



Rapport de recherche

2003

Public access

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

Utilisation des anciennes gaines de ventilation du Victoria Hall à des fins
de rafraîchissement inertiel : étude thermique

Hollmuller, Pierre

How to cite

HOLLMULLER, Pierre. Utilisation des anciennes gaines de ventilation du Victoria Hall à des fins de rafraîchissement inertiel : étude thermique. 2003

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:22541>

© This document is protected by copyright. Please refer to copyright holder(s) for terms of use.

Last deposit update in Archive ouverte UNIGE on 14.03.2023 18:39



UNIVERSITÉ DE GENÈVE
CENTRE UNIVERSITAIRE D'ÉTUDE
DES PROBLÈMES DE L'ÉNERGIE

Utilisation des anciennes gaines de ventilation
du Victoria Hall
à des fins de rafraîchissement inertiel

Etude thermique

sous mandat du
Laboratoire de physique du bâtiment
Ecole d'ingénieur de Genève

pour le compte du
Service de l'énergie de la Ville de Genève

Pierre Hollmuller

Mai 2003

1. Introduction

1.1. Situation de départ

Lors de rénovations antérieures du Victoria Hall les gaines souterraines d'origine, vraisemblablement conçues pour le chauffage du bâtiment, ont été réutilisées pour l'amenée d'air de la ventilation mécanique. Probablement pour des raisons sanitaires, elles ont été tubées à cet effet avec des tuyères de ventilation métallique, coupant l'air ventilé de la masse thermique du sous-sol.

Une récente étude sur les échangeurs air/sol, menée au Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie [1], a montré l'intéressant potentiel de rafraîchissement de l'air en contact avec la masse thermique du sous-sol, permettant le cas échéant de lisser l'oscillation thermique jour/nuit (si ce n'est l'oscillation saisonnière) et de fournir le bâtiment avec un air à température très stable, en dessous du seuil de confort de 26°C.

En complément d'un concept de rafraîchissement qui, pour palier à la surchauffe estivale, devrait remettre en valeur la ventilation naturelle d'origine via les oculus de toiture, il semblait intéressant d'étudier le potentiel de rafraîchissement de l'air apporté par ventilation mécanique, par la remise en état des gaines souterraine dans leur version première, c'est-à-dire sans isoler le flux d'air de la masse thermique du sous-sol.

1.2. Mandat

Mandatée par Laboratoire de physique du bâtiment de l'Ecole d'ingénieur de Genève, pour le compte du Service de l'énergie de la Ville de Genève, cette expertise vise à estimer l'apport estival potentiel pouvant être escompter par un telle remise en état. Cette expertise s'inscrit en complément d'une étude du potentiel de rafraîchissement du bâtiment par ventilation naturelle, effectuée par l'Ecole d'ingénieur d'Yverdon, sous mandat des mêmes instances.

Contrairement à cette dernière étude, il ne nous était pas demandé ici d'étudier l'influence sur la thermique du bâtiment à proprement parler. Pour une série de débits d'air et de températures de surface (bâtiment) fournis par les mandataires, notre étude se limitera à déterminer la température de l'air à la sortie des gaines, soit la diminution de charge par ventilation mécanique à escompter lors des heures de canicules.

Il est enfin clair que cette étude ne fera que vérifier le potentiel thermique de ce concept de ventilation inertielle, sans entrer dans le concret de la mise en oeuvre qu'il impliquerait (travaux de maçonnerie, installation de filtres à poussière, branchement du monobloc etc.).

2. Objet et hypothèses

2.1. Gainés de ventilation souterraines

En absence de spécifications plus précises, seule l'utilisation des deux gaines latérales déjà utilisées pour la ventilation mécanique a été examinée dans le cadre de cette étude. Il s'agit de gaines d'une section moyenne approximativement 90 x 120 cm et d'une longueur d'environ 27 m chacune, totalisant quelques 244 m² de surface d'échange. Selon les plans fournis, les briques pleines qui constituent ces gaines s'étendent de part et d'autre sur une épaisseur d'environ 25 cm et sont vraisemblablement en contact avec le terrain.

Afin d'augmenter la surface d'échange à disposition, une troisième gaine existante (70 x 90 cm sur 40 m, soit 128 m² supplémentaires), actuellement désaffectée et menant sous la scène, pourrait éventuellement être mise à contribution en dehors des heures de spectacle/répétition, à condition tout de fois que cela soit compatible avec l'exploitation de la salle et en particulier de la scène. Quoi qu'il en soit, une inspection de cette gaine libre a préliminairement permis de vérifier l'absence de toute obstruction, si ce n'est sa condamnation actuelle sous la scène.

De même, situées avant le monobloc de ventilation pulsant l'air dans les gaines, la prise d'air frais sur l'extérieur est constituée d'une fosse d'une surface d'échange de quelques dizaines de m². L'utilisation inertielle de cette surface, actuellement isolée par des plaques de liège posées à même le béton, nécessiterait l'avis préalable d'un acousticien, raison pour laquelle nous ne tiendrons compte ici de ce potentiel supplémentaire.

