



Chapitre d'actes

2010

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Etude comparative de diverses techniques de rafraîchissement passif,
pour un bâtiment administratif en climat d'Europe Centrale

Hollmuller, Pierre; Gallinelli, Peter Giulio; Lachal, Bernard Marie; Weber, Willi

How to cite

HOLLMULLER, Pierre et al. Etude comparative de diverses techniques de rafraîchissement passif, pour un bâtiment administratif en climat d'Europe Centrale. In: AMT 2010, 1er Congrès de l'Association Marocaine de Thermique. Settat (Maroc). [s.l.] : [s.n.], 2010.

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:18026>

Pierre HOLLMULLER^{1*}
Peter GALLINELLI²
Bernard LACHAL¹
Willi WEBER¹

¹ Pôle en Sciences de
l'Environnement, Université de
Genève, CH - 1227 Carouge
² Laboratoire Energie
Environnement & Architecture,
Hepia, 4 Rue de la Prairie, CH -
1202 Genève

* pierre.hollmuller@fc.ul.pt

Etude comparative de diverses techniques de rafraîchissement passif, pour un bâtiment administratif en climat d'Europe Centrale

Résumé : Cette étude compare diverses techniques de rafraîchissement passif intégrées au système de ventilation (ventilation nocturne, puits canadien, déphaseur aéraulique, humidification adiabatique). Leur potentiel est évalué pour le cas d'un bâtiment administratif situé dans un climat d'Europe Centrale (Genève), avec une attention particulière à la localisation rurale / urbaine, ainsi qu'à une condition estivale normale / caniculaire (type 2003). La réponse thermique du bâtiment est simulée pour diverses configurations constructive et opérative (protections solaires, masse thermique, isolation, gains internes), avec ou sans appui de rafraîchissement auxiliaire.

Mots clés : rafraîchissement passif, ventilation, météo et climat, simulation

1. Introduction

En Europe comme ailleurs dans le monde, la demande d'électricité due à la climatisation est en forte augmentation, surtout en appels de pointe. Pour limiter ce développement, il s'agit d'une part de mettre en œuvre des mesures architecturales et constructives adéquates (réduction des gains solaires et internes, accès à la masse thermique), d'autre part des techniques de rafraîchissement passifs.

Nous nous intéresserons ici à diverses techniques de rafraîchissement passif (ventilation nocturne, puits canadien, déphaseur aéraulique, humidification adiabatique), qui s'intègrent au système de ventilation, en faisant usage de l'oscillation météo jour/nuit. L'objectif de ce travail est de caractériser les potentiels de ces diverses techniques, ainsi que d'étudier leurs possibles synergies, pour le cas particulier d'un bâtiment administratif et d'un climat d'Europe Centrale (Genève).

Cela étant, de par leur lien avec la météo, le bon fonctionnement de ces techniques de rafraîchissement peut dépendre des variations climatiques locales (été normal ou caniculaire, situation urbaine ou rurale). D'autre part, le dimensionnement des systèmes ainsi que leur potentiel effectif sont intrinsèquement liés à la réponse thermique, et donc à la conception et l'utilisation du bâtiment (protections solaires, masse thermique, isolation, gains internes).

Financée par l'Office Fédéral de l'Energie (Suisse), cette étude se propose d'analyser les relations entre météo, systèmes de rafraîchissement et bâtiment, à partir d'une étude paramétrique basée sur de la simulation numérique.

