

**Rapport final du 20 septembre 2005**

# **Mini-module de chauffage pour les tests de réponse thermique du terrain**

Élaboré par:

Dr Lyesse Laloui  
Chef du projet

Gilbert Steinmann  
Ingénieur civil ETS, REG-A

EPFL – ENAC  
Laboratoire de Mécanique des Sols

## Table des matières

### Résumé - Abstract

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
1.1	Objectifs du projet	3
1.2	Contexte du projet et champ d'application	3
<b>2</b>	<b>Description du projet</b>	<b>4</b>
2.1	Chaudière électrique	4
2.2	Alimentation électrique	5
2.3	Compteur d'énergie	6
2.4	Tuyauterie et mesures	6
2.5	Câblage électrique et raccordements	7
2.6	Montage final	9
2.7	Principe de fonctionnement	10
2.8	Tests de l'appareillage	11
2.9	Test en vraie grandeur	11
2.10	Accréditation	12
<b>3</b>	<b>Commentaires et conclusion</b>	<b>12</b>

## **RESUME**

Dans le cadre de ce mandat, un mini-module de chauffage pour déterminer les caractéristiques thermiques des sols et des sondes géothermiques a été réalisé. Cet équipement est 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 sont 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 devient de ce fait très aisé et permet de réduire les coûts des tests de réponse thermique.

## **ABSTRACT**

Within this project, small-size testing equipment dedicated to the measurement of thermal characteristics of soils as well of geothermal probes has been developed. This new equipment will be used instead the compact equipment initially developed in 1998 and up-dated in 2002 and 2003. The new equipment is unique in Europe and it could be easily transported in a bag "flight case" (45 kg). The capabilities of the previous equipment still there and for some of them, they are improved. With this new configuration, thermal heat tests are improved and their cost reduced.

## 1 Introduction

Le module pour réaliser les tests de réponse en possession de l'EPFL avait bénéficié en 2002 et 2003 pour son développement d'un soutien financier de l'OFEN. Il a été utilisé sur de nombreux chantiers en Suisse et à l'étranger pour des tests de réponse thermique, où il a donné entière satisfaction.

Le rôle initial du module de chauffage était de fournir des sollicitations thermiques sur un pieu. Après son optimalisation et moyennant quelques précautions d'utilisation et de mesure, cet appareil était à même d'effectuer des tests de réponse sur des sondes géothermiques; pour mémoire, de tels essais permettent de déterminer les caractéristiques thermiques du pieu (ou de la sonde) et du sol avoisinant.

Ces essais ont également démontré les possibilités et la fiabilité de cet appareillage. Cependant la manipulation et le transport, au moyen d'une remorque, de ce module de chauffage restaient difficiles et délicats. De plus la mise en place de l'appareil sur le site d'un essai nécessitait obligatoirement un accès à proximité de la sonde géothermique par un véhicule ou par un engin de levage (grue par ex.).

Le LMS (Laboratoire de Mécanique des Sols de l'EPFL) a formulé une requête le 10 mars 2005 à l'OFEN afin d'obtenir un financement pour la réalisation d'un mini-module de chauffage pour tests de réponse et qui reprendrait toutes les caractéristiques de l'ancien appareil.

L'accréditation selon la norme ISO/CEI 17'025 (1999) de cet appareil pour la réalisation de tests de réponse sera, comme pour l'ancien module de chauffage sera demandée.

### 1.1 Objectifs du projet

Les objectifs de ce projet étaient les suivants:

- Réalisation d'un mini-module de chauffage.
- Contrôle de la fiabilité des tests de réponse avec ce nouvel appareillage.
- Accréditation du test de réponse selon la norme ISO/CEI 17'025 (1999).

Le 6 avril 2005 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, Sous-Directeur de l'OFEN. Ce contrat entrait en vigueur le 6 avril 2005 et se terminait le 31 août 2005.

### 1.2 Contexte du projet et champ d'application

Depuis son optimalisation en 2003, ce module de chauffage du LMS pour les tests de réponse des sondes géothermiques est actuellement, et à notre connaissance, le seul appareillage fonctionnel en Suisse et en Europe avec de telles performances (figure 1).

