

# **Climatisation et alternatives: retours d'expérience en Inde et en Suisse**

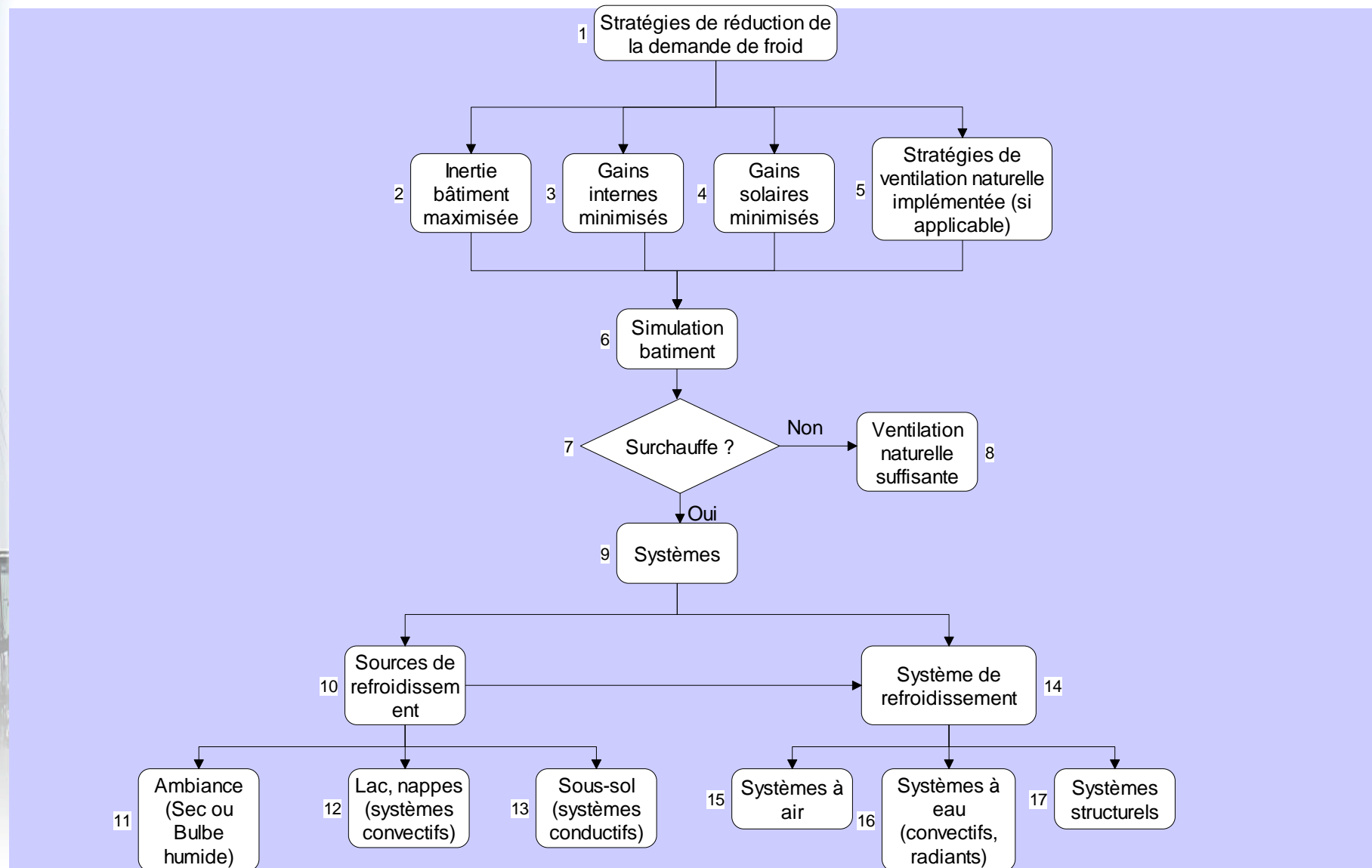
Genève, 7 Octobre 2011

Pierre Jaboyedoff

Contributions de: Dominique Chuard, Dario Aiulfi  
Sorane SA

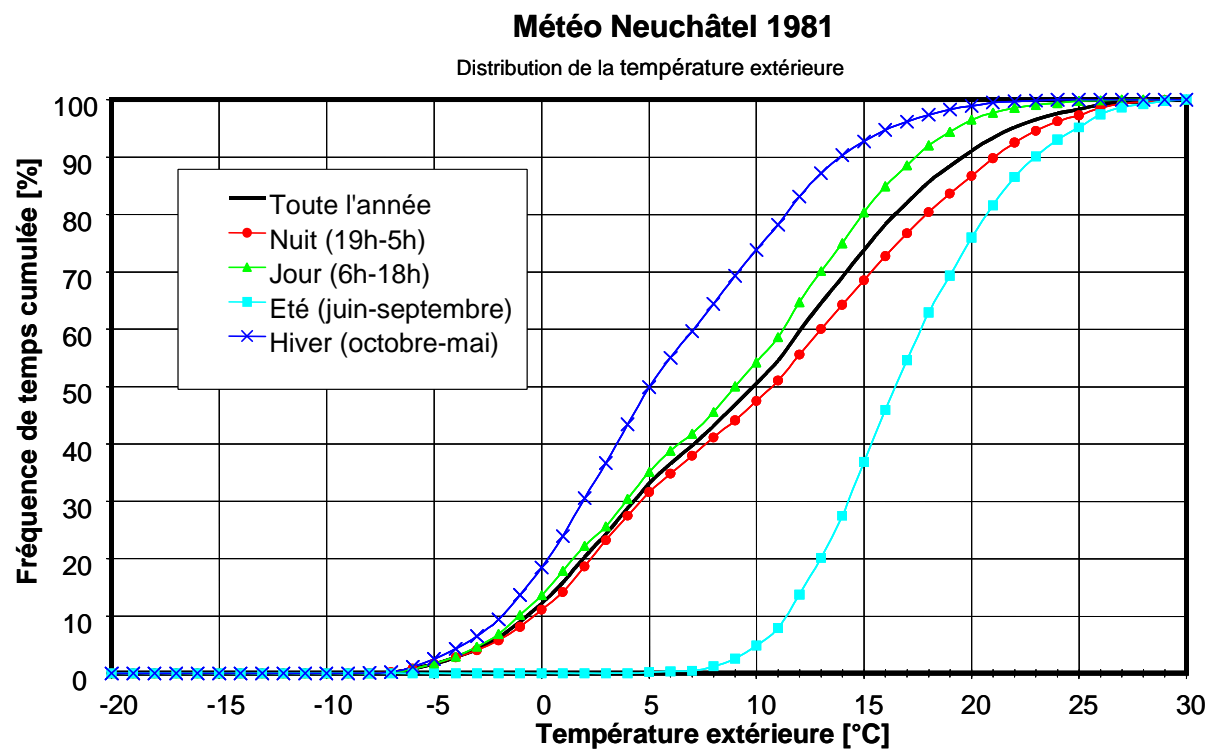


# Méthodes pour éviter ou réduire les besoins de refroidissement



# Fréquence de distribution des températures

- **Été: 75% du temps en dessous de 20 °C**
- **Hiver: 75% du temps en dessous de 10 °C**
- **Potentiel de refroidissement naturel et par free-cooling**



# Cas présentés

		Réduction de la demande de refroidissement	Système hybride	Système à hautes performances	Optimisation
Suisse	OFS, Bâtiment principal (Bauart)	Inertie, protections solaires, ventilation naturelle	Free-cooling et récupération de chaleur du data center		
	OFS, Tour (Bauart)	Protections solaires, double peau	Refroidissement adiabatique		
	Batiment des communications, EPFL (Lüscher)	Inertie, protections solaires, ventilation naturelle			
	GWJ, Ittigen	Inertie, protections solaires, ventilation naturelle			
	EPFL Learning Center	Inertie, protections solaires, ventilation naturelle			
Inde	Ambassade de Suisse				Réduction par adaptation de la température d'eau glacée
	Etude sur les bâtiments résidentiels	Mesures passives	Mesures au niveau des systèmes	Mesures au niveau des systèmes	
	Taj Kanha (Tentes)	Optimisation enveloppe	Refroidissement adiabatique		



# Office fédéral de la Statistique

## Bâtiment principal

### ETAPE DE LA CONCEPTION ENERGETIQUE



#### **DIMINUTION DE LA DEMANDE D'ENERGIE**



#### **PRODUCTION D'ENERGIE ALTERNATIVE**

#### ETUDES ET ANALYSES

L'approche dans le cadre de ce projet a consisté en l'analyse du concept initial et à la proposition de mesures tendant à réduire la consommation d'énergie du bâtiment sans augmenter les coûts d'investissement. Les choix correspondant au stade actuel du projet peuvent se résumer par les points d'analyse suivants:

#### 1 a DIMINUTION DE LA DEMANDE DE CHAUFFAGE DE BASE

- enveloppe du bâtiment
- valorisation des gains internes

#### b DIMINUTION DE LA DEMANDE DE FROID

- ventilation naturelle des bureaux
- refroidissement du local ordinateur par échangeur haut rendement à air

#### c DIMINUTION DE LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE

- valorisation du potentiel d'éclairage naturel
- choix et exploitation optimale des ventilateurs et pompes
- diminution du nombre des installations de ventilation

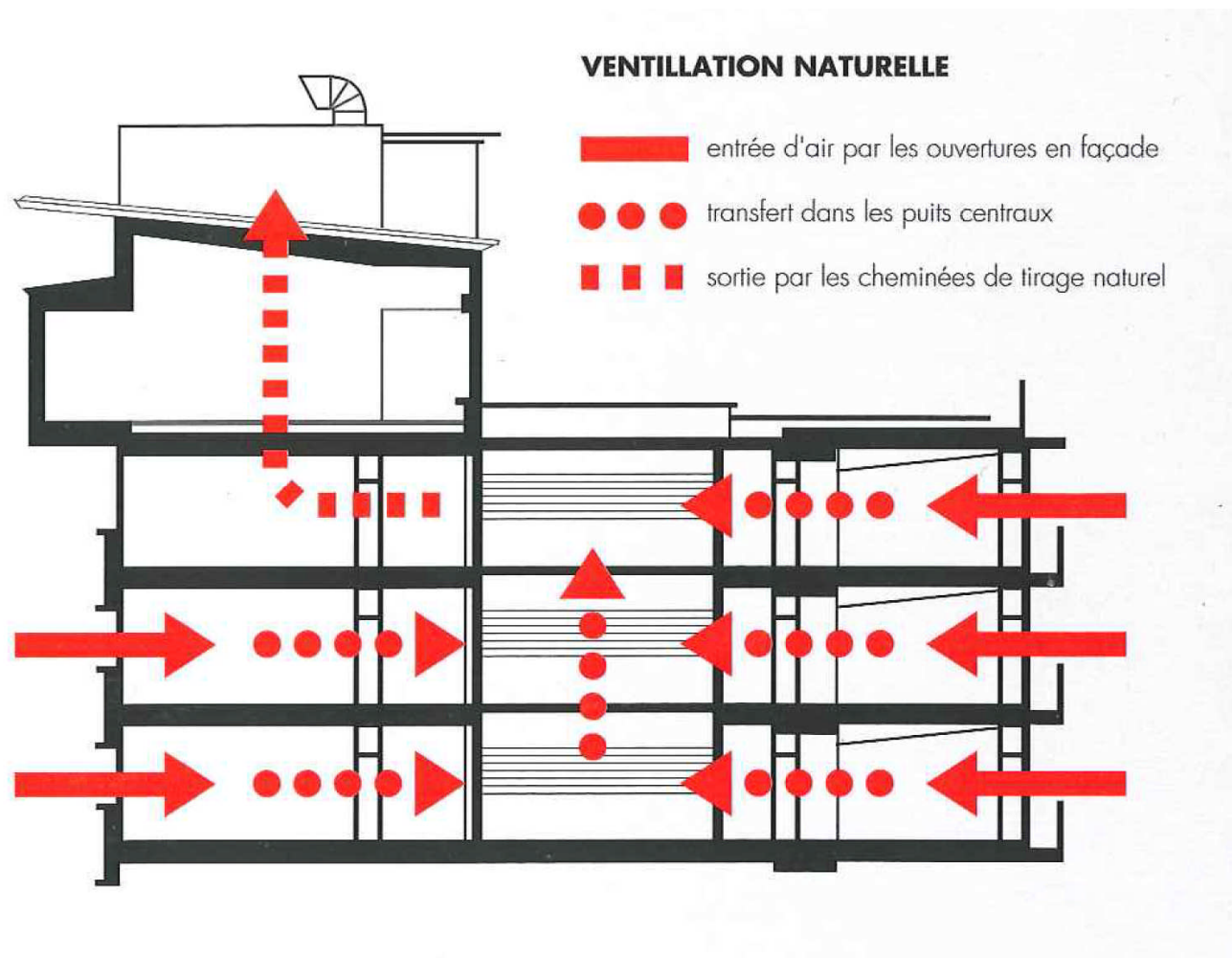
#### 2 PRODUCTION DE CHALEUR

- une installation solaire avec stockage saisonnier de chaleur
- production de chaleur d'appoint par une chaufferie mixte gaz-mazout (gaz en contrat interruptible)



## ECOFOC : Le quartier de la gare de Neuchâtel

### OFS1



## **ECOFOC : Le quartier de la gare de Neuchâtel**

### **OFS1**

---

**Bureau SUD**



**Bureau Nord**





## ECOFOC : Le quartier de la gare de Neuchâtel

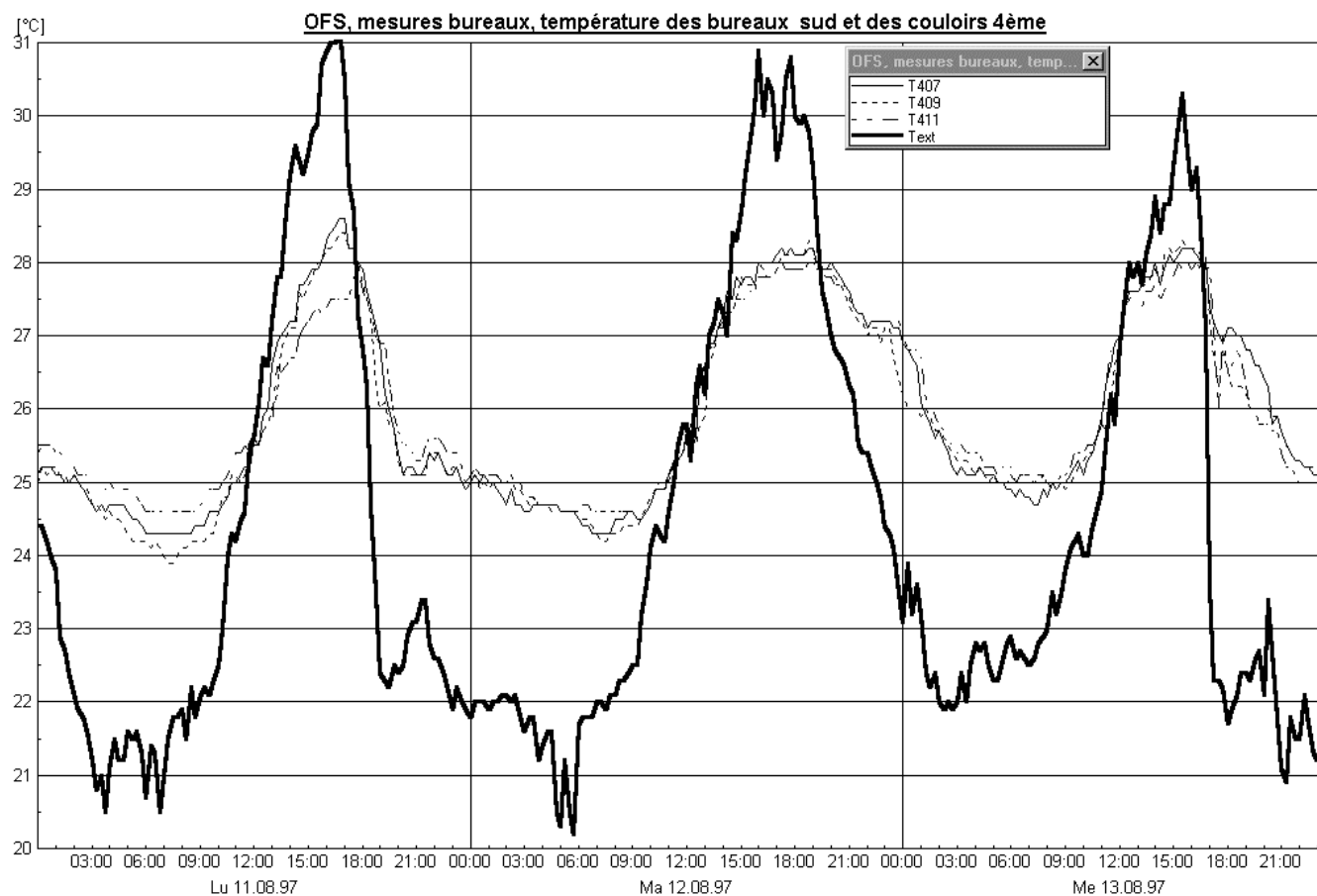
### OFS1

### Ventilation traversante



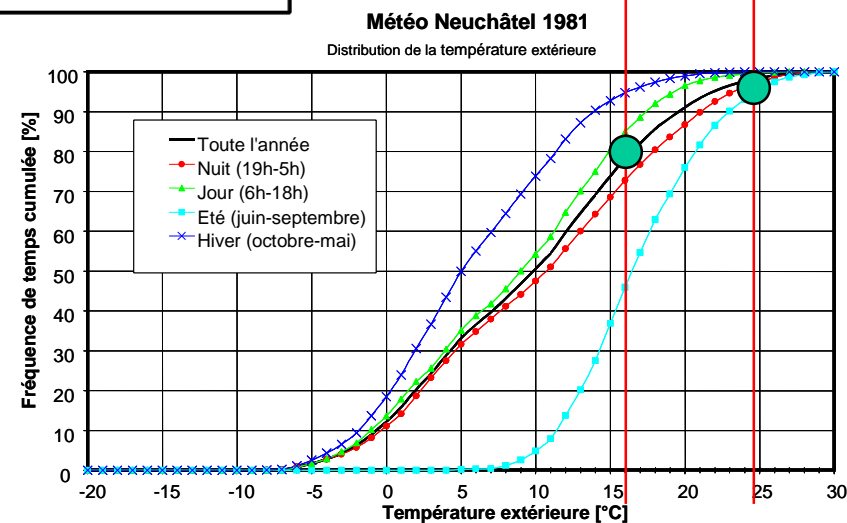
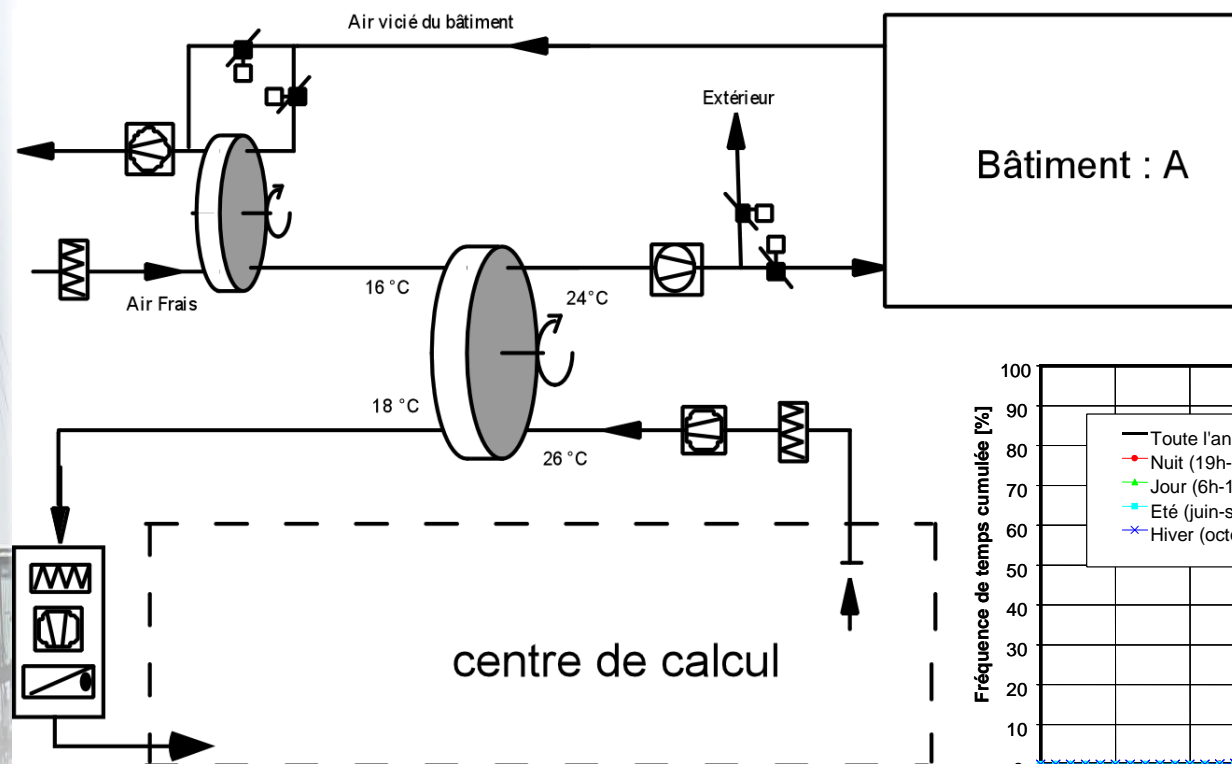
# Le quartier de la gare de Neuchâtel

## OFS1



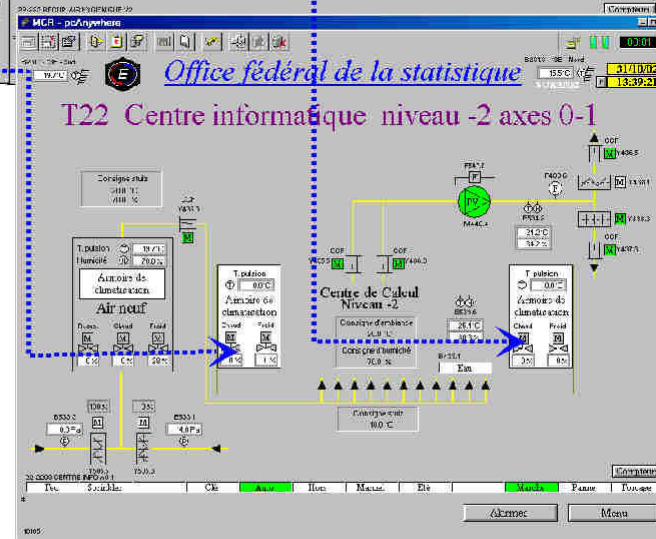
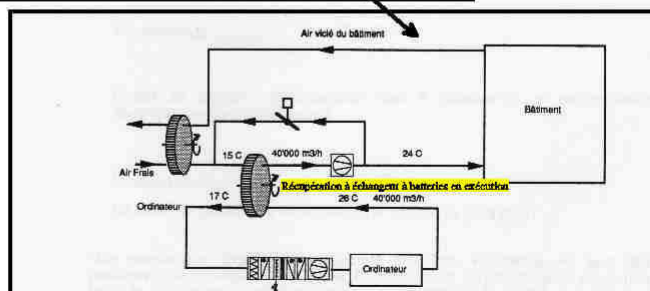
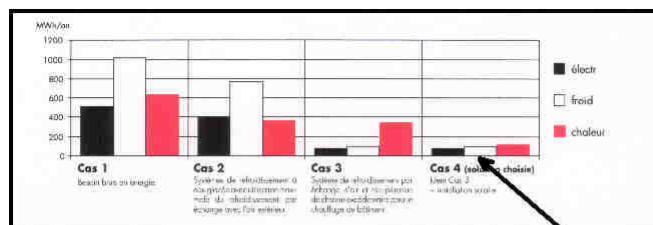
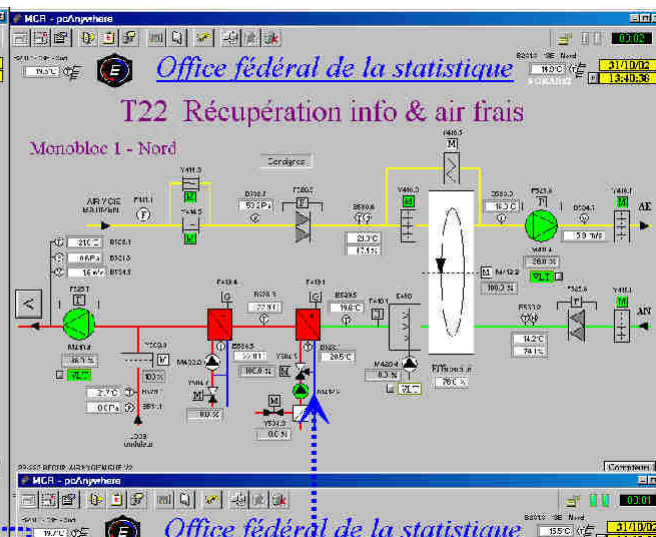
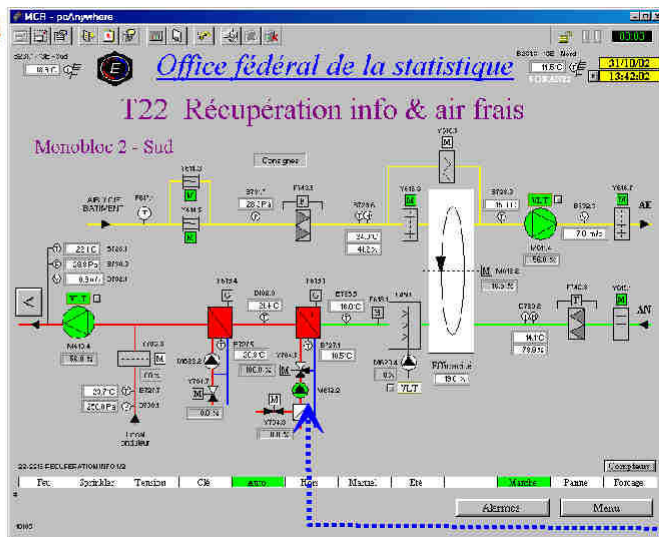
# Free-cooling « aéraulique »

## Free-cooling du centre de calcul Refroidissement par l'air extérieur



**Sorane SA**  
RATIONALISATION ENERGETIQUE

Propriété intellectuelle du concept  
Sorane SA  
Toute reproduction interdite sans  
l'accord explicite de Sorane SA

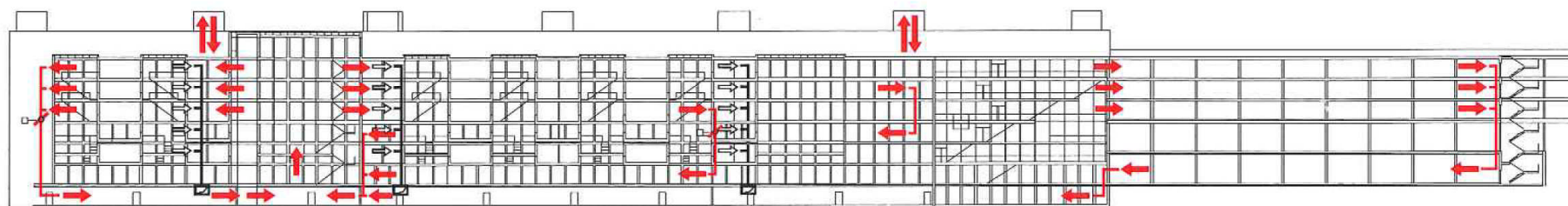




## ECOFOC : Le quartier de la gare de Neuchâtel

### OFS1

**La chaleur récupérée du centre de calcul est réinjectée directement dans le bâtiment**



HIVER: fonctionnement nocturne et week-ends





# Batiment OFS Neuchatel 1

- **Besoins de chaleur mesurés: 28 kWh/m<sup>2</sup>-an**
- **Consommation d'électricité totale (y inclus centre de calcul): 57 kWh/m<sup>2</sup>-an**
- **Bâtiment avec une enveloppe de qualité thermique modeste (Vitrages  $U = 1.7 \text{ W/m}^2\text{-K}$ )**
- **Simplicité des systèmes techniques**



# Tour de l'OFS

---



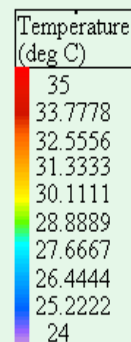


## Forte interaction entre conception architecturale et bioclimatique

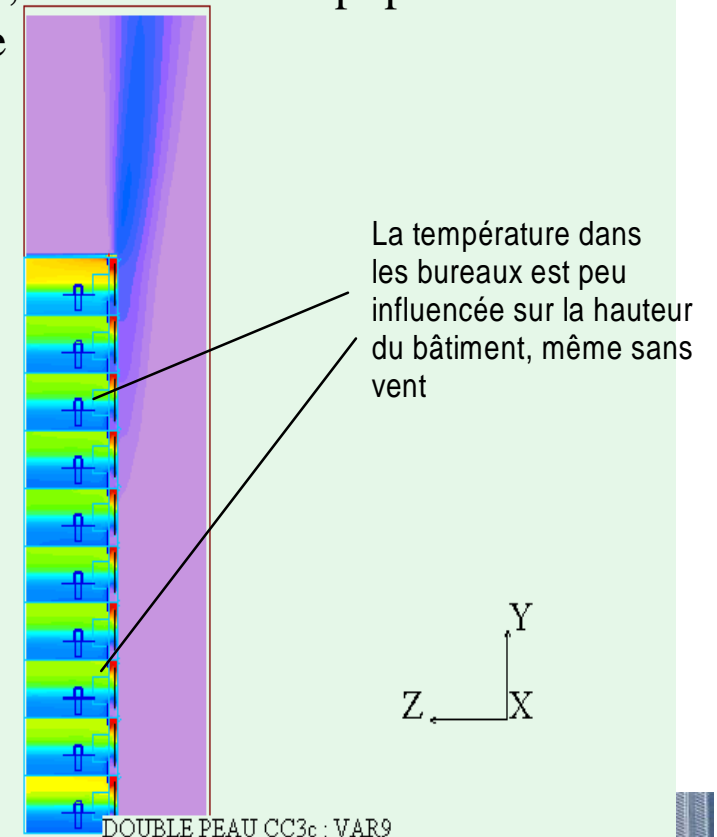
Outils et méthodes: Simulations TRNSYS, Flovent : Modèle de simulation aérodynamique tridimensionnel de la double peau (CFD)  
Analyse permettant de développer, valider le concept permettant d'éviter la stratification thermique

View: 2D+X

Résultat du calcul pour une journée ensoleillée avec Text=24°C sans ventilation mécanique des bureaux



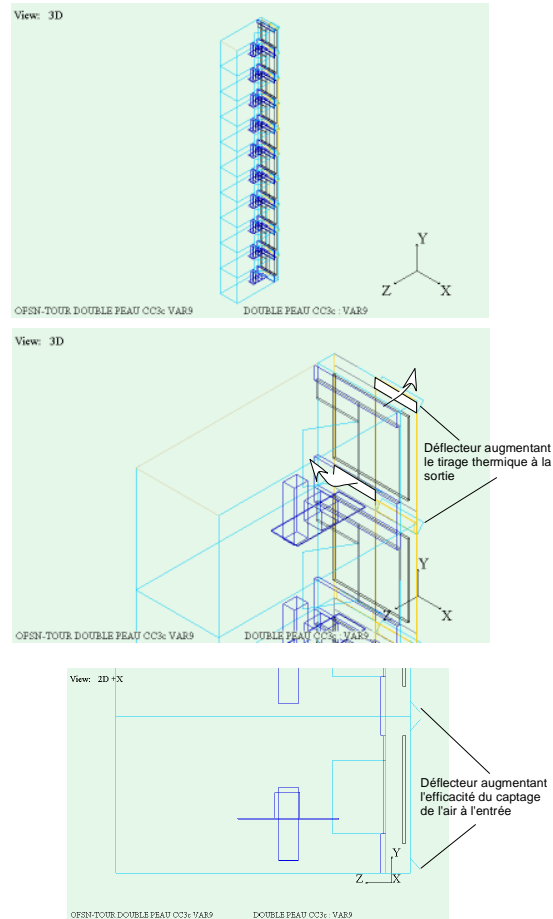
OFSN-TOUR DOUBLE PEAU CC3c VAR9



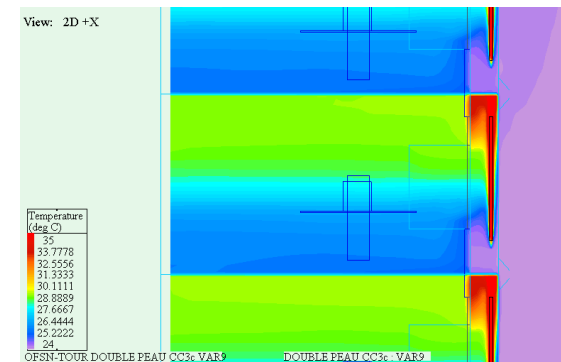
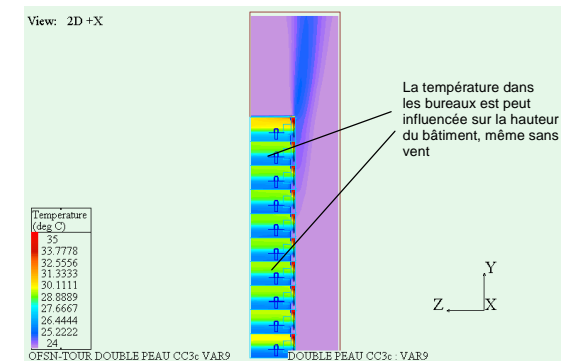
# Extension de l'OFS

- Tour de 14 étages
- Système à double peau
- Haute performance énergétique
- Stratégie hybride free-cooling, froid actif

VENTILATION SUR 10 NIVEAUX : Ouvertures décalées H=0.3 m L=1.25  
zeta = 2.5



VENTILATION SUR 10 NIVEAUX : Ouvertures décalées H=0.3 m L=1.25  
zeta = 2.5

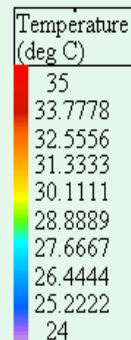




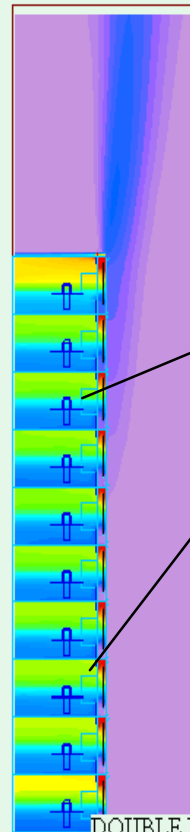
# Flovent : Modèle CFD d'un bureau type

View: 2D +X

Résultat du calcul  
pour une journée  
ensoleillée avec  
Text=24°C sans  
ventilation mécanique  
des bureaux

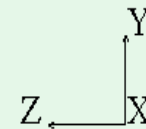


OFSN-TOUR DOUBLE PEAU CC3c VAR9



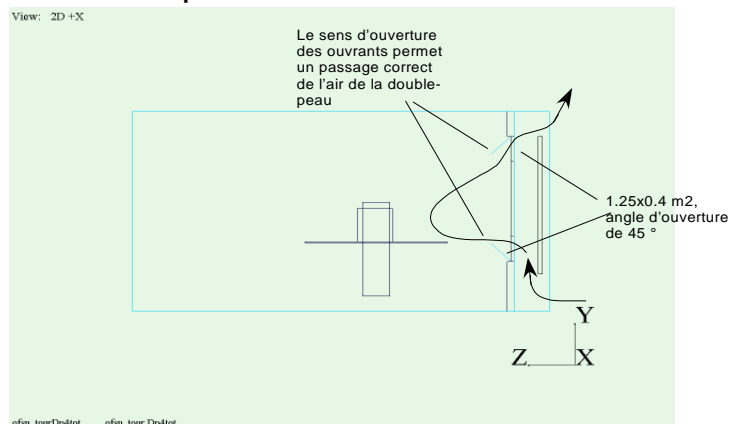
DOUBLE PEAU CC3c : VAR9

La température dans  
les bureaux est peu  
influencée sur la hauteur  
du bâtiment, même sans  
vent

