



# COOLSHIFT

## Rafrâichissement de bâtiments par ventilation déphasée

### Rapport annuel 2006

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Auteur(s)                       | Willi Weber, Pierre Hollmuller, Peter Gallinelli, Pierre Ineichen, Bernard Lachal   |
| Institution mandatée            | CUEPE, Université de Genève   |
| Adresse                         | 7, route de Drize<br>1227 Carouge / Genève  |
| Téléfon, E-mail, site Internet  | 022 379 0649, <a href="mailto:pierre.hollmuller@cuepe.unige.ch">pierre.hollmuller@cuepe.unige.ch</a> , <a href="http://www.cuepe.ch">www.cuepe.ch</a> |
| N° contrat OFEN                 | 101 339   |
| Durée prévue du projet (de - à) | Septembre 2005 – septembre 2007   |

#### RÉSUMÉ

Le déphasage thermique contrôlé est un nouveau concept de stockage qui permet de retarder de 8-12 heures, quasiment sans l'amortir, le pic de fraîcheur nocturne porté par la ventilation, afin que celui-ci devienne disponible au milieu de la journée.

Les buts principaux de ce projet sont les suivants :

- Déterminer le potentiel de rafraîchissement du déphaseur en relation avec le bâtiment.
- Etudier la synergie avec d'autres systèmes de rafraîchissement.
- Caractériser la sensibilité aux variations climatiques.

Conformément au calendrier prévu, la première année de ce projet a été consacrée à la mise en place des bases de simulation :

- Elaboration d'une base de donnée météo estivale permettant d'étudier la sensibilité aux variations climatiques (ville/campagne, été caniculaire).
- Détermination d'une typologie réaliste de bâtiments dans le domaine administratif.
- Elaboration d'un modèle de simulation permettant de générer les variantes constructives possibles au niveau du bâtiment, ainsi que les systèmes de rafraîchissement passif associés.

## 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 proposons ici l'utilisation d'un nouveau concept de stockage qui permet de déphaser à loisir une onde de température pour permettre de faire coïncider offre et demande de frais. Mis en évidence par le CUEPE, 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 redevient disponible au milieu de la journée (Fig. 1).

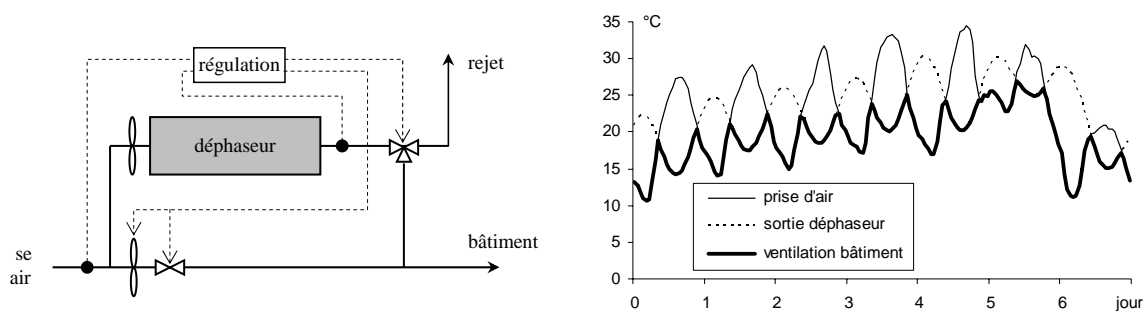


Figure 1 : Schéma de principe pour l'intégration du déphaseur dans l'installation de ventilation.

### Buts

Les buts du projet sont les suivants :

- Déterminer le potentiel de rafraîchissement du déphaseur en relation avec le bâtiment (gains solaires, capacité thermique, isolation, gains internes).
- Etudier la synergie avec d'autres systèmes de rafraîchissement (air conditionné, night-cooling, puits canadiens, evaporative cooling).
- Caractériser la sensibilité aux variations climatiques (ville/campagne, été caniculaire).
- Proposer des solutions d'intégration dans le bâtiment et le système de ventilation (en construction à neuf ou en rénovation).
- Mettre en place des règles simplifiées qui puissent être intégrées à un programme de prédimensionnement de bâtiments basse énergie.
- Mettre à disposition une base de données climatique permettant d'effectuer des études de sensibilité aux variations climatiques (ville/campagne, été caniculaire).

