

Rapport annuel 2005, 15 décembre 2005

Projet

Déphaseur thermique

Optimisation et prototype intégré

Auteur et coauteurs	Pierre HOLLMULLER, Bernard LACHAL
Institution mandatée	CUEPE, Université de Genève
Adresse	7 rte de Drize, 1227 Genève
Téléphone, e-mail, site Internet	022 379 0649, pierre.hollmuller@cuepe.unige.ch , www.cuepe.ch
N° projet / n° contrat OFEN	Projet 45914 / Contrat 151414
Durée prévue du projet (de - à)	Mars 2005 – Décembre 2006

RÉSUMÉ

L'objet de cette étude est la mise en oeuvre d'un nouveau concept de stockage thermique, qui permet de déphasier à loisir une onde de température portée par un flux d'air, pour permettre de faire coïncider offre et demande de frais. Faisant suite à une première étude, également financée par l'Office fédéral de l'énergie, cette étude vise à :

- Étendre le développement de prototype à une géométrie en "tubes" (structure de stockage empilée perpendiculairement au flux d'air), en particulier pour l'utilisation de l'eau comme matériau de stockage.
- Caractériser (pour les systèmes à plaque et les systèmes à tube) le lien entre précision de mise en œuvre, inhomogénéité du flux d'air et amortissement du signal.
- Déterminer dans quelle direction poussée le développement d'une filière industrielle (projet CTI ou équivalent).

L'année 2005 se solde par le bilan suivant :

- Adaptation de l'outil d'analyse et modélisation pour la prise en compte de stockage en tubes, permettant d'estimer la taille du stockage avec de l'eau (environ 0.5 m³ par 100 m³/h d'air pour le déphasage de 12 h de l'oscillation jour/nuit).
- Construction d'un nouveau prototype adapté aux contraintes du stockage en eau et amélioré au niveau de la gestion du flux d'air.
- Prises de contact et mise en place de collaborations au niveau national et international, d'une part pour étudier l'intégration du déphaseur dans le bâtiment et le système technique, d'autre part en vue de développer une filière industrielle.

Buts du projet

Contexte

Partout en Europe, la pointe de demande d'électricité due à la climatisation est en augmentation. Pour limiter le développement de cette pointe, on dispose déjà de nombreuses solutions basées sur des mesures architecturales (réduction des gains solaires, masse thermique) et sur des mesures techniques comme la ventilation naturelle ou des systèmes de rafraîchissement passifs. Une limite importante de ces derniers est que la puissance de froid délivrée n'est pas toujours en phase avec la demande du bâtiment.

Objet

Nous étudions ici la mise en oeuvre d'un nouveau concept de stockage qui permet de retarder à loisir une onde de température, pour permettre de faire coïncider offre et demande de frais. Mis en évidence par le *CUEPE* [1, 2], le déphasage contrôlé d'une onde thermique portée par un flux d'air est un phénomène prometteur pour le rafraîchissement à très faible consommation électrique ($COP > 100$) : en retardant le pic de fraîcheur nocturne de 8-12 heures, quasiment sans l'amortir, ce dernier devient disponible au milieu de la journée (Fig. 1).

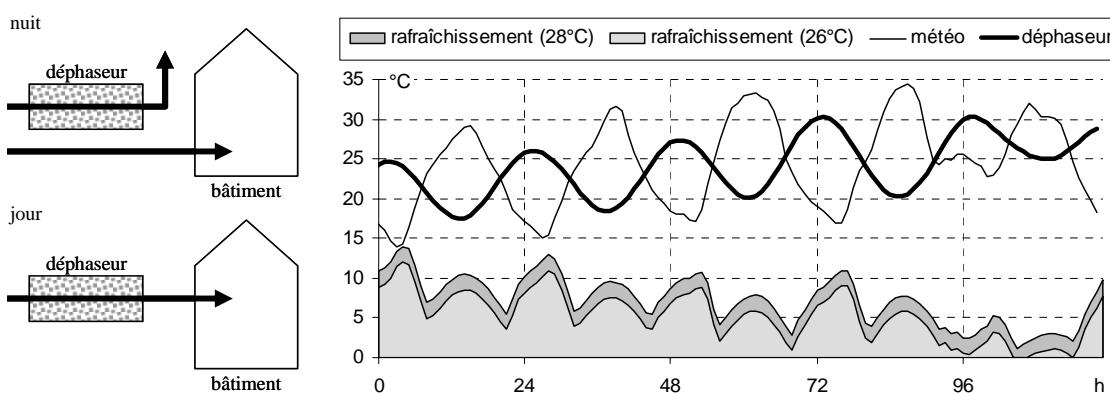


Figure 1 : Stratégie de ventilation par déphasage contrôlé et profil sur cinq jours d'été (températures de ventilation ainsi que potentiel de rafraîchissement par rapport à 26 et 28°C).

