

## Automatisation de la Mesure sur un Stand d'Essai pour les Chauffe - Eau Solaires

C. Bouden et N. Ghrab-Morcos

Laboratoire d'Energie Solaire, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, B.P. 37, 1002 Tunis, Belvédère, Tunisie

**Résumé** - Au Laboratoire d'Energie Solaire de l'ENIT, nous effectuons depuis quelques années des tests pour les capteurs et les composants solaires. Actuellement, nous travaillons pour mettre au point une procédure de test pour l'ensemble du chauffe-eau solaire adaptée au contexte tunisien. A cet effet, nous avons commencé par tester une série de chauffe-eau par des méthodes existantes différentes.

Les protocoles expérimentaux adoptés sont souvent contraignants et nécessitent un temps relativement long : au moins deux séquences de 8 jours pour la méthode. Chacun de ces tests nécessite une présence continue d'un opérateur pendant toute la période de déroulement du test afin d'effectuer un certain nombre d'opérations : mélange du ballon, couverture du capteur, soutirage à différentes heures de la journée... etc. Ces opérations peuvent avoir lieu à des heures un peu contraignantes (très tôt le matin, très tard le soir... etc.). Durant les soutirages, le pas de temps d'acquisition des données est différent de celui choisi pendant le reste du temps.

L'ensemble de ces contraintes nous a poussé à trouver une solution dans l'automatisation de l'ensemble de l'opération du test. A cet effet, nous avons procédé à la commande de la centrale d'acquisition grâce à un programme de commande en temps réel afin de changer le pas de temps d'acquisition des données et de donner des commandes à des instants précis pour actionner la pompe qui sert pour le mélange de l'eau dans le réservoir ou mettre en marche les électrovannes qui permettent d'effectuer le soutirage de l'eau.

Ce programme a été écrit sous l'environnement de programmation orientée objet HP-VEE destiné à l'acquisition des données et à la mesure ; il sera présenté dans le cadre de ce travail.

L'automatisation du test nous a permis de déceler des points faibles de la méthode qui sont dus particulièrement aux caractéristiques des capteurs de température. Une réflexion a été menée en vue de surmonter ces faiblesses et des solutions pour certaines situations ont été proposées.

**Mots clés:** Test des chauffe-eau solaires - Méthode dynamique - Acquisition automatique des données, Mesures de la température - Langage orienté objet.

### 1. INTRODUCTION

La démarche classique pour la prévision des performances d'un chauffe-eau solaire consiste à tester chacun des composants du système tout seul et à déterminer ses caractéristiques techniques. L'ensemble des caractéristiques ainsi trouvées seront utilisées pour alimenter un code de simulation en vue de prédire les performances du système constitué par l'ensemble de ses composants.

Il existe deux familles d'outils de simulation :

- Les outils détaillés qui nécessitent beaucoup de détails pour la description de chacun des composants. Bien qu'ils permettent d'obtenir des prédictions très fiables, ces outils ne sont pas très utilisés par les bureaux d'études car ils nécessitent une expertise de la part de l'utilisateur et une banque de données détaillée concernant les propriétés de chaque composant. Une mauvaise utilisation de ces outils ou l'introduction d'un paramètre erroné induit des résultats faux.
- Les outils simplifiés, sont pour la plupart, du temps d'utilisation simple et équipés d'une interface utilisateur conviviale, mais ils sont moins précis que les outils détaillés. Ils nécessitent peu de données pour décrire les caractéristiques de chaque composant et les interconnexions entre eux ; cependant ils utilisent des hypothèses et des simplifications qui dans certains cas donnent des prévisions peu précises. Ceci peut être du à une mauvaise interaction entre les différents composants du système.

La nouvelle approche consiste à tester l'ensemble du système en vue de déterminer un nombre réduit de paramètres agrégés caractérisant le système en entier et tenant compte des interactions des composants entre eux. Ces paramètres seront utilisés par la suite pour prédire les performances à long terme du système dans des conditions climatiques et d'utilisation bien déterminées.

