



**HAL**  
open science

## Evaluation d'une série de capteurs tensiométriques

Dalila Mohrath, J.C. Gaudu

► **To cite this version:**

Dalila Mohrath, J.C. Gaudu. Evaluation d'une série de capteurs tensiométriques. 5. Journées, Oct 1998, Anglet, France. hal-02766275

**HAL Id: hal-02766275**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02766275v1>**

Submitted on 4 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# EVALUATION D'UNE SERIE DE CAPTEURS TENSIOMETRIQUES

Mohrath D., Gaudu J.C.

INRA  
Unité de Sciences du Sol  
Domaine St Paul  
Site Agroparc  
84 914 AVIGNON Cedex 9  
Email : dalila.mohrath@avignon.inra.fr

## 1- INTRODUCTION

Dans l'analyse expérimentale des transferts d'eau dans les sols, il s'avère important de mesurer le potentiel hydrique du sol à différentes profondeurs. Cette grandeur caractérise l'état énergétique de l'eau dans le sol. Elle est constituée d'un terme gravitationnel (i.e. associé à la différence de niveau de l'eau du sol par rapport à un niveau de référence) et d'un terme matriciel caractérisant l'énergie de liaison entre l'eau et le sol, associé à l'adsorption d'eau à la surface des particules solide et à la capillarité. D'autres termes constituent cette grandeur ; le potentiel osmotique notamment, est lié à la présence de solutés. Il joue un rôle important dans les phénomènes d'absorption d'eau par les racines et ne peut être mesuré par la méthode tensiométrique décrite dans cet article. Les gradients de potentiel dans le sol conditionnent l'orientation et l'intensité des flux d'eau. Ainsi, Darcy (1856) avait-il proposé un modèle d'écoulement pour de milieux poreux saturés. Pour des milieux non-saturés, la loi de Darcy généralisée décrit encore la relation entre gradient de potentiel et flux d'eau. Pour un flux vertical, elle peut s'écrire :

$$(1) \quad q_z = -K(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

où  $q_z$  est le flux d'eau ( $m.s^{-1}$ ),  $\partial\psi/\partial z$  ( $m.m^{-1}$ ) le gradient de potentiel dans la direction  $z$  et  $K(\theta)$  un coefficient de proportionnalité appelé conductivité hydraulique ( $m.s^{-1}$ ) et dépendant de la teneur en eau volumique  $\theta$  du sol ( $m^3.m^{-3}$ ) au point considéré.

Pour mesurer le potentiel hydrique, on utilise couramment des tensiomètres (Fig.1). Ces appareils sont constitués d'une bougie poreuse reliée à un manomètre différentiel par l'intermédiaire d'un circuit hydraulique. On mesure la pression différentielle de l'eau du circuit hydraulique, cette dernière est le plus généralement négative par rapport à la pression atmosphérique. Il est courant maintenant d'utiliser des capteurs de pression à membrane silicium pour réaliser cette mesure. Ces capteurs, aujourd'hui économiques, permettent d'automatiser la mesure. Si ces derniers présentent des avantages indéniables pour l'utilisateur (automatisation, continuité de la mesure), voire pour l'environnement (élimination des risques de pollution du sol par du mercure des manomètres à liquides), il n'en reste pas moins qu'ils

doivent être gérés rigoureusement en raison des dérives temporelles de leur étalonnage, de leur sensibilité à la température, des phénomènes d'hystérésis, etc....

Dans ce travail, nous présentons une étude des différents termes d'erreurs concernant un dispositif tensiométrique de ce type : les tensiomètres SKT850C2 commercialisés par la société S.D.E.C. (Reignac sur Indre, France). Cette étude de laboratoire débouche sur des pratiques de conduite de la mesure appliquées par la suite sur le terrain. (i.e. correction des dérives temporelles, des dérives thermiques, etc.).

