

NOTICE D'UTILISATION DE L'HUMIDIMETRE A CHOCS THERMIQUES
CONSTRUIT PAR R. FRON

B. POUYAUD X
P. CHEVALLIER XX
C. VALENTIN XXX

X Hydrologue - Centre ORSTOM d'Adiopodoumé
XX Hydrologue - Centre ORSTOM de Ouagadougou
XXX Pédologue - Centre ORSTOM d'Adiopodoumé

— Adiopodoumé, Janvier 1980

S O M M A I R E

INTRODUCTION

- 1 - RAPPEL SUR LA THEORIE DES CHOCS THERMIQUES.
- 2 - DESCRIPTION DE L'APPAREIL FABRIQUE PAR R. FRON.
 - 2.1. Boîtier de mesure.
 - 2.2. Faisceau de sonde.
- 3 - UTILISATION DE L'HUMIDIMETRE.
 - 3.1. Mise en place des faisceaux de sondes.
 - 3.2. Réalisation des mesures.
 - 3.3. Précautions diverses.
- 4 - ETALONNAGES ET LIMITES DE L'UTILISATION.
- 5 - EXEMPLES D'EXPLOITATION DE L'HUMIDIMETRE A CHOCS THERMIQUES.

INTRODUCTION

La mise au point d'un humidimètre, basé sur le principe des chocs thermiques, a déjà fait l'objet de deux publications de B. POUYAUD dans les cahiers de l'ORSTOM.

La première (Cah. Hydrologie - Vol. VIII, n° 1, 1971) présentait la théorie mathématique justifiant l'utilisation de la capacité calorifique du sol pour la détermination indirecte de son humidité.

La seconde (Cah. Hydrologie - Vol. XII, n° 4, 1975) décrivait un appareillage électrotechnique réalisé par l'auteur, permettant la réalisation pratique et automatique de ces mesures, leur enregistrement et leur dépouillement à partir d'étalonnages plus ou moins délicats et performants.

Depuis on s'est attaché à miniaturiser l'appareillage, à rendre aisée son utilisation par du personnel moyennement qualifié et à s'affranchir d'un relatif manque de fiabilité de l'engin primitif. A cette fin était construit en 1977 un prototype entièrement électronique par les établissements R. FRON, qui donnait lieu en 1979 à la sortie d'une première série de 6 appareils de 2ème génération, dont nous nous proposons de décrire ici le fonctionnement et l'utilisation.

1 - RAPPELS SUR LA THEORIE DES CHOCS THERMIQUES

1.1. Mesure de la capacité thermique volumique

L'élévation $T_{max,r}$ de température en un point d'un corps homogène et isotrope (de capacité thermique volumique C), situé à une distance r d'un segment de longueur 2c soumis durant un temps Δt très court à un choc thermique d'intensité ϕ_o , s'exprime par :

$$T_{max,r} = \frac{\phi_o \cdot \Delta t}{2\pi \cdot C \cdot e} \cdot \frac{1}{r^3} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(c/r)^2}}$$

où $T_{max,r}$: élévation maximale de température après choc thermique, en °C.

ϕ_o : intensité calorifique du choc, en watts.

Δt : durée du choc, en secondes.

C : capacité thermique volumique, en joules.cm⁻³.°C⁻¹.

e : constante d'Euler

r : distance axiale du point de mesure de la température au segment chauffant, en cm.

c : demi longueur du segment chauffant, en cm.

Dans la pratique ϕ_o est obtenu par la mise sous une tension V d'une résistance électrique parcourue par une intensité électrique I.

La capacité thermique volumique s'exprimera alors par :

$$C = \frac{1}{T_{max,r}} \cdot \frac{1}{2\pi e} \cdot \frac{1}{r^3} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(c/r)^2}} \cdot V \cdot I \cdot \Delta t$$

soit $C = \frac{\alpha}{T_{max,r}}$ avec $\alpha = \underbrace{\frac{1}{2\pi e} \cdot \frac{1}{r^3} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(c/r)^2}}}_A \times \underbrace{V \cdot I \cdot \Delta t}_B$

où A est caractéristique de la géométrie de la sonde.

B est fonction de l'intensité et de la durée du choc.

1.2. Application à la mesure de l'humidité d'un corps

Sous réserve d'homogénéité des divers constituants, la capacité thermique volumique d'un corps composé est la somme des capacités thermiques volumiques de chacun de ses constituants.

Ainsi la capacité thermique volumique C_u d'un sol d'humidité volumique u et de capacité thermique volumique à l'état sec C_0 s'écrit :

$$C_u = u + C_0 \quad \text{soit} \quad u = C_u - C_0 = \frac{\alpha}{T_{\max}} + \beta$$

où β est une nouvelle constante, caractéristique du sol égale à $-C_0$

On voit donc que l'humidité volumique u d'un sol est proportionnelle, à une constante β près, à l'inverse de l'élévation de température provoquée par un choc thermique à l'intérieur de ce sol.

2 - DESCRIPTION DE L'APPAREIL FABRIQUE PAR R. FRON

L'humidimètre à choc thermique se compose de deux éléments principaux :

- le boîtier électronique de mesure, de production et de contrôle du choc thermique.
- les faisceaux de sondes.

