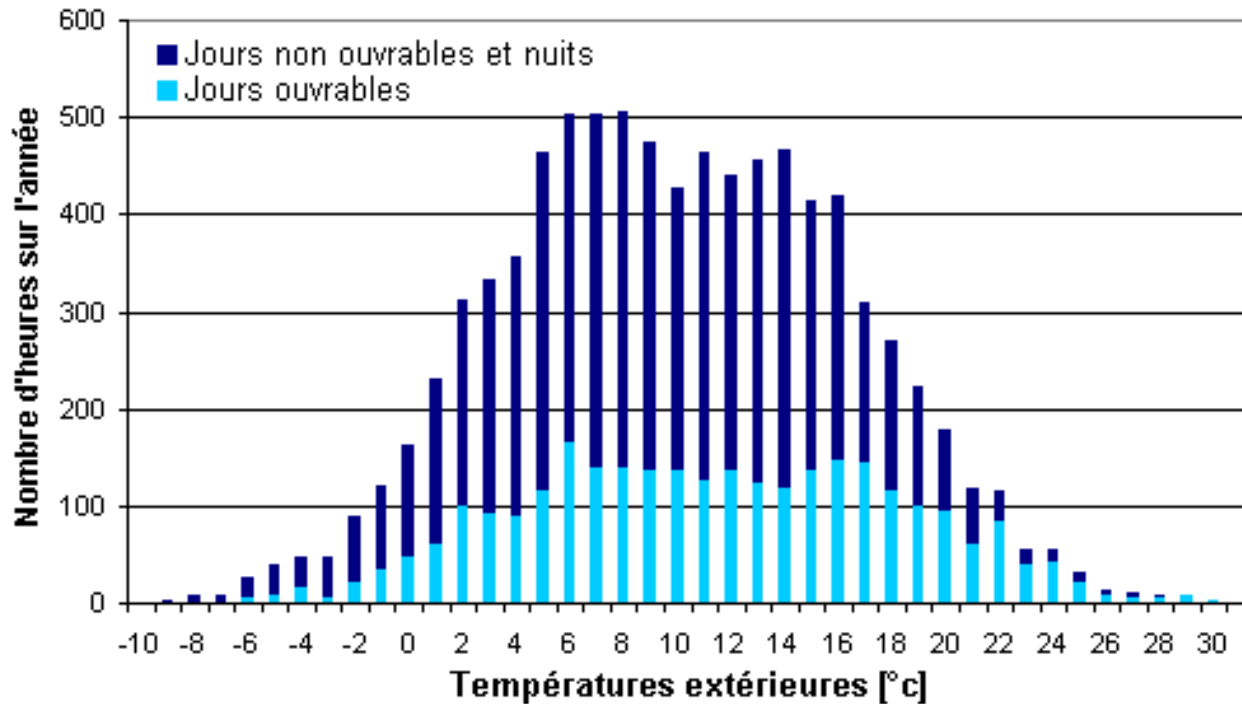
A chaque T° ext. correspond une Puissance de chauffage ou de refroidissement.

Exemple pour une paroi :



Temps ?

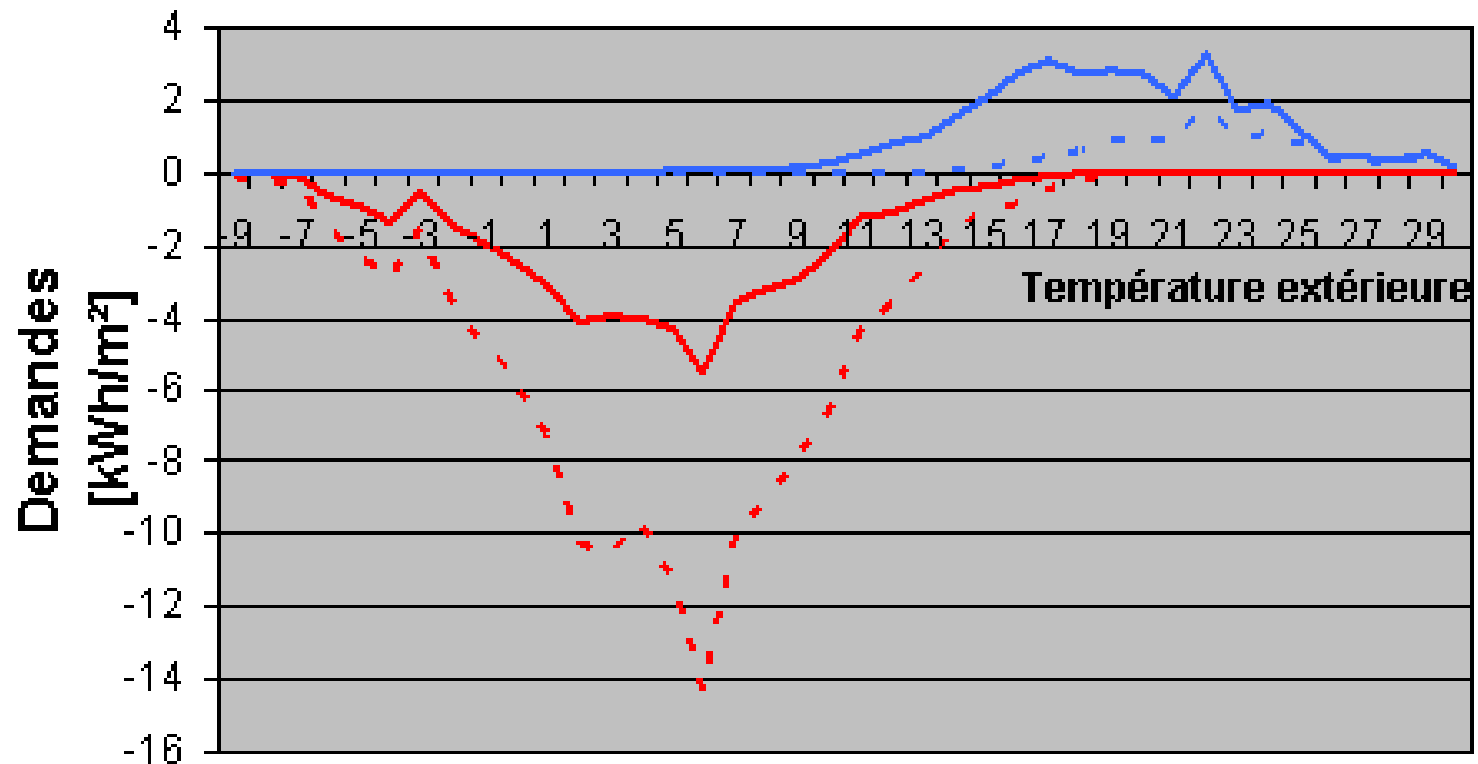
A chaque T° ext. correspond un nombre d'heures durant l'année. Exemple pour Uccle :



(→ La T° ext. dépasse 24°C durant 150 h/an, soit 2 % du temps...)

Consommation :

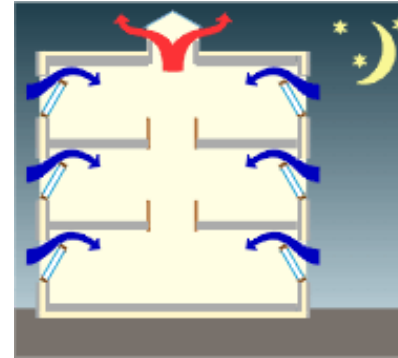
Demandes de chaud et de froid



→ **Constat : augmentation de la demande de refroidissement ...
mais surtout pour une T° extérieure comprise entre 15 et 24°C !**

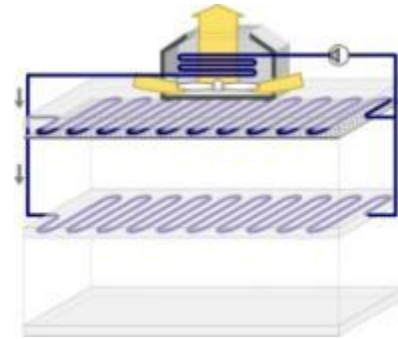
Conclusion : si l'essentiel de la demande énergétique de froid se produit pour une T° extérieure $< 24^{\circ}\text{C}$,... le bâtiment doit pouvoir s'auto-refroidir.

- **Stratégie 1** : perméabilité variable de l'enveloppe = free-cooling



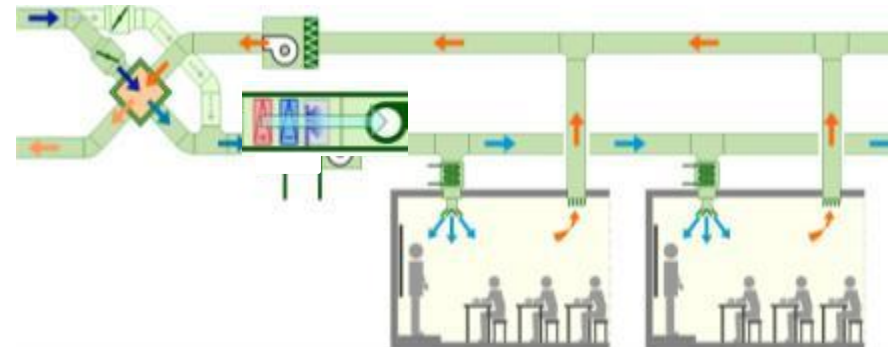
Refroidissement direct.

- **Stratégie 2** : circulation d'eau froide dans les planchers, eau refroidie "de manière naturelle" = slab cooling

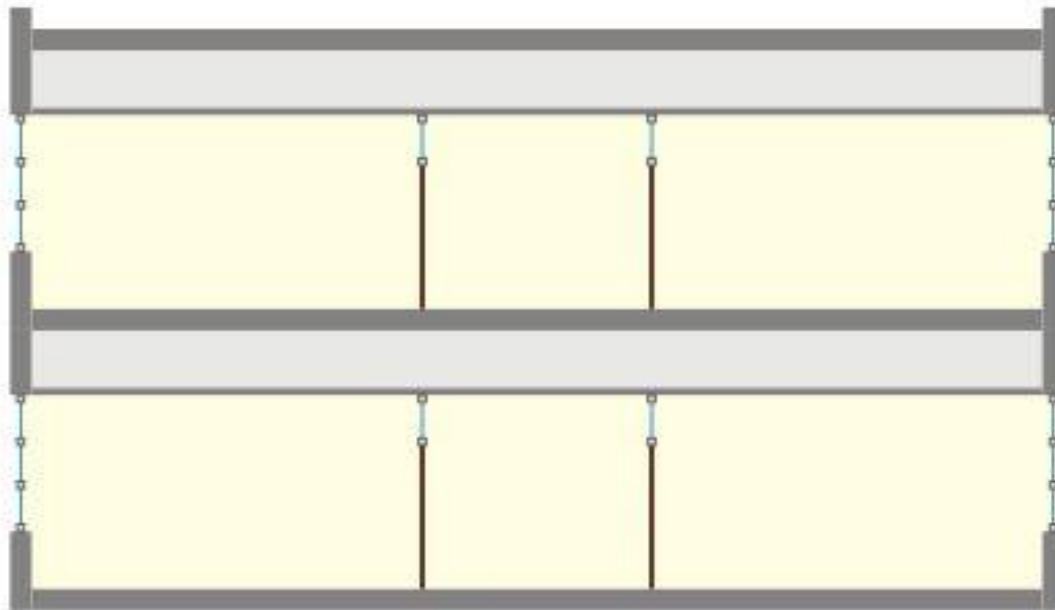


Refroidissement indirect.