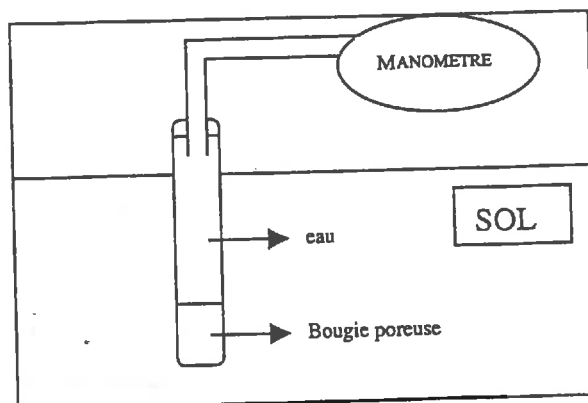


Fig.1: représentation schématique d'un tensiomètre.

## 2- MATERIEL ET METHODE

Le tensiomètre SKT850 C2 utilise un capteur de pression différentielle à membrane silicium. La gamme de mesure est de 0/-1 Bar. Il est alimenté entre 6 et 17 V continu et sort en courant (4/20 mA).

Dans un premier temps, les capteurs ont été étalonnés en laboratoire en conditions de température contrôlées. Ils ont été réétalonnés au retour d'expérimentation au champ pour vérifier leur comportement dans le temps et corriger les paramètres d'étalonnage.

On vérifie également l'impact des autres sources d'erreurs classiques sur la mesure de pression telles leur temps de chauffe et leur hystérésis.

### 2.1- Détermination du temps de chauffe :

Pour la mise en œuvre pratique des tensiomètres, il était avantageux de n'alimenter les capteurs qu'au moment de la mesure, compte tenu de la consommation des lignes de transmission en courant du signal de sortie et de l'alimentation sur batterie de l'application au champ.

Il était par contre important de quantifier le temps de stabilisation des capteurs après l'alimentation afin de déterminer un délai avant la saisie des mesures valides.

### 2.2- Etalonnage ; dérives thermique et temporelle

La vocation des tensiomètres à être utilisés au champ nous a incité à vérifier la validité des étalonnages dans la gamme de température rencontrée dans ces conditions.

Ces derniers ont été réalisés à différentes températures (5, 15, 25 et 35°C). Pour ce faire, les capteurs ont été placés dans une enceinte à température contrôlée (Memmert, Germany ; régulation: 0.2°C, homogénéité : 1.5°C). Compte tenu de l'hétérogénéité de la température de l'enceinte, cette dernière est mesurée à l'aide d'un thermomètre de contrôle Aspin (précision : 0.1°C) placé au plus près des capteurs de pression tensiométriques. A chacune de ces températures, le signal des capteurs a été enregistré pour des dépressions comprises entre 0 et -800 mbar tous les 200 mbar. Les dépressions ont été appliquées à l'aide de la pompe d'un générateur-calibrateur de pression DPI 602 (Druck, Royaume-

Uni) ayant une précision absolue de 1 mbar et faisant l'objet de raccordements réguliers. Les capteurs étaient alimentés par des batteries de 12V et leur signal de sortie était enregistré en tension aux bornes d'une résistance de 100  $\Omega$  de précision (Vishay-Sfernice RS92N, 0.01%, 5 ppm/°C) sur une centrale d'acquisition 21X (Cambell Ltd., Royaume-Uni ; 333  $\mu$ V en résolution, 0.1% F.S.R., range utilisé : 5000 mV). La centrale d'acquisition de données, pouvant être différente de celle utilisée au champ, a elle-même fait l'objet d'une calibration à l'aide d'un mesureur calibreteur Precical JN5305 raccordé régulièrement à la chaîne COFRAC électricité magnétisme (A.O.I.P. Instrumentation, France). Les résultats ont été analysés séparément à chaque température par régressions linéaires :

$$(2) \quad \Delta P = (a \times V_s) + b$$

où  $\Delta P$  est la dépression imposée au capteur (mbar),  $V_s$  le signal enregistré (mV), et a et b deux coefficients de régression (respectivement en mbar.mV<sup>-1</sup> et mbar). La dépendance des coefficients a et b à la température a d'abord été testée. Un étalonnage des capteurs prenant en compte simultanément son signal de sortie proprement dit et sa température a par ailleurs été proposé :