Parmi ces méthodes globales de test, nous citons la méthode DST qui a été développée en Allemagne. Cette méthode est entrain d'être homologuée comme norme DIN [3] et ISO [4]; pour cette raison, nous nous intéressons à l'étudier en vue de vérifier son applicabilité dans les conditions tunisiennes. A cet effet, nous envisageons d'effectuer une série de tests grâce à cette méthode pour différentes typologies de chauffe-eau solaires (thermosiphon direct, thermosiphon avec échangeur, système assisté direct et indirect, système avec ballon vertical, système avec ballon horizontal, etc.). L'ensemble de ces systèmes seront testés pendant des

saisons différentes en vue d'expérimenter leur performances sous des longueurs de journées différentes et des irradiances solaires différentes. Pour ce faire, l'automatisation de ce test s'avère nécessaire étant donné qu'il doit être répété plusieurs fois.

## 2. PRESENTATION DE LA METHODE DST

La méthode DST comme son nom l'indique (*Dynamic System Testing method*) est une méthode de test en régime dynamique. En effet, elle permet de tester un chauffe-eau entier dans des conditions climatiques et d'utilisation proches des conditions réelles de son utilisation. Le test dure deux à 3 séquences de 8 jours chacune. Chaque séquence est composée de :

- Quatre jours à fort soutirage soit 0.8 fois le volume du ballon de stockage. Les soutirages sont effectués en trois fois pendant les deux premiers jours et en cinq fois pendant les deux journées qui suivent.
- Quatre jours avec un soutirage limité, soit 0.2 fois le volume du ballon de stockage. Le volume soutiré est réparti de la même manière en trois soutirages pendant les journées 5 et 6 de la séquence et en 5 soutirages pendant les deux dernières journées du test.

Cette distribution du soutirage reflète bien des conditions quasi-réalistes d'utilisation du système aussi bien au niveau de la répartition journalière :

- Trois fois 7h, 12 h, 19h ; un tiers du volume journalier est soutiré à chaque fois
- Cinq fois : 7h, 10h, 12h, 16h, 19h ; un cinquième du volume est soutiré à chaque fois.

Qu'au niveau du volume soutiré : 0.2 volumes et 0.8 volumes, ce qui représente les conditions extrêmes d'utilisation du système.

Au cours du test, les grandeurs suivantes sont mesurées :

- La température de l'eau froide à l'entrée du ballon
- La température de l'eau chaude qui sort du ballon vers la charge
- Les températures ambiantes à côté du ballon et à côté du capteur
- L'éclairement solaire sur le plan du capteur
- La vitesse du vent
- Le débit d'eau qui est soutiré (vers la charge).

Le protocole de la méthode DST prévoit d'effectuer des prises de mesures comme suit :

- Pendant les soutirages les prises de mesures doivent être effectuées toutes les secondes. Pour chacune des grandeurs mesurées, des moyennes sur 30 secondes doivent être effectuées et enregistrées.
- En dehors des soutirages, les mesures doivent être effectuées toutes les 30 secondes, les valeurs moyennes sont calculées et enregistrées au moins toutes les 10 minutes.

Le soutirage commence à l'instant fixé par le protocole expérimental selon la journée de test et s'arrête si l'une des conditions suivantes est vérifiée :

- Le volume fixé par le protocole expérimental est atteint
- La différence entre la température de l'eau à la sortie du système et celle à l'entrée (eau froide) est inférieure à 10 °C.

Afin de répondre à l'ensemble des exigences de ce test, une présence continue d'un opérateur est nécessaire en vue de contrôler le début et la fin des soutirages et surtout afin de changer le pas de temps d'acquisition et de stockage des données. Cette dernière opération passe par une programmation de la centrale de mesures avant et après chaque soutirage. Les résultats de chaque test doivent être stockés dans un fichier différent, ce qui conduit à 64 fichiers différents pour une seule période de test de 8 jours. Par ailleurs, des données sont perdues pendant les instants où l'opérateur change la programmation de l'appareil de mesures pour passer d'une séquence soutirage vers une séquence de non soutirage ou vice versa. La programmation automatique de ce test s'avère donc nécessaire.

Une solution économique pour effectuer ce test d'une manière entièrement automatique a été adoptée en sélectionnant une centrale de mesures interfaçable commandée par un grâce au langage de programmation orienté objet et dédié à l'acquisition micro-ordinateur de données : HP-VEE. Pour ce faire, un programme spécifique a été écrit, il permet d'effectuer l'acquisition des données et le contrôle des différentes phases de mesures : soutirage, arrêt du soutirage, changement du pas de temps d'acquisition, tests sur les températures, etc. selon les prescriptions du protocole expérimental de la méthode.

