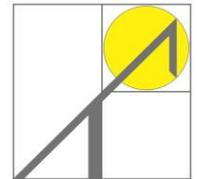
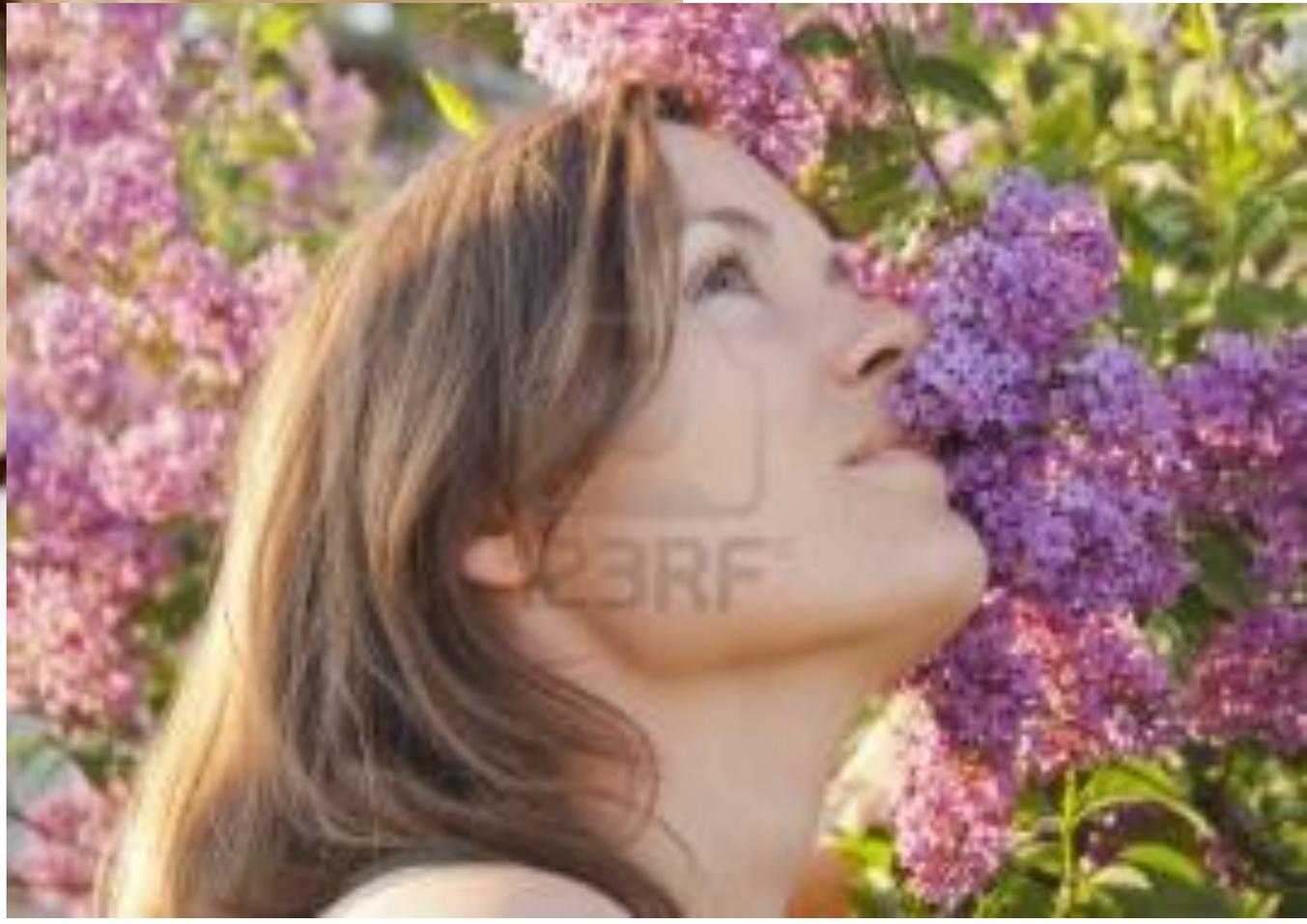

Ventilation et qualité d'air dans les immeubles tertiaires



Architecture et Climat – UCL
jacques.claessens@uclouvain.be





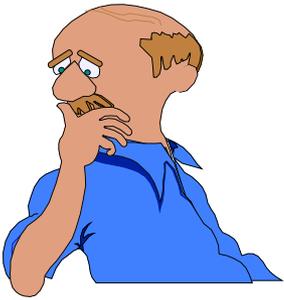


Temps passé dans les environnements intérieurs et extérieurs

90 % intérieur

10% extérieur

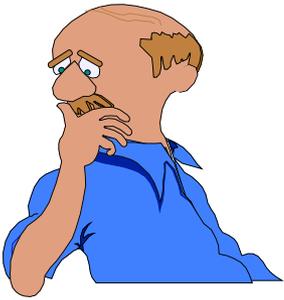




Pourquoi ventiler ?

- **Pour apporter de l'air frais (oxygène) aux occupants ?**
 - ...18... litres de CO₂ par heure et par personne
- **Surtout pour évacuer leurs odeurs !**

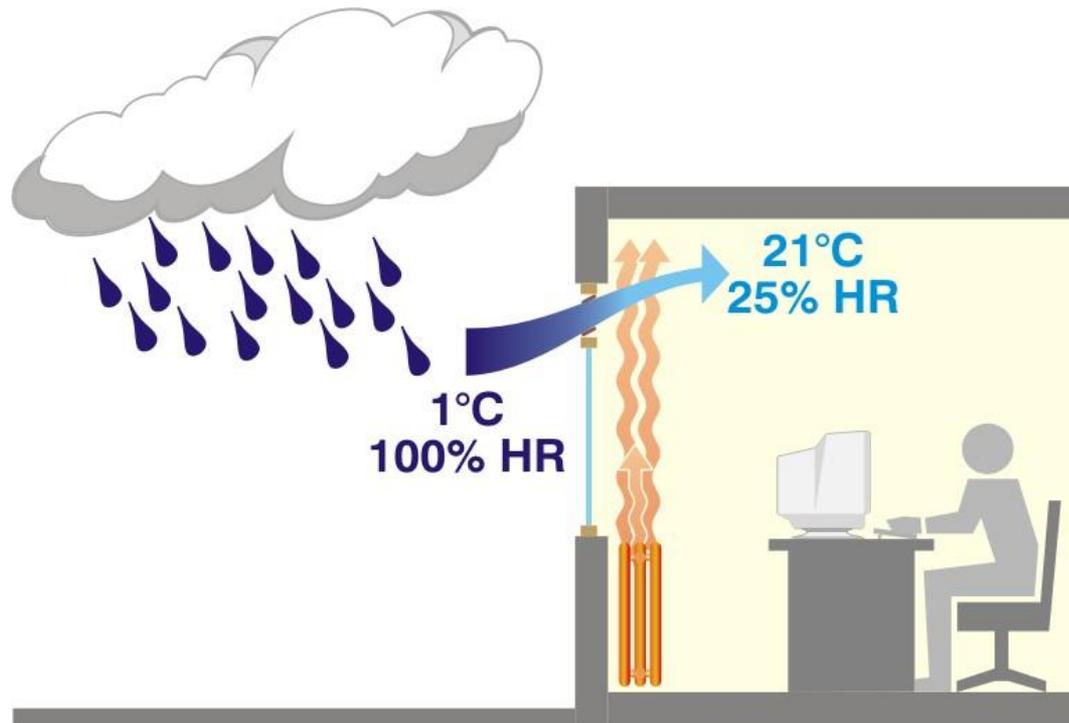




Pourquoi ventiler ?

- Pour évacuer la vapeur d'eau !
 - 50 gr d'eau par heure et par personne
 - plantes, cuisson ... : 5 à 10 litres par jour par maison





De l'air froid ne peut « porter » beaucoup d'eau à l'état vapeur...

Donc s'il pleut, l'air est saturé d'eau (il fait humide dehors, l'humidité relative est élevée),... mais en réalité, il contient peu d'eau. Son humidité absolue en grammes d'eau par m³ d'air est faible.

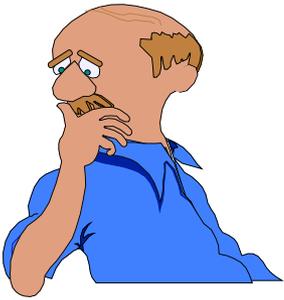
Une fois réchauffé, cet air sera très sec puisque capable d'évaporer une grande quantité d'eau ! Son humidité relative est faible.

A défaut de ventilation...

- Condensation sur les vitrages
- Moisissures
- Odeurs persistantes

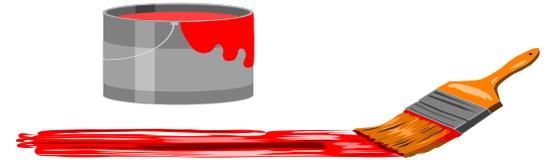


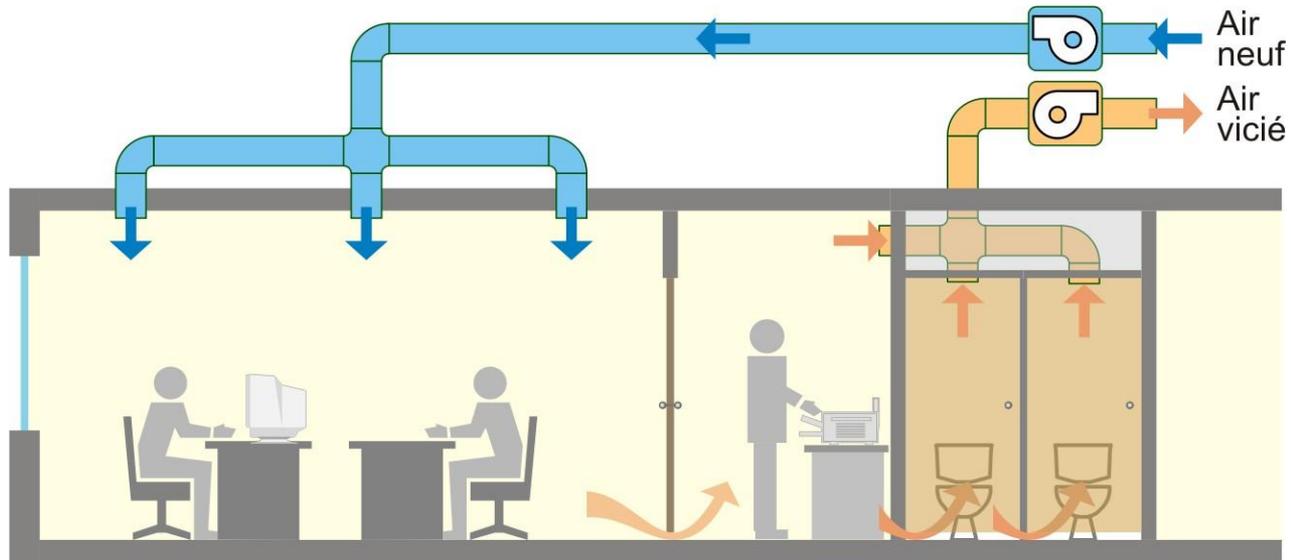




Pourquoi ventiler ?

- Pour évacuer les polluants émis par le bâtiment et les équipements
 - vynil, tapis, colle à tapis,...
 - peintures
 - détergents
 - panneaux de bois (formaldéhyde)
 - imprimantes, fax, ...
 - (voitures)





-> Mettre la photocopieuse près des sanitaires...
pour que les émanations soient extraites rapidement.

A défaut de ventilation ...

- Irritations des yeux, du nez et de la gorge (tabac)
- Allergies
- Maux de tête, fatigue, nausées, vertiges,...

= "Sick Building Syndrom"



Quel débit de ventilation ?

C'est un compromis
Energie < - > Qualité d'air

Bâtiment récent : la ventilation génère 50% des consommations !

- PEB : 22 m³/h par personne, avec un ratio minimum de personnes présentes par local.
- RGPT : Si ventilation mécanique, chaque travailleur doit pouvoir disposer d'un débit d'air frais de 30 m³/h.personne
- AR mars 2016 : assurer 800 ppm dans les lieux de travail, avec des dépassements temporaires maximum à 1200 ppm

Quel débit d'air pour assurer 800 ppm à une personne ?

Une personne dilue 18 litres de CO₂ chaque heure...

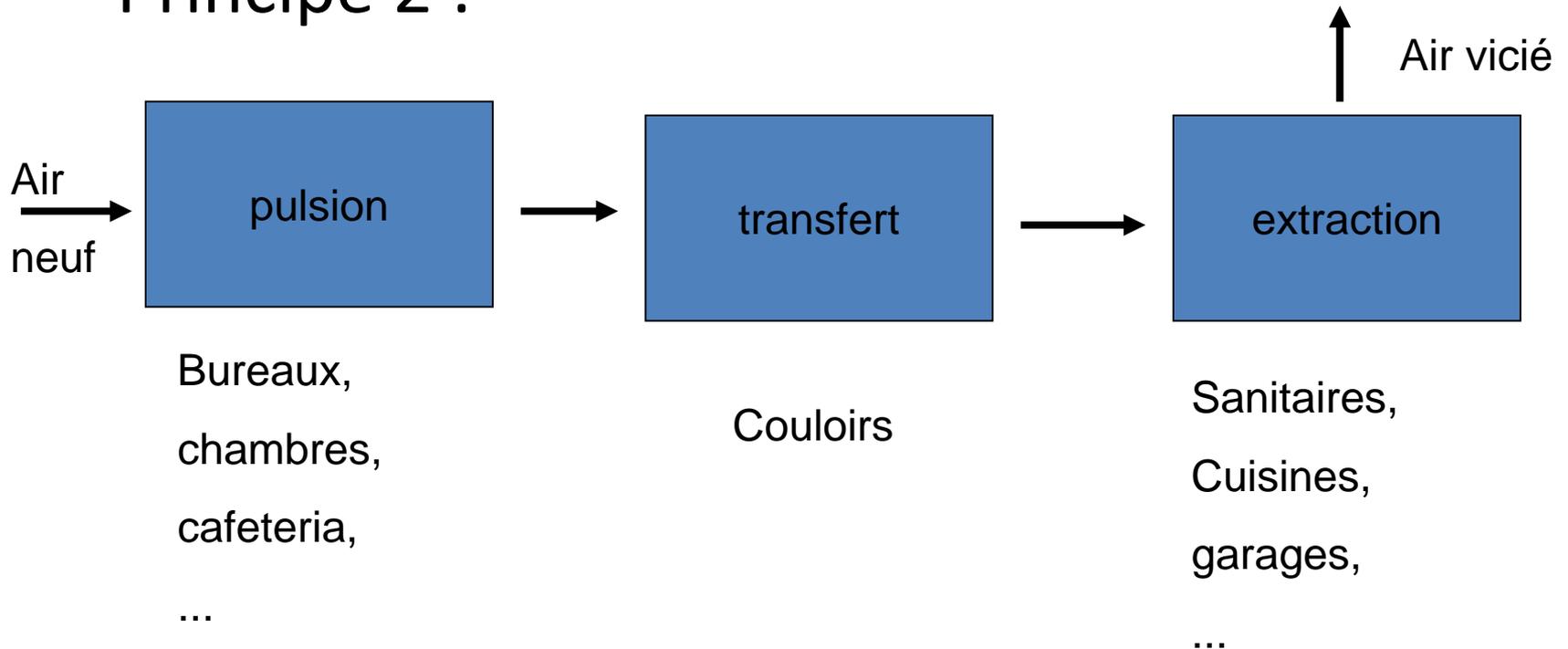
$$\text{Si : } 400 \text{ ppm} + 0,018 \text{ m}^3_{\text{CO}_2}/\text{h} / x \text{ m}^3_{\text{air}}/\text{h} = 800 \text{ ppm}$$

$$\text{Alors : } 0,000400 + 0,018 \text{ m}^3_{\text{CO}_2}/\text{h} / x \text{ m}^3_{\text{air}}/\text{h} = 0,000800$$

$$\rightarrow x = 0,018 / 0,000400 = 45 \text{ m}^3/\text{h}$$

La ventilation : comment ?

