



## *Concevoir l'implantation d'un silo ou d'une trémie à bois déchiqueté*

*Première édition*

LES BONNES PRATIQUES DU BOIS-ENERGIE



## Avant Propos

L'implantation du silo est la partie la plus délicate de la conception d'une chaufferie automatique au bois, aussi, nous ne saurions assez inviter les **bureaux d'études, installateurs et conseillers de la filière bois-énergie** d'appréhender cette partie avec beaucoup d'attention, car les erreurs de conception sont lourdes en la matière.

Cette bonne pratique est destinée à leur fournir les informations techniques de base pour concevoir l'installation d'un silo ou d'une trémie à bois déchiqueté, elle est la cinquième d'une série dédiée au bois déchiqueté.

Elle a été réalisée par l'ITEBE avec le concours financier de l'agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, ADEME, et celui du programme INTERREG IIIb Alpine Space Alpenenergywood.

L'ITEBE est une association professionnelle internationale agissant pour le développement des bioénergies dans le cadre d'un développement durable de nos sociétés. Elle a pour vocation de renseigner et de documenter les demandes techniques et économiques des acteurs des bioénergies, et en l'occurrence ici des professionnels du bois-énergie. Pour alimenter et valider ses informations, l'ITEBE anime régulièrement des séances de travail dans ses différents secteurs d'activités par le biais de ses clubs professionnels.

Les actions de l'ITEBE sont neutres de toute considération commerciale ou politique et sont réalisées aux seules fins de favoriser l'amélioration des technologies et des pratiques dans le secteur des bioénergies.

Chaque bonne pratique est élaborée et enrichie en permanence avec le concours des professionnels. Afin d'en améliorer sans cesse la qualité, nous invitons nos lecteurs à nous transmettre leurs remarques voire propositions aux coordonnées figurant au dos de ce document.



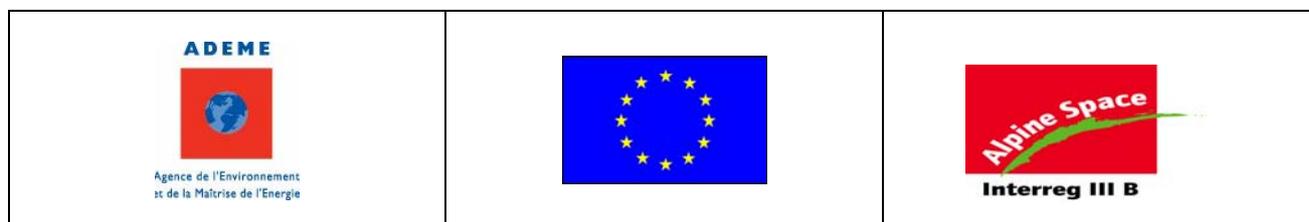
### Avertissement général concernant les bonnes pratiques de l'ITEBE

Une bonne pratique a pour objet de contribuer à optimiser les activités des professionnels en proposant des outils et des pratiques opératoires validées par les spécialistes de la filière.

Ces documents contiennent des informations relatives aux règles de l'art et aux réglementations. En aucun cas, les éléments techniques contenus dans ces documents ne peuvent être utilisés tels quels sans une planification propre à chaque projet. Ces documents ne sont ni réglementaires ni universels et doivent être considérés comme des auxiliaires à la conception et à la décision.

Une bonne pratique doit en particulier souvent faire l'objet d'adaptations en fonction de contraintes du pays ou du contexte régional dans le quel on veut exercer l'activité.

L'ITEBE ne pourrait être tenu pour responsable des malfaçons consécutives au suivi stricto sensu de ces bonnes pratiques. La responsabilité incombe au concepteur, avec l'aide des recommandations, d'analyser chaque cas et de proposer la solution adaptée.



*Remerciements sont faits à toutes les personnes, institutions et entreprises ayant fourni des informations ou ayant participé aux rédactions et relectures successives.*

**Editeur** : © ITEBE 2004 – Reproduction interdite

**Prix** : 15 €, version imprimée uniquement

**Directeur de la publication** : Frédéric DOUARD, directeur de l'ITEBE

## Sommaire

<b>1. Connaître la réglementation</b>	<b>4</b>
<b>2. Calculer le volume de bois nécessaire</b>	<b>6</b>
<b>3. Choisir l'implantation du silo et son système de remplissage</b>	<b>7</b>
3.1 - Les modes de chargement du silo et les véhicules de livraison	7
3.2 - Les critères d'implantation du silo	8
3.3 - Choisir le système de remplissage du silo	10
3.5- Positionnement du silo par rapport à la chaufferie	14
Le cas d'une chaufferie indépendante	14
3.6- Implantation de l'espace de stockage dans le cas d'une installation avec trémie	15
<b>4. Choisir le système d'extraction</b>	<b>16</b>
4.1 - Extraction par vis d'Archimède	16
4.2 - Extraction rotative à pales	17
4.3 - Extraction par vérins racleurs	17
<b>5. Déterminer les cotes du silo</b>	<b>18</b>
<b>6. Sécuriser le silo d'alimentation</b>	<b>20</b>
6.1 - Sécurité des personnes lors des livraisons	20
6.2 - Sécurité incendie	20
6.3 - Ventilation	22
6.4 Convoyage du silo à la chaudière	22
6.5 - Pénétration dans le silo	23

# 1. CONNAITRE LA REGLEMENTATION

Parallèlement à ces recommandations, il est bien sûr indispensable de se conformer aux règles de l'art, d'être conformes aux prescriptions des constructeurs, d'être conformes aux textes officiels en vigueur, normes et réglementations. Car cette liste n'est pas forcément exhaustive.

Description	Référence
<b>Normes et réglementations européennes</b>	
Matériels électriques destinés à être utilisés en présence de poussières combustibles. Partie 1-1 : construction et essais. [indice de classement : c23-581-1-1] Partie 1-2 : matériels électriques protégés par enveloppes - sélection, installation et entretien. [indice de classement : c23-581-1-2] Partie 2-1 : méthodes d'essai - méthodes de détermination de la température minimale d'inflammation de la poussière. [indice de classement : c23-581-2-1]	EN 50281-1-1, EN 50281-1-2, EN 50281-2-1 (Août 2000)
Atmosphères explosives - prévention de l'explosion et protection contre l'explosion - partie 1 : notions fondamentales et méthodologie. [indice de classement : e09-090-1] Ces normes européennes viennent à l'appui des exigences de la directive 94/9/ce. La norme nf en 1127-1 vient à l'appui des exigences de la directive 98/37/ce sur la sécurité des machines et de la directive 94/9/ce.	EN 1127-1 (Octobre 1997)
Systèmes de protection contre les explosions. Partie 1 : détermination des indices d'explosion des poussières combustibles dans l'air. [indice de classement : s62-001] Partie 3 : détermination des indices d'explosion des mélanges de combustibles et d'air autres que les mélanges air/poussière et air/gaz. [indice de classement : s62-003]. Partie 4 : détermination de l'efficacité des systèmes de suppression des explosions. [indice de classement : s62-004] cette norme européenne reprend la norme internationale iso 6174-4, citée en référence dans la circulaire n° 98-83 du 29 juillet 1998.	EN 26184-1 EN 26184-3, EN 26184-4 (Juin 1991)
Eurocode 1 : bases de calcul et actions sur les structures. Partie 4 : actions dans les silos et réservoirs. [indice de classement : p06-104].	FD ENV 1991-4 (Octobre 1997)
Constructions métalliques - silos en acier - calcul des actions dans les cellules	P22-630 (Janvier 1992)
Équipements et systèmes de manutention continue - Prescriptions de sécurité et de CEM pour les équipements de stockage des produits en vrac en silos, soutes, réservoirs et trémies [indice de classement : h95-112].	EN 617 (Décembre 2001)
<b>Normes et réglementations françaises</b>	
<b>Installations soumises à autorisation</b> Relatif aux silos et aux installations de stockage de céréales, de graines, de produits alimentaires ou de tous autres produits organiques dégageant des poussières inflammables (les articles 6 et 15 de cet arrêté ont été annulés par un arrêté du conseil d'état du 29 novembre 1999).	Arrêté du 29 juillet 1998, modifié par arrêté du 15 juin 2000
Relative aux installations classées pour la protection de l'environnement application de l'arrêté du 29 juillet 1998.	Circulaire n° 98-83 du 29 juillet 1998
Relative à l'application de l'arrêté du 29 juillet 1998 relatif aux silos	Circulaire du 18 janvier 2000
<b>Installations soumises à déclaration:</b> Relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2160-1 "silos et installations de stockage de céréales, graines, produits alimentaires ou tout autre produit organique dégageant des poussières inflammables".	Arrêté du 29 décembre 1998 modifié par l'arrêté du 18 décembre 2000
Pour les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles (dite " directive Atex ").	Directive n° 94/9/CE du 23 mars 1994
Relatif aux appareils et aux systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosive (décret portant transposition de la directive n° 94/9/ce).	Décret n° 96-1010 du 19 novembre 1996

Concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives (quinzième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE).	Directive n° 1999/92/CE du 16 décembre 1999
Relatif à la prévention des risques présentés par les silos de céréales, de grains, de produits alimentaires ou de tous autres produits organiques dégageant des poussières inflammables [j.o n° 78 du 1 avril 2004 page 6408 ].	Arrêté du 29 mars 2004
Bâtiments agricoles et installations de stockage - sécurité des silos - atténuation des effets des explosions par les événements de décharge - calcul des surfaces d'événements	NF U 54-540 (Décembre 1986)
Silos bois Prévention des risques d'incendie et explosion de poussières dans les installations de stockage	INRS ED 842 - 2000 ISBN 2-7389-0933-7
Arrêté relatif aux silos et aux installations de stockage de céréales, de graines, de produits alimentaires ou de tous autres produits organiques dégageant des poussières inflammables.	Arrêté du 29 juillet 1998 (J.O. du 30 août 1998) Modifié par arrêté du 15 juin 2000
Bâtiments agricoles et installations de stockage. Sécurité des silos. Atténuation des effets des explosions par les événements de décharge. Calcul des surfaces d'événements.	U 54-540. Décembre 1986
Équipements de stockage: trémies, silos, obturateurs. Code de sécurité.	H 95-112. Octobre 1971
Équipements de stockage alimentés par manutention pneumatique. Code de sécurité.	H 95-123. Août 1975
Construction métallique. Silos en acier. Calcul des actions dans les cellules.	P 22-630. Janvier 1992
Protection contre l'incendie. Classification des matériaux -	Code de la Construction et de l'Habitation
Hygiène, sécurité et conditions de travail - Hygiène, aménagement des lieux de travail, prévention des incendies - Prévention des incendies, évacuation	Code du Travail - Articles
Sécurité incendie dans les établissements recevant du public (ERP)	Arrêté du 25 juin 1980
Protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation	Arrêté du 31 janvier 1986
<b>Normes et réglementations Suisse</b>	
Silos à plaquettes de bois vert Contenu: exigences techniques en matière de sécurité, comportement en cas de pénétration dans le silo	Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, N° 66050. f
Silos à copeaux de bois CNA - Cahiers suisses de la sécurité au travail Contenu: matériaux sous forme de copeaux, vidange des silos et risques encourus, accidents dans les silos à copeaux, causes d'accidents	Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents

Pour en savoir plus pour la France, se référer au **Recueil des textes réglementaires relatifs au bois-énergie** en France (Fascicule n°1 de la série Outils de ITEBE Editions).

## 2. CALCULER LE VOLUME DE BOIS NÉCESSAIRE

Le volume de bois nécessaire pour une saison de chauffe est déterminé par les besoins thermiques et le type de combustible bois qui sera utilisé. En effet, suivant la masse volumique, l'humidité et la granulométrie du combustible choisi, le volume nécessaire sera différent pour une même quantité d'énergie utile. Le tableau suivant donne les caractéristiques de différents combustibles bois pour les chaudières automatiques à bois déchiquetés.

Combustible bois	Hpb	Qualité	PCI en MWh/t		Foisonnement	Densité d'énergie MWh/MAP	
	%		bois tendres	bois durs		bois tendres	bois durs
bois déchiqueté	25 à 35	<i>petite (&lt;30 mm)</i>	3	3,6	<i>2,5</i>	0,5	1,3
		<i>moyenne (&lt;60 mm)</i>			<i>2,5</i>	0,5	1,3
	30 à 40	<i>grosse (&lt;100 mm)</i>	2,8	3,3	<i>3</i>	0,4	1,0
sciure/copeaux	15 à 30	<i>Sciure sèche</i>	3	4,4	<i>2,7</i>	0,5-	1,6
	40 à 50	<i>sciure de scierie</i>	1,6	2,2	<i>2,7</i>	0,3	0,9
	15 à 20	<i>copeaux de menuiserie</i>	3	4,4	<i>6</i>	0,3	0,6
écorce	50 à 60	<i>Broyée</i>	1,8	2,4	<i>3,3</i>	0,2	0,6
		<i>Brute</i>			<i>4</i>	0,2	0,6

Pour déterminer les besoins thermiques d'une installation et donc la quantité de bois nécessaire à la saison de chauffe, vous pouvez vous reporter à la bonne pratique « Concevoir une chaufferie automatique au bois de puissance inférieure à 300 kW ».