Au vu des quelques difficultés liées à la manutention et au transport de ce module de chauffage (figure 2), le LMS s'est penché sur la possibilité de réaliser un mini-module de chauffage qui garderait toutes les caractéristiques et la modularité de l'ancien.



Figure 1: Module de chauffage de l'EPFL pour la réalisation de tests de réponse thermique du terrain



Figure 2: Module de l'EPFL sur sa remorque de transport lors de la réalisation d'un test de réponse à Dunkerque (F)

Le volume et le poids de ce nouveau mini-module seraient de ce fait réduits de manière drastique, pour être contenu dans une valise de type "flight case". La manipulation devrait également s'en trouver facilitée afin de réduire au maximum les frais liés au transport et à la réalisation d'un test de réponse thermique du terrain.

Tous les projeteurs d'installations géothermiques et réalisateurs suisses de constructions d'échangeurs de chaleur dans le terrain peuvent profiter de cette installation pour déterminer la conductibilité thermique des sols concernés par les installations prévues.

## 2 Description du projet

### 2.1 Chaudière électrique

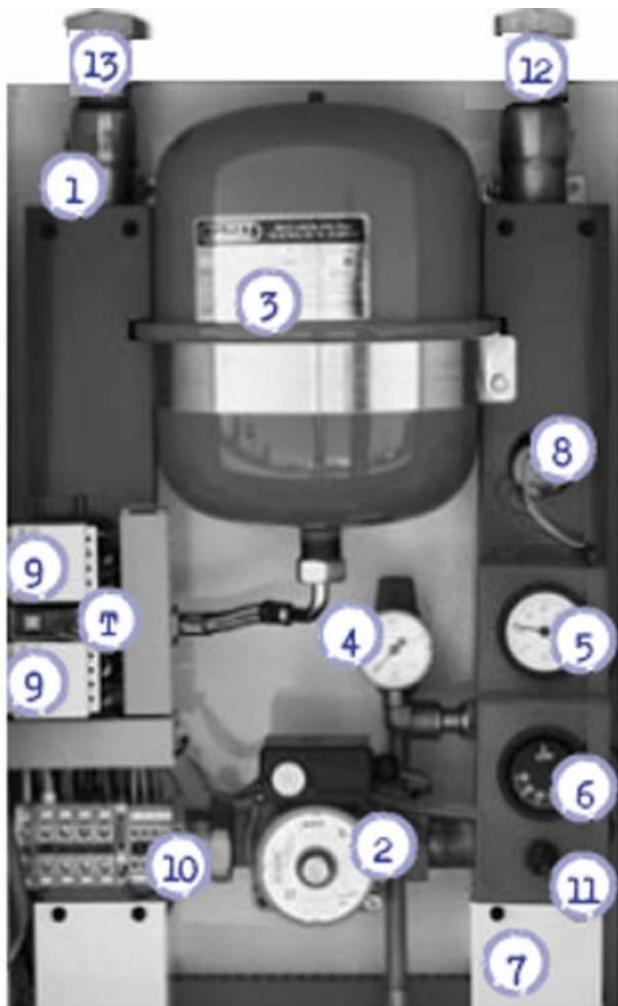
Le choix de la chaudière s'est avéré primordial pour cette réalisation. Les contraintes de poids et de volume étaient très importantes. Après des recherches et démarches auprès des divers fabricants, nous avons trouvé un modèle qui répondait aux exigences souhaitée auprès de l'entreprise française GRETEL.

Le modèle choisi est d'une puissance de chauffage maximale de 9 kW, réglable par pas de 1 kW (entre 1 et 9 kW). Les organes et appareils de réglage suivants sont également intégrés dans cette chaudière:

- Circulateur réglable à 3 vitesses différentes (2050, 1650 et 1200 t/min), capable de couvrir toute la plage des débits usuels d'un test de réponse.
- Soupape avec manomètre de contrôle pour une pression de service de 1.5 bar (maximum 3 bar). Un tuyau d'évacuation est connecté à ce dispositif.
- Thermomètre analogique pour indiquer la température moyenne du circuit
- Aquastat gradué entre 0 et 90°C qui fonctionne comme thermostat limiteur en cas de surchauffe

- Vase d'expansion avec membrane d'une capacité de 8 l
- Pressostat, qui empêche le fonctionnement de la chaudière en cas de manque d'eau
- Sécurité thermique avec une consigne de 95°C et réarmement manuel.