Les buts spécifiques pour la première année (septembre 2005 – septembre 2006) ont été fixés comme suit :

- Mise en place d'une base de donnée météo estivale permettant d'étudier la sensibilité aux variations climatiques (ville/campagne, été caniculaire).
- Détermination d'une typologie réaliste de bâtiments, essentiellement dans le domaine administratif, et choix d'un cas de référence.
- Simulation du cas de base sans système de rafraîchissement passif et analyse de la réponse en terme de confort / courbe de charge.

## Travaux effectués et résultats acquis

### Base de donnée météo estivale

L'analyse météo estivale est à présent achevée et a fait l'objet d'un rapport séparé (Ineichen, 2006). Il en ressort les conclusions suivantes :

- L'analyse des données mesurées en ville et en campagne durant la période estivale (juin à août) sur la dernière décennie montre qu'il suffit de quelques années de référence pour pouvoir effectuer une simulation significative de rafraîchissement passif.
- Sur les 15 dernières années, à l'exception de la période estivale de l'année 2003 nettement hors statistiques, il ressort clairement que les variations interannuelles sont relativement faibles. Il existe cependant un écart systématique de l'ordre de 2°C entre les mesures en ville et en campagne.
- Cette étude montre qu'une attention particulière doit être apportée à la description du site envisagé de façon à tenir compte au mieux de sa situation climatique. En effet, les valeurs de températures mesurées en différents points du canton et analysées dans cette étude se situent entre les courbes représentatives des mesures en ville et en campagne.
- Au niveau de la composante globale du rayonnement solaire, l'analyse montre que les variations interannuelles et géographiques au sein de la région genevoise ne sont que très faibles, là également exception faite de la période estivale de l'année 2003.
- Lorsqu'il n'existe pas de mesures sur un site proche du lieu où l'on prévoit une simulation, il faut les générer et, dans ce cas, être très critique sur les valeurs obtenues. En effet, le logiciel le plus utilisé pour suppléer aux données mesurées est le logiciel Meteonorm et il s'avère que même sur une base de moyennes mensuelles réelles, il sous-estime généralement les valeurs de température sèche. Par ailleurs, les valeurs de température humide sont générées au moyen d'un algorithme générique qui, par essence, ne prend pas en considération les cas particuliers.
- L'année 2004 a été choisie comme année de référence pour la période estivale. En effet, c'est l'année dont le comportement des températures sèche et humide ainsi que du rayonnement se situent le plus proche de la moyenne des 15 dernières années.
- La Table 1 donne le seuil de températures dépassé pendant les heures les plus chaudes de la période estivale (juin - août). Sont considérées ici les zones rurale et urbaine pour quatre cas distincts: les valeurs générées par Meteonorm sur la base des données internes au logiciel, la moyenne des mesures sur les 15 dernières années, les données mesurées durant l'année de référence 2004, et celles mesurées durant l'année chaude 2003.

| nombre d'heures<br>où la température<br>est supérieure à<br>la valeur donnée | zone urbaine |                      |      |      | zone rurale |                      |      |      |
|--|--------------|----------------------|------|------|-------------|----------------------|------|------|
|  | Meteonorm    | moyenne<br>exc. 2003 | 2004 | 2003 | Meteonorm   | moyenne<br>exc. 2003 | 2004 | 2003 |
| 100 heures   | 28.2         | 30.3                 | 29.4 | 34.5 | 27.6        | 28.4                 | 28.0 | 33.4 |
| 200 heures   | 26.6         | 28.3                 | 27.8 | 32.5 | 25.8        | 26.5                 | 26.3 | 31.2 |
| 300 heures   | 25.5         | 27.0                 | 26.8 | 31.3 | 24.7        | 25.1                 | 24.8 | 29.9 |
| 400 heures   | 24.6         | 25.9                 | 25.8 | 30.5 | 23.8        | 24.1                 | 23.7 | 28.8 |

Table 1 : Seuil de températures dépassé pendant les heures les plus chaudes de la période estivale (juin-août).

