

**Rapport final du 20 novembre 2006**

# **Actualisation du Mini-module de chauffage pour tests de réponse thermique des terrains**

Élaboré par:

Dr Lyesse Laloui  
Chef du projet

Gilbert Steinmann  
Ingénieur civil ETS, REG-A

EPFL – ENAC  
Laboratoire de Mécanique des Sols

DIS-Projet Nr.:... 101 189	Programme Géothermie	Sous mandat de l' <b>Office fédéral de l'énergie</b>
DIS-Contrat Nr.:... 151 393		

## Table des matières

### Résumé - Abstract

<b>1      Introduction</b>	<b>3</b>
1.1    Objectifs du projet	3
1.2    Etapes de réalisation	4
<b>2      Description des modifications</b>	<b>5</b>
2.1    Pompe de circulation	5
2.2    Débitmètre (flowmeter)	6
2.3    Circuit de remplissage	7
2.4    Vanne de réglage du débit	8
2.5    Télétransmission	9
2.6    Tests de l'appareillage	10
2.7    Accréditation et utilisation	11
<b>3      Commentaires et conclusion</b>	<b>11</b>

## RESUME

Dans le cadre de ce mandat, Le Mini-module de chauffage de l'EPFL destiné à la détermination des caractéristiques thermiques des sols et des sondes géothermiques a été modifié. Ses caractéristiques et performances ont été grandement améliorées par une diminution des pertes de charges dans le circuit d'eau. La pompe de circulation, le débit-mètre et la vanne de réglage du débit ont été remplacés. Le système de télétransmission a été complètement changé pour utiliser un réseau dédié prioritairement à la transmission de données. Le circuit de remplissage a également été modifié. L'éventail des possibilités d'utilisation de ce Mini-module optimisé permet actuellement d'effectuer des tests de réponse thermique des terrains avec des sondes de plus de 300 m de profondeur.

## ABSTRACT

Within this project, small-size testing equipment of EPFL, dedicated to the measurement of thermal characteristics of soils as well of geothermal probes has been modified. Its characteristics and performance have been improved with a decreased pressure head in the water circuit. The circulation pump, the flowmeter and the flow regulator valve have been replaced. The remote data transmission system has been changed completely to use a network primarily dedicated to data transmission. The fill circuit has also been modified. The increased possibilites with this optimised Mini-module enables carrying out thermal response tests in borehole heat exchangers of more than 300m depth.



DIS-Projet Nr.:... 101 189	Programme Géothermie	Sous mandat de l' <b>Office fédéral de l'énergie</b>
DIS-Contrat Nr.:... 151 393		

## 1 Introduction

Le LMS (Laboratoire de Mécanique des Sols de l'EPFL) avait formulé une requête en 2005 à l'OFEN afin d'obtenir un financement pour la réalisation d'un Mini-module de chauffage pour tests de réponse destiné au remplacement du module compacté, construit dans sa première version en 1998, puis modernisé en 2002 et 2003.

Avec cet équipement, unique en Europe, le transport et la manipulation sont grandement facilités. Tout l'appareillage tient dans une valise de type "flight case" et pèse environ 45 kg. Les caractéristiques et options de l'ancien module ont été reprises voire améliorées. La mise en place et le raccordement de ce Mini-module de chauffage pour le test d'une géostructure ou d'une sonde géothermique sont de ce fait très aisés et permettent une réduction des coûts de réalisation d'un test de réponse thermique.

Ce Mini-module de chauffage, a été accrédité selon la norme ISO/CEI 17'025 (1999) et des tests de réponse thermique du terrain ont été effectués avec cet appareillage en Suisse et en France.

En février 2006 LMS (Laboratoire de Mécanique des Sols de l'EPFL) a formulé une nouvelle requête à l'OFEN afin d'obtenir un financement pour l'actualisation de ce Mini-module de chauffage pour tests de réponse.

En effet, ce prototype a montré rapidement ses limites sur la possibilité d'effectuer des tests sur des songes géothermiques profondes, tout en garantissant un régime turbulent dans les tubes. De plus la régulation et le contrôleur de débit ont mis en évidence une perte de charge trop importante dans le système, ce qui limitait également le débit disponible, même pour des tests à moyenne profondeur. Le système de télétransmission basé sur le protocole GSM, principalement dédié à la téléphonie sans fil doit également être modernisé. La télétransmission sera alors basée sur un réseau prioritaire pour la transmission de données.