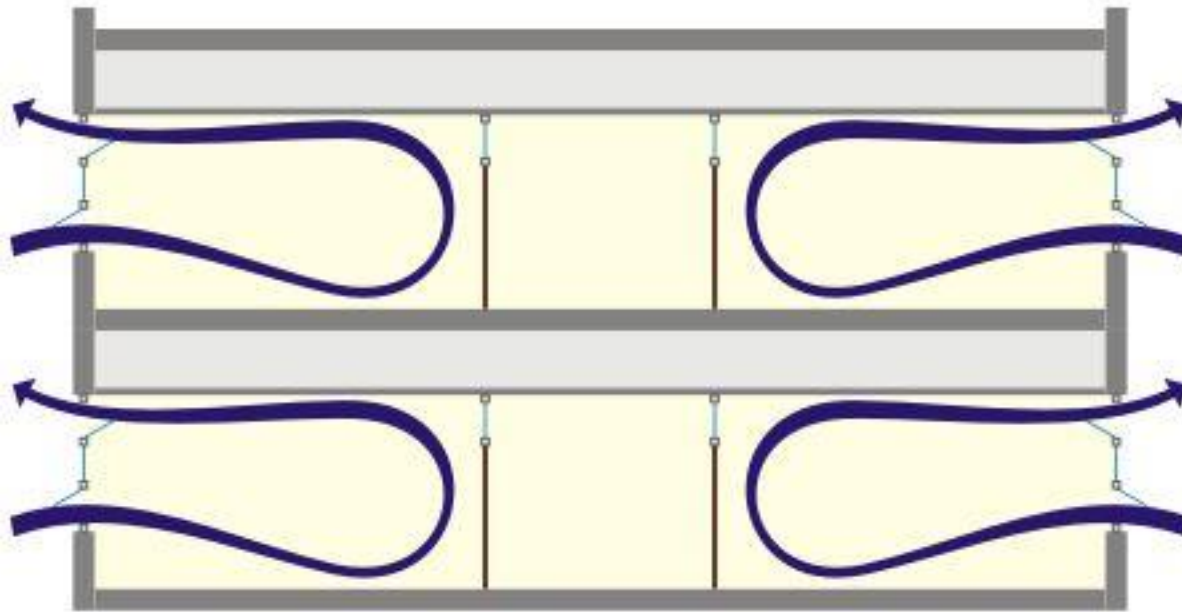
- **Stratégie 3** : intégration d'air frais extérieur dans la climatisation, conçue pour ne donner qu'un complément frigorifique en période de canicule



Stratégie 1 : Le refroidissement direct par l'air



1.1 Free-cooling unilatéral



Un ratio minimum de **4% d'ouverture** par rapport à la surface au sol est nécessaire.

1.1 Free-cooling unilatéral



Free-cooling unilatéral



Idéalement, on profite d'un **effet de cheminée** intérieur entre 2 fenêtres situées à des hauteurs différentes.



| Une fenêtre haute et une fenêtre basse | | | | | |
|--|-------------------|------|------|------|------|
| Surface d'une fenêtre [m ²] | Entredistance [m] | | | | |
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| 0,25 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| 0,5 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| 0,75 | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,12 | 0,13 |
| 1 | 0,08 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 |
| 1,25 | 0,1 | 0,14 | 0,17 | 0,19 | 0,22 |
| 1,5 | 0,12 | 0,16 | 0,2 | 0,23 | 0,26 |
| à multiplier par : $(T_{int}-T_{ext})^{0.5}$ | | | | | |



Débit en m³/s

Exemple :

Soit un local de 20 m² et 50 m³.

2 fenêtres de **0,25** m² espacées de 1,5 m en hauteur, lorsque le $\Delta T^\circ = 8$ K, vont générer $0,03 \times (8)^{0,5} = 0,084$ m³/s = 300 m³/h

Soit un renouvellement horaire de 6.

Si des **grilles** (anti-pluie, insecte, effraction, ...) sont placées, les pertes de charges augmentent et les sections d'ouverture doivent être 1,7 fois plus grandes.

| Une grille haute et une grille basse | | | | | |
|--|-------------------|------|------|------|------|
| Surface d'une grille [m ²] | Entredistance [m] | | | | |
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| 0,25 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| 0,5 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 |
| 0,75 | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 |
| 1 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,1 |
| 1,25 | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,11 | 0,13 |
| 1,5 | 0,07 | 0,1 | 0,12 | 0,14 | 0,15 |
| à multiplier par : $(T_{int}-T_{ext})^{0.5}$ | | | | | |



Débit en m³/s

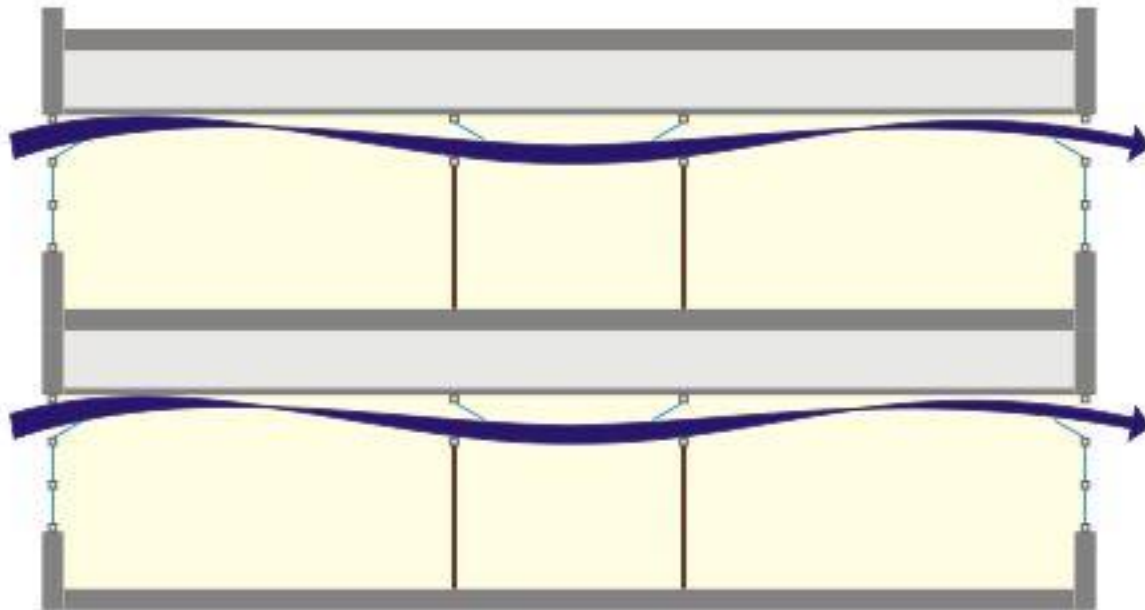
Exemple :

Pour obtenir à nouveau 6 renouvellements horaires dans le local, chaque fenêtre aura une section minimale de **0,5** m².

Remarque :

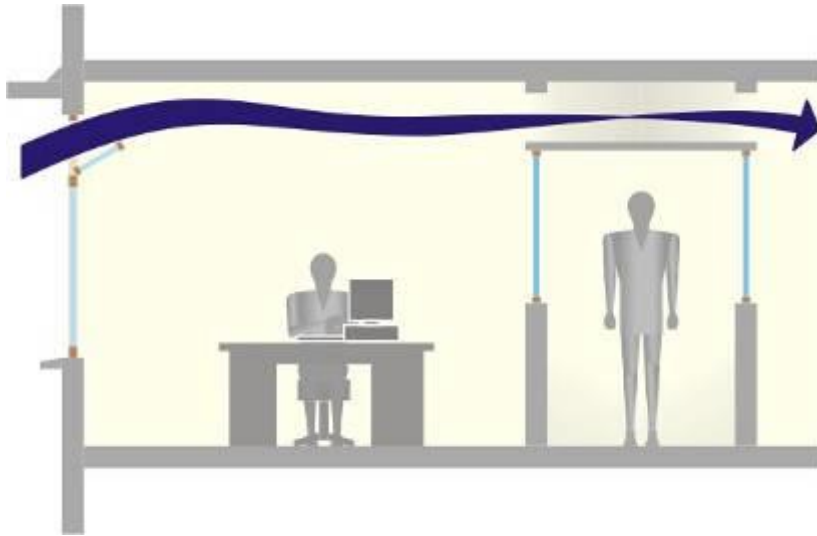
Autre ratio : la section ouverte totale peut aussi se dimensionner sur base de « 4% de la surface de plancher », soit $0,04 \times 20 \text{ m}^2 = 0,8 \text{ m}^2$

1.2 Free-cooling transversal



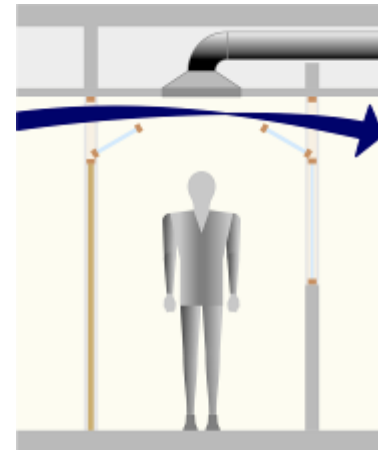
Cette fois, c'est le **vent** qui est le moteur.

Un ratio de **2% d'ouverture** par rapport à la surface au sol suffit.

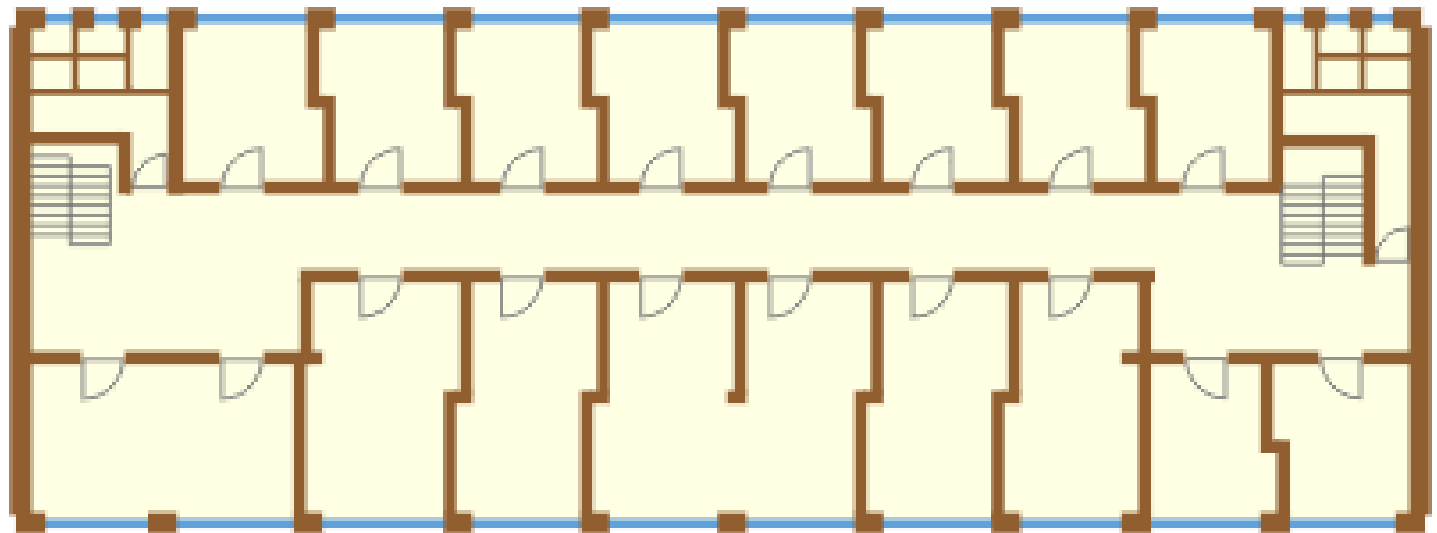
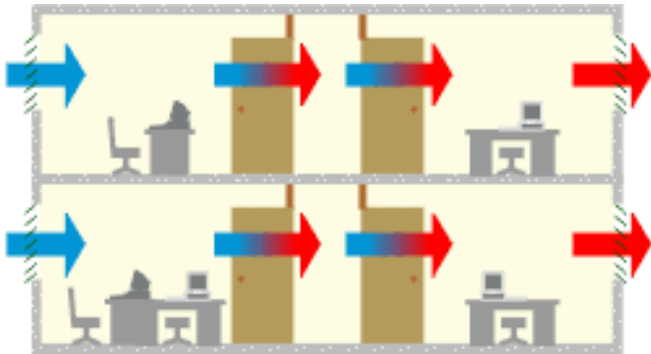


