



Comparaisons entre les différents types de silos-tours

Ruedi Jakob et Alfons Schmidlin

Lors de l'acquisition d'un silo-tour, les questions suivantes se posent:

- Que faut-il exiger d'un silo-tour?
- Quel matériau de construction faut-il choisir?
- Quels sont les besoins d'investissement?
- Quel est l'enduit de protection qui est autorisé (éventuellement revêtement d'imprégnation)?

1. Quelles sont les exigences auxquelles un silo-tour doit correspondre?

Le premier précepte de l'ensilage est le suivant: le silo doit être absolument vide d'air et oxygène; car sous l'influence de l'air les bactéries nuisibles aérobies de la fermentation se propagent. En épuisant le lactose, elles concurrencent les bactéries d'acide lactique. En plus l'air est nuisible parce qu'il favorise la propagation des levures (post-fermentation) et des moisissures.

Le silo-tour doit être étanche à l'air

Pour examiner l'étanchéité, différents silos à l'état neuf ont été soumis à des tests. On peut classer les matériaux de construction en quatre groupes:

1. Silos en acier (Harvestore, étanche à l'air).
2. Silos en matière synthétique (petites fuites aux hublots et au couvercle).
3. Silos en bois et en béton (des fuites ont été observées au matériau proprement dit).
4. Silos en treillis de fil de fer (aucune mesure n'a pu être faite; l'étanchéité est très mauvaise).

Si le silo n'est pas entièrement rempli de fourrage (interruptions de l'ensilage, manque de fourrage, tassement de la masse), sa partie supérieure se remplit d'un mélange de gaz. La pression de gaz varie en fonction de la température et de la hauteur barométrique. Lorsque la température monte (le matin, au début de l'ensoleillement), le mélange de gaz se dilate et s'échappe à tra-

vers la soupape ou par les fuites. Le soir par contre, quand la température descend, le volume de gaz diminue. Le vide qui se forme à l'intérieur du silo, fait entrer l'air de l'extérieur à travers les mêmes orifices. Ce phénomène se produit surtout au cours de journées très ensoleillées.

On observe dans le silo une sur- ou sous-pression de 3,242 mbar par degré de température allant en augmentant ou en diminuant. Des silos à parois minces et d'une assez bonne étanchéité au vide subissent un effet d'écrasement dès que la sous-pression atteint 10 mbar ou dès que la température dans le silo descend de 3,5° C. C'est la raison pour laquelle ce genre de silo est muni d'une soupape montée sur le toit.

L'échauffement ou le refroidissement du mélange de gaz dans le silo dépend de la capacité d'accumulation de chaleur et de l'isolation thermique des parois. Pour comparer les différents types de silos, les températures ont été mesurées pendant une période d'hiver et une période d'été.

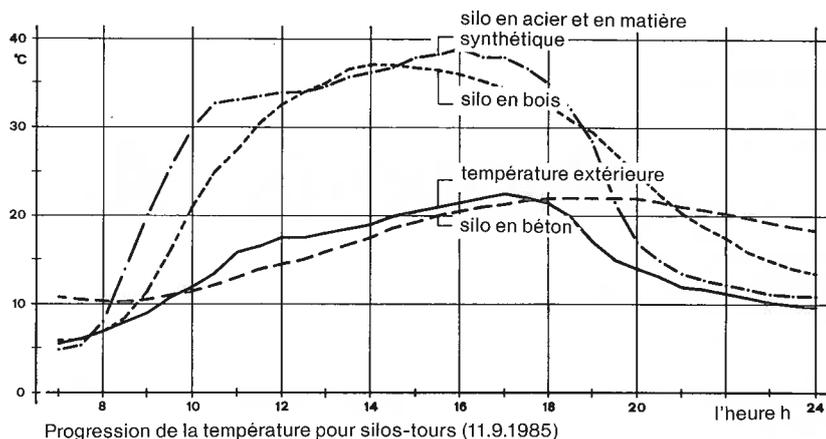


Fig. 1: Progression de la température pour silos-tours au cours d'une belle journée d'été.

Dans un silo étanche, la différence de pression peut être diminuée de 15 mbar au moyen d'une vanne montée sur le toit et remplie de 3 cm de glycérine.

Quel est l'échange de gaz au cours d'une belle journée d'été? (Tableau 1)

Exemple:

Un silo de 100 m³ en acier ou en matière synthétique est à moitié rempli de foin.

