

Frédéric Daigneault - 111 160 645  
Nicolas Bourget-Boulanger - 111 144 312  
Carl-Éric Guérard - 111 128 975

Projet d'ingénierie 2  
GAE-3009  
NRC : 15 114

Rapport final — Aménagement d'un engraissement porcin

Remis à :

Monsieur Serge-Étienne Parent

Supervisé par Monsieur Sébastien Fournel

Université Laval  
Département des sols et de génie agroalimentaire  
Remis le 26 avril 2019

# Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVUE DE LITTÉRATURE</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR</b>	<b>3</b>
2.1.1	AMÉNAGEMENT CONVENTIONNEL	3
2.1.2	SYSTÈME DE CAFÉTÉRIA	4
2.1.3	SYSTÈME AVEC FONDS DE PARCS OUVERTS	5
<b>2.2</b>	<b>SYSTÈME DE PRODUCTION</b>	<b>6</b>
<b>2.3</b>	<b>CONTRÔLE DE L'AMBIANCE</b>	<b>10</b>
2.3.1	VENTILATION	11
2.3.2	CHAUFFAGE	13
2.3.3	ÉCLAIRAGE	13
<b>2.4</b>	<b>SYSTÈME D'ALIMENTATION ET MANUTENTION DES ALIMENTS</b>	<b>14</b>
<b>2.5</b>	<b>MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION</b>	<b>18</b>
<b>2.6</b>	<b>MANUTENTION DES FUMIERS</b>	<b>19</b>
<b>2.7</b>	<b>ARMATURE D'UN RÉSERVOIR CIRCULAIRE</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>DEVIS D'INGÉNIERIE</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>DIMENSIONNEMENT ET AMÉNAGEMENT DU BÂTIMENT</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>CONTRÔLE DE L'AMBIANCE</b>	<b>26</b>
3.2.1	VENTILATION	26
3.2.2	ÉQUATIONS	26
3.2.3	SYSTÈME DE CHAUFFAGE	30
3.2.4	ÉCLAIRAGE	33
<b>3.3</b>	<b>SYSTÈME D'ALIMENTATION ET MANUTENTION DES ALIMENTS</b>	<b>34</b>
<b>3.4</b>	<b>MANUTENTION ET ENTREPOSAGE DES DÉJECTIONS ANIMALES</b>	<b>37</b>
3.4.1	FOSSE À LISIER	37
3.4.2	PLANCHER	40
3.4.3	NETTOYAGE ET ÉVACUATION	40
<b>3.5</b>	<b>ARMATURE</b>	<b>41</b>
<b>3.6</b>	<b>MATÉRIAUX</b>	<b>43</b>
<b>3.7</b>	<b>PLANS</b>	<b>46</b>
3.7.1	VUE DE FACE	46
3.7.2	VUE DE GAUCHE	47
3.7.3	VUE DE DROITE	47
3.7.4	VUE DE DESSUS	48
3.7.5	COUPE TRANSVERSALE	51
3.7.6	COUPE DE MUR	53

3.7.7	DIAGRAMME D'ÉCOULEMENT	54
3.7.8	MUR DE L'OUVRAGE DE STOCKAGE	56
<b>4</b>	<b>ANALYSE DES FORCES</b>	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>BÂTIMENT D'ÉLEVAGE</b>	<b>57</b>
4.1.1	CHARGES DU BÂTIMENT ET DE NEIGE	57
4.1.2	CHARGE DE VENT	58
4.1.3	RÉSISTANCE DES MURS D'OSSATURE	58
4.1.4	RÉSISTANCE DES MURS DE REFEND ET DES DIAPHRAGMES	60
<b>5</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>67</b>
7.1	ANNEXE 1- CALCULS SUR POUR LE CONTRÔLE DE L'AMBIANCE	67
7.2	ANNEXE 2 —CALCULS DE LA FOSSE À LISIER	71
7.3	ANNEXE 3 – CALCULS D'ARMATURE DE L'OUVRAGE DE STOCKAGE	73
7.4	ANNEXE 4 —RÉSISTANCES THERMIQUES ET AU TRANSFERT THERMIQUE	76
7.5	ANNEXE 5 —PERTES DE CHALEUR TOTALE	77
7.6	ANNEXE 6 – AUTRES INFORMATIONS	79
7.7	ANNEXE 7 - DONNÉES POUR L'ANALYSE DES CHARGES DES BÂTIMENTS	81

## Liste des tableaux

Tableau 1. Superficies requises pour les porcs d'engraissement conventionnels de 120 kg selon la norme canadienne (adapté de MAPAQ, 2016).....	7
Tableau 2. Températures optimales pour les porcs en engraissement selon le stade de croissance (adapté de CNSAE, 2014).....	7
Tableau 3. Caractéristiques des effluents d'élevage des porcs en engraissement (adapté de CRAAQ, 2007).....	9
Tableau 4. Température pour St-Jean-sur-Richelieu (Adapté de CNBC, 2005; Tableau C-2).....	10
Tableau 5. Température intérieure visée en fonction de la température extérieure (adapté de CNSAE, 2014).....	10
Tableau 6. Débit de ventilation en fonction du poids de l'animal (adapté de ASABE, 2012).....	12
Tableau 7. Caractéristiques des sources d'éclairage utilisées dans les bâtiments d'élevage pour le bétail et la volaille (adapté de MAAARO, 2015).....	14
Tableau 8. Nombre de points d'eau et débit des différents systèmes (adapté de Pouliot, 2006).....	18
Tableau 9. Valeurs des résistances thermiques de références.....	19
Tableau 10. Accumulation d'eau dans la fosse pour différente durée pour la ville de Farnham (adapté de Godbout et al, 2014).....	20
Tableau 11. Système de ventilation par région du Québec (Godbout et al., 2010).....	26
Tableau 12. Choix des ventilateurs.....	28
Tableau 13. Débit des stades de ventilation nécessaires en fonction du poids de l'animal.....	29
Tableau 14. Résistance thermique des matériaux du mur extérieur.....	43
Tableau 15. Résistance thermique des matériaux du mur de fondation.....	44
Tableau 16. Résistance thermique des matériaux du plafond.....	44
Tableau 17. Charge morte du plafond.....	57
Tableau 18. Caractéristiques du fumier produit par les porcs en engraissement (adapté de Brassard et al., 2012).....	71
Tableau 19. Quantité de fumier produite par jour pour 1500 porcs en engraissement.....	71
Tableau 20. Jours de production de fumier pour une durée d'entreposage de 212 jours.....	71
Tableau 21. Production de fumier par le troupeau de 1500 porcs sur 212 jours.....	72
Tableau 22. Volume complémentaire selon le stade de croissance pour 1500 porcs (adapté de Godbout et al., 2017).....	72
Tableau 23. Volume complémentaire.....	72
Tableau 24. Valeur de n en fonction de la masse et de la prise alimentaire (adapté de CIGR, 2002).....	72
Tableau 25. Pertes de chaleur pour les porcs de 25 kg.....	77
Tableau 26. Pertes de chaleur pour les porcs de 120 kg.....	77
Tableau 27. Valeurs pour calculer les pertes de chaleur.....	78
Tableau 28. Valeurs pour plancher - plancher dans un sous-sol.....	78