Buts

En complément aux résultats d'une première étude, également financée par l'Office fédéral de l'énergie (projet 45914 / contrat 85974), les buts du présent projet ont été fixés comme suit :

- Étendre le développement de prototype à une géométrie en "tubes" (structure de stockage empilée perpendiculairement au flux d'air), en particulier pour l'utilisation de l'eau comme matériau de stockage, afin d'en dégager le potentiel énergétique et les contraintes financières.
- Caractériser (pour les systèmes à plaque et les systèmes à tube) le lien entre précision de mise en œuvre, inhomogénéité du flux d'air et amortissement du signal.
- Déterminer dans quelle direction poussée le développement d'une filière industrielle (projet CTI ou équivalent).

Travaux effectués et résultats acquis

Adaptation de l'outil d'analyse et modélisation

L'outil d'analyse et modélisation développé lors de l'étude antérieure a été adapté de façon à comprendre une géométrie en "tubes" (structure de stockage empilée perpendiculairement au flux d'air). Basé sur une analyse entrée/sortie par série de Fourier (Fig. 2), cet outil permet à la fois :

- L'analyse des mesures expérimentales, par calibration multifréquences du modèle analytique (en tenant compte ou non de divers phénomènes perturbateurs tels que pertes par l'enveloppe et diffusion de chaleur intraparticule ou axiale).
- La modélisation de la réponse sous extrapolation de taille ainsi que météo réelle.

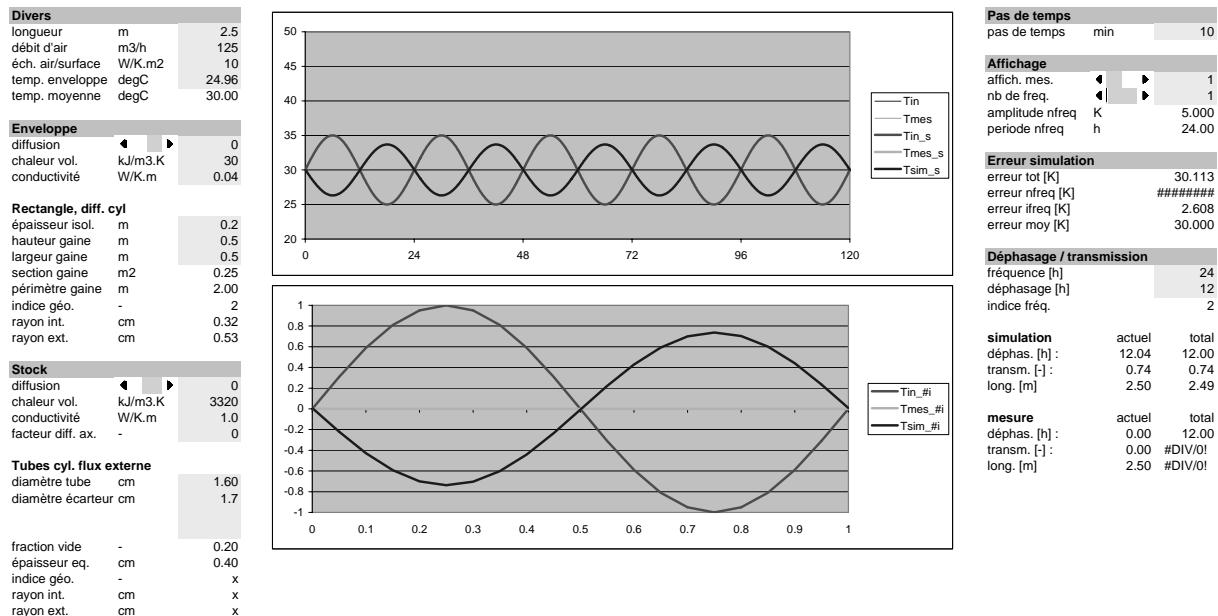


Figure 2 : Outil d'analyse et modélisation (utilisé ici en prédimensionnement, avec une fréquence unique de 24h).