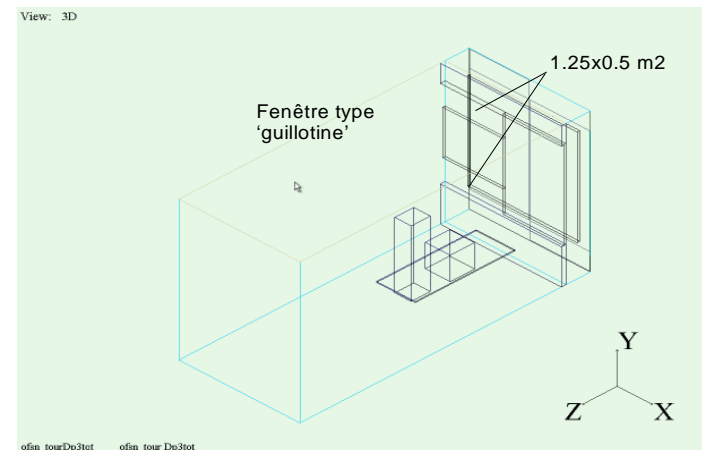


# Etude du type de fenêtre

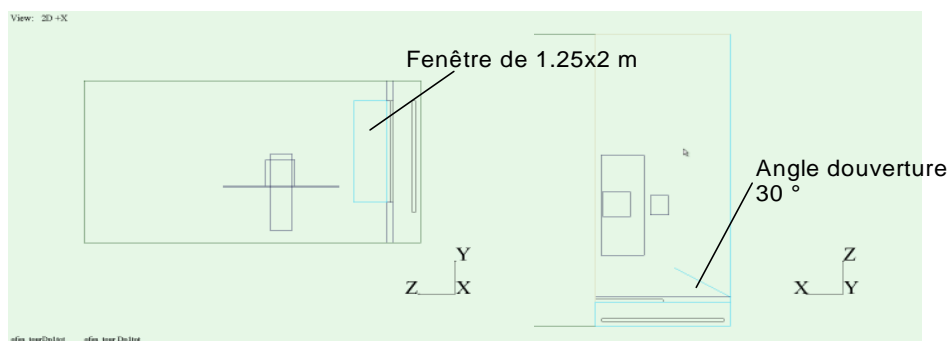
## Impostes bas et haut



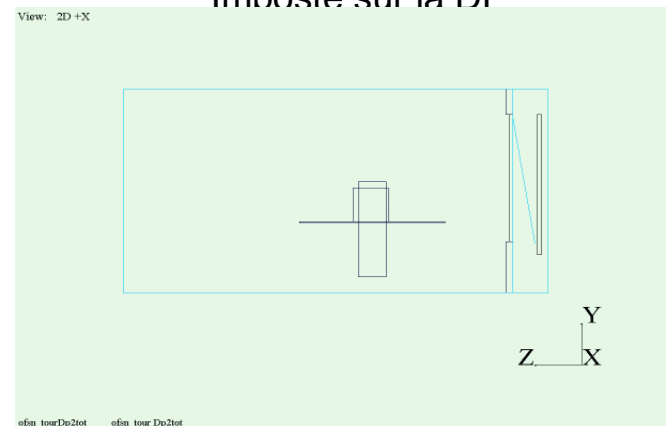
## Guillotine



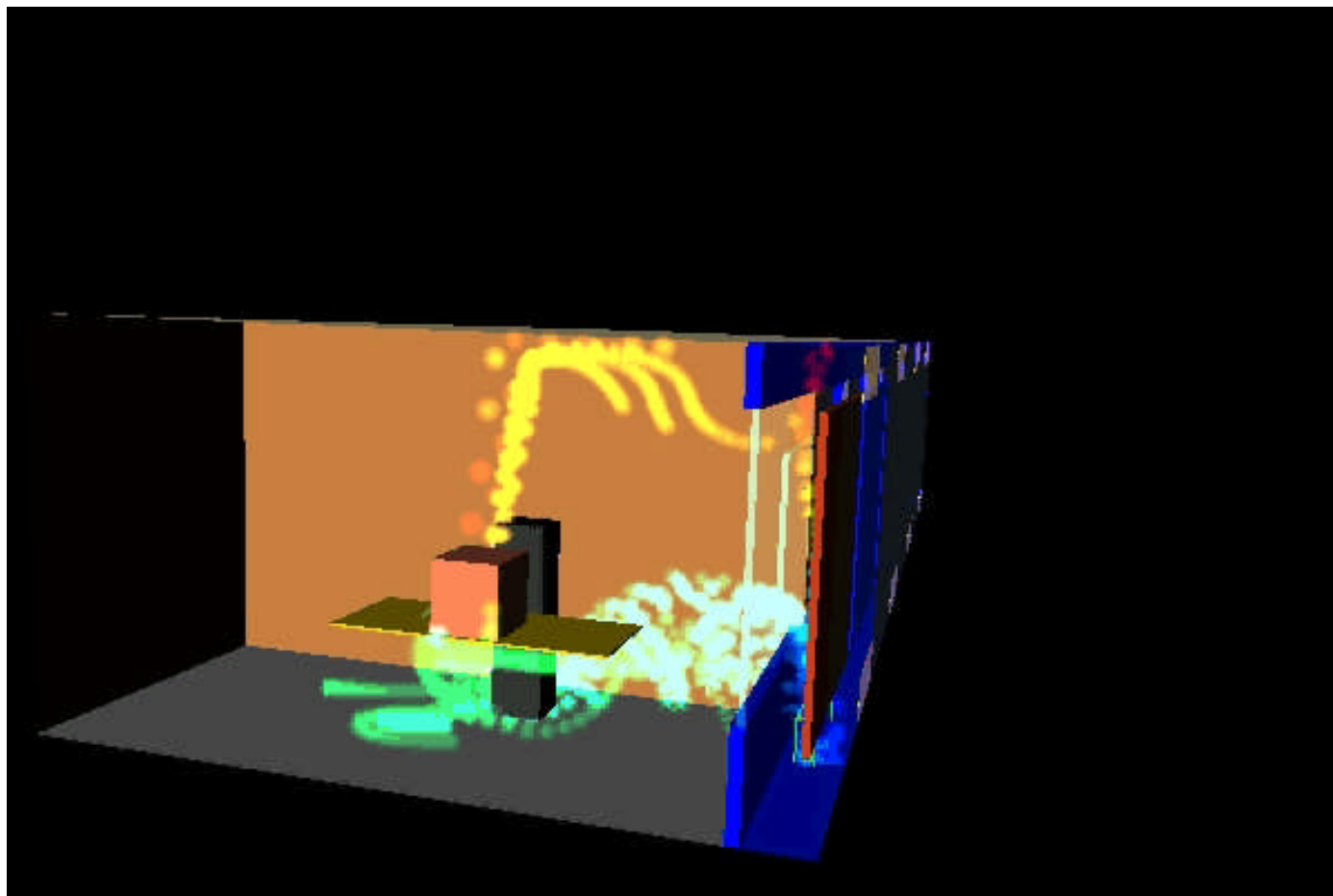
## A la française



## Imposte sur la DP

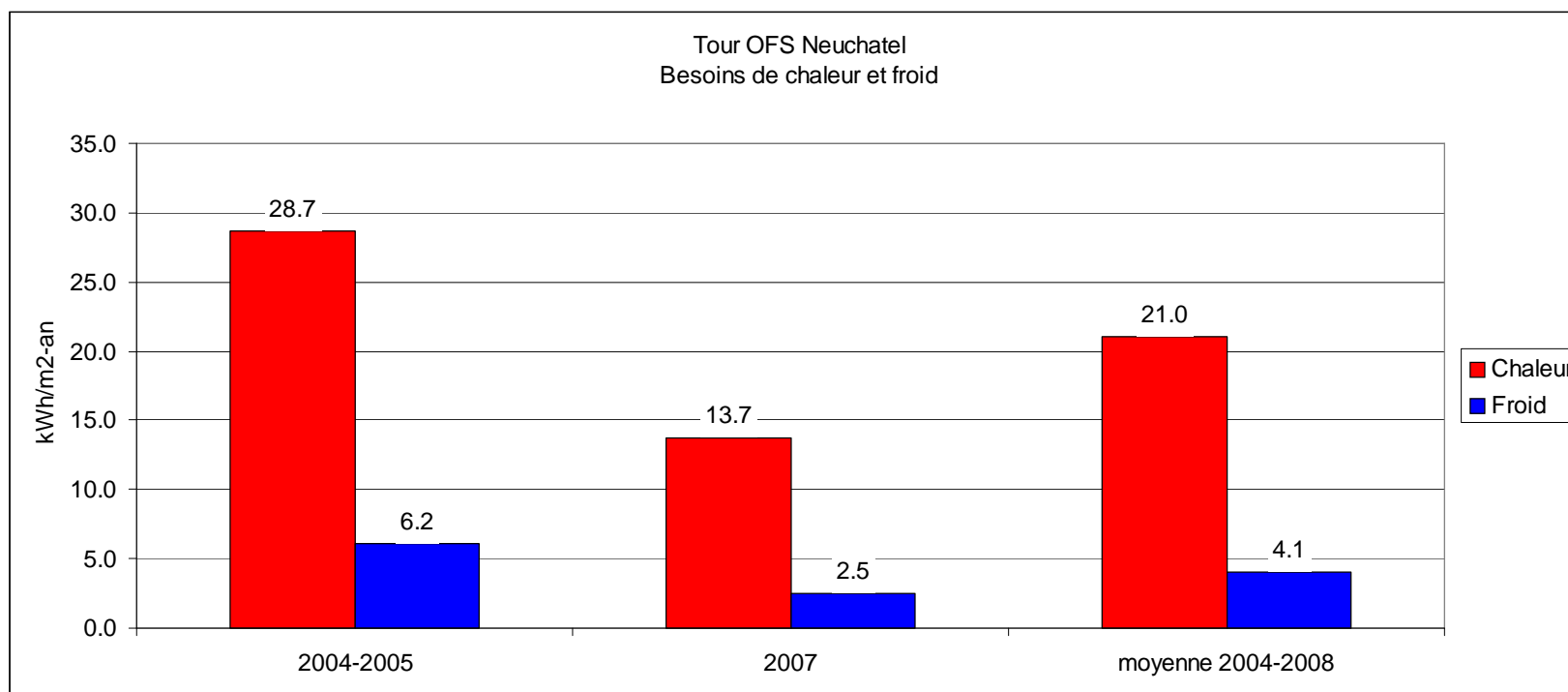


# Etude du type de fenêtre



# Bilan énergétique

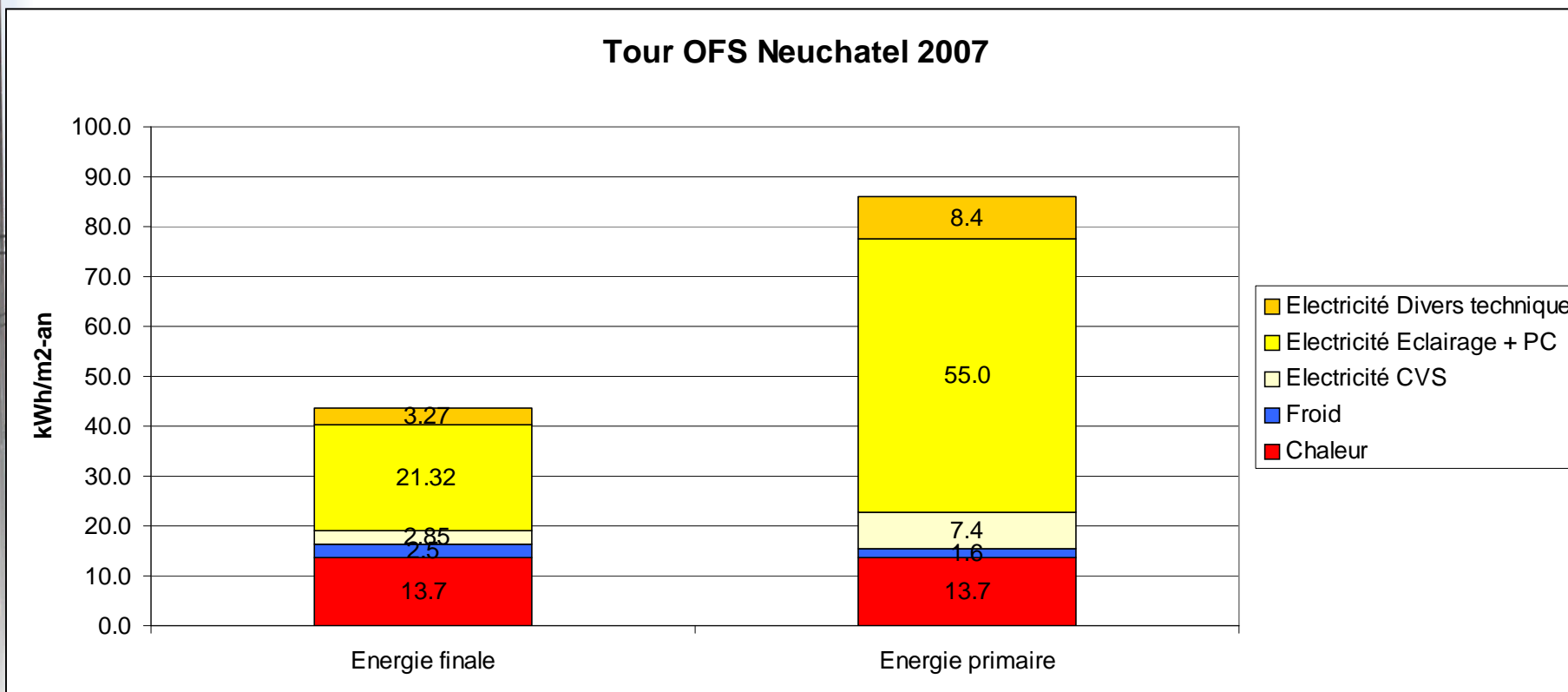
## ➤ Besoins de chaleur et froid





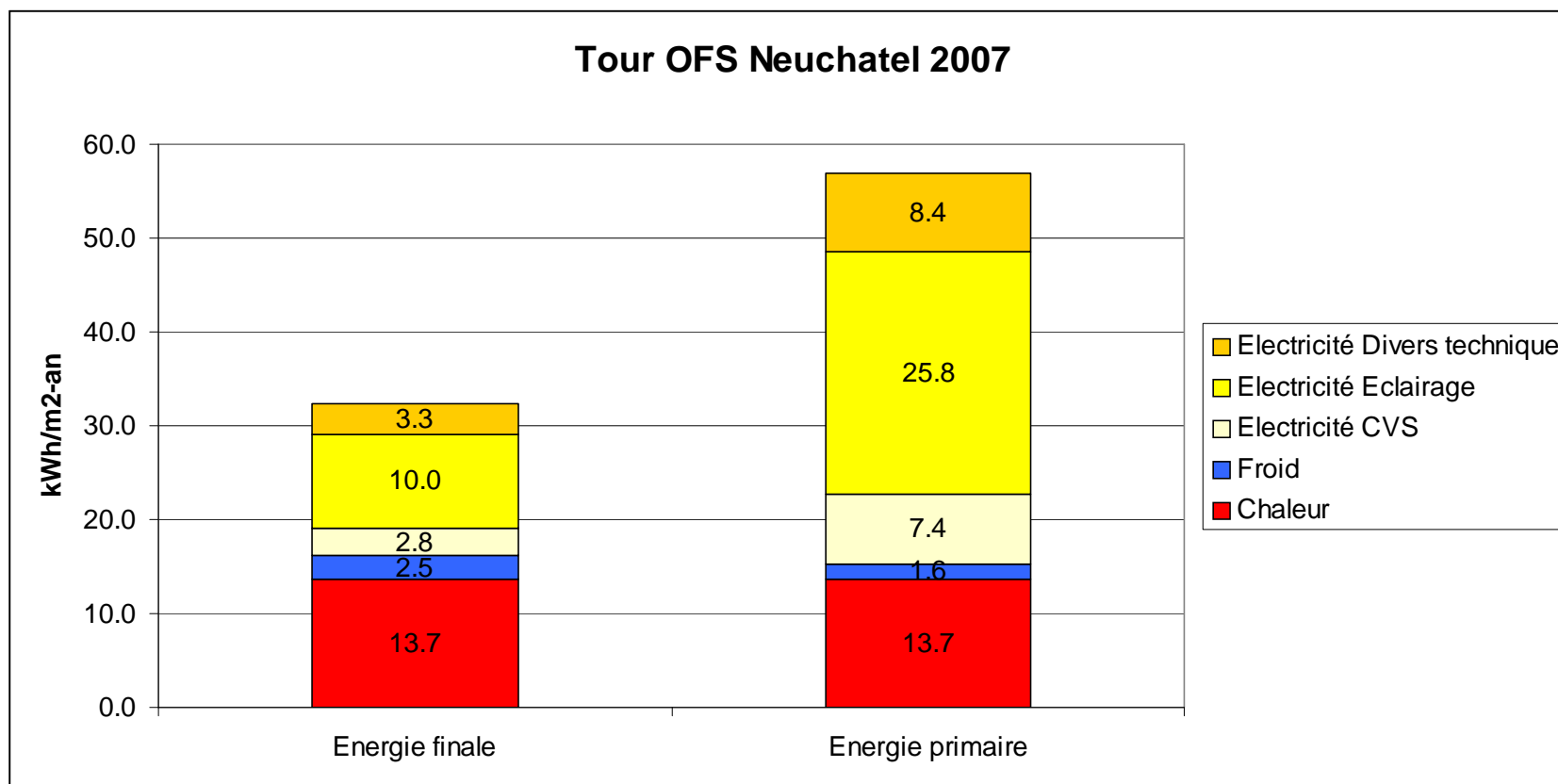
## Bilan énergétique (2)

### ➤ Bilan énergétique mesuré (énergie finale 2007)



# Bilan énergétique (3)

## ➤ Bilan énergétique 2007 (sans l'informatique)

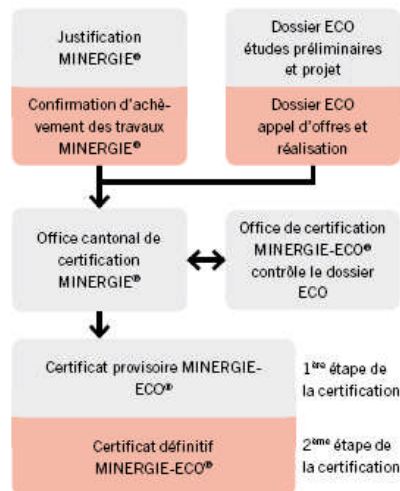


- **Certification Minergie ECO**
- **NE-001-ECO**

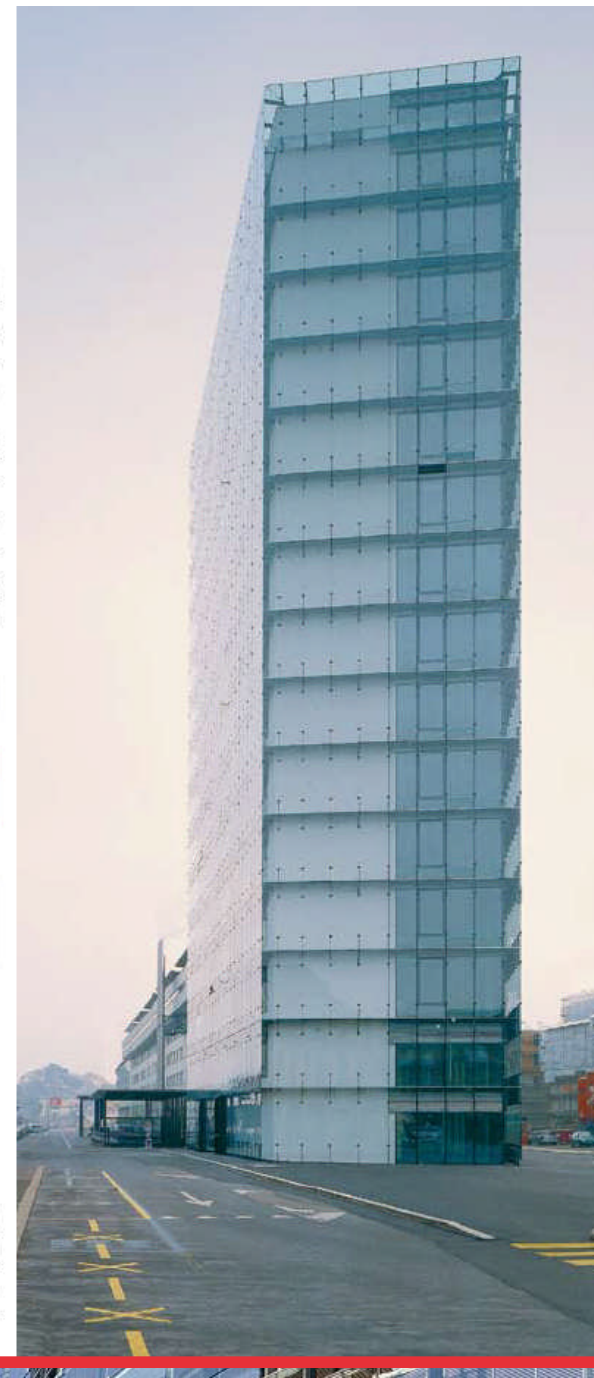
#### Certification

La condition préalable pour une certification MINERGIE-ECO® est un certificat provisoire MINERGIE®. Pour cette raison, le maître de l'ouvrage ou la direction du projet font parvenir les documents nécessaires à l'office cantonal de certification MINERGIE®. L'instrument de justification MINERGIE-ECO® est disponible sur le site [www.minergie.ch/fr](http://www.minergie.ch/fr). L'office cantonal de certification fait suivre la demande – pourvue du certificat provisoire MINERGIE® – à l'office de certification MINERGIE-ECO®.

La véracité des documents remis est contrôlée par l'office de certification MINERGIE-ECO®. Une attention particulière est accordée au choix des produits et des matériaux. Les spécialistes de l'office de certification sont autorisés à effectuer des contrôles aléatoires sur les chantiers.



Aspect élégant, mode de construction durable: La tour de bureaux sur le site «Gare de Neuchâtel».  
 Numéro de certification NE-001-ECO  
 Maître de l'ouvrage: Office fédéral des constructions et de la logistique  
 Architecte: Bauart Architectes et Urbanistes SA



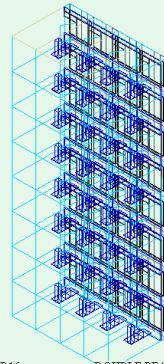
# Exemple d'applications d'outils sophistiqués au cours du processus de conception

## Paradoxe de la Haute Performance Energétique

o Efficacité énergétique des bâtiments et des systèmes

- *Le Plus simples et plus les bioclimatique des Bâtiments sont, le Processus de conception, plus complexe les besoins*
- *Outils de conception, plus sophistiqués nécessaires*
- *Analyse systémique*
- *Exemple: Les Systèmes de ventilation naturelle et hybride*

View: 3D



OFSN-TOUR DOUBLE PEAU vent VAR16

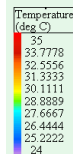
DOUBLE PEAU vent: VA



View: 2D +X

The higher offices are not sufficiently cooled

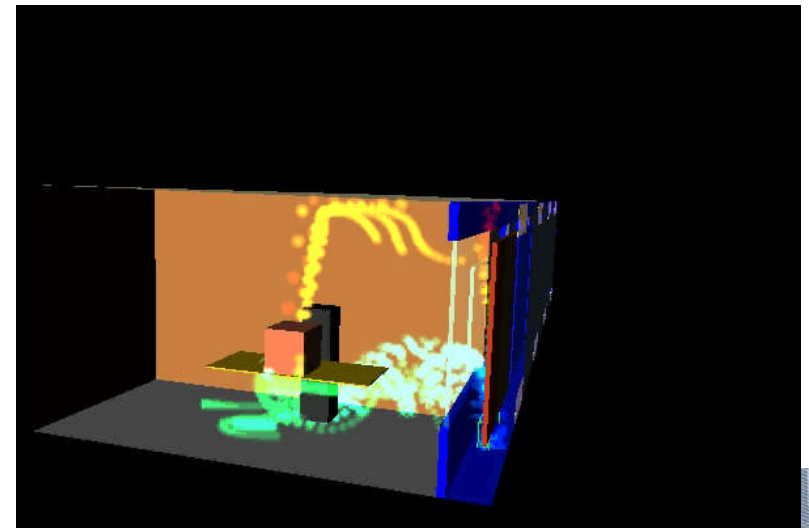
the first level offices are correctly cooled



Y  
Z X

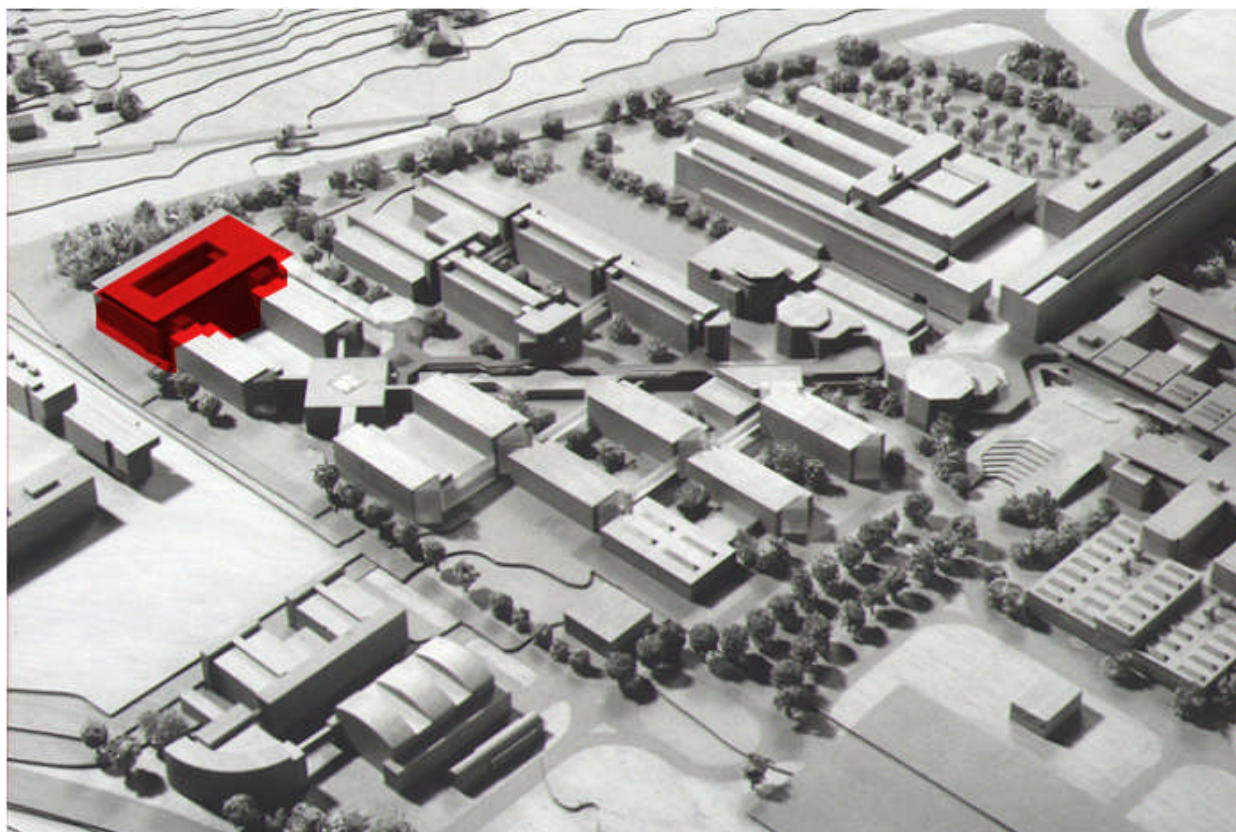
OFSN-TOUR DOUBLE PEAU CC3c VAR15

DOUBLE PEAU CC3c : VAR15vent



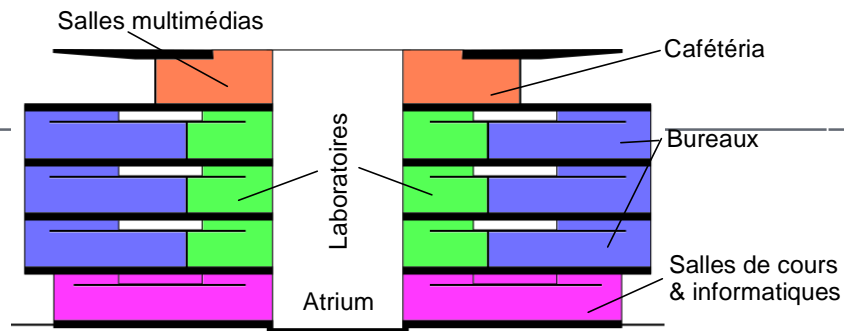


# EPFL – BATIMENT SYSTEMES DE COMMUNICATION



# Batiment des communication EPFL

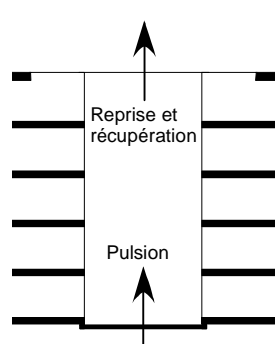




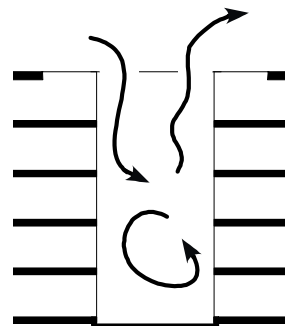
## BC: concept de base

- Atrium central ouvert
- Bureaux en périphérie ou au centre
- Laboratoires au centre
- Salle de cours et informatiques au rez-de-chaussée
- Cafétéria et salles multimédias au dernier niveau

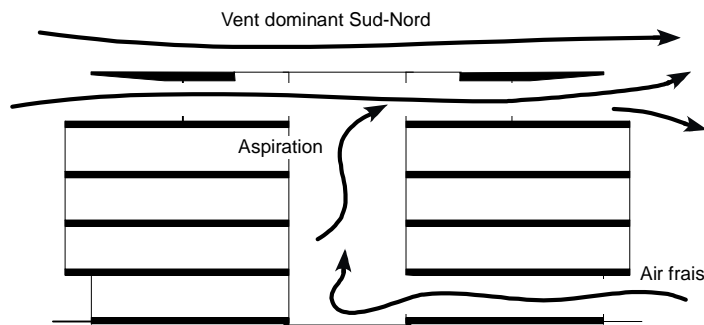
- Seuls les salles de cours et multimédias, les laboratoires sont ventilés mécaniquement et peuvent être rafraîchis. La cafétéria est aspirée.
- Les autres locaux sont ventilés naturellement



Atrium: ventilation mécanique d'hiver

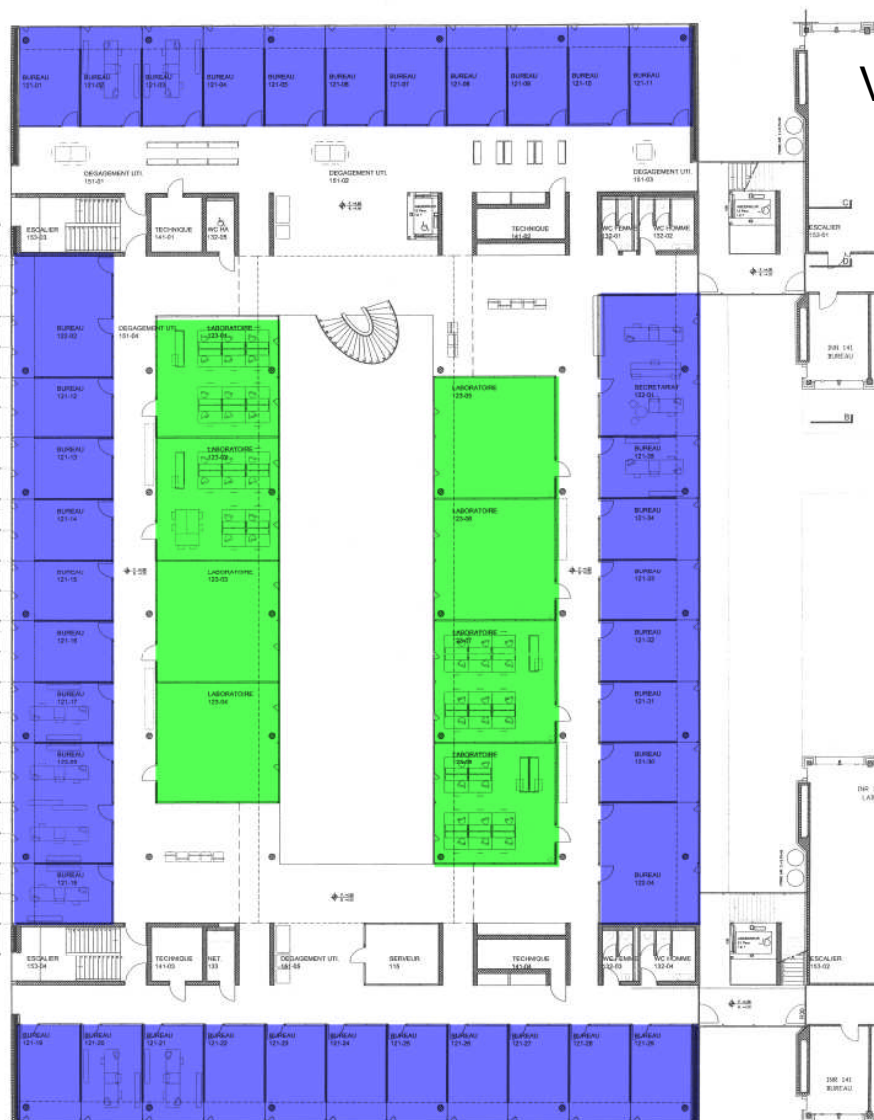


Atrium: ventilation naturelle mi-saison

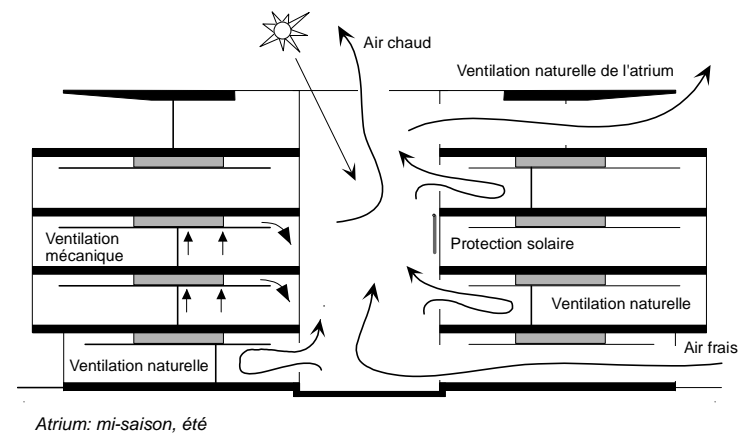
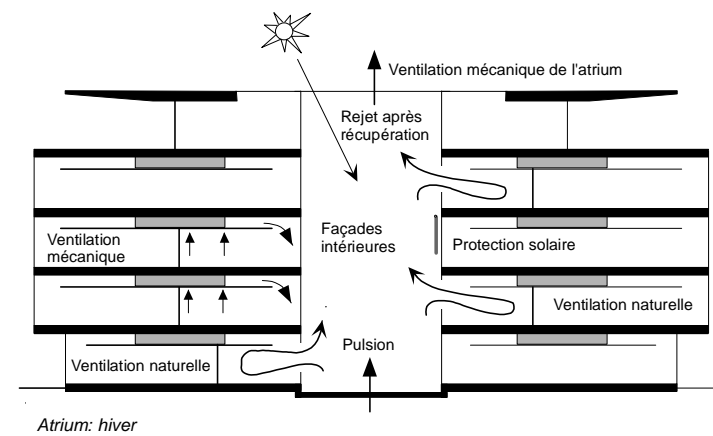


Atrium: ventilation naturelle été





## Ventilation de l'atrium et des locaux contigus





# EPFL - BC: Concept énergétique - Atrium

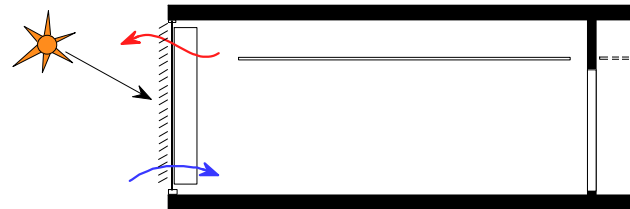


# EPFL - BC: Concept énergétique - Bureaux



## BC: Bureaux

- Ventilation naturelle diurne & nocturne par un guichet
- Inertie conservée par un faux-plafond ouvert



