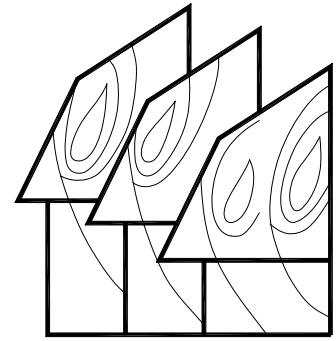


SILO COULOIR



70450

2004-07

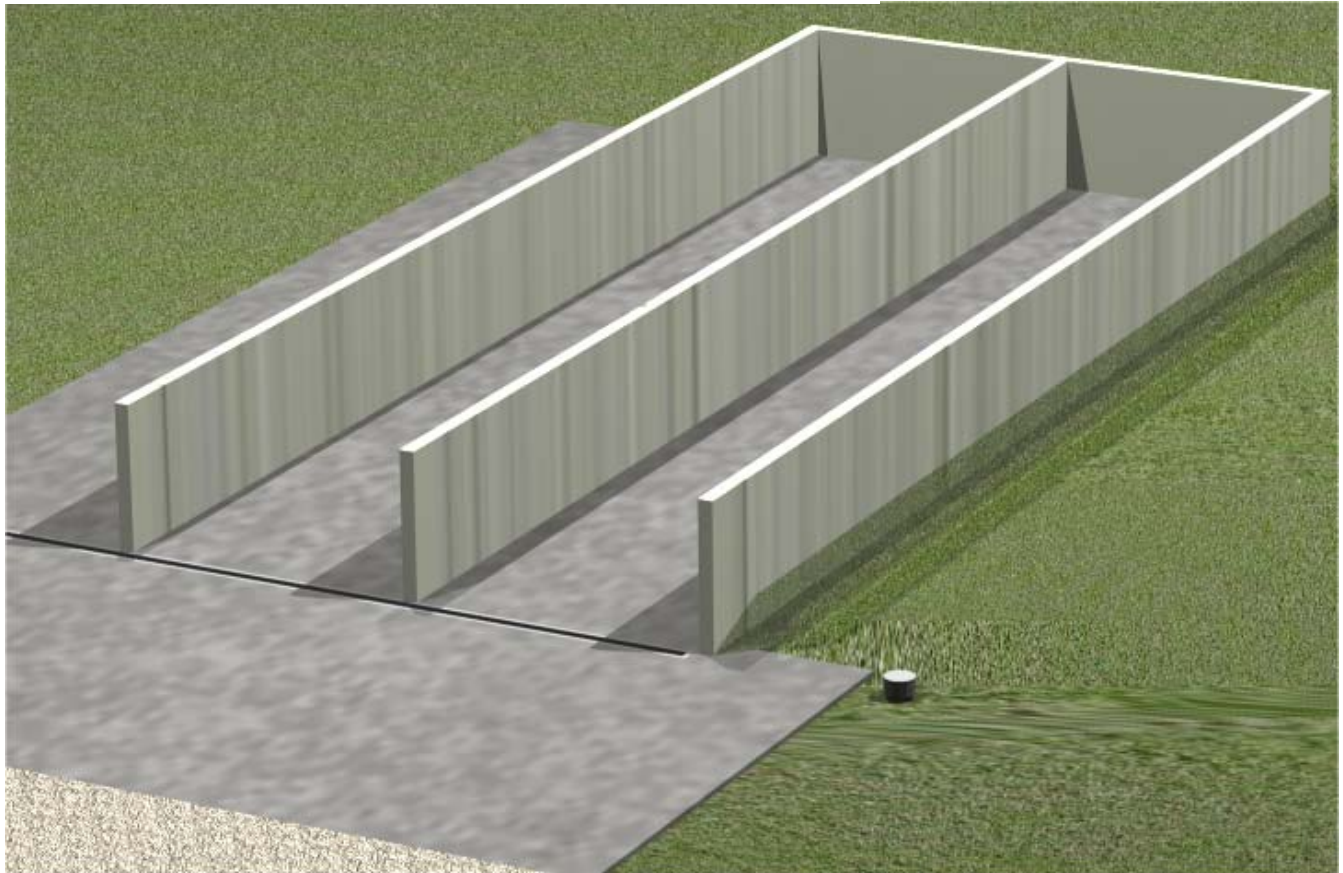
L. DUBREUIL¹, M. DUSSAULT², J. RODRIGUE³, H. BERNARD⁴

INSTRUCTIONS COMPLÈTES

Le jeu de dessins et de feuillets comprend les éléments suivants :

M-7651

Silos-meules



¹LUC DUBREUIL, ingénieur, Direction régionale de la Chaudière-Appalaches du MAPAQ

²MARCEL DUSSAULT, ingénieur et agronome, Direction régionale de l'Estrie du MAPAQ

³JEANNOT RODRIGUE, technicien agricole, Direction régionale de la Chaudière-Appalaches du MAPAQ

⁴HÉLÈNE BERNARD, ingénieure junior, Direction régionale de la Chaudière-Appalaches du MAPAQ

SILO COULOIR

Luc Dubreuil, ingénieur

Marcel Dussault, ingénieur et agronome

Hélène Bernard, ingénieure junior

Jeannot Rodrigue, technicien agricole

La Direction de l'environnement et du développement durable et les Directions régionales de la Chaudière-Appalaches et de l'Estrie du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) ont mis en commun leur expertise pour réaliser le présent feuillet technique.

INTRODUCTION

L'ensilage est un procédé de conservation des fourrages obtenu par l'exclusion rapide de l'air et l'acidification de la masse. Les fourrages peuvent être entreposés de différentes manières : dans des silos (verticaux ou horizontaux), en balles rondes ou en meules. Les silos horizontaux se différencient cependant des autres méthodes d'entreposage par la manière dont ils sont remplis, compactés et vidés. Tout se fait à l'aide de machineries agricoles.

Les fourrages ensilés sont maintenus en place soit par des murs rigides (silos couloirs et silos fosses) soit par une enveloppe de polyéthylène (silos meules).

Types de silos horizontaux

Silo couloir	Construction horizontale hors sol formée de différents types de murs rigides.
Silo fosse	Construction horizontale enfouie partiellement ou totalement dans le sol et dont les murs sont façonnés à même le sol.
Silo meule	Aménagement où une meule d'ensilage repose sur une dalle de béton et est recouverte d'une pellicule plastique étanche (voir le feuillet technique M-7651 sur le site Internet du Service de plans canada http://www.cps.gov.on.ca/french/g7000/g7651.htm).

Dans le présent document, il est question exclusivement des silos couloirs.

AVANTAGES

- Pour des troupeaux comptant plus de 100 vaches laitières ou de boucherie, les silos couloirs constituent la solution de stockage la plus économique en termes absolus.
- Ils présentent peu de risque d'intoxication par les gaz.
- Le remplissage et la reprise de l'ensilage se font rapidement.

INCONVÉNIENTS

- Les fourrages doivent être bien compactés, sinon les pertes risquent d'être importantes.
- Afin de rendre le silo étanche à l'air, il faut le couvrir d'un film de plastique que l'on aura soin de maintenir en place, généralement à l'aide de pneus ou de demi-pneus. Cela demande passablement de temps.
- L'hiver, il faut déneiger la voie d'accès et enlever la neige accumulée dans le silo.
- L'été, les prélèvements quotidiens d'ensilage doivent être au moins de 150 mm, sinon il se produit des pertes.
- Les silos couloirs, étant horizontaux, nécessitent plus d'espace que les silos verticaux.
- Pour limiter les pertes lors de la reprise, il est nécessaire de recourir à des équipements adéquats.