2.1. Le boîtier électronique

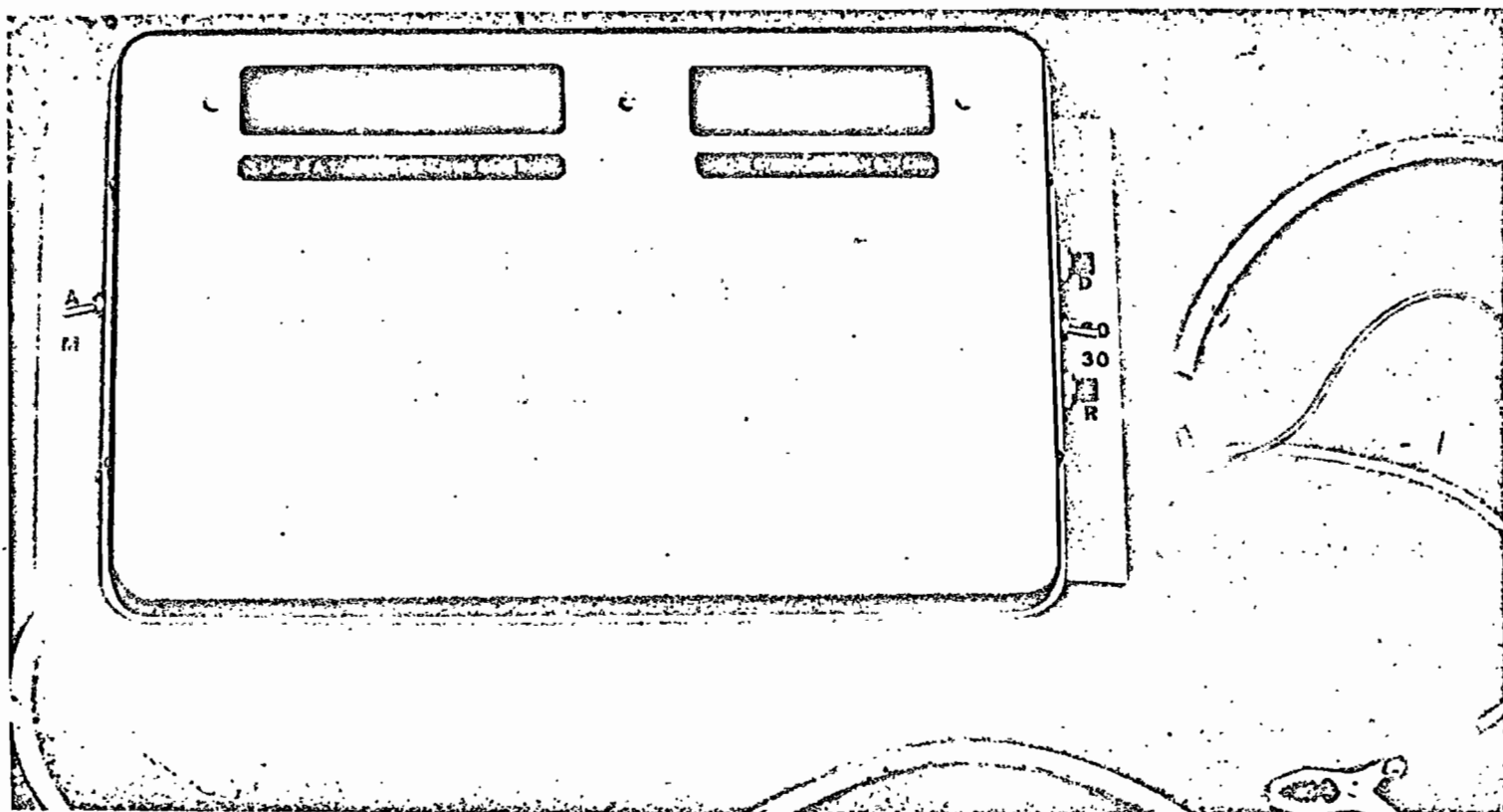
La finalité de cet appareil est triple :

- produire, quelle que soit la tension d'alimentation de 9,5 à 13,5 Volts, un choc thermique de durée imposée (30 ou 60") et d'intensité constante (pour la même sonde). Deux chocs successifs doivent être rigoureusement identiques et reproductibles. L'appareil doit permettre un contrôle de l'intensité du choc.

- assurer la mesure de l'élévation de température à la sonde, au 1/100°C près, sans dérive ni inertie prohibitive.

- permettre un défilement automatique de 4 directions successivement, grâce à un programme automatique.

Description de l'appareil proposé :



Face gauche :

- (1)- Cable d'alimentation permettant de relier l'humidimètre à une tension continue 12 Volts, qui doit être une batterie d'accumulateurs classique d'environ 50 A.heures, à l'exclusion de toute alimentation directe par chargeur à proscrire impérativement. Les pinces de branchements sont diversifiées : rouge au +, noir au -.
- (2)- Interrupteur général 2 positions : ARRET/MARCHE. En cas d'inversion du branchement +/- à la batterie d'accumulateurs, l'appareil est protégé par une diode Zener pilotant un relai.

Face droite :

- (3)- Connecteur rond 19 directions femelle, permettant le raccordement des faisceaux de sondes à l'humidimètre. Un pontage dans ce connecteur de l'alimentation primaire, met l'appareil hors circuit en cas de non branchement d'un faisceau, ce qui mettrait certains circuits internes en danger, malgré les protections internes.
- (4)- Interrupteur à poussoir fuyant permettant d'initialiser le programme de mesure après mise sous tension de l'appareil. Ce bouton ne sert qu'une fois, après chaque mise sous tension. Le retour à zéro se fait par mise hors tension à l'interrupteur général.