2.2. Débit de ventilation

Le débit de ventilation mécanique mesuré par le Service de l'énergie concerne le monobloc de ventilation actuellement en place. Mesuré à la sortie du monobloc il s'élève en petite vitesse à 16'600 m³/h (dont apparemment seuls 75% se retrouvent à la sortie des grilles, sur le côté de la scène et en bas des escaliers), contre 28'800 m³/h en grande vitesse (dont 90 % aux grilles).

En absence de précision quant à leur fréquence d'utilisation, nous établirons ici des calculs basés sur une utilisation de ses débits en mode continu, étant bien clair que l'utilisation réelle reste modulée, notamment par la programmation de la salle (l'acoustique interdisant la ventilation mécanique pendant les spectacles). Etant donné le projet de mise en place d'une ventilation naturelle, avec une ventilation mécanique utilisée tout au plus de façon auxiliaire, des débits inférieurs à ces valeurs nominales seront également étudiés.

2.3. Températures du bâtiment

La salle de spectacle située juste au dessus des gaines souffrant actuellement de surchauffe, il ne serait à priori pas exclu que le rafraîchissement inertiel envisagé ici soit perturbé par le couplage thermique avec la salle elle-même. Les plans fournis par les mandataires semblent cependant indiquer la présence d'une dalle d'environ 50 cm de moyenne, épaisseur suffisante à filtrer les variations de température jour/nuit.

Reste la question de la température estivale moyenne en surface. Etant donné le peu d'informations transmises à ce sujet et le projet d'une ventilation naturelle qui devrait modifier la situation actuelle, nous testerons les hypothèses simplificatrices suivantes : 1) température stable de 22°C toute l'année ; 2) température oscillant saisonnièrement entre 22°C en hiver et 28°C en été ; 3) en hiver température stable de 22°C, en été température avec oscillation jour/nuit entre 22 et 28°C (moyenne à 25°C).

3. Méthode et résultats

3.1. Utilisation de règles du pouce

Sous notre climat, l'apport d'air externe ne constitue une charge thermique pour le bâtiment que pendant les périodes estivales diurnes, lorsque la température grimpe ponctuellement au dessus du seuil de confort de 26°C (valeur cible) ou 28°C (valeur limite). Afin de couper cette charge thermique, l'amortissement de l'oscillation thermique journalière s'avère suffisante : pour une journée de canicule oscillant entre 17 et 33°C (oscillation de 16 K), une amplitude résiduelle de 15% (oscillation de 2.5 K) permet d'aérer avec une température relativement stable, située entre 22.5 et 27.5°C.

A condition d'avoir au minimum 20 cm de matière autour des gaines et d'être situé hors zone d'influence de la surface supérieure, l'amortissement de l'oscillation thermique est essentiellement déterminée par le rapport entre le débit d'air à rafraîchir et la surface d'échange des gaines. Pour des tubes de diamètre relativement faible (diamètres de 10 à 30 cm), afin d'obtenir un amortissement quasi complet de l'oscillation journalière (amplitude résiduelle de 15%) les règles du pouces suivantes font foi [1] :

- Pour une vitesse de 1 m/s, il faut au minimum 1 m² de surface d'échange pour 7 m³/h d'air.
- Pour une vitesse de 2 m/s, il faut au minimum 1 m² de surface d'échange pour 10 m³/h d'air.
- Pour une vitesse de 4 m/s, il faut au minimum 1 m² de surface d'échange pour 15 m³/h d'air

Dans le cas comme ici de gaines plus grosses, dans lesquelles l'échange thermique entre l'air et les parois est défavorisé, il est nécessaire de revoir ces règles à la baisse :

- Pour une vitesse de 1 m/s, il faut au minimum 1 m² de surface d'échange pour 6 m³/h d'air.
- Pour une vitesse de 2 m/s, il faut au minimum 1 m² de surface d'échange pour 8 m³/h d'air.
- Pour une vitesse de 4 m/s, il faut au minimum 1 m² de surface d'échange pour 10 m³/h d'air

Tab. 1 : Etude par règles du pouce : amortissement de l'amplitude journalière et températures de ventilation maximale (Text=33°C), pour différents débits d'air .

