

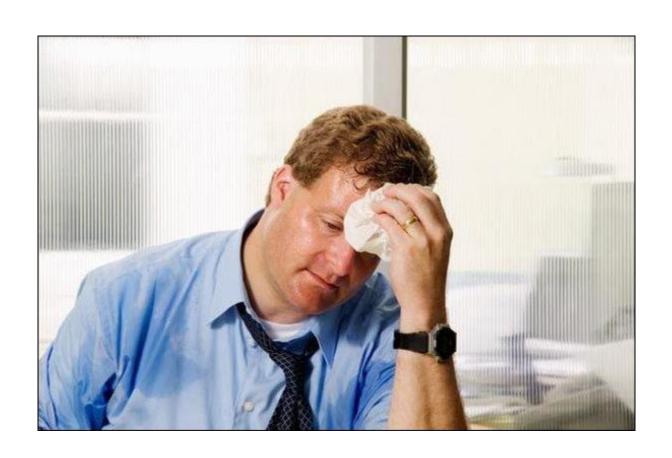


Comment éviter le risque de surchauffe d'un bâtiment tertiaire sans avoir recours au refroidissement?

Jacques CLAESSENS jacques.claessens@uclouvain.be



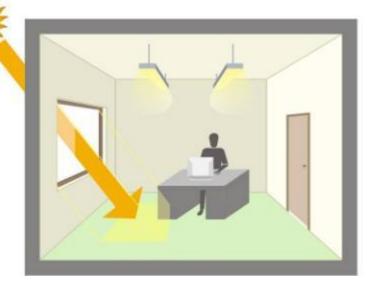
Quelle est l'origine de la surchauffe d'un local ?



Bilan thermique d'hiver :

Exemple:

bureau pour 2 personnes (4m × 5m × 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 W

· Toiture :

 $0.3 \text{ W/m}^2\text{K} * 20 \text{ m}^2 * (20-0) \text{ K}$

= 120 W

· (Ventilation:

 $60 \text{ m}^3 \times 0.34 \text{ Wh/m}^3.\text{K} \times (20-0) \text{ K} = 400 \text{ W}$

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

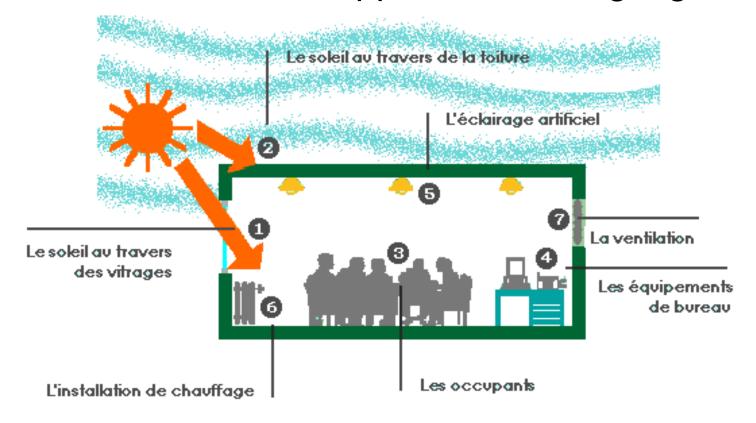
TOTAL : = 1100 W



METHODE SIMPLIFIEE DE CALCUL POUR | LOCAL:

	L'EVALUATIO	N DU B	ILAN F	RIGO	RIFIQ	UE				
CLIENTADRESSE			DATE TELEPH EFFECT		 R					
ALABLE POUR LAT. 50° N	ORD CONDITIO	NS EXTERI	EURES: 3	0°C		CONDI	TIONS D'AMBI	ANCE: 24 C.,	50% R.V	
DESCRIPTION	ORIENT/ PRINCI	ATION PALE	UNITE		MAX. VATTS		EF- UNI	TES T	OTAL	
FENETRES EXPOSE SOLEIL (n'en prendre qu'une en même temps)	seule E-SE o	ou SØ	m² m² m² m²	X	200 250 300 180	A THE STATE OF THE	Adversely (Class and All published) Adversely (Class and All published) Adversely (Class and All published) Adversely (Advil) (This bound (All published) and All published (Class and All published)	A Commission of the Commission		
COUPOLES HORIZO	NTALES		m²	X	400	X	X	100 April 100 Ap		
2. TOUTES FENETHES	NON COMPRISES EN 1		m²	_ X	60	X	1	and the second s		
3 MURS EXPOSES AU (prendre la même orie qu'en 1)	D SOLEIL NO + E	so	m² m² m²	X	20 30 25	X	Primary Constitution (Constitution Constitution Cons	120 Property of Children and Children		
4. TOUS LES MURS N	ON COMPRIS EN 3	HATCH CONTROL OF THE PERSON OF	m²	_ X	8	X	1 X			
5. MURS INTERIEURS let CLOISONS	Tous murs ou cloisons intérie adjacents à un local non clim	eurs iatisé	m²		5	X	neise principal de la constante de la constant	25 (20 cm c) (20		
6. PLAFOND ou TOITURE (prendre l'un ou l'autre)	- Local non climatisé au-de - PLAFOND avec mansa au-dessus	arde	m² m²	A CONTRACTOR OF THE CONTRACTOR	30		The control of the co			
	- TOIT plat nu - TOIT PLAT avec platond	LOURD LEGER LOURD LEGER	m ² m ² m ² m ²		40 50 30 50	X section of	elidigi de propinsi p	A COUNTY OF THE		
in the control of the	local non-climatisée au-de sur chaufferie sur caves ou vide	SOU and the second	m² m² m²	200 March 1997	5 20 0	X	1	And the state of t		
8. OUVERTURE PERM A UN LOCAL NON		LONGSTEIN CHEEN STATEMENT CHEE	m² m²	_ X	200 110	1111	1 X 1 X	2		
ECLAIRAGE ET API en fonctionnement Tubes TL	PAREILS ELECTRIQUES	Hittopootti Etypiot Hittopootti H	W	_ X _ X	1 1,25	X X	1 X	10 (10 (10 (10 (10 (10 (10 (10 (10 (10 (
10. OCCUPANTS (Sen 11. VENTILATION (Ser naturelle	nsible seul) 1/2 a 1 vo		Pers. m³/H	_ X	70 2		1 parenting	Tiert and the State of State o		
ou fumeurs faibles ou mécanique	reprint can opposite the control of	ANTERPORTE ANTERP	Pers. m³/H	A STATE OF THE PROPERTY OF THE	170 2	X	1 X			
COMPOSITION								TAL		
PAS DE PERSIENN PERSIENNES INTEF PERSIENNES EXTE VITRE REFLECHISS	RIEURES: 0,60 ERIEURS: 0,20		COEFFICIENT DE DESHUMUDIFICATION DE BATTERIE X 1,20 PUISSANCE DE SELECTION EN WATTS							
3. MUR LEGER ISOLE MUR LOURD MUR LOURD ISOLE	: 0,80		APPARE			NNE: .		== 102		
6. TOIT ISOLE > = 5	0 MM : 0,30		W x 0,8	6 =			H (Frig./H.) m³/H.			

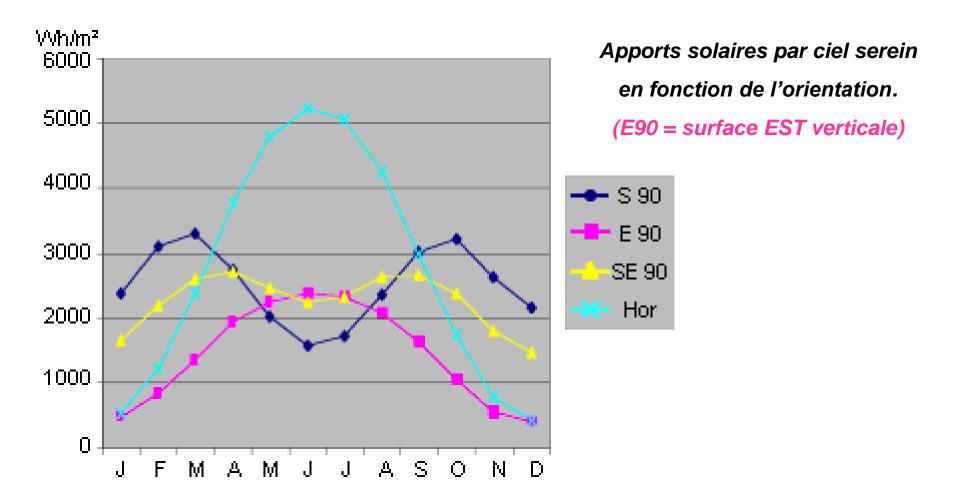
→ Nécessité de développer une stratégie globale !



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

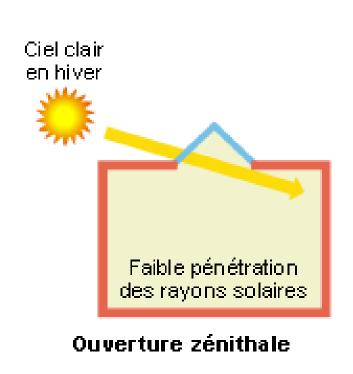
... qui créent la demande!

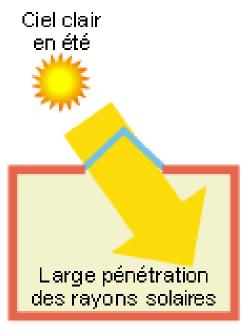
1° Apports solaires par les vitrages ?



- → 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, ...!





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 !



