

Rapport annuel 2001, 15 décembre 2001

Projet

Serso, stockage saisonnier de l'énergie solaire pour le dégivrage d'un pont

Auteur et coauteurs	Daniel Pahud
Institution mandatée	LEEE – DCT - SUPSI
Adresse	CH – 6952 Canobbio
Téléphone, e-mail, site Internet	091 935 13 53, daniel.pahud@dct.supsi.ch , http://www.lee.dct.supsi.ch/urec.htm
N° projet / n° contrat OFEN	Projet n° 27006 / contrat n° 77268
Durée prévue du projet (de - à)	De mai 2000 à novembre 2002

RÉSUMÉ

Le projet Serso est né de l'idée de vouloir dégivrer un pont avec de l'énergie solaire. Il en résulte un concept qui met en œuvre un stockage saisonnier de chaleur dans le terrain. L'énergie solaire est captée par le pont en été, stockée dans le terrain par l'intermédiaire d'un ensemble de sondes géothermiques, puis restituée en hiver pour le dégivrage du pont. Le pont est équipé de serpentins qui permettent de collecter les gains solaires estivaux et de chauffer la chaussée en hiver pour empêcher la formation de glace ou de givre. A l'exception de l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des pompes, le système est conçu pour fonctionner sans énergie auxiliaire.

L'objectif principal de ce projet est de pouvoir simuler et optimiser l'installation pilote de Serso, de manière à aller au-delà de l'expérience gagnée par la réalisation pratique du projet et par les mesures effectuées pendant plusieurs années de fonctionnement. Des règles pour pré-dimensionner de telles installations seront établies pour diverses conditions. Un document permettra de présenter les principaux résultats d'ordre pratique destinés aux professionnels concernés (bureau d'étude, maîtres d'ouvrage, etc.). Une application *TRNSED* du modèle de simulation de l'ensemble de l'installation est envisagée.

La redondance des mesures à disposition a permis de contrôler leur précision, de les corriger et de remplir les trous de mesure (qui sont peu nombreux et de courte durée) pour deux années consécutives. Avec un pas de temps de 15 minutes, les mesures ont permis de « saisir » aussi bien la dynamique à court terme qu'à long terme du stockage. Ces deux ans ont permis de valider et de calibrer avec succès le modèle de simulation du stockage utilisé dans cette étude.

Buts du projet

Le projet Serso est né de l'idée de vouloir dégivrer un pont avec de l'énergie solaire. Il en résulte un concept qui met en œuvre un stockage saisonnier de chaleur dans le terrain. L'énergie solaire est captée par le pont en été, stockée dans le terrain par l'intermédiaire d'un ensemble de sondes géothermiques, puis restituée en hiver pour le dégivrage du pont. Le pont est équipé de serpentins qui permettent de collecter les gains solaires estivaux et de chauffer la chaussée en hiver pour empêcher la formation de glace ou de givre. A l'exception de l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des pompes, le système est conçu pour fonctionner sans énergie auxiliaire.

L'objectif principal de ce projet est de pouvoir simuler et optimiser l'installation pilote de Serso, de manière à aller au-delà de l'expérience gagnée par la réalisation pratique du projet et par les mesures effectuées pendant plusieurs années de fonctionnement. Des règles pour pré-dimensionner de telles installations seront établies pour diverses conditions. Un document permettra de présenter les principaux résultats d'ordre pratique destinés aux professionnels concernés (bureau d'étude, maîtres d'ouvrage, etc.). Une application *TRNSED* du modèle de simulation de l'ensemble de l'installation est envisagée.

Les buts fixés pour l'année concernent l'analyse et la correction des mesures de manière à pouvoir les utiliser pour la validation des modèles de simulation, en particulier pour le modèle de stockage de chaleur diffusif dans le terrain.

Travaux effectués et résultats acquis

Les travaux effectués en 2001 concernent le contrôle des mesures à disposition, leur correction et leur utilisation pour la détermination des paramètres du stockage saisonnier de chaleur dans le terrain et pour la validation du modèle de simulation associé.

Mesures effectuées sur le stockage

Les mesures disponibles pour le calibrage du modèle de stockage ont été enregistrées en valeurs de 15 minutes du 1.1.1998 au 31.12.1999, soit deux années complètes de mesures. La mise en route de l'installation a débuté en 1994, soit près de 4 ans auparavant. Bien que l'installation a été mesurée depuis le début de sa mise en service, il n'a pas été nécessaire de disposer de la totalité des mesures effectuées.