En phase de dimensionnement, cet outil a permis de guider la construction du nouveau prototype et d'anticiper les résultats attendus (Fig. 3). Ainsi, pour l'oscillation 24 h portée par un flux d'air de $500 \text{ m}^3/\text{h}$ par m^2 de section, le stockage en eau dans des tubes de 16 mm de diamètre devrait permettre un déphasage complet (12 h) sur une longueur de 2.5 m environ, soit un volume de stockage d'environ 0.5 m^3 par $100 \text{ m}^3/\text{h}$ d'air (contre environ 1 m^3 par $100 \text{ m}^3/\text{h}$ d'air pour le stockage en terre cuite).

Comme pour le stockage en plaques et en sphères, la transmission du signal (amplitude résiduelle à la sortie) dépendra fortement de l'échange convectif air/stock. Ainsi on s'attend à des transmissions de 50 à 80% pour un coefficient d'échange de 4 à 12 W/K.m². La valeur effective de ce coefficient – tributaire notamment d'une bonne homogénéité du flux d'air (donc d'une géométrie la plus régulière possible) – sera déduite des mesures expérimentales.

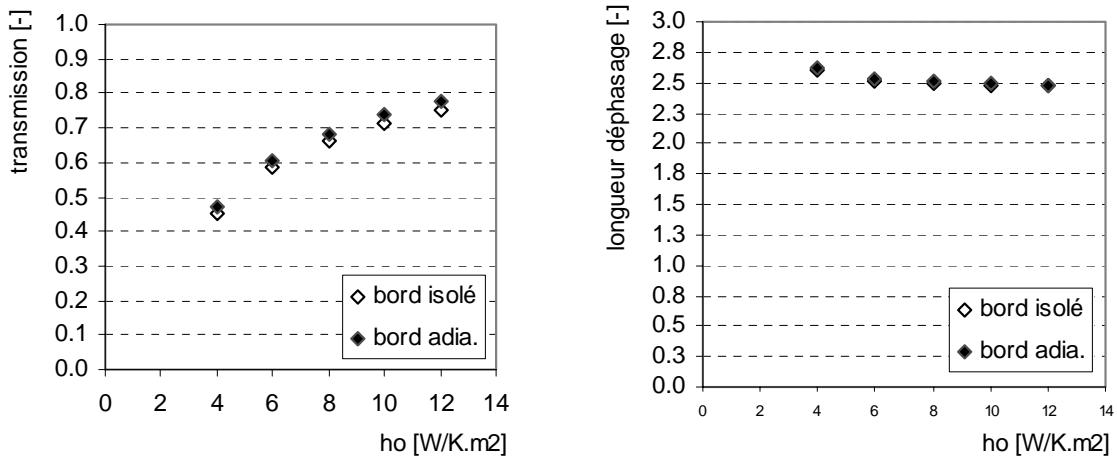


Figure 3 : Transmission et longueur de déphasage attendues, en fonction de l'échange convectif air/stock.

Développement d'un nouveau prototype

A la lumière des montages et résultats expérimentaux antérieurs, il a été décidé de reprendre à la base la conception du prototype expérimental (Fig. 4 et 5), en tenant compte des points suivants :

- Traitement minutieux au niveau du montage, pour réduire au maximum les risques de fuite (étanchéité de l'enveloppe), bypass (adhérence entre matériau de stockage et enveloppe) et inhomogénéité de flux (irrégularité d'empilement des tubes, transitions aérauliques divergentes, obstacles des instruments de mesure).
- Mise en œuvre soignée des tubes de stockage (intégration d'écarteurs pour laisser passer le flux d'air entre les tubes, étanchéité et absence de bulles d'air à l'intérieur des tubes), qui s'élèvent au nombre de 2200 pour $0.25 m^3$ de stockage.
- Attention apportée à l'aspect général et aux finitions, en vue de prise de contact avec d'éventuels partenaires industriels.