EMPLACEMENT

Le sol du site choisi doit être ferme, bien drainé et d'une capacité portante estimée d'au moins 106 kPa (2 200 lb/pi²) afin de pouvoir recevoir la dalle du plancher et les empattements des murs. Le silo doit être construit sur un terrain surélevé, éloigné de la maison de ferme, de la laiterie et d'autres endroits où pourraient nuire les odeurs. L'extrémité ouverte du silo sera préférablement orientée vers le sud, pour réduire le gel. Elle ne doit pas être orientée face aux vents dominants. La voie d'accès sera suffisamment grande pour faciliter le remplissage et le déchargement de l'ensilage.

CONSTRUCTION

Les facteurs qui influent directement sur la durabilité et la fonctionnalité d'un silo couloir sont : une bonne planification, des matériaux de qualité et une construction réalisée suivant les règles de l'art.

PRÉPARATION DE LA BASE :

1. Excaver la terre végétale de surface - généralement sur 200 mm d'épaisseur.
2. Drainer l'assise projetée et la protéger des eaux de surface. Les drains sont posés sous le niveau du gel.

3. Remblayer l'assise avec du gravier 0-20 mm ou du sable par couches successives de 150 mm compactées à 95 % de l'optimum proctor modifié sur une épaisseur minimale de 300 mm. Plus le sol est gélif, plus la base doit être épaisse. Le gel peut descendre jusqu'à 1,5 mètre (5 pi) sous le niveau de la dalle.
4. Il est primordial de bien préparer le fond. Cette recommandation est valable pour tous les types de plancher. Le plancher du silo doit avoir une pente descendante vers la rigole collectrice de 1 % au minimum.
5. Le sable doit être mouillé avant la mise en place du béton.

TYPES DE PLANCHERS :

Les principaux matériaux servant à fabriquer le plancher du silo couloir sont le béton, l'asphalte et le béton compacté roulé (BCR).

Béton

- Le plancher de béton armé doit avoir 125 mm d'épaisseur et plus selon les équipements (tracteur, désileuse...) utilisés pour la reprise et la distribution de l'ensilage.
- Le béton doit répondre aux caractéristiques suivantes : 30 MPa à 28 jours, agrégats 0-20 mm, teneur en air de 5-8 %. De plus, les constituants et la mise en place du béton doivent être conformes aux normes CAN/CSA-A23.1-M90 et CAN/CSA-A23.2-M90 ou les plus récentes.
- Pour le béton armé, il faut utiliser un treillis métallique de 102 x 102 mm MW25,8 (4po x 4po 4/4) ou une armature 15 M à tous les 400 mm (16 po) centre à centre dans les deux directions.
- Faire des joints de retrait dans le plancher à tous les 4,5 m (15 pi) centre à centre dans les deux sens.

Asphalte

- Le plancher d'asphalte doit être constitué de deux couches : 60 mm de EB-20 (enrobement bitumineux à granulats égaux ou inférieurs à 0-20 mm) comme couche de fond et 45 mm de EB-14 (0-14 mm) comme couche de surface.
- Il faut obligatoirement faire une bordure en béton armé de 300 mm (1 pi) d'épaisseur à l'entrée du silo (Figure 2).
- Faire attention lors de la reprise de l'ensilage durant les périodes chaudes (asphalte ramolli).

BCR

Le béton compacté roulé (BCR) est un béton spécialement préparé posé à l'aide d'une asphalteuse. Habituellement, une couche minimale de 125 à 150 mm de béton BCR est appliquée. Le BCR revient moins cher que le béton armé et fissure très peu. Par contre, il est difficile d'obtenir une surface lisse.

TYPES DE MURS :

Les murs du silo devraient idéalement être inclinés de 1 : 8, pour faciliter la compaction du matériel. Vu la difficulté de réalisation, ils sont habituellement érigés à la verticale. La semelle des murs diffèrera pour un mur mitoyen et un mur de pourtour. S'il est prévu de modifier les dimensions d'un silo, le choix du type de mur est un facteur primordial à considérer.

Murs en bois

- Construits de poteaux en bois traité, partiellement enfouis dans le sol et de madriers placés horizontalement ou verticalement ;
- Bons pour environ 15 - 20 ans ;
- Recouverts obligatoirement d'une enveloppe intérieure (manque d'étanchéité) ;
- Assez peu résistants aux bris lors de la reprise ;
- Aisés à bâtir ;
- Facilement modifiables ;
- Peu utilisés aujourd'hui.

Murs de béton à sections modulaires autoportantes préfabriquées en usine

- Modifications à volonté (grue) ;
- Recouverts obligatoirement d'une enveloppe intérieure (manque d'étanchéité) ;
- Bons pour plus de 25 ans ;
- À pans pré-inclinés ;
- Un peu délicats à aligner ;
- Très vite érigés ;
- Passablement utilisés.

Murs à panneaux modulaires en béton armé

- Bons pour plus de 25 ans ;
- Recouverts obligatoirement d'une enveloppe intérieure (manque d'étanchéité) ;
- Réalisable par le propriétaire ;

- Très utilisés par le passé, encore utilisés aujourd'hui.

Murs en béton armé coulé sur place

- Posés sur empattement (semelle élargie) ;
- Difficiles de réaliser des murs inclinés ;
- Bons pour plus de 25 ans ;
- Non modifiables ;
- Murs étanches ;
- À faire construire par un entrepreneur ;
- Très utilisés aujourd'hui.

CIRCULATION DE LA MACHINERIE

À une extrémité des silos, il est préférable de construire un accès bétonné d'environ 9 m (30 pi) de largeur pour que la machinerie puisse bien circuler. Une bordure de béton armé de 300 mm (1 pi) ceinture l'accès bétonné (Figure 1). De plus, il faut aménager un « chemin de ferme » donnant accès au silo. La construction du chemin dépend du type de sol. Le chemin est généralement composé de quatre couches (du bas vers le haut) : 1^o sol minéral débarrassé des racines et autres matières organiques, 2^o toile géotextile solide, 3^o 200 à 300 mm (8 à 12 po) de sable compacté à 95 % de l'optimum proctor modifié, 4^o 200 à 300 mm de pierre concassée de façon à créer une pente de 2 % à partir du milieu du chemin vers les côtés.

Une fois la largeur du silo et la hauteur des murs déterminées, il est bon de prévoir une longueur supplémentaire de 10 % à 15 % pour les surplus ou les forts rendements à la récolte. Pour assurer la reprise d'une bonne tranche d'ensilage en été (plus de 150 mm), un mur amovible d'une longueur prédéterminée peut être installé avant le début du chantier d'ensilage. Sa position est déterminée selon les besoins de reprise estivale.