Débit m3/h	Gainés latérales (surface : 244 m ² , section : 2 m ²)				Temp. max °C	Gainés latérales et centrale (surface 370 m ² , section 2.6 m ²)			
	Vitesse m/s	Débit spécifique m3/h.m ²	Amplitude résiduelle %	Temp. max °C		Vitesse m/s	Débit spéc. m3/h.m ²	Amplitude résiduelle %	Temp. max °C
28'800	4.0	118	84	31.7	31.7	3.1	77	77	31.2
16'600	2.3	68	80	31.4	31.4	1.8	45	71	30.7
6'000	0.8	25	62	30.0	30.0	0.6	16	49	28.9
3'000	0.4	12	39	28.1	28.1	0.3	8	24	26.9

En appliquant ces règles aux débits nominaux du monobloc actuellement en place (ou à des fractions de ce dernier), on obtient les informations suivantes. Pour l'un et l'autre des débits nominaux, avec 118 ou 68 m³/h d'air par m² de surface d'échange, il est évidemment impossible d'amortir l'oscillation jour/nuit, si bien que par canicule de 33°C on ne peut guère espérer aérer avec moins de 31 à 32°C. Afin d'obtenir alors des températures de ventilation inférieures à 28°C il est nécessaire avec la surface d'échange à disposition de passer à des débits de 3'000 à 6'000 m³/h, selon que l'on utilise ou non la gaine de ventilation centrale.

3.2. Simulation numérique

En complément de l'analyse sommaire faite ci-dessus, nous utiliserons un modèle de simulation numérique développé spécifiquement pour l'étude des échangeurs air/sol [1]. Au contraire des règles du pouces précédentes, il permet de simuler la réponse dynamique (évolution au cours du temps) du système, en tenant compte de géométries inhomogènes et de l'influence de la température de surface.

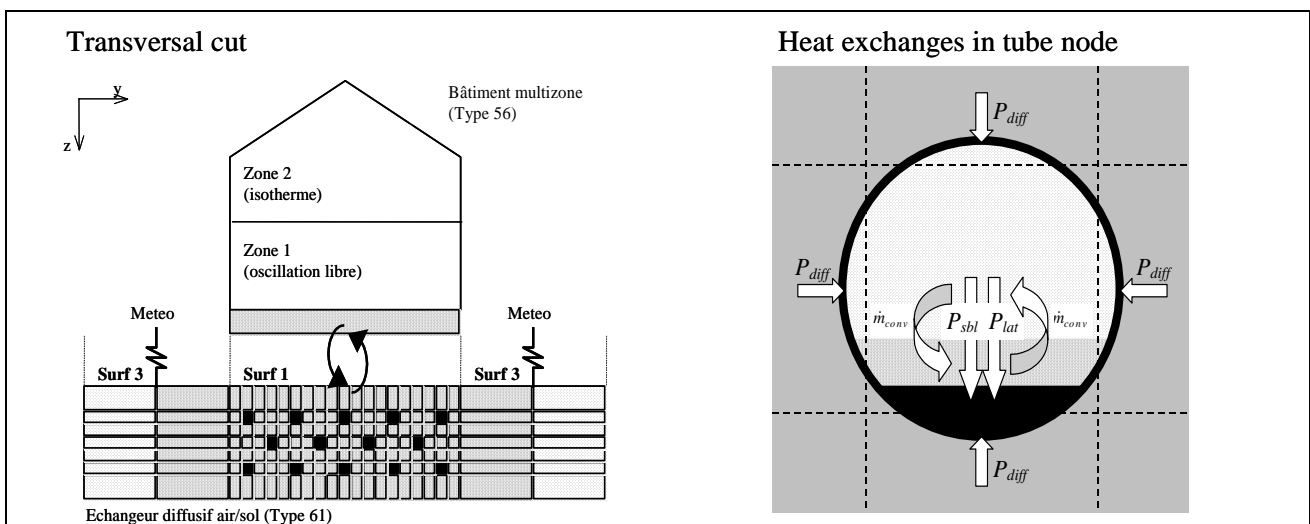


Fig. 1 : Schéma de fonctionnement du modèle de simulation numérique.

Nous limitons les simulations au cas des gaines latérales. Les simulations se font en pas horaire, sur une année complète, avec pour input la météo standard de Genève [3]. Pour chacun des scénarios, la réponse dynamique sur la semaine d'été la plus chaude est représentée dans les figures qui suivent. La définition de chaque scénario ainsi que les résultats synthétiques pour toute la période d'été sont repris au Tab. 2.