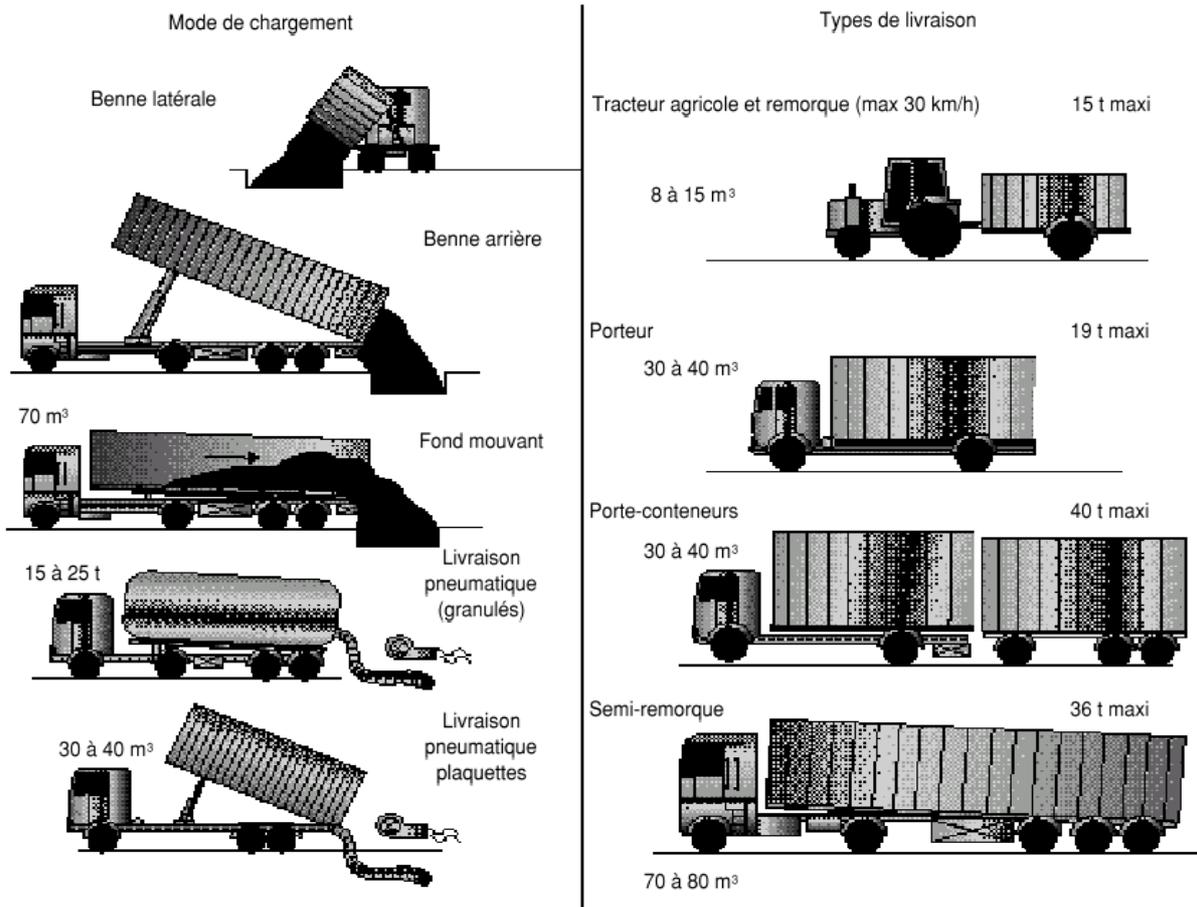
Lorsque l'estimation de la quantité annuelle de combustible est connue, il faut déterminer l'autonomie souhaitée par le maître d'ouvrage, avec une autonomie minimale de 3 ou 4 jours en saison de chauffe (pour couvrir les longs week-ends).

Le volume du silo doit en effet répondre aux exigences du maître d'ouvrage en matière de souplesse d'utilisation, sans toutefois induire un surcoût d'investissement trop élevé.

Ce volume estimé va permettre de déterminer le type de véhicules de livraison (cf chapitre 2) et le volume réel du silo (cf chapitre 4). Il faudra lors de l'étude de faisabilité, rechercher les potentiels fournisseurs de bois dans la région pour connaître leurs moyens de livraison et la qualité du bois qu'ils peuvent livrer.

Pour des petites installations, de 15 à 50 kW, on peut envisager de stocker la totalité du combustible bois nécessaire à une saison de chauffe (environ 25 à 100 m<sup>3</sup>). Pour des chaudières plus puissantes, le local de stockage (50 m<sup>3</sup> minimum pour accueillir une livraison de 30 m<sup>3</sup>) nécessitera d'être rempli plusieurs fois au cours de la saison.

### S1. Mode de chargement et type d'attelage



## 3. CHOISIR L'IMPLANTATION DU SILO ET SON SYSTEME DE REMPLISSAGE

### 3.1 - Les modes de chargement du silo et les véhicules de livraison

Les livraisons de bois peuvent s'effectuer par plusieurs moyens. Le schéma ci-dessous présente les modes de déchargement et les types de véhicules de livraison utilisés pour l'alimentation des chaufferies automatiques au bois.

Mode de chargement	Type de véhicule de livraison	Fonctionnement du déchargement	Remarques
Bennage latéral	Porteur routier avec benne ou benne agricole	Le bois est déversé par gravité parallèlement au bâtiment	Adapté aux livraisons en rues étroites
Bennage arrière	Porteur routier avec benne, tracteur routier avec semi-remorque ou benne agricole	Le bois est déversé par gravité perpendiculairement au bâtiment	Le moyen le plus courant pour les petites et moyennes volumes
Fond mouvant	Tracteur routier avec semi-remorque	Le bois est poussé horizontalement du fond de la remorque	Le moyen le plus courant pour les grands volumes, permet d'alimenter les silos carrossables de plain pied
Voie pneumatique	Porteur routier ou semi-remorque avec benne ou citerne et compresseur à air	Le bois est transporté par un tuyau souple jusqu'à 50 m horizontalement ou 15 m verticalement	Le moyen pour surmonter les obstacles et livrer en hauteur. Il est réservé aux granulométries faibles, homogènes et aux bois secs.

### 3.2 – Les critères d’implantation du silo

Le premier critère d’implantation du silo est la proximité immédiate de la chaudière [entre 3 et 10 m maximum], et les niveaux de livraison qui vont permettre un convoi simple du combustible du camion au silo et du silo à la chaudière. C’est donc parfois les possibilités d’implantation du silo qui vont guider les choix d’implantation même de la chaufferie. Il faudra toujours favoriser les livraisons par bennage (les plus simples), ce qui implique un accès des véhicules de livraison en surplomb du silo, qui sera ainsi souvent enterré par rapport à la route, ou à la rampe d’accès. Concernant le transfert du combustible vers la chaufferie, on recherchera toujours à placer le silo soit de plain pied avec la chaudière, soit même 50 cm à 1 m plus haut, pour éviter tous les systèmes en angles qui font perdre de la place et donc coûtent plus cher. Toujours éviter d’enterrer les silos ou la chaufferie en zone inondable. Si on ne peut pas faire autrement, étanchéifier le tout par l’extérieur, et prévoir des dispositifs de récupération et pompage de l’eau. Il faut toujours essayer de tirer profit des reliefs naturels, ou de salles ou caves existantes pour faire des économies sur le terrassement et le génie civil. Le choix d’un silo aérien se fera en dernier car les contraintes de livraison et d’esthétique sont plus grandes. Les seconds critères sont les possibilités d’accès des véhicules de livraison, si possible de façon à ne pas gêner les riverains. Il faudra veiller en particulier aux

tonnages possibles sur les chaussées principales et secondaires, aux rayons de braquage, à la sécurité des riverains, au retournement des camions, à la sécurité de sortie des camions de la propriété, aux nuisances sonores. Dans le cas d’une intégration du silo dans un bâtiment à usage d’habitation, il faudra éviter de le situer dans les environs immédiats des appartements.

Dans le but de réduire les nuisances sonores de fonctionnement des extracteurs, on peut ajouter un tampon phonique au niveau du plafond du silo. L’isolation phonique des percées murales au niveau des passages de vis peut également s’avérer utile.

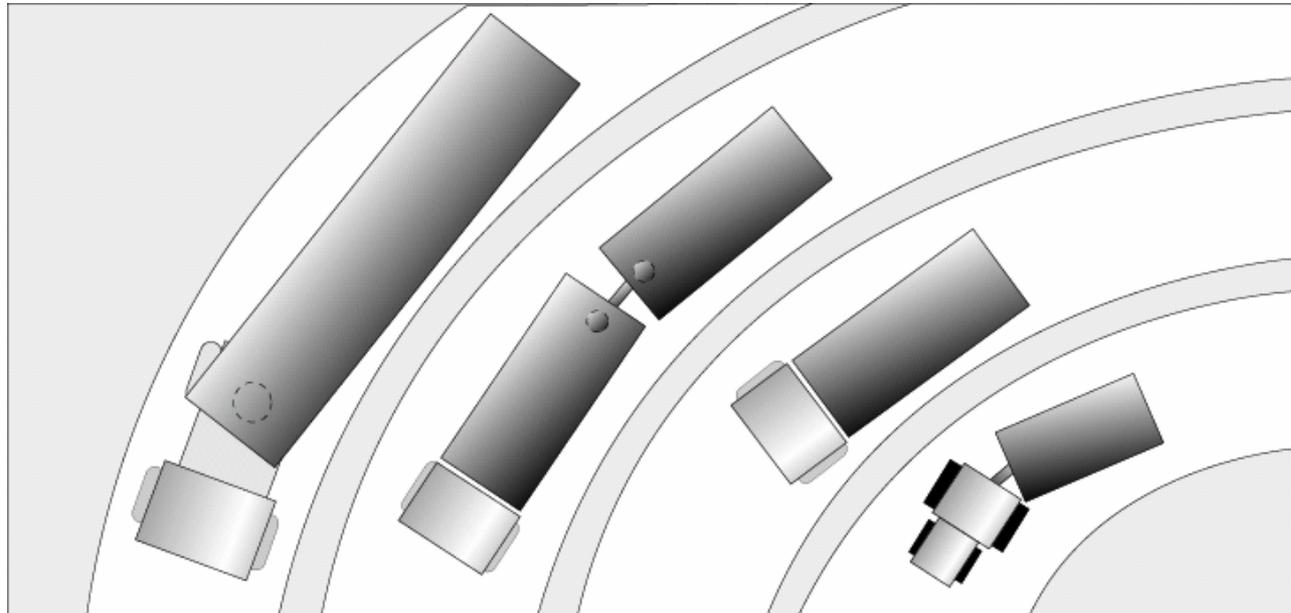
L’envol de poussières lors des livraisons ou le bruit d’un compresseur (camion pompe) peut également provoquer une gêne pour les riverains.

#### **Accessibilité du silo en hiver :**

Les voies d’accès doivent être faciles à dégager en cas de neige. C’est durant la saison froide que les installations de chauffage consomment le plus de bois ! La pente des rampes d’accès ne doit pas dépasser 4 %, la partie la plus haute située vers le silo, surtout en cas de livraison par semi-remorque.

Enfin les derniers critères concernent l’esthétique du silo, son intégration architecturale ou paysagère, et sa propreté durant l’exploitation (facilité de nettoyage et d’entretien).

#### *S2. Les Angles de Manœuvre*



Les dimensions de la benne de livraison, la hauteur du bas de la benne (une fois levée pour les bennantes ou au bout du porte à faux arrière pour les semi-remorques à fond mouvant), les dimensions latérales nécessaires à l’ouverture des portes arrière, la hauteur de la benne levée sont autant de critères qui, s’ils ne sont pas appréhendés, aboutiront à des erreurs graves de conception, que l’on ne verra malheureusement souvent qu’à l’usage, donc trop tard.

Il est toujours utile d’identifier lors de l’étude de faisabilité les différents fournisseurs susceptibles de pouvoir approvisionner la chaufferie et d’identifier le type de matériel qu’ils utilisent pour leur livraison.