Echange de gaz et d'air sans soupape =

5600 l/jour (50 m³ × 112 l).

Echange de gaz et d'air avec soupape =

4800 l/jour (5600 l - 50 m³ × 16 l).

Le chiffre correspondant d'un silo en béton (sans soupape) = 2050 l/jour. Aux silos en béton et en bois, il ne faut pas de soupapes, car ces types ne sont pas assez étanches.

Tableau 1: Echange de gaz au cours d'une belle journée d'été

Matériau de construction	Différence de température °C	Différence de pression mbar	Echange de gaz et d'air l/m ³ d'espace vide
Matière synthétique/acier	33	107	112
Bois	31	101	106
Béton	12	39	41
(Influence de la soupape)	—	(15)	(16)

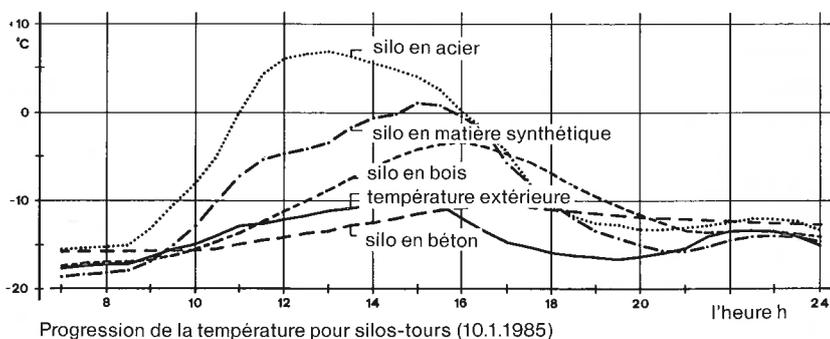


Fig. 2: Progression de la température pour silos-tours au cours d'une belle journée froide d'hiver.

Quel est l'échange de gaz au cours d'une belle journée froide d'hiver? (Tableau 2)

Exemple:

Dans un silo en acier (étanche), le foin s'est tassé; la partie supérieure du silo présente un espace vide de 20 m³.

Echange de gaz et d'air sans soupape =

1420 l/jour (20 m³ × 71 l).

Echange de gaz et d'air avec soupape =

1100 l/jour (1420 l - 20 m³ × 16 l).

Le chiffre correspondant d'un silo en béton (sans soupape) = 340 l/jour.

Tableau 2: Echange de gaz au cours d'une belle journée froide d'hiver

Matériau de construction	Différence de température °C	Différence de pression mbar	Echange de gaz et d'air l/m ³ d'espace vide
Acier	21	68	71
Matière synthétique	16	52	55
Bois	13	42	44
Béton	5	16	17
(Influence de la soupape)	—	(15)	(16)

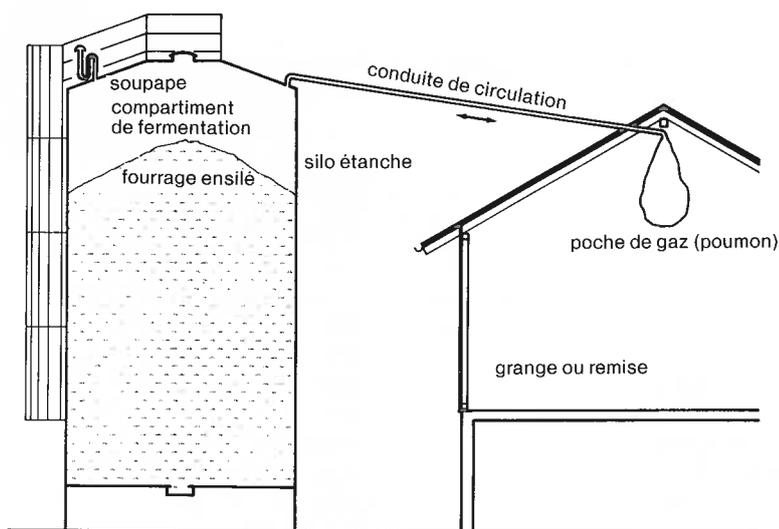


Fig. 3: Système d'échange de gaz (poumon, poche de gaz) qui convient à un silo-tour étanche. Le contenu du poumon devrait atteindre 10 à 15% du volume du silo.