METHODE SIMPLIFIEE DE CALCUL POUR L'EVALUATION DU BILAN FRIGORIFIQUE

LOCAL:

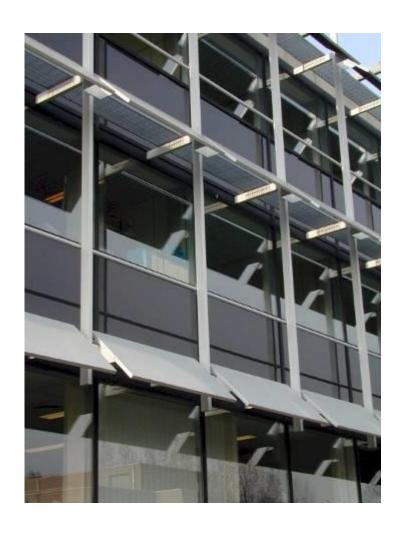
CLIENT

DATE

TEI EDUONE

Nagistranishin and parameter a	ORIENTATION PRINCIPALE	UNITE		MAX. NATTS		COEF- FICIENT	UNITES	TOTAL
1. FENETRES EXPOSES AU SOLEIL (n'en prendre qu'une seulc en même temps)	Hermonia de la composito del composito della c	m²		200		Association of the control of the co		
	E - SE ou SO	m²	X	250	χ-	— Х		
		m²		300				
	NO.	m²		180			·	
The control of the co		m²		400	X	Selection of the select		
2. TOUTES FENETHES NON CO		m²	.	60	X	1		

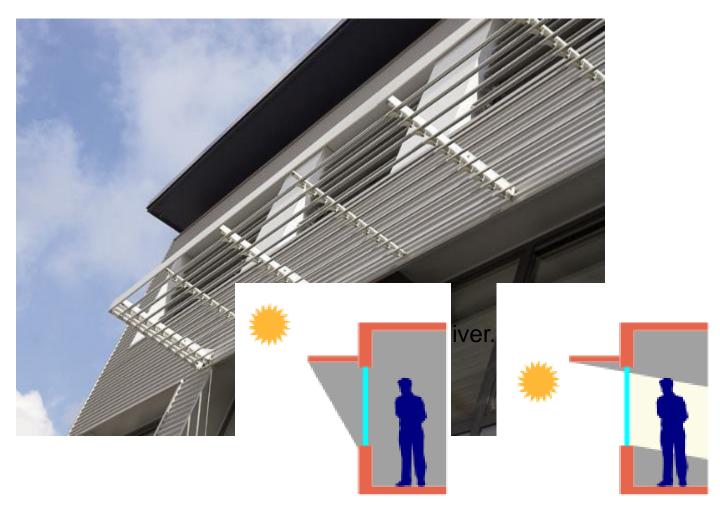
COMPOSITION		COEFFICIENT	
I. PAS DE PERSIENNES		1.00	
PERSIENNES INTERIEURE	ES:	0,60	
PERSIENNES EXTERIEUF	≀S:	0,20	
VITRE REFLECHISSANTE	•	0,60 à 0,20	
B. MUR LEGER ISOLE	:	0,60	
MUR LOURD	:	0,80	
MUR LOURD ISOLE	:	0,50	
			1,20
6. TOIT ISOLE > = 50 MM		0,30	=====
AUTRES CAS	9	1.00	





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...!

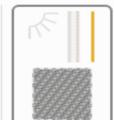
L'optimum réaliste :

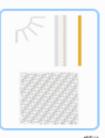
- store intérieur,
- gris clair sur les 2 faces
- < 10% d'ouverture











Protection contre la surchauffe

Apport de lumière naturelle

Protection contre l'éblouissement /

+

+++

+++

+

Vue au travers

Conditions de jour Vue depuis l'intérieur



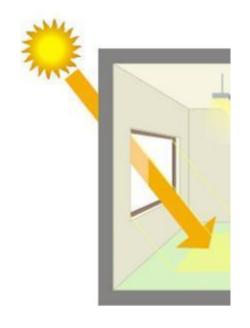


Conditions de nuit Vue depuis l'extérieur





Et si la vitre comprenait la protection solaire ?



D'où:

- les vitrages <u>sélectifs</u> 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!

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...

2° Apports solaires par la toiture ?



Peinture blanche réfléchissante sur roofing ... ?

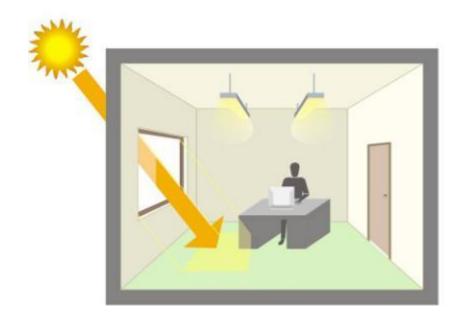
LAFOND ou	- Local non climatisé a	U-dessus	m ²	4		
OITURE prendre l'un ou l'autre)	- PLAFOND avec ma au-dess		m²	30		geographical projects
	- TOIT plat nu	LOURD	m²	40		
		LEGER	m²	50		
	- TOIT PLAT	LOURD	m²	30	Χ	
	avec plafond	LEGER	m ²	50		

r III

in the property of the propert

COMPOSITION		COEFFICIENT	
1. PAS DE PERSIENNES PERSIENNES INTERIEURE PERSIENNES EXTERIEURE VITRE REFLECHISSANTE	RS:	1,00 0,60 0,20 0,60 à 0,20	
3. MUR LEGER ISOLE MUR LOURD MUR LOURD ISOLE	:	0,60 0,80 0,50	
6. TOIT ISOLE > = 50 MM AUTRES CAS	•	0,30 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 :

$$600 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 60 \text{ m}^3 \times 0.34 \text{ Wh/m}^3.^{\circ}\text{C} \times \text{Delta T}^{\circ}$$

$$\rightarrow$$
 Delta T° = 600 / (60 x 0,34) = 30 °

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

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 :

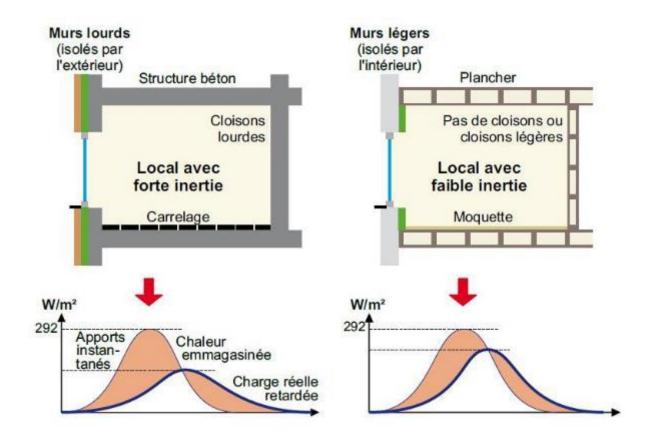
600 W x 1 h = $(60 \text{ m}^3 \text{ x } 0.34 \text{ Wh/m}^3.^{\circ}\text{C} + 94 \text{ m}^2 \text{ x } 0.02 \text{ m x } 500 \text{ Wh/m}^3.^{\circ}\text{C}) \text{ x Delta T}^{\circ}$

$$\rightarrow$$
 Delta T° = 600 / (60 x 0,34 + 1,8 x 500) = 0,6 °C

$$T^{\circ} = 20^{\circ} + 0.6 \, ^{\circ}C = 20.6 \, ^{\circ}C \, !!!$$

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





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



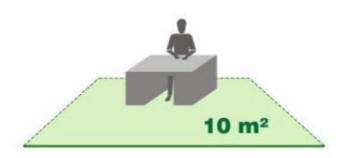
Contrôle de l'éclairement



Lampes led...

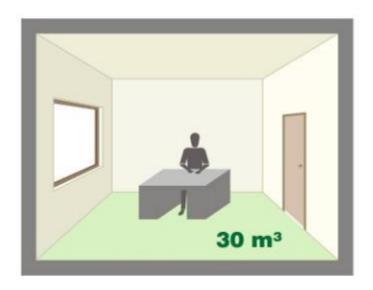
4° Quel apport de l'air de ventilation hygiénique?

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



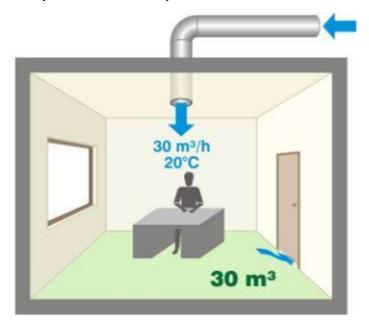
Un travailleur occupe en moyenne 10 m².

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.

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

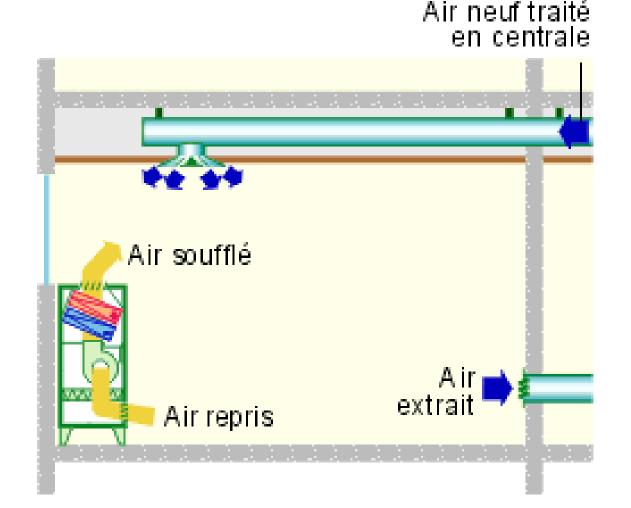


Lui apporter 30 m³/h d'air hygiénique, c'est donc renouveler l'air du local 1 fois par heure.

Et si cet air arrive à une T° > T° local, c'est une source de surchauffe...⊗...

