

FORMATION BATIMENT DURABLE

GESTION DES SURCHAUFFES ESTIVALES

PRINTEMPS 2024

Dissiper et rafraichir

Stratégies de rafraichissement passives et balises à la mise en place d'un refroidissement actif



- ▶ Se familiariser avec les stratégies de rafraîchissement passif
- ▶ Prendre conscience de leur l'impact environnemental
- ▶ Comprendre les contraintes techniques des différentes stratégies
- ▶ Identifier la pertinence d'utiliser l'une ou l'autre stratégie
- ▶ Prendre conscience des enjeux liés aux refroidissement actif



INTRODUCTION

STRATÉGIES DE RAFRAICHISSEMENT

BALISES POUR LE REFROIDISSEMENT



Dissiper la chaleur...

- ▶ Rafraichissement $\neq$ Refroidissement
 - En rafraichissement, pas de puissance garantie
 - >> pas de respect d'une température de consigne
- ▶ Stratégies passives >< Froid actif (= au moyen d'une machine frigorifique)

⇒ **Le rafraichissement passif n'est pas « gratuit » !**



INTRODUCTION

STRATÉGIES DE RAFRAICHISSEMENT

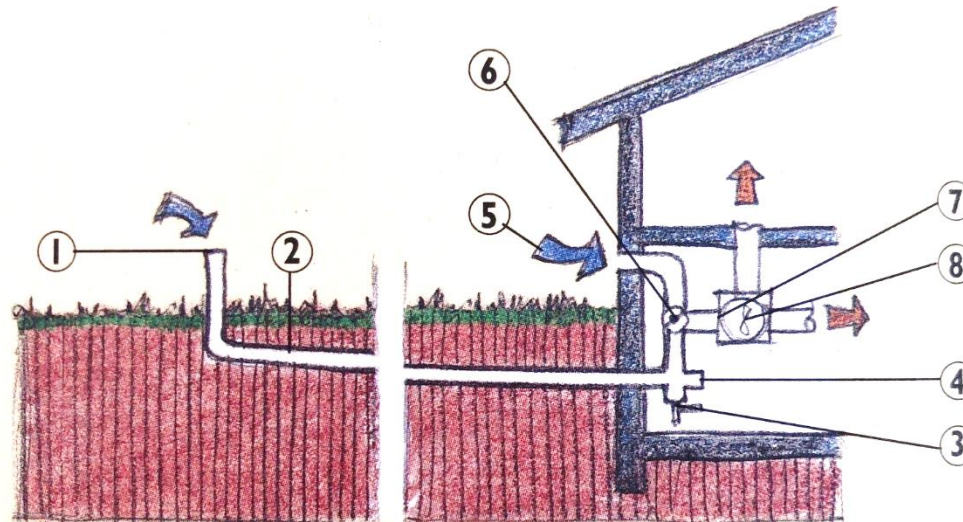
- ▶ **Puit Canadien**
- ▶ Géocooling
- ▶ Ventilation intensive
- ▶ Rafraichissement adiabatique
- ▶ Comparaison des différentes stratégies
- ▶ Combinaisons de stratégies
- ▶ Critères de choix

BALISES POUR LE REFROIDISSEMENT



Définition

- Le puit canadien est un **échangeur thermique constitué de canalisations enterrées** qui permet de chauffer ou rafraîchir la température de l'air avant qu'il ne pénètre dans le bâtiment.



Source : La conception bioclimatique, Samuel Courgey et Jean Pierre Oliva

- | | |
|--|---|
| 1. Entrée d'air | 5. Entrée d'air directe |
| 2. Canalisation enterrée – pente de 2 à 3% | 6. Clapet |
| 3. Siphon | 7. Filtra à air |
| 4. Trappe d'accès | 8. Caisson de ventilation et gaines de distribution |



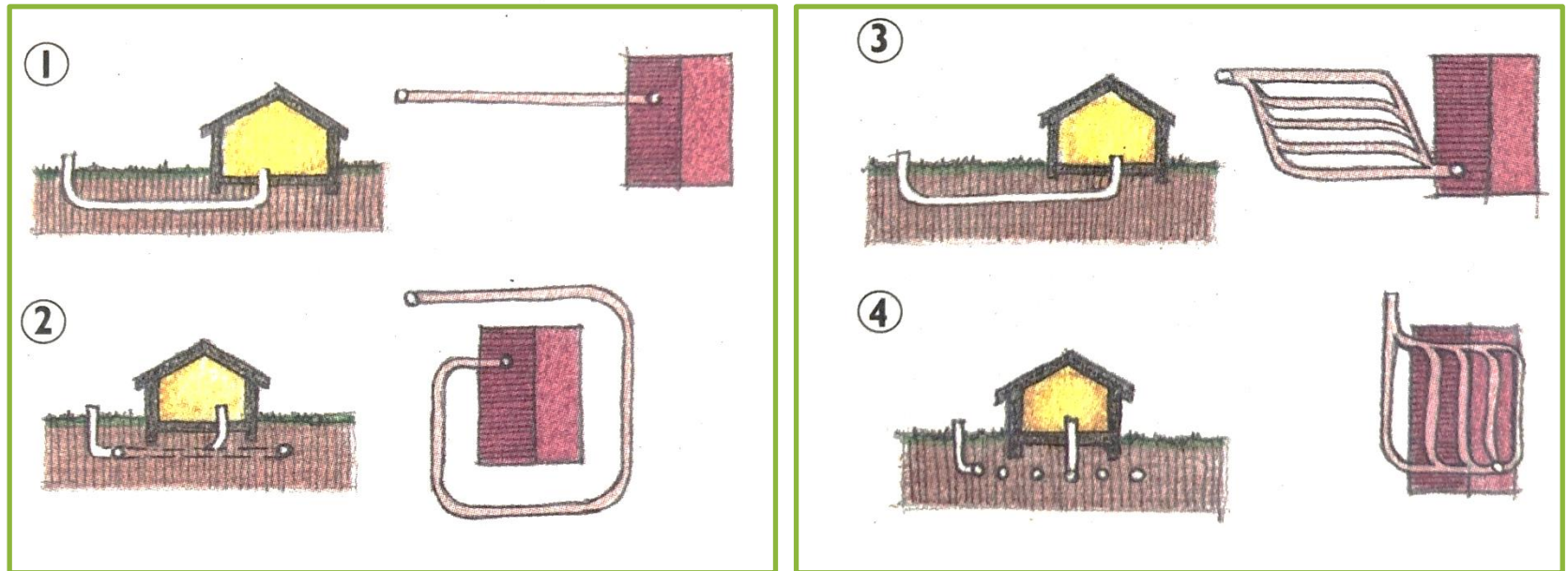
Configurations

- ▶ Puit canadien à air
- ▶ Puit canadien à eau glycolée



Configurations

► Puit canadien à air



Canalisation unique

- + Nettoyage facilité
- + Limitation des pertes de charges

Source : La conception bioclimatique,
Samuel Courgey et Jean Pierre Oliva

Canalisations multiples

- > Terrain disponible limité



Configurations

- Puit canadien à air

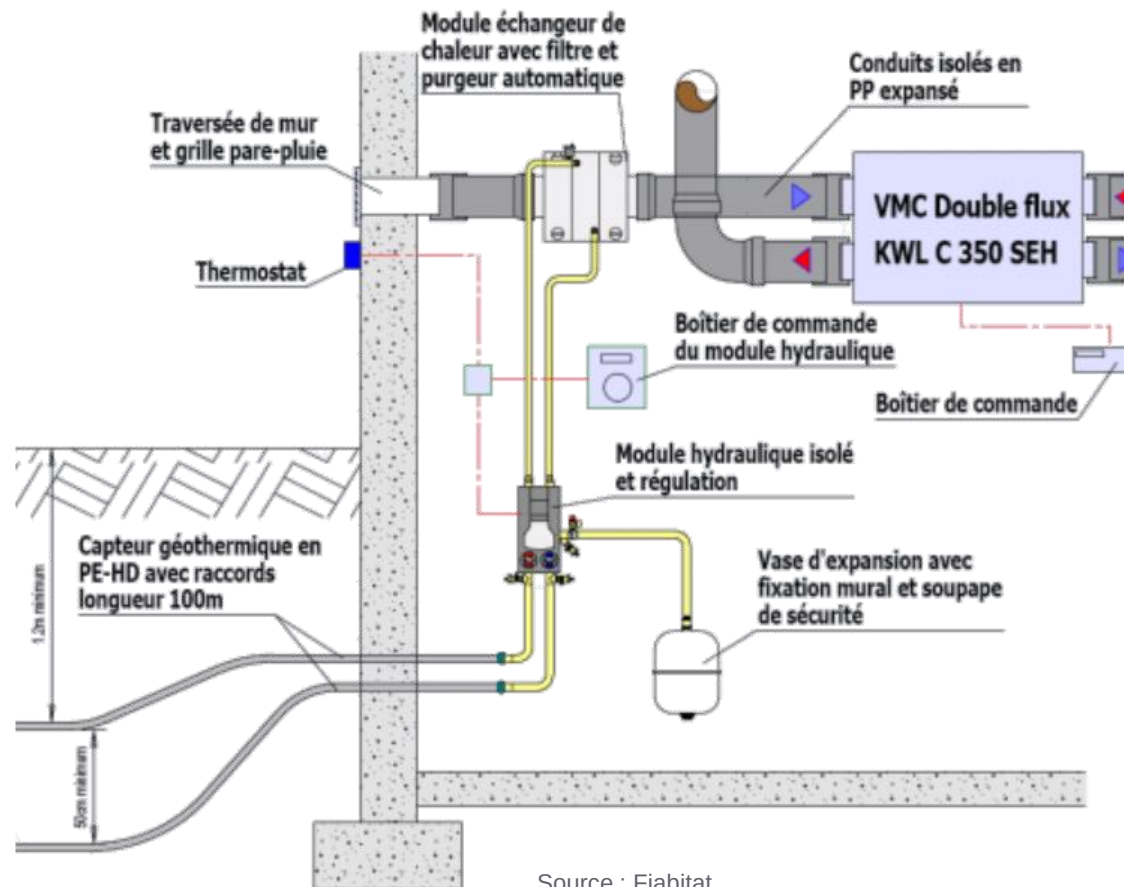


Source : fiabitat



Configurations

- Puit canadien à eau glycolée



Source : Fiabtat



Configurations

- Puit canadien à eau glycolée



Source : fiabtat



Configuration

- Comparaison des différentes typologies

PUIT CANADIEN À EAU GLYCOLÉE	PUIT CANADIEN À AIR
+ Espace nécessaire moindre + Moins encombrant, + Adapté aux problèmes de remontées de nappes, ou aux terrassements difficiles...	+ Intéressant pour le tertiaire + Faible coût de maintenance + Facile d'usage + Plus efficace
- Consommation de la pompe de la boucle d'eau glycolée	- Espace nécessaire sur le terrain - Difficile en rénovation - Augmentation des pertes de charges et donc de la consommation électrique [*]

⇒ Lorsque le puit canadien à air est difficilement réalisable

[*] En mi-saison, il est préférable de by-passer le puit canadien !



