

Zeitschrift: Technique agricole Suisse
Herausgeber: Technique agricole Suisse
Band: 35 (1973)
Heft: 8

Artikel: Mesurages effectués sur un silo en plastique (renforcé par des fibres de verre) rempli de feuilles de betteraves
Autor: Göbel, W. / Schmidlin, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1083776>

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: 05.02.2026

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

- Descendre du tracteur.
- Déployer les bras à râteaux de l'andaineuse.
- Régler la profondeur de travail.
- Remonter sur le tracteur.
- Enculer la prise de force.

La phase de travail ou action complète en question se compose donc de sept actions partielles. Grâce à cette subdivision, chaque phase se trouve clairement définie et le temps de main-d'œuvre qu'elle exige peut être déterminé avec précision. Quand on connaît la durée d'une phase de travail, on peut calculer à l'aide d'un tableau ad hoc le temps de main-d'œuvre nécessaire à l'exécution d'une opération déterminée. L'Annexe 1 comporte un tel tableau. On y voit que l'opération «Mise en andains prêts pour le ramassage» doit être plus ou moins obligatoirement subdivisée en neuf phases et que le travail manuel qu'elle nécessite représente 0,99 heure d'unité de main-d'œuvre par hectare (h-UMO/ha), soit 1,0 h-UMO/ha en chiffre rond.

L'Annexe 2 contient un tableau pareil à ceux qui sont reproduits dans les «Normes de travail de la FAT». Au poste 08 «Tracteur avec andaineuse à toupie unique» (modèle de 2 m 80), on trouve dans la colonne «Parcelle de moyenne surface» le résultat du calcul qui vient d'être montré. La donnée numérique sus-indiquée figure aussi bien sous h-UMO/ha que sous h-UT/ha (heures d'unité de traction par hectare).

Comme les chiffres relatifs aux temps de main-

d'œuvre nécessaires englobent les temps de déplacement et les temps de préparation et qu'il est admis que l'on rentre à la ferme après avoir fini de travailler une parcelle, les temps exigés pour les déplacements et les préparatifs concernant une parcelle de 50 ares représentent par exemple le double de ce qu'ils sont pour une parcelle de 100 ares. En outre, il faut exécuter davantage de virages par hectare sur les petites parcelles du fait que le rapport existant entre leur largeur et leur longueur s'avère plus défavorable.

En Suisse, la superficie des parcelles varie dans une très large mesure. C'est la raison pour laquelle les temps de main-d'œuvre nécessaires ont été calculés pour des parcelles de trois grandeurs différentes (0,5 ha / 1,0 ha / 2,0 ha) dans les cas où la surface des parcelles exerce une influence importante.

3. Obtention des «Normes de travail de la FAT»

Cette documentation sera automatiquement envoyée à tous ceux qui sont abonnés à la «Documentation de technique agricole». Il est toutefois possible de l'obtenir séparément en s'adressant à la Station fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rural, à 8355 Tänikon (TG). Le premier numéro, qui contient des données numériques relatives aux temps de main-d'œuvre nécessaires pour la récolte des fourrages, en particulier pour l'opération du ramassage-rengrage, est déjà paru. Les numéros suivants seront publiés à intervalles réguliers.

Mesurages effectués sur un silo en plastique (renforcé par des fibres de verre) rempli de feuilles de betteraves

par W. Göbel et A. Schmidlin

1. Remarques introductives

A l'heure actuelle, une grande incertitude règne encore quant aux pressions exercées par les silages contre la paroi des silos-tours. Etant donné qu'il n'est pas possible de les connaître avec précision par des calculs théoriques ou des essais en laboratoire, le mesurage de ces pressions a été effectué dans quelques pays sur des silos utilisés par les

praticiens. Comme les pressions exercées par les silages dépendent de nombreux facteurs (notamment du genre de fourrage, de son degré de maturité, de sa teneur en matière sèche, de la longueur des brins d'un produit haché, de la construction du silo et de la technique de remplissage), on n'est pas parvenu jusqu'ici à obtenir des résultats vraiment

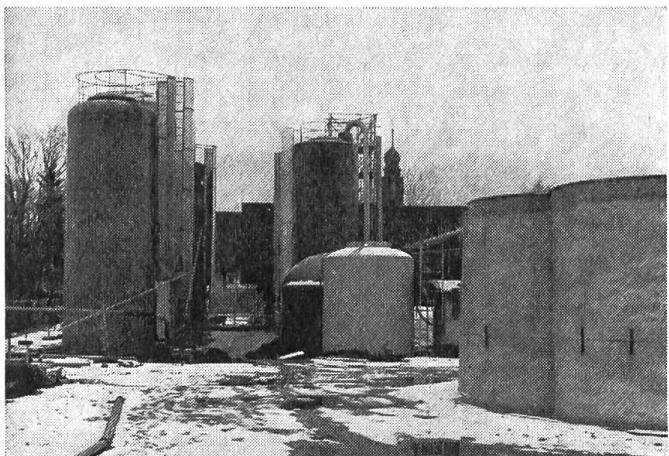


Fig. 1a: Batterie de silos à fourrages

valables. Des données précises concernant les sollicitations en question rendraient pourtant service au fabricant (il pourrait construire rationnellement et économiquement ses silos-tours) ainsi qu'à l'agriculteur (il disposerait d'un silo d'une durée utile de 15 à 20 ans). Ces remarques s'appliquent plus particulièrement aux silos-tours à paroi relativement mince.

C'est pourquoi la Station fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rural, à Tänikon, a décidé de procéder à ce sujet à une série de mesurages. Les fabricants de silos avaient mis à sa disposition plusieurs silos en matière plastique (renforcée par des fibres de verre), en acier et en bois afin de déterminer les contraintes que leur fait subir la masse de fourrage ensilée. C'est ainsi que diverses méthodes de mesure furent essayées au cours de trois années et que de nombreux résultats de ces mesurages ont pu être exploités. Au cours des lignes suivantes, il sera question des mesurages effectués en 1972 sur un silo-tour en plastique renforcé contenant des feuilles de betteraves (Fig. 1b).