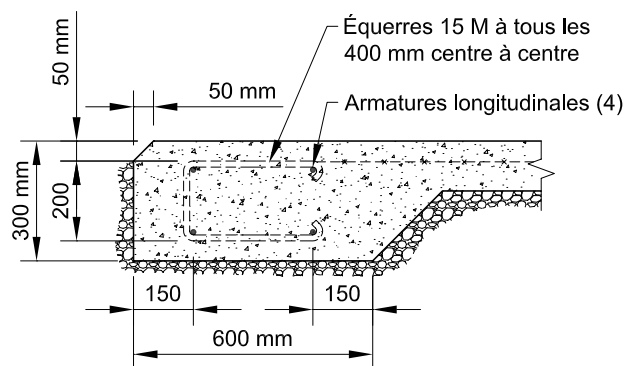


Figure 1. Exemple d'une bordure de béton armé

SEMELLES ET MURS DE BÉTON

PRESSION DE CALCUL :

Les murs et les semelles de béton doivent résister aux pressions de l'ensilage et du compactage indiquées dans le *Code canadien de construction des bâtiments agricoles* (article 2.2.1.12) et dans l'article *Design recommendations for structural loads on horizontal silo walls* (J.C. Jofriet, Q. Zhao et S.C. Nedi, Canadian Agricultural Engineering, Vol. 34, No.1, 1992). Les pressions exercées sur les murs sont calculées pour une charge maximale par roue de tracteur de 3 500 kg (7 700 lb) ou une charge totale de quatre roues de 10 000 kg (22 000 lb). Les semelles et les murs forment un tout qui résiste aux charges. La semelle se prolonge suffisamment sous l'ensilage pour que le poids de celui-ci exerce une poussée verticale qui empêche les murs de basculer vers l'extérieur. Ce type de construction simple utilise le principe classique des murs de soutènement. Les poussées de renversement que l'ensilage exerce sur les murs déplacent la résultante verticale des forces vers le côté extérieur de la semelle. L'ensemble murs-semelles est proportionné de façon à exercer une pression maximale sur le sol de 106 kPa (2 200 lb/pi²). Il ne faut pas construire ce genre de structure si le sol n'a pas une capacité portante suffisante.

Les semelles comportent une armature en acier pour résister aux moments de flexion aux points de jonction avec les murs. Des barres d'armature repliées en « L » sont fixées à l'aide de fils métalliques dans les coffrages des semelles, de façon à se prolonger dans les murs une fois le béton coulé. Les barres d'armature verticales et horizontales des murs sont ensuite fixées avec des fils métalliques pendant que les coffrages sont montés. Les murs ont une épaisseur uniforme. Les coffrages sont alors plus simples à construire, et les forces exercées sur le mur sont moindres.

Le tableau 1 montre, selon la hauteur et l'épaisseur des murs, l'espacement des barres d'armature nécessaire pour résister aux forces induites par l'ensilage et le tracteur. La résistance à la compression du béton est de 30 MPa et l'armature est constituée de barres 15 M dans les deux directions. Les calculs sont faits selon la norme CSA A23.3, soit en appliquant des coefficients de résistance de 0,85 pour l'acier d'armature et de 0,60 pour le béton. Les barres d'armature horizontales sont espacées de 500 mm (*Concrete Design Handbook* 7.8.1 et 7.8.3). Les calculs de résistance sont faits selon l'article 2.2.3 du C.D.H. 1998.

Tableau 1. Épaisseur des murs et espacement entre les barres d'armature selon la hauteur du silo

H (m)	Épaisseur des murs (mm)	Espacement vertical des barres d'armature ⁽¹⁾ dans les murs (mm)	Espacement vertical des barres d'armature dans le mur de pourtour, face extérieure (mm)
2,4	250	350	500
3,0	300	300	
3,6	300	200	
4,2	300 ou 350	150 ou 200	
4,8	350	150	

1. Dans le cas du mur de pourtour, l'espacement ne concerne que le rang d'armature de la face intérieure du silo couloir.

2. Une barre d'armature sur deux arrête à mi-hauteur du mur.

Pour un mur de 4,2 m de hauteur, deux choix sont possibles : faire des murs de 300 mm d'épaisseur et placer les barres d'armature verticales à tous les 150 mm *ou* construire des murs de 350 mm d'épaisseur et espacer les barres d'armature verticales à tous les 200 mm.

Il faut faire des joints de fractionnement dans les murs à tous les 12 m (40 pi) centre à centre (Figure 2) et débiter le premier joint à 6 m (20 pi) du mur d'extrémité.

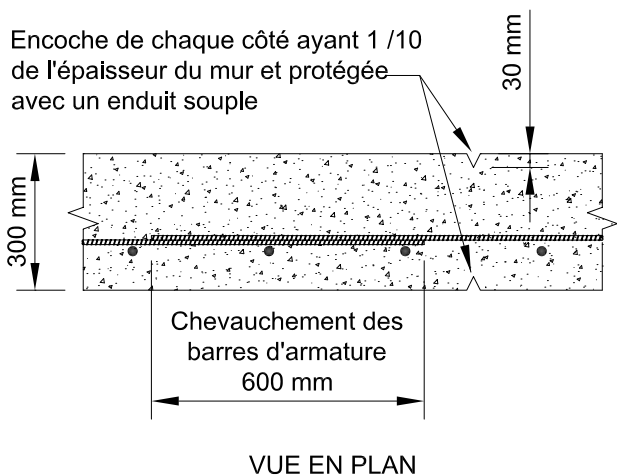


Figure 2. Exemple de joints de fractionnement dans un mur

ÉVACUATION DES LIQUIDES DE L'ENSILAGE

La dalle du silo doit avoir une pente suffisante pour assurer l'écoulement du lixiviat « jus d'ensilage » vers la rigole collectrice transversale située à l'entrée

du silo. La rigole dirige les liquides par gravité vers un ouvrage de stockage de fumier ou un puits de récupération. Elle est recouverte d'un grillage supportant le passage de la machinerie. Le puits de récupération doit être muni d'un couvercle étanche, solide et cadenassé. Le lixiviat doit être pompé vers une préfosse ou un ouvrage de stockage.

MÉTHODE DE REMPLISSAGE

Remplir le silo aussi rapidement que possible. Entasser les fourrages par couches successives de 150 à 300 mm (6 à 12 po) d'épaisseur avec le tracteur ou un autre équipement approprié pour éliminer l'air et réduire la détérioration. À la fin de chaque jour de remplissage, couvrir l'ensilage d'un film de polyéthylène 150 µm (6 mil) pour réduire l'introduction d'oxygène et, par le fait même, les pertes d'ensilage.

Les figures 3 et 4 montrent que, à l'entrée du silo, les pneus sont disposés côte à côte sur une toile de polyéthylène et que ailleurs, les pneus couvrent environ la moitié de la surface.



Figure 3. Disposition des pneus sur la toile de polyéthylène à l'entrée du silo



Figure 4. Disposition des pneus sur la toile de polyéthylène à l'entrée du silo et ailleurs

COMPACTAGE

Le but du compactage est de réduire initialement la quantité d'oxygène dans la masse d'ensilage et ultérieurement l'infiltration d'air. Plus la densité de l'ensilage est haute, moins il y a de perte et meilleure

est la stabilité aérobie du fourrage. Le tableau 2 présente, ci-après, le taux de perte de matière sèche (M.S.) en fonction de la densité de l'ensilage.