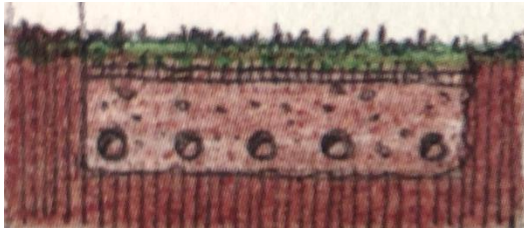
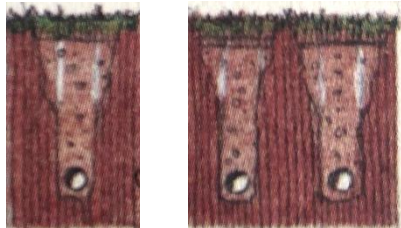
Contraintes techniques et architecturales

- ▶ Nécessite un terrain étendu
 - Conduites situées à minimum 2m de toutes plantations ou bâtiment
 - Sous les bâtiments, le sol est sec et non soumis aux apports solaires
>> ↓ rendement
 - Possibilité de superposer les conduits (rendement un peu moins bon)
- ▶ Nécessite une amenée d'air mécanique et la fermeture des fenêtres
 - Hauteur minimale de 1m
- ▶ Limitation des pertes de charges (<100 Pa pour l'ensemble)
 - Eviter les coudes
 - Privilégier les conduits larges
 - ...
- ▶ Nécessite une évacuation des condensats (infiltration dans le sol, ou pompe de relevage)



Contraintes techniques et architecturales

- Pour une habitation de 100 m² habitable

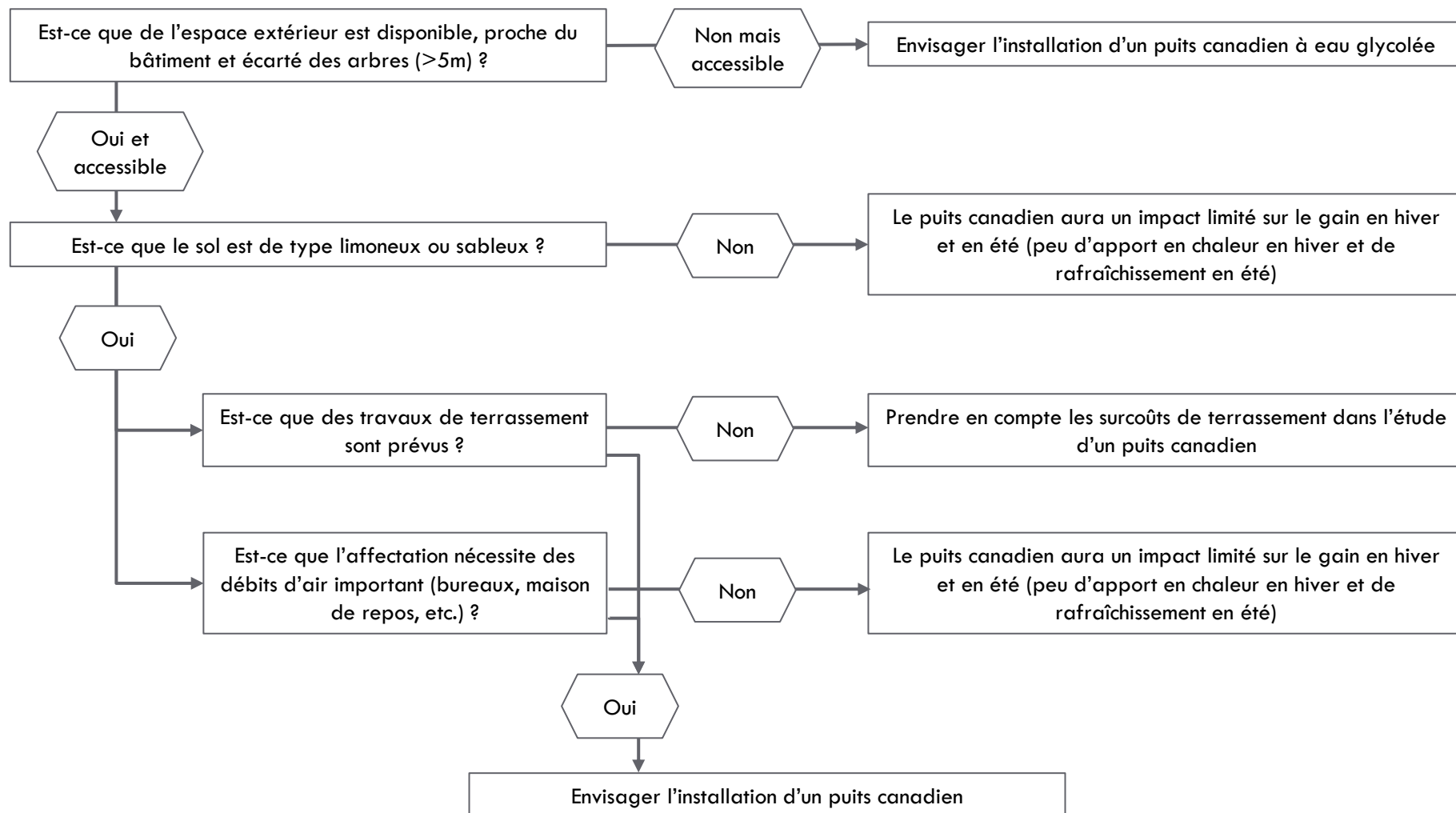
	RAFRAICHISSEMENT EXCLUSIVEMENT	RAFRAICHISSEMENT ET PRÉCHAUFFAGE
CONFIGURATION GÉNÉRALE	Canalisations multiples de 30 à 40 m 	1 canalisation de 30 à 40 m 
DISTANCE ENTRE LES CONDUITS	Min. 60 cm	Min. 150 cm
PROFONDEUR	70 à 90 cm	150 à 200 cm
TYPE DE CONDUITS	Béton, PVC, PE, grès émaillé, ... étanche ! Si revêtement lisse, augmenter la longueur de 15%	
DIAMÈTRE DES CONDUITS	15 à 25 cm	
VITESSE DE L'AIR	3 à 5 m/s possible	2 m/s

Source : La conception bioclimatique, Samuel Courgey et Jean Pierre Oliva



Applicabilité

► Besoin de rafraichissement limité



Potentiel et performance

- Le puit canadien est plus efficace lorsque les températures extérieures sont extrêmes : l'écart de température entre le sol et l'air extérieur est plus important !



Exemple – Maison unifamiliale

- ▶ Surface : 280 m²
- ▶ Débit de ventilation : 650 m³/h
- ▶ Installation
 - 3 x 30 m de conduites annelées, diamètre...
 - Prix fourniture : ~ 800 €TVAC (en 2014), terrassements non compris
- ▶ Résultat
 - En été, $T_{\text{entree}} = 23^{\circ}\text{C}$ pour $T_{\text{ext}} = 35^{\circ}\text{C}$
 - En hiver, $T_{\text{entrée}} = 14^{\circ}\text{C}$ pour $T_{\text{ext}} = -8^{\circ}\text{C}$



Exemple – Maison unifamiliale



Source : Pierre Willem



INTRODUCTION

STRATÉGIES DE RAFRAICHISSEMENT

- ▶ Puit Canadien
- ▶ **Géocooling**
- ▶ Ventilation intensive
- ▶ Rafraichissement adiabatique
- ▶ Comparaison des différentes stratégies
- ▶ Combinaisons de stratégies
- ▶ Critères de choix