- (5)- Interrupteur à poussoir fuyant permettant l'accélération du programme de mesure, en maintenant la pression sur l'interrupteur. Il faut suspendre vivement cette pression à l'apparition de la direction recherchée sur(10). Tant que cet interrupteur est actionné, il ne peut y avoir de chauffe, ce qui évite les chocs thermiques parasites intempestifs.
- (6)- Interrupteur à deux positions permettant la sélection de la durée de chauffe à 30 ou 60". Le réglage fin de ΔT est possible au niveau du quartz de pilage du programme, par l'ajustage de résistances additionnelles.

Face avant :

- (7)- Affichage digitalisé de la tension d'alimentation, en 1/10 de volt U BAT. Le fonctionnement de l'appareil est satisfaisant pour une alimentation de 9,5 à 13,5 Volts.
- (8)- Affichage digitalisé de l'écart de températures T mesuré aux bornes du thermocouple de la sonde en 1/100°C. La capacité, grâce à la barre de dépassement est de $\pm 19,99^\circ\text{C}$. La sensibilité et l'inertie de ce micro-voltmètre sont ajustables à l'intérieur de l'appareil.
- (9)- Affichage digitalisé de l'intensité de chauffe I_c en m Amp. A l'arrêt cet ampèremètre oscille 000/001. Durant la chauffe, malgré le basculement toutes les 5" du signe de l'intensité, il fournit la valeur absolue de l'intensité de chauffe. L'affaiblissement progressif en cours de chauffe de l'intensité I_c provient de la variation de la résistance électrique chauffante lors de sa montée en température. Selon les sondes l'intensité varie de 750 à 850 m Amp.
- (10)- Affichage de la direction concernée par la chauffe et la mesure (0-1-2-3).

Remarque :

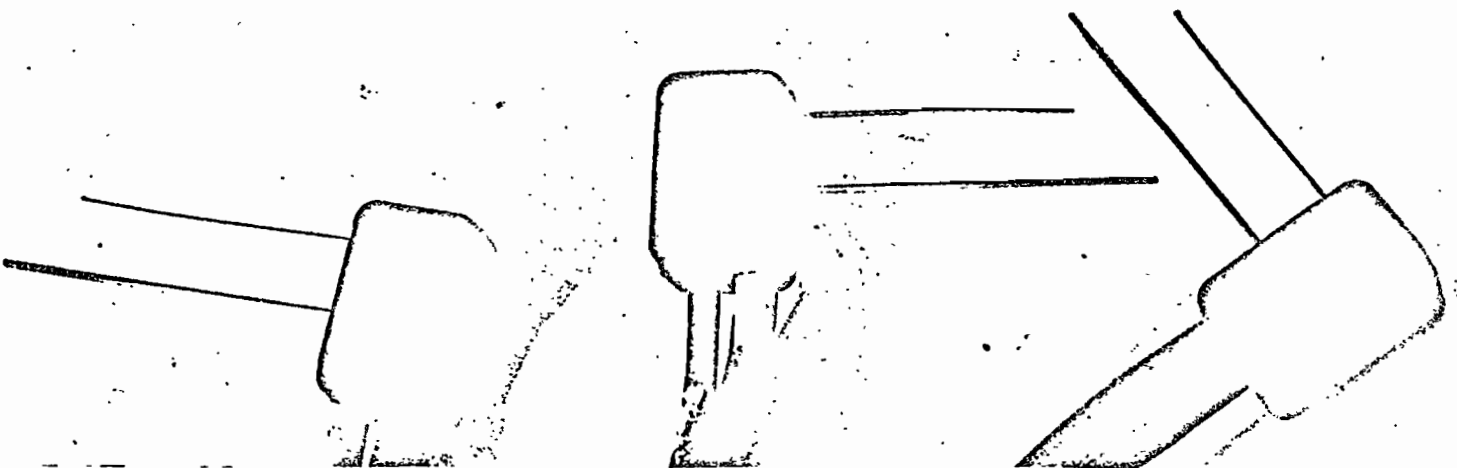
Une prise axiale existe sur le côté droit du boîtier de mesure qui permet le branchement en parallèle du micro-voltmètre (8), d'un enregistreur potentiométrique classique dans la gamme 0-100mV. Ainsi peut être visualisée et enregistrée l'élévation de température du sol au passage des chocs thermiques.

Les faisceaux de sondes regroupent 4 sondes identiques reliées par deux cables à deux conducteurs à un connecteur rond mâle à 19 fiches à relier au connecteur (3) du boîtier de mesure. Les quatre sondes sont identifiées 0-1-2-3. Les circuits "mesure" et "chauffe", qui utilisent le même connecteur, sont séparés au niveau des cables de liaison, blindés dans le cas du circuit mesure.

Le connecteur à 19 contacts est d'un maniement délicat. Il faut éviter de tordre les cables au niveau des soudures, ce qui pourrait les détériorer. Quoique cela n'ait pas été fait par R. FRON sur les premiers faisceaux livrés, il est bon de protéger les soudures de rattachement par 10 à 15 cm d'un fourreau unique en plastique thermo rétractable. Cet artifice rigidifie le rattachement des cables au connecteur, mais protège également des perturbations thermiques extérieures les soudures des cables mesures sur le connecteur, source éventuelle d'effets thermo-électriques parasites.