2. Technique de mesure adoptée

2.1 Points de mesure

Les dimensions du silo sont indiquées sur les Fig. 2a et 2b. L'épaisseur de la paroi a été mesurée à 15 endroits à l'aide d'un instrument électromagnétique (à courants tourbillonnaires) (Fig. 3a) et contrôlée près des portes avec un tâteur (mesurages directs, Fig. 3a). L'instrument électromagnétique précité mesure

de manière non destructive l'épaisseur de la paroi en plastique, plus exactement dit la distance perpendiculaire à la verticale existant entre une feuille d'aluminium collée sur la face intérieure de la paroi et une sonde appliquée contre sa face extérieure.

La pression horizontale contre la paroi (ph) et la force de frottement contre la paroi (rw) ne peuvent pas être mesurées directement sur un silo en matière plastique renforcée par des fibres de verre. Ce qu'il est possible de déterminer par des mesures, c'est la dilatation de la paroi sur trois génératrices et à cinq niveaux dans les sens vertical et horizontal, soit à 15 endroits différents (Fig. 2a, 2b, 1b, 1c).

Les valeurs de ph et rw sont obtenues par le calcul à l'aide des chiffres enregistrés en mesurant cette dilatation si l'on connaît les diverses propriétés de la matière plastique utilisée pour la fabrication du silo. L'instrument employé pour mesurer la dilatation

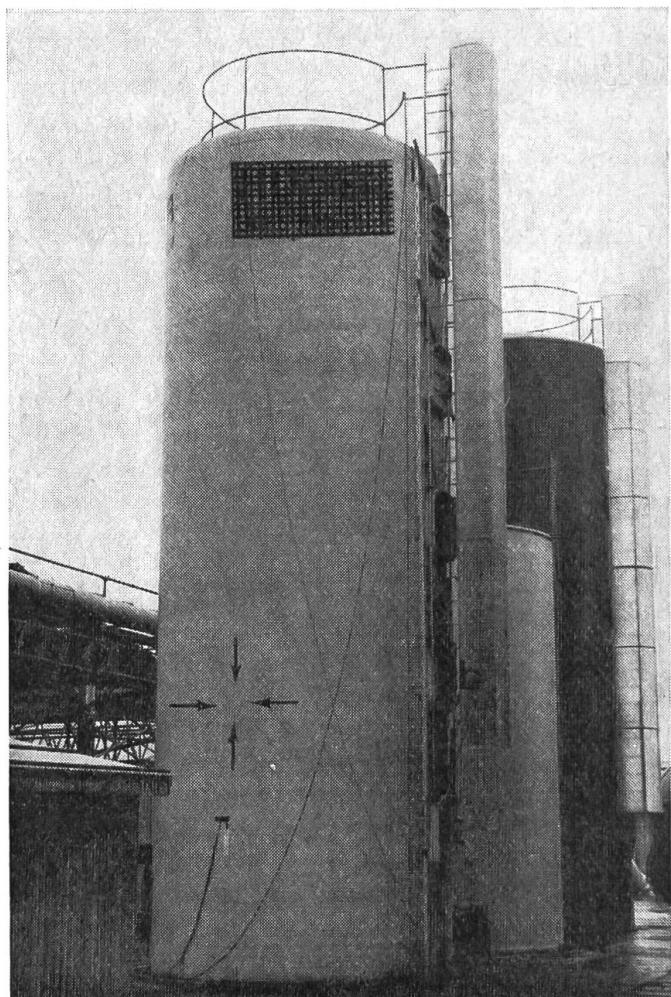


Fig. 1b: Silo ayant servi aux mesurages

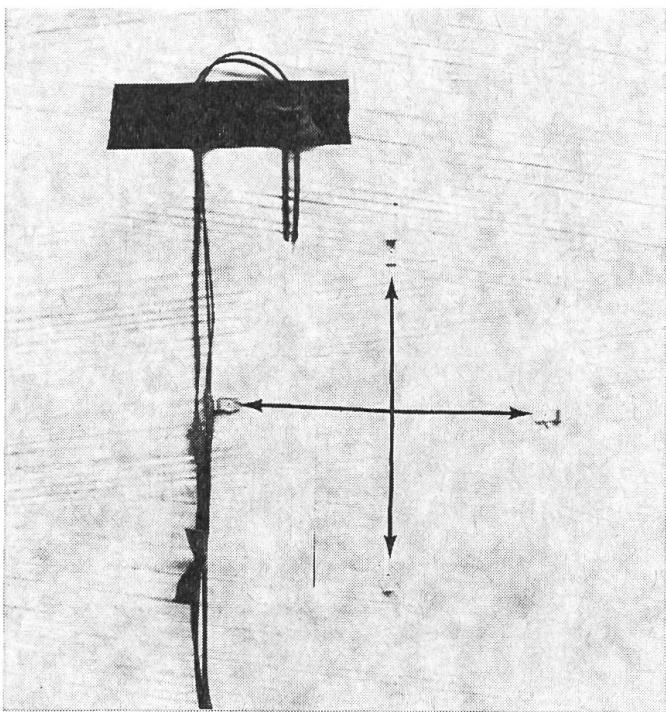


Fig. 1c: L'un des points de mesure

de la paroi est un déformètre (mod. D2), comme on l'appelle, de la firme Huggenberger, à Zurich. Sa base, qui sert aux mesurages, a une longueur de 254 mm. Cet instrument offre une précision de lecture de $1 \mu = 1$ micron ($1/1000$ de mm). La précision de mesure qu'il permet ainsi est de $2,5 \mu$ par mètre (Fig. 3b).