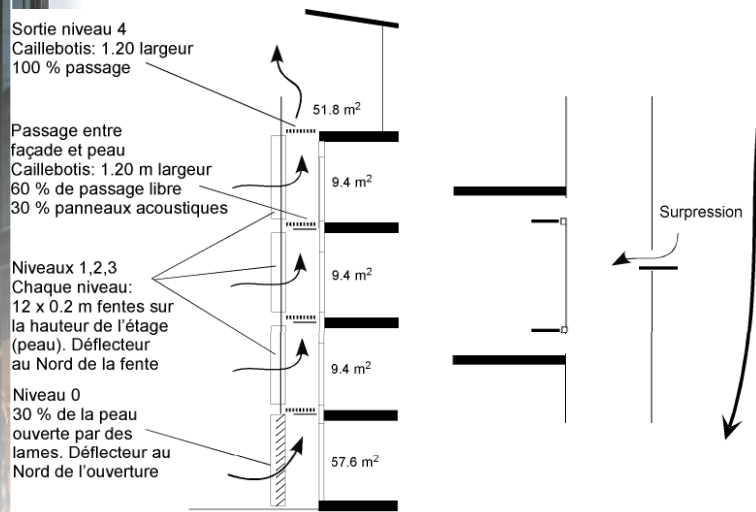


# EPFL - BC: Concept énergétique – Double peau



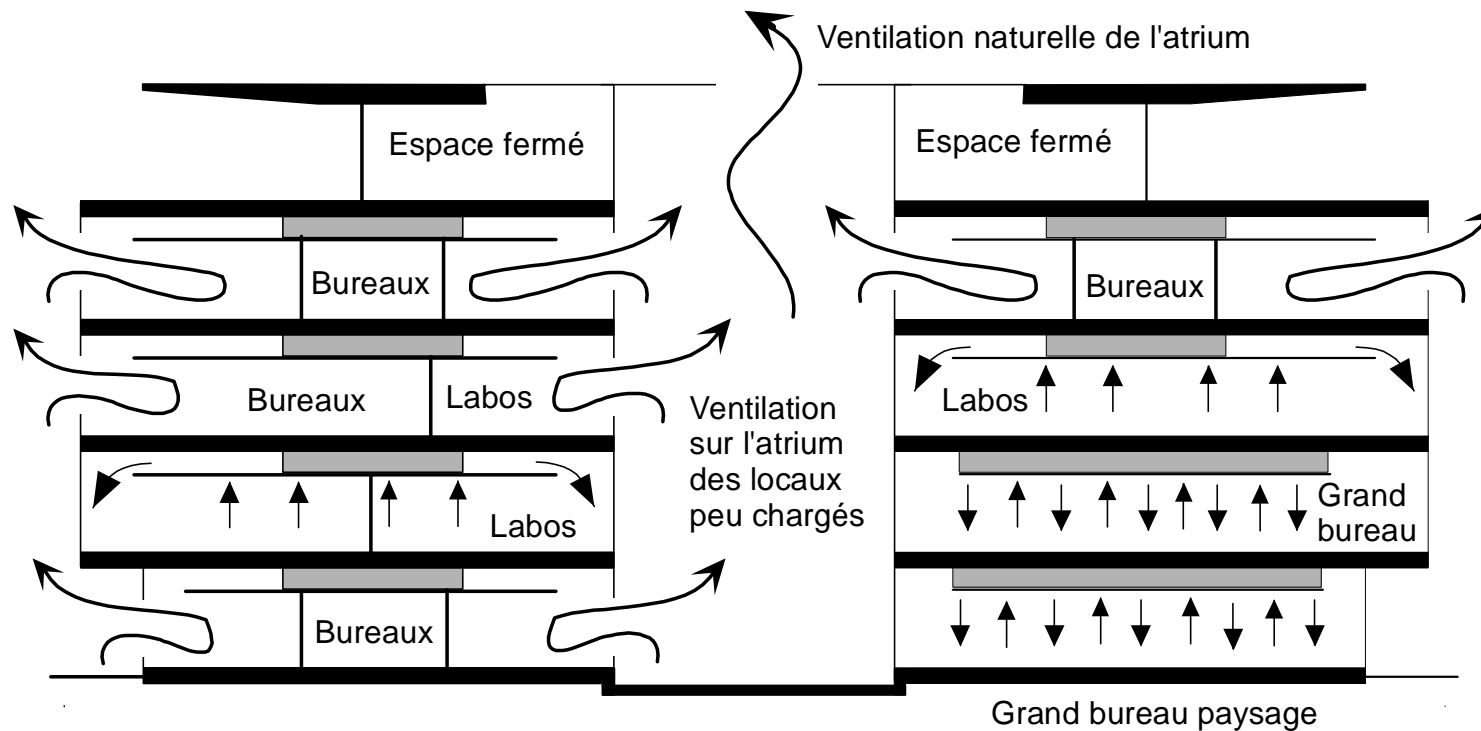
## BC: Double peau

- Protection antibruit
- Utilisation du vent thermique du lac



# EPFL – BATIMENT

## SYSTEMES DE COMMUNICATION



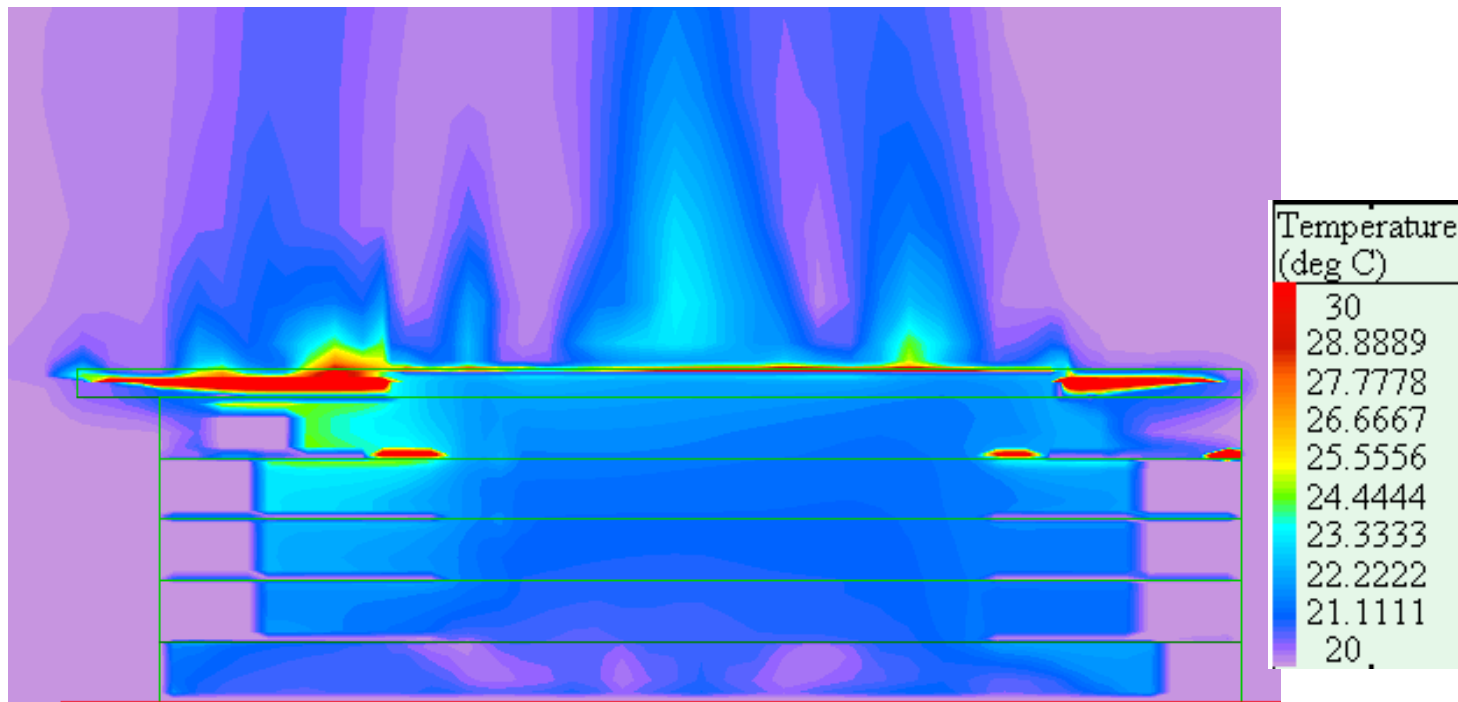
*Grands bureaux paysages clos:  
ventilation naturelle ou mécanique de l'atrium*



# EPFL – BATIMENT

## SYSTEMES DE COMMUNICATION

Atrium: contrôle du climat estival

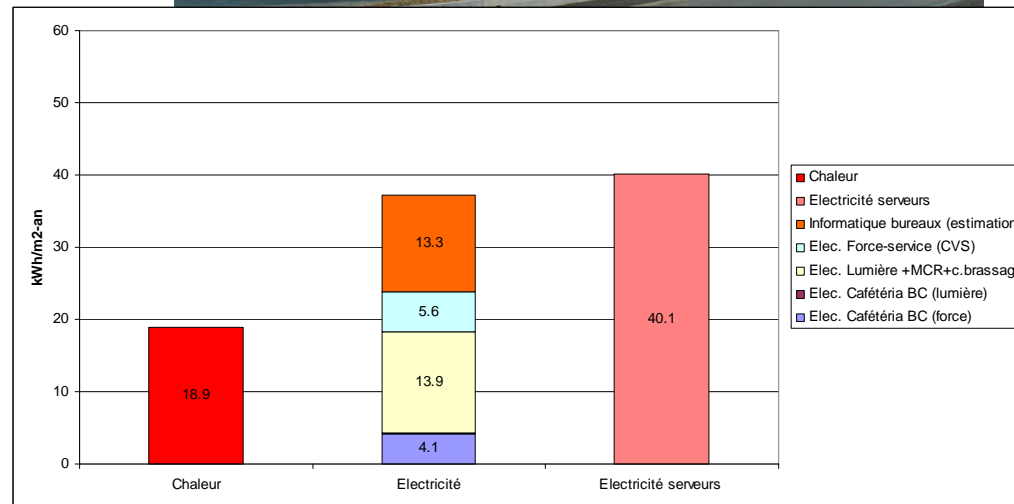


Champs des températures



- **Batiment en ventilation naturelle**
- **Taux de vitrage important**
- **Protections solaires par brise-soleil extérieurs**
- **Ventilation naturelle par ouvrants derrière grilles pare-pluie**
- **Pas de refroidissement actif (sauf dans les salles de réunion) et pour les serveurs**

## EPFL Bâtiment des communications





# Bâtiment administratif à Ittigen

## GWJ Architekten AG



# Bâtiment administratif à Ittigen





# Bâtiment administratif à Ittigen



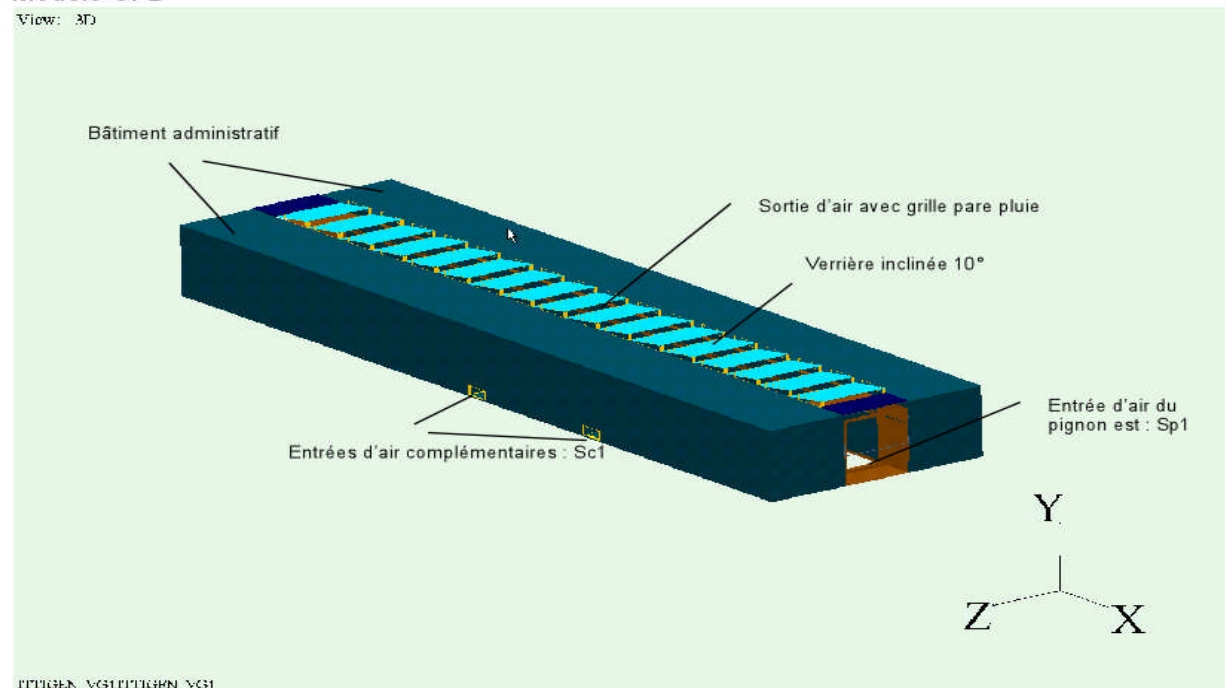
# Bâtiment administratif à Ittigen

## Problèmes à résoudre

- Lumière naturelle dans la cour et les bureaux adjacents
- Surchauffe estivale dans l'atrium
- Surchauffe et ventilation des bureaux donnant sur l'atrium

Ittigen Areal / Worbla ost : Bâtiment VG  
Modèle CFD

View: 3D



# Bâtiment administratif à Ittigen

Ittigen Areal / Worbla Ost  
Bâtiment VG

## Ventilation des bureaux et de l'atrium

Variante 1 :

Toiture de base selon plans architectes

Ventilation traversante du 3<sup>ème</sup> étage NORD-EST ET SUD-OUEST

Ventilation monolatérale pour les rez, 1<sup>er</sup> et le 2<sup>ème</sup> étage

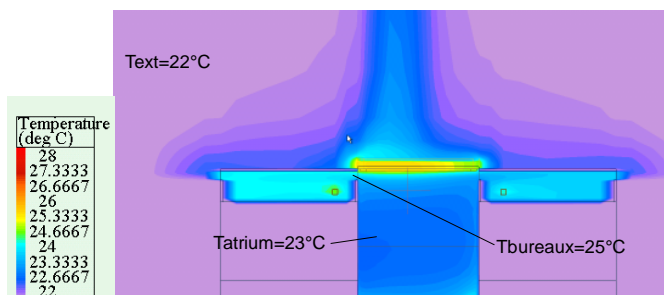
Entrées d'air rez :

-Pignons : 2x55 m<sup>2</sup> ( 100% ouvert )

-Latérales : 4x6.8 m<sup>2</sup> ( coefficient de résistance de 7 )

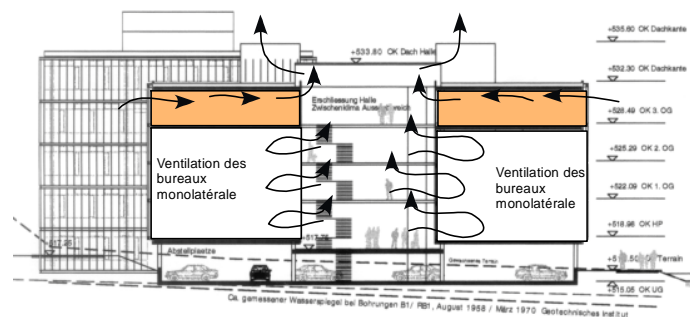
## Résultats CFD sans vent

Champs de température à 160 m du pignon



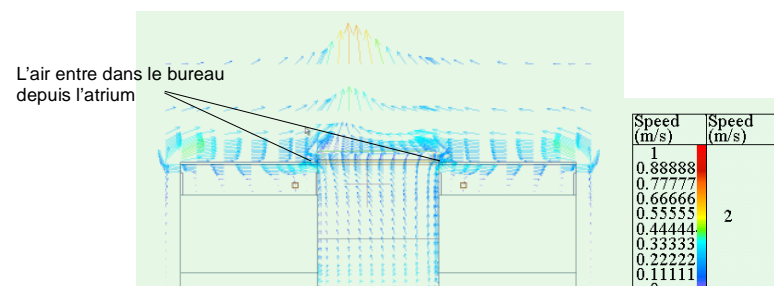
Le tirage thermique de la verrière n'est pas suffisant pour aspirer l'air à travers les bureaux nord-est et sud-ouest en façade extérieure !  
Il y a donc un risque de recevoir de l'air très chaud de la verrière dans les bureaux

Ecoulement d'air désiré



Ventilation traversante des bureaux du dernier étage par tirage thermique à travers l'atrium

Champs de vitesse à 160 m du pignon



# Bâtiment administratif à Ittigen

Ittigen Areal / Worbla Ost  
Bâtiment VG

## Ventilation des bureaux et de l'atrium

Variante 3 :

Toiture de base selon plans architectes mais surélevée de 2.5 m

Ventilation traversante du 3<sup>ème</sup> étage NORD-EST ET SUD-OUEST

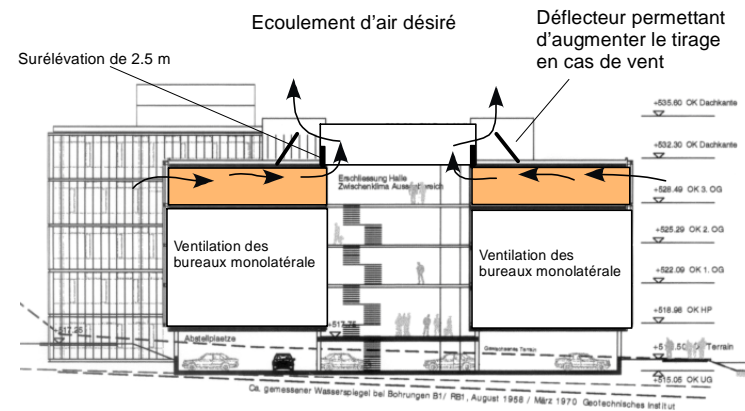
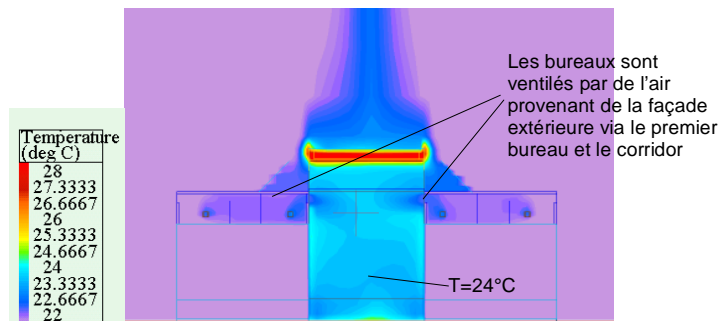
Ventilation monolatérale pour les rez , 1er et le 2<sup>ème</sup> étage

Entrées d'air rez :

- Pignons : 2x22 m<sup>2</sup> ( 100% ouvert )
- Latérales : 4x6.8 m<sup>2</sup> ( coefficient de résistance de 7 )

## Résultats CFD sans vent

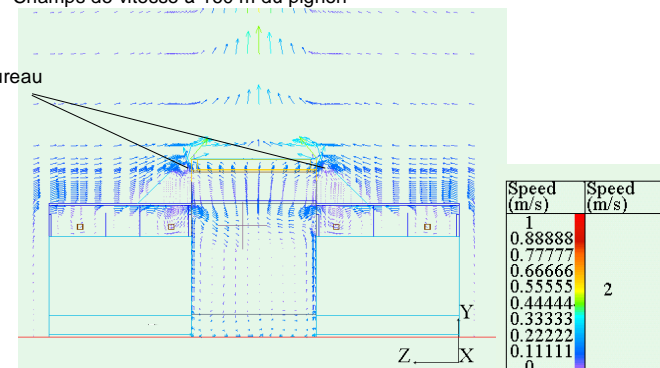
Champs de température à 160 m du pignon



Ventilation traversante des bureaux du dernier étage par tirage thermique à travers l'atrium

Champs de vitesse à 160 m du pignon

L'air sort du bureau dans l'atrium

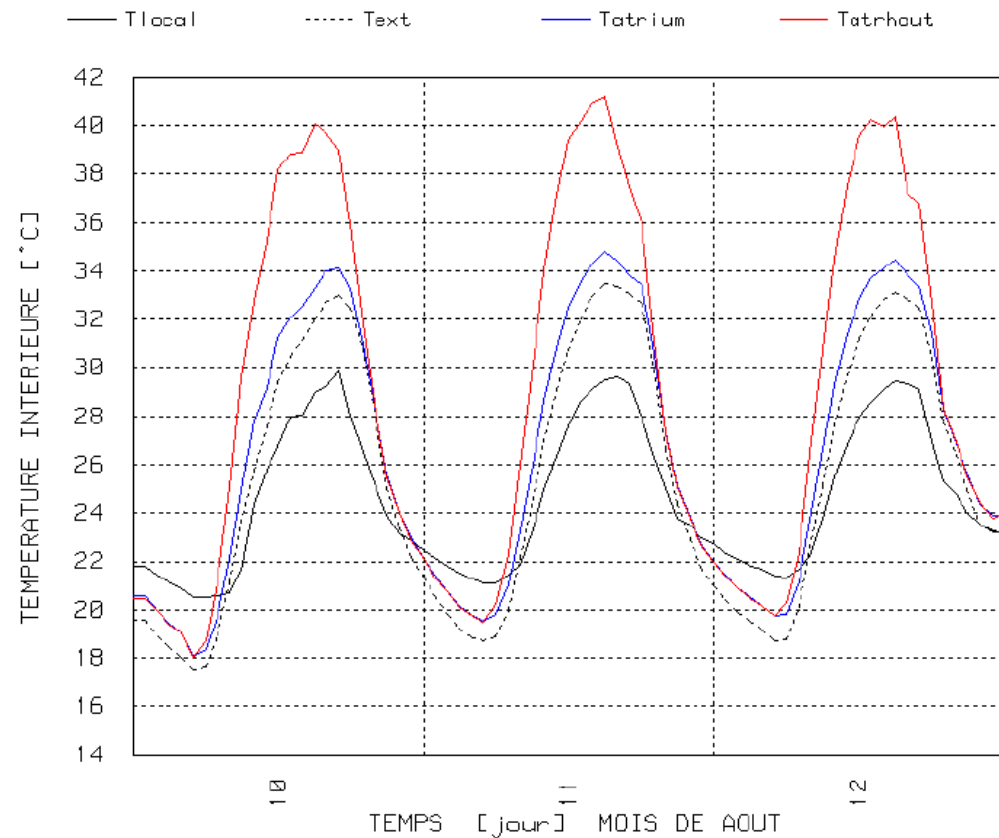




# Simulation thermique dynamique des bâtiments

- Prise en compte des aspects de stratification par le couplage thermo-aéraulique

BUREAU DONNANT SUR L'ATRIUM 3EME ETAGE SUD  
TABS AU SOL





# Bâtiment administratif à Ittigen

## ➤ Consommations mesurées

- o SRE : 27'000 m<sup>2</sup>
- o Besoins de chaleur mesurés: 31 kWh/m<sup>2</sup>-an
- o Gaz : 10 kWh/m<sup>2</sup>an
- o Electricité : 62 kWh/m<sup>2</sup>an

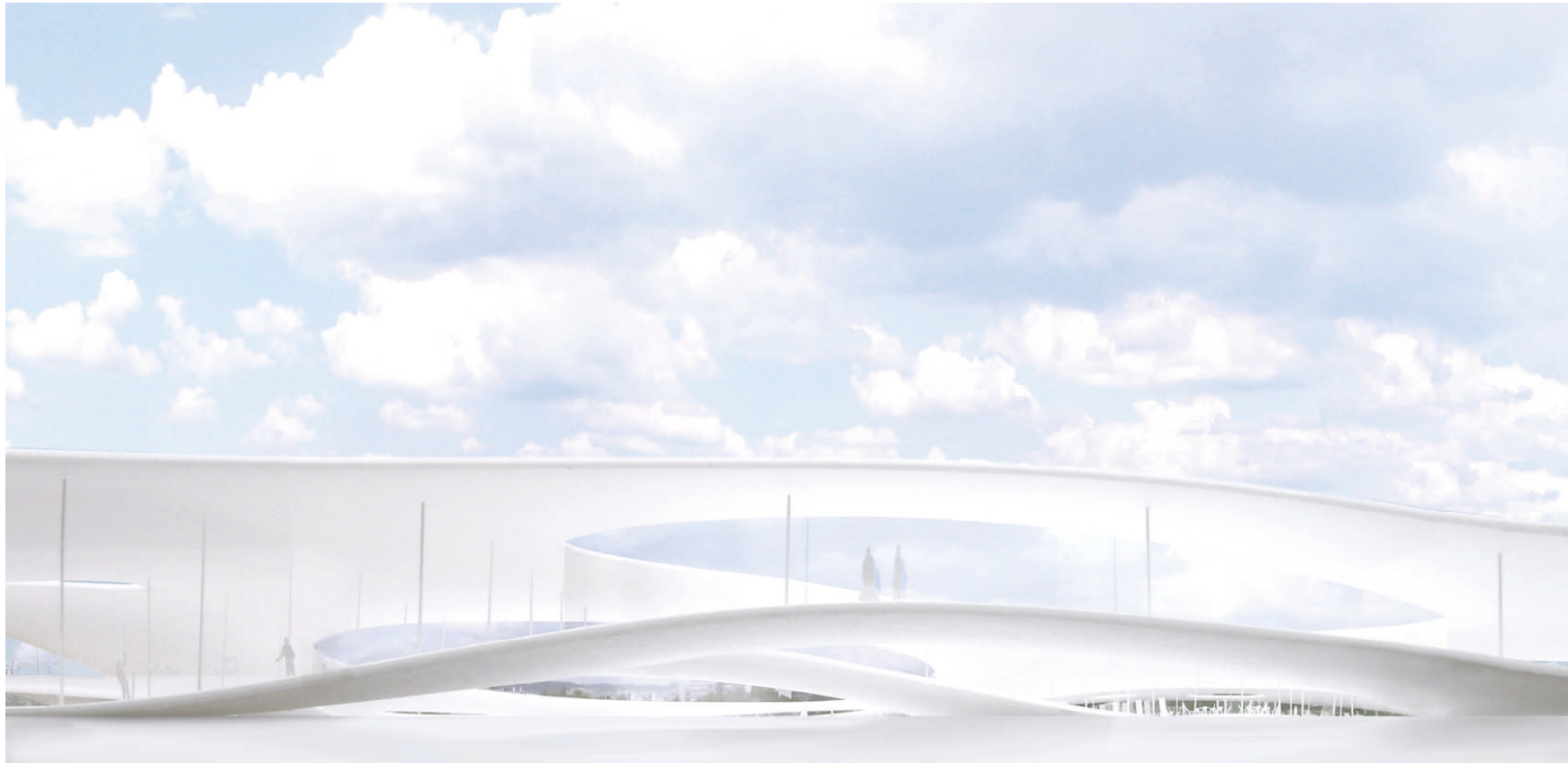


# EPFL Rolex Learning Center

Vainqueurs du concours organisé par l'EPFL:

**Architectes: SANAA, Tokyo**

- Un rêve futuriste
- Il ne restait qu'à le construire !!!



## EPFL Rolex Learning Center

- **Bâtiment complexe**
- **Architecture d'expression très forte**
- **Ventilation naturelle pour les espaces non confinés**
- **Rapport surface-volumes défavorable**
- **Besoins de chaleur prévus et mesurés: 38 – 40 kWh/m<sup>2</sup>-an**



# Principes généraux de la conception

- Les objectifs de performance énergétique ont été définis comme cherchant à atteindre les valeurs cibles de la réglementation énergétique suisse SIA 380/1, et de garantir un confort estival à l'aide de méthodes de refroidissement naturel pour la plus grande partie du volume du Learning Center
- Ventilation naturelle pour les espaces communs
- Refroidissement actif uniquement dans les zones confinées ou particulièrement chargées
- Le Rolex Learning Center doit répondre aux critères Minergie® (label obtenu)



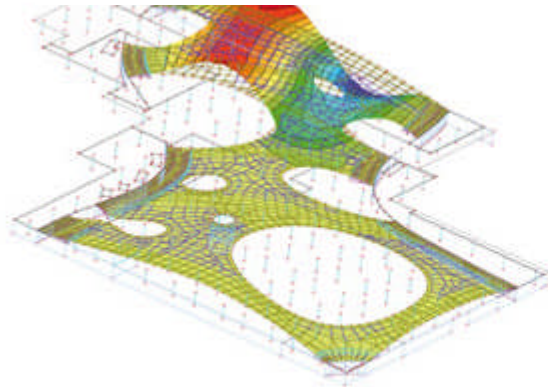
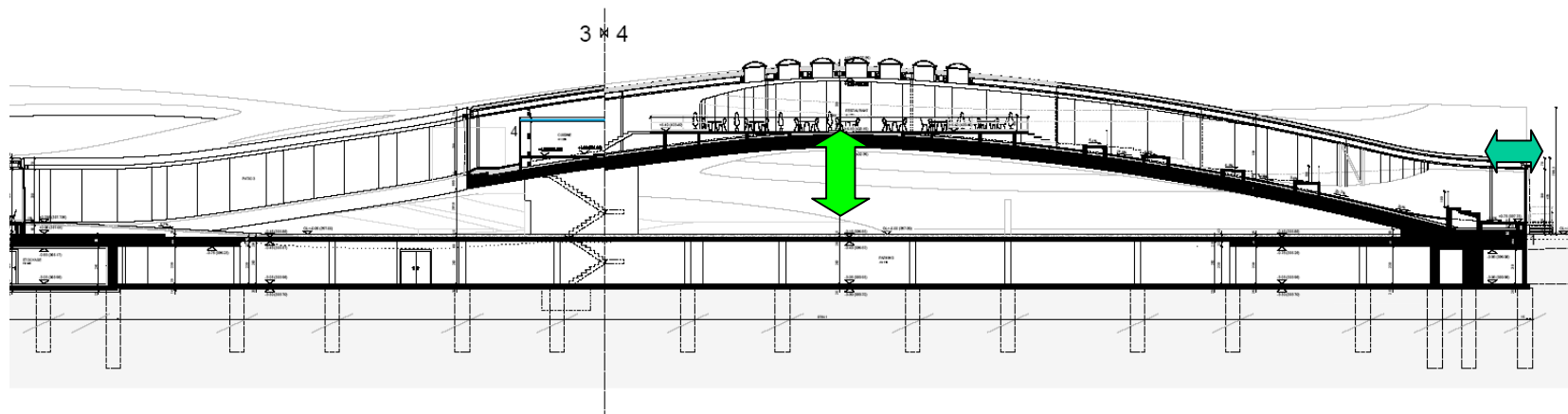


# Site de l'EPFL: Bâtiment en cours de construction (automne 2009)

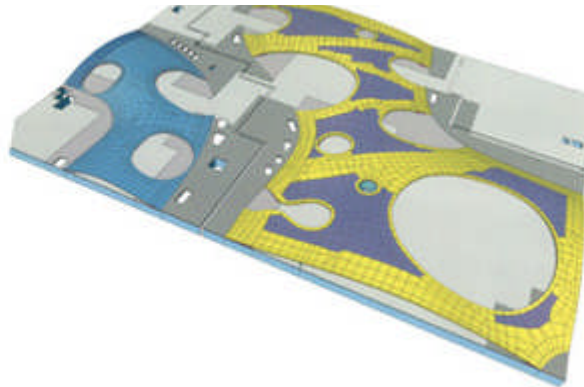


# Une structure stable ?

- **Les arches étaient si basses que les ingénieurs structures n'étaient pas surs de pouvoir réaliser le projet proposé**
  - o Pas d'appui en dessous des arches des coques
  - o Contraintes énormes



Premier mode d'instabilité de la grande coque.



Vue du modèle de calculs 3D avec les coques et leurs fondations.



# Contraintes subséquentes au niveau de la structure

- **Fluage prévu très important**
  - o Initialement, déplacement vertical total possible de 28 cm (fluage initial avant montage de la façade ~60%)
  - o Les déplacements angulaires étaient également très importants
  - o L'ingénieur façade refusa d'entrer en matière en première instance
- **Conception de la structure avec les caractéristiques suivantes**
  - o Béton à haute résistance
  - o Très forte densité d'armature (jusqu'à 450 kg/m<sup>3</sup> au lieu de 100-150 habituellement)
  - o Épaisseur de la coque de 60-80 cm
  - o Contreventement renforcés pour diminuer les déformations tridimensionnelles de la façade
  - o Toiture légère mixte bois-métal
  - o Etudes itératives afin d'atteindre des conditions acceptables pour les façades





## Tenue mécanique de la façade avec les déformations de la structure (fluage, température, vent) ?

- Tenue mécanique des façades (vitrages, joints)
- Maintien de l'étanchéité à l'air tout au long de l'évolution des déformations
- Exigences spécifiques pour le fournisseur de façades





# Exigences architecturales et Enveloppe du bâtiment

## ➤ Rapport surface/volume défavorable

- o Besoin d'isolation renforcée au niveau de la coque et de la toiture
- o Vitrages à isolation renforcée
- o Etanchéité de l'enveloppe à long terme

## ➤ Extérieur de l'enveloppe

- o Béton brut sous la coque
  - *Pas d'isolation par l'extérieur possible*
  - *Pont thermiques à résoudre*
- o Toiture sans superstructure apparente
- o Vitrages des façades extérieurs sans ouvrant

## ➤ Intérieur

- o Technique « invisible »
- o Faux-plafonds non démontables



# Exigences architecturales

## ➤ Extérieur de l'enveloppe

- o Béton brut sous la coque
  - *Pas d'isolation par l'extérieur*
  - *Pont thermiques à résoudre*
- o Toiture sans superstructure apparente
- o Vitrages des façades extérieurs sans ouvrant

## ➤ Intérieur

- o Technique « invisible »
- o Faux-plafonds non démontables

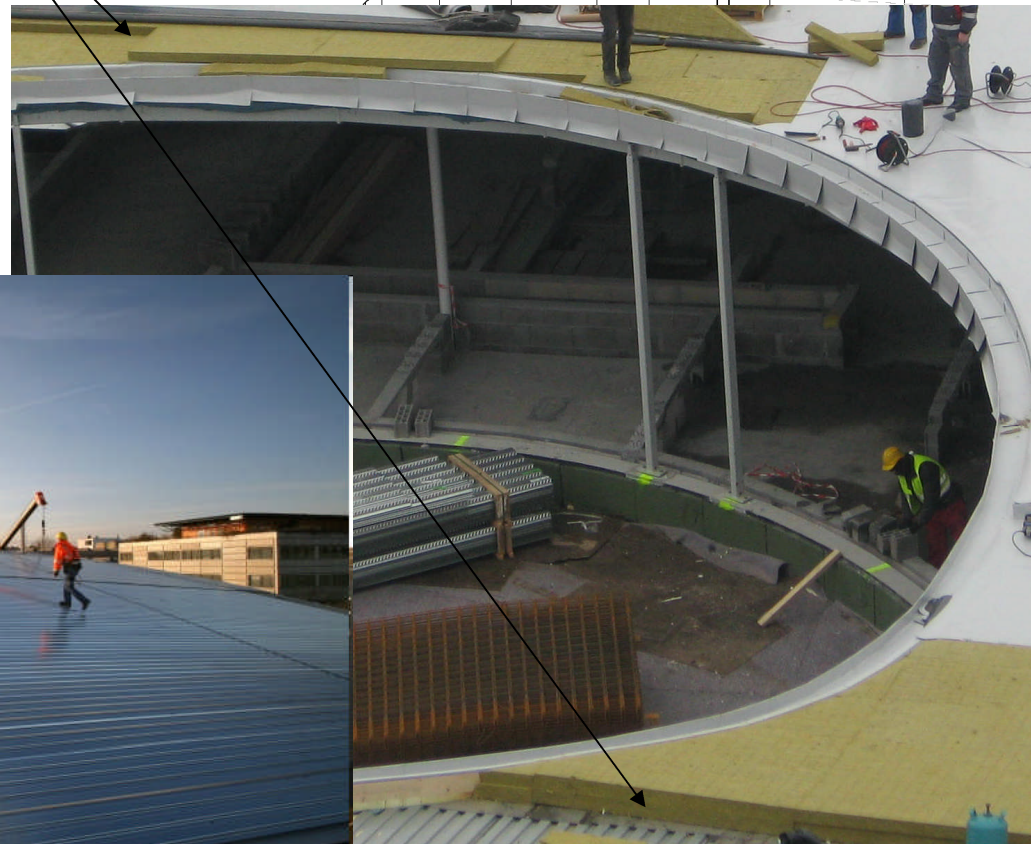
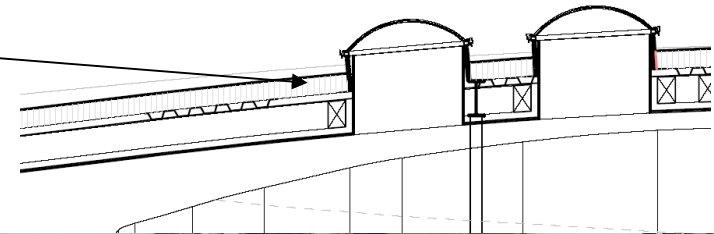


# Isolation l'enveloppe du bâtiment

## Toiture

### ➤ Isolation de la toiture par l'extérieur

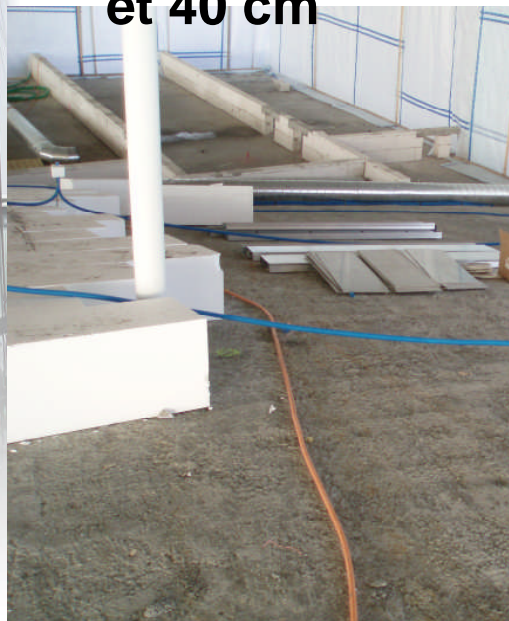
- o 20 cm d'isolant extérieur continu
- o Double couche de laine de roche





# Isolation de la coque

- **Béton brut extérieur**
  - Isolation de la coque par l'intérieur
- **Épaisseur comprise en 15 cm (minimum) et 40 cm**





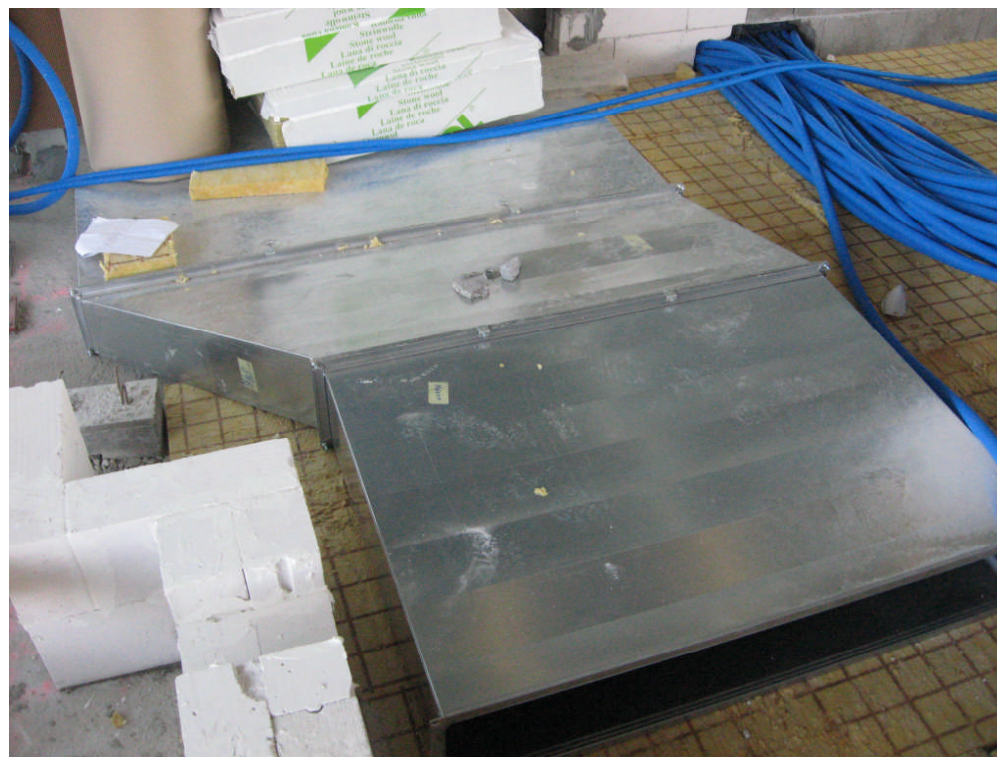
# Vitrages à haute performance

- Vitrages doubles courbés
- Valeur U:  $1.1 \text{ W/m}^2\text{-K}$  pour tous les vitrages
- Valeur  $U_w$ :  $1.4 \text{ W/m}^2\text{-K}$
- Facteur solaire vitrage 53%
- Transmission lumineuse 70%