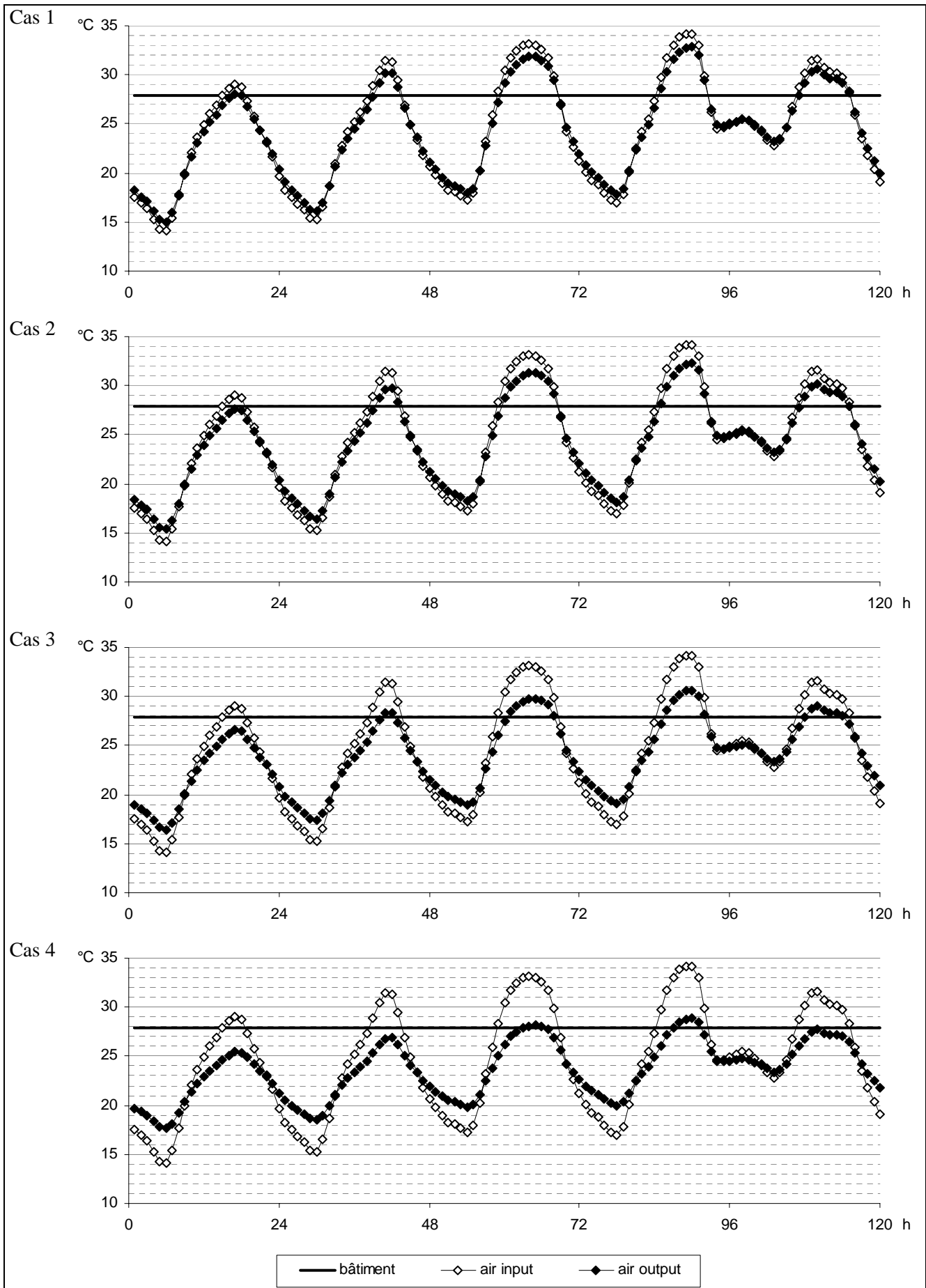


Fig. 2 : Températures sur une semaine d'été, variation du débit de ventilation.