2.2 Déroulement des mesurages et méthode de mesure

Etant donné que les silos-tours en matière plastique renforcée par des fibres de verre qu'on implante à l'air libre sont exposés à de grandes fluctuations de température, il a fallu déterminer les coefficients de dilatation en vue de compenser par le calcul les chiffres enregistrés pour la température lors de tous les mesurages. A cet effet, nous avons mesuré la dilatation du silo vide à des températures extrêmes avec un ciel couvert. La température fut déterminée au point de mesure à l'aide d'un thermomètre tâteur très sensible (Fig. 3c). A notre grande surprise, les coefficients suivants ont été obtenus à tous les points de mesure en tant que bonnes valeurs moyennes:

$$\alpha_h = 20 \mu / {}^\circ\text{C} \cdot \text{m} \text{ et } \alpha_v = 55 \mu / {}^\circ\text{C} \cdot \text{m}$$

(h signifie sens horizontal et v sens vertical)

Le module d'élasticité dans le sens horizontal (Eh) peut être calculé en se fondant sur les chiffres relatifs à la dilatation de la paroi intervenue quand le silo était rempli d'eau.

Les valeurs concernant Eh ont varié d'un point de mesure à l'autre, soit de 205.000 à 340.000 kgf/cm², du fait de la répartition pas toujours très régulière des fibres de verre. Par ailleurs, l'épaisseur de la paroi n'a pas pu être déterminée avec précision pour la même raison. Cette valeur s'est toutefois montrée de peu d'importance lors des calculs ultérieurs. D'un autre côté, la différence existant entre les modules d'élasticité pour des contraintes de brève et longue durée demeura négligeable.

Il a été nécessaire d'évaluer Ev. D'importantes variations de cette grandeur ont exercé une forte influence non pas sur ph mais seulement sur rw. (Nous renonçons à reproduire ici les formules employées pour le calcul de Eh, de ph et de rw).

Les mesurages exécutés lorsque le silo était rempli de fourrage se sont étendus sur plusieurs semaines. Des essais antérieurs avaient en effet montré que ph et rw ne peuvent être déterminés qu'avec un laps de temps de longue durée. Par ailleurs, il n'est pas possible de déterminer les propriétés physiques d'un silage uniquement par des mesurages relatifs à la dilatation. C'est pourquoi il a fallu procéder aussi à d'autres mesurages à cet effet.

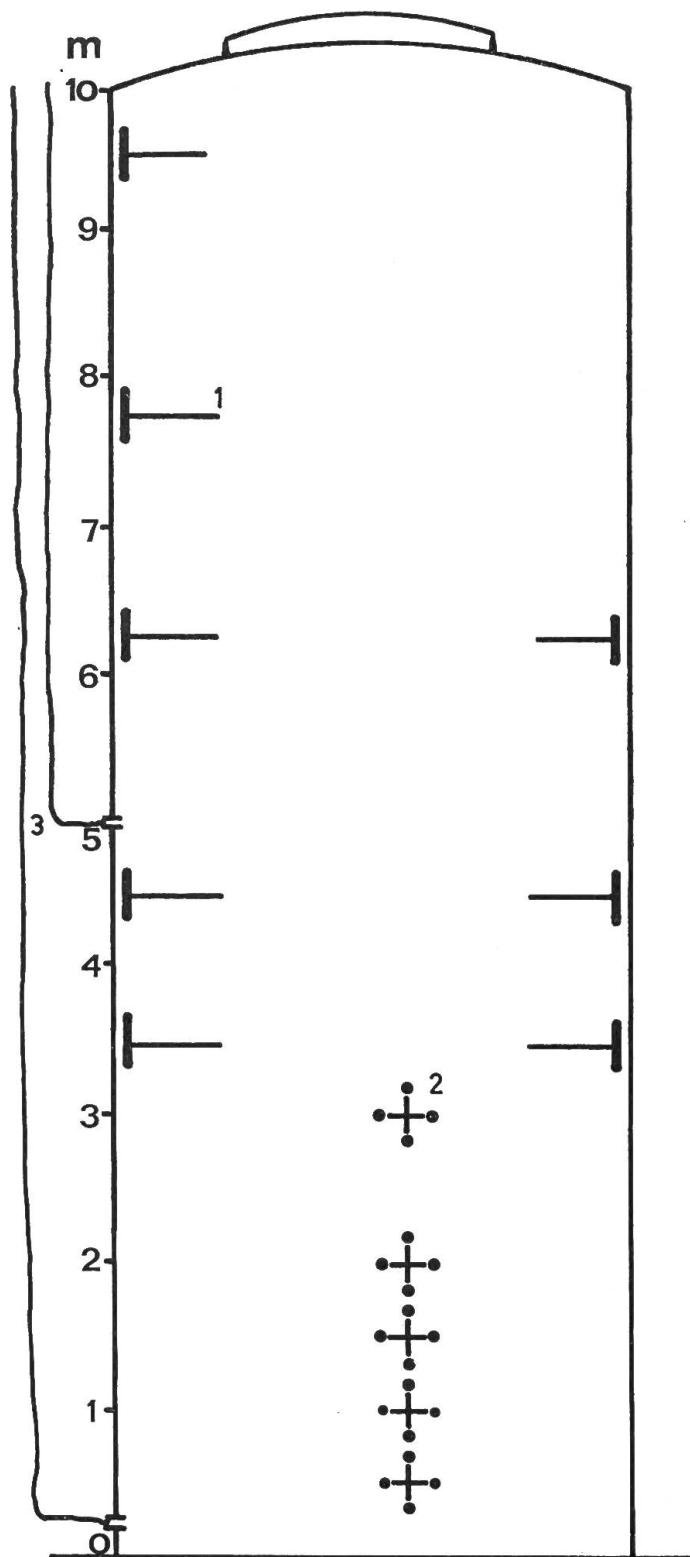
La quantité de fourrage mise dans le silo a été pesée (**91.420 kg** de feuilles de betteraves avec 16,7% de MS = 15.267 kg de MS). Epoque des remplissages: du 9.10.1972 au 11.10.1972. Le silo fut vidangé au cours des mois de novembre, décembre et janvier. (Poids du produit extrait: **54.100 kg** avec 19% de MS = 10.280 kg de MS). La différence de poids était ainsi de **37.320 kg**.