Les mesures relatives au stockage sont les puissances thermiques transférées par son échangeur souterrain (mesures de températures de fluide et de débit) et des températures de terrain effectuées à différents endroits dans la zone du stockage (*Hopkirk et al., 1995*). Grâce à la redondance des mesures, leur exactitude a pu être contrôlée, les capteurs erronés ont été identifiés, les corrections nécessaires effectuées et les trous de mesure comblés (ces derniers sont peu nombreux et de courte durée).

Les mesures de la puissance transférée par l'échangeur souterrain et de la température moyenne du stockage permettent d'établir la relation entre l'énergie stockée ou déstockée et sa variation de température. La figure 1 permet de la montrer avec les mesures corrigées des deux années.

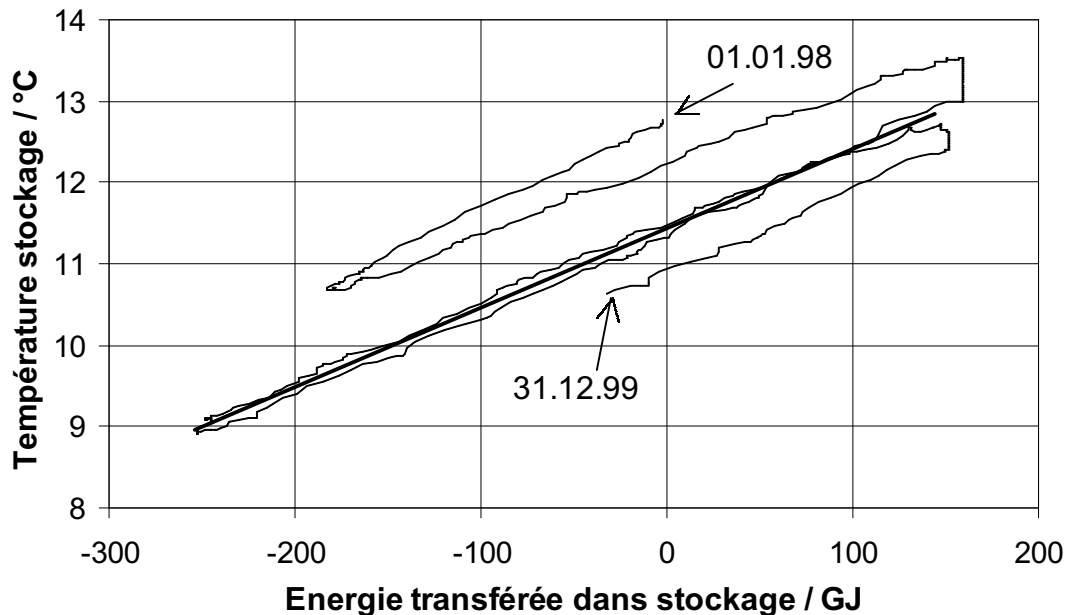


Fig. 1 Température moyenne du stockage représentée en fonction de l'énergie nette transférée par l'échangeur souterrain (énergie injectée – énergie extraite).

Si le stockage n'a pas de pertes thermiques, un cycle de charge – décharge fera déplacer les points de la courbe sur une droite dont la pente (en K/GJ) est l'inverse de sa capacité thermique (en GJ/K). Les pertes thermiques du stockage ont pour effet de déplacer les points sur la droite. A l'inverse ils seront déplacés à gauche, si les pertes thermiques sont en réalité des gains thermiques. Lors de l'hiver 98 – 99, l'extraction importante de chaleur a eu pour résultat de sensiblement abaisser la température du stockage, si bien que les pertes du stockages ont été réduites à zéro, voir inversées. Au cours de la décharge du stockage pendant l'hiver 98-99 et de sa recharge le printemps – été suivant, les pertes thermiques du stockage ont été faibles relativement aux énergies transférées. Cette période a l'avantage de permettre une estimation directe de la capacité thermique du stockage. La régression linéaire montrée dans la figure 1 permet de l'estimer à environ **100 GJ/K**. La capacité thermique volumétrique moyenne du terrain est ensuite déterminée sur la base du volume du stockage.