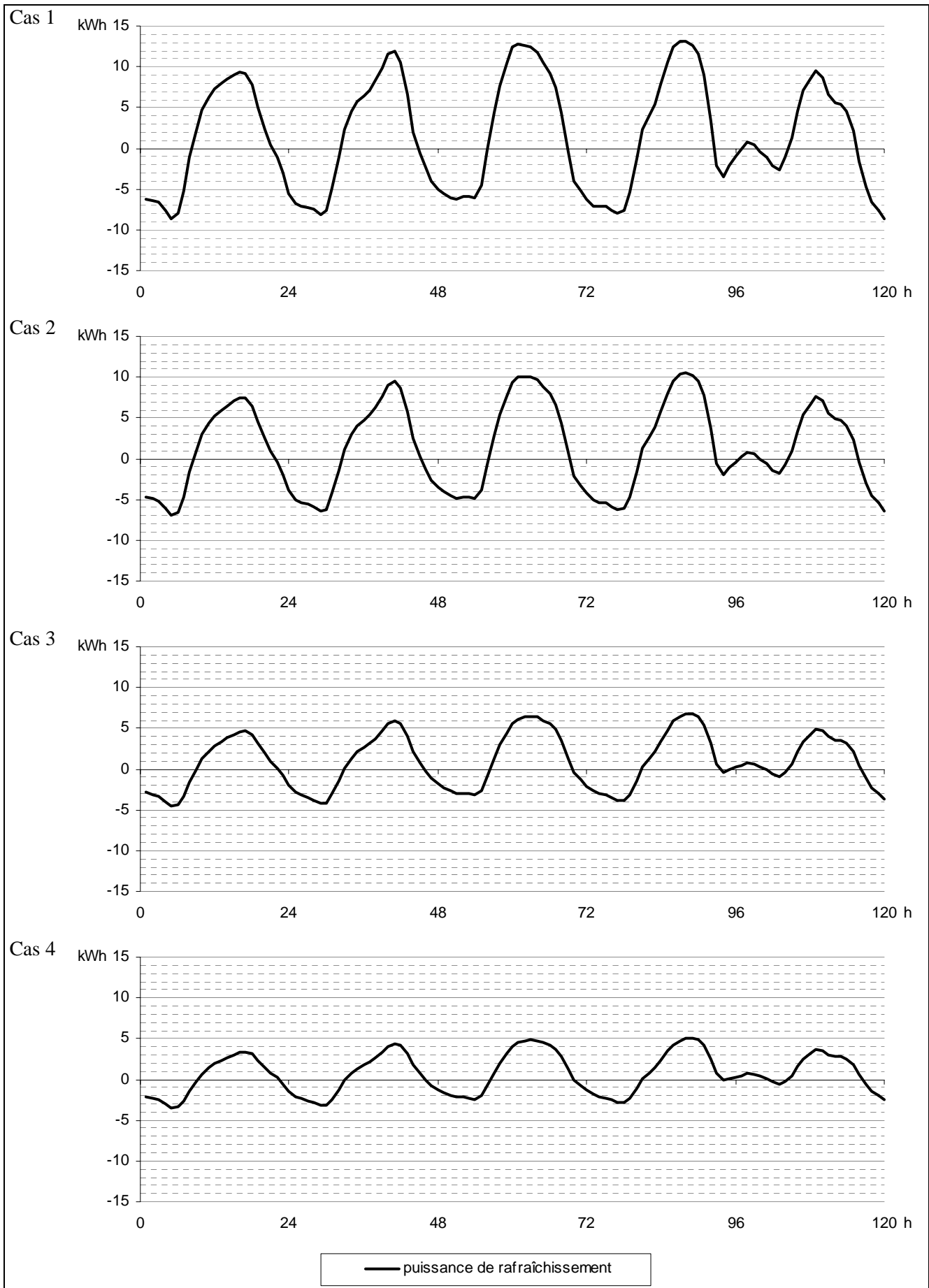


Fig. 3 : Puissance de rafraîchissement du débit d'air, variation du débit de ventilation.