2. Contrainte météorologique

Portant sur 15 années consécutives récentes (1990-2005), l'analyse de données météo estivales en région de Genève [1] fait ressortir les points essentiels suivants (fig. 1) :

- De façon générale, les variations inter annuelles des températures horaires classées sont faibles. L'été normal est bien représentée par l'été 2004, qui ne dépasse que rarement les 30°C. Nettement hors statistique, l'été 2003 constitue à cet égard une exception notable, avec une cinquantaine de jours dépassant les 30°C, dont une quinzaine de jours atteignant plus de 35°C.
- Il existe par contre un écart systématique entre ville et campagne, où les températures nocturnes atteignent des valeurs plus basses, pour des températures diurnes similaires. Dès lors, les systèmes de rafraîchissement basés sur l'oscillation thermique jour/nuit seront sensibles à l'implantation locale.
- Contrairement à la température sèche, la température humide varie nettement moins entre ville et campagne, et surtout très peu entre l'été de référence et l'été 2003 (ce qui est également confirmé sur l'ensemble de la période de 15 ans). Cela indique une plus grande stabilité pour le rafraîchissement par évaporation adiabatique que pour les techniques basées uniquement sur l'oscillation de la température sèche.

3. Bâtiment

Représentatif du parc administratif existant, la typologie architecturale retenue dans cette étude est celle d'un bâtiment linéaire de faible profondeur, avec des bureaux de 20 m² / 50 m³ situé de part et d'autre d'un couloir central. En termes de simulation, cette typologie résulte en un modèle thermique constitué de trois zones : deux bureaux, sur façades opposées et séparés par le couloir central, avec conditions latérales données par un climat intérieur identique (bureaux adjacents).

Pour ce qui concerne le comportement thermique du bâtiment, plusieurs options constructives et d'utilisation ont été retenues :

- La masse thermique est essentiellement déterminée par les dalles, en option lourde (béton : 510 kJ/K.m²) ou en option moyenne (ossature bois avec remplissage béton : 350 kJ/K.m²). Dans les deux cas, les murs de séparation entre les bureaux contribuent à 170 KJ/K.m² additionnels (relativement à la surface au sol). L'accès direct à la masse thermique est garanti (pas de faux plancher ni plafond).
- L'isolation thermique se présente soit en option élevée, tel que proposé par le label Minergie (20 cm + vitrage triple 1.23 W/K.m²), soit en option réduite, tel qu'utilisée dans les constructions des années 1980 (6 cm + vitrage double 3.02 W/K.m²).
- L'accès solaire est déterminé par une orientation E-W sur un horizon à 5°, avec un ratio fenêtre-mur de 50%. Des protections solaires extérieures et efficaces sont activées lorsque l'ensoleillement sur la façade excède 10 W/m² (valeur g intrinsèque : 14% ; valeur g globale : 7% pour fenêtres Minergie, 13% pour fenêtres 1980).
- Les gains internes sont choisis parmi trois options : 10, 20 ou 35 W/m² (pendant occupation : 8-18 h).

4. Ventilation et rafraîchissement passif

4.1. Systèmes de stockage de l'oscillation jour/nuit

En alternative ou en complément à de la ventilation nocturne directe, nous considérerons ici deux systèmes rafraîchissement passif intégrés au système de ventilation, qui se basent l'un et l'autre sur le stockage de l'oscillation météo jour/nuit (fig. 2). Le premier a fait l'objet de plusieurs études de cas en situation réelle et donné lieu à des règles de dimensionnement [2, 3], alors que le deuxième a donné lieu à plusieurs essais en laboratoire [4]. Ils ont par ailleurs tous deux fait l'objet de développements théoriques, notamment en terme de modèles analytiques bien validés [4, 5], qui servent de base de simulation pour cette étude.

Les caractéristiques de ces systèmes de stockage se résument comme suit :

- Dans le cas du puits canadien, l'air passe par un ensemble de tubes, enterrés sous ou à côté du bâtiment, de telle sorte que l'oscillation météo jour/nuit se trouve amortie par stockage/déstockage dans la masse thermique du terrain. La propagation de l'onde de chaleur journalière s'effectuant sur environ 15-20 cm autour des tubes, ceux-ci peuvent être disposés avec un entre-axe d'environ 50 cm, immédiatement sous le bâtiment et éventuellement en couches superposées.
Dans le cas présent, nous portons notre choix sur un diamètre de tube de 12 cm, pour un débit spécifique de 100 m³/h par tube (2.5 m/s). Ce système permet de réduire l'amplitude jour/nuit à 41% avec des tubes de 10 m, respectivement à 17% avec 20 m (amortissement exponentiel), pour un déphasage qui reste inférieur à une heure.
- Dans le cas du déphaseur, le matériau de stockage est distribué de façon homogène à l'intérieur du canal de ventilation, de façon à augmenter la surface d'échange et de diminuer la distance d'accès à la masse thermique. A condition de garantir un flux homogène et un bon échange convectif, il devient alors possible de retarder l'oscillation jour/nuit portée par le flux d'air, quasiment sans l'amortir, de façon à ce que le pic de fraîcheur nocturne soit disponible au milieu de la journée.