Capacité thermique du stockage :	102 GJ/K
Volume du stockage :	46'100 m ³
Capacité thermique volumétrique du terrain :	2.2 MJ/m ³ K

La connaissance de la capacité thermique du stockage a permis de remplir les trous de mesure (dont la durée est au plus de quelques jours).

Modèle de stockage et comparaison avec les mesures

Le modèle de calcul utilisé pour simuler le comportement thermique du stockage est basé sur le modèle *DST* (Hellström, 1989), développé à l'université de Lund en Suède. Le stockage a un échangeur de chaleur souterrain, formé dans notre cas par un ensemble de sondes géothermiques, qui permet de transférer de l'énergie thermique entre la zone de stockage et le fluide caloporteur qui circule dans les sondes. Le modèle calcule, en particulier, la relation entre la température d'entrée du fluide (et son débit) et la puissance thermique transférée pour des conditions d'exploitation arbitraires.

Le modèle *DST* a été intégré dans le programme de simulation de système thermique *TRNSYS* comme un module de calcul non standard appelé *TRNV DST* (Mazzarella, 1993). Le modèle a été amélioré par Pahud et Hellström (1996), puis adapté à la problématique des pieux échangeurs et nommé *TRNV DSTP* (Pahud et al., 1996). Cette dernière version est utilisée pour la simulation du stockage de Serso, puisqu'elle permet, en plus de toutes les fonctionnalités que possèdent les autres versions, de tenir compte de l'influence thermique des raccordements hydrauliques entre les forages et de pouvoir estimer l'influence d'un mouvement régional de l'eau souterraine dans une couche horizontale de terrain.

Le programme de simulation de système thermique *TRNSYS 15* (Klein S. A. et al., 2000) est donc naturellement choisi pour simuler le stockage comme partie intégrante d'un système thermique. Le modèle de calcul *DST* a déjà été largement utilisé et validé par le passé (Pahud, 1993 ; Hellström et Nordell, 1988). La méthodologie suivie pour définir les paramètres de calcul est la même que celle qui a été développée pour la simulation de systèmes avec pieux échangeurs (Fromentin et al., 1997). Elle se base essentiellement sur des paramètres physiques qui permettent de tenir compte des processus thermiques les plus influents. Le modèle de stockage *TRNV DSTP* est utilisé pour Serso avec la même configuration que celle qui a été implémentée dans *PILESIM* (Pahud, 1999). Pour information, *PILESIM* est un outil de simulation dynamique d'une installation de chauffage/refroidissement avec pieux échangeurs.

La détermination des paramètres de simulation du stockage, de même qu'une pré-simulation pour amener l'état initial du stockage simulé à l'état mesuré au début des deux ans de mesures, permet de confronter le modèle de simulation aux mesures. Le débit total et la température du fluide caloporteur sont donnés comme variables d'entrée au modèle de simulation, de même que la température de l'air extérieur. Parmi les variables calculées par le modèle, la température moyenne du stockage et la puissance thermique transférée par l'échangeur souterrain peuvent être directement comparées aux valeurs issues des mesures (cf. fig. 2 et 3).