## Détermination d'une typologie réaliste de bâtiments

La détermination d'une typologie réaliste de bâtiment administratif a été guidée par l'analyse d'une quinzaine de bâtiments étudiés dans le cadre de projets antérieurs (DIAS, PASCOOL, IDEA), qui se subdivisent en deux grandes catégories (Fig. 2) :

- 1) Bâtiments linéaires à profondeur faible à moyenne, avec organisation cellulaire
- 2) Bâtiment à grande profondeur disposant de cours intérieures ou d'atriums (lumière naturelle) et d'espaces d'avantage ouverts.

|                          | Plan   | Profondeur | Voisinage | Ombrage | Système constructif |            |        |         |       |        |       |       |            |          | Finitions |           | Systèmes techniques |          |           |           |                 |                |                   | Source |                  |               |                |              |           |           |          |           |           |           |                 |
|--------------------------|--------|------------|-----------|---------|---------------------|------------|--------|---------|-------|--------|-------|-------|------------|----------|-----------|-----------|---------------------|----------|-----------|-----------|-----------------|----------------|-------------------|--------|------------------|---------------|----------------|--------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
|                          |        |            |           |         | Ouvert              | Cellulaire | Atrium | Hybride | < 12m | 12-24m | > 24m | Isolé | 2 mitoyens | Mono - o | Lointain  | Voisinage | Azmut               | Ponctuel | Intérieur | Extérieur | Plancher massif | Plancher léger | Cloisons massives |        | Cloisons légères | Faux plafonds | Faux planchers | Taux vitrage | g vitrage | U vitrage | U façade | Chaud eau | Chaud air | Froid eau | Froid air       |
| Bâtiment (administratif) | Epoque |            |           |         |                     |            |        |         |       |        |       |       |            |          |           |           |                     |          |           |           |                 |                |                   |        |                  |               |                |              |           |           |          |           |           |           |                 |
| Stahlrain                | 1990   | x          | x         |         | x                   |            | x      |         | x     |        |       |       |            |          | x         |           |                     | x        |           |           |                 | x              |                   | 0.4    | 2.4              |               |                |              |           |           |          |           |           | x         | DIAS            |
| HP Satigny               | 1970   | x          | x         | x       |                     |            | x      | x       |       |        |       |       |            |          |           |           |                     | x        |           |           |                 |                |                   | 0.5    | 2.9              |               |                |              |           |           |          |           |           |           | DIAS            |
| Powergen                 | 1990   | x          |           | x       |                     |            |        | x       | x     |        |       |       |            |          | x         |           |                     | x        |           |           |                 |                |                   | 0.3    |                  |               |                |              |           |           |          |           |           |           | IDEA            |
| Guzzini                  | 2000   | x          |           | x       |                     |            | x      | x       |       |        |       |       |            |          | x         |           |                     | x        |           |           |                 |                |                   | 0.5    |                  |               |                |              |           |           |          |           |           |           | IDEA            |
| Aymon                    | 1900   |            | x         |         |                     | x          |        |         |       | x      |       |       |            |          |           | x         |                     | x        |           | x         |                 |                |                   | 0.2    | 2.4              |               |                |              |           |           | x        |           | x         |           | PEM             |
| Battelle                 | 1960   |            | x         |         |                     |            | x      |         | x     |        |       |       |            |          |           |           | x                   |          | x         |           |                 |                |                   | 0.3    | 2.9              |               | x              |              |           |           |          | x         |           |           | Expertise CUEPE |
| Syndicats                | 1970   |            | x         |         |                     |            | x      |         |       | x      |       |       |            |          |           | x         |                     | x        |           |           |                 |                |                   | 0.3    | 2.9              |               | x              |              |           |           |          | x         | x         |           | Expertise CUEPE |
| Conphoebus               | 1980   |            | x         |         |                     |            | x      | x       |       |        |       |       |            |          |           | x         | x                   | x        |           | x         |                 |                |                   | 0.3    | 2.9              |               |                |              |           |           |          |           |           |           | PEM             |
| TPG                      | 1980   |            | x         |         |                     |            | x      | x       |       |        |       |       |            |          | x         |           |                     | x        |           |           | x               | x              |                   | 0.3    | 2.4              |               | x              |              |           |           |          | x         |           |           | Expertise EIG   |
| OMM                      | 2000   |            | x         |         |                     |            | x      | x       |       |        |       |       |            |          | x         |           |                     | x        |           |           | x               |                |                   | 0.8    | 1.2              |               |                |              | x         |           |          | x         |           | x         | Expertise CUEPE |
| CAPI                     | 1980   |            |           |         |                     |            |        |         |       |        |       |       |            |          |           |           |                     |          |           |           |                 |                |                   |        |                  |               |                |              |           |           |          |           |           |           | Expertise CUEPE |
| Root Lucerne             | 1990   |            |           |         |                     |            |        |         |       |        |       |       |            |          |           |           |                     |          |           |           |                 |                |                   |        |                  |               |                |              |           |           |          |           |           |           | SUPSI           |
| Schwerzenbacherhof       | 1990   |            |           |         |                     |            |        |         |       |        |       |       |            |          |           |           |                     |          |           |           |                 |                |                   |        |                  |               |                |              |           |           |          |           |           |           | SUPSI           |
| Costeau                  | 2000   |            |           |         |                     |            |        |         |       |        |       |       |            |          |           |           |                     |          |           |           |                 |                |                   |        |                  |               |                |              |           |           |          |           |           |           | Expertise CUEPE |

