

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

RÉGULATION DES BÂTIMENTS

PRINTEMPS 2025

Régulation du refroidissement passif (free-cooling)



- ▶ Comprendre les paramètres impactant le fonctionnement du free cooling
- ▶ Comprendre et (se) poser les bonnes questions lors de discussions autour de sa régulation



ENJEUX DU REFROIDISSEMENT PASSIF (FREE-COOLING)

TYPES DE FREE-COOLING

PRINCIPES DE RÉGULATION

ETUDE DE CAS : PROJET CAMÉLÉON

ETUDE DE CAS : SIÈGE D'HOLCIM À NIVELLES (BÂTIMENT PASSIF)



L'objectif du free cooling

- ▶ Assurer le confort d'été sans le recours à un refroidissement mécanique
- ▶ Décharger la chaleur emmagasinée dans la masse du bâtiment par une ventilation intensive le plus souvent nocturne
- ▶ Générer un balayage avec de l'air extérieur de l'ordre de 2 vol/h ou plus
- ▶ Assurer une ventilation intensive sans générer de consommation énergétique (ventilation naturelle) ou avec une consommation minime (avec l'assistance de ventilateurs)



ENJEUX DU REFROIDISSEMENT PASSIF (FREE-COOLING)

TYPES DE FREE-COOLING

PRINCIPES DE RÉGULATION

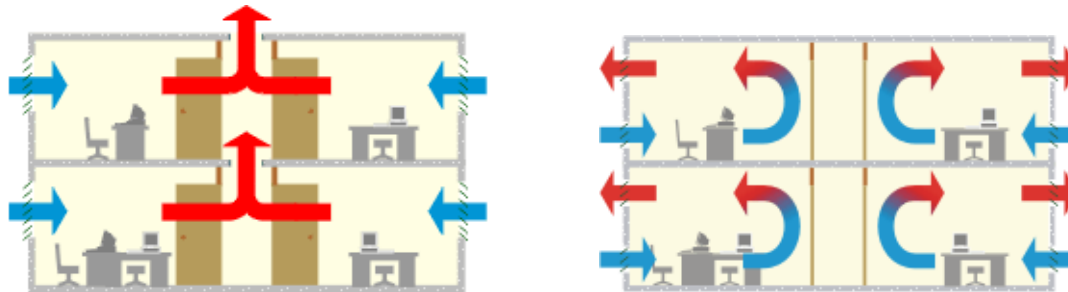
ETUDE DE CAS : PROJET CAMÉLÉON

ETUDE DE CAS : SIÈGE D'HOLCIM À NIVELLES (BÂTIMENT PASSIF)



Types de « free cooling » et de gestion

- ▶ Free-cooling naturel (par effet cheminée ou sous effet du vent) ou hybride (assisté par une extraction mécanique):
 - Gestion manuelle ou automatisée des ouvertures d'amenées et/ou de sortie d'air



Source : Energie+

- ▶ Free-cooling mécanique (via le système de ventilation mécanique) :
 - Régulation automatisée de la **C**entrale de **T**raitement d'**A**ir (CTA) et de la distribution d'air



ENJEUX DU REFROIDISSEMENT PASSIF (FREE-COOLING)

TYPES DE FREE-COOLING

PRINCIPES DE RÉGULATION

ETUDE DE CAS : PROJET CAMÉLÉON

ETUDE DE CAS : SIÈGE D'HOLCIM À NIVELLES (BÂTIMENT PASSIF)



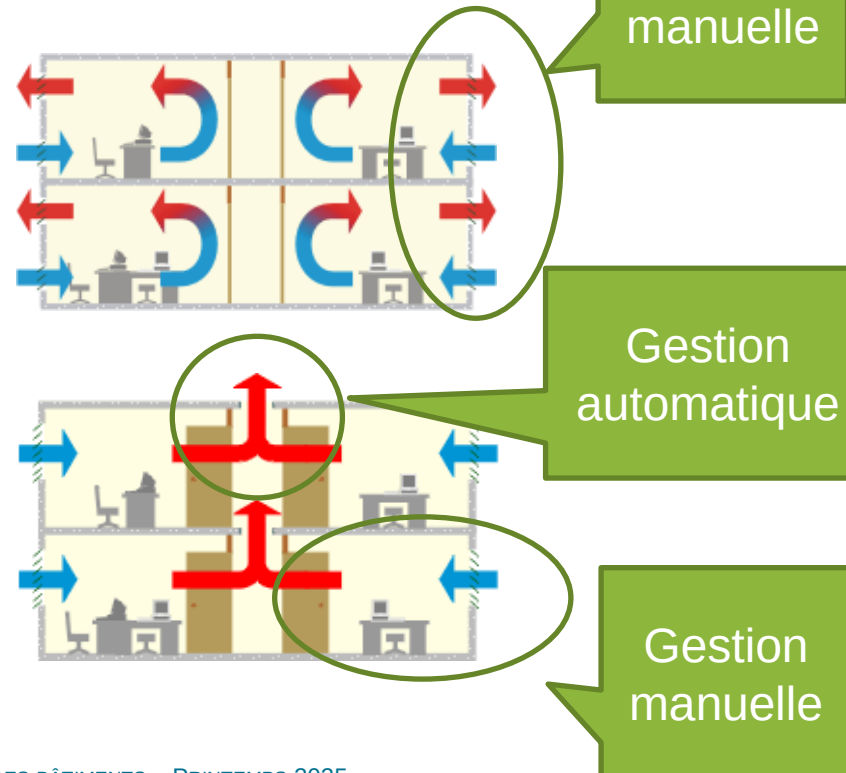
Free-cooling hybride ou naturel

► Gestion manuelle

- Gestion des ouvertures par les utilisateurs du bâtiment
- « **Low tech** » - « implication / sensibilisation des occupants »

► Petits bâtiments ou habitations avec ventilation nocturne unilatérale ou transversale

► Grands bâtiments avec sortie d'air automatisée et ouvertures de transfert (volet ou porte) actionnées manuellement