2.3 L'écoulement du jus et le tassemement du silage

Au cours de son écoulement, le jus du silage a été recueilli toutes les heures et mesuré. Les mesurages ont permis de tracer la courbe de l'écoulement et la courbe cumulée. La totalité du jus écoulé représenta **37.750 kg**. A relever la large concordance de ce chiffre avec celui de la différence de poids (Fig. 4). Le tassemement de la masse

Fig. 2a

Dimensions du silo et dispositions prises pour les mesurages



Légende

- 1 Plaques à feuille d'aluminium pour indiquer le niveau du silage
- 2 Point de mesure de la dilatation
- 3 Tuyaux souples faisant office de manomètres

Hauteur: 10 m

Diamètre: 3 m 51

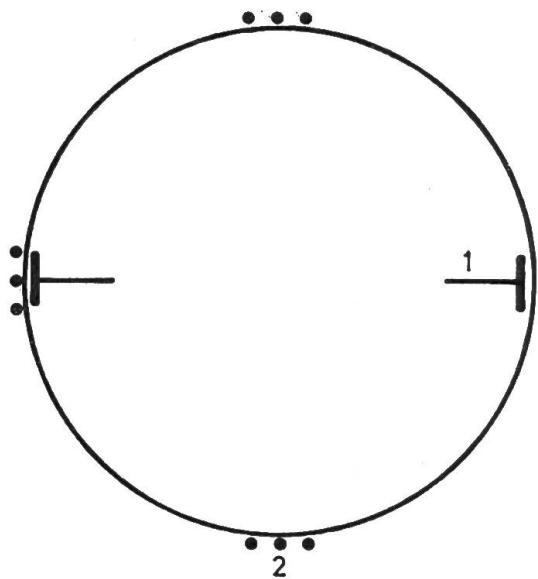
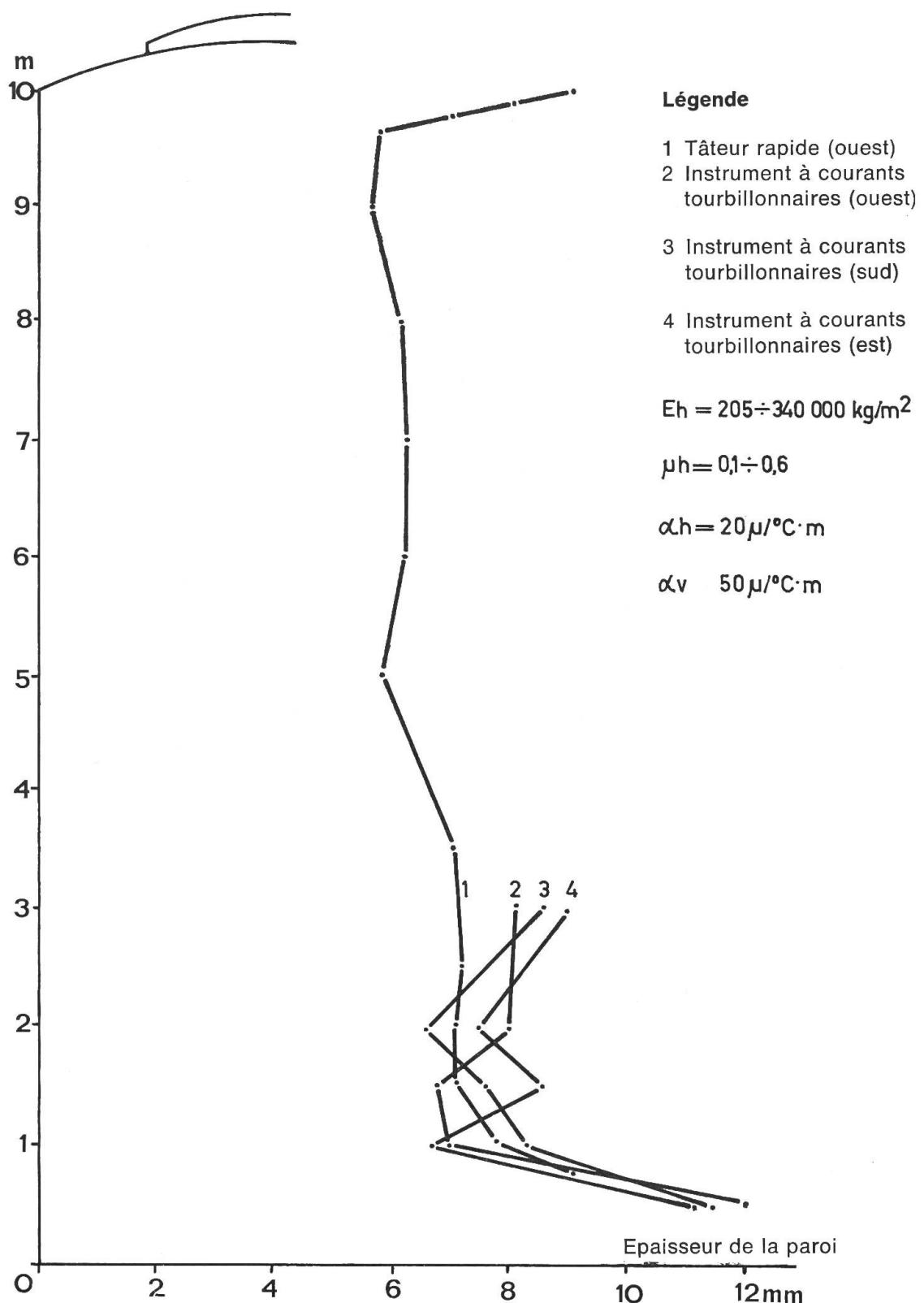