Cette demande de modification a principalement pour but de garder un appareil d'essai à la pointe de la technologie et compatible pour toute la gamme d'installation géothermique.

### 1.1 Objectifs du projet

Les transformations et améliorations que nous apporterons, vont permettre d'augmenter les performances et la rationalisation de ce Mini-module de chauffage ce qui permettra de tester des sondes géothermiques jusqu'à environ 300 m de profondeur, tout en gardant la philosophie d'un appareil compact et léger.

Cependant pour ces sondes un débit plus important doit être injecté ce qui implique de repenser le circuit hydraulique.

Dans ce but, les pertes de charge doivent impérativement être diminuées, principalement au niveau de la mesure du débit avec un changement du système afin d'assurer un débit convenable.

De plus lors des derniers essais, le mode de télétransmission des données par GSM à 9.6 Kbit/s a montré toutes ses limites. Ce réseau est souvent proche de la saturation et de fréquentes micro-coupures dans les transmissions de données perturbent les liaisons.

DIS-Projet Nr.:... 101 189	Programme Géothermie	Sous mandat de l' <b>Office fédéral de l'énergie</b>
DIS-Contrat Nr.:... 151 393		

Les nouvelles technologies de télétransmission avec contrôle de flux sont apparues depuis la réalisation de cet appareil en 2003 et qui n'utilisent plus les mêmes canaux que précédemment. De plus les vitesses de transmission ont considérablement augmentés, par exemple le réseau EDGE va jusqu'à 236 Kbit/s, l'UMTS à 384 Kbit/s, sans parler des réseaux WLAN qui, lorsqu'ils sont disponibles, offrent des débits encore plus élevés. Cette nouvelle génération de télétransmission autoriserait actuellement un pilotage aisément de l'acquisition des données depuis un site Internet protégé sans passer par le réseau téléphonique GSM.

Avec le développement de cet outil, la capacité d'exportation de ce savoir faire suisse sera augmentée, d'autant plus que les dimensions et le poids du mini-module de chauffage resteront identiques, ce qui représente un avantage indéniable pour la réalisation d'essais à longue distance.

Le 14 avril 2006 un contrat entre l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et le Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL (LMS) a été signé par MM H. U. Schärer, Chef de section des énergies renouvelables de l'OFEN et M. Kaufmann, Directeur adjoint de l'OFEN. Ce contrat entrait en vigueur le 1<sup>er</sup> mai 2006 et se terminait le 31 octobre 2006.

## 1.2 Etapes de réalisation

La mise en œuvre de cette actualisation a nécessité des recherches pour l'optimisation des différents composants à changer ou à modifier. Elle a principalement porté sur les points suivants:

- Achat d'un débit-mètre électronique avec une perte de charge minimale.
- Optimisation du circuit hydraulique afin de diminuer les pertes de charge dans l'appareil.
- Achat d'une nouvelle pompe de circulation plus puissante
- Modification du circuit de remplissage avec l'ajout d'une vanne de purge
- Etude et modification de la vanne de réglage du débit
- Achat d'un nouveau Modem compatible avec la technologie UMTS, EDGE, GPRS voire WLAN.
- Développement et upgrade du logiciel de pilotage et de télétransmission afin de l'adapter aux nouveaux protocoles de télétransmission.

## 2 Description des modifications

### 2.1 Pompe de circulation

La nouvelle pompe de circulation choisie peut fonctionner à 3 vitesses différentes, avec une pression différentielle maximale de 0.8 bar. C'est la pompe compacte la plus puissante du marché utilisée pour les systèmes de chauffage. Aucun entretien n'est prévu pour cette pompe dont les caractéristiques sont résumées ci-dessous.

Marque	Grundfos
Modèle	UPS 25-80 - 180
Adresse du fournisseur	Tobler SA - Crissier
Débit	jusqu'à 8 m <sup>3</sup> /h,
Temp. du fluide	+ 2.5°C jusqu'à +110°C
Pression de service max.	10 bars

*Tableau 1: Caractéristiques de la pompe de circulation*

Il faut remarquer que l'entre-axe de cette nouvelle pompe est de 180 mm contre 130 mm pour le modèle initial. La tuyauterie a donc du être adaptée à ces nouvelles dimensions et à la place disponible dans la valise de transport.