- Principe 1: débit entrant = débit sortant
- Principe 2 :

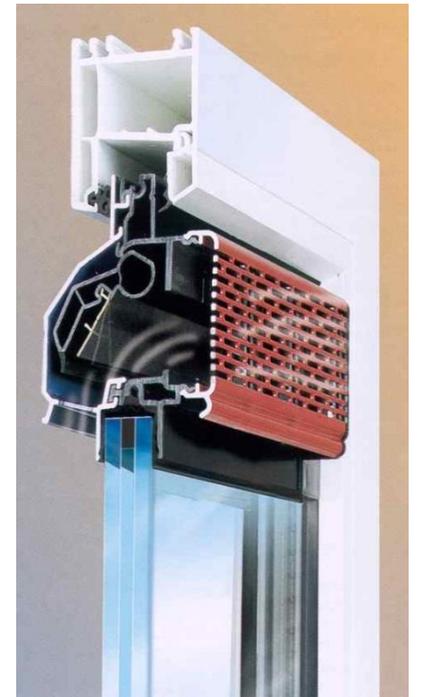
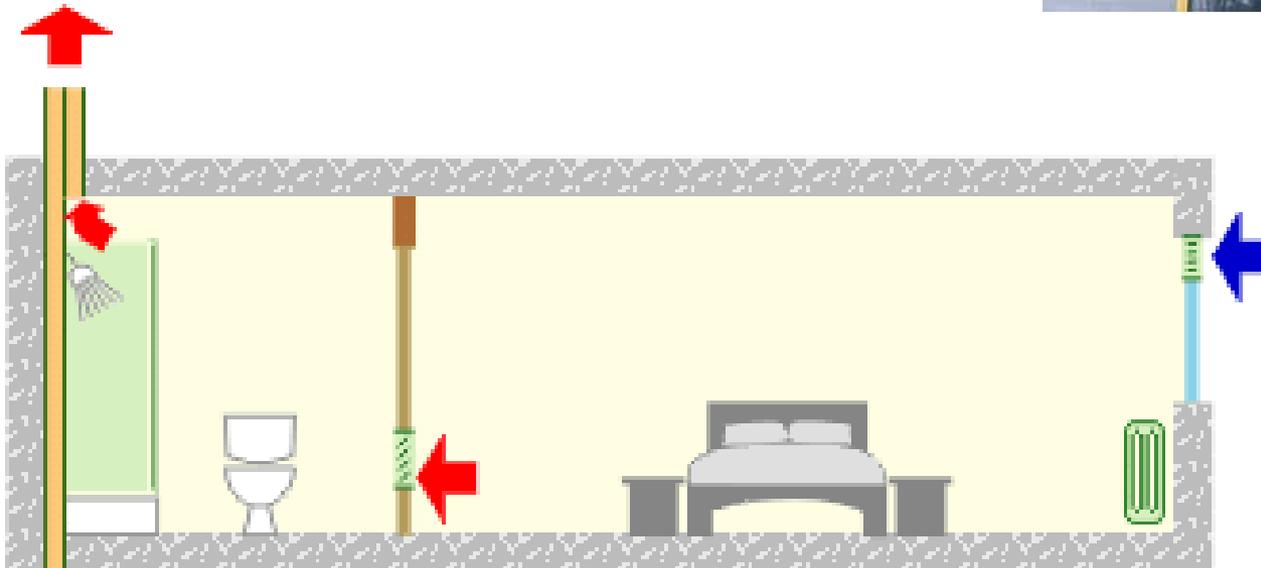


Quelle technologie ?

Entrée → Sortie ↓	Naturel	Mécanique
Naturel	A	B
Mécanique	C (simple flux)	D (double flux)

Systeme A

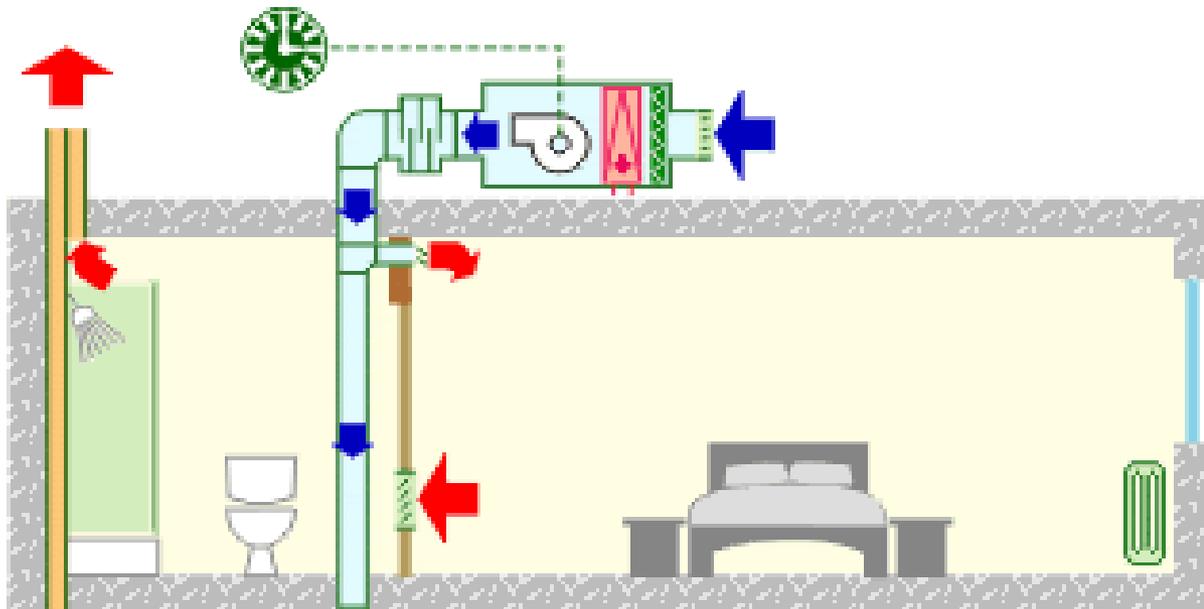
- Exemple pour l'hébergement



Vitesse de déplacement d'air dans le conduit : 1 m/s

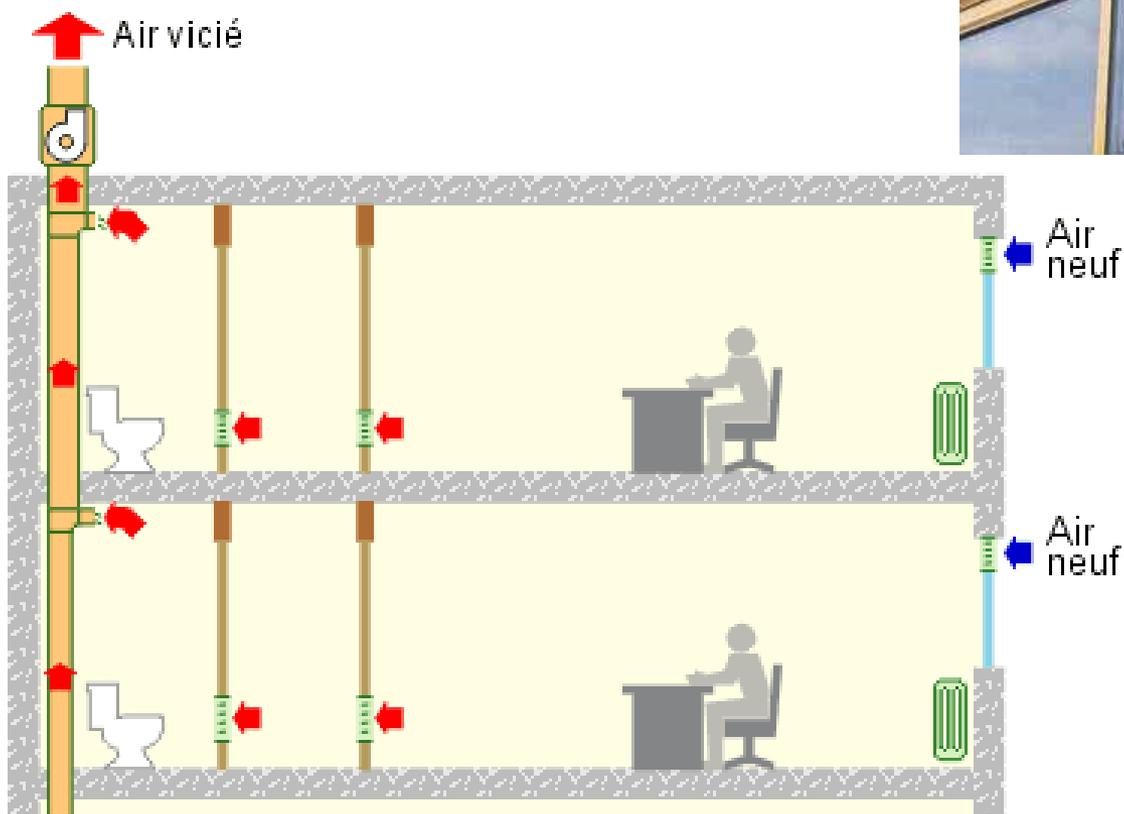
Systeme B

- Exemple pour l'hébergement (très rarement rencontré...)



Systeme C

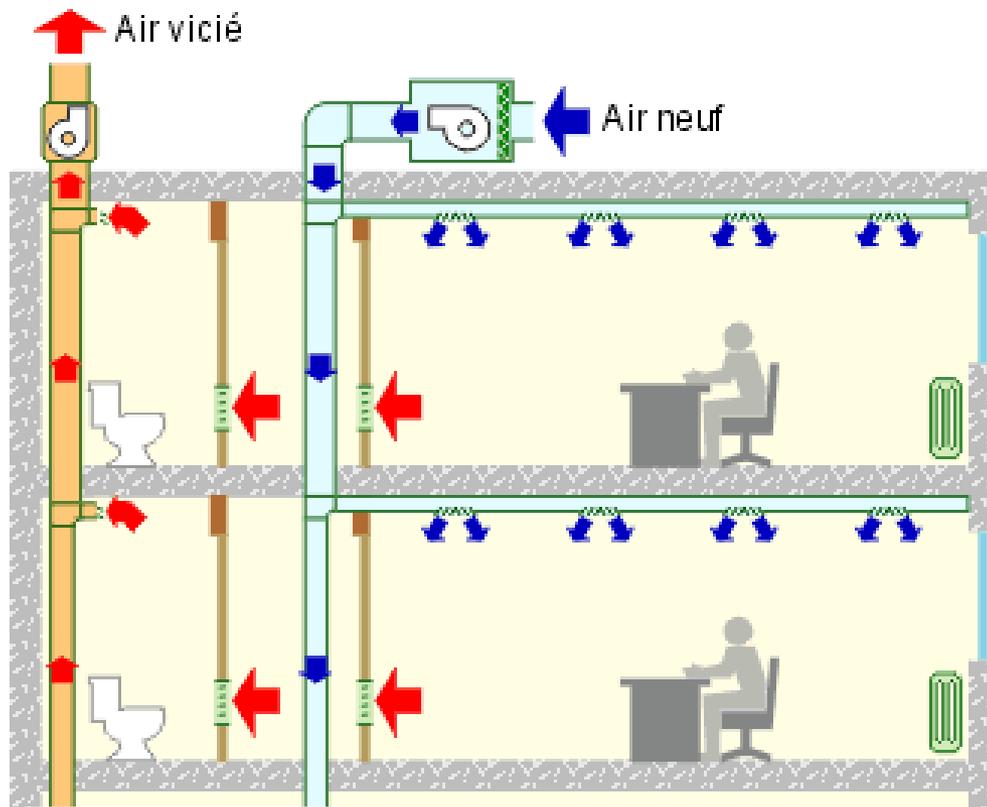
- Exemple pour les bureaux



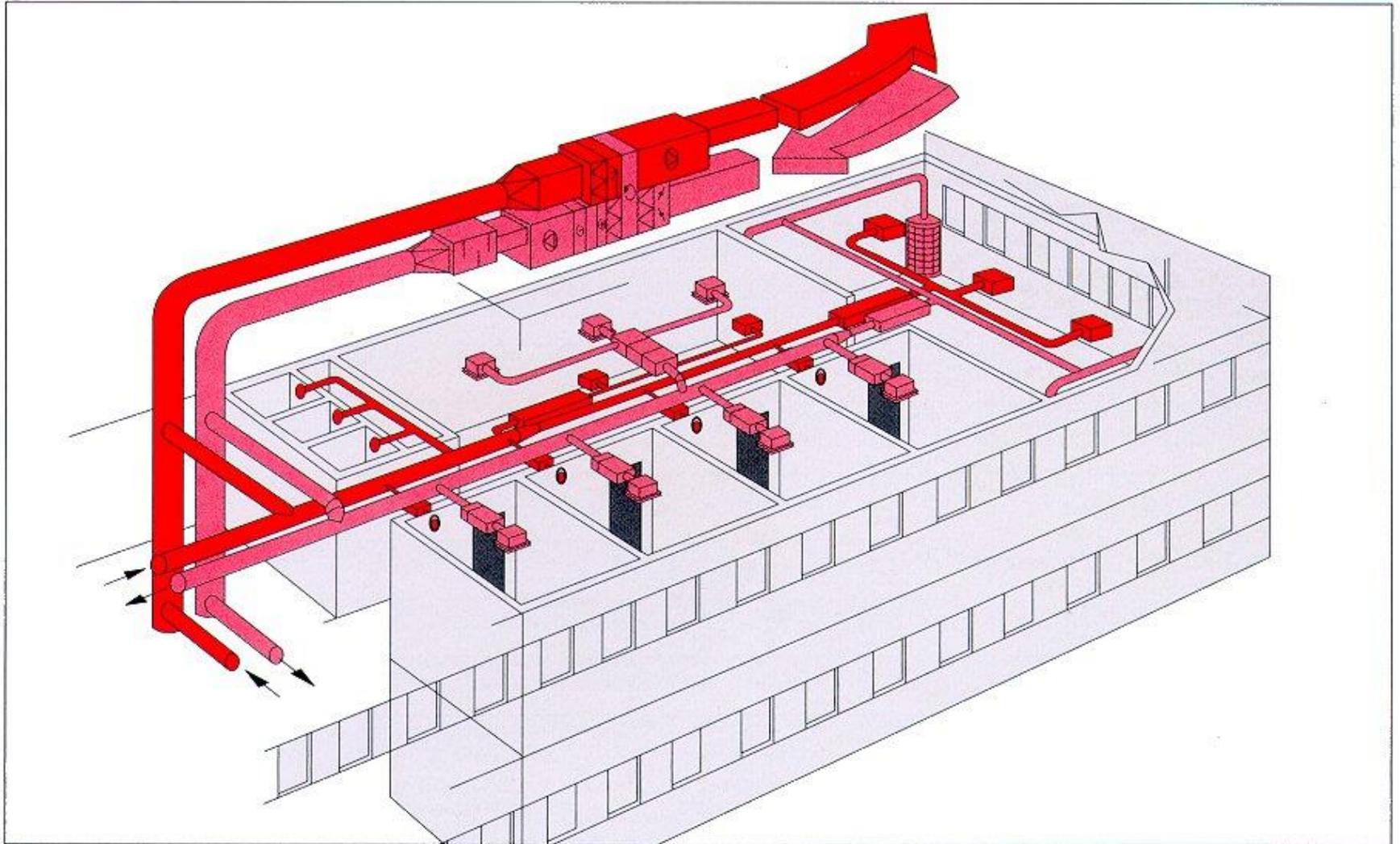
Vitesse de déplacement d'air dans le conduit : **5 m/s**

Systeme D

- Exemple pour les bureaux



Systeme D







Ventilation naturelle ? < > ventilation mécanique ?



Campagne de mesures réalisée dans 5 écoles

Nous avons demandé à 5 institutrices d'appliquer diverses stratégies de ventilation, pour juger de leur efficacité...

Quel indicateur de la qualité de l'air ?

Le taux de CO₂, lié aux rejets des occupants.

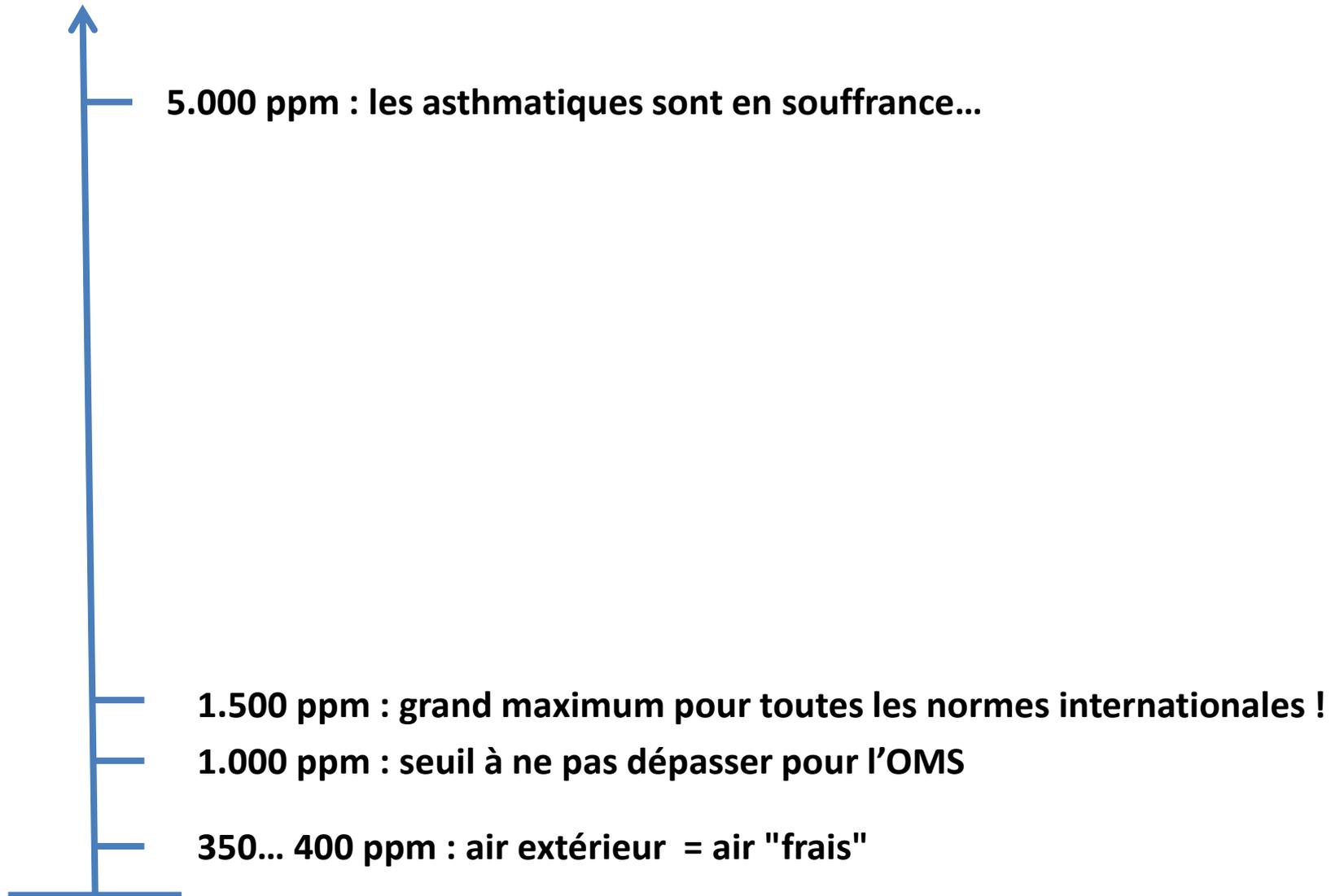
Unité de mesure de la concentration :

le millionième, encore appelé ppm (part par million).