Les sondes sont constituées d'une panne de fer à souder ERSA-Minor prévue pour dégager 6 W sous 6 Volts, et d'un thermocouple Cu-Ct, noyé dans un tube métallique relativement fin. La soudure chaude, à l'extrémité du tube support est isolée électriquement du support et de l'extérieur. La soudure froide est noyée dans un bloc plastique qui assure sa stabilité en température et la relie à la sonde chauffante en un bloc solidaire d'où sortent les deux cables "mesure" et "chauffe".

Théoriquement tout doit être étanche et bien isolé, mais le plastique utilisé ne colle parfois pas parfaitement aux hampes des sondes "mesure" et "chauffe", ou au départ de cable. Il convient alors de parfaire l'étanchéité avec du vernis à ongle, pour éviter les pénétrations d'eau qui provoquent des courts-circuits entre le circuit mesure et la chauffe. Une sonde dont le circuit mesure n'est pas parfaitement isolé du circuit chauffe ou même de la hampe extérieure du thermocouple est inutilisable, à cause des courants parasites introduits dans le circuit mesure. Cela peut se tester en noyant la sonde dans un verre d'eau salée ou acidulée, en vérifiant que les indications du boîtier de mesures concernant T sur l'écran (8) restent vraisemblables (quelques 1/10 de °C). Un test plus rapide consiste à court-circuiter les hampes des deux sondes "mesure" et "chauffe", et de vérifier que l'indication de (8) n'est pas modifiée.



Les sondes défectueuses doivent être éliminées, mais l'on peut toujours reconstituer des faisceaux complets par soudures sur le connecteur à 19 directions, dont nous donnons ci-après le schéma de montage.

3 - UTILISATION DE L'HUMIDIMETRE

3.1. Mise en place du faisceau de sondes

Nous avons déjà souligné la nécessité de la parfaite étanchéité des sondes, pour s'affranchir des courants électriques parasites. Il convient d'aborder maintenant leur installation in situ, en gardant à l'esprit leur relative fragilité, et la nécessité de maintenir entre sonde "mesure" et sonde "chauffe" un écartement aussi constant que possible de 1,5 cm.

La sonde chauffe est relativement robuste et dépasse de plus de 1,5 cm la sonde mesure. Elle servira donc de guide lors de l'introduction nécessairement simultanée des deux sondes.

Dans la plupart des cas il convient de préparer cette introduction par deux avants-trous, espacés de 1,5 cm, effectués à l'aide de tournevis d'horloger, ou de trocarts chirurgicaux. L'avant-trou destiné à la sonde mesure doit être trop court de 1 à 2 mm afin de permettre un bon contact thermique entre l'extrémité du thermocouple et le sol.

Les sondes étant étanches on peut en principe les mettre dans n'importe quelle position, y compris la verticale en laissant à l'air libre le bloc plastique. Il est cependant préférable de les introduire horizontalement, les sondes "chauffe" et "mesure" restant dans un même horizon, à partir d'une fosse plus ou moins large selon la profondeur à équiper.

Afin de perturber le sol au minimum il convient de placer les sondes sur le côté amont de la fosse, en creusant éventuellement une petite niche pour éliminer les effets de bord. Le sol sera reconstitué, horizon par horizon le plus tôt possible.

Enfin il ne faut pas placer deux sondes trop près l'une de l'autre afin d'éviter l'influence du choc thermique de l'une sur sa voisine.

Il est bon de profiter de l'installation des sondes pour faire des prélèvements de sol du niveau équipé, par exemple en profitant des déblais de la niche d'installation, et de déterminer l'humidité volumique à l'installation.

Le connecteur du faisceau sera protégé par un sac plastique et attaché suffisamment au-dessus du sol pour éviter les salissures.

3.2. Réalisation des mesures

Le profil de sonde est supposé installé comme indiqué précédemment.

- 1 - Sortir l'appareil de sa caisse de protection capitonnée
Vérifier qu'aucune pièce interne n'est détachée
Vérifier que l'interrupteur général est sur arrêt.

- 2 - Placer l'appareil sur un support stable, à portée de la source d'alimentation 12 V continu et du faisceau de sonde, à l'abri du soleil, de la pluie et de la poussière.
- 3 - Brancher le faisceau de sonde, sans torsion des cables, avec soin sur le connecteur (3).
- 4 - Brancher la source d'alimentation en respectant la polarité du cable (1), rouge au +, noir au -
- 5 - Sélectionner la durée de chauffe 30" ou 60" par l'interrupteur (6).
- 6 - Mettre l'appareil sous tension grâce à l'interrupteur général (2).
Les quatre écrans doivent s'allumer :
 - écran (7) - la tension d'alimentation se stabilise (entre 9,5 et 13 Volts).
 - écran (8) - le microvoltmètre; après stabilisation, donne la différence de température initiale entre soudure froide et chaude de la sonde de mesures c'est-à-dire quelques 1/10 de °C si le sol est en équilibre thermique.
 - écran (9) - l'ampèremètre de l'intensité de chauffe oscille sur 000/001.
 - écran (10) - la visualisation de la sonde en service annonce 0 pour la 1ère.
- 7 - Préparer et remplir la fiche de mesure correspondant au profil, et à la sonde sur le profil, branchée sur le boîtier mesure, cf. annexe.
- 8 - Initialiser et lancer le programme de mesure en appuyant franchement et brièvement sur l'interrupteur poussoir (4). La sonde 0 est en service.
 - Lire sur (8) la température T ; noter jusqu'au début de la chauffe plusieurs T de façon à déterminer une moyenne si T oscille autour d'une valeur moyenne T_0 , ou une tendance à la hausse ou la baisse vers T_0' virtuel qui permettrait une correction ultérieure pour l'évaluation de l'élévation de température T_{MAX} .
- 9 - La chauffe se déclanche :
 - noter sur (9) l'intensité de la chauffe par ses valeurs maxima et minima.
 - vérifier de temps à autre la stabilité du temps de chauffe par chronométrage de l'apparition et de la disparition d'une intensité $\neq 0$ sur (9).