Dans le cas présent, nous portons notre choix sur un système prototype testé en laboratoire. Le matériau de stockage est composé de tubes en pvc de diamètre 13/16 mm remplis d'eau, empilés perpendiculairement au flux d'air, avec un écartement régulier entre tubes de 2 mm. Pour une section de 50 x 50 cm traversée par un débit spécifique de 100 m³/h (0.39 m/s de moyenne interstitielle), le système permet d'atteindre un déphasage de 8h avec 1.6 m de longueur, respectivement de 12 h avec 2.4 m (déphasage linéaire), pour une amplitude résiduelle supérieure à 80%. Ce système se différencie donc du puits canadien non seulement par un comportement thermique très différent, mais encore par un volume de stockage presque 10 fois inférieur.

En alternative ou en complément aux systèmes de rafraîchissement que nous venons de décrire, nous nous intéresserons également au rafraîchissement par humidification adiabatique, insérée à l'aval des systèmes de stockage, sur le débit d'air injecté dans le bâtiment. De façon simplifiée, nous simulerons un tel système avec une efficacité constante de 50% (humidification à 50% du potentiel donné par le différentiel entre température sèche et humide).

4.2. Débit d'air et dimensionnement du stockage

En se basant sur une occupation moyenne de 2 personnes par bureau et conformément aux exigences normatives, le débit de base en période diurne est fixé à 72 m³/h par bureau (renouvellement d'air : 1.3 vol/h), pour chuter de nuit à 6 m³/h (0.1 vol/h).

Tout comme pour la ventilation nocturne directe, dont le débit peut être augmenté de nuit pour amener de la fraîcheur dans le bâtiment, le puits canadien ou le déphaseur peuvent cependant être considérés avec des débits de ventilation plus importants. En alternative au strict débit de base, nous considérerons donc les trois variantes suivantes de débit, régulé thermiquement :

- Le même débit nominal de base (72 m³/h), également activé en période nocturne si la source de ventilation (météo, puits canadien, déphaseur) est plus fraîche que le bâtiment.
- Un débit nominal deux fois plus important (144 m³/h), activé selon la même condition thermique (ou alors réduit au débit de base).
- Un débit nominal quatre fois plus important (288 m³/h), activé selon la même condition thermique (ou alors réduit au débit de base).

De tels débits accrus impliquent d'adapter aussi bien la taille du stockage (selon valeurs de la section 4.1) que le système de distribution (gainés, ventilateur). Par ailleurs, ils impliquent inévitablement une surconsommation électrique, qu'il s'agit de maintenir aussi bas que possible. Nous nous limiterons ici à étudier l'apport thermique de ces systèmes, dits passifs, tout en soulignant que le problème de l'électricité devrait le cas échéant être étudié avec soin.

4.3. Intégration, régulation et systèmes complémentaires

Enfin, les systèmes basés sur le stockage thermique jour/nuit doivent en principe être irrigués 24/24h (faute de quoi la réponse thermique du stock n'est pas garantie). La régulation du débit injecté dans le bâtiment doit donc avoir lieu par un système de clapet à la sortie du stockage, le ventilateur fonctionnant toujours à débit nominal.

Par ailleurs, en périodes nocturnes la température de sortie du stock est plus élevée que la température météo. Pendant ces périodes il peut donc être intéressant d'alterner la ventilation inertielle (via le stockage) par de la ventilation nocturne directe. En raison de l'irrigation continue du stockage thermique, cela nécessite cependant la présence d'un deuxième ventilateur et d'un système de by-pass, ce qui alourdit le système technique.