Exemple : 0,5% de CO₂ = 0,005 = 0,005 000

= 5.000 millionième = 5.000 ppm

Quels taux respecter ?



**Classes spacieuses,
de hauteur sous plafond variable :**



Les-Bons-Villers

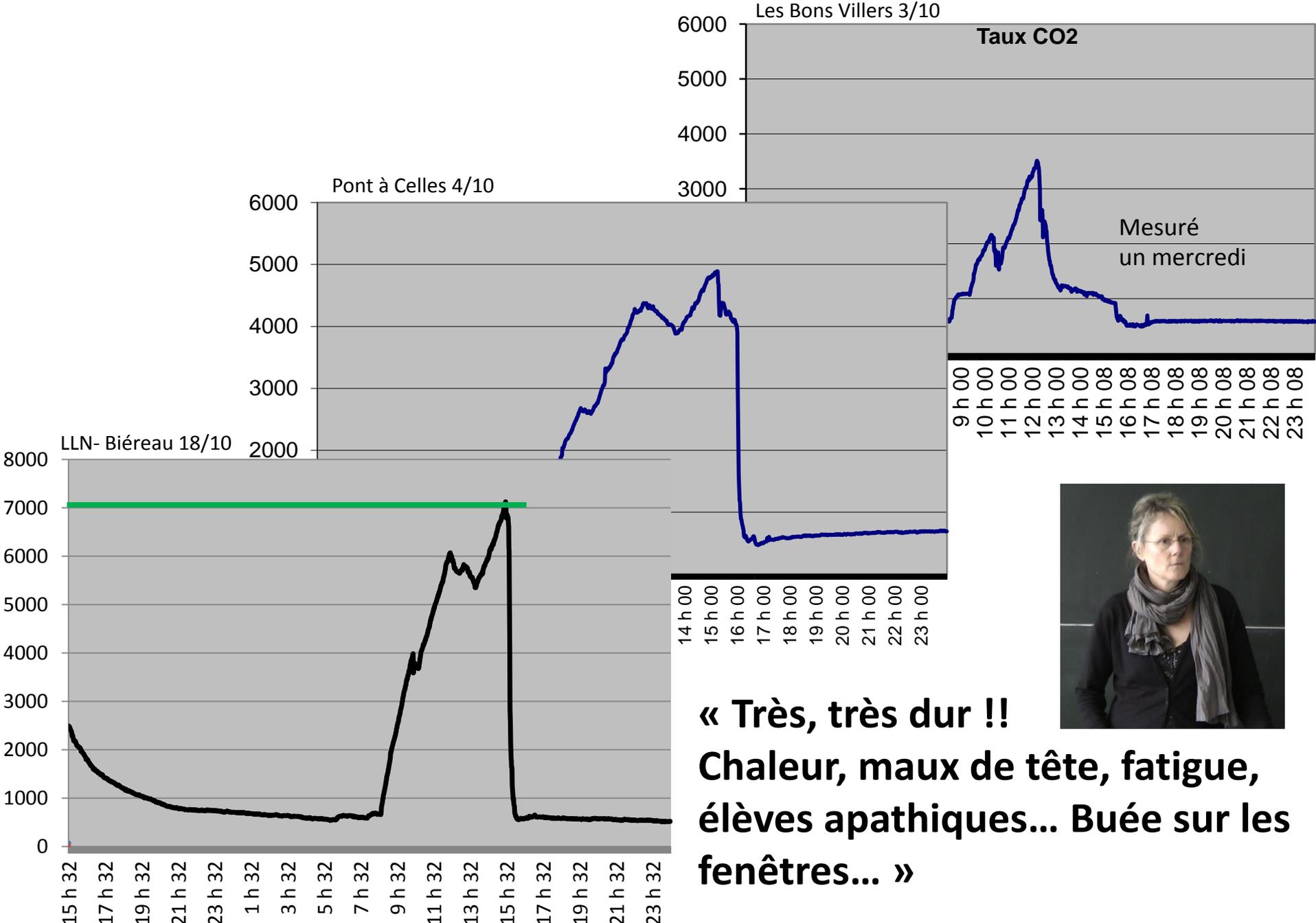


Pont-à-Celles

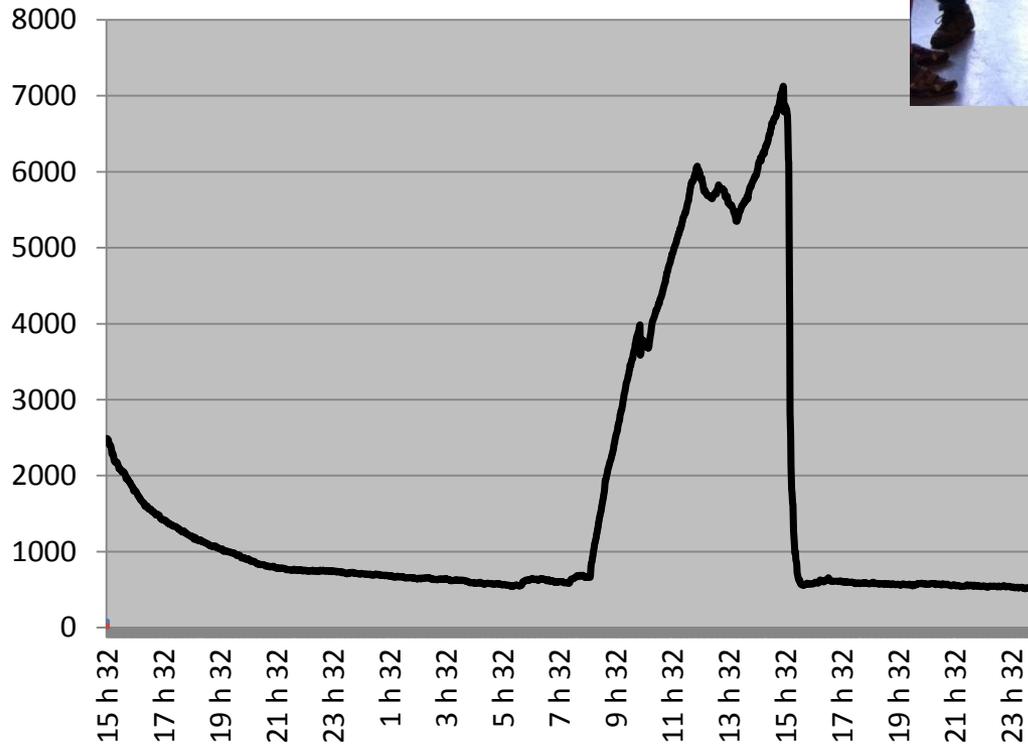


Lasne

Situation de départ : fermer portes et fenêtres toute la journée.



Analyse de cette dernière situation :



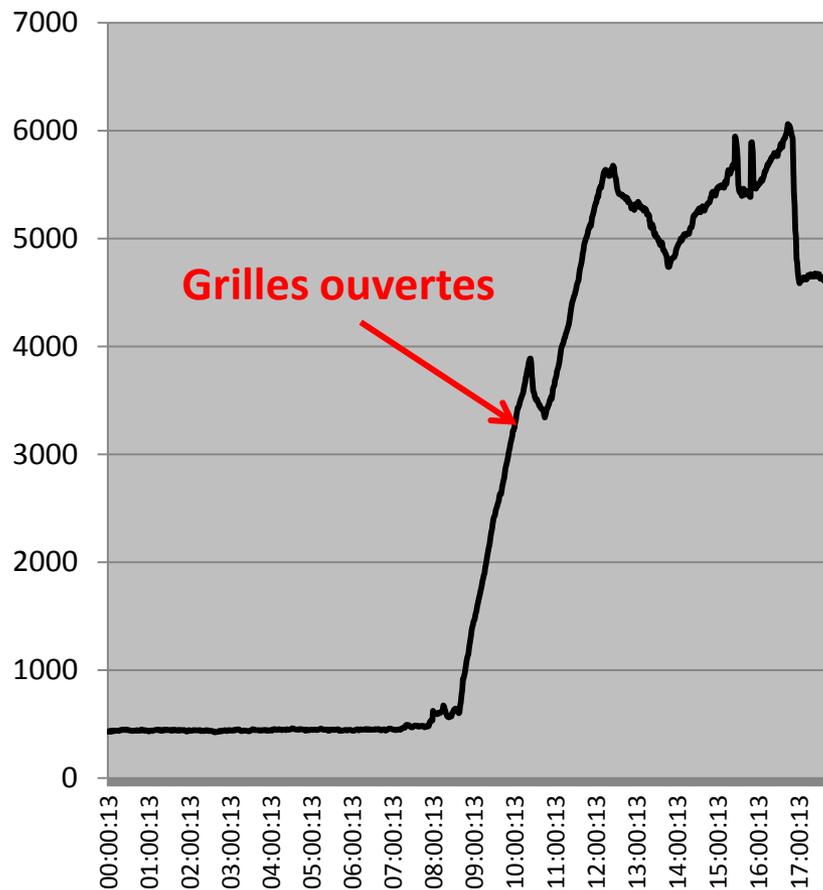
LLN- Biéreau 18/10

Dans cette école (LLN – Biéreau),
rénovation très récente des châssis :

→ étanchéité quasi-totale des joints !

Stratégie 1 : ouverture des grilles de ventilation le jour...

Résultat dans cette même dernière classe :



LLN- Biéreau 22 et 23/10

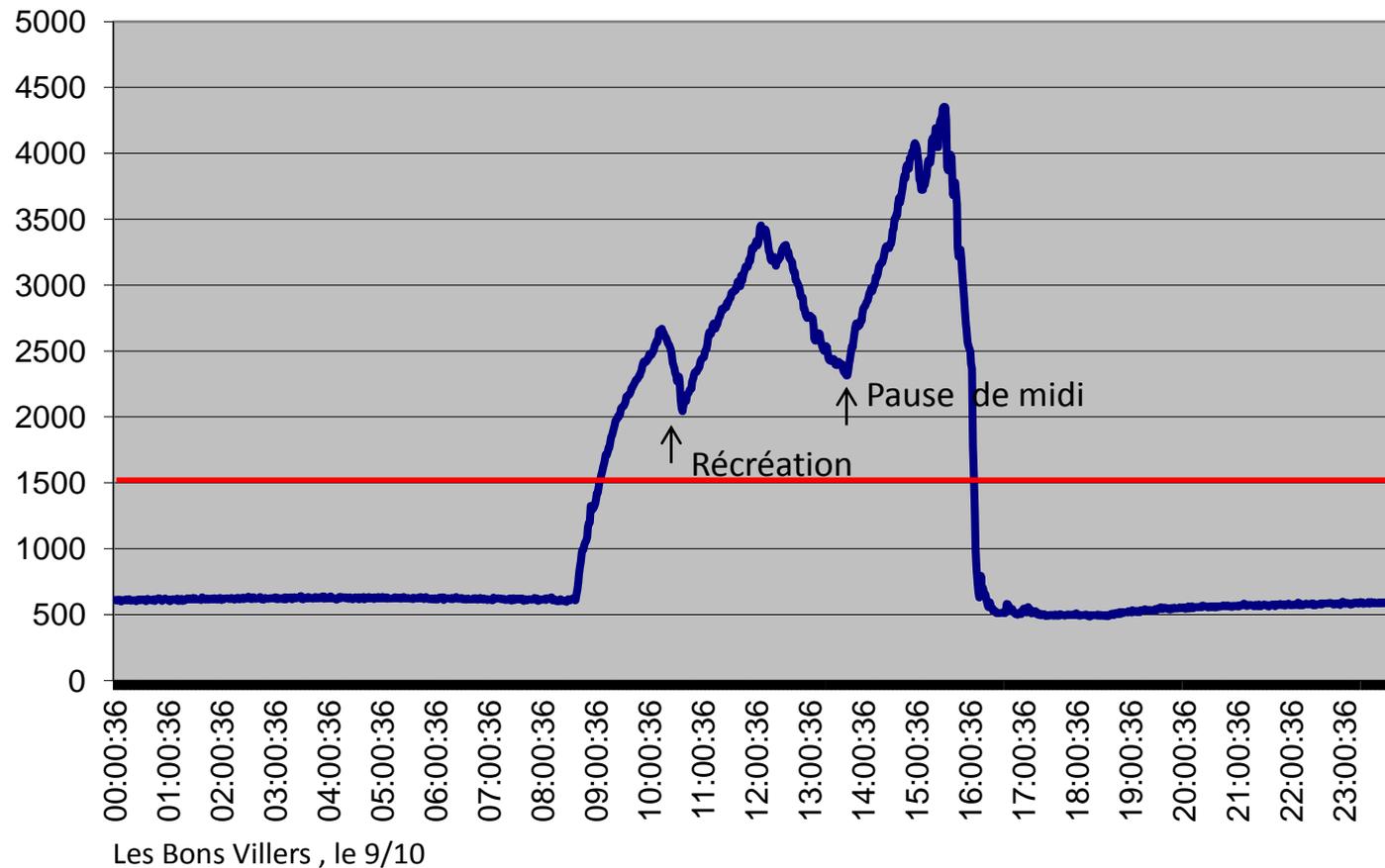


Section d'ouverture des grilles :
 $6 \text{ m} \times 0,03 \text{ m} = 0,18 \text{ m}^2$

→ Respect des normes...

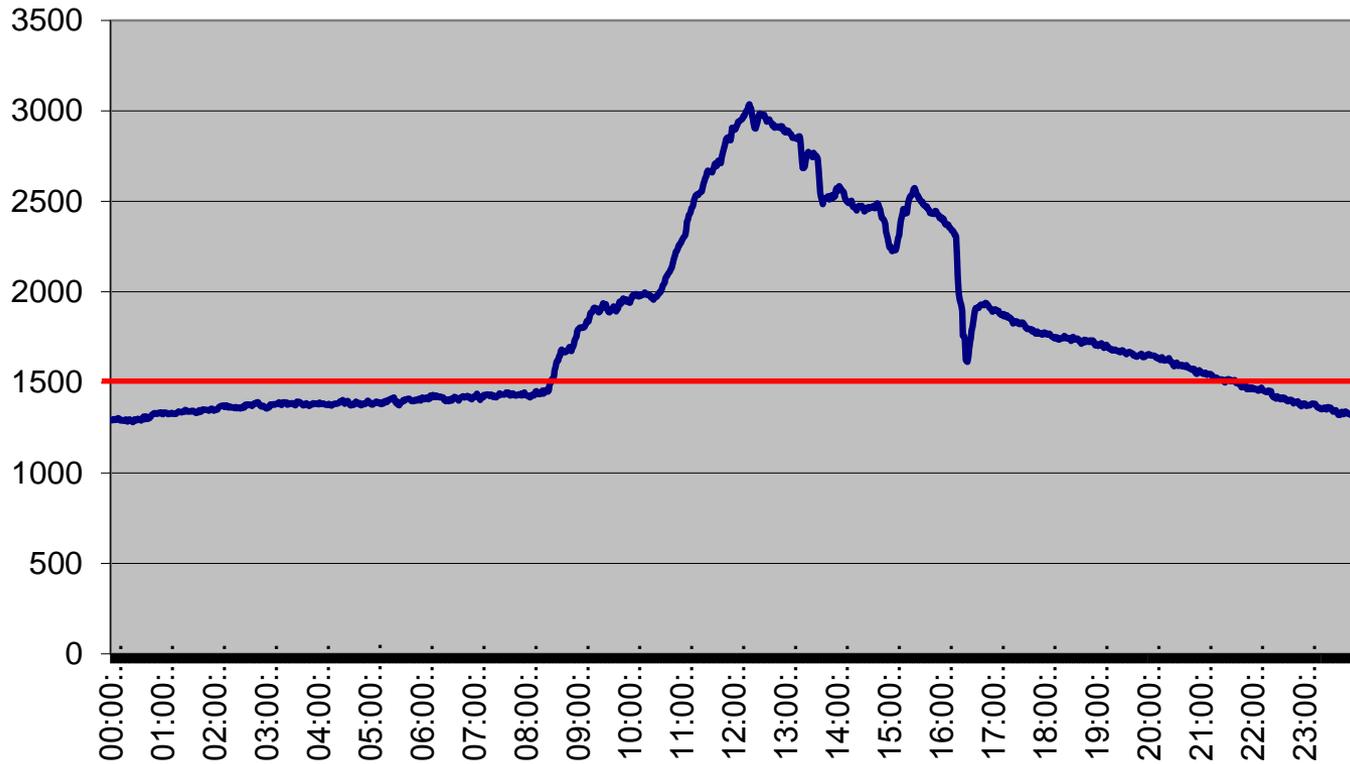
Analyse : pas de passage d'air dans la porte, pas d'extraction dans les couloirs, pas d'extraction dans les sanitaires,...

Stratégie 2 : une fenêtre ouverte en oscillo-battant toute la journée



Analyse : Evacuation insuffisante des polluants ...