Exemple : bâtiment commercial Caméléon à Woluwe-Saint-Lambert

- ▶ Fenêtres ouvrantes en façade derrière claustra > ouverture manuelle
- ▶ Fenêtres dans les cloisons des bureaux (côté couloir) > ouverture manuelle



Ouvertures en façade et de transfert entre les bureaux et le couloir

Source / Bron: MATRiciel - Caméléon



Exemple : bâtiment commercial Caméléon à Woluwe-Saint-Lambert

- Signalisation du mode de ventilation actif par 3 voyants dans le couloir → gestion par la GTC :



Source / Bron : MATRIciel - Caméléon

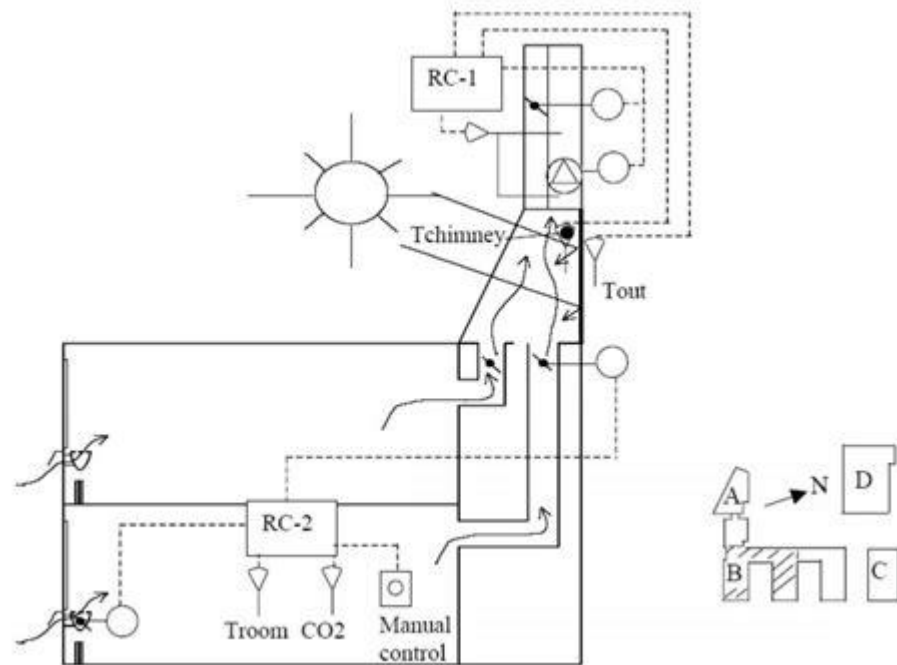
- $T_{ext.} < 14\text{ °C}$ (réglable) ou $> 25\text{ °C}$ (réglable) : ventilation mécanique avec récupération de chaleur → pas d'ouverture recommandée des fenêtres
- $14\text{ °C} < T_{ext.} < 25\text{ °C}$ pendant plusieurs jours : chauffage et ventilation mécanique à l'arrêt → ventilation des bureaux à l'aide des ouvertures de fenêtre
- En été, si $T^{\circ}_{int.}$ augmente et conditions atmosphériques favorables : ventilateurs d'extraction de la toiture en marche pendant la nuit (**free-cooling**) → invitation à l'ouverture manuelle des fenêtres et des ouvertures de transfert avant départ en soirée



Free-cooling hybride ou naturel

► Gestion motorisée et automatisée

- Inputs



Exemple d'une régulation avec free-cooling hybride avec effet cheminée

Source : Projet HYBVENT - Control strategies –
Annex 35



Free-cooling hybride ou naturel

- Gestion motorisée et automatisée

- Inputs

Températures : température intérieure, température extérieure, température des éléments de construction, vitesse de variation

Débit dans cheminée (mise en marche éventuelle de ventilateurs)

Conditions climatiques (vent, pluie)

Risque intrusion

Interaction avec un autre système



Motorisation des
fenêtres

Source : MATRIciel



Free-cooling hybride ou naturel

- ▶ Gestion motorisée et automatisée

- Modulation

Ouverture / fermeture des amenées/extractions d'air :

- Ouvert / fermé
- Réglable par position
- Complètement modulante

Plus la régulation est modulante et plus elle est fine...
mais complexe !

→ Si free-cooling diurne et nocturne → modulation par 3 positions (100 % ouvert, intermédiaire et 100 % fermé)

→ Si free-cooling uniquement nocturne → régulation on/off



Free-cooling hybride ou naturel

- ▶ Gestion motorisée et automatisée
- Gaspillage d'énergie

Si free-cooling associé à une autre forme de refroidissement actif, les systèmes ne peuvent pas fonctionner simultanément

Si surrefroidissement par free-cooling, le chauffage peut se remettre en route !



Free-cooling hybride ou naturel

- ▶ Gestion motorisée et automatisée

- Implication des utilisateurs

Toujours impliquer les utilisateurs dans un processus d'appropriation de leur bâtiment

Si amenées d'air automatisées → laisser la possibilité à l'utilisateur de déroger la commande

→ Effet positif de l'ouverture volontaire des fenêtres sur la sensation de confort des utilisateurs ...

→ ... mais contrôle automatisé de l'ouverture des fenêtres à prévoir afin d'éviter la destruction d'énergie



► Gestion motorisée et automatisée

- Régulation par GTC

Usage d'une régulation par GTC afin de visualiser l'ensemble des paramètres :

Conditions climatiques intérieures et extérieures (température, humidité, vitesse et direction du vent, pluie)

Position des ouvertures/fermetures (dans le cas de free-cooling naturel et hybride)

Mise en route des ventilateurs, registres, débits d'air, ...