Par une journée de beau temps, au cours de la matinée, le gaz (taux important de CO_2) passe du silo au poumon; le soir, il prend le chemin inverse. A condition que le silo soit étanche, le fourrage n'a donc aucun contact avec l'air de l'extérieur. A mesure que le fourrage s'épuise, le poumon se vide forcément. La soupape est indispensable pour éviter le déformement des parois du silo sous l'influence du vacuum. Conseil: alimentez le poumon vide de CO_2 .

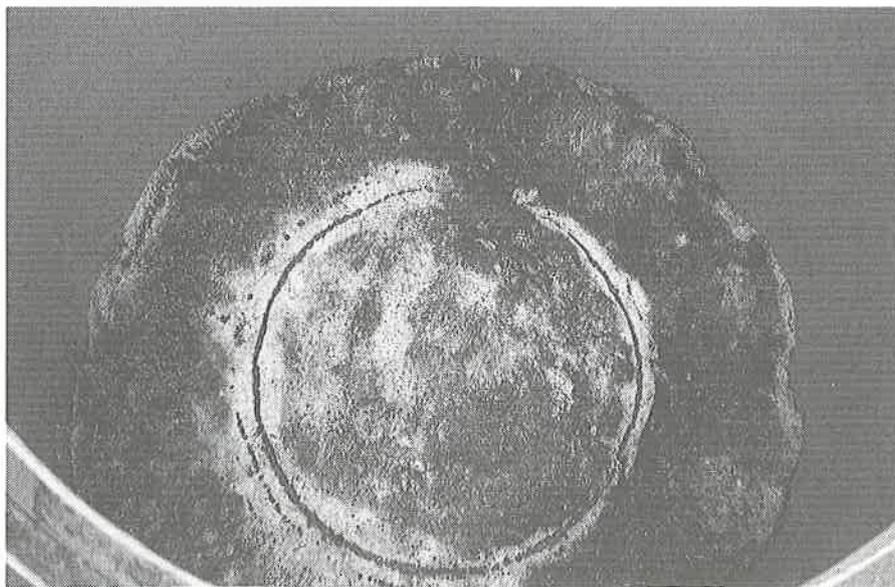


Fig. 4: Silo à moitié rempli d'herbe. Des interruptions assez longues de l'ensilage provoquent inévitablement la formation de moisissure ainsi que des pertes supplémentaires causées par l'eau de condensation. Conseil: couvrez le fourrage et pressez-le (par exemple au moyen d'une presse à eau).

De quelle façon peut-on protéger le fourrage de l'air qui entre et qui provoque la formation d'eau de condensation?

- Couvrez le fourrage dès l'ensilage et pressez-le (au mieux

à l'aide d'une presse à eau). (Fig. 4)

- Munissez les silos étanches d'un système d'échange de gaz (poumon). (Fig. 3).

Le silo-tour doit supporter les charges provoquées par la fermentation du fourrage

Les recommandations suivantes se basent sur des tests entrepris à la FAT, ainsi que des connaissances obtenues par la pratique:

- Pour l'ensilage de fourrage humide, les silos-tours doivent au minimum supporter la pression hydrostatique de l'eau (lestage à l'eau).
- Le fourrage liquide (soit les sortes qui peuvent être pompées) exige des modèles plus forts (pression de l'eau x 1,3 au minimum).
- Les feuilles de betteraves déchargées au moyen d'une soufflerie, ne doivent être ensilées qu'au moyen d'un drainage vertical.
- N'ajoutez jamais de l'eau à la mouture de spathes de maïs en la déchargeant au moyen d'une soufflerie, d'un moulin à céréales humides ou d'un convoyeur, car un mélange exact du maïs et de l'eau n'est pour ainsi dire pas possible pendant la phase de déchargement.

Plusieurs silos se sont effondrés au cours des dernières années. Nous vous recommandons donc de vérifier les garanties que le fournisseur offre. Les assurances mobilières et immobilières ne couvrent en général que les dommages causés par les forces de la nature. Si vous avez des questions concernant l'assurance, le bureau de consultation de la Fondation de prévoyance de l'agriculture suisse (Tél. 056 - 41 92 41) vous renseignera.

2. Caractéristiques spécifiques des différents types de silos-tours

Silos en béton

Aspects positifs:

- très bonne capacité d'accumulation de chaleur,
- les charges statiques ne posent pas de problèmes,
- l'agriculteur peut construire le silo en grande partie seul.