Fig. 2b

Dimensions du silo et dispositions prises pour les mesurages



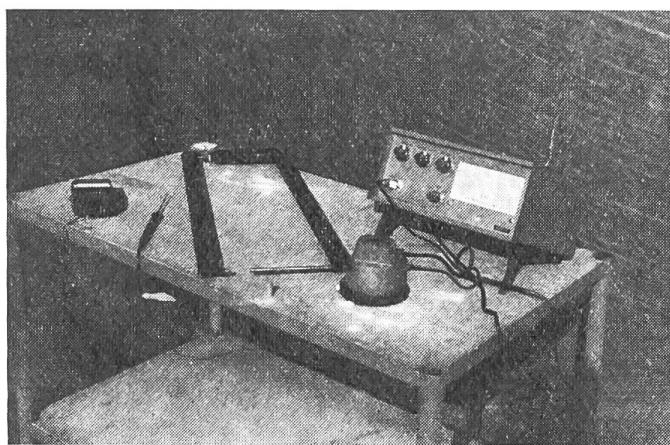


Fig. 3a: De droite à gauche: thermomètre tâteur, instruments pour mesurer l'épaisseur de la paroi (tâteur rapide et instrument à courants tourbillonnaires)

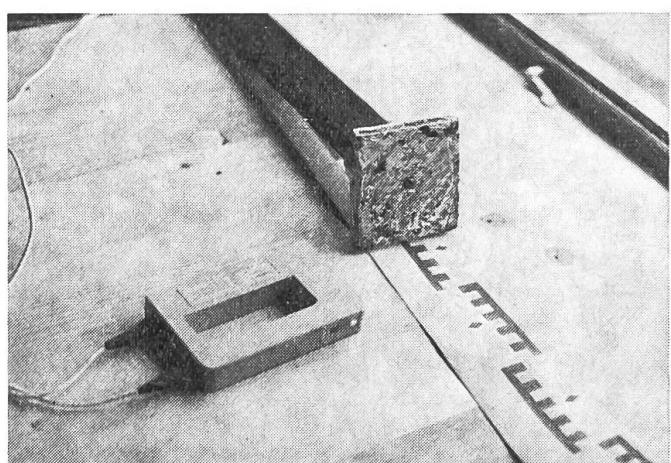


Fig. 3d: Détecteur de métaux et indicateur de niveau à feuille d'aluminium

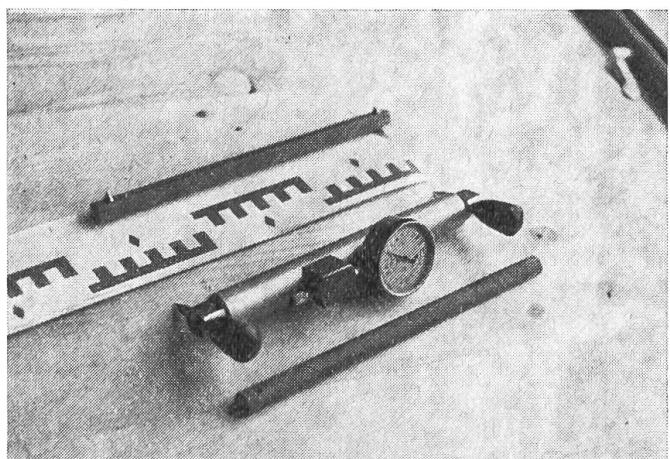


Fig. 3b: Dilatomètre mécanique dit déformètre

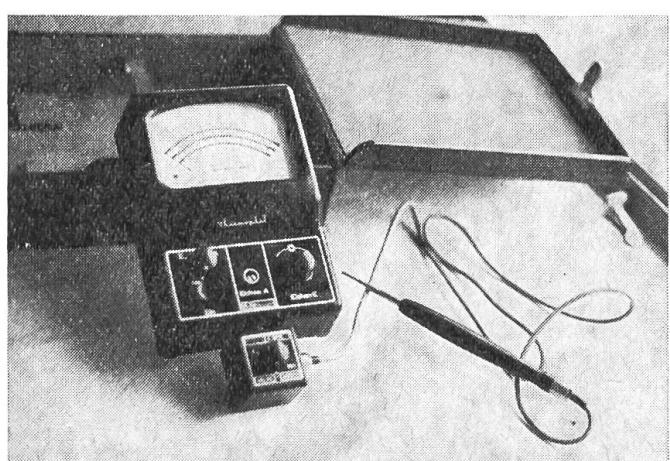
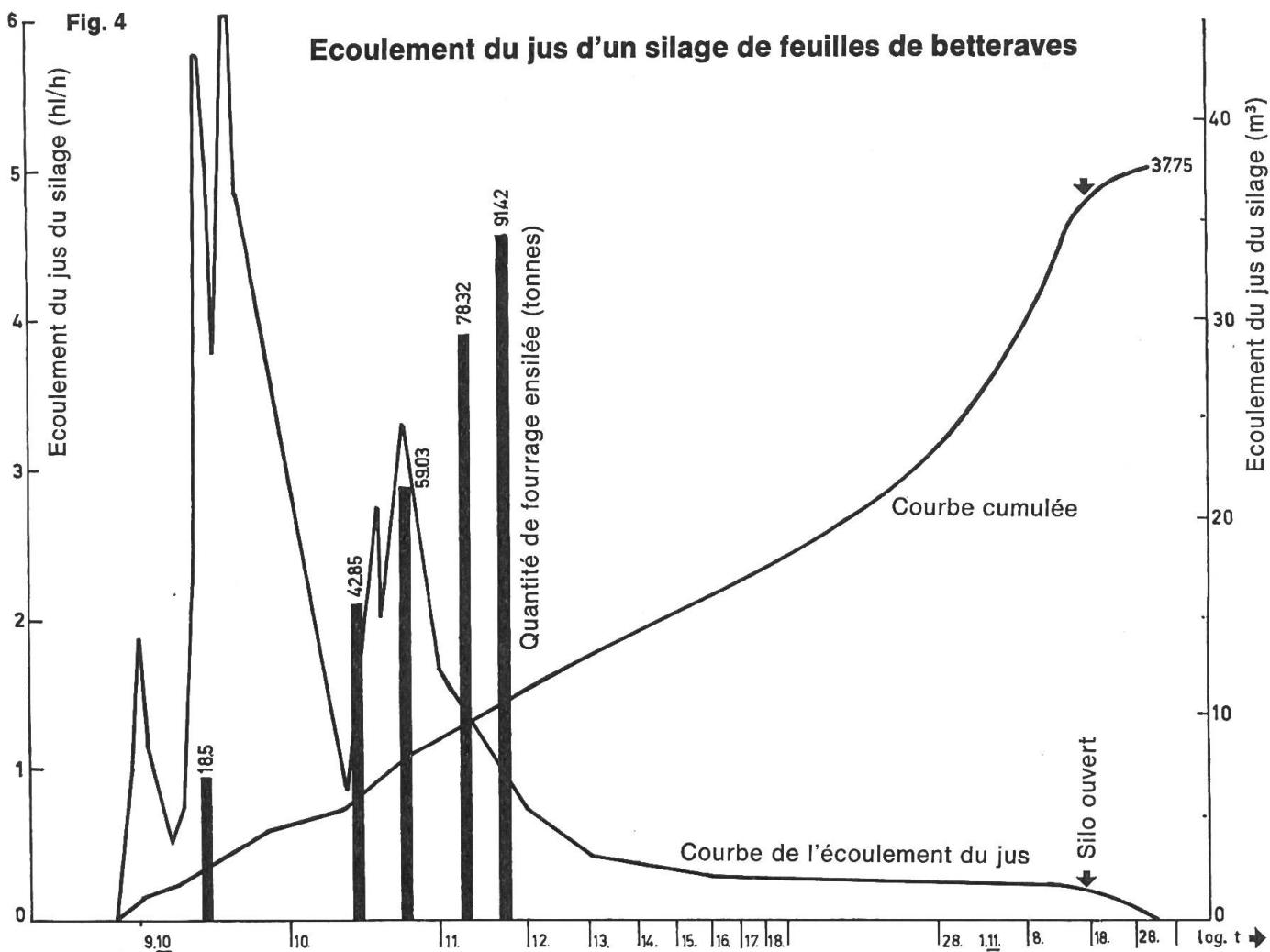


Fig. 3c: Thermomètre tâteur de précision

ensilée, qui exige du temps, a été observé attentivement et de manière très précise. A cet effet, huit carrés de 10 cm x 10 cm obtenus par sciage dans des panneaux de particules de bois et sur lesquels une feuille d'aluminium avait été collée, furent posés contre la face intérieure du silo à des hauteurs différentes. Comme ils étaient fixés sur une latte de bois de 1 m de long qui pénétrait dans la masse de fourrage, le déplacement des marques de mesure reproduisait exactement celui du silage. Les bords des feuilles d'aluminium pouvaient être décelés de l'extérieur avec une très grande précision au moyen d'un détecteur de métaux (Fig. 3d). D'autre part, le silo avait été pourvu de deux «manomètres» de conception simple installés l'un à 50 cm, l'autre à 5 m du sol. Ces «manomètres» étaient des tuyaux de faible diamètre en plastique souple introduits et collés de façon parfaitement étanche dans des trous pratiqués dans la paroi du silo (Fig. 2a).