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

Si T°ext 15°C,
Si batterie de froid en marche,
Si Air pulsé à 20°C,
destruction d'énergie entre chaud et froid!



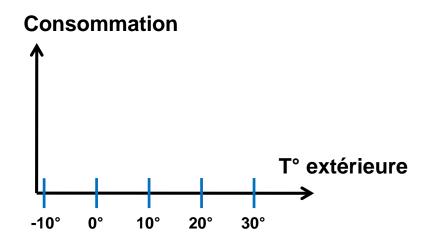
Réflexion : en isolant nos bâtiments, n'avons-nous pas déplacé le problème de l'hiver vers l'été ?...



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 :

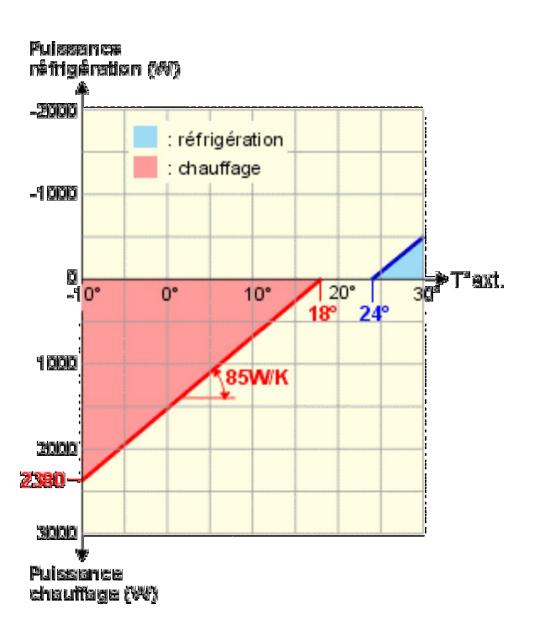


Mais Consommation = Puissance x Temps

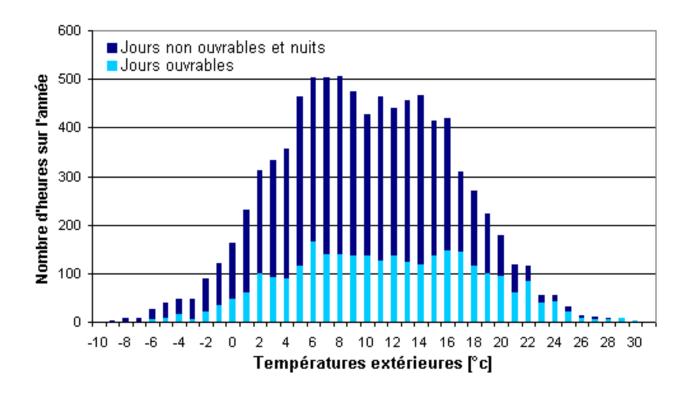
Puissance?

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

Exemple pour une paroi :



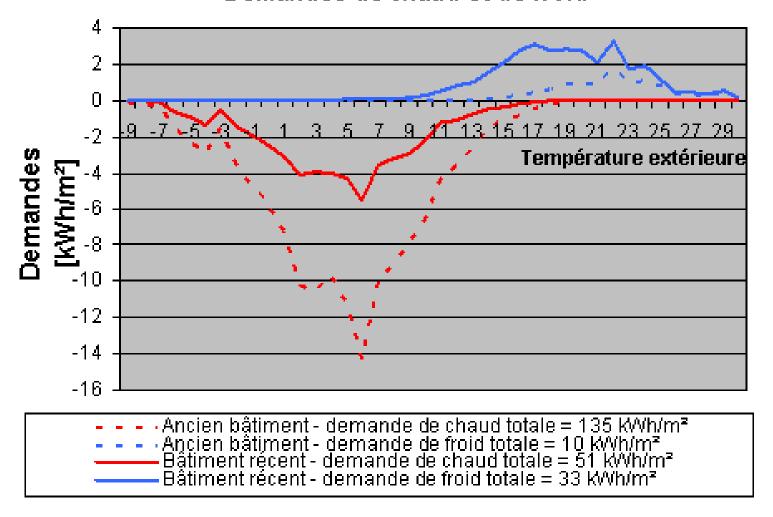
Temps? A chaque T° ext. correspond un nombre d'heures durant l'année. Exemple pour Uccle :



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

Consommation:

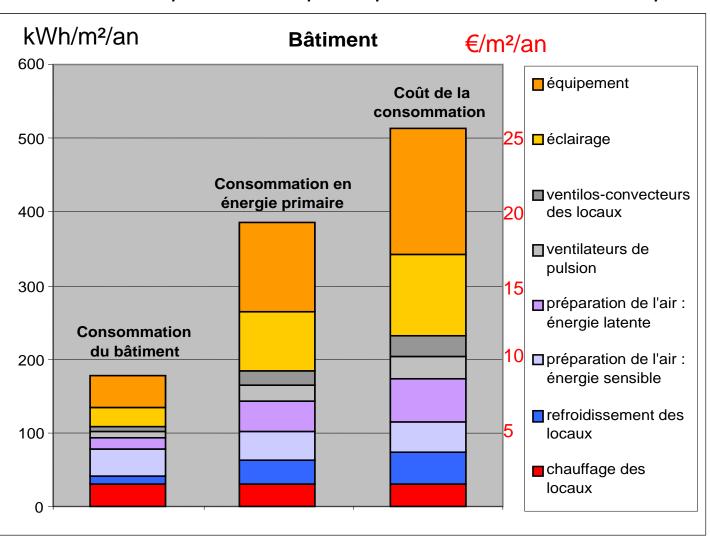
Demandes de chaud et de froid



→ Conclusion 1 : augmentation de la demande de refroidissement ... mais surtout pour une T° extérieure comprise entre 15 et 24°C !

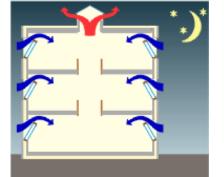
Quelle origine des demandes d'énergie ?

Les consommateurs électriques sont amplifiés par le coût du kWh électrique :



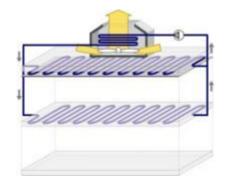
Conclusion : si l'essentiel de la demande énergétique de froid se produit pour une T° extérieure < 24°C,... le bâtiment doit pouvoir s'auto-refroidir.

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



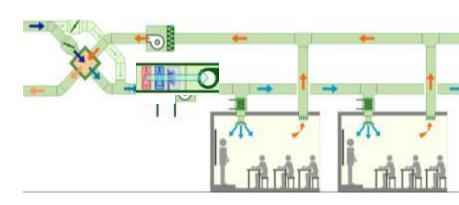
Refroidissement direct.

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

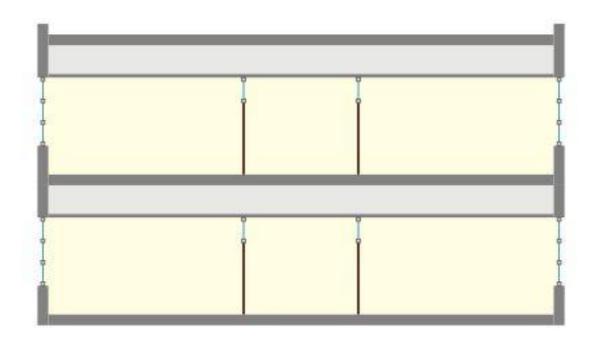


Refroidissement indirect.

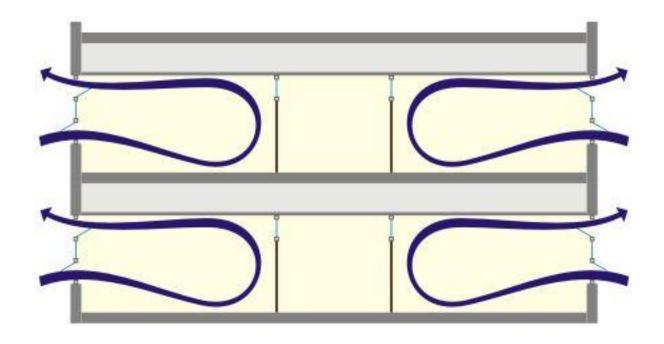
• Stratégie 3 : intégration d'air frais extérieur dans la climatisation, conçue pour ne donner qu'un complément frigorifique en période de canicule



Stratégie 1 : Le refroidissement direct par l'air



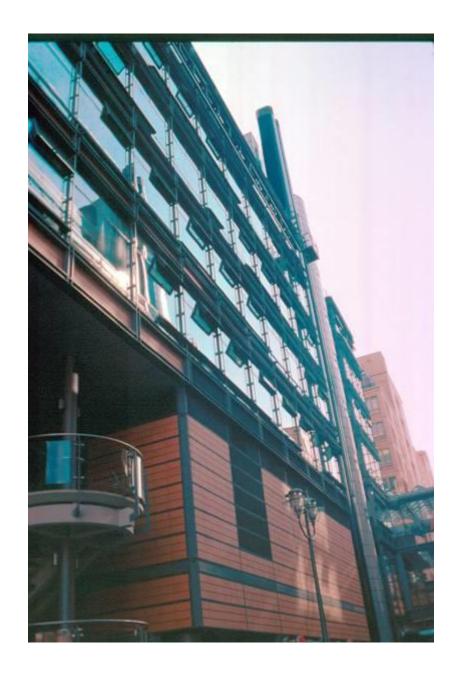
1.1 Free-cooling unilatéral



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.



Surface d'une fenêtre [m²]	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		



Débit en m³/s

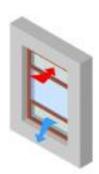
Exemple:

Soit un local de 20 m² et 50 m³.

