

**Zeitschrift:** Technique agricole Suisse  
**Herausgeber:** Technique agricole Suisse  
**Band:** 36 (1974)  
**Heft:** 7

**Artikel:** Dangers et causes d'effondrement de silos à fourrages  
**Autor:** Göbel, W. / Schmidlin, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1083880>

#### **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>**

# Dangers et causes d'effondrement de silos à fourrages

par W. Göbel et A. Schmidlin

(Exposé présenté lors de la 25ème assemblée générale de l'Association de propriétaires de silos du canton de Thurgovie)

## 1. Remarques introductives

L'agriculteur, le fabricant de silos et le conseiller agricole tiennent à être constamment au courant de tout ce qui touche de près les silos-tours en raison de l'emploi accru d'un tel mode de conservation des fourrages. Il arrive cependant de temps à autre qu'un silo de ce genre s'écroule et que son propriétaire subisse de ce fait d'importants dommages. Au cours des lignes suivantes, nous voudrions rendre les agriculteurs attentifs aux causes d'effondrement des silos-tours et aux dangers d'effondrement qu'ils peuvent présenter pendant leur durée utile, laquelle

correspond approximativement à 20 remplissages complets. A ce propos, nous nous appuierons sur des observations faites dans la pratique (fautes commises lors de l'implantation, du remplissage ou du vidage de ces récipients) ainsi que sur des mesurages effectués par nos soins. Les indications soulignées de la Figure 1 représentent les facteurs susceptibles de provoquer l'effondrement d'un silo-tour au cours de sa durée utile. De plus, ce tableau des dangers d'écroulement d'un pareil récipient constitue un résumé très succinct, par mots clés, du présent compte rendu.

Fig. 1 Tableau des dangers d'effondrement des silos-tours				
Stade	Dangers	Observations	Mesurages	
Construction	<ul style="list-style-type: none"><li>– Construction</li><li>– Paroi épaisse / Paroi mince</li><li>– Maçonnerie / Béton / Bois / Acier / Plastique armé de verre (Rentabilité)</li><li>– Mise en place <b>avec soin</b> (Montage)</li><li>– Statistique / <b>Charges admises</b> / <b>Portes d'extraction</b></li></ul>	<p>Concernant des silos-tours: En bois / En acier / En plastique armé de verre</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Mise en place d'aplomb</li><li>– Manchons tendeurs</li><li>– Charges admises devant être exactes à cause des tensions existant dans la paroi</li><li>– Les portes d'extraction constituent les points les plus faibles</li></ul>	<p>Concernant des silos en matière plastique renforcée par des fibres de verre (Paroi / Châssis des portes d'extraction)</p>	
Remplissage	<p>Genre de silage: – Herbe / Maïs / <b>Feuilles de betteraves</b></p> <p>Traitements: Préfanage / Hachage</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Élevateur pneumatique / Élevateur mécanique</li><li>– Durant plusieurs journées / Remplissage <b>en un seul jour</b></li><li>– Répartition régulière / Répartition irrégulière</li><li>– Bon écoulement des jus / <b>Mauvais écoulement des jus</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Les feuilles de betteraves peuvent jeter bas un silo-tour si le remplissage est défavorable, la répartition à l'intérieur irrégulière et la canalisation d'écoulement des jus obstruée</li><li>– Le châssis des portes d'extraction ne doit pas être endommagé</li></ul>	<p>Avec des feuilles de betteraves</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Les pressions exercées par le silage sont largement dépendantes de la <b>durée d'en-tréposage</b> et varient encore selon la teneur en matière sèche, le genre de silage, la longueur de hachage, le degré de préfanage, la technique et la durée de remplissage, la forme du silo, l'écoulement des jus, le déroulement de la fermentation et le processus de tassement. Dans les cas défavorables, elles peuvent être <b>supérieures à la pression de l'eau</b>, et, dans les cas favorables, ne représenter que 1/10 de cette pression.</li></ul>	
Attente	Application d'un enduit / Tension des manchons			
Extraction	A la main / Avec une fraise Par le haut / <b>Par le bas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Des silos-tours ont été détruits parce que l'extraction du fourrage, qui se faisait par le bas, avait lieu d'un seul et même côté</li></ul>		
Effondrement	Accident!			

## 2. Dangers d'effondrement d'un silo-tour

### Dangers résultant d'une construction incorrecte du silo

Sous «Dangers», nous avons souligné dans le tableau de la Figure 1 entre autres les mots clés «avec soin», «Charges admises» et «Portes d'extraction». Etant donné qu'environ 3000 nouveaux silos sont implantés en Suisse chaque année, notre attention devrait être principalement dirigée sur la mise en place des silos-tours. Lorsque l'agriculteur construit lui-même un silo de ce genre (comme c'est généralement le cas pour les silos en bois), il doit veiller attentivement à ce qu'un tel récipient soit monté strictement à la verticale (usage du fil à plomb!) et que le serrage des manchons tendeurs se fasse conformément aux prescriptions. Des madriers déformés (gauchis) ne sont plus utilisables. A relever à ce sujet que plusieurs défauts ou insuffisances qui coexistent lors de

la construction peuvent provoquer l'écroulement du silo.