Figure 2 : Classement typologique de divers bâtiments.

Dans le cadre de ce projet il été décidé de se limiter à la première de ces catégories, pour laquelle une typologie type a été arrêtée. Il s'agit de deux bureaux, situés en façades opposées et séparés par un couloir central. En terme de simulation numérique, cette typologie se traduit par un modèle composé de trois zones thermiques en enfilade, avec pour condition latérale des bureaux mitoyens aux conditions de climat intérieur identiques (conditions aux bords adiabatiques).

Pour cette typologie de référence ont alors été répertoriés les déterminants physiques et architecturaux qui concernent le confort d'été et/ou la consommation d'électricité pour le rafraîchissement. Afin de représenter au mieux les variantes constructives possibles, ont été retenus les paramètres suivants :

- 2 météo
- 3 orientations
- 26 types de fenêtres / protections solaires / horizons
- 3 types de charges internes
- 13 types de masses
- 2 types d'isolations thermiques

Il en résulte quelques 12'000 combinaisons constructives possibles, auxquelles viennent s'ajouter divers les systèmes de rafraîchissement passif (en phase d'élaboration).

## Mise en place d'un modèle générique de simulation

Un modèle de simulation numérique a été implémenté sur TRNSYS en vue de simulations dynamiques horaires permettant de rendre compte du comportement thermique détaillé en termes de température et de confort (Fig. 3). Le 'noyau' est constitué par le modèle du bâtiment à trois zones (type 56) autour duquel s'articulent un lecteur de fichier météo, un lecteur d'horizon lointain, deux lecteurs de fichier de déphaseur avec régulation par zone (bureaux A et B) et un plotter générant les fichiers output.