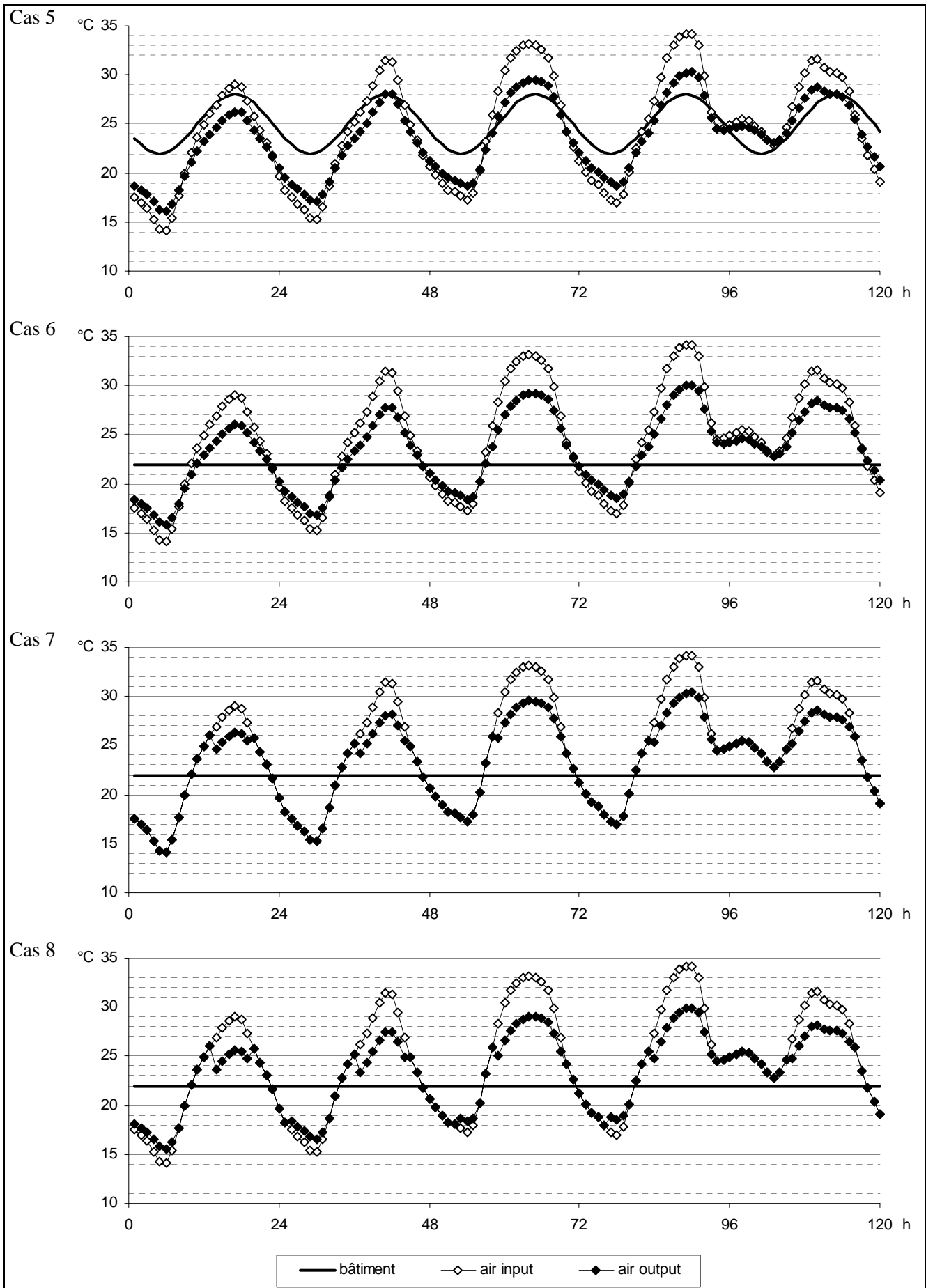


Fig. 4 : Températures sur une semaine d'été, variation des conditions de surface et de régulation.

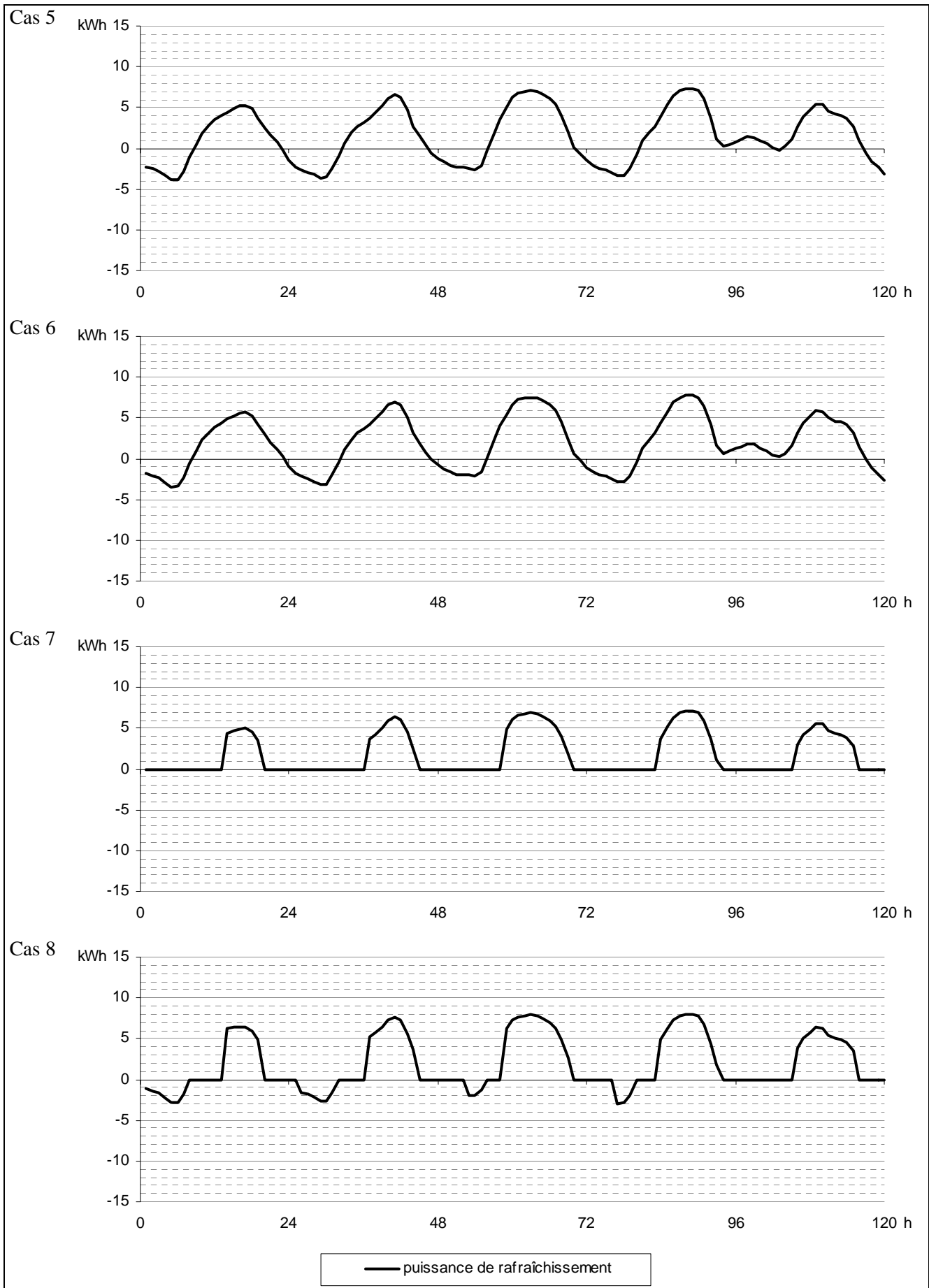


Fig. 5 : Puissance de rafraîchissement du débit d'air, variation des conditions de surface et de régulation.