La figure 3 ci-dessous illustre la chaudière retenue et telle que livrée pour la réalisation du mini-module de chauffage.



1. Corps de chauffe tout cuivre, thermoplongeurs sur brides.
2. Circulateur à vitesse réglable.
3. Vase d'expansion sous pression, 8 litres.
4. Soupe de sécurité avec manomètre.
5. Thermomètre sur conduite «départ».
6. Aquastat réglable (0° à 90° ou 0° à 50°).
7. Capots de protection des borniers des thermoplongeurs.
8. Pressostat (sécurité manque d'eau).
9. Relais contacteurs (télécommandés).
10. Bornier de raccordement et de régulation.
11. Sécurité thermique à réarmement manuel.
12. Conduite «départ» / raccord 33 / 42-32.
13. Conduite «retour» / raccord 33 / 42-32.
- T. Temporisation

Figure 3: Chaudière électrique GRETEL (modèle KVEA 9kW)

## 2.2 Alimentation électrique

L'alimentation de mini-module de chauffage sera toujours effectuée par du courant triphasé de 400V. La puissance maximale qui devra être fournie pour la réalisation d'un test de réponse est de 9kW, ce qui correspond un courant maximal de 10 à 15 Ampère.

La connexion électrique se fera directement depuis le câble électrique sur un bornier équipé d'un fusible à courant de défaut (FI). Nous avons renoncé à une connexion par prise car les différentes normes internationales et la multitude de connecteur mis à disposition sur les chantiers donnaient des contraintes trop grandes pour le branchement électrique.

## 2.3 Compteur d'énergie

La consommation d'énergie électrique est mesurée au moyen d'un compteur avec affichage digital. Ce compteur est muni d'une sortie à impulsion qui permet l'enregistrement de la consommation électrique directement sur le data-logger (figure 4). Le modèle choisi présente en outre un affichage digital de la consommation et de la puissance instantanée.