Aspects négatifs:

- on ne peut pas les déplacer,
- il faut prévoir un enduit de protection,
- les unités de moins de 150 m³ ou d'un diamètre inférieur à 4 m, munies d'un enduit de bonne qualité, exigent un investissement important.

Silos en matière synthétique (GFK)

Aspects positifs:

- on peut facilement les déplacer,
- ils ne demandent pas de soins particuliers,
- on peut choisir différents tons.

Aspects négatifs:

- les parois n'offrent qu'une faible isolation thermique,
- le contenu se limite à 130 m³ et le diamètre à 3,5 m.

Deux silos en matière synthétique (diamètre: 3,5 m, hauteur: environ 10 m), renforcés par de la fibre de verre et fabriqués en 1983 par la maison Huber, Lengnau (procédé bobiné) et la maison Rotaver (procédé rotomoulage), ont été remplis de feuilles et de cossettes de betteraves deux fois par an au cours de deux ans. Les cossettes de betteraves ont créé une pression qui atteignait pratiquement la pression hydrostatique de l'eau (ce qui correspond à un lestage à l'eau). Ces deux silos ont très bien supporté la forte charge.

L'agriculteur devrait régulièrement contrôler les silos

en matière synthétique qui sont en fonction depuis un certain nombre d'années et qui ne sont pas encore munis d'une protection efficace contre les rayons ultra-violet. S'il constate des fissures et/ou des fibres de verre bien visibles, il devrait remplacer ces silos ou au moins ne plus les remplir jusqu'en haut et éviter l'ensilage de feuilles et de cossettes de betteraves. Quoique des mesurages précis n'aient pas été entrepris, les expériences prouvent qu'il faut également éviter l'ensilage de mouture de spathes de maïs. Ces mesures de précaution sont surtout importantes s'il s'agit de silos fabriqués par des fournisseurs qui ont cessé de produire. Les deux silos mentionnés ont aussi été testés par rapport à l'étanchéité à l'air, et aucune différence n'a pu être constatée. Les hublots intérieurs et extérieurs sont équivalents. Pour éviter des accidents (danger de formation de CO₂ lors du désilage), nous recommandons de renoncer aux hublots intérieurs.

Silos en bois

Aspects positifs:

- ils peuvent être déplacés si le travail est fait très consciencieusement,
- bonne isolation thermique des parois,
- le choix des dimensions est grand (contenu, diamètre).

Aspects négatifs:

- ce matériau n'est pas étanche,
- l'isolation thermique du toit en tôle d'acier n'est pas bonne,
- sans couvercle le silo n'est pas circulaire ce qui crée des problèmes lors du désilage mécanique par le haut,
- les silos placés à l'air libre, doivent être bien imprégnés.

Pour ensiler du fourrage qui provoque une forte charge statique, on peut facilement renforcer le

silo par des colliers de serrage supplémentaires et/ou plus forts. Il faut pourtant que ceux-ci soient en acier inoxydable. Il est recommandé de remplacer à temps les colliers rouillés.

Silos en acier (Harvestore)

Ce type de silo doit être considéré en tant que système de conservation et de désilage.

Aspects positifs:

- ces silos sont absolument étanches,
- on peut les remplir et désiler à volonté,
- il n'y a pas de post-fermentation pour autant que la fermeture soit bien étanche,
- le désilage fonctionne même pendant des périodes assez longues de grands froids.

Aspects négatifs:

- l'ensilage exige une technique raffinée,
- le désilage manuel est exclu,
- les silos sont difficiles à déplacer,
- ils coûtent cher.

Le fonctionnement dépend de l'observation des règles suivantes:

- avec l'ensilage d'herbe, la teneur en matière sèche (MS) doit être supérieure à 35%, et la longueur théorique de hachage doit présenter 6 mm,
- avec l'ensilage de grains mixtes (par exemple CCM/orge), la teneur en MS doit dépasser 65%.

Puisque ce type de silo est absolument étanche, il offre des avantages considérables. Pour en profiter le plus possible, il faut munir le silo d'un système d'échange de gaz (poumon).

Silos en treillis de fil de fer

L'étanchéité étant très mauvaise, il ne faut les utiliser qu'en tant que silos provisoires.