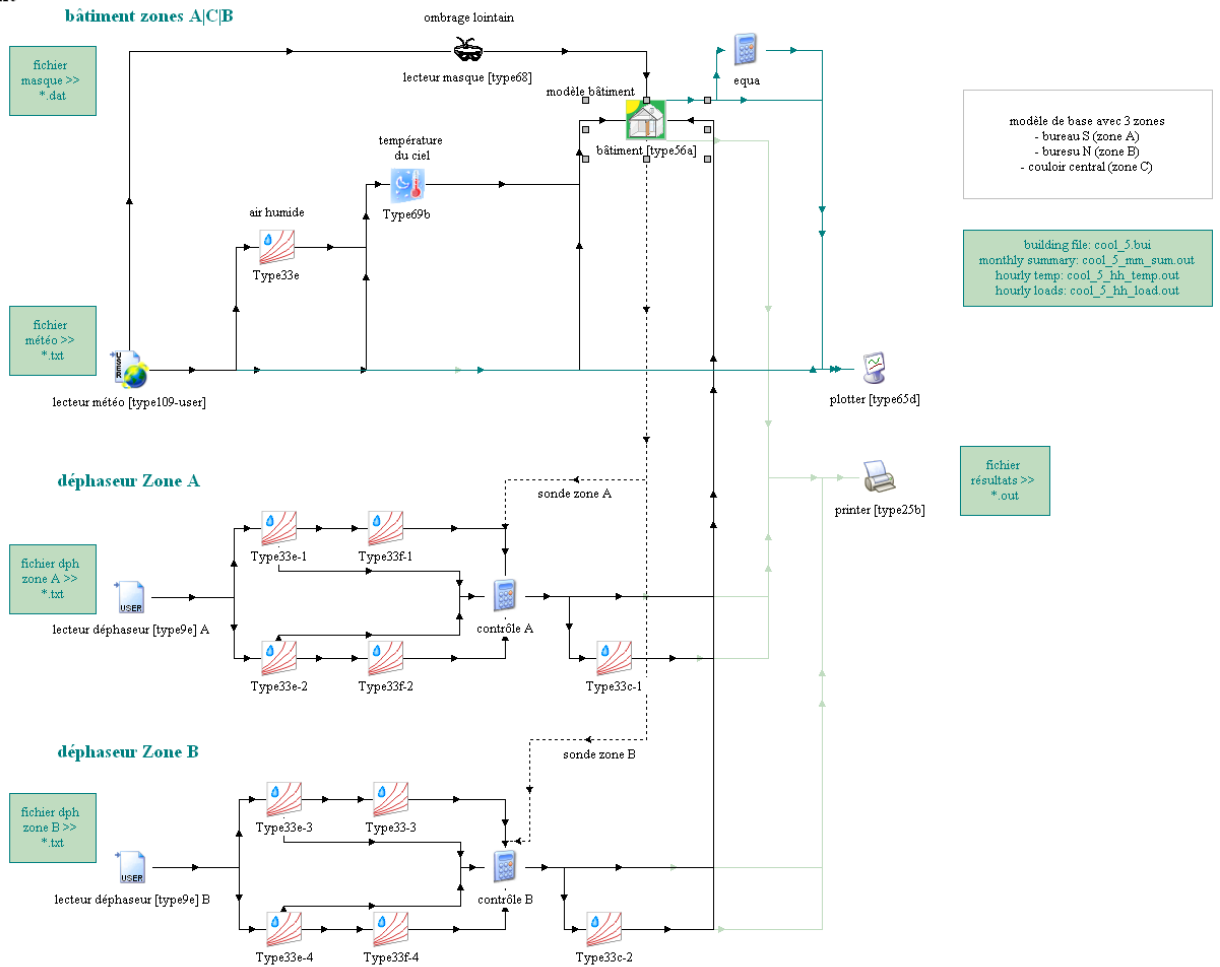


Figure 3 : Organigramme général du modèle de simulation dans TRNSYS.

Le paramétrage des fichiers d'entrée et de sortie est effectué par une routine indépendante, permettant de générer automatiquement les 12'000 combinaisons possibles. Programmée sur JAVA JDK, l'application peut être utilisée à partir de n'importe quel environnement. Cette approche permet de paramétrer les variantes de simulation à la demande et de générer les outputs correspondants. Cette approche, qui consiste à ne pas se limiter à un nombre de quelques simulation pouvant être gérées 'manuellement', révèle un intérêt complémentaire qui consiste à créer un 'pool' de simulation permettant de répondre à des questions qui dépassent le cadre du projet, comme par exemple vérifier la portée des exigences et recommandation données par les normes, en particulier la norme SIA 180 et la SIA 382/1 actuellement en révision.