## Liste des figures

Figure 1. Exemple d'engraissement en parcs conventionnels (tirée de Turcotte, 2018) .....	4
Figure 2. Aménagement d'un engraissement en grand groupe avec zone de cafétéria (tirée de Turcotte, 2018).....	5
Figure 3. Aménagement d'un engraissement en grand groupe avec système de fonds de parcs ouverts (tirée de Turcotte, 2018) .....	6
Figure 4. Température intérieure optimale en fonction du poids du porc (tirée de ASABE, 2012) .....	11
Figure 5. Schéma de deux systèmes de ventilation à cheminée haute (tirée de Roelofs et al., 2000) .....	12
Figure 6. Cas de chargement possible pour un réservoir circulaire (adapté de PCA, 1993).....	22
Figure 7. Besoin en ventilation en fonction de la température extérieure avec des porcs à 25 kg.....	27
Figure 8. Besoin en ventilation en fonction de la température extérieure avec des porcs à 120 kg.....	28
Figure 9. Progression du débit de ventilation du système .....	30
Figure 10. Besoin de chauffage en fonction de la température extérieure à 25 kg.....	31
Figure 11. Besoin de chauffage en fonction de la température extérieure à 120 kg.....	32
Figure 12. Appareil de chauffage L.B. White Guardian en pouponnière.....	33
Figure 13. CANARM AgSystems, Wet/dry feeders.....	36
Figure 14. Vue de face du bâtiment - Direction Ouest.....	46
Figure 15. Vue de côté du bâtiment - Direction Nord.....	47
Figure 16. Vue de côté du bâtiment - Direction Sud.....	47
Figure 17. Vue de l'intérieur du bâtiment par le dessus.....	50
Figure 18. Coupe transversale du bâtiment.....	52
Figure 19. Coupe de mur typique du bâtiment.....	53
Figure 20. Diagramme d'écoulement à l'intérieur du bâtiment.....	55
Figure 21. Coupe transversale d'un mur de la structure de stockage.....	56
Figure 22. Table A-1 servant à trouver le facteur de pondération selon la hauteur.....	73
Figure 23. Forces horizontales exercées sur le mur.....	73
Figure 24. Forces horizontales exercées sur le mur et résistance de l'armature (orange).....	73
Figure 25. Table A-20 servant à trouver le facteur de pondération selon la hauteur.....	74
Figure 26. Moments verticaux exercés sur le mur.....	74
Figure 27. Moments verticaux exercés sur le mur.....	74
Figure 28. Table A-12 permettant de trouver le coefficient de cisaillement.....	75
Figure 29. Vérification de la condensation du mur .....	76
Figure 30. Vérification de la condensation du plafond.....	76
Figure 31. Capacité des silos à moulée (Source : GSI).....	79
Figure 32. Caractéristiques des systèmes de chauffage L.B. White modèle Guardian.....	80
Figure 33. Données du bâtiment et charge de neige sur l'ensemble du toit .....	81
Figure 34. Charges causées par le toit et la neige répartie.....	82

<i>Figure 35. Charges causées par le toit et la neige d'un seul côté.....</i>	<i>82</i>
<i>Figure 36. Facteurs de dimensionnement pour la charge de vent.....</i>	<i>83</i>
<i>Figure 37. Analyse des différents cas de chargement du vent .....</i>	<i>84</i>
<i>Figure 38. Charge de vent maximal et pondération .....</i>	<i>85</i>
<i>Figure 39. Schématisation de la charge de vent pondérée sur les murs du centre .....</i>	<i>86</i>
<i>Figure 40. Schématisation de la charge de vent pondérée sur les murs de coin .....</i>	<i>86</i>
<i>Figure 41. Schématisation du vent sur les murs et le toit pour déterminer les réactions de coin.....</i>	<i>87</i>
<i>Figure 42. Charge de vent pour l'analyse sur des membrures individuelles.....</i>	<i>88</i>
<i>Figure 43. Calcul des différents cas de chargement et du moment de flexion pondéré.....</i>	<i>89</i>
<i>Figure 44. Résistance en compression parallèle et résistance à la flexion .....</i>	<i>90</i>
<i>Figure 45. Résistance au cisaillement .....</i>	<i>91</i>
<i>Figure 46. Vérifications de la flexion, de la compression et du cisaillement .....</i>	<i>91</i>
<i>Figure 47. Calcul de la compression perpendiculaire au fil de la lisse basse .....</i>	<i>91</i>
<i>Figure 48. Vérification de la flèche aux états limites de service .....</i>	<i>92</i>
<i>Figure 49. Réaction et cisaillement de base selon les différents murs.....</i>	<i>92</i>
<i>Figure 50. Vérification de la résistance au cisaillement dans les murs.....</i>	<i>93</i>

## Table des équations

<i>Équation 1</i> .....	38
<i>Équation 2</i> .....	39
<i>Équation 3</i> .....	67
<i>Équation 4</i> .....	67
<i>Équation 5</i> .....	67
<i>Équation 6</i> .....	67
<i>Équation 7</i> .....	68
<i>Équation 8</i> .....	68
<i>Équation 9</i> .....	68
<i>Équation 10</i> .....	69
<i>Équation 11</i> .....	69
<i>Équation 12</i> .....	69
<i>Équation 13</i> .....	69
<i>Équation 14</i> .....	69
<i>Équation 15</i> .....	70
<i>Équation 16</i> .....	77