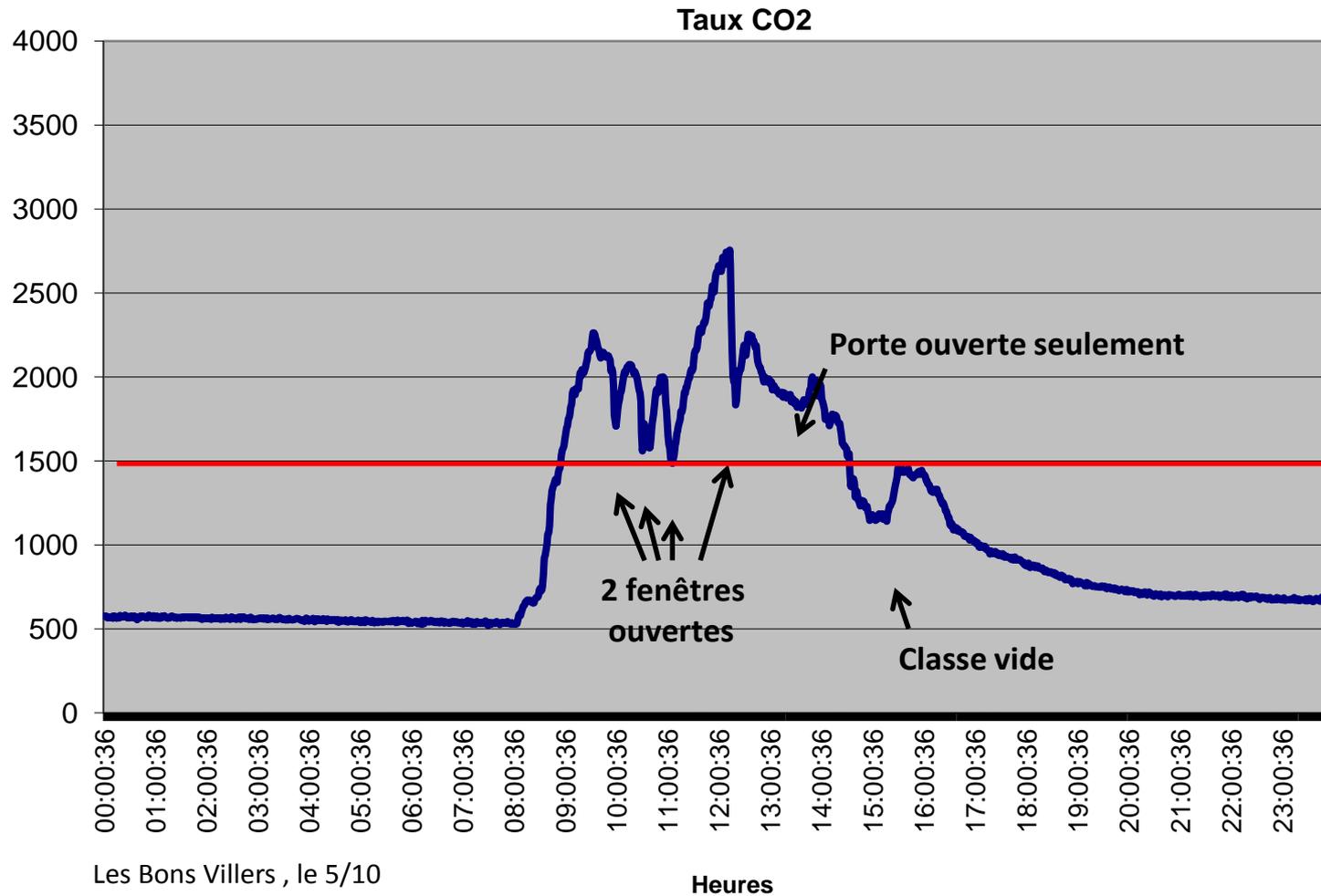
Stratégie 3 : la porte de la classe ouverte toute la journée



Pont à Celles , le11/10 Avec seulement 14 élèves dans la classe

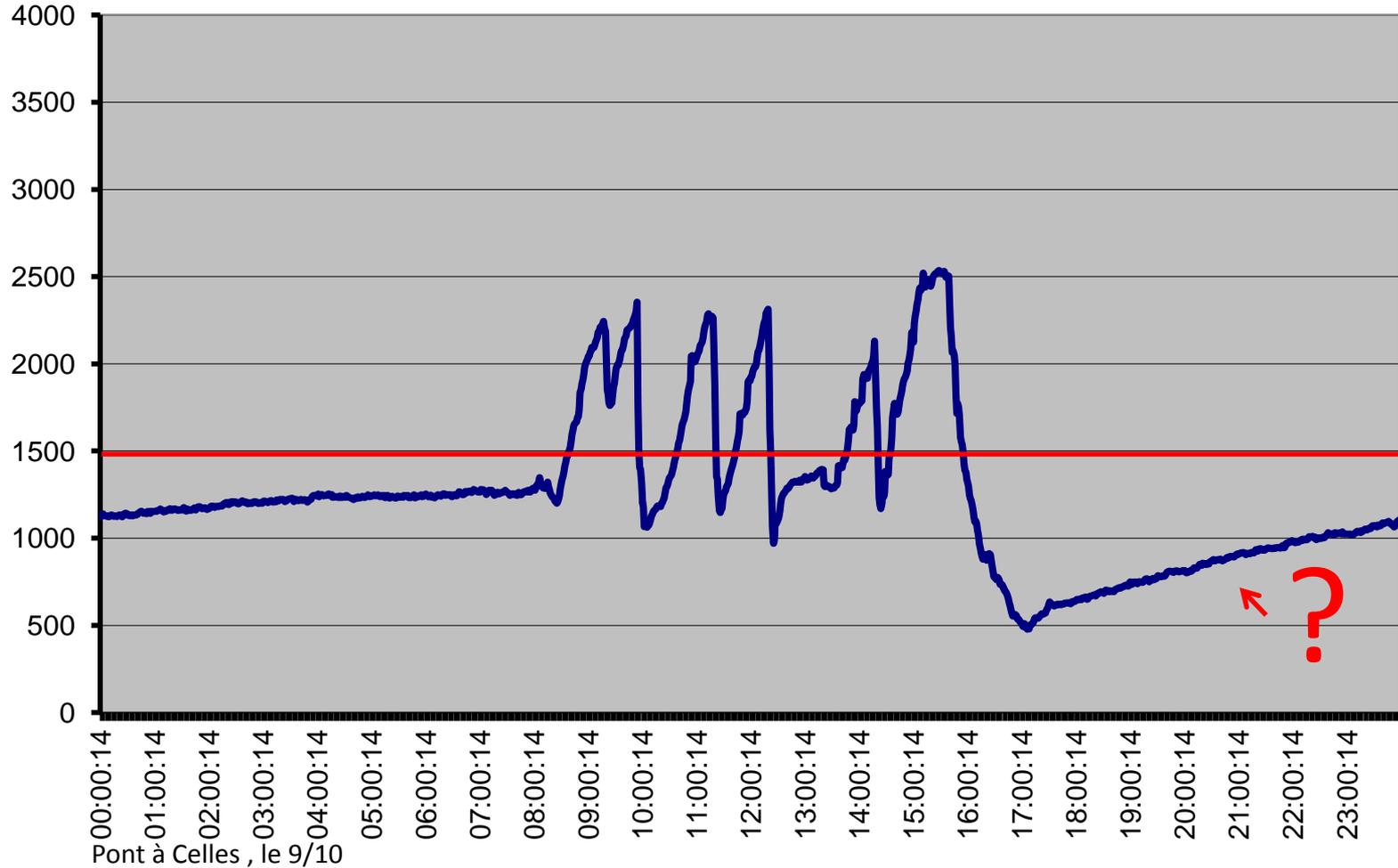
Analyse : Evacuation insuffisante des polluants ...

Stratégie 4 : ouverture de 2 fenêtres 5 min toutes les heures

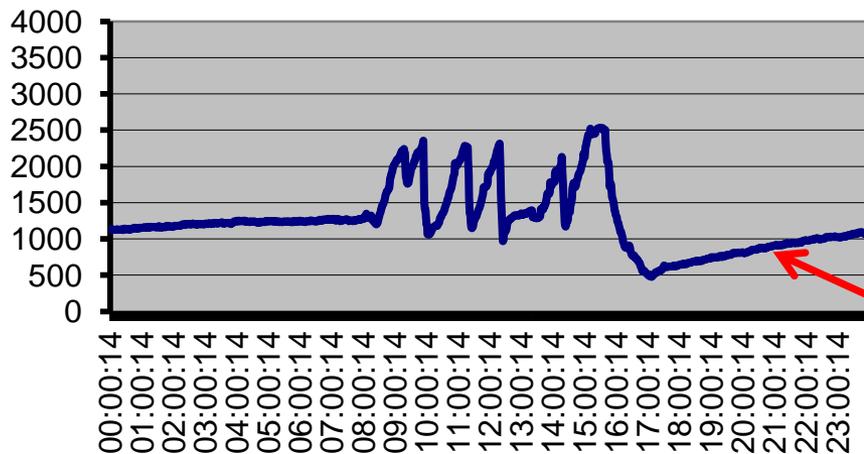


Stratégie 4 : ouverture de 2 fenêtres 5 min toutes les heures

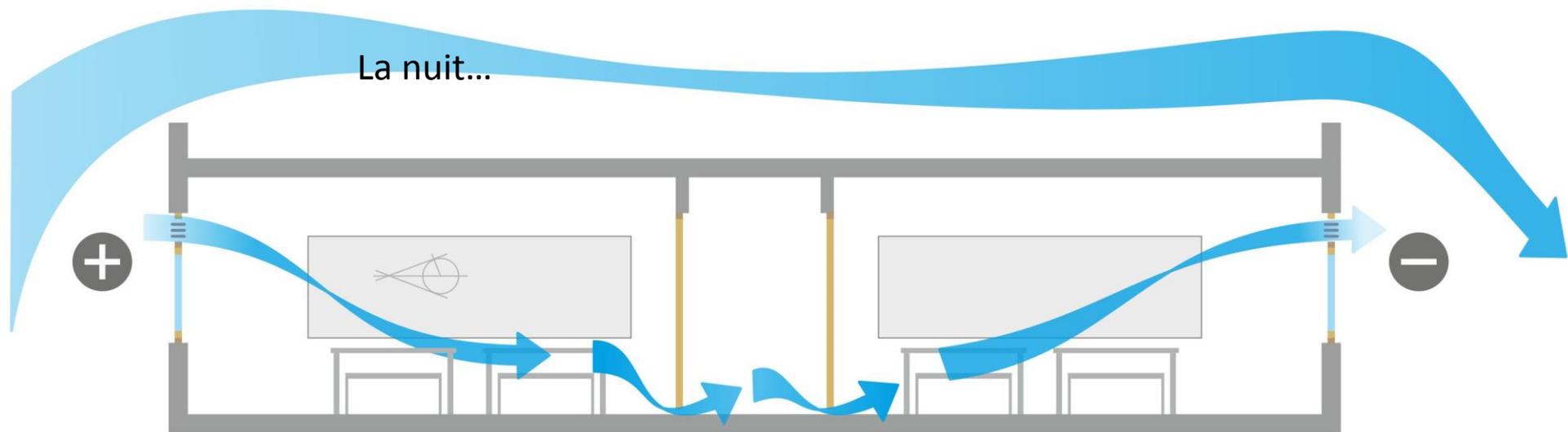
Autre classe :



Analyse : Evacuation insuffisante des polluants ...

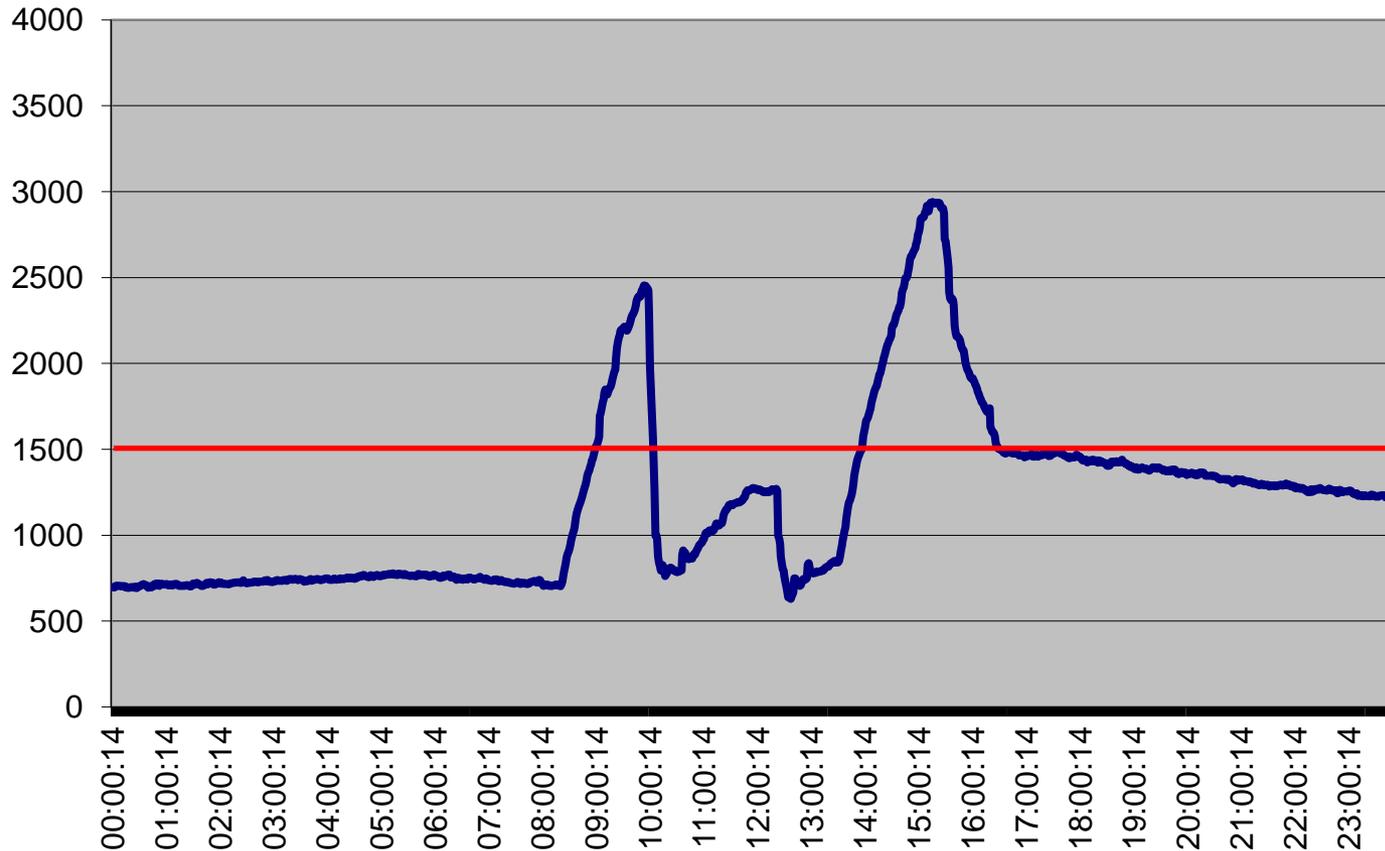


Une remontée du taux de CO2 la nuit ???



Analyse : une ventilation naturelle est tributaire du sens du vent...

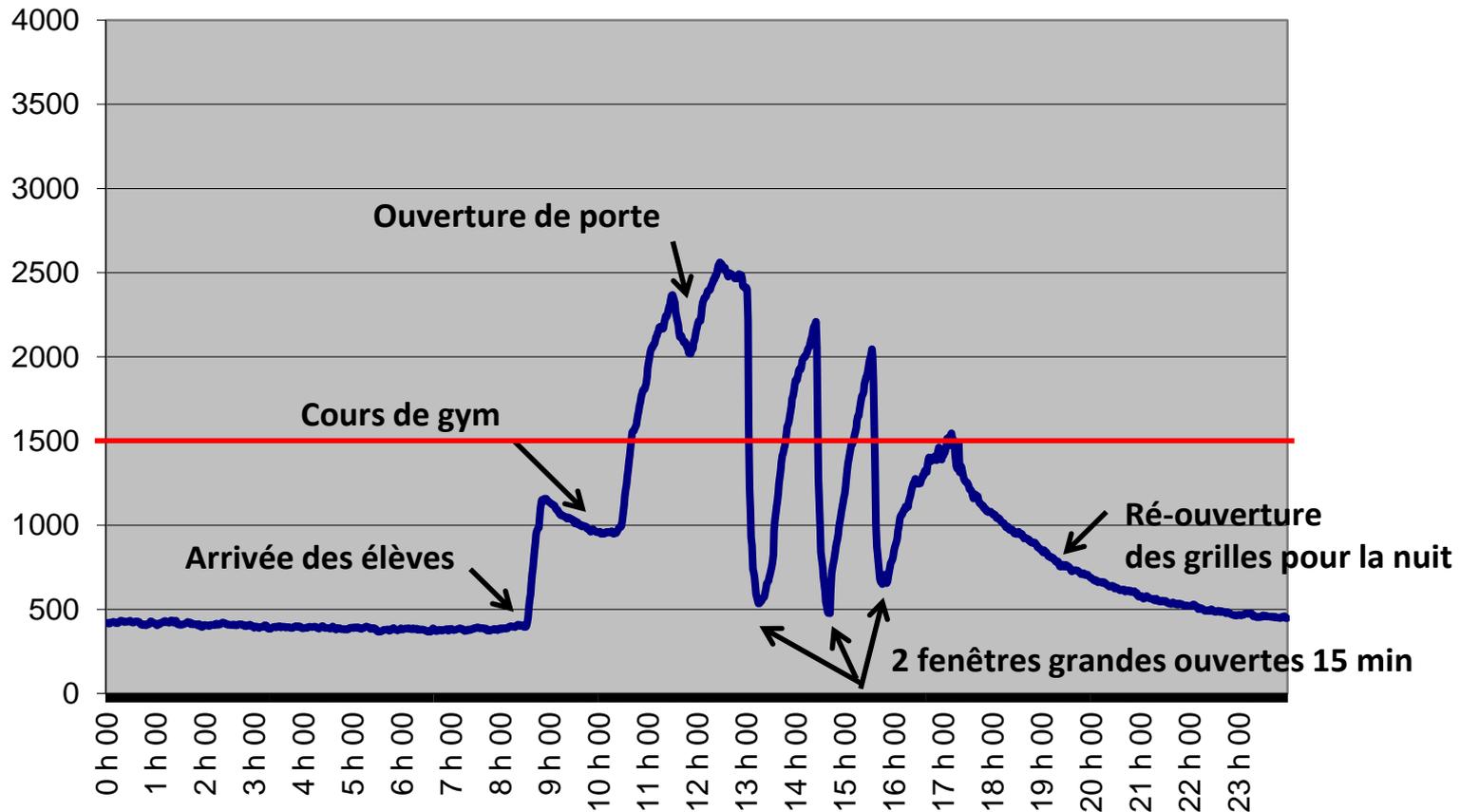
Stratégie 5 : ouverture de 2 fenêtres pendant 15 min durant la récréation et le temps de midi



Pont à Celles , le 5/10

Analyse : après 5 min, plus de gain en CO2... mais refroidissement !