Conditions de fonctionnement du free-cooling - exemples

Règles générales

- Saison de chauffe : pas de free-cooling
- Free-cooling naturel et hybride :
Vitesse du vent < 12 m/s et absence de pluie (en fonction du type d'ouvertures installées)
- Free-cooling hybride :
Mise en route du ventilateur en fonction :
 - de la vitesse de décroissance de la T° intérieure
(exemple : diminution de 6°C en 8h => enclenchement si $T_{\text{amb}}(\text{heure 2}) - T_{\text{amb}}(\text{heure 1}) < 0,75^\circ\text{C}$, peut être recalculé en continu ...)
 - du delta de température cheminée/extérieur
 - d'un horaire
 - ...



Conditions de fonctionnement du free-cooling (paramétrables !) - exemples

Pendant la journée :

de 6 h à 22 h

- Sans climatisation active :
 - $T^{\circ} \text{ ext.} \leq T^{\circ} \text{ int. diminuée d'au moins } 2^{\circ} \text{C}$
 - $T^{\circ} \text{ int.} \geq 22^{\circ} \text{C}$
 - $T^{\circ} \text{ ext.} \geq 14^{\circ} \text{C}$ et chauffage à l'arrêt
- Avec climatisation active, conditions supplémentaires :
 - $T^{\circ} \text{ int.} < \text{point de consigne de la climatisation}$
 - arrêt du free-cooling lorsque la $T^{\circ} \text{ int.} > \text{point de consigne climatisation diminuée de } 1^{\circ} \text{C}$ (afin d'éviter le risque de destruction d'énergie en prévoyant une zone 'morte')



Conditions de fonctionnement du free-cooling (paramétrables !) - exemples

Pendant la nuit :

de 22 h à 6 h

- $T^{\circ} \text{ ext.} \leq T^{\circ} \text{ int. diminuée d'au moins } 2^{\circ} \text{C}$
- Pic de $T^{\circ} \text{ ext.}$ sur la journée écoulée $> 15^{\circ} \text{C}$
- Pic de $T^{\circ} \text{ int.}$ sur la journée écoulée $> 24^{\circ} \text{C}$
- $T^{\circ} \text{ int.} \geq 18^{\circ} \text{C}$
- $T^{\circ} \text{ ext.} \geq 14^{\circ} \text{C}$



Conditions de fonctionnement du free-cooling

**Eviter trop de conditions : gestion complexe et
difficilement paramétrable en pratique !!!!**



ENJEUX DU REFROIDISSEMENT PASSIF (FREE-COOLING)

TYPES DE FREE-COOLING

PRINCIPES DE RÉGULATION

ETUDE DE CAS : PROJET CAMÉLÉON

ETUDE DE CAS : SIÈGE D'HOLCIM À NIVELLES (BÂTIMENT PASSIF)



Bâtiment commercial à Woluwe-Saint-Lambert

► Présentation générale :