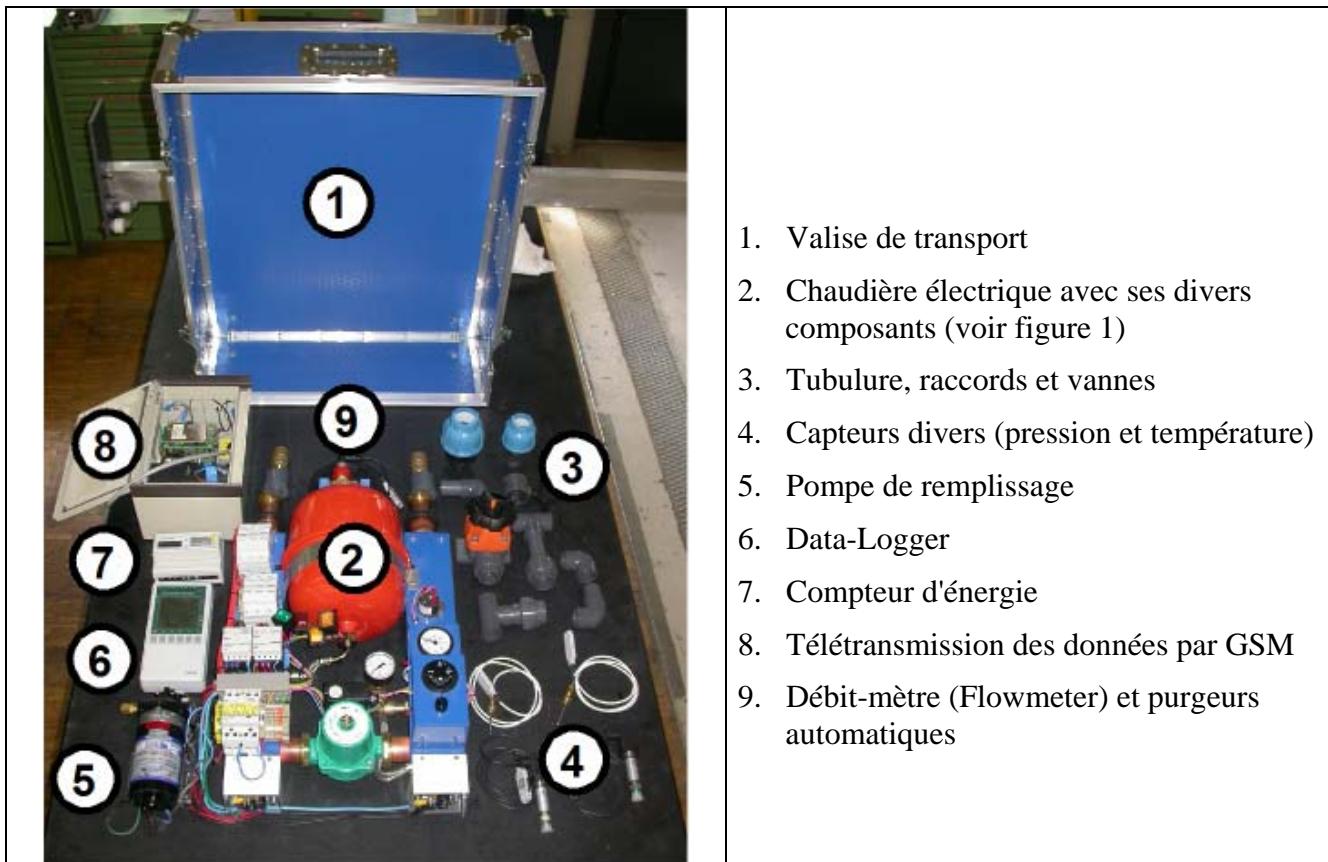


Figure 4: Vue des composants avant le montage final

## 2.4 Tuyauterie et mesures

Toute la tuyauterie a été réalisée en PVC (figure 4) pour des questions de poids et de facilité d'usinage de ce matériau. Le diamètre nominal des tubes entre la sortie/entrée de la chaudière est de 25 mm (1").

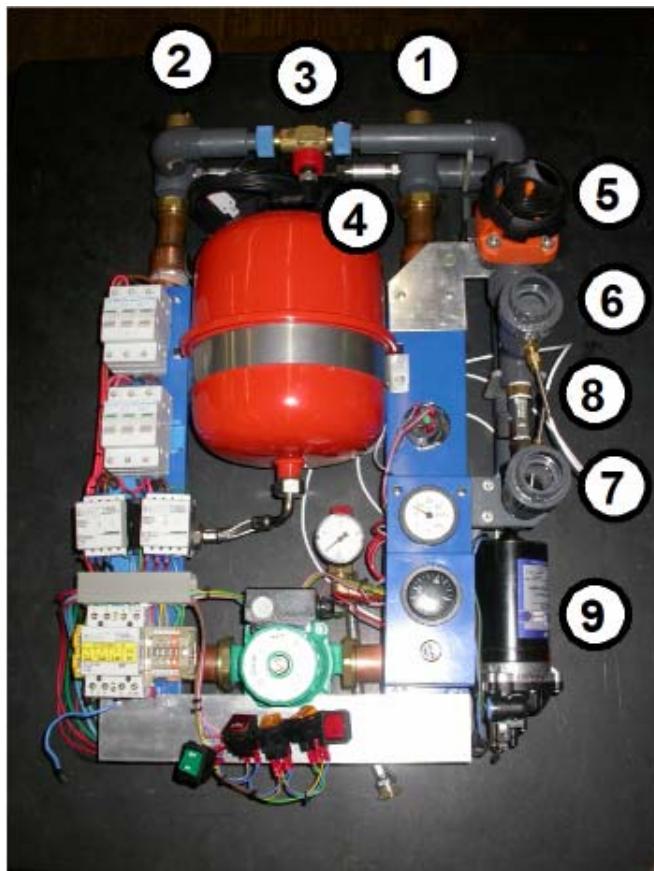
Les tubes ont été façonnés et placés de manière à ne perdre aucune place dans le mini-module de chauffage.