Avec une température de bâtiment supposée fluctuer annuellement entre 22 et 28°C, nous simulons tout d'abord le système pour les mêmes débits, en continu, que ceux utilisés pour l'évaluation sommaire via les règles du pouce (cas 1 à 4).

Comme prévu, lors de la pointe estivale la plus élevée le débit nominal le plus élevé de 28'000 m³/h ne pourrait être rafraîchi de plus de 2 K par l'utilisation des gaines de ventilation. Par rapport à une ventilation directe depuis l'extérieur (cas actuel), ce faible gain en température représente cependant 12.6 kW sur le débit élevé de 28'800 m³/h. Résultat quelque peu plus représentatif pour l'ensemble de la période estivale, sur la totalité des heures de canicules (température externe supérieure à 26°C) on peut s'attendre à une température de ventilation moyenne de 27.5 °C, correspondant à une puissance moyenne de 8.1 kW pour le rafraîchissement du débit d'air. Par définition de l'amortissement journalier, cette puissance chute au fur et à mesure que l'on considère des périodes plus larges et prend même une valeur négative sur la totalité de la période d'été : ceci dénote que l'amortissement recherché (en l'occurrence très faible) des oscillations jour/nuit est accompagné d'un réchauffement moyen de 0.2 K en provenance du bâtiment.

Une analyse similaire peut se faire pour le débit nominal inférieur, avec cette fois-ci un rafraîchissement plus important en terme de température. Le débit étant également plus faible, il en ressort finalement une puissance de rafraîchissement inférieure (par rapport à une ventilation directe, avec le même débit). Des débits de ventilation plus faibles encore (6'000 ou 3'000 m³/h) permettent certes d'abaisser la température de ventilation (31 ou 29°C en pointe, 26 ou 25°C sur l'ensemble des heures de canicule), pour des puissances de rafraîchissement qui chutent cependant (4 ou 3 kW en moyenne).

Il est à ce propos important de noter que dans tous ces cas de figure, l'amortissement jour/nuit restant tout à fait relatif, la température de ventilation mécanique continue pendant les heures de canicules à se situer au dessus (ou à la limite) du seuil de confort de 26°C. Dès lors on choisira pendant ces heures le débit de ventilation le plus faible possible : si la ventilation naturelle permet à elle seule de maintenir une température dans le bâtiment inférieure au seuil de confort, on n'actionnera pas de ventilation mécanique supplémentaire (et l'on laissera tomber le concept de ventilation inertielle via les gaines de ventilation). Si au contraire la ventilation naturelle ne devait pas permettre de garder le bâtiment en dessous de 26°C, on pourrait être amené à ventiler en complément avec un débit mécanique relativement faible, permettant un apport d'air en dessous de la température de la salle.

Tab. 2 : Etude par simulation numérique : températures de ventilation et puissance de rafraîchissement du débit d'air, pour différents débits d'air, mode de régulation, ou température de bâtiment.

No	Débit m ³ /h	Régulation	Bâtiment		Total ¹⁾		T _{ext} >18°C ²⁾		T _{ext} >26°C ³⁾		Maximum ⁴⁾	
			hiver °C	été °C	°C	kW	°C	kW	°C	kW	°C	kW
1	28'800	continu	22	28	18.1	-1.6	22.3	2.9	27.5	8.1	32.8	12.6
2	16'600	continu	22	28	18.2	-1.5	22.2	2.2	27.1	6.5	32.2	10.2
3	6'000	continu	22	28	18.6	-1.3	22.0	1.2	26.2	4.1	30.6	6.7
4	3'000	continu	22	28	19.2	-1.2	21.8	0.7	25.2	3.0	28.8	5.1
5	6'000	continu	22	22-28	18.3	-0.6	21.6	1.8	25.8	4.8	30.2	7.3
6	6'000	continu	22	22	18.1	-0.4	21.5	2.1	25.7	5.1	30.0	7.8
7	6'000	>26°C	22	22	17.8	0.3	22.2	0.8	26.0	4.5	30.3	7.2
8	6'000	<18°C ; >26°C	22	22	18.3	-0.7	22.1	1.0	25.3	5.8	29.9	8.0

1) juin - septembre (2'880 h) : T_{ext} = 17.9°C en moyenne.

2) T_{ext} > 18°C (1'305 h) : T_{ext} = 22.6°C en moyenne.

3) T_{ext} > 26°C (221 h) : T_{ext} = 28.4°C en moyenne.