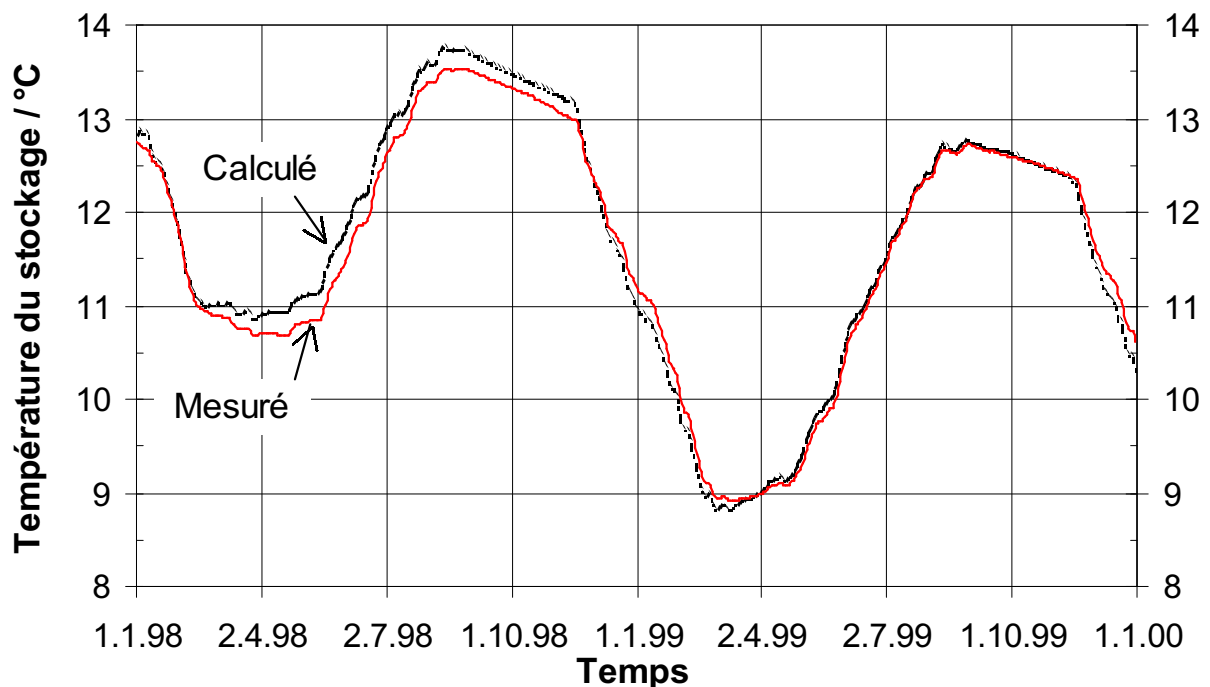


Fig. 2 Mesure et calcul de la température moyenne du stockage.

L'écart de température entre les mesures et les calculs reste inférieur à 0.5 K.

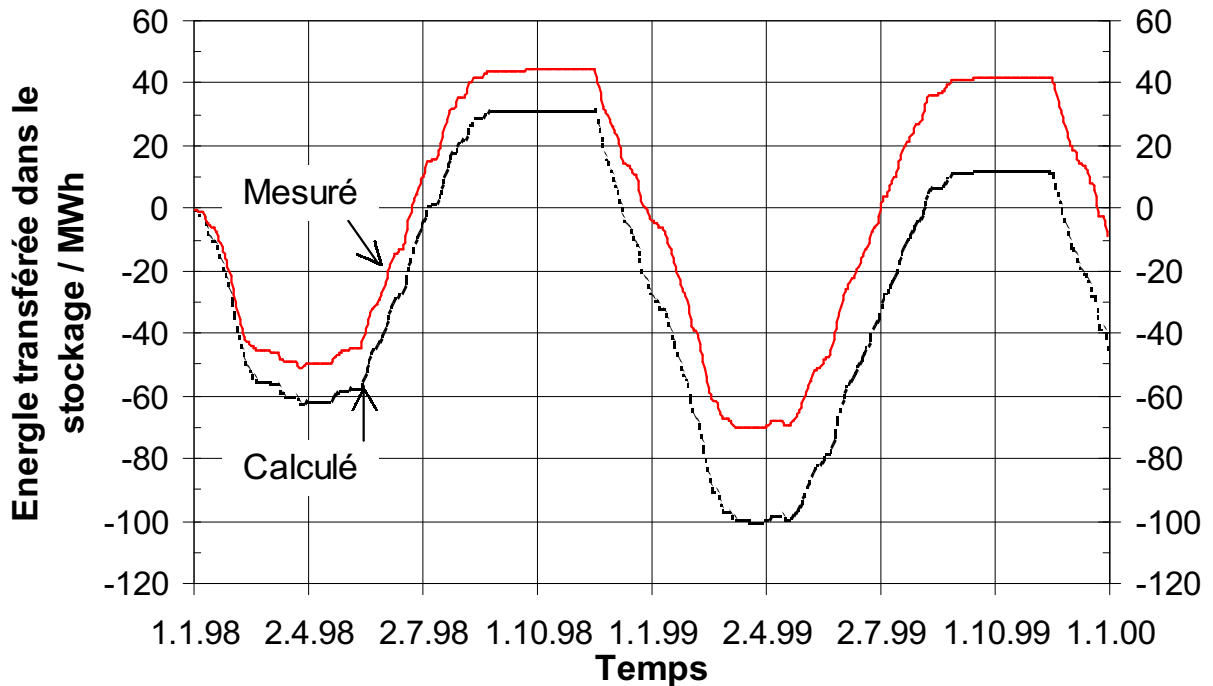


Fig. 3 Mesure et calcul de l'énergie nette transférée dans le stockage au cours des deux ans de mesure.