3. Résultats des mesurages

Les résultats enregistrés lors des mesurages furent surprenants et instructifs à plus d'un point de vue. L'écoulement de 37 tonnes de jus et les pertes dues à la fermentation ont entraîné la perte de 5 tonnes de matière sèche (MS), soit le $\frac{1}{3}$ de sa totalité en chiffre rond. Il faut relever aussi que la moitié du jus s'était écoulée dans l'espace d'une semaine alors que le remplissage du silo avait été effectué



durant les trois premiers jours. Ainsi 25 litres de jus se sont écoulés par heure depuis le début jusqu'à la vidange du silo. Les 37,5 tonnes de jus de silage perdues ont entraîné à la longue un tassement du produit de l'ordre de 36%. La hauteur de remplissage maximale atteinte fut de 9 m 70. Après son tassement, la masse de fourrage n'avait plus que 6 m 25 de haut. Au bout d'une semaine, le tassement qui s'était produit représentait moins du 50% de ce qu'il fut finalement et ne correspondait donc pas à l'écoulement du jus du silage (Fig. 4 et 5). Les huit indicateurs de niveau que constituaient les carrés à feuille d'aluminium ont montré le cinquième et le sixième jour qu'il s'était produit un «tassement négatif», c'est-à-dire une dilatation de 10 à 55 cm.

Il faut très probablement voir là l'une des causes de l'effondrement de certains silos-tours. A noter qu'un très faible tassement fut constaté durant les trois premiers jours. Le quatrième jour, les indicateurs de niveau ne s'étaient pas déplacés. Ce n'est qu'à partir du septième jour qu'ils commencèrent à s'abaisser à nouveau et de manière très sensible (Fig. 5).