$$(3) \quad \Delta P = [(\alpha T + \alpha_0)V_s] + (\beta T + \beta_0)$$

où T est la température (°C).  $\beta_0$  est exprimé en mbar,  $\beta$  en mbar.°C<sup>-1</sup>,  $\alpha$  en mbar.mV<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup> et  $\alpha_0$  en mbar.mV<sup>-1</sup>.

Les étalonnages ont été réalisés pour une série de capteurs avant leur implantation au champ et après 8 mois de mesures *in situ*. On compare les mesures obtenues avec les deux jeux de données en appliquant l'étalonnage initial.

### 2.3- Hystérésis :

On réalise ; sur trois tensiomètres, deux séries de mesures de pression, à des valeurs réparties sur la gamme utilisable. La première est effectuée dans le sens des pressions décroissantes, et la seconde dans le sens opposé. On compare pour chacun des capteurs les différences de résultats entre les deux séries de mesure.

## 3- RESULTATS- DISCUSSION

### 3.1- Temps de chauffe :

Ces capteurs de pression se mettent à l'équilibre rapidement : seulement 30 sec. d'alimentation sont nécessaires pour que le capteur et son électronique associée émettent un signal constant pour une pression appliquée stable. Dans le cycle de mesure appliqué au champ, on laissera en fait un délai de précaution de 1 mn après le début de l'alimentation avant de valider les mesures.

### 3.2- Gamme de pression :

La gamme théorique de la mesure tensiométrique s'étend jusqu'à -1bar. Dans le cas des tensiomètres utilisés, le réglage d'usine limite la gamme de mesure entre -850 et -900 mbar pour le signal de sortie maximal. En fait, pour des mesures de terrain, la limite pratique de la tensiométrie est de -850 mbar en raison de fuites et du dégazage de l'eau du circuit qui rendent le dispositif inexploitable en deçà de cette valeur. Le réglage proposé n'a donc aucun inconvénient pratique sur la mesure.

### 3.3- Etalonnage à température constante :

La réponse du capteur en fonction de la dépression appliquée est quasi-linéaire (Fig.2a). Ceci va permettre d'utiliser des équations d'étalonnage simples, de la forme de l'équation (2). En fait, la réponse de ces capteurs présente une légère courbure qui apparaît sur la **figure 2b** montrant l'évolution des résidus de mesure en fonction de la pression appliquée qui reste toujours contenue dans la limite de 1 mbar environ, soit la précision de l'étalon.