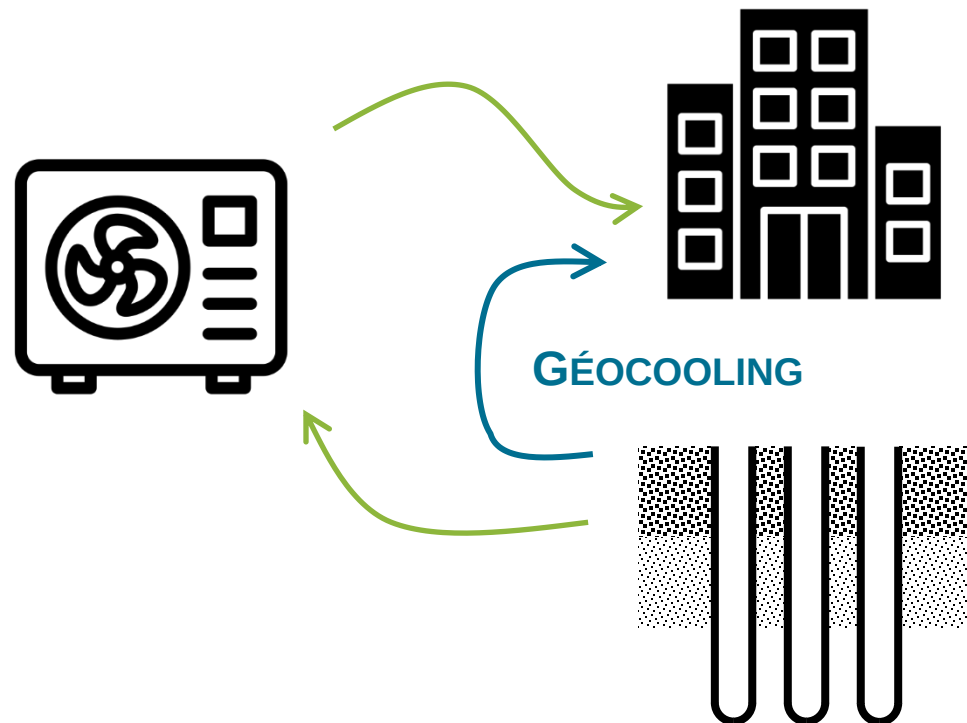
BALISES POUR LE REFROIDISSEMENT



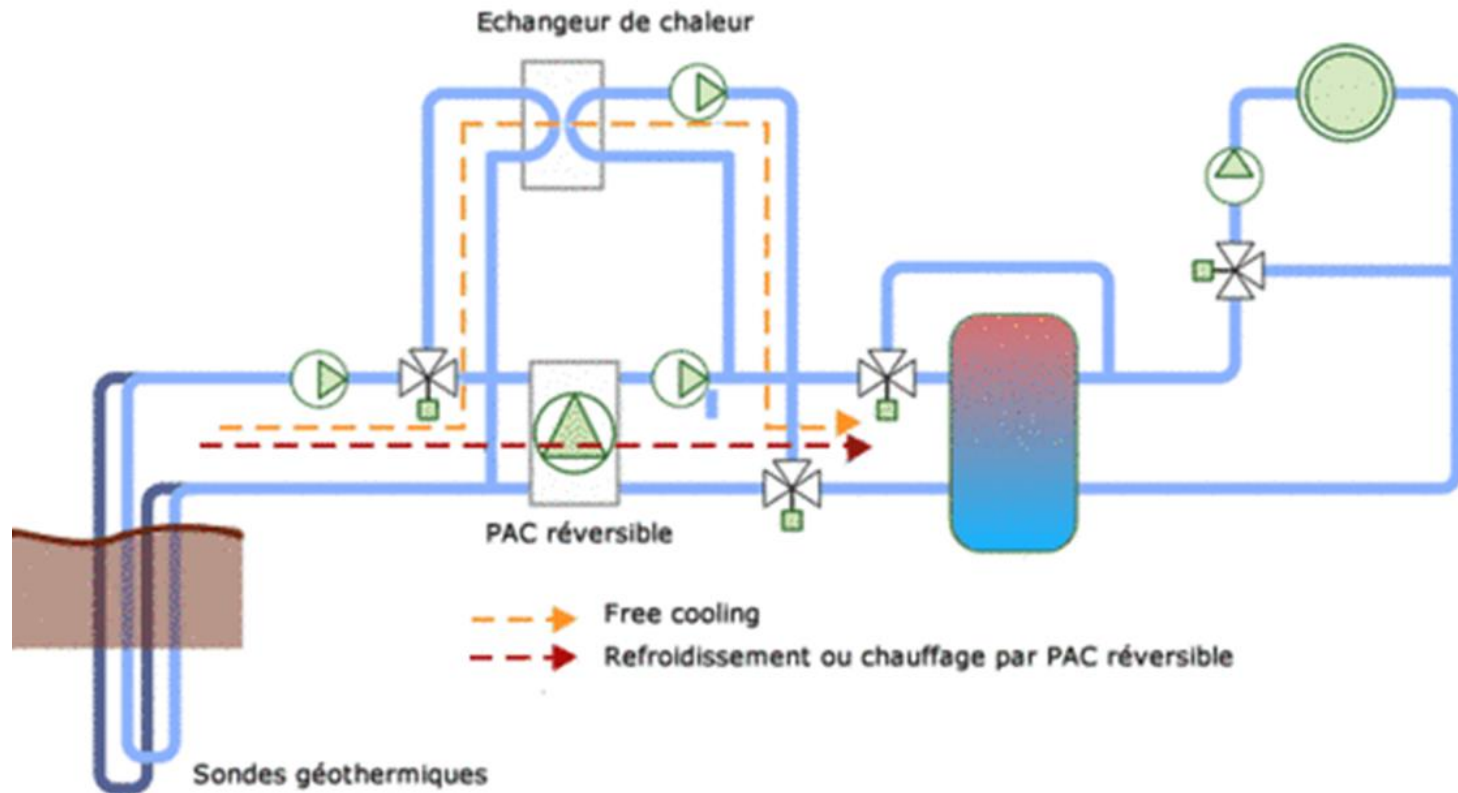
Définition

- Le geocooling est une technique de rafraichissement qui consiste en la **récupération de la fraîcheur du sol via des sondes géothermiques** dans lesquelles circule de l'eau (réseau fermé)

⇒ La pompe à chaleur est **bypassée** : **pas de consommation liée à la PAC !**



Configuration



Source : Energie +



Contraintes techniques et architecturales

- ▶ Disposer de capteurs géothermiques !
 - Horizontalement : place disponible, pas de plantation à racines profondes,...
 - Verticalement : forages, (7 à 10 m d'entraxe)

- ▶ Disposer d'un système d'émission compatible – rafraichissement à « haute température »
 - Ventilo-convecteur,
 - Panneaux radiants,
 - Emetteurs surfaciques, ...

- ▶ Disposer d'un module spécifique comprenant
 - Une pompe
 - Une vanne 3 voies
 - Un échangeur de chaleur



Potentiel et performance

- ▶ La puissance disponible est variable, elle dépend de la température du sol qui peut varier en cours de saison
- ▶ Puissance d'extraction ~ 20 W/m
- ▶ Consommation électrique des circulateurs



INTRODUCTION

STRATÉGIES DE RAFRAICHISSEMENT

- ▶ Puit Canadien
- ▶ Géocooling
- ▶ **Ventilation intensive**
- ▶ Rafraichissement adiabatique
- ▶ Comparaison des différentes stratégies
- ▶ Combinaisons de stratégies
- ▶ Critères de choix

BALISES POUR LE REFROIDISSEMENT



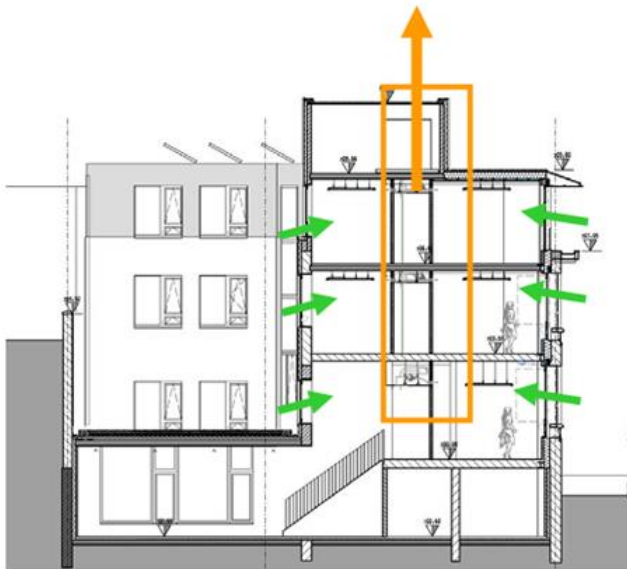
Définition

- ▶ La ventilation intensive est une **technique de rafraichissement passif** qui consiste en **le balayage du bâtiment par de l'air extérieur frais**.
 - La puissance de rafraichissement dépend du débit d'air et de la différence de température entre l'air introduit et l'air ambiant.
 - ⇒ **Un rafraichissement efficace nécessite un débit min de 10 vol/h**
- ▶ La ventilation intensive peut être mise en œuvre
 - en mi-saison, de jour comme de nuit
 - en période estivale pendant la nuit (night-cooling)
- ▶ La ventilation intensive est compatible avec d'autres techniques de rafraichissement

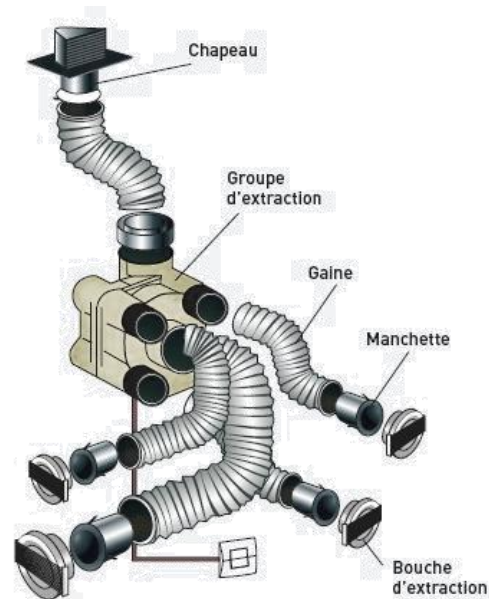


Configuration

- ▶ Ventilation intensive naturelle
- ▶ Ventilation intensive mécanique
- ▶ Ventilation intensive hybride



source : A2M



source : VMC France



source : NatVent

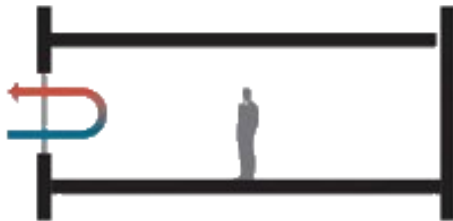


Configuration

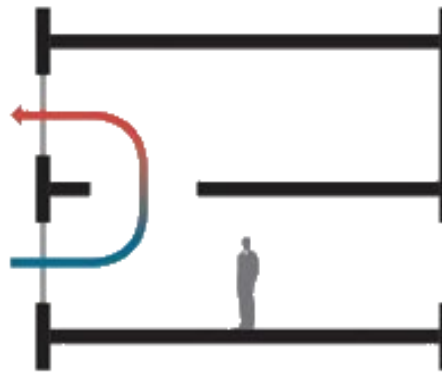
► Ventilation intensive naturelle

- **Principe** : Déplacement de l'air via des différences de température ou de pression

VENTILATION UNILATÉRALE

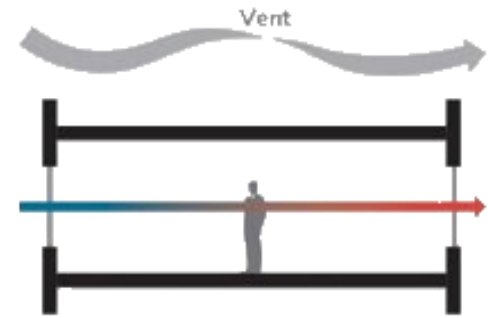


VENTILATION VERTICALE



Source : Bruxelles Environnement

VENTILATION TRANSVERSALE



Mouvements d'air lié à la **différence de température int / ext**

> Effet cheminée

Mouvements d'air lié à la **différence de pression entre les façades**

> Effet de vent



Configuration

- ▶ Ventilation intensive naturelle
 - Comparaison des configurations

VENTILATION UNILATÉRALE	VENTILATION VERTICALE	VENTILATION TRANSVERSALE
+ Impact architectural limité + Régulation par zone + Absence de grilles de transfert d'air	+ Bon compromis entre la ventilation unilatérale et transversale	+ Le plus performant par l'utilisation des effets du vent comme force motrice.
- Moins efficace car les débits sont moindres	- Réflexion à porter sur le risque d'incendie / compartimentage	- Régulation globale pour le bâtiment - Réflexion sur la conception des espaces : ils doivent être traversants en limitant les obstacles - Incompatible avec les bâtiments profonds



