

Guide du stockage ENplus

*Recommandations sur la conception,
l'installation et l'exploitation de silos
de granulés destinés au chauffage*

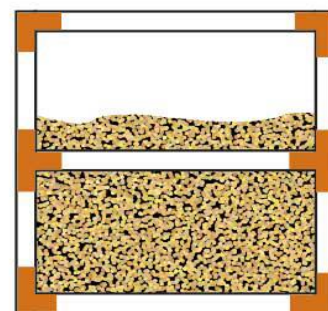
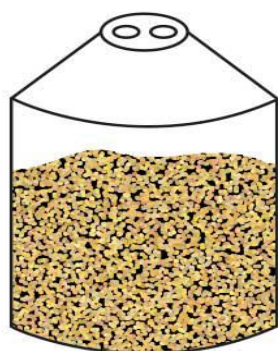


Table des matières

1.	Introduction	4
2.	Chauffage au granulé - Généralités	4
2.1.	Qualité du granulé - Règles d'or.....	4
2.2.	ENplus - qualité de granulé certifié	5
2.3.	Livraison de granulé - Aspects qualité et sécurité	6
2.4.	Les fines, les matières perturbatrices	7
2.5.	Dégagement de gaz et d'odeurs du bois.....	8
2.6.	L'eau, l'ennemie des granulés.....	8
3.	Stockage des granulés de bois	9
3.1.	Silos de granulés: à monter soi-même ou préfabriqués?	9
3.2.	Quel volume de stockage?	Erreur ! Signet non défini.
3.3.	Livraison de granulé dans le silo	10
3.4.	Ventilation.....	11
3.5.	Nettoyage	12
4.	Silos de granulés préfabriqués	13
4.1.	Généralités	13
4.2.	Exigences relatives au local d'installation.....	13
4.3.	Installations extérieures	14
4.4.	Silos enterrés.....	15
4.5.	Silos textile	15
5.	Silos sur mesure	17
5.1.	Exigences générales.....	17
5.2.	Exigences relatives à la capacité de charge	18
5.3.	Protection contre la condensation et la pénétration d'eau	18
5.4.	Silos à pans inclinés	18
5.5.	Tapis d'impact.....	20
5.6.	Portes, fenêtres et trappes.....	20
5.7.	Installations dans le local de stockage	21
5.8.	Système de remplissage.....	21
5.9.	Exemples de bonnes pratiques pour les stockages sur mesure	23
6.	Grands silos (jusqu'à 100 tonnes)	25
6.1.	Exigences générales.....	25
6.2.	Taille du silo.....	26
6.3.	Système de prélèvement du granulé.....	26
6.4.	Mesure du niveau de remplissage	27
6.5.	Nettoyage du silo	28

6.6.	Protection antidéflagrante	28
6.7.	Exigences relatives à la ventilation	28
7.	Pour votre sécurité	29
	Références normatives	29
8.	Remise de certificat pour les silos à granulés.....	31
8.1.	Exploitant du système de chauffage, Installateur	31

1. Introduction

Les systèmes de chauffage au granulé sont d'une technologie relativement récente. Par conséquent, le manque d'expérience avec cette technologie engendre parfois des problèmes. Cela concerne également les installations d'entreposage de granulé. Les silos à granulé doivent satisfaire à un certain nombre d'exigences pour préserver la qualité des granulés et garantir la sécurité de l'exploitation.

Le guide du stockage ENplus décrit les exigences visant à préserver la qualité du combustible et à protéger l'entreposage du granulé, pour les professionnels (comme les installateurs) et pour les consommateurs. Il traite des spécifications techniques des silos, ainsi que des informations relatives à la sécurité et à la pertinence de leur exploitation. Il ne remplace pas les guides et instructions d'installation des fabricants de chaudières ou de silos à granulés, mais il prévaut sur les conseils des installateurs ou des revendeurs. Il **est impératif de respecter** les informations de construction et les règles de remplissage fournies par les **fabricants** de silos à granulé, de système d'extraction et de chaudières à granulé.

Les bonnes pratiques professionnelles constituent la pierre angulaire d'une croissance réussie du marché.



Frédéric SAEZ

Président de Propellet France

2. Chauffage au granulé - Généralités

2.1. Qualité du granulé - Règles d'or

Le granulé de bois est un combustible bois moderne, normalisé et respectueux de l'environnement. Les granulés de bois sont essentiellement pressés à partir de connexes exempts d'écorce issus de l'industrie de transformation du bois. Pendant le processus de pressage, la lignine du bois est activée et assure la résistance mécanique des granulés, éventuellement renforcée par les liants naturels, comme l'amidon. Toutefois, la résistance mécanique reste inférieure à celle d'autres matériaux en vrac. Les processus logistiques doivent tenir compte de la grande fragilité des granulés face aux contraintes mécaniques. Livrer les granulés sans heurts et concevoir les silos de manière appropriée sont deux des conditions essentielles pour profiter d'un chauffage aux granulés l'esprit libre.

2.2. Qualité de granulé certifié ENplus

Il est recommandé d'approvisionner des granulés exclusivement auprès de sources certifiées ENplus. Contrairement à d'autres certificats, ENplus couvre la totalité de la chaîne d'approvisionnement, y compris la production et la distribution des granulés. Le site www.enplus-pellets.fr met à disposition une liste de sociétés certifiées et d'autres informations relatives à la qualité des granulés.

La norme internationale ISO 17225-2 définit les principales spécifications du produit selon différentes classes de qualité de granulé. Ces classes se distinguent surtout par leur teneur en cendres et par la fusibilité des cendres (voir tableau n°1). Ces deux spécifications tiennent un rôle primordial dans la fiabilité du fonctionnement des poêles et chaudières. La faible teneur en cendres et une température de fusion élevée évitent le frittage des cendres (la formation d'un laitier solide). Le programme de certification ENplus pose des limites contraignantes en matière de fusibilité des cendres, ce que ne fait pas la norme ISO.

Les classes de qualité ENplus A1, ENplus A2 et ENplus B satisfont, voire dépassent, les classes de qualité correspondantes de la norme. ENplus A1 est la meilleure, ce qui la prédispose tout particulièrement aux petites chaudières. ENplus A2, légèrement moins exigeante qu'ENplus A1 (essentiellement en termes de teneur en cendres) convient aux appareils de qualité. ENplus B convient aux grandes chaudières (> 100 kW), mais le fabricant de la chaudière doit approuver son utilisation.

Tableau1: Principales spécifications du granulé de bois certifié

Spécification	Unité	ENplus A1	ENplus A2	ENplus B	Norme d'essai ¹¹⁾
Diamètre	mm	6 ± 1 ou 8 ± 1			ISO 17829
Longueur	mm	3,15 < L ≤ 40 ⁴⁾			ISO 17829
Humidité	w-% ²⁾	≤ 10			ISO 18134
Cendres	w-% ³⁾	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0	ISO 18122
Résistance mécanique	w-% ²⁾	≥ 98,0 ⁵⁾	≥ 97,5 ⁵⁾		ISO 17831-1
Fines (< 3,15 mm)	w-% ²⁾	≤ 1,0 ⁶⁾ (≤ 0,5 ⁷⁾)			ISO 18846
Température des granulés	°C	≤ 40 ⁸⁾			
Pouvoir calorifique net	kWh/kg ²⁾	≥ 4,6 ⁹⁾			ISO 18125
Masse volumique apparente (BD)	kg/m ³ ²⁾	600 ≤ BD ≤ 750			ISO 17828
Additifs	w-% ²⁾	≤ 2 ¹⁰⁾			-
Azote	w-% ³⁾	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	ISO 16948
Soufre	w-% ³⁾	≤ 0,04	≤ 0,05		ISO 16994
Chlore	w-% ³⁾	≤ 0,02		≤ 0,03	ISO 16994
Température de fusibilité des cendres ¹⁾	°C	≥ 1 200	≥ 1 100		CEN/TC 15370-1
Arsenic	mg/kg ³⁾	≤ 1			ISO 16968
Cadmium	mg/kg ³⁾	≤ 0,5			ISO 16968
Chrome	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Cuivre	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Plomb	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968

Mercure	mg/kg ³⁾	≤ 0,1	ISO 16968
Nickel	mg/kg ³⁾	≤ 10	ISO 16968
Zinc	mg/kg ³⁾	≤ 100	ISO 16968

¹⁾ cendres préparées à 815 °C

²⁾ sur brut

³⁾ sur base anhydre

⁴⁾ Un maximum de 1 % des granulés peut présenter une longueur supérieure à 40 mm, aucun granulé ne peut présenter une longueur supérieure à 45 mm

⁵⁾ au point de chargement du véhicule de transport (camion, citerne) sur le site de production

⁶⁾ à la sortie de l'usine ou lors du chargement du camion pour les livraisons aux utilisateurs finaux (*livraison partielle et livraison par camion complet*)

⁷⁾ à la sortie de l'usine, lors du remplissage des sacs de granulés ou du scellage des *Big Bags*.

⁸⁾ au dernier point de chargement pour les livraisons par camion aux utilisateurs finaux (*livraison partielle et livraison par camion complet*)

⁹⁾ équivaut à ≥ 16,5 MJ/kg sur brut

¹⁰⁾ la quantité d'additifs en production est restreinte à 1,8 % en masse des granulés; la quantité d'additifs en postproduction est restreinte (comme les huiles de revêtement) à 0,2 % en masse des granulés.

¹¹⁾ Dans l'attente de publication des normes ISO, les analyses se conforment aux normes CEN correspondantes

2.3. Livraisons de granulé - Aspects qualité et sécurité

Il convient de livrer les granulés de bois avec des camions de vrac spécialisés. Les camions sont équipés d'un compresseur dont l'air porte le granulé dans un tuyau (souffleur).

Sur de courtes distances de soufflage, il peut être intéressant de souffler le granulé avec davantage de pression et peu d'air d'entraînement. Cela accroît le facteur de charge solide (la part de granulé par volume d'air dans le tuyau de transfert), alors que sur de plus longues distances ou avec davantage de coudes, ce facteur de charge solide doit être réduit. Il appartient au chauffeur de régler la pression et la soufflerie de manière adaptée, sur place, en fonction du contexte.

Le camion de livraison est également équipé d'un système de pesée embarquée, de tuyaux enduits afin de réduire l'abrasion et d'un ventilateur d'aspiration doté d'une manche filtrante, afin de créer une légère dépression dans le silo. Si le silo n'est pas étanche, il est impossible de créer cette dépression et l'air chargé de particules poussiéreuses s'échappe, risquant de causer des désagréments.

De nombreux silos préfabriqués ne requièrent aucune aspiration pendant la livraison. Dans ce cas, l'air de la soufflerie (jusqu'à 1 500 m³/h) doit pouvoir s'échapper par les fenêtres, les portes ou d'autres ouvertures. Pour souffler le granulé en toute sécurité et sans l'endommager, l'opérateur du système de chauffage doit respecter les dispositions suivantes:

- Les instructions de remplissage du silo doivent être clairement affichées et visibles pour le chauffeur-livreur de granulé
- Le système de chauffage doit être arrêté conformément aux instructions du fabricant (au moins une heure avant la livraison).

Les revendeurs de granulé certifiés ENplus génèrent et communiquent un bordereau de livraison consignnant toutes les informations importantes à propos du granulé, du silo et du processus de soufflage.

Le client doit couper la chaudière avant la livraison du granulé. Les instructions du fabricant de la chaudière doivent préciser ce délai. Le fournisseur de granulé doit pouvoir vérifier que la chaudière est à l'arrêt. Sinon, le fournisseur de granulé ne peut pas procéder à la livraison, pour des motifs

juridiques. Exception: le client confirme par écrit que le fabricant de la chaudière autorise la livraison de granulé sans devoir arrêter la chaudière.

2.4. Les fines et les matières perturbatrices

Les fines désignent les fragments de granulés brisés qui passent à travers un tamis dont le diamètre des mailles mesure 3,15 mm. Une proportion élevée de matières fines risque de causer des problèmes dans la chaudière ou dans le système de prélèvement du granulé.

Les fines dans le silo de granulé proviennent essentiellement de la contrainte mécanique que subit le granulé pendant sa livraison. Les coudes des tuyaux, les tapis d'impact inappropriés, les obstacles sur le passage du granulé, une vitesse élevée et un faible facteur de charge solide pendant la livraison augmentent la part de matières fines.