Enfin, nous nous intéresserons aux divers systèmes de rafraîchissement passifs d'une part en mode autonome (bâtiment flottant), d'autre part appuyés par du rafraîchissement auxiliaire (bâtiment conditionné à 26.5°C, pendant l'horaire d'occupation). A cet effet nous considérerons uniquement l'énergie thermique qui doit être délivrée par le système auxiliaire, sans entrer dans le détail de sa production, ni donc de la consommation électrique associée.

5. Simulation

La simulation en pas de temps horaire (mai – septembre) est effectuée en deux temps, avec une approche automatisée permettant de gérer la quantité élevée de configurations :

- Pour chacune des quatre météo, les systèmes de stockage (puits canadien, déphaseur) sont pré-simulés via des modèles analytiques spécifiques [4, 5].
- La régulation de ces systèmes, l'humidification et la réponse du bâtiment sont alors simulés dans l'environnement Trnsys.

6. Fonctionnement sur une semaine type

Nous illustrons ici le fonctionnement des divers systèmes de rafraîchissement, ainsi que la réponse thermique du bâtiment, en absence de système de rafraîchissement auxiliaire (fig. 3). Du côté du bâtiment, la configuration retenue correspond à une structure lourde, une isolation élevée, ainsi que

des gains internes moyens (20 W/m²). Du côté de la météo, le choix se porte sur un été normal (2004), en situation urbaine.

Les systèmes de rafraîchissement passifs sont dimensionnés et régulés pour un débit de ventilation deux fois plus important (2.6 vol/h) que le débit d'aération de base. Pour référence, nous considérerons également une ventilation nocturne directe en débit de base.

La dynamique des systèmes est illustrée pour une semaine typique (fig. 3) et l'analyse des résultats est donnée ci-dessous sur l'ensemble de la période estivale (mai – septembre), en terme de température maximale atteinte dans les bureaux, ainsi que de durée de surchauffe (nombre d'heures d'occupation dépassant 26.5 °C), qui en terme de norme Suisse [6] ne devrait pas dépasser 100 h :

- Limitée aux heures d'occupation, la seule aération de base (Base) induit une température des bureaux qui dépasse la température météo, et qui se situe presque intégralement au dessus du seuil de confort, avec plus de 500 h au-delà de 30°C et une température de pointe de 34.5°C.
- Egalement pris sur l'extérieur, un débit deux fois plus important régulé sur les heures fraîches (Direct), permet de réduire considérablement la température diurne des bureaux. La durée de surchauffe se réduit alors à quelques 240 h, pour une température de pointe d'environ 30°C.
- Par amortissement de l'oscillation jour/nuit, le puits canadien de 20 m (Pipe 20m) permet une sur-ventilation en continu du bâtiment, alors que le déphaseur de 12h (Shift 12h) permet de déplacer la sur-ventilation nocturne sur les heures les plus chaudes de la journée. Avec 200 et 180 h, la durée de surchauffe excède cependant toujours les 100 h fixées par la norme, avec dans les deux cas une température de pointe juste en dessous de 29°C.
- Seule l'implémentation de ces systèmes en alternance avec de la ventilation nocturne (configurations non présentées sur la fig. 2) permet de réduire la durée de surchauffe en dessous des 100 h, pour une température de pointe qui ne dépasse pas 28°C.
- Le plus fort potentiel de rafraîchissement va cependant à l'humidification adiabatique (fig. 2, colonne de droite). Sauf pour l'aération de base, toutes les configurations avec débit accru (ventilation nocturne directe, puits canadien, déphaseur, en mode simple ou alterné) permettent de largement respecter la norme, pratiquement sans ne jamais dépasser le seuil de 26.5°C.

