

Rapport annuel 2005, 15 décembre 2005

Projet Serso, stockage saisonnier solaire pour le dégivrage d'un pont

Auteur et coauteurs	Daniel Pahud
Institution mandatée	LEEE – DACD – SUPSI
Adresse	CP 105, CH – 6952 Canobbio
Téléphone, e-mail, site Internet	058 666 63 53, daniel.pahud@supsi.ch , www.leeesupsi.ch
N° projet / n° contrat OFEN	Projet n° 27006 / contrat n° 77268
Durée prévue du projet (de - à)	De mai 2000 à novembre 2006

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.

Le modèle de stockage calibré a été intégré dans un modèle complet de l'installation. Ce dernier a été calibré sur les mesures. Les principaux paramètres thermiques du modèle de pont capteur et dégivrant ont été ajustés, de même que les principaux paramètres de la régulation du système.

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 2005 ont pu être partiellement atteints, et seront complétés et achevés en 2006.

Travaux effectués et résultats acquis

Les travaux effectués concernent le contrôle des mesures à disposition et leur correction. Elles ont été utilisées pour déterminer les paramètres principaux du stockage saisonnier de chaleur dans le terrain et pour la validation du modèle de simulation associé. Les mesures ont également servi pour la calibration du modèle de l'installation complète, comprenant la simulation du pont capteur et dégivreur, la cuve à eau tampon, le stockage saisonnier dans le terrain qui a été calibré séparément, le schéma de principe du système et sa régulation.

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.

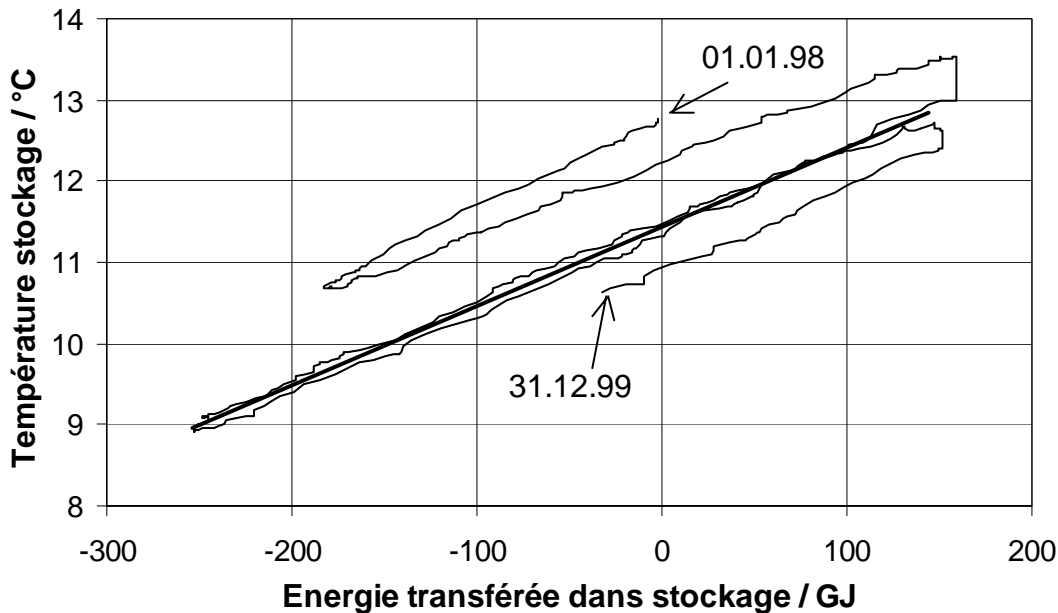


Fig. 1 Température moyenne du stockage représentée en fonction de l'énergie nette transférée par l'échangeur souterrain (énergie injectée – énergie extraite).

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

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).