Le concept hydraulique du stockage permet de n'utiliser qu'une partie des sondes. Ainsi, pour un débit et une température d'entrée dans les sondes donnés, la puissance thermique transférée est plus faible lorsque le nombre de sondes utilisées est plus petit. En extraction de chaleur, l'utilisation partielle des sondes est plus fréquente qu'en injection. Comme le modèle de calcul ne permet pas de réduire le nombre de sondes utilisées, les calculs surestiment davantage les mesures en période d'extraction, ce qui se traduit par un décalage vers le bas de la courbe calculée relativement à la courbe mesurée.

Une comparaison directe entre les mesures et les calculs de l'énergie journalière transférée par l'échangeur souterrain permet de mettre en évidence cet effet (cf. fig. 4). Les calculs correspondent bien aux mesures pour les jours où toutes les sondes sont utilisées. Les points qui se détachent sous la fonction identité en période d'extraction (énergie journalière négative), sont ceux pour lesquels le nombre de sondes géothermiques utilisées a été réduit. Inversement ces points se détachent au dessus de la fonction identité en période d'injection (énergie journalière positive).

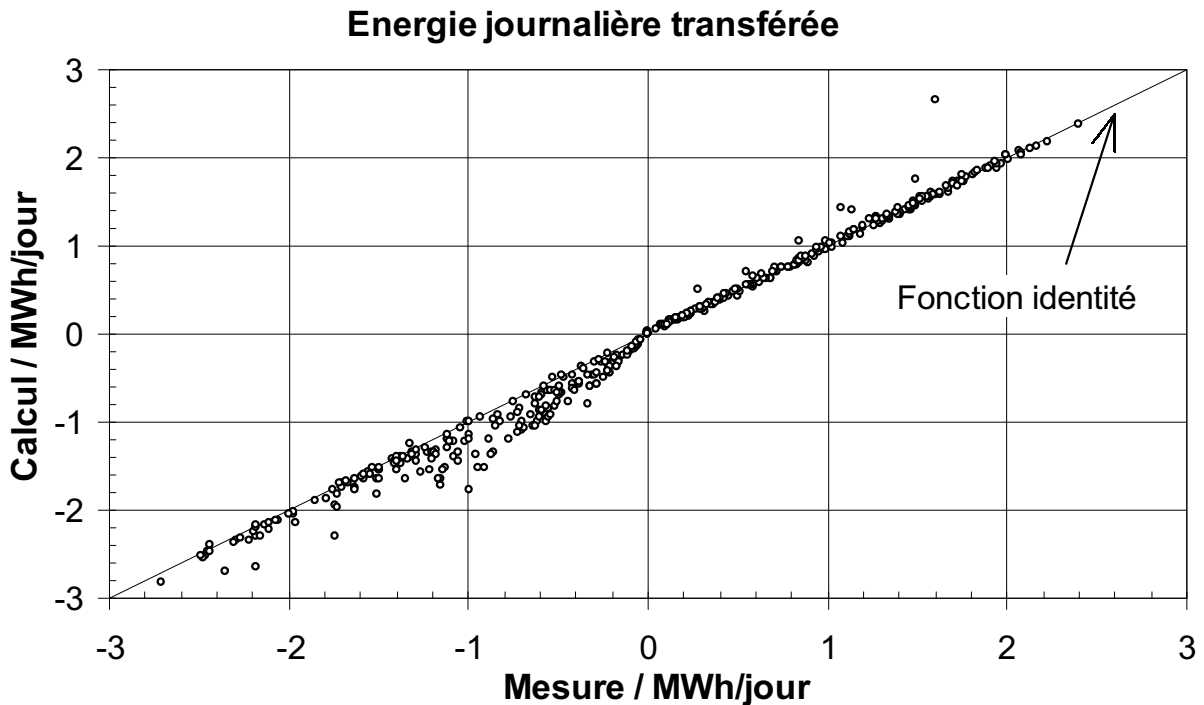


Fig. 4 Comparaison calcul – mesure des énergies journalières transférées par l'échangeur souterrain pour les deux années de mesures.