2 fenêtres de 0,25 m² espacées de 1,5 m en hauteur, lorsque le DeltaT° = 8 K, vont générer $0,03 \times (8)^{0},5 = 0,084 \text{ m}^{3}/\text{s} = 300 \text{ m}^{3}/\text{h}$ 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.

Surface d'une grille [m²]	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		



Débit en m³/s

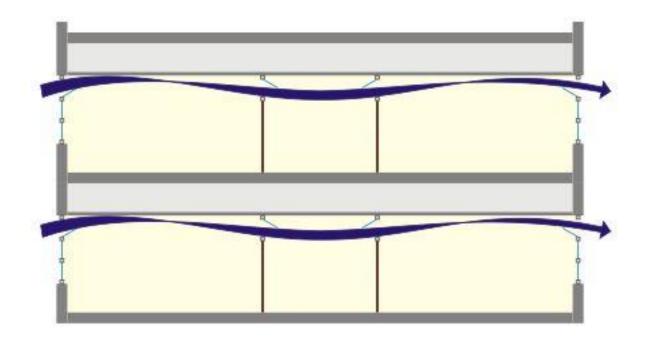
Exemple:

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

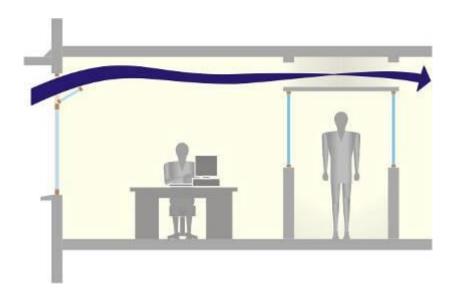
Remarque:

Autre ratio : la section ouverte totale peut aussi se dimensionner sur base de « 4% de la surface de plancher », soit 0,04 x 20 m² = 0,8 m²

1.2 Free-cooling transversal

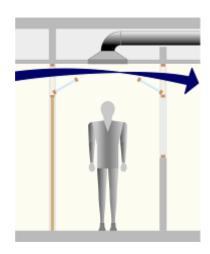


Cette fois, c'est le **vent** qui est le moteur. Un ratio de **2% d'ouverture** par rapport à la surface au sol suffit.

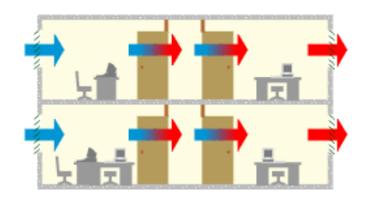


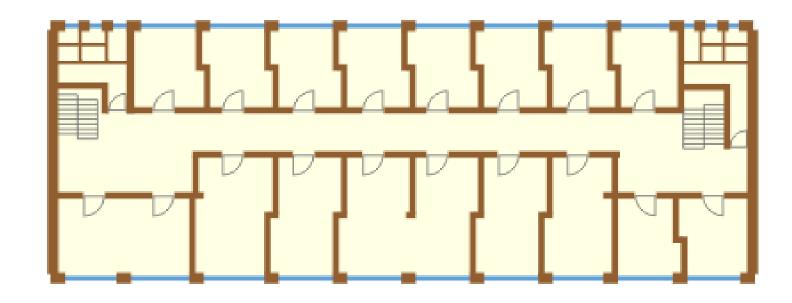
Free-cooling transversal

... et appoint mécanique en absence de vent

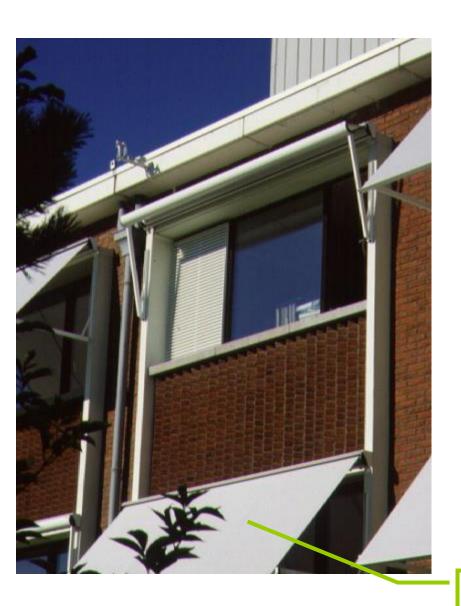


Exemple: PROBE – CSTC Limelette





Exemple: PROBE – CSTC Limelette

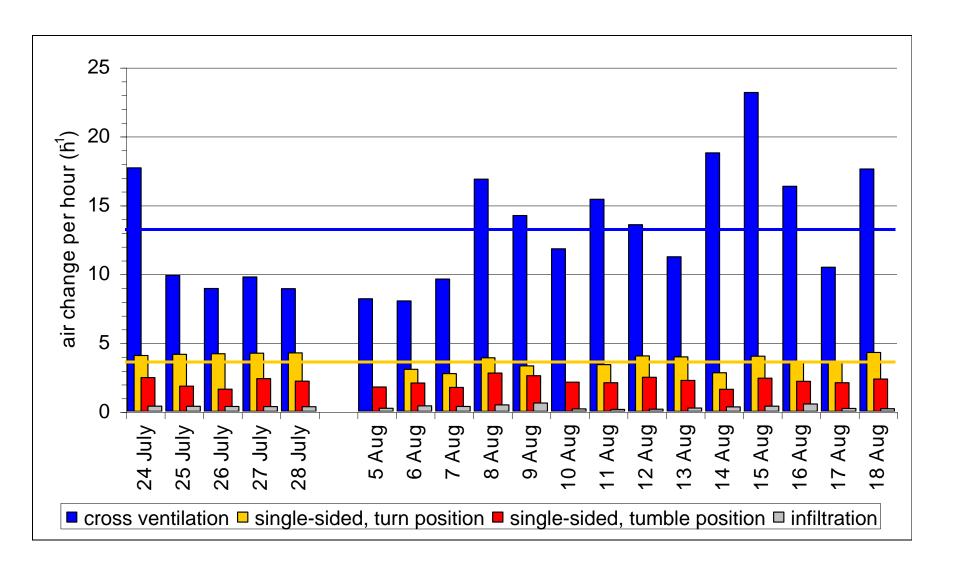


Grilles de mai à septembre



Protection solaire

Exemple: PROBE - CSTC Limelette



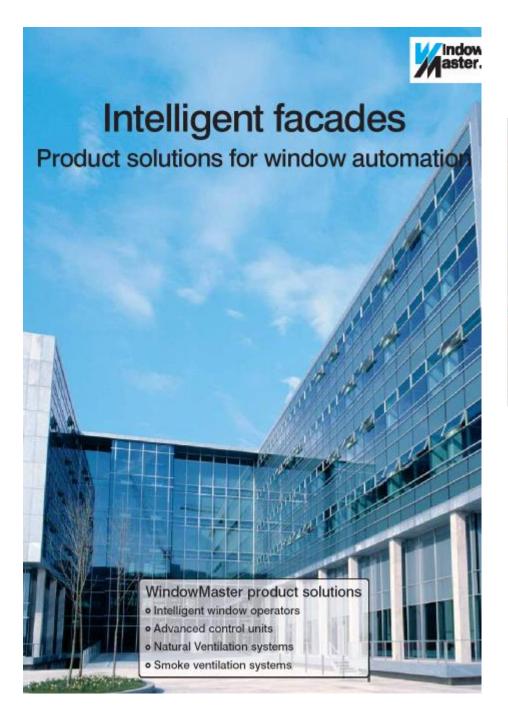
Une façade « perméable » à l'air ?



Motoriser les ouvertures?