Les équipements de mesure sont directement montés sur le circuit hydraulique, à l'intérieur du mini-module de chauffage; il sont composés de:

- 2 purgeurs automatiques, placés sur les points hauts des tubes, au droit de l'entrée et de la sortie de la chaudière.
- La mesure du débit (flow-mètre)

- La mesure de la pression à l'entrée et à la sortie de la chaudière
- Les thermomètres de mesure de la température placés à proximité immédiate des raccords de sortie et d'entrée du fluide dans le module.
- Les vannes (arrêt et contrôle du débit)

La figure 5 montre le montage final de la tuyauterie et des appareils de mesure.



1. Conduite départ de la chaudière et purgeur
2. Conduite retour de la chaudière et purgeur
3. Débit-mètre
4. Capteurs de pression sur les conduite départ et retour de la chaudière
5. vanne de réglage du débit
6. Raccord pour la tubulure "sortie" de la sonde (sonde out)
7. Raccord pour la tubulure "entrée" de la sonde (sonde in)
8. Thermomètres (mesure de la température d'entrée et de sortie)
9. Pompe électrique de remplissage

Figure 5: Tuyauterie mise en forme et raccordée à la chaudière y compris l'équipement de mesure

Sur la figure 5 on remarque également l'adjonction d'une pompe de remplissage de l'installation (9), indépendante d'une alimentation en eau souvent difficile à obtenir sur les chantiers. Cette pompe auto-aspirante a un débit d'environ 5 l/min et permet d'atteindre une pression de 5 bars, largement suffisante pour le mini-module de chauffage. Un simple réservoir rempli d'eau (seau) suffit pour le remplissage de l'appareillage (tuyauterie de raccordement à la sonde géothermique, chaudière et vase d'expansion).

## 2.5 Câblage électrique et raccordements

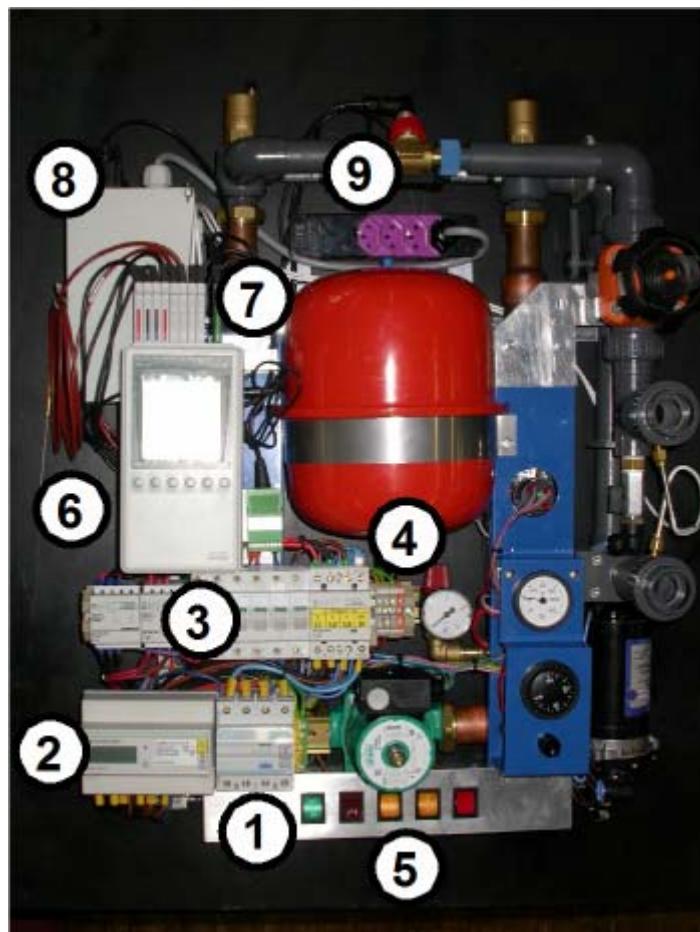
Le câblage électrique à l'intérieur du mini-module de chauffage a été complètement repensé afin de gagner un maximum de place (figure 6). En effet il était indispensable de rajouter un fusible (1) à courant de défaut (FI), pour se mettre en conformité avec les recommandations des électriciens et un compteur d'énergie (2) pour la mesure de la consommation électrique (voir paragraphe 2.2).