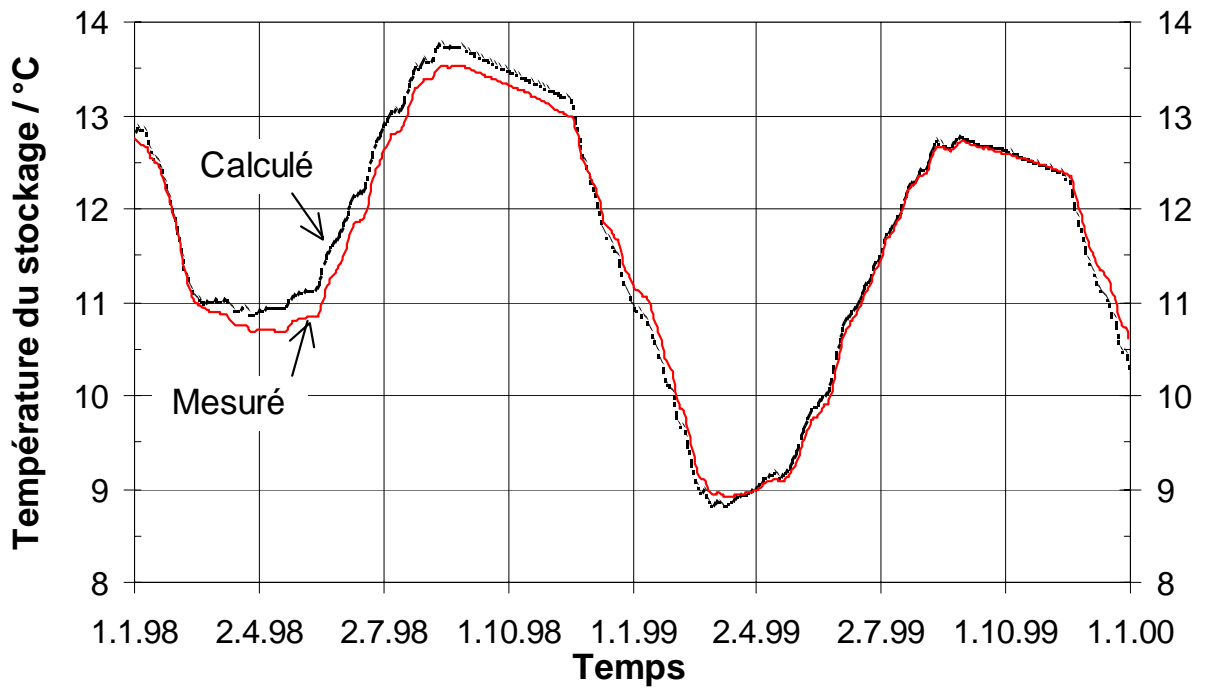


Fig. 2 Mesure et calcul de la température moyenne du stockage.