7. Etude de sensibilité

Pour finir, une campagne de simulation extensive (5760 combinaisons) étudie la sensibilité de ces résultats en fonction du débit de ventilation (cf. section 4.2), de diverses options constructives et opératives du bâtiment (cf. section 3), ainsi que pour les quatre situations météorologiques retenues (cf. section 2). Les systèmes de rafraîchissement sont considérés d'une part en mode autonome (bâtiment flottant), d'autre part appuyés par du rafraîchissement auxiliaire (bâtiment conditionné). Dans le premier cas les résultats sont analysés en terme de durée de surchauffe et de température de pointe sur la période estivale, dans l'autre cas en terme d'énergie et puissance de pointe thermiques pour le rafraîchissement auxiliaire. De façon synthétique, on en retire les conclusions suivantes :

- Dans une optique d'utilisation rationnelle de l'énergie, il est à nouveau montré qu'une bonne protection solaire reste primordiale pour maintenir des conditions de confort estival acceptables. Les autres paramètres de l'enveloppe (inertie du bâtiment, accès à la masse thermique, orientation, isolation...) ne jouent un rôle qu'une fois cet aspect bien maîtrisé.
- Cela étant, si l'on veut obtenir un bon confort estival à moindre coût énergétique, il vaut mieux tendre vers un bâtiment très bien isolé. Autrement dit, et contrairement à un jugement hâtif basé sur l'intuition, il y a totale compatibilité entre les objectifs hivernaux et estivaux. Pour un bon bâtiment administratif, cela est dû à ce que la température interne pendant l'occupation est inférieure à la température extérieure, si bien que l'effet de l'isolation est alors positive. Cela peut en principe être étendu à l'habitat, dans la mesure où de nuit, lorsque le différentiel s'inverse, l'ouverture des fenêtres permet l'échange thermique adéquat.
- L'occupation des locaux joue également un rôle central pour le confort, à travers les charges internes et les apports thermiques des appareils de bureau, qu'il s'agit de maintenir aussi bas que possible. A cet égard, l'étude n'a par contre pas abordé l'effet de la gestion par les occupants des ouvrants, stores, éclairage et autres appareils, gestion qui a été supposée correcte.
- Au niveau climatique, des résultats significativement différents sont obtenus pour le même bâtiment selon que l'on considère un site urbain ou rural, un été normal ou caniculaire (type 2003). Pour un été normal et un site rural, un bâtiment efficacement protégé du soleil et des charges internes modestes (10 W/m²), un bon confort peut être garanti par simple ventilation nocturne, avec un débit d'air équivalent au débit minimal d'aération (1.3 vol/h). Dans tous les autres cas, si l'on veut strictement respecter la nouvelle norme (moins de 100h à plus de

26.5°C), sans recourir à du rafraîchissement auxiliaire, il faut impérativement ventiler le bâtiment avec de l'air rafraîchi et un débit de ventilation accru.

- A cet égard, l'humidification adiabatique présente non seulement le plus grand potentiel, mais encore la plus grande stabilité par rapport à un été caniculaire type 2003. La quantité d'eau absorbée par l'humidification adiabatique (dans la grande majorité des cas moins de 50 litre/m² par été) reste suffisamment faible pour ne pas être un enjeu. La question de l'hygiène et de l'humidité interne du bâtiment n'a par contre pas été abordée dans cette étude.
- En complément aval à l'humidification, mais parfois également en alternative, les systèmes de stockage jour/nuit (puits canadien ou déphaseur thermique) permettent dans plusieurs cas de gagner de 1 à 2°C supplémentaires sur la température estivale de pointe, respectivement les quelques dizaines d'heures de confort qui manquent, cela même en situation d'été caniculaire. Cela est particulièrement le cas lorsque ces systèmes sont implantés en mode alterné avec de la ventilation nocturne directe.
- Pour une occupation 8 – 18 h, le système de stockage fournissant la meilleure prestation est clairement le déphasage de 8h. Cela étant, le choix entre l'utilisation d'un puits canadien ou d'un déphaseur se fera également sur des bases autres que thermiques : emplacement à disposition, possibilité d'intervention, coûts, maturité des technologies, consommation électrique, etc.
- Dans tous les cas, la question du débit de ventilation accru nécessite une attention particulière à la consommation électrique additionnelle, qui n'a pas été abordée dans cette étude. A cet égard, ce sont souvent moins les systèmes de stockage que la distribution d'air dans le bâtiment qui peuvent constituer le goulet d'étranglement.
- En cas de gains internes élevés (>30 W/m² environ), l'aide d'un système de rafraîchissement complémentaire est nécessaire et permet de maintenir un confort normé (26.5°C en continu). La mise en œuvre des stratégies ci-dessus permettent alors de réduire très considérablement l'énergie nécessaire et dans une moindre mesure la puissance appelée. Dans plusieurs cas le système de froid (surtout la distribution et l'émission) peut être alors très simple et d'un coût bien moindre qu'une climatisation traditionnelle.