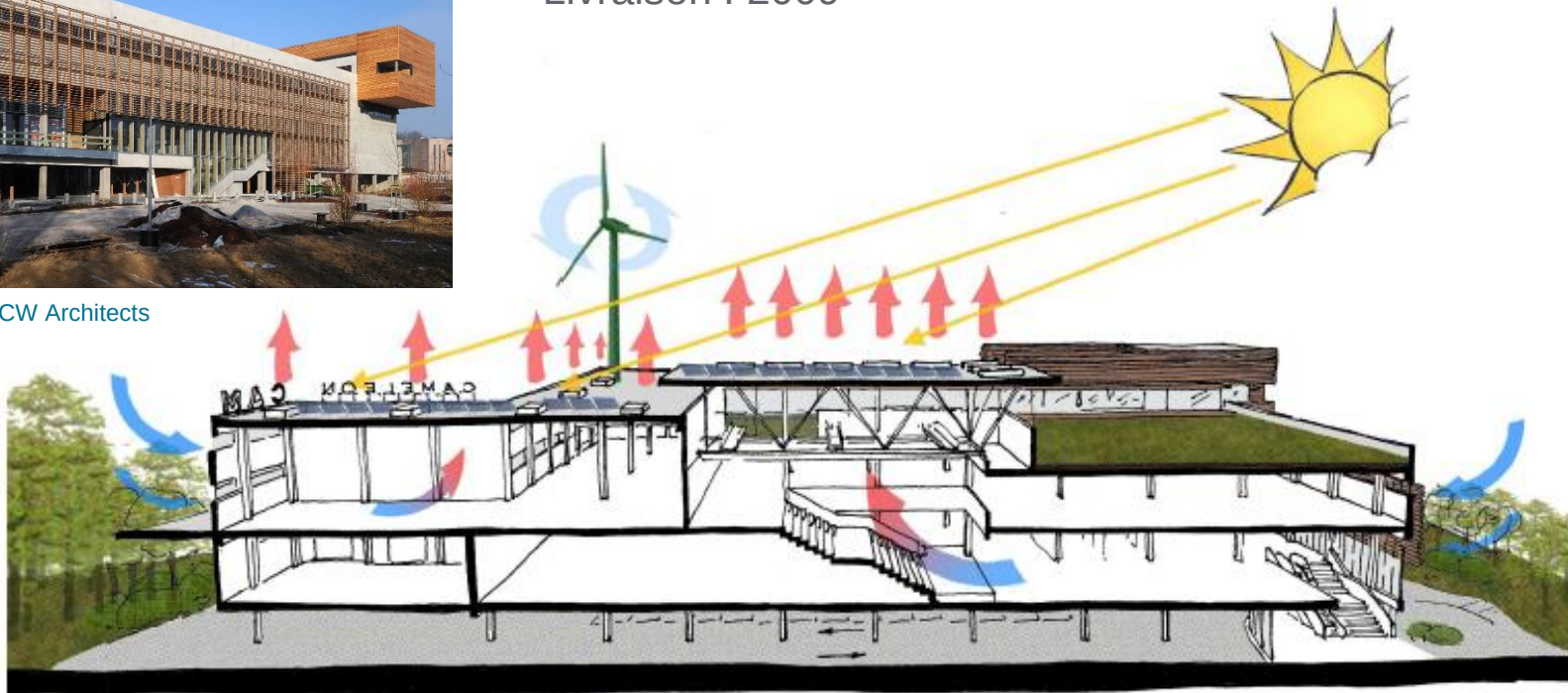
Source / Bron : AWAA for CW Architects

Surface du bâtiment : 13.300 m²

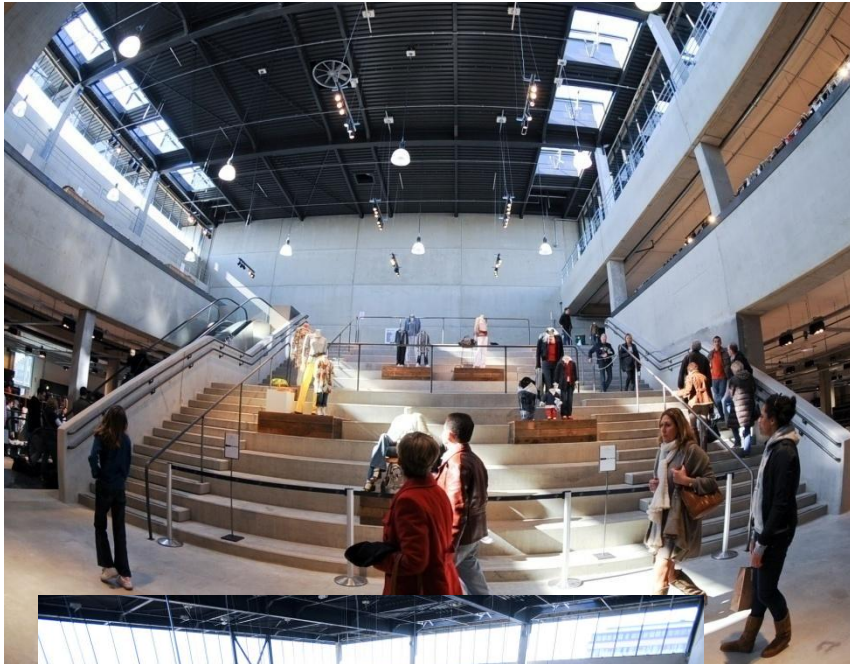
Bâtiment exemplaire BE 2007

Architecte : AWAA for CW Architects

Livraison : 2009



ETUDE DE CAS : PROJET CAMÉLÉON



Source / Bron : AWAA for CW Architects



Bâtiment commercial à Woluwe-Saint-Lambert

- Choix d'une ventilation hygiénique et d'un free cooling naturel de l'espace de vente (8.000 m²) :

Perte d'énergie primaire (Ep) car :

- Pas de contrôle précis du débit d'air frais
- Pas de récupération de chaleur dans l'air extrait

Mais :

- Perte Ep réduite par commande motorisée des ouvertures
- Economie de consommation des ventilateurs
- Réduction du coût d'investissement



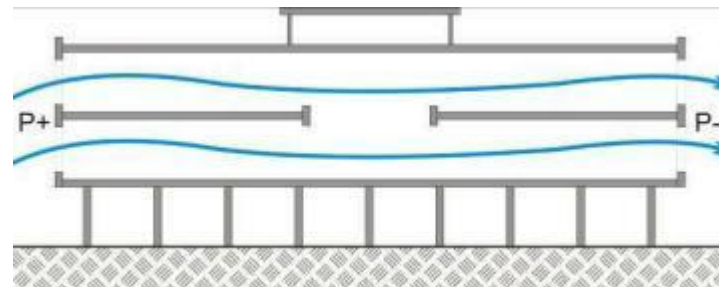
ETUDE DE CAS : PROJET CAMÉLÉON

► Ventilation transversale (ou traversante)

Ouverture du toit fermée

Seules les **ouvertures en façade** sont utilisées

Peut être utilisée de jour comme de nuit



Mouvement d'air induit par une différence de pression entre les 2 façades

Source / Bron : MATRiciel



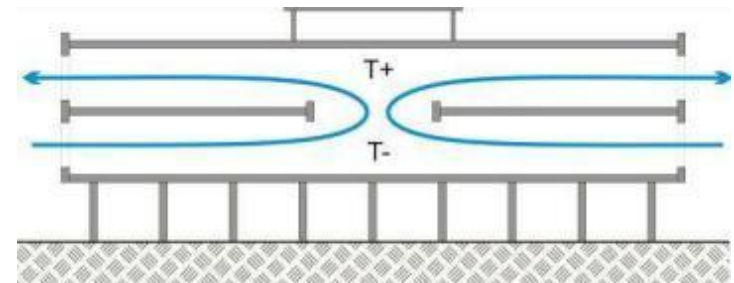
ETUDE DE CAS : PROJET CAMÉLÉON

- ▶ Ventilation basée sur l'effet cheminée
 - Tirage naturel important créé entre les fenêtres motorisées réparties tout autour du bâtiment et 12 grandes ouvertures dans la toiture de l'atrium
 - Si ouvertures en toitures fermées → ventilation par effet cheminée si différence de température suffisante entre intérieur et extérieur



Grilles ouvrantes pour l'amenée d'air (gauche) et volets en hauteur pour l'évacuation de l'air (droite)

Source / Bron : MATRIciel



Mouvement d'air induit par la différence de température entre l'air intérieur et l'air extérieur

Source / Bron : MATRIciel



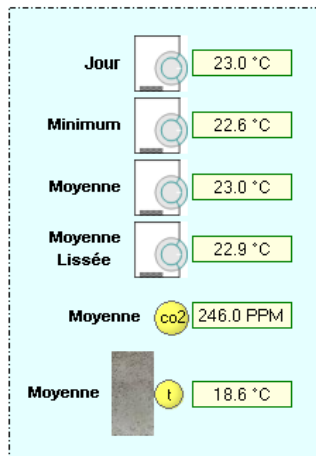
- ▶ Pilotage des ouvertures motorisées
 - Gestion de ventilation automatisée sur base de 3 niveaux d'ouverture :
 - **Faible** : deux extracteurs de toiture situés dans l'atrium assurent une ventilation minimale
 - **Modéré** : la moitié des ouvertures de façade est activée + quatre ouvertures sur dix en toiture
 - **Intensif** : toutes les ouvertures de façade et de toiture sont actives