Un taux de fines élevé au niveau de la chaudière peut également provenir de dommages créés par le système de prélèvement du granulé entre le silo et la chaudière. Le processus de séparation des particules dans le silo concentre les matières fines au fond du silo à granulé au fil du temps (Figure1). Pour garantir le bon fonctionnement de la chaudière, il est recommandé de vider entièrement le silo et de le nettoyer au moins une fois tous les deux ans. Mieux vaut y procéder en été.

Les fournisseurs certifiés ENplus acceptent les réclamations pour un taux de matières fines dépassant 4% dans le silo aux conditions suivantes:

- Distance de soufflage (conduite de remplissage comprise) < 30 m
- Conformité au présent guide du stockage
- La quantité de granulés résiduels avant la livraison était inférieure à 10% de la capacité de stockage
- 20% de la nouvelle livraison ont été utilisés au maximum
- La fréquence du nettoyage des silos varie selon la consommation annuelle. Les silos dont la consommation annuelle est ≤ 15 tonnes doivent être nettoyés une fois tous les deux ans. Les silos dont la consommation annuelle est > 15 tonnes doivent être nettoyés au moins une fois par an. Pénétrer dans un silo (tout local de stockage) expose toujours à un risque grave. Il convient donc de réduire le nombre d'interventions et de respecter scrupuleusement les règles de sécurité (consulter le chapitre 7: pour votre sécurité).

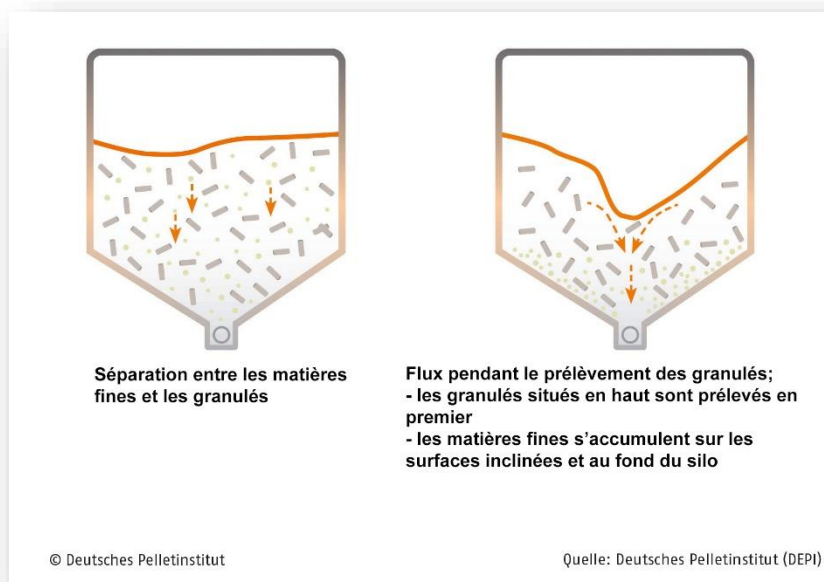


Figure1 Illustration de la séparation des particules qui augmente le taux de matières fines dans la partie inférieure d'un silo à pans inclinés

N.B. La séparation des particules survient pendant la livraison et on l'observe également lorsque la surface d'une paroi de silo inclinée apparaît poussiéreuse. **L'aspect poussiéreux d'une surface ne signifie pas que les granulés sortent des spécifications ENplus.**

2.5. Dégagement de gaz et d'odeurs du bois

Le granulé frais risque de dégager une odeur désagréable dans le silo. Cette odeur disparaît habituellement après quelques semaines. L'odeur provient de ce que l'on appelle le dégazage du bois. Le dégazage désigne les émissions de composés organiques naturels et celles qui résultent de la lente décomposition naturelle du bois.

Comparé à d'autres produits bois, les granulés de bois présentent une surface de contact avec l'air supérieure et leur structure cellulaire a subi de fortes contraintes pendant la production. Cela accélère la dissipation des composés volatils, notamment pour des granulés frais stockés à une température élevée. Les émissions ont tendance à diminuer en quelques semaines et l'odeur disparaît totalement.

Les émissions des granulés de bois se composent de composés organiques volatils (COV), de monoxyde de carbone (CO) et de dioxyde de carbone (CO₂). Les composés volatils incluent des terpènes, responsables d'une possible odeur «chimique» proche de la térébenthine. D'autres composés, comme les aldéhydes et le monoxyde de carbone présentent un risque sanitaire et ne doivent pas atteindre la zone d'habitation. Il est donc impératif d'isoler hermétiquement les silos de granulés de bois des espaces d'habitation. La ventilation du silo à l'air libre facilite la dispersion des émissions et accélère la dissipation des composés odorants.

2.6. L'eau, l'ennemie des granulés

Les granulés sont hygroscopiques, ce qui signifie qu'ils absorbent rapidement l'eau et augmentent simultanément leur volume. Si une importante quantité d'eau pénètre dans un silo de granulés (p. ex. pendant une inondation), son tissu ou ses parois risquent d'être endommagés. Les granulés perdent également leur forme et s'agglomèrent. Ils ne peuvent donc plus servir de combustible et doivent être rapidement débarrassés avant de sécher et de durcir.

Contrairement aux citernes de fioul de chauffage, les silos de granulés inondés ne présentent aucun danger pour l'environnement. Néanmoins, il est recommandé de vider les silos de granulés si des inondations sont attendues.

3. Stockage des granulés de bois

3.1. Silos de granulés: sur mesure ou préfabriqués?

Il est devenu courant de construire des silos à granulés dans des pièces ou des caves existantes, ils sont souvent conçus et construits par le propriétaire du bien. Un silo à granulé sur mesure présente plusieurs avantages, comme l'optimisation de l'espace et, dans le cas de locaux de stockage pourvus de murs extérieurs, la facilité d'accès pour le remplissage et les buses d'aspiration. Toutefois, des silos mal construits risquent de provoquer des problèmes considérables et d'exposer à de graves dangers.

Les systèmes d'entreposage préfabriqués proposent une solution efficace comme des dispositifs adaptés de remplissage et de prélèvement, qui garantissent et préservent la qualité des granulés et la sécurité de l'exploitation. Il est donc vivement recommandé d'utiliser des systèmes de stockage de granulés préfabriqués.

Les silos sur mesure doivent généralement être étudiés, construits et équipés par des professionnels qualifiés. Dans certains pays, l'association nationale du granulé communique l'annuaire des professionnels qualifiés.

3.2. Quel volume de stockage?

Les silos à granulé de consommateurs (< 70 kW) doivent idéalement contenir la consommation de granulé annuelle. Le volume de stockage recommandé varie donc en fonction du besoin de chauffage du bâtiment. Il est possible de confier le calcul du besoin de chauffage à des experts ou de l'estimer à partir de la consommation de fioul du système de chauffage précédent. Si le système de chauffage est une conversion depuis un système à fioul, le besoin de granulés (exprimé en kilogrammes) correspond à deux fois la consommation de fioul (exprimée en litres). Les valeurs communiquées dans le tableau n°2 se basent sur un système de chauffage au fioul dont les valeurs d'efficacité s'approchent de celles du nouveau système à granulés. Pour remplacer un système de chauffage au fioul peu efficace, il convient de réduire de 20% les valeurs de consommation de granulé et le volume de stockage recommandé dans le tableau.

Tableau2: Recommandations portant sur les volumes de stockage destinés aux systèmes de chauffage au granulé

Besoin de chauffage exprimé en kWh/an	5000	10000	20000	50000
Consommation de fioul de chauffage en l/an	625	1250	2500	6250
Besoins de granulés en kg/an	1250	2500	5000	12500
Volume de stockage recommandé en m ³	2.5	5	10	25

La capacité de stockage réelle est toujours inférieure au volume théorique total du local. Les sols surélevés ou inclinés diminuent le volume. Le remplissage des granulés ne dépassera pas le bord inférieur de l'embout de remplissage et suivra une pente descendante en ligne droite depuis l'embout de remplissage.

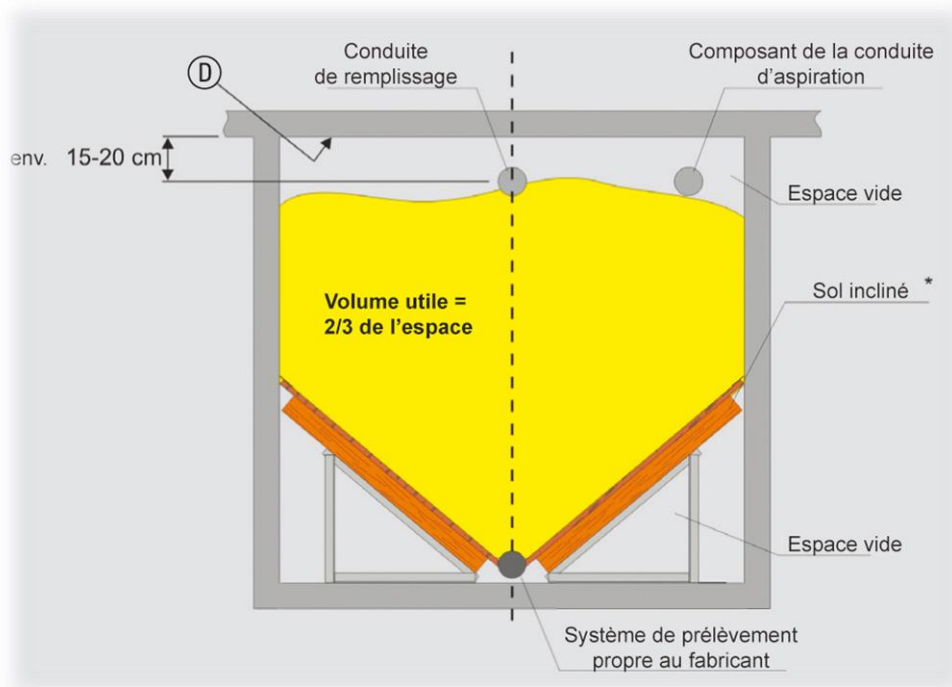


Figure 2: volume perdu d'un silo

Lors de la conception de systèmes de chauffage supérieurs (> 70 kW), d'autres facteurs entrent en ligne de compte. Il est nécessaire de calculer la capacité de stockage pour pouvoir accueillir plus que la capacité maximale du plus gros camion de livraison potentiel.

La capacité du silo doit dépasser celle du camion pour permettre les livraisons par camion complet sans devoir vider le silo à chaque fois. Les conditions d'accès déterminent le tonnage du plus gros camion de livraison. Il est recommandé de contacter quelques fournisseurs de granulé avant de commander un système de chauffage, pour déterminer le tonnage du plus gros camion de livraison qui pourra accéder au silo.

Voir aussi le guide méthodologique de Fibois Ardèche Drôme pour les abords du silo et le choix des camions.

3.3. Livraison de granulé dans le silo

Il est possible de livrer le granulé de bois en vrac, soit par camion à benne basculante, soit par camion souffleur. Il convient d'éviter les longues distances de soufflage, les coudes pour les changements de direction et les écarts de hauteur entre le camion et le silo, car ils augmentent les contraintes mécaniques que subit le granulé pendant le soufflage, ce qui accroît le taux de matières fines. Le tuyau de remplissage et la conduite de remplissage installée doivent être aussi courts que possible, sans que l'ensemble ne dépasse 30 m. Une conception intelligente maintient des distances courtes et met en œuvre des conditions de soufflage qui ne compromettent pas la qualité des granulés.

Il convient de tenir compte des aspects suivants:

- Le silo doit être accessible aux camions souffleurs de livraison, articulés ou non. Une largeur de voie d'au moins 3,5 m sans limite de hauteur (généralement jusqu'à 4 m) donnant accès au point de déchargement. Tenir compte de la pente, de l'état de la voie en hiver et des contraintes d'accès que peut imposer le stationnement d'autres véhicules sur la voie.