Free-cooling transversal

... et appont mécanique en absence de vent



Exemple : PROBE – CSTC Limelette



Exemple : PROBE – CSTC Limelette

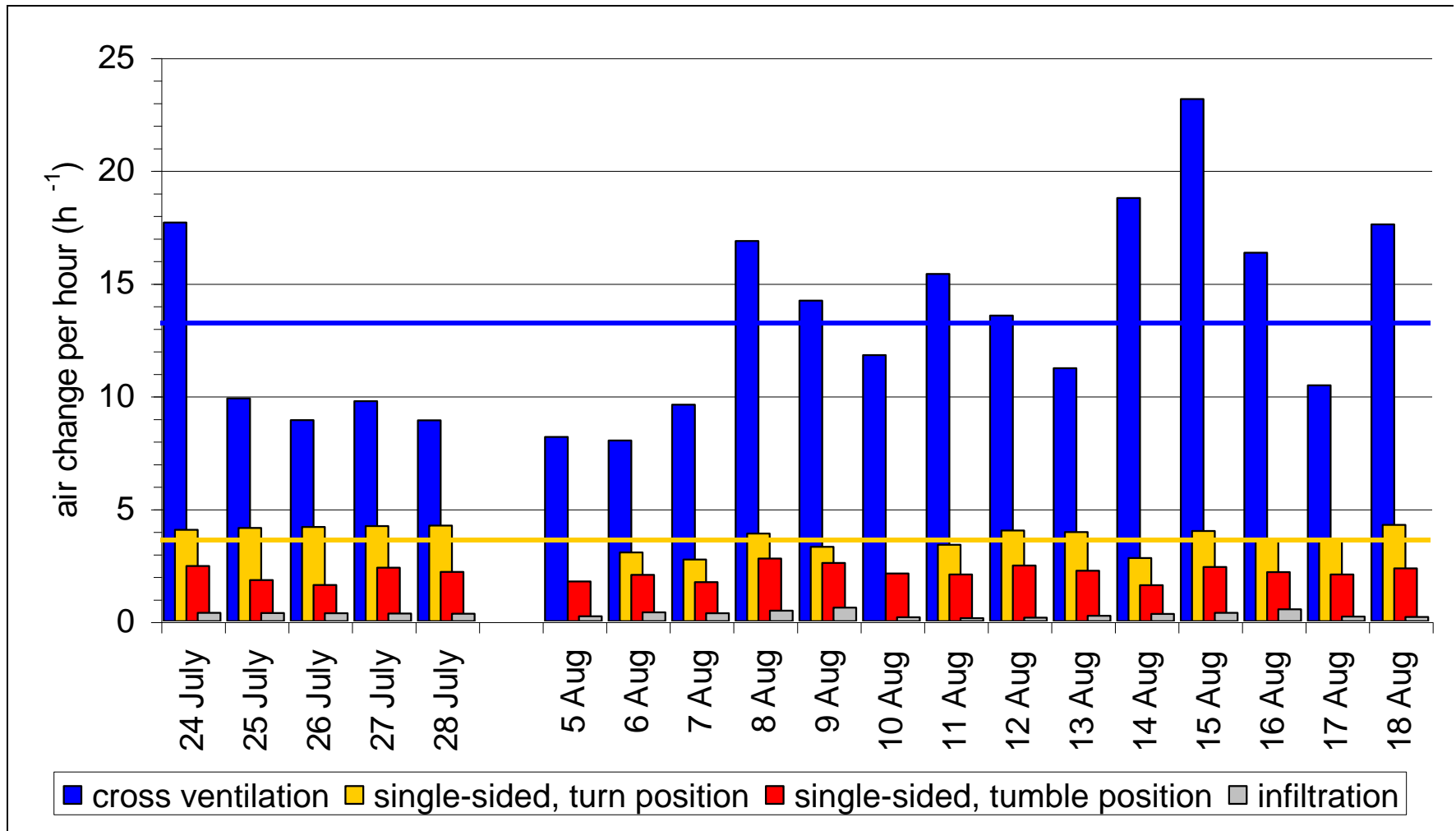


Grilles de mai à septembre



Protection solaire

Exemple : PROBE – CSTC Limelette



Une façade
« perméable »
à l'air ?



Motoriser les ouvertures?



Intelligent facades

Product solutions for window automation

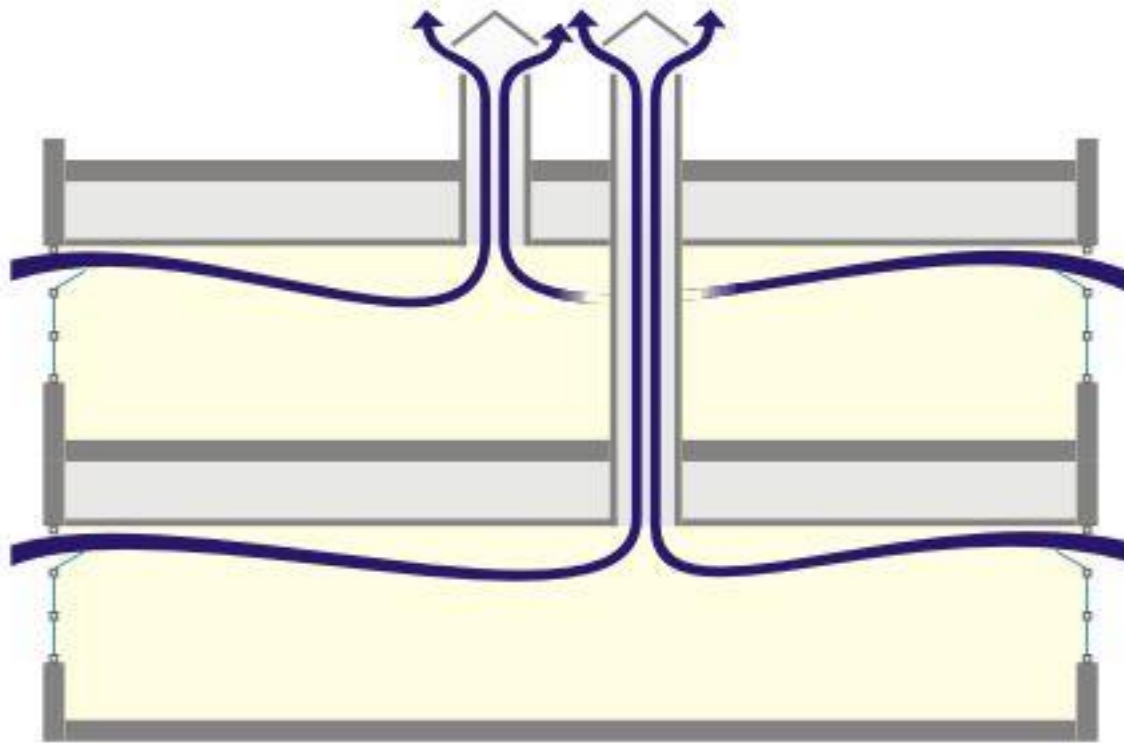


WindowMaster product solutions

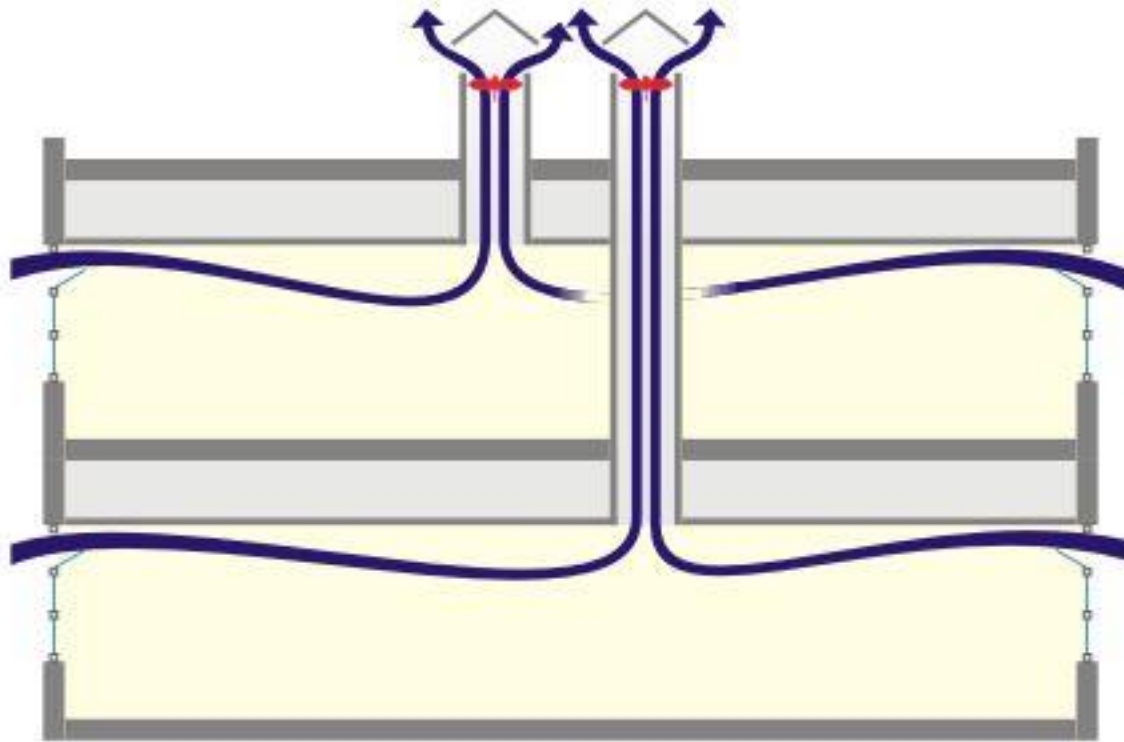
- Intelligent window operators
- Advanced control units
- Natural Ventilation systems
- Smoke ventilation systems