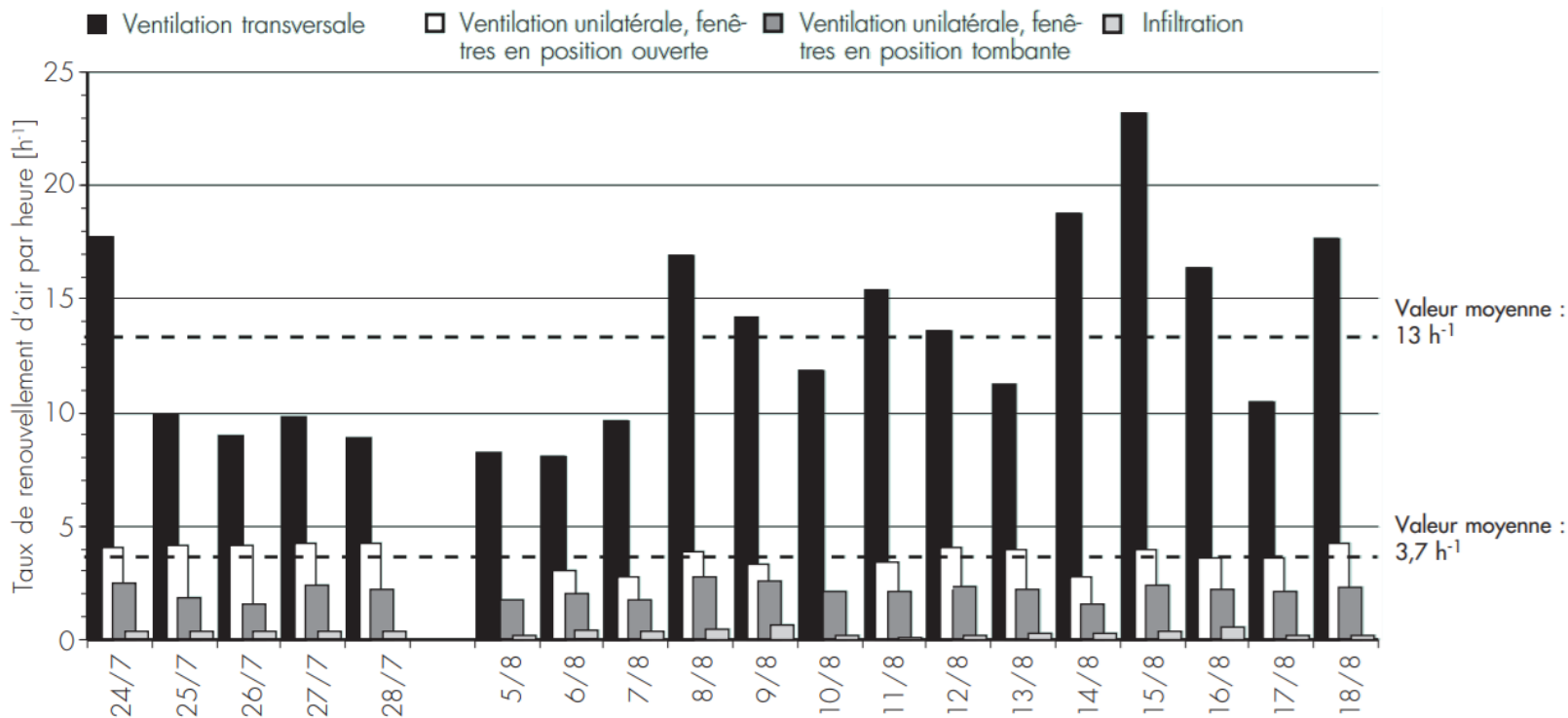
Configuration

- Ventilation intensive naturelle :
 - Comparaison des configurations

Exemple - Bâtiment Probe :

Monitoring de 4 bureaux ventilés de manière différente.

Fig. 34
Taux de renouvellement d'air mesuré par heure selon la stratégie de ventilation.

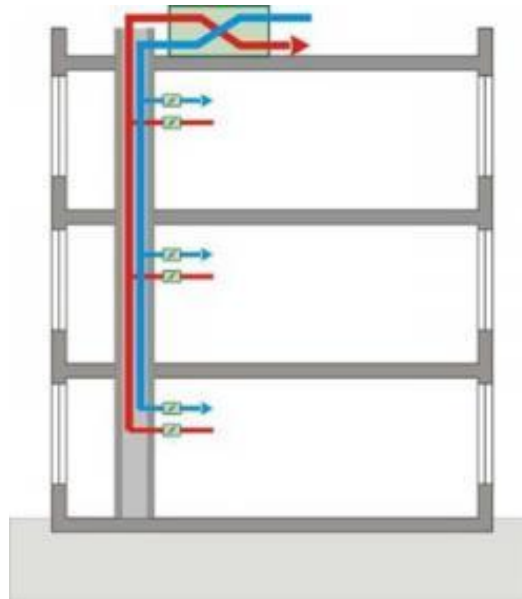


Source : Buildwise



Configuration

- ▶ Ventilation intensive mécanique
 - **Principe** : Déplacement de l'air via des ventilateurs



Source : Bruxelles Environnement

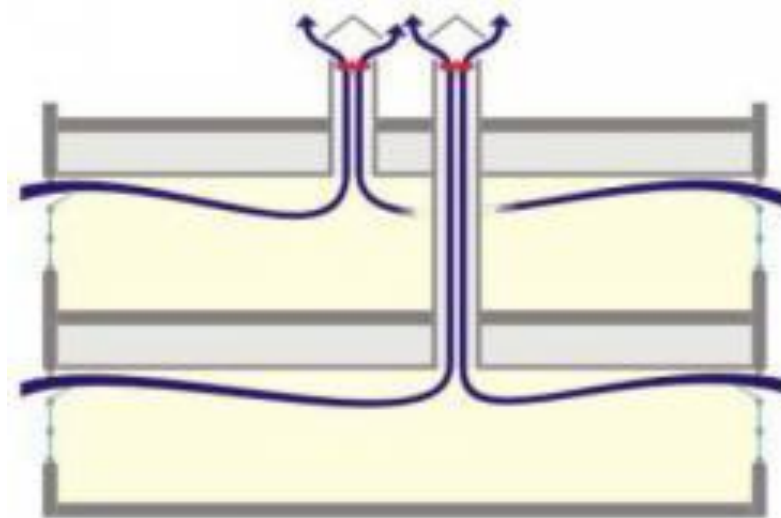
⇒ Est-il intéressant de faire fonctionner le système de **ventilation hygiénique** pendant la nuit ?



Configuration

► Ventilation intensive hybride

- **Principe** : Déplacement de l'air via une combinaison de la ventilation naturelle et mécanique, ou une ventilation naturelle “mécaniquement assistée” lorsque les débits ne sont pas suffisants.
 - Pulsion naturelle + évacuation mécanique (le plus courant)
 - Pulsion mécanique + évacuation naturelle



Source : UCL



Configuration

► Comparaison des différentes typologies

NATURELLE	HYBRIDE	MÉCANIQUE
+ Consommation nulle + Contrôle pièce par pièce	+ Débits assurés + Contrôle pièce par pièce + Régulation en fonction de la température intérieure + Risques réduits d'intrusion, de pluie + Moins dépendante de l'architecture (que la ventilation naturelle) + Simple à mettre en place (réseau limité)	+ Débits assurés + Possibilité de filtration de l'air extérieur + Maitrise partielle de la température de pulsion + Utilisation du réseau existant + Non dépendante de l'architecture
- Peu de maitrise des débits - Efficacité aléatoire - Flexibilité réduite du bâtiment - Régulation complexe - Etanchéité à l'air et acoustique plus complexe à traiter - Risque d'intrusion, de pluie, pollution... - Pas de filtration	- Consommation électrique lorsque le ventilateur est en marche. - Pas de filtration de l'air possible, - Pas de maitrise de la température de pulsion	- ↑ limitée des débits ou surcouts liés au surdimensionnement - Consommation des ventilateurs - ↑ température de l'air extérieur