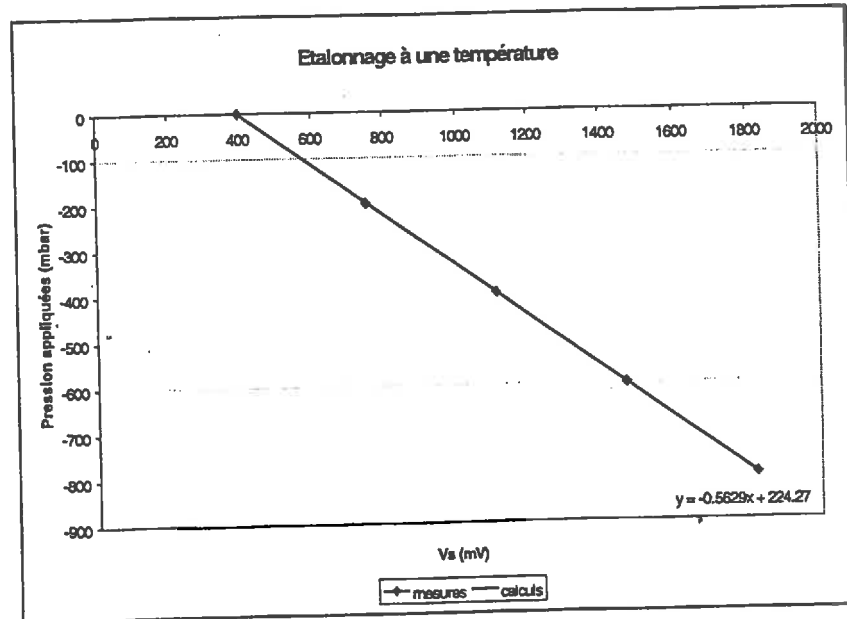


Fig. 2a

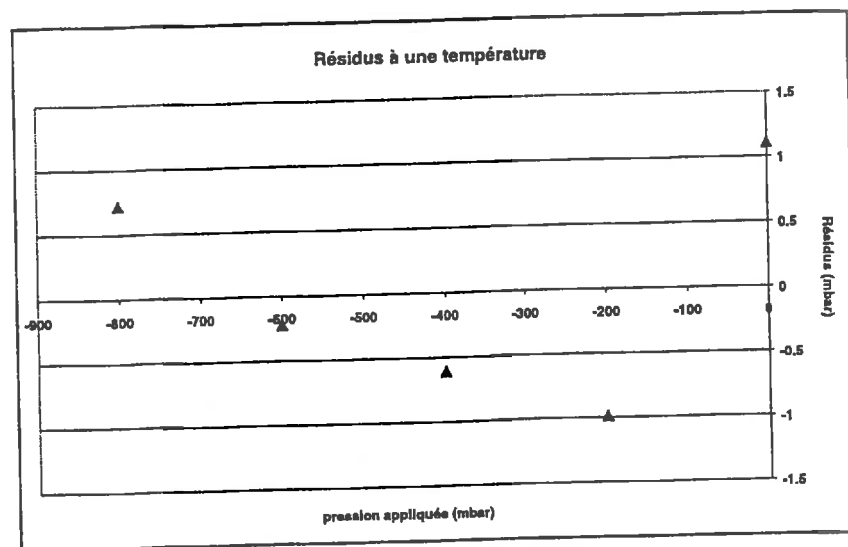


Fig. 2b

### 3.4- Hystérésis :

La **figure 3** représente, pour trois tensiomètres différents, l'écart de mesure observé entre les deux phases (pression décroissante-pression croissante) lors d'un cycle d'étalonnage. On remarque que le temps d'application du cycle (quelques minutes au maximum) n'a rien à voir avec ceux rencontrés sur le terrain (quelques jours au minimum). Il est vraisemblable que les cinétiques rapides de changement de pression appliquées ici aient amplifié le phénomène. L'hystérésis observé reste

cependant du même ordre de grandeur (1 à 2 mbar) que les erreurs d'étalonnage à température constante.