## Liste des abréviations et des symboles

$A_s$	Aire requise d'acier d'armature ( $po^2/pi$ )
$A_c$	Aire effective de béton en compression ( $po^2$ )
$c$	Facteur de contraction du béton lorsqu'il se fige
$C_{ext}$	Concentration en $CO_2$ à l'extérieur des bâtiments (ppm)
CFM	Pied cube par minutes ( $pi^3/min$ )
$C_{int}$	Concentration en $CO_2$ à l'intérieur des bâtiments (ppm)
$CO_2$	Gaz carbonique
$C_p$	Chaleur massique de l'air de ventilation [ $kJ/(kg*K)$ ]
$D$	Diamètre de la structure de stockage (mètres)
$d$	Épaisseur du mur de la structure de stockage sans l'espace de recouvrement ( $po$ )
$e$	Épaisseur du mur de la structure de stockage (mètres)
$E_s$	Module élastique de l'acier (psi)
$f_{aj}$	Facteur selon le type de litière
$f'_c$	Résistance en compression du béton (psi)
$F_s$	Facteur de sécurité pour le volume d'eaux usées
$f_y$	Résistance en compression de l'acier (psi)
$G$	Résistance au transfert d'humidité des matériaux ( $Pa*m^2*s/ng$ )
$h$	Heure
$H$	Hauteur de la structure de stockage (mètres)
$H_{ext}$	Humidité relative à l'extérieur du bâtiment (%)
$hfg$	Chaleur latente de vaporisation (J/kg)
$H_{int}$	Humidité relative à l'intérieur du bâtiment (%)
$L$	Litres
$m_a$	Masse corporelle de l'animal (kg)
$m_{air}$	Débit massique de l'air (kg/s)
$m_{ea}$	Production d'humidité par la respiration et la transpiration des animaux (kg/s)
$m_{eb}$	Production d'humidité par l'évaporation (kg/s)
$m_{ga}$	Production de gaz par les animaux (kg/s)
$m_{gb}$	Production de gaz par les autres sources (kg/s)
$n$	Facteur à utiliser dans l'équation de la chaleur selon le poids de l'animal
$P$	Facteur de précipitations (mètres)
$pi$	Pied
$Psi$	Livre par pouces carrés ( $lbs/po^2$ )
$Q_b$	Chaleur perdue par le bâtiment (Watt)
$Q_e$	Chaleur absorbée par l'eau et qui s'évapore (Watt)
$Q_L$	Chaleur latente produite par l'animal (Watt)
$Q_m$	Chaleur produite par les moteurs, ampoules et systèmes électriques (Watt)
$Q_s$	Chaleur sensible produite par l'animal (Watt)
$Q_{sr}$	Chaleur produite par le système de chauffage (Watt)

$Q_t$	Chaleur totale produite par l'animal à des températures autres que 20°C (Watt)
$Q_{t,20}$	Chaleur totale produite par l'animal à 20 °C (Watt)
$Q_v$	Chaleur évacuée par le système de ventilation (Watt)
RSI	Résistance thermique des matériaux ( $m^2K/W$ )
T	Force exercer le mur de la structure de stockage (lbs/ft)
V	Volume à entreposer dans la structure de stockage ( $m^3$ )
$V_b$	Cisaillement dans le béton (lb)
$V_c$	Volume complémentaire ( $m^3$ )
$V_{eu}$	Volume d'eaux usées ( $m^3$ )
$V_L$	Volume de litière ( $m^3$ )
W	Watt
w	Charge latérale exercée par le fumier (psi)
$w_u$	Chargement latéral par pied cube exercé par le fumier (lbs/pi <sup>2</sup> )
$\Phi_t$	Chaleur totale produite par unité de production de chaleur (1000 W de chaleur totale à 20 °C)
$\Phi_s$	Chaleur sensible produite par unité de production de chaleur (1000 W de chaleur totale à 20 °C)
$\Delta T$	Différence de température (°C ou Kelvin)

# 1 Introduction

La Ferme Daigneault S.E.N.C. est une ferme porcine et de grandes cultures situées à Ste-Brigide d'Iberville, en Montérégie. Pour faire place à la relève et ainsi assurer la pérennité de l'entreprise, celle-ci désire construire deux nouvelles porcheries pouvant accueillir 750 porcs chacune pour l'été 2020. Les propriétaires ont donc confié le mandat de concevoir des bâtiments porcins modernes qui répondent aux normes de bien-être animal d'aujourd'hui.

En considérant les besoins du client, il faudra identifier les superficies requises par animal afin de construire des bâtiments offrant un confort et une liberté de mouvement adéquats aux porcs. Avec les dimensions en main, il faudra choisir un type d'aménagement intérieur ainsi qu'un système d'alimentation se complétant bien avec l'aménagement choisi. Par la suite, les calculs nécessaires pour statuer sur le nombre de trémies nécessaire au bon fonctionnement des élevages seront effectués.

Ensuite, le système de ventilation et de chauffage sera désigné. Comme les animaux produisent de la chaleur, de l'humidité et des gaz, il sera essentiel de calculer les bilans de chaleur, d'humidité et de gaz en tenant compte des animaux et de la structure du bâtiment avant de proposer le type et le nombre de ventilateurs nécessaires au maintien de conditions ambiantes optimales à l'intérieur des porcheries. Les calculs et le choix de l'équipement de chauffage nécessaire devront également être effectués. À travers ces différentes étapes, le choix des matériaux qui composent le bâtiment devra être fait. En effet, les besoins en ventilation et en chauffage sont affectés par les matériaux qui composent les murs et le plafond. Par ailleurs, la construction des deux bâtiments s'accompagnera d'un volume de déjections supplémentaire à gérer. Nous évaluerons ainsi le volume de déjections à gérer afin de concevoir une fosse qui sera suffisamment grande pour les besoins de l'entreprise selon les différents modes de gestion possible.

Dans un autre ordre d'idées, l'intégration de toutes les étapes énumérées précédemment sera effectuée lors de la réalisation de l'aménagement intérieur des bâtiments et de l'intégration de la fosse sur le site d'élevage. Les plans seront conçus à l'aide d'un logiciel de dessin 2D. Les plans incluront notamment des vues extérieures, intérieures, une coupe de mur, une coupe transversale ainsi qu'un diagramme d'écoulement à l'intérieur du bâtiment et la coupe d'un mur de la structure d'entreposage.

Pour terminer, il fallait initialement calculer la charpente en bois du bâtiment dans le but d'évaluer les besoins pour la construction du bâtiment. Malheureusement, certains facteurs hors de notre contrôle ont fait en sorte que compléter cette étape ne sera pas réalisée. Au lieu de cela, une évaluation des charges portées par le bâtiment sera réalisée. Le but de cette évaluation sera de déterminer si les choix de conception de charpente sont adéquats pour soutenir les différentes charges qui affectent le bâtiment. Cette évaluation inclura notamment une analyse sur les murs de colombage en bois ainsi que les murs de refend.