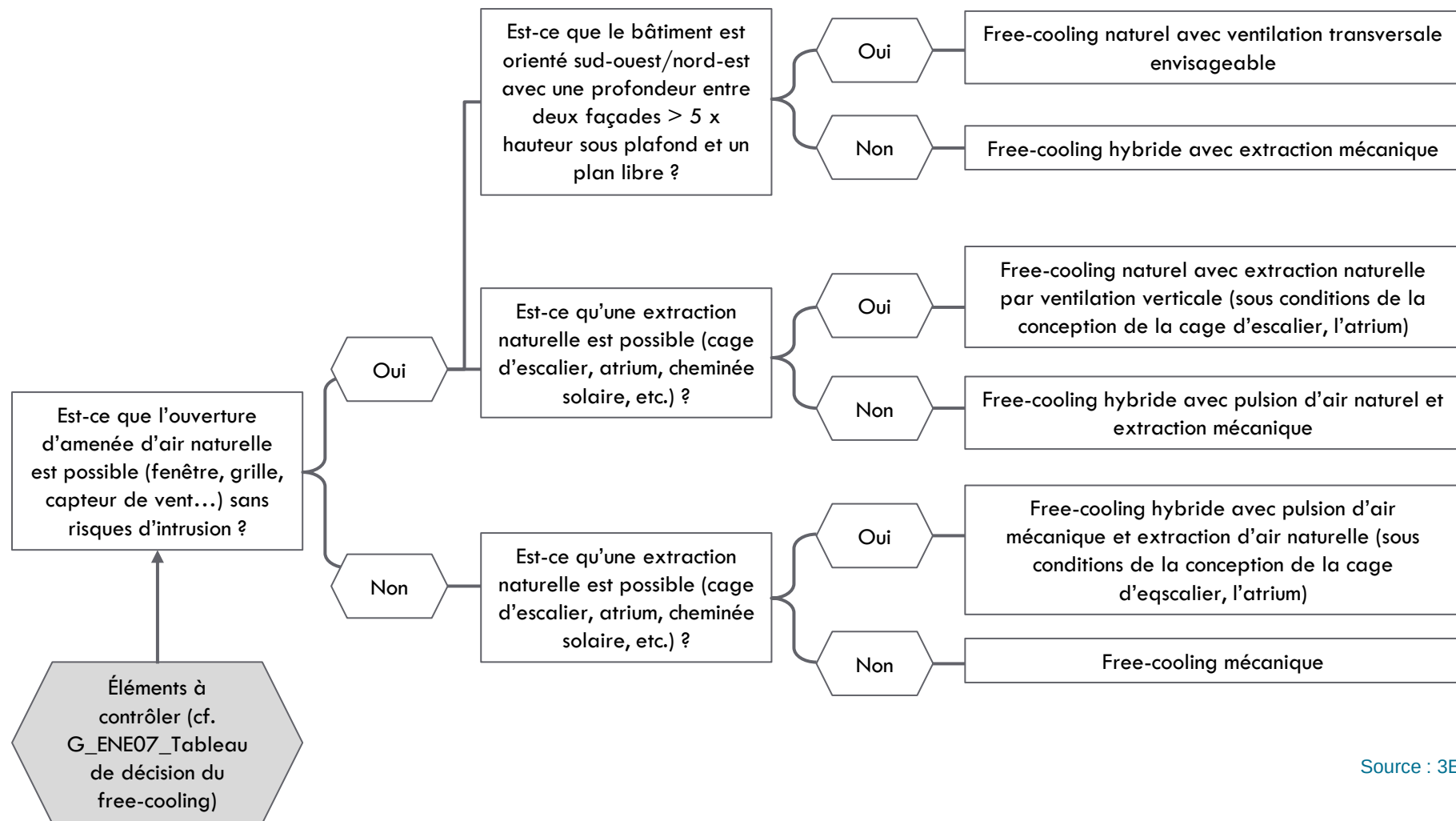


Contraintes techniques et architecturales

- ▶ Nécessite un accès à la masse thermique du bâtiment
 - ▶ Nécessite une extraction en partie haute via :
 - soit une cheminée d'extraction par niveau
 - soit des extracteurs mécaniques en toiture
 - ▶ Nécessite une entrée d'air en partie basse via :
 - soit des ouvertures dans les parois
 - Ventilation unilatérale : $A_{\text{ouverture}} = 0,064 A_{\text{espace}}$
 - Ventilation transversale : $A_{\text{ouverture}} = 0,032 A_{\text{espace}}$ (min. 40% par paroi)
- ⇒ Les ouvertures de ventilation hygiénique ne sont pas suffisantes !
- soit un réseau de pulsion mécanique



Applicabilité et critères de choix



Source : 3E



Potentiel et performance

- La puissance de rafraichissement dépend du débit d'air et de la différence de température entre l'air introduit et l'air ambiant.

Puissance de rafraichissement $[W] = 0,34 [W/(m^3/h).K] \times \text{Débit } [m^3/h] \times \Delta T [^{\circ}K]$

⇒ Un rafraichissement efficace nécessite **un débit min de 10 vol/h**

- En ventilation naturelle, le débit d'air dépend du type et de la taille des ouvertures ainsi que des facteurs climatiques
- La consommation des ventilateurs dépend du débit, des pertes de charges et du rendement du ventilateur

$$P [W] = Q [m^3/s] \times \Delta P [Pa] / n [-]$$

Or la perte de charge est proportionnelle à Q^2 ...

⇒ La consommation des ventilateurs est donc proportionnelle à Q^3

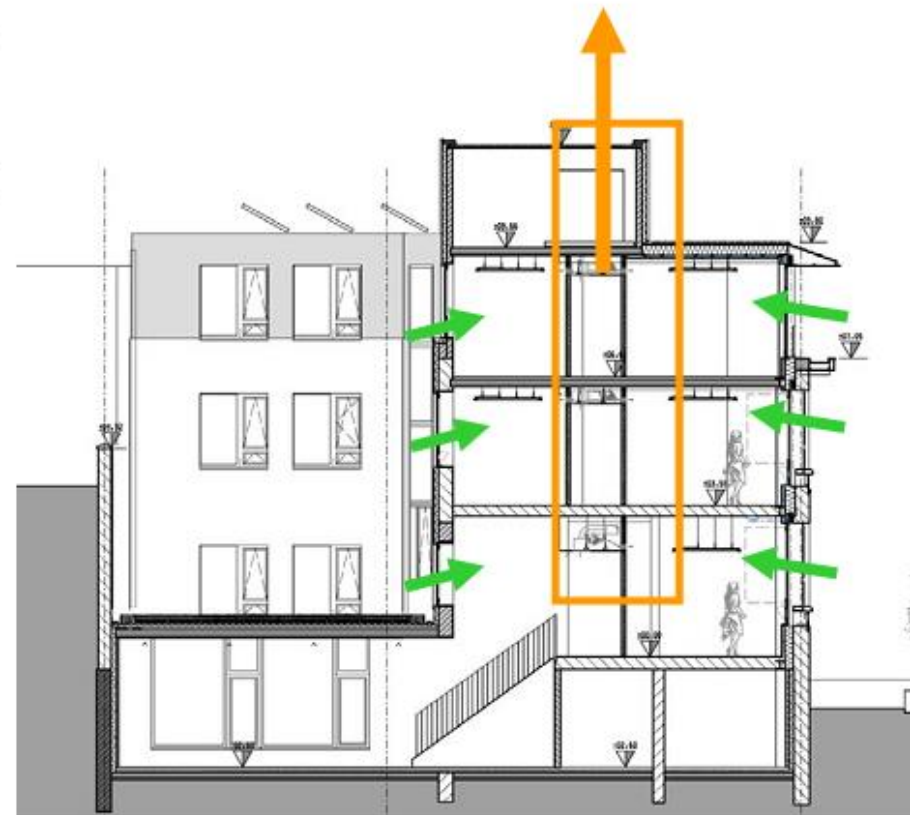


Exemple – Bureaux à Forest

- Ventilation intensive naturelle motorisée (GTC)



014

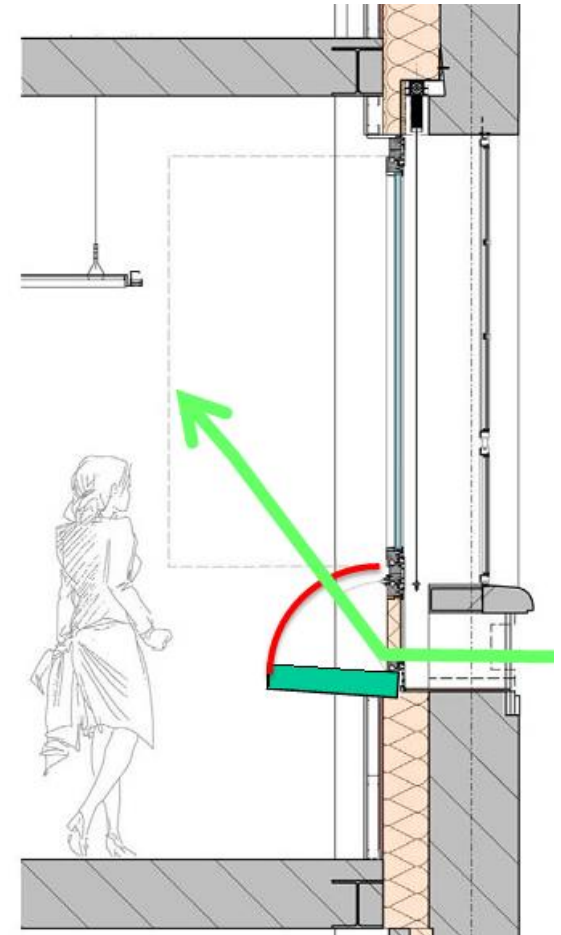


A2M



Exemple – Bureaux à Forest

- Ventilation intensive naturelle motorisée (GTC)



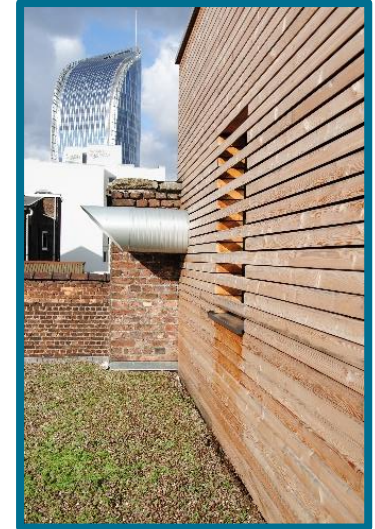
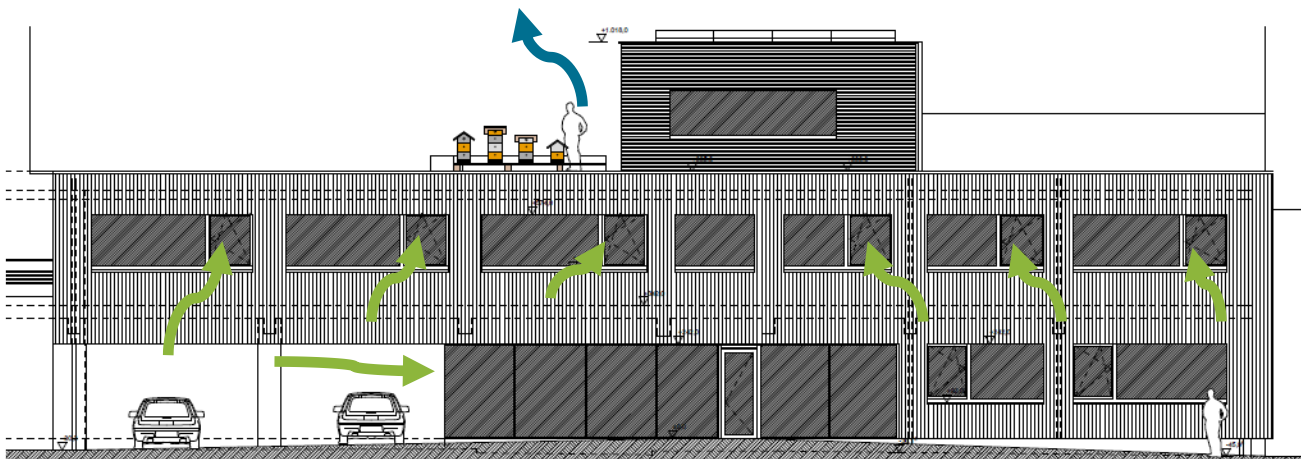
014

A2M



Exemple – Bureaux à Liège

- Ventilation intensive naturelle manuelle
 - Nécessite la participation active des occupants !



source : écorce



Exemple – Maisons unifamiliales

- Ventilation intensive manuelle
 - Monitoring réalisé dans 23 maisons similaires

Exemple de l'efficacité de la ventilation intensive de nuit dans deux maisons adjacentes

Caractéristique	Maison n° 3	Maison n° 5
Ventilation naturelle intensive de nuit	Oui	Non
Volume protégé	449 m ³	567 m ³
Niveau d'isolation global K	13	
Inertie	Structure peu massive	
Orientation principale des vitrages	Sud	
Taux de renouvellement d'air à n ₅₀	0,64 h ⁻¹	0,57 h ⁻¹
Température moyenne mesurée	21,4 °C	26,7 °C

Source : Buildwise

⇒ Les pratiques des occupants ont **un impact fondamental** sur la température intérieure !