### 3. DESCRIPTION DE LA CHAÎNE DE MESURES ET DU PROGRAMME D'ACQUISITION

#### 3.1 Les Transducteurs

En vue de répondre aux exigences de la méthode DST, l'ensemble des transducteurs choisis sont de classe 1. Nous avons ainsi choisi des sondes de Platine Pt100 pour la mesure de la température, un pyranomètre du type Kipp et Zonen modèle CM5 pour la mesure de l'éclairement solaire. La mesure du débit est effectuée grâce à un débitmètre volumétrique équipé d'un générateur d'impulsions pouvant générer une impulsion par litre. La commande de l'écoulement et de l'arrêt de l'eau vers la charge s'effectue par le biais d'électrovannes. Ainsi, la centrale de mesures doit avoir au moins trois voies pour la mesure de la température grâce à des résistances Pt100 en montage à 4 fils, deux voies pour la mesure de la tension, la première pour mesurer l'éclairement solaire et la seconde pour la mesure de la vitesse du vent, une voie pour le comptage des impulsions pour la mesure du débit et une voie de commande permettant d'ordonner la mise en marche et l'arrêt des électrovannes.

#### 3.2 La centrale de mesures

La centrale de mesures qui a été choisie est le modèle HP34970A de Agilent Technology. Elle est équipée des modules : 34901 permettant la mesure des tensions et des températures grâce aux résistances Pt100, 34907 permettant le comptage des impulsions et 34903 permettant la commande des électrovannes.

La centrale est programmable grâce à un logiciel approprié : (Benchlink). L'utilisateur doit définir lui-même les canaux qu'il souhaite mesurer ainsi que les paramètres de son expérience : pas de temps, séquences de mesures, alarmes, etc.

Nous nous sommes heurtés à deux limitations de ce logiciel, la première est liée au pas de temps d'acquisition; en effet, Benchlink ne permet pas de changer le pas de temps d'acquisition au cours d'une expérience. Le changement du pas de temps nécessite l'enregistrement du fichier en cours, le changement de la programmation et le redémarrage de l'expérience à nouveau, ce qui nécessite l'intervention d'un opérateur à chaque fois. La deuxième limitation de Benchlink est le fait qu'il ne permet d'effectuer des commandes que suite à des alarmes. Le déclenchement d'un processus à un instant donné est donc impossible, d'où l'impossibilité de commander automatiquement les soutirages prévus par la méthode DST grâce à Benchlink. C'est pour ces raisons que nous avons décidé d'écrire notre propre programme d'acquisition. Pour cela nous avons choisi de le faire grâce au langage de programmation orienté objet HP-VEE de Agilent. Ce langage est dédié à l'acquisition des données et à la commande en temps réel.

#### 3.3 Le programme d'acquisition et de commande

HP-VEE a été choisi pour plusieurs raisons dont les plus importantes sont :

- ◆ La programmation est facile étant donné qu'il s'agit d'un langage visuel dans lequel il suffit de connecter les différentes commandes les unes à la suite des autres. Chaque commande se présente sous forme de boîte de dialogue qu'il faut remplir avec des équations, des tests ou des instructions.
- ◆ L'existence d'une large bibliothèque de commandes pour différents appareils de mesures et d'acquisition, ce qui évite d'écrire les protocoles de communication nécessaires pour le fonctionnement de chacun de ces appareils.
- ◆ Il permet d'effectuer la commande en temps réel de plusieurs appareils. Le programme s'exécute sur un ordinateur qui commande en temps réel les différents appareils de mesures et se charge du stockage des données.

La figure 1 montre une séquence du programme, et la figure 2 montre une boîte de dialogue de ce programme.

Le programme nous a permis d'effectuer minutieusement le test selon les prescriptions de la méthode DST.

### 4. EXPLOITATION DU PROGRAMME ET LIMITATIONS DE LA METHODE

Le programme ainsi réalisé a été testé sur un chauffe-eau solaire installé au laboratoire d'Energie Solaire de l'ENIT. Nous avons constaté lors de la première séquence de mesures que les soutirages s'arrêtent au bout de deux secondes (deuxième pas de temps de soutirage).