Une chose étonnante est que le tassement causé par l'important écoulement du jus (il se caractérisait au début également par une expansion du silage) fut tellement influencé par la fermentation le cinquième et le sixième jour qu'il en résulta une dilatation négative. A cet égard, il ne faut pas oublier que le silo avait été rempli au cours des

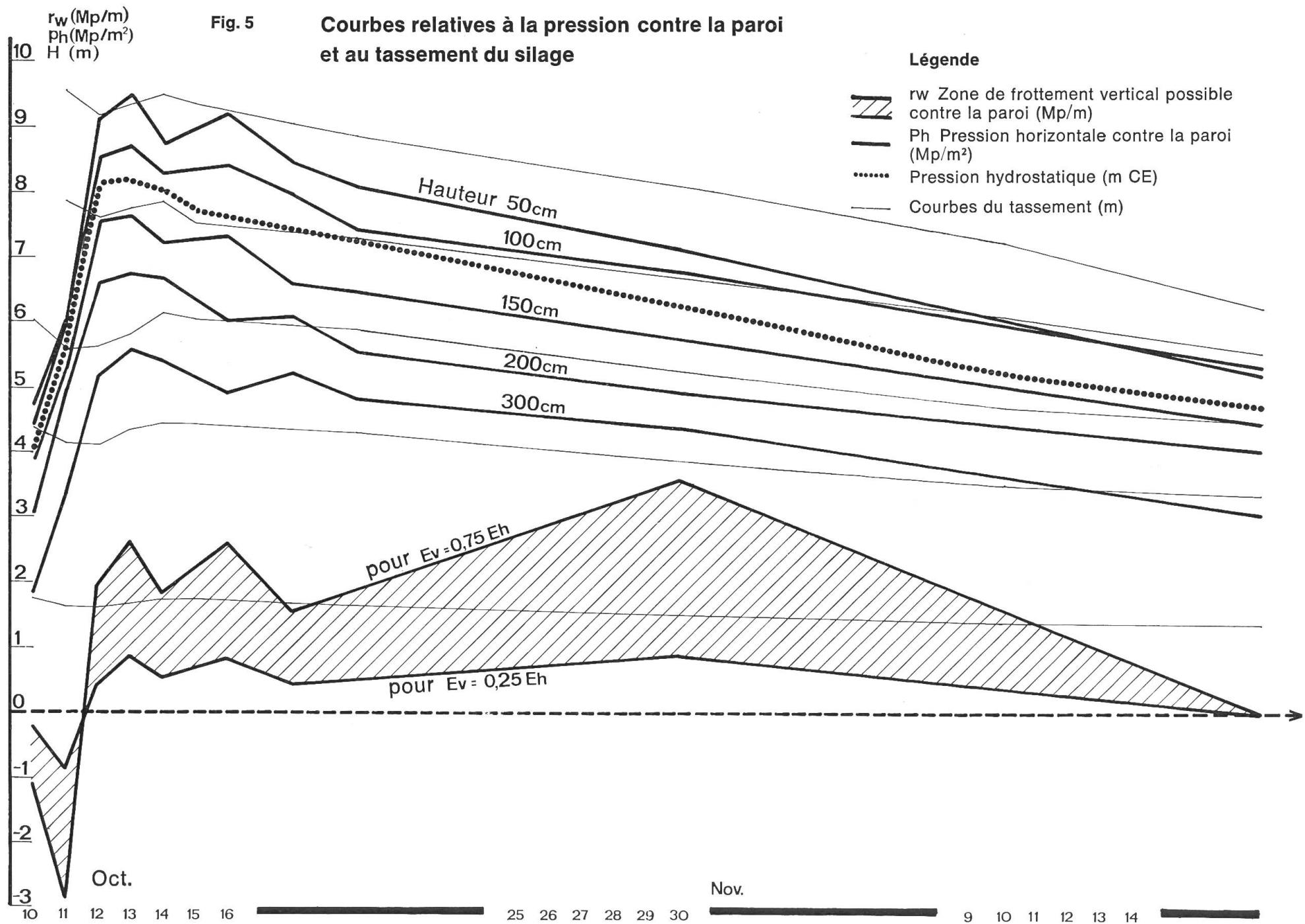
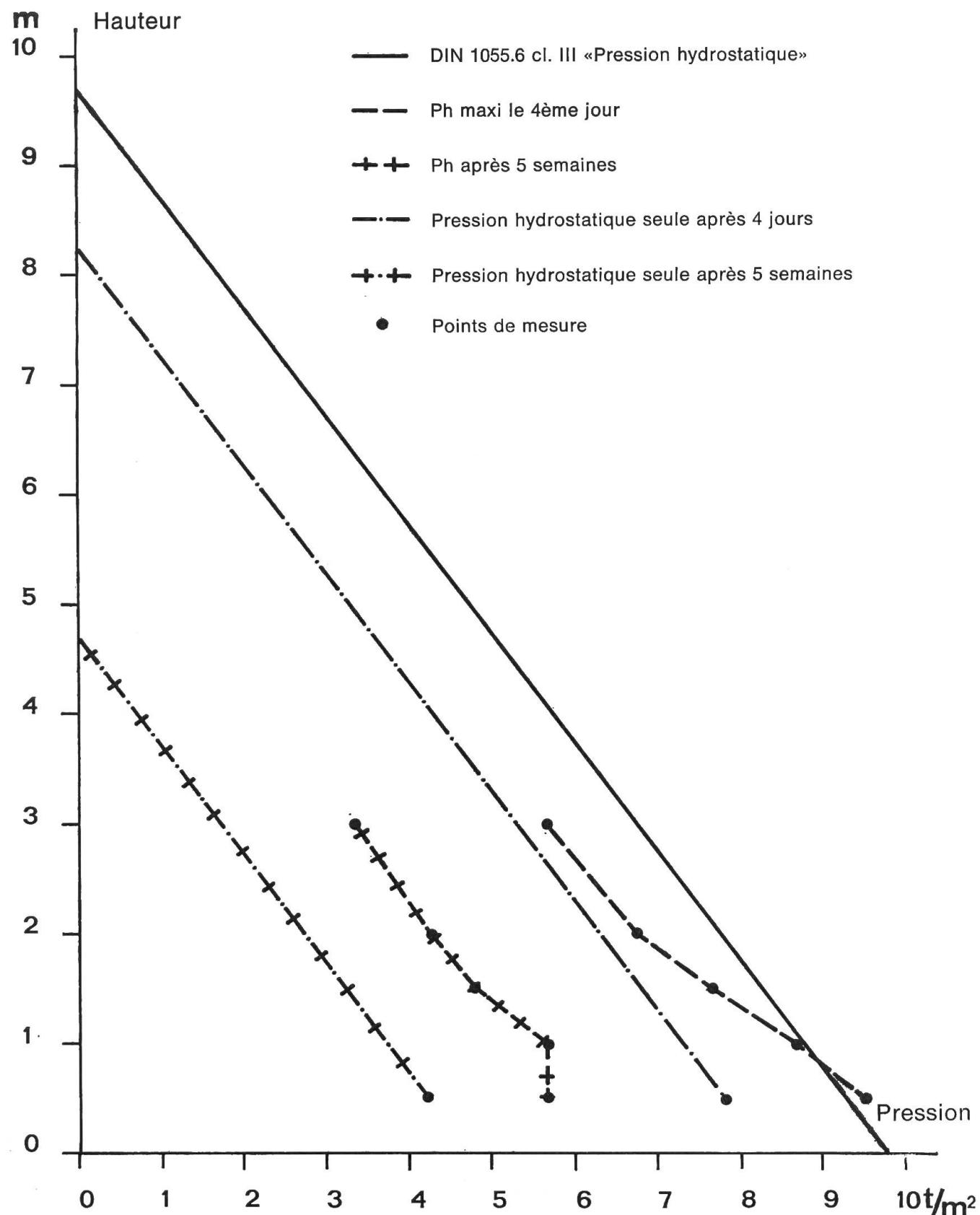