INTRODUCTION

STRATÉGIES DE RAFRAICHISSEMENT

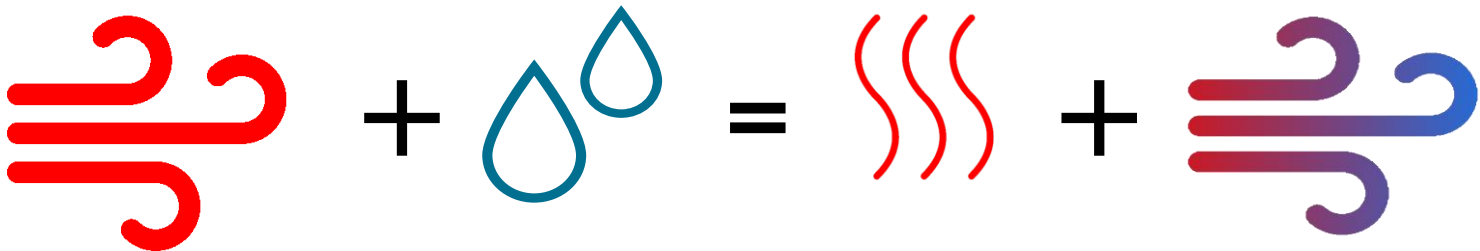
- ▶ Puit Canadien
- ▶ Géocooling
- ▶ Ventilation intensive
- ▶ **Rafrachissement adiabatique**
- ▶ Comparaison des différentes stratégies
- ▶ Combinaisons de stratégies
- ▶ Critères de choix

BALISES POUR LE REFROIDISSEMENT



Définition

- ▶ Le rafraichissement adiabatique est une technique de rafraichissement de l'air basée sur le principe de l'évaporation
 - De l'eau est pulvérisée dans l'air, elle récupère de la chaleur contenue dans l'air pour s'évaporer. L'air s'en retrouve plus frais.



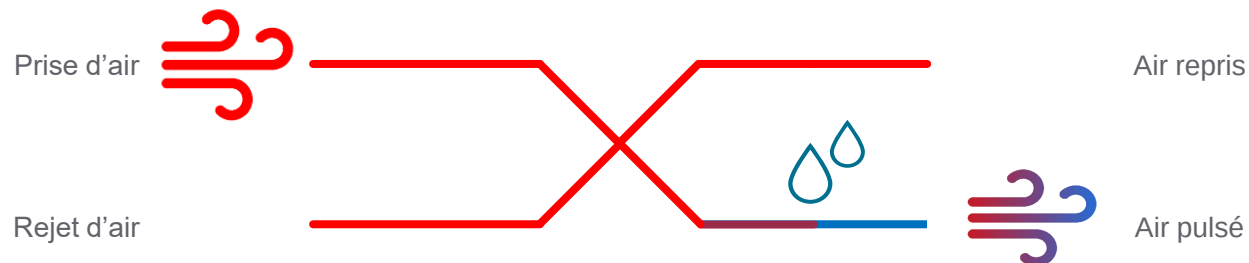
Configuration

- ▶ Rafraichissement adiabatique direct
- ▶ Rafraichissement adiabatique indirect



Configuration

- Rafraichissement adiabatique direct
 - **Principe** : L'air chargé d'humidité est pulsé directement dans l'ambiance
 - Humidification par pulvérisation
 - Humidification par ruissèlement ou contact



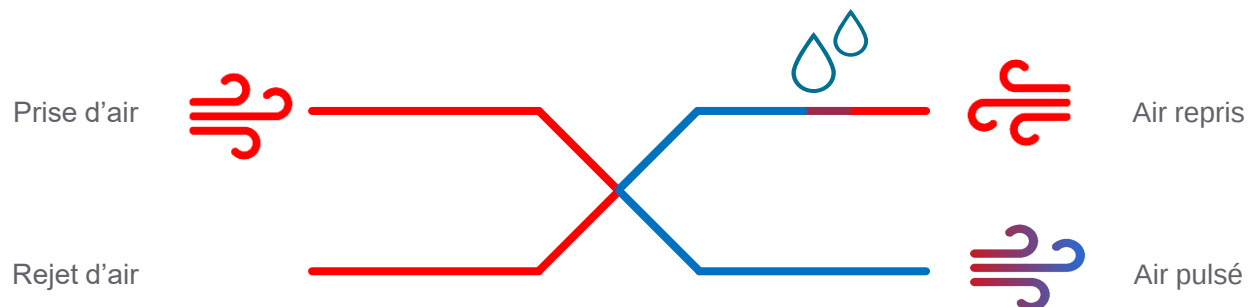
› L'air pulsé est humide...



Configuration

- Rafraichissement adiabatique indirect
 - **Principe** : L'eau s'évapore dans l'air extrait du bâtiment, avant passage dans l'échangeur avec l'air neuf.

⇒ Cela permet d'exploiter le “pouvoir refroidissant” de l'humidification adiabatique, tout en évitant le problème de l'humidification de l'air neuf.



- › L'air repris peut être humidifié avant l'échangeur ou dans l'échangeur



Configuration

- Rafraichissement adiabatique indirect
 - **Principe** : L'air chargé d'humidité cède sa chaleur à l'air qui est pulsé dans l'ambiance via un échangeur

HUMIDIFICATION DE L'AIR VICIÉ <u>AVANT</u> L'ÉCHANGEUR	HUMIDIFICATION DE L'AIR VICIÉ <u>DANS</u> L'ÉCHANGEUR
L'air évacué ne peut être refroidi qu'une seule fois	+ L'air évacué est refroidi tout le long de son trajet dans l'échangeur de chaleur. Chaque fois que l'air reprend de la chaleur dans l'air entrant, il peut être à nouveau refroidi
› Puissance de rafraichissement plus faible	› Puissance de rafraichissement plus importante



RAFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE

Configuration

- Comparaison des différentes typologies

RAFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE <u>DIRECT</u>	RAFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE <u>INDIRECT</u>	
	HUMIDIFICATION DE L'AIR VICIÉ <u>AVANT</u> L'ÉCHANGEUR	HUMIDIFICATION DE L'AIR VICIÉ <u>DANS</u> L'ÉCHANGEUR
+ Installation facile, même a posteriori	+ Installation facile	+ Meilleur rendement + Encombrement limité
- Humidité relative importante de l'air pulsé - Puissance limitée	- Nécessite de la place dans le local technique, - Uniquement pour les échangeurs à plaque	- Nécessite une nouvelle centrale de traitement d'air - Uniquement pour les échangeurs à plaque



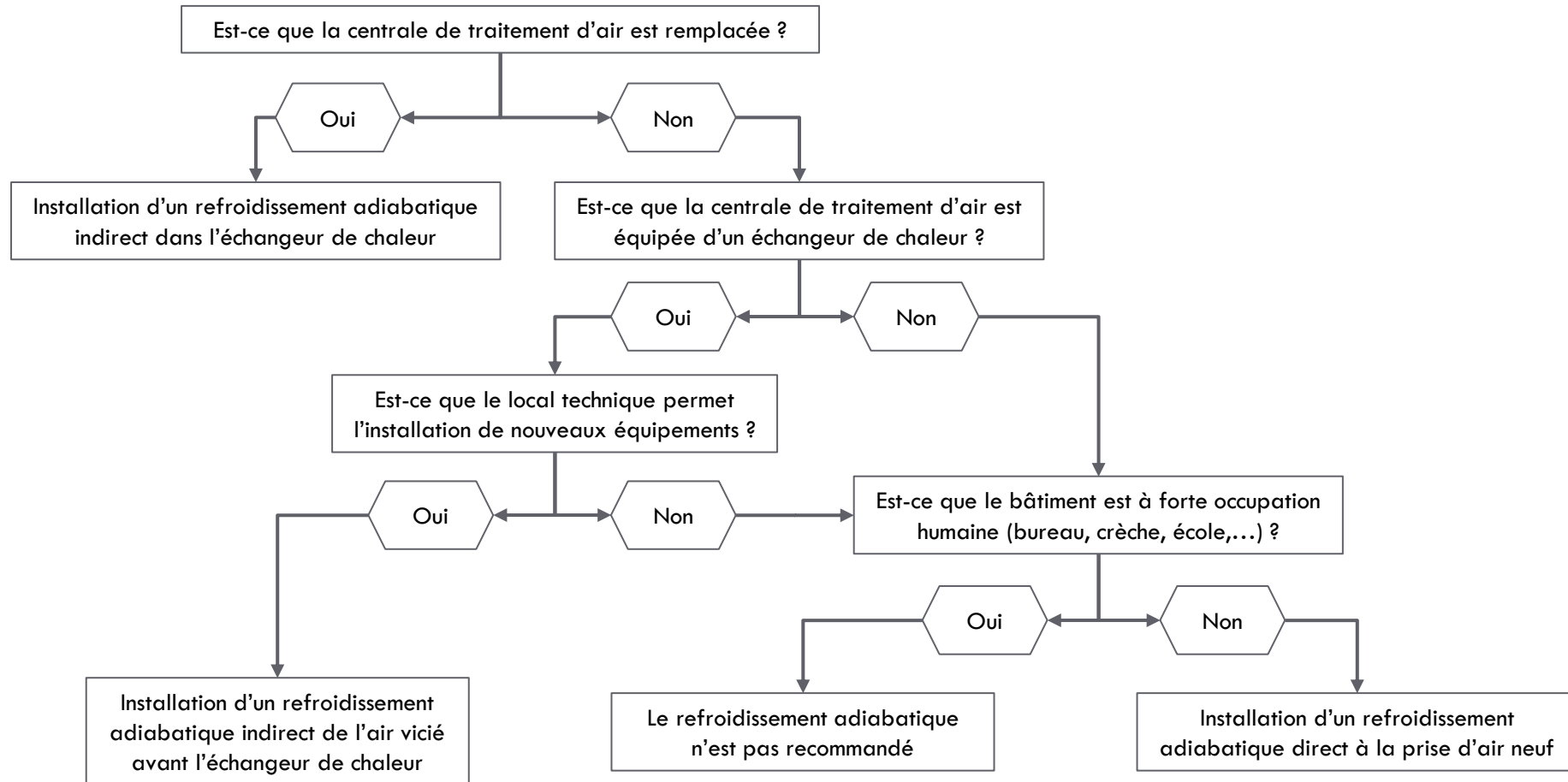
Contraintes techniques et architecturales

- ▶ Débit de ventilation important

- ▶ Eau de bonne qualité
 - Adoucie pour limiter l'encrassement,
 - Potable, si l'humidification est directe
 - ...