Stratégie 5 : Ouverture de deux fenêtres, sur des façades opposées durant les récréations

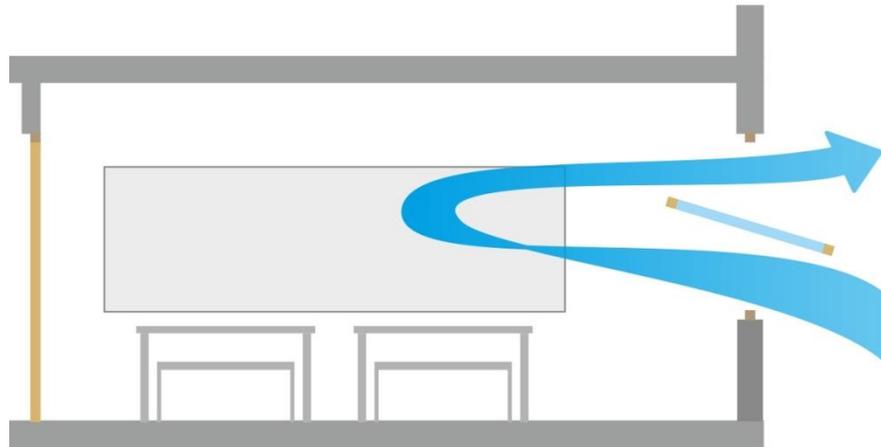


LLN Martin V , le 11/10 - 23 élèves en journée – 14 élèves en garderie jusque 17 h.

Analyse : 1° forte efficacité temporaire de la mesure...

2° l'ouverture des grilles la nuit génère un refroidissement...

Remarque :
coût énergétique d'un refroidissement temporaire ?



Très faible !

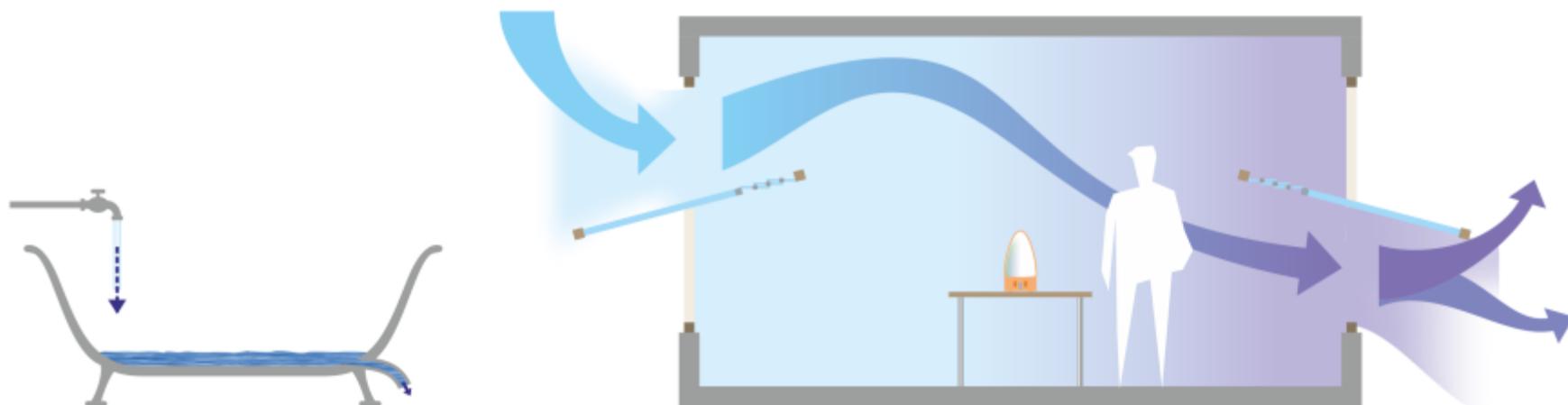
Il y a 150 x plus d'énergie stockée dans 10 cm d'épaisseur des parois (sol, plafond, murs) que dans le volume d'air de la classe.

Une fois la fenêtre refermée, la classe se réchauffe rapidement.

Constat :

La ventilation est par essence une action peu efficace.

Une baignoire est polluée par un colorant...

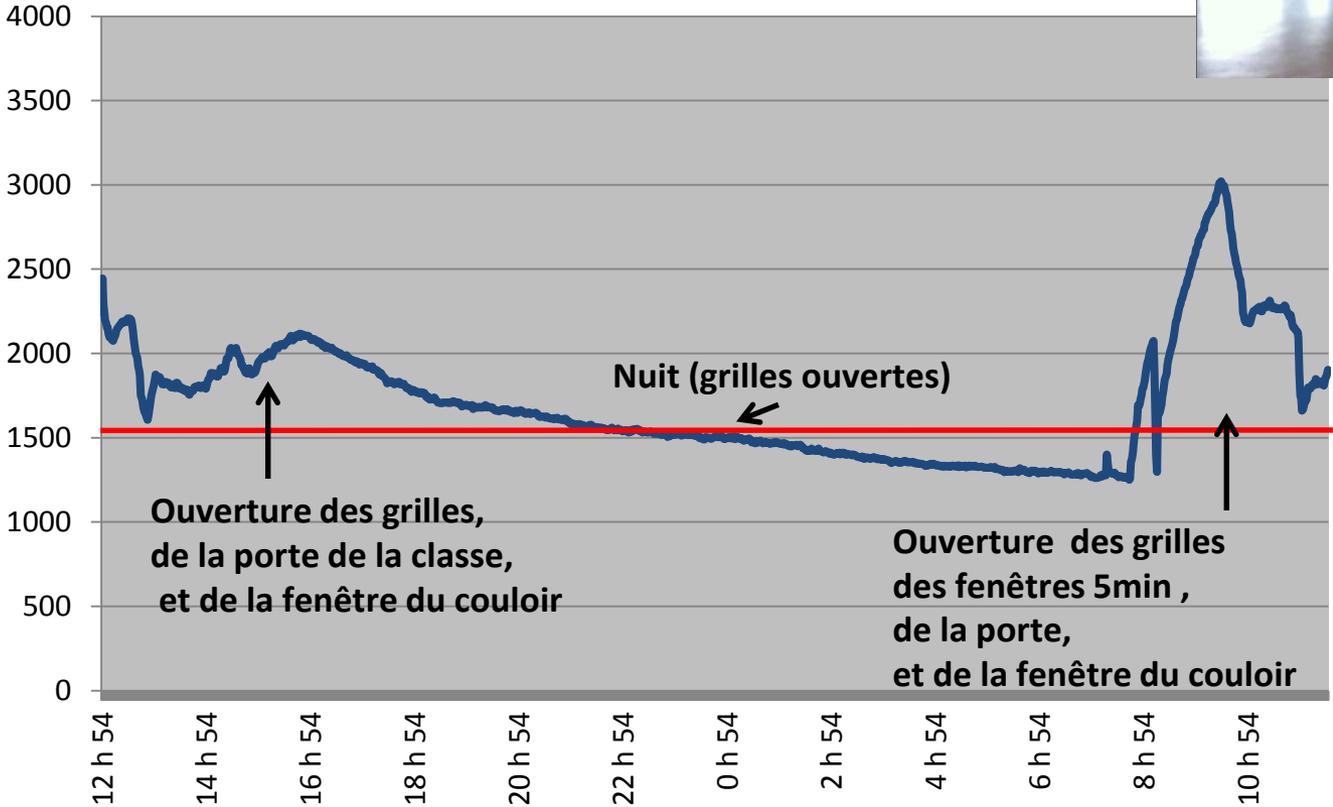


Si on ne peut qu'ouvrir le bouchon et apporter la même quantité d'eau que celle qui sort, ...
cela mettra très, très, très ... longtemps avant d'avoir à nouveau de l'eau claire !

Et en plus il faut chauffer l'eau !

On cherchera dès lors à créer le balayage le plus intense !

→ Retour vers l'école du Biéreau-LLN :
« Ouvrez la fenêtre du couloir !... »



Analyse : ... ces jours-là, pas un pet de vent !!!

→ Une ventilation naturelle est tributaire de l'intensité du vent...

Conclusions pour la ventilation naturelle

- Pour une ventilation naturelle efficace: il est nécessaire d'avoir :
 - ▶ Des ouvertures d'amenée d'air suffisantes
 - ▶ Des ouvertures d'évacuation d'air suffisantes
 - ▶ Un « moteur » de ventilation entre les deux (vent, effet de cheminée)
 - ▶ Des ouvertures de transfert entre les entrées d'air et les évacuations si elles ne sont pas situées dans le même local

Conclusions pour la ventilation naturelle

- La ventilation naturelle est donc:
 - ▶ Souvent insuffisante
 - ▶ Tributaire des conditions climatiques
 - ▶ Génératrice d'inconforts thermiques en période froide
 - ▶ Génératrice de déperditions thermiques
- Classe → minimum 500 m³/h durant 1.000 heures
→ 250 litres de fuel ou m³ de gaz /an/classe. (150 €/an)

Si on a une récupération de 80%, on aura un gain de 200 litres de fuel par classe...

- Démarche optimale pour créer le balayage maximal dans le temps le plus bref :
 - ▶ ouvrir les fenêtres 3 à 5 min toutes les heures
 - ▶ et en même temps, ouvrir la porte,
 - ▶ ... et une fenêtre dans le couloir ou la fenêtre de la classe d'en face !
- Fournir aux enseignants un afficheur du taux de CO2 pour lui permettre d'élaborer sa propre stratégie et d'en évaluer les effets.

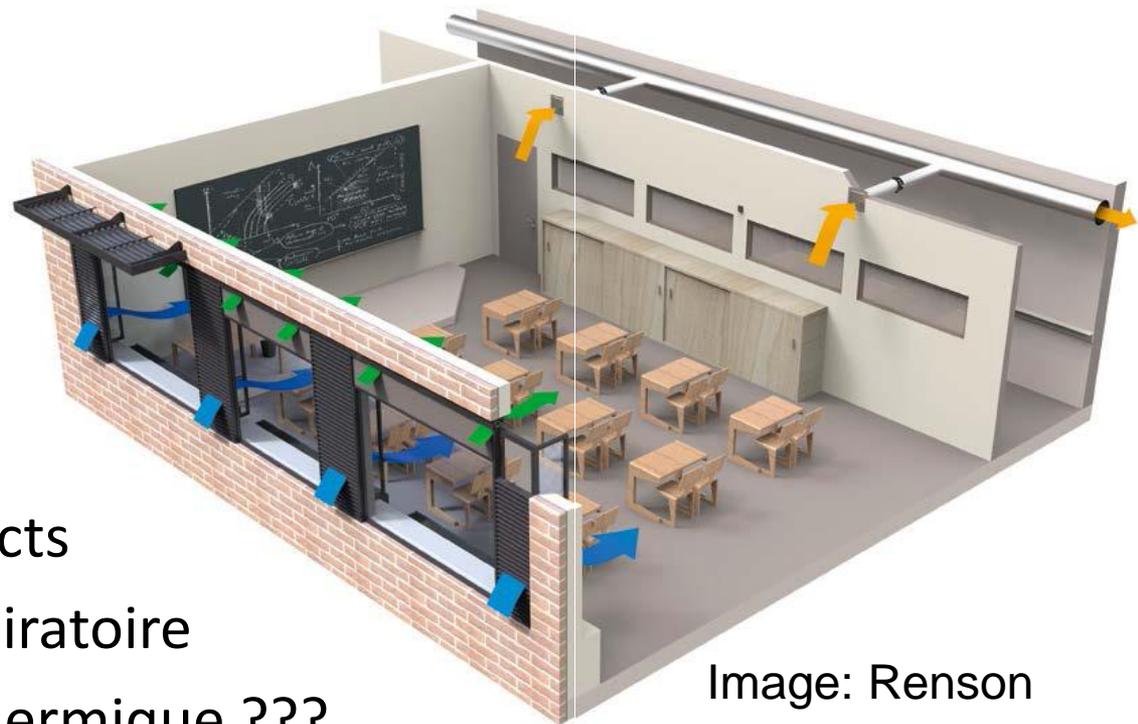


ex: CLIMI – 120 €

- Veiller à la fermeture des grilles pendant la nuit et les WE pour limiter les pertes énergétiques

Installer une extraction mécanique ?

→ Ventilation avec entrée d'air naturelle et extraction mécanique



→ Débits corrects

→ Confort respiratoire

→ ... Confort thermique ???

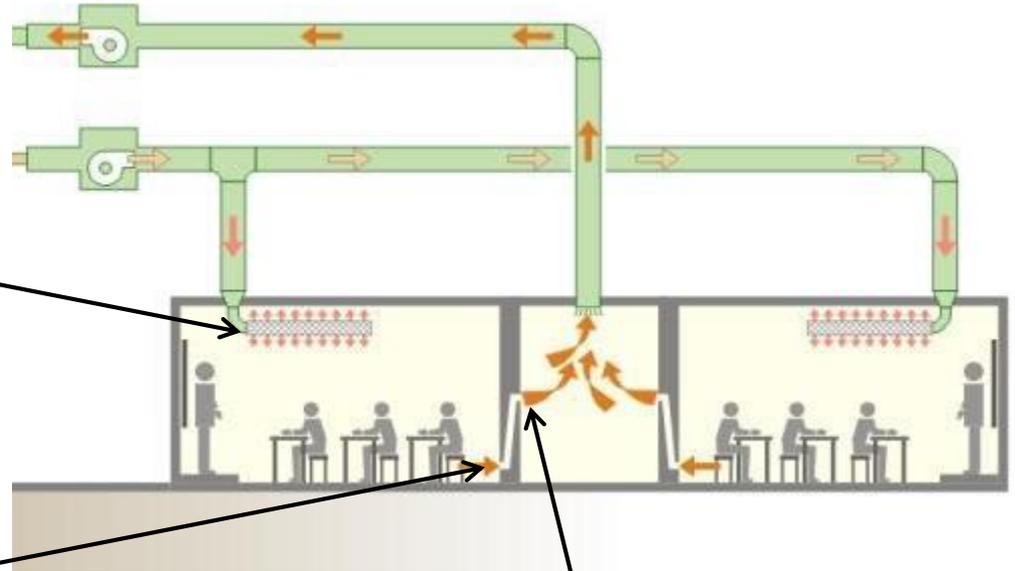
Image: Renson

Et la ventilation mécanique double flux ?



Exemple : l'école passive de Louvain-La neuve

- Au départ, une ventilation très forte

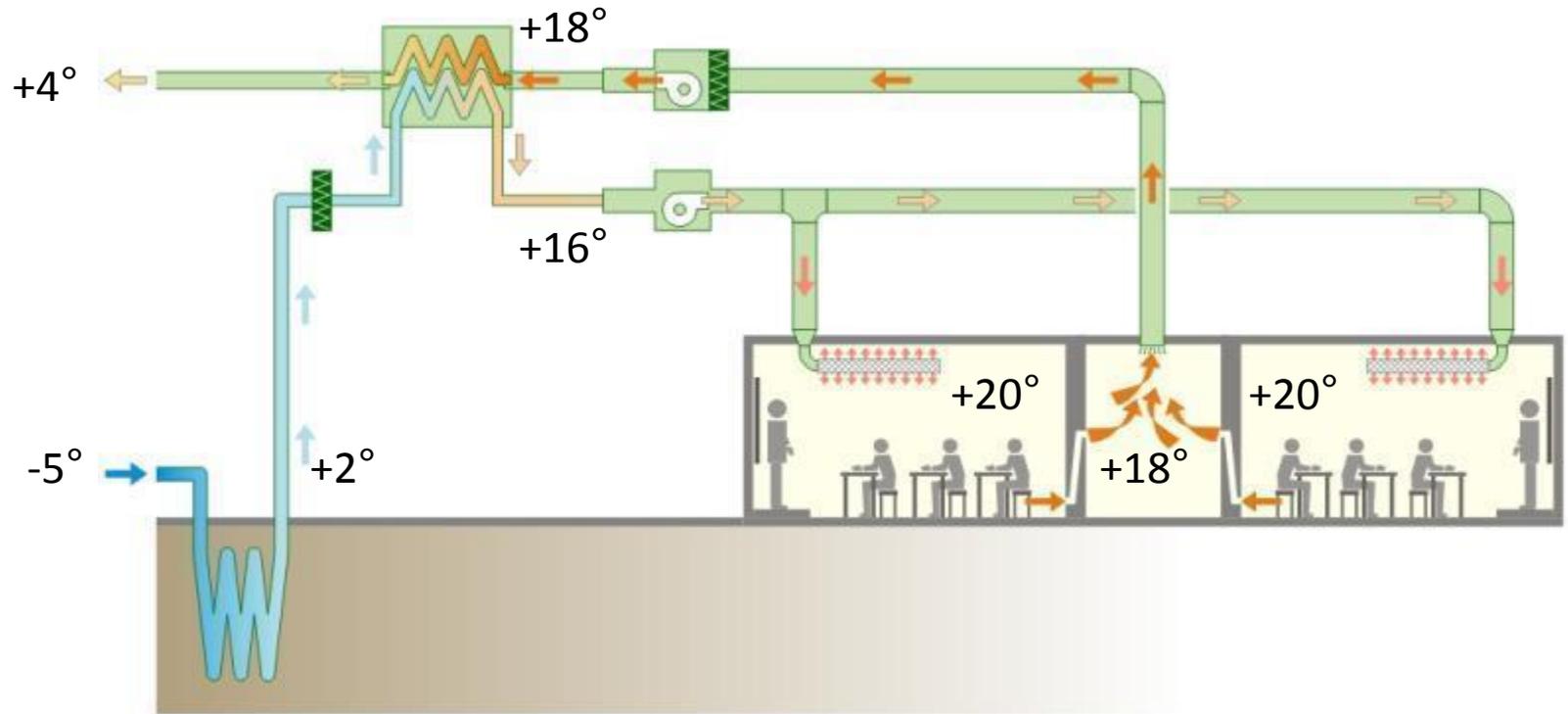


25 m³ d'air frais, par enfant et par heure !