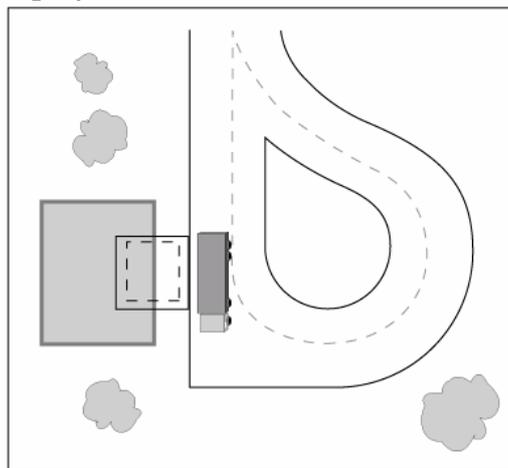
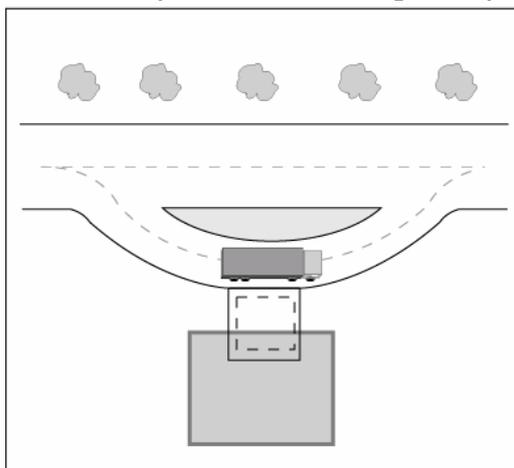
**Quelques valeurs indicatives obligatoirement à vérifier avec les entreprises locales**

Véhicule de livraison	de	Largeur en m	Hauteur en m	Longueur de l'ensemble en m	de	Rayon braquage de	Poids en charge en France (t)
Tracteur agricole et remorque		2.5	2 à 3,5	8 à 10		8	10 à 15
Porteur		2.5	3.8	7 à 9		8 à 10	19
Porteur conteneur		2.5	4	13		15	40
Semi-remorque		2.5	3.8 à 4.4	11 à 15		15	38

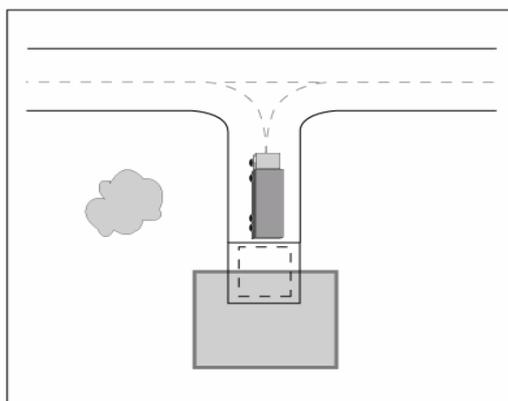
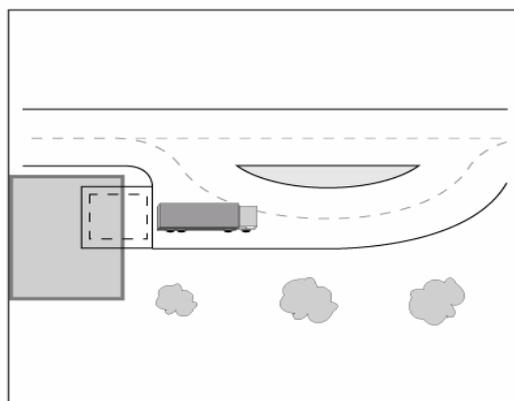
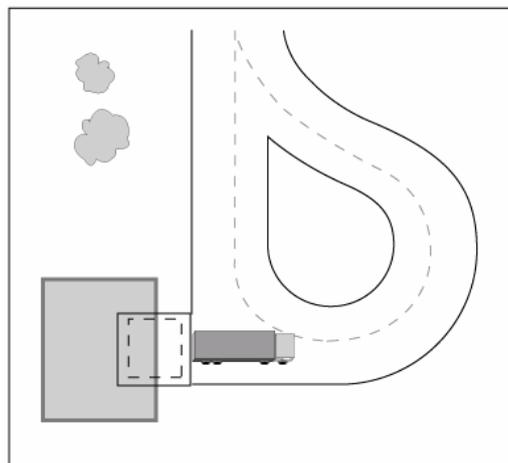
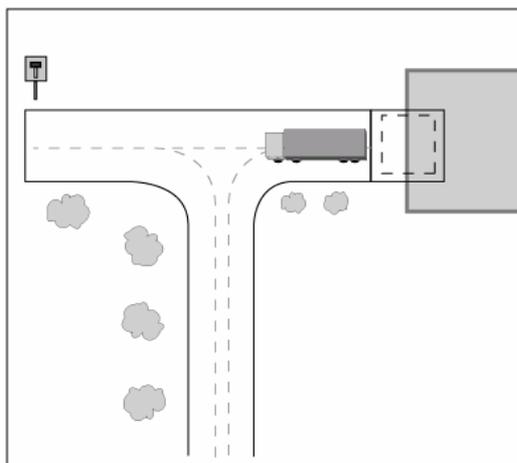
**Accès et sortie du véhicule de livraison :**

Il est souvent nécessaire d'aménager une aire de retournement ou un aménagement avec possibilité de faire un demi-tour. Différents aménagements sont possibles suivant que le basculement de la benne s'effectue par l'arrière ou par le côté :

- Deux possibilités d'aménagement pour décharger par le côté



- Quatre possibilités d'aménagement pour décharger par l'arrière



### 3.3 – Choisir le système de remplissage du silo

Le système de remplissage du silo doit être le plus simple possible pour un minimum d'investissement et un minimum de coûts de fonctionnement. Il faudra cependant répondre aux souhaits du maître d'ouvrage en matière de durée de déchargement, d'esthétique, de sécurité, de propreté et de bruit.

On distingue plusieurs systèmes de remplissage du silo :

#### Remplissage des silos enterrés

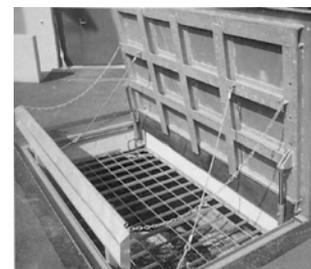
Le remplissage s'effectue par vidage gravitaire. Le silo est fermé par une trappe soit coulissante, soit levable par vérins. Le couvercle levant peut éventuellement être carrossable s'il le silo se trouve sous une chaussée. Dans ce cas, l'évacuation des eaux pluviales et l'étanchéité de la trappe aux intempéries doivent être assurées.

Pour les trappes non carrossables, une barre de butée en béton en bas de la trappe évitera aux véhicules, d'endommager celle-ci.

La hauteur de cette barre doit être suffisamment faible pour les livraisons avec des véhicules surbaissés (fonds mouvants). Par ailleurs, le déneigement mécanique n'est pas possible dans le cas d'une trappe non carrossable.

Enfin, il faudra éviter tous les obstacles qui peuvent gêner la livraison comme les débords de toit au dessus du silo contre lesquels la benne viendrait buter.

*Silo enterré avec couvercle carrossable*



*Silos enterrés à couvercle coulissant*



#### Remplissage des silos de plain pied

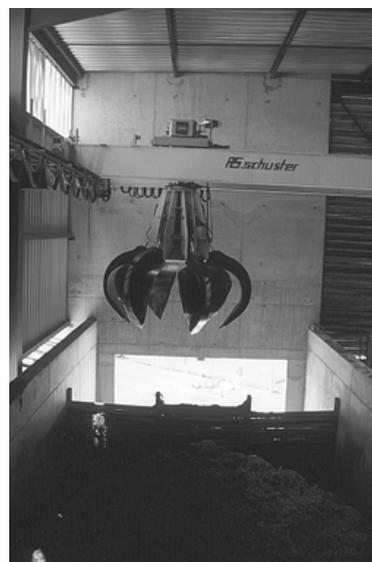
Ils peuvent être remplis directement, par chargeurs à godet ou à partir d'une fosse de déchargement.

**Pour la vidange directe**, le véhicule de livraison entre dans le silo en reculant. Le système d'extraction doit être carrossable et à l'arrêt : racleurs au sol hydrauliques uniquement. L'usage de semi-remorques avec fond mouvant permet de limiter la hauteur du silo à 5 m sous les fermes. Les déversements par bennage peuvent se faire avec des bennes agricoles dans les petites chaufferies ou avec des camions pour les plus grandes installations. Les systèmes à toit escamotable en dur ou bâches mais ils sont à proscrire si les risques météorologiques sont trop importants.

Il sera nécessaire par ailleurs d'assurer une bonne évacuation des eaux pluviales autour du bâtiment pour éviter leur pénétration dans le fond du silo. De plus, si le silo n'est pas complètement maçonné, il faudra tout de même prévoir des protections contre les intempéries : bardage bois à claires voies, grand débord de toit ... Pour les régions à fort risque de gel, la ventilation ne se fera que par le haut du silo.

Il faudra enfin veiller, si la façade retenue laisse quelques ouvertures, que celles-ci ne soient pas accessibles au public pour éviter tout vandalisme (incendie, cailloux...).

**Remplissage par grappin** : L'extraction et le transport à l'aide d'un grappin hydraulique automatique permettent d'utiliser un combustible livré dans une fosse de déchargement. Il permet d'atteindre un taux de remplissage élevé du silo. Ce système convient bien aux installations consommant une quantité importante de combustible. Prévoir une fosse suffisamment grande pour accueillir des livraisons entières.



### Remplissage par chargeur à godet

Ce système est couramment employé quand le hangar de stockage est adossé à la chaufferie. Il permet de prévoir un silo d'alimentation petit mais nécessite beaucoup de manipulations. Le remplissage du silo est effectué à l'aide d'un tracteur à godet (0,5 à 1 m<sup>3</sup>) ou d'un chargeur (2 à 3 m<sup>3</sup>) à partir du stockage jusqu'à l'ouverture de remplissage du silo. C'est une organisation acceptable en milieu rural ou en entreprise.

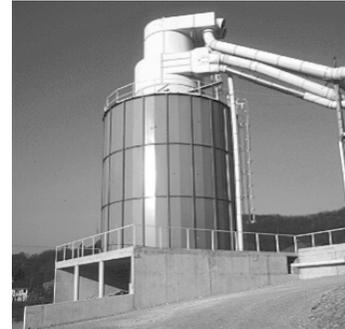


### Remplissage pneumatique du silo

Le remplissage du silo par convoyeur pneumatique est utilisé dans l'industrie de seconde transformation du bois pour des combustibles fins et secs (poussières, copeaux et sciures). Les combustibles sont aspirés par un ventilateur à la sortie des machines à bois. Ce système permet de stocker à la verticale et en aérien. Ce sont les silos les moins chers, mais ils ne conviennent pas du tout aux plus fortes granulométries ou humidités.

Le bois déchiqueté peut cependant être livré en aérien mais avec une installation spécifique de livraison : le camion-souffleur. Ce système permet de transporter le combustible horizontalement et verticalement. C'est la technique de livraison la plus répandue pour la livraison des produits pulvérulents ou à faible granulométrie comme les granulés. Il s'agit d'un compresseur à air qui pousse le combustible amené dans une gaine. Pour les granulés, la gaine est alimentée par gravité, pour les plaquettes grâce à une dessileur dans la benne.

Comme ils mettent les silos en pression, les systèmes pneumatiques nécessitent la confection d'une évacuation d'air du silo avec manche filtrante.



*Silo aérien métallique pour l'industrie du bois*



*Remplissage par camion souffleur*

### Les conteneurs silos

Ce sont des conteneurs de camions équipés de systèmes d'extraction qui sont déposés sur une aire aménagée spécifiquement à côté de la chaufferie. Les conteneurs sont amenés chargés au fur et à mesure pour remplacer les vides. L'intérêt est le faible coût des investissements silo. Les points faibles sont le gel pour les produits humides et le coût élevé d'exploitation.



*Conteneurs - silo (silexport)*

## Les aménagement pour les silos en sous-sols de bâtiments

### Répartition

Fréquemment, on choisira de situer le silo au sous sol d'un bâtiment. Ceci à pour avantage de se rapprocher de la chaufferie, d'utiliser des volumes existants et de profiter du dénivelé naturel pour la livraison.

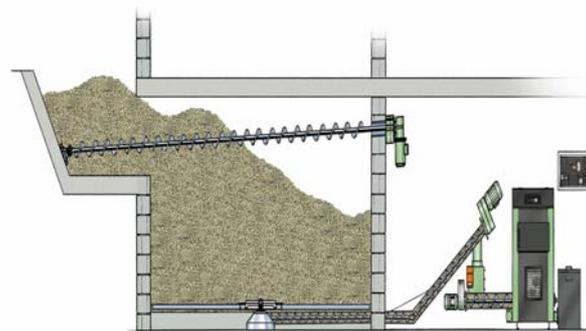
Cependant, ce choix va compliquer la livraison gravitaire car le bennage ne peut se faire directement par le dessus : un système de répartition est nécessaire. Suivant la quantité de bois à transférer, il peut s'agir d'un répartiteur hydraulique, d'une vis sans fin ou d'un tapis. Un répartiteur permettra d'avoir un taux de remplissage jusqu'à 80 %.