Applicabilité



Potentiel et performance

- ▶ La puissance de rafraichissement dépend de la température et de l'humidité contenue dans l'air extrait
- ▶ La régulation du refroidissement adiabatique repose principalement sur le contrôle des débits d'air et d'eau.
- ▶ La performance dépend :
 - du type et de l'efficacité de récupérateur
 - de la position et du type d'humidificateur
- ▶ Consommation des ventilateurs
- ▶ Consommation de la pompe pour vaporisation de l'eau
- ▶ Consommation d'eau
 - ~ 1l pour 0,7 kW de puissance frigorifique



INTRODUCTION

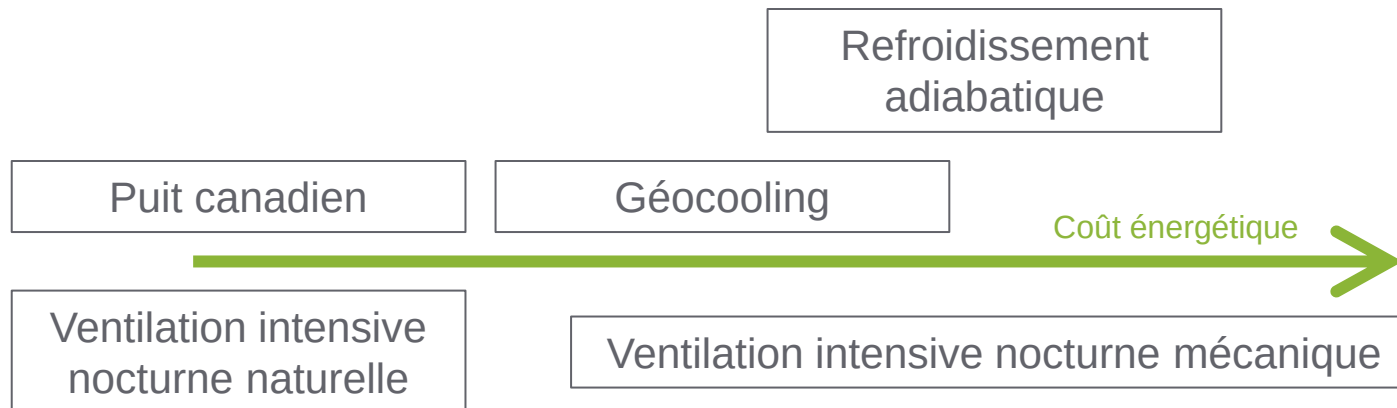
STRATÉGIES DE RAFRAICHISSEMENT

- ▶ Puit Canadien
- ▶ Géocooling
- ▶ Ventilation intensive
- ▶ Rafraichissement adiabatique
- ▶ **Comparaison des différentes stratégies**
- ▶ Combinaisons de stratégies
- ▶ Critères de choix

BALISES POUR LE REFROIDISSEMENT



Comparaison des solutions



INTRODUCTION

STRATÉGIES DE RAFRAICHISSEMENT

- ▶ Puit Canadien
- ▶ Géocooling
- ▶ Ventilation intensive
- ▶ Rafraichissement adiabatique
- ▶ Comparaison des différentes stratégies
- ▶ **Combinaisons de stratégies**
- ▶ Critères de choix

BALISES POUR LE REFROIDISSEMENT



COMBINAISONS DE STRATÉGIES

⇒ **Toutes les stratégies sont compatibles et peuvent être combinées !**

- ▶ Si le besoin est nécessaire, il ne faut pas hésiter à combiner des stratégies « de jour » et des stratégies « de nuit »
 - Stratégie de « jour »
 - Puit canadien
 - Rafraichissement adiabatique
 - Géocooling
 - Stratégie « de nuit »
 - Ventilation intensive



INTRODUCTION

STRATÉGIES DE RAFRAICHISSEMENT

- ▶ Puit Canadien
- ▶ Géocooling
- ▶ Ventilation intensive
- ▶ Rafraichissement adiabatique
- ▶ Comparaison des différentes stratégies
- ▶ Combinaisons de stratégies
- ▶ **Critères de choix**

BALISES POUR LE REFROIDISSEMENT



Quelles techniques utiliser dans quel cas ?

- ▶ Habitation (besoins limités)
 - Ventilation nocturne
 - Puit canadien
 - Géocooling

- ▶ Grand bâtiment (besoins limités)
 - Ventilation nocturne
 - Rafraichissement adiabatique
 - Puit canadien
 - Géocooling



Quelles techniques utiliser dans quel cas ?

- ▶ Grand bâtiment (besoins importants)
 - Ventilation nocturne,
 - Puit canadien
 - Géocooling
 - Rafraichissement adiabatique

- + Complément actif



INTRODUCTION

STRATÉGIES DE RAFRAICHISSEMENT

BALISES POUR LE REFROIDISSEMENT

- ▶ **Quand climatiser ?**
- ▶ Limiter les consommations de froid
- ▶ Comment climatiser ?



Dans quel cas faut-il envisager le recours à un système actif ?

- ▶ Charges internes trop élevées
- ▶ Exigence de climat intérieur spécifique
- ▶ Mesures passives difficiles à mettre en œuvre
- ▶ ...
- ▶ En résidentiel, dans la très grande majorité des cas, il est possible de se passer d'un système actif !

Que faut-il notamment vérifier ?

- ▶ Bilan global en EP* optimisé : CHAUD + FROID + AUXILIAIRES
 - ⇒ Dans certains cas, il ne faut pas s'obstiner à vouloir se passer d'un système actif, cette solution pouvant être moins consommatrice en énergie que certaines autres

*énergie primaire



INTRODUCTION

STRATÉGIES DE RAFRAICHISSEMENT

BALISES POUR LE REFROIDISSEMENT

- Quand climatiser ?
- **Limiter les consommations de froid**
- Comment climatiser ?



Stratégies pour limiter les consommations de froid

- ▶ Réfléchir aux besoins réels
 - Faut-il refroidir tout le temps ou uniquement en cas de « canicule » ?
 - Quel est le niveau d'inconfort acceptable en fonction du profil des utilisateurs ?
 - L'objectif est-il de réduire la température ambiante de quelques degrés (relatif) ou bien d'atteindre une température de consigne précise (absolu)

Ex :

> Relatif : $T_{int} = T_{ext} - 5^{\circ}\text{C}$

> Absolu : $T_{int} = \max 25^{\circ}\text{C}$



61 LIMITER LES CONSOMMATIONS DE FROID

Stratégies pour limiter les consommations de froid

- ▶ Réfléchir aux besoins réels
 - Faut-il refroidir tout le bâtiment ou uniquement certaines zones ?
 - Ex : Climatiser uniquement :*
 - > les zones communes dans une maison de repos,
 - > les chambres dans un logement,
 - > les locaux informatiques
- ⇒ Système de production centralisé ou décentralisé ?
- ⇒ Dimensionner la puissance en fonction



62 LIMITER LES CONSOMMATIONS DE FROID

Stratégies pour limiter les consommations de froid

- Production efficace :
 - Choisir un système robuste avec une bonne efficacité

⇒ **Eviter les systèmes d'appoints**



- Combiner la production de chaud et de froid ?
 - Production alternative ou simultanée ?
 - Dimensionnent sur base du chaud ou du froid ?



INTRODUCTION

STRATÉGIES DE RAFRAICHISSEMENT

BALISES POUR LE REFROIDISSEMENT

- ▶ Quand climatiser ?
- ▶ Limiter les consommations de froid
- ▶ **Comment climatiser ?**



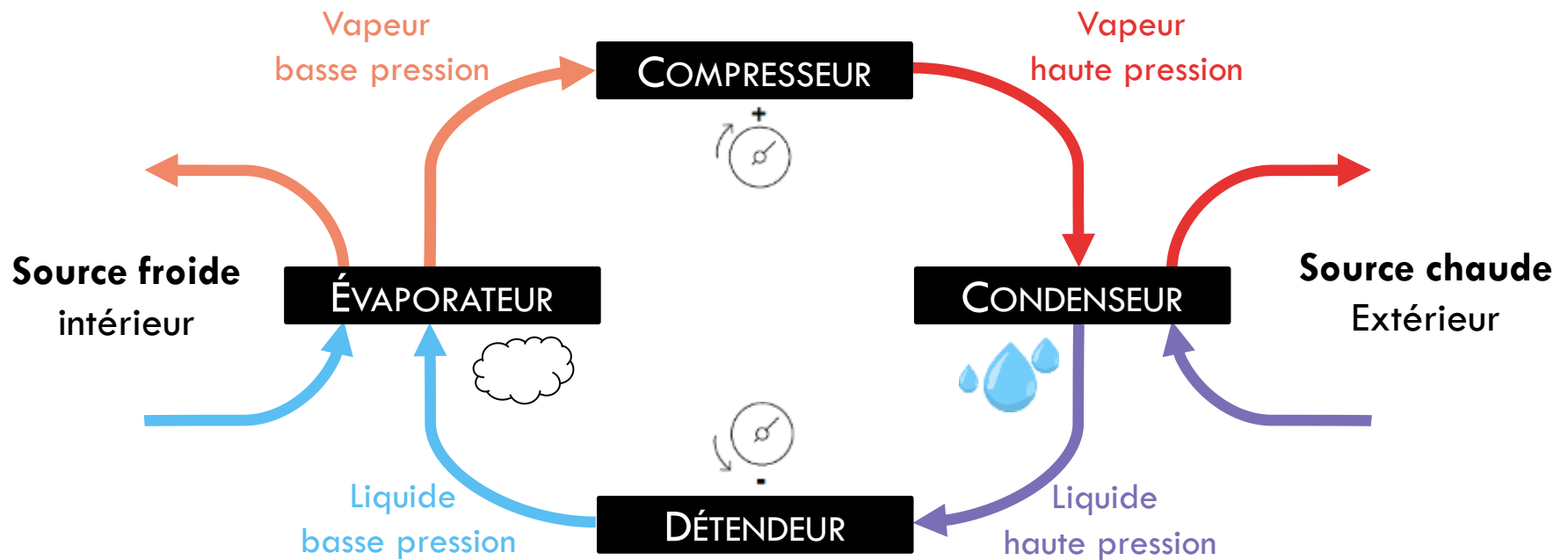
Une installation de refroidissement est composée ...