Ainsi, aucune énergie n'est extraite du système, et les capteurs stagnent à partir du deuxième jour de la séquence de mesures. En analysant de près ce résultat, nous avons constaté que ceci est dû au temps de réponse des capteurs de mesure de la température. En effet, les sondes Pt100 doivent être placées dans des doigts de gants en cuivre de diamètre 2 mm afin d'éviter le contact électrique entre la sonde elle-même et l'eau. Nous avons effectué une mesure de la constante de temps des sondes en platine nues et avec doigts de gants, les résultats obtenus sont donnés dans le tableau 1 et illustrés dans la figure 3.

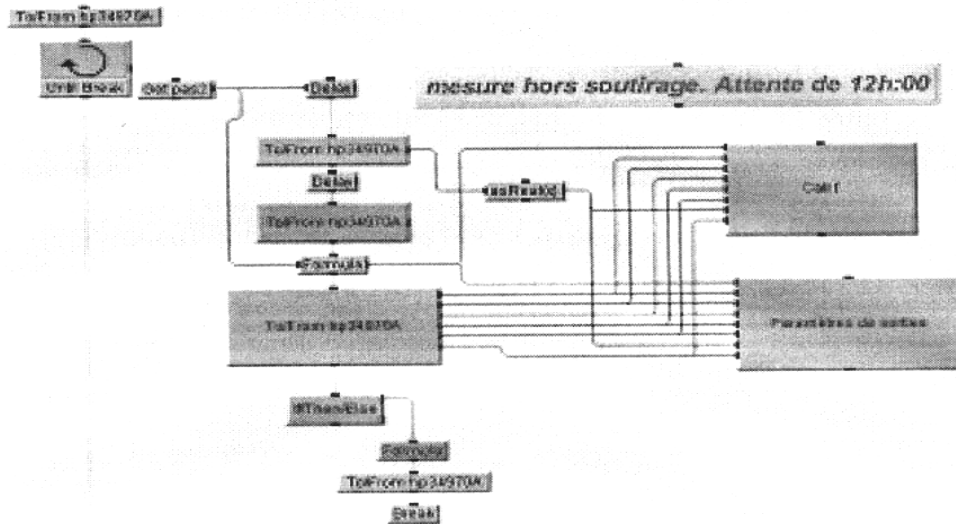


Fig. 1: Une séquence du programme telle qu'elle se présente sous HP-VEE

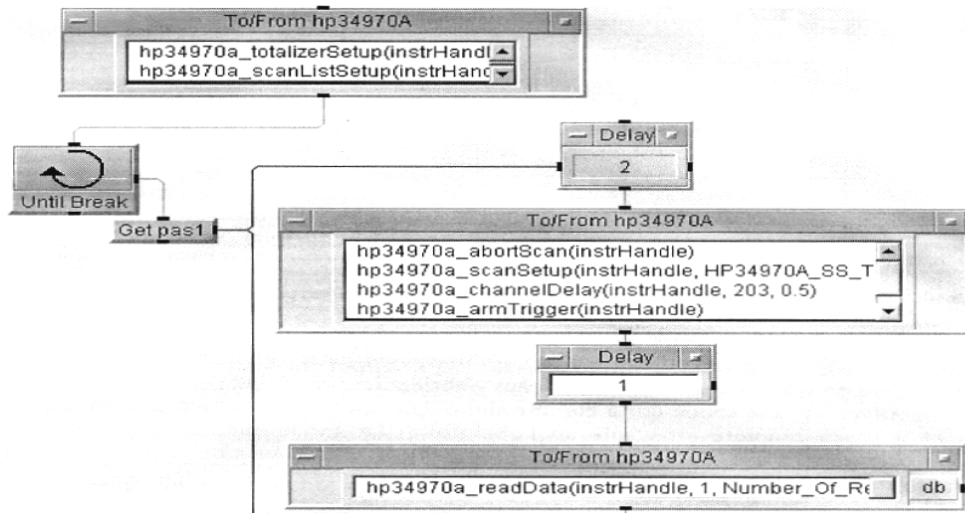


Fig. 2: Programmation des boîtes de dialogue sous HP- VEE

Tableau 1: Constantes de temps des sondes de températures

Type de sonde	Constante de temps : $\tau$
Pt100 nue	16 sec
Pt100 standard	192 sec
Pt100 avec doigt de gant en cuivre	198 sec