Lors de la mise en place de silos à paroi mince (récipients en acier ou en matière plastique renforcée par des fibres de verre), il faudrait que l'on tienne dûment et exactement compte des pressions exercées par le silage contre cette paroi. Par ailleurs, un matériau de construction de ce genre doit être utilisé rationnellement, autrement dit de façon économique. Etant donné qu'un silo en matière plastique renforcée par des fibres de verre entoure le silage de la même manière qu'une bulle de savon maintient l'air qu'elle renferme — soit avec une enveloppe extrêmement mince et vulnérable (on parle à ce propos d'un état de tension de la membrane) —, le fabricant devrait absolument pouvoir inclure dans ses calculs la pression réelle exercée par le silage contre la paroi du silo. Afin d'éviter que cette dernière soit soumise à des contraintes excessives, il

Fig. 2 Calcul des pressions s'exerçant dans les silos-tours

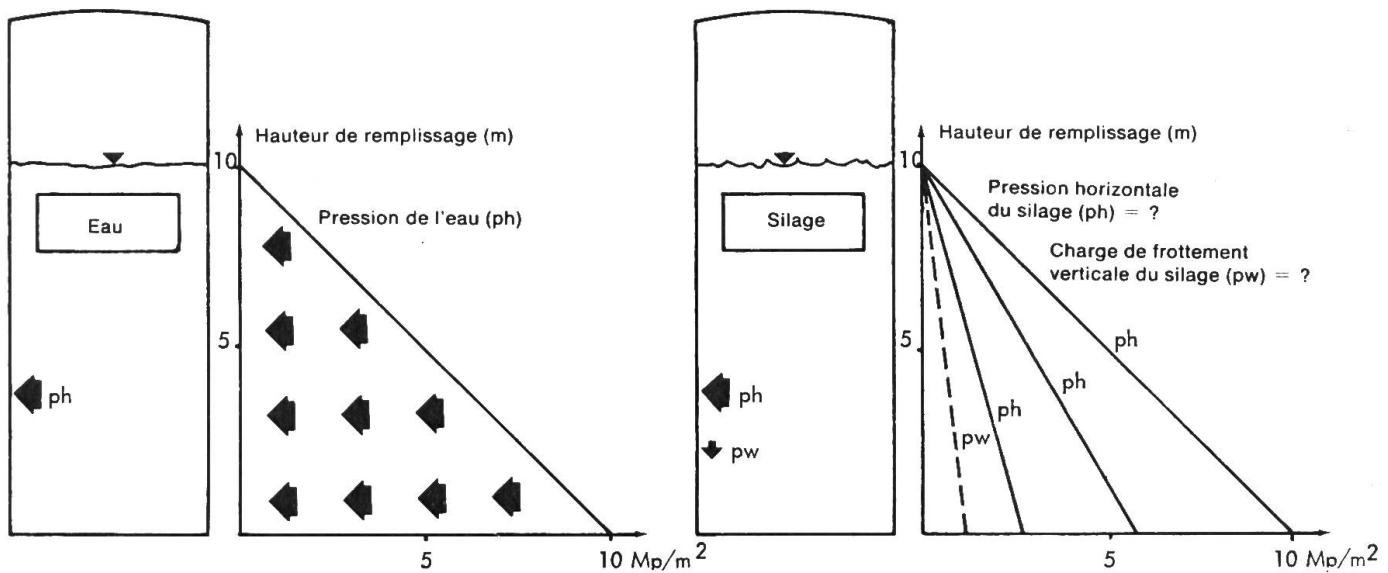
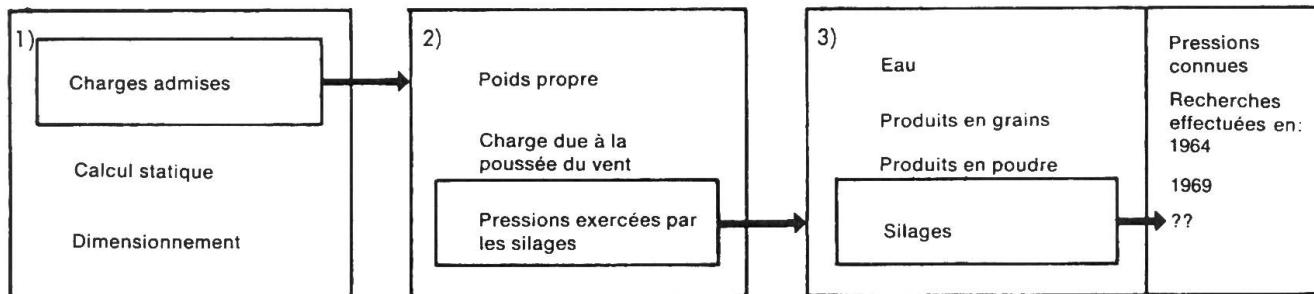
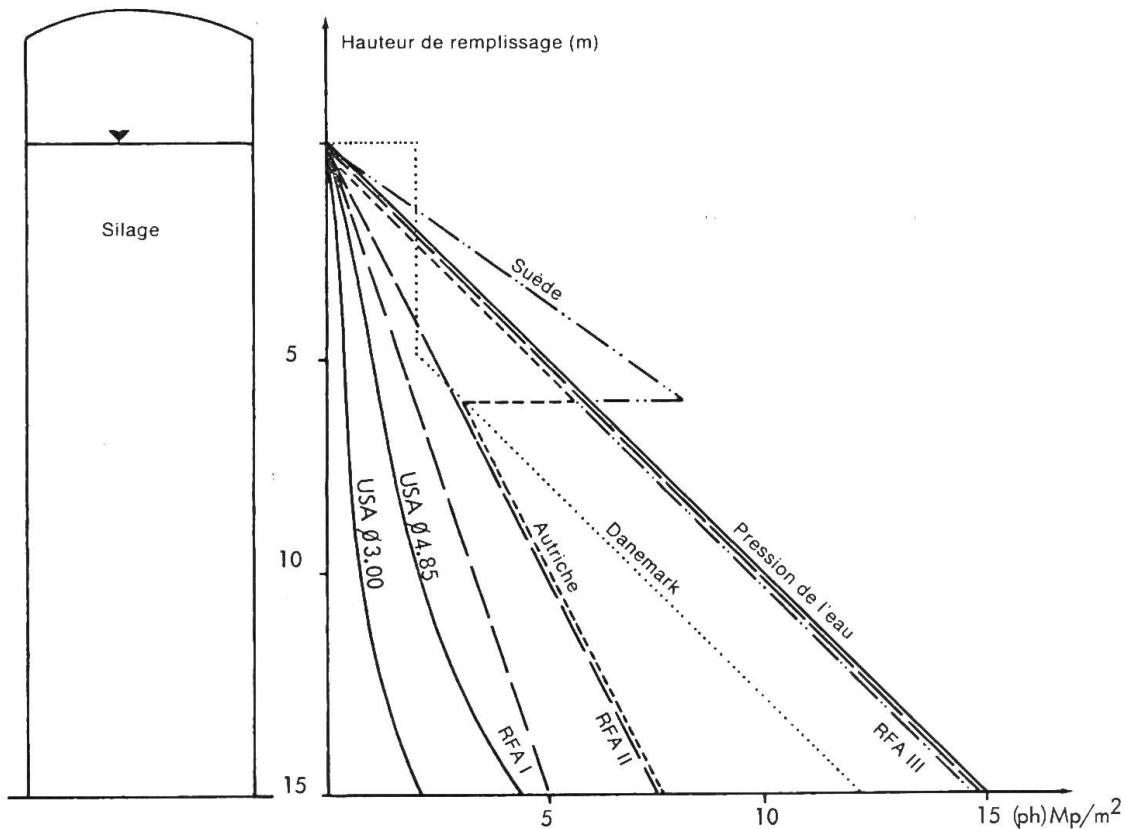