- ▶ D'un système de production de froid
- ▶ D'émetteurs



Production de froid

- Principe de fonctionnement d'une machine de froid
 - La chaleur extraite est élevée en température pour pouvoir être restituée dans un environnement à plus haute température



Production de froid

- ▶ Source chaude
 - **AIR** : échange direct air - fluide frigo
 - **SOL** : échange direct terrain – fluide frigo
 - **EAU** : échange eau « pure » – fluide frigo
 - **EAU GLYCOLEE** : échange eau glycolée – fluide frigo

SOURCE FROIDE/SOURCE CHAUDE	Détente directe	Mixte	A fluides intermédiaires
AIR/AIR	x		
AIR/EAU		x	
SOL/SOL	x		
SOL/EAU		x	
EAU/EAU		x	x
EAU GLYCOLEE/EAU			x



Production de froid

- ▶ Différentes configurations de machine de froid
 - **A détente directe** : un seul circuit, le fluide frigorigène circule en circuit fermé dans la pompe, les capteurs et les émetteurs de chaleur. Ce type de pompes à chaleur contient beaucoup de fluide frigorigène. Il n'y a pas d'échangeur intermédiaire.
 - **Mixtes** : deux circuits, le fluide frigorigène circule directement dans les capteurs et dans la pompe à chaleur sans échangeur intermédiaire, les émetteurs sont alimentés en eau chaude via un échangeur.
 - **A fluides intermédiaires** : trois circuits, le circuit frigorifique de la pompe à chaleur, le circuit des capteurs où circule de l'eau (éventuellement additionnée d'antigel), le circuit qui alimente en eau chaude les émetteurs. Il y a 2 échangeurs de chaleur,



Production de froid

- Choix du fluide frigorigène
 - Critères techniques
 - Delta température : température de source et d'émission
 - Taux de compression : pression absolue basse et haute
 - Toxicité et inflammabilité

	Groupe de sécurité	
	Toxicité inférieure	Toxicité supérieure
Inflammabilité élevée	A3	B3
Inflammabilité	A2	B2
Inflammabilité faible	A2L	B2L
Pas de propagation de flamme	A1	B1

Source : <https://environnement.brussels/>

- Critères environnementaux
 - ODP : Ozone Depletion Potential
 - GWP : Global Warming Potential
 - TEWI : Total Equivalent Warming Impact



Production de froid

► Fluides courants

	Numéro du fluide frigorigène	Nom chimique/composition	Formule chimique : Tolérance des compositions	Groupe de sécurité	GWP	5 tonnes équivalent CO2 =>	
HFC	R134a	1,1,1,2-tétrafluoroéthane	CH ₂ FCF ₃	A1	1.430	3,5	kg
	R32	Difluorométhane (fluorure de méthylène)	CH ₂ F ₂	A2L	675	7,41	kg
	R404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	±2/ ± 1/ ± 2	A1	3.922	1,27	kg
	R407A	R-32/125/134a (20/40/40) ±2/ ± 2/ ± 2		A1	2.107	2,37	kg
	R407C	R-32/125/134a (23/25/52)	±2/ ± 2/ ± 2	A1	1.774	2,82	kg
	R407F	R-32/125/134a (30/30/40)	±2/ ± 2/ ± 2	A1	1.825	2,74	kg
	R410A	R-32/125 (50/50)	+ 0,5 – 1,5/+ 1,5 – 0,5	A1	2.088	2,39	kg
Fluides alternatifs							
	R290	Propane	CH ₃ CH ₂ CH ₃	A3	3	-	
	R600	Butane	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	A3	4	-	
	R600A	2-méthyl propane (isobutane)	CH(CH ₃) ₃	A3	3	-	
	R717	Ammoniac	NH ₃	B2L	0	-	
	R744	Dioxyde de carbone	CO ₂	A1	1	-	
	R1270	Propène (propylène)	CH ₃ CH = CH ₂	A3	2	-	
	R1234 ze	Trans-1,3,3,3-tétrafluoroprop-1-ène		A2L	7	-	
	R1234 yf	2,3,3,3-tétrafluoroprop-1-ène	CF ₃ CF = CH ₂	A2L	4	-	
	R1233 zd	Trans-1-chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-ène	CF ₃ CH = CHCl	A1	4.5	-	

Source : <https://environnement.brussels/>



Régime de température

- ▶ Il existe habituellement 2 régimes de température
 - 16/18°C >> « Light cooling »
 - ⇒ sans production de condensat,
 - ⇒ puissance limitée,
 - 7/12°C >> « Deep cooling »
 - ⇒ production de condensats



Emetteurs

► Emetteurs compatibles :

- Doivent être prévus et dimensionnés pour la production de froid, et éventuellement la gestion des condensats,
- Éventuellement réversibles chaud/froid, bi-tube ou 4-tubes

⇒ La température de départ a une forte influence sur la puissance d'émission !

Exemple pour un ventilo-convecteur réversible :

Type	Hauteur [cm]	Longueur [cm]	Largeur [cm]	Position	CHAUFFER 75/65/20 [Watts]	CHAUFFER 55/45/20 [Watts]	CHAUFFER 45/35/20 [Watts]	CHAUFFER 35/30/20 [Watts]	LIGHT COOLING Non condensant 16/18/27 50% R.V. [Watts]	DEEP COOLING Total 7/12/27 50% R.V. [Watts]	DEEP COOLING sensible 7/12/27 50% R.V. [Watts]
02 ▼	Tous ▼	Tous ▼	Tous ▼	max ▼	4000	2386	1571	990	769	1833	1304

Source : Jaga



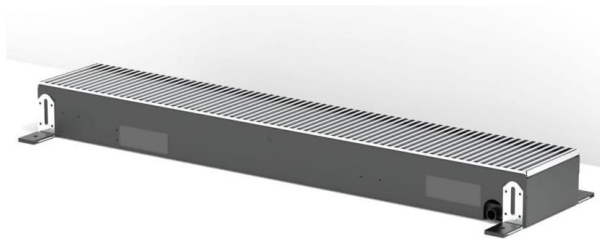
Emetteurs

Ventilo-convecteurs

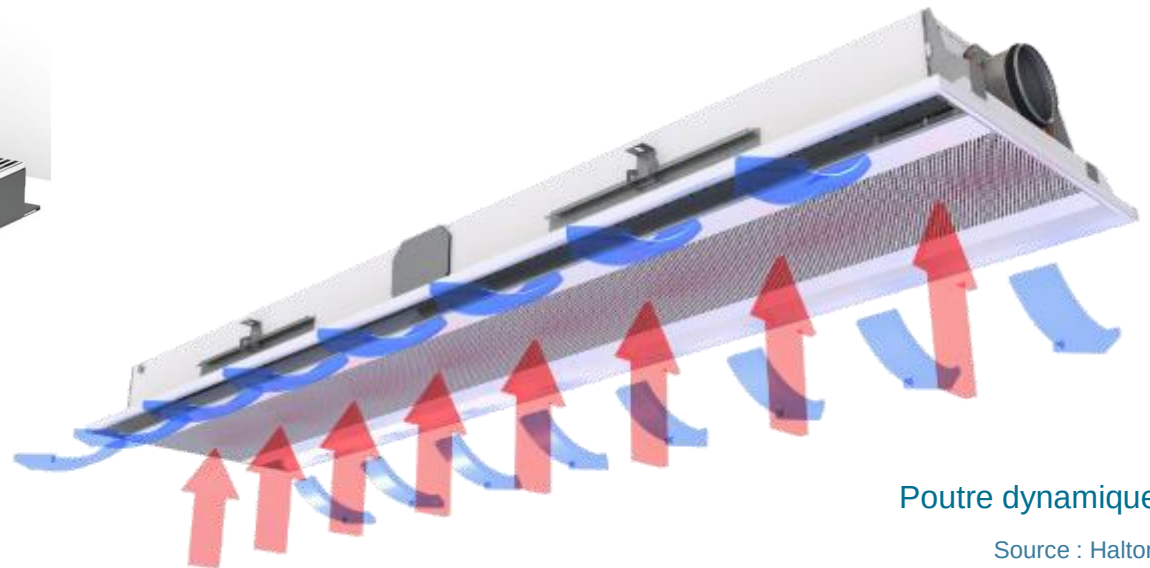


Source : Vasco

Chauffage surfacique, sol ou mural



Source : Jaga



Poutre dynamique

Source : Halton





- ▶ Il faut parler de **stratégie** de rafraichissement passif : cela couvre également la conception et l'utilisation de l'immeuble !
- ▶ Le rafraichissement ne permet pas d'avoir une puissance fixe
- ▶ Pour que la stratégie fonctionne, il faut que les occupants y adhèrent !
- ▶ Les solutions passives peuvent aussi être consommatrices d'énergie électrique : alimentation de ventilateurs, gestion d'ouvertures motorisées, ...





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brussels

- ▶ Dossier | Appliquer une stratégie de rafraîchissement passif
 - Dispositif | [Puits canadien](#)
 - Dispositif | [Free cooling](#)
 - Dispositif | [Refroidissement adiabatique](#)



Sites internet

- ▶ Energie + : <https://energieplus-lesite.be/#>



Formations et séminaires

- ▶ Inscrivez-vous aux formations organisées par Bruxelles Environnement
<https://environnement.brussels/formationsbatidurable>
Et notamment, en lien avec cet exposé :
 - Pompe à chaleur : Choix et conception
 - Ventilation : Choix et conception

Consultez tous les supports [gratuitement](#) !



Julie RENAUX

Ingénieur projet
écorce sa

 + 32 4 226 91 60

 info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