Ce système est à réserver aux installations de tailles petites et moyennes car le faible débit ne permet pas des durées de livraison acceptables pour des grosses quantités.

Par ailleurs, à part le système hydraulique, ces systèmes peuvent être bruyants et comme il sont par définition placés sous le bâtiment, ce choix n'est pas toujours souhaitable.



Répartiteur de silo Schmid



Fosse de Livraison et convoyage par vis Herz

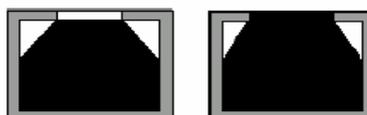
## Le positionnement et le dimensionnement des ouvertures

Pour permettre le remplissage du silo, il faut prévoir des portes ou des trappes adaptées.

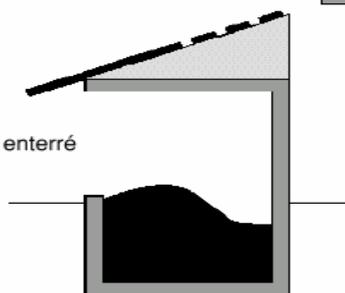
Les contraintes dimensionnelles minimales de chaque porte ou trappe sont renseignées dans le tableau ci-dessous en fonction du mode d'approvisionnement.

### S5. Positionnement des ouvertures de silo

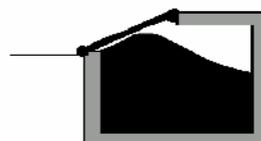
5a. trappe centrée pour silos enterré (vues de face et de côté)



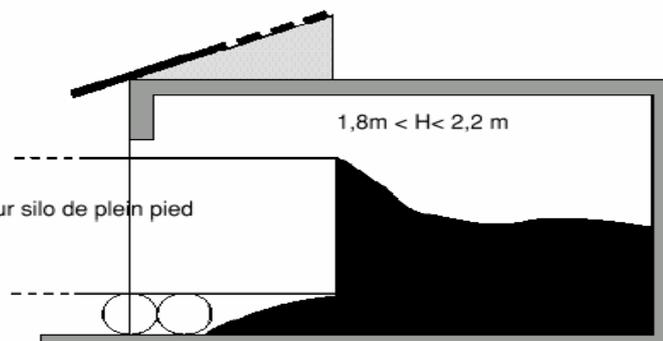
5b. Porte pour silo enterré



5c. Trappe à gauche pour silo enterré

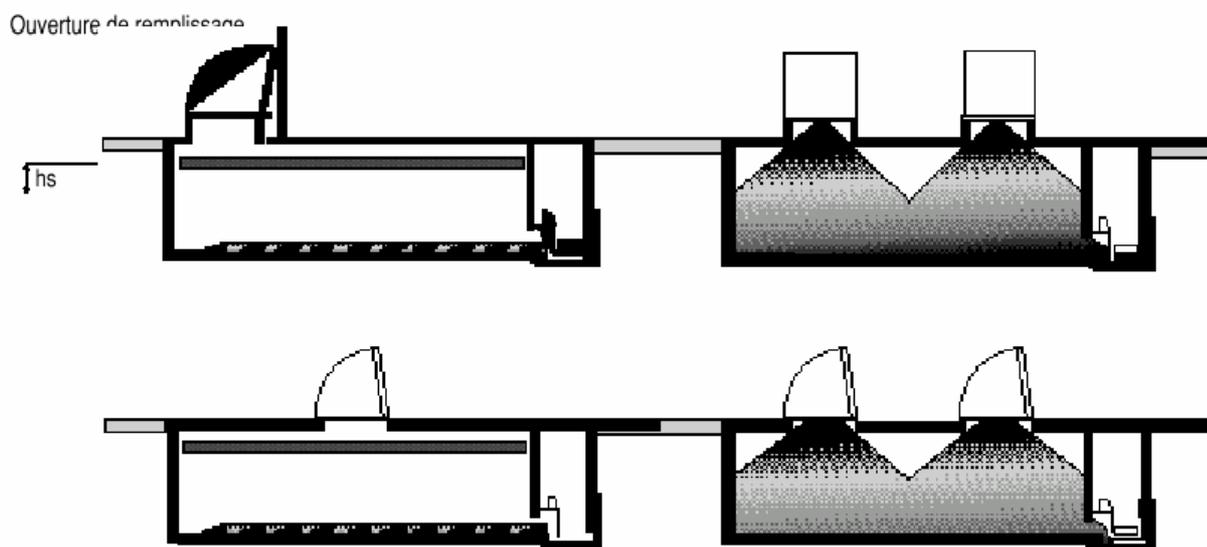


5d. Porte pour silo de plein pied



S8. Tableau sur les dispositions des couvercles carrossables ou non carrossables

8a- Disposition avec couvercles non carrossables (avec et sans répartiteur)



8b- Disposition avec couvercles carrossables (avec et sans répartiteur)

Silo	Ouverture	Type de véhicule	Type de livraison		Dimensions ouverture			
			Bennage	Type de porte	Longueur trappe ou de recul mini L (m)	Largeur mini l (m)	Hauteur mini H (m)	
Enterré	Trappe	Horizontale ou à 45°	Tracteur agricole	Latéral	Ridelle battante	1,5	3 à 7	-
			Tracteur agricole	Arrière	Battante	2 à 3	3,5	-
			Tracteur agricole, porte conteneurs et semi-remorque	Arrière	A ouverture latérale	3 à 4	3,5	-
			Camion benne	Latéral	Ridelle battante	2 à 3	7	-
			Semi-remorque à fond mouvant	Arrière	A ouverture latérale	4	5	-
Enterré	Porte	Verticale	Tracteur agricole	Arrière	Battante ou à ouverture latérale	5	3 à 6	7 à 8
			Porte conteneurs et semi-remorque	Arrière	A ouverture latérale	5 à 6	6	7 à 10
			Semi-remorque à fond mouvant	Arrière	A ouverture latérale	4	6	5
Plain pied	Porte	Verticale	Tracteur agricole	Arrière	Battante ou à ouverture latérale	10	6	7 à 8
			Porte conteneurs	Arrière	A ouverture latérale	12	6	8 à 12
			Semi-remorque	Arrière	A ouverture latérale	20	6	10 à 15
			Semi-remorque à fond mouvant	Arrière	A ouverture latérale	15	6	5

## Précautions

Pour les trappes il est conseillé de dimensionner leur largeur avec 1 m supplémentaire par rapport à la largeur de la benne.

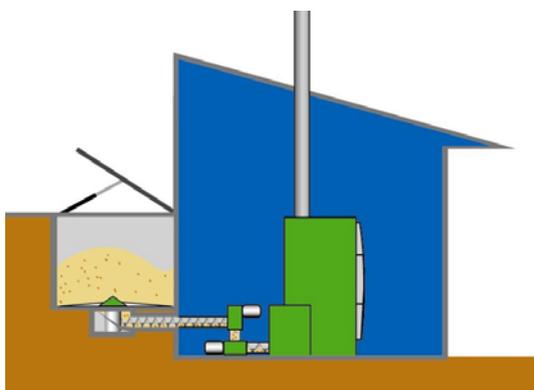
Concernant les silos à entrée verticale, la largeur de l'ouverture doit intégrer le fait que les portes de la benne doivent être ouvertes à l'intérieur pour éviter toute chute de combustible sur la rampe d'accès, ce qui revient à prendre en largeur le double au moins de la largeur de la benne plus 1 m.

Les contraintes dimensionnelles ci-dessus ont été établies à partir d'opérations de référence connues. Toutefois, suivant les pays ou les véhicules utilisés, il conviendra de vérifier avec les professionnels concernés si les cotes proposées sont acceptables.

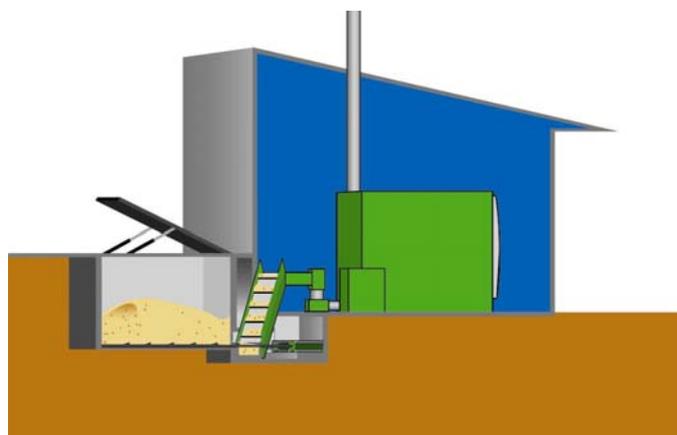
## 3.5- Positionnement du silo par rapport à la chaufferie

### Le cas d'une chaufferie indépendante

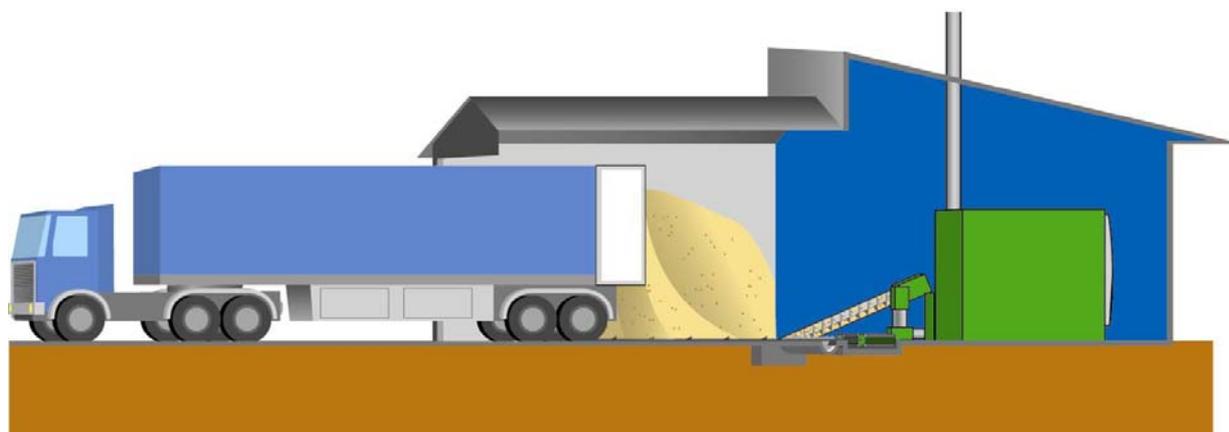
**Exemple 1 :** Le silo est positionné légèrement surélevé par rapport à la chaufferie. La hauteur séparant le silo du local chaufferie doit être au minimum de 70 cm. Cette configuration convient aux petites puissances pour lesquelles l'utilisation de vis est fréquente. Elle permet d'éviter les inclinaisons de vis et les pertes de volumes. Pour réaliser cette configuration, rechercher un dénivelé naturel du terrain.



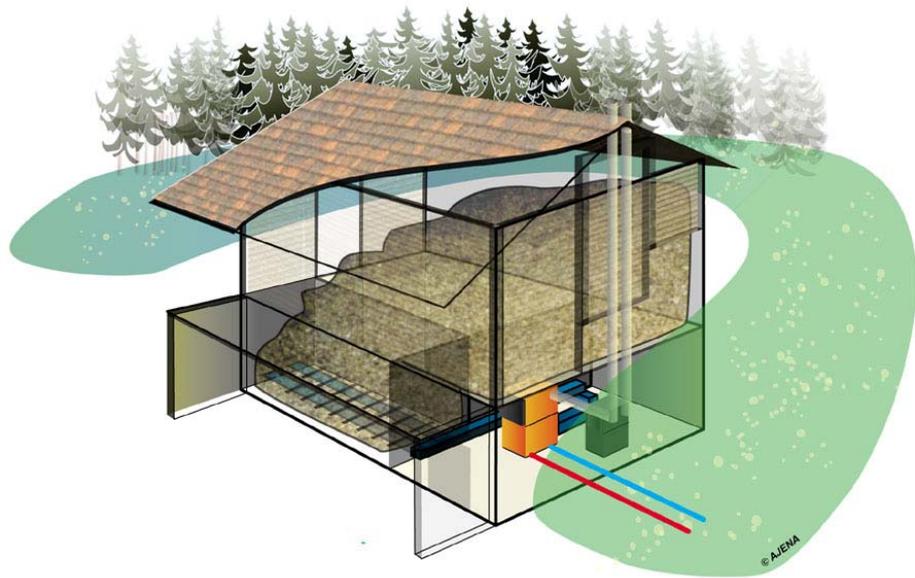
**Exemple 2 :** C'est le cas le plus fréquent de sol plat et inondable, où il n'est pas possible d'enterrer la chaufferie. Néanmoins, cette organisation est réservée aux chaufferies de puissance moyenne ou élevée (supérieure à 600 kW) pour lesquelles l'utilisation de convoyeurs à raclettes est réalisable. Ce type de matériel permet de transférer le combustible même avec une inclinaison importante. La rampe d'accès au silo est alors terrassée non naturellement.