Références

- [1] Ineichen P. (2006) M-été-O, données climatiques estivales dans la région genevoise, valeurs moyennes et extrêmes. Genève, CUEPE, Université de Genève (Rapport de recherche). <http://www.unige.ch/cuepe/html/biblio/detail.php?id=387>
- [2] Hollmuller P. (2002) Utilisation des échangeurs air/sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments : mesures in situ, modélisation analytique, simulation numérique et analyse systémique. Genève, Université de Genève, Faculté des Sciences (Thèse, Section de physique et Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie). <http://www.unige.ch/cuepe/html/biblio/detail.php?id=179>
- [3] Hollmuller P., Lachal B. (2008) Air-soil heat exchangers for heating and cooling : dimensioning guidelines, in: Eurosun 2008, 1st International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, 7-10 October 2008. <http://www.unige.ch/cuepe/html/biblio/detail.php?id=449>
- [4] Hollmuller P., Lachal B., Zraggen J.M. (2006) A new ventilation and thermal storage technique for passive cooling of buildings: thermal phase-shifting, in : PLEA 2006, 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, 6-8 September 2006, Geneva, Switzerland, Université de Genève, Vol. 1, p. 541-546. <http://www.unige.ch/cuepe/html/biblio/detail.php?id=397>
- [5] Hollmuller P. (2003) Analytical characterisation of amplitude-dampening and phase-shifting in air/soil heat-exchangers. International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 46, p. 4303-4317. <http://www.unige.ch/cuepe/html/biblio/detail.php?id=289>
- [6] SIA (2007) Norme SIA 382/1 – Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances requises, Zürich, Société suisse des ingénieurs et des architectes.