Le pupitre de commande (5) a été rajouté au dessous de la pompe de circulation, toujours dans la même optique de gain de place.

Le data-logger et le système de télétransmission des données par GSM et l'Internet ont été placés de manière judicieuse dans le volume restant.

Les câbles des différents capteurs sont directement raccordés au data-logger (7) au dessus du système de télétransmission (8).

Un connecteur électrique multi-prises 230V (9) a encore trouvé une petite place dans le mini-module. Il est destiné à l'alimentation du système d'acquisition et de transmission des données. D'autres accessoires électriques (lampe ou développements futurs par exemple) pourront par la suite être raccordés.



1. Bornier d'entrée avec fusible à courant de défaut (FI)
2. Compteur d'énergie électronique avec affichage de la consommation et de la puissance électrique
3. Sélection de la puissance et relais contacteurs télécommandés
4. Bornier de régulation
5. Pupitre de commande
6. Data-logger
7. Connexion des capteurs de température (4), pression (2), débit, compteur d'énergie
8. Télétransmission des données
9. Prises électriques de réserve (230 V)

Figure 6: Câblage électrique (commande et puissance) et système d'acquisition des données

Au final et avant la mise en place de l'isolation thermique sur toute la tubulure interne, l'aspect de ce mini-module de chauffage est très compact, tout l'espace disponible dans la valise de transport a été occupé (figure 7).



Figure 7: Mini-module avant son montage dans la valise de protection et de transport

## 2.6 Montage final

La valise de transport de type "flight case" a été réalisée au moyen de plaques plastiques alvéolées (structure en nid d'abeille) avec des renforts en aluminium sur les angles et le pourtour. Un couvercle étanche, des poignées et 2 roulettes en facilitent le transport et la manutention. Lors de son utilisation, le tout viendra encore fixé sur un trépied pour éviter l'infiltration d'eau dans le mini-module de chauffage (figure 8).



Figure 8: Vue du mini-module de chauffage terminé, dans sa valise de transport.

Les dimensions de la valise de transport sont les suivantes:

- Largeur 60 cm
- Hauteur 70 cm
- Profondeur 30 cm

Le poids total de tout l'appareillage avoisine dès lors 45 kg, y compris l'outillage et les tuyaux de raccordement extérieurs à la sonde géothermique.

## 2.7 Principe de fonctionnement

Le remplissage du circuit est effectué par une petite pompe auxiliaire. Par la suite, au cours du test, le fluide caloporteur sera chauffé avec une puissance constante réglable entre 1 et 9 kW au moyen des 2 corps de chauffe de la "chaudière". Une pompe de circulation imprime un mouvement au fluide qui entre alors dans la sonde géothermique. Le retour s'effectue par une autre tuyauterie qui comprend une vanne de réglage du débit et un débit-mètre avant d'entrer à nouveau dans la chaudière. La température "aller" et "retour", de même que la pression d'entrée et de sortie sont mesurées par des capteurs. Le schéma complet de ce mini-module de chauffage est donné à la figure 9.