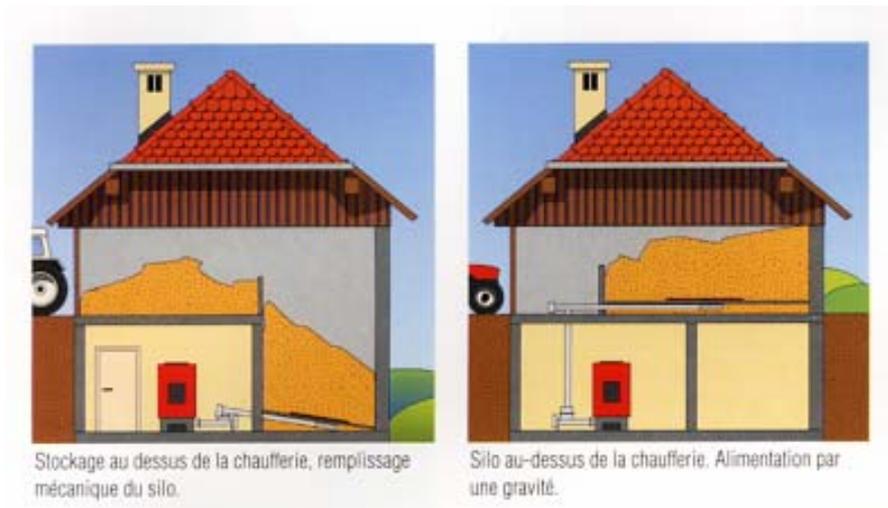
**Exemple 3 :** Le silo et la chaufferie sont de plain pied. C'est la solution quand on ne peut absolument rien enterrer, pour cause de roche ou d'eau abondante. Cette solution demande un effort particulier d'insertion architecturale.



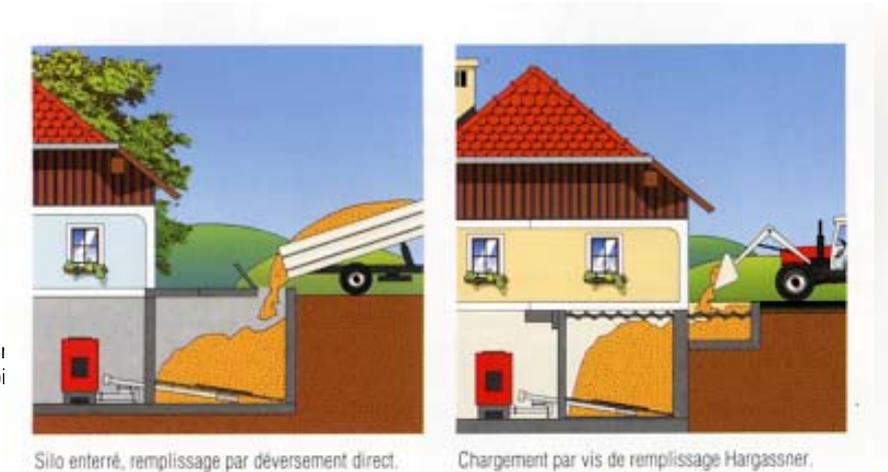
**Exemple 4 :** le silo est placé au dessus de la chaufferie avec un accès par le haut. Cette solution peut convenir lorsque la chaufferie intègre le hangar de stockage comme sur le schéma ou lorsque le silo est accolé en aérien au bâtiment à chauffer, au sous sol duquel se trouve la chaufferie.



**Le cas d'une chaufferie intégrée au bâtiment chauffé**



**3.6- Implantation**



## l'espace de stockage dans le cas d'une installation avec trémie

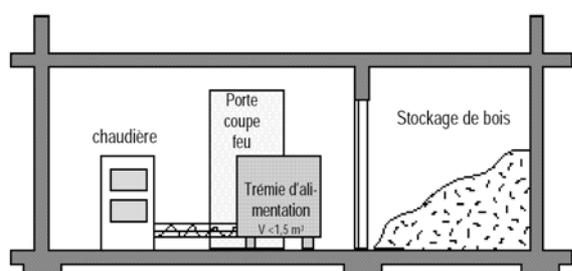
En général, l'autonomie des chaudières à alimentation semi-automatique est faible (inférieure à une semaine par grand froid) du fait du volume limité de la trémie. Par conséquent, il est inévitable de placer l'espace de stockage le plus près possible de la trémie pour faciliter la manutention du bois.

### Dimensionnement de l'espace de stockage

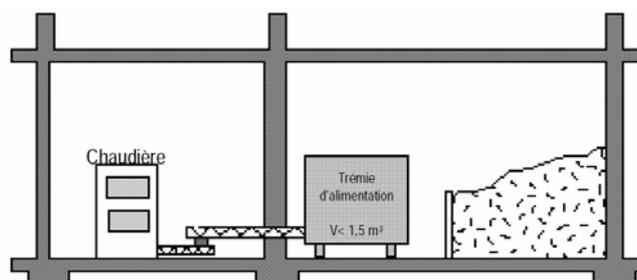
Il doit correspondre au minimum à un volume de livraison (remorque agricole ou camion), à moins que le déchiquetage soit effectué sur place.

Par ailleurs, par soucis de sécurité d'approvisionnement, il est conseillé de prévoir un espace de stockage pouvant contenir la consommation d'une saison de chauffe complète, sauf à avoir un fournisseur garantissant du bois sec toute l'année.

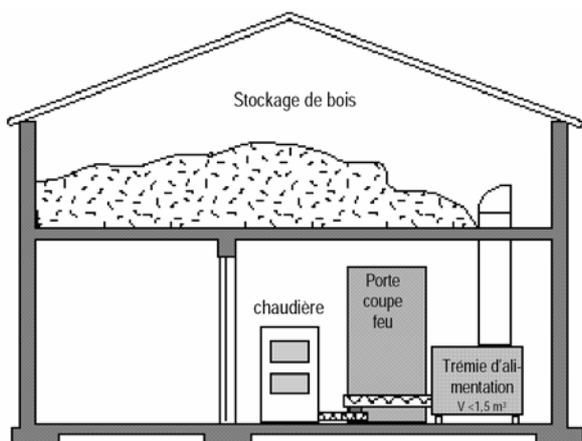
### Exemples d'implantations du stockage dans le cas de chaudières semi-automatiques



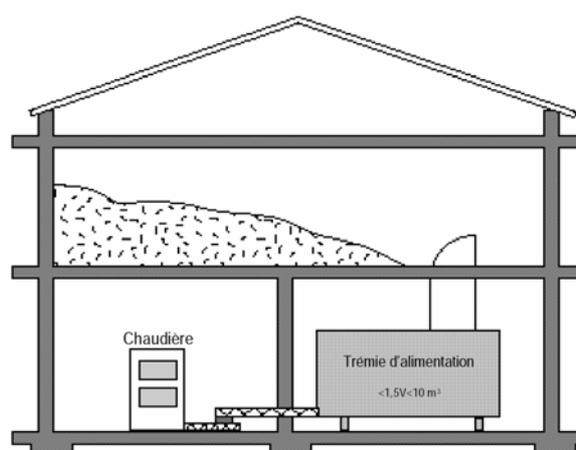
**Schéma 1** : trémie fermée placée dans la chaufferie avec stockage attenant



**Schéma 2** - Trémie fermée avec stockage contigu



**Schéma 3** : Trémie placée dans la chaufferie avec stockage l'étage sans sas



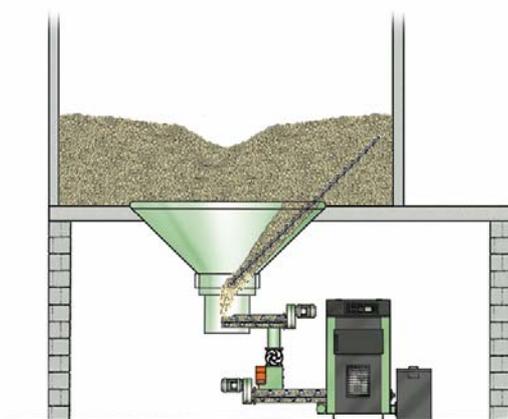
**Schéma 4** : trémie placée (ouverte ou fermée) dans un local attenant avec stockage l'étage.

## 4. CHOISIR LE SYSTEME D'EXTRACTION

### 4.1 - Extraction par vis d'Archimède

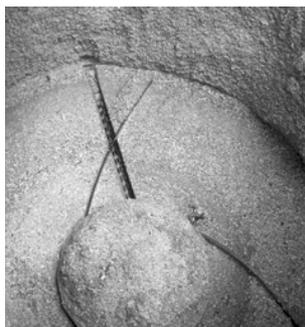
Il existe quatre types d'extracteurs à vis : conique, plat à vis centrale, plat à vis pendulaire, plat à vis alternative. Ce sont les extracteurs favoris des entreprises de seconde transformation du bois.

- ✓ L'extracteur conique est adapté pour des silos circulaires de grande hauteur avec une faible surface au sol et pour des silos placés juste au dessus de la chaudière. Le fonctionnement est simple : une vis inclinée, placée dans un cône, se déplace à 45° dans le silo en décrivant un cercle pour dévoûter le combustible. Son mouvement concentre le combustible au centre du fond du silo au niveau du dispositif d'extraction et de transport. Il ne convient que pour les produits légers ou alors pour des silos à faible hauteur.



- ✓ L'extracteur plat à vis centrale ou circulaire, est adapté aux silos circulaires de grandes dimensions. Il convient aux combustibles plaquettes de bois sec mais se révèle être très sensible aux morceaux de grandes dimensions. Une vis centrale robuste, placée sur le fond du silo, décrit un cercle sur le sol du silo, ce qui permet de déplacer le combustible vers le centre du silo.
- ✓ Les systèmes d'extraction par vis pendulaire travaillent de la même manière que l'extracteur circulaire, sauf qu'ils sont appropriés pour les silos à base rectangulaire. La vis d'extraction est placée sur un bord du silo et exécute un mouvement pendulaire décrivant ainsi un demi-cercle horizontal sur le fond du silo. La perte de
- ✓ Pour les silos de très grand taille à base rectangulaire, il existe également de fortes vis qui avancent et reculent le long du silo sur deux ancrages moteurs, ramenant le combustible vers un caniveau de convoyage d'un côté.

## 4.2 - Extraction rotative à pales



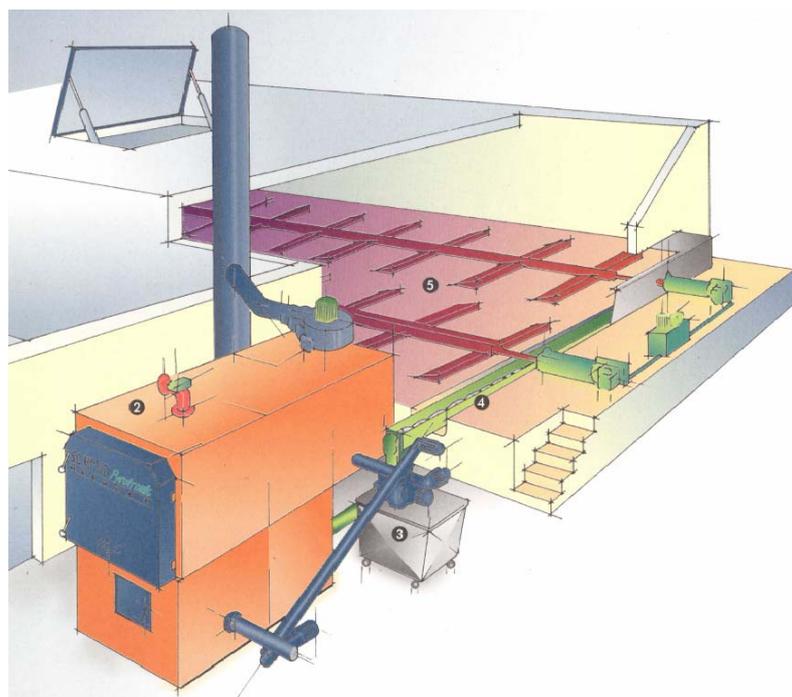
Ce type d'extracteur est couramment utilisé pour le désilage des plaquettes sèches et calibrées pour des chaufferies inférieures à 300 kW. Le diamètre maximum est en général de 4 à 6 mètres et une hauteur maximum de 3 à 5 mètres selon le fabricant. Les pales ou les lames de ressort permettent, grâce à une rotation d'amener le bois déchiqueté au niveau de la vis d'extraction du silo, placée dans un caniveau radialement à l'extracteur. Utilisés dans des silos à base carrée, il présente l'inconvénient de ne pas pouvoir tout racleur. Ils sont souples aux défauts de granulométrie. Pour éviter une usure trop précoce de la mécanique, éviter de prévoir un silo trop haut, cause de surcharge.