De plus l'encombrement de cette pompe a encore nécessité le déplacement du pupitre de commande qui se trouve dans la nouvelle configuration placé plus haut. Il est donc moins sujet à des courts-circuits en cas de fuite dans le circuit d'eau.

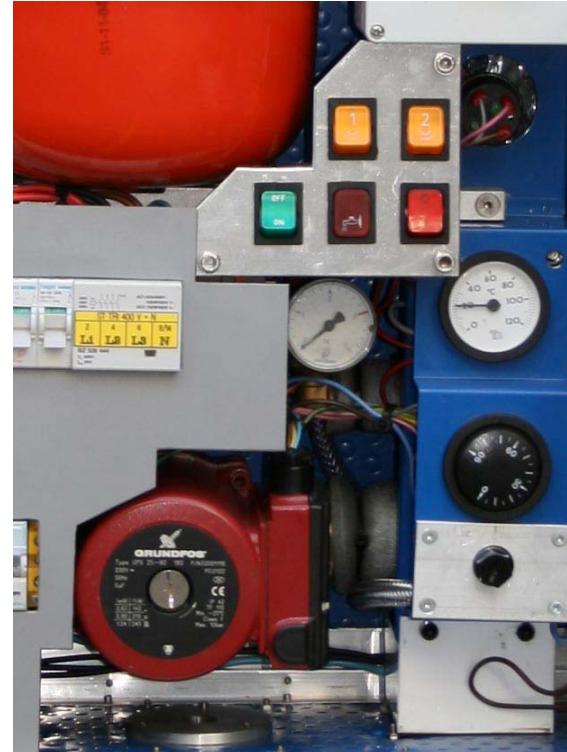
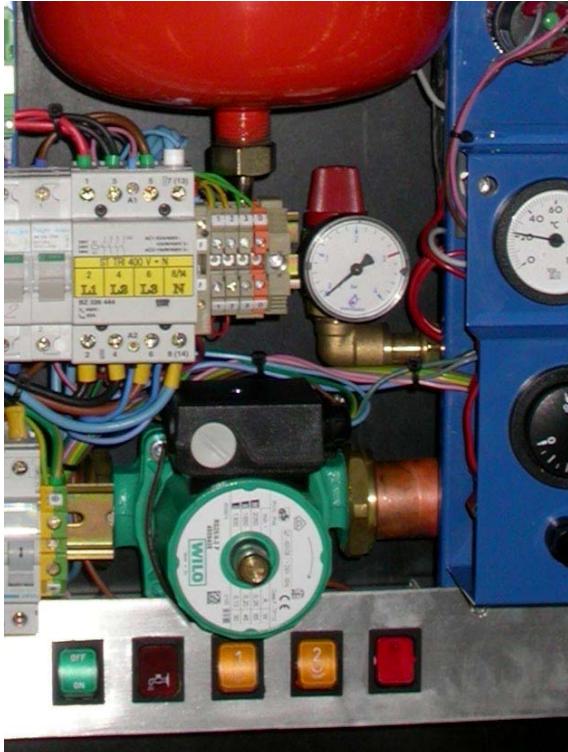


Figure 1: Pompe et pupitre de commande avant et après les modifications.

## 2.2 Débitmètre (flowmeter)

Le débitmètre initial à turbine a été changé car la perte de charge due à la turbine et surtout au diamètre nominal de cet appareil était trop importante. Après une recherche approfondie, notamment sur des débit-mètres sans contact (ultrasons) nous avons somme revenus, pour des raisons de coût et de commodité de connexion, à un débitmètre à turbine, mais de dimensions plus importantes. La perte de charge est minime (environ 0.2 bar pour un débit de près de 30 l/min). Cependant un étalonnage précis dans les conditions d'utilisation a dû être effectué car les longueurs libres de la tuyauterie, requises par le fabricant, à l'amont et à l'aval du débit-mètre ne sont plus respectées.

Marque	Almemo
Modèle	FV A915 VTH25M
Fournisseur	Interstar 6330 Cham Mr Blättler (041/741 84 42)
Plage de mesure	4 à 160 l/min.
Linéarité	$\pm 3\%$ de la valeur mesurée
Reproductibilité	$\pm 0.5\%$ de la valeur mesurée
Température permanente admise.	85°C

Tableau 2: Caractéristiques du débitmètre (Flowmeter)



Figure 2: Nouveau débit-mètre en laiton. Son emplacement est le même qu'auparavant.