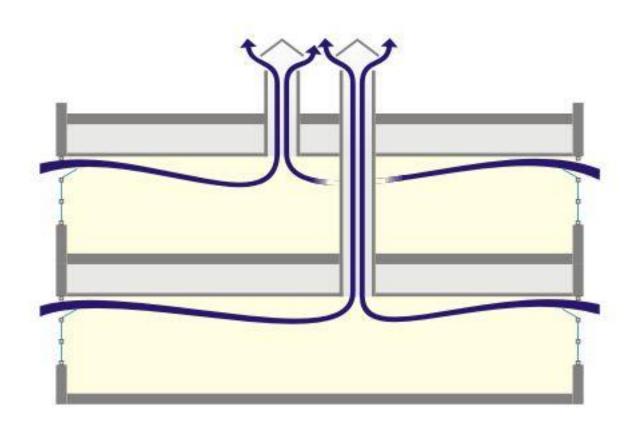




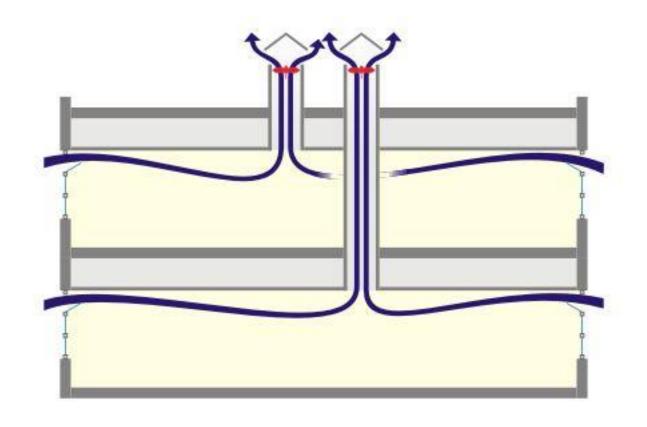




1.3 Free-cooling par tirage thermique



1.3 Free-cooling par tirage thermique

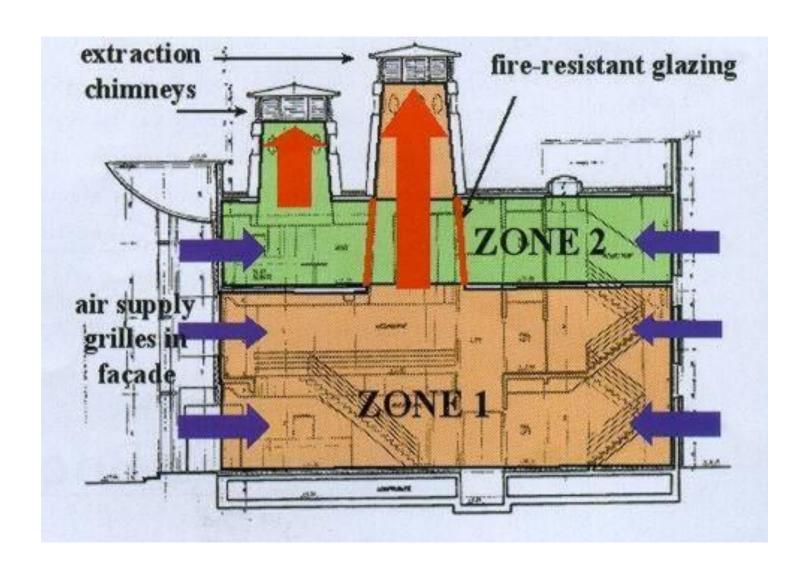


... avec extraction assistée par ventilateur

Exemple: IVEG



Des cheminées de ventilation naturelle



Exemple: IVEG



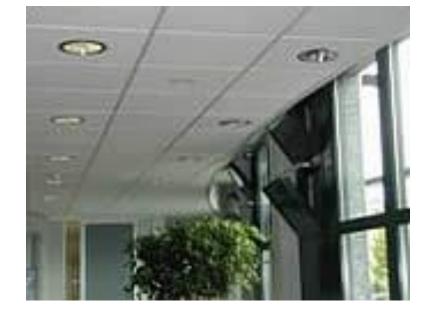








Faux-plafond partiel



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

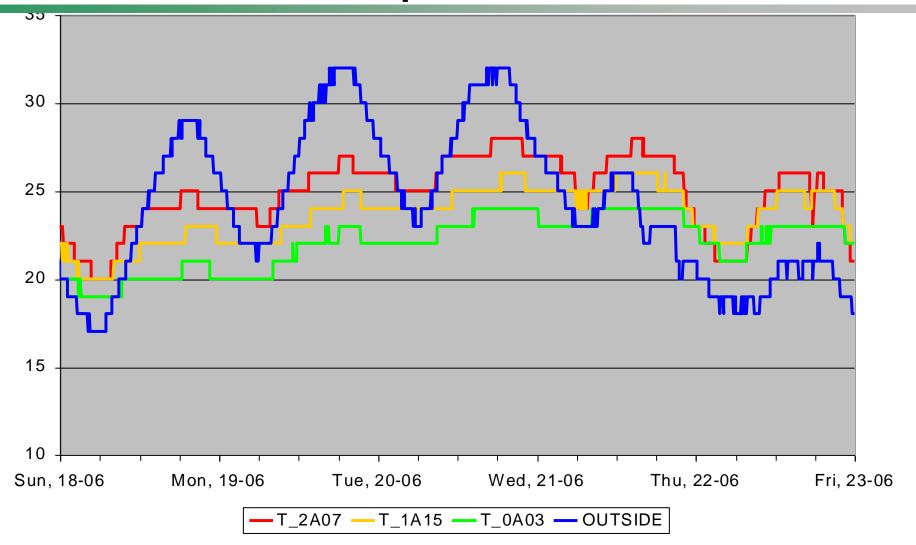


Protections solaires efficaces

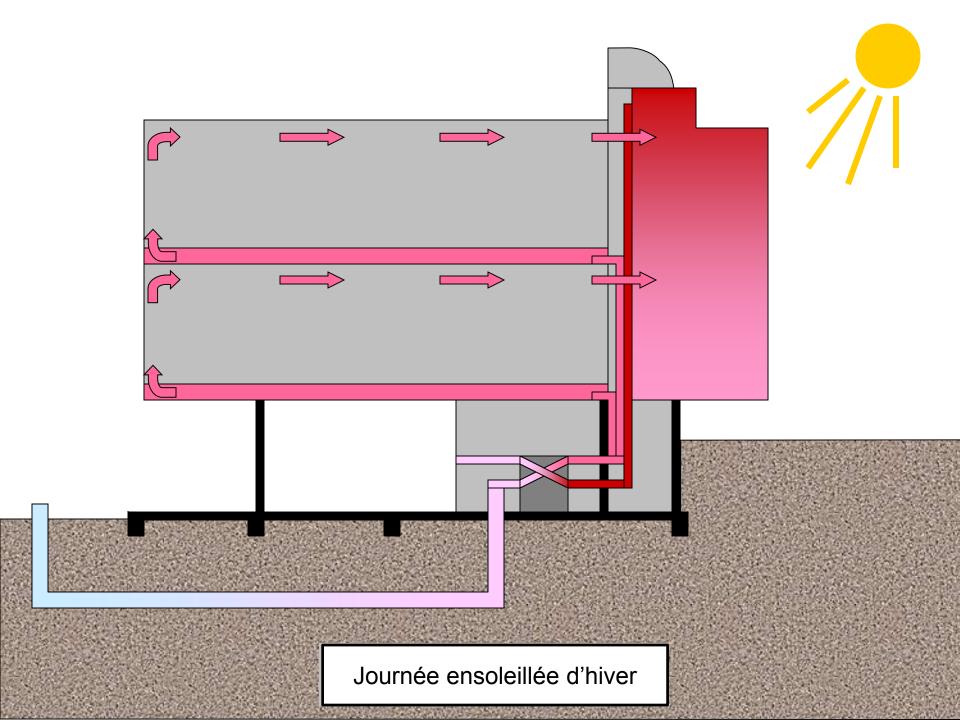


Isolation renforcée

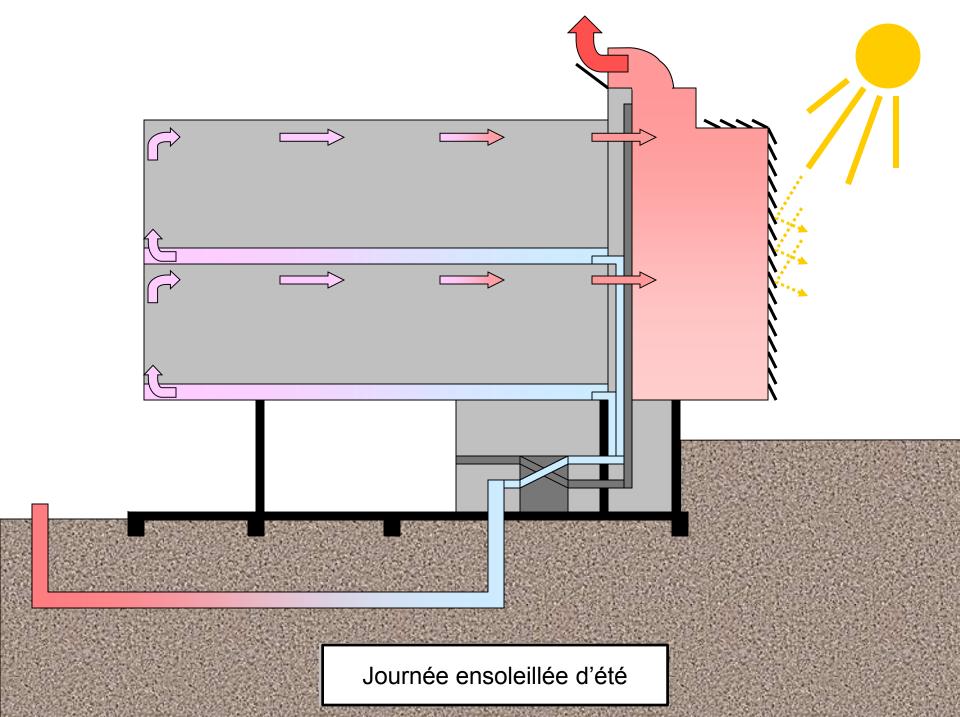
Exemple: IVEG



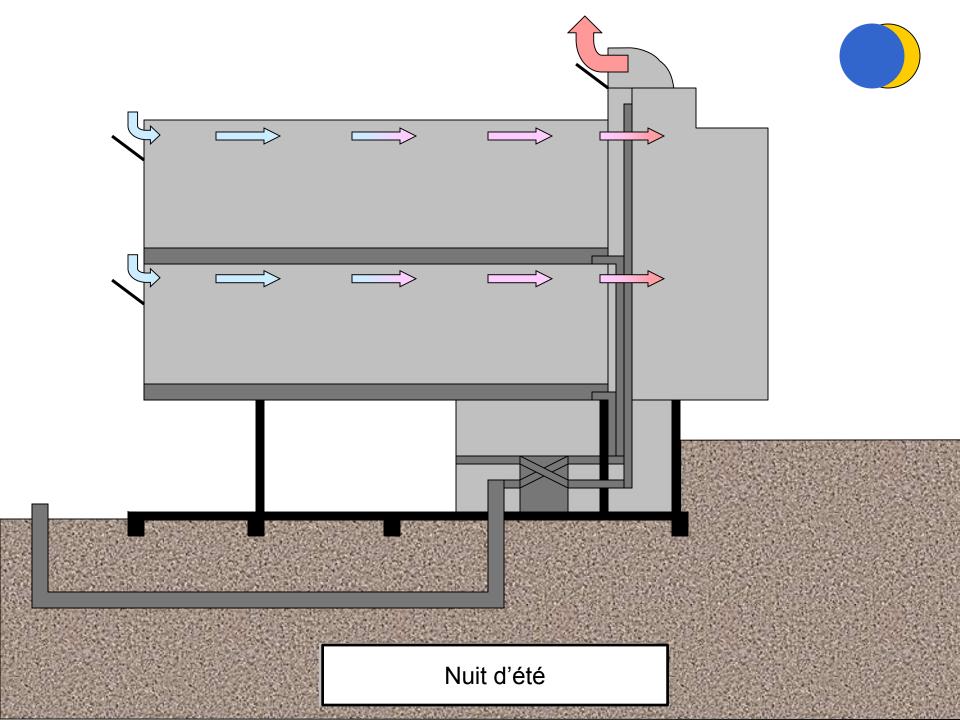






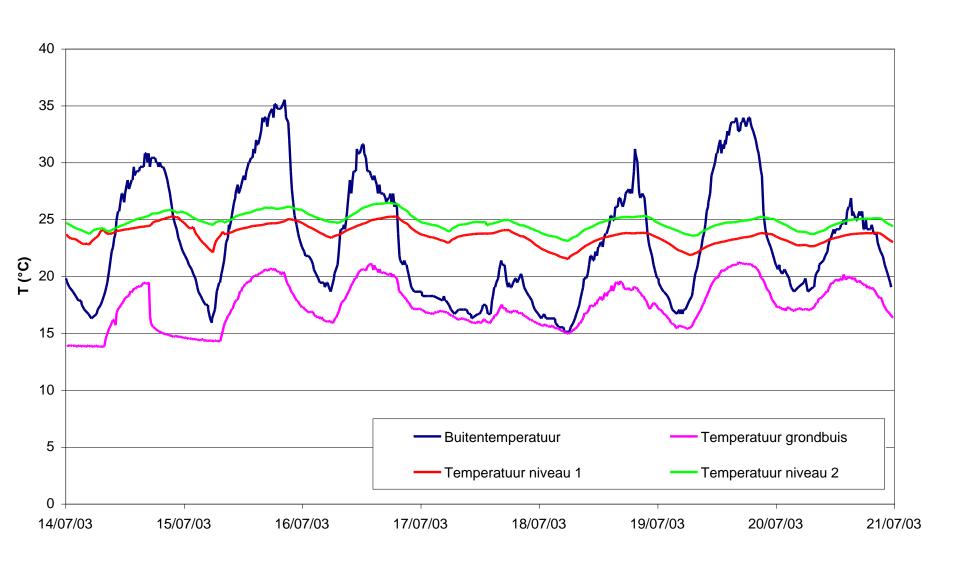




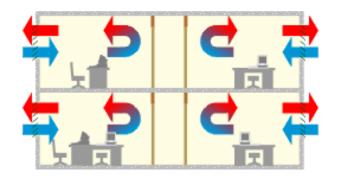




Meting extreme week juli

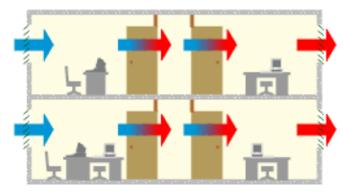


Résumé Stratégie 1 : organisation du free-cooling:



Refroidissement naturel par des ouvertures sur une seule façade

Single-sided ventilation

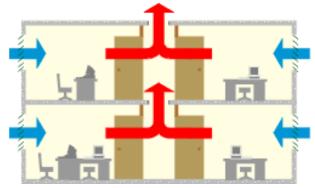


Refroidissement naturel par des ouvertures sur des façades opposées

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 !

Faible inertie

Grande inertie

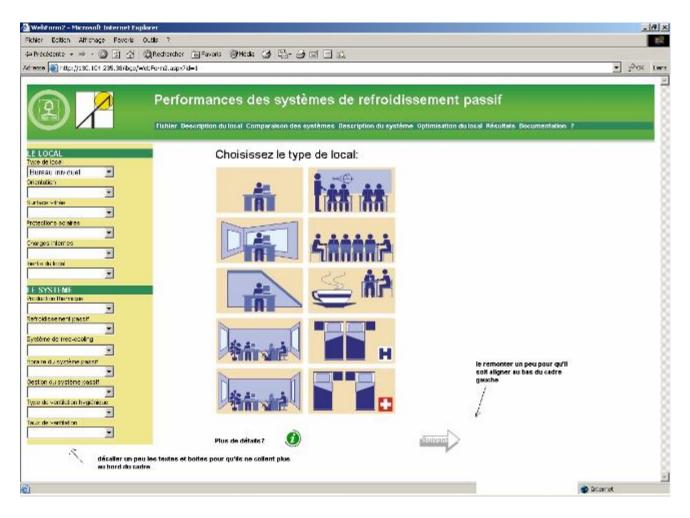


- murs épais,
- bâtiment moyennement vitré,
- murs intérieurs lourds
- ni faux-plafonds, ni faux-planchers