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



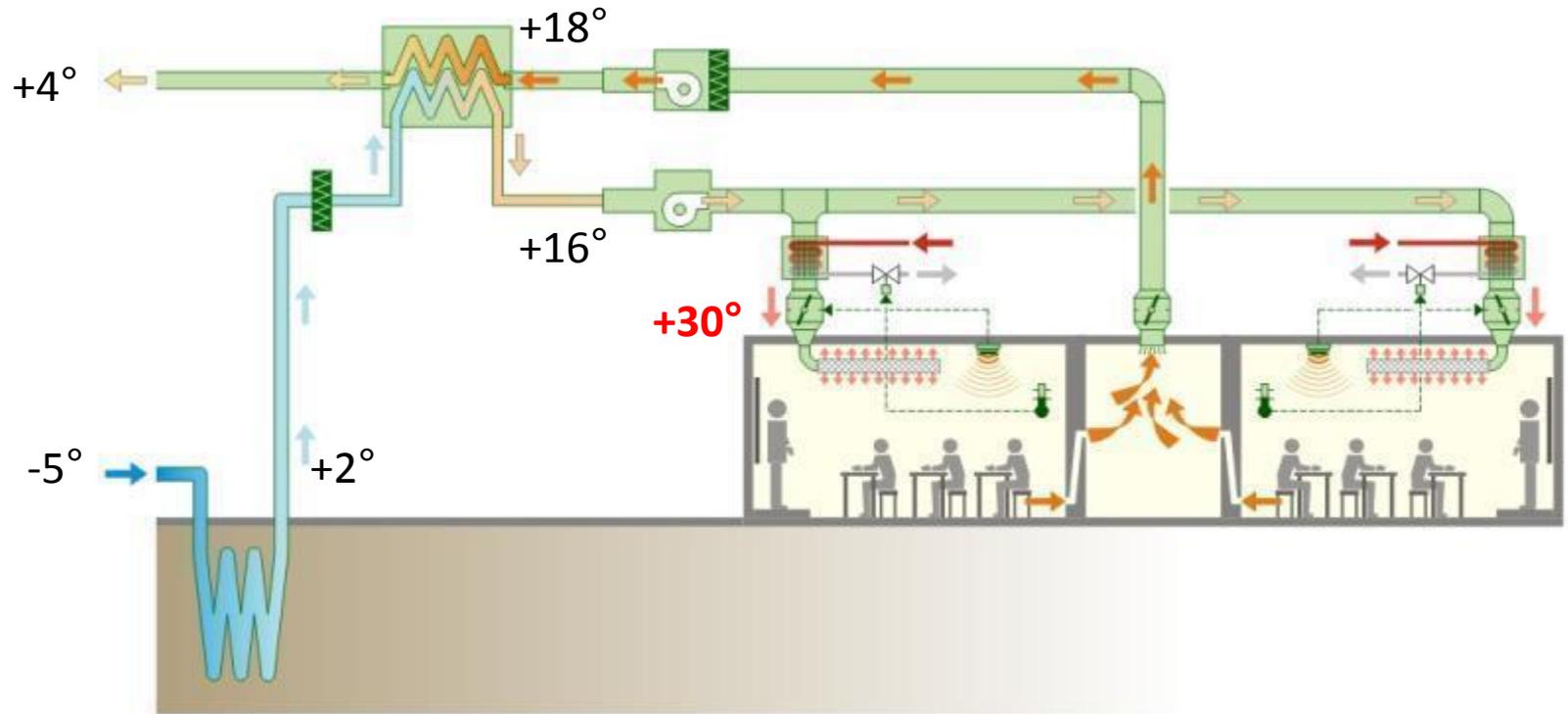
- L'air de ventilation est préchauffé gratuitement



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

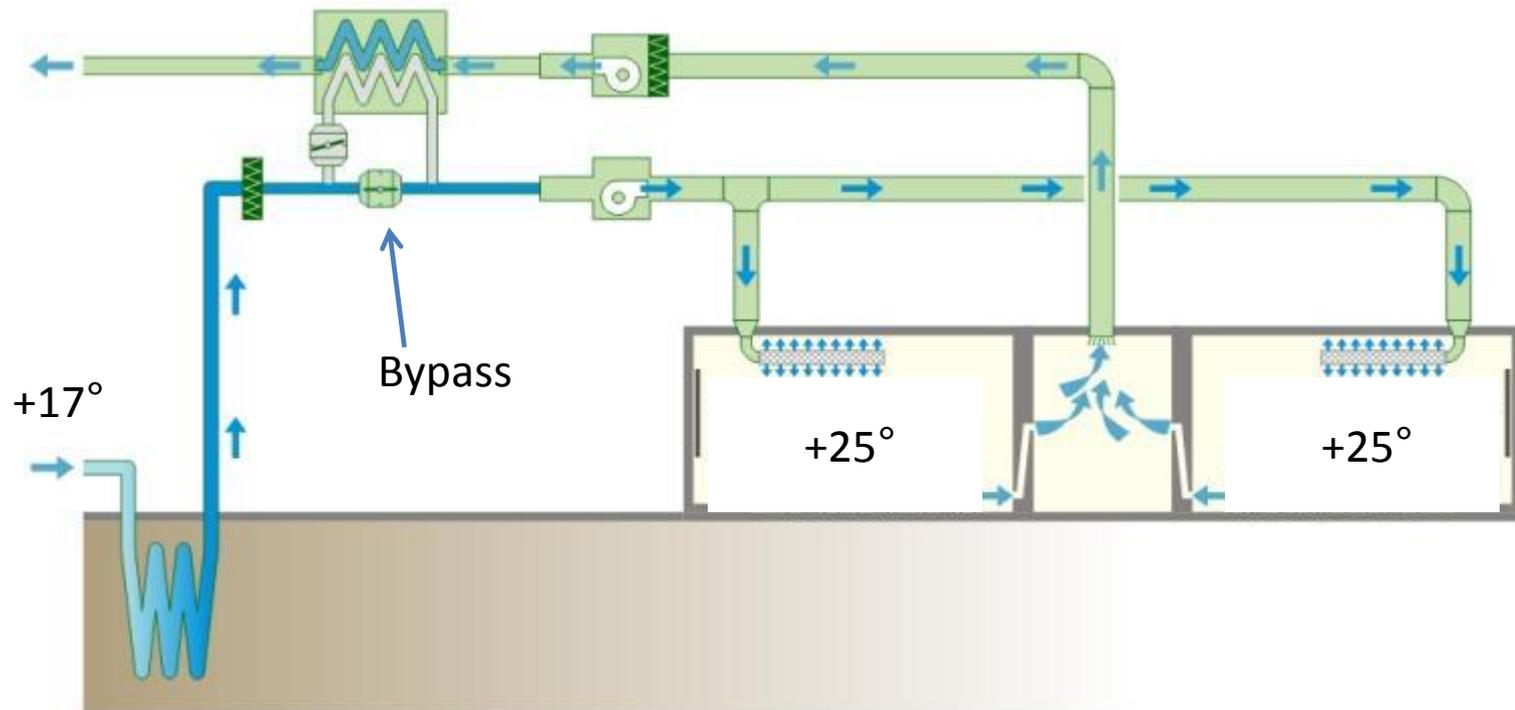
... puis dans un échangeur avec l'air chaud qui sort du bâtiment .

- Un appoint de chauffage est apporté à l'air



Une sonde de présence et un thermostat décident du besoin.

- De l'air frais pulsé les nuits d'été

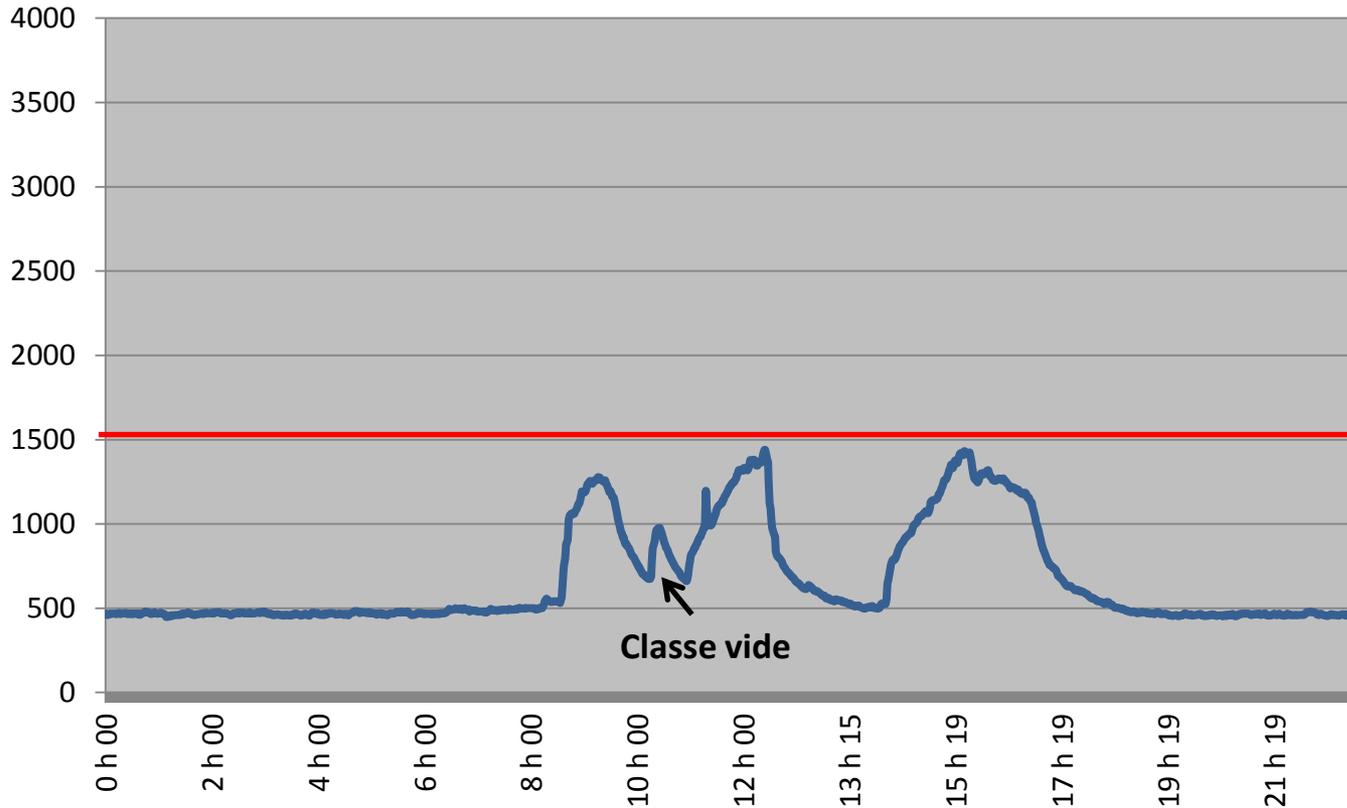


L'air frais extérieur décharge le bâtiment de sa chaleur.



« ...Et ça marche ???... »

Quels résultats ?

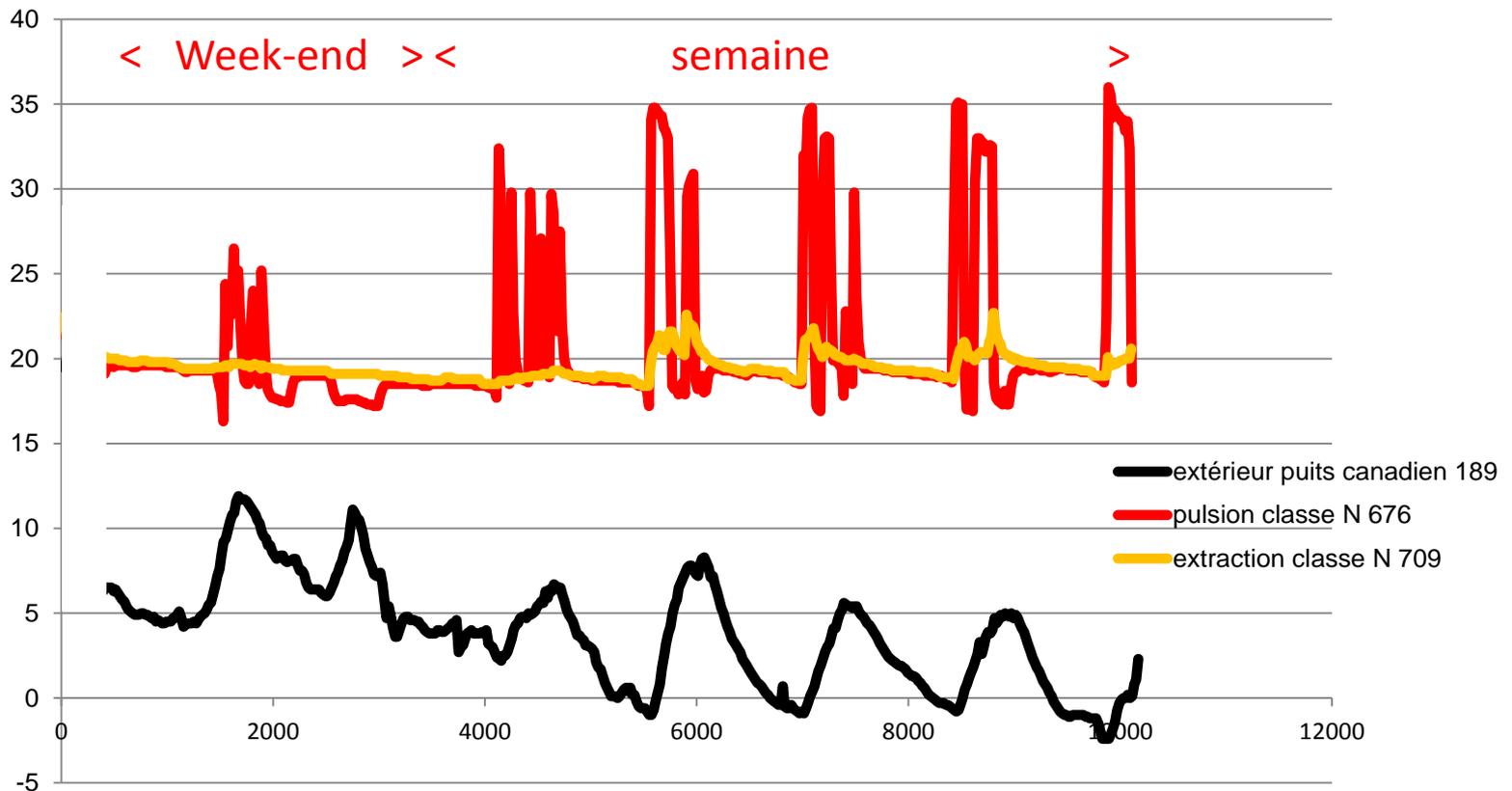


Analyse : c'est de l'air en grande quantité et préchauffé...

A noter qu'il y avait 32 élèves dans la classe ce jour-là...!

Quels résultats ?