## 4.3 - Extraction par vérins racleurs

Ce sont les systèmes d'extraction universels des silos rectangulaires pour toutes puissances et tous combustibles en humidité et granulométrie. Ils équipent généralement les silos enterrés, et sont ainsi les systèmes les plus coûteux de par le génie civil qu'ils occasionnent. Ils se placent dans le sens de la longueur du rectangle pour limiter le nombre de vérins.

Un système d'extraction hydraulique par racleur est composé d'une série de racleurs disposés sur le sol du silo, et actionnés chacun par un vérin. Le mouvement avant-arrière et la forme triangulaire du racleur vont tirer le combustible vers une fosse de transfert. La plupart des racleurs sont carrossables, ce qui permet éventuellement de créer un silo de plain pied. Il existe des silos à racleurs préfabriqués sur un fond de silo en acier avec un couplage à la vis d'alimentation.

La longueur des racleurs doit être limitée à 12m grand maximum, et la charge ne doit pas dépasser 3m de hauteur. La largeur des racleurs oscille entre 2 et 2.5 m. Un local hydraulique de 2 ou 3 m de largeur est à prévoir en bout du silo.



## Synthèse des différentes techniques d'extraction et de convoyage pour le bois déchiqueté.

Combustible	Humidité	Granulométrie	Techniques d'extraction	Techniques de convoyage
Copeaux & sciures	10 à 50 %	Fine	Vis, racleurs	Pneumatique, vis
Plaquettes forestières	20 à 50 %	Faible	Pales, Racleurs	Vis
Plaquettes de scierie	20 à 50 %	Forte	Racleurs	Grosse vis, chaîne à raclettes
Broyat de rebut, écorces	20 à 65 %	Grossière	Racleurs	Double vis, chaîne à raclettes

Parmi les techniques de convoyage, les tapis roulants peuvent éventuellement être employés pour des transferts sur une relative longue distance (20 à 100m). Ils présentent des risques non négligeables de pannes ou d'incendie.

## 5. DETERMINER LES COTES DU SILO

Déterminer le volume d'un silo d'alimentation d'une chaudière automatique au bois déchiqueté nécessite de s'intéresser à la puissance de la chaudière, aux besoins annuels, au confort des utilisateurs, le type de bois déchiqueté en prenant en compte le volume utile, le type d'extraction, le type d'ouverture du silo.

Pour commencer le silo de stockage doit pouvoir contenir entièrement le volume livré par la structure d'approvisionnement dans des conditions normales : volume de la benne + volume perdu dans le silo + une petite réserve de bois supplémentaire d'une ou deux journées pour ne pas laisser le silo complètement vide avant la livraison.

$$\text{Minimum technique du Volume silo} \geq \text{Volume minimum livrable} + \text{Volume réserve} + \text{Volume perdu}$$

Calcul du volume du silo :

$$\text{Volume silo} = \text{Volume utile (autonomie souhaitée)} + \text{Volume système extraction} + \text{Volume ouverture} + \text{Volume système répartition} + \text{Volume perdu}$$

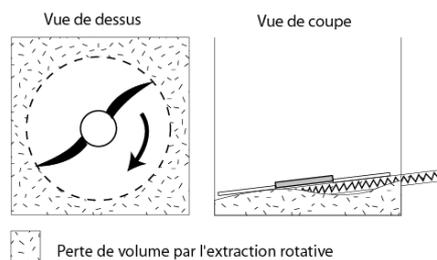
### Influence du système d'extraction : Volume perdu suivant le type d'extraction

Un certain volume est perdu dans le positionnement du système d'extraction. Ce volume perdu peut aller de moins de 5% pour les racleurs (hors local hydraulique) jusqu'à plus de 40 % du volume du silo pour les systèmes rotatifs.

**Extraction rotative** (vis ou pales) : pour des questions de coût et d'implantation, les silos sont généralement carrés ou rectangulaires. Il faut donc calculer deux types de volumes perdus :

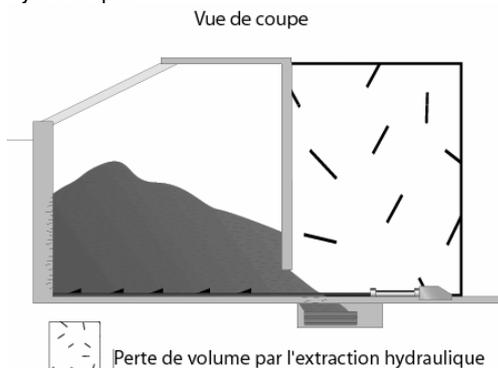
- l'espace sous l'extracteur (après avoir essayé de la placer le plus horizontalement possible) : dépend du fabricant
- l'espace perdu dans les coins sur la hauteur totale du silo (car le bois déchiqueté se tasse très bien) :

$$\text{Volume perdu par les coins} = (\text{Côté} \times \text{côté}) - (\pi \times r^2) \times \text{hauteur}$$



Perte de volume par l'extraction rotative

**Extraction par vérins racleur** : les pertes viennent marginalement du volume des racleurs, principalement du mode de remplissage et de répartition, puis du local hydraulique.



Perte de volume par l'extraction hydraulique

Extraction par vis pendulaire :

$$\text{Volume perdu} = \text{Perte de remplissage} + ((\text{Côté} \times \text{côté}) - (\pi \times r^2)) \times \text{hauteur} / 2$$

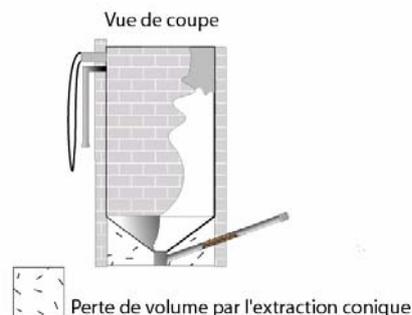
Extraction par vis alternative :  
perte de remplissage uniquement

Extraction par vis rotative à plat : si le silo est circulaire, la perte est uniquement celle du remplissage. Si le silo est carré, **il faut y ajouter la perte par les coins.**

**Extraction conique** : si le silo est circulaire, il n'y a que l'espace complémentaire du cône.

$$\frac{2}{3} (\pi \times r^2) \times \text{hauteur du cône}$$

Si le silo est carré, ajouter la perte par les coins.



Perte de volume par l'extraction conique

### Influence de l'ouverture sur le taux de remplissage du silo : V ouverture

Du fait de la formation d'un cône retourné plus ou moins régulier lors de la livraison dans le silo, la configuration de l'ouverture de remplissage implique une perte de volume utile variable suivant sa position horizontale par rapport au silo (centrée, en bout de silo ou complètement décalée). Il faut savoir également que certains combustibles coulent bien, forment une pente de 45° environ (les plaquettes, la sciure), alors que d'autres s'empilent au même endroit et se répartissent du fait très mal (les écorces).

### Influence de la hauteur du silo sur le taux de remplissage du silo

Lorsque le bois tombe, il est impossible de le guider. Si la hauteur est insuffisante pour le volume déversé, il sera difficile de décharger complètement le camion et de répartir le bois dans le silo. La hauteur est d'autant plus cruciale avec des combustibles grossiers et humides (écorces), moins fluides lors du déchargement.

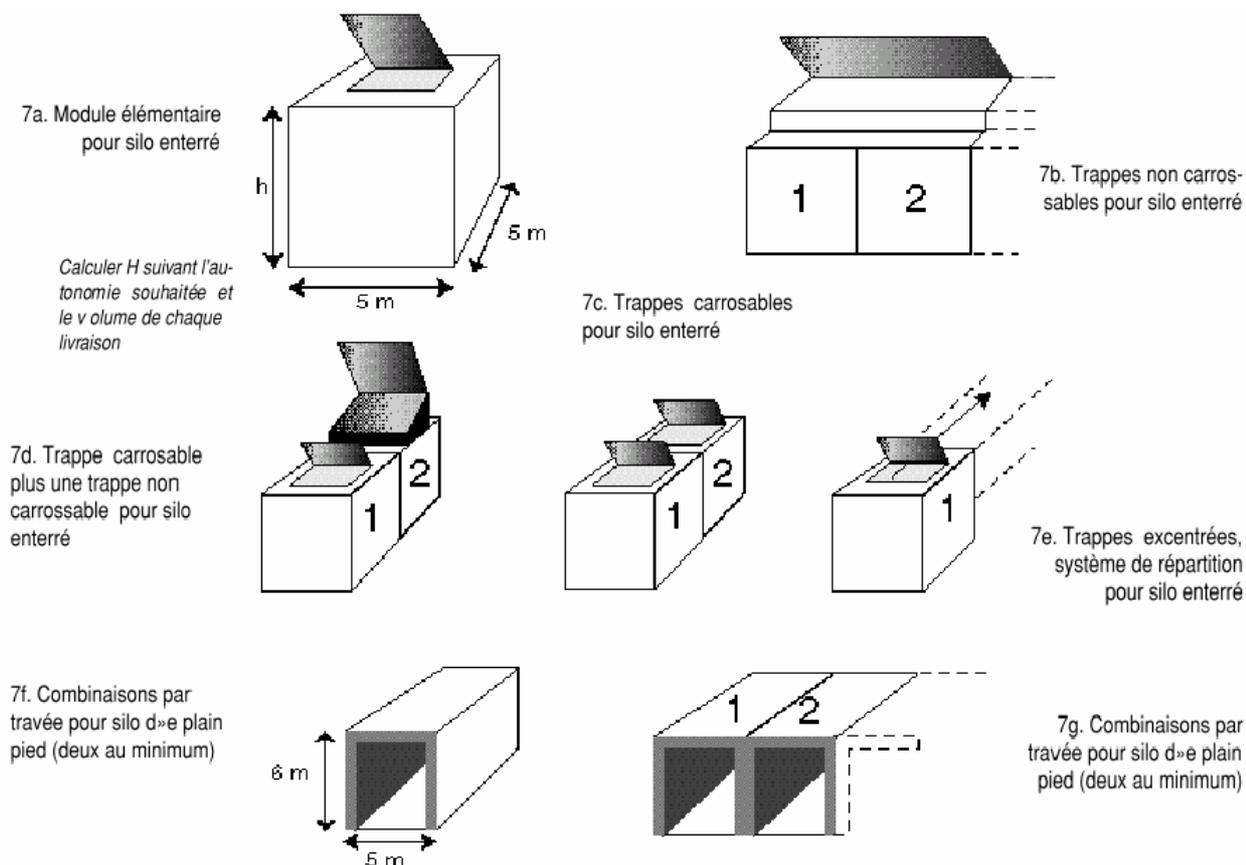
En général, la hauteur du silo ne dépasse pas **3,5 à 4 mètres**.

### Ajout d'un système de répartition : Volume système répartition

Lorsqu'on est obligé de remplir le silo par un bout, un système de répartition est nécessaire pour étaler le tas. Il faut alors retirer l'encombrement du système au volume utile du silo.

### Méthode de conception simplifiée par modules pour les silos à bennage

Sachant, comme nous l'avons vu précédemment, qu'il y a en fait peu de moyens de bien remplir un espace silo, et que celui-ci ne doit pas faire plus de 4 m de hauteur, il est facile de modéliser le silo idéal : celui-ci est un volume de 36 m<sup>2</sup> à la base, avec un remplissage en son sommet. Ce module de 144 m<sup>3</sup> brut a un taux de remplissage est de 80%. Il permet le déchargement de tous types de véhicules, depuis le tracteur agricole jusque la grosse semi-remorque de 90m<sup>3</sup>. Ce module idéal peut donc être multiplié par autant de cellules que l'autonomie de la chaufferie demandera et qui constitueront le silo total.



### *S7. Conception des silos par module*

#### **Silo de plain-pied (schémas 7f et 7g) :**

Il est composé en différentes travées de 5 mètres de large qui permettent, si plusieurs travées sont nécessaires, de vider l'une d'elles en totalité pour permettre le déchargement du véhicule de livraison. La longueur du silo (L) doit permettre le déchargement du camion et peut donc nécessiter plus de douze mètres pour des camions à fond mouvants de 90 m<sup>3</sup>. Le système d'extraction devra être carrossable (vérins encastrés, chaînes à racleurs).