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

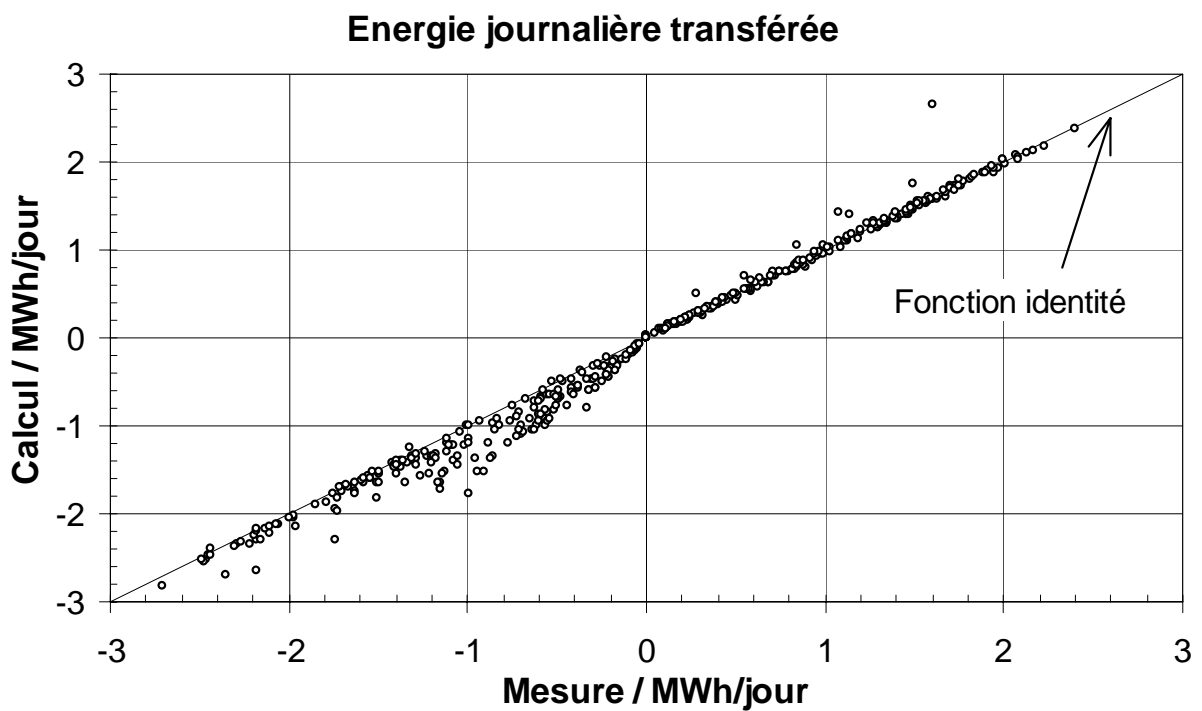


Fig. 3 Comparaison calcul – mesure des énergies journalières transférées par l'échangeur souterrain pour les deux années de mesures.

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. 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). Autrement, les calculs correspondent bien aux mesures pour les jours où toutes les sondes sont utilisées.

Modèle complet de l'installation et comparaison avec les mesures

Le schéma de principe de l'installation est illustré avec la figure 4.

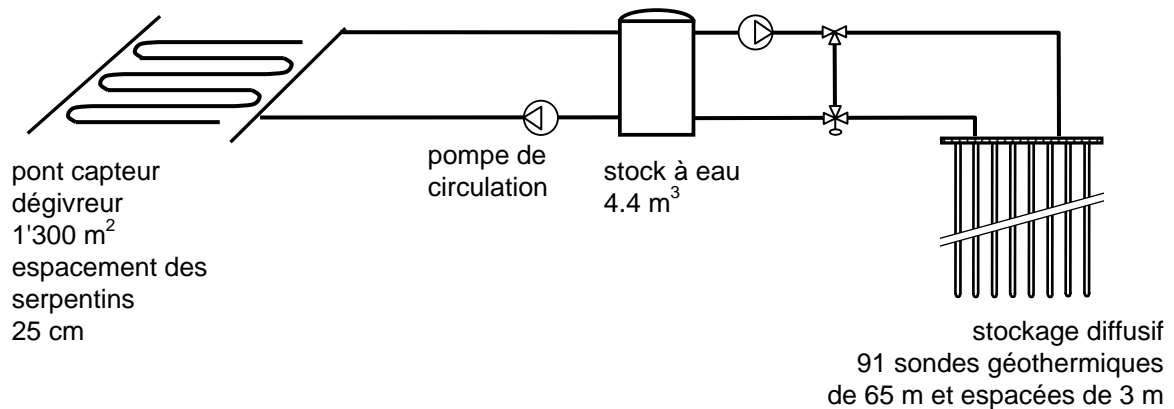


Figure 4 Schéma de principe simplifié de l'installation réalisée.

Le schéma de principe du modèle de simulation est montré dans la figure 5. Il permet de reproduire les performances thermiques du schéma de principe du système réel illustré dans la figure 4.