Tableau 2. Perte de matière sèche (M.S.) selon la densité de l'ensilage (Ruppel, 1992)

Densité (kg M.S./m ³)	Perte de M.S. après 180 jours de stockage (%)
160	20,2
225	16,8
240	15,9
255	15,1
290	13,4
350	10,0

La densité minimale préconisée est de 235 kg M.S./m³ (14,8 lb/pi³). Avec un tracteur plus lourd et plus de temps de compactage, une densité de 270 kg M.S./m³ (16,8 lb/pi³) peut être atteinte. À ce propos, le tableau 3 montre les effets du poids du tracteur et du temps de compactage sur la densité de l'ensilage.

Tableau 3. Effets du poids du tracteur et du temps de compactage sur la densité de l'ensilage

Poids du tracteur (kg)	Temps de compactage selon la densité voulue (heure/jour/100 m ² de surface de silo couloir)		
	Densité (kg M.S./m ³)		
	235	250	270
2 700	2,2	2,9	3,6
5 900	1,0	1,3	1,7
11 800	0,5	0,7	0,8
14 500	0,4	0,5	0,7

La formule empirique de calcul du temps de compactage nécessaire est la suivante :

Temps de compactage (heures) =

$$800 \times \frac{\text{Matière sèche entreposée (tonnes métriques)}}{\text{Poids du tracteur (kg)}}$$

REPRISE DE L'ENSILAGE

La reprise d'ensilage peut se faire à l'aide de déchargeurs mécaniques spécialement conçus pour les silos horizontaux. Ils permettent d'enlever l'ensilage sans difficulté, de bien l'émietter et le mélanger.

Un tracteur muni d'un chargeur frontal permet certes plus d'opérations mais exige de garder une façade d'ensilage lisse pour ne pas que l'air s'infiltre.

ÉCOULEMENT

Pour diminuer les pertes par infiltration et réduire au maximum les risques de gel, il faut récolter l'ensilage à moins de 70 % d'humidité en le laissant flétrir au champ après la coupe.

CAPACITÉ (TAILLE) DU SILO

Pour déterminer la taille du silo, il faut avoir à l'esprit les éléments suivants :

1. Prévoir que la fermentation et la manutention causent des pertes d'ensilage de 15 % dans les silos horizontaux.
2. Pour empêcher l'ensilage de s'altérer, il faut construire le silo d'une largeur suffisante pour pouvoir prélever au moins 100 mm (4 po) d'ensilage par jour en hiver et 150 à 200 mm (6 à 8 po) en été.
3. Pour assurer la reprise d'une bonne tranche d'ensilage en été (plus de 150 mm), un mur amovible d'une longueur prédéterminée peut être installé avant le début du chantier d'ensilage. Sa position est déterminée selon les besoins de reprise estivale.
4. Pour des raisons pratiques, il vaut mieux construire deux silos juxtaposés ou plus, avec des murs et des appuis mitoyens que de construire un silo de plus de 45 m (150 pi).
5. Prévoir une longueur supplémentaire de 10 % à 15 % pour des surplus ou les forts rendement à la récolte.
6. Un silo qui mesure moins de 6 m (20 pi) de largeur et plus de 3,6 m (12 pi) de hauteur ne se prête pas à l'enlèvement de l'ensilage au moyen d'un chargeur frontal, il faut utiliser un déchargeur mécanique.
7. Il est nécessaire de calculer la capacité de stockage du silo d'après la densité de matière sèche déposée, soit 235 kg/m³ (14,8 lb/pi³) pour de l'ensilage tassé au moyen d'un tracteur. Pour convertir en « densité humide », multiplier les densités de matière sèche par les facteurs présentés au tableau 4 ou appliquer la formule mentionnée plus loin.

8. Une dalle dont le plancher est la continuité de celui du silo, peut être construite comme espace utilitaire pour permettre d'entreposer l'ensilage en surplus ou d'autres produits. La dalle peut aussi servir à un éventuel agrandissement du silo. Dans ce cas, le mur de pourtour du côté de la dalle doit être construit comme le mur mitoyen.

Tableau 4. Facteurs de multiplication pour la densité humide en fonction de la teneur en eau de l'ensilage

Teneur en eau de l'ensilage (%)	Facteur de multiplication pour la densité humide
60	2,50
65	2,86
70	3,33

Connaissant la teneur en eau (humidité) de l'ensilage et la quantité de matière sèche à servir aux animaux, la quantité de matière humide à servir peut être calculée selon la formule suivante :

Quantité de matière humide (kg) =

$$100 \times \frac{\text{Quantité de matière sèche (kg)}}{100 - \text{Teneur en eau (\%)}}$$

HAUTEUR DES SILOS COULOIRS

La hauteur minimale préconisée est 1,8 m (6 pi), car il est difficile de réaliser une densité de 235 kg M.S./m³ en deçà de cette hauteur. La hauteur maximale est limitée par le coût et la portée verticale maximale de l'équipement de reprise. La plupart des silos couloirs ont des hauteurs variant de 2,4 à 4,8 m (8 à 16 pi).

LARGEUR

La largeur minimale correspond à deux fois la largeur du tracteur qui compacte, et varie donc de 4,8 à 6 m (16 à 20 pi).

RAPPORT LARGEUR/HAUTEUR

Le rapport largeur-hauteur (l/H) fournit une mesure relative du rapport entre l'aire de surface et le volume de fourrage dans le silo-couloir. Si l'aire de surface supérieure de l'ensilage est importante relativement au volume total, l'ensilage est exposé à une plus grande quantité d'oxygène et d'humidité durant les périodes de remplissage et de stockage. Des rapports l/H de 5 et moins sont à conseiller dans la

majorité des cas. Les rapports l/H trop faibles se traduisent par des coûts de silo plus élevés en raison du prix plus considérable des murs de côté.

CAPACITÉ DU SILO COULOIR

La quantité d'ensilage servi chaque jour détermine la largeur du silo. La longueur du silo est déterminée par la durée d'utilisation de l'ensilage et par la rapidité de remplissage. La longueur de silo doit permettre le remplissage en moins de 9 jours selon un estimé réaliste de la vitesse de remplissage (tonne de matière humide/jour). Le tableau 5 montre la capacité en tonnes de matière sèche tassée à 235 kg/m³ des silos couloirs pour différentes dimensions de silos. Les capacités d'entreposage des silos sont calculées en tonnes métriques selon la formule suivante :

$$C = 0,235 \times l \times L_e \times H$$

l = largeur du silo (m)
L = longueur du silo (m)
H = hauteur moyenne de l'ensilage (m)
L_e = L - H
0,235 = densité de l'ensilage (tonnes métriques)

Cette formule correspond à un volume d'ensilage tel que montré à la figure 5.