- Tenir compte également du rayon de braquage et du poids brut du camion.
- Le camion doit pouvoir se garer de manière autorisée, sans créer d'obstruction inacceptable pendant la durée de la livraison (soit parfois plus d'une heure).
- Il est impératif de raccorder les embouts de soufflage et d'aspiration à l'air libre à l'aide de conduites de remplissage installées de manière permanente. S'il est impossible de recourir à des conduites permanentes, le raccord doit être proche d'une ouverture, comme un soupirail ou une porte, mais pas trop proche du châssis au point de ne pas pouvoir raccorder les tuyaux.
- Il convient de réaliser tous les changements de direction avec le moins de coudes possibles et des rayons de courbure suffisamment larges. Il est recommandé d'éviter autant que possible les coudes à 90 °. S'il est impossible d'éviter un coude à 90 °, respecter un rayon interne minimal de 200 mm.
- Les raccords de remplissage sont placés à une hauteur maximale d'1,8 m, afin de pouvoir raccorder les tuyaux de remplissage en toute sécurité. Sinon, il est impératif de prévoir une rampe ou une plateforme d'accès sécurisé.
- Les conduites, raccords et tuyaux présentent un diamètre interne de 100 mm, sont fabriqués dans un matériau solide et sont reliés à la terre.
- Sans norme nationale alternative, les raccords de remplissage sont de type Storz A (100 mm).
- Les raccords de soufflage et d'aspiration doivent porter un étiquetage mentionnant leur fonction. Il est impératif d'installer un embout d'aspiration distinct pour éviter que des granulés soufflés n'obstruent la conduite vide pendant le raccordement. Éviter de souffler dans l'embout d'aspiration.
- Il est impératif que les conduites de remplissage permanentes soient conductrices et qu'un électricien professionnel les raccorde à la terre au moyen d'un câble (4 mm²) jusqu'à une barre de compensation de potentiel (mise à la terre).

Voir aussi le guide méthodologique de Fibois Ardèche Drôme pour les abords du silo et le choix des camions.

3.4. Ventilation

Le dégazage et les dysfonctionnements éventuels de l'appareil de chauffage peuvent provoquer des dégagements de gaz nocifs (p. ex. monoxyde de carbone) dans le silo à granulés. Deux simples règles de sécurité permettent d'éliminer tout danger:

- Le silo doit être hermétiquement isolé de l'espace d'habitation du bâtiment.
- Le silo doit être ventilé à l'air libre ou au moins situé dans un local généreusement ventilé, afin d'éviter l'accumulation de concentrations nocives de CO.

Il est impératif d'équiper les locaux de stockage d'une capacité ≤ 10 t et les conduites de remplissage jusqu'à 2 m de longueur, de bouchons de ventilation sur les raccords d'aspiration et de remplissage. Il est possible de commander les bouchons de ventilation auprès du fournisseur de chaudières ou des revendeurs de granulés certifiés. Les silos préfabriqués en tissu respirant ne requièrent pas de bouchon de ventilation. Toutefois, une ventilation suffisante du local s'impose.



Figure 3: bouchon de ventilation

Les silos plus grands requièrent des solutions de ventilation plus complexes. Le Tableau3 donne un aperçu des exigences de ventilation pour des silos de taille moyenne. Les exigences concernant les grands silos figurent au Tableau7: Exigences concernant les grands silos

Tableau3: Recommandations de ventilation pour des silos à granulés

Longueur des conduites de remplissage	Type de ventilation	Taille du silo	
		Petit (≤ 10 tonnes)	Moyen (entre 10 tonnes et 40 tonnes)
≤ 2 m	Bouchon de ventilation	Bouchon de ventilation sur deux raccords. Ventilation à l'air libre ou local très ventilé.	Bouchon de ventilation sur deux raccords de remplissage au moins. Section transversale min. 4 cm ² /t de granulé stockée Ventilation à l'air libre ou local très ventilé
≤ 5 m	Ouverture de ventilation distincte	Ouverture de ventilation de 100 cm ² au moins. Ouverture sans obstacle d'au moins 80 cm ² . Ventilation à l'air libre.	Ouverture de ventilation min. 10 cm ² /t de granulé. Ouverture sans obstacle 8 cm ² /t de granulé au moins. Ventilation à l'air libre.
> 5 m	Ventilation mécanique	Ventilation de stockage au moyen d'une conduite de ventilation et d'un ventilateur Le fonctionnement du ventilateur doit être associé à l'ouverture de la porte du silo	

Il est impératif de ventiler tous les silos de granulés. Les ouvertures de ventilation ne doivent pas être placées directement sous les fenêtres ou les ouvertures d'air entrant.

3.5. Nettoyage

Pour garantir un fonctionnement continu et sécurisé, il est nécessaire de nettoyer le silo régulièrement. Il convient de retirer l'accumulation de matières fines au fond du silo et la poussière de bois sur les parois, les embouts de remplissage et les autres surfaces. À prendre en compte lors du nettoyage:

- **Pénétrer dans un silo (tout local de stockage) expose toujours à un risque grave. Il convient donc de réduire le nombre d'interventions et de respecter scrupuleusement les règles de sécurité (consulter le chapitre 7: Pour votre sécurité):** la chaudière et le système de prélèvement de granulé sont coupés. Le local a été suffisamment ventilé avant d'y pénétrer (au moins 15 minutes de ventilation). Une deuxième personne est présente À L'EXTÉRIEUR du silo (consulter le chapitre 7 : Pour votre sécurité).
- Le nettoyage de silos préfabriqués est à effectuer selon les instructions du fabricant.
- Porter un masque anti poussières adapté doté d'un filtre P2 (EN 143) ou N95 (US NIOSH Standard), un masque oculaire ajusté pour protéger les yeux des poussières et couvrir la peau, dans la mesure du possible.
- Le silo doit être aspiré et non balayé. Les normes de santé et de sécurité au travail imposent l'utilisation d'un aspirateur industriel doté d'un filtre de classe M (EN 60335).
- Seules les personnes équipées d'un détecteur portable de monoxyde de carbone sont autorisées à pénétrer dans les silos enterrés et les locaux de stockage de grande capacité (généralement > 10 tonnes, consulter la réglementation nationale).

Il est impératif de nettoyer le silo à granulés au moins tous les deux ans, avant la livraison de granulé suivante.

4. Silos de granulés préfabriqués

4.1. Généralités

Les silos préfabriqués allègent considérablement les processus de conception et d'installation, par rapport aux silos à construire soi-même. En outre, ils remplissent toutes les exigences techniques et de sécurité. Il est possible de les installer dans des caves, des garages ou des ateliers, sous des abris pour voitures, comme des citernes enterrées et à l'air libre. Il est nécessaire d'installer et d'exploiter les silos préfabriqués conformément aux instructions du fabricant.

Le silo à combustible fait partie intégrante du système de chauffage. Il incombe à l'installateur du système de chauffage d'intégrer efficacement les différents éléments. Il doit garantir l'interopérabilité de la chaudière, du dispositif de prélèvement des granulés et du silo à granulés. Il lui revient de documenter les éléments utilisés et de certifier l'adéquation de son installation.

4.2. Exigences relatives au local d'installation

La condition prioritaire de l'installation d'un silo préfabriqué est une base rigide et de niveau. Sinon, il est nécessaire de compenser les écarts de hauteur. La base doit supporter des charges statiques aux points de contact : poids global du silo et son contenu. Les locaux dont le taux d'hygrométrie atteint 80% au maximum conviennent, dans la mesure où l'air circule autour du silo. Il convient que le local d'installation soit ventilé pour éviter toute accumulation dangereuse de CO.

Distance des murs, plafonds et installations

De nombreux systèmes de stockage requièrent des distances suffisantes avec les murs environnants, le plafond et les installations, comme les lampes et les tuyaux. Il est recommandé de prévoir suffisamment d'espace autour des silos en tissu pour qu'ils puissent se gonfler pendant le processus de soufflage. Dans certains cas, le tissu est gonflé au début de la livraison, de sorte que le tissu suspendu se tende avant que le silo ne reçoive les granulés. En règle générale, le tissu gonflé ne doit pas entrer en contact avec les

raccords et l'équipement. Il ne doit pas non plus être limité par la hauteur de plafond, sauf si le fabricant l'y autorise explicitement. Il convient également de tenir compte des facteurs suivants:

- Pas de conduite d'eau à proximité du silo;
- suspension libre du tissu pour éviter d'accroître le taux de fines;
- séparation entre le tissu et le plafond ou les lampes murales, car la chaleur risque de l'endommager.
- Un silo en tissu doit disposer de suffisamment d'espace pour se déployer complètement. Le tissu ne doit pas se plisser avec le soufflage, car cela l'endommagerait.
- Il convient de placer les embouts de soufflage de sorte que les granulés ne heurtent que les surfaces de tissu consolidé sans endommager les coutures.

Les silos préfabriqués dépourvus de conduites de remplissage à l'air libre requièrent suffisamment d'espace autour des raccords pour éviter de former un coude trop serré entre le raccord de remplissage et le tuyau de soufflage. Il convient de préserver une distance minimale d'un mètre entre le raccord et les parois. Il est recommandé d'installer des conduites de remplissage fixes avec des raccords sur la paroi extérieure.

La diversité des systèmes de stockage impose d'afficher clairement les instructions de remplissage pour le silo en question, à l'attention du chauffeur-livreur.

Mise à la terre

Il est possible d'installer les silos à l'intérieur ou à l'extérieur. Beaucoup de modèles sont constitués d'un châssis et d'un textile polyester. D'autres sont constitués de plaques métalliques. Il est nécessaire de raccorder le silo à la terre pour dériver l'électricité statique créée par le soufflage du granulé. Seul un électricien qualifié peut raccorder le silo à la terre à l'aide d'un câble (4 mm²) reliant les raccords à la barre de compensation de potentiel.

Ventilation

Le local d'installation d'un silo textile doit être pourvu d'une cheminée de ventilation à l'air libre et être isolé hermétiquement de l'espace d'habitation.

- Lorsque les conduites de soufflage et d'aspiration sortant à l'air libre sont courtes (< 2m), des bouchons de ventilation installés sur les raccords suffisent à assurer la ventilation nécessaire.
- Dans toutes les autres situations, le local d'installation doit disposer d'au moins une ouverture à l'air libre, qui ne puisse pas être fermée, consulter le tableau n°3.

Pour les silos textiles dépourvus d'un embout d'aspiration, le flux d'air servant au transfert des granulés s'évacue à travers le textile du silo. Dans ce cas, pendant la livraison, le flux d'air (jusqu'à 1 500 m³/h) doit pouvoir s'échapper par les fenêtres, les portes et les autres ouvertures.

4.3. Installations extérieures

En règle générale, il est également possible de monter les silos préfabriqués à l'extérieur d'un bâtiment. Il convient de tenir compte de la force du vent. Selon le type de silo et son matériau, une protection contre les rayons UV peut s'avérer nécessaire. Certains silos requièrent également une protection contre la pluie (consulter le Tableau n°4).

Tableau n°4: Exigences particulières pour l'installation à l'extérieur d'un silo à granulé préfabriqué

Type de silo	Protection contre les rayons UV	Protection contre la pluie
Silo textile	Respecter les instructions du fabricant	Fondamentale
Silo métallique hors-sol	Pas nécessaire	Pas nécessaire (sauf information contraire du fabricant)
Silo hors-sol en plastique renforcé de fibre de verre (GRP)	Pas nécessaire	Pas nécessaire (sauf information contraire du fabricant)
Silo hors-sol en plastique	Respecter les instructions du fabricant	Pas nécessaire (sauf information contraire du fabricant)
Silo hors-sol en béton	Pas nécessaire	Pas nécessaire

4.4. Silos enterrés

Les silos à granulés construits sous le niveau du sol sont soumis à des exigences particulières et doivent notamment:

- présenter une imperméabilité totale à l'humidité et à toute pénétration d'eau;
- éviter la condensation de l'air ambiant en cas de fluctuations de l'humidité liée à des changements de température par exemple;
- être protégée contre une poussée ascensionnelle provoquée par l'élévation de la nappe phréatique;
- être quasiment totalement déchargeable.

Les silos enterrés sont composés de béton ou de plastique. Le prélèvement s'opère par aspiration par le haut ou par le fond.

En cas de prélèvement par le fond, la partie inférieure du silo est conique. Le prélèvement des granulés vers le convoyeur a lieu au point le plus bas. Il s'exerce une pression statique très importante sur les granulés situés dans la zone de prélèvement, qu'il est nécessaire d'alléger par des mouvements rotatifs, des vibreurs, de l'air de retour ou des agitateurs.