# Technique du bâtiment « invisible »

## ➤ Intégration poussée





# Chauffage par plancher chauffant

## Inertie pour le contrôle climatique estival

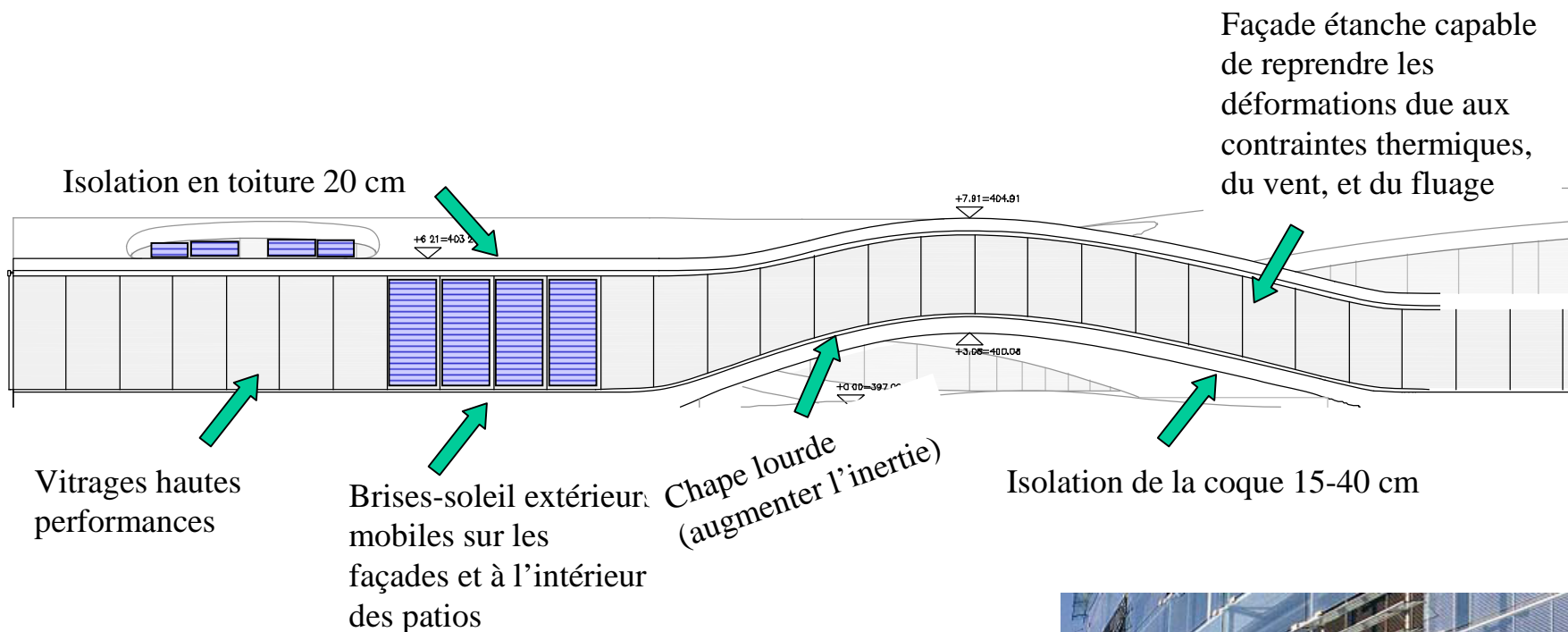
- Chauffage par plancher chauffant avec densification le long de la façade pour éviter la descente d'air froid le long des vitrages
- Inertie par chape sur isolation sur toute la surface de plancher (y compris les surfaces en pente)



# Enveloppe du bâtiment performante

- Une enveloppe du bâtiment performante. Des vitrages à hautes performances, et une isolation de la toiture et de la coque importante

o (Valeurs limite de la SIA 380/1 : 201 MJ/m<sup>2</sup>, valeur cible : 125 MJ/m<sup>2</sup>, valeur calculée : 121 MJ/m<sup>2</sup>)



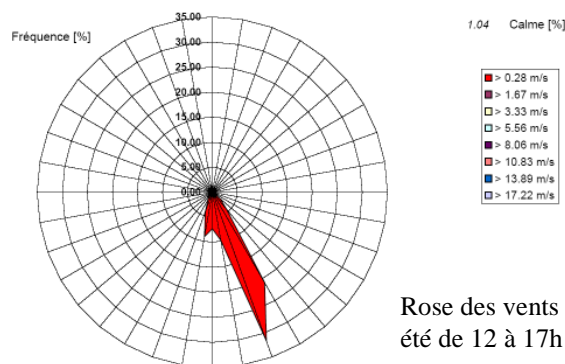


# Fonctionnement estival

## Ventilation naturelle

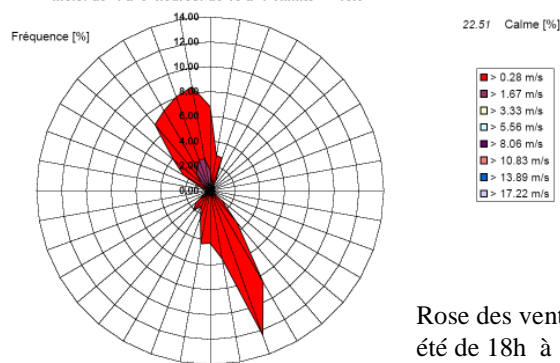
- Rose des vents
- Simulation des écoulements d'air en condition estivale
- Zones de surchauffe

STATION EPFL - VENT - QUART HORAIRE  
Mois: de 4 a 9 heures: de 12 a 17 Tlimite > 22.0

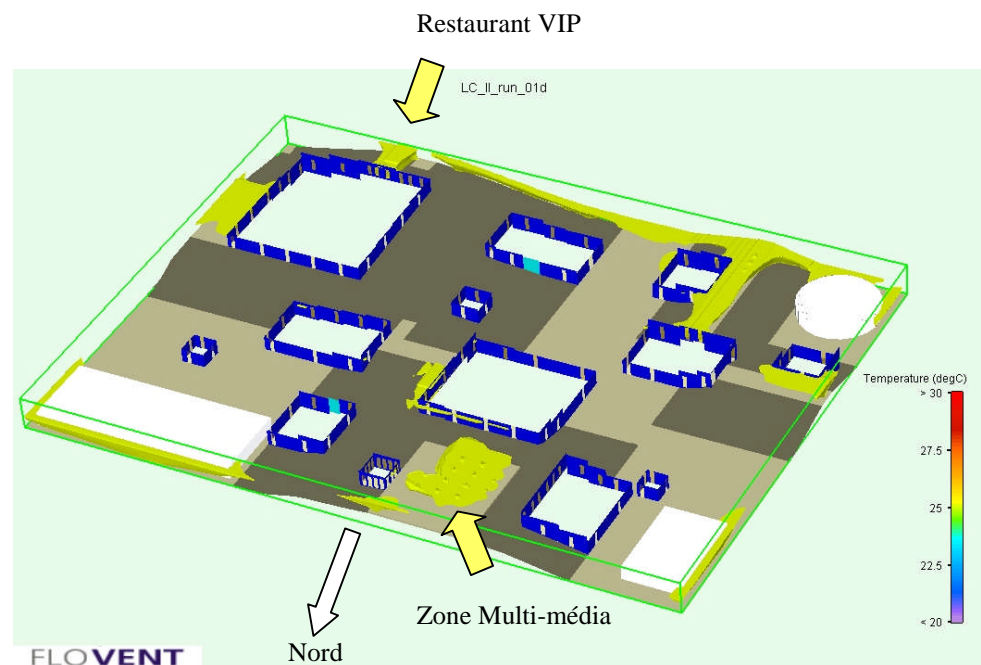


Rose des vents en  
été de 12 à 17h

STATION EPFL - VENT - QUART HORAIRE  
Mois: de 4 a 9 heures: de 18 a 1 Tlimite > 15.0



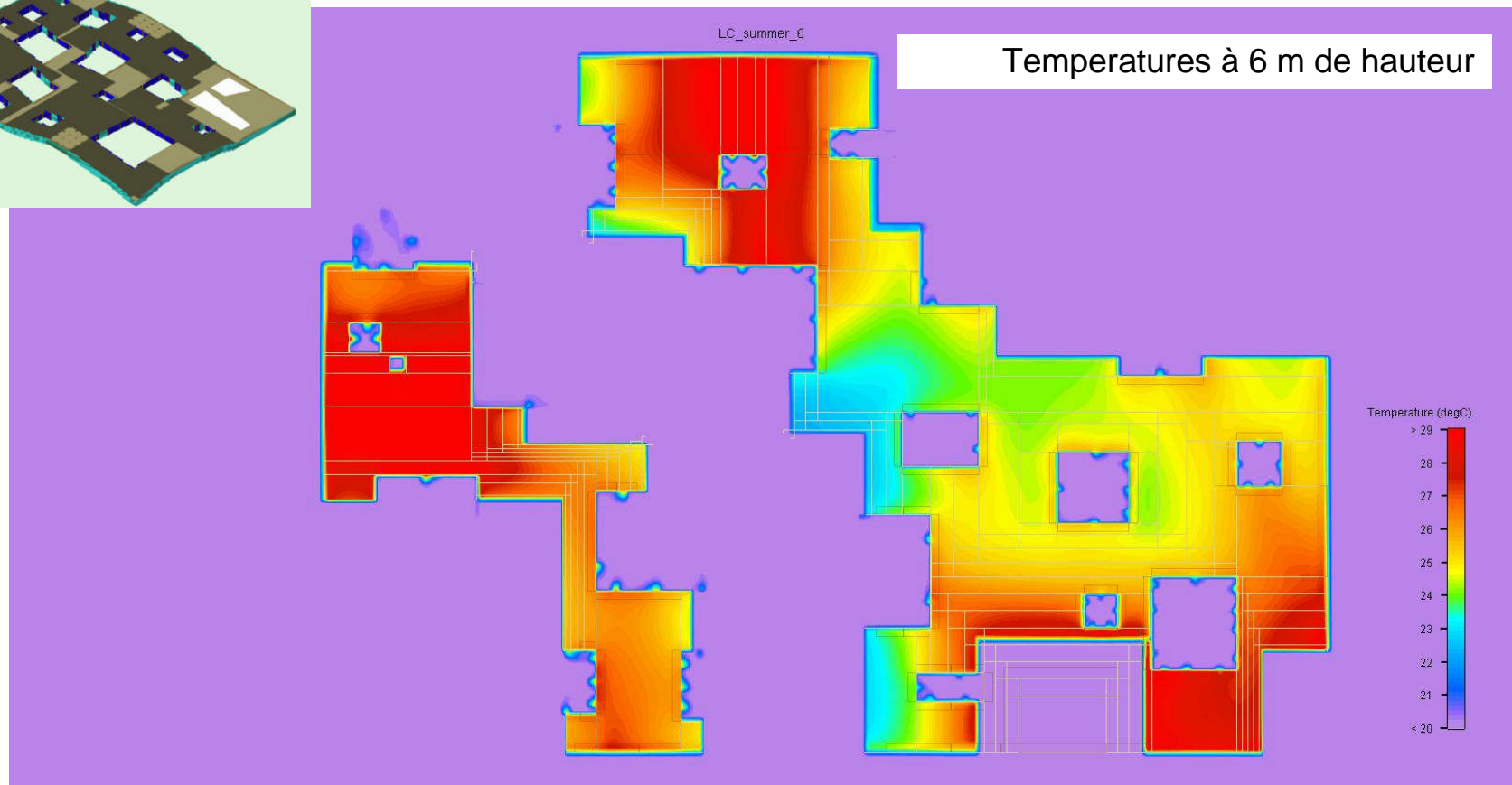
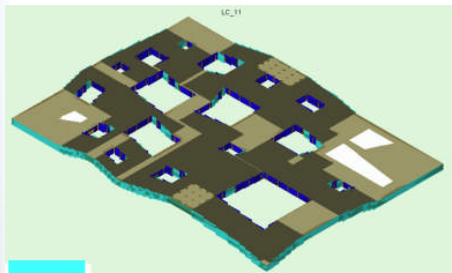
Rose des vents en  
été de 18h à 1h



# Modélisation de la ventilation naturelle

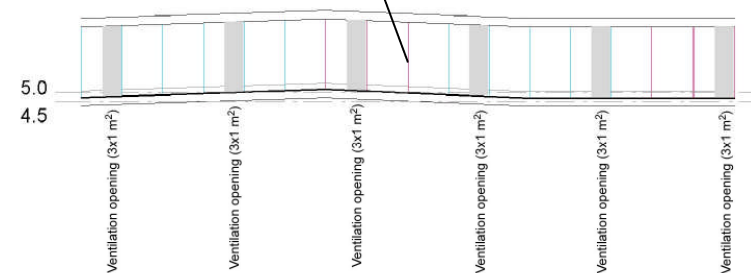
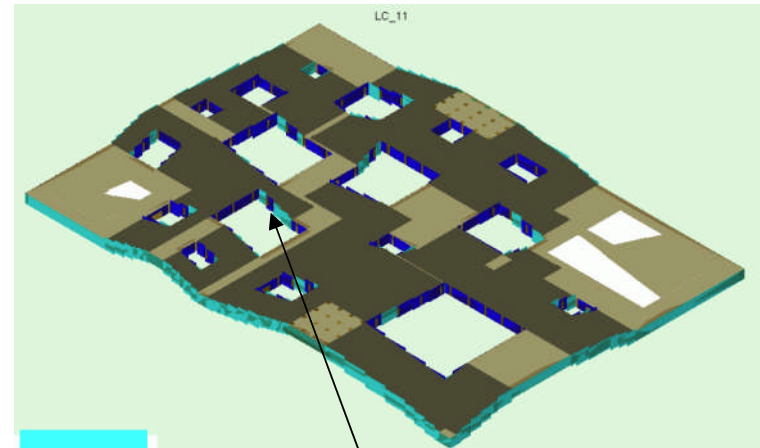
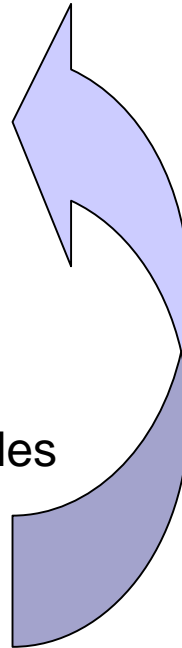
## Suchauffe estivale: Ouvertures prévues originellement

- Modèle CFD de 8.5 millions de mailles



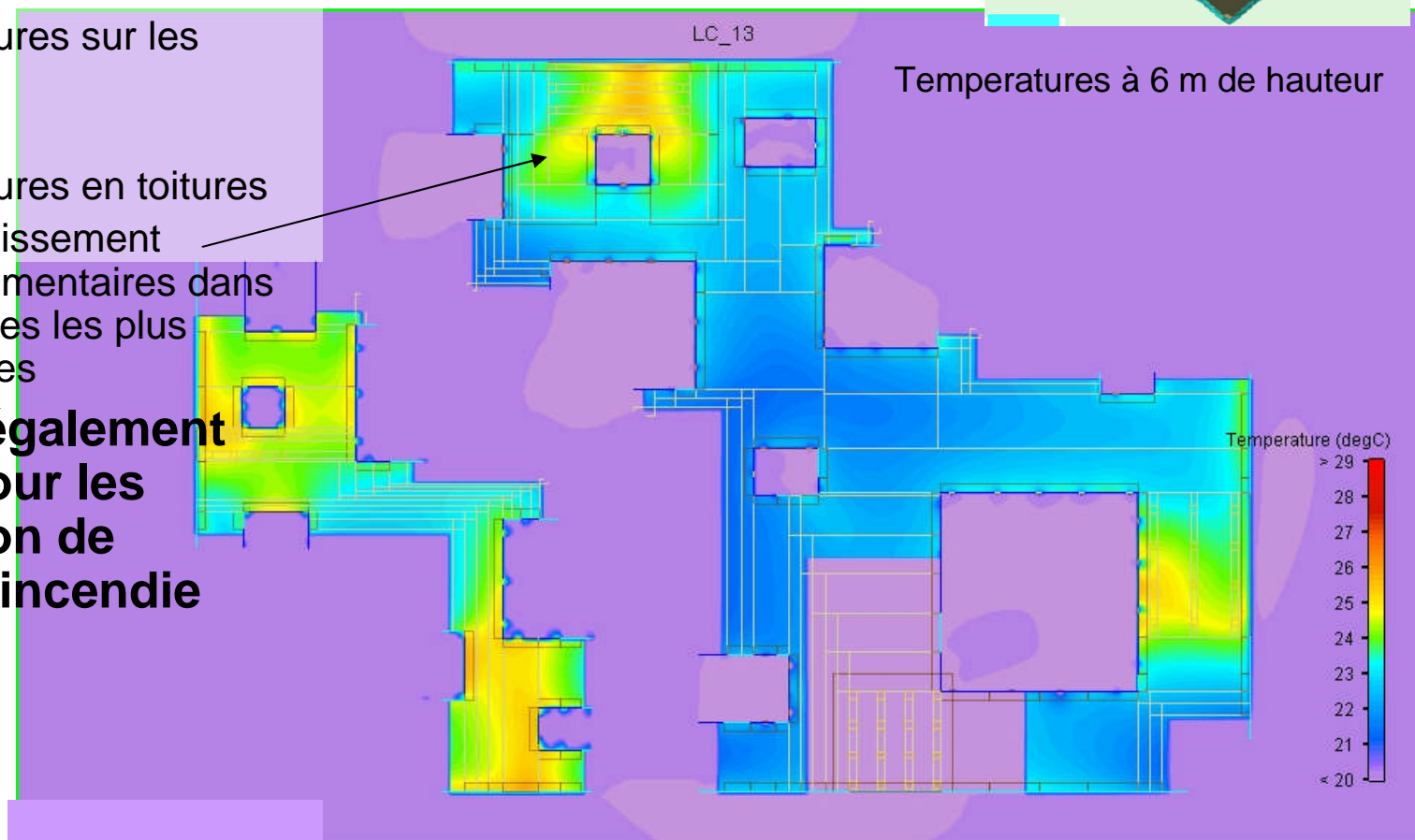
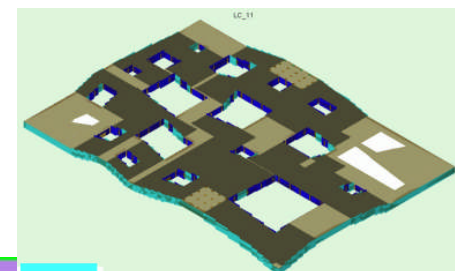
# Itérations avec l'architecte

- Simulation CFD
- Resultats
- Changements architecturaux
  - o Plus d'ouvertures
  - o Surfaces plus grandes
  - o Autres stratégies
  - o ...
- Simulation CFD
- ....



# Solution retenue après les itérations, modifications

- Niveau de température acceptables
- Combinaison de
  - o Ouvertures sur les patios
  - o Portes
  - o Ouvertures en toitures
  - o Refroidissement complémentaires dans les zones les plus chargées
- Modèle également utilisé pour la simulation de sécurité incendie





# Modélisation dynamique

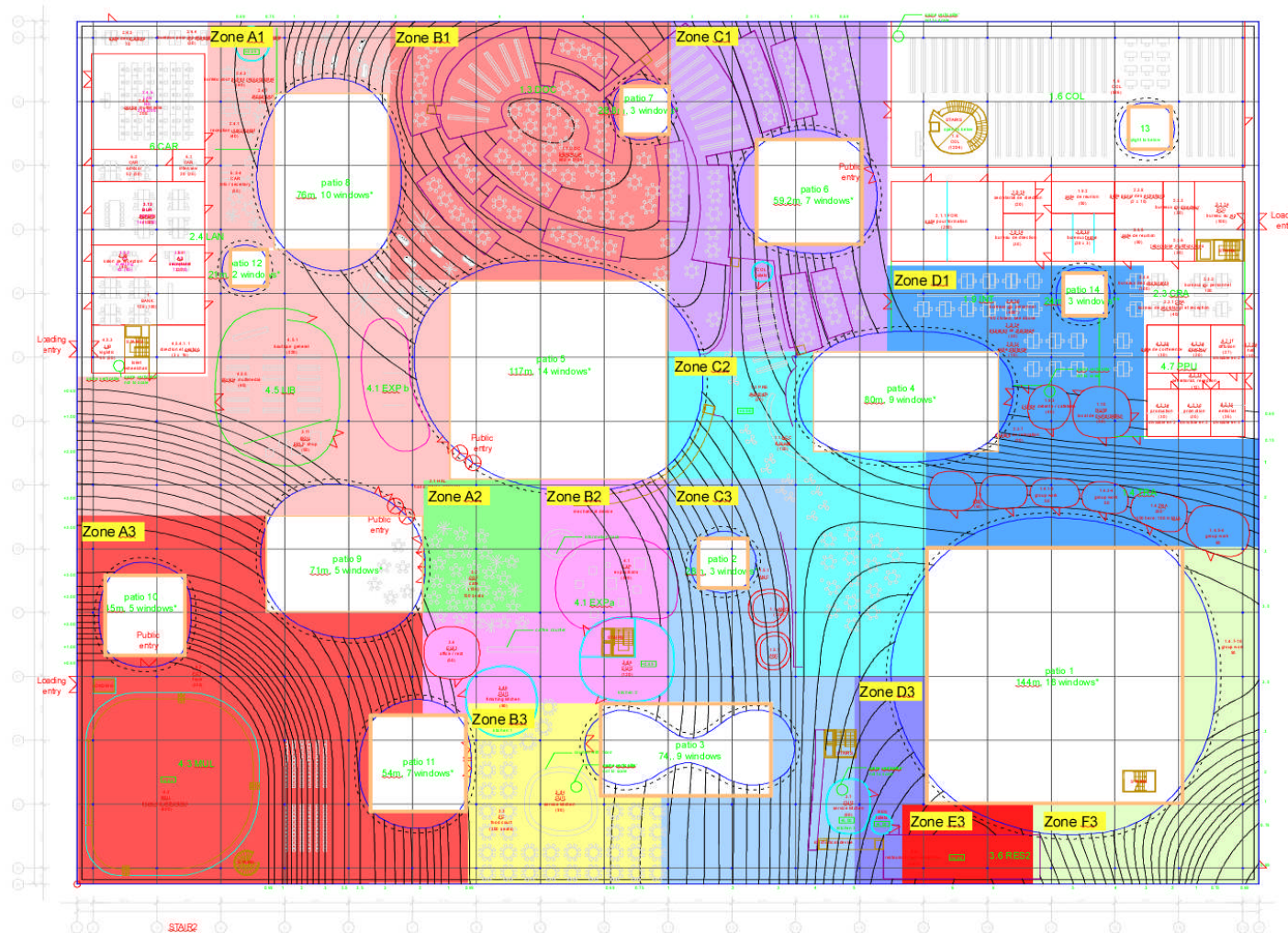
Flovent

CFD

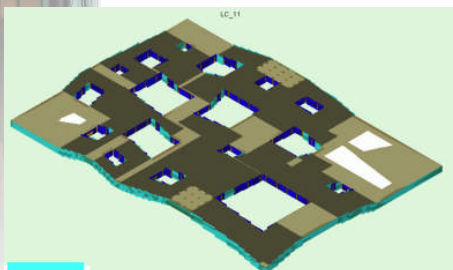
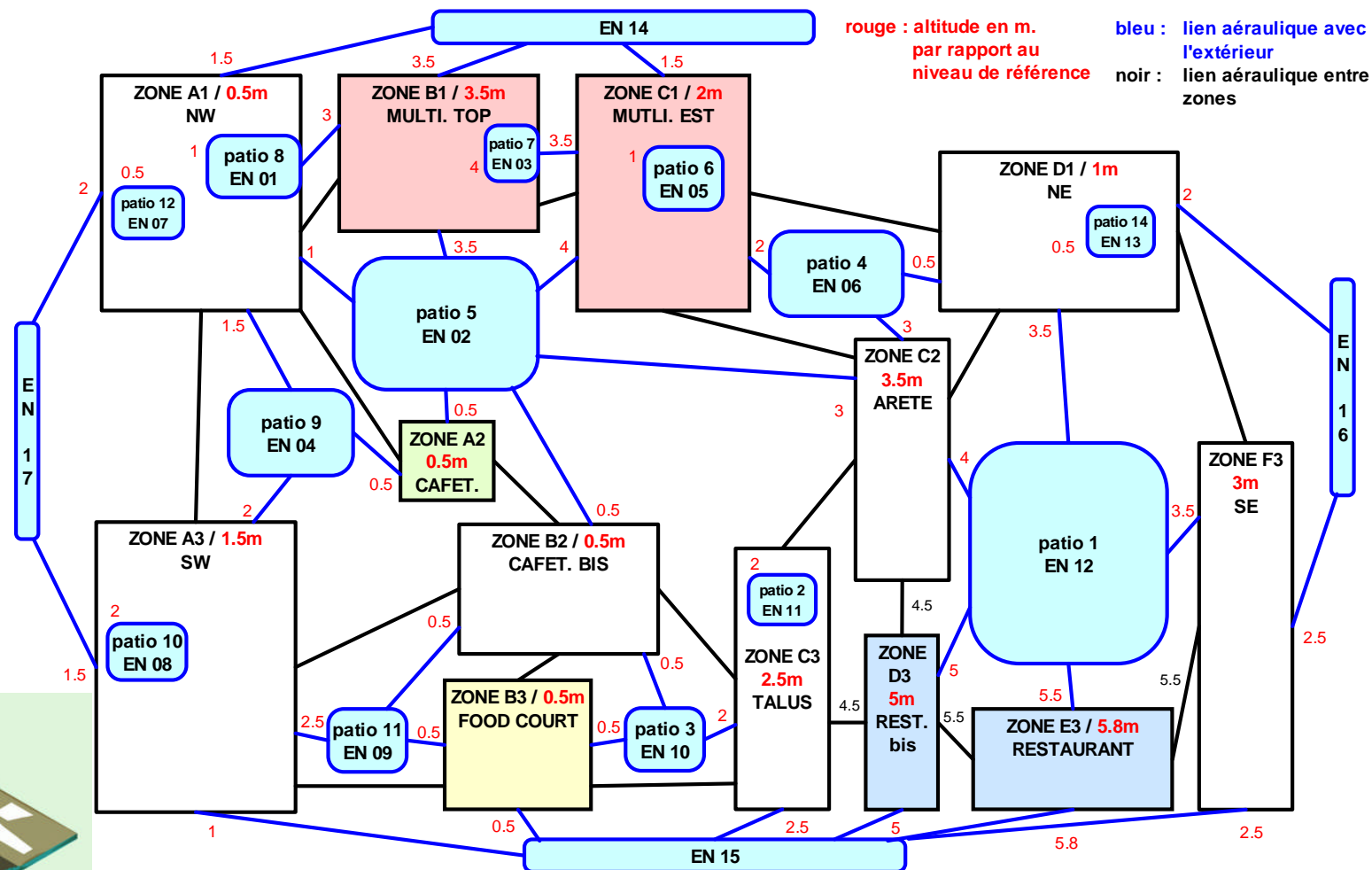
TRNSYS

Simul thermo-  
aéraulique

➤ Zones simulées  
avec le  
programme de  
simulation  
thermique-  
aéraulique  
TRNSYS-  
TRNFLOW (en  
couleur par  
zone)

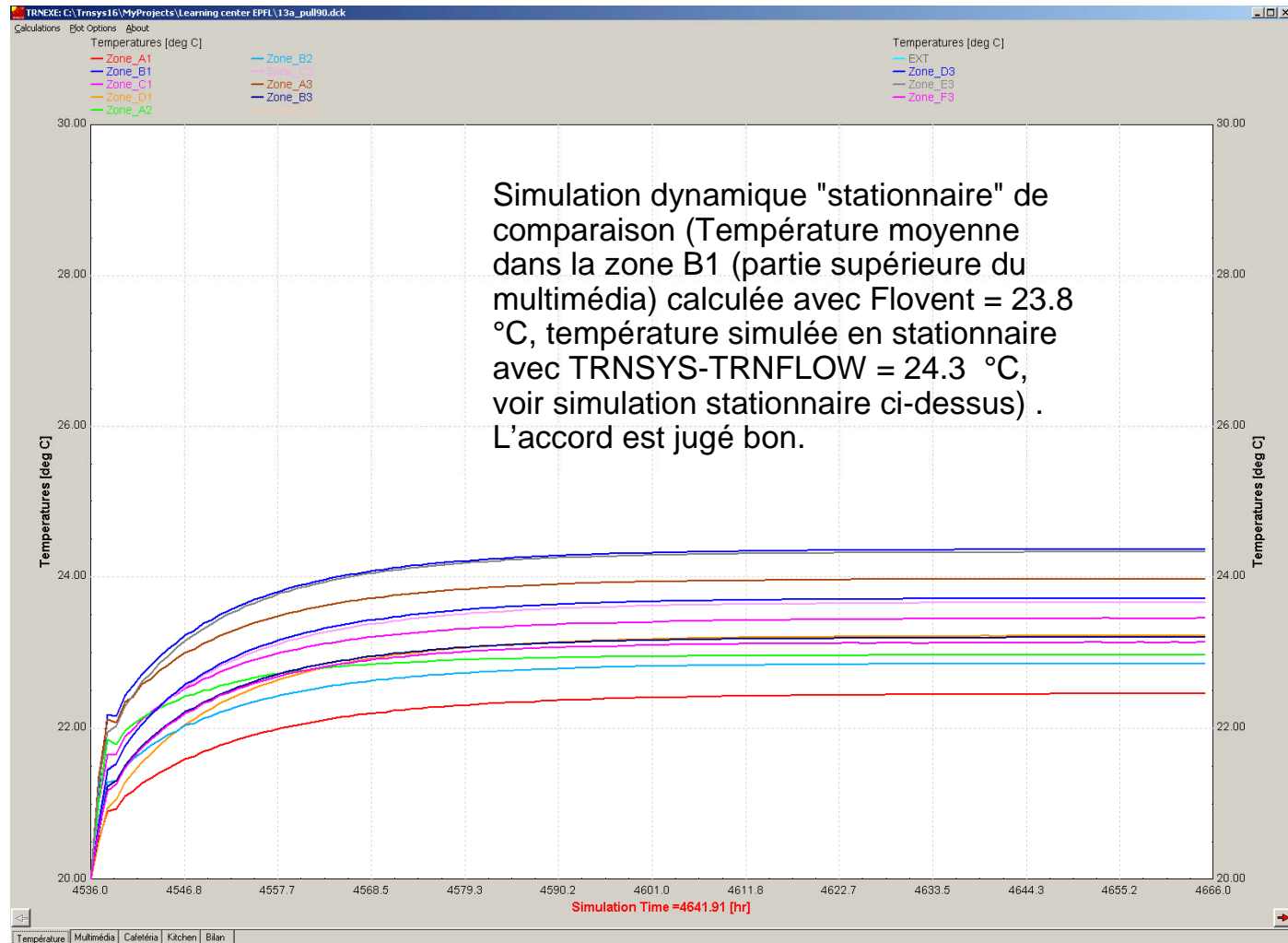


Modèle aéraulique couplé à la simulation dynamique thermique (en rouge dans les zones: altitude de la zone, en bleu : ouvrants sur l'extérieur, en noir : lien aéraulique entre deux zones)



# Simulation thermo-aéraulique (TRNSYS)

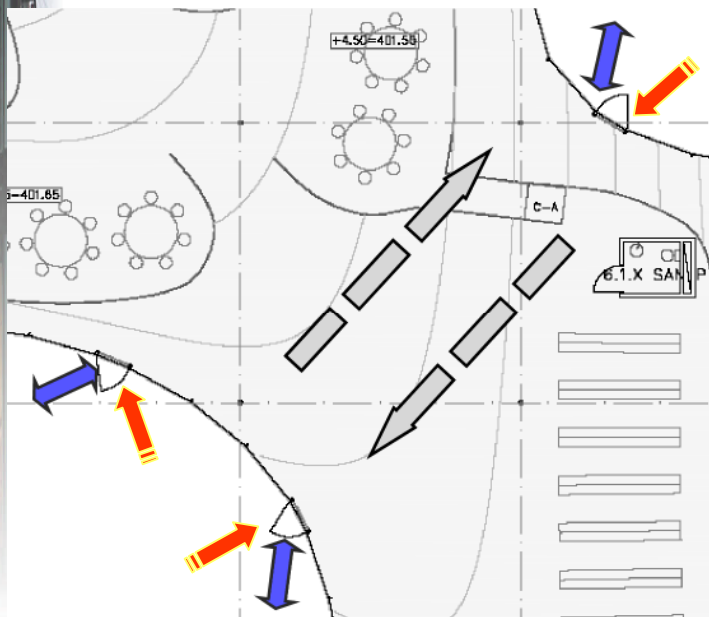
## ↔ CFD Flovent



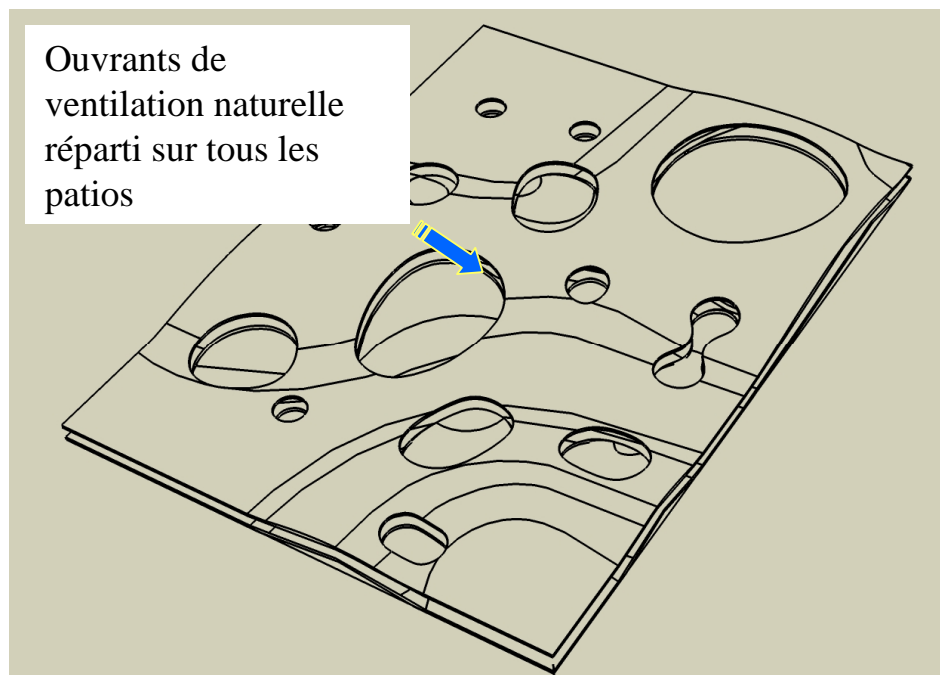


# Fonctionnement estival

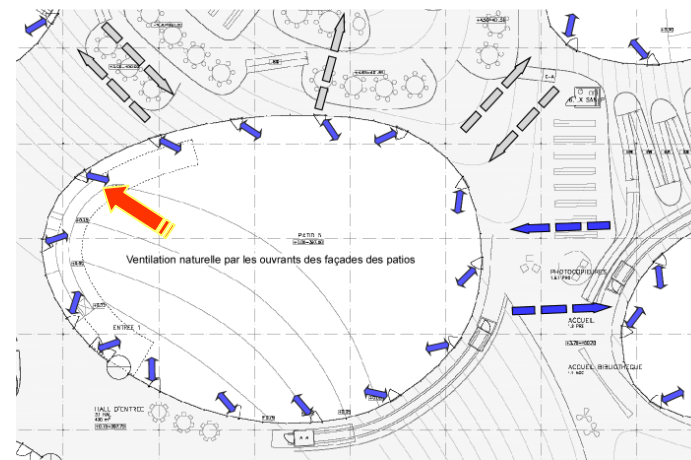
- Des stores extérieurs à haute efficacité de protection solaire ont été choisis.
- Le refroidissement du volume principal du bâtiment est assuré par de la ventilation naturelle, à l'aide d'ouvrants largement dimensionnés pilotés automatiquement sur toutes les cours intérieures et en toiture.