Fig. 3 Données admises dans divers pays concernant les pressions exercées par les silages



faut aussi veiller, d'autre part, à ce que le châssis des portes de vidange soit confectionné avec le plus grand soin.

Le premier cadre de la Figure 2 montre un mode de calcul exemplaire. Les charges admises (deuxième cadre) se rapportent à trois composants. Parmi toutes les matières qu'on peut déverser dans un silo (troisième cadre), seules les pressions exercées par l'eau étaient connues de longue date. Quant à celles des produits sous forme de grains (blé, gravier, sable) ou de poudre (farine, ciment), par contre, elles n'ont fait l'objet d'études partiques précises que depuis quelque temps. En ce qui concerne les pressions exercées par les silages, elles ont été uniquement évaluées jusqu'à maintenant du fait qu'il était difficile de les déterminer avec exactitude (troisième cadre). Le dessin de la Figure 2 concernant la pression exercée par l'eau contre la paroi d'un silo-tour (en bas, à gauche) montre que la pression dans le sens horizontal (ph) s'accroît de

façon linéaire avec l'élévation du niveau de l'eau. Si le niveau de l'eau atteint 10 m, par exemple, on constate que la pression horizontale contre la paroi est égale à 10  $\text{Mp/m}^2$  au bas du silo. L'autre dessin (en bas, à droite) concerne les pressions exercées par les silages. Comme avec l'eau, il faut tenir compte ici non seulement de la pression horizontale (ph), mais encore de la charge de frottement verticale contre la paroi du silo (pw). En se tassant et en frottant ainsi contre cette dernière, le silage exerce en effet un effort de poussée vers le bas sur la paroi. On ne dispose actuellement pas de données précises en ce qui touche l'augmentation et l'importance des deux charges précitées (ph et pw) en fonction de la hauteur de la masse de silage. C'est la raison pour laquelle les charges admises pour les fourrages ensilés (Voir la Figure 3) varient dans une très large mesure dans les prescriptions édictées par les divers pays. Quelques-uns proposent un tracé linéaire des courbes, d'autres un tracé progressif. La prescrip-

tion allemande (norme DIN 1055, feuille 6) offre à ce propos un avantage, soit celui de prévoir trois pressions différentes, selon leur teneur en matière sèche (MS), pour les fourrages ensilés.

#### Dangers résultant d'un remplissage incorrect du silo

Parmi tous les produits qui entrent en considération pour un ensilage, ce sont les feuilles de betteraves qui provoquent la plupart des effondrements de silos. Etant donné qu'ici aussi un seul facteur ne s'avère pas déterminant, on devrait s'efforcer d'éliminer toutes les autres causes d'accidents. C'est ainsi que les silos-tours dans lesquels on veut mettre des feuilles de betteraves ne doivent pas être remplis au cours d'une seule journée, car de très fortes pressions, dues à la fermentation, peuvent être engendrées en pareil cas. Il faudrait aussi que tout produit ensilé soit régulièrement réparti sur toute la section du silo. D'autre part, la canalisation d'évacuation des jus ne doit jamais être obstruée et un

puisard placé au centre du radier est indiqué avec les feuilles de betteraves.