- surveiller sur (8) l'élévation de T, perturbée tant que dure la chauffe par des effets électromagnétiques induits par le courant de chauffe.

10 - La chauffe s'arrête :

- suivre l'élévation de température T et noter au passage le maximum T_{MAX}
- Calculer l'élévation de température T_M due au choc thermique en faisant $T_{MAX} - T_0$ ou $T'_{MAX} - T'_0$ selon la stabilité de la température initiale.

11 - Guetter le passage de la sonde 0 à la sonde 1.

Recommencer la suite d'opérations depuis 7.

12 - Idem pour les directions 2 et 3, puis éventuellement après retour automatique sur 0, 1, 2, 3 puis 0, 1, 2, 3 etc.

13 - Remarques :

- . L'interrupteur (5) permet d'accélérer le défilement du programme. Tant que ce poussoir est enfoncé, le programme présente rapidement chaque direction tour à tour, sans qu'il n'y ait de chauffe, afin d'éviter des chocs thermiques perturbateurs, même très brefs.

Il suffit d'interrompre brusquement cette poussée à l'apparition de la bonne direction pour redébuter le programme à cette position.

Il ne faut pas abuser de cette possibilité, qui permet d'accélérer la fréquence des chocs, mais ne laisse plus au sol le temps de se rééquilibrer thermiquement.

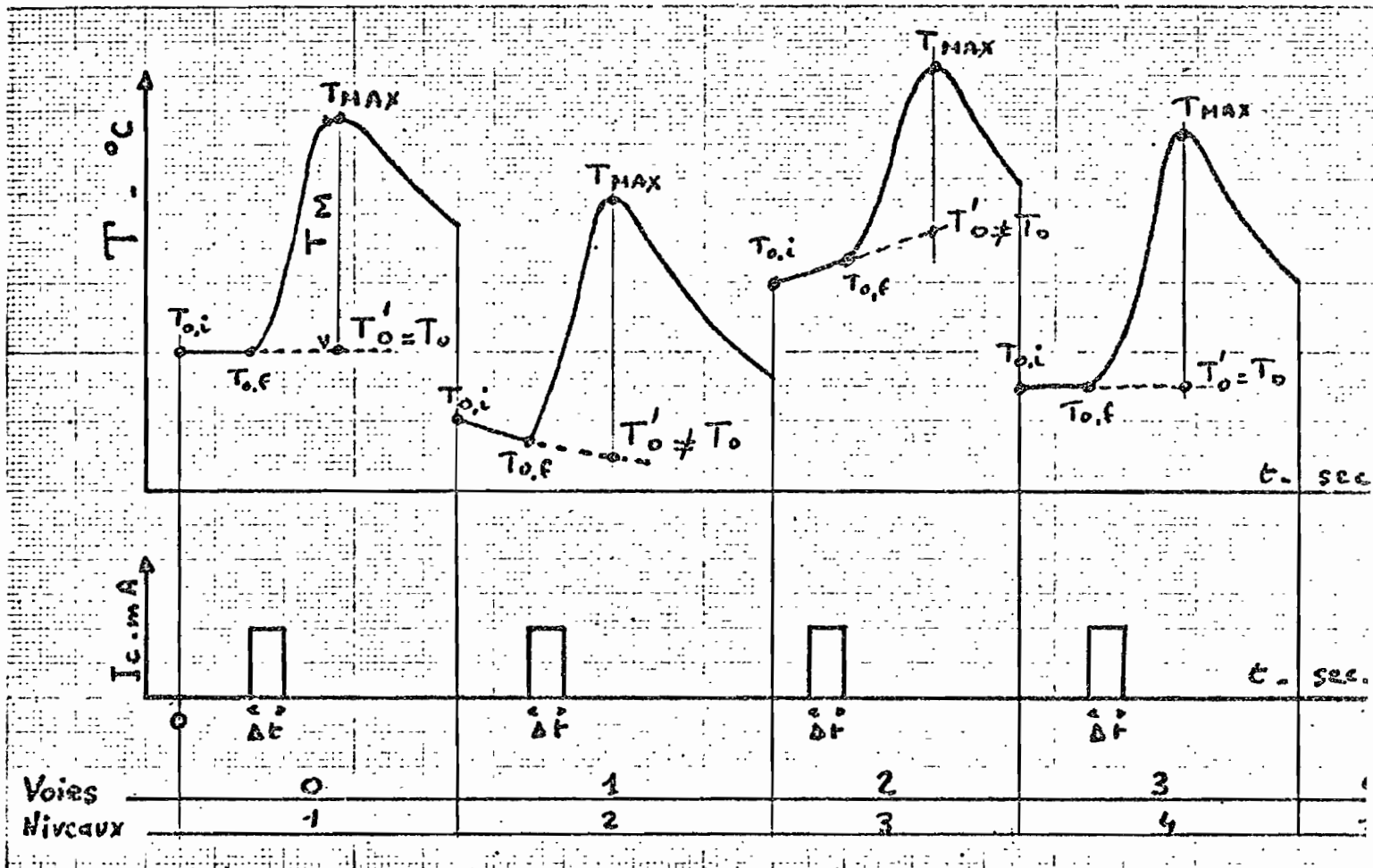
- . Le changement de faisceau de sonde doit s'effectuer avec l'appareil hors circuit.