Il est également possible de prélever les granulés par le haut à l'aide d'un flexible et d'une tête d'aspiration rotative. L'appareil repose sur les granulés et se déplace lentement en tournant autour du silo. Dans certains systèmes, l'air aspiré est retourné dans le silo.

Les silos enterrés sont étanches. Pendant la livraison des granulés, il convient de créer une dépression à l'aide d'un ventilateur mobile d'une capacité supérieure au débit d'air maximal (à température et pression normales) du souffleur, qui équipe le véhicule de livraison. Si le fabricant du silo n'a pas prévu de raccordement électrique (min. 16 A 230 V c.a.), il doit être installé à l'extérieur du silo.

En raison de son étanchéité, le silo enterré est sujet à de fortes concentrations de CO. Il est donc impératif de pénétrer dans les silos enterrés uniquement après une ventilation suffisante et après avoir mesuré le taux de CO. Une deuxième personne doit être présente!

4.5. Silos textile

Les silos existent dans de nombreux matériaux et sous de nombreuses formes: ronds, carrés, rectangulaires et de différentes hauteurs. La partie inférieure des silos textile est fréquemment conique pour permettre le

prélèvement des granulés. Il existe d'autres formes courantes: trémies en auge, trémie à levage et trémie à fond plat. Le prélèvement des granulés a lieu soit par le fond au moyen d'une vis sans fin ou d'un dispositif aspirant, soit par le haut au moyen d'un dispositif aspirant flexible. Tableau n°5 donne un aperçu des formes les plus courantes de silos textile.

Tableau n°5 Exemples de formes de silos textile

Les silos coniques ressemblent à une pyramide inversée. Le prélèvement se fait au point le plus bas à l'aide d'un dispositif aspirant ou de courtes vis horizontales, raccordés à un souffleur de granulés à vide ou à une vis d'extraction.



Les silos coniques présentent l'avantage d'être modulaires c'est-à-dire qu'il est possible de relier plusieurs silos en série. Dans ce cas, des dispositifs à commutation automatique régulent les points de prélèvement. Le principe de la modularité permet une capacité de stockage très élevée, y compris dans des locaux bas de plafond.



Les trémies en auge offrent une capacité importante dans des locaux étroits. Leur forme permet de les remplir jusqu'au plafond. Le prélèvement a lieu au moyen d'une vis qui entraîne les granulés vers un point de dépression ou directement vers la chaudière à granulés, ou au moyen de plusieurs dispositifs d'aspiration.



Les silos à fond plat ne présentent aucune surface inclinée. Leur forme optimise l'utilisation de l'espace. Le poids est supporté par une surface plus importante. Le prélèvement des granulés par le fond fait appel à un agitateur doté d'une vis de prélèvement ou à un dispositif d'aspiration. Il est également possible de prélever les granulés par le haut à l'aide d'une sonde d'aspiration flexible. Il n'est pas facile de nettoyer totalement les systèmes à fond plat. Selon la construction, 2 à 15% de granulé restent dans la trémie.



Les trémies dotées d'un châssis à répartition offrent moins de capacité qu'une trémie à fond plat, car il faut préserver une courte distance entre le fond de la trémie et le sol. Par conséquent, la trémie risque de pencher légèrement vers le sol. Un prélèvement efficace passe par un vibreur. On réduit ainsi le volume de granulé résiduel.



5. Silos sur mesure

5.1. Exigences générales

Les silos à granulés exigent une conception soignée. Leur conception et leur installation incombent à des professionnels. Il est possible de stocker des granulés dans des caves, des garages, des greniers ou d'autres locaux adaptés. Cependant, il est nécessaire de respecter les exigences légales ou réglementaires relatives au stockage des combustibles (comme les instructions de protection incendie).

Le silo est généralement de forme rectangulaire, au sol (consulter la Figure 4). Il convient d'installer les raccords de soufflage et d'aspiration sur le côté étroit du silo. Il est nécessaire d'accéder facilement aux raccords de soufflage et d'aspiration. Le silo retenu doit être dépourvu d'installations électriques ou d'eau et de gaines d'aération. Il convient d'atténuer l'impact des granulés entrants sur les parois du silo à l'aide de tapis d'impact adaptés. Les plafonds et les murs doivent être composés de matériaux qui ne risquent pas de contaminer les granulés.

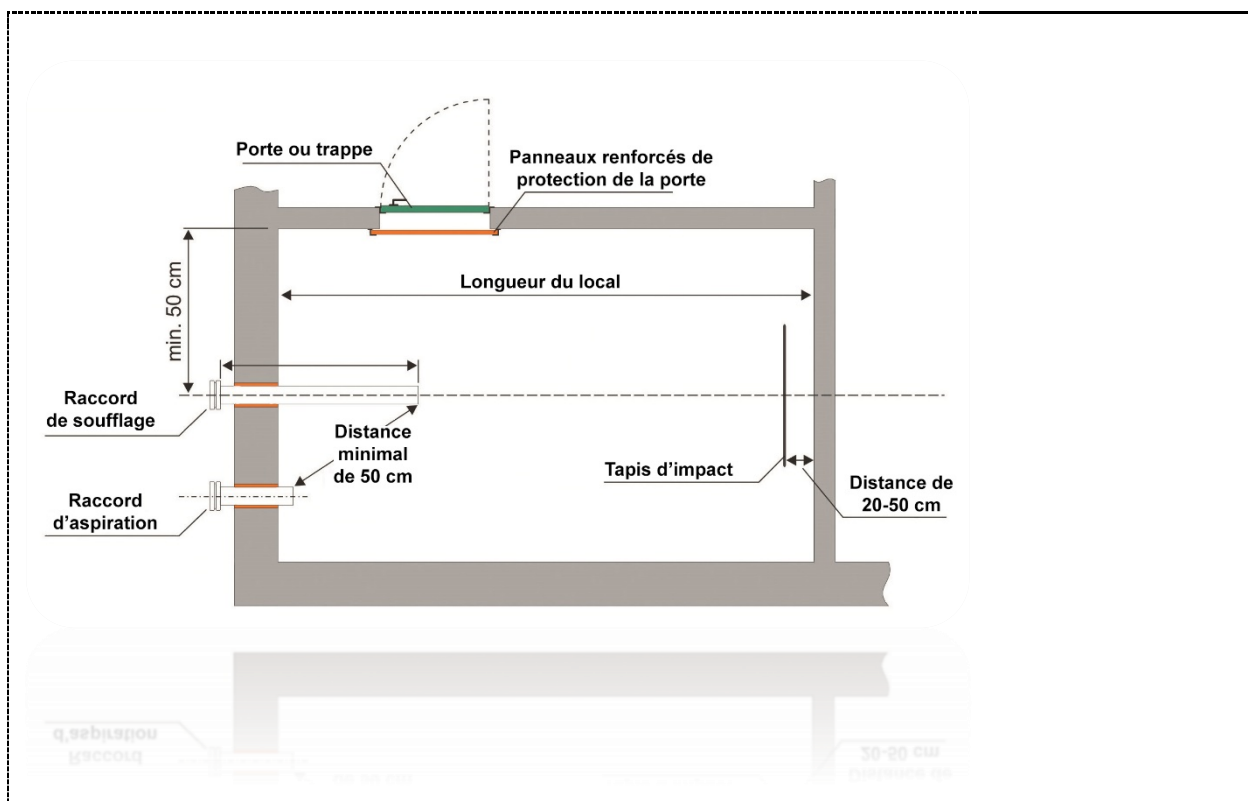


Figure 4 : Configuration générale d'un silo à granulés sur mesure

Concernant le risque d'explosions lié à la poussière, on affecte souvent la classe ATEX Zone 22 aux silos de granulés (c'est-à-dire qu'ils risquent de contenir une atmosphère explosive pendant de courtes périodes : le soufflage des granulés). Toutes les surfaces verticales à l'intérieur du silo doivent être lisses et non abrasives pour éviter de détériorer le granulé lors du remplissage et l'accumulation de poussières. Il est recommandé d'éviter les surfaces horizontales. Toutes les conduites et tous les raccords doivent être conducteurs et mis à la terre par un professionnel.

Le local de stockage doit être étanche afin d'éviter toute infiltration de gaz ou de poussières dans les autres pièces du bâtiment. Il est impératif que le local soit ventilé conformément aux dispositions du Tableau 3.

5.2. Exigences relatives à la capacité de charge

Le sol, les murs et le plafond environnants doivent résister aux contraintes statiques et dynamiques qu'imposent les granulés (masse volumique apparente (BD) de 750 kg/m³, maximum) et la fluctuation de pression (la tolérance doit être supérieure à la surpression de 0,05 bar (=500 kg/m²)) causée par le soufflage des granulés.

Il est préférable de ne pas construire les murs en béton cellulaire autoclavé et de ne pas installer de fenêtres en verre ou de grandes baies en plastique, sauf si elles doivent servir à soulager la pression. Il est impératif que tous les raccords sur la maçonnerie, dans les angles et entre les murs, soient étanches. Pour des silos à granulés plus grands, il convient de consulter un professionnel qualifié en ingénierie structurelle et en protection incendie.

Concernant les locaux de stockage d'une capacité jusqu'à 10 tonnes et d'une hauteur sous plafond jusqu'à 2 mètres, les constructions de mur suivantes ont fait leurs preuves :

- Béton armé 10 cm d'épaisseur
- Mur de briques de 17,5 cm d'épaisseur, scellé au mortier de chaque côté, angles renforcés et reliés au plafond
- Constructions en bois avec poutres de 12 cm, dégagement de 62 cm, étayé des deux côtés par un coffrage tri couche ou multicouche en bois contreplaqué, joint au plafond, au sol et aux murs. Certaines conceptions de construction requièrent l'utilisation de charnières en acier.

5.3. Protection contre la condensation et la pénétration d'eau

Les granulés sont hygroscopiques. En contact avec l'eau et les surfaces humides, ils gonflent, ne peuvent plus brûler et obstruent les conduites de transfert. Respecter les règles suivantes :

- Les silos à granulés doivent être totalement secs. Notamment dans les bâtiments de construction récente, le sol du silo peut être humide. Il ne doit pas être utilisé avant d'être totalement sec.
- Veiller à ce que l'hygrométrie ne dépasse pas 80%.
- Si les murs présentent un risque d'humidité (même temporaire), il est fortement recommandé d'utiliser un silo préfabriqué. Sinon il est nécessaire de couvrir les murs du local de stockage en insérant un vide.

5.4. Silos à pans inclinés

L'inclinaison du sol dirige les granulés vers la vis sans fin ou le système de prélèvement, par la seule gravité. Elle doit suffire à vider totalement le silo.

La construction de locaux de stockage avec pans inclinés (voir la

Figure 5) doit respecter certaines règles de conception importantes :

- Les silos doivent résister au poids des granulés. Un châssis robuste et stable est indispensable.
- Les solides poutres en bois du châssis du silo à pans inclinés doivent être soutenues par des équerres tous les 60 cm à 70 cm.
- L'inclinaison du sol doit respecter un angle de 45 à 50 degrés minimum.
- La surface des panneaux composant le sol doit être lisse. De simples panneaux d'aggloméré ne conviennent pas. Il est recommandé d'utiliser des panneaux de bois tri couche ou du contreplaqué multicouche.
- Il est nécessaire de protéger la vis sans fin avec un tablier angulaire (en acier) qui la couvre sur toute sa longueur, afin de la soulager du poids des granulés situés au-dessus de ceux dans la vis. L'écart qui sépare le tablier du sol incliné est de 60 mm à 70 mm, ce qui facilite le flux des granulés.
- Il convient d'éviter les angles, marches et surfaces planes autour de la vis sans fin ou du point de déchargement.
- Le sol incliné doit être hermétiquement raccordé aux murs qui le jouxtent, de sorte qu'aucun granulé ne tombe dans l'espace vide sous le plancher.
- Seul un professionnel est autorisé à effectuer le raccord au système de prélèvement, conformément aux instructions du fabricant.
- Pour éviter de transmettre les vibrations et le bruit produits par le local de stockage (comme ceux du système de prélèvement) vers la structure du bâtiment, il est recommandé d'isoler acoustiquement les installations du bâtiment. Les espaces entre le plancher incliné et le sol doivent être scellés au ruban adhésif.