#### Dangers résultant d'une extraction incorrecte du silage

Au moment de l'extraction de n'importe quel silage, les pressions s'avèrent moins importantes que pendant les quatre premières semaines à partir du début du remplissage. Cela est dû au fait que le fourrage ayant diminué de volume par suite de son tassemement et des pertes de jus, sa hauteur se trouve aussi réduite. Lorsqu'il s'agit d'un silo-tour de grande hauteur, des dangers supplémentaires sont par ailleurs créés si l'extraction du fourrage a lieu par le bas. La raison en est que le silage a alors tendance à former des voûtes, lesquelles peuvent s'écrouler tout d'un coup. Ce mode de reprise du fourrage se montre particulièrement dangereux si une telle opération est effectuée sur un seul côté par une désileuse du type à fraise.

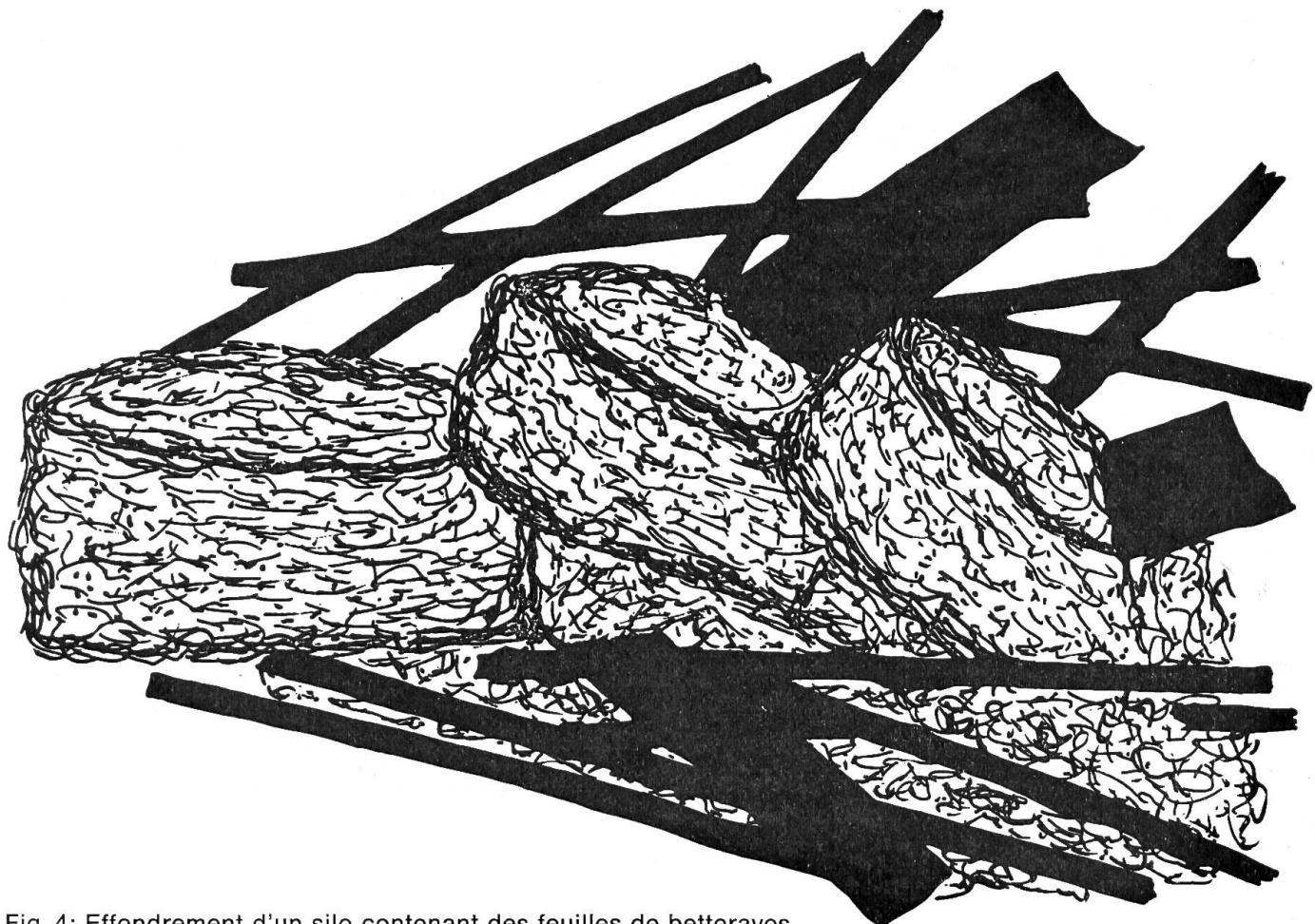
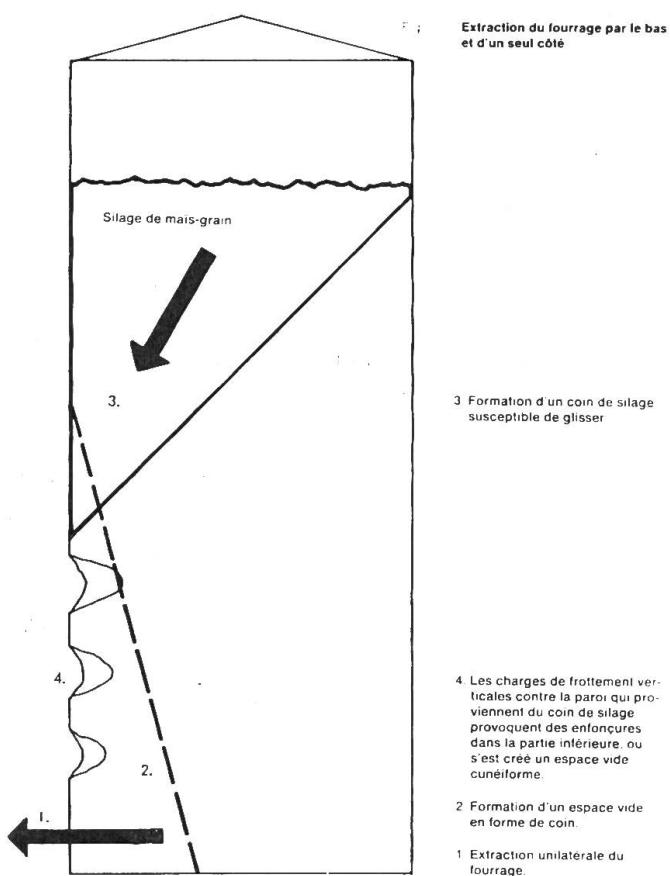