En complément à cette étape, une analyse des forces sur la fosse à lisier sera effectuée. Cette analyse aura pour but de déterminer l'armature nécessaire à la conception d'une fosse à lisier standard ayant des murs d'une épaisseur de 8 pouces pour s'assurer de sa solidité face aux forces en présence.

## **2 Revue de littérature**

### **2.1 Aménagement intérieur**

Dans un élevage de porc commercial, il est important de bien suivre les progrès de gain en poids du troupeau. L'aménagement intérieur du bâtiment, si bien réalisé, permet d'en faire un suivi rigoureux. Tout d'abord, l'aménagement peut se faire de façon conventionnelle. Ce type d'aménagement stipule que le bâtiment est séparé en plusieurs parcs. Le travailleur doit entrer dans tous les parcs séparément lorsqu'il y a des travaux à effectuer. Par ailleurs, dans les bâtiments modernes, l'installation d'une balance trieuse permet de peser les porcs automatiquement. Deux types de systèmes de gestion en grand groupe sont communément employés. Il s'agit du système américain (ou système en cafétéria) et le système avec fonds de parcs ouverts. L'utilité des balances trieuses dans les deux systèmes demeure similaire. Elle permet de peser les porcs à leur entrée et, grâce à un système de transfert de données et de tags à l'oreille, les informations peuvent ainsi être collectées. En général, les producteurs ayant adopté le système de balance trieuse ne l'ont pas fait pour économiser du temps de travail. C'est plutôt pour une amélioration des conditions de travail que ces systèmes sont préconisés (Turcotte, 2018). Les définitions des trois systèmes présentés proviennent de Turcotte (2018).

#### **2.1.1 Aménagement conventionnel**

De façon plus conventionnelle, le bâtiment peut être aménagé avec des parcs clos. Ainsi, la superficie totale du bâtiment est divisée en parcs pouvant loger entre 20 et 30 porcs en moyenne. Toutefois, cela signifie que le producteur doit entrer dans chaque parc pour effectuer la pesée des animaux. Ainsi, c'est un travail qui demande du temps et qui est très physique. Lors de l'expédition, le producteur doit encore une fois entrer dans chaque parc pour expédier les animaux qui ont été préalablement marqués. De plus, il est plus difficile de contrôler les gains de poids de façon individuelle. En comparaison avec les systèmes de balance trieuse, le système en parcs conventionnels exigerait 133 heures de travail supplémentaires pour obtenir les mêmes résultats. Le lavage du bâtiment est également plus difficile dans un bâtiment conventionnel avec les parcs. En ce sens, la présence de parcs s'accompagne de plusieurs séparations d'enclos. Ainsi, la superficie de lavage est supérieure comparativement à un aménagement avec de grands parcs et une balance trieuse. La figure 1 illustre le fonctionnement de ce type de gestion.

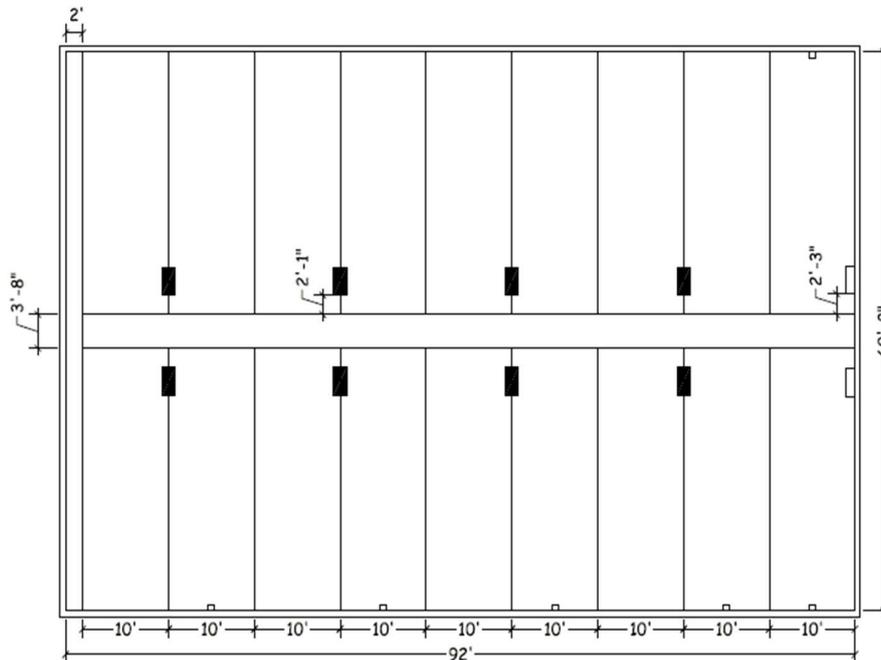
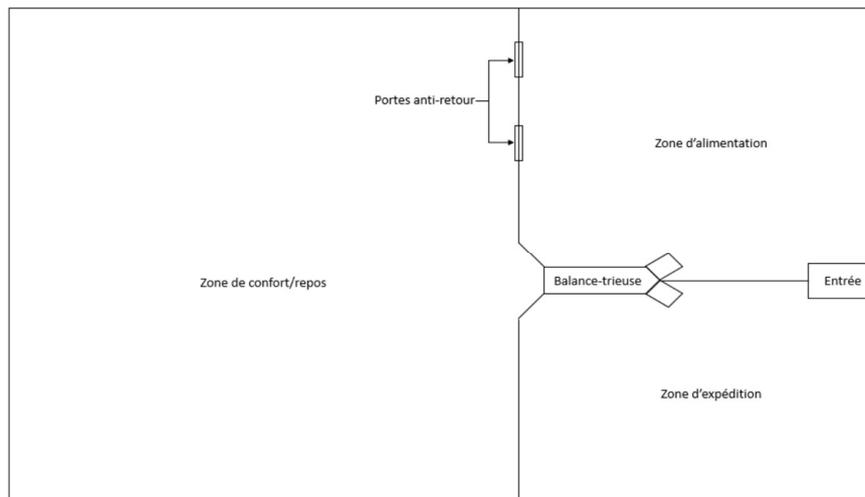


Figure 1. Exemple d'engraissement en parcs conventionnels (tirée de Turcotte, 2018)