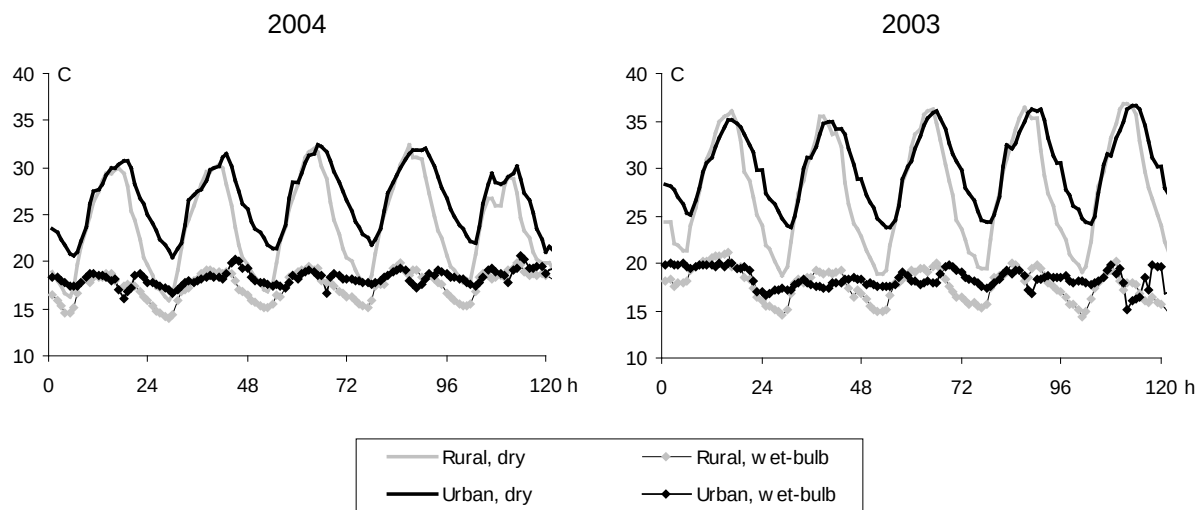


Figure 1 : Dynamique météo (température sèche et humide) sur une semaine d'été..

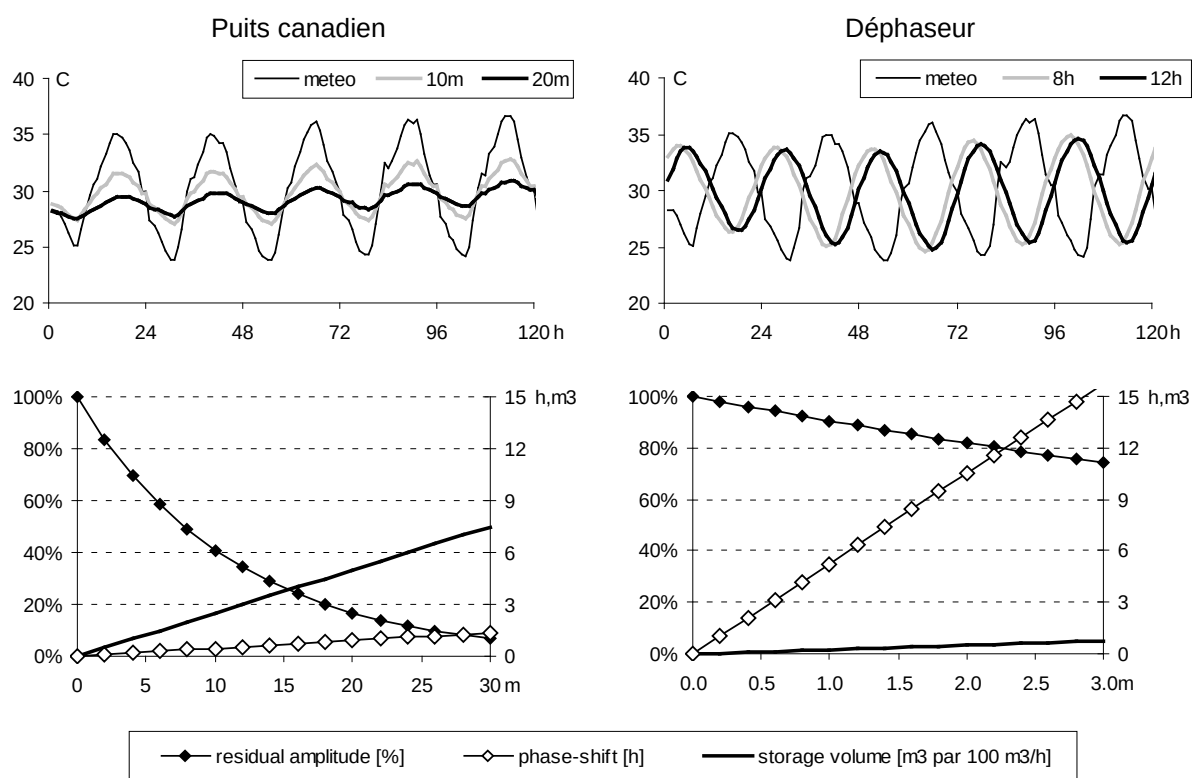


Figure 2 : Stocks thermiques : dynamique sur une semaine d'été (haut) et données de dimensionnement (bas).