Fig. 4: Effondrement d'un silo contenant des feuilles de betteraves.



### 3. Observations faites avec divers silages

Les observations que nous avons pu faire avec des silos à principe de construction dissemblable qui furent remplis avec divers fourrages sont venues confirmer l'existence des dangers mentionnés plus haut.

La Figure 4 montre un silo contenant des feuilles de betteraves qui s'est effondré. Lors de son implantation, on avait constaté que les madriers étaient fortement déformés. C'est la raison pour laquelle les monteurs ne purent pas lui donner une position strictement verticale bien qu'ils l'aient redressé plusieurs fois. Ce silo résista toutefois bien lors du premier remplissage avec du maïs-fourrage. En 1971, il fut rempli avec des feuilles de betteraves durant trois journées de la même semaine. Comme sa paroi de bois s'était complètement séchée durant l'été, il fallut resserrer les manchons tendeurs. Mais les quatre manchons de serrage inférieurs se rompirent soudainement deux jours après le remplissage et furent projetés à une distance de 12 m. A la suite de cela, le silo s'inclina et le silage se dissocia en

trois masses cylindriques qui correspondaient aux remplissages journaliers.

A part le fait que le silo en question avait pris une position inclinée après l'éclatement des manchons tendeurs (qui ne furent pas desserrés pendant le remplissage), il faut dire aussi que la canalisation d'écoulement était bouchée. Cela eut pour conséquence que l'accumulation des jus provoqua un accroissement des pressions exercées par le fourrage contre la paroi du silo tout en favorisant le gonflement du bois.

La Figure 5 montre un silo-tour en acier d'une capacité de 850 m<sup>3</sup>. Après qu'on l'eut rempli une seule fois avec du maïs-grain, il fallut constater qu'il présentait trois grandes enfoncures à sa partie inférieure. On le soutint provisoirement avec des poutres profilées. Les plaques d'acier cabossées furent remplacées après sa vidange et il se trouva prêt à être réutilisé. La raison de cet incident est que la désileuse à fraise n'avait extraït le fourrage que d'un seul côté. Il s'était alors formé un espace vide en forme de coin qui provoqua vraisemblablement le glissement, par saccades, du coin de fourrage à la partie supérieure du silo. Puis les charges de frottement dynamiques contre la paroi engendrées par le glissement de ce coin de pression auront probablement causé les enfoncures en question dans la zone de l'espace vide cunéiforme, du fait que la paroi de faible épaisseur du silo n'était pas soutenue par une pression intérieure du fourrage.

### 4. Mesurages effectués

Etant donné que les portes d'extraction constituent les points les plus faibles, en particulier lorsqu'il s'agit de silos à paroi mince, nous avons procédé à la Station de recherches de Tänikon à des mesurages concernant les phénomènes de dilatation qui se produisent autour des châssis de porte des silos en matière plastique renforcée par des fibres de verre. La Figure 6 montre qu'il peut s'agir de forces considérables lors de la déformation de ces ouvertures. La partie de la paroi qui entoure les portes d'extraction se trouve soumise à des sollicitations très élevées à cause des importantes contraintes de flexion qui s'y produisent. La mise à

Fig. 6 Comportement des forces agissant autour des portes d'extraction d'un silo-tour rempli d'eau ( $10 \text{ MP/m}^2$ )