Comme attendu le modèle utilisé permet de simuler de façon satisfaisante le stockage diffusif de Serso. Le modèle de simulation utilisé combine ensemble plusieurs composants *TRNSYS*, dont le composant non standard *TRNVDSTP*. L'outil de simulation *TRNSYS* résultant a été mis au point dans une étude visant à simuler un système avec pieux échangeurs sur la base de mesures d'installations existantes. Il s'avère tout à fait satisfaisant pour la simulation d'un stockage du type de Serso. Il permet de reproduire aussi bien les effets à long terme qu'à court terme. Tous les paramètres utilisés reposent sur des grandeurs géométriques ou des propriétés physiques.

Contrairement au concept du stockage de Serso, le modèle de calcul ne permet pas de n'utiliser qu'une seule partie des sondes du stockage. Néanmoins cette propriété n'apparaît pas indispensable à la simulation de ce type de système, car il en résulte une puissance de transfert réduite qui peut également être obtenue avec par exemple un débit plus faible. D'autre part, l'utilisation d'une partie des sondes plutôt que la totalité permet, en période d'extraction, d'extraire la chaleur dans la zone périphérique du stockage et de conserver la zone centrale du stockage plus chaude. La comparaison mesure – calcul ne permet pas de mettre en évidence un avantage à procéder de la sorte, et la complexité supplémentaire engendrée au niveau du concept, du schéma de principe et de la régulation du stockage ne sont pas, dans ce cas, justifiés.

Collaboration nationale

Pas de collaboration en 2001.

Collaboration internationale

Pas de collaboration en 2001.

Évaluation de l'année 2001 et perspectives pour 2002

La redondance des mesures a permis d'établir deux ans de mesures continues et de bonne qualité, contenant, avec un pas de temps de 15 minutes, aussi bien la dynamique à court terme qu'à long terme du stockage. Ces deux ans ont permis de valider et de calibrer avec succès le modèle de simulation du stockage. Ces résultats constituent une bonne base pour réaliser l'ensemble des objectifs restants en 2002.

Références

- Fromentin A., Pahud D., Jaquier C. et Morath M. (1997) Recommandations pour la réalisation d'installations avec pieux échangeurs. Empfehlungen für Energiepfahlsysteme, Rapport final, décembre 1997, Office fédéral de l'énergie, Bern, Switzerland.
- Hellström G. (1989) Duct Ground Heat Storage Model, Manual for Computer Code. Department of Mathematical Physics, University of Lund, Sweden.
- Hellström G. and Nordell B. (1988) A Posteriori Study and Redesign of Large-Scale Borehole Heat Store in Luleå, Sweden. Proceedings of JIGASTOCK'88, Versailles, France.
- Hellström G., Sanner B. (2000): Earth Energy Designer, User's Manual, version 2.0 (<http://www.blocon.se/earth.htm>).
- Hopkirk R., Hess K. und Eugster W. (1995) Erdwärmesonden-Speicher zur Strassenheizung bei Därlingen, Schweiz, Polydynamics Ltd., Zürich, Schweiz.
- Klein S. A. et al. (2000) TRNSYS. A Transient System Simulation Program. Version 15. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA.
- Mazzarella L. (1993) Duct Thermal Storage Model. Lund-DST. TRNSYS 13.1 Version 1993. ITW, Universität Stuttgart, Germany, Dipartimento di Energetica, Politecnico di Milano, Italy.
- Pahud D. (1993) Etude du Centre Industriel et Artisanal Marcinhès à Meyrin (GE). Rapport final. GAP et CUEPE, Univ. de Genève.
- Pahud D. (1999) PILESIM - LASEN. Simulation Tool for Heating/Cooling Systems with Heat Exchanger Piles or Borehole Heat Exchangers. User Manual. Swiss Federal Office of Energy, Switzerland.
- Pahud D. and Hellström G. (1996) The New Duct Ground Heat Model for TRNSYS. EURO THERM, Physical Models for Thermal Energy Stores. A.A. van Steenhoven and W.G.L van Helden (eds), March 25-27, pp. 127 – 136, Eindhoven, The Netherlands.
- Pahud D., Fromentin A. and Hadorn J.-C. (1996) The Duct Ground Heat Storage Model (DST) for TRNSYS Used for the Simulation of Heat Exchanger Piles. User Manual, December 1996 Version. Internal Report. LASEN - DGC- EPFL, Switzerland.