Ouvrants de ventilation naturelle réparti sur tous les patios



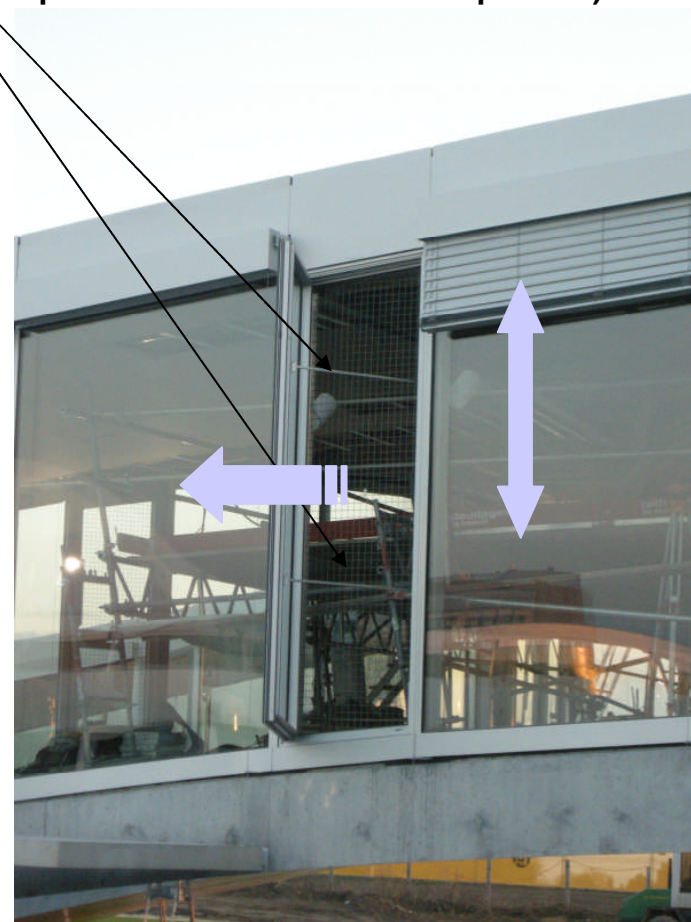
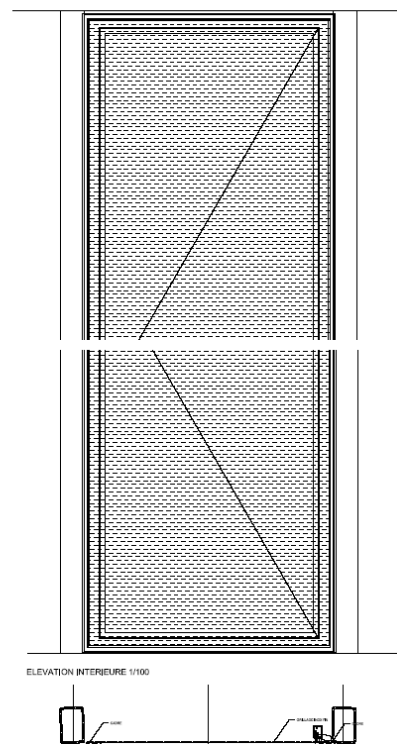
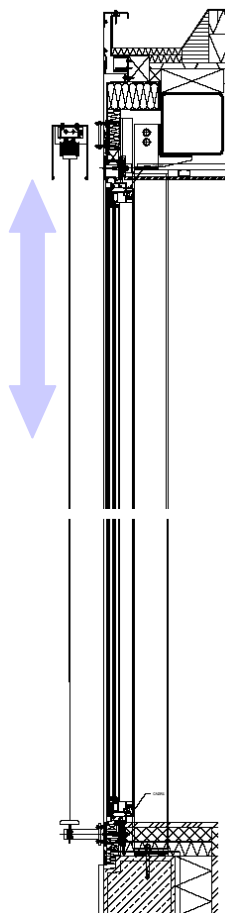
Ouvrants de 3x1 m2 pilotés automatiquement





# Ouvrants et brises-soleil

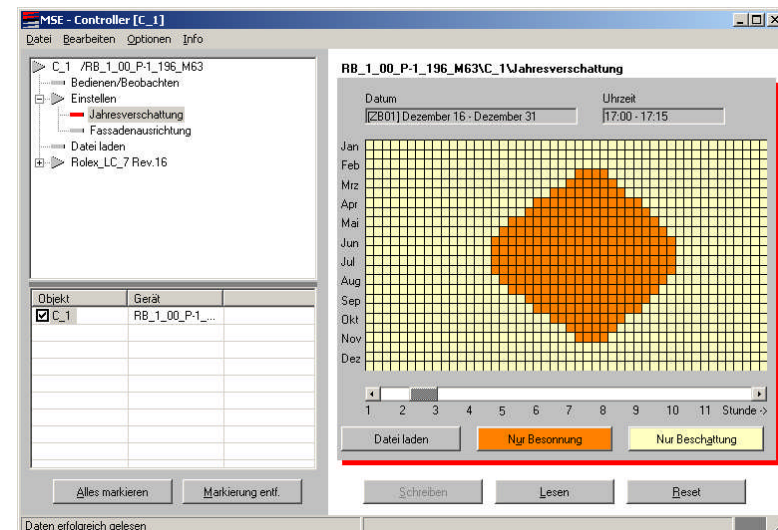
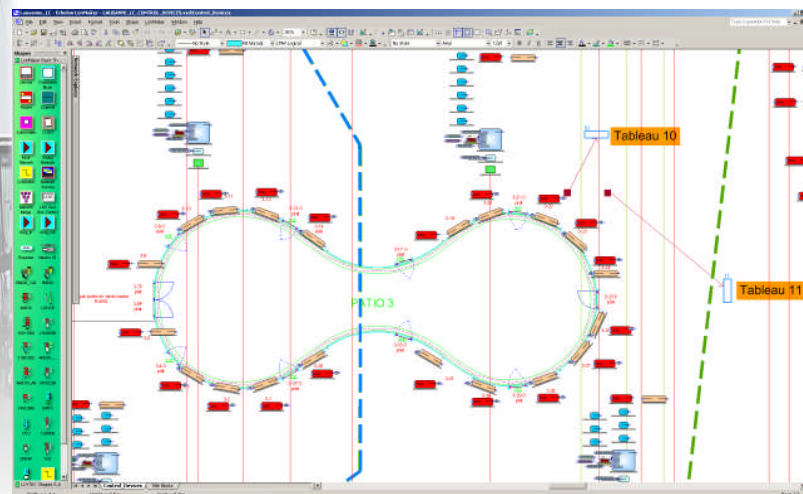
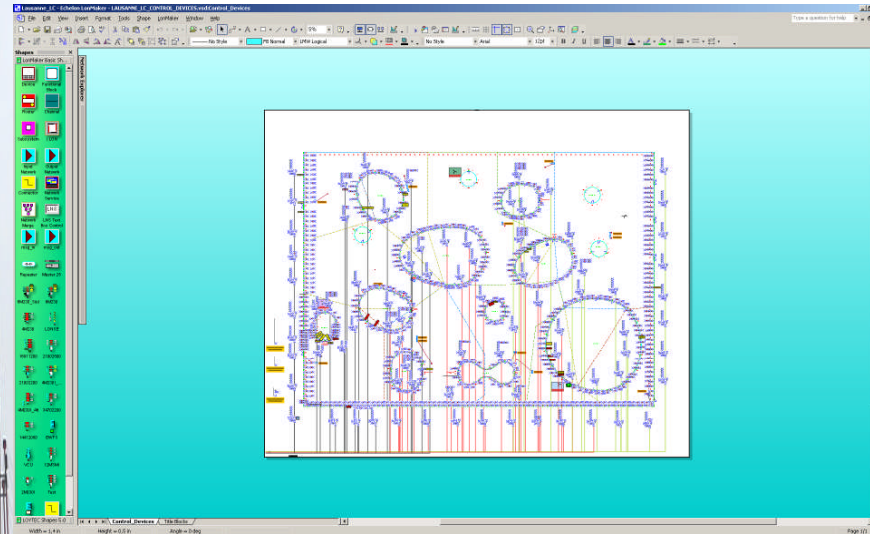
- Brises-soleil orientables sur les patios et les façades extérieures
- Ouvrants motorisés sur les patios (2 moteurs pour assurer une étanchéité parfaite)



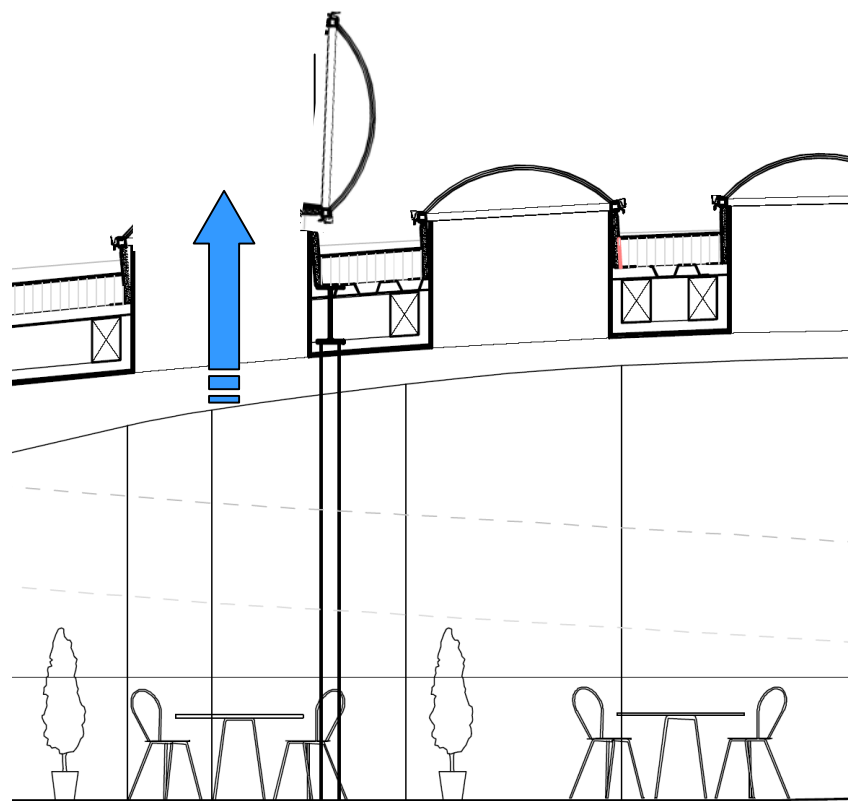
# Brises-soleil

## Régulation commande

- Chaque brise-soleil est commandé indépendamment en fonction de son orientation et des masques



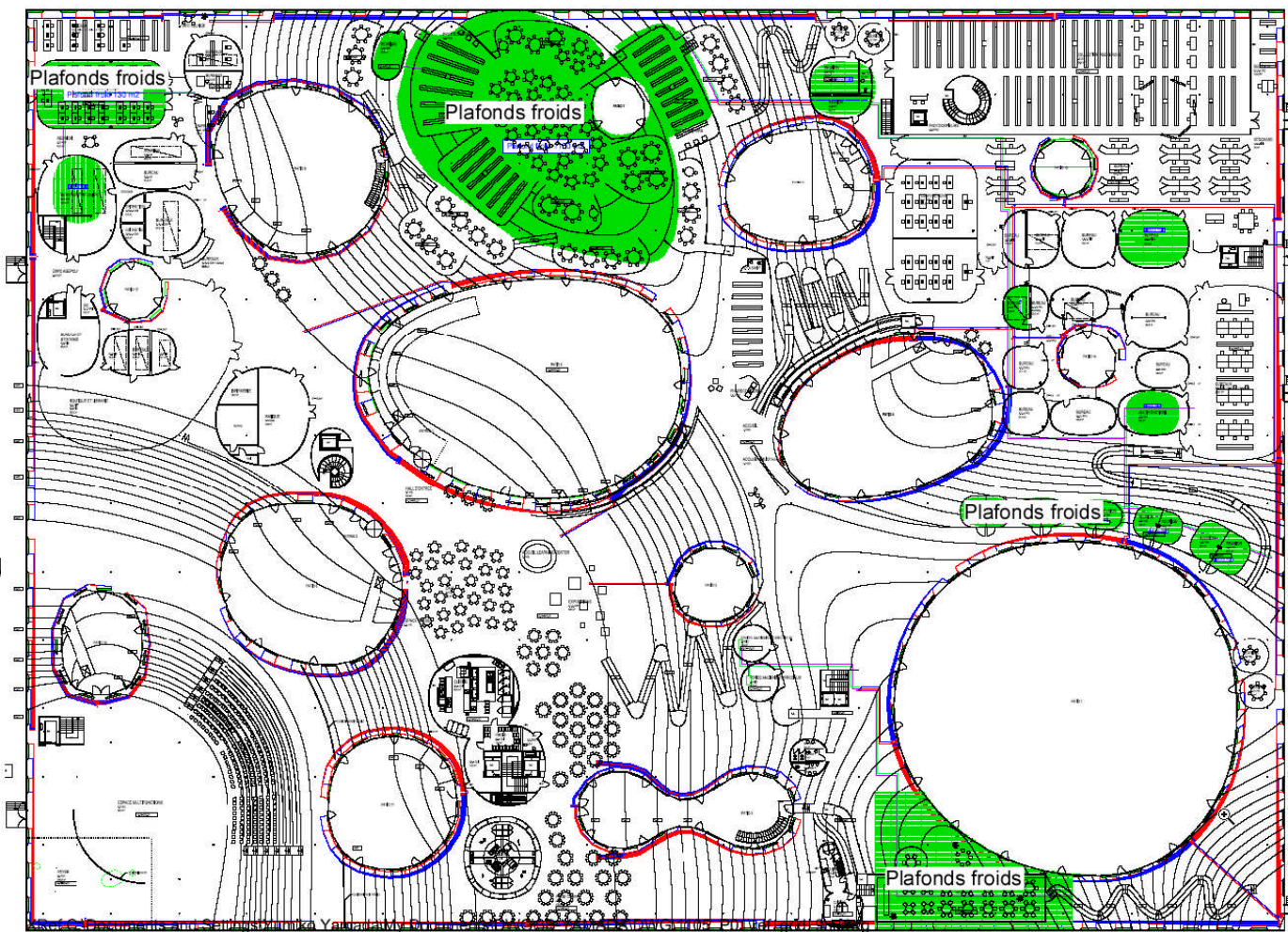
# Ouvrants de ventilation et désenfumage en toiture





# Zones particulières

- Seules les zones confinées et les zones très denses (multi-media center) sont équipées de systèmes de refroidissement actifs. La figure ci-contre montre les zones (en vert) qui sont refroidies par plafonds froids.
- Le refroidissement est assuré par l'eau du lac
- Les autres zones confinées sont refroidies par ventilation mécanique





## Refroidissement par plafonds rayonnants dans les zones très chargées

- Refroidissement par circulation de l'eau du lac (pas de machine frigorifique)
- Plafonds rayonnants pour le refroidissement par tubes capillaires dans les zones très chargées
  - o Zone multi-média
  - o Restaurant VIP
  - o Zone de travail

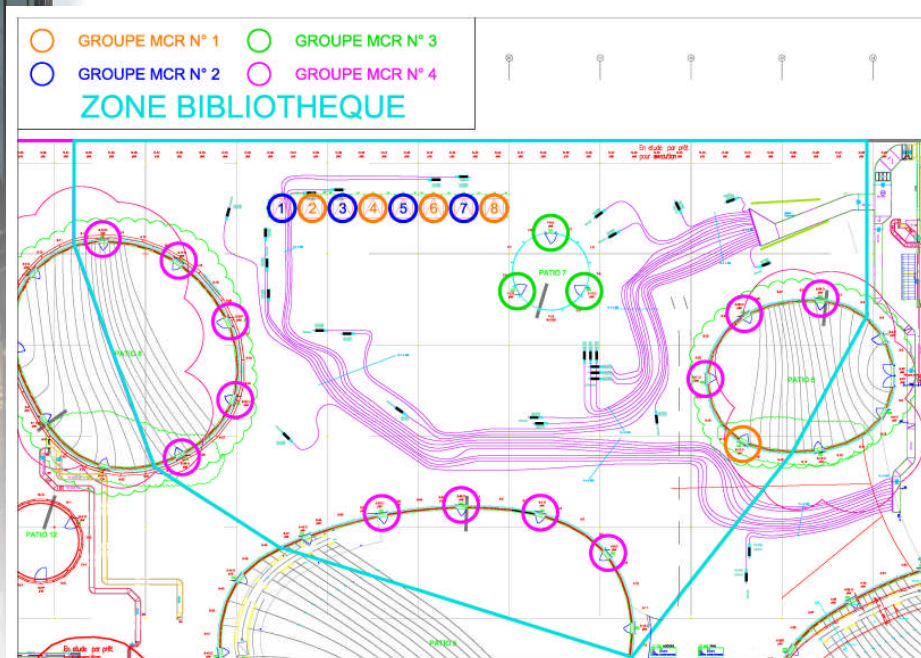


# MCR GTB

# Contrôle climatique estival

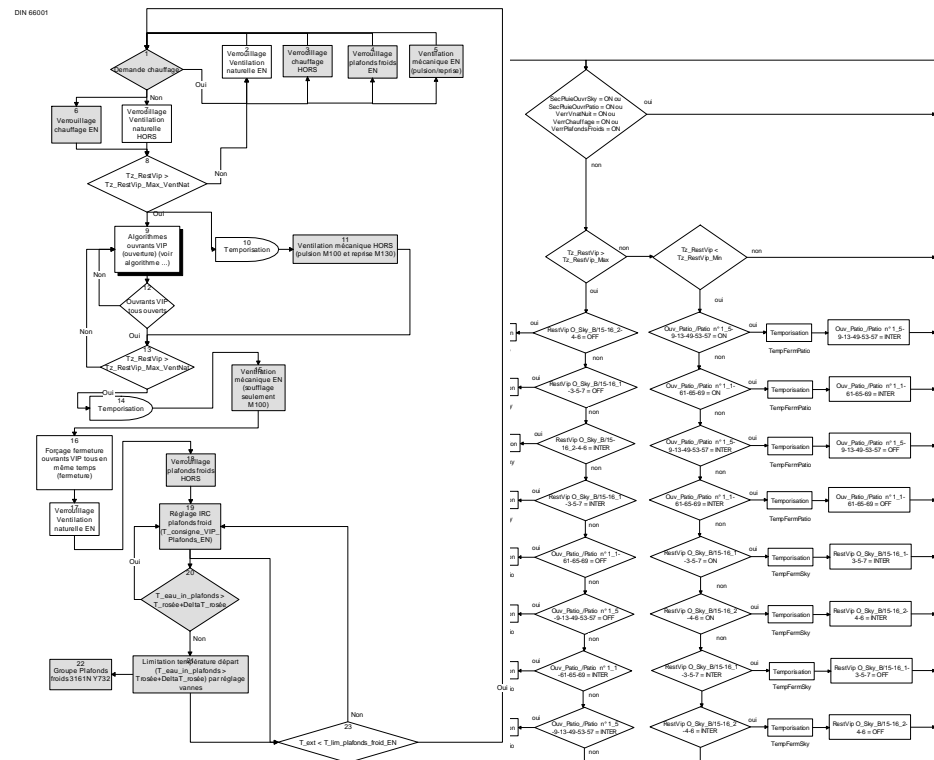
## Algorithmes spécifiquement développés pour ce bâtiment

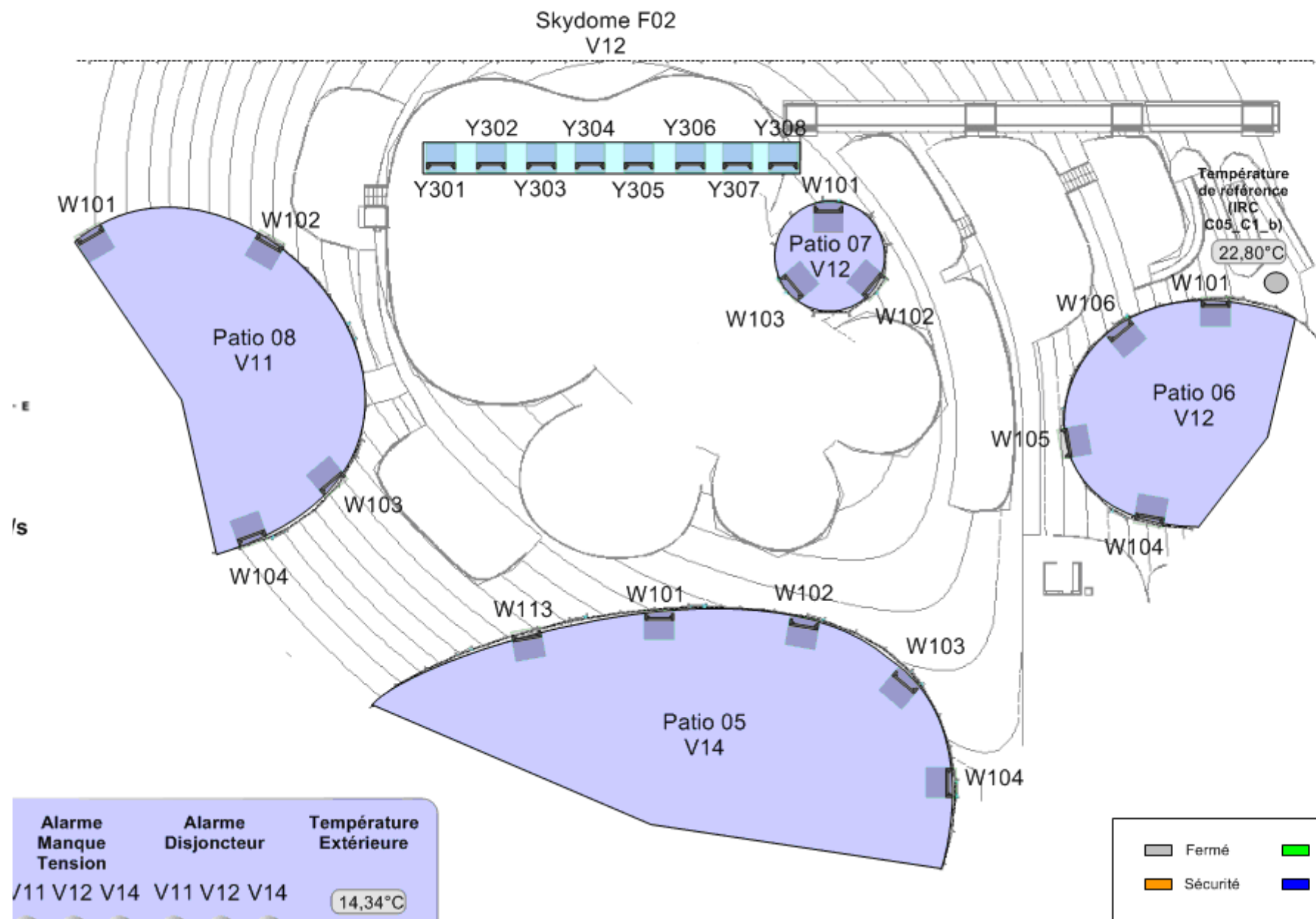
- **Chaque ouvrant est paramétré de manière indépendante**



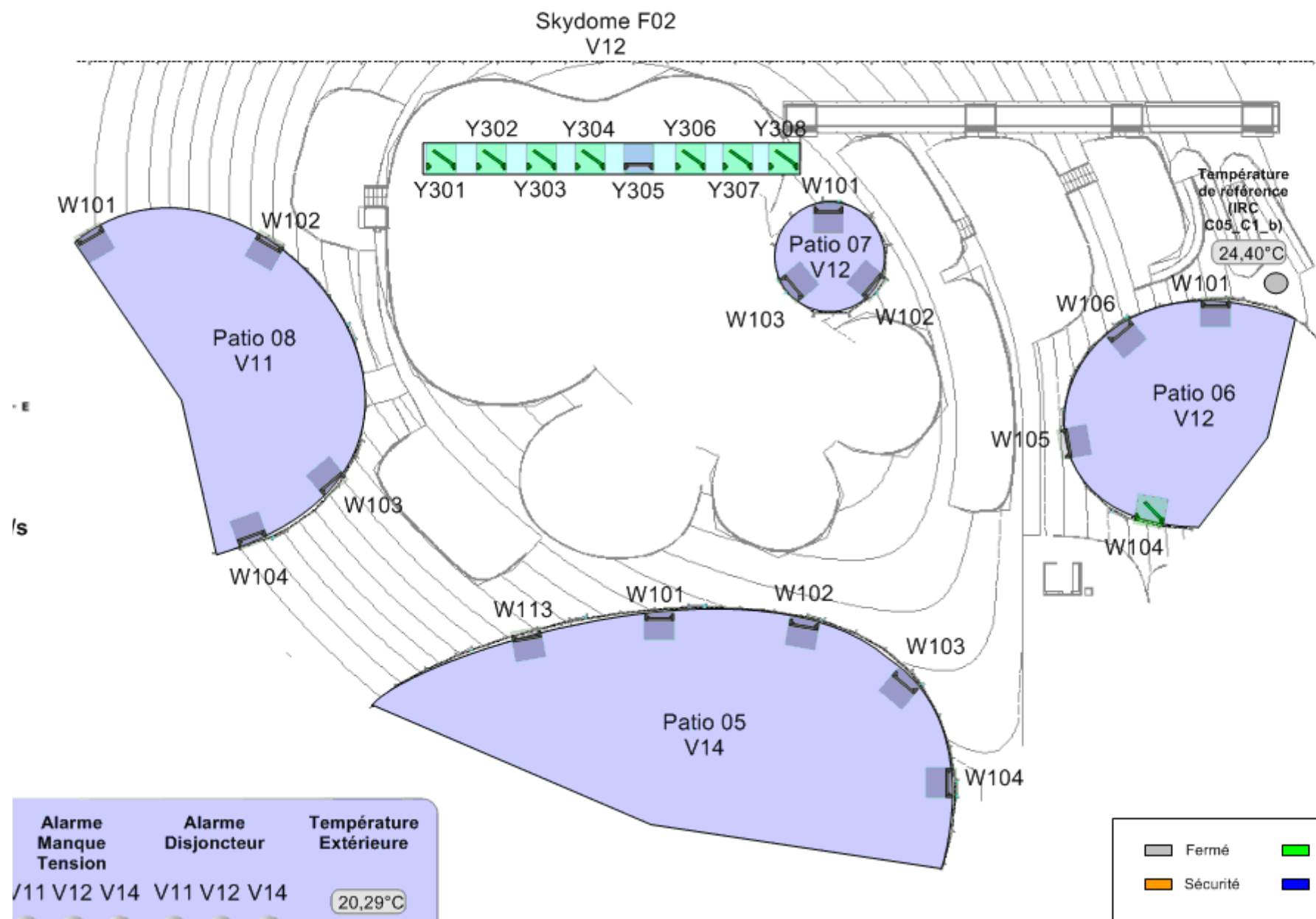
EPFL Learning Center  
Ventilation naturelle  
Commandes d'ouvrants de la zone Restaurant VIP  
Pas de vent, pas de pluie, pas de demande de refroidissement plafonds froids.  
Adresseur initial des ouvrants des groupes (doit pouvoir être modifié par les utilisateurs lors de l'exploitation)