## 6. SECURISER LE SILO D'ALIMENTATION

Ce chapitre précise les exigences de sécurité à respecter dans le cadre de l'utilisation d'un silo à bois déchiqueté bâti.

### 6.1 - Sécurité des personnes lors des livraisons

- **Verrouillage de l'ouverture en dehors des livraisons** : L'ouverture devra être verrouillée afin qu'elle ne puisse être ouverte par une personne non autorisée.

- **Prévention du risque de chute du public dans le silo lors des livraisons** : Si elle se situe dans une zone fréquentée par des personnes, il sera nécessaire d'appliquer les mesures de sécurité suivantes : mise en place de treillis, grilles, barrières etc. (voir les tailles ci-dessous).

⇒ Pour un silo de petite dimension, dont la contenance n'équivaut qu'à un chargement de bois déchiqueté, l'ouverture est refermée immédiatement après remplissage. Son accès au public peut être empêché par :

- la mise en place de barrières relevables sur la ou les deux largeurs du silo, lors de la livraison
- l'installation d'un couvercle relevable (cas des trappes),
- la présence du camion qui bloque le côté de remplissage.

⇒ Pour les silos chargés en plusieurs fois : Si l'ouverture reste en position ouverte entre deux arrivages, il est indispensable de barrer son accès par des barrières mobiles.

- **Dimension des mailles du treillis (pour les trappes)** : Une maille de 20 x 20 cm est généralement suffisante pour permettre le passage du bois déchiqueté. Seule une quantité minimale de bois est retenue par la grille lorsqu'on le déverse du camion, quantité qui pourra être poussée à travers la grille par un petit râteau. Les treillis à mailles de 20 x 20 cm permettent d'éviter que des adultes ne tombent dans les silos, mais n'offre qu'une protection minimale pour les jeunes enfants. Pour ces derniers, la dimension de la maille devrait être réduite à 15 x 15 cm. Dans le cas d'utilisation d'un combustible grossier (écorces brutes non broyées par exemple), il convient toutefois de vérifier qu'il puisse traverser ces mailles.

- **Grilles à barreaux parallèles (pour les trappes)** : Sur le plan de la sécurité, les barreaux permettent de s'affranchir des risques de chute des adultes et des enfants, avec un écart entre les barreaux qui ne doit pas dépasser 10 cm. La résistance du matériau constituant les barreaux doit être définie pour empêcher ces derniers de se déformer sous l'influence de la charge. Si cette résistance n'est pas garantie, il convient de fixer des raccords transversaux entre les barreaux parallèles.

- **Nettoyage de l'ouverture après livraison** : Il faut que le nettoyage du couvercle et du treillis métallique après remplissage de bois déchiqueté puisse être effectué par des moyens simples. La gouttière du cadre ainsi que la zone d'appui du couvercle ne doivent pas présenter d'arêtes vives.

- **Dispositif de levage et système de commande (pour les trappes)** : Il faut éviter de déployer un effort supérieur à 30 kg pour soulever le couvercle. En raison de son poids important celui-ci pourra être muni de vérins hydrauliques. Si le couvercle est doté de pistons à gaz, il convient de noter que leur capacité portante diminue nettement par basses températures.

#### - Blocage en position de trappes

Le couvercle en position ouverte doit être bloqué automatiquement pour éviter qu'il ne se ferme inopinément ou ne se rabatte sous l'influence du vent par exemple. Cette mesure s'applique uniquement aux couvercles à charnières.

### 6.2 - Sécurité incendie

#### Règles générales de sécurité relatives aux risques d'incendie

La prévention incendie cherche d'abord à supprimer les causes de déclenchement puis à assurer la sécurité des individus et à limiter le risque de propagation de l'incendie ; elle facilitera l'intervention des secours extérieurs et visera à limiter l'importance des dégâts.

Des mesures concernant la conception et la construction des bâtiments doivent être prises :

- implantation des bâtiments pour permettre l'évacuation rapide des personnes et faciliter l'accès des équipes de secours,
- tenue au feu des structures pour permettre à celles-ci de rester stables, au moins pendant l'évacuation des personnes,
- choix de matériaux limitant les émissions de gaz et fumées toxiques en cas d'incendie,
- isolement, séparation et distances de sécurité pour empêcher (ou limiter) la propagation de l'incendie,
- issues et dégagements,
- alarmes,
- désenfumage.

#### Propagation des incendies

Les installations de chauffage à bois déchiqueté, ainsi que les silos et les locaux de stockage correspondants, doivent être construits de manière à empêcher les incendies et leur propagation. Les installations d'alimentation doivent être en matière non inflammable et aussi hermétiques que possible. Il ne doit pas y avoir de risque d'incendie provoqué par le fonctionnement (moteur électrique inclus) d'un système mécanique d'approvisionnement de la chaudière.

A part le combustible dans la trémie, il ne doit pas y avoir d'autres matières combustibles (bois bûche, etc...) dans la chaufferie, ni d'autres combustibles (cuve fioul, ...).

De plus, il faut pouvoir vider le local de stockage de manière adéquate.

Pour les locaux de stockage souterrains, il faut en principe au moins une ouverture supérieure d'une grandeur de 1,5 par 2,5 mètres. S'il ne peuvent être entièrement vidés par le haut, il faut aménager des ouvertures latérales accessibles directement depuis l'extérieur.

### **Les dispositifs de sécurité incendie sur les systèmes d'alimentation**

Ils doivent être conçus et installés en fonction du système, de manière à empêcher tout retour de flamme dans le réservoir de combustible en cas de dérangement.

Il faut installer au moins deux dispositifs de sécurité indépendants l'un de l'autre :

- Une sécurité incendie par extinction du feu et arrêt de l'installation avec alarme. Ce dispositif (thermostat de sécurité par exemple) doit être branché directement sur le réseau d'eau, ou peut être raccordé à un réservoir, lui-même branché sur le réseau d'eau et surveillé par un mécanisme de sécurité qui met l'installation hors service en cas de niveau d'eau insuffisant. La conduite d'eau jusqu'au dispositif d'extinction doit avoir un diamètre suffisant. La mise en route de ce système reste exceptionnelle, mais il convient tout de même de prévoir une évacuation de l'eau adéquate.

- Une sécurité incendie de coupure, dispositif ne nécessitant pas d'eau, tel que canal de chute, clapet d'arrêt, clapet anti-retour de flamme, roue cellulaire ou analogue. Elle est placée entre la vis de dosage et la vis d'alimentation.

- En cas de retour de flamme, l'installation de chauffage doit être mise hors service automatiquement par déclenchement thermoélectrique (dispositif d'arrêt en cas de dérangement). En même temps, un signal d'alarme bien perceptible doit être déclenché.

Certains fabricants proposent une sécurité thermique préventive qui coupe l'alimentation en bois et convoie rapidement la totalité du bois contenu dans la vis, dans le foyer de la chaudière. Le risque de retour de flamme est alors quasiment écarté, sans avoir recours à la sécurité par extinction du feu, qui occasionnerait une intervention en chaufferie.

### **Dispositifs d'extinction dans le silo**

Si les pompiers sont en mesure d'assumer à temps la lutte contre le feu, il n'est pas nécessaire d'équiper les réservoirs et les locaux de stockage d'installations fixes d'extinction.

### **Règles de sécurité relatives aux risques d'incendie pour l'espace de stockage (Cas des trémies)**

- Les conduits verticaux ou en pente qui permettent de transférer le combustible du site de stockage à la trémie d'alimentation et qui traversent d'autres pièces ou étages, doivent être résistants au feu (en matière non inflammable et aussi hermétiques que possible) avec des fermetures coupe-feu 30 minutes.
- Les constructions agricoles qui peuvent stocker des récoltes sous l'espace du toit, peuvent être utilisées également pour y stocker du bois, si le conduit ou l'ouverture du tuyau sont situés dans un sas coupe-feu 30 minutes ou si la fermeture est coupe-feu 30 minutes
- Le combustible stocké ne doit en aucun cas être en contact avec l'intérieur de la chaufferie, ni avec un conduit de fumée, à moins de 16 cm (depuis la face intérieure du conduit) pour la France.

### **Le cas des trémies :**

- Les trémies fermées, hermétiques (de moins de 1,5 m<sup>3</sup>) disposent d'un dispositif contre le retour des gaz de fumée avec un couvercle non inflammable,
- Les trémies ouvertes (fond de silo, trémie jusqu'à 10 m<sup>3</sup>) ne présentent pas d'étanchéité particulière par rapport à l'air et aux remontées de feu par la vis d'alimentation.
- **Les trémies fermées et ouvertes** doivent obligatoirement comporter une **sécurité incendie par extinction de feu**. La mise en route de ce dispositif provoque l'inondation du système d'alimentation en bois (prévoir une évacuation d'eau en chaufferie) ainsi que l'arrêt complet de l'installation. Il actionne en simultané une alarme.
- Il est conseillé pour les trémies fermées et **obligatoire pour les trémies ouvertes** d'ajouter une **sécurité de type sécurité incendie par coupure** entre la sécurité précédente et le foyer de la chaudière. Cette sécurité provoque l'arrêt de l'alimentation et la rupture du circuit du combustible par voie mécanique : roue cellulaire, clapet coupe-feu, canal de chute ou analogue. Elle permet de stopper le feu sans nécessiter de remise en service.

### 6.3 - Ventilation

#### - Ventilation du silo dans le cas de bois humide (humidité sur poids brut >25 %)

Le bois déchiqueté humide et les plaquettes de bois vert produisent des gaz de fermentation et de la vapeur d'eau. Ces gaz pénètrent dans les endroits les plus bas du silo, mais également dans l'unité hydraulique et la chaufferie située à l'intérieur. Ils repoussent l'oxygène indispensable à la respiration et provoquent à forte concentration la mort subite par asphyxie. A faible concentration, ces gaz peuvent être à l'origine de maux de têtes, nausées, vertiges, pertes de connaissance et crampes, et présenter alors un risque d'asphyxie. Sous l'influence de la chaleur dans un volume fermé, les murs et le toit du silo peuvent se couvrir d'un condensât. Le bois risque par conséquent de moisir ou de pourrir. C'est pourquoi il faut doter les silos à bois humides d'une aération suffisante.

En Suisse, il est recommandé d'avoir un renouvellement d'air suivant :

$$\dot{V} = V \times CA \text{ (m}^3\text{/h)}$$

avec V le volume du silo en m<sup>3</sup> et CA le renouvellement d'air, au minimum 0,3 par heure.

#### - Ventilation du local hydraulique vers le silo dans le cas de bois humide (humidité sur poids brut >25 %)

La majorité des installations sont dotées d'extracteurs hydrauliques situés dans un local attenant au silo et à la chaufferie. Le gaz de fermentation peut circuler entre le silo et le local hydraulique par le canal de transport du combustible. Ces gaz doivent être aspirés hors du local et remplacés par de l'air frais.

Par souci d'économie, il est recommandé d'utiliser l'air aspiré pour sécher le silo, en soufflant sur le bois déchiqueté humide. L'air éventuellement enrichi de gaz de fermentation doit être aspiré immédiatement au-dessus du fond de l'unité hydraulique. Le ventilateur du local hydraulique doit se déclencher automatiquement.

L'échange d'air doit se produire au minimum vingt fois par heure, par rapport au contenu de l'unité hydraulique.

Le système d'aspiration doit fonctionner aussi longtemps que des personnes se trouvent dans l'unité hydraulique (déclenchement et arrêt automatique par impulsion sur l'interrupteur d'éclairage).

Dans les locaux hydrauliques placés au niveau du sol, le système d'aspiration peut être remplacé par une ouverture pratiquée dans le mur, sur le fond de l'unité, permettant d'évacuer les gaz de fermentation. Cet orifice doit toujours rester ouvert.

#### - Ouverture d'évacuation d'air du silo (hpb > 25%)

Le côté opposé à l'ouverture d'insufflation d'air dans le silo (parcours d'air en diagonale dans le silo) doit être doté d'ouvertures d'évacuation d'air vers l'extérieur. La dimension de ces ouvertures sera fonction de la capacité du système de ventilation.

Il faut s'assurer que les ouvertures d'évacuation d'air ne soient jamais obturées par de la neige, de la glace, des impuretés, etc.

#### - Aménée d'air frais dans le local hydraulique (hpb > 25%)

L'air frais doit être aspiré depuis la chaufferie contiguë à travers une ouverture à clapet de protection incendie pratiquée dans le mur ou directement depuis l'extérieur du silo. Si l'air provient de la chaufferie, il faut veiller à ce que de l'air frais soit amené en permanence dans la chaufferie. De même, si l'évacuation de l'air vicié de la chaufferie passe par le local de stockage, il faut monter entre les deux locaux un clapet coupe-feu à fermeture automatique et commandé par moteur.

Le clapet doit se fermer automatiquement en cas d'arrêt du ventilateur ou de défaillance de la commande.