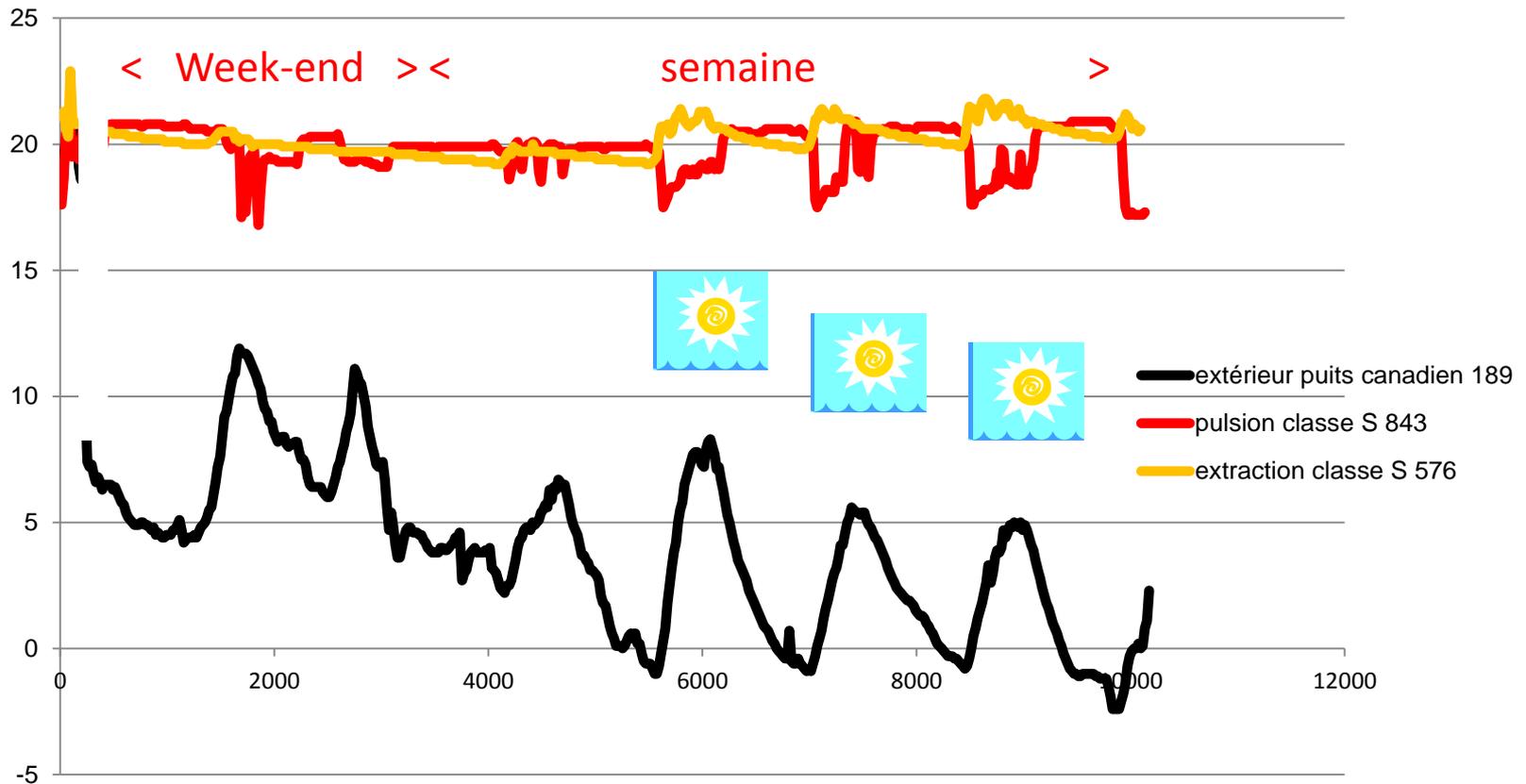
- Un chauffage modéré dans les locaux au Nord



Le chauffage se met en route quand la température du local descend...

Quels résultats ?

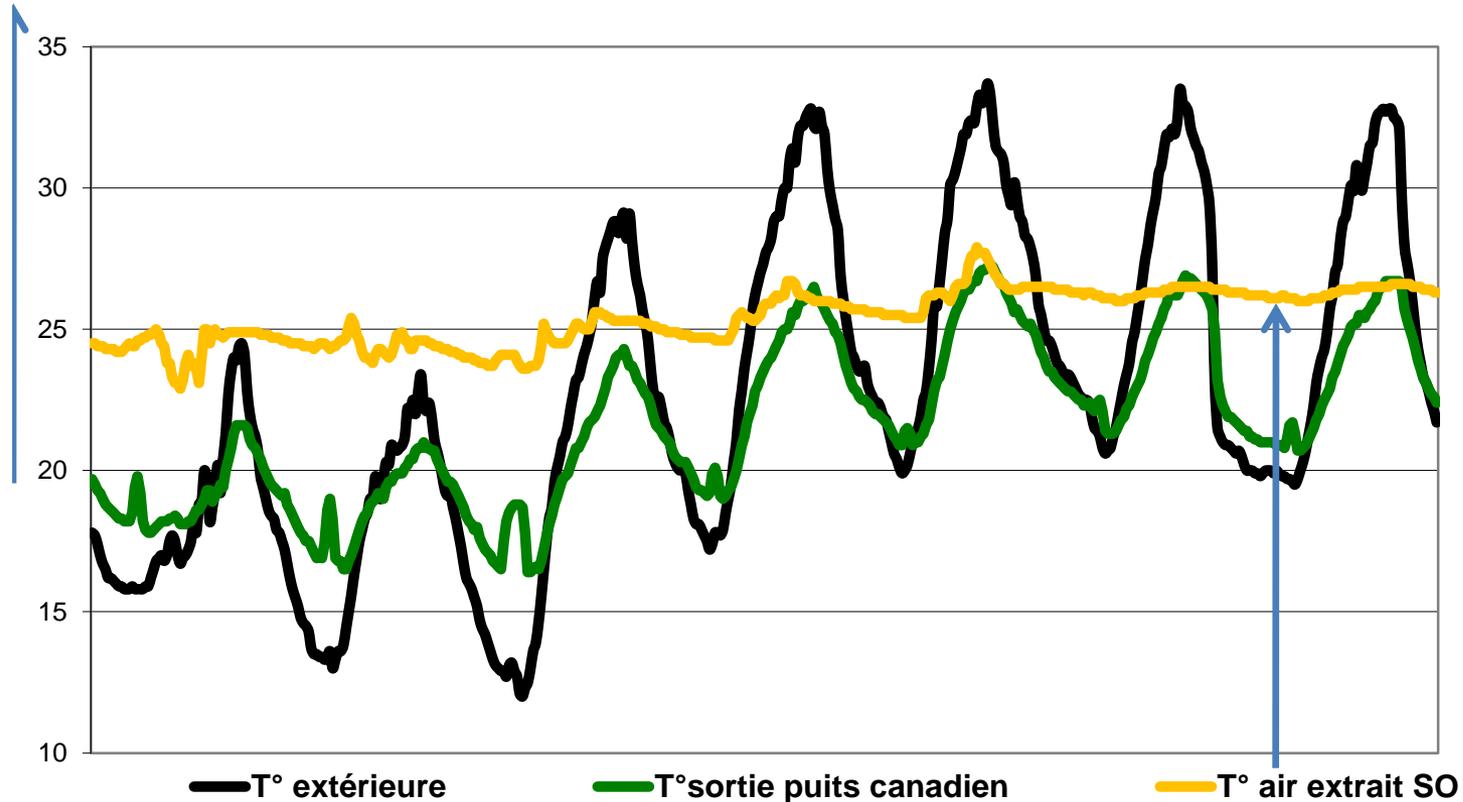
- Peu de chauffage dans les locaux au Sud



La présence des enfants et du soleil suffisent... !

Quels résultats ?

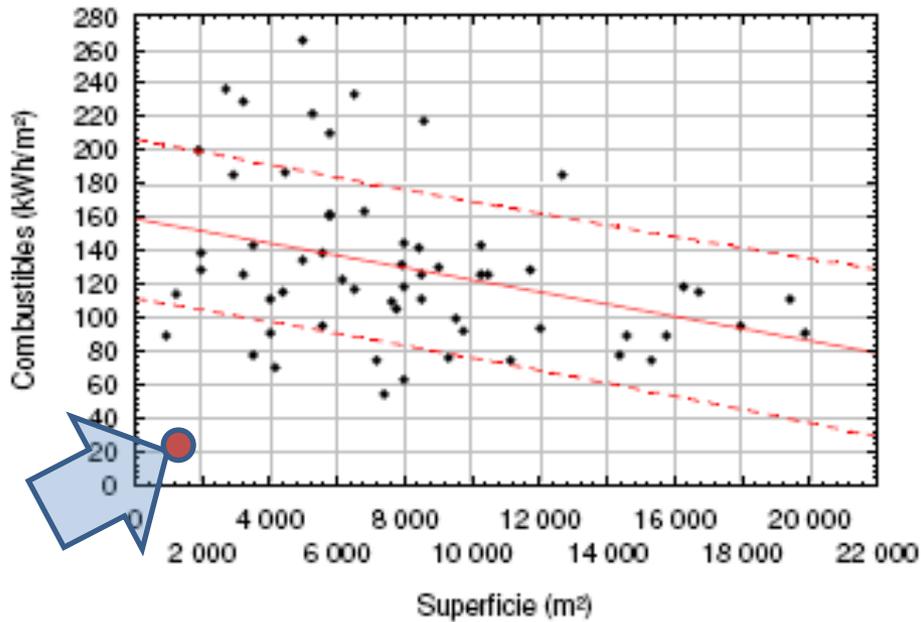
- Un refroidissement de nuit en période chaude



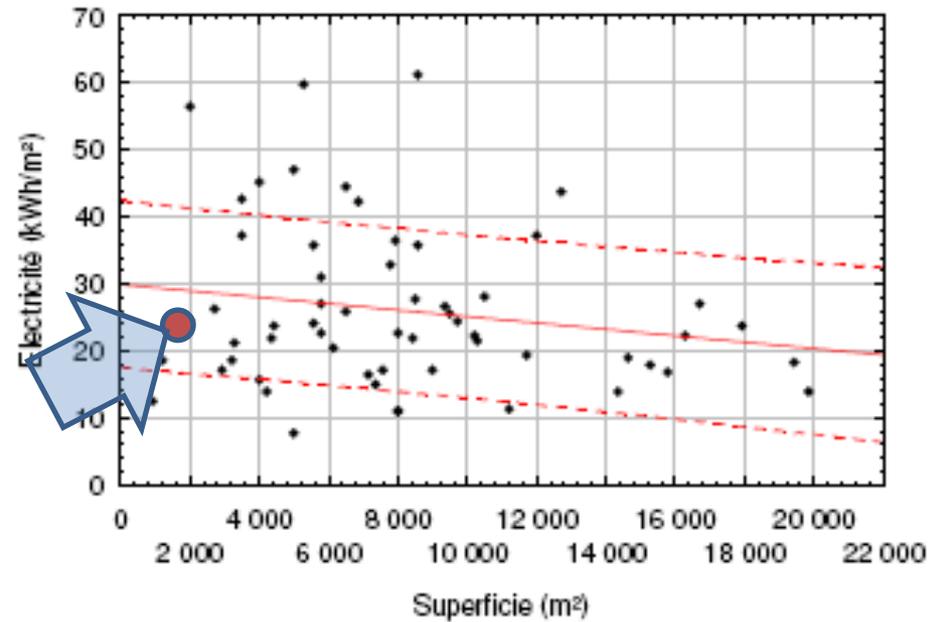
... et une température intérieure de 27° par 34° extérieur.

Quels résultats ?

- Comparons avec les autres écoles du réseau libre...



Chauffage



Electricité

Attention à l'encombrement !

L'installation d'une VMC centralisée nécessite de l'espace pour le groupe et pour les gaines

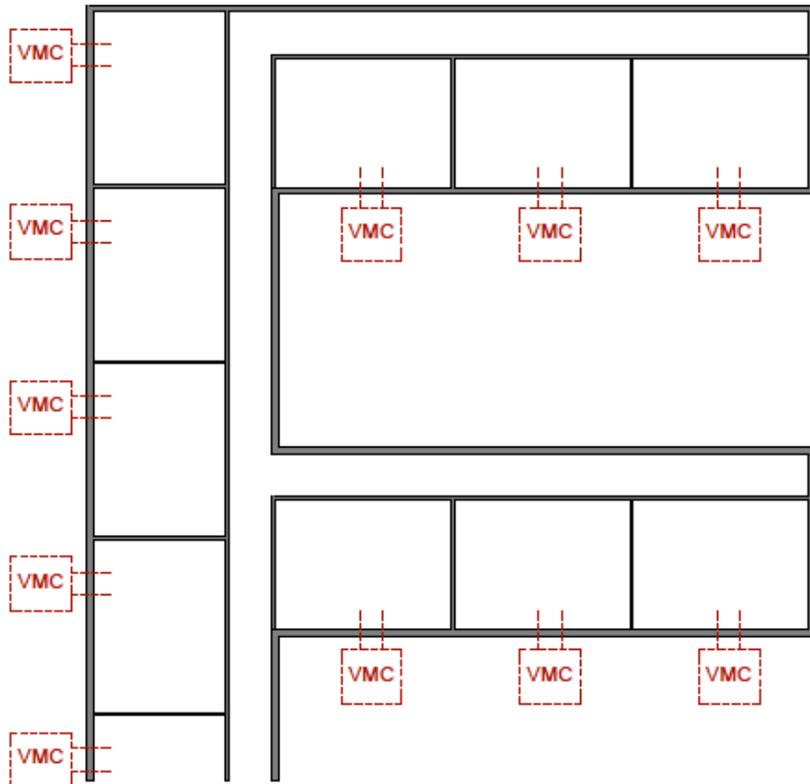


Conclusions pour la ventilation mécanique double flux

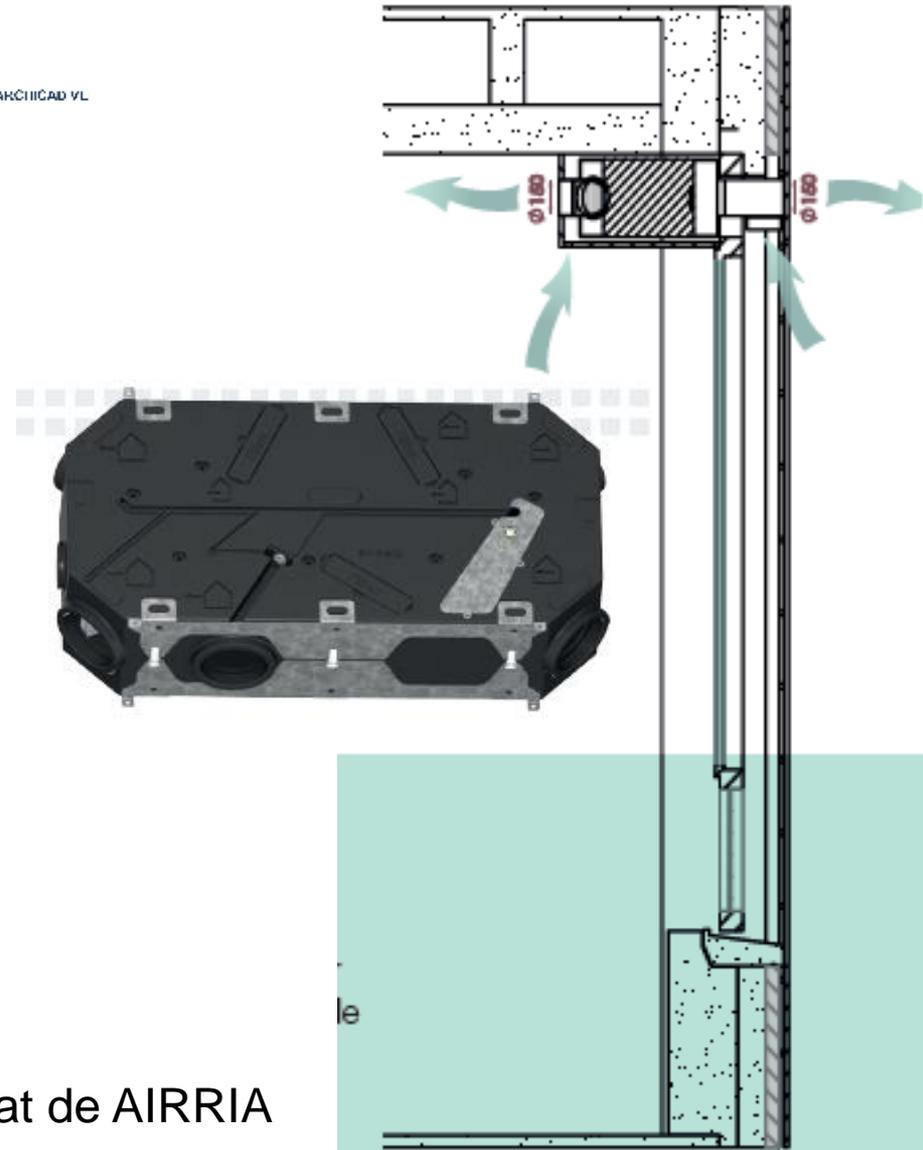
- 😊 Contrôle des débits
- 😊 Confort thermique
- 😊 Récupération de chaleur
- 😊 Isolation des bruits extérieurs (trafic...)
- 😊 (filtration de l'air – pollens etc)

- 😞 Coût
- 😞 Encombrement – contraintes spatiales
- 😞 Entretien
- 😞 Consommation électrique des ventilateurs
- 😞 (Nuisances sonores éventuelles)

Vers une ventilation double flux décentralisée ?