Fig. 6

Pression horizontale du silage (feuilles de betteraves)



trois premiers jours et que les indicateurs de niveau permettaient de se rendre clairement compte de l'effet simultané du tassemement et de la fermentation. C'est ainsi que les indicateurs supérieurs montraient un tassemement du silage frais encore le troisième jour, alors que ce n'était pas le cas des indicateurs inférieurs.

La dilatation due à la fermentation qui se produisit après le troisième jour explique pourquoi les pressions horizontales ph exercées contre la paroi du silo sont les plus fortes à ce moment-là. La Fig. 5 indique les grandeurs moyennes des mesurages effectués sur les trois génératrices en fonction de la durée. La Fig. 6 montre que ph atteint pendant ce laps de temps, à une hauteur du silo inférieure à 1 m, une valeur qui représente 9,7 m à la colonne d'eau (CE). La diminution des pressions et des forces de frottement intervenant ultérieurement — elle est de l'ordre de 30 à 50% — correspond à l'importance du tassemement.

Les mesurages exécutés avec les «manomètres» indiquent seulement la pression hydrostatique. Les valeurs enregistrées sont étonnamment élevées et viennent confirmer les résultats déjà obtenus quant à la dilatation de la paroi.

Les courbes relatives au frottement contre la paroi du silo (rw) reproduisent uniquement la zone d'action de cette force du fait qu'elles correspondent à des valeurs moyennes résultant d'évaluations concernant le niveau 1 m ($Ev = 0,75$ Eh et $Ev = 0,25$ Eh). Il est surprenant de voir que les 15 courbes du début pour les 15 points de mesure indiquent d'importantes forces de frottement le deuxième jour et des forces de décollement du même ordre de grandeur à partir du troisième jour, lesquelles ne disparaissent lentement qu'au bout de trois semaines. Cela est également attribuable au processus de fermentation qui commence le troisième jour.

4. Remarques conclusives

On constate que les pressions subies par la paroi des silos peuvent varier à la longue quant à leur importance et à leur direction. Il n'est pas facile de fournir des indications précises au sujet de l'accroissement de ces contraintes. L'exemple cité plus haut a permis de se rendre compte que le **processus de fermentation, l'écoulement du jus** et le

tassemement du silage exercent une énorme influence. C'est la raison pour laquelle des forces différentes et variables peuvent agir avec le temps suivant la nature du fourrage ensilé, sa teneur en matière sèche, son degré de maturité et aussi selon la technique de remplissage employée. Si un silo résiste bien quand on le remplit d'eau, cela ne signifie toutefois pas qu'il supportera sans dommages les sollicitations auxquelles il se trouvera soumis avec un silage très lourd (feuilles de betteraves, entre autres).

La technique de mesure adoptée lors des essais en question — elle se rapporte aux dilatations et expansions intervenant dans les silos-tours en matière plastique renforcée par des fibres de verre — a fait jusqu'ici ses preuves malgré tous les mesurages et calculs qu'elle exige. Avec le temps, la solution du problème des données admises relativement aux pressions qu'exerce la masse de fourrage ensilée sur la paroi d'un silo-tour pourra être progressivement améliorée. Cela demande toutefois des recherches pratiques encore plus approfondies concernant les processus physico-biologiques.

Des demandes éventuelles concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique agricole doivent être adressées non pas à la FAT ou à ses collaborateurs, mais aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous:

FR	Lippuner André, 037 / 24 14 68, 1725 Grangeneuve
TI	Olgiati Germano, 092 / 24 16 38, 6593 Cadenazzo
VD	Gobalet René, 021 / 71 14 55, 1110 Marcellin-sur-Morges
VS	Luder Antoine / Widmer Franz, 027 / 2 15 40, 1950 Châteauneuf
GE	AGCETA, 022 / 45 40 59, 1211 Châtelaine
NE	Fahrni Jean, 038 / 21 11 81, 2000 Neuchâtel

Reproduction intégrale des articles autorisée avec mention d'origine.

Les numéros du «Bulletin de la FAT» peuvent être obtenus par abonnement auprès de la FAT en tant que tirés à part numérotés portant le titre général de «Documentation de technique agricole» en langue française et de «Blätter für Landtechnik» en langue allemande. Prix de l'abonnement: Fr. 24.— par an. Les versements doivent être effectués au compte de chèques postaux 30 - 520 de la Station fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rural, 8355 Täikon. Un nombre limité de numéros polycopiés, en langue italienne, sont également disponibles.