- . La modification de la durée de chauffe doit également se faire l'appareil hors circuit.

- . Puissance de chauffe et durée de chauffe resteront stables avec une même sonde, tant que la tension d'alimentation restera comprise entre 9,5 et 13 Volts.

Une fois le comportement de chaque sonde connu, il n'est donc plus nécessaire, sauf à titre de vérifications périodiques, de vérifier l'intensité ou la durée de la chauffe. Il est préférable de se concentrer sur la lecture de T_0 et T_{MAX} .

SCHEMA des MESURES \approx UN PROFIL



3.3. Précautions diverses

Le boîtier de mesure est en principe protégé contre bon nombre de manipulations abusives. Il faut lui éviter les chocs, l'eau et les poussières.

La principale cause de panne reste l'utilisation des sondes.

Le circuit chauffe peut être interrompu :

- par coupure dans la sonde - irréparable.
- par coupure aux soudures du connecteur ou mauvais contact au niveau des fiches du connecteur ou des pastilles des relais internes - réparable.

Le circuit mesure peut être interrompu ou compromis :

- par coupure au niveau des sondes - irréparable.
- par mauvaise étanchéité - à revoir avec du vernis à ongle.
- par mauvais contact au niveau du connecteur - réparable.
- par panne interne - réparable après localisation éventuelle.

Les circuits internes du boîtier interne, malgré leur robustesse peuvent être défectueux. Il est préférable de renvoyer alors l'appareil aux établissements R. FRON.

Les circuits intérieurs sont protégés par une couche d'isolant électrique transparent, qu'il faut nettoyer avant toute action.

4 - ETALONNAGE ET LIMITES DE L'UTILISATION DE L'APPAREIL

Nous ne prendrons en compte ici qu'un étalonnage simplifié, généralement suffisant dans les cas courants.

L'étalonnage consiste donc à établir la droite :

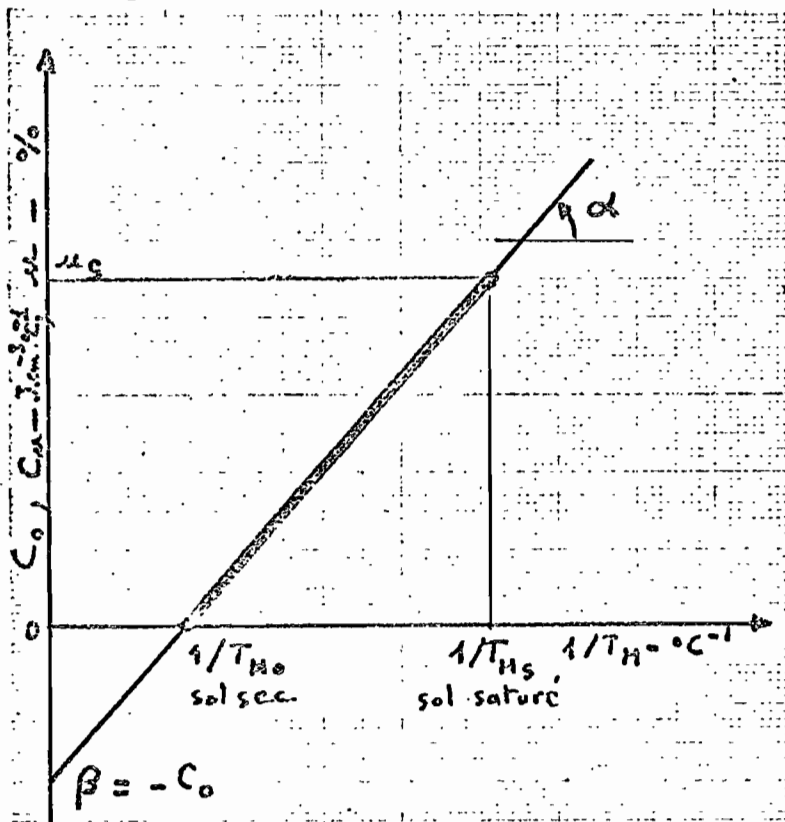
$$u = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \quad \text{en coordonnées} \left(u, \frac{1}{T_M} \right)$$

pour différents couples $(u_i, 1/T_{M,i})$

Deux prélèvements à l'état sec et à saturation suffisent en principe à l'étalonnage numérique ou graphique, mais il est préférable si possible de multiplier les prélèvements.

Des prélèvements de sol au voisinage de la sonde de mesure, et dans le même horizon, permettent de connaître l'humidité volumique par l'intermédiaire de l'humidité massique et de la densité apparente du sol. Des mesures simultanées de T_M avec l'humidimètre permettent de constituer un tableau des $(u_i, 1/T_{M,i})$ dont le report est facilité par un graphique gradué en u_i et $T_{M,i}$ directement.

Il est alors facile de tracer la courbe d'étalonnage correspondant à la sonde en place.



Mais on peut avoir directement une bonne représentation des variations de l'humidité en fonction du temps en reportant directement sur un graphique les $1/T_{M,i}$ successifs. On sait que la courbe tracée entre ces points représente à une homothétie près la variation de l'humidité, dont l'échelle peut être précisée par des valeurs significatives :

- l'état sec généralement accessible sans mesure en fin de saison sèche, de manière cependant précise ;
- l'état à la capacité de rétention, correspondant généralement à une humidité volumique connue pour un sol déterminé, apparaissant sur les graphiques sous forme de rupture de pente entre la baisse de l'humidité rapide puis lente.

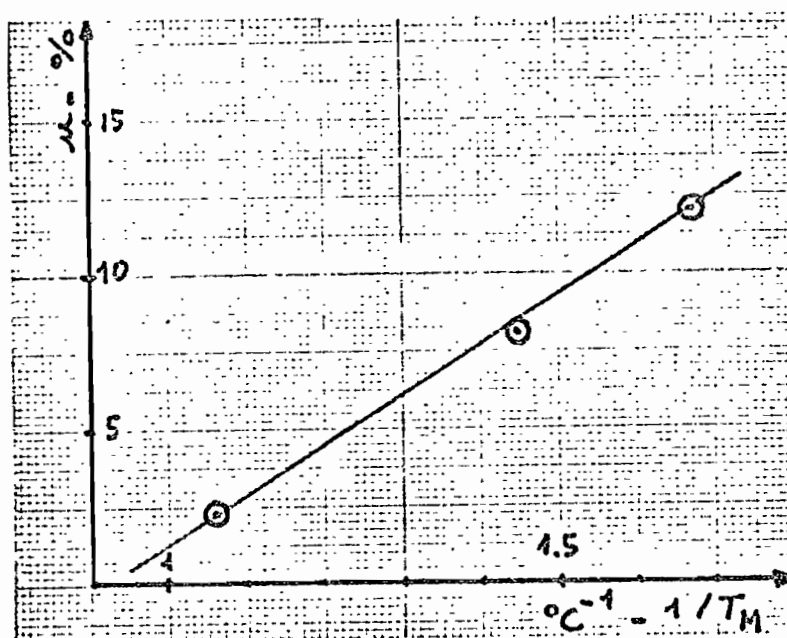
Il peut être instructif de tracer sur un même graphique les courbes d'étalonnage correspondants aux différents niveaux d'un même profil.

5 - EXEMPLES D'EXPLOITATION DE L'HUMIDIMETRE A CHOCS THERMIQUES

Nous donnons ci-après en exemple certaines mesures faites par Mr CHEVALIER sur les B.V. de la mare d'OURSI à la sonde n° 5, profondeur 15 cm, du site L5. Le sol est sableux sous couverture végétale naturelle. La durée de chauffe Δt est de 30".

Trois séries de prélèvements ont été faites qui fournissent un étalonnage satisfaisant entre 0 et 10 % d'humidité volumique.

T_0 °C	T_{MAX} °C	T_M °C	$1/T_M$ °C ⁻¹	u %
-2,38	-1,44	0,94	1,06	2,3
1,87	2,56	0,69	1,45	8,0
2,71	3,31	0,60	1,67	10,8



Les fiches de mesures suivantes permettent de reconstituer les variations de l'humidité du sol du 11/11/1979 au 15/12/1979.