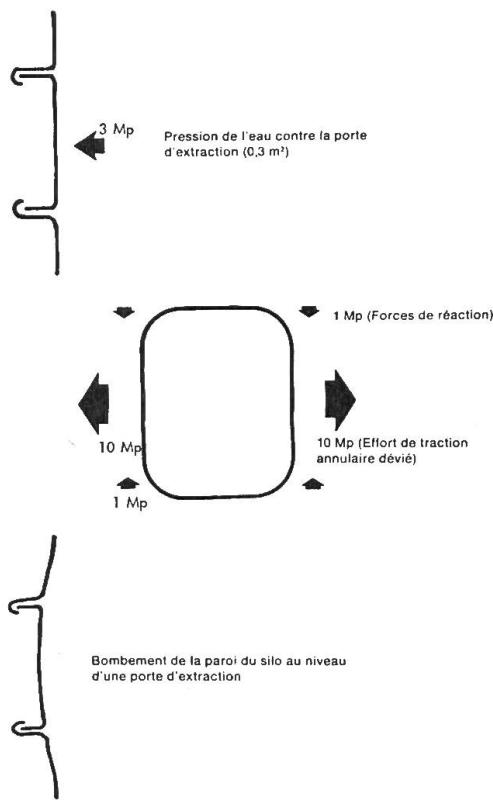
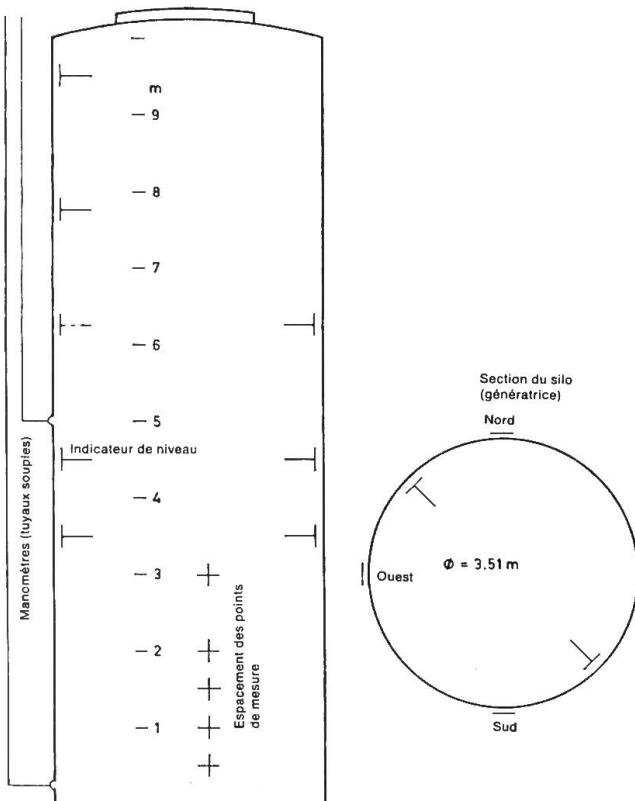


Fig. 7 Endroits où les mesurages furent effectués



contribution excessive du matériau devrait être réduite grâce à une conception rationnelle du châssis de ces portes. Les explications que nous venons de donner montrent combien il serait dangereux qu'une autochargeuse, par exemple, endommage le châssis d'une porte d'extraction.

En vue de déterminer les pressions exercées contre la paroi par le fourrage en fermentation, nous avons effectué de nombreux mesurages à ce propos sur et dans le silo-tour que représente la Figure 7. Il était nécessaire, au moyen d'un dilatomètre mécanique (déformètre), de mesurer dans les conditions suivantes l'importance de l'allongement subi par la paroi du silo en différents endroits:

- quand le silo était vide (afin de déterminer les coefficients de dilatation thermique);
- quand le silo était rempli d'eau (afin de déterminer les propriétés du matériau);
- quand le silo était rempli de fourrage (afin de déterminer les pressions exercées par le silage).

Les derniers mesurages précités furent exécutés chaque jour durant plusieurs semaines. Les mesurages relatifs à la dilatation de la paroi ont été complétés par d'autres concernant l'écoulement des jus et la hauteur d'affaissement de la masse de fourrage. Ont utilisé à cet effet plusieurs indicateurs de niveau placés à des hauteurs différentes (plaques carrées revêtues d'une feuille d'aluminium et fixées chacune à une latte qui pénétrait dans le silage). Un détecteur de métaux permettait de localiser ces indicateurs de niveau. D'autre part, la détermination de la seule pression des jus eut lieu à l'aide de tuyaux souples en matière plastique de faible épaisseur qui faisaient office de manomètres.

Les résultats enregistrés lors des mesurages en question sont les suivants:

- Une première surprise a été de constater que malgré la grande quantité de jus ( $18 \text{ m}^3$ ) qui s'écoula les cinquième et sixième jours après le début du remplissage (elle représentait environ le 50% de la totalité de l'écoulement), les indicateurs de niveau introduits dans la masse de feuilles de betteraves (91 MP) se déplacèrent d'environ