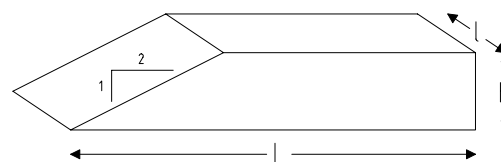


Figure 5. Schéma du volume d'ensilage dans un silo couloir

Tableau 5. Capacité de stockage en fonction des dimensions du silo

Largeur du silo m (pi)	Hauteur des murs m (pi)	Capacité de stockage, tonnes métriques de matière sèche				
		Longueur du silo m (pi)				Par 3 m (10 pi) de longueur de silo
		18 (60)	27 (90)	37 (120)	46 (150)	
6 (20)	2,4 (8)	55	86	118	149	10
	3,0 (10)	66	105	144	184	55
	3,6 (12)	76	123	170	217	66
	4,2 (14)	85	140	195	250	77
	4,8 (16)	93	156	219	282	88
9 (30)	2,4 (8)	82	129	176	224	66
	3,0 (10)	99	158	217	276	82
	3,6 (12)	114	184	255	326	99
	4,2 (14)	127	210	292	375	115
	4,8 (16)	139	234	328	422	132
14 (45)	2,4 (8)	123	194	265	335	99
	3,0 (10)	148	236	325	413	123
	3,6 (12)	171	277	383	489	148
	4,2 (14)	191	315	439	562	173
	4,8 (16)	209	350	492	633	198
17 (55)	2,4 (8)	150	237	323	410	121
	3,0 (10)	181	289	397	505	151
	3,6 (12)	208	338	468	598	181
	4,2 (14)	233	385	536	687	211
	4,8 (16)	255	428	601	774	241
23 (75)	2,4 (8)	205	323	441	559	165
	3,0 (10)	247	394	541	689	206
	3,6 (12)	284	461	638	815	247
	4,2 (14)	318	524	731	937	288
	4,8 (16)	348	584	820	1056	329

EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT ET DE TEMPS DE COMPACTAGE

Un producteur désire ensiler du foin et du maïs pour alimenter un troupeau de 100 vaches et les animaux de remplacement. La quantité journalière de fourrage à servir est estimée à 11 kg (24 lb) de matière sèche répartie comme suit: 50 % d'ensilage de maïs, 40 % d'ensilage d'herbe et 10 % de foin sec. Les taures (80) seront aussi alimentées à la RTM. La consommation moyenne quotidienne de fourrage des taures est de 5,5 kg (12 lb) de matière sèche.

1. Déterminer la consommation moyenne quotidienne

Les besoins en matière sèche de fourrage sont :

$$100 \text{ vaches} \times 11 \text{ kg M.S. / j} = 1100 \text{ kg M.S. / j}$$

$$80 \text{ taures} \times 5,5 \text{ kg M.S. / j} = 440 \text{ kg M.S. / j}$$

$$\text{Total} = 1100 + 440 = 1540 \text{ kg de M.S. / j}$$

Les besoins d'ensilage de maïs sont :

$$0,5 \times 1540 = 770 \text{ kg M.S. / j}$$

Supposons que l'ensilage de maïs a une teneur en eau de 65 % :

Quantité de matière humide (kg) =

$$770 \times 2,86 = \text{environ } 2\,200 \text{ kg / j}$$

Les besoins d'ensilage d'herbe sont :

$$0,4 \times 1540 = 616 \text{ kg M.S. / j}$$

Supposons que l'ensilage d'herbe a une teneur en eau de 60 % :

Quantité de matière humide (kg) =

$$616 \times 2,5 = 1540 \text{ kg / j}$$

Supposons que la manutention et la fermentation vont causer des pertes de 15 %. Ainsi, il faut prévoir :

$$2530 \text{ kg d'ensilage de maïs / j } (2\,200 \times 1,15) \text{ et}$$

$$1771 \text{ kg d'ensilage d'herbe / j } (1\,540 \times 1,15)$$

2. Déterminer les dimensions du silo

Les ensilages d'herbe et de maïs seront stockés chacun dans des sections distinctes. Les dimensions du silo couloir sont choisies pour que le prélèvement quotidien soit de 200 mm (8 po).

Supposons que l'ensilage de maïs a une densité de 235 kg M.S./m³ et que l'ensilage d'herbe a une densité de 245 kg M.S./m³. Si l'on tient compte de la teneur en eau, la densité de l'ensilage de maïs est de 671 kg/m³ (235 kg M.S./m³ ÷ 0,35), et celle de l'ensilage d'herbe de 612 kg/m³ (245 kg M.S./m³ ÷ 0,40).

Pour des raisons d'ordre économique, faisons d'abord le calcul avec des murs de 2,4 m (8 pi) de hauteur.

Largeur de la section contenant l'ensilage de maïs :

$$\text{Volume quotidien} = \frac{2530 \text{ kg / j}}{671 \text{ kg / m}^3} = 3,8 \text{ m}^3$$

D'où,

$$\text{Largeur} = \frac{3,8 \text{ m}^3}{(2,4 \text{ m} \times 0,2 \text{ m})} = 7,9 \text{ m (26 pi)}$$

Largeur de la section contenant l'ensilage d'herbe :

$$\text{Volume quotidien} = \frac{1771 \text{ kg / j}}{612 \text{ kg / m}^3} = 2,9 \text{ m}^3$$

D'où,

$$\text{Largeur} = \frac{2,9 \text{ m}^3}{(2,4 \text{ m} \times 0,2 \text{ m})} = 6,0 \text{ m (20 pi)}$$

Avec des murs de 2,4 m (8 pi), le rapport largeur/hauteur pour la section d'ensilage de maïs = 7,9 m / 2,4 m = 3,3

La hauteur du mur (2,4 m) est adéquate parce que le rapport largeur-hauteur est plus petit que 5. De plus, la reprise pourra se faire avec un tracteur.

Pour déterminer la longueur du silo, admettons que le stockage se fera sur une période de 365 jours, et prévoyons 15 % plus de longueur pour les forts rendements à la récolte.

$$0,2 \times 365 \times 1,15 = 84 \text{ m (270 pi)}$$

Étant donné la longueur nécessaire, le silo sera divisé en quatre parties :

- deux sections de 2,4 m de hauteur x 7,9 m de largeur x 42 m de longueur pour l'ensilage de maïs (8 pi x 26 pi x 135 pi)
- deux sections de 2,4 m de hauteur x 6,0 m de largeur x 42 m de longueur pour l'ensilage d'herbe (8 pi x 20 pi x 135 pi)

3. Déterminer le temps de compactage

Supposons que le compactage de l'ensilage se fera à l'aide d'un tracteur de 7030 kg (15500 lb). Pour obtenir la bonne densité, il faut compacter l'ensilage suffisamment longtemps.

Temps de compactage de l'ensilage de maïs =

$$800 \times \frac{0,885 \text{ tonne M.S. / j} \times 365 \text{ j}}{7030 \text{ kg}} = 37 \text{ heures}$$

Temps de compactage de l'ensilage d'herbe =

$$800 \times \frac{0,710 \text{ tonne M.S. / j} \times 365 \text{ j}}{7030 \text{ kg}} = 29,5 \text{ heures}$$

Les temps de compactage trouvés sont des temps totaux pour tout le chantier d'ensilage.

Supposons que la boîte d'ensilage mesure 5,5 m x 2,4 m x 2,1 m (18 pi x 8 pi x 7 pi) - elle contient alors un volume d'ensilage de 28,6 m³ (1008 pi³ x 0,028 m³/pi³). Supposons aussi que la densité de l'ensilage dans la boîte est de 72 kg de M.S./m³ (4,5 lb de M.S./pi³) - ce qui correspond à 205 kg d'ensilage de maïs/m³ et 180 kg d'ensilage d'herbe/m³.

À partir de ces données, on peut calculer le nombre de courses « voyages » pour remplir le silo et le temps de compactage requis pour chaque course.