1.3 Free-cooling par tirage thermique



1.3 Free-cooling par tirage thermique

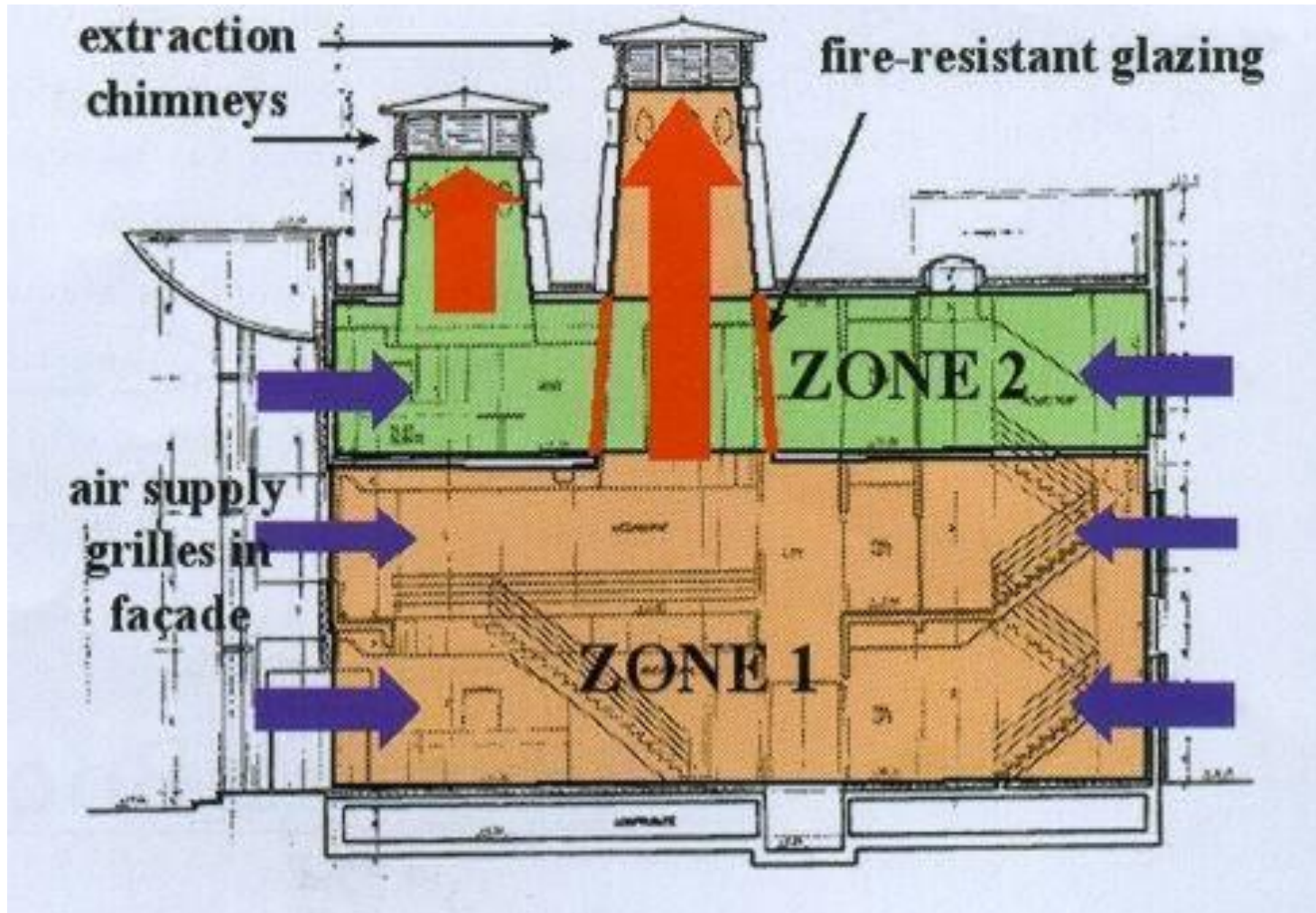


... avec extraction assistée par ventilateur

Exemple : IVEG



Des cheminées de ventilation naturelle



Exemple : IVEG







Faux-plafond partiel

--> Circulation d'air au dessus et en dessous du faux plafond

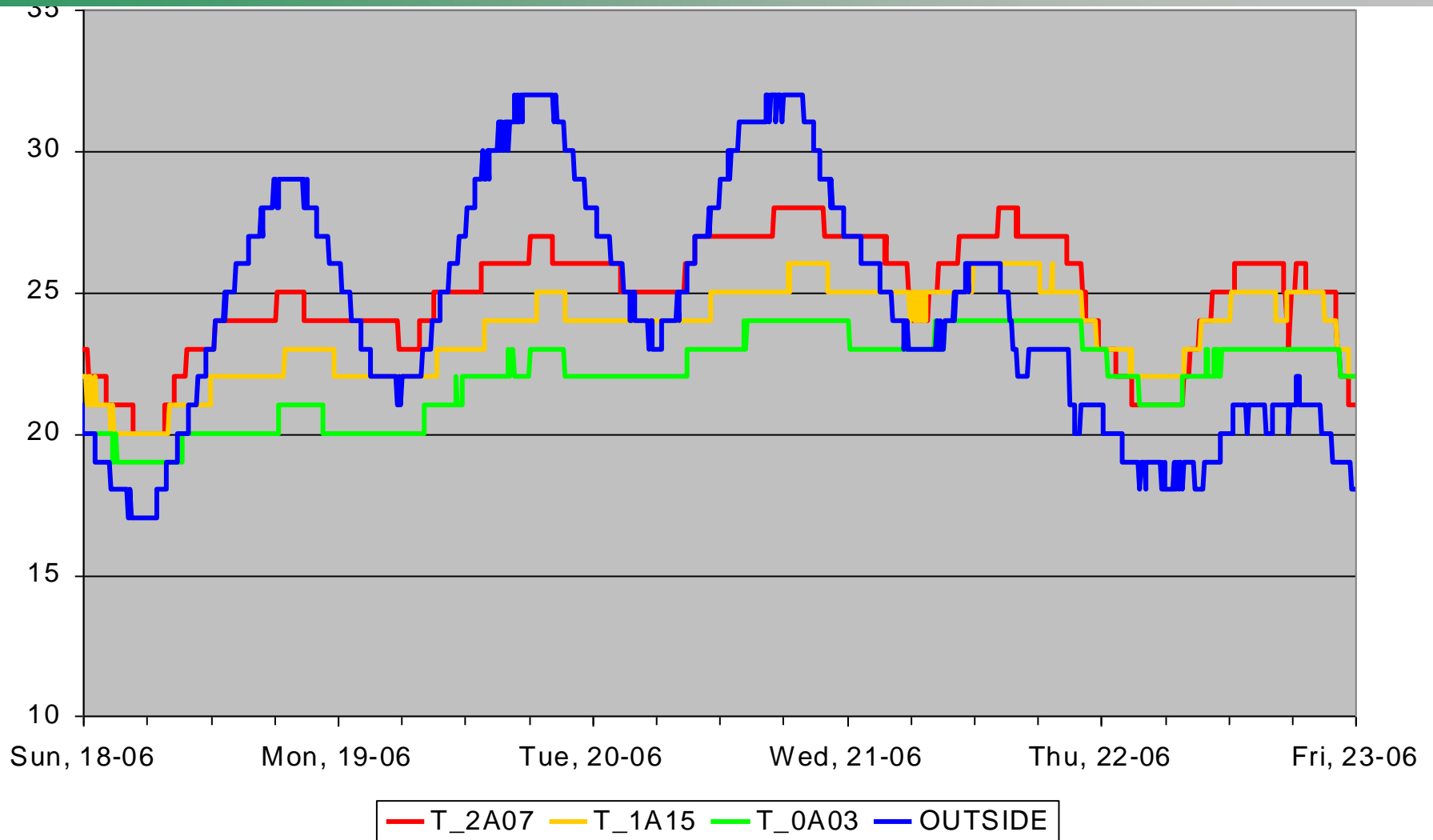


Protections solaires efficaces

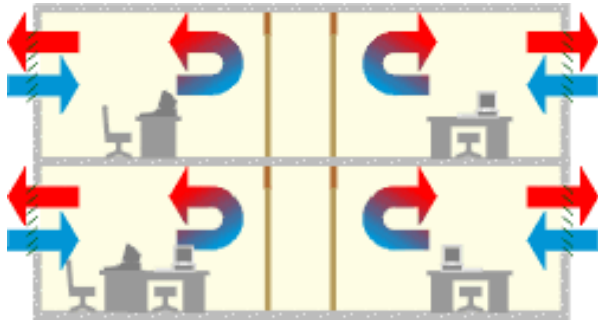


Isolation renforcée

Exemple : IVEG

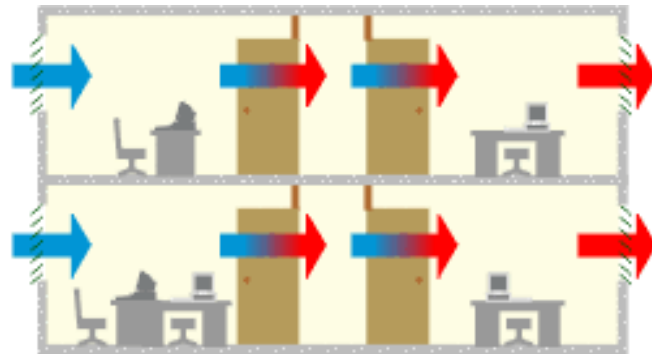


Résumé Stratégie 1 : organisation du free-cooling:



Refroidissement naturel
par des ouvertures sur une
seule façade

Single-sided ventilation

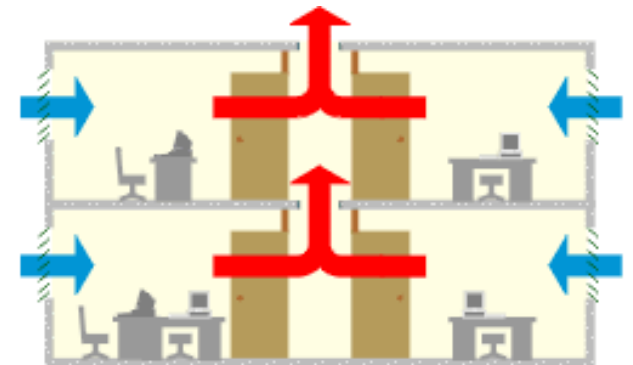


Refroidissement naturel par des
ouvertures sur des façades opposées

Cross ventilation

Refroidissement naturel par
effet cheminée

Stack ventilation



Attention :

1 °

**Pour obtenir un rafraichissement suffisant avec du free-cooling,
la somme des apports solaires et des apports internes
ne peut dépasser ... 50...Watts/m²**

Sans quoi, la clim sera obligatoire...

2° Il y n'a pas de free cooling de nuit sans inertie dans les parois pour réaliser un stockage thermique entre la nuit et le jour !

Grande inertie



- murs épais,
- bâtiment moyennement vitré,
- murs intérieurs lourds
- ni faux-plafonds, ni faux-planchers

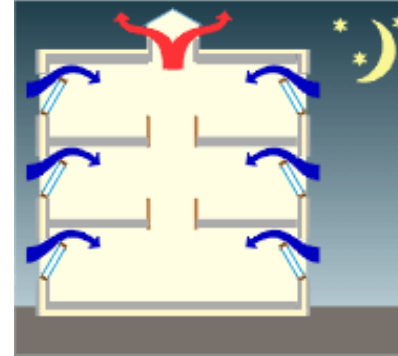
Faible inertie



- structure métallique,
- vitrages importants,
- cloisons intérieures légères,
- faux plafonds,
- sol recouvert de moquette ,
- isolation par l'intérieur

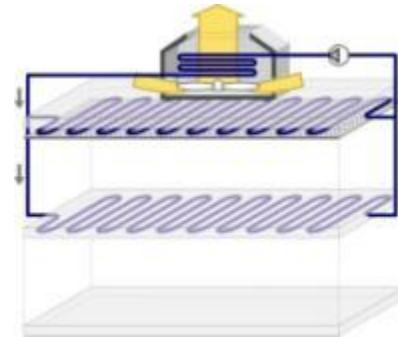
Rappel : si l'essentiel de la demande énergétique de froid se produit pour une T° ext. $< 24^{\circ}\text{C}$, le bâtiment doit pouvoir s'auto-refroidir.

- **Stratégie 1** : perméabilité variable de l'enveloppe = free-cooling



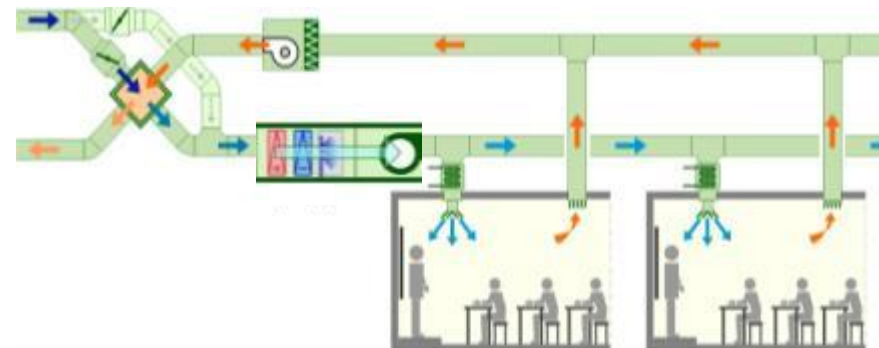
Refroidissement direct.

- **Stratégie 2** : circulation d'eau froide dans les planchers, eau refroidie "de manière naturelle" = slab cooling



Refroidissement indirect.

- **Stratégie 3** : intégration d'air frais extérieur dans la climatisation, conçue pour ne donner qu'un complément frigorifique en période de canicule

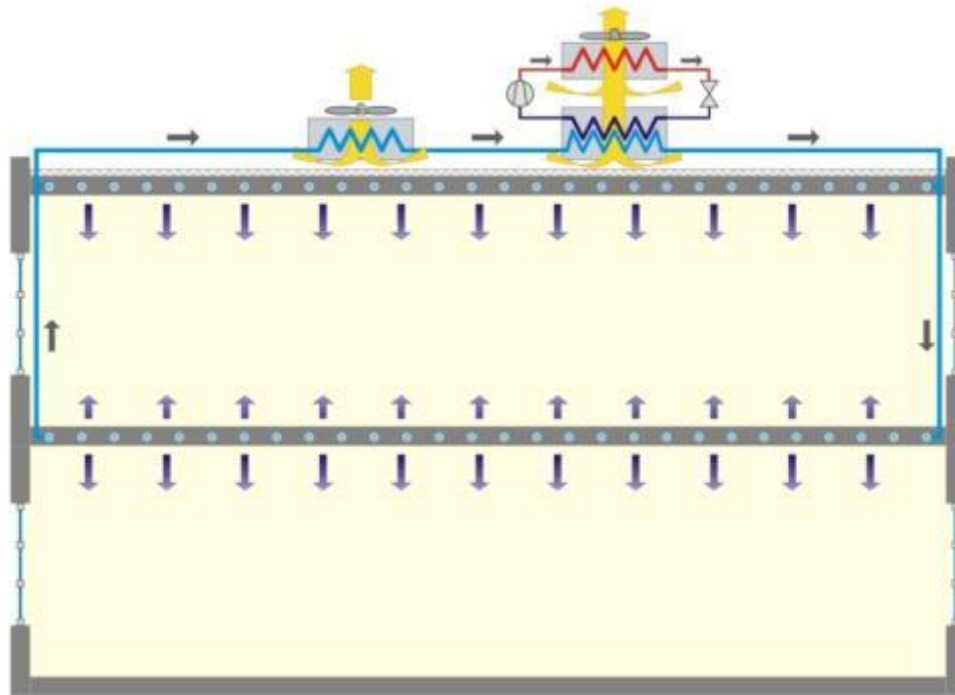


Refroidissement par eau (slab cooling) : principe

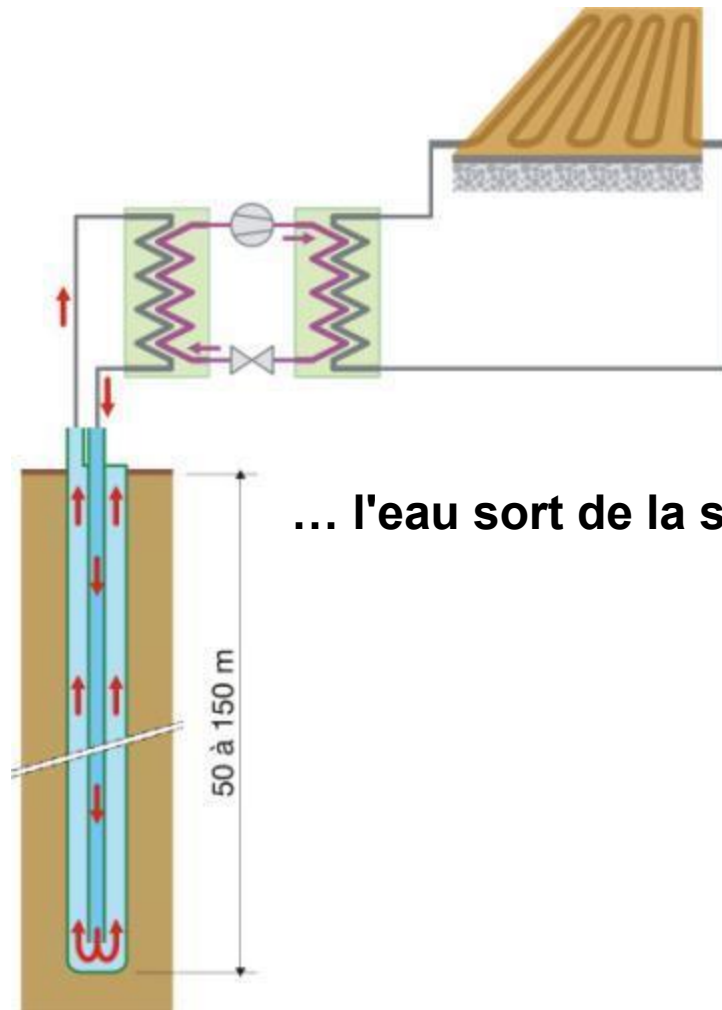


Chargement de la dalle en journée et déchargement la nuit

Refroidissement naturel de nuit + groupe frigorifique d'appoint durant la canicule



Alternative : pompe à chaleur sur sonde géothermique en hiver et circulation d'eau froide en été :

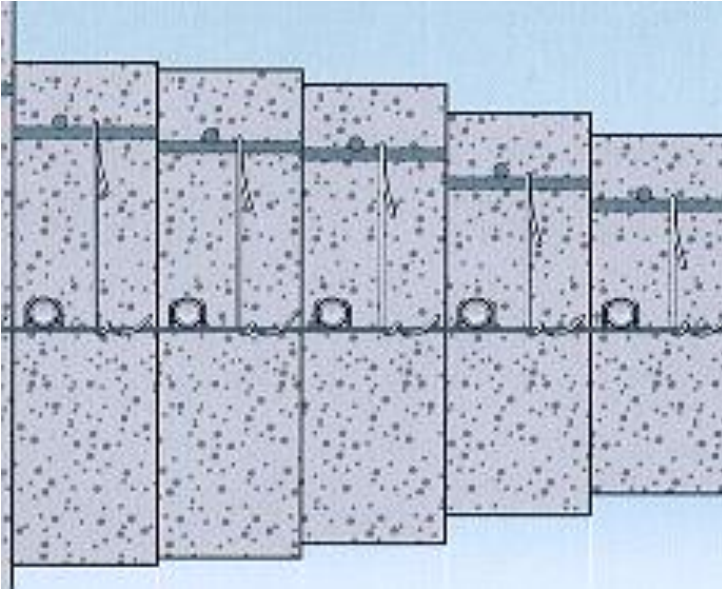


... l'eau sort de la sonde à 10°C

Refroidissement par eau (slab cooling) : mise en oeuvre 1



Refroidissement par eau (slab cooling) : mise en oeuvre 2



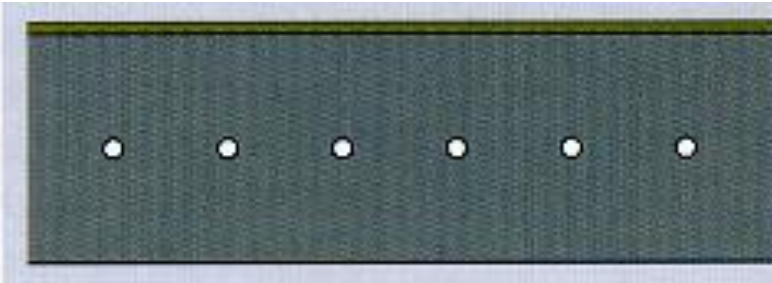
Tuyaux placés au centre de la dalle.



Refroidissement par eau (slab cooling) : mise en oeuvre 3



Refroidissement par eau (slab cooling) : puissances émises



Dalle de béton de 30 cm, recouverte d'un tapis de 1,5 cm ($\lambda = 0,15$).

Mode refroidissement :

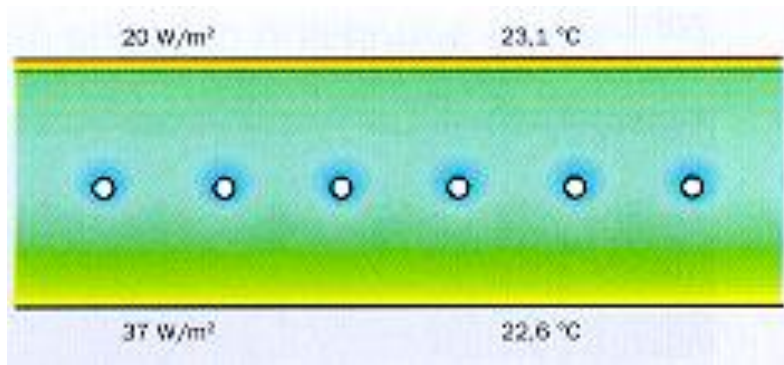
T° départ d'eau = 16°C

T° retour d'eau = 20°C

T° ambiante = 26°C (!)

Puissance froid : **57 W**

37 W/m² vers le bas et **20 W/m²** vers le haut
($\langle \rangle$ plafonds froids : $80 \text{ W/m}^2 \dots$)



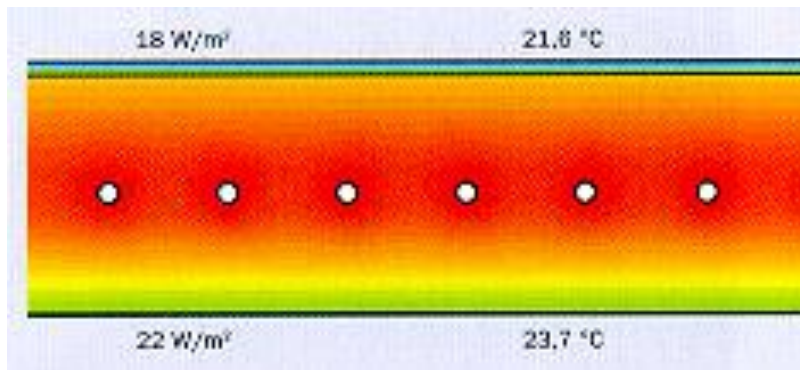
Mode chauffage :

T° départ d'eau = 28°C

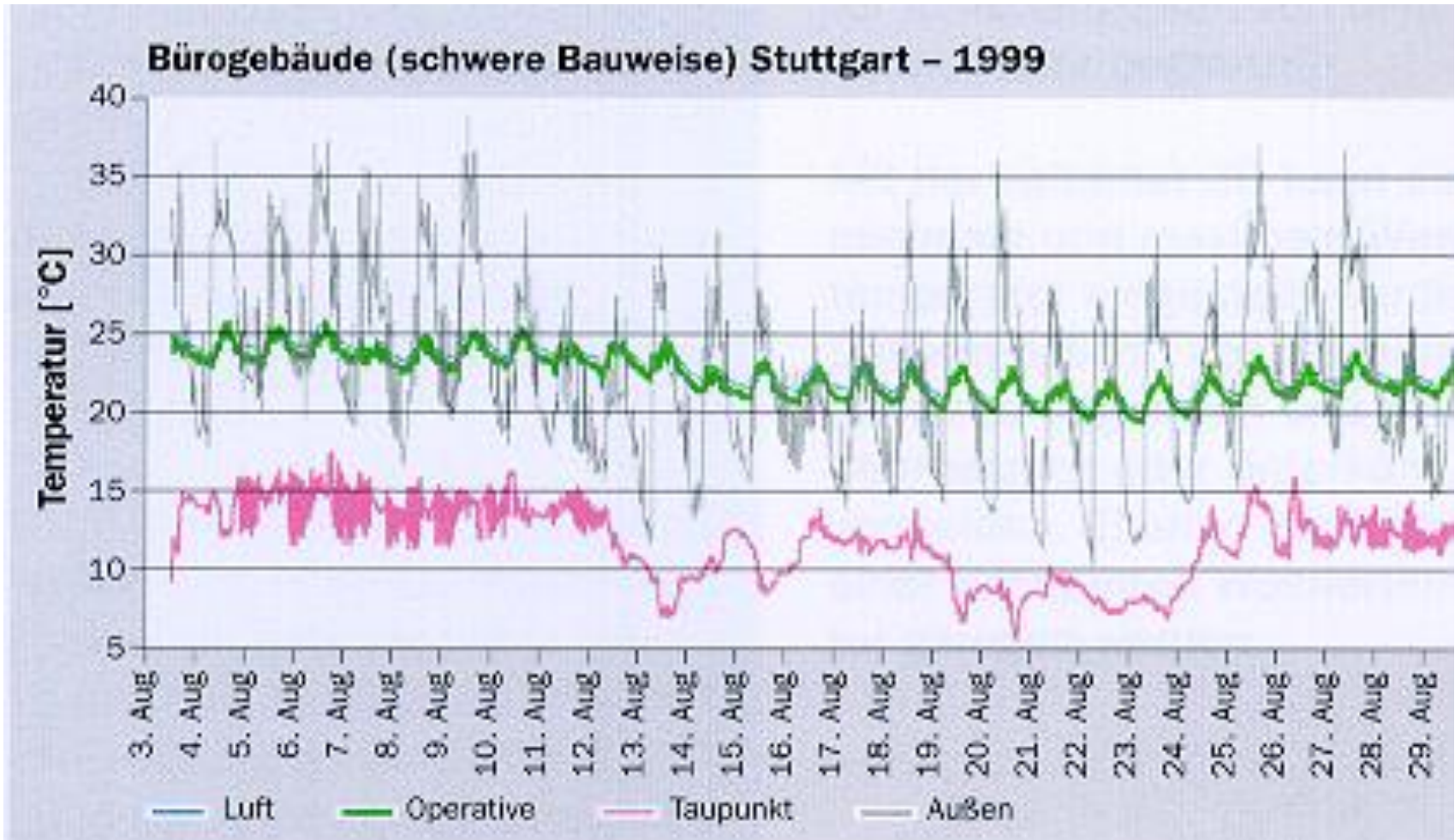
T° ambiante = 20°C

Puissance chaud : **40 W**

22 W/m² vers le bas et **18 W/m²** vers le haut



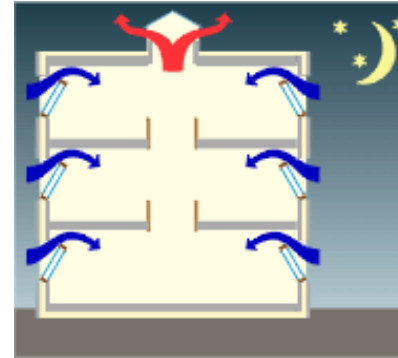
Refroidissement par eau (slab cooling) : résultats



Relevés de température intérieure (vert), extérieure (gris) et température du point de rosée de l'ambiance (rose).

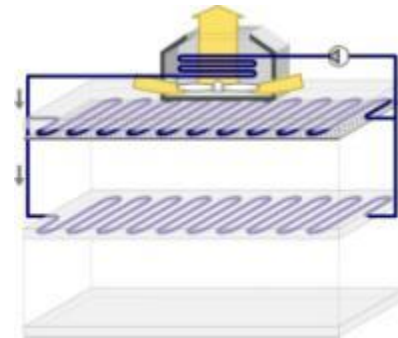
Rappel : si l'essentiel de la demande énergétique de froid se produit pour une T° ext. $< 24^{\circ}\text{C}$, le bâtiment doit pouvoir s'auto-refroidir.

- **Stratégie 1** : perméabilité variable de l'enveloppe = free-cooling



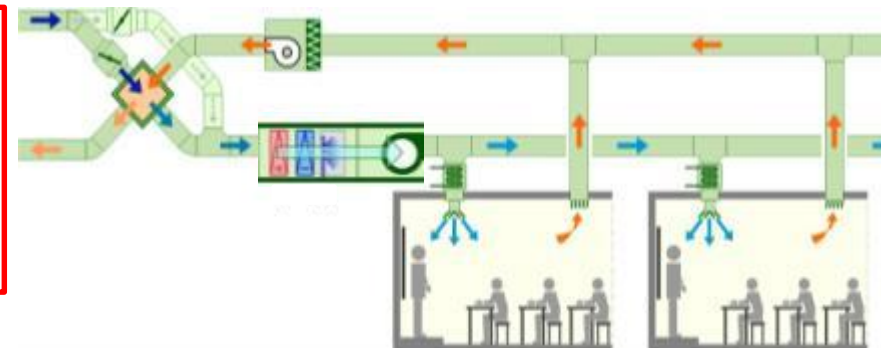
Refroidissement direct.

- **Stratégie 2** : circulation d'eau froide dans les planchers, eau refroidie "de manière naturelle" = slab cooling



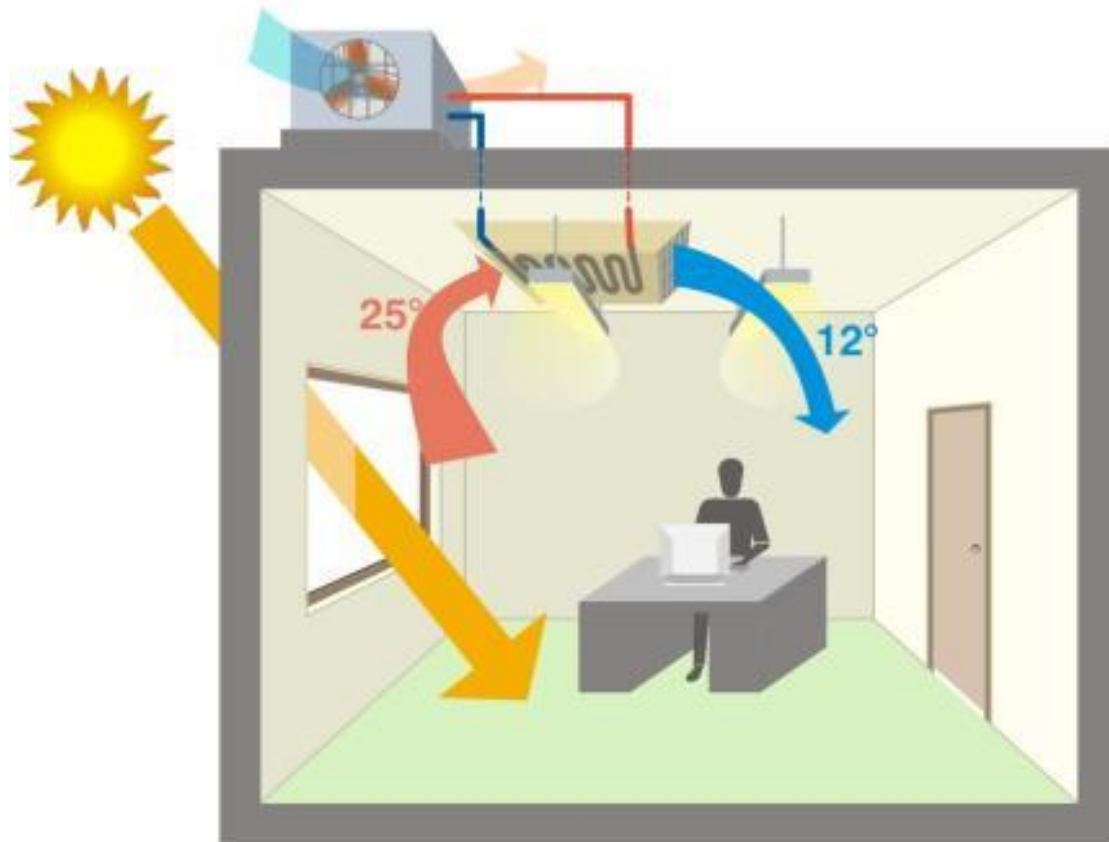
Refroidissement indirect.

- **Stratégie 3** : intégration d'air frais extérieur dans la climatisation, conçue pour ne donner qu'un complément frigorifique en période de canicule

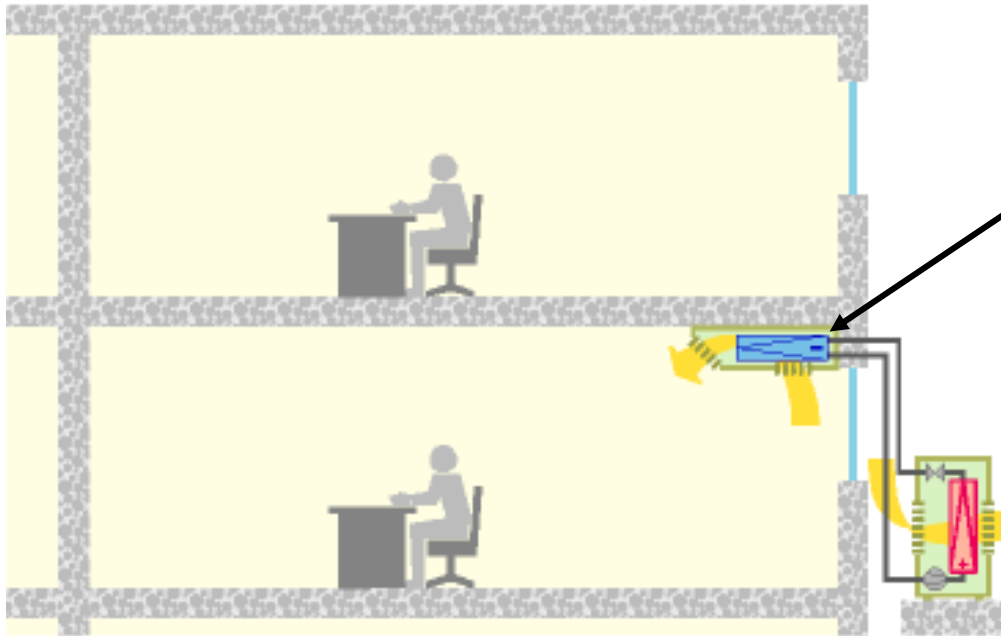


"Climatisation" ?

Dans le local, un "évaporateur" fait du froid. A l'extérieur, un "condenseur" libère la chaleur.



"Climatisation" ?



L'"évaporateur" fait du froid.

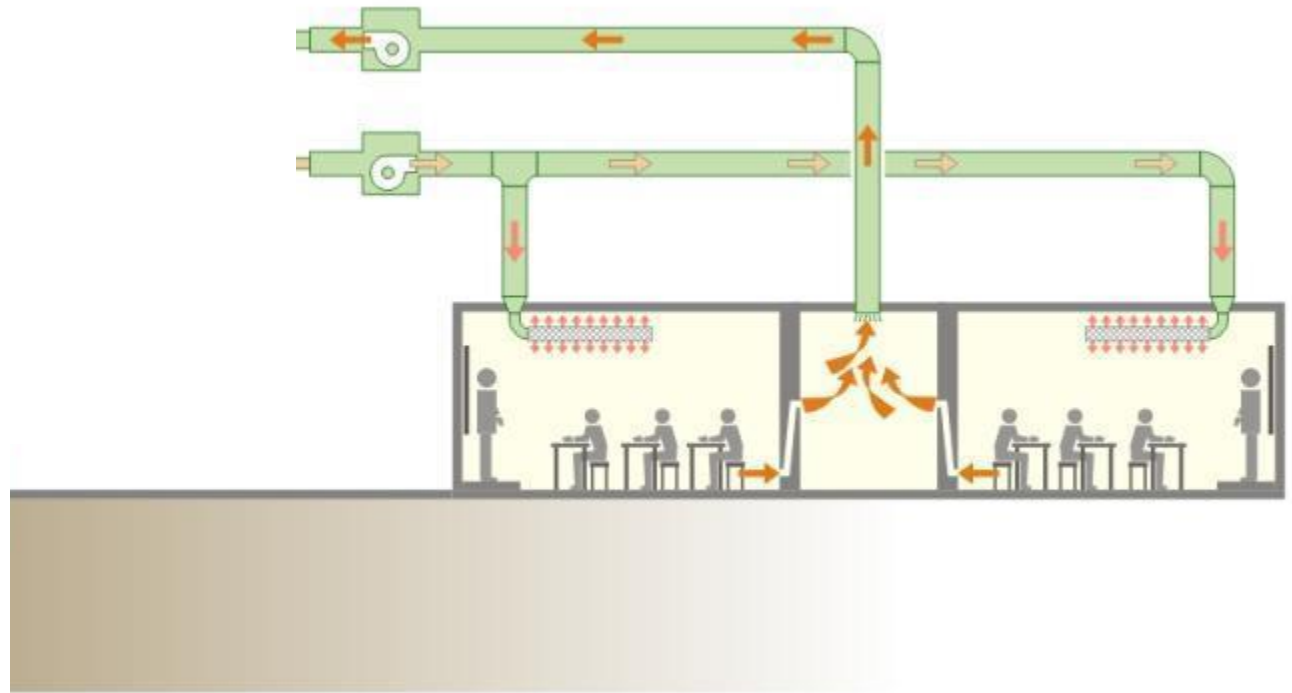


Le "condenseur" évacue la chaleur.

Avec ce type de climatisation, impossible de valoriser l'air frais extérieur... !

Exemple : école passive de Louvain La Neuve

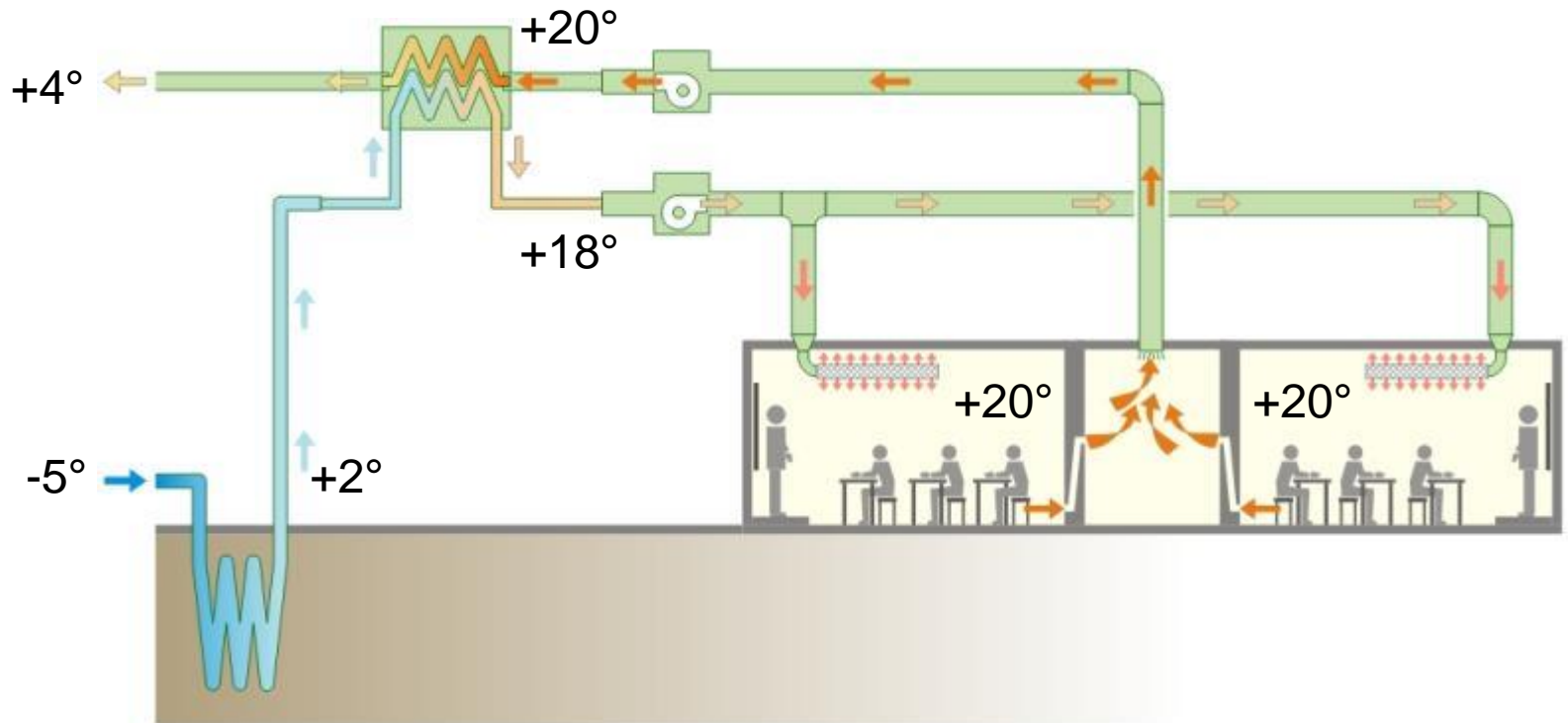
- Au départ, une ventilation très forte des classes



*22 m³ d'air frais, par enfant et par heure !
>> 500 m³/h par classe !*

L'air des classes est renouvelé 3 x par heure !

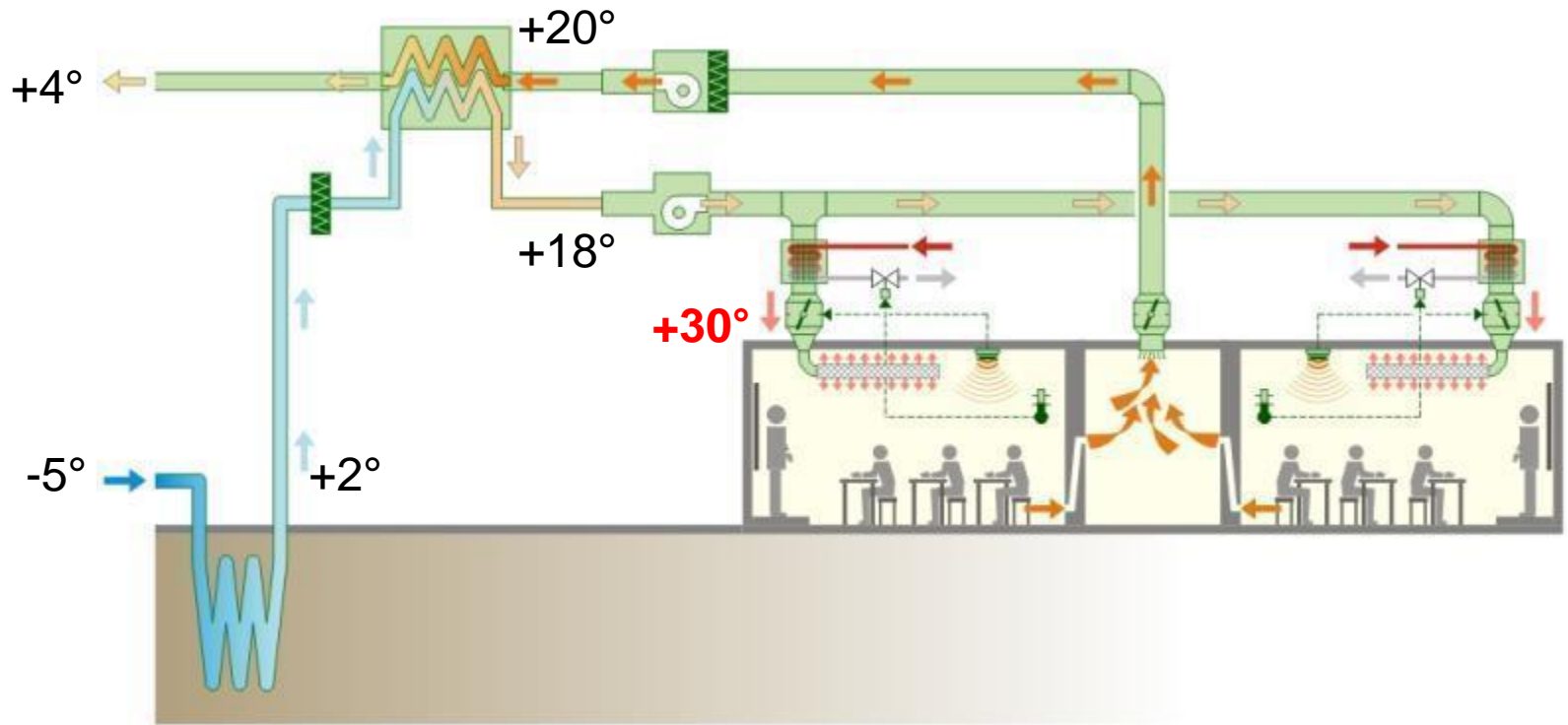
- L'air de ventilation est préchauffé gratuitement



L'air passe dans le sol (puits canadien)...

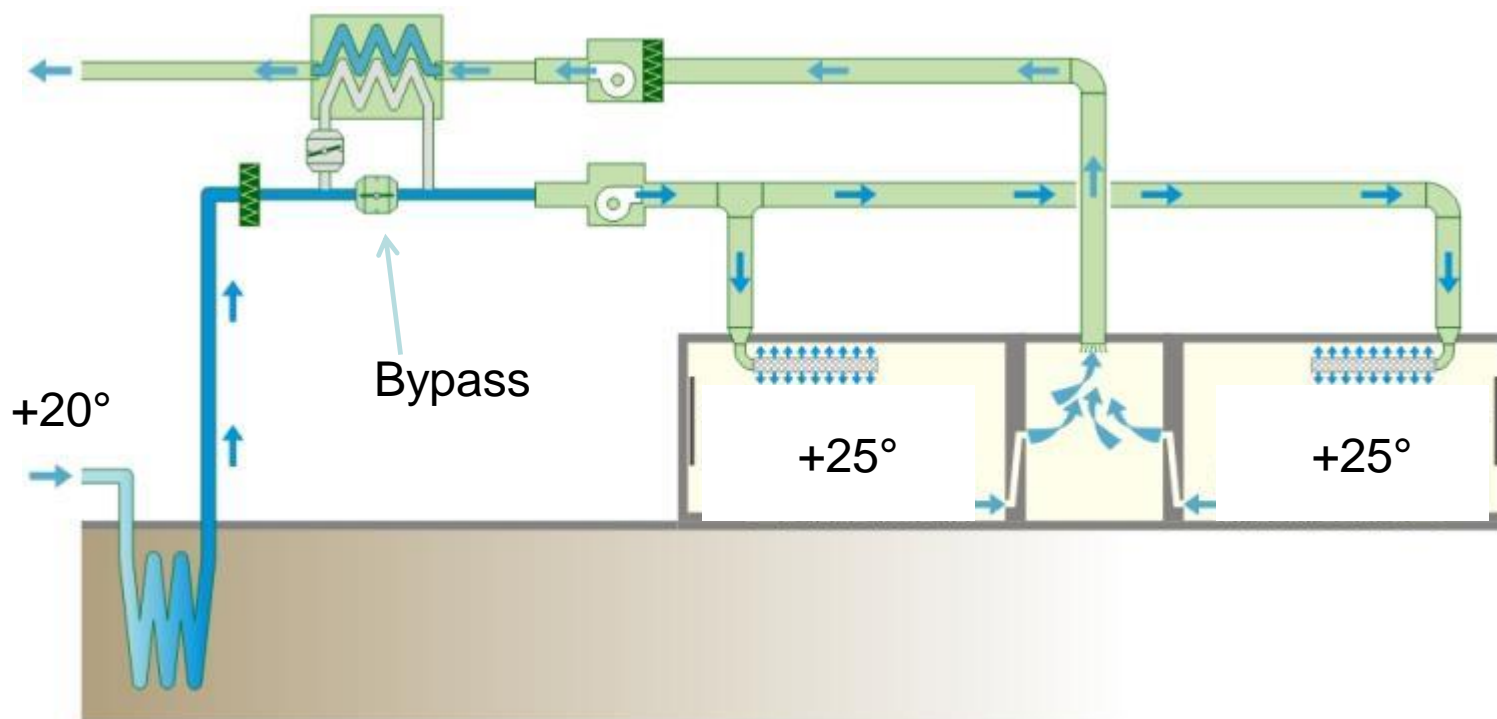
... puis dans un échangeur avec l'air chaud qui sort du bâtiment .

- Un appoint de chauffage est apporté à l'air



Une sonde de présence et un thermostat décident du besoin.

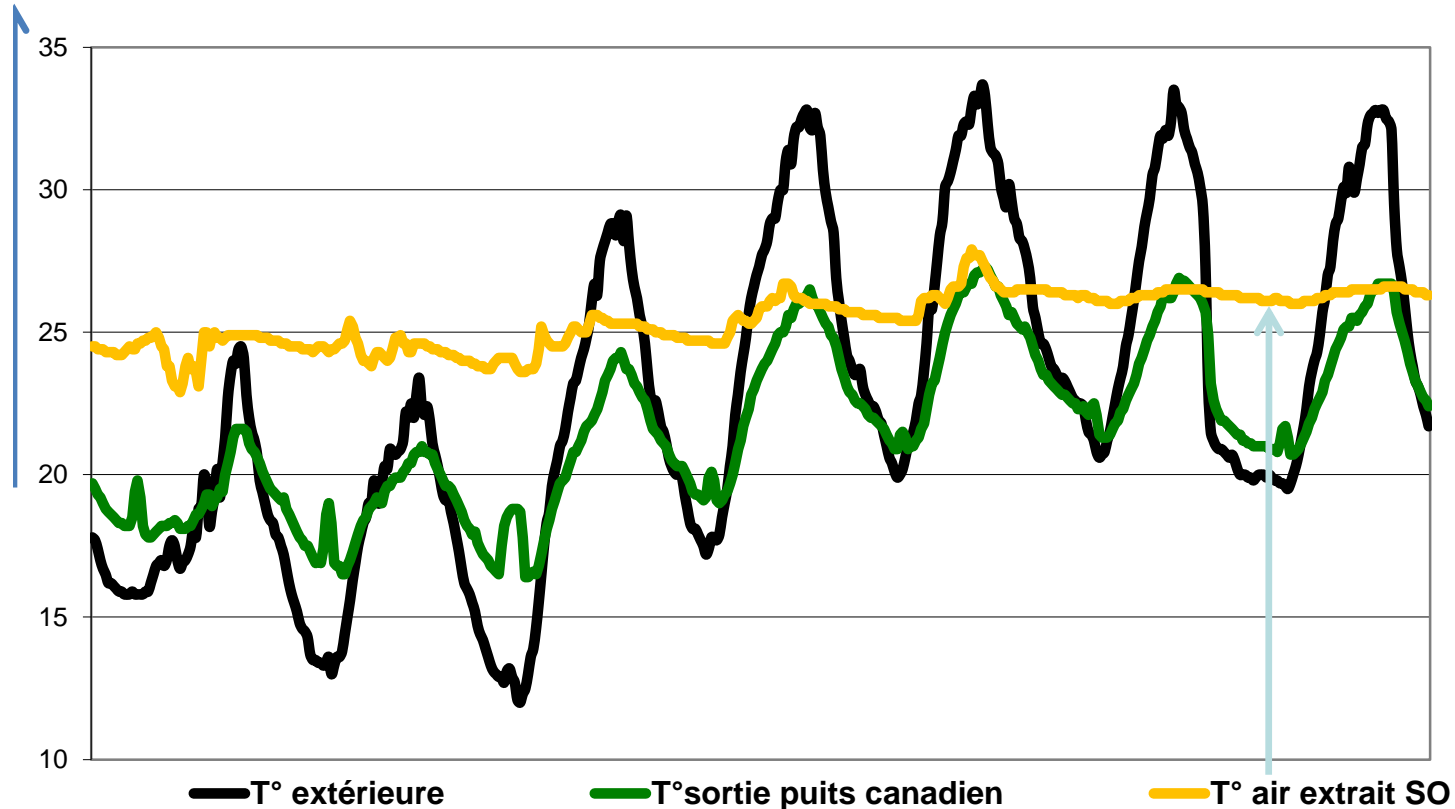
- De l'air frais pulsé la nuit



L'air frais extérieur décharge le bâtiment de sa chaleur.

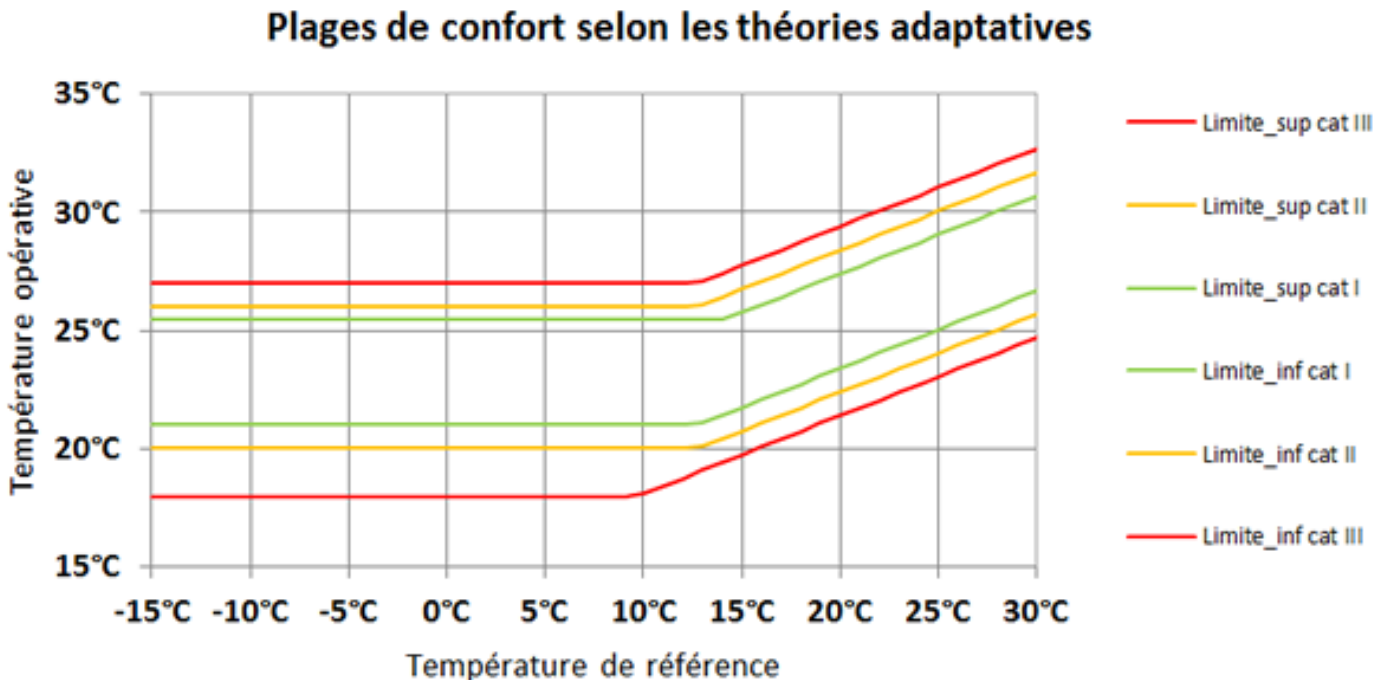
Quels résultats ?

- Un refroidissement de nuit en période chaude



... et une température intérieure de 27° par 34° extérieur.

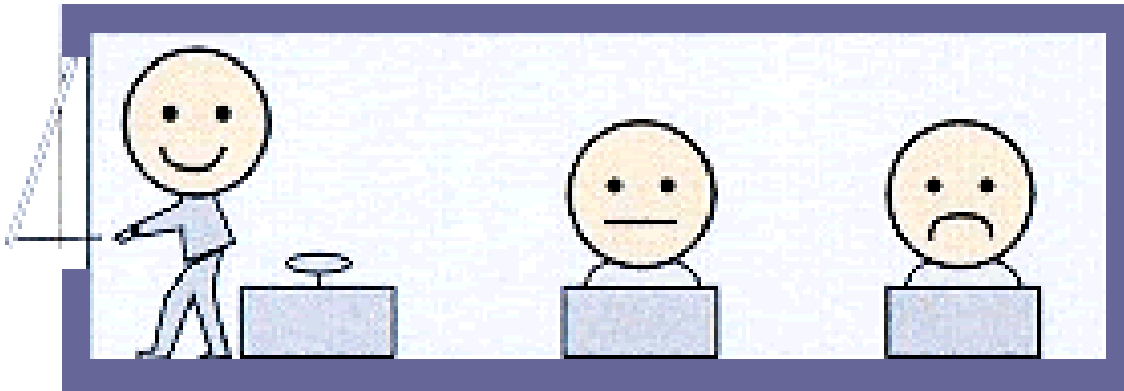
Il faut accepter une nouvelle vision du confort...
(notion de confort adaptatif)



Objectifs de confort intérieur :

**max 5% du temps au dessus de 25°C,
max 1 % du temps au dessus de 28°C**

La valorisation de l'air frais extérieur apparaît aussi comme une réponse au "sick building syndrome"



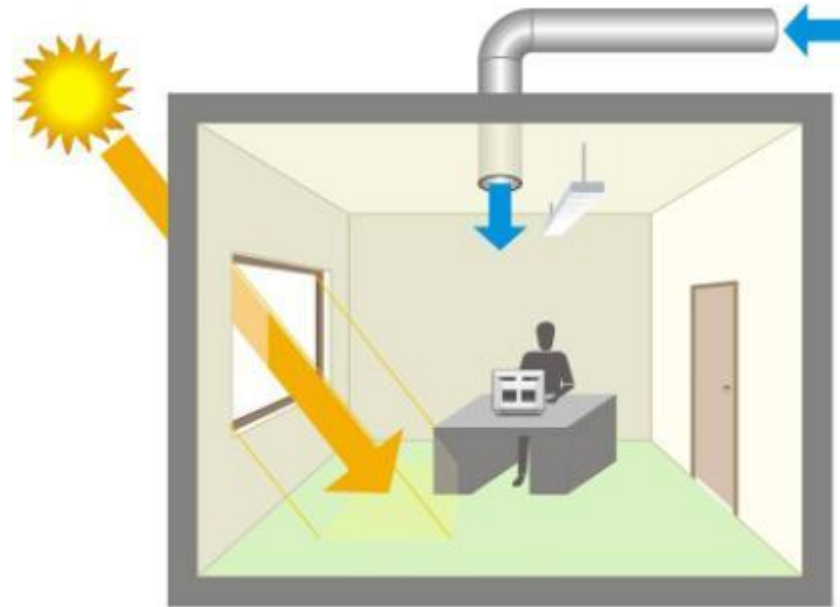
*Le **sick building syndrome** se caractérise par des symptômes d'inconfort et des réactions physiologiques comme : nez bouché, gorge irritée, maux de tête, fatigue.....*

Et là, pour résoudre les besoins thermiques des bureaux,
sur le réseau de ventilation, pourquoi ne pas ajouter un groupe frigorifique ... ?

Free-cooling de nuit et appoint de clim les jours de canicule ... ?

Oui... mais pas de miracle ...!

Pourrait-on refroidir le local avec l'air hygiénique pulsé à 15°C ?

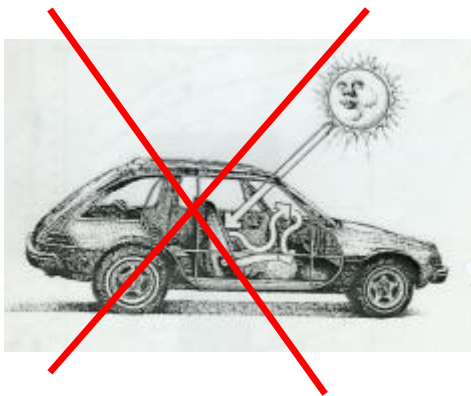


$$\begin{aligned} \text{Puissance} &= \text{débit} \times \rho c \times \Delta T^\circ = 30 \text{ m}^3/\text{h}/10 \text{ m}^2 \times 0,34 \text{ Wh}/\text{m}^3 \cdot \text{K} \times (25-15) \text{ K} \\ &= 10 \text{ W}/\text{m}^2, \dots \text{seulement !} \end{aligned}$$

Il faut au minimum tripler le débit d'air neuf !

En résumé :

1. Isoler ? oui, mais le bâtiment doit pouvoir s'auto-refroidir en été.
2. L'enveloppe ne doit pas générer des charges thermiques de plus de ... 50... W/m²
3. Trois stratégies de refroidissement naturel :
 1. l'air par les fenêtres,
 2. l'eau dans le cœur de béton,
 3. l'air neuf au sein de la climatisation /
la climatisation au sein du réseau de ventilation



Assurons l'inertie de nos locaux !



Pour exploiter l'air frais extérieur,

passons au bâtiment "décapotable" ...

... et réservons la clim aux périodes de canicule !