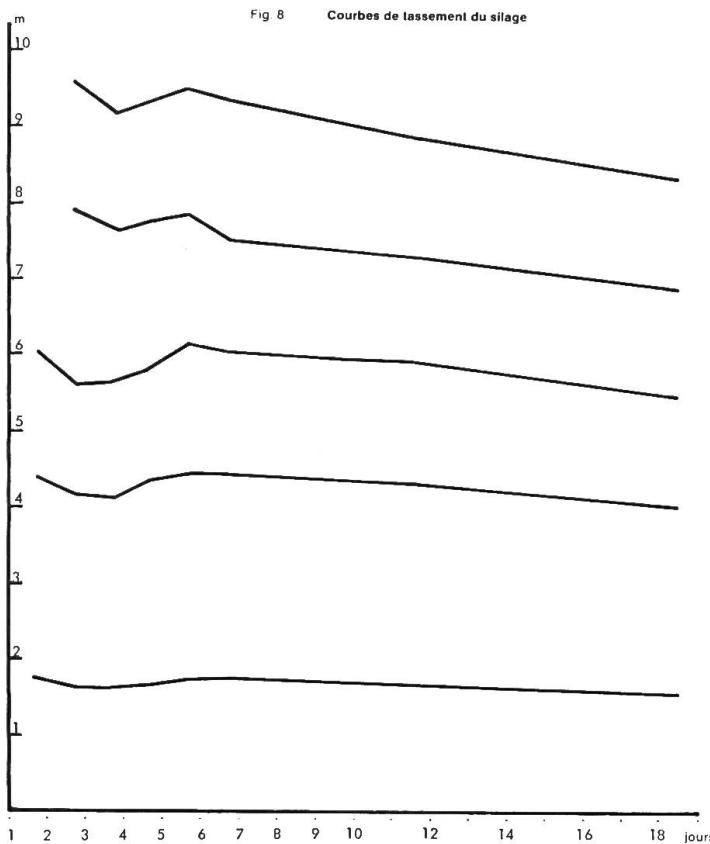


Fig. 10 Charges les 5ème et 6ème jours

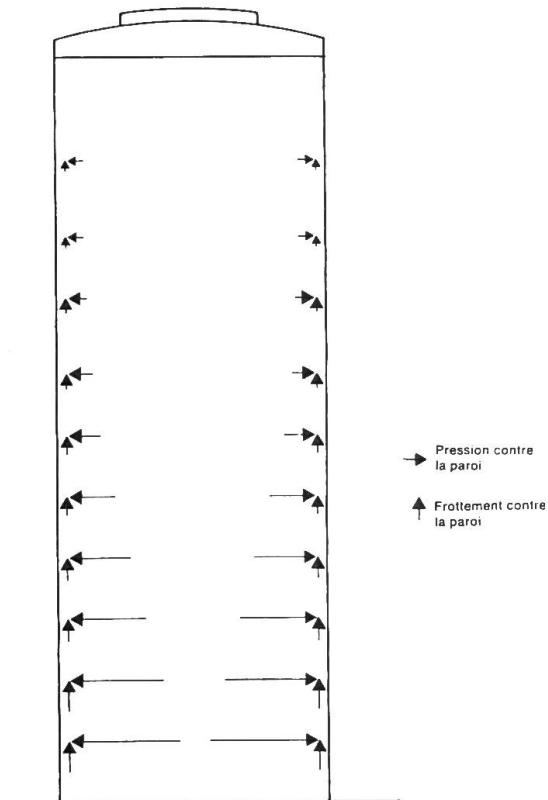
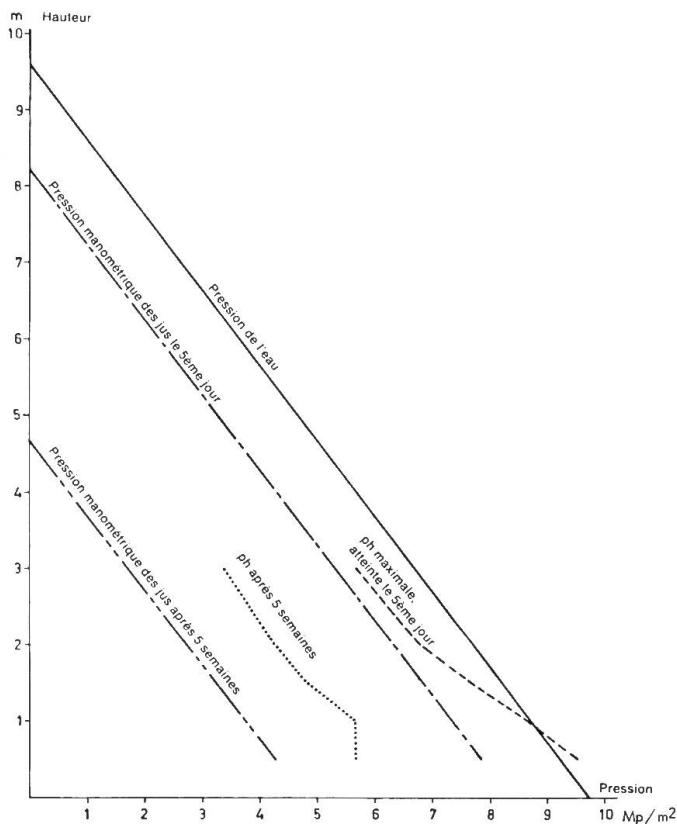


Fig. 9 Pression horizontale exercée par le silage (feuilles de betteraves) contre la paroi du silo