Maïs :

Quantité d'ensilage par course =

$$205 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 28,6 \text{ m}^3 / \text{course} = 5863 \text{ kg} / \text{course}$$

Nombre de courses =

$$\frac{2530 \text{ kg} / \text{j} \times 365 \text{ j}}{5863 \text{ kg} / \text{course}} = 158 \text{ courses}$$

Temps de compactage par course =

$$37 \text{ heures} / 158 \text{ courses} = 0,23 \text{ heures} / \text{course} = 14 \text{ minutes} / \text{course}$$

Herbe :

Quantité d'ensilage par course =

$$180 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 28,6 \text{ m}^3 / \text{course} = 5148 \text{ kg} / \text{course}$$

Nombre de courses =

$$\frac{1771 \text{ kg} / \text{j} \times 365 \text{ j}}{5148 \text{ kg} / \text{course}} = 126 \text{ courses}$$

Temps de compactage par course =

$$29,5 \text{ heures} / 126 \text{ courses} = 0,23 \text{ heures} / \text{course} = 14 \text{ minutes} / \text{course}$$

LÉGENDE :

- 1-

Silo couloir
- 2-

Accès bétonné
- 3-

Dalle d'utilité
- 4-

Mur de pourtour
- 5-

Mur mitoyen
- 6-

Semelle sous les murs de pourtour
- 7-

Semelle sous le mur mitoyen
- 8-

Rigole collectrice transversale ayant une pente de 1 % à 2 % vers le puits de récupération du lixiviat
- 9-

Puits étanche de récupération du lixiviat ; baril de polyéthylène 113 à 170 litres (30 à 45 gallons)
- 10-

Composantes du plancher, de l'accès bétonné et de la dalle d'utilité :
- Dalle de béton 125 mm d'épaisseur
- Treillis métallique
- Sable ou gravier
- Sol original
- 11-

Armatures transversales, espacement selon l'armature verticale (voir tableau 6 à la page 14)
- 12-

Armatures longitudinales à tous les 500 mm centre à centre
- 13-

Armatures longitudinales à l'arête des tiges d'ancrage
- 14-

Tige d'ancrage en L ayant 600 mm de longueur dans la semelle et 900 mm dans le mur, repliée alternativement dans la semelle, espacement selon l'armature verticale (voir tableau 6 à la page 14)
- 14a-

Les tiges d'ancrage sont attachées aux barres transversales de la semelle (11). Les barres d'armature verticales (15) sont attachées aux tiges d'ancrage.
- 14b-

Les tiges d'ancrage sont attachées aux barres longitudinales de la semelle (12). Les barres d'armature verticales (17) sont attachées aux tiges d'ancrage
- 15-

Armatures verticales, espacement selon le tableau 6 de la page 14. Une barre d'armature sur deux arrête à mi-hauteur du mur
- 16-

Armatures horizontales à tous les 500 mm centre à centre
- 17-

Armatures verticales à mi-hauteur sur le côté extérieur du mur de pourtour, espacées à tous les 500 mm centre à centre
- 18-

Étanchéité contre les infiltrations et protection de l'armature : lame de PVC 100 mm de hauteur
- 19-

Drain agricole 100 mm de diamètre, enrobé d'un géotextile
- 20-

Pierre concassée 19 mm
- 21-

Géotextile à fine porosité déposé sur la pierre concassée
- 22-

Sous le niveau du gel, minimum 1200 mm
- 23-

Remblai de sable ou de gravier à haute perméabilité
- 24-

Tuyau de type DR 35, 100 mm de diamètre avec pente vers le puits de récupération du lixiviat. Grillage à l'entrée
- 25-

Encoche pour recevoir le grillage. Dimensions de l'encoche selon le grillage retenu
- 26-

Grillage recouvrant la rigole collectrice transversale et résistant aux acides et aux passages de la machinerie
- 27-

Armature 10 M à tous les 400 mm centre à centre
- 28-

Lit granulaire
- 29-

Pompe submersible résistant aux acides et dirigeant le lixiviat vers une structure d'entreposage
- 30-

Couvercle cadenassé
- 31-

Armatures longitudinales (4)
- 32-

Équerres 15 M à tous les 400 mm centre à centre
- 33-

Joint de fractionnement dans le plancher à tous les 4500 mm centre à centre dans les deux sens
- 34-

Encoche, de chaque côté, ayant 1/10 de l'épaisseur du mur et obturée avec un produit d'étanchéité de type DUOFLEX ou l'équivalent
- 35-

Mur amovible (optionnel) d'une longueur prédéterminée érigé avant le début du chantier d'ensilage
- 36-

Composantes du chemin de ferme :
- Pierre concassée compactée, 200 à 300 mm d'épaisseur
- Sable compacté, 200 à 300 mm d'épaisseur
- Toile géotextile
- Sol original

Spécifications :

- Ce document est un feuillet type d'un ouvrage agricole. Son utilisation exige une adaptation aux conditions particulières. Si tel était le cas, l'approbation d'un ingénieur est requise.
- À moins d'indication contraire, toutes les dimensions sont exprimées en millimètre.
- Les mesures métriques utilisées sur ce feuillet correspondent au facteur de conversion 0,3 m = 1'-0".
- Les coffrages doivent être propres
- La hauteur de chute du béton doit être limitée à 1500 mm
- Le béton doit être vibré
- Les coffrages doivent rester en place durant 24 heures
- Le béton doit être gardé humide durant 5 jours

Le présent feuillet donne les détails concernant la construction d'un silo couloir en béton, à parois verticales, conçu pour le tassement à l'aide d'un tracteur. Le silo peut être construit de diverses longueurs et largeurs multiples de 0,6 m (2 pi) et avec des murs de 2,4 - 3,0 - 3,6 - 4,2, et 4,8 m de hauteur (8, 10, 12, 14 et 16 pi). Les empattements et les murs supporteront les pressions (dues à l'ensilage et au tassement) publiées dans le *Code canadien de construction des bâtiments agricoles*. La pression due au tassement est calculée d'après la pression exercée par la roue d'un tracteur, soit 3500 kg (7700 lb) ou la charge totale des quatre roues, soit 10 000 kg (22 000 lb).

Technique de construction – Matériaux (points particuliers) :

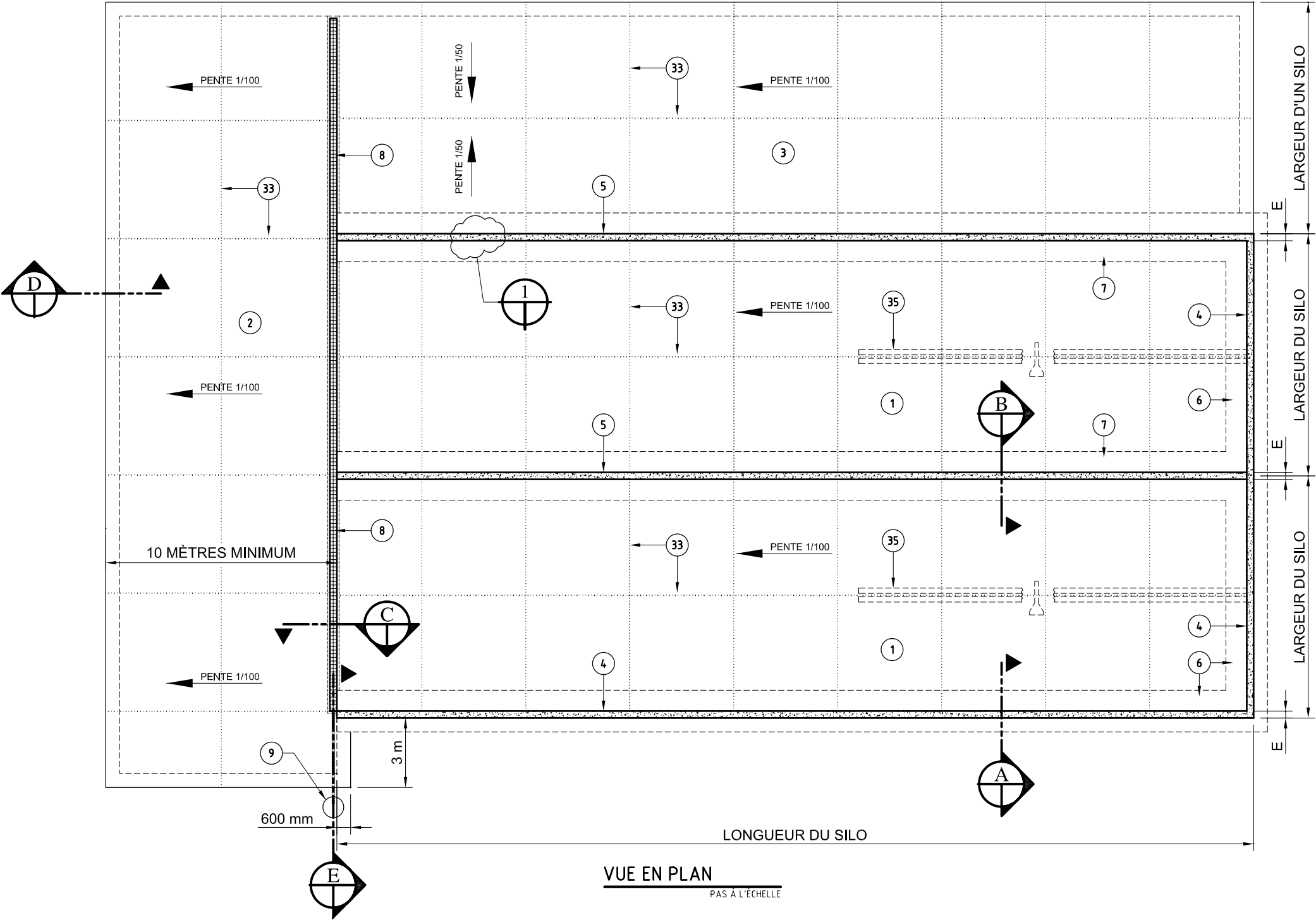
- Le lit granulaire sous la dalle est d'une épaisseur minimale de 300 mm constitué de gravier 0-20 mm de diamètre, compacté par couches successives de 100-150 mm d'épaisseur à 95 % du proctor modifié
- Lors du remblayage, la température des matériaux doit être supérieure à 5 °C

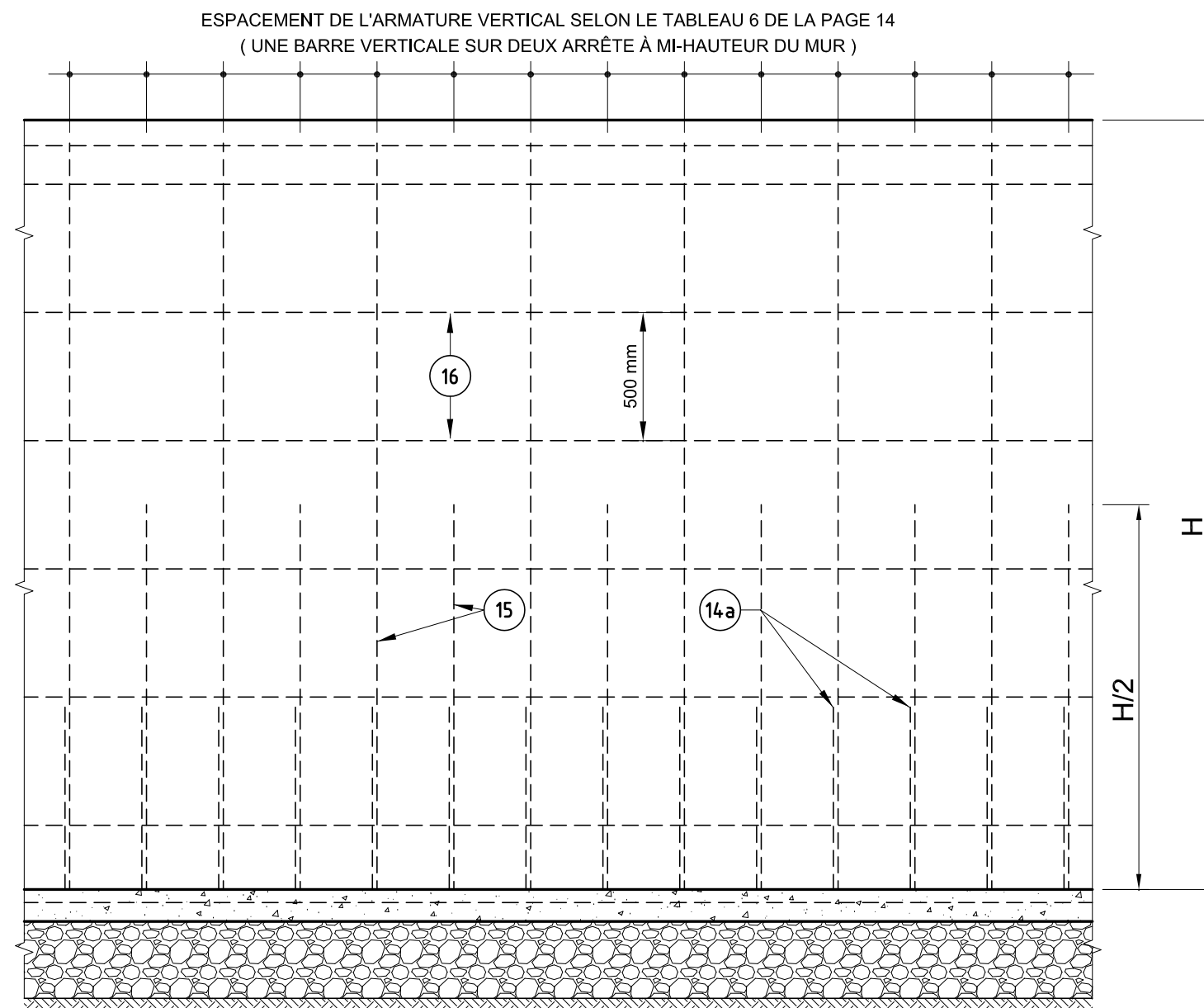
Armatures :

- Sauf indication contraire, tout l'acier d'armature est en acier crénelé 15 M
- Limite d'élasticité de 400 MPa
- Chevaucher l'armature de 600 mm à joints perdus, et le treillis métallique de 150 mm.
- Treillis métallique 102 x 102 mm x MW25,8 x MW25,8
- Le treillis est supporté par des chaises en métal ou en béton
- L'acier doit être exempt de toutes saletés
- Les barres d'armature doivent être attachées fermement à l'aide de broches de fixation