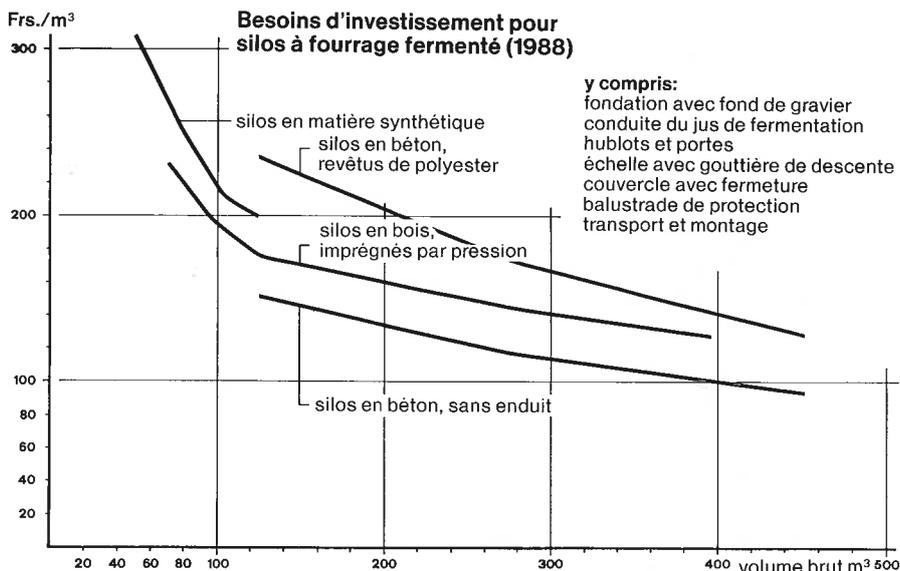


Fig. 5: Besoins d'investissement pour les différents types de silos (en francs par m³ d'espace utilisable).

Tableau 3: Besoins d'investissement pour les différents types de silos, y compris le désilage mécanique par le haut et par le bas

Type de silo	Espace utilisable		
	125 m ³	320 m ³	460 m ³
Silo en bois, imprégné par pression	Frs. 48000.-	74000.-	94000.-
Silo en béton, revêtu de polyester	Frs. 54000.-	80000.-	94000.-
Silo en matière synthétique	Frs. 49000.-	92000.-	117000.-
Silo en acier (Harvestore)	Frs. —	121000.-	139000.-

3. Besoins d'investissement

Les chiffres indiqués sur la Fig. 5 représentent des moyennes. Les silos hauts et à parois minces coûtent plus cher que les modèles plus bas, à parois plus épaisses, pour le même contenu. Toutefois le diamètre du silo doit correspondre aux exigences opérationnelles (fréquence de phases d'ensilage, post-fermentations).

La fraise pour le désilage par le haut (silos en bois, en béton ou en matière synthétique) coûte entre Frs. 24000.- et Frs. 27000.-, y compris le support

de grue. La fraise pour le désilage par le bas (silos en acier) coûte Frs. 37000.- (besoins d'investissement: voir tableau 3).

4. Enduits protecteurs et produits d'imprégnation pour silos-tours et silos-couloirs

En 1982, plusieurs entreprises ont produit du lait dont la concentration de biphényle surchloré dépassait la limite maximale de 0,5 mg par kg de matière grasse. Etant donné que cette contamination était causée par un revêtement de silo,

tous les matériaux de construction ainsi que les enduits protecteurs et les produits de revêtement pour étables, chambres à lait et magasins à fourrages sont soumis à une autorisation depuis le 17 avril 1985 (à l'exception des produits d'imprégnation du bois). L'autorité compétente pour toute la Suisse est la FAT.

Après avoir vérifié l'innocuité physiologique des produits en question (résidus dans le fourrage, le lait ou la viande) en collaboration avec l'Office fédéral de la santé publique, la FAT donne l'autorisation provisoire. C'est à l'état durci et sec que le produit doit être physiologiquement inoffensif. Avant de l'appliquer, il faut absolument lire soigneusement le mode d'emploi, les feuilles de renseignements ou les avertissements écrits sur l'emballage.

Pourvu que le produit se prête à l'application prévue, l'autorisation définitive sera accordée. Si par contre le produit s'avère impropre à l'usage, l'autorisation provisoire sera révoquée.

Les produits qui ont été autorisés jusqu'aujourd'hui, sont listés sur le tableau no. 4.

Les produits d'imprégnation du bois sont autorisés par l'Office fédéral de la protection de l'environnement, à condition que la FAT y consente. Actuellement, l'Office fédéral de la protection de l'environnement accorde des autorisations temporaires.