### 2.1.2 Système de cafétéria

Dans le système en cafétéria, le bâtiment est divisé en trois différentes zones : la zone de repos, la zone d'alimentation et la zone d'expédition. Tout d'abord, les animaux passent la majorité de leur temps dans la zone de repos. Pour avoir accès à la zone d'alimentation, ceux-ci doivent absolument passer par la balance trieuse. Dès l'entrée des animaux dans le bâtiment, la balance est fonctionnelle et permet aux animaux de s'habituer à son fonctionnement. Lorsque les animaux atteignent le poids d'expédition, la balance dirige ceux-ci vers la zone d'expédition. Autrement, ceux-ci retournent à la zone d'alimentation. Comme il est possible de le voir à la figure 2, des portes antiretours sont installées entre la zone d'alimentation et la zone de confort. De cette façon, les porcs sont obligés de passer par la balance trieuse pour accéder à la zone d'alimentation. Les animaux, dans la zone de repos, ne peuvent pas atteindre directement la zone d'alimentation. Lorsque les animaux sont jeunes, le producteur peut tout de même décider d'enlever les barrières antiretours pour faciliter l'accès aux trémies. Toutefois, il est important de remettre ces barrières en place lorsque les animaux s'approchent du poids d'abattage. Il est à noter que dans ce système, la recommandation est d'installer les bols à l'eau seulement dans la zone de repos. Cette recommandation a pour but d'inciter les animaux à revenir dans la zone de repos et à ne pas rester dans la zone d'alimentation. De plus, pour faciliter le lavage et la propreté du bâtiment, il est

recommandé d'utiliser un plancher 100 % latté. Toujours selon Turcotte (2018), il est aussi important de noter qu'une superficie de 0,2 m<sup>2</sup> par porc dans la zone d'alimentation est à préconiser afin de faciliter les déplacements dans cette zone et éviter que les porcs se couchent devant les mangeoires.

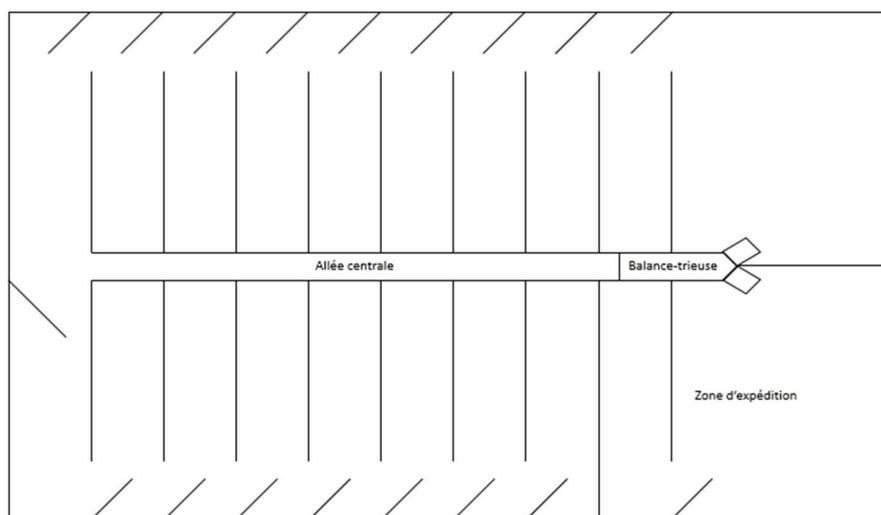


*Figure 2. Aménagement d'un engraissement en grand groupe avec zone de cafétéria (tirée de Turcotte, 2018)*

### **2.1.3 Système avec fonds de parcs ouverts**

L'autre système d'aménagement en grand groupe est le système avec fonds de parcs ouverts. Dans ce type de système, les animaux ont accès à de la nourriture et à l'eau de façon continue directement dans les parcs. Lorsque les animaux atteignent un certain poids, le producteur peut contrôler l'ouverture et la fermeture des clôtures au fond des parcs. Ainsi, c'est ce dernier qui guide les animaux vers la balance trieuse. Comme il est montré sur la figure 3, la balance trieuse est située à l'extrémité de l'allée centrale. Les porcs sont ainsi guidés vers l'allée centrale jusqu'à ce qu'ils atteignent la balance trieuse. Si l'animal a atteint le poids d'abattage, il est envoyé du côté de la zone d'expédition. Dans le cas contraire, l'animal retourne vers la zone de repos et d'alimentation. Contrairement au système précédent, ce système se sert de la balance trieuse seulement lorsque les animaux ont atteint un certain poids. Ce sera ainsi au producteur de décider à quel moment il commence à peser ses animaux. Tout comme pour le cas précédent, il est recommandé d'installer un plancher 100 % latté avec ce type d'aménagement.

Plusieurs avantages viennent avec l'utilisation des balances trieuses. En effet, la gestion des porcs en groupe faciliterait le transport et la manipulation des porcs, car ceux-ci seraient plus calmes qu'en parcs conventionnels. De plus, la mise à jeun est facilitée puisqu'il ne faut contrôler que l'alimentation dans la zone d'expédition. Ainsi, les autres sections du bâtiment ne sont pas affectées. Il y a toutefois certaines limitations à l'utilisation des balances trieuses. En ce sens, le Centre de développement du porc du Québec (CDPQ) est un centre d'expertise qui effectue des projets de recherche sur l'élevage des porcs. Cet organisme recommande de se servir d'une balance trieuse pour un nombre de porcs allant de 500 à 600 têtes. Toutefois, les manufacturiers des balances trieuses recommandent un nombre pouvant aller jusqu'à 700 têtes.



*Figure 3. Aménagement d'un engraissement en grand groupe avec système de fonds de parcs ouverts (tirée de Turcotte, 2018)*

## 2.2 Système de production

### 2.2.1 Superficies requises par animal

Actuellement, l'entreprise élève des porcs d'engraissement dans quatre bâtiments distincts sur la ferme. L'entreprise achète des porcelets d'un fournisseur à un poids d'environ 25 kg. Ces porcs sont engraisés jusqu'à un poids de 120 kg et sont par la suite expédiés à l'abattoir. Ainsi, pour pouvoir choisir les dimensions nécessaires à la construction de nos bâtiments, il est important de considérer que les porcs atteindront un poids allant jusqu'à 120 kg. Dans le « Guide sur la superficie des bâtiments d'élevages porcins » (MAPAQ, 2016), il est écrit que la superficie d'élevage par place en engraissement est de 1,05 m<sup>2</sup> (11,3 pi<sup>2</sup>) alors que la superficie de commodité

est de 0,20 m<sup>2</sup> (2,2 pi<sup>2</sup>). La superficie d'élevage représente l'espace nécessaire pour la croissance des porcs. En engraissement, cette superficie inclut tous les parcs ou aires logeant les porcs ainsi que les parcs-hôpitaux et la salle d'expédition, s'il y a lieu. La superficie de commodité représente quant à elle l'espace nécessaire au bon fonctionnement de l'élevage. Les animaux n'ont généralement pas accès à cette zone en tout temps. Ils peuvent toutefois y faire quelques passages à l'occasion. Cette superficie regroupe de nombreux éléments, notamment les corridors, les entrées sanitaires ainsi que le quai d'expédition. Elle inclut également les bureaux, le système de gestion du lisier et les différentes zones pouvant servir à l'entreposage. Au total, la superficie de bâtiment par place est donc de 1,25 m<sup>2</sup> (13,5 pi<sup>2</sup>) par animal. Puisque nos bâtiments doivent contenir 750 têtes, la superficie nécessaire par bâtiment est de 940 m<sup>2</sup> (10 125 pi<sup>2</sup>). À titre comparatif, la superficie d'élevage par place pour l'Europe est de 1,00 m<sup>2</sup> (10,76 pi<sup>2</sup>).