Le fonctionnement de cet appareil est conditionné par toute une panoplie d'équipement de sécurité tels que:

- Les dégazeurs (purgeurs)
- Un pressostat qui coupe l'alimentation électrique dès que la pression du fluide est inférieure à 1 bar
- Un aquastat (thermostat) réglable entre 0 et 90 °C
- Une soupape de sécurité qui s'ouvre dès que la pression du fluide dépasse 3 bar
- Une sécurité thermique à réenclanchement maunel (réglé à 95 °C)

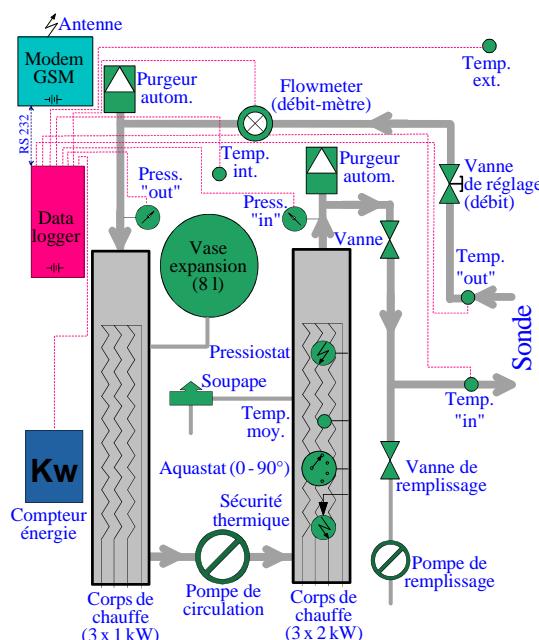


Figure 9: Schéma de fonctionnement.

## 2.8 Tests de l'appareillage

Des essais ont été effectués en laboratoire pour tester en vraie grandeur la chaudière et le système dans son ensemble. Plusieurs tests ont été réalisés et les points suivants ont été examinés:

- Etalonnage de précision des capteurs de température
- Etalonnage des capteurs de pression
- Fuite de fluide dans la tuyauterie et aux raccords
- Contrôle du compteur d'énergie électrique
- Contrôle de la puissance de chauffage de la chaudière électrique
- Etalonnage du débit-mètre
- Méthode de remplissage de l'appareil au moyen de la pompe électrique
- Contrôle des différentes sécurités de la chaudière (pressostat, thermostat et sécurité thermique).
- Test de la télétransmission des données.

La durée des tests a varié entre quelques minutes et plusieurs jours. L'acquisition des données avec le nouveau data-logger est correcte. Seule la télétransmission des données a dû être reprogrammée car de nouveaux protocoles de communication ont été implémentés dans ce data-logger.

## 2.9 Test en vraie grandeur

Le mini-module de chauffage a été relié à une sonde géothermique pour vérification l'étanchéité des connexions hydrauliques (figure 10). Cependant, au vu du délai, les tests en vraie grandeur seront effectués par la suite sur des sondes géothermiques qui sont à notre disposition sur le site de l'EPFL et à Fribourg (Ecole des Métiers).



Figure 10: Mini-module de chauffage en position de travail.

## 2.10 Accréditation

L'accréditation selon la norme ISO/CEI 17'025(1999) de l'essai "Test de réponse pour sondes géothermiques" effectué à l'aide du mini-module de chauffage est en cours de validation. Le mode opératoire détaillé et de procédures d'étalonnage des capteurs et du module très précis, qui avait été élaboré en 2002/2003, sera encore légèrement modifié en fonction des caractéristiques et propriétés de ce nouvel appareil.

La demande officielle de soumettre cet essai à une procédure définitive pour l'accréditation du test de réponse thermique du terrain sera effectuée lors de la séance de direction du LMS du 5 octobre prochain en conformité avec le manuel de qualité du LMS.

## 3 Commentaires et conclusion

La construction de cet appareil a demandé un énorme travail d'optimisation des composants pour arriver à ce résultat. Par rapport au module existant, le volume et le poids ont été diminués d'un facteur 10. Les caractéristiques, les options et la souplesse d'utilisation sont restées les mêmes, voire améliorées. Ce mini-module de chauffage est un prototype unique en Europe. Les seuls exemplaires de taille un peu similaire existent aux USA, mais n'ont pas toute la souplesse d'utilisation et les possibilités de ce modèle.

Les premiers tests ont donné de bons résultats qu'il faudra cependant confirmer avec des essais en vraie grandeur sur des sondes géothermiques.

Gilbert Steinmann



Ingénieur civil ETS, REG-A

Dr Lyesse Laloui



Chef du projet