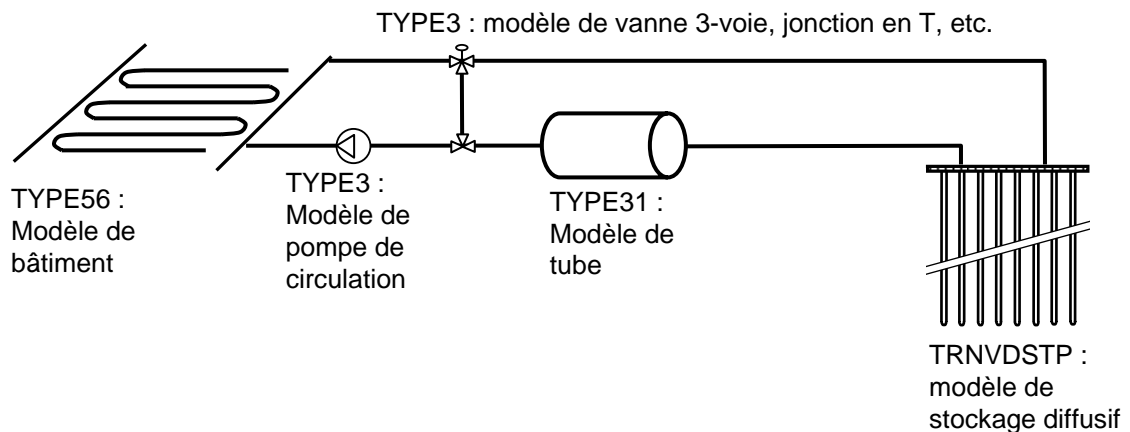


Figure 5 Schéma de principe du modèle de simulation de l'installation.

Une calibration directe du modèle de pont n'est pas possible avec les mesures, car les pertes thermiques par convection et radiation sont calculées séparément, ce que les mesures ne permettent pas (seule la température de l'air est mesurée, et il manque la température radiante du ciel ou

une mesure équivalente). Ainsi le système complet est simulé et les principaux paramètres de simulation du pont et de la régulation sont calibrés pour faire correspondre les performances simulées aux performances mesurées ; (les paramètres du stockage diffusif ne sont pas variés car ils sont déjà calibrés). Les paramètres sont variés dans des limites plausibles, de manière à ce qu'ils restent compatibles avec leur signification physique.

Pour les mesures effectuées en 1999, les performances du système sont montrées avec la table 1 et les figures 6 et 7.

Mesures de 1999	Température moyenne du fluide en mode « captage » (°C)	Energie solaire stockée dans le stockage diffusif (kWh)	Température moyenne du fluide en mode « dégivrage » (°C)	Energie thermique déstockée pour dégivrer les ponts (kWh)
Janvier	-	-	6.5	30'570
Février	-	-	5.8	35'670
Mars	11.8	230	6.1	3'030
Avril	13.5	7'250	6.2	1'070
Mai	15.9	30'390	-	-
Juin	17.1	28'420	-	-
Juillet	18.5	30'820	-	-
Août	18.8	17'340	-	-
Septembre	16.8	970	-	-
Octobre	-	-	-	-
Novembre	-	-	7.2	20'920
Décembre	-	-	6.6	28'830
Année	17.2	115'420	6.4	120'090
Durée de marche annuelle		630 heures	1'320 heures	

Table 1 Valeurs mensuelles des mesures effectuées en 1999 relatives aux ponts pour l'installation Serso.