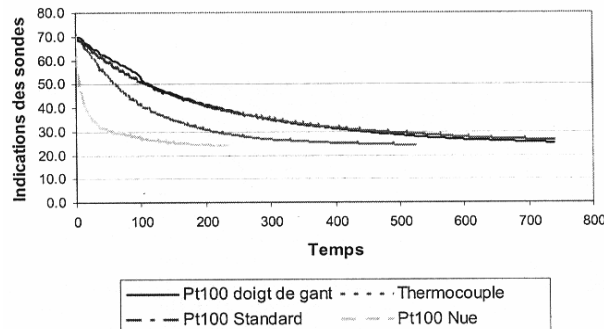


Fig. 3: Constantes de temps des sondes de températures

Les Pt100 nues sont les éléments sensibles composés d'un fil de platine sur un support en céramique. La Pt100 standard est une canne thermométrique composée d'un élément sensible Pt100 inséré en usine dans un doigt de gant (fabrication industrielle). La Pt100 avec doigt de gant en cuivre est une sonde qui a été introduite dans un tube de cuivre de 2 mm de diamètre fabriquée d'une manière artisanale au Laboratoire. La sonde nue ne peut pas être utilisée directement dans l'eau ; nous sommes donc obligés d'utiliser une canne thermométrique fabriquée localement ou achetée toute prête.

La constante de temps de ces deux capteurs est d'environ 3 minutes, ceci est dû à la masse de cuivre constituant le doigt de gant. Cette longue constante de temps est la source d'erreur sur la mesure de la température et provoque l'arrêt du soutirage. En effet, les sondes de mesures des températures de l'eau à l'entrée et à la sortie du système sont installées à l'entrée et à la sortie du ballon de stockage. En l'absence de soutirage, celle à l'entrée indique une valeur légèrement inférieure à la température ambiante à cause de l'effet de l'eau froide qui se trouve dans la conduite d'eau froide et celle qui est à la sortie, indique une valeur légèrement supérieure à la température ambiante à cause de la conduction de la chaleur dans la conduite d'eau chaude. Lorsque le soutirage commence, la valeur à l'entrée décroît pour atteindre au bout d'un temps égal à  $5\tau$  et d'une manière asymptotique la valeur de la température de l'eau froide, la deuxième valeur croît asymptotiquement pour indiquer au bout de  $5\tau$  la valeur de la température de l'eau chaude. Dans la réalité, ceci ne peut pas se réaliser car les deux sondes sont initialement à des températures très proches. Aux termes du premier pas de temps (une seconde), la condition d'arrêt relative à l'écart de température entre l'entrée et la sortie du système est vérifiée, et donc le soutirage est arrêté au bout du deuxième pas de temps.

La figure 4 illustre l'évolution des températures au niveau des deux sondes. Cette figure explique clairement les raisons de l'arrêt du soutirage. Dans cet exemple, à l'instant initial, l'écart entre la valeur indiquée par la sonde à la sortie et celle à l'entrée est de 1°C. La valeur de la température de l'eau chaude est de 50 °C et celle de l'eau froide est de 15 °C. La différence de températures entre les deux sondes ne dépasse 10 °C qu'après un intervalle de temps de 61 secondes.