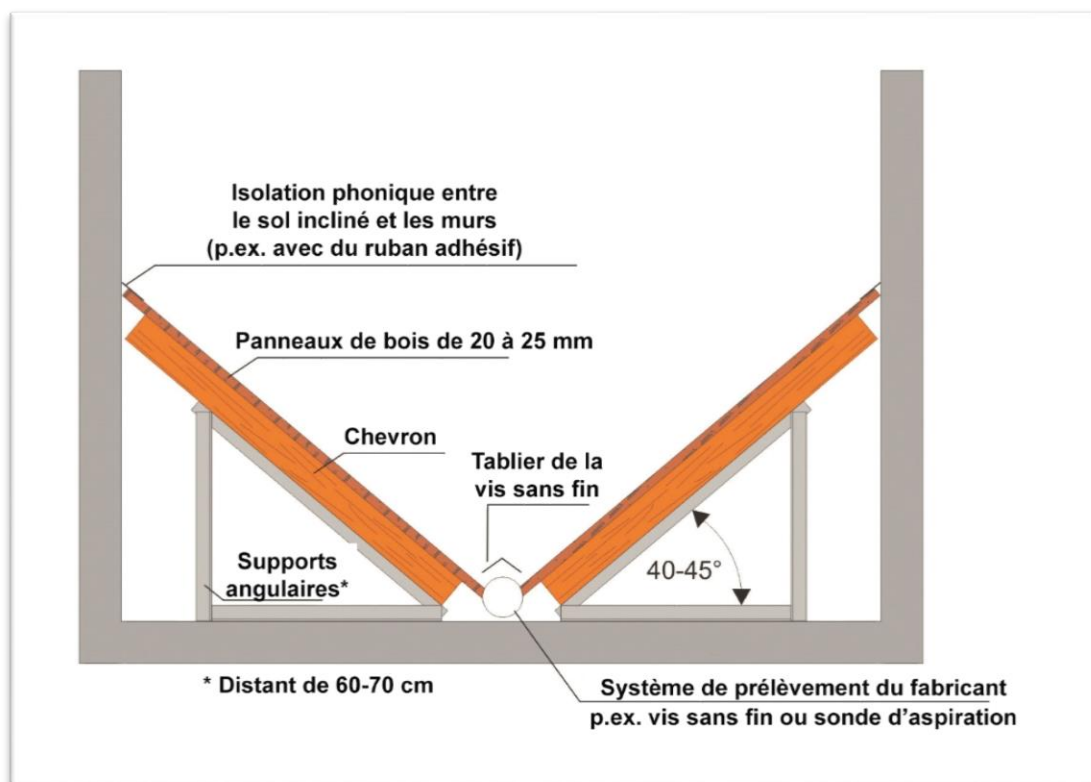


Figure 5 : Recommandations relatives à l'installation d'un silo à pans inclinés

5.5. Tapis d'impact

Le tapis d'impact réduit l'effritement des granulés pendant leur livraison. Il protège les parois du local de stockage et évite ainsi la contamination des granulés par des particules de matériau provenant des parois (comme la peinture ou le mortier). Il convient d'installer les vis de fixation, traverses et supports de sorte qu'ils ne gênent pas le flux des granulés.

Il convient de placer le tapis d'impact verticalement par rapport au flux entrant de granulés, à une distance d'environ 20 cm à 50 cm de la paroi opposée à la conduite de soufflage. En règle générale, il est librement suspendu pour que la force exercée par le flux entrant de granulés laisse le tapis se balancer vers l'arrière. C'est ce balancement qui assure la dissipation correcte de l'énergie cinétique des granulés. Un tapis d'impact ne remplit pas son office s'il est placé au mur.

Il est nécessaire d'utiliser un tapis d'impact suffisamment large pour capter tout le flux de granulés. Il doit être suffisamment long pour éviter qu'il ne soit soufflé ou repoussé, mais pas trop long, car le risque qu'il soit piégé et déchiré par les granulés augmente proportionnellement à sa longueur. Le premier remplissage du silo permet de vérifier l'efficacité du tapis d'impact. Le flux entrant de granulés doit frapper le tapis. Si l'installation compte plusieurs conduites de remplissage, il est recommandé d'installer autant de tapis d'impact.

Le tapis d'impact doit résister à l'abrasion et au déchirement. Les matériaux à base de moquette, de plastique souple ou de caoutchouc ne conviennent pas et risquent d'endommager considérablement l'installation si des fibres ou des morceaux de caoutchouc tombent dans les granulés et pénètrent dans la vis sans fin. Il est recommandé d'utiliser un film HDPE de 2 mm d'épaisseur minimum ou un caoutchouc résistant à l'abrasion de 1 à 3 mm d'épaisseur, d'1,2 m sur 1,5 m.

5.6. Portes, fenêtres et trappes

Il est nécessaire de construire des portes et des trappes étanches (Figure 4). Elles doivent s'ouvrir vers l'extérieur et tout leur pourtour doit être doté d'un joint étanche à la poussière. Le fabricant de fenêtres les a généralement déjà rendues étanches, mais il doit valider cette utilisation (p. ex. au regard du verre de sécurité, car il existe des pics de pression). Il est nécessaire de renforcer l'intérieur du cadre de la porte en y fixant des plaques de bois ou de métal afin de le protéger de la pression qu'exerce la masse des granulés. Il est nécessaire que les verrous soient étanches à la poussière du côté intérieur pour éviter toute obstruction. Le fournisseur de granulés n'est pas responsable des dommages ou de la contamination provoqués par des joints inadaptés.

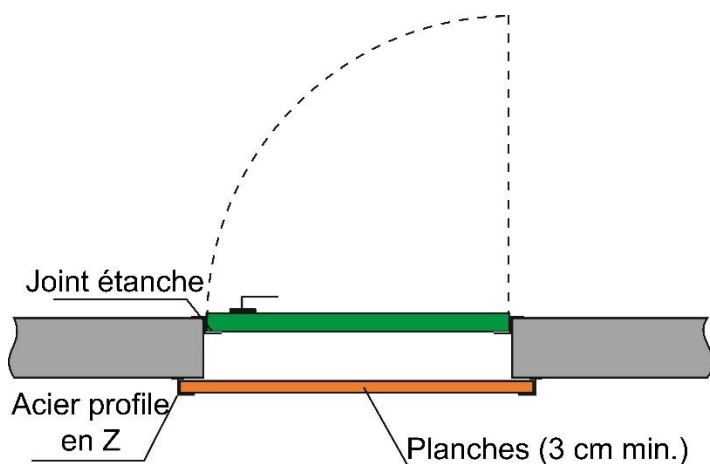


Figure 6 : Protection contre la pression et l'impact sur la porte du local de stockage

Il est pratique que la porte donnant sur le silo soit aussi proche que possible du raccord de soufflage. Cela laisse davantage de temps avant que l'accumulation de granulés n'empêche d'y accéder. Il convient de ne pas placer la porte derrière le tapis d'impact! Il est nécessaire que le local de stockage reste accessible pour procéder à son nettoyage régulier et pour que le chauffeur-livreur de granulés puisse procéder à une inspection visuelle avant le remplissage. **Pénétrer dans un silo (tout local de stockage) expose toujours à un risque grave. Il convient donc de réduire le nombre d'interventions et de respecter scrupuleusement les règles de sécurité (consulter le chapitre 7: pour votre sécurité).**

Il est recommandé de prévoir un regard, c'est-à-dire une petite fenêtre dans les planches de bois. Si l'on utilise du plastique transparent, l'électricité statique risque d'attirer les fines sur la fenêtre. Les fines sur un regard en plastique empêchent de voir le volume de combustible restant dans le silo.

5.7. Installations dans le local de stockage

Il est impératif de retirer les installations dans le local de stockage (conduites d'eau, d'évacuation, etc.). Si cela n'est pas possible sans efforts considérables, et que ces installations croisent le flux de soufflage des granulés entrants, il est nécessaire de les protéger avec des déflecteurs inclinés afin de réduire les dommages causés aux granulés.

Il est **interdit** de laisser des installations électriques, comme des interrupteurs, des prises de courant, des lampes ou des boîtes de dérivation, dans le local de stockage. Les installations électriques antidéflagrantes et les systèmes de prélèvement spécialement conçus échappent à cet interdit.

5.8. Système de remplissage

Il est nécessaire d'équiper le local de stockage d'au moins un raccord pour le soufflage des granulés et un raccord de sortie pour la conduite d'aspiration. Noter leur fonction lisiblement et de manière définitive sur les conduites et les bouchons. Il convient d'installer les raccords au moins 15 cm sous le plafond du silo (mesure effectuée entre le plafond et le bord supérieur de la conduite). Au-delà de 50 cm, il est impératif de rigidifier la fixation des conduites de remplissage à l'aide d'un collier de serrage (voir Figure 7).

Les normes généralement admises en matière de raccords préconisent les raccords Storz Type A d'un diamètre interne de 100 mm. Il convient de les utiliser pour les conduites de soufflage et d'aspiration. Si les raccords sont installés dans un puits de lumière, il est facile de raccorder le tuyau de remplissage à une section droite sortant de la cheminée de ventilation, sans coude. Il est impératif de fixer fermement les raccords pour empêcher qu'ils ne se tournent ou ne se tordent lors du raccordement au camion de livraison.

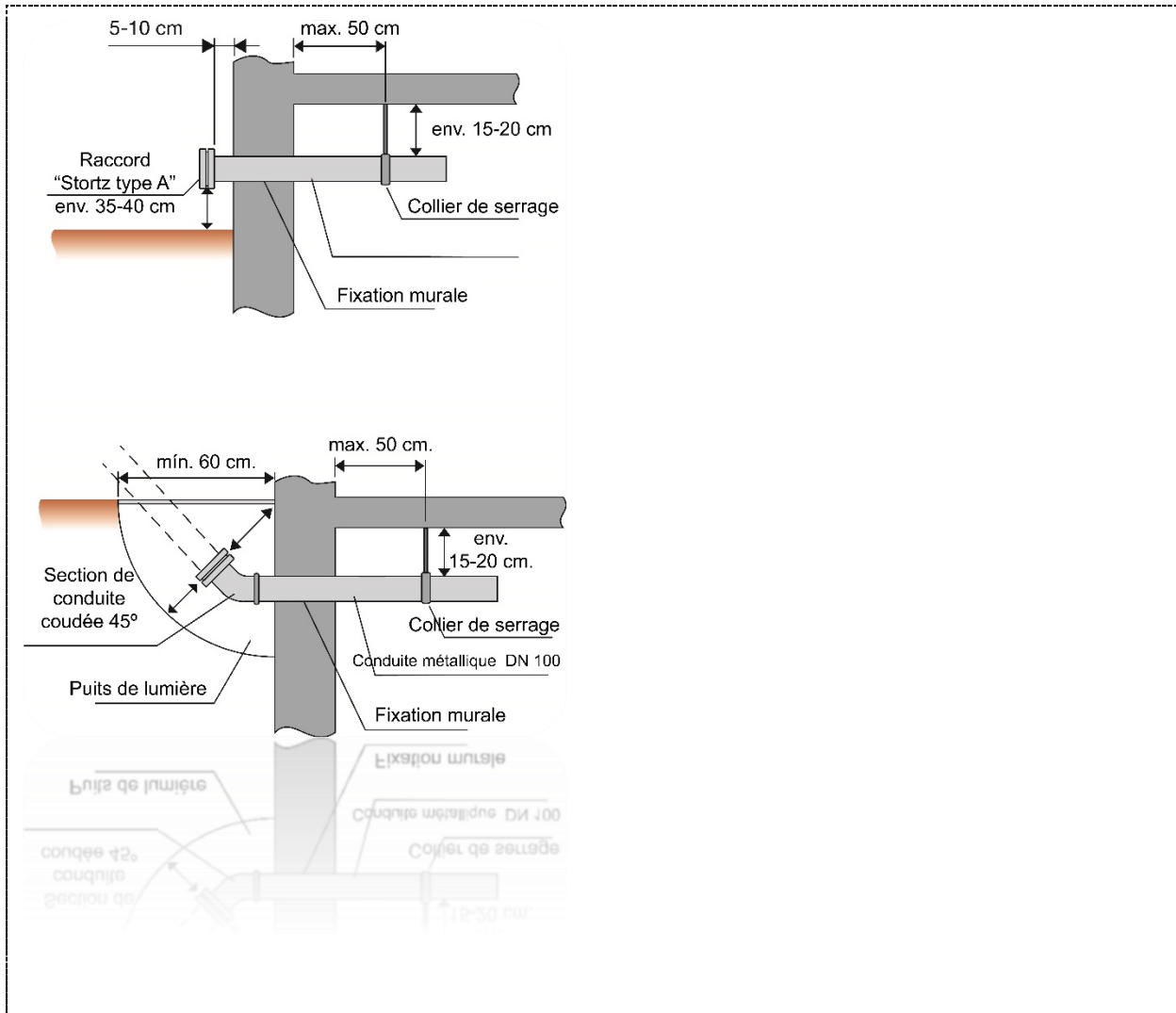


Figure 7 : Recommandations conceptuelles relatives aux raccords situés au-dessus ou sous le niveau du sol.