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

Quelles sont les limites du refroidissement naturel?



L'IBGE a réalisé un logiciel d'évaluation de la faisabilité du refroidissement naturel des bâtiments tertiaires :

www.ibgebim.be/soussites/alter_clim

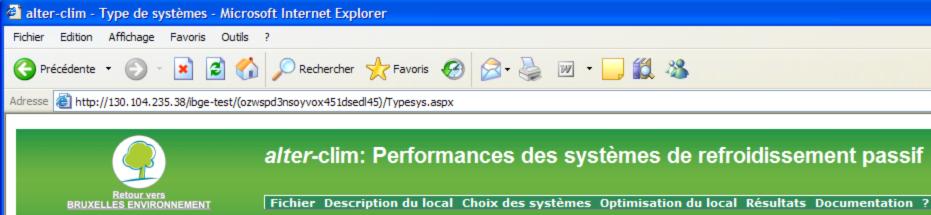


🚰 alter-clim - Entrée - Microsoft Internet Explorer

Bienvenue dans *alter-clim*: Performances des systèmes de refroidissement passif.

Ce logiciel vous permettra d'évaluer les performances énergétiques et le confort dans locaux tertiaires, pour différents sytèmes de refroidissement passif.

Entree





Présélection d'un type de système:

Pour assurer une ambiance confortable, le local doit être équipé de techniques spéciales. alter-clim vous propose de faire une première sélection entre 5 types de systèmes.



Climatisation par eau



Ventilation naturelle intensive de jour



Ventilation naturelle intensive de nuit



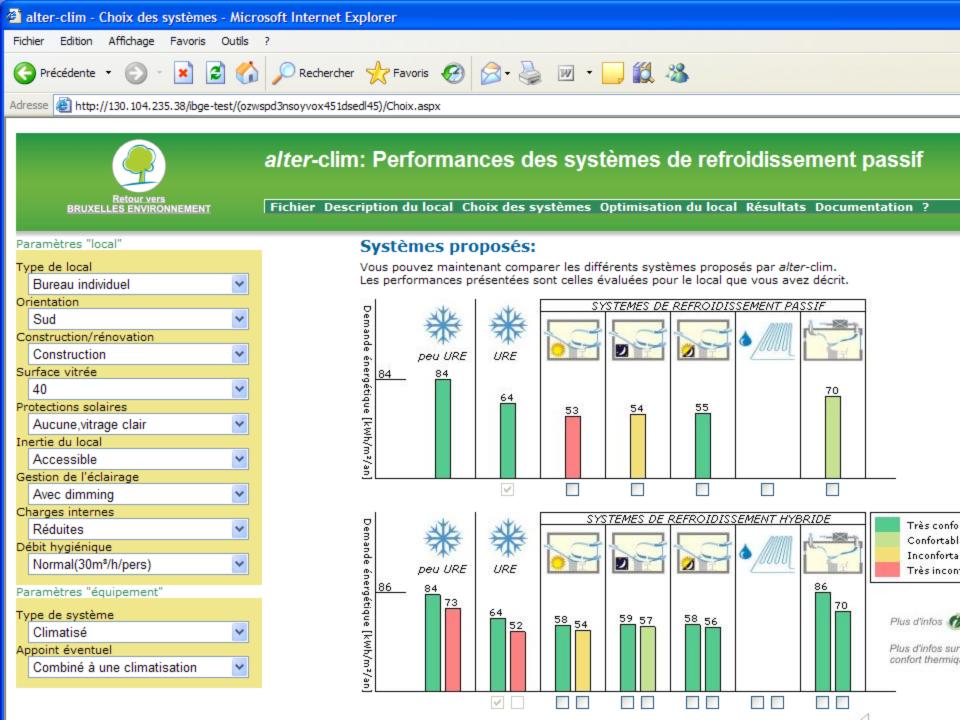
Ventilation naturelle intensive de jour et de nuit



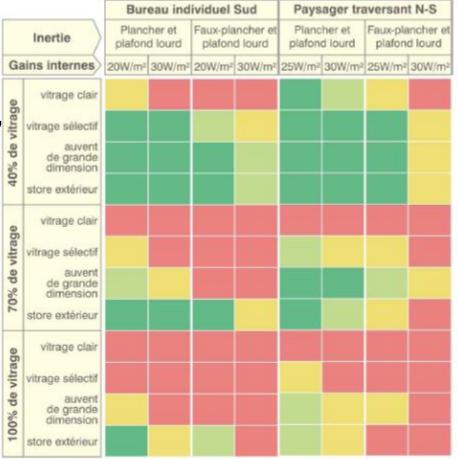
Activation au coeur du béton (slab cooling)



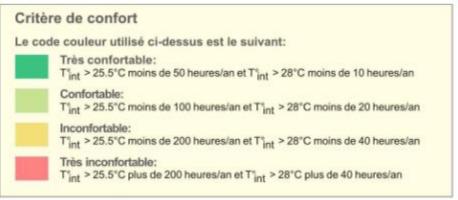
Ventilation intensive mécanique de jour et de nuit



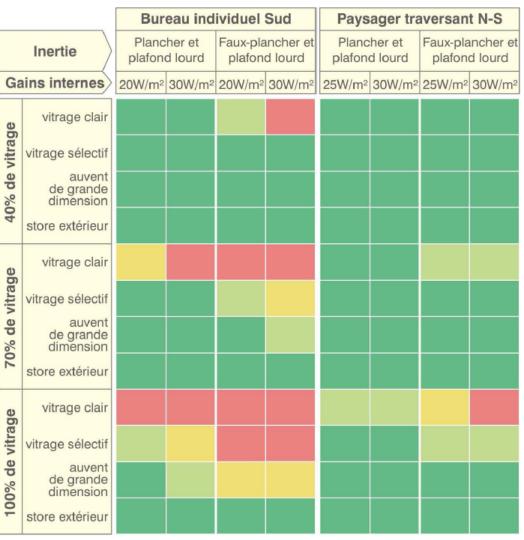
Exemples de performance pour un local de bureau Sud et pour un local paysager Nord-Sud, suite à un refroidissement nocturne uniquement.



Confort thermique pour un refroidissement par ventilation intensive naturelle de nuit.



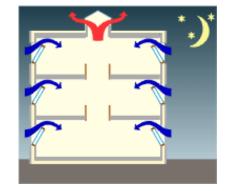
Exemples de performance pour ces mêmes locaux mais, suite à un refroidissement diurne et nocturne, complété par un refroidissement mécaniqu sur l'air de ventilation



Confort thermique pour un refroidissement par ventilation intensive naturelle permanente complétée par un appoint de froid sur l'air hygiénique

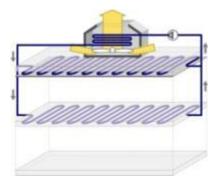
Rappel : si l'essentiel de la demande énergétique de froid se produit pour une T° ext. < 24°C, le bâtiment doit pouvoir s'autorefroidir.

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



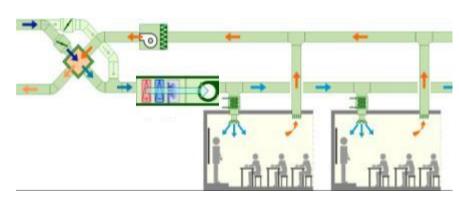
Refroidissement direct.

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

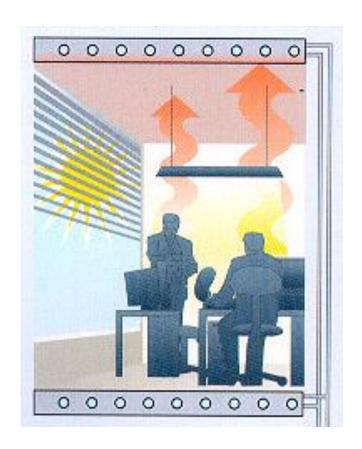


Refroidissement indirect.

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



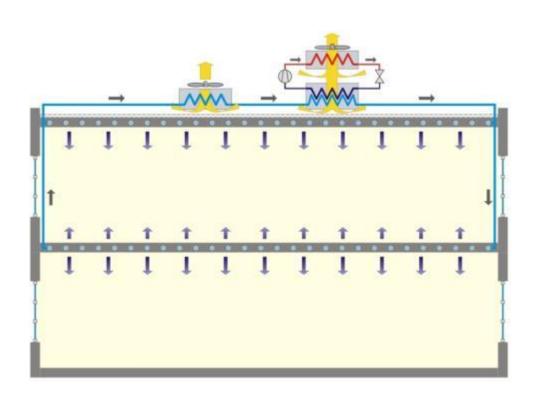
Refroidissement par eau (slab cooling): principe



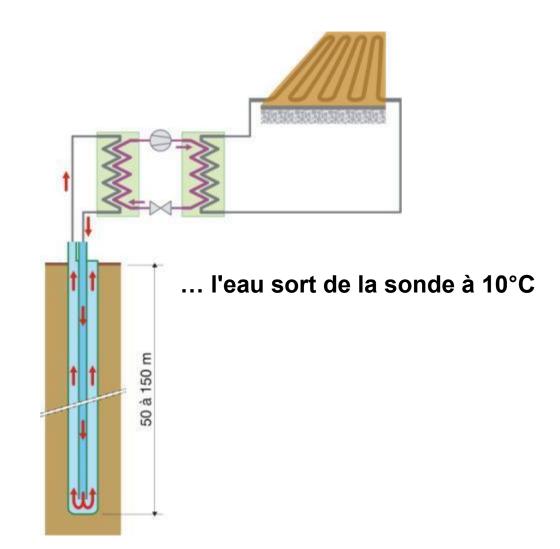


Chargement de la dalle en journée et déchargement la nuit

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



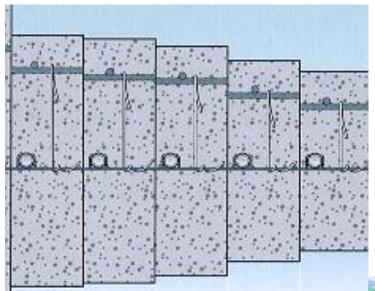
Alternative: pompe à chaleur sur sonde géothermique en hiver et circulation d'eau froide en été:



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



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



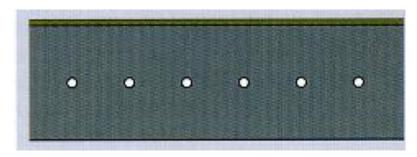
Tuyaux placés au centre de la dalle.



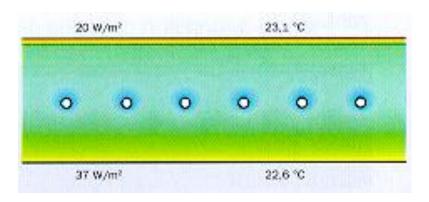
Refroidissement par eau (slab cooling) : mise en oeuvre 3



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

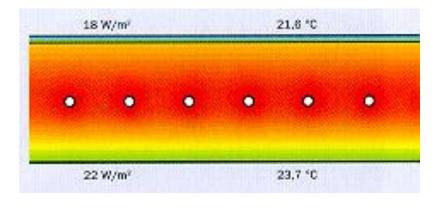
 T° retour d'eau = 20° C

 T° ambiante = $26^{\circ}C$ (!)

Puissance froid: 57 W

37 W/m² vers le bas et 20 W/m² vers le haut

 $(<> plafonds froids: 80 W/m^2...)$



Mode chauffage :

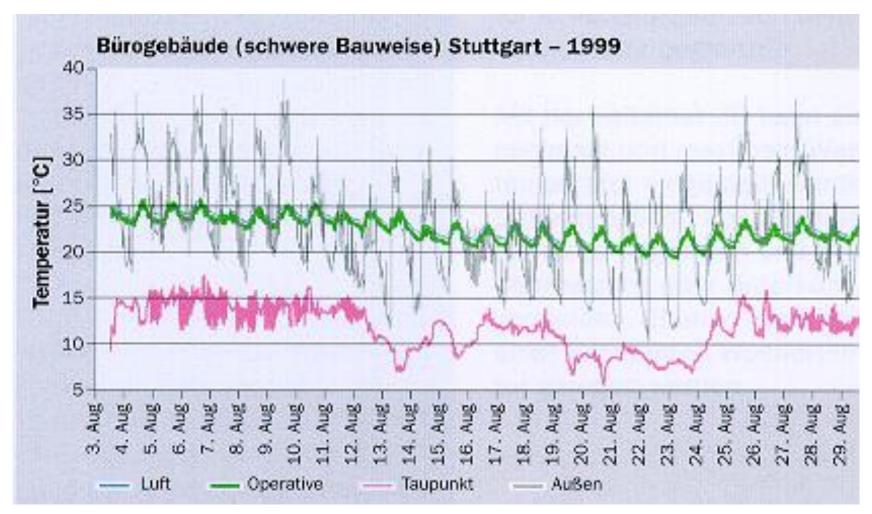
 T° départ d'eau = 28° C

 T° ambiante = $20^{\circ}C$

Puissance chaud: 40 W

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

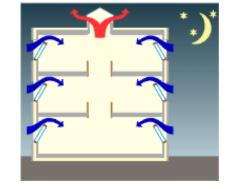
Refroidissement par eau (slab cooling) : résultats



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

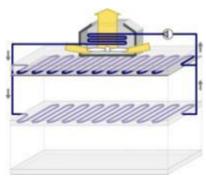
Rappel: si l'essentiel de la demande énergétique de froid se produit pour une T° ext. < 24°C, le bâtiment doit pouvoir s'autorefroidir.

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



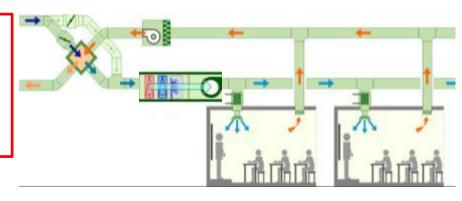
Refroidissement direct.

• Stratégie 2: circulation d'eau froide dans is planchers, eau refroidie "de manière naturelle = slab cooling



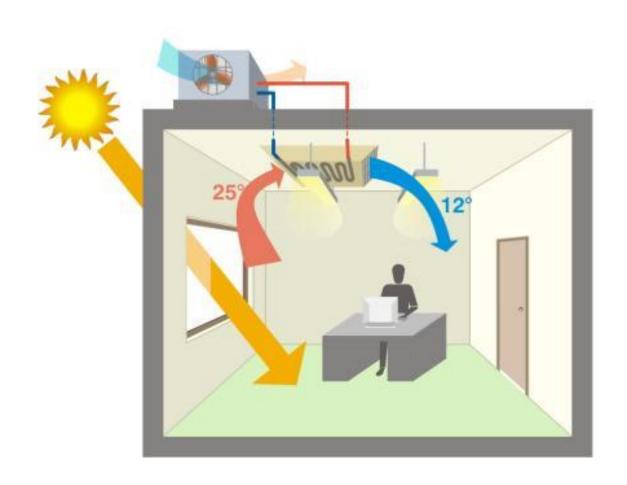
Refroidissement indirect.

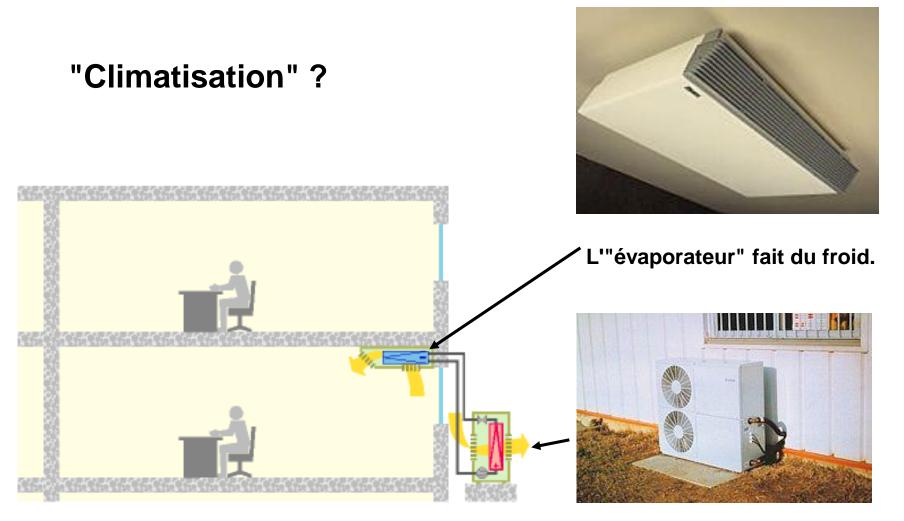
• **Stratégie 3**: intégration d'air frais extérieur dans la climatisation, conçue pour ne donner qu'un complément frigorifique en période de canicule



"Climatisation"?

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



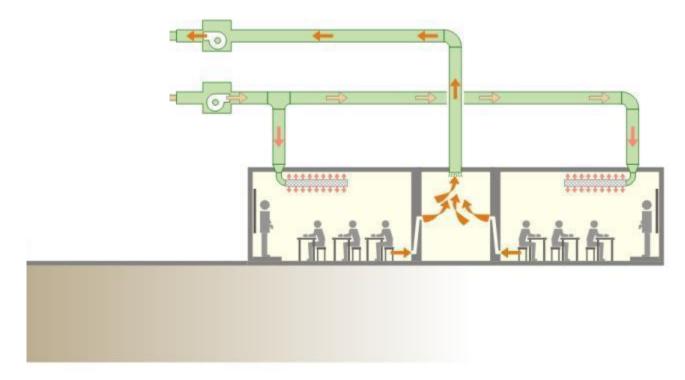


Le "condenseur" évacue la chaleur.

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

Exemple : école passive de Louvain La Neuve

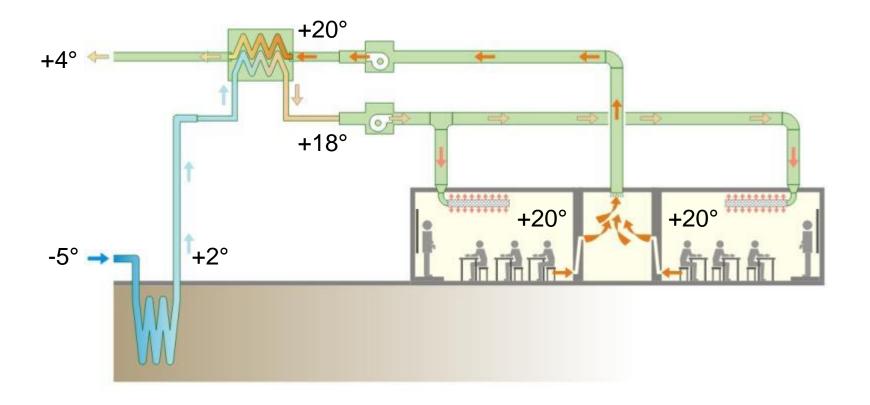
· Au départ, une ventilation très forte des classes



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!

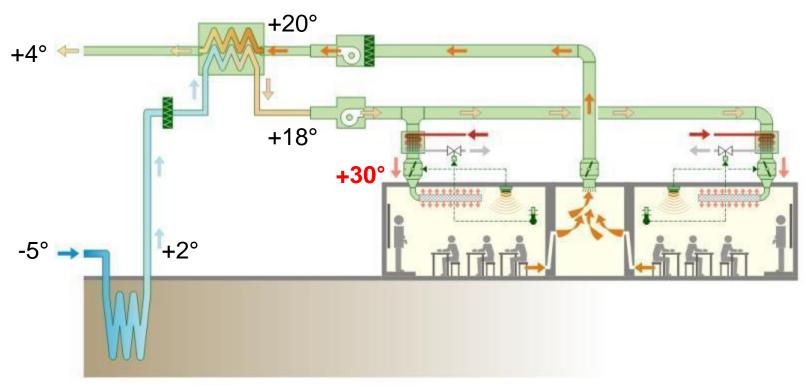
· L'air de ventilation est préchauffé gratuitement



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

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

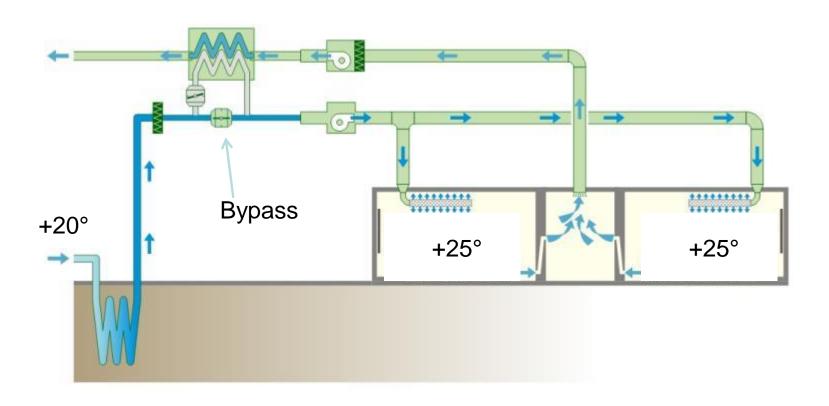
· Un appoint de chauffage est apporté à l'air



Une sonde de présence et un thermostat décident du besoin.

· De l'air frais pulsé la nuit

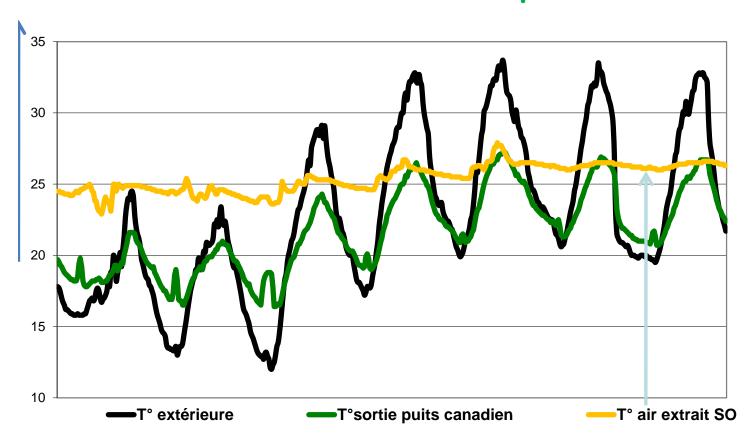




L'air frais extérieur décharge le bâtiment de sa chaleur.

Quels résultats?

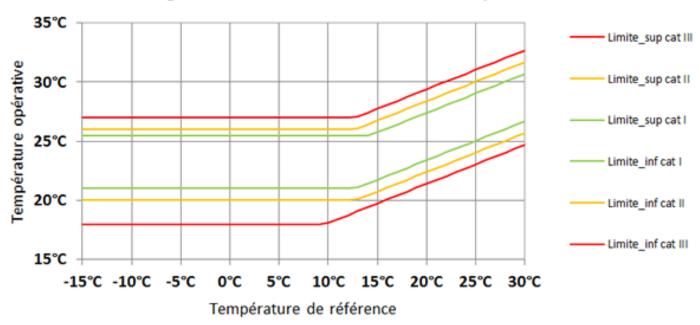
· Un refroidissement de nuit en période chaude



... 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"

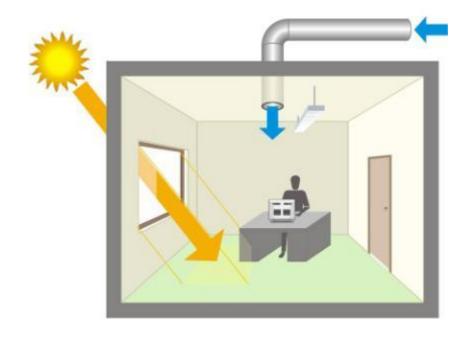


Le **sick building syndrome** se caractérise par des symptômes d'inconfort et des réactions physiologiques comme : nez bouché, gorge irritée, maux de tête, fatigue..... Et là, pour résoudre les besoins thermiques des bureaux, sur le réseau de ventilation, pourquoi ne pas ajouter un groupe frigorifique ... ?

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?



Puissance = débit $\times \rho c \times \Delta T^{\circ}$ = 30 m³/h/10 m² \times 0,34 Wh/m³.K \times (25-15) K = 10 W/m², ... seulement!

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

En résumé :

- 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,
 - 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 !