- Pilotage des ouvertures motorisées
 - Paramètres de régulation



Gestion Commande Ouverture Fenêtres



	Commandes Ouvertures Fenêtres			
	Sud Ouest 1	Nord Est 1	Sud Ouest 2	Nord Est 2
Ouverture Faible	Cd	Cd	Cd	Cd
Ouverture Modérée	Cd	Cd	Cd	Cd
Ouverture Intensive	Cd	Cd	Cd	Cd

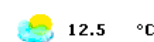
Etat de l'interrupteur Local à l'Accueil +1

Position Automatique	Et
Position Faible	Et
Position Modérée	Et
Position Intensive	Et

Horaire Purge de Nuit	Arrêt
Horaire Déstratification	Arrêt
Cons.Ambiance Vent.Int.	☐ 23.0 °C
Cons.Ambiance Vent.Mod.	☐ 22.0 °C
Cons.Air Ext.Min.Vent.Int.	☐ 12.0 °C
Cons.Air Ext.Min.Vent.Mod.	☐ 12.0 °C
Cons.Temp.Ambiante	☐ 21.0 °C
Cons.Temp.Amb.Jour	☐ 23.0 °C
Cons.Temp.Béton	☐ 18.0 °C
Consigne CO2 Basse	☐ 800.0 PPM
Consigne CO2 Haute	☐ 900.0 PPM
Cons.Air Ext.Purge de Nuit	☐ 10.0 °C
Cons.Temp.Amb.Minimum	☐ 14.0 °C
Cons.Temp.Béton Moyenne	☐ 18.0 °C

Extrait GTC
Source : Cameleon

Caméléon



► Pilotage des ouvertures motorisées

• Paramètres de régulation

Algorithme de régulation diurne des 3 niveaux d'ouverture :

- **En période de chauffe ($T^{\circ} \text{ ext.} < 12^{\circ} \text{C}$)**

→ régulation en fonction du CO_2 :

Si $\text{CO}_2 > 800 \text{ ppm}$ → ouverture des extracteurs de toiture
puis passage progressif en mode "moyen" ou "intensif"

- **Hors période de chauffe ($T^{\circ} \text{ ext.} > 12^{\circ} \text{C}$)**

→ régulation en fonction du CO_2 et des températures

→ Bâtiment très ouvert pendant les heures d'ouverture et dans lequel les mouvements de l'air donnent au visiteur l'impression d'évoluer dans un espace "naturel", le tout sans consommation liée au chauffage ou au refroidissement



► Pilotage des ouvertures motorisées

• Paramètres de régulation

Algorithme de régulation nocturne des 3 niveaux d'ouverture :

- **Hors période de chauffe ($T^{\circ} \text{ ext.} > 12^{\circ} \text{C}$)**

→ régulation en fonction de

- la température ambiante moyenne de la journée,
- de la température mesurée dans la masse du bâtiment,
- de la température extérieure
- et de la température ambiante instantanée (seuil min. 14°C sinon refroidissement excessif)

Toutes les ouvertures peuvent être contrôlées manuellement



► Commissioning

Principes énergétiques de base mais **gestion high tech** hors des sentiers battus par les concepteurs de GTC

➔ erreurs de “réinterprétation”

GTC conçue par des professionnels pour des professionnels et non pour des utilisateurs “lambda” (terminologie et formation inadaptée)

Information du personnel quant au mode de fonctionnement du bâtiment : compréhension étendue du principe de régulation, établissement de la hiérarchie de commande (ex : impact d'une dérogation manuelle)

Seulement après : ajustement des paramètres

Exple :

Modification des différents seuils d'activation en fonction de la mi-saison, avec le seuil de désactivation de l'installation de chauffage

Élaboration d'une méthodologie pour les modifications manuelles !
(pour éviter tout gaspillage d'énergie dû à une ouverture inopportune)



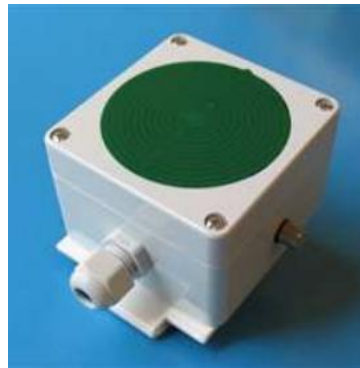
► Prise en compte des nuisances extérieures

- Pluie

Ouvertures de toiture horizontales : vision vers le ciel mais pas de protection contre la pluie

→ Installation équipée de capteurs de pluie

→ Fermeture de l'ensemble des ouvertures en ± 7 sec.



Capteur de pluie

Source / Bron : Caméléon



► Prise en compte des nuisances extérieures

• Intrusion

Ouvertures de toiture : pas protégées contre l'intrusion d'oiseaux
→ intégration d'un filet de protection dans les ouvertures

Fenêtres des espaces de vente : protégées par un grillage à l'extérieur



Protection des fenêtres contre l'intrusion

Source : Caméléon

Placement de détecteurs d'intrusion → source de problème à cause des débits de ventilation élevés (4 vol/h)



- ▶ Interaction avec les aménagements et les autres systèmes
 - Cloisons intérieures

Placement des cloisons intérieures a posteriori

→ peut affecter l'efficacité du free-cooling dans certaines zones :



- Modulation de la ventilation pas assurée par un degré d'ouverture différent pour chaque fenêtre mais par la variation de l'ouverture de plusieurs fenêtres
→ surchauffe des zones ne se trouvant pas devant les fenêtres pilotées
Solution : adaptation des commandes électriques des fenêtres lors de l'aménagement des plateaux
- Zone où se trouvent les caisses n'est plus située dans le courant d'air qui s'échappe par l'atrium à cause des cloisons placées après la phase de conception du système
Solution : ajout de ventilateurs à pales pour contraindre l'air à traverser la zone



► Interaction avec les aménagements et les autres systèmes

- Incendie

Influence mutuelle des systèmes de ventilation intensive et de prévention incendie :

- Libre circulation de l'air frais >< compartimentage anti-incendie ?
- Exutoires de fumée et ouvertures de free cooling communes ?