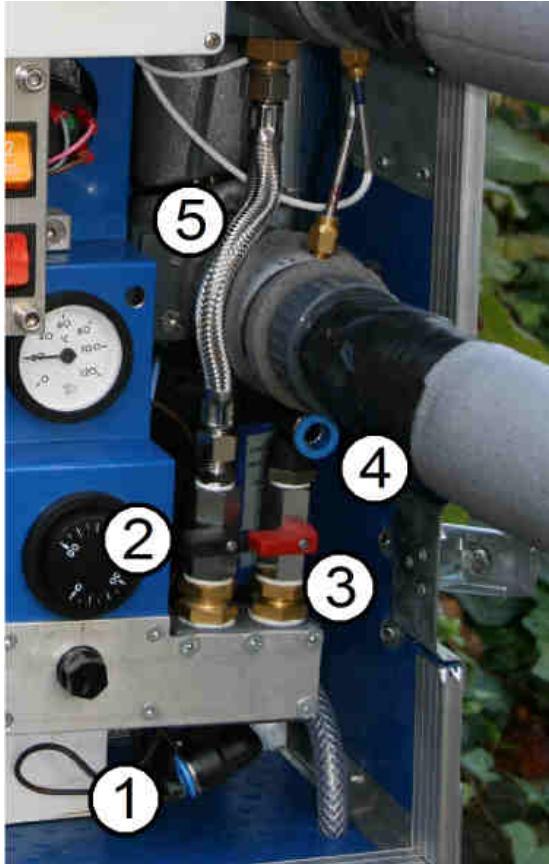
Tout comme pour la nouvelle pompe de circulation, les dimensions de ce nouveau débit-mètre différaient de celles du modèle précédent. Une nouvelle adaptation de la tuyauterie a été nécessaire. De plus le diamètre des tubes a ainsi pu être uniformisé ce qui contribue à la réduction des pertes de charge dans l'appareil.

### 2.3 Circuit de remplissage

Le circuit de remplissage du mini-module a été complètement repensé. En effet une fois sous pression, la pompe de remplissage était incapable de se réamorcer pour compléter, par exemple, un manque de pression dans le circuit. De plus, en cas de fuite ou d'intervention sur le module, la décharge du circuit ne pouvait être effectuée que par le démontage d'un raccord sur la sonde géothermique.

Une nouvelle vanne permettant à la fois la purge du mini-module et une décharge de la pompe de remplissage a été installée (figure 3).

Un complément d'eau (donc une augmentation de la pression) peut ainsi facilement être réinjecté dans le circuit, sans démontage et purge préalable.



1.- Entrée de la pompe de remplissage

2.- Vanne de remplissage du circuit

3.- Vanne de décharge de la pompe ou de purge du circuit

4.- Sortie purge

5.- Tuyau de remplissage et/ou de purge du circuit d'eau du Mini-module

Figure 3: Vannes de remplissage et de purge

## 2.4 Vanne de réglage du débit

Les premiers essais en vraie grandeur ont montrés que le réglage du débit au moyen d'une vanne à membrane était très délicat et pouvait montrer des fluctuations importantes avec la variation de température du fluide caloporteur lors de tests de réponse. Nos recherches et essais ont montré que d'autres systèmes ou vannes de réglages pouvaient être utilisés. Cependant ils impliquaient tous une considérable perte de charge au niveau de la régulation du débit, ce qui allait l'encontre du but fixé, à savoir une perte de charge limitée au maximum dans la tuyauterie du Mini-module.

Notre choix s'est porté sur un système très simple de tubes interchangeables avec des diamètres d'ouverture calibrés et qui correspondent chacun à un débit bien particulier. Dès lors, une fois le débit choisi il suffit de mettre en place avant l'essai le tube avec l'ouverture correspondante. De plus un filtre (tamis de 0.5 mm) a encore été incorporé dans chacun des tubes (figure 4) afin d'éviter un blocage par des particules en suspension de la turbine du débitmètre. Ces résidus sont principalement composés de déchets de PE qui se trouvent dans les tubes de la sonde géothermique à la suite de l'usinage ou de son raccourcissement sur le chantier.



Figure 4: A gauche: Ancienne vanne de réglage du débit. Au centre: Tube de régulation du débit mis en place. A droite: Exemples d'ouvertures des tubes avec les filtres à particules.

## 2.5 Télétransmission

Les modifications apportées à la tuyauterie du module ont nécessité, pour des raisons de dimension, le déplacement du boîtier du système de télétransmission dans la valise de transport.

Le changement du modem est actuellement en cours de réalisation. Le retard pris est principalement dû à une réorganisation de notre partenaire GEODEV SA à Manno (TI), dont toutes les activités ont été reprises par SMARTEC SA, également à Manno. Deux étudiants de l'Université de Fribourg ont déjà effectué leur travail de Master sur la problématique et la faisabilité de ce mode de télétransmission sur le réseau GPRS. Ce travail a été réalisé sous la direction du Prof. B. Hirsbrunner de l'Université de Fribourg.

Actuellement cette technique va être implémentée sur le Mini-module de chauffage. Elle permettra une transmission des données nettement plus fiable que sur le réseau GSM. De plus, ce nouveau modem plus moderne autorisera aussi la télécommande du data-logger afin de régler par exemple la fréquence d'auscultation ou alors l'enclenchement à distance du chauffage.

Le serveur qui assurera par internet cette transmission des données et le pilotage du système sera basé à l'EPFL (LMS) et non plus comme par le passé chez GEODEV au Tessin.

Les interventions sur place seront donc moins fréquentes, avec indirectement une économie sur la réalisation d'un test de réponse thermique.



*Figure 5: Aperçu global des modifications. On remarque la nouvelle position du module de télétransmission avec une nouvelle antenne*

## 2.6 Tests de l'appareillage

A la fin de ces modifications, des essais ont été effectués en laboratoire et sur le chantier pour tester en vraie grandeur ces améliorations. Plusieurs tests ont été réalisés et les points suivants ont été examinés ou ré-étalonnés:

- Etalonnage de précision des capteurs de température
- Etalonnage des capteurs de pression
- Etanchéité de la tuyauterie et des raccords
- Contrôle du compteur d'énergie électrique
- Contrôle de la puissance de chauffage de la chaudière électrique
- Etalonnage du débit-mètre
- Test du remplissage de l'appareil au moyen de la pompe électrique.

DIS-Projet Nr.:... 101 189	Programme Géothermie	Sous mandat de l' <b>Office fédéral de l'énergie</b>
DIS-Contrat Nr.:... 151 393		

La durée des tests a varié entre quelques minutes et plusieurs jours. L'acquisition des données avec le nouveau data-logger est correcte. Seul le nouveau système de télétransmission des données pas encore terminé à l'époque des essais n'a pas encore été testé.

## 2.7 Accréditation et utilisation

L'accréditation selon la norme ISO/CEI 17'025(1999) du Mini-module de chauffage a été validée au début 2006. Les modifications apportées seront rajoutées au mode opératoire et soumises à l'organe de contrôle lors de la visite annuelle.

Tous les projeteurs d'installations géothermiques et réalisateurs suisses de constructions d'échangeurs de chaleur dans le terrain peuvent actuellement profiter de cette installation pour déterminer la conductibilité thermique des sols concernés par les installations géothermiques prévues. Avec l'accréditation du test de réponse thermique du terrain cet appareil peut également être utilisé à des fins d'expertises lors de litiges.

## 3 Commentaires et conclusion

Les modifications apportées au Mini-module de chauffage ont demandé un gros travail d'optimisation des composants pour arriver à ce résultat. Le volume et le poids sont restés les mêmes cependant de nouvelles possibilités d'utilisations avec une souplesse d'utilisation améliorées.

Ces travaux ont également toujours été effectués dans la perspective de l'utilisation polyvalente de ce Mini-module de chauffage aussi bien pour de la recherche que pour des essais in situ ou des expertises.

Actuellement, ce mini-module de chauffage reste toujours un prototype unique en Europe. Les seuls exemplaires de taille un peu similaire existent aux USA, mais n'ont pas du tout la même souplesse d'utilisation et les possibilités de ce modèle.

Gilbert Steinmann

Dr Lyesse Laloui



Ingénieur civil ETS, REG-A



Chef du projet