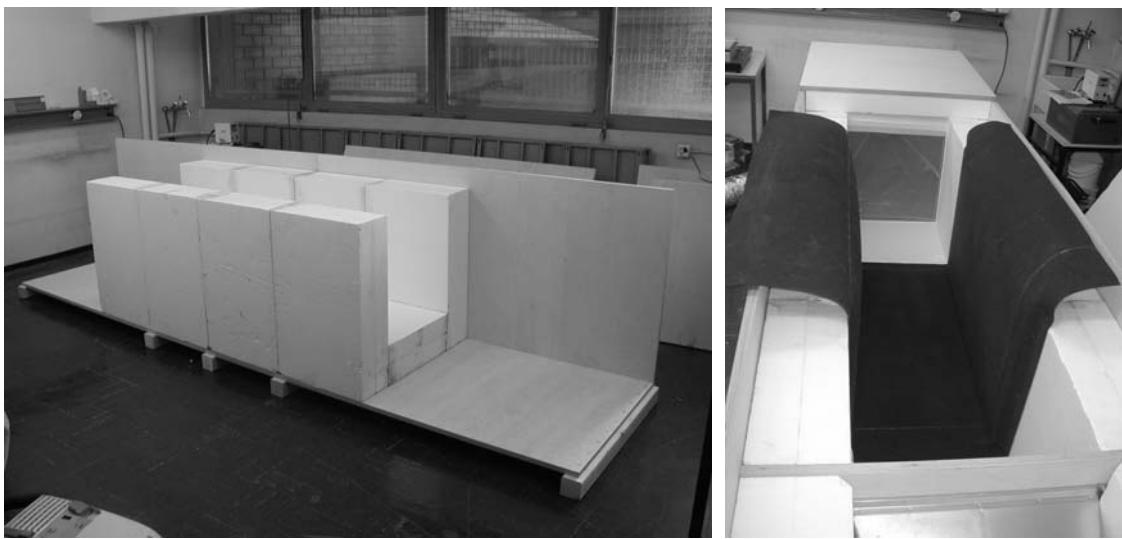


Figure 4 : Prototype expérimental, montage du caisson et détail de l'interface stock/enveloppe.

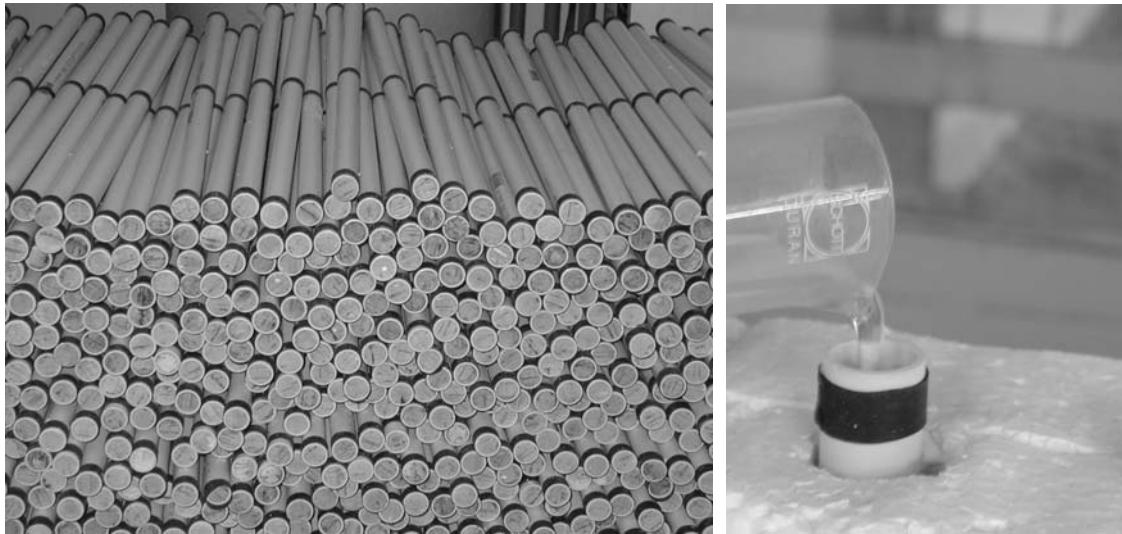


Figure 5 : Tubes de stockage et procédure de remplissage.

Prises de contact pour le développement de la filière

Par ailleurs, afin de préparer un futur développement de la filière, divers partenariats et projets complémentaires ont d'ores et déjà été mis en place (cf. collaborations).

Travail de diffusion avec les médias

Enfin, une collaboration avec les médias [3 - 7] a permis de rendre public cette nouvelle technique de rafraîchissement passif.

Collaboration nationale

Ce projet est en lien direct avec les projets suivants :