Dispositions particulières en cas d'alarme incendie :

- Evacuation des fumées par **tourelles** au lieu d'ouvertures naturelles
- **Ecrans** mobiles **ignifuges** dans les espaces de vente
- **Fermeture des ouvertures de ventilation** de la zone des stocks pour ne pas perturber les sprinklers
- **Désactivation des extracteurs** des bureaux



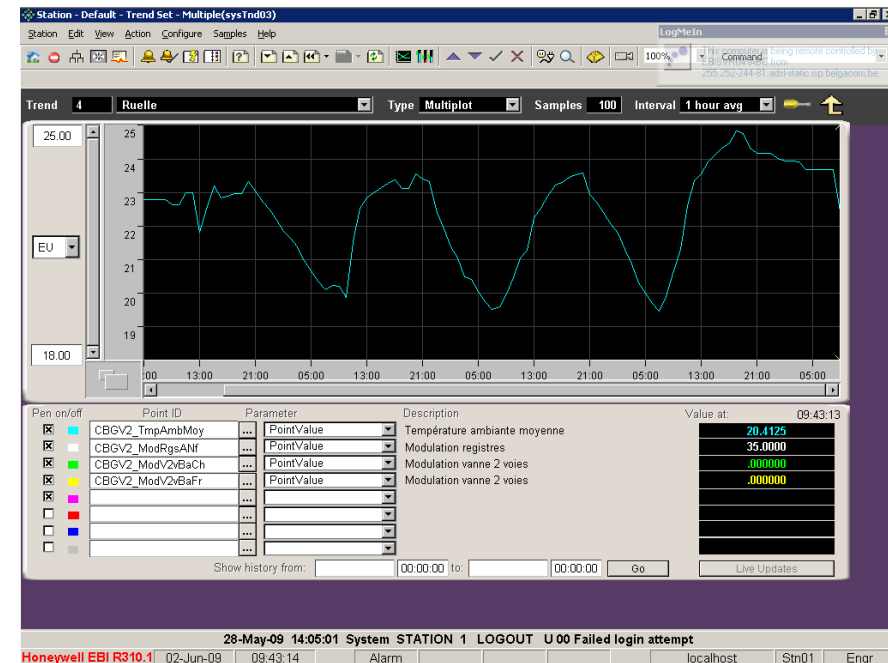
► Objectif atteint ?

- Suivi de la température intérieure : pas de surchauffe

- Le groupe de froid équipant le bâtiment ne fonctionne jamais !

Extrait du rapport de suivi 2012 :

Année	Relevé de la consommation (source : Caméléon)
Prévision théorique projet	0 kWh/an
2011	488 kWh/an



ENJEUX DU REFROIDISSEMENT PASSIF (FREE-COOLING)

TYPES DE FREE-COOLING

PRINCIPES DE RÉGULATION

ETUDE DE CAS : PROJET CAMÉLÉON

ETUDE DE CAS : SIÈGE D'HOLCIM À NIVELLES (BÂTIMENT PASSIF)



38 ETUDE DE CAS : SIÈGE D'HOLCIM À NIVELLES

Principes de régulation

► Présentation générale :

Surface du bâtiment : 4.100 m²

Passif

BREEAM Very Good

Architecte : A2M

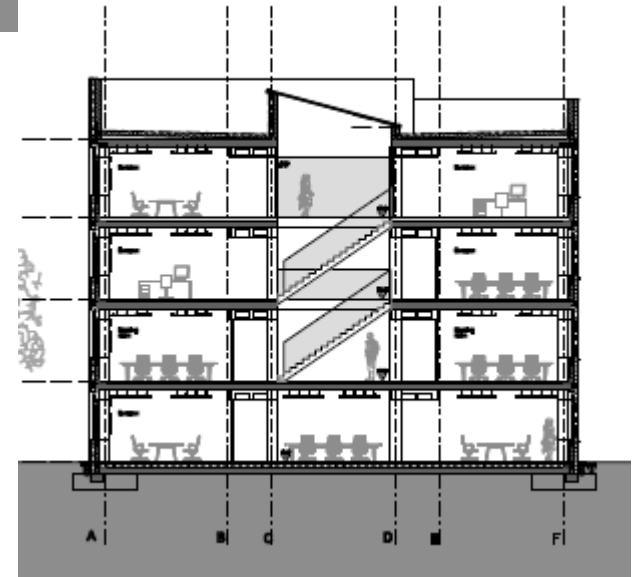
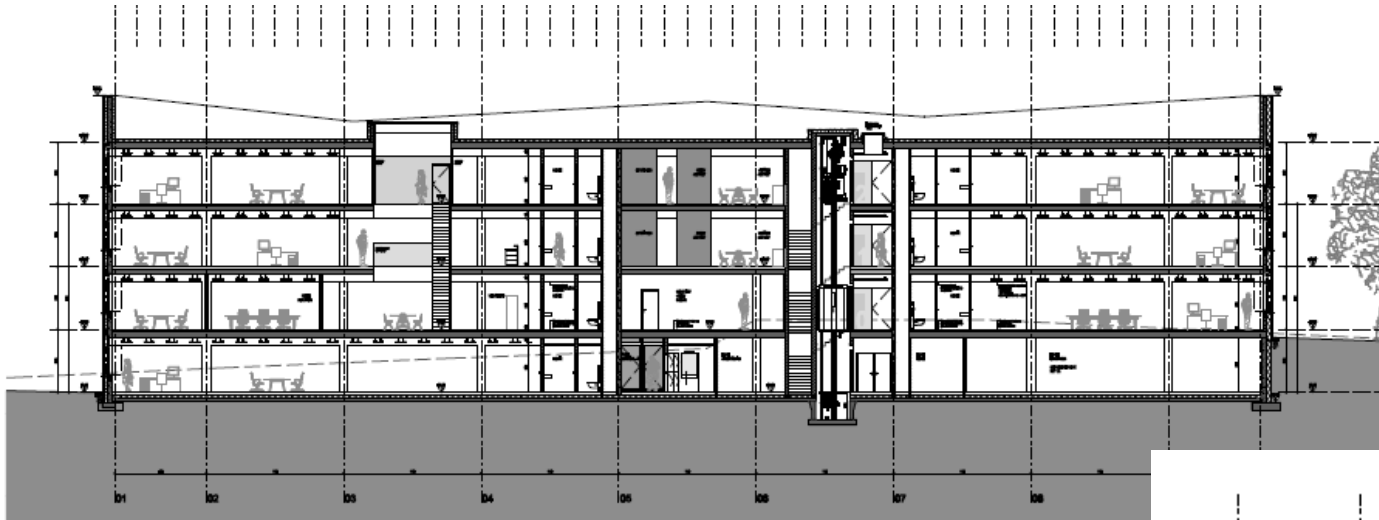
Livraison : 2013