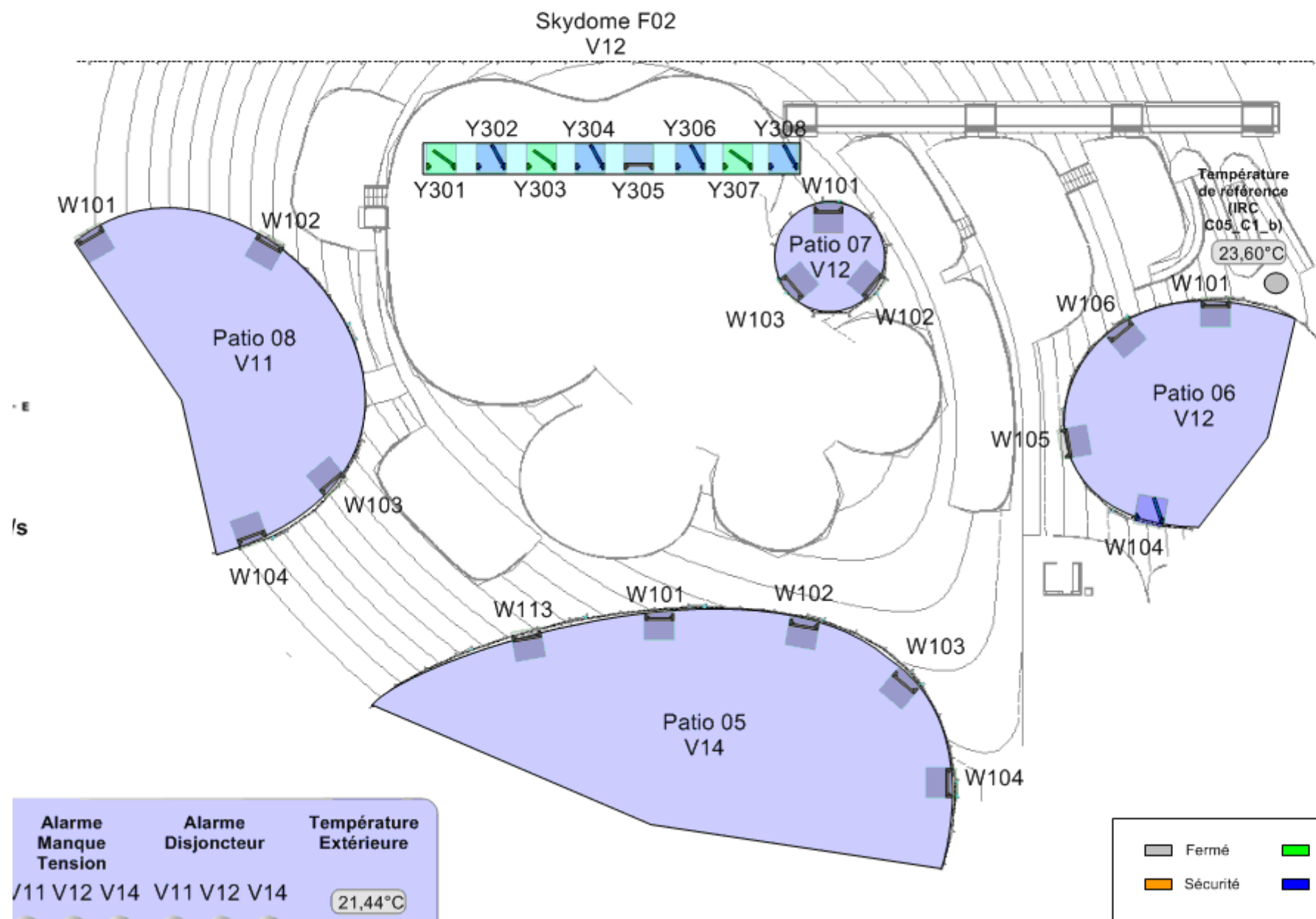
SORANE SA 18.3.2009

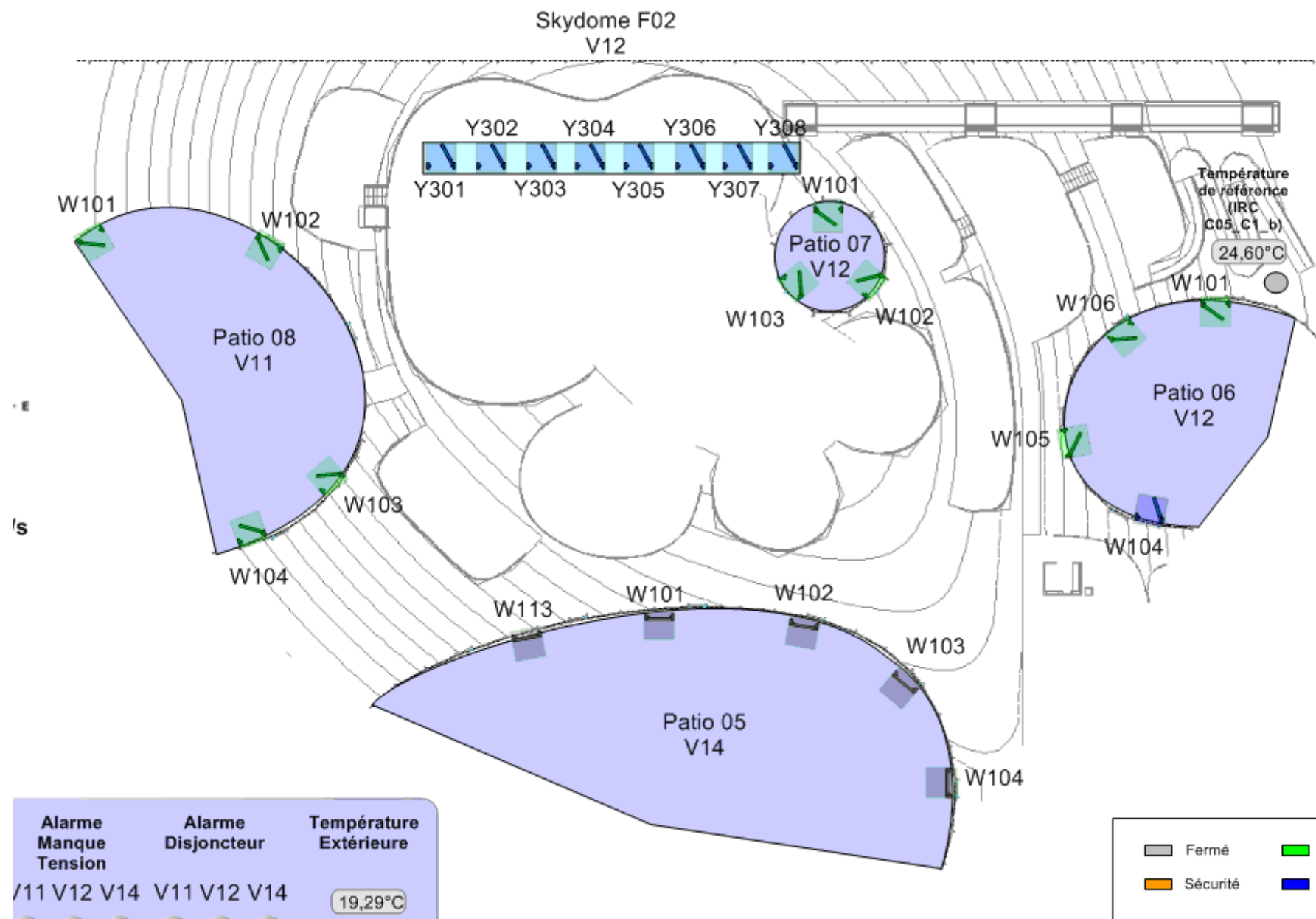




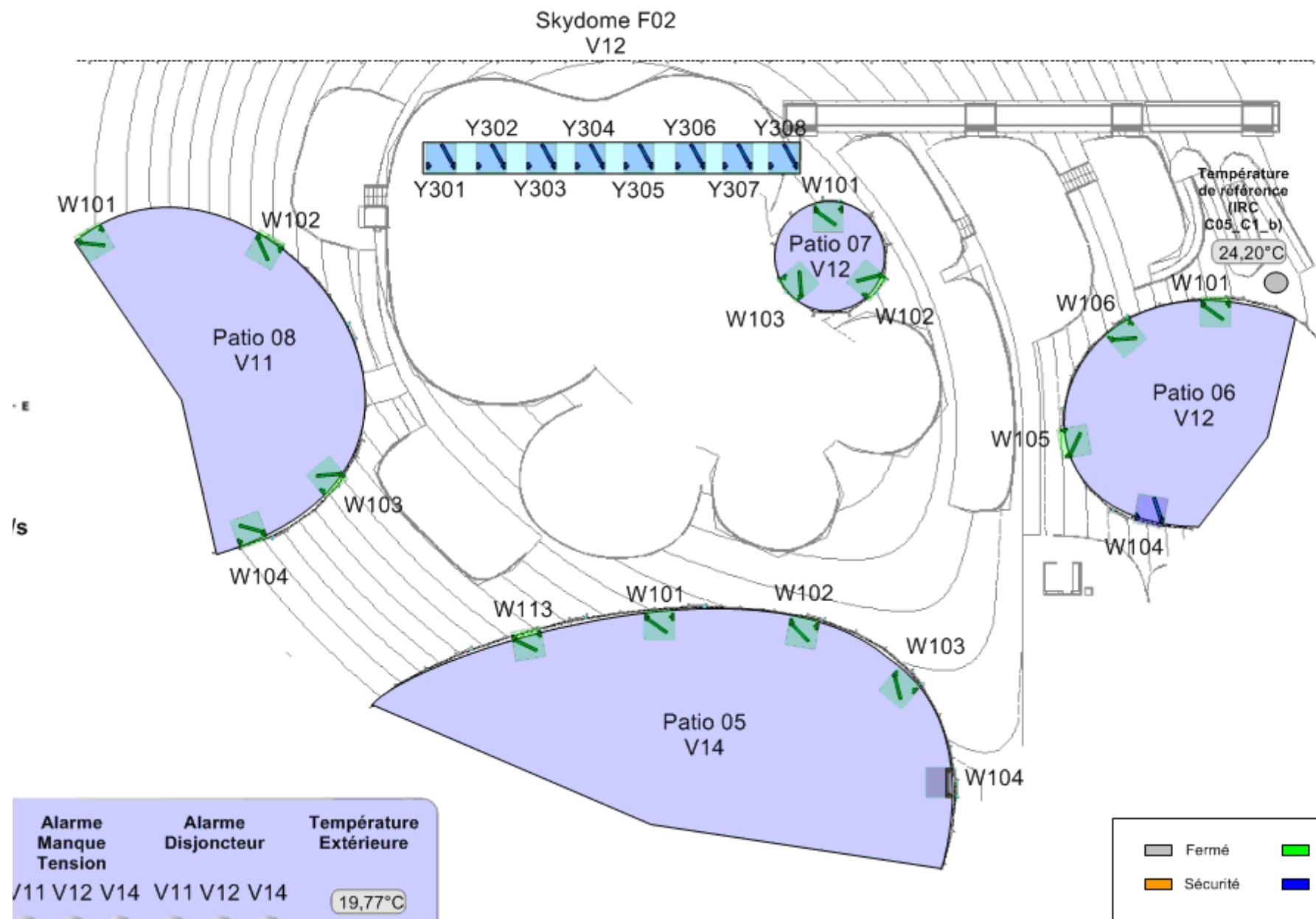


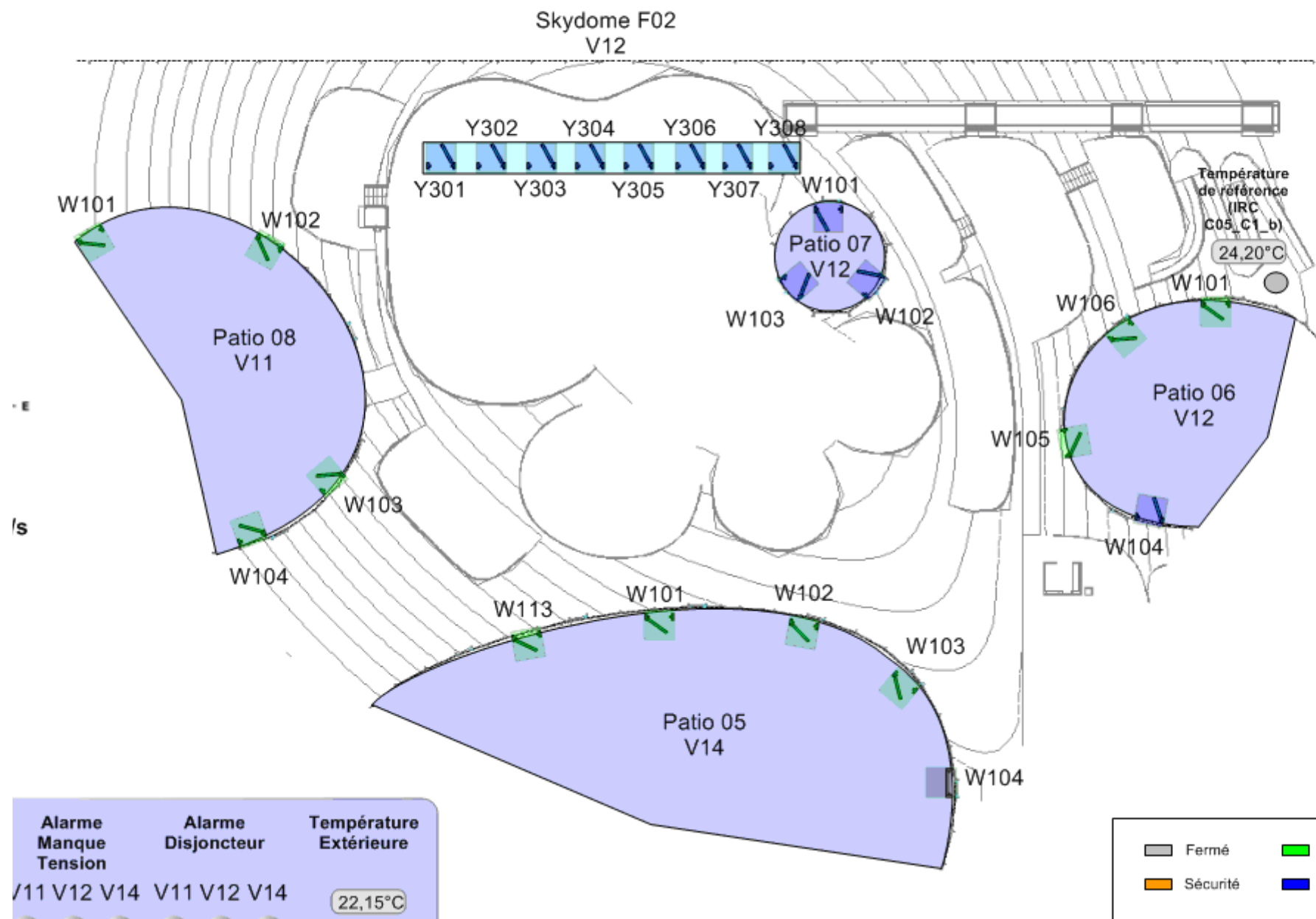


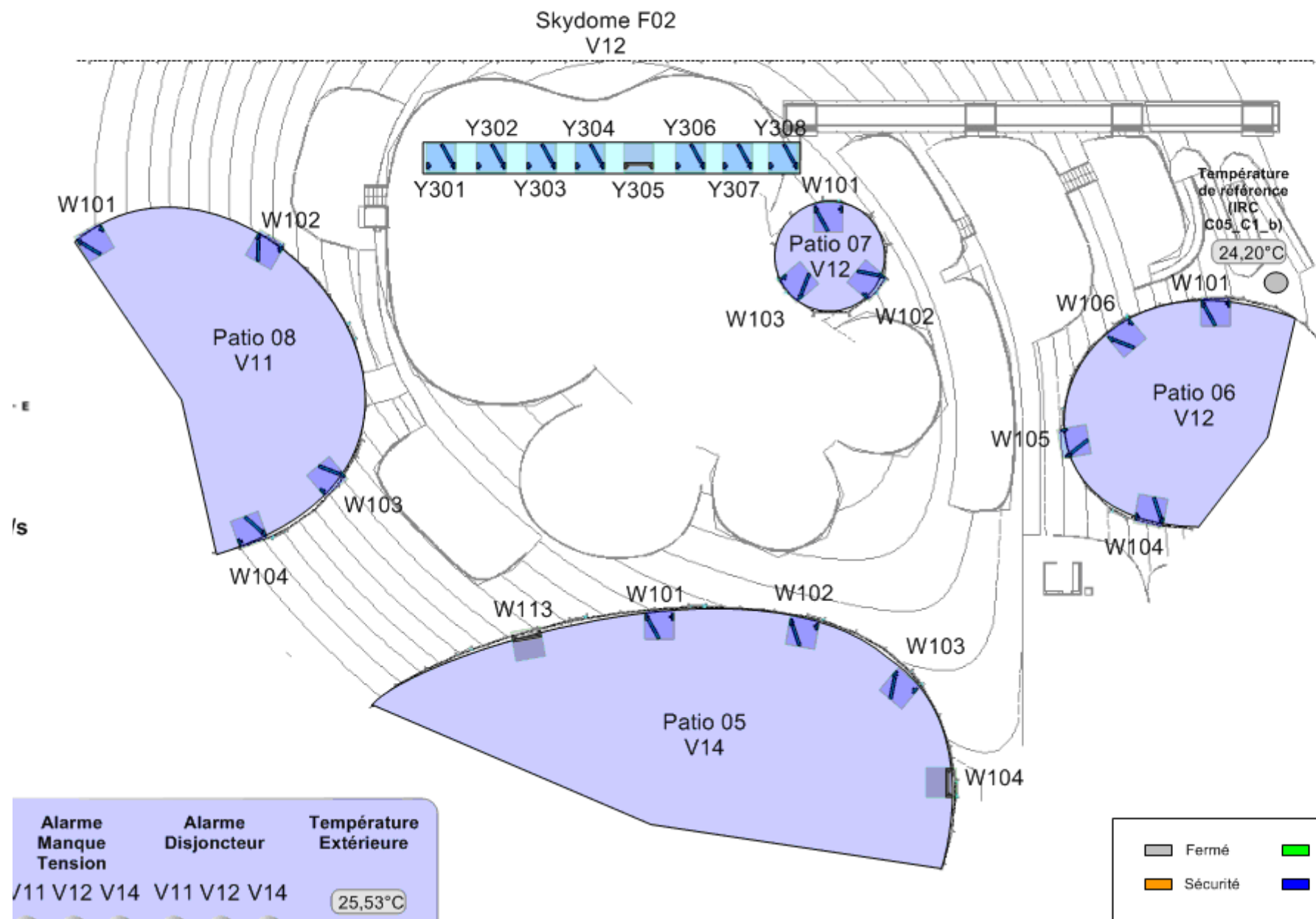




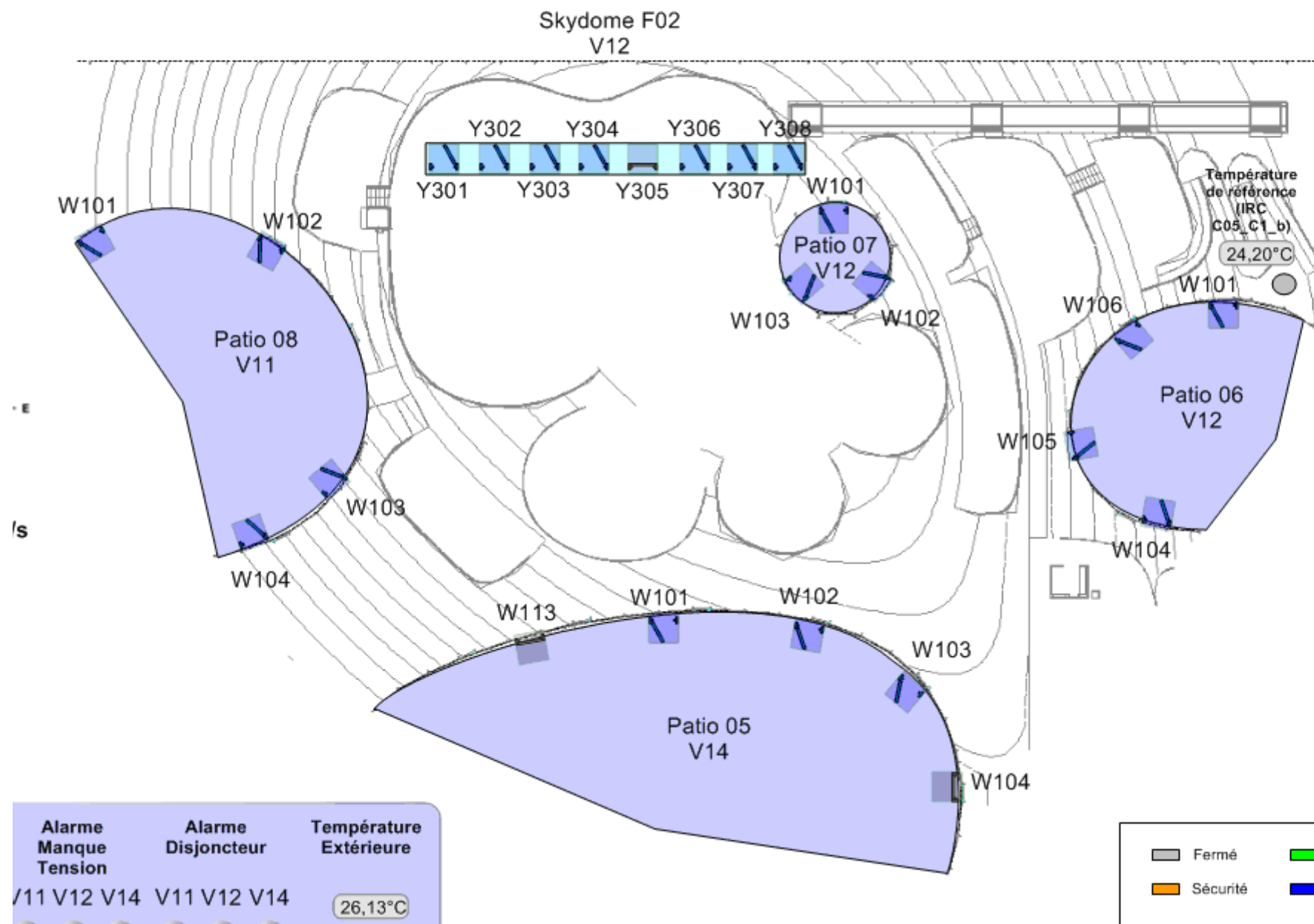












# Conclusions

- **Le Learning Center est le 2<sup>ème</sup> bâtiment le plus performant du site de l'EPFL en terme de besoins d'énergie spécifique après le bâtiment des Communications**
- **Expression architecturale originale sauvegardée dans le processus**
- **Besoin d'énergie chaleur ~ 38 kWh/m<sup>2</sup>-an**
  - o (mesures effectuées en chauffant le Rolex Learning Center sans occupation ~ 39 kWh/m<sup>2</sup>-an sur décembre-janvier → performances avec occupation certainement meilleures que celles prévues)
- **Le bâtiment a obtenu le label Minergie®**

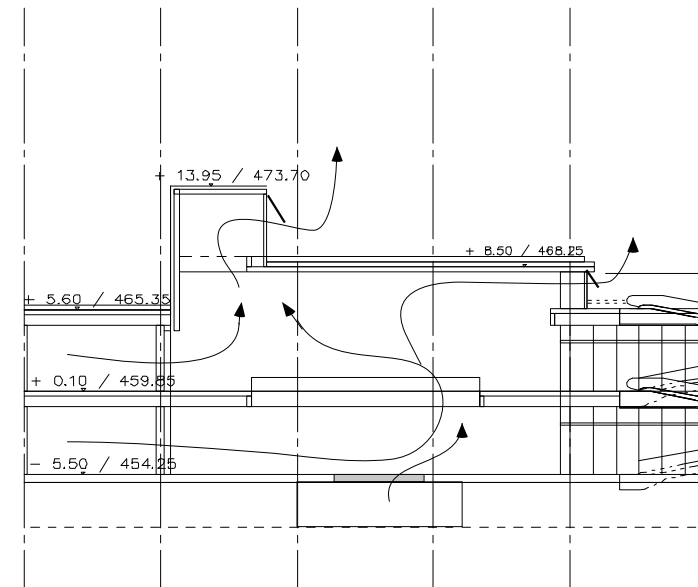
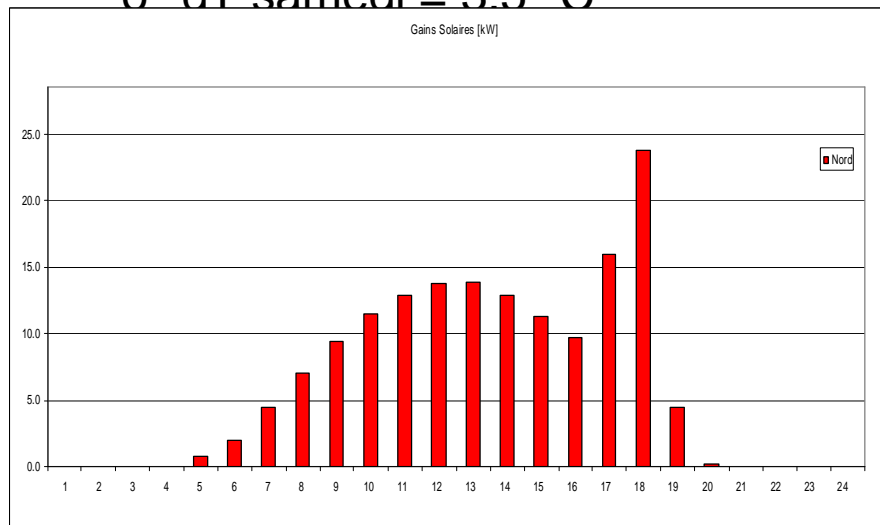


# Migros Marin

## CONCEPT ENERGETIQUE

### ➤ Concept de base proposé

- o Ventilation naturelle du Mall Central en mi-saison et été, avec renouvellement d'air contrôlé en hiver :
- o  $dT$  week-end =  $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- o  $dT$  samedi =  $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$



# Installations frigorifiques à hautes performances





# Modèle TRNSYS

## Simulation dynamique

### Sert à développer les stratégies optimales

#### Demande de froid

- o Corrélation sur la base de mesures (débitmètre à ultra-sons)

#### Machine de froid

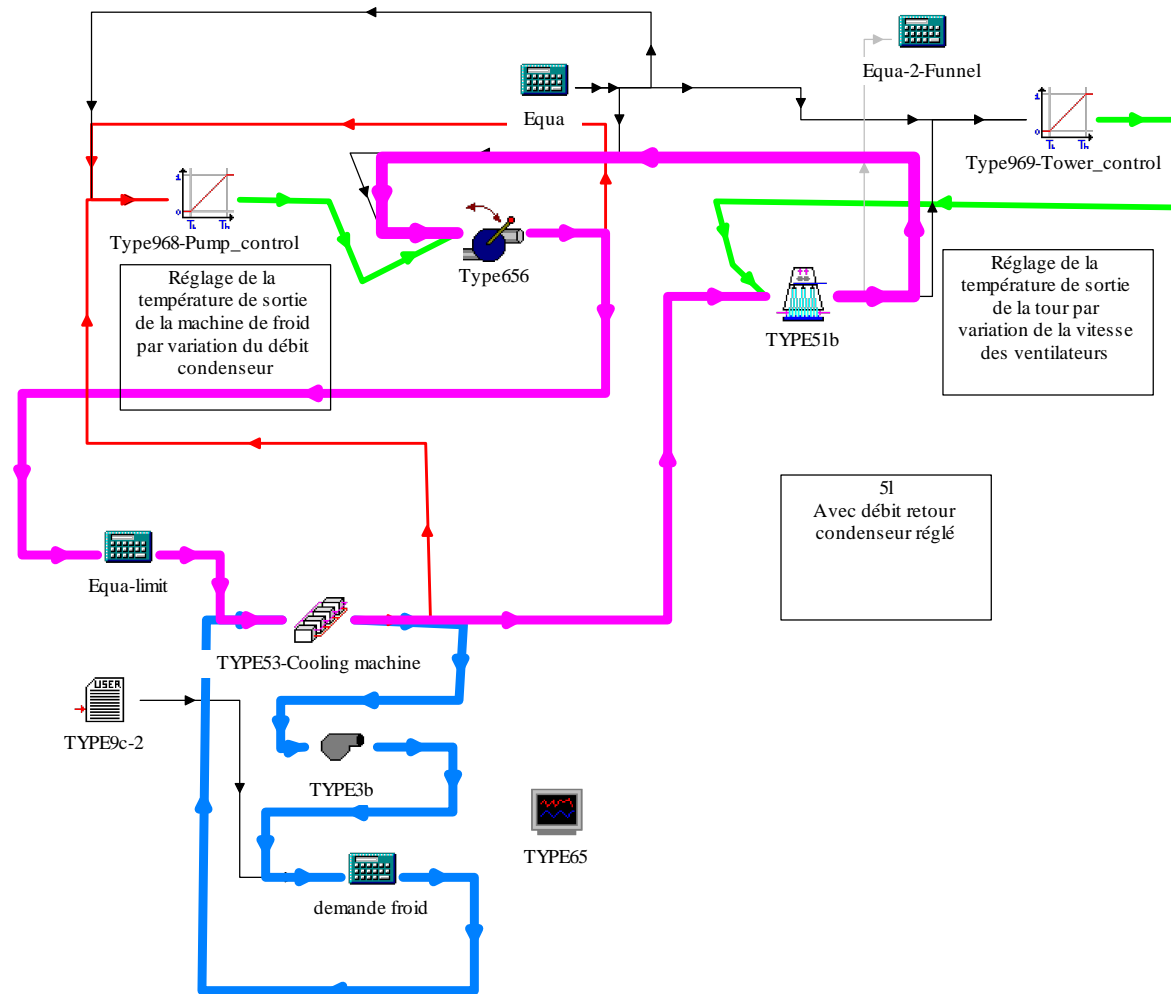
- o Mapping

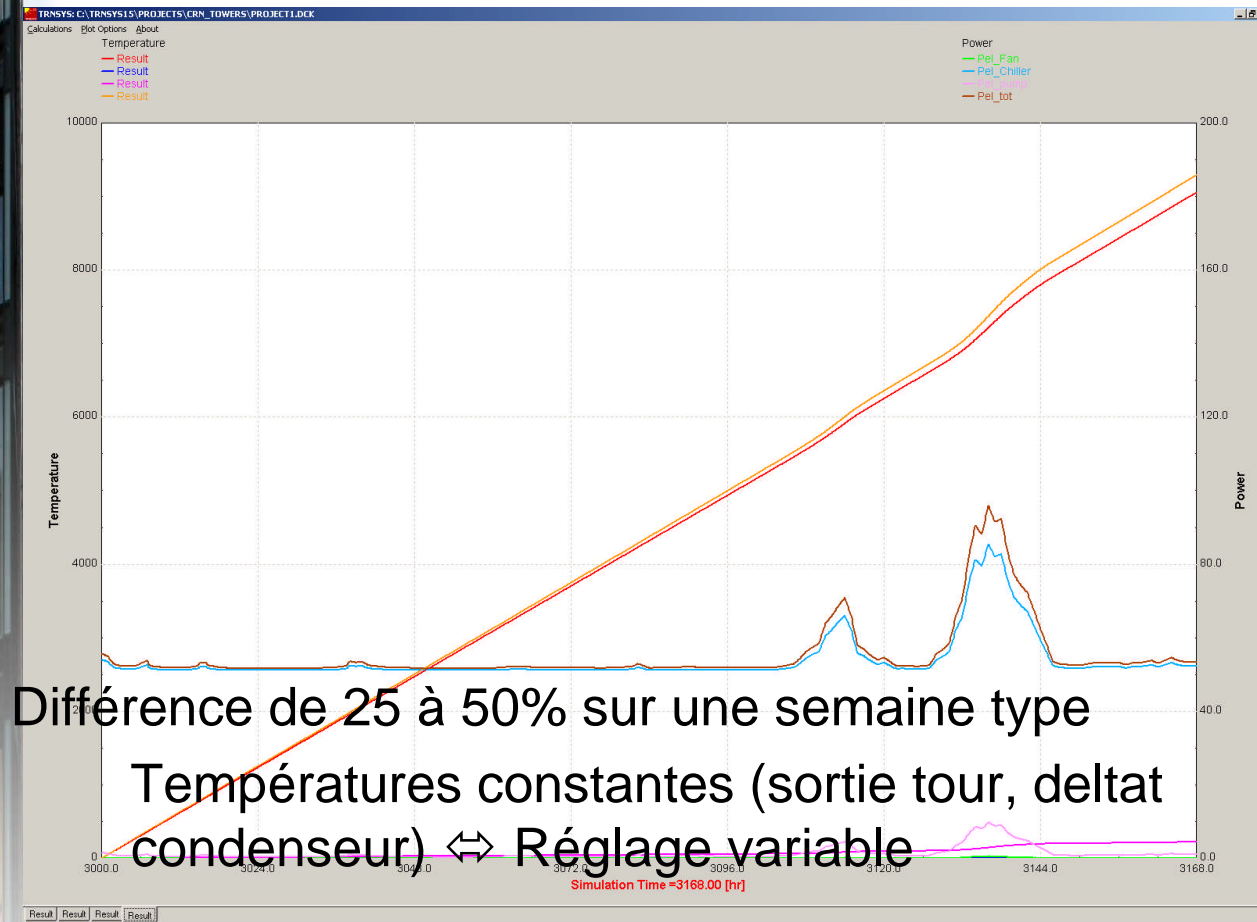
#### Tours de refroidissement

- o Caractéristiques selon calculs spéciaux Baltimore
- o Réglage de consigne (algorithmes optimaux)

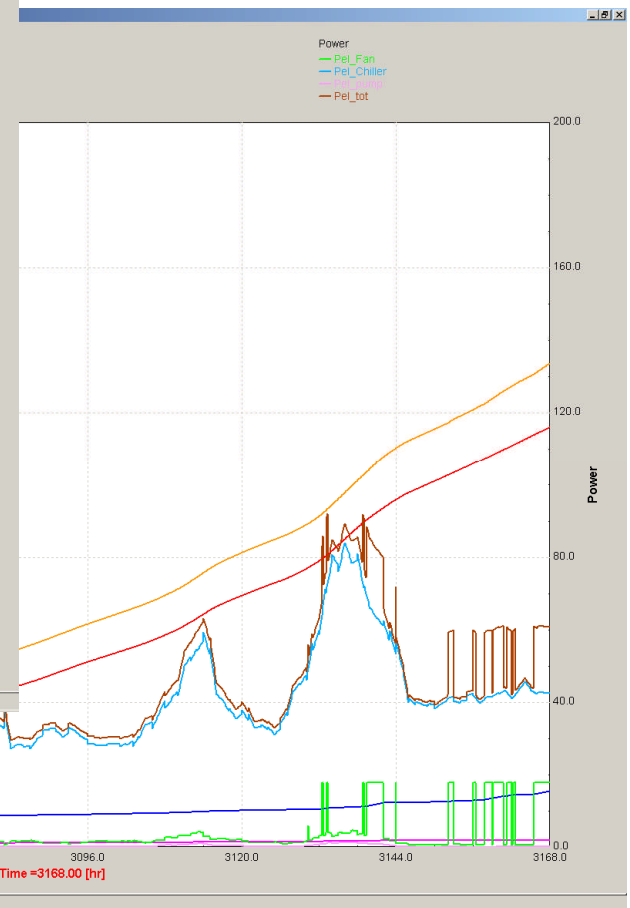
#### Pompes de refroidissement

- o Caractéristiques à débit variable
- o Réglage de consigne sortie condenseur optimal





Différence de 25 à 50% sur une semaine type  
Températures constantes (sortie tour, deltat  
condenseur) ⇔ Réglage variable



# Example of the Nestlé Research Center

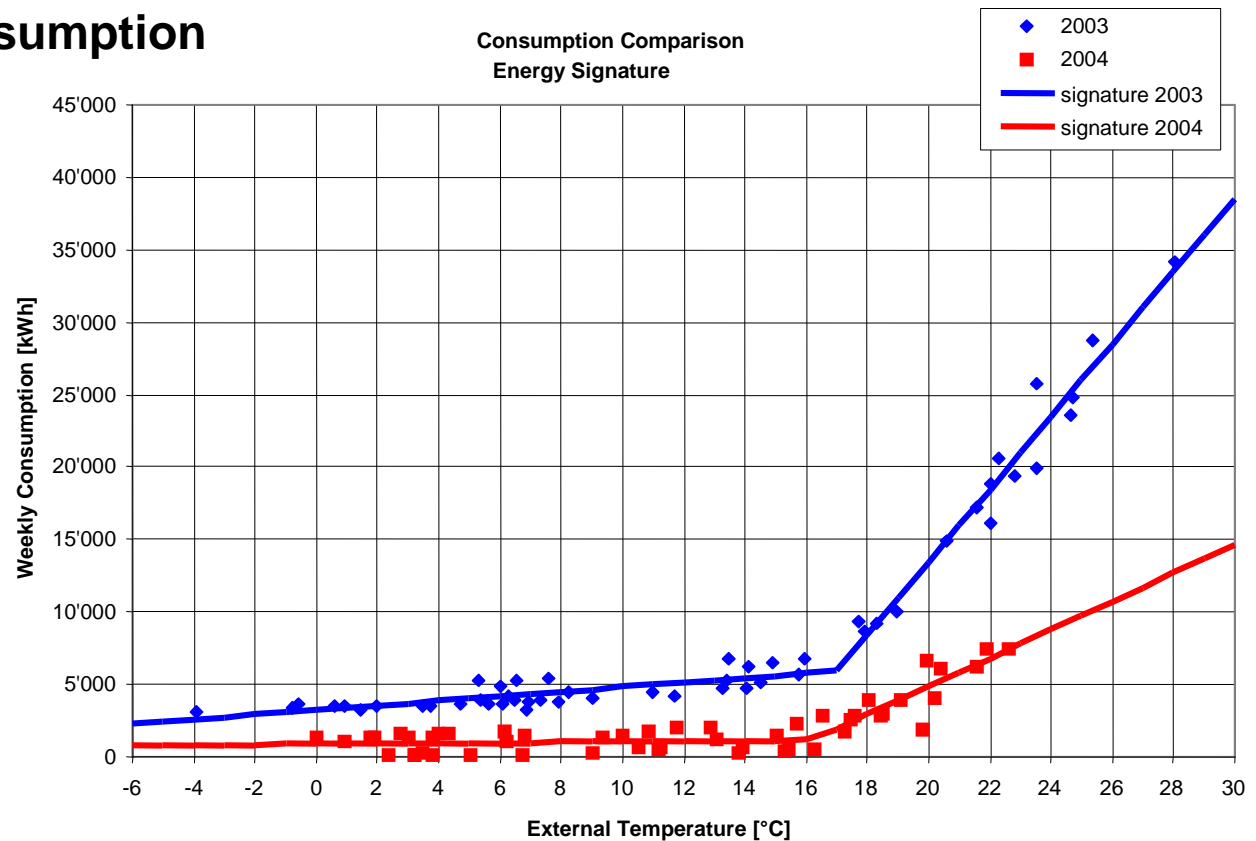
---

- Oversized cooling towers with variable speed fans, with gliding condensing temperature
- High performance variable speed ammonia chillers
- Parallel high efficiency part load
- Efficient free-cooling in winter
- Gliding evaporator leaving temperature of the chilled water 6-12 °C, return at 13-17°C
- HVAC/Computer power ratio < 15-20%



# Example of the Nestlé Research Center Data Center - Central cooling

- Comparison before and after retrofit
- X-axis ambient outdoor temperature
- Y-axis weekly consumption





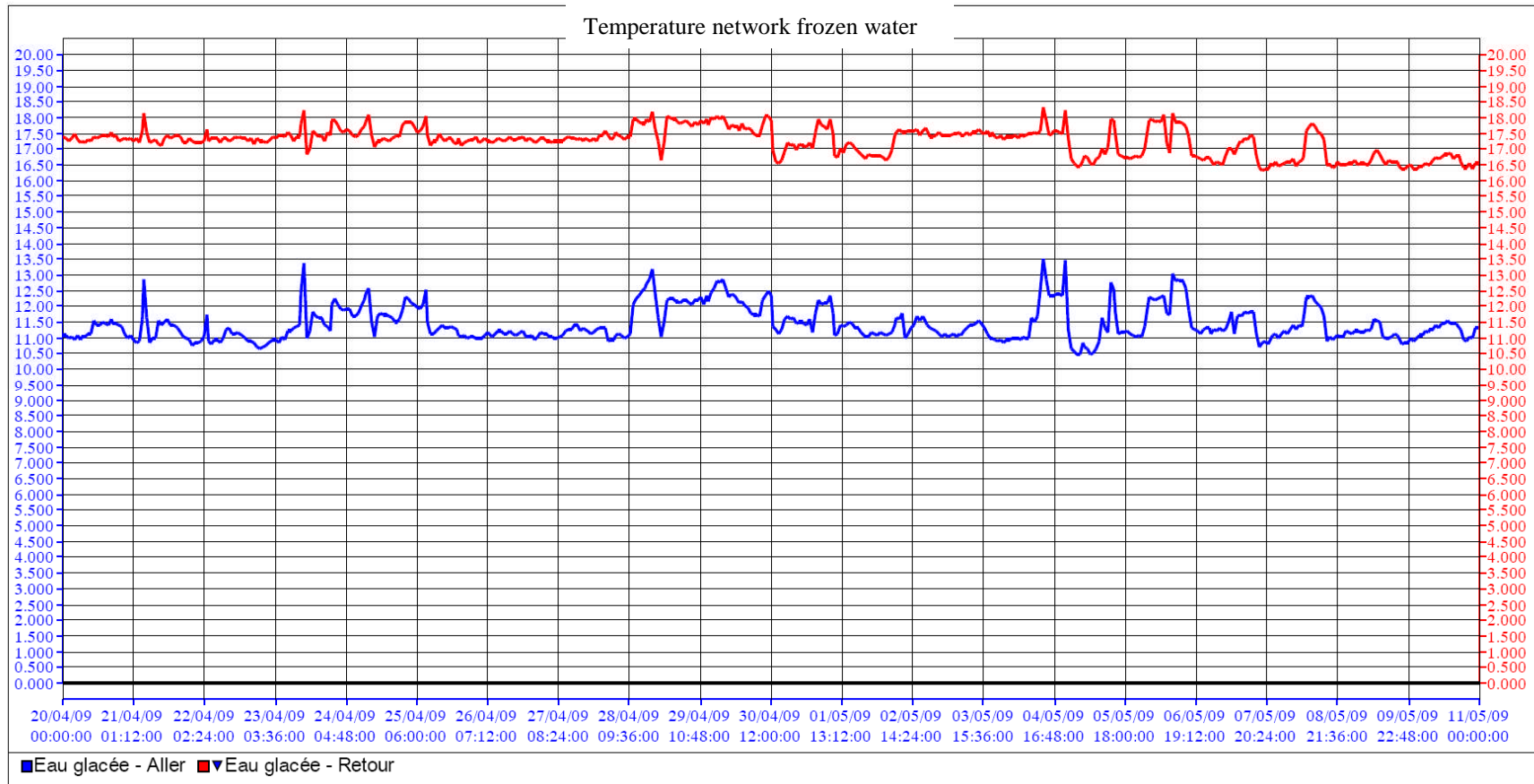
# Example of a Swiss Multinational Data Center - Cooling Retrofit

- Oversized cooling towers with variable speed fans
- High performance variable speed ammonia chillers
- Parallel high efficiency part load
- Efficient free-cooling in winter
- Evaporator leaving temperature of the chilled water raised at 12 °C, return at 17°C



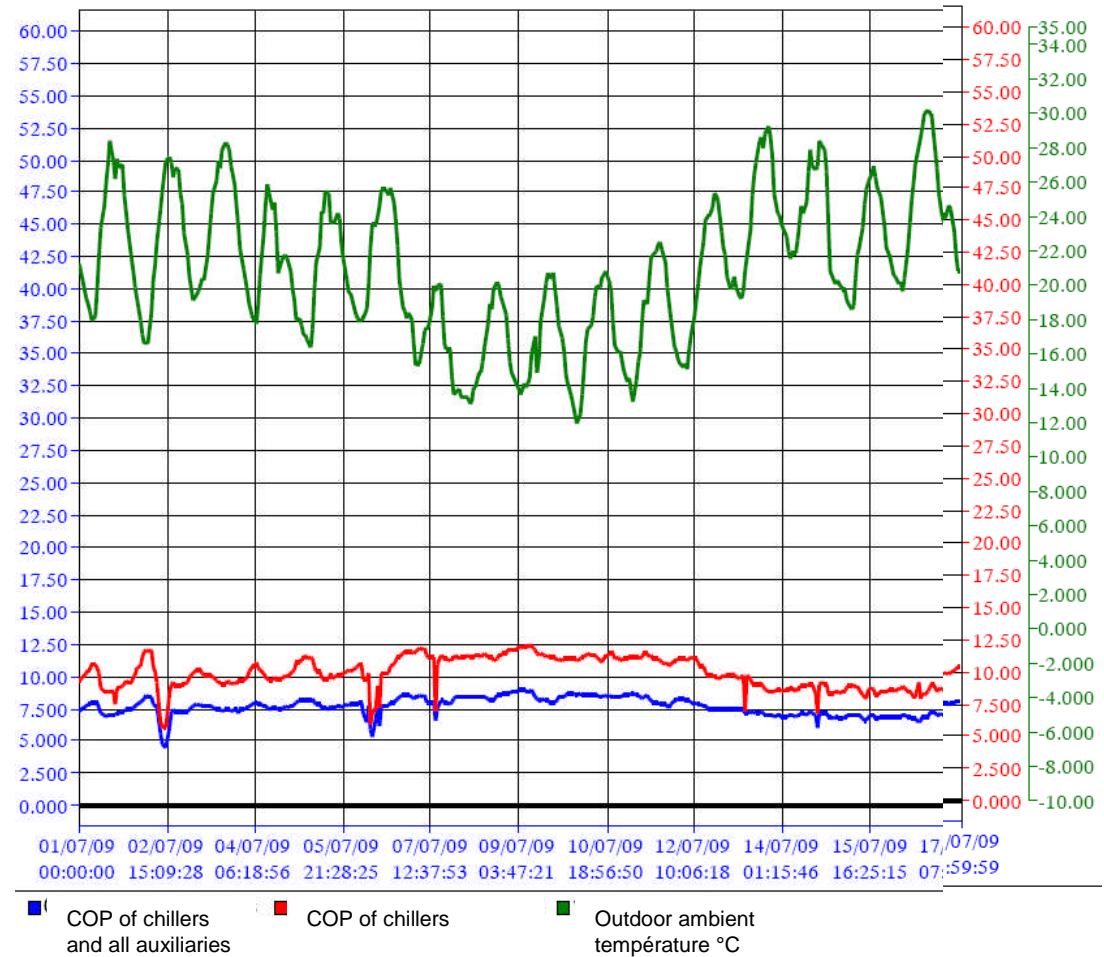
# Example of a Swiss Multinational Data Center - cooling retrofit

- Chilled water supply and return temperature
- Raised from usual 6-12°C to 12-17°C

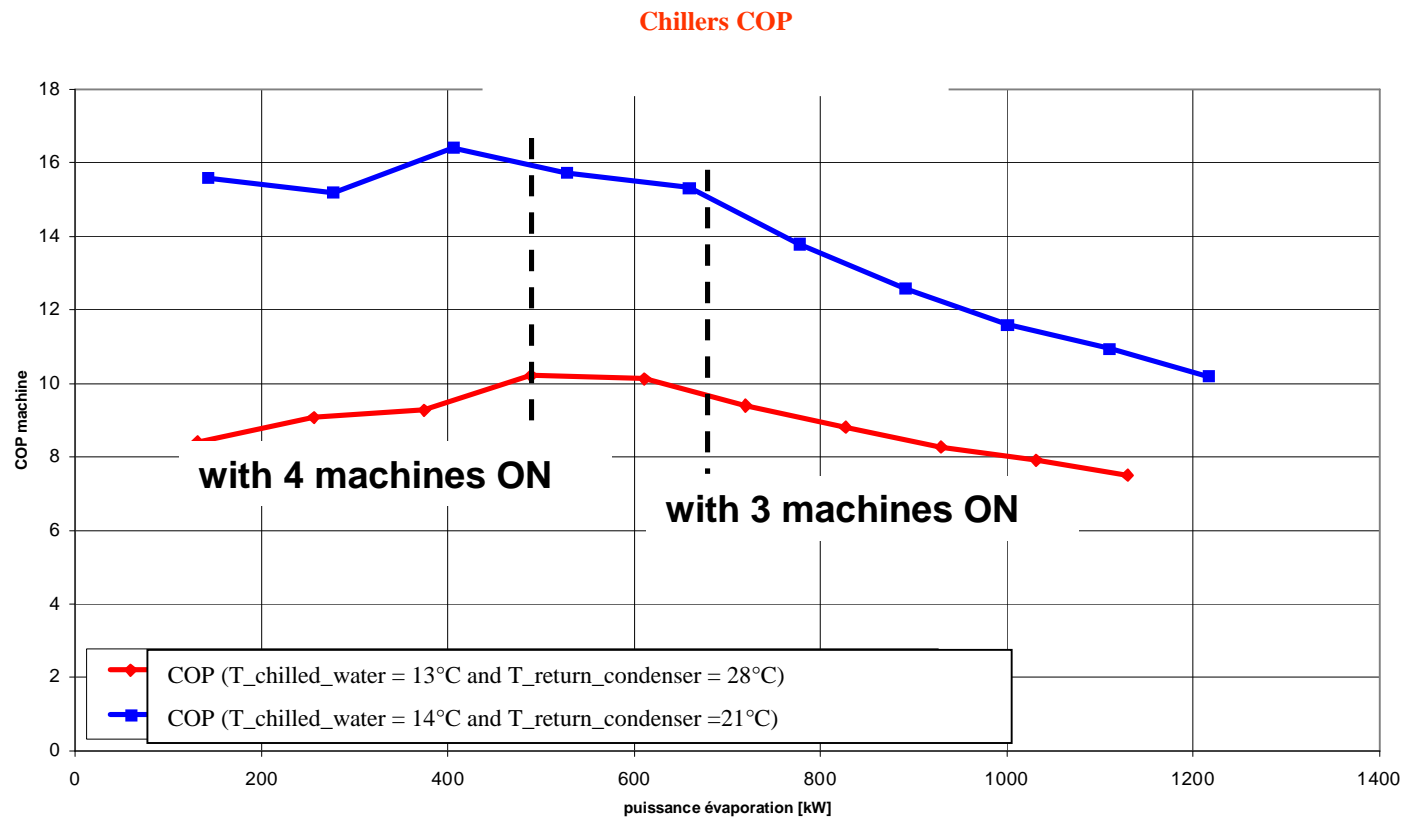


# High performance cooling system

- COP of chillers ranging between 9 and 12.5
- COP of chillers and all auxiliaries included higher than 7.5