#### - Système d'aspiration dans les silos tour

Dans les cas où les hauteurs d'ensilage excèdent 5 mètres, il convient en outre d'aspirer les gaz de fermentation directement au niveau du produit ensilé ou il faut veiller, par une conception appropriée, à ce que les gaz de fermentation qui sont éventuellement formés sur l'ensilage puissent être évacués librement vers l'extérieur du silo (solution prévue uniquement pour les silos sur sol).

Les silos sur sol très hauts doivent être pourvus d'ouvertures d'aération pratiquées à différents niveaux, permettant l'évacuation à l'air libre d'éventuels gaz de fermentation. On peut par exemple utiliser des jalousies à lattes.

#### - Aération du silo cas du bois sec (humidité sur poids brut <25%)

Avec un taux d'humidité inférieur à 25%, le bois n'entame pas de processus de fermentation, il n'est donc pas nécessaire de se préoccuper de l'aération du silo. Une ventilation naturelle pourra convenir. Il est par contre possible d'intégrer un détecteur de fumée pour prévenir un démarrage d'incendie dû à une cause extérieure (malveillance).

### 6.4 Convoyage du silo à la chaudière

Dans de nombreux cas, les plaquettes de bois sont transportées par des vis, des extracteurs à poussoirs, etc. depuis un canal ouvert jusqu'au canal fermé pour aboutir jusqu'à la chaudière. Les dispositifs de transport se mettent automatiquement en marche et sont le plus souvent dirigés par des palpeurs ou des capteurs à induction. Des corps étrangers peuvent se glisser entre les plaquettes de bois et bloquer ainsi les vis de transport. En débloquent manuellement les vis, celles-ci peuvent soudainement redémarrer. Il en résulte des points de coincement dangereux.

#### - Mouvement réversible des vis

Dans les canaux fermés, il faudrait que le mouvement des vis d'alimentation puisse être renversé manuellement ou électriquement. On pourrait ainsi éviter largement le contact manuel avec les zones dangereuses.

#### **- Canal de transport ouvert**

L'objectif est d'empêcher que des personnes introduisant la main ou pénétrant dans le canal ne soient blessées par le mouvement du dispositif de transport. La zone dangereuse peut être surveillée par un dispositif de protection par barrage immatériel à sécurité normale et avec contrôle automatique de départ. En fonction de la géométrie du canal, le dispositif de protection par barrage immatériel se présentera sous la forme d'un rideau de détection ou d'un système à rayons multiples.

#### **- Fermeture du canal de transport**

Il est possible de recouvrir le canal de transport par un couvercle. L'état de fonctionnement du couvercle est contrôlé par des interrupteurs électroniques contraignant l'interrupteur du circuit. Le dispositif de transport doit être immédiatement interrompu lorsque le couvercle est ouvert et ne doit en aucun cas se remettre en marche. Si une marche avant ou arrière est nécessaire, elle sera effectuée par impulsion manuelle uniquement. L'organe de commande doit donc être hors de portée, mais disposé de façon à ce que la zone dangereuse soit visible depuis cet organe. Il comprendra une touche d'arrêt d'urgence à impulsion.

#### **- Couvercle de canal de transport transparent**

Les couvercles peuvent également être transparents ou conçus sous forme de grille. La dimension des mailles ainsi que l'écart entre les barreaux de la grille devront empêcher toute introduction de parties du corps dans la zone dangereuse.

#### **- Couvercle de canal de transport rabattable**

Si les canaux de transport sont dotés de couvercles rabattables ou amovibles, ceux-ci doivent être fixés de sorte qu'on ne puisse les ouvrir qu'à l'aide d'outils. Au cas où cette solution n'est pas souhaitée, il convient d'installer un système de surveillance électrique des couvercles.

#### **- Couvercle de canal de transport vissé par le côté ou le fond**

Le fabricant peut largement empêcher l'introduction involontaire de la main dans le dispositif de transport en aménageant des couvercles fixés par vis sur les côtés ou sur le fond des canaux. Lorsque le transport s'effectue par couvercle ouvert, le bois décheté s'échappe ainsi du canal. Si des couvercles restent ouverts par mégarde, l'utilisateur ne manquera certainement pas de les refermer immédiatement. Les couvercles prévus pour être ouverts fréquemment devront être dotés d'un système de surveillance électrique.

#### **- Interrupteur de sécurité**

Si les énergies présentant un danger peuvent être coupées séparément à chaque point de l'installation, il faut prévoir un interrupteur de sécurité verrouillé séparément à chaque partie de l'installation à fonctionnement indépendant. Sur les installations de grande dimension, il convient d'installer des interrupteurs de sécurité au niveau de toutes les zones d'accès au point de contact. Chaque interrupteur de sécurité doit comporter une indication précise de l'installation qu'il déconnecte.

#### **- Déconnexion sur place**

Les installations qui ne sont pas entièrement visibles depuis le pupitre de commande doivent être conçues de sorte que les énergies présentant un danger (électrique ou hydraulique) puissent être coupées sur chaque appareil.

#### **- Extracteur à poussoir**

Si l'extracteur à poussoir est constitué de plusieurs segments indépendants dont la mise en marche individuelle est aisément accessible depuis l'extérieur du silo, il n'est pas nécessaire de prévoir une porte d'accès au niveau du fond du silo. Ce processus peut être plus ou moins long selon que le matériel compact se dégage et suit le segment.

En cas de réparation des éléments de l'extracteur, le silo peut dans les cas extrêmes, être vidé jusqu'au niveau de l'élément défectueux.

## **6.5 - Pénétration dans le silo**

#### **- Niveau d'ensilage**

Le niveau de remplissage du silo doit être visible depuis l'extérieur. Il faut éventuellement prévoir un système d'éclairage.

#### **- Accès**

Les emplacements d'utilisation et de contrôle situés en hauteur devront être accessibles par des escaliers et des passerelles ou par des échelles murales solides. Les escaliers et les passerelles seront munis de garde corps du côté du vide. Les échelles intégrées au silo ne sont pas autorisées.

#### **- Ventilation du silo avant pénétration**

Avant de pénétrer dans le silo, il faut ouvrir les couvercles, clapets et portillons dont le silo est pourvu. Selon la taille du silo, une ventilation doit être effectuée pendant une durée suffisante avant d'y descendre afin d'assurer l'évacuation des gaz de fermentation vers l'extérieur.

#### **- Pénétration dans un silo**

Pénétrer dans un silo n'est admissible qu'en cas d'urgence. Tous les clapets et portillons doivent être verrouillés pour empêcher l'accès de toute personne non autorisée. Le panneau "accès interdit aux personnes non autorisée" sera placé dans la zone d'accès du silo. On apposera des indications sur la manière adéquate de pénétrer dans un silo sur toutes les portes d'accès.

#### **- Mise hors service**

Les installations de remplissage et d'extraction doivent obligatoirement être mise hors service et les interrupteurs seront verrouillés avant que quiconque ne pénètre dans le silo. Toute mise en marche involontaire des installations doit être exclue. Le remplissage du silo par des véhicules doit être empêché par des barrières. La personne qui pénètre dans le silo doit être surveillée pendant toute la durée des travaux.

#### **- Dispositifs pour pénétrer dans les silos (cas des silos décrits dans la typologie)**

Lorsque la hauteur d'ensilage ne dépasse pas 4 mètres, l'entrée dans le silo peut être effectuée par le haut d'une échelle à pied. L'échelle ne devra pas rester dans le silo. La personne pénétrant dans le silo devra s'équiper d'une ceinture de sauvetage et de cordes. L'entrée sans cordes de protection par une porte latérale est uniquement autorisée lorsqu'on peut affirmer avec certitude qu'il n'y a ni fermentation, ni pont de matière vide. La personne pénétrant dans le silo sera surveillée depuis l'extérieur.

#### **- Dispositifs pour pénétrer dans les silos (cas des silos industriels non détaillés dans ce fascicule)**

Lorsque la hauteur d'ensilage est supérieure à 10 mètres, il faut pénétrer dans le silo à l'aide d'une cage ou d'une sellette à ceinture de sécurité. Les appareils devront être fixés solidement à un dispositif prévu pour pénétrer dans le silo. Pendant la descente et durant tout le temps passé dans le silo, il ne faut en aucun cas quitter la cage ou la sellette.

Lorsque les travaux envisagés ne peuvent être effectués depuis la cage, il faut utiliser non pas la sellette, mais des harnais de retenue à freins. L'œillet du harnais de retenue doit être accroché à l'élément de fixation du dispositif prévu pour pénétrer dans le silo. Aucun dispositif n'est requis pour pénétrer dans les silos lorsque la hauteur de remplissage est comprise entre 4 et 10 mètres ou lorsque les silos sont vidés et ventilés.

Il suffit de prévoir un appareil de levage pour le sauvetage (palan à câble, antichute à enrouleur équipé d'un système de levage par manivelle), combiné au harnais de retenue.

Les cordes du dispositif prévu pour pénétrer dans le silo ou du palan à câble doivent être réglées par la personne de surveillance de façon à ce qu'elles interviennent immédiatement en cas d'effondrement d'un pont de matière.

#### **- Assistance en cas de danger**

Si une personne occupée à l'intérieur du silo est prise de nausées ou perd connaissance, la personne chargée de la surveiller doit immédiatement prendre les mesures de secours requises. Elle ne doit cependant pas entrer dans le silo avant que les secours ne soient arrivés sur place. Il convient de porter un masque de protection respiratoire pour y descendre.

#### **- Bourrage de matière**

En cas de formation de bourrage ou de pont de matière, il est interdit de se placer sur l'amas de bois déchiqueté. Il faut provoquer l'effondrement des ponts de matière depuis un endroit sûr, en utilisant des moyens appropriés.

# ITEBE EDITIONS

## Le portail du bois-énergie : [www.itebe.org](http://www.itebe.org)

### Espace tous publics

- Informations générales sur l'ensemble de la filière bois-énergie (Approvisionnements en combustibles bois, installations de chauffage au bois individuelles et collectives)

- Lettre électronique mensuelle ITEBE INFO,

- Annuaire des professionnels du bois-énergie,

- Librairie en ligne, forums thématiques, galerie photos, petites annonces, téléchargement de documents, répertoire de sites Internet sur le bois-énergie.

### Espace professionnel

Plate-forme interactive d'échanges sur Internet pour la capitalisation et la diffusion des savoirs des professionnels, documents techniques, études, publications, événements et retours d'expérience sur la filière bois-énergie.

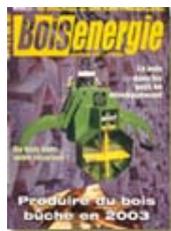
### Vidéos



1. Le bois-énergie Maintenant !
2. Le chauffage automatique au bois

Disponible en français, anglais et allemand

### Revue BOIS ENERGIE



En 3 langues : français, anglais, italien ou allemand  
Rubriques : actualité, portraits, chauffage, combustibles, stratégies, cogénération et dossiers thématiques

### Annuaire ITEBE des professionnels du bois-énergie



## Les bonnes pratiques du bois-énergie

### Série information

1. Mémento 2004 du bois-énergie
2. Chauffage domestique : choisir un chauffage à bois

### Série outils

1. Répertoire des textes réglementaires relatifs au bois-énergie en France
2. Tableur pour l'usage des plaquettes forestières
3. Caractéristiques commerciales des combustibles bois

### Série Les bonnes pratiques du bois bûche

1. Produire du bois de chauffage
2. Production de bois de chauffage et sécurité du travail
3. Concevoir une installation de chauffage central aux bûches

### Série Les bonnes pratiques du bois déchiqueté

1. Produire de la plaquette forestière pour l'énergie
2. Production de plaquettes forestières et sécurité du travail
3. Aide à la rédaction des contrats d'approvisionnement des chaufferies bois
4. Concevoir une chaufferie automatique au bois déchiqueté de moins de 300 kW
5. Concevoir l'implantation d'un silo ou d'une trémie à bois déchiqueté
6. Envisager un réseau de chaleur au bois
7. La valorisation énergétique des bois de rebut

## Fiches de réalisations de la Route du bois-énergie ®



- **Chaufferies et réseaux de chaleur** (dans des collectivités publiques ou privés, des industries du bois, dans l'agriculture, ...)

- **Plate-formes de production de combustible** (granulés, écorces, plaquettes forestières, bois de rebut, ...)

## LES BONNES PRATIQUES DU BOIS-ENERGIE



ITEBE EDITIONS, 28 boulevard Gambetta, BP 149  
F - 39004 LONS-le-SAUNIER Cedex  
Tél. : +33 (0)384 47 81 00 - Fax. : +33 (0)384 47 81 19  
Courriel : [info@itebe.org](mailto:info@itebe.org) - Web : [www.itebe.org](http://www.itebe.org)