



Chapitre d'actes

2005

Open Access

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

Geocooling : Utilisation d'un collecteur souterrain à eau pour le chauffage et le rafraîchissement d'un bâtiment administratif

Hollmuller, Pierre; Lachal, Bernard Marie

How to cite

HOLLMULLER, Pierre, LACHAL, Bernard Marie. Geocooling : Utilisation d'un collecteur souterrain à eau pour le chauffage et le rafraîchissement d'un bâtiment administratif. In: Conférence internationale Energie solaire et bâtiment, CISBAT 2005. Lausanne. [s.l.] : [s.n.], 2005.

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:18080>

GEOCOOLING : UTILISATION D'UN COLLECTEUR SOUTERRAIN À EAU POUR LE CHAUFFAGE ET LE RAFRAÎCHISSEMENT D'UN BÂTIMENT ADMINISTRATIF

P. Hollmuller; B. Lachal

Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, Université de Genève, 7 rte de Drize, CH - 1227 Carouge

ABSTRACT

Basing on monitoring of a real-scale installation as well as complementary numerical simulation and analytical calculation, this study enables to delimit the potential of preheating and cooling by way of air/water/soil heat exchangers (buried water loop connected to the ventilation system). Care was taken to characterize the benefits of the system in interaction with the other technical systems, as well as with the building.

INTRODUCTION

Objet

Depuis quelques années, des systèmes dits « puits canadiens » (collecteurs de chaleur terrestres horizontaux à air) sont posés en Suisse et dans le reste de l'Europe Centrale, soit pour le préchauffage de l'air neuf, soit pour le rafraîchissement estival du bâtiment. Ils ont pour principal désavantage l'éventuelle inondation des tubes collecteurs suite à des inétanchéités, et les risques sanitaires qui s'en suivent. La solution réalisée par Ecoconfort pour le siège administratif de la société Perret, à Satigny (Genève), tente de répondre à ce problème en utilisant un collecteur à eau horizontal, tel que ceux utilisés habituellement pour les pompes à chaleur, couplés sur la ventilation via un échangeur air/eau.

But et méthode

En complément d'une étude extensive sur les puits canadiens [1], le but de l'étude présentée ici est à la fois de vérifier le fonctionnement de l'échangeur air/eau/sol de la société Perret, d'autre part de formuler une série de recommandations plus générales.

A cet effet, les méthodes suivantes ont été mises en œuvre :

- Une trentaine de sondes de mesure, disposées tout au long du système de ventilation, ont permis de caractériser le fonctionnement sur une année complète de chacun des sous-systèmes et leur interaction les uns avec les autres.
- Pour l'échangeur air/eau/sol, l'adaptation d'une méthode analytique développée pour les échangeurs air/sol et son extension au couplage air/eau a permis de caractériser séparément le travail inertiel du sol (effet recherché) et le couplage thermique avec le bâtiment (effet parasite).
- L'utilisation d'un modèle de simulation numérique, dont les résultats ont extrêmement bien concordé à la fois avec les mesures et l'approche analytique, ce qui a permis de valider les règles du pouce développées via l'approche analytique.

- Une étude technico-économique, basée sur les résultats de simulation numérique et des variantes constructives élaborées par l'ingénieur en charge du projet, a permis d'évaluer le coût du kWh de frais pour la saison estivale.

Suite à la description du système, nous nous limiterons ici à présenter les résultats essentiels de l'étude, les résultats détaillés pouvant être consultés dans le rapport de recherche [2].

DESCRIPTION DU SYSTÈME

Le siège administratif de la société Perret SA, à est un immeuble de deux étages sur rez, d'une emprise de $30 \times 12 = 360 \text{ m}^2$, soit une surface de bureaux 1080 m^2 . Le sous-sol abrite les archives et les locaux techniques et n'est pas chauffé, sauf ponctuellement pour une salle de conférence de 75 m^2 , ce qui porte la surface de référence énergétique à 1155 m^2 . Alors que la partie émergente de l'enveloppe est dotée d'une bonne isolation thermique (13 cm pour les murs, 20 cm en toiture), celle du sous-sol reste faible (35 mm) et a été posée après-coup au niveau du plafond, ne coupant pas les ponts thermiques.

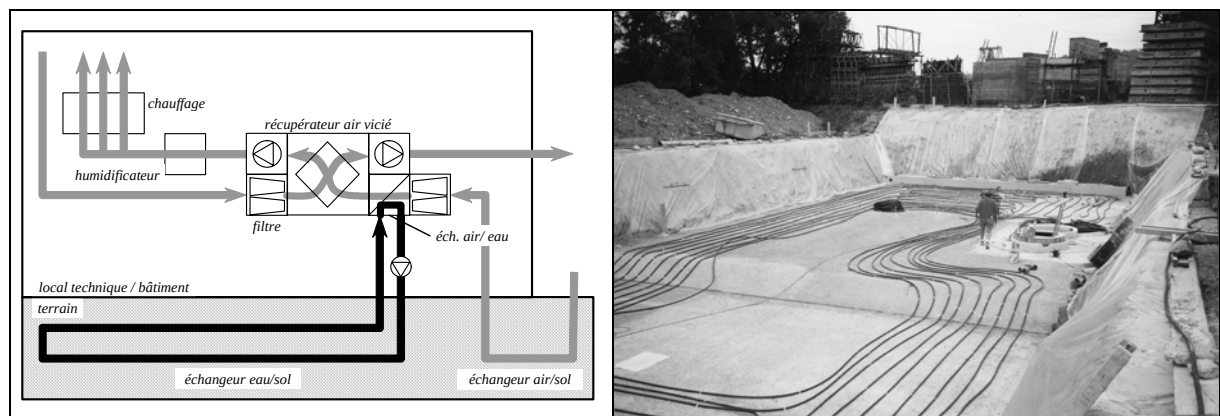


Figure 1 : schéma de principe du système de ventilation (gauche) ; mise en place de l'échangeur eau/sol (droite).

A part deux radiateurs au niveau des paliers, le chauffage est entièrement porté par la ventilation (chauffage à air). L'isolation et l'inertie du bâtiment permettent de se contenter du taux de renouvellement d'air standard de 0.6 volume par heure ($1840 \text{ m}^3/\text{h}$ en moyenne annuelle), entre 0 et 20 h. Avant le couplage sur la chaudière à mazout, l'air neuf pris au pied de la façade nord-ouest passe par deux systèmes de stockage terrestre (Fig. 1) :

- Une amenée d'air souterraine, du pied de la façade nord-ouest vers le local de ventilation. Constituée de 4 tubes PVC (diamètre : 25 cm, longueur : env. 10 m/tube, surface d'échange : env. 30 m^2 , profondeur : 70 cm sous le bâtiment), celle-ci fonctionne comme un échangeur air/sol (type puits canadien) de taille réduite.
- A l'entrée du monobloc de ventilation et couplé au flux d'air via un échangeur air/eau, un échangeur eau/sol constitué de 10 boucles de tube PE (diamètre : 28/32 mm, longueur : 100 m/boucle, profondeur : 45 cm sous le bâtiment, surface d'échange des tubes : 88 m^2 , surface d'emprise : 360 m^2).

Suivent un récupérateur de chaleur sur air vicié, un humidificateur (qui contribue accessoirement également au préchauffage de l'air), puis de la batterie de chauffage, couplée sur une chaudière à mazout.

Le même système de ventilation est utilisé l'été, les deux échangeurs terrestres contribuant au rafraîchissement de l'air neuf. Le by-pass estival du récupérateur sur air vicié n'a

malheureusement été intégré qu'en un second temps (court-circuit latéral, en parallèle au circuit normal), si bien que le gain de fraîcheur par les échangeurs air/sol et eau/sol est malencontreusement contrecarré par contact thermique partiel entre air neuf et air vicié.

Au delà du local de ventilation, la distribution générale de l'air mène finalement dans un système de gaines noyées dans les dalles, développé et breveté par la société Ecoconfort, par ailleurs conceptrice de l'ensemble du système de ventilation.

FONCTIONNEMENT SUR UN JOUR TYPE

Préchauffage hivernal

La journée du 12 décembre 2000 illustre le fonctionnement hivernal type (Fig. 2, gauche). Dès la mise en route de la ventilation à minuit, alors que la température nocturne baisse gentiment de 4 à 2°C, l'air neuf est préchauffé de façon très stable par l'échangeur air/sol (5K en moyenne, correspondant à quelques 3.2 kW). Dès 10 h la température extérieure remonte progressivement à 11°C, si bien que ce premier préchauffage perd peu à peu en importance. Il se trouve alors secondé par l'échangeur air/eau/sol (3.1 kW), qui s'enclenche lorsque la température à l'entrée de l'échangeur air/eau chute en dessous de la consigne de coupure (vers 8h), pour s'arrêter lorsqu'elle remonte au dessus de la consigne d'enclenchement (vers 18h30). En complément à l'amortissement inertiel de l'échangeur air/sol, celui de l'échangeur air/eau/sol induit sur cette période une température d'air très stable ($15 \pm 1^\circ\text{C}$).

Pendant la période où l'échangeur air/eau/sol est actif, les températures d'eau (entrée/sortie du circuit) et de sol (à mi-parcours, au niveau de la nappe de tubes) restent groupées et quasiment isothermes, ce qui relève à la fois un débit calorifique de l'eau 6 fois plus important que celui de l'air (3060 lit/h à 4.18 kJ/K.lit = 3.6 kW/K, contre 1840 m³/h à 1.16 kJ/K.m³ = 0.6 kW/K), et un échange thermique eau/air médiocre (60 %). En contact avec le récupérateur sur air vicié, l'échangeur ai/eau/sol « fournit » par ailleurs un préchauffage résiduel même lorsqu'il est inactif.

Finalement, la répartition énergétique relativement équilibrée entre les trois postes de préchauffage doit être relativisée par une analyse soignée des interactions entre les sous-systèmes ainsi qu'avec le bâtiment. Ainsi, à même efficacité mais en absence des deux échangeurs terrestres, donc avec un différentiel de température extraction/injection plus important, le récupérateur sur air vicié aurait produit une économie d'énergie plus importante. D'autre part, l'importante diffusion du bâtiment vers le sous-sol indiquent qu'une partie de l'énergie récupérée par les échangeurs terrestre l'est au détriment d'une perte accrue du bâtiment (ce qui peut être corroboré tant par simulation numérique que par analyse détaillée des amortissements annuels et journaliers mesurés).

Rafrâichissement estival

La journée du 15 septembre 2000 illustre le fonctionnement estival type (Fig. 2, droite). Lors de la mise en route de la ventilation vers 2 h, la température nocturne se trouve quelques 5 K en dessous de la température du sol, si bien que l'échangeur air/sol commence par préchauffer l'air neuf de façon très stable. Dès la montée en température vers 8 h et de par l'inertie du sol, cette tendance diminue et finit par s'inverser vers 10 h. Sur toute la période diurne et jusqu'à l'extinction de la ventilation vers 20 h, l'échangeur air-sol produit dès lors le rafraîchissement escompté. Cet amortissement, par le sous-sol, de l'amplitude thermique journalière met en relief tout l'intérêt des échangeurs inertiels utilisés sous nos climats, permettant de couper les pointes de températures pendant les périodes les plus chaudes de la journée. Dès lors ce n'est pas tellement la puissance moyenne perdue par le flux d'air (0.4 kW sur 24 h, nonobstant le préchauffage nocturne), mais celle pendant la période la plus chaude de la journée (2.1 kW

entre 10 et 20 h) qui font l'intérêt de ce système. Le fait que l'échangeur air/sol implanté ici ne permette pas un rafraîchissement continu sur 24 h, contrairement au préchauffage hivernal, corrobore par ailleurs que ce dernier est en partie obtenu par diffusion de chaleur en provenance du bâtiment.

L'échangeur eau/sol fonctionne quant à lui pendant toute la nuit et ne s'éteint que brièvement entre 8 et 12 h, lorsque la température d'air à son entrée chute en dessous de la consigne d'arrêt et jusqu'à ce qu'elle remonte à la consigne d'enclenchement. Il est évident qu'une coupure nocturne supplémentaire, commandée par l'arrêt de la ventilation, serait souhaitable en terme de consommation électrique, mais n'aurait quasiment pas d'influence sur le comportement thermique du système. Quoiqu'il en soit, l'échangeur eau/sol permet d'accentuer l'amortissement de l'amplitude thermique journalière initiée par l'échangeur air/sol, avec pour prestation principale un rafraîchissement diurne (0.9 kW), accessoirement contrebalancé par un préchauffage nocturne (1.1 kW).

Cela étant, sous nos climats l'amortissement de l'oscillation journalière en dessous du seuil de confort offre un potentiel de rafraîchissement supplémentaire, puisque même en pleine canicule il devient possible d'augmenter la ventilation au-delà du taux minimum d'aération (solution qui n'a cependant pas été nécessaire de mettre en œuvre dans le cas présent).

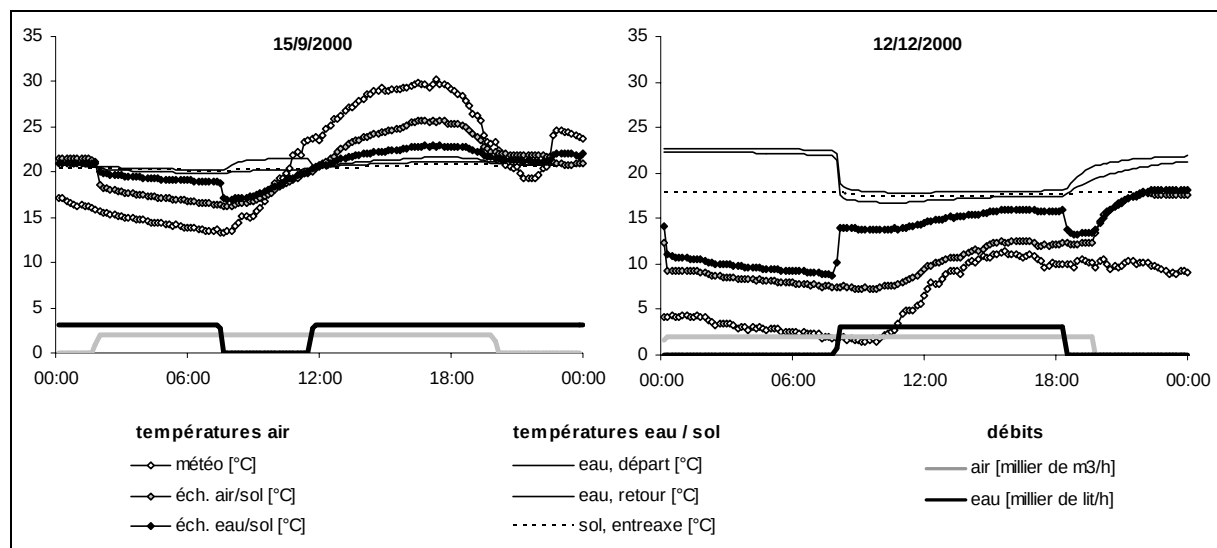


Figure 2 : dynamique horaire sur un jour d'hiver (gauche) et d'été (droite).

RÉSULTATS

Analyse de l'installation Perret

En ce qui concerne l'installation Perret, l'analyse détaillée des sous-systèmes ainsi que les bilans annuels et l'étude complémentaire par simulation numérique permettent de tirer les conclusions suivantes :

- En absence d'isolation efficace entre le bâtiment et le sous-sol, les deux échangeurs terrestres situés à faible profondeur sont thermiquement couplés au bâtiment. Dès lors, une fraction importante du préchauffage hivernal de l'air, de l'ordre de 75%, provient de la diffusion de chaleur en provenance de ce dernier. Une autre moitié se fait au détriment du récupérateur sur air vicié, qui produit moins que s'il avait été couplé directement sur l'échangeur air/sol. L'utilisation hivernale de l'échangeur air/eau/sol provoque finalement une perte thermique nette.

- Le potentiel des échangeurs terrestres concerne principalement l'été, pendant lequel ils amortissent les pointes de chaleur diurnes. Ainsi, même si le couplage avec le bâtiment induit en moyenne sur l'été un léger préchauffage de l'air neuf, celui-ci pénètre le bâtiment à une température très stable. Sur les heures de canicule, lorsque la météo excède les 26°C, l'air neuf ne dépasse pas les 22°C à la sortie de l'échangeur air/sol et 20°C à la sortie de l'échangeur air/eau/sol.
- Dans le cas de figure présent, cela suffit à maintenir le bâtiment en dessous du seuil de confort cible de 26°C, ce qui met en valeur la bonne enveloppe et l'inertie du bâtiment. Cependant, dans la mesure où les gaines de ventilation incorporées aux dalles du bâtiment participent elles-mêmes à l'amortissement inertiel de l'oscillation météo, il n'est pas aisé de déterminer si cet excellent confort n'aurait en l'occurrence pas pu être atteint sans l'échangeur air/eau/sol.
- Pour le débit d'air actuel, la combinaison entre longueur des tubes et efficacité d'échange air/eau qui a été retenue dans l'installation Perret s'avère correcte, bien qu'une prestation similaire aurait pu être atteinte avec un échangeur air/eau deux fois plus grand et un collecteur deux fois plus court. Le débit d'eau pourrait par contre être réduit par trois, sans préjudice la prestation estivale.

Généralisation

De façon plus générale cette étude amène aux constatations suivantes :

- Le préchauffage saisonnier de l'air neuf au moyen d'un collecteur à eau couplé sur l'amenée d'air neuf se fait au détriment partiel du récupérateur sur air vicié, qui fonctionne avec un différentiel de température plus faible. D'autre part, avec une nappe de tube à faible profondeur, une partie importante du préchauffage provient d'une diffusion accrue en provenance du bâtiment, même lorsque celui-ci est correctement isolé. L'un dans l'autre, la prestation nette de l'échangeur air/eau/sol s'avèrera constituer sinon une perte du moins un gain marginal. Il convient donc prioritairement, à des fins d'efficacité hivernale, d'améliorer l'enveloppe du bâtiment et de soigner le dimensionnement du récupérateur sur air vicié.
- En été par contre, le lissage de l'oscillation thermique journalière est suffisant à maintenir la température d'aération en dessous du seuil de confort de 26°C, fournissant un potentiel de rafraîchissement sur les heures les plus chaudes de la journée. Moyennant un dimensionnement correct du système, il devient alors possible d'accroître le débit d'air à des taux plus importants de quelques vol/h, permettant de ventiler le bâtiment avec de l'air frais et d'en extraire les excédents thermiques. Un dimensionnement journalier et un fonctionnement uniquement estival sont donc recommandés.

Dans cet esprit, les recommandations suivantes sont de mise :

- Pour le rafraîchissement estival, 600 m de tube par 1000 m³/h d'air permettent d'amortir environ 75% de l'oscillation thermique journalière portée par l'air neuf, à condition cependant d'une efficacité de 80% sur l'échangeur air/eau (facteur limitant). Le débit d'eau doit se situer à 600 lit/h pour 1000 m³/h d'air.
- Afin de profiter pleinement de la température stable de l'air neuf, qui ne dépasse alors en principe pas les 22°C, le récupérateur sur air vicié doit être bypassé.
- Etant donné que l'amortissement de l'oscillation thermique journalière se fait sur moins de 20 cm au pourtour des tuyaux, le recours à une configuration multicouche est possible. Il est important de veiller au bon contact thermique entre les tubes et le terrain.

- Dans la mesure des besoins de rafraîchissement du bâtiment, il est possible de faire du rafraîchissement inertiel avec une ventilation accrue, de 1 à 3 vol/h, induisant en heure de pointe un potentiel de rafraîchissement de 2 à 10 W/m² (2 à 7 W/m² en moyenne journalière, soit la valeur moyenne des gains thermiques observés dans les bâtiments). L'augmentation du débit d'air doit être accompagnée d'un accroissement proportionnel de l'échangeur eau/sol, selon la règle du pouce ci-dessus. Cependant, dans la mesure où l'inertie du bâtiment le permet et que la puissance de rafraîchissement peut chuter sur les heures de pointes, il est possible de revoir la longueur du collecteur eau/sol à la baisse.
- Le choix de mise en œuvre d'un échangeur terrestre plutôt qu'un autre système de rafraîchissement, par exemple la ventilation nocturne, dépend avant tout de la réponse inertielle du bâtiment aux contraintes qu'il endure (gains internes et solaires, ainsi que température de ventilation). Ce type de système ne peut donc pas être vu comme une simple pièce que l'on rajoute au système technique, mais doit avant tout être accordé au bâtiment, dont il fait partie intégrante, et être dimensionné au travers d'un concept énergétique global. En particulier, avec un débit de ventilation accru, le système devient grand et cher et les pertes de charges supplémentaires sur l'air risquent de préjudicier le bon rendement électro-thermique du système. Dès lors il est primordial, en été, de limiter les gains solaires et de maîtriser les gains internes du bâtiment.
- Pour un système correctement dimensionné, le coût de mise en œuvre d'un collecteur à eau couplé à l'air de ventilation s'élève à environ 5000 Fr par kW de froid. Cet investissement est plus élevé que pour un groupe de froid, mais les frais de fonctionnement seront beaucoup plus faibles. Ainsi le coût de production de froid par échangeur air/eau/sol peut atteindre aux alentours de 25 ct par kWh thermique pour des besoins de base, contre 1 Fr par kWh thermique pour des besoins localisés en heure de pointe. Ces coûts semblent voisins de ceux que l'on rencontre pour les puits canadiens, qui fournissent le même genre de prestation, si bien que selon les considérations locales l'une ou l'autre des possibilités sera plus avantageuse. L'un dans l'autre le coût d'un système à collecteur terrestre, bien dimensionné et bien adapté au bâtiment, sera compétitif avec un groupe de froid.
- Une alternative au couplage du collecteur à eau sur le système de ventilation pourrait être son couplage sur un plafond froid. Cette alternative aurait l'avantage de diminuer les contraintes sur l'échangeur air/eau, qui limite la performance du système, et de limiter les pertes de charges sur l'air induites par une ventilation accrue.

REMERCIEMENTS

Nous tenons vivement à remercier M. Hadorn de l'Office fédéral de l'énergie, ainsi que MM. Genoud de l'Office cantonal de l'énergie (OCEN) et Ouzilou du Service cantonal de l'énergie (SCANE) pour avoir financé l'étude ; MM. Martin et Derrer de la société Perret SA, pour avoir permis la réalisation de l'étude et mis à disposition les locaux de chauffage/ventilation du bâtiment ; M. Jolliet de la société Ecoconfort, pour sa collaboration tout au long du projet.

REFERENCES

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., COSTEAU. Préchauffage et rafraîchissement par collecteurs souterrains à eau. Etude de cas (bâtiment Perret à Satigny, GE) et généralisation, Rapport de recherche du CUEPE, Université de Genève, 2003.