# Multi-chillers control strategy high performance on partial load (variable speed controls)

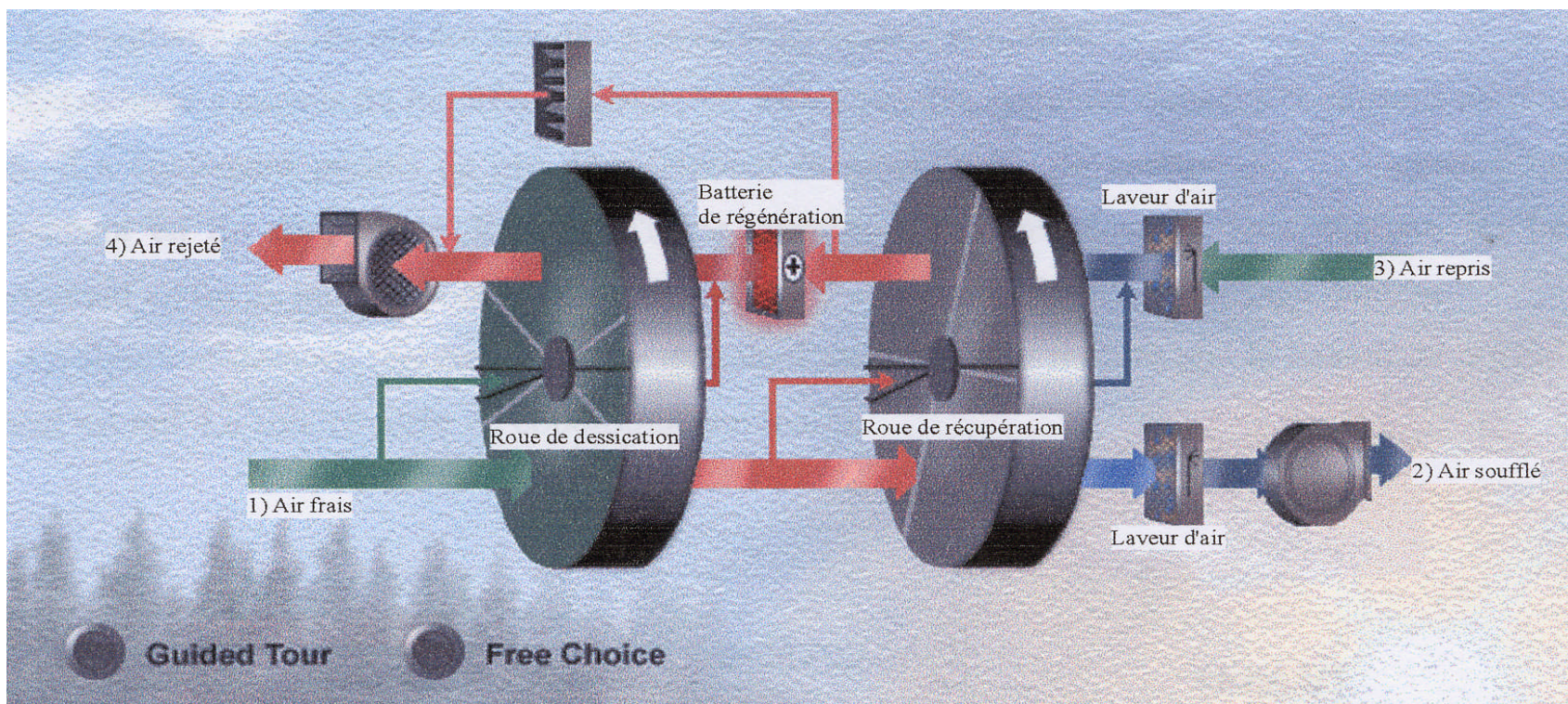




## Institutions Cantonales CMN / HEG

### ➤ Refroidissement par dessiccation

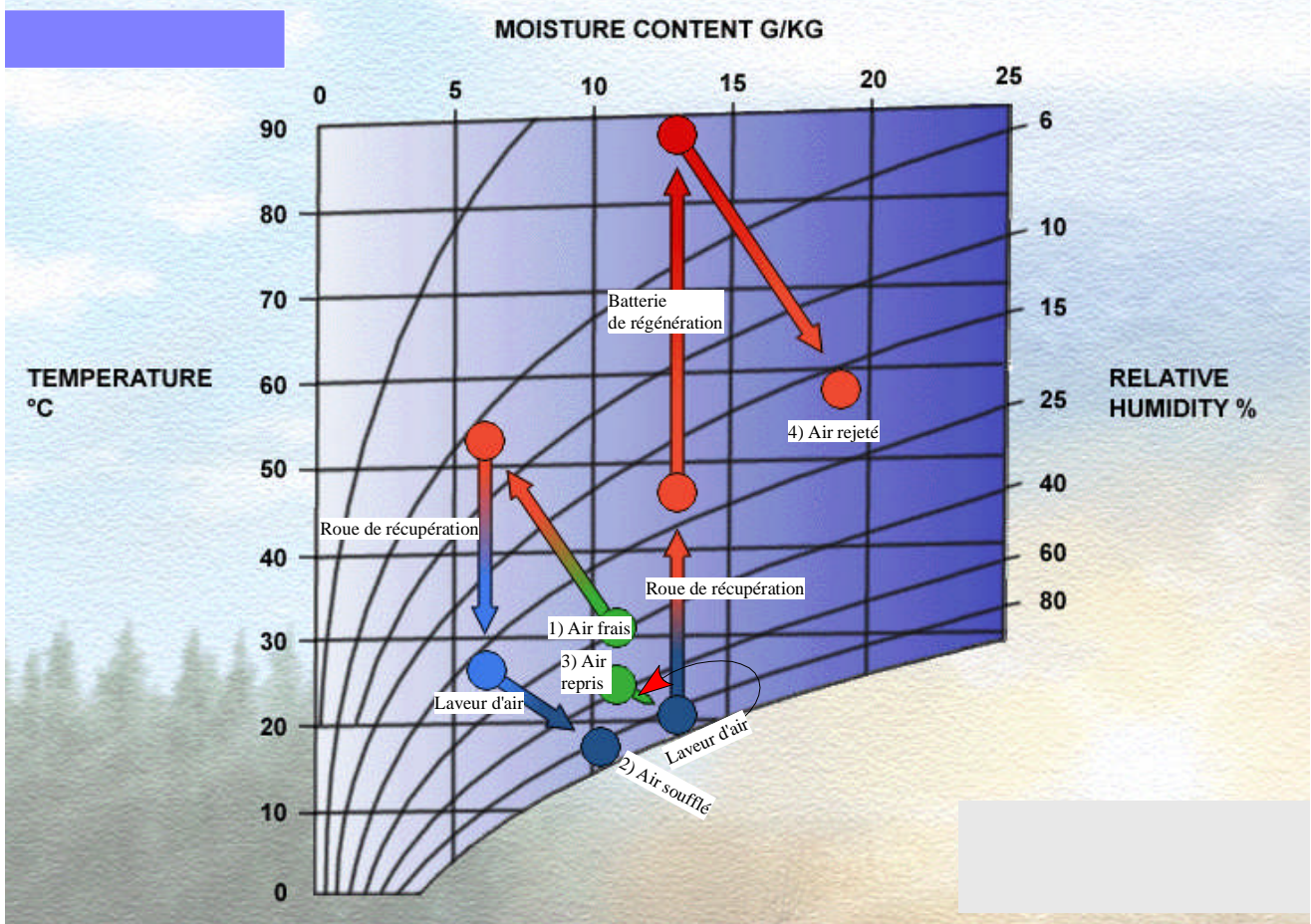
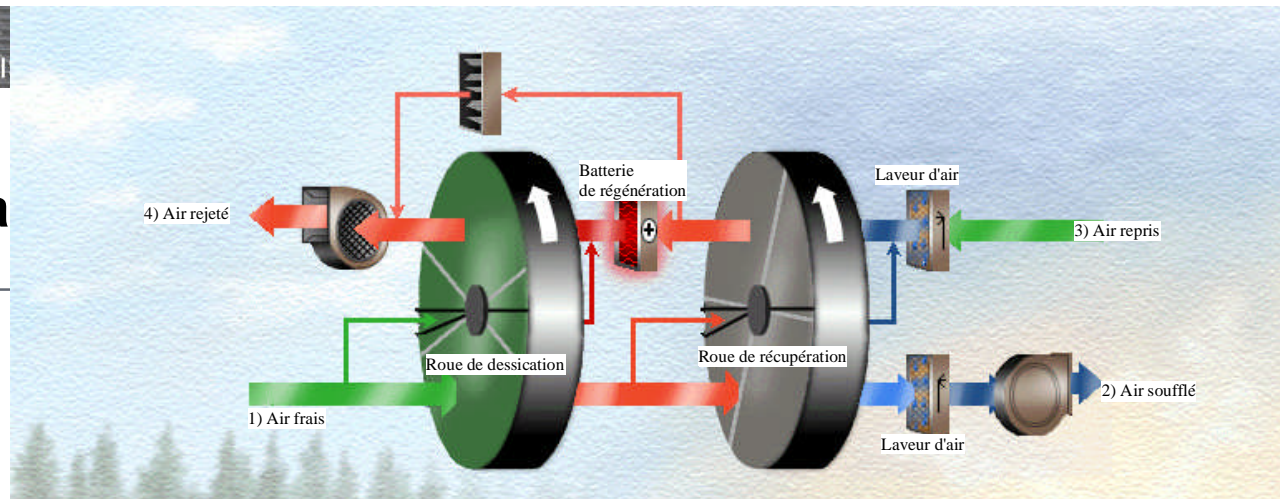
- o Monobloc de ventilation spécial ( pas de machine de froid )
- o Utilise de chaleur ( 60 - 75 °C ) pour refroidir l'air de pulsion
- o Coefficient de performance 1 kWh thermique donne 0.7 kWh froid





## Dessicca

- Dessiccant cooling (Refroidissement par dessiccation)
- Source de chaleur
  - Rejets (cogénération, incinération, ...)
  - Solaire
- Simplicité (pas de machine de froid)

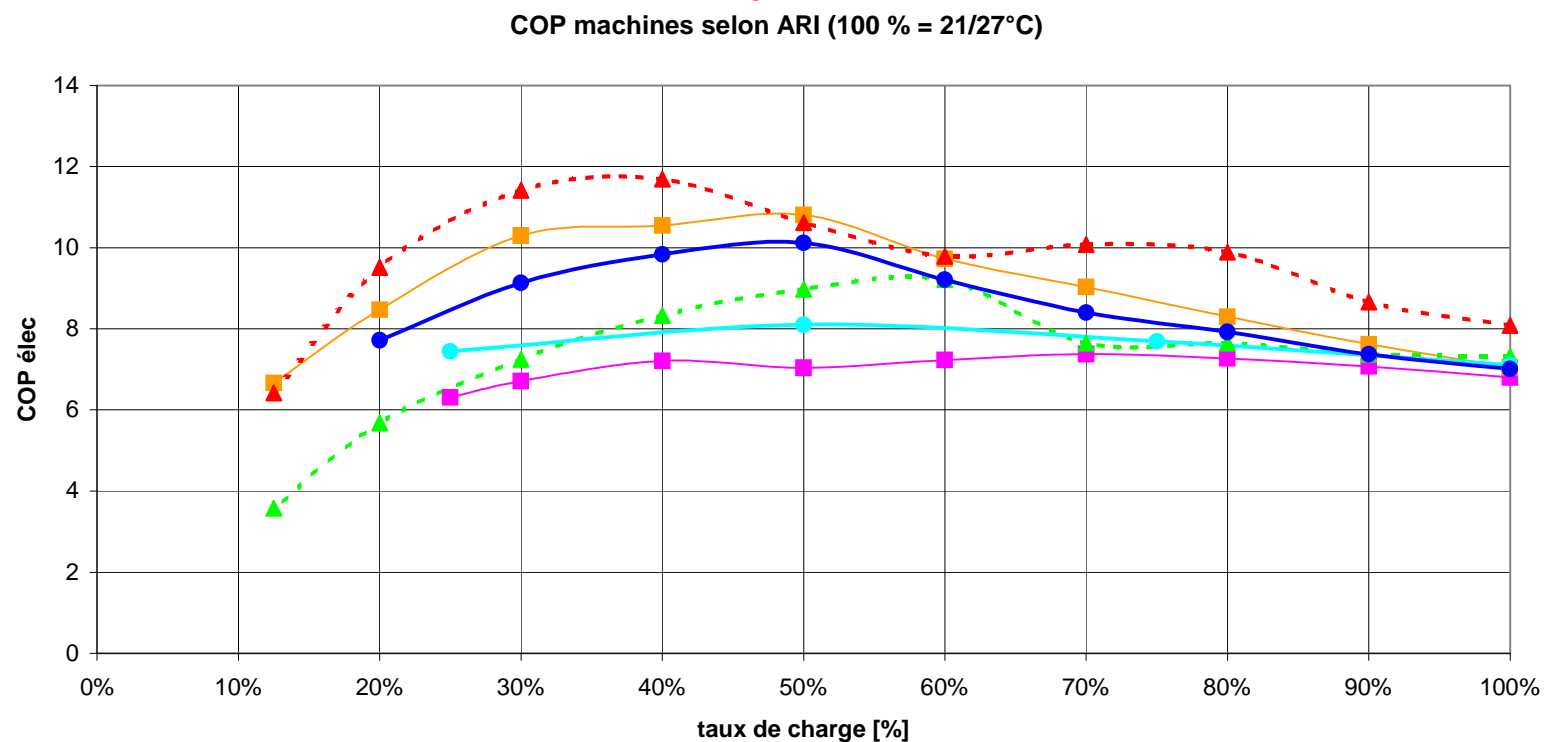


## ➤ Mesures d'optimisation dans le domaine du refroidissement

- o Température glissante de l'eau glacée

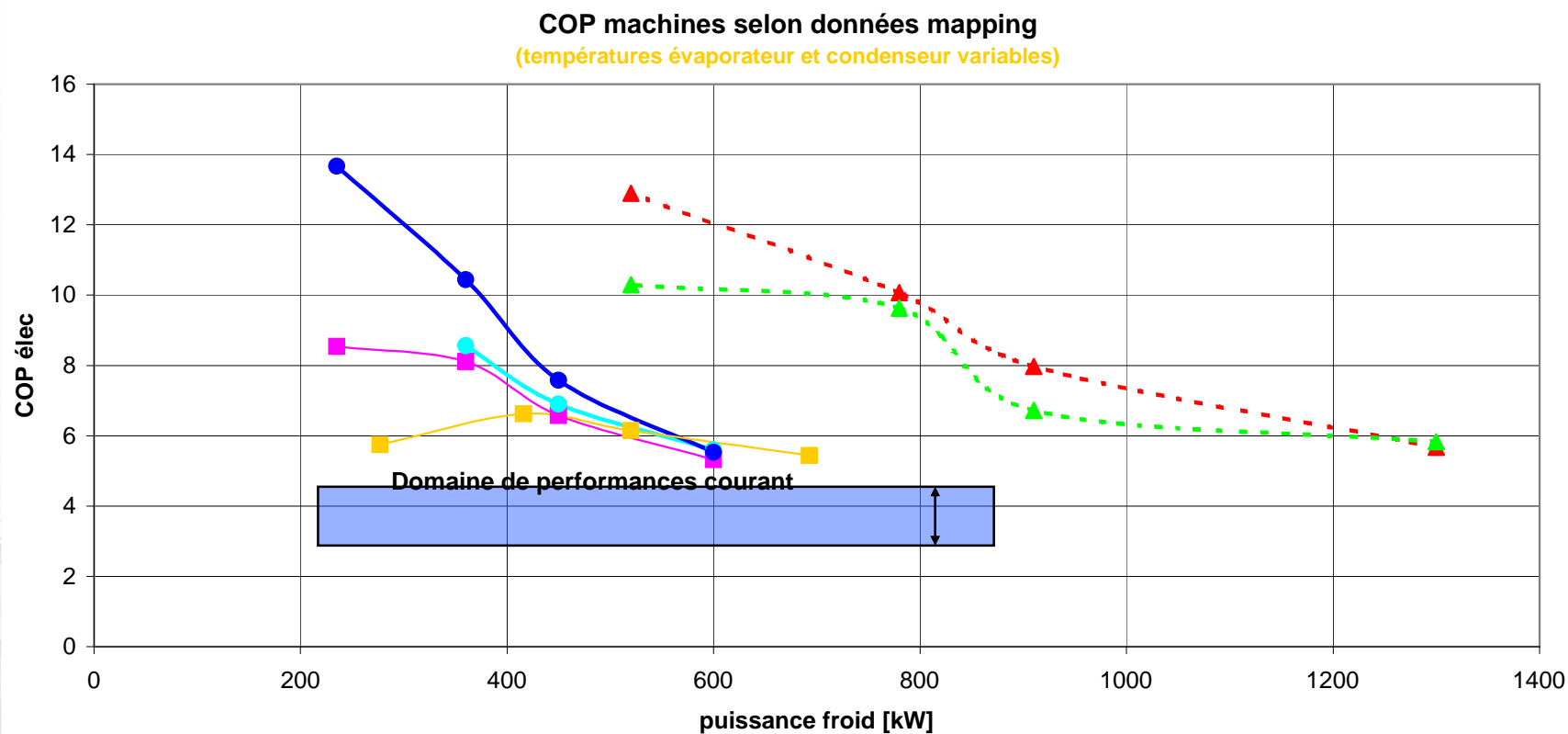


# COP refroidissement 21/27 °C





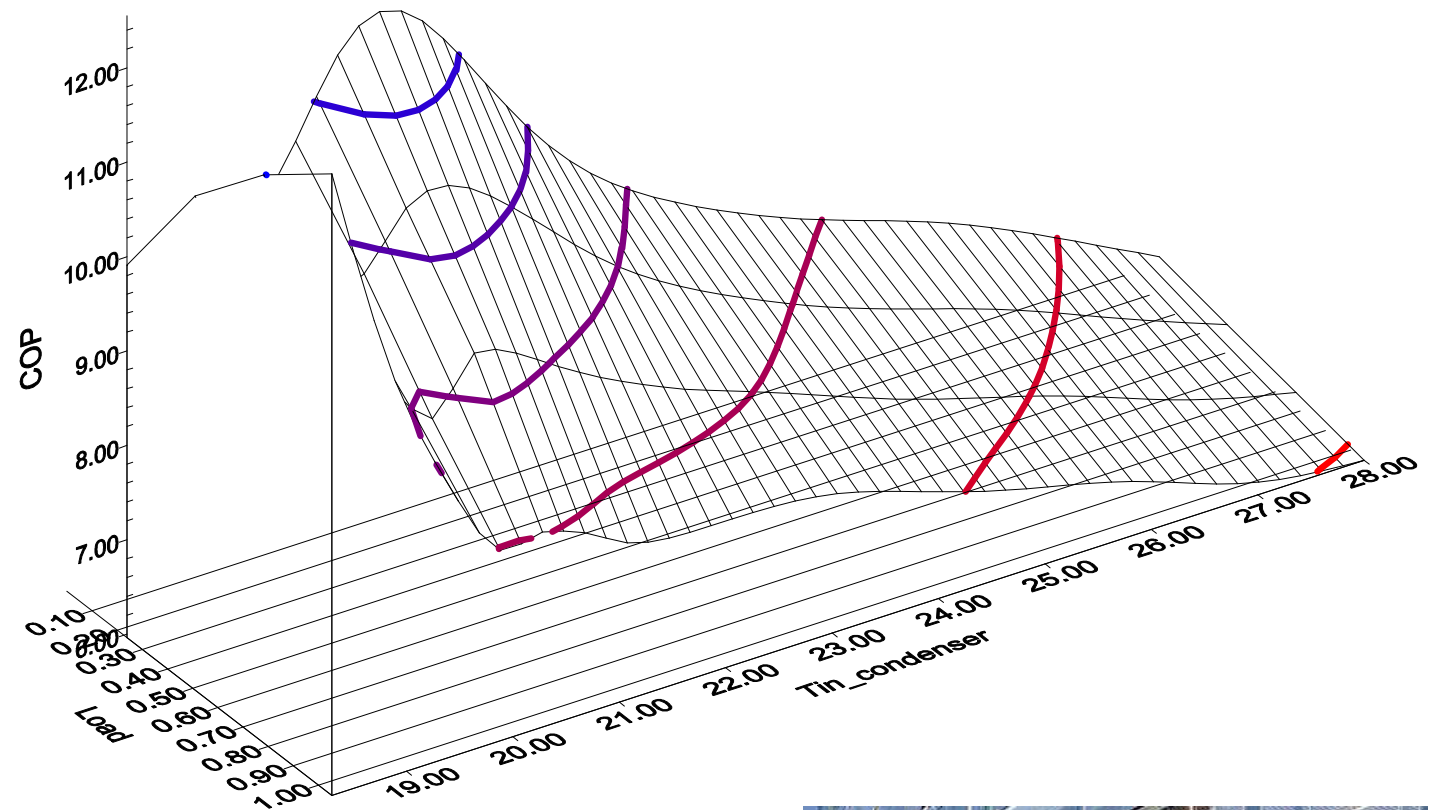
# Choix des machines en fonction de la demande



# Mapping pour modélisation des machines de froid

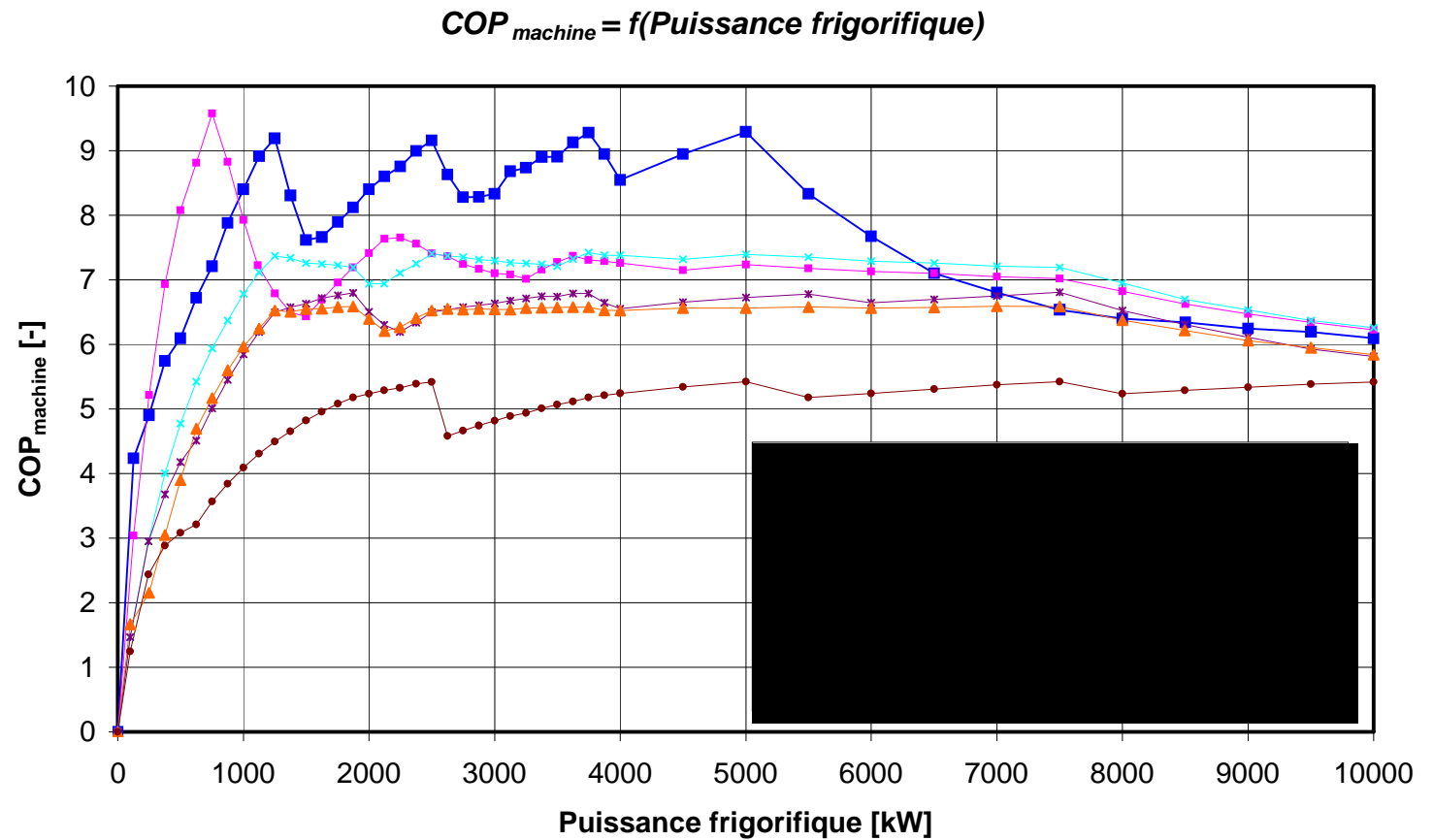
## COP en fonction

- o Température de retour au condenseur
- o Taux de charge



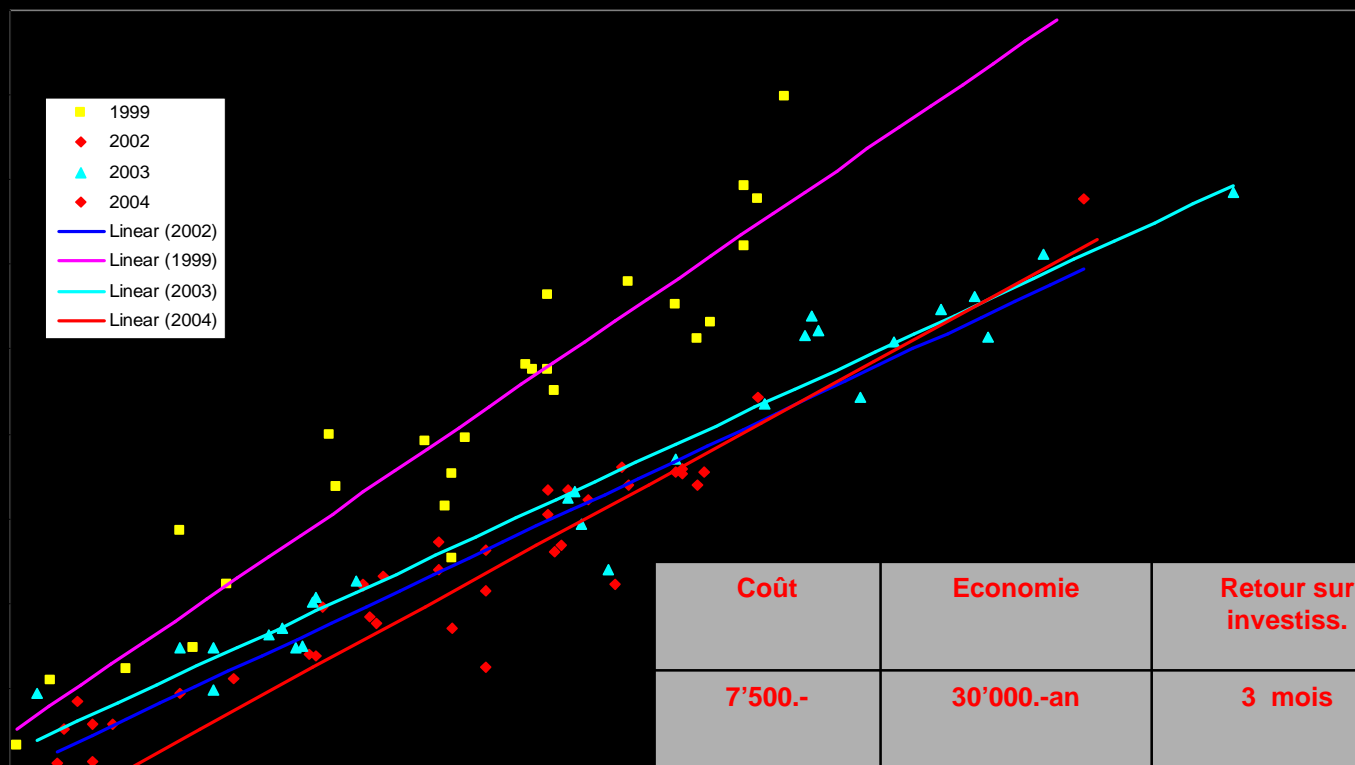
# COP avec cascade Architecture multi-machines

Performances  
proches à  
charge nominale  
Performances  
très différentes à  
charge partielle  
!!!



## CHUV: actions et résultats dans le cadre de l'abonnement RESULTATS

### ➤ Action 043 – Température eau glacée glissante au BH



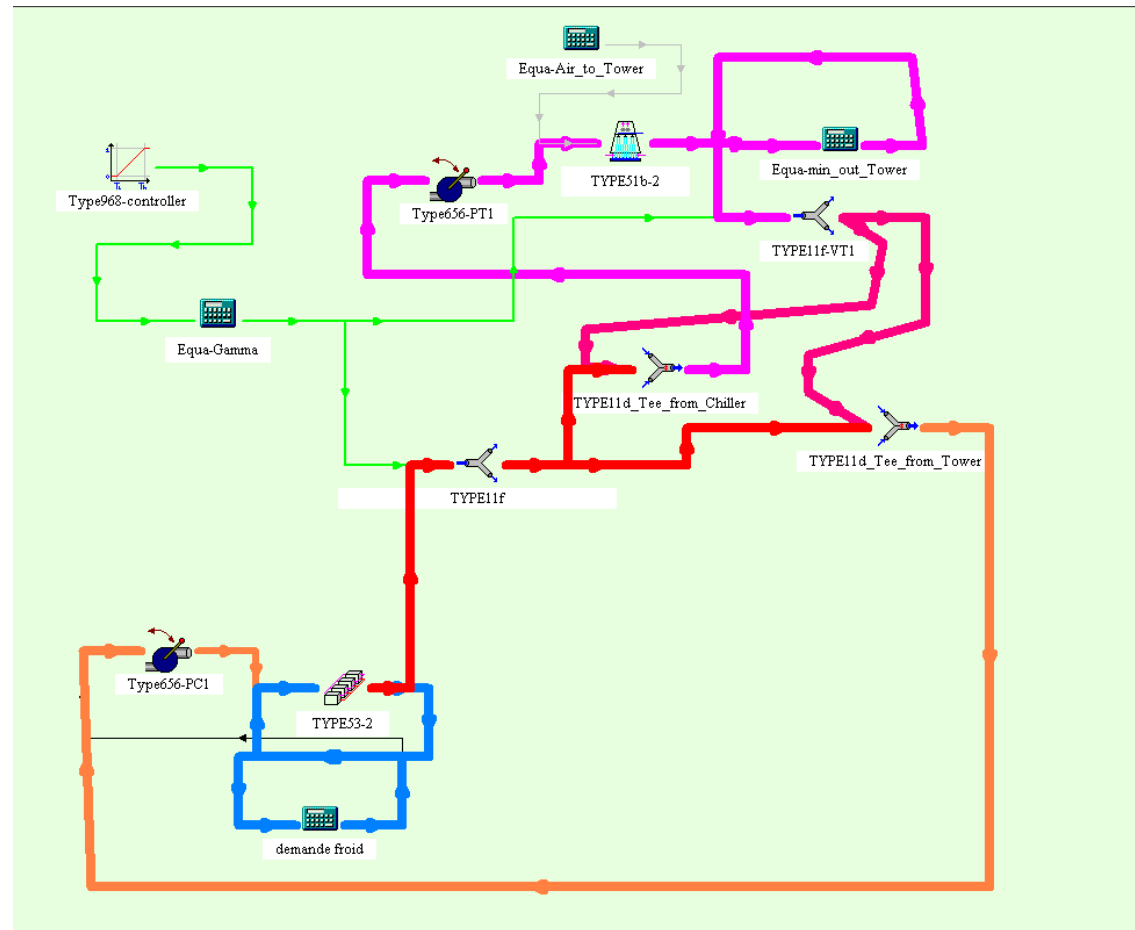


# Action 012 – Optimisation des tours de refroidissement du BH, Simulation

## ➤ Problème:

- o Air extrait utilisé pour refroidir les tours de refroidissement
- o Solution: mettre des clapets pour permettre d'utiliser l'air extérieur lorsque la température est plus basse

## ➤ Analyse dynamique avec TRNSYS



**ENERGHO: RESULTATS**

➤ **Action 012 – Optimisation des tours de refroidissement du BH**

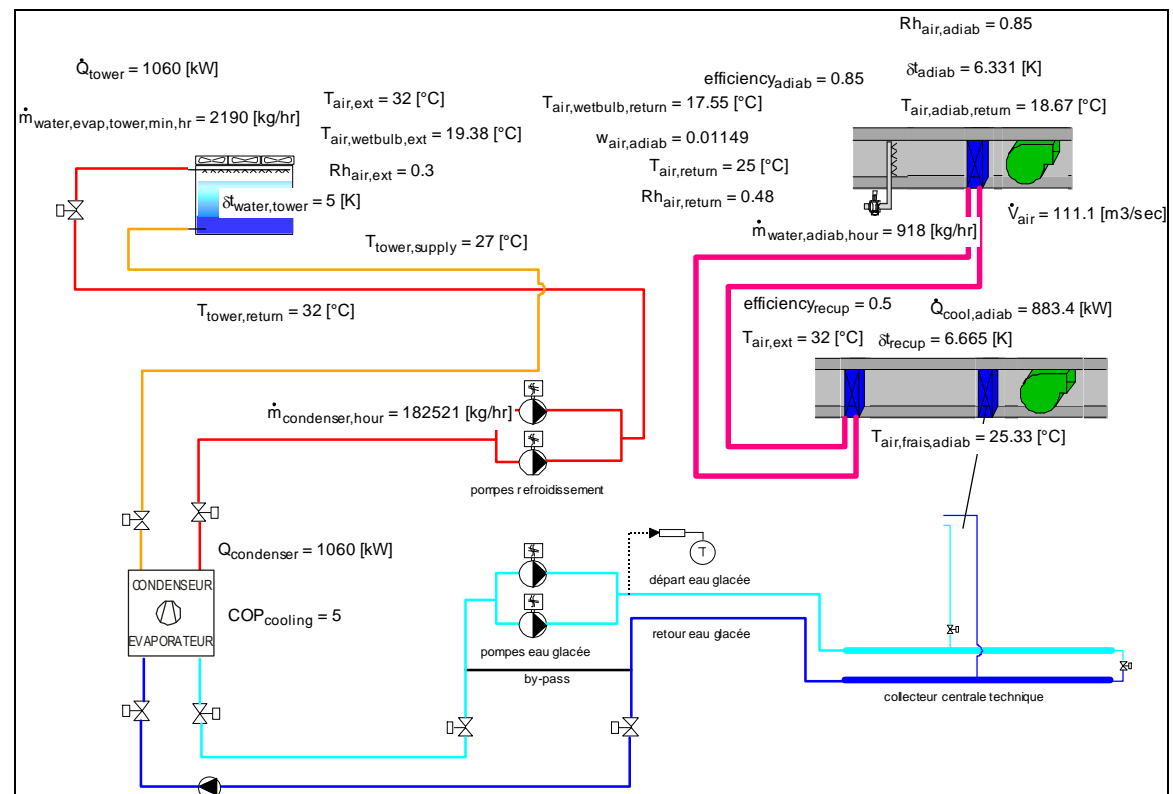


Coût	Economie estimée	Retour sur investiss.
60'000.-	20'000.-an	3 ans



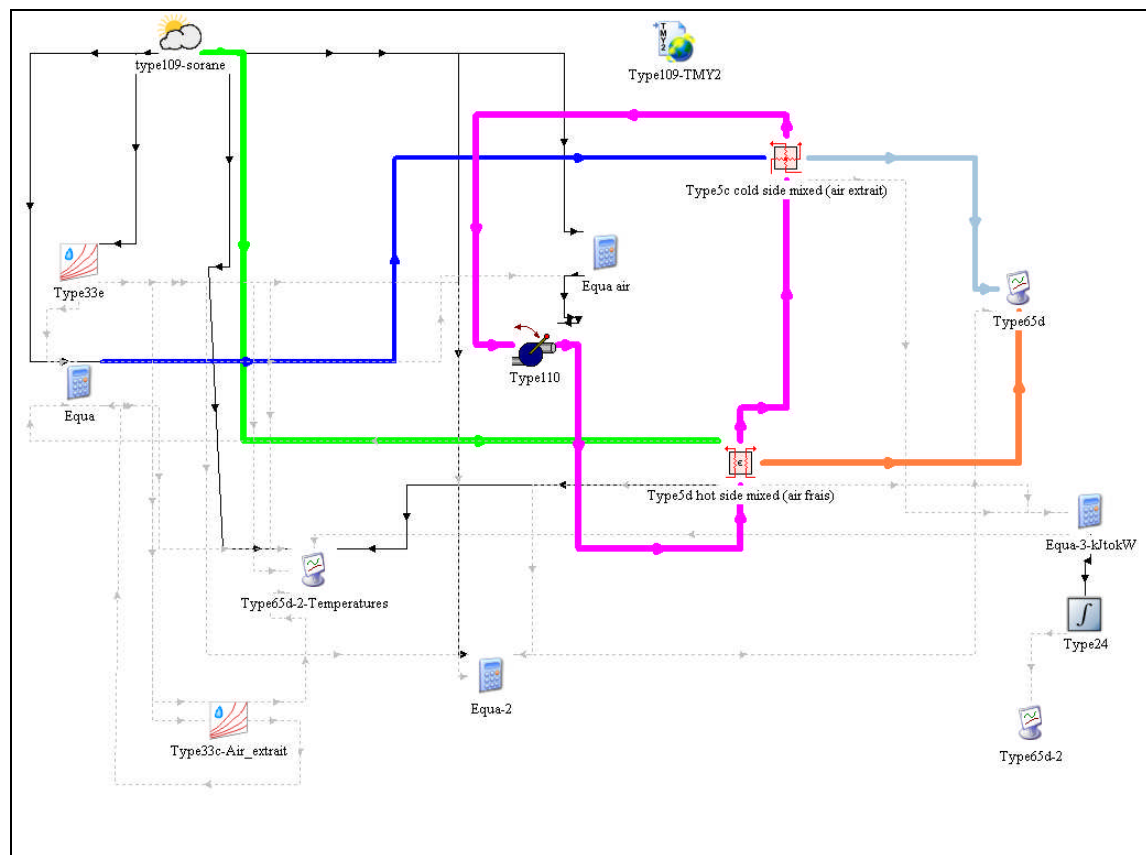
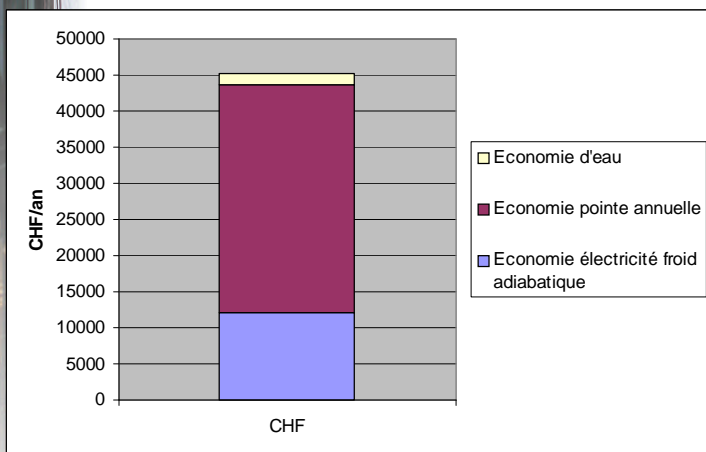
# Refroidissement adiabatique