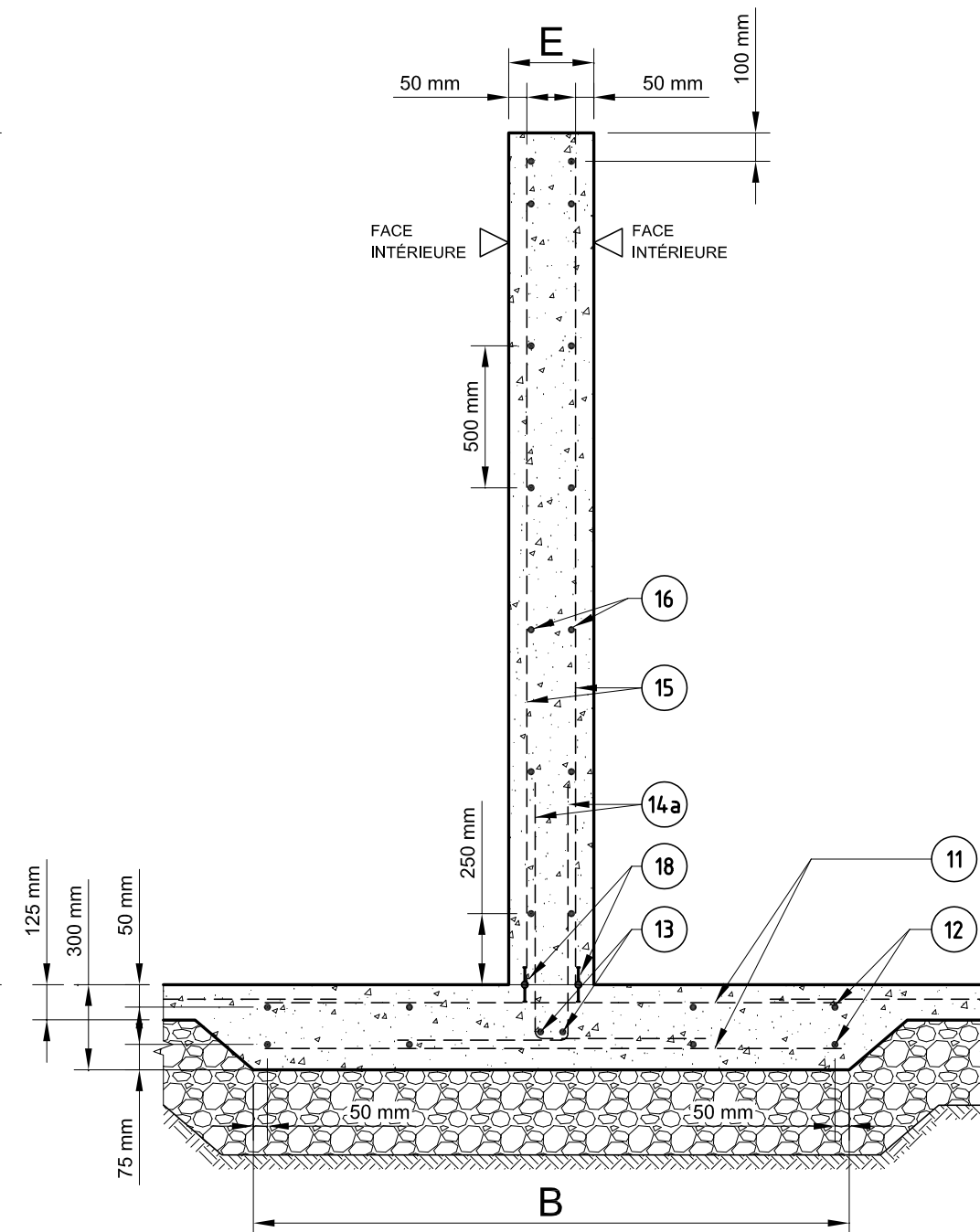
Béton :

- Le béton doit répondre aux caractéristiques suivantes : 30 MPa à 28 jours, agrégats 0-20 mm, teneur en air de 5 % à 8 %. Les constituants et la mise en place du béton doivent être conformes aux normes CAN/CSA A23.1-M90 et CAN/CSA A23.2-M90 ou les plus récentes.

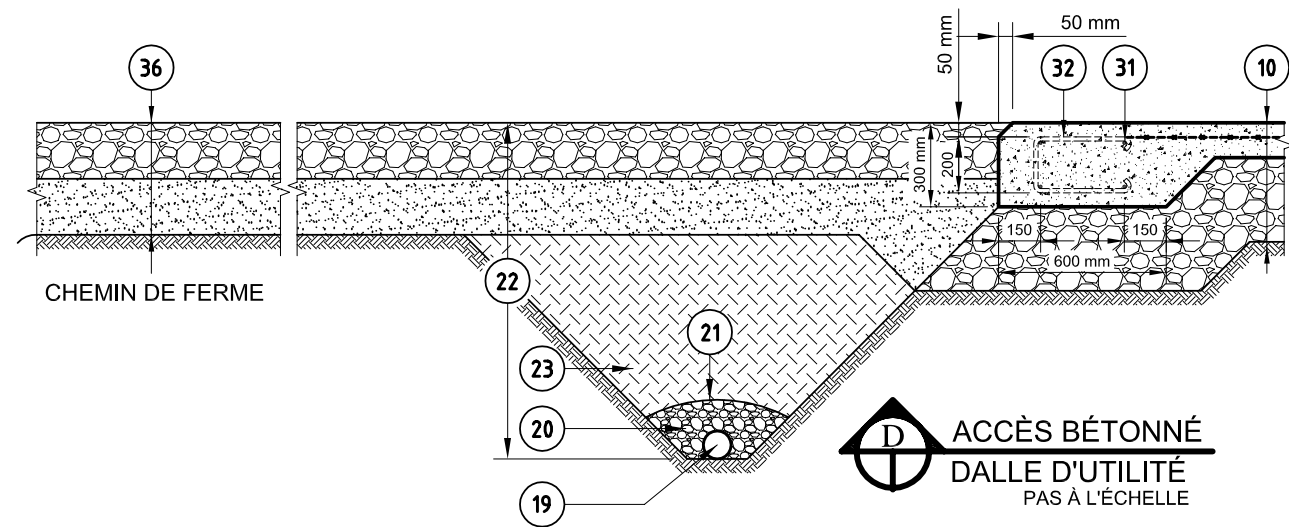




VUE DE FACE DU MUR MITOYEN



COUPE TYPE
MUR MITOYEN
PAS À L'ÉCHELLE



MUR ET SEMELLE						
H (m)	A (mm)	B (mm)	E (mm)	Espacement des barres d'armature dans le mur (face intérieure) et dans la semelle (mm)	Espacement des barres d'armature vertical dans le mur de pourtour (face extérieure) (mm)	Espacement des barres d'armature horizontal dans les murs et dans la semelle (mm)
				11 14 a 15 ⁽¹⁾	14 b 17	12 16
2,4	1800	2100	250	350	500	500
3,0	1800	2100	300	300		
3,6	2100	2400	300	200		
4,2	2100	2400	300	150		
4,8	2100	2400	350	200		
				150		

(1) Une barre d'armature sur deux arrête à mi-hauteur du mur

Tableau 6. Espacement des barres d'armature dans le mur et la semelle