Le système de remplissage respecte les conditions suivantes:

- Tous les raccords (soufflage et aspiration) sont des raccords Storz type A (ou de qualité équivalente); toutes les conduites ont un diamètre de 100 mm;
- les conduites sont métalliques et résistent à la pression d'un bar, minimum;
- les conduites y compris les coudes, présentent une surface interne lisse, pour éviter toute abrasion; aucun rivet ni aucune vis ne doivent dépasser à l'intérieur des conduites! Si les conduites sont soudées, vérifier les orifices minuscules, scories et autres dommages à l'intérieur des conduites au niveau des soudures. Ébarber les conduites en acier.
- Les conduites sont aussi courtes que possible. Éviter les changements de direction. Former des coudes dont le rayon dépasse 200 mm.
- La conduite de soufflage présente une section finale droite d'au moins 30 cm à 50 cm pour empêcher la formation d'une turbulence dans le débit des granulés, qui les diffuserait à la sortie selon un angle trop important. (voir Figure n°8).
- Le système de remplissage est relié à la terre par un câble de 4 mm² jusqu'à une barre de compensation de potentiel.

- Les raccords de soufflage et d'aspiration sont lisiblement étiquetés. Ne pas utiliser la conduite d'aspiration pour le soufflage, car des granulés risquent de l'obstruer ultérieurement.
- Libérer un espace de travail d'environ 40 cm autour des raccords, même s'ils sont placés sous un puits de lumière.
- Le ventilateur d'aspiration dispose d'une prise de courant (230 V, 16 A), à proximité du raccord d'aspiration. Le chauffeur-livreur y a accès.
- L'accès aux raccords et leur environnement (cheminée de ventilation, caillebotis) sont déneigés et dégivrés en hiver.
- Fermer les raccords à l'aide de bouchons de ventilation, de préférence verrouillables, après le soufflage. Le chauffeur-livreur a accès aux clés.

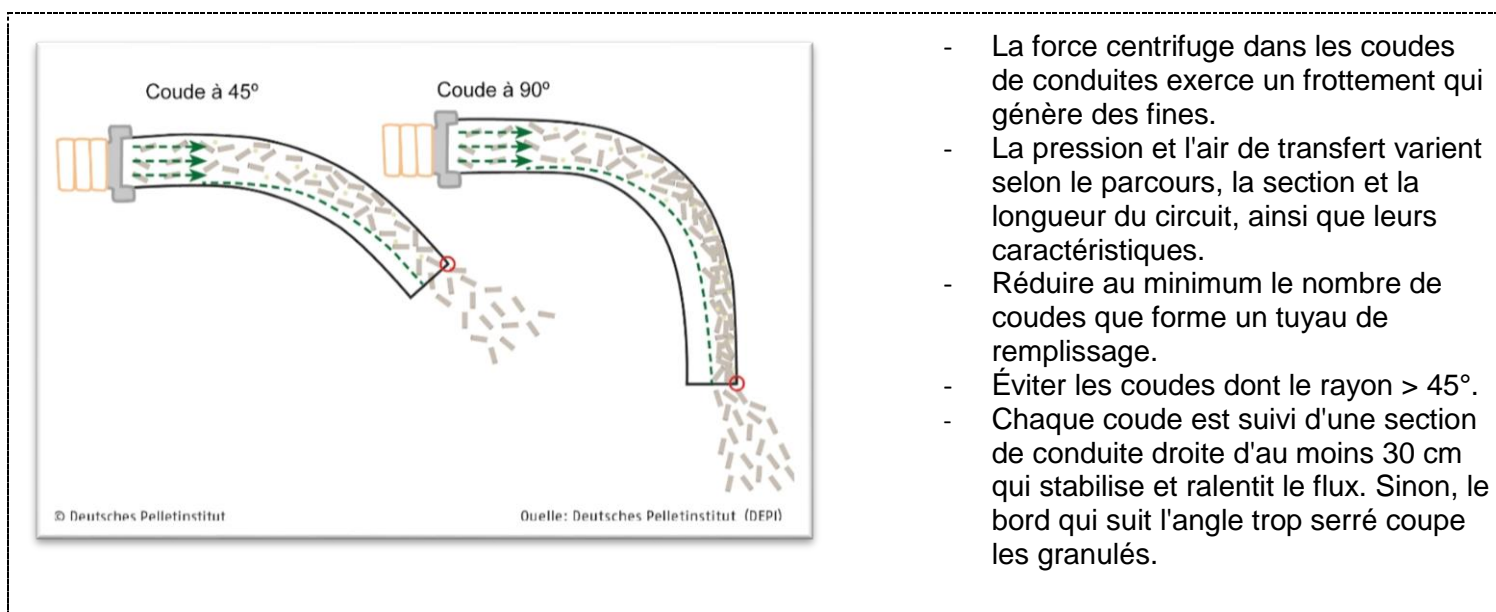


Figure 8 : Schéma de déchargement des granulés en fonction des coudes, sans section droite appropriée (section de ralentissement)

Le silo de granulés est ventilé. Concernant les silos dont le tonnage est inférieur à 40 t, équipés de tuyaux de remplissage inférieurs à 2 m de longueur, les bouchons de ventilation installés sur les raccords suffisent à assurer une ventilation adéquate. Dans toutes les autres situations, il est nécessaire d'installer des conduites de ventilation.

5.9. Exemples de bonnes pratiques pour les locaux de stockage sur mesure

La conception d'un silo tient compte de la taille et de la géométrie du local, notamment de la distance séparant le tuyau de remplissage de la paroi opposée.

Les petits silos, d'une profondeur inférieure à 2 mètres exposent les granulés à un risque élevé de fracture causée par l'impact. Une conception particulière du tuyau de remplissage et du tapis d'impact (voir Figure 9) contribue à atténuer les contraintes mécaniques excessives sur les granulés:

- La sortie du tuyau de remplissage dirige le flux de granulés légèrement vers le bas (voir Figure 9). On utilise un tuyau coudé entre 15 et 20 degrés, terminé par une section droite de 30 cm. On peut également utiliser un tuyau de remplissage conducteur fermement fixé pour former cette section droite finale. Dans ce cas, le pas de vis interne doit être en parfait contact avec le tuyau métallique pour assurer la mise à la terre de la totalité du tuyau de soufflage.

- Le tapis d'impact est correctement mis en place pour être efficace. Il est recommandé de fixer le tapis d'impact sur un panneau de soutien de taille équivalente. Cet assemblage est fixé au plafond et au mur. L'angle vertical est d'environ 15 degrés.

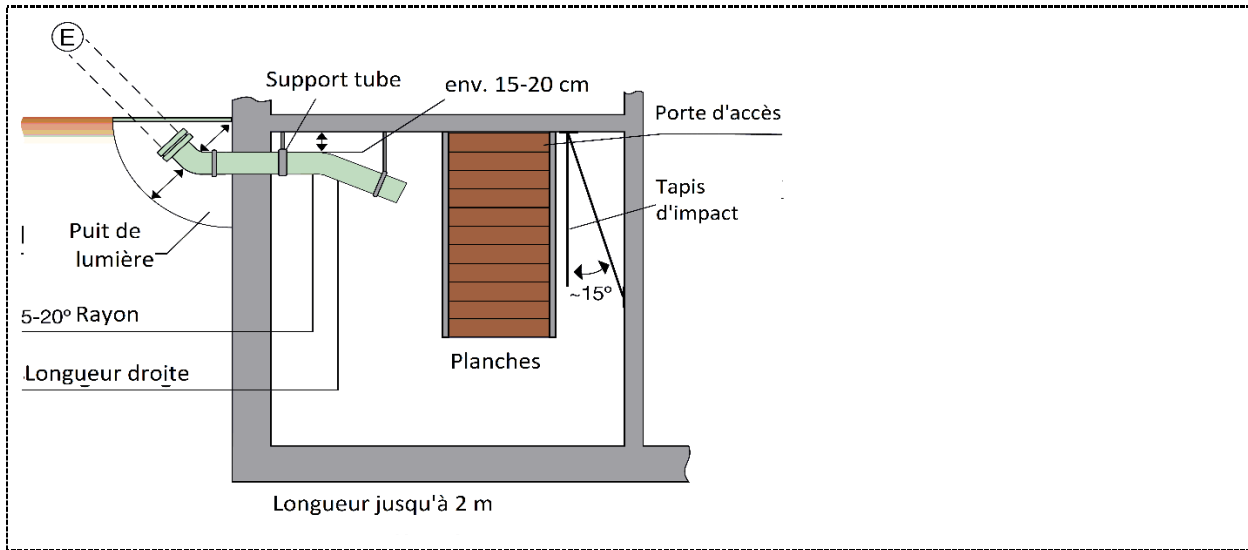


Figure 9 : Bonnes pratiques pour concevoir un local de stockage d'une profondeur < 2 m

La conception d'un silo à granulés rectangulaire d'une profondeur de 2 à 5 mètres (Figure 10) respecte les critères suivants:

- Les tuyaux de soufflage sont installés horizontalement à une distance de 15 à 20 cm du plafond pour éviter que les granulés ne heurtent le plafond pendant leur soufflage (angle de diffusion de 7°).
- Le tapis d'impact à l'opposé du silo se situe entre 20 cm et 50 cm du mur du fond et est fixé au plafond. Il est suspendu librement.
- Le raccord d'aspiration est installé à 50 cm, au moins, du raccord de soufflage. Le bouchon de ventilation et le tuyau sont étiquetés lisiblement. Idéalement, le raccord d'aspiration est situé dans un angle, légèrement surélevé par rapport au tuyau de remplissage.

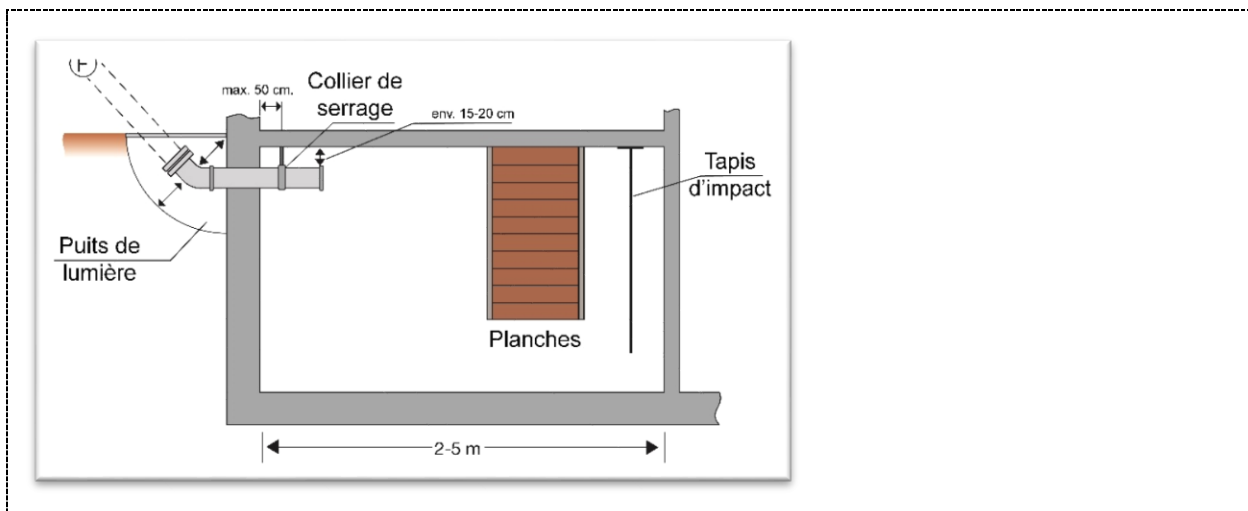


Figure 10 : Bonnes pratiques pour concevoir un local de stockage d'une profondeur de 2 à 5 m

La conception de silos sur mesure, de plus grande taille, respecte les contraintes qu'impose un circuit de granulés adapté: la distance séparant la sortie du tuyau de soufflage à la surface d'impact ne doit pas dépasser 2 à 4 mètres.