Pour le moment, nous sommes en train de tester l'innocuité physiologique de deux produits efficaces qui sont utilisés pour imprégner des silos en bois. Ce sont:

- Nom du produit d'imprégnation:
Xylamon Holzbau DV braun
Fabricant:
Schmid, Rhyner AG,
8134 Adliswil

Tableau 4: Matériaux de construction, enduits de protection et produits de revêtement autorisés provisoirement (situation 29 février 1988)

Silos en matière synthétique			
Maison	Nom du produit	No. FAT	Autorisation
Huber AG, 5426 Lengnau	GFK, Polyester	56	prov.
Rotaver AG, 3432 Lützelflüh	GFK, Polyester	57	prov.
Enduits de protection et produits de revêtement pour silos en béton			
Aisa SA, 1023 Crissier	Aktivitt-Enamel	58	prov.
Adisa-Service AG, 8902 Urdorf	Epoplex 816 L	59	prov.
Bubenhofer AG, 9202 Gossau	Mobidur Bodenfarbe	60	prov.
Dirim AG, 9052 Niederteufen	GFK-Platten, Polyester	61	prov.
Huber AG, 5426 Lengnau	GFK, Polyester	56	prov.
Inertol AG, 8404 Winterthur	Icosit 277	62	prov.
Kilcher AG, 4565 Rechterswil	Efkadur 654	63	prov.
Klarer Armin, 8215 Hallau	GFK, Polyester	64	prov.
Radix AG, 9314 Steinebrunn	Obrit 210	65	prov.
Rotaver AG, 3432 Lützelflüh	GFK, Polyester	57	prov.
VOLG, 8401 Winterthur	VOLG Siloanstrich	66	prov.
	VOLG Silogrün	67	prov.

Autorisation:

limitée au 31 octobre 1989

Fournisseur du silo:

Stephan Hegner AG,
8854 Galgenen

2. Nom du produit
d'imprégnation:

Kulbanol P

Fabricant:

Dr. Hartmann + Co.,
D-8800 Ansbach

Autorisation:

limitée au 31 octobre 1989

Fournisseur du silo:

Rotaver AG, 3432 Lützelflüh

D'autres produits, quoiqu'efficaces, destinés à imprégner les silos en bois placés à l'extérieur, ne sont pas autorisés. Cela est également valable pour des silos imprégnés d'importation.

- Si le fourrage contient un taux important de MS, le silo doit être aussi étanche que possible.
- Il faut tenir compte de la forte charge statique qui est provoquée par du fourrage tel que les feuilles et les cossettes de betteraves, les céréales humides ainsi que les sortes conservées à l'état liquide.
- L'importance des différences spécifiques entre les matériaux de construction dépend

des conditions locales et opérationnelles.

- Les besoins d'investissement ne dépendent pas seulement en grande partie de la dimension du complexe, mais aussi de la technique d'ensilage et de désilage désirées.
- Aujourd'hui, les silos ainsi que les enduits protecteurs et les produits de revêtement sont soumis à autorisation. Il ne faut donc utiliser que des produits contrôlés et autorisés.

Des demandes éventuelles concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique agricole doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous. Les publications et les rapports de tests peuvent être obtenus directement à la FAT (8356 Tänikon).

BE	Furer Willy, 2732 Loveresse	Tél. 032 - 91 42 71
FR	Lippuner André, 1725 Grangeneuve	Tél. 037 - 82 11 61
TI	Müller A., 6501 Bellinzona	Tél. 092 - 24 35 53
VD	Gobalet René, 1110 Marcelin-sur-Morges	Tél. 021 - 801 14 51
VS	Pitteloud Camille, Châteauneuf, 1950 Sion	Tél. 027 - 36 20 02
GE	A.G.C.E.T.A., 15, rue des Sablières, 1214 Vernier	Tél. 022 - 41 35 40
NE	Fahrni Jean, Le Château, 2001 Neuchâtel	Tél. 038 - 22 36 37
JU	Donis Pol, 2852 Courtemelon / Courtételle	Tél. 066 - 22 15 92

Les numéros des «Rapports FAT» peuvent être également obtenus par abonnement en langue allemande. Ils sont publiés sous le titre général de «FAT-Berichte». Prix de l'abonnement: Fr. 35.- 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, 8356 Tänikon. Un nombre limité de numéros polycopiés en langue italienne sont également disponibles.

5. Conclusions

Lors de l'acquisition ou de la construction d'un silo-tour, il faut considérer les points suivants: