

Zeitschrift:	Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Annuaire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative
Herausgeber:	Schweizerische Naturforschende Gesellschaft
Band:	160 (1980)
Artikel:	Le développement d'un lysimètre à pesées
Autor:	Primault, Bernard
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-90779

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Le développement d'un lysimètre à pesées

Bernard Primault

Résumé

Après avoir défini les grandeurs les plus usitées (évapotranspiration potentielle et réelle) et présenté les instruments qui servent à les mesurer, l'auteur fait l'historique du développement des lysimètres. Il en décrit brièvement les types les plus importants et souligne pour chacun d'eux les qualités et les défauts. Il termine par l'énumération des erreurs commises lors de la construction du prototype de l'ISM et met l'accent sur les précautions à prendre dès la planification de tels instruments.

Zusammenfassung

Zuerst werden die verwendeten Größen, wie potentielle und reelle Evapotranspiration, definiert. Hernach wird auf den Unterschied der verwendeten Instrumente hingewiesen. Anschliessend wird die historische Entwicklung der Lysimeter dargestellt und werden die wichtigsten Typen beschrieben. Für jeden Typ werden die Vor- und Nachteile angegeben. Schliesslich werden die Fehler, die beim Bau des Prototyps der SMA begangen wurden, sowie die Vorsichtsmassnahmen, die bei der Planung solcher Instrumente zu treffen sind, aufgezeigt.

Introduction

Dans bien des domaines de l'activité humaine, il est indispensable de connaître les quantités d'eau qu'un sol et la strate végétale qu'il supporte rétrocèdent à l'atmosphère. Ces pertes sont un des éléments importants du calcul du bilan hydrique.

Pourtant, il s'agit là d'une des grandeurs météorologiques les plus difficiles à saisir soit par le calcul, soit par la mesure elle-même.

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il est indispensable de définir certaines grandeurs et certains mots afin que chacun parle le même langage ou qu'au moins chacun comprenne les orateurs d'une manière univoque.

Définitions

Evapotranspiration

Comme le vocable lui-même le laisse supposer il s'agit de deux phénomènes distincts, mais concomitants. L'un concerne le sol seul (évaporation) c'est-à-dire les pertes d'eau des cavités du terrain vers l'atmosphère. L'autre (transpiration) concerne ce que les plantes dégagent dans l'air ambiant par leurs stomates, leurs lenticelles ou leur épiderme. Ainsi, les deux quantités s'ajoutent. Elles sont commandées par les mêmes conditions ambiantes, à savoir l'état de l'atmosphère (température, humidité, rayonnement et vent).

ETP

On parle d'évapotranspiration *potentielle* si la culture est alimentée en eau de façon optimum et cela en permanence. Il ne s'agit donc ni d'un sol saturé qui empêcherait le système radiculaire de respirer, ni d'un sol desséché mettant la plante sous contrainte de sec, mais d'un sol maintenu au voisinage de sa capacité au champ.

ETR

Lorsqu'un sol se dessèche, la couverture végétale est soumise à des contraintes. Il y a déséquilibre entre les besoins des parties aériennes de la plante et les quantités d'eau que peut lui fournir son système radiculaire. En conséquence, la plante réagit en dimi-

nuant la transpiration par la fermeture progressive de ses stomates. On a alors l'évapotranspiration réelle.

ETR peut être égal à ETP (après une pluie récente), mais est généralement inférieur à cette valeur.

Evapotranspiromètre (Burgos, 1950)

Pour mesurer ETP, on utilise des appareils où le niveau de la nappe phréatique est maintenu constant afin d'alimenter les plantes en eau de façon optimum et cela quelles que soient les conditions atmosphériques. Ce sont des évapotranspiromètres.

Lysimètre (Uehara and Matsuda, 1968)

Pour mesurer ETR, il est indispensable que le sol puisse se dessécher progressivement au gré de l'utilisation de l'eau par les plantes d'une part, du drainage naturel vers le bas ou percolation d'autre part.

Dans ces appareils, on ne rencontre donc jamais de nappe phréatique. Il faut qu'ils soient suffisamment profonds pour permettre un drainage qui se rapproche des conditions rencontrées dans la nature. L'eau résultant de ce drainage doit pouvoir s'écouler librement. En outre, il faut, par les dimensions de l'instrument, éviter une trop grande importance des effets d'oasis (Randeffekten). La différence fondamentale existant entre ces deux appareils est donc leur profondeur et surtout la conception du fond de l'appareil. Dans ce qui suit, nous ne parlerons plus que des lysimètres, c'est-à-dire d'appareils destinés à la mesure de l'évapotranspiration réelle (ETR).

Les différents types

La nécessité de la mesure de ETR a été reconnue depuis longtemps. Aussi n'est-il pas étonnant de trouver dans la littérature de très nombreuses propositions pour la construction d'appareils permettant cette mesure.

Pesées individuelles (Fig. 1) (Klockow, 1958)

Les plus anciens de ces instruments sont probablement ceux proposés par Popov. Il s'agissait de petites cuves de 30 cm de diamè-

tre et de 50 cm de profondeur, au fond non étanche et placées dans des tubes de fonte. Sous ces cuves, un entonnoir rassemblait l'eau de percolation et la déversait dans un récipient.

La mesure s'effectuait par l'extraction journalière de la cuve, sa pesée sur une balance portative et la mesure de l'eau de percolation recueillie au fond du tube.

De tels instruments ont pour défaut principal d'être trop peu profonds pour permettre un drainage «naturel» et un développement harmonieux du système radiculaire de la couche végétale. Leur surface est en outre trop petite pour éviter les effets d'oasis. C'est la raison pour laquelle, au cours des années, on a augmenté et la surface et la profondeur de tels instruments. Pour la pesée journalière, il faut alors disposer d'engins de levage (chèvre et palans) et de balances de plus en plus grandes. Ceci a conduit à des installations très importantes.

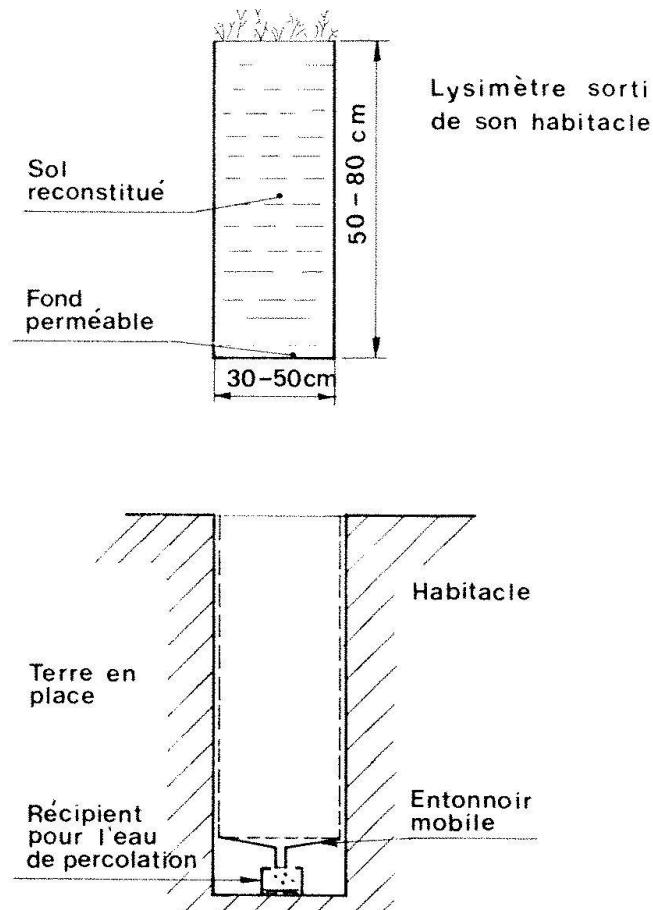


Fig. 1. Schéma d'un lysimètre de Popov.

Pesée continue (Fig. 2) (Pruitt and Angus, 1960)

La pesée individuelle permettait d'avoir une idée globale de ETR pour les intervalles de temps séparant les pesées. On a cependant rapidement voulu connaître l'évolution de ce paramètre au cours de la journée et surtout suivre le travail des plantes en fonction des variations des conditions météorologiques. Ceci impliquait non plus des pesées sporadiques, mais un enregistrement continu de cette grandeur.

Pour ce faire, on a placé les cuves sur des balances de type classique à contrepoids ou romaines. Elles étaient utilisées sporadiquement au début. On les a ensuite couplées à des enregistreurs.

Quel que soit le type de balance utilisé (portatif ou fixe), il existe toujours une relation entre le poids total et la précision. Ainsi, plus les cuves s'agrandissaient et partant leur poids augmentait et plus la précision de la pesée diminuait. Comme l'unité de mesure des précipitations est le dixième de millimètre (100 gr m^{-2}), la précision indispensable

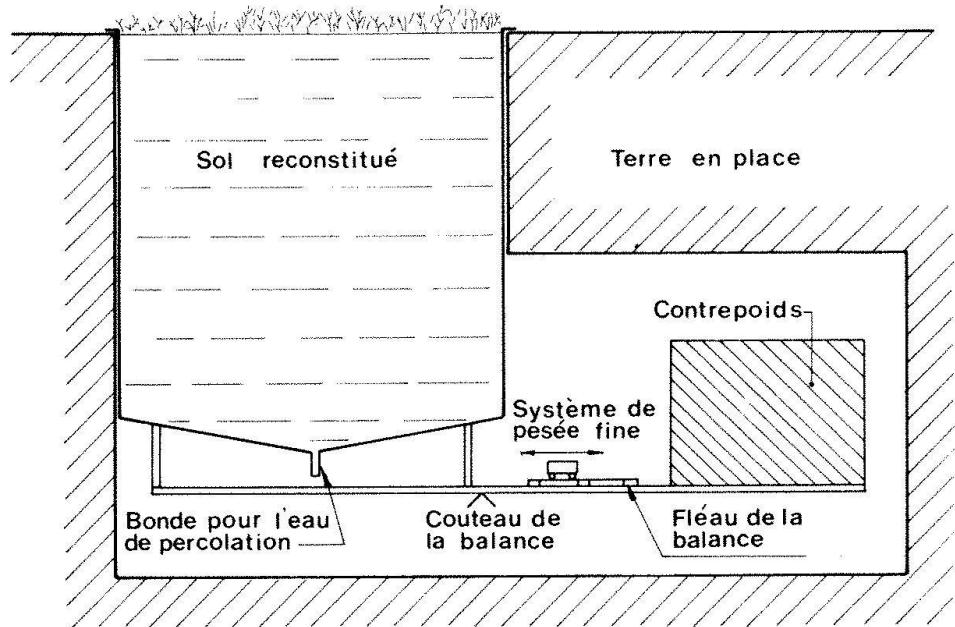


Fig. 2. Lysimètre à pesée classique.

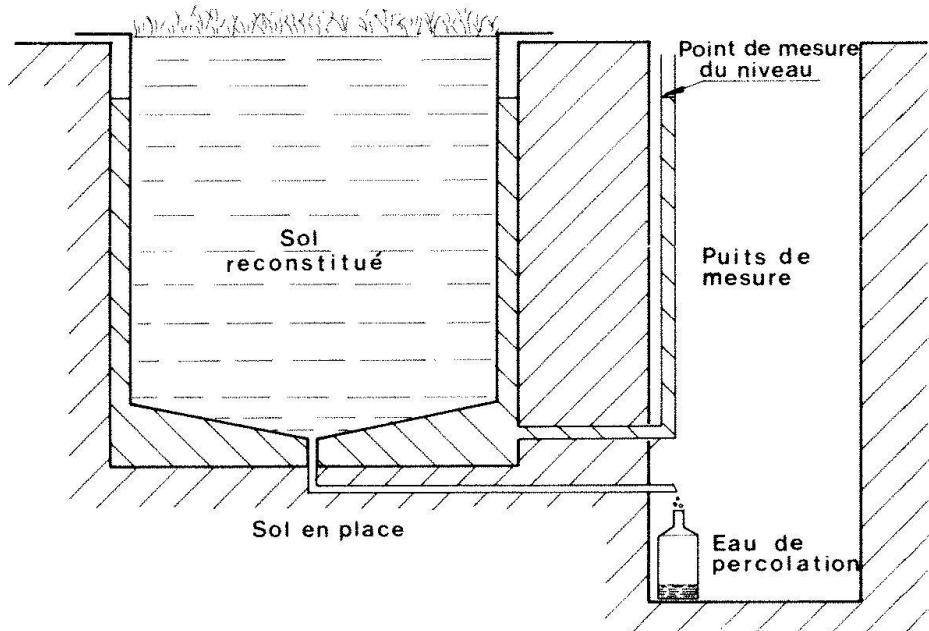


Fig. 3. Lysimètre flottant.

pour un lysimètre cylindrique ayant 1 m de diamètre d'ouverture doit être de ± 80 gr. Une précision de $\pm 1:1000$ limite donc la profondeur à environ 78 cm, ce qui exclut pratiquement le drainage naturel exigé par la définition.

Lysimètre flottant (Fig. 3) (Salati et al., 1966)

Pour parer à cet inconvénient, on a cherché une solution totalement différente. On a placé les cuves contentant le sol et sa couverture végétale dans des bacs contenant un liquide lourd. Il s'agissait en effet d'utiliser le principe d'Archimète pour contrebalancer le poids de la cuve, de son contenu et de sa couverture. En mesurant très exactement le niveau du liquide on pouvait calculer le poids total et, par sa variation, obtenir le résultat escompté, c'est-à-dire la valeur ETR. Cette idée, si attrayante soit-elle, se heurte à une difficulté majeure: les fluctuations de la température. En effet, tant la cuve et son contenu que le liquide de mesure lui-même sont soumis au cours de l'année, voire au cours d'une seule journée, à des fluctuations de température. Par conséquent, le volume de la cuve aussi bien que la densité du liquide de mesure varient. Afin d'obtenir la précision voulue dans la mesure finale, il est indispensable de corriger les valeurs du niveau supérieur du liquide par des calculs basés sur la température. Mais comme ni la cuve, ni le liquide de mesure n'ont une

température uniforme, il est indispensable, pour atteindre la précision voulue d'effectuer des mesures de température en plusieurs endroits ce qui nécessite l'engagement de systèmes compliqués.

«Bouillottes de caoutchouc» (Fig. 4) (Holmes, 1965)

Pour diminuer le volume du liquide utilisé et se libérer des contraintes résultant des variations du volume de la cuve, on a imaginé de placer la cuve sur une sorte de bouillotte de caoutchouc remplie d'un liquide quelconque. Le liquide étant incompressible, le poids de la cuve se traduit par une pression à l'intérieur de la bouillotte. Il suffit alors de mesurer très exactement cette pression pour obtenir le poids total de la cuve, du bloc de sol qu'elle contient et de la couche végétale qui le surmonte.

Si ce système permet de tourner la difficulté des variations de volume de la cuve, il est entaché des mêmes sources d'erreur en ce qui concerne le liquide de mesure. Celui-ci se dilate ou se contracte sous l'effet des variations de la température et sa densité, partant la pression mesurée, varie. Comme tout le liquide de mesure se trouve sous la cuve, c'est-à-dire dans un endroit où les variations de température sont faibles et surtout lentes, on peut se contenter d'un ou au plus deux points de mesure de la température pour effectuer les corrections nécessaires.

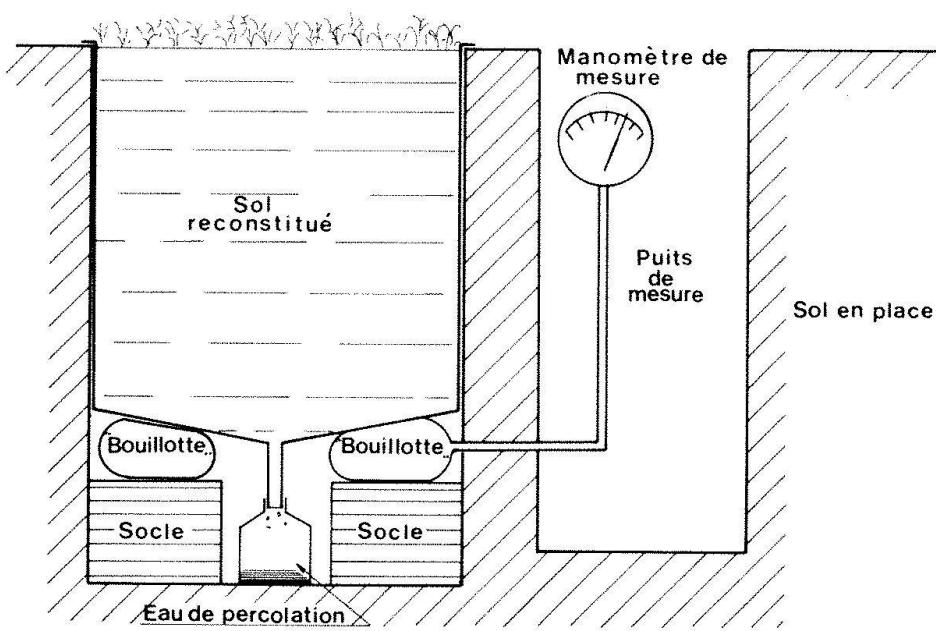


Fig. 4. Lysimètre à «bouillotte de caoutchouc».

Pesée électronique (Fig. 5) (Hand, 1968)

Grâce au développement de l'électronique, il est aujourd'hui possible de fabriquer des pesons dans lesquels les effets de variations de température sont compensés directement. En utilisant cette méthode, on obtient les mêmes avantages qu'avec les bouillottes (pas d'influence de la variation du volume de la cuve) sans en avoir les inconvénients. Ce système a en outre l'avantage de permettre d'augmenter sensiblement le poids total à mesurer, car sa précision est supérieure de plusieurs décimales à celle des balances classiques.

Le prototype ISM (Primault, 1970)

Système choisi

De ce qui précède, on peut immédiatement tirer la conclusion que le système choisi pour notre prototype a été la pesée électronique. En effet, nous désirions au départ posséder une cuve de 2 mètres de diamètre au moins afin de limiter les effets d'oasis dans une culture basse: la prairie. En outre, pour permettre un drainage pouvant être taxé de «naturel», nous partions d'une profondeur de 2 mètres au minimum. Ce sont ces valeurs minimales qui ont été réalisées, ce qui donne

un bloc de terre de 9000 kg au moins (à l'état sec).

Conception générale

Pour diminuer le poids à peser, c'est à dire la terre, l'eau et l'herbe plus la cuve devant contenir le tout, il fallait choisir pour cette dernière un matériau léger. Nous avons adopté un plastique renforcé de fibre de verre. Ce renforcement a été placé dans le sens circulaire pour que, sous l'effet des pressions intérieures, le diamètre ne se modifie pas. Nous avons en effet pensé qu'il était plus important d'avoir un diamètre constant qu'une profondeur constante.

La cuve ainsi réalisée devait être placée dans un puits comportant au-dessous une chambre de mesure suffisamment haute pour qu'on puisse s'y tenir debout. Un chemin d'accès à cette chambre devait être réalisé pour permettre d'une part l'évacuation de l'eau de percolation, d'autre part des visites fréquentes, voire l'apport de matériel volumineux (vérins hydrauliques par exemple). Pour éviter que l'eau de pluie et de fonte de la neige ne pénètre dans le puits ou dans la chambre de mesures, on a équipé la cuve d'une margelle de 10 cm de large. Celle-ci est inclinée vers l'extérieur avec un fruit de 3%. La cuve repose sur trois pesons formant un triangle équilatéral. Ces pesons sont placés sur des colonnes de béton armé coulées le long de la paroi de la chambre de mesure. Entre le peson lui-même et la colonne de béton, on trouve un système à rouleaux horizontaux perpendiculaires qui permet aux pesons de se déplacer latéralement de plus de 1 cm dans toutes les directions. Enfin, et pour garantir une horizontalité parfaite et une hauteur égale aux trois colonnes, le béton y est surmonté d'une plaque d'acier de blindage. Une précision de hauteur de ± 0.01 mm a été obtenue par le meulage sur place de la surface supérieure de cette plaque.

La mesure elle-même se fait à l'extérieur de la chambre. Les trois pesons sont connectés en série ainsi que les fils assurant la compensation thermique. Des mesures subséquentes ont montré que les trois pesons avaient toujours la même température (dans les limites de la précision instrumentale).

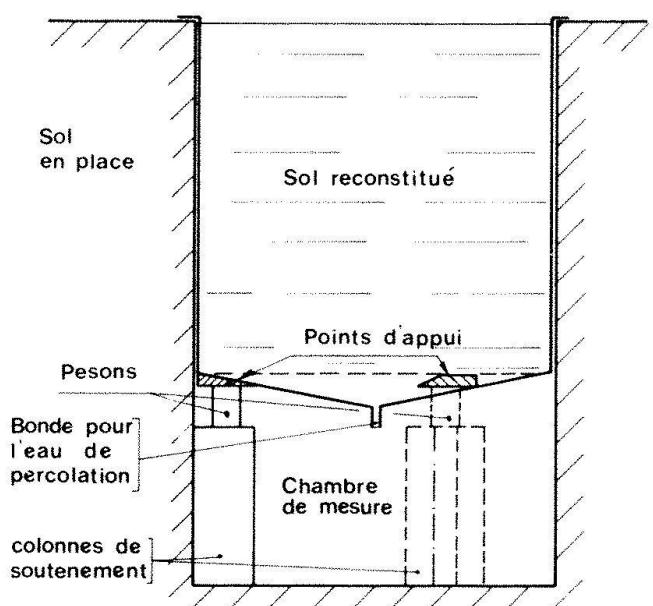


Fig. 5. Lysimètre à pesons électroniques.