Par conséquent, les silos d'une profondeur supérieure à 5 mètres sont équipés de tuyaux de soufflage qui vont plus loin dans le local. Les raccords de ces tuyaux sont lisiblement étiquetés (long/court). Le soufflage des granulés commence dans le tuyau de soufflage long. N.B. Le niveau de granulés à la sortie du tuyau long dans un silo non éclairé n'est pas toujours visible. Il convient donc de prévoir une autre méthode pour contrôler le niveau de remplissage.

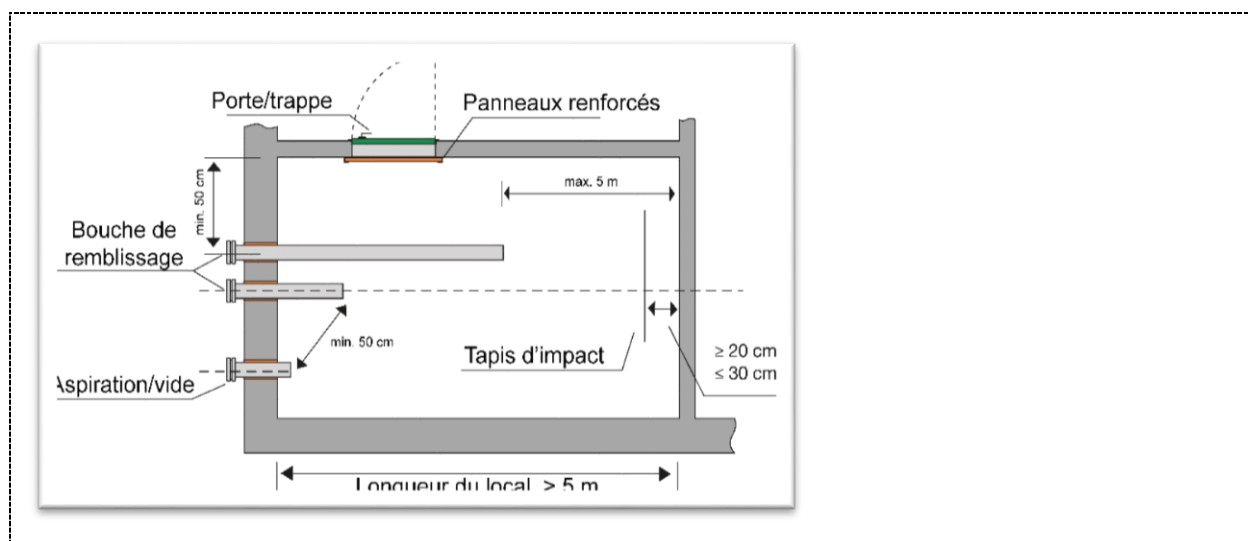


Figure 11 : Bonnes pratiques pour concevoir un local de stockage d'une profondeur de 2 à 5 m

Lorsque les granulés sont soufflés dans le silo, ils s'empilent selon un angle de repos de 45° à 60°. Les locaux vastes (largeur > 3 mètres) requièrent des tuyaux de soufflage supplémentaires pour optimiser leur volume de stockage. La distance horizontale séparant les tuyaux de soufflage est de 1,5 m à 2 m. Chaque tuyau de soufflage dispose d'un tapis d'impact distinct devant le mur du fond.

Pour les trois exemples précités, il est possible d'assurer une ventilation de qualité en équipant les conduites de remplissage des silos d'un bouchon sur les raccords de remplissage et d'aspiration. Toutefois, il est également possible de ventiler en installant des solutions plus complexes. Ces exigences sont résumées au tableau n°3.

6. Grands silos (jusqu'à 100 tonnes)

6.1. Exigences générales

Les principales exigences pour le stockage des granulés évoquées dans les chapitres précédents s'appliquent également aux silos de grande taille, dont la capacité atteint 100 tonnes. Les exigences relatives à un soufflage de granulés approprié concernent également les silos de grande taille: il est nécessaire d'utiliser des tuyaux adaptés, la place de stationnement du camion de livraison doit être à proximité du silo et les tuyaux de remplissage doivent être aussi droits que possible. En outre, il est primordial de maintenir la distance qui sépare le silo de la chaudière aussi courte que possible. La conception et l'exploitation de silos de grande taille exigent qu'on porte une attention particulière à de nombreux aspects moins pertinents pour les petits silos. Les silos de grande taille sont équipés de systèmes de prélèvement différents de ceux des petits silos. Le risque de surpression pendant le soufflage des granulés est donc moindre. Le volume libre supérieur évite les pics de pression élevés. Certains silos sont équipés d'une pompe à vide sur site pour la procédure de soufflage.

Le soufflage des granulés depuis un camion de vrac contenant 25 t de granulés peut durer deux heures. Pendant ce temps, le moteur et le compresseur du camion fonctionnent. Par conséquent, il est utile de

chercher à se protéger du niveau sonore. Un stationnement adéquat du camion de livraison n'est pas toujours évident, surtout à proximité de résidences, d'hôtels et d'hôpitaux. Livrer les granulés par camions à plancher mobile ou à benne basculante qui versent les granulés dans le local de stockage ou sur un convoyeur sont autant d'options qui raccourcissent le temps de la livraison et génèrent moins de bruit.

6.2. Taille du silo

Les dimensions de silos de grande taille exigent de tenir compte des besoins annuels de combustible (calculés selon la puissance de la chaudière et le facteur de capacité attendu) et des aspects logistiques. La charge utile courante de 25 tonnes par camion de livraison compte parmi les facteurs importants. La Figure n°12 permet de déterminer les capacités de stockage favorables. Le schéma illustre les capacités de stockage favorables en fonction de la taille de la chaudière.

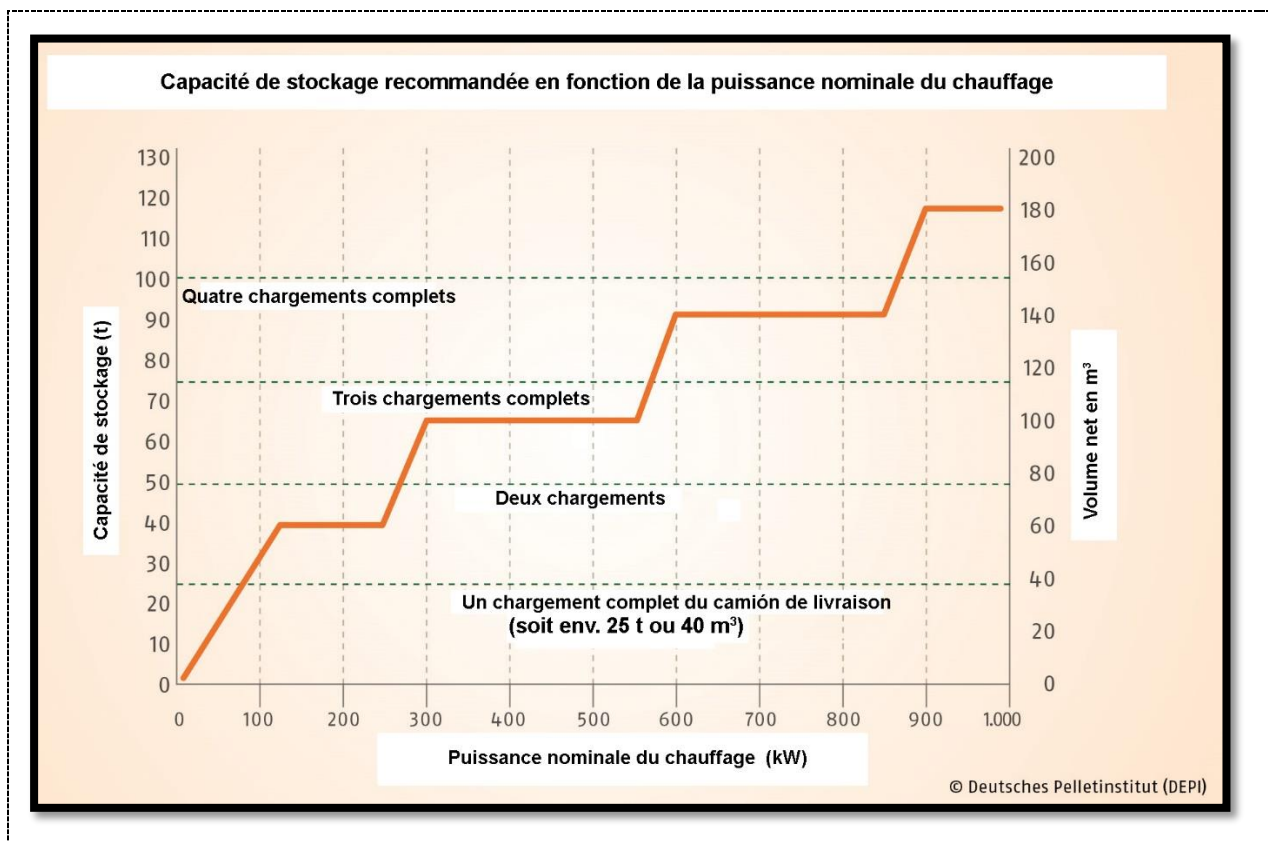


Figure 12 Détermination des capacités de stockage favorables pour les silos de grande taille

6.3. Système de prélèvement du granulé

Contrairement aux petits systèmes de chauffage à granulé, les systèmes de grande taille utilisent peu fréquemment des dispositifs par aspiration. Tableau N°6 présente les systèmes courants de prélèvement de granulé destinés aux silos de grande taille.

Tableau N°6: Différents types de systèmes de déchargement de granulés destinés aux silos de grande taille

<p>Vis sans fin centrale</p>	<p>Système rentable pour les locaux de stockage longs avec pans inclinés.</p> <p>Convient aux chaudières < 100 kW.</p>	
<p>Dessilleur</p>	<p>Système économique pour des locaux rectangulaires utilisant deux bras rotatifs qui poussent les granulés vers la vis sans fin.</p> <p>Convient aux chaudières < 200 kW.</p>	
<p>Bras télescopique</p>	<p>Système économique pour les silos circulaires; les bras télescopiques poussent les granulés vers la vis sans fin.</p> <p>Recommandé pour les chaudières jusqu'à 500 kW.</p>	
<p>Vis sans fin centrale</p>	<p>Système efficace dans les silos circulaires; utilise une vis centrale rotative pour tirer les granulés vers le point de déchargement central.</p> <p>Convient aux chaudières > 500 kW.</p>	
<p>Plancher mobile</p>	<p>Système efficace et robuste destiné aux locaux de stockage rectangulaires de grande taille; basé sur un plancher mobile hydraulique.</p> <p>Convient aux chaudières > 500 kW.</p>	

6.4. Mesure du niveau de remplissage

La mesure sur site du niveau de granulé dans les silos revêt une importance capitale pour suivre les installations automatisées et programmer les livraisons. Plusieurs dispositifs permettent de suivre constamment le niveau de combustible, comme les capteurs mécaniques, capacitifs et à ultrasons. Il est également possible de mesurer le niveau de remplissage des silos à l'aide de capteurs de pression. Il est possible de suivre le niveau de remplissage de silos à pans inclinés à l'aide de capteurs de pression intégrés aux panneaux du plancher.