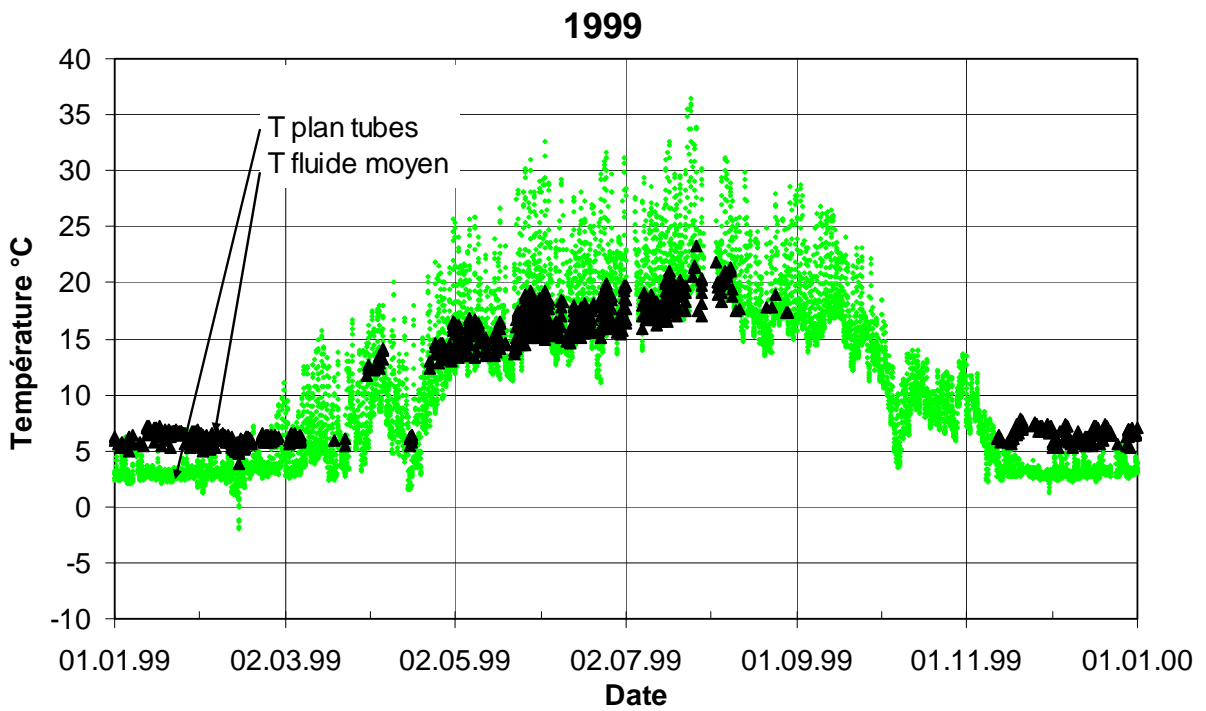


Figure 6 Valeurs horaires des mesures de température effectuées en 1999 relatives aux ponts pour l'installation Serso.

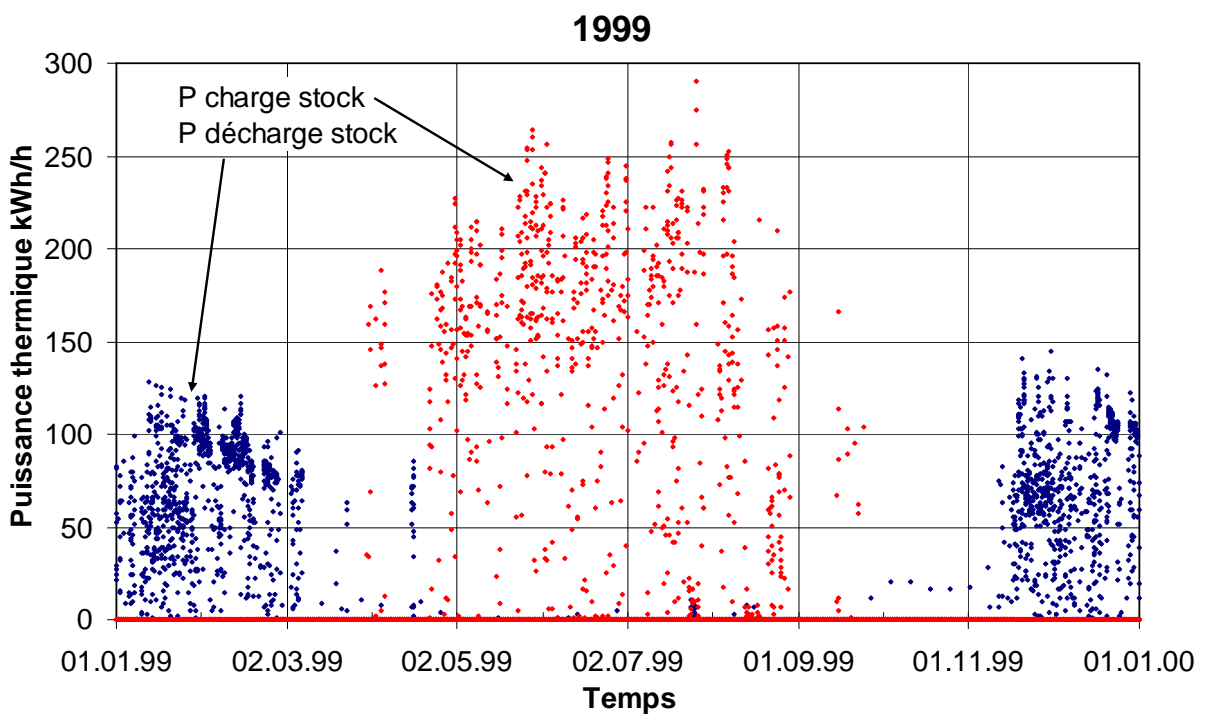


Figure 7 Valeurs horaires des mesures des puissances thermiques effectuées en 1999 relatives aux ponts pour l'installation Serso.