ARCIIIAD VL



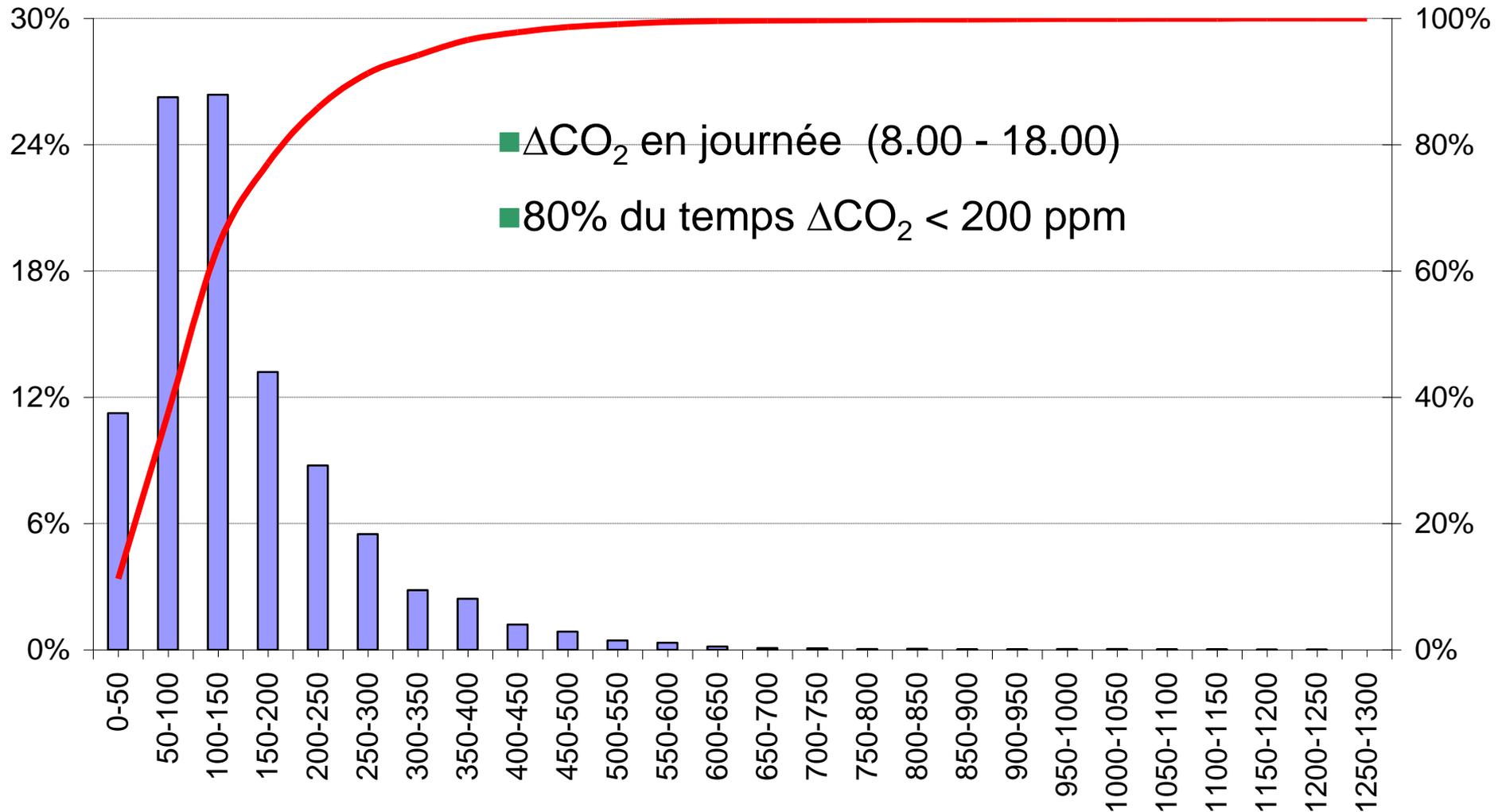
Ex : Smartflat de AIRRIA

Limiter l'énergie liée à la ventilation ?

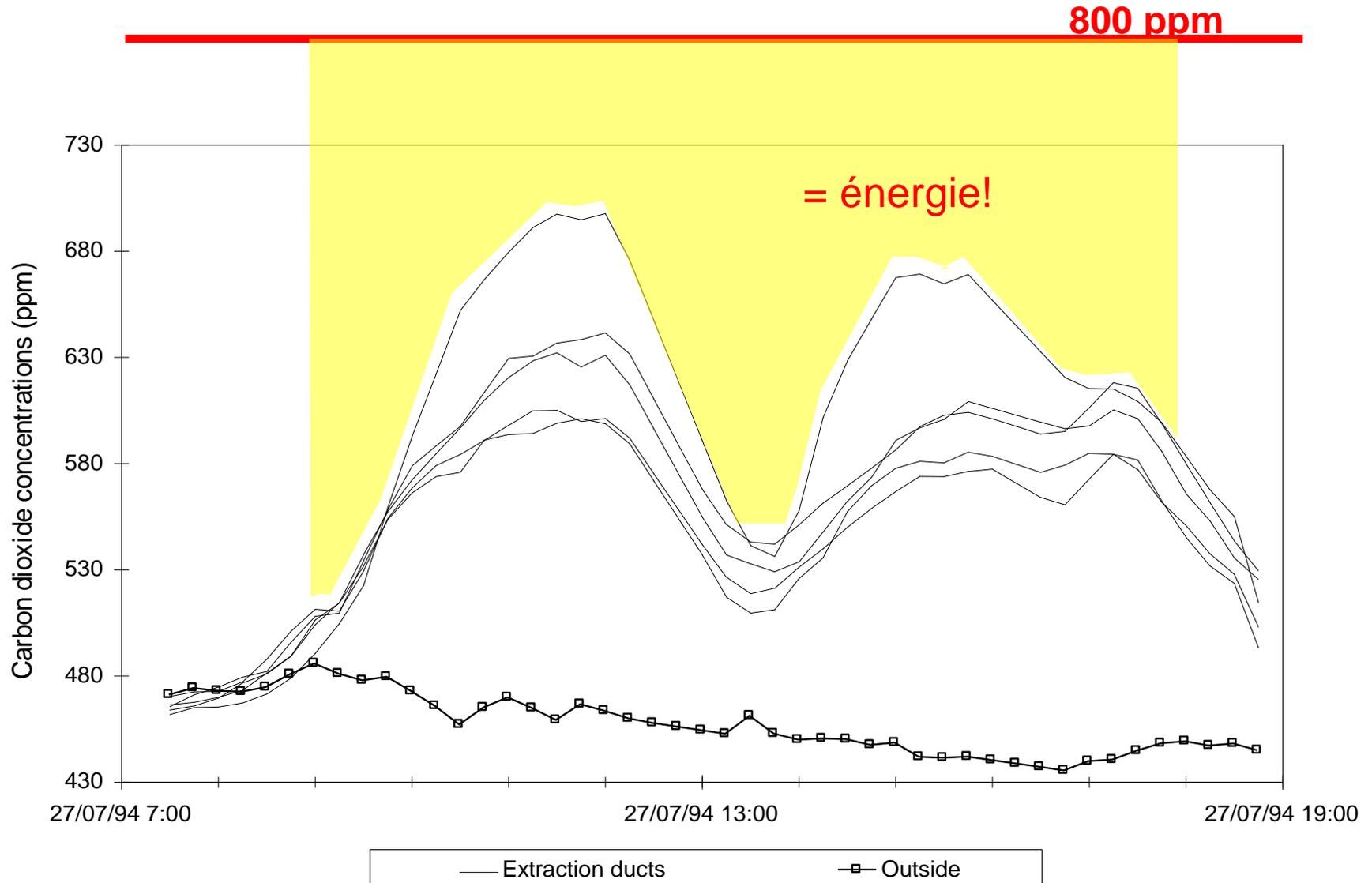
1. diminuer le débit nominal

- Campagne de mesures "Kantoor 2000" du CSTC :
 - mesures CO₂- dans 7 bâtiments et 63 locaux
 - 6 avec ventilation double-flux et 1 sans ventilation

Mesures CO2 dans "KANTOOR 2000"



Moins de 800 ppm = consommer trop !



1. diminuer le débit nominal

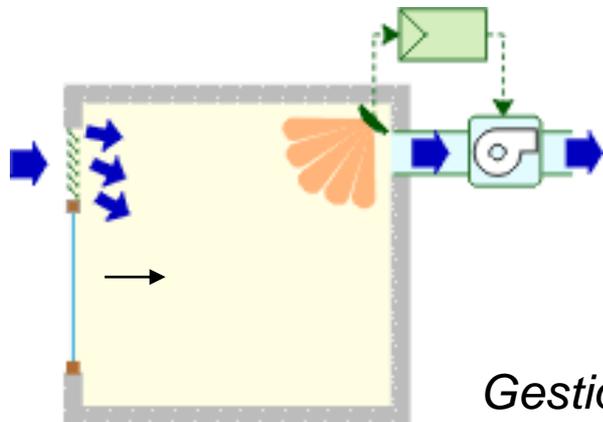
- Limiter le débit aux 30 m³/h.pers demandés par le RGPT ?
- Adapter le taux d'air neuf en fonction du nombre moyen effectif de personnes présentes (adaptation des poulies ou ventilateur à vitesse variable).



Limiter l'énergie liée à la ventilation ?

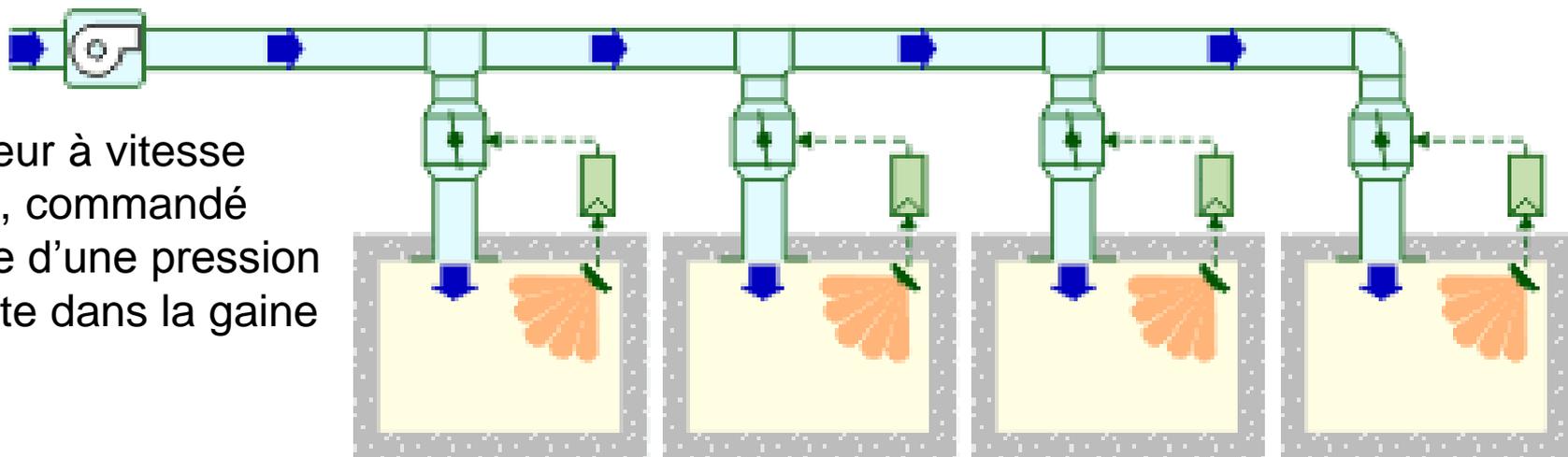
2. diminuer le débit d'exploitation (= ventilation à la demande)

- Moduler le débit d'air neuf en fonction de la présence effective des occupants.
- C'est rentable si on peut économiser le traitement de 2.000.000 m³ (soit 1.000 m³/h x 2.000 h).
- **Outils :**
 - Détecteur de présence
 - Sonde CO₂
 - horloge (cafeteria, cuisine)
 - ...



Gestion d'un système unizone simple flux

Ventilateur à vitesse variable, commandé sur base d'une pression constante dans la gaine



Gestion d'un système multizone double flux



**Debit varie avec présence
+ Ventilateur à vitesse variable sur capteur de pression**



Limiter l'énergie liée à la ventilation ?

3. couper la ventilation la nuit et le week-end

- Heures de bureaux = 50 h/semaine... alors qu'une semaine dure $7 \times 24 \text{ h} = 168 \text{ h}$!
 - Des grilles qui restent ouvertes = fuite de chaleur permanente
 - Faut-il en déduire que la ventilation mécanique s'impose ?
 - Arrêter l'air neuf en période de relance du matin (avant l'arrivée des occupants).

Limiter l'énergie liée à la ventilation ?

4. récupérer la chaleur de l'air extrait pour préchauffer l'air neuf

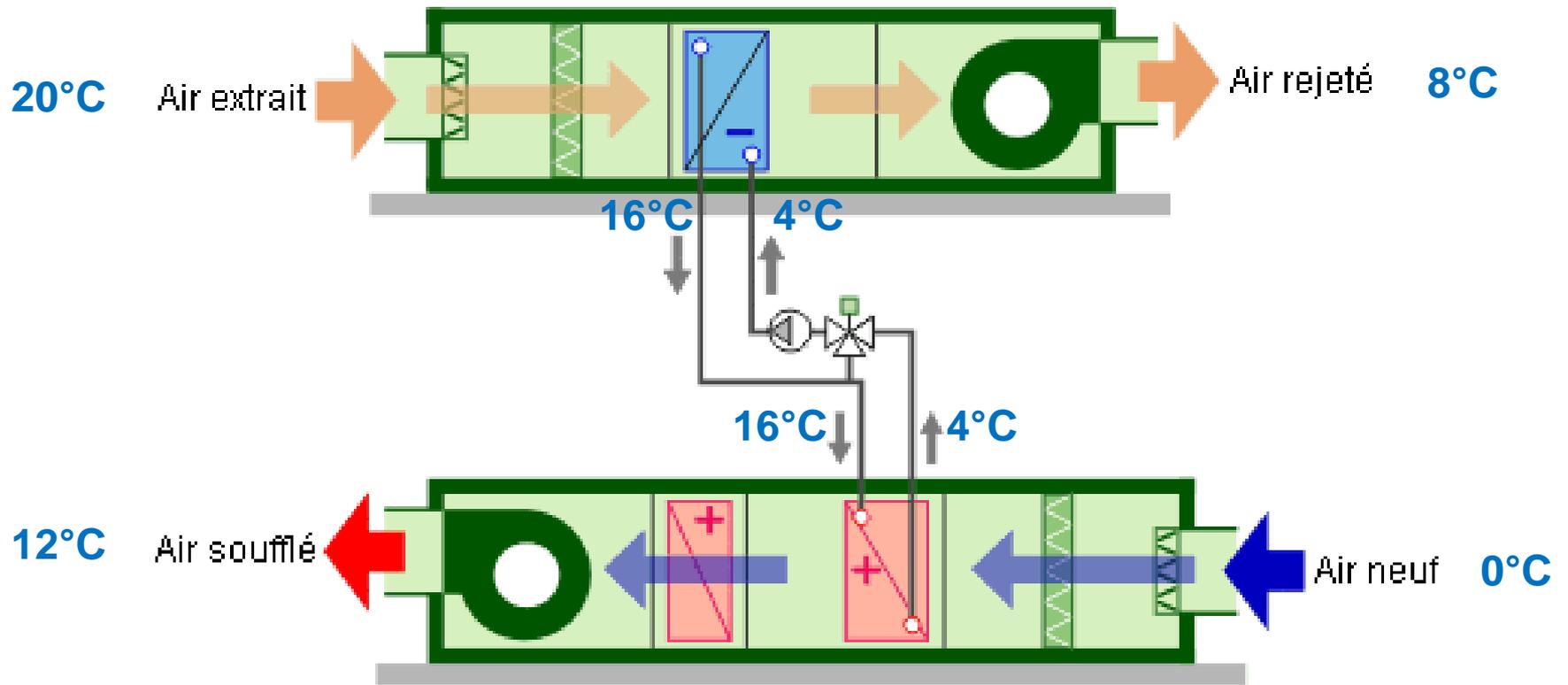
- Placer un récupérateur de chaleur : très "rentable" si
 - débit d'air > 10.000 m³/h en fonctionnement 10 h/jour
 - débit d'air > 4.000 m³/h en fonctionnement 24 h/ 24



Récupérateur à plaques dans un caisson de traitement d'air

Attention au besoin de by-pass en mi-saison !

Si les conduites ne sont pas proches l'une de l'autre,
→ récupérateur à eau glycolée



Limiter l'énergie liée à la ventilation ?

5. choisir des ventilateurs performants

Débit Q [m ³ /h]	Rendement min. Exigé	Rendement min. Conseillé
Q > 20.000	80 %	82 %
20.000 > Q > 10.000	78 %	80 %
10.000 > Q > 6.000	75 %	77 %
6.000 > Q > 3.000	70 %	72 %
Q < 3.000	60 %	60 %



Ventilateur centrifuge

Limiter l'énergie liée à la ventilation ?

6. concevoir des réseaux sans fuites

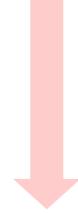


- Conduit rectangulaire à angles droits
- Fuites... jusqu'à 50 %!



- Préférer les conduits circulaires
- Etanches!

Classe C



Limiter l'énergie liée à la ventilation ?

7. choisir des conduits larges

La perte de charge dans les tronçons linéaires ne dépassera pas 1 Pa/m et la vitesse ne dépassera pas 7 m/s.

Pertes de charge maximales : réseau de pulsion			
Composant	Pertes de charge faibles [Pa]	Pertes de charge moyennes [Pa]	Pertes de charge élevées [Pa]
Conduits	100	200	300
Batterie chaude	40	80	120
Batterie froide	100	140	180
Silencieux	30	50	80
Bouche de pulsion	30	50	100
Prise d'air extérieur	20	50	70

Résumé : Limiter l'énergie liée à la ventilation ?

- 1. diminuer le débit nominal**
- 2. diminuer le débit d'exploitation
(= ventilation à la demande)**
- 3. couper la ventilation la nuit et le week-end**
- 4. récupérer la chaleur de l'air extrait pour préchauffer l'air neuf**
- 5. choisir des ventilateurs performants**
- 6. choisir des réseaux sans fuites**
- 7. choisir des conduits larges**