6.5. Nettoyage du silo

Les silos à granulés de grande taille (consommation annuelle > 15 tonnes) doivent être vidés et nettoyés au moins une fois par an. Il est impératif que le personnel de nettoyage

- utilise des aspirateurs industriels équipés d'un filtre de classe M (EN 60335);
- utilise des aspirateurs industriels homologués pour l'utilisation ATEX zone 22, contenance de l'appareil ≤ 50 l et puissance du moteur <1,2 kW;
- porte un masque de type P2 (EN 143) ou N95 (US NIOSH Standard);
- porte un détecteur portable de monoxyde de carbone;

Pénétrer dans un silo (tout local de stockage) expose toujours à un risque grave. Il convient donc de réduire le nombre d'interventions et de respecter scrupuleusement les règles de sécurité (consulter le chapitre 7: pour votre sécurité).

6.6. Protection antidéflagrante

La protection antidéflagrante des silos de grande taille consiste à éviter d'une part, les atmosphères explosives en contrôlant que la concentration de poussières reste faible et d'autre part, les sources incandescentes à tous les points des systèmes de remplissage, de stockage et de prélèvement. Seuls les appareils électriques homologués IP 54 au minimum (de préférence IP 65) sont autorisés dans le silo. L'éclairage du silo et d'autres installations fixes requièrent une approbation ATEX zone 22 (Amérique du Nord: Classe 2 Division 2).

Il n'est pas nécessaire de prendre d'autres mesures de protection antidéflagrante pour les silos à granulés si ces instructions sont scrupuleusement respectées.

6.7. Exigences relatives à la ventilation

Le dégagement de gaz toxiques dans l'atmosphère des silos à granulés peut provenir de deux sources: le dégagement de gaz des granulés et le retour de gaz de combustion provenant d'un dysfonctionnement de la chaudière à granulés. On évite les accidents en adoptant une double démarche :

- Une ventilation permanente du silo évite l'accumulation de gaz (p. ex. CO) à des taux de concentration toxiques.
- Les règles de sécurité qui protègent l'accès au silo, comme le détecteur portable de monoxyde de carbone, évitent d'exposer le personnel à une atmosphère toxique.

Si le silo est situé à proximité de l'air libre, sa ventilation passe nécessairement par des conduites de ventilations mesurant moins de 5 mètres de long. L'espace de ventilation nécessaire se calcule en fonction des dispositions du Tableau 7.

Dans les silos nécessitant des conduites de plus de 5 mètres vers l'air libre, un ventilateur s'impose.

Il n'est possible de pénétrer dans le silo qu'après :

- avoir mesuré le taux de monoxyde de carbone et confirmé que la concentration est inférieure à 60 ppm,
- ce qui impose de porter un détecteur portable de monoxyde de carbone correctement calibré.

Tableau7: Exigences concernant les grands silos

Longueur des conduites de ventilation	Exigences
≤ 2 m	Bouchons de ventilation (uniquement ≤ 40 tonnes) Section transversale min. 4 cm ² /t de granulé stocké
≤ 5 m	Ouverture de ventilation distincte vers l'air libre Section de la conduite de ventilation ≥ 100 cm ² Avec un minimum de 10 cm ² /t Ouverture sans obstacle de 8 cm ² /t minimum
> 5 m	Ventilation de stockage au moyen d'une conduite de ventilation et d'un ventilateur Le fonctionnement du ventilateur doit être associé à l'ouverture de la porte du silo

7. Pour votre sécurité

Les instructions suivantes contribuent à protéger le personnel qui intervient sur les systèmes de stockage de granulés.

Avant tout, personne ne pénètre dans un silo de granulés sauf pour y procéder aux activités de maintenance obligatoires. L'accès est interdit aux personnes non autorisées. Les enfants n'ont jamais accès aux silos de granulés.

Deuxièmement, avant de pénétrer ou de travailler dans des silos de granulés, il est impératif d'avoir coupé la chaudière. Respecter le délai que recommandent les instructions du fabricant.

Troisièmement, les silos à granulés sont constamment ventilés de manière suffisante. Dans le cas de petits silos (< 10 t), les bouchons de ventilation suffisent. En outre, il est recommandé d'ouvrir la porte du silo au moins 15 minutes avant d'y pénétrer pour le ventiler davantage.

Quatrièmement, avant de pénétrer ou d'intervenir dans un silo ou un conteneur, il est impératif qu'une deuxième personne se trouve à l'extérieur du silo pour donner l'alerte, **PAS pour porter secours**.

Cinquièmement, seul le personnel de service formé est autorisé à pénétrer dans les silos parfaitement étanches, comme les silos enterrés en béton ou en plastique ou équipés d'un ventilateur électrique, et ce, uniquement après la détermination des concentrations d'oxygène et de monoxyde de carbone à l'intérieur du silo. Cette précaution est indispensable, car ce type de stockage est particulièrement enclin à maintenir parallèlement des niveaux élevés de monoxyde de carbone et des niveaux faibles d'oxygène. Cela s'explique par l'absence d'échange avec l'air libre.

Références normatives

- ÖNorm 7137: Granulés de bois - exigences relatives au stockage de granulés chez le consommateur
- EN 303-5: Chaudières à combustibles solides
- EN 14961-2: Granulés de bois à usage non industriel
- ENplus - Manuel de certification des granulés de bois destinés au chauffage, Version 3.0
- VDI Norme 3464 (projet officiel 2014): Stockage des granulés de bois chez le consommateur

STOCKAGE DE GRANULÉS DE BOIS

→ de capacité inférieure à 10 T ou non hermétique



Les personnes non autorisées sont interdites d'accès – tenir les enfants à l'écart



Couper la chaudière 1 heure avant de pénétrer dans le local et l'aérer au moins 15 minutes



Il est interdit de fumer, d'approcher une source incandescente



Risque de blessure par des éléments mobiles



Arrêter la chaudière avant de faire le remplissage de pellets



Effectuer le remplissage selon les directives fournies par le fabricant de la chaudière



Protéger les granulés de toute humidité

→ dispositions complémentaires pour les stockages de capacité supérieure à 10 T ou hermétique



Danger de mort : monoxyde de carbone (inodore) et/ou manque d'oxygène. Effectuer une mesure des gaz avant accès



Entrer dans le silo seulement sous la surveillance d'une personne à l'extérieur de celui-ci

Propellet France est l'interprofession du chauffage aux granulés de bois. Sa mission est de faire connaître ce mode de chauffage et d'en développer la qualité



Instructions relatives à la sécurité

concernant les silos à granulés < 10 tonnes

- Danger sanitaire lié au monoxyde de carbone qui ne dégage pas d'odeur (CO)!
- Ventiler au moins 15 minutes en ouvrant la porte d'accès avant d'entrer - Garder la porte ouverte pendant l'intervention à l'intérieur du silo!
- Assurer une ventilation continue vers l'air libre; notamment avec des bouchons de ventilation, des ouvertures ou des ventilateurs!
- Risque de blessure par des éléments mobiles!
- Il est interdit de fumer, d'approcher une flamme nue ou d'autres sources incandescentes!
- Maintenir les portes fermées. Accès réservé aux personnes autorisées sous la supervision d'un accompagnateur posté à l'extérieur du silo!
- Couper la chaudière au moins une heure avant la livraison de granulés!
- Pendant les quatre premières semaines suivant un remplissage, ne pénétrer dans le silo qu'avec un détecteur de monoxyde de carbone portable!

Instructions relatives à la sécurité

concernant les silos > 10 tonnes et les silos enterrés

- Ne pénétrer qu'avec un détecteur de monoxyde de carbone portable!
- Accès réservé aux personnes autorisées sous la supervision d'un accompagnateur posté à l'extérieur du silo!

8. Remise de certificat pour les silos à granulés

8.1. Exploitant du système de chauffage Installateur

Nom: _____

Adresse: _____

Tél.: _____

Chauffage

Type de chaudière: _____ Puissance: _____ kW

Apport solaire: Oui Non réservoir tampon: _____ l

Silo Préfabriqué Local de stockage

Silo préfabriqué:

Fabricant/Modèle: _____ Capacité: _____ t

Matériau: _____ Perméable à l'air? Oui

Emplacement: Bâtiment Extérieur Enterré

Ventilation extérieure? Oui Ouverture sans obstacle: _____ mm²

Emplacement sec (< 80% HA)? Oui Nécessité d'une ventilation pendant le soufflage des granulés? Oui

Stockage compatible avec l'utilisation de granulés imprégnés? Oui

Silos sur mesure:

Emplacement: Cave Espace d'habitation Grenier

Matériau des murs: _____ Épaisseur des murs: _____ mm

Dimensions du local (l x L x h): _____ m x _____ m x _____ m Capacité de stockage: _____ t

Accès: _____ m x _____ m Porte Fenêtre

Ventilation du silo: Bouchon de ventilation Autre Ouverture sans obstacle: _____ cm²

Local de stockage étanche à la poussière vis-à-vis des pièces adjacentes: Oui

Tapis d'impact: Distance jusqu'au mur: _____ cm Trajectoire dégagée? Oui

Éclairage: Oui ATEX

Murs secs? Sol sec ? Oui Protection anti humidité

Conditions/accès du soufflage

Conduite de remplissage interne: Oui
conducteur mis à la terre

Matériau: _____

Longueur: ____ m Diamètre: ____ mm coudes: ____x 45° ____ x > 45°

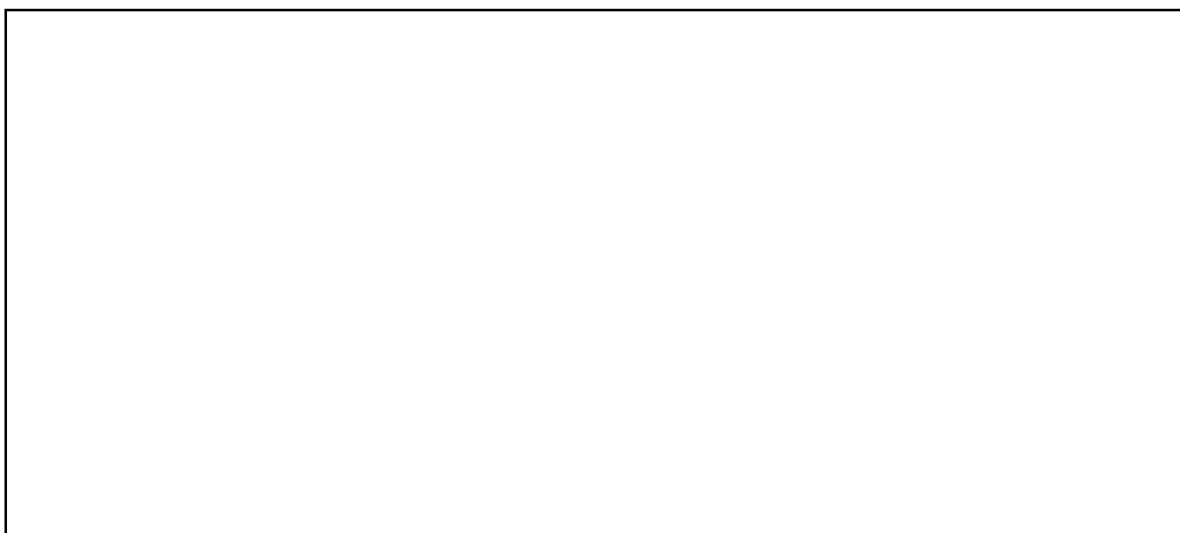
Nombre de raccords de soufflage: ____ Raccord d'aspiration? Oui
Alimentation externe? Oui

Raccords étiquetés? Oui Raccord mis à la terre? Oui

Stationnement du camion de vrac possible à proximité du silo? Oui Convient à un camion? Oui

Distance de soufflage (tuyau + conduite de remplissage): ____ m Écart de hauteurs: ____ m

Configuration du stationnement pour le camion et emplacement des raccords de soufflage:



Prélèvement des granulés: Vis sans fin Aspiration par le fond Aspiration par le haut

Instructions relatives au remplissage: Oui Où ? _____

Instructions de nettoyage: Écrites Orales

Briefing sur l'exploitation du silo/système de prélèvement? Oui

(Lieu et date) (Installateur)

(Client)



Conseil Européen des Granulés c/o AEBIOM

Place du Champ de Mars 2

1050 Bruxelles, Belgique

E-mail: gauthier@pelletcouncil.eu

Téléphone: +32 2 318 40 35

Portable: +32 491 99 22 06