Source : A2M



ETUDE DE CAS : SIÈGE D'HOLCIM À NIVELLES



Source : A2M



Principes de régulation

- Free-cooling mécanique :

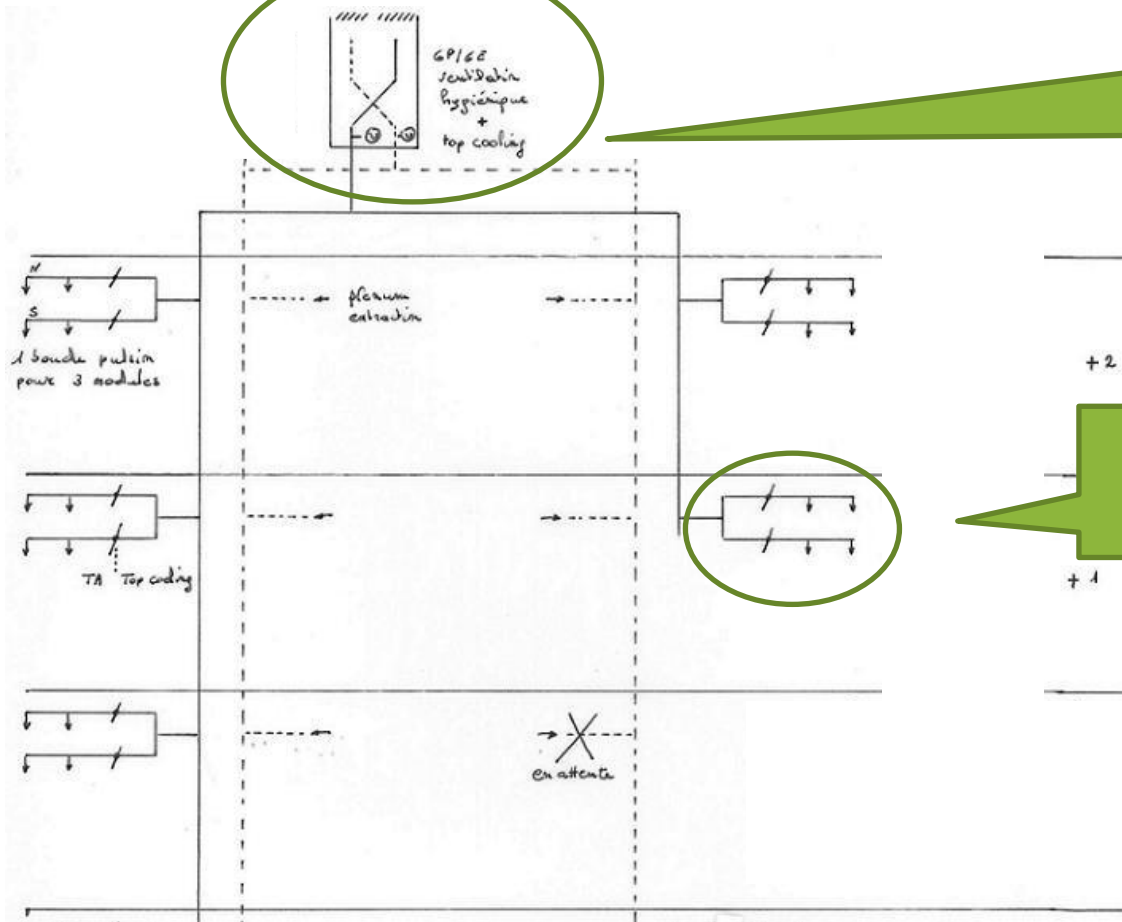
Régulation automatisée de la centrale de traitement d'air (CTA)

Mise en fonctionnement lorsque les conditions climatiques et horaire (dans le cas d'une ventilation nocturne) sont rencontrées

CTA doit être en mesure d'augmenter les débits d'air (free-cooling en journée et/ou la nuit)