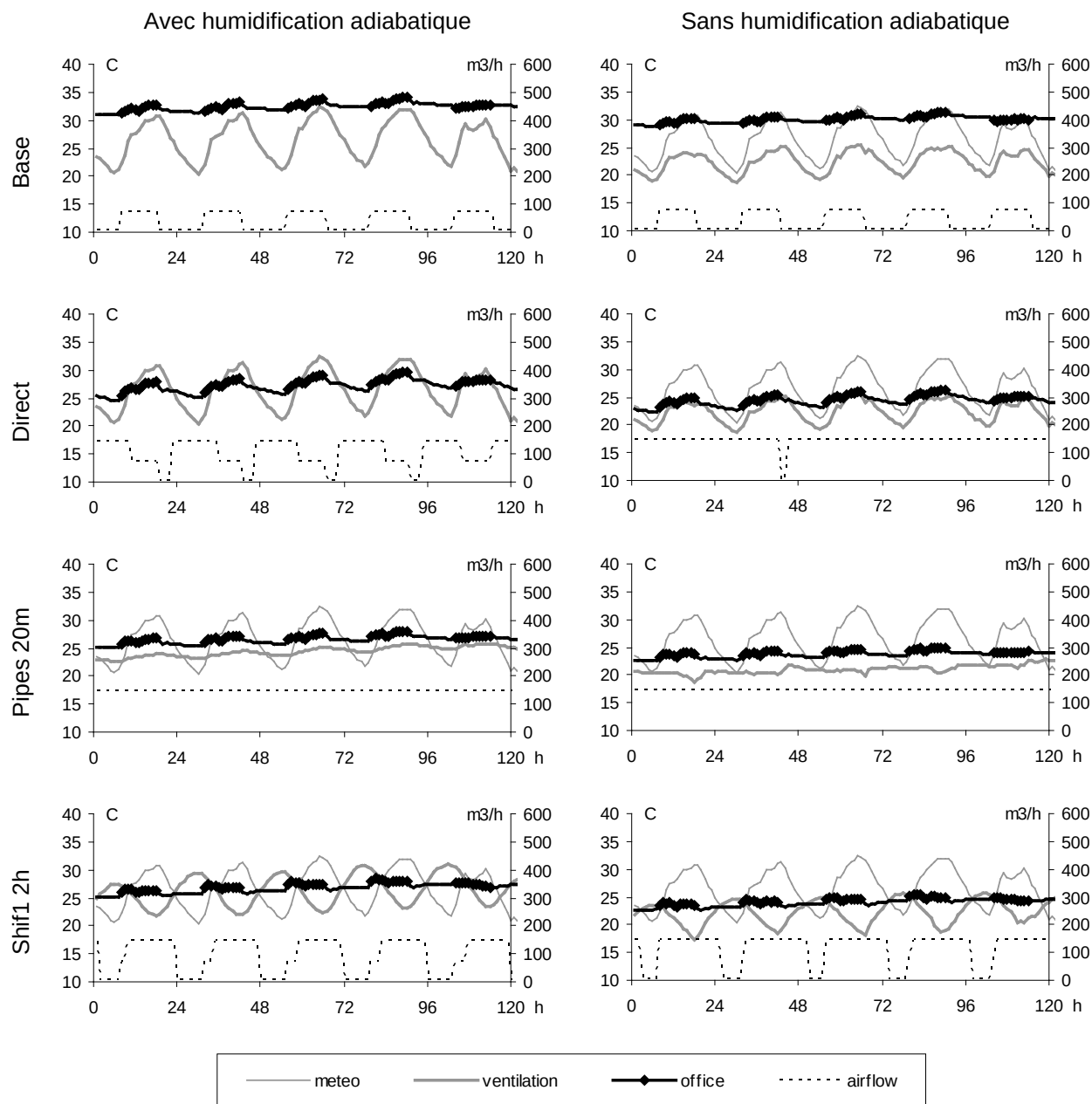


Figure 3 : Stratégies de ventilation et réponse du bâtiment sur une semaine d'été (2004, situation urbaine).
Note : les températures de bureau marquées d'un losange correspondent à l'horaire d'occupation.