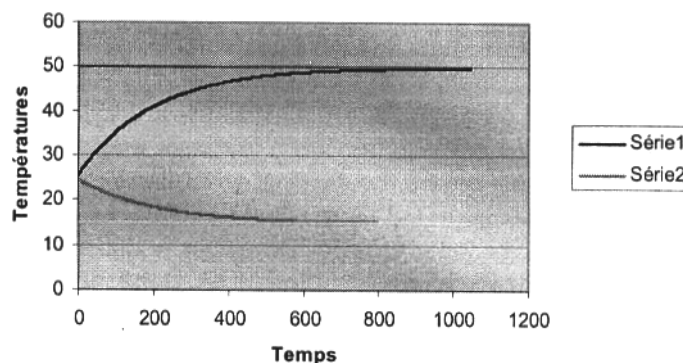


Fig. 4: Réponse des sondes à l'entrée et à la sortie du système

Ce problème cause des erreurs importantes sur la détermination des performances du système. Afin de surmonter ce problème, nous proposons de diviser le soutirage en deux phases : la première étant une phase de conditionnement des sondes de température pendant laquelle le soutirage est effectué avec un débit très faible (de l'ordre de 0.5 à 1 litre/minute). La durée de cette phase doit être égale au moins à  $5\tau$ . La deuxième phase est la phase de soutirage proprement dit au cours de laquelle le débit est de 10 litres par minute.

Cette méthode peut être considérée comme une bonne solution lorsque le volume du ballon de stockage est important, cependant pour les ballons de faible volume (150 à 200 litres par exemple), cette solution demeure insatisfaisante. En effet, la période  $5\tau$  représente environ 16 minutes, avec un débit de 0.5 litres/minutes, nous atteignons 8 litres au bout de  $5\tau$ . Pour un ballon de 150 litres, et une journée où le volume total de soutirage est de 0.2 volumes du ballon soit 30 litres répartis en cinq soutirages, nous devons effectuer des soutirages de 6 litres à chaque fois. La condition sur le volume est satisfaite avant d'atteindre la vraie indication de la température. Dans ce cas, malgré qu'on arrive à satisfaire les deux conditions d'arrêt du soutirage en temps et en volume, l'indication des sondes nous empêche de calculer la quantité d'énergie extraite réellement du système. Une réflexion doit être effectuée en vue d'améliorer les résultats de test pour les cas des faibles volumes de stockage. La question des pas de temps de prise de mesures doit être évoquée. Le pas de temps de prise de mesures doit prendre en compte le temps de réponse du système solaire lui-même et le temps de réponse des capteurs de mesures qui sont utilisés.

## 5. CONCLUSION

L'automatisation d'une procédure de mesures complexe a été rendue possible grâce à l'utilisation d'un langage de programmation orienté objet et dédié à l'acquisition de données et à la commande. Le système de mesures adopté représente une solution fiable, facile à monter et peu coûteuse comparativement à des solutions techniques équivalentes.

L'utilisation d'un matériel d'acquisition performant a permis de suivre en détails la procédure de test DST, mais nous a surtout permis de mettre évidence une limitation de la méthode DST. Une solution a été proposée pour les systèmes équipés d'un ballon de stockage de grand volume. Le problème reste posé pour les systèmes ayant des ballons de faible volume de stockage. Aussi bien pour les ballons de grand volume que pour ceux de faible volume, une réflexion doit être menée en vue de dégager une procédure permettant de corriger l'erreur sur la mesure de la température introduite par la constante de temps de la sonde de mesures constituée par le doigt de gant et le transducteur Pt100. Des solutions sont en cours d'études et seront proposés dans le cadre de futurs travaux.

## REFERENCES

- [1] W. Spirkel, 'Dynamic SDHW Testing', J of Solar Energy Eng., Transactions of the ASME, 112, pp. 98-101, 1990
- [2] M.A. Belaïd et A. Baba, 'Test en Régime Dynamique d'un Modèle de Chauffe-eau Solaire', Projet de Fin d'Etudes, ENIT, 1992.
- [3] W. Spirkel, 'Determination of the Thermal Performances of Solar Domestic Hot Water Systems Dynamic System Testing (DST)', Manuel du Logiciel d'Analyse DST.
- [4] ISO 9459-5, 'First Draft : Solar Heating- Domestic Water Heating Systems', 10.03.1999.
- [5] S. Raddaoui et R. Smari, 'Automatisation d'un Stand Destiné au Test des Chauffe-eau Solaires', PFA2, ENIT, 2000.
- [6] S. Boufares et T. Marouani, 'Evaluation de la Méthode DST pour la Mesure des Performances des Chauffe-eau Solaires', PFA2, ENIT, 2001.
- [7] A. Bkathria et K. Fadhli, 'Automatisation des Test des Chauffe-eau Solaires. Méthode DST', Projet de Fin d'Etudes, ENIT, 2001.