*Tableau 1. Superficies requises pour les porcs d'engraissement conventionnels de 120 kg selon la norme canadienne (adapté de MAPAQ, 2016)*

	Superficie d'élevage par place	Superficie de commodité par place	Superficie du bâtiment par place
Superficie (m <sup>2</sup> )	1,05	0,20	1,25

### 2.2.2 Température et humidité

Pour ce qui est de la température, il est crucial de savoir que plus l'animal est gros, plus il peut tolérer des températures froides. Ainsi, la température du bâtiment sera plus chaude à l'arrivée des animaux. Tout au long de l'engraissement, il est recommandé de diminuer tranquillement la température jusqu'à l'atteinte des températures optimales selon leur stade de croissance (CNSAE, 2014). Le tableau 2 illustre les températures optimales selon différents stades en engraissement.

*Tableau 2. Températures optimales pour les porcs en engraissement selon le stade de croissance (adapté de CNSAE, 2014)*

	Température optimale (°C)	Limites acceptables (°C)
Porcs 20 à 55 kg	21	16-27
Porcs 55 à 110 kg	18	10-24

Pour le contrôle de l'humidité, des valeurs variant de 50 à 80 % sont jugées acceptables (Plan Canada, 1988). Évidemment, les niveaux d'humidité seront plus élevés pour les périodes froides, alors qu'ils seront plus faibles pour les périodes chaudes comme les mois de juillet et août. L'important est de maintenir le taux d'humidité dans la strate mentionnée précédemment pour s'assurer du confort des animaux (Plan Canada, 1988). Pour plus d'informations, la section 2.3.1 de ce document sur la ventilation du bâtiment peut être consultée au besoin.

### **2.2.3 Normes de bien-être animal**

Pour ce qui est des normes de bien-être animal, il est recommandé de consulter le « Code de pratiques pour le soin et la manipulation des porcs » (CNSAE, 2014). En effet, ce guide offre notamment des recommandations sur la gestion des animaux malades et la manipulation des animaux. Pour les animaux malades, le bâtiment doit obligatoirement contenir un enclos ou une zone distincte du reste du bâtiment pour pouvoir isoler les animaux blessés ou malades et administrer les traitements requis. Cette gestion permet d'éviter aux animaux sensibles d'être en compétition avec les autres animaux. L'emplacement de cette zone doit être chaud en tout temps et à l'abri des courants d'air. Cette zone doit également permettre au producteur de pouvoir faire des observations fréquentes. Tout comme pour le reste du bâtiment, les porcs dans la zone des animaux blessés doivent avoir accès à de l'eau et à de la nourriture.

Au niveau des manipulations, il est recommandé d'éviter les changements de luminosité soudaine, de revêtement de sol ainsi que d'obstacles sur le plancher. Ces différents facteurs rendent les porcs hésitants ou refusent d'avancer dans le bâtiment. De plus, la vision binoculaire du porc est limitée à un angle de 50°. Ainsi, il est plus difficile pour l'animal de voir à 90° des deux côtés. L'aménagement du bâtiment doit donc éviter les changements de corridors à 90°. Des installations avec des courbes progressives seront préconisées. Pour le déplacement des animaux, Le déplacement des animaux est en petits groupes pour être en mesure d'influencer les animaux en tête du peloton. Naturellement, la manipulation des animaux ne doit pas être agressive. De plus, il est important de noter que dans les engraissements, les aiguillons électriques ne doivent pas être utilisés.

## 2.2.4 Mode d'élevage et déjections animales

Par ailleurs, le tableau 3 présente les caractéristiques des déjections animales selon le mode d'alimentation choisi. En effet, l'utilisation de trémies-abreuvoirs (voir section 2.4 pour plus de détails) peut affecter les volumes de fumier annuels produits ainsi que les concentrations des déjections animales. Pour pouvoir obtenir le nombre d'unités inventaire annuel (ui), il faut multiplier le nombre d'animaux dans un bâtiment par le coefficient IM. Ce coefficient représente la proportion de l'inventaire moyen par rapport à la capacité du bâtiment et varie selon les modes de gestion. Le nombre d'unités inventaire est différent du nombre d'unités animales. Le nombre d'unités inventaire (ui) donne de l'information sur l'inventaire moyen annuel (CRAAQ, 2007). Par ailleurs, le coefficient IM dépend du mode d'élevage. Le mode d'élevage en bande signifie qu'un nouveau lot d'animaux entre dans le bâtiment une fois que l'ancien lot a été complètement expédié et que le bâtiment a été lavé. Ce système est également appelé le tout plein tout vide (TPTV). Dans l'élevage en rotation, le bâtiment n'est jamais vide. Des animaux sont expédiés alors que d'autres, plus jeunes, entrent de façon continue.

Tableau 3. Caractéristiques des effluents d'élevage des porcs en engraissement (adapté de CRAAQ, 2007)

Catégorie d'élevage	Coefficient IM		Volumes annuels (m <sup>3</sup> /ui)	Analyse (kg/tonne)			
	Bande	Rotation		% MS	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Porcs en croissance (avec trémies-abreuvoirs)	0,85	0,95	1,8	4,9	4,5	2,3	2,9
Écart-type	-	-	0,4	1,3	0,4	0,6	0,5
Porcs en croissance (sans trémies-abreuvoirs)	0,85	0,95	2,9	2,7	2,9	1,5	1,6
Écart-type	-	-	0,7	0,9	0,6	0,5	0,5

ui : Une unité de l'inventaire moyen annuel

% MS : Pourcentage de matière sèche des déjections animales

N : Azote

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : Phosphore présent sous forme de Pentoxyde de phosphore

K<sub>2</sub>O : Potassium présent sous forme d'Oxyde de potassium

### 2.3 Contrôle de l'ambiance

Les porcheries étant situées à Ste-Brigide d'Iberville, celles-ci doivent donc être conçues pour les conditions météorologiques de la région. Plusieurs variables météorologiques affectent la conception du bâtiment. Le taux de précipitation de la région affecte les dimensions de la fosse si elle n'est pas couverte. La température extérieure affecte le système de chauffage durant les périodes froides et le système de ventilation durant les périodes chaudes. Le poids des animaux va affecter la température intérieure du bâtiment.