Le modèle de simulation de l'installation complète se base sur une année météo générée par Meteon 5.0 [1]. Les performances thermiques simulée sont montrées dans la table 2 et les figures 8 et 9.

Simulation faite avec météo générée par METEON	Température moyenne du fluide en mode « captage » (°C)	Energie solaire stockée dans le stockage diffusif (kWh)	Température moyenne du fluide en mode « dégivrage » (°C)	Energie thermique déstockée pour dégivrer les ponts (kWh)
Janvier	-	-	6.9	37'720
Février	-	-	6.6	30'040
Mars	-	-	6.8	9'180
Avril	15.3	540	-	-
Mai	17.2	11'950	-	-
Juin	17.9	27'770	-	-
Juillet	19.6	43'290	-	-
Août	20.0	24'100	-	-
Septembre	19.5	5'360	-	-
Octobre	-	-	-	-
Novembre	-	-	7.2	12'310
Décembre	-	-	6.6	32'800
Année	19.0	113'010	6.8	122'050
Durée de marche annuelle		640 heures	1'330 heures	

Table 2 Valeurs mensuelles obtenues avec le modèle du système calibré.

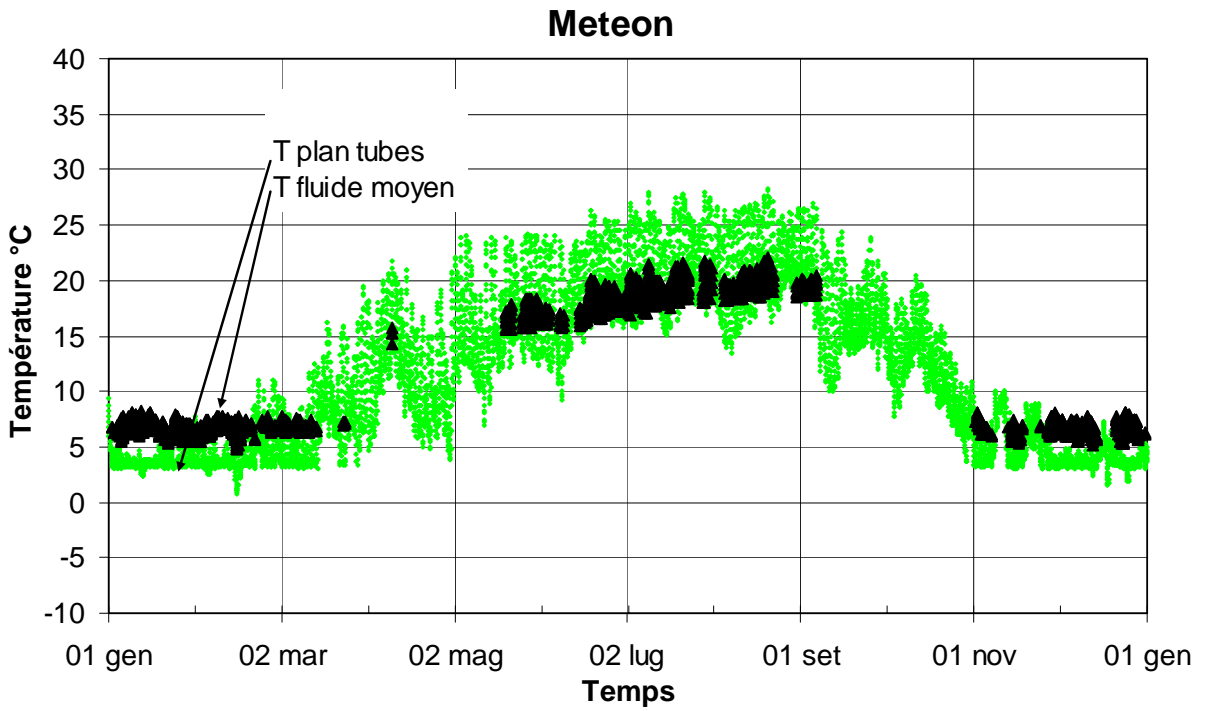


Figure 8 Valeurs horaires des températures simulées avec le modèle calibré du système Serso.

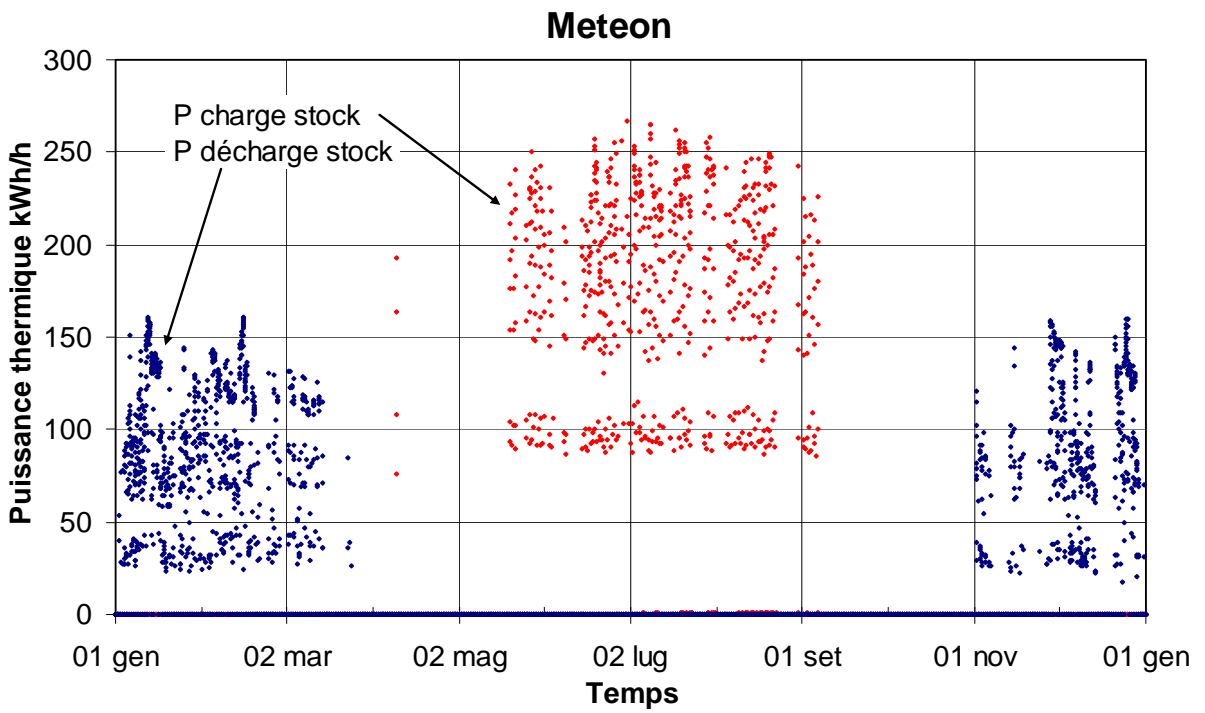


Figure 9 Valeurs horaires des puissances thermiques simulées avec le modèle calibré du système Serso.

Le modèle du système complet permet ainsi de reproduire de façon satisfaisante la dynamique à cours terme et le bilan annuel du système.

Collaboration nationale

Pas de collaboration nationale en 2005.

Collaboration internationale

Pas de collaboration internationale en 2005.

Évaluation de l'année 2005 et perspectives pour 2006

Le temps dédié au projet en 2005 est conforme aux résultats obtenus. En conséquence, il reste suffisamment de ressources financières pour 2006 pour mener à terme le projet.

Références

[1] Remund J. und Kunz S. (2003) **METEON Version 5.0**. www.meteonorm.com