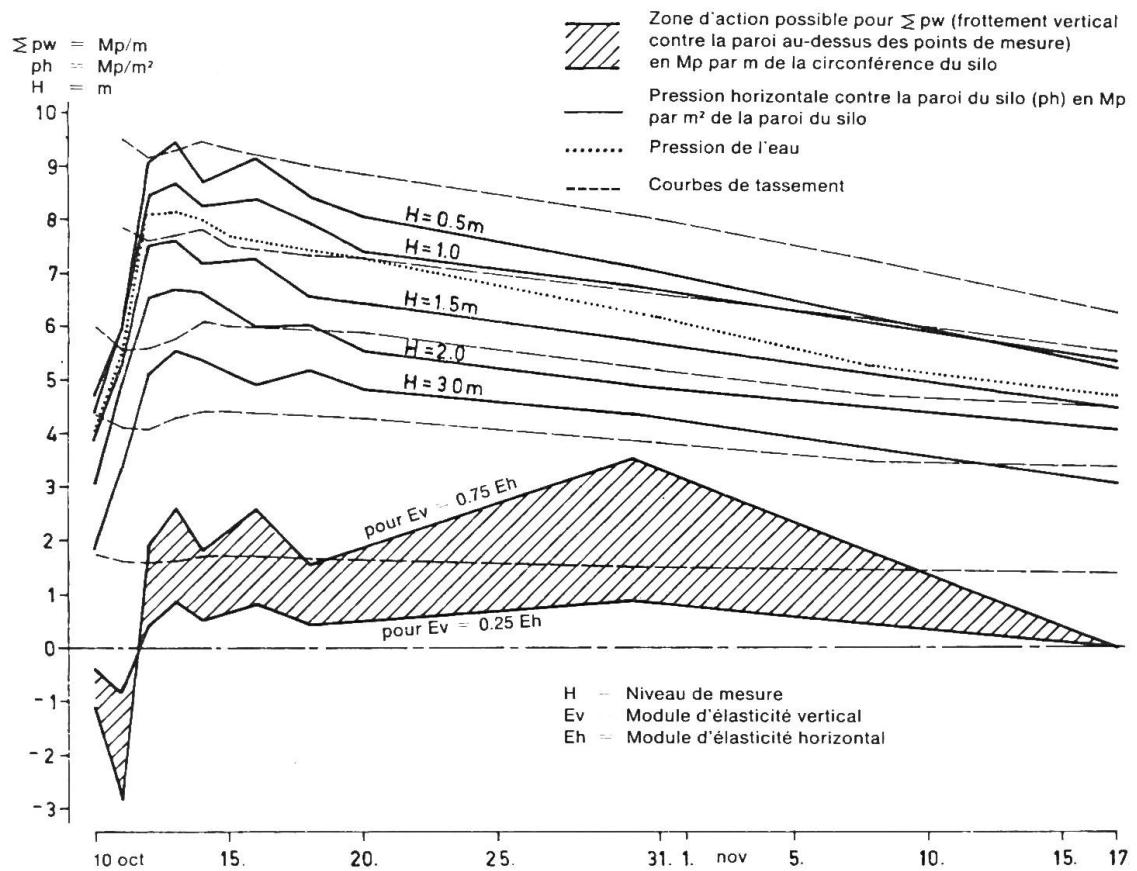
50 cm vers le haut en raison d'une dilatation de ce silage (Voir la Figure 8).

— La deuxième surprise fut de constater qu'au même moment, les pressions horizontales exercées par le fourrage contre la partie inférieure de la paroi du silo s'avéraient supérieures à celles de l'eau pour une même hauteur de remplissage (Voir la Figure 9). Ce résultat se trouve encore confirmé par le fait que la seule pression exercée par les jus était alors très élevée.

La troisième surprise fut d'avoir la preuve que la charge de frottement vertical contre la paroi du silo (pw) agissait du bas vers le haut et non pas du haut vers le bas (Voir la Figure 10). Cela devint encore plus évident ultérieurement, soit au moment où l'on constata que le silage gonflait. Aussi n'est-il pas surprenant que la plupart des silos-tours qui s'écroulent sont ceux qui contiennent des feuilles de betteraves.

— Un autre phénomène, qui a été constaté pour la première fois avec une ampleur aussi importante, est la dépendance par rapport à la durée d'entre-

Fig. 11 Comportement des forces en fonction de la durée d'entreposage



posage des pressions horizontales ( $ph$ ) et des charges de frottement verticales ( $pw$ ) contre la paroi du silo (Voir la Figure 11). Lors de nos expérimentations, la valeur  $ph$  a atteint son maximum à un moment déterminé, soit les cinquième et sixième jours après le début du remplissage, à tous les niveaux de mesure. Quant à la valeur  $pw$ , elle a généralement atteint son minimum plus tôt, soit au moment où le fourrage s'affaissait le plus fortement (friction contre la paroi).

## 5. Remarques conclusives

Nous savons maintenant que l'importance des pressions exercées par les silages contre la paroi des silos-tours — elles dépendent dans une très large mesure de la durée d'entreposage du produit — peuvent aussi varier selon la teneur en matière sèche (MS), le genre de fourrage, la longueur de hachage, le degré

de préfanage, l'époque de la récolte, la technique et la durée du remplissage, l'écoulement des jus, le déroulement de la fermentation, le processus de tassement et la forme du silo. Les nouvelles recherches pratiques qui seront effectuées prochainement nous réservent certainement d'autres surprises.

Le numéro 8/74 paraîtra le 19 juin 1974

Dernier jour pour les ordres d'insertion: 29 mai 1974

Annonces Hofmann, case postale 16, 8162 Steinmaur  
Téléphone 01 / 94 19 22 - 23