- **Coolshift, rafraîchissement passif par ventilation déphassée** (projet *OPEN* no 101'339), exécuté par le *CUEPE*, dont les buts sont : a) de déterminer le potentiel de rafraîchissement du déphaseur en relation avec le bâtiment (gains solaires, capacité thermique, isolation, gains internes) ; b) d'étudier la synergie avec d'autres systèmes de rafraîchissement (air conditionné, night-cooling, puits canadiens, evaporative cooling) ; c) de caractériser la sensibilité aux variations climatiques (ville/campagne, été caniculaire) ; d) de proposer des solutions d'intégration dans le bâtiment et le système de ventilation (en construction à neuf ou en rénovation) ; e) de mettre en place des règles simplifiées qui puissent être intégrées à un programme de prédimensionnement de bâtiments basse énergie.
- **Recyclables** (projet *SCANE*, avec cofinancement de la Bourse du développement durable du Canton de Genève), exécuté en partenariat avec le café-librairie des *Recyclables* et le bureau *Putallaz*, visant la mise en place d'un premier système pilote et démonstration, en substitut à une installation de climatisation désuette.
- **Rafraîchissement de bâtiments à partir d'une source renouvelable : étude aéraulique et détermination des contraintes constructives pour le développement en série d'un déphaseur thermique**, financé par le fonds SIG NER des *Services industriels de Genève*. Ce projet sera exécuté par le Groupe de compétences en mécanique des fluides et procédés

énergétiques (CMEFE) de la Haute Ecole de Genève (EIG). En complément aux recherches menées par le CUEPE et en partenariat avec ce dernier il s'agit : a) de comprendre et quantifier les phénomènes aérauliques liés au déphasage thermique ; b) de déterminer les contraintes constructives liées à ces phénomènes, dans le but d'un développement en série de cette nouvelle technologie ; c) de saisir l'opportunité de ce développement technologique genevois pour activer une collaboration entre Université et HES, en y puisant les compétences existantes et en intégrant les promoteurs locaux des énergies renouvelables.

Collaboration internationale

Une collaboration a été mise en place avec l'entreprise Variotec (Neumarkt i. d. Opf., près de Nürenberg), spécialisée dans la production d'éléments de construction pour maison passive, en particulier des éléments d'isolation sous vide prêts à l'emploi. Les points suivants sont à l'ordre du jour :

- En un premier temps (2006), l'intégration d'un déphaseur dans le système de ventilation de la première maison passive complètement isolée par éléments sous vide [8], construite en collaboration notamment avec le *Frauenhofer Institut*, le *Passivhaus Institut* et le *Forschungszentrum Jülich*. Il s'agira notamment de tester l'isolation sous vide pour l'intégration du déphaseur dans des gaines de ventilation, ce qui permettrait un gain de volume considérable.
- En un deuxième temps, une collaboration dans le développement d'une filière industrielle est envisagé (éventuellement au travers d'un projet EUREKA ou CRAFT).

Évaluation de l'année 2005 et perspectives pour 2006

Finalement, l'année 2005 se solde par le bilan suivant :

- Adaptation de l'outil d'analyse et modélisation pour la prise en compte de stockage en tubes, permettant d'estimer la taille du stockage avec de l'eau (environ 0.5 m^3 par $100 \text{ m}^3/\text{h}$ d'air pour le déphasage de 12 h de l'oscillation jour/huit).
- Construction d'un nouveau prototype adapté aux contraintes du stockage en eau et amélioré au niveau de la gestion du flux d'air.
- Prises de contact et mise en place de collaborations au niveau national et international, d'une part pour étudier l'intégration du déphaseur dans le bâtiment et le système technique, d'autre part en vue de développer une filière industrielle.

Conformément au mandat, les perspectives pour 2006 seront de :

- Mener à bout les tests et analyse pour le stockage en eau.
- Caractériser (pour les systèmes à plaque et les systèmes à tube) le lien entre précision de mise en œuvre, inhomogénéité du flux d'air et amortissement du signal.
- Mettre en place les bases pour le développement d'une filière industrielle (projet CTI ou équivalent).

Références

- [1] **Déphaseur thermique diffusif**, P. Hollmuller, B. Lachal, J.-M. Zgraggen, Rapport final, CUEPE, Université de Genève, 2004

- [2] **Rafraîchissement de bâtiments par déphasage thermique contrôlé**, P. Hollmuller; B. Lachal; J.-M. Zgraggen, CISBAT 2005, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2005.
- [3] **Le rafraîchissement de bâtiment par déphasage**, J. Wellstein, Batitech no 2-05, avril 2005.
- [4] **Kälte durch Phasenverschiebung**, J. Wellstein, Bau & Architektur no 2, mai 2005.
- [5] **Fraîcheur nocturne sur le coup de midi**, A. Voss, Campus no 76, juin-septembre 2005.
- [6] **Quand la fraîcheur nocturne revient à midi**, A.-M. Brouet, Tribune de Genève, 18-19 juin 2005..
- [7] **Nouveau phénomène: le "confort d'été"**, G. Bigler, RSR1, émission « On en parle », 13 juillet 2005.
- [8] **Werkbericht Nullenergiehaus**, Variotec, Neumarkt i. d. Opf. / Nürenberg.