Les premières simulations sont concluantes et permettent d'obtenir des résultats très proches des résultats attendus. Une fois l'ensemble de la matrice constituée, celle-ci fera l'objet d'une validation par comparaison ponctuelle avec des mesures de bâtiments réels.

## Collaboration nationale

Ce projet est en lien direct avec les projets suivants :

- **Déphaseur thermique diffusif : optimisation et prototype intégré** (projet OFEN no 45'914), exécuté par le CUEPE, qui concerne le développement du déphaseur à proprement parler et son intégration dans le système de ventilation.
- **Recyclables** (projet SCANE, avec cofinancement de la Bourse du développement durable du Canton de Genève), exécuté en partenariat avec le café des Recyclables et le bureau Mino, pour la mise en place d'un premier système pilote et démonstration.
- **Manuel pour le refroidissement de bâtiments par "geocooling" sur sondes géothermiques verticales** (projet OFEN no 101'295), exécuté par D. Pahud / SUPSI, qui concerne le potentiel de rafraîchissement passif via sondes géothermiques (critères d'intégration, potentiel de refroidissement et règles simplifiées de dimensionnement).

## Collaboration internationale

Au niveau international, le projet se construit dans le sillage de la collaboration suivante :

- **Etude du potentiel de rafraîchissement par ventilation inertielle pour les climats brésiliens**, en collaboration avec le Laboratorio de eficiencia energetica nas edificações (LABEEE), Universidade federal de Santa Catarina (Brésil), avec co-financement de la Commission pour le partenariat scientifique avec les pays en développement (KFPE).

## Évaluation de l'année 2006 et perspectives pour 2007

Conformément au calendrier prévu, la première année de ce projet a été consacrée à la mise en place des bases de simulation :

- Mise en place d'une base de donnée météo estivale permettant d'étudier la sensibilité aux variations climatiques (ville/campagne, été caniculaire).
- Détermination d'une typologie réaliste de bâtiments dans le domaine administratif, et choix des variantes constructives.
- Elaboration d'un modèle de simulation, permettant de générer les variantes constructives possibles au niveau du bâtiment, ainsi que les systèmes de rafraîchissement passif associés.

L'élaboration du modèle de simulation s'est révélée plus lourde que prévu, notamment en raison du nombre élevé de paramètres et de combinaisons possibles, si bien que l'analyse des résultats pour le cas de base (sans rafraîchissement passif) n'est pas encore achevée.

Les perspectives pour 2007 sont les suivantes :

- Analyse des résultats pour les diverses combinaisons constructives du cas de base (sans rafraîchissement passif), en terme de confort d'été et/ou de consommation d'électricité pour le rafraîchissement par air conditionné.
- Simulation et analyse d'une sélection de variantes constructives avec divers systèmes de rafraîchissement passif (déphaseur, puits canadien, night-cooling, evaporative cooling).
- Mise en place de règles de dimensionnement et de recommandations.

## Références principales

- [1] Hollmuller P., Lachal B., Zraggen J.-M., ***Rafrâichissement de bâtiments par déphasage thermique contrôlé***, CISBAT 2005, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2005.
- [2] Ineichen, P., ***M-été-O – données climatiques estivales dans la région genevoise, valeurs moyennes et extrêmes***, 23 p., Rapports de recherche du CUEPE no 7, Université de Genève, 2006. (disponible sous [www.unige.ch/cuepe/html/biblio/detail.php?id=387](http://www.unige.ch/cuepe/html/biblio/detail.php?id=387))
- [3] Hollmuller P., Carlo J., Ordenes M., Westphal F., Lamberts, R., ***Potential of buried pipes systems and derived techniques for passive cooling of buildings in Brazilian climates***, ed. by CUEPE, Université de Genève, 2006.