Tableau 4. Température pour St-Jean-sur-Richelieu (Adapté de CNBC, 2005; Tableau C-2)

	Janvier (2,5%)	Juillet sec (2,5%)
Température extérieure (°C)	-24	29

Dans la section sur le système de production, il a été mentionner que la température optimale pour les porcs de 25 kg était de 21 °C. Pour les porcs de 120 kg, la température optimale est de 18 °C. Il est donc possible d'illustrer la température désirée à l'intérieur du bâtiment en fonction de la température extérieure.

Tableau 5. Température intérieure visée en fonction de la température extérieure (adapté de CNSAE, 2014)

Température extérieure (°C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
Température intérieure (°C) pour 25 kg	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	26	31
Température intérieure (°C) pour 120 kg	18	18	18	18	18	18	18	18	18	21	26	31

En été, il arrive que la température extérieure dépasse la température désirée à l'intérieur du bâtiment. Lorsque c'est le cas, il est pris en considération que la température intérieure visée est de 1 degré de plus que la température qui prévaut à l'extérieur (Fournel, 2018a).

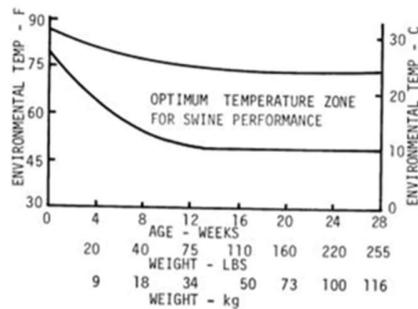


Figure 4. Température intérieure optimale en fonction du poids du porc (tirée de ASABE, 2012)

### 2.3.1 Ventilation

Les systèmes de ventilation pour une porcherie de finition sont variés. Les systèmes de ventilation communément utilisés pour les porcheries de finition et dans les conditions météorologiques de la région sont divisés en deux catégories : la ventilation naturelle et la ventilation mécanique. Cette dernière se sépare en plusieurs sous-catégories, dont la ventilation à extraction basse, la ventilation transversale ou conventionnelle et la ventilation avec cheminée haute.

La ventilation naturelle dépend beaucoup des conditions météorologiques et de l'emplacement des bâtiments pour assurer que le système soit aussi efficace que prévu. Il faut donc prendre en considération que si la météo est moins conciliante, un système d'appoint serait nécessaire. De plus, le système est moins efficace dans les mois plus chauds pour le contrôle de température et des gaz (Fournel, 2018b).

La ventilation à extraction basse est surtout employée lorsqu'il y a une fosse sous le bâtiment, ce qui n'est pas notre cas, car le mandat stipule qu'une fosse commune aux deux bâtiments doit être présente. De plus, lorsque les débits de ventilation sont plus importants comme durant l'été, les odeurs vont remonter de la fosse vers les animaux. Une étude américaine suggère que ce système est idéal à un débit entre 45 et 50 CFM par porc (Godbout et al., 2010).

La ventilation transversale consiste à forcer un courant d'air dans le sens de la largeur du bâtiment. Ce système offre une bonne homogénéité de température, sauf près des entrées d'air où un courant d'air froid est présent. Par contre, l'homogénéité de l'air et des poussières semble être moins bonne et il semble avoir une corrélation entre les 2 variables. La vitesse de circulation d'air est

relativement faible à la hauteur des porcs ce qui limite l'effet de refroidissement du système (Godbout et al., 2010).

La ventilation avec cheminée haute est plus efficace pour évacuer la poussière que le système conventionnel. La concentration des poussières est diminuée d'environ 20 % en haut de l'allée de circulation et de 25 % à un mètre au-dessus des parcs. Il est toutefois important de savoir que les performances zootechniques ne sont pas affectées par la réduction de la poussière et que le système est 1,5 à 3 fois plus dispendieux qu'un système conventionnel (Godbout et al., 2010).

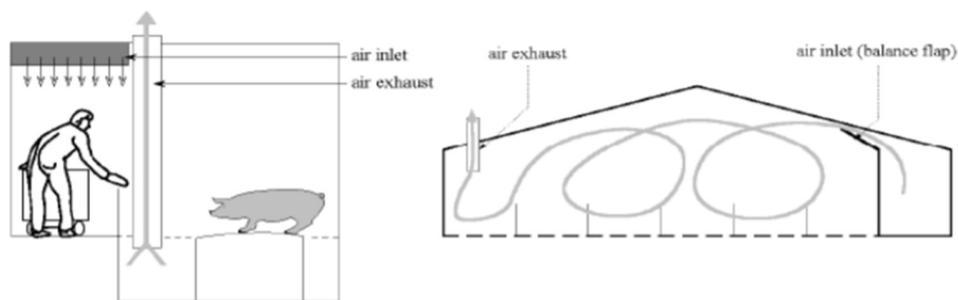


Figure 5. Schéma de deux systèmes de ventilation à cheminée haute (tirée de Roelofs et al., 2000)

Le calcul de débit pour les paliers de ventilation sera fait avec la méthode présentée dans le cours « Environnement des bâtiments agricoles » et sera comparé avec les valeurs empiriques du tableau 6.

Tableau 6. Débit de ventilation en fonction du poids de l'animal (adapté de ASABE, 2012)

Poids (kg)	Ventilation hivernale minimale (L/s/porc)	Ventilation hivernale maximale (L/s/porc)	Ventilation estivale (L/s/porc)
18-45	2,4	9,5	23
45-68	3,3	11,8	34
68-95	4,7	16,5	47
91-114	4,7	16,5	57
114-136	5,7	18,9	85

Le besoin de ventilation peut dépendre de plusieurs variables différentes tout dépendamment de la saison ou du stade de croissance des animaux. Les trois critères de sélection du besoin de ventilation sont la température, la production de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et l'humidité du bâtiment.

La température intérieure dépend de la chaleur sensible et de l'isolation du bâtiment. La production de CO<sub>2</sub> dépend de la quantité de chaleur totale produite par les animaux. L'humidité du bâtiment dépend de l'humidité intérieure visée, de la chaleur latente et de la production d'humidité par la respiration des animaux et de l'évaporation des sources d'eau, telle que les abreuvoirs (Fournel, 2018c).