- Analyse de principe
- Projet en cours
- Economie de ~1 MW de froid en pointe



# Refroidissement adiabatique sur l'air extrait

## ➤ Analyse par simulation (TRNSYS)

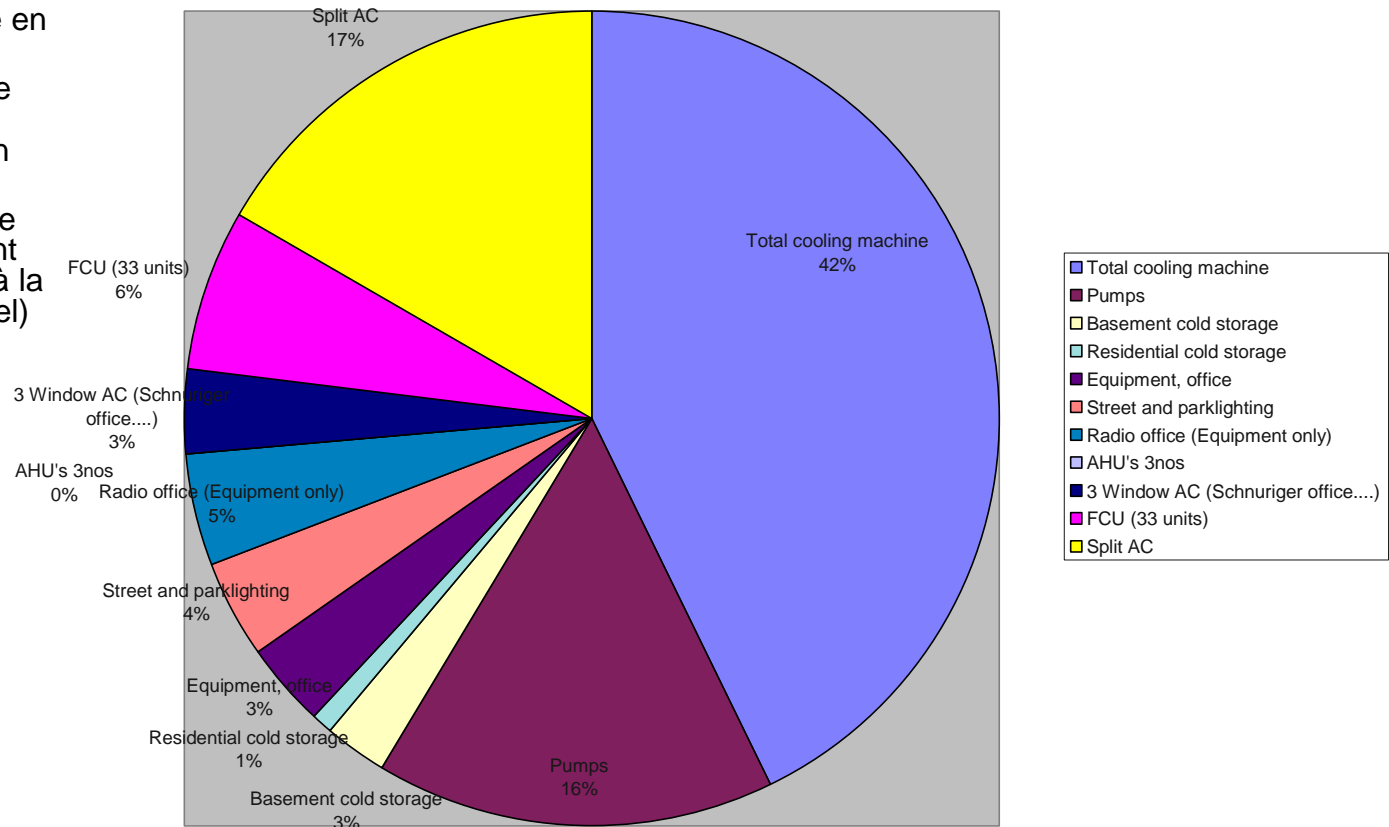




# Inde: La problématique du contrôle climatique dans les bâtiments

## Exemple:

- o Répartition des consommations d'électricité dans un bâtiment administratif avec un bon éclairage naturel, faible équipement informatique en période chaude à Delhi
- o L'énergie pour le contrôle climatique représente ~ 80% de la consommation d'électricité
- o En Inde, les émissions de CO<sub>2</sub> pour l'électricité sont environ 8 x supérieures à la Suisse (~1kg CO<sub>2</sub>/kWh el)



# Bâtiments résidentiels en Inde

---

- Dans le cadre d'un projet financé par la DDC (Climate Change and Development)
- Mesure et analyse de plus de 1000 logements en zone urbaine (Delhi, Chennai)
- Mise en évidence de la consommation d'électricité pour le refroidissement et des tendances d'augmentation
- Développement de solutions à faible consommation





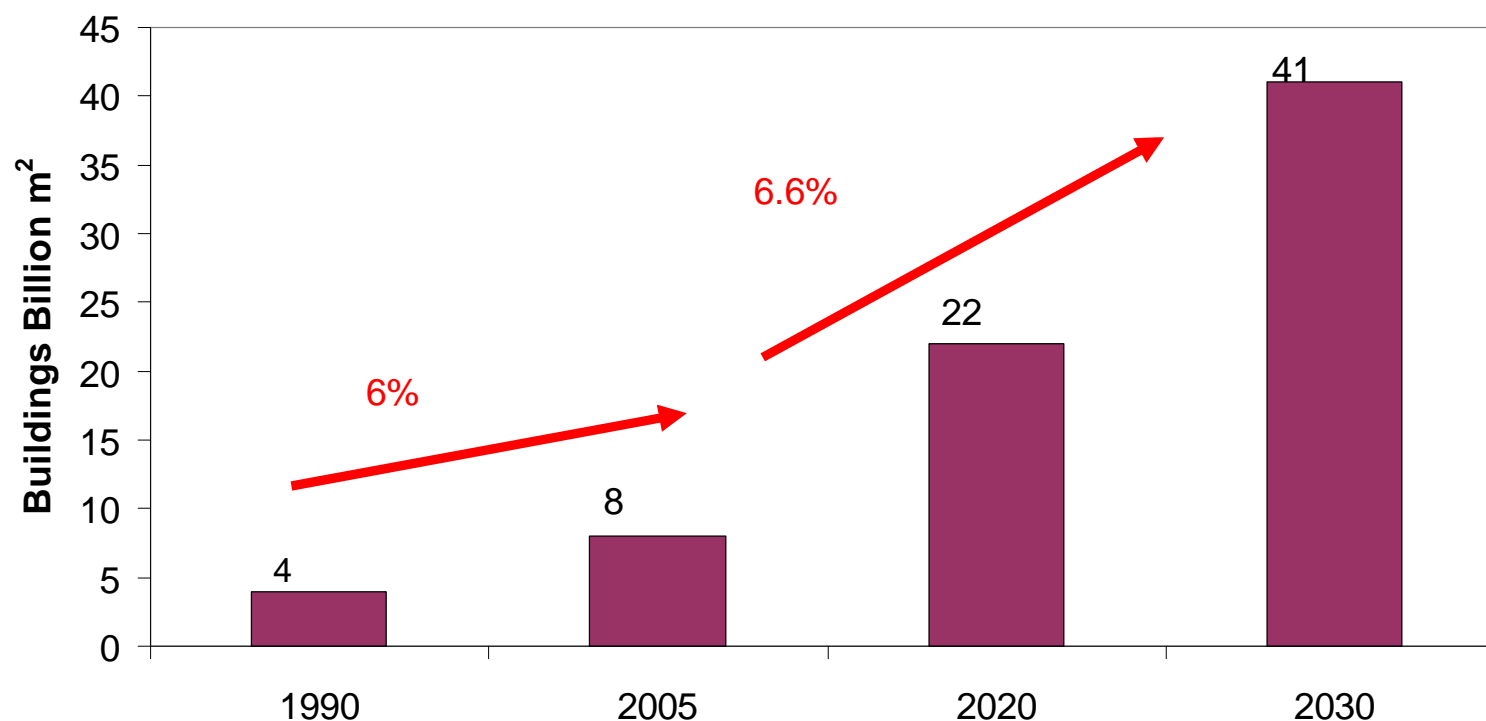


**Residential  
building  
envelopes in NCR**



# Surface construite devrait augmenter d'un facteur 5 entre 2005 et 2030

**Approx. 90% résidentiel; 10% commercial**



Source: Environmental and Energy Sustainability: An Approach for India, McKinsey & Co, August 2009





# Typologie de bâtiments

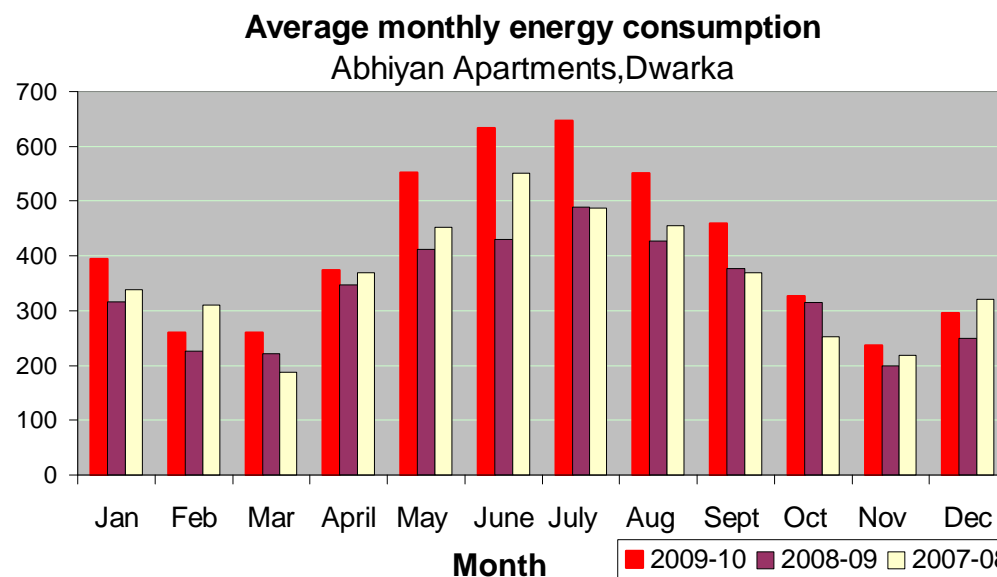
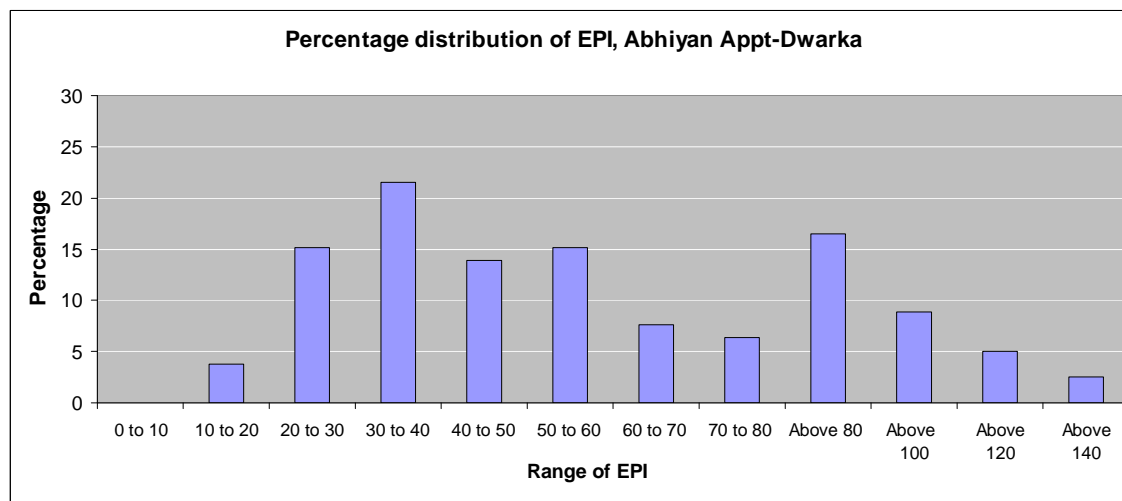
---

- **Un grand nombre de nouveaux bâtiments seront situés en zone rurale pour des gens à faible revenu, mais une partie significative et en augmentation sera pour les classes moyennes et supérieures**



# Consommation d'énergie de logements des classes moyennes et supérieures

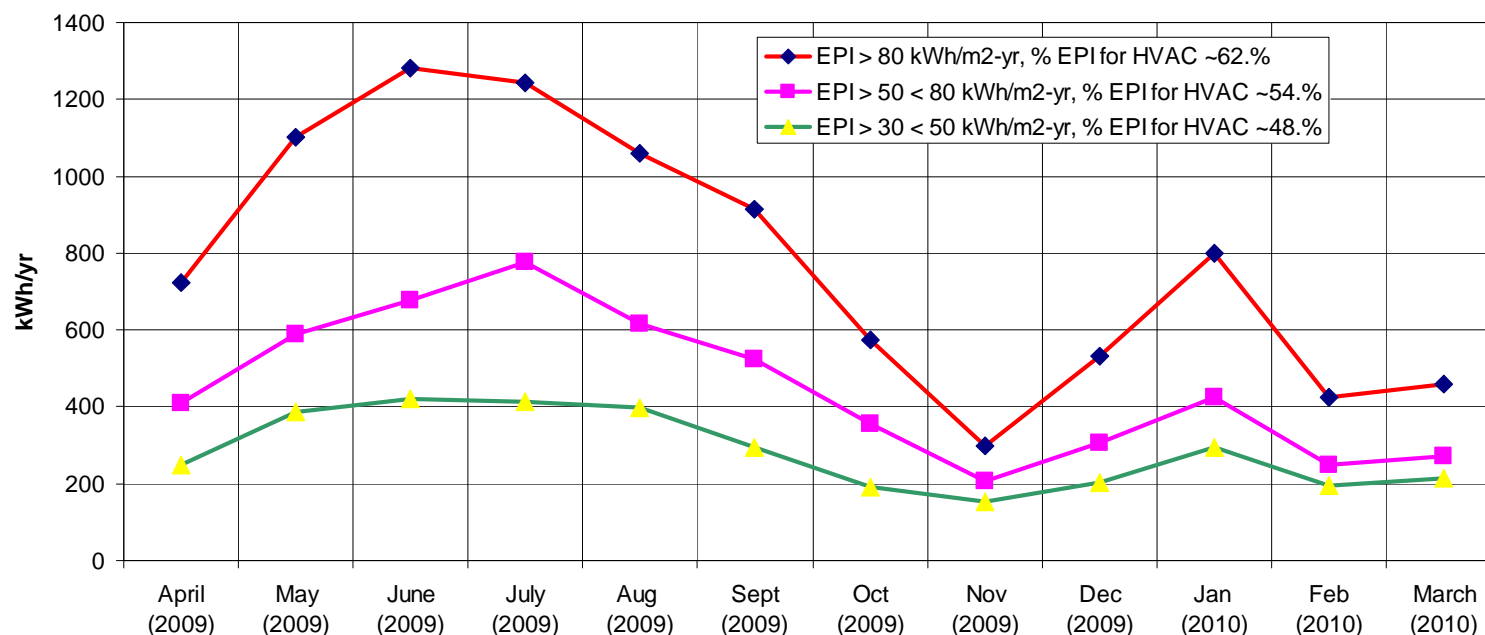
- Fréquence de distribution des consommations spécifiques en énergie électrique (kWh/m<sup>2</sup>-an)
- Profil de demande moyens d'appartement dans la région de New Delhi (kWh/mois)
- On peut noter une augmentation de l'ordre de 8-12 %/an



## Consommation d'énergie et par du refroidissement

Une analyse par catégorie de niveau de consommation montre que les profils de consommation mensuelle sont assez similaires. On identifie sur les profils les augmentations très significatives de consommation pour le refroidissement et dans une moindre mesure pour les besoins d'eau chaude et de chauffage en hiver

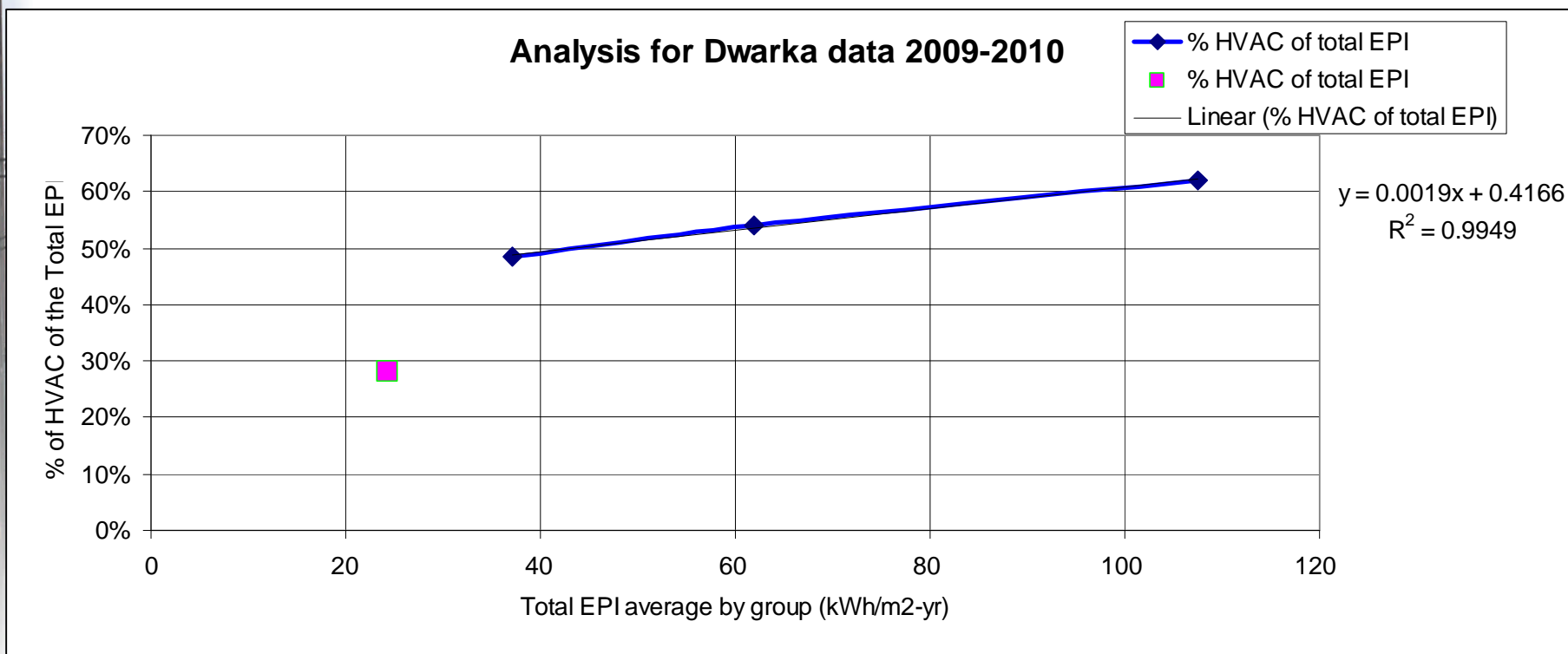
Dwarka data EPI for 30-50, 50-80 and > 80 kWh/m<sup>2</sup>-yr



## Part de la consommation d'énergie pour le refroidissement en fonction de la consommation spécifique

Le taux de consommation relative en électricité pour le refroidissement est compris entre 50 et 60 % voire 80%.

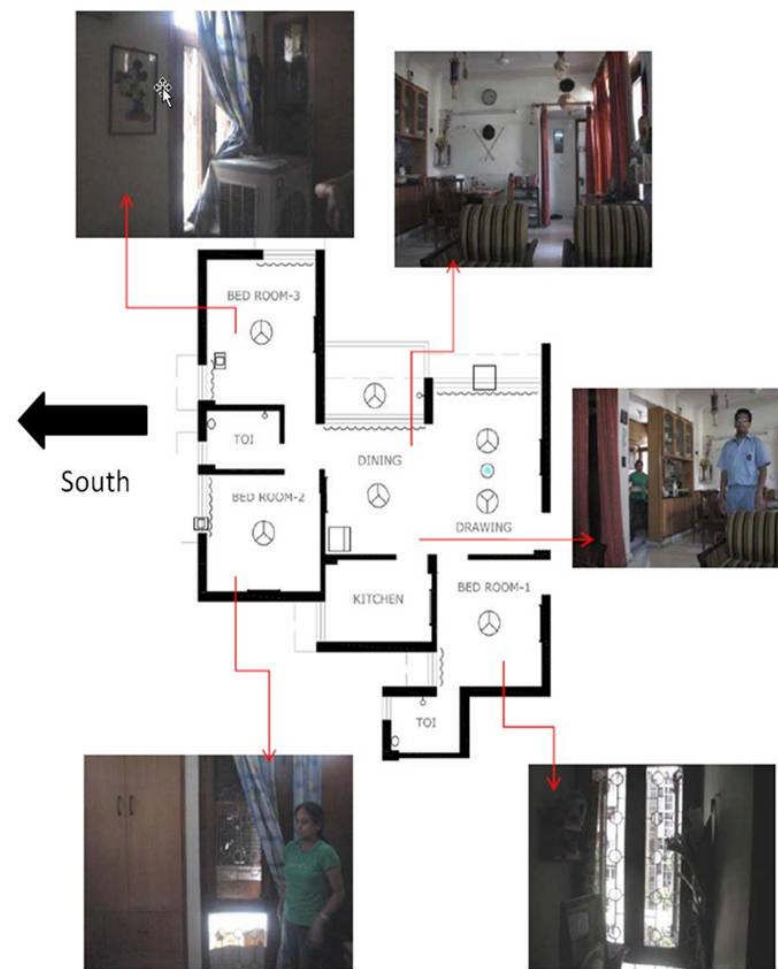
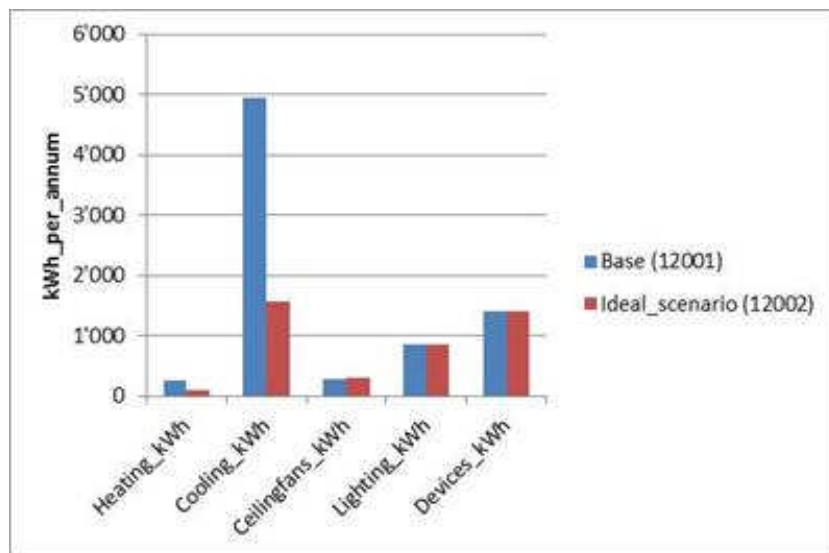
Les logements ayant de très faibles consommations d'énergie ne sont en général pas encore équipés de climatiseur. Mais la tendance montre que le taux d'équipement climatisation augmente très rapidement.





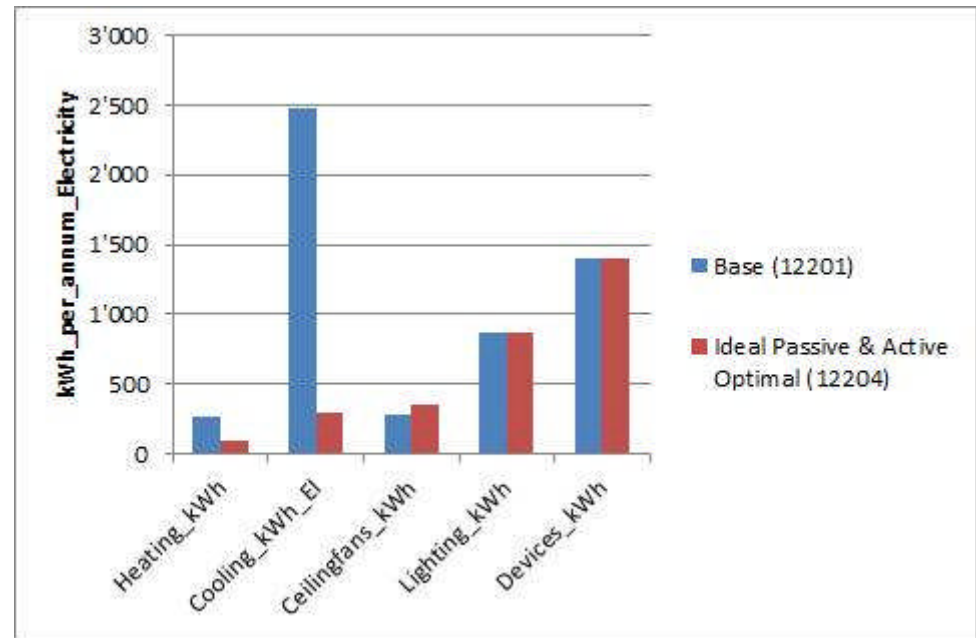
# Stratégies de réduction de la consommation par des moyens passifs

- **Modélisation d'un appartement type**  
(Master Thesis K. Cusack, c/o Sorane, TRNSYS)
- **Mesures testées**
  - o Stores extérieurs
  - o Ventilation naturelle
  - o Double vitrage
  - o Isolation extérieure
  - o Couleur claire des parois
  - o Potentiel de réduction 70% sur les besoins de refroidissement



# Stratégies de réduction au niveau des systèmes

- Mesures passives décrite auparavant
- Climatiseur performant + condenseur évaporatif
- Refroidissement adiabatique double indirect en parallèle
- Réduction potentielle de 88% des besoins de refroidissement





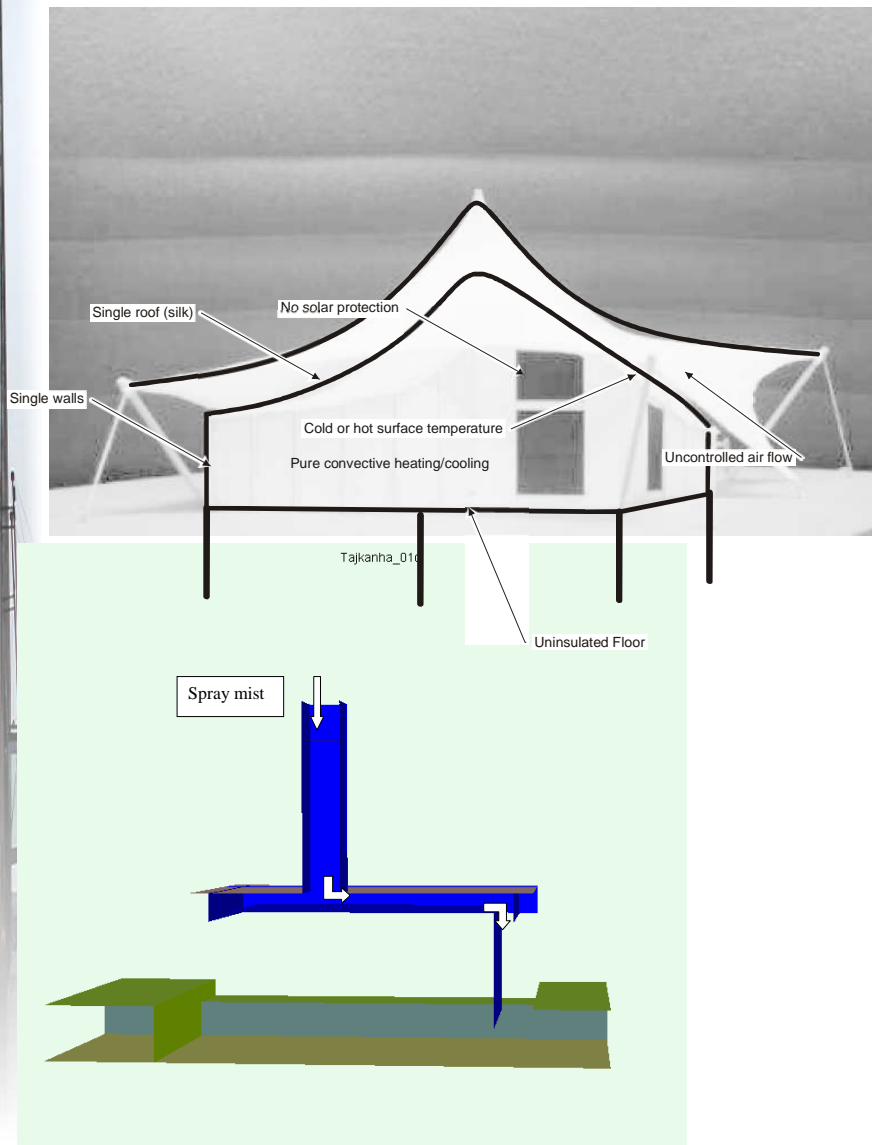
# Taj Kanha Tentes

- Tentes d'un groupe hotelier dans un parc réserve de tigres
- Puissance typique de refroidissement : 20 kW par tente
- Approche alternative par refroidissement adiabatique
- Architecte: Sanjay Prakash

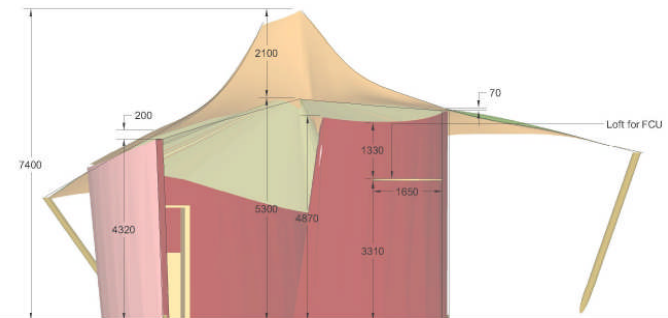
Parc national de Kanha	
Catégorie II de l'UICN (Parc national)	
	
Emplacement :	Madhya Pradesh (Inde)
Ville à proximité :	Mandla
Coordonnées :	22° 20' " N, 80° 38' " E 
Superficie :	940 km²
Création :	1955
Visiteurs/an :	1 000 (en 1989)



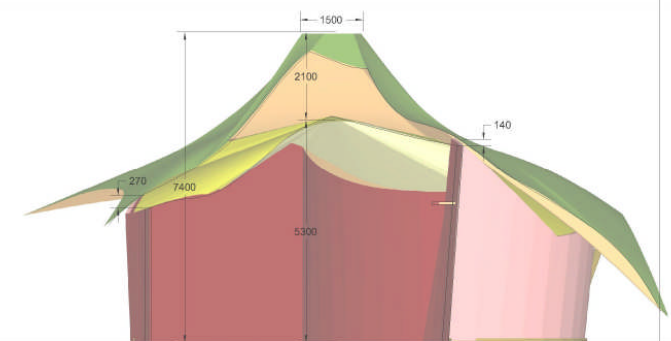
## ➤ Refroidissement adiabatique par effet cheminée descendante autour de l'enveloppe de la tente



## Principe



SECTION AA



SECTION BB

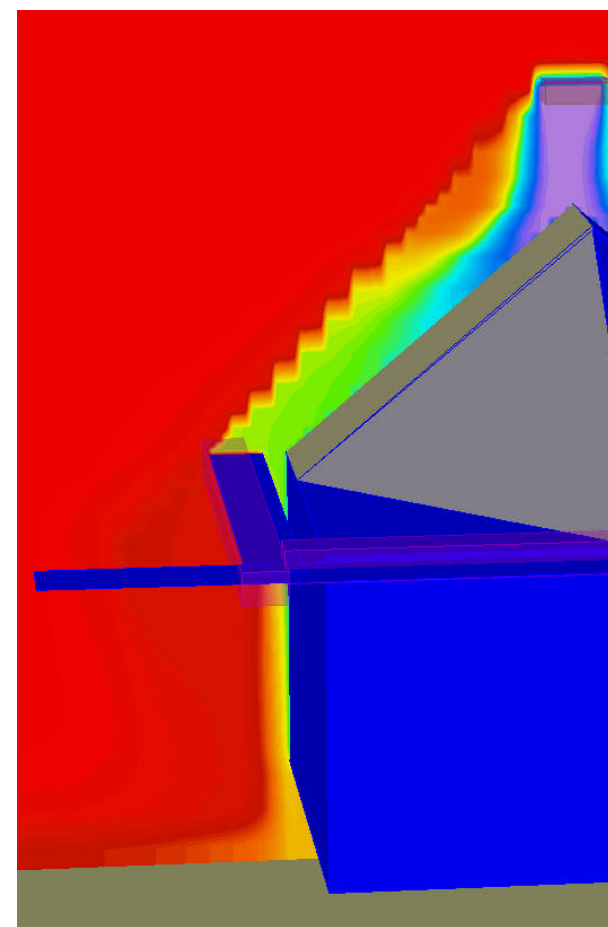
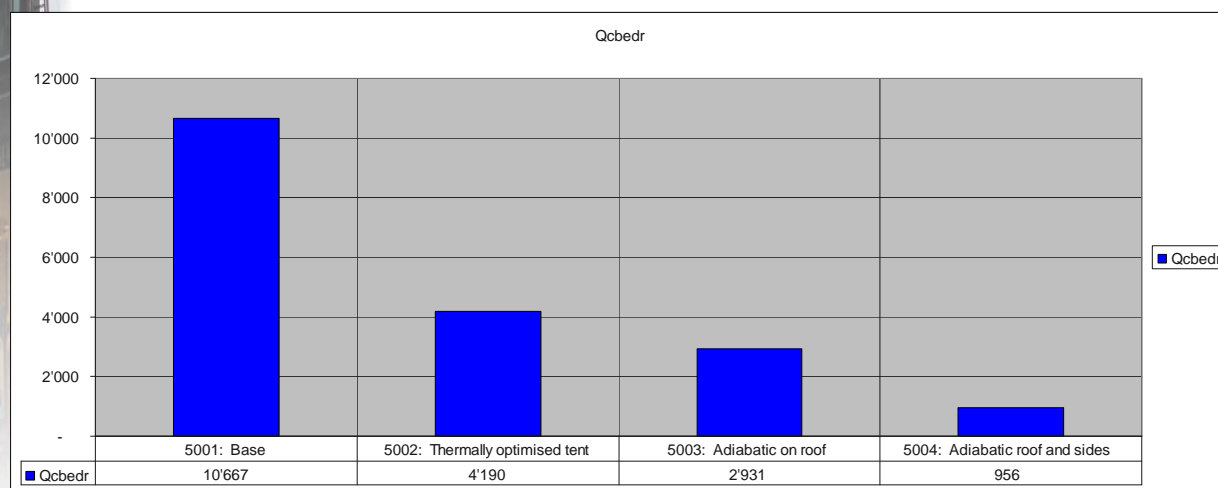


# Résultats

## ➤ Simulation aéraulique

## ➤ Simulation thermo-aéraulique dynamique

*Emerson Cup 2010 Award  
Special Applications: The  
Special Applications Excellence  
award was presented to Sanjay  
Prakash & Associates for Banjar  
Tola, Kanha*



# Conclusions

- En Suisse, on peut se passer de refroidissement actifs pour la plupart des bâtiments si ils sont bien conçus. Seules les zones intérieures avec une forte densité devraient être refroidie.
- Le passage d'une consigne de température de 28°C à 24 °C augmente la consommation de froid de 60% dans un climat comme New Delhi
- Le potentiel de réduction des besoins de refroidissement est considérable dans les pays du Sud