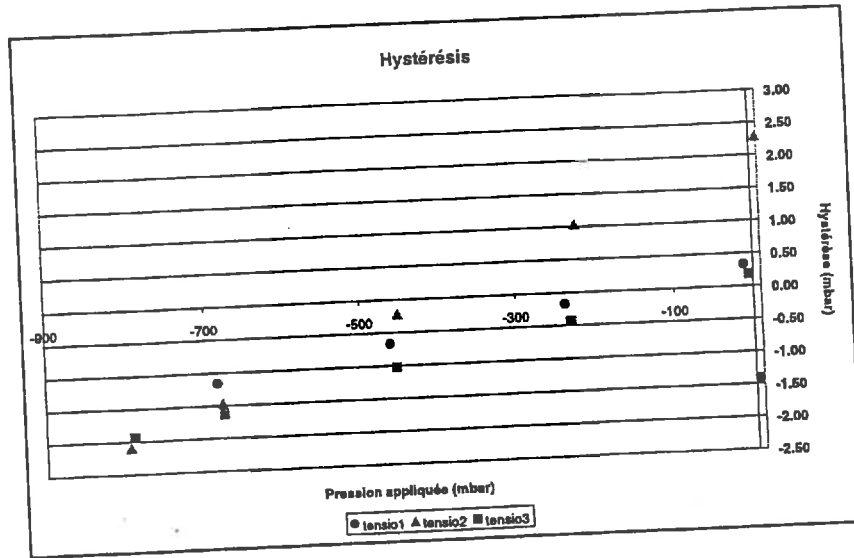


Fig.3

### 3.5- Effet de la température :

On a observé l'effet de la température sur les termes a et b de l'équation (2) (Fig. 4a et 4b) pour une série de capteurs. Cet effet a une incidence de l'ordre de 5 mbar et moins dans la majorité des cas, pour la gamme de température explorée. Elle est supérieure à 10 mbar dans deux cas. La relation entre ces coefficients et la température est quasi linéaire la plupart du temps de telle sorte que la relation (3) peut être appliquée et réduire considérablement cette erreur. Au champ, il sera possible de mesurer la température de l'un des capteurs de pression et ainsi pouvoir appliquer la relation d'étalonnage (3). On pourra éventuellement appliquer cette mesure pour la correction des autres capteurs de pression utilisés dans les mêmes conditions.

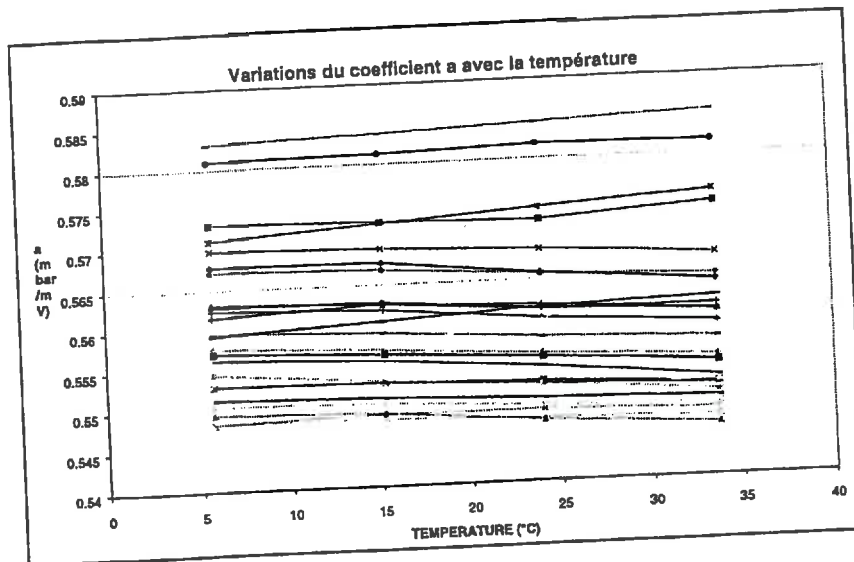


Fig. 4a



#### **4-CONCLUSION**

Ces tensiomètres munis de capteurs de pression silicium représentent une bonne alternative aux tensiomètres à mercure. Ces derniers peuvent néanmoins être encore conseillés auprès des agriculteurs, en raison de leur simplicité et de leur robustesse, pour des applications liées au pilotage d'irrigation.

Pour des utilisations liées à l'activité de recherche, on veillera à bien évaluer les risques de propagation des erreurs sur la mesure du potentiel, relatives à l'instrument étudié, dans un modèle. En effet, s'il est possible d'obtenir une mesure avec une incertitude absolue de l'ordre de 5 mbar dans certaines conditions avec ces tensiomètres, cette qualité de résultat ne peut s'obtenir qu'au moyen d'un contrôle rigoureux de l'appareillage.

Les données collectées pour ce travail permettront de hiérarchiser les sources d'erreur et de proposer des corrections pour limiter l'incidence des plus importantes d'entre elles. La conduite de ces instruments pourra donc être optimisée en fonction de la durée de l'expérimentation envisagée, des conditions climatiques rencontrées ou encore des exigences en matière de qualité de la mesure lorsqu'elles sont formulées.