Défauts du prototype

La raison d'être d'un prototype est d'acquérir une certaine expérience avec un concept nouveau et d'éviter aux utilisateurs potentiels de renouveler des erreurs faites. Aussi terminerons-nous cet exposé par des avertissements découlant de l'usage de notre appareil durant plusieurs années.

Le *centrage* de la cuve a une importance capitale. Aussi celle-ci ne devrait pas reposer uniquement et directement sur les pesons de mesure. Elle devrait être placée dans un cadre mobile permettant d'une part le libre jeu des poids mais assurant, d'autre part, un mouvement vertical sans faille. Dans notre cas, nous avons assuré le centrage par des balles de caoutchouc mousse placées entre la paroi du puits et la cuve. Ce système s'est cependant avéré insuffisant; l'élasticité des balles étant trop grande.

La cuve ne devrait *pas dépasser le bord* du puits de mesure de plus de 2 cm pour éviter une poussée latérale de la partie supérieure en cas de vent. Dans notre cas, elle est de 10 cm pour des raisons techniques.

Le *chemin d'accès* à la chambre de mesure située sous la cuve ne devrait pas être construit en ligne droite et devrait posséder une porte étanche. En effet, en cas de vent soufflant en rafales, il se produit des surpressions dans la chambre, surpressions qui faussent la mesure en soulevant la cuve. Dans notre cas, la porte n'est pas étanche, le couloir d'accès, de section très grande, est orienté vers le sud-sud-ouest. Par conséquent, lorsque le vent souffle en rafales, on peut mesurer des fluctuations du «poids de la cuve» de plus de 2 kg, soient des variations fictives de l'évapotranspiration réelle de près de 1 mm.

Il faut apporter une grande attention au *diamètre du puits* de mesure. Dans notre cas, le dit puits a un diamètre de 7 cm supérieur à celui de la cuve. En cas de précipitations et de températures voisines de zéro degré, de l'eau de condensation et de précipitations gèle dans cet intervalle. Cette glace peut empêcher tout mouvement vertical de la cuve elle-même, celle-ci étant collée à la

paroi du puits. Comme cet effet débute généralement d'un seul côté du puits, la cuve prend une position oblique ce qui surcharge un ou deux pesons par rapport aux autres. Il s'ensuit non seulement une erreur de mesure mais la possibilité de dommages sur les pesons eux-mêmes.

Enfin, il faut assurer *l'évacuation de l'eau* de percolation, même par températures très basses. Le bloc de sol contenu par la cuve ne gèle généralement pas, même si les températures extérieures - et, partant, celles de la chambre de mesure et du couloir d'accès - sont très basses durant une assez longue période.

Références

- Burgos, J.J. 1950: El Evapotranspirometro de Thornthwaite. Revista de la facultad de agronomía de la Plata, 1950, Tomo 27, 1-13.
- Hand, D.W. 1968: An Electrically-Weighed Lysimeter for Measuring Evaporation Rates. Agricultural Meteorology, 1968, Vol. 5, No. 4, 269-282.
- Holmes, R.M. 1963: Note on Hot Water Bottle Lysimeter. Canadian Journal of Soil Science, 1963, Vol. 43, 186-188.
- Klockow, W. 1958: Erfahrungen mit einer einfachen Anlage zur Bestimmung der Verdunstung. Annalen der Meteorologie, 1958, Band 8, Heft 5/6, 171-178.
- Primault, B. 1970: A Large-Scale Electronic Weighing Lysimeter for Agricultural Meteorology. Philips Serving Science and Industry, 1970, Vol. 16, No. 1, 10-11.
- Pruitt, W.O. and Angus, D.E. 1960: Large Weighing Lysimeter for Measuring Evapotranspiration. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1960, Vol. 3, No. 2, 13-18.
- Salati, E. et al. 1966: Instalação de um lisímetro de fluctuação. Boletim Técnico, Brazil, 1966, No. 3, 1-4.
- Uehara, M. and Matsuda, M. 1968: Determination of Evapotranspiration; I. A Sensitive Recording Lysimeter. Technical Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kagawa University, 1968, Vol. 20, No. 1, 57-60.

Adresse de l'auteur:

Dr. Ing. Bernard Primault
Institut suisse de météorologie
Krähbühlstrasse 58
CH-8044 Zürich