4) pointe max : T_{ext} = 34.2°C.

Dans le cadre de cette dernière remarque, nous avons mené une série de simulations complémentaires avec le débit de 6'000 m³/h, tout d'abord afin d'étudier l'influence de la température du bâtiment sur le rafraîchissement inertiel. Avec une température oscillant entre 28°C de jour et 22°C de nuit (cas 5), ou une température constante à 22°C (cas 6), on retrouve les mêmes ordres de grandeur que pour la simulation précédente avec une température à 28°C pendant l'été (cas 3) : le bâtiment étant cette fois-ci supposé plus frais, l'air de ventilation est également un peu plus frais, sans que la différence soit cependant très

significative. Comme relevé plus haut, ceci correspond au fait qu'une épaisseur de 50 cm a été supposée pour la dalle, ce qui devrait être vérifié sur le terrain.

Deux dernières simulations étudient l'opportunité de n'utiliser la ventilation inertielle que de façon intermittente, avec une température de bâtiment choisie à 22°C, par référence au cas 6. Ainsi, si la ventilation inertielle n'est utilisée que durant les heures les plus chaudes, lorsque la température météo dépasse les 26°C (cas 7), on obtient un rafraîchissement quelque peu inférieur que lors d'une utilisation continue, faute de recharge du sol durant la nuit. Avec la même régulation diurne, mais une recharge lorsque la météo chute en dessous de 18°C (cas 8), on obtient au contraire un rafraîchissement quelque peu plus effectif. Dans les deux cas les résultats sont cependant très proches du cas de référence (cas 6).

5. Considérations hydriques

Bien que le mandat à proprement parler ne porte que sur les considérations thermiques, nous ferons les quelques remarques suivantes concernant l'influence d'une ventilation inertielle sur l'humidité dans le bâtiment. Ainsi que nous l'avons vérifié à maintes autres occasions, le rafraîchissement du débit d'air par amortissement de l'oscillation thermique jour/nuit n'induit pas de condensation dans les gaines de ventilation. Dès lors l'humidité absolue (pression de vapeur d'eau) à la sortie des gaines est en principe égale à celle à l'entrée des gaines. Ceci ne sera plus forcément le cas si de l'infiltration d'eau devait avoir lieu dans les gaines, au quel cas le flux d'air pourrait se charger en humidité, qu'il amènerait dans la salle.

Dans l'hypothèse que ce dernier point soit bien contrôlé, l'utilisation de la ventilation inertielle amènerait cependant un air à humidité relative plus stable que ne le fait la ventilation directe (amortissement de l'oscillation d'humidité relative, à l'instar de l'oscillation de température), ce qui pourrait constituer un léger avantage pour la scène et la salle.

6. Conclusions

En complément d'un concept de rafraîchissement du Victoria Hall par ventilation naturelle, nous avons mené ici une étude thermique pour une possible utilisation des anciennes gaines de ventilation à des fins de rafraîchissement inertiel par ventilation mécanique. Nous en tirons les résultats suivants :

- Au vu des débits de ventilation mécanique actuellement en place (28'800 ou 16'600 m³/h), la surface des anciennes gaines de ventilation (240 m²) est beaucoup trop faible pour espérer en période de canicule obtenir un amortissement de l'oscillation thermique journalière en dessous du seuil de confort de 26°C. Seuls des débits bien plus faibles (de l'ordre de 3'000 à 6'000 m³/h) permettraient sur la période de canicule une aération avec de l'air en moyenne en dessous de ce seuil de confort (avec tout de fois des pointes horaires montant à 29 ou 30°C).
- Dans la mesure où le concept de ventilation naturelle devait permettre de maintenir le bâtiment en dessous des 26°C, le recours à la ventilation inertielle ne se justifie apparemment pas. Ce n'est que si la ventilation naturelle peinait à maintenir le bâtiment en dessous du seuil de confort que la ventilation inertielle pourrait amener une décharge auxiliaire. Dans ce cas il serait nécessaire de limiter le débit de la ventilation mécanique de telle sorte à ce que le débit d'air se situe en dessous de la température du bâtiment.
- Dans le cas d'un recours à la ventilation inertielle, il serait nécessaire de vérifier que les anciennes gaines de ventilation ne sont pas sujettes à des infiltrations d'eau durant les périodes de pluie, faute de quoi on risquerait d'amener de l'humidité supplémentaire dans le bâtiment.

Références

1. Hollmuller P., *Utilisation des échangeurs air/sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments. Mesures in situ, modélisation analytique, simulation numérique et analyse systémique*, Thèse, Université de Genève, 2002.
2. Hollmuller P., Lachal B., *Rafraîchissement et préchauffage par tubes enterrés : mesures, simulations et calculs économiques*, Proceedings de CISBAT'99, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 1999.
3. *METEONORM Version 2.0*, Database and simulation software for solar energy, Infoenergie, CH-5200 Brugg, 1995.