Principe de ventilation



Free cooling mécanique
combiné à la ventilation
hygiénique
surdimensionnée

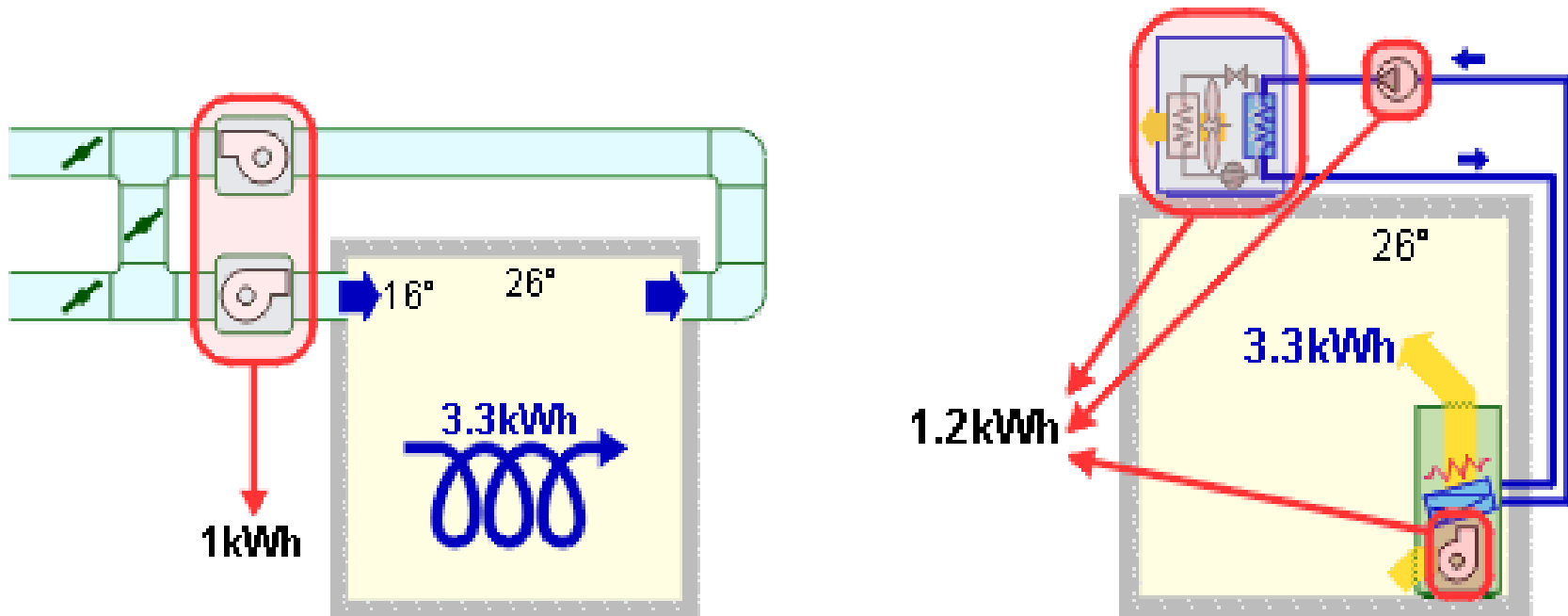
Gestion par $\frac{1}{4}$ plateau



42 ETUDE DE CAS : SIÈGE D'HOLCIM À NIVELLES

Principe de régulation de la ventilation

- Objectif :
 - Confort d'été avec
conso ventilateurs $\leq$ conso d'un refroidissement mécanique équivalent



Principe général de la ventilation

Source : Energie+



Principe de régulation de la ventilation

- Saison de chauffe, diurne (Si $T^{\circ} \text{ ext.} < T^{\circ} \text{ ext.}_{\text{non_chauffage}}$)

Uniquement ventilation hygiénique.

Objectif : débit d'air min, vitesse et pression minimales des ventilateurs

- Débit CTA = débit _min
- Ouverture clapets de zone (1 clapet / $\frac{1}{4}$ de plateau)
- Clapets de zones automatiquement réglés
afin qu'au moins 1 registre soit totalement ouvert (optimalisation de la pression du réseau)



Principe de régulation de la ventilation

- **Été, diurne** (Si $T^{\circ} \text{ ext.} > T^{\circ} \text{ ext.}_{\text{non_chauffage}}$)

Si surchauffe ($T^{\circ} \text{ de reprise CTA} > T^{\circ} \text{ int_consigne_été}$) : refroidissement par la centrale de ventilation

Cascade d'actions :

- Réduction vitesse de la roue de récupération pour réduire la température de pulsion : valorisation de l'air frais extérieur
- Puis enclenchement de la batterie froide avec
 $T^{\circ} \text{ puls.} = T^{\circ} \text{ puls. min confort}$ et $T^{\circ} \text{ int_locale} > T^{\circ} \text{ int_consigne_été}$.
- Puis ouverture des clapets de zone et augmentation de la vitesse de la CTA :

Ouverture des clapets fonction de $T^{\circ} \text{ int_locale}$

Vitesse des ventilateurs et leur hauteur manométrique réglée en fonction de la position des clapets de zone.

(Le système de régulation connaît la position de chaque registre et optimise le gain de pression de la centrale de traitement d'air de manière à ce qu'au moins 1 registre soit totalement ouvert.)



Principe de régulation de la ventilation

- **Été, nocturne** (Si $T_{\text{ext}} > T^{\circ}_{\text{ext_non_chauffage}}$)

Si surchauffe : free cooling mécanique

- Horaire
- Si $T^{\circ}_{\text{ext}} > T^{\circ}_{\text{ext_consigne}}$,
et $T^{\circ}_{\text{ext}} < T^{\circ}_{\text{int_locale}}$,
et $T^{\circ}_{\text{int_locale}} > T^{\circ}_{\text{int_consigne_été}}$,

alors, CTA **ON**, roue de récupération et batterie **OFF**,
et clapet de zone en position maximale entraînant l'augmentation
de la vitesse des ventilateurs de la CTA





- ▶ Le free cooling par ventilation intensive est un principe « low tech » appliqué depuis une « éternité » dans les bâtiments pour refroidir l'ambiance.
- ▶ La recherche de l'efficacité maximale peut conduire à la mise en œuvre d'une régulation « high tech » regroupant de nombreux paramètres
- ▶ Cette régulation est aussi nécessaire pour ne pas engendrer de surconsommation (destruction d'énergie, consommation de ventilateurs)
- ▶ Cette régulation demande une mise au point et un suivi (parfois complexe) par les utilisateurs du bâtiment
- ▶ Cette régulation ne peut occulter la présence des occupants (dérogation, sensibilisation, motivation)





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brussels

- Technique du bâtiment
Dossier I [Free-cooling](#)



Sites internet

- Energie plus : [Organiser le rafraîchissement par free-cooling](#)
- Programme Hybvent : [annex 35 Control Strategies for hybrid](#)

Formations

- Consultez tous les supports [gratuitement](#) !



Fabrice DERNY

Ingénieur projet

MATRiciel sa

☎ + 32 10 24 15 70

✉ derny@matriciel.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