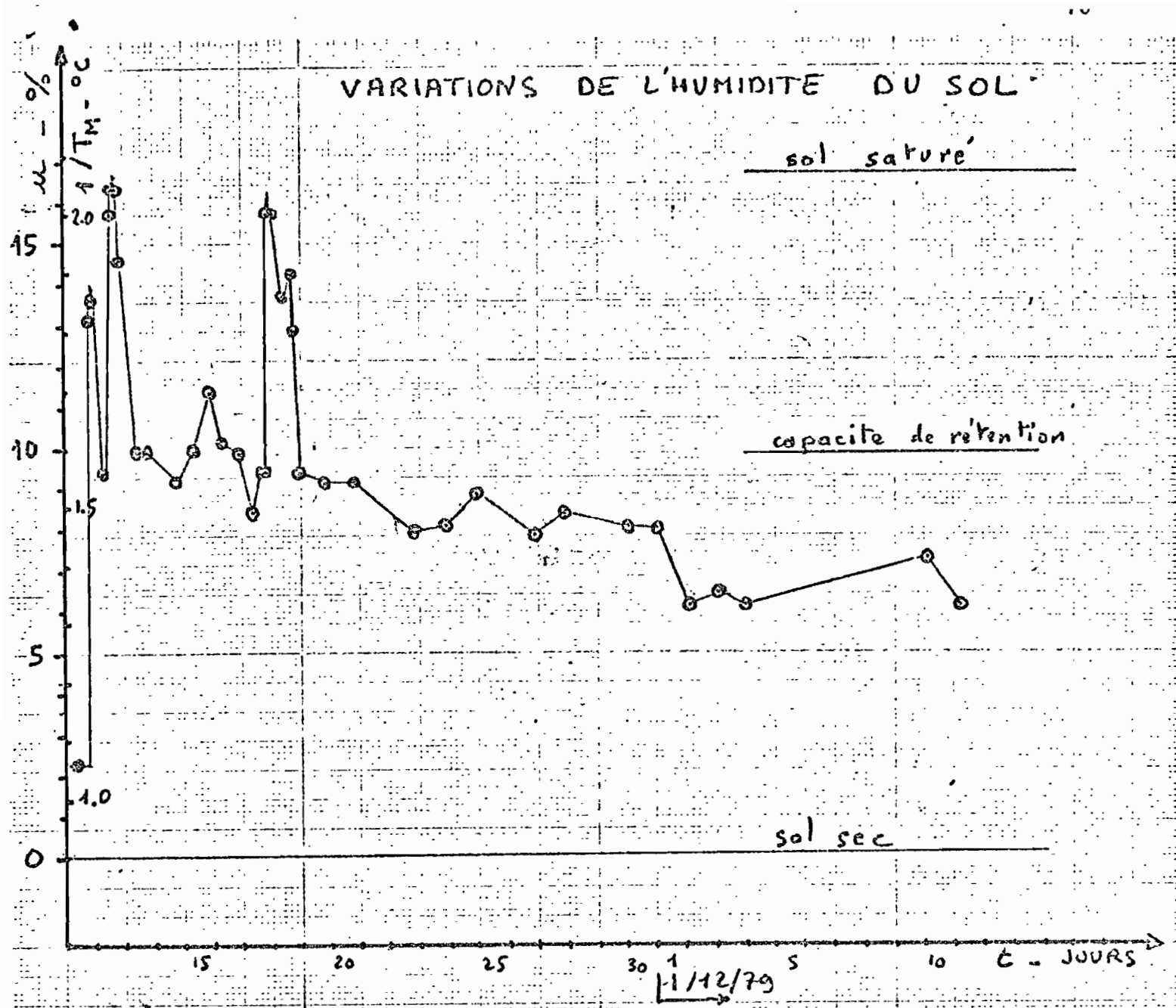
Nous avons intentionnellement laissé la double graduation des ordonnées en % pour u et en °C⁻¹ pour $1/T_M$, afin de montrer la facilité que représentent les reports en $1/T_M$ avant d'avoir obtenu un étalonnage satisfaisant.

MESURE DE L'HUMIDITE PAR CHOCS THERMIQUES

ORSTOM-ADIOPODOUME

SITE : FEUILLE N° :
 PROFIL : SONDE N° : Installée le :
 PROFONDEUR :
 BOITIER DE MESURE :
 TEMPS DE CHAUFFE Δt :

date	heure	UBAT	I C		T _o		T _o	T' _o	T _{MAX}	T _M	1/T _M	u%	observation
			i	f	i	f							
11.11	11.49	12.3	804	803			-2.38		-1.44		1.06	2.4	prélèvement
	⊗	pluie											
	18.35	12.0	809	810			1.38		1.93		1.82	13.0	
	18.52	12.0	809	810			1.71		2.26		1.82	13.0	
	19.01	12.0	809	810			1.80		2.34		1.85	13.5	
	19.19	12.0	809	810			1.86		2.40		1.85	13.5	
12.11	8.41	12.0	809	810			2.45		3.09		1.56	10.8	
	⊗	pluie											
	13.40	12.2	808	810			1.84		2.34		2.00	15.6	
	13.50	12.2	808	809			1.99		2.48		2.04	16.1	
	13.58	12.1	808	809			2.07		2.56		2.04	16.1	
	14.17	12.0	808	810			2.02		2.54		1.92	14.4	
	17.57	12.5	809	810			2.32		2.84		1.92	14.4	
13.11	10.25	12.3	809	810			2.42		3.05		1.59	9.8	
	17.49	12.2	809	810			2.01		2.64		1.59	9.8	
14.11	17.56	12.4	808	810			1.96		2.61		1.54	9.1	
15.11	9.27	12.4	808	810			2.26		2.89		1.59	9.8	
	18.14	12.4	808	809			2.13		2.72		1.69	11.2	
16.11	8.40	11.8	808	809			2.23		2.85		1.61	10.1	
	17.42	11.9	807	809			1.96		2.59		1.59	9.8	
17.11	8.47	12.6	809	810			2.28		2.95		1.49	8.4	
	15.41	11.8	807	808			2.00		2.64		1.56	9.4	
	⊗	pluie											
	18.07	12.0	811	810			1.82		2.32		2.00	15.6	
	18.16	12.0	809	811			1.93		2.43		2.00	15.6	
18.11	8.08	11.8	810	811			2.74		3.28		1.85	13.5	
	⊗	pluie											
	10.11	11.8	809	811			1.94		2.47		1.89	14.0	
	10.26	11.8	809	810			2.00		2.56		1.79	12.6	
	17.52	11.9	809	811			2.23		2.87		1.56	9.4	
19.11	17.10	11.8	809	810			2.02		2.67		1.54	9.1	



Il est probable, dans ce cas, qu'une durée de chauffe $\Delta t = 60''$ aurait donné de meilleurs résultats, mais aurait également bien sur rendu difficile une répétitivité des mesures.

En conclusion c'est donc à chaque utilisateur d'utiliser au mieux, en fonction du sol appréhendé et des contingences temporelle des mesures à faire, les possibilités de l'appareillage ainsi fourn

Ce seront les multiples mesures, faites par plusieurs dans des contextes différents qui seules permettront un perfectionnement de l'appareillage, une amélioration des étalonnages et des procédures d'utilisation.