### **2.3.2 Chauffage**

Les hivers du Québec obligent les producteurs de porc à chauffer leurs bâtiments pour éviter que les animaux subissent des températures trop froides qui pourraient réduire leur efficacité de gain de poids ou les rendre plus susceptibles à divers problèmes de santé. Les énergies les plus utilisées pour ce type de bâtiment sont le propane, l'électricité, l'huile et le diesel. D'autres options de chauffage sont aussi à l'étude pour évaluer la rentabilité et la possibilité d'installation. La géothermie et la biomasse font partie de ces systèmes en développement.

### **2.3.3 Éclairage**

Au niveau de l'éclairage, les recommandations sont d'installer un système d'éclairage offrant un minimum de 50 lux durant une période minimale de 8 h (CNSAE, 2014). Aucun type d'éclairage n'est toutefois proposé. Les systèmes choisis peuvent donc être des systèmes de type DEL, des néons ou même des ampoules incandescentes standards. Pour faciliter, la compréhension, il est noté qu'un lux représente un lumen par mètre carré (MAAARO, 2015). Voici les caractéristiques de différents types d'éclairage principalement utilisés en production agricole.

Tableau 7. Caractéristiques des sources d'éclairage utilisées dans les bâtiments d'élevage pour le bétail et la volaille (adapté de MAAARO, 2015)

Type	Puissance (W)	Lumens/W	Longévité (h)
Incandescente ordinaire	25 à 200	11 à 20	750 à 1000
Incandescente à longue durée	25 à 200	12,4 à 20	Jusqu'à 5000
Halogène	50 à 150	18 à 25	2000 à 3000
Fluorescente type T8	32	88	20 000
Fluorescente type T5	28	104	20 000
Fluorescente type T5HO	54	93	20 000
Fluorescente compacte	5 à 57	50 à 80	10 000
Halogénures métalliques	35 à 70	60 à 94	7500 à 10 000
Sodium haute pression	35 à 400	63 à 125	15 000 à 24 000
Diode électroluminescente	1,2 à 1,4	16 à 53	60 000 à 100 000

## 2.4 Système d'alimentation et manutention des aliments

### 2.4.1 Principes de bases en alimentation porcine

L'objectif principal de l'alimentation pour les porcs de finition est d'engraisser au maximum ces derniers avec la quantité minimale de moulée. Il s'agit du taux de conversion alimentaire, qui se calcule en considérant la quantité d'intrants nécessaire pour produire un kilogramme de gain. Pour les porcs de finition, cet indice est évalué à 2,75 kg de moulée par kilogramme de gain (Schiettekatte, 2004). Leblanc (2005) propose cependant un indice équivalent à 2,66.

Ainsi, le but du producteur est de diminuer ce taux. Pour cela, il tendra à améliorer la composition de sa moulée. Deux options sont disponibles pour l'agriculteur, soit d'acheter une moulée

commerciale, soit de faire sa propre moulée. Comme le client est déjà producteur de sa moulée pour ses autres porcheries, l'information considérant l'option d'acheter sa moulée ne sera pas abordée. Pour une production de porcs d'engraissement dite standard, le programme alimentaire devrait comprendre de trois à cinq moulées formulées différemment afin de répondre aux différents stades de croissance et de combler tous les besoins nutritionnels des porcs (Leblanc, 2006). Les moulées de base principalement utilisées sont la moulée de début, de croissance et de finition, où vient s'ajouter une deuxième de début et de croissance dans le cas d'une régie à cinq moulées. Conséquemment, étant donné que la moulée sera fabriquée à la ferme, un registre de fabrication est recommandé dans le but de vérifier la composition de ce qui est donné aux porcs. De plus, il est également recommandé de faire une à deux analyses au laboratoire par an pour valider la composition finale de la moulée et assurer un suivi.

#### **2.4.2 Types communs de systèmes de gestion de l'alimentation**

Pour la construction des porcheries, un choix pour le système d'alimentation des porcs doit être fait. Deux types de gestion de moulées sont principalement employés en production porcine : la gestion par trémie sèche et la gestion par trémie humide. La gestion par trémie sèche consiste à servir de la moulée dans des trémies servant seulement à la distribution d'aliments solides. Cela signifie que des bols d'eau sont installés plus loin et que le porc n'est pas en mesure de mélanger l'eau et la moulée (Pouliot, 2002). Pour la production d'un lot, la gestion avec trémie sèche permettrait d'économiser l'équivalent de 10 kg de moulée par porc comparativement à la gestion humide. Cependant, cette économie serait valide avec l'utilisation d'une moulée cubée très fine (Lessard, 2015). Dans la gestion humide, des bols d'eau sont installés directement avec la trémie. Ainsi, le porc peut consommer et mélanger la moulée sèche et l'eau à un même endroit. Ce système est également appelé trémie-abreuvoir (Pouliot, 2002). Ce type de gestion permettrait d'épargner de 3 à 6 jours d'engraissement par porc et ce peu importe la finesse des aliments dans la moulée (Lessard, 2015). De plus, des expériences menées ont permis de déterminer que l'emploi d'une trémie humide offrait un gain moyen quotidien de 5,7 % supérieur et une consommation moyenne supérieure de 6 % comparativement aux trémies sèches (Pouliot, 2002). D'autres avantages accompagnent l'utilisation des trémies-abreuvoirs. En effet, le volume de lisier produit serait réduit de 35 % comparativement à l'utilisation de bols à eau séparés accompagnés de tétines (FPPQ, 2002). De plus, l'usage d'un système de trémie sèche accompagné de bols économiseurs est plus

dispendieux que le système de trémie-abreuvoir. En effet, les coûts seraient de 45 % plus élevés pour le premier système (FPPQ, 2002).

### **2.4.3 Système de trémie tubulaire**

Un autre système est également préconisé dans les engraisements porcins. Il s'agit du système de trémie tubulaire, un système originaire du Danemark. Dans ce système, un plateau d'alimentation est fixé au plancher. La moulée est distribuée dans le plateau à l'aide d'un tube de plastique qui varie de 10 à 20 centimètres de diamètre (Choinière, 2001). Ce type de système peut être employé comme une trémie sèche ou comme une trémie humide. S'il est employé sous forme de trémie sèche, des bols d'eau sont installés ailleurs dans les parcs. Sous forme de trémie humide, des bols sont inclus dans le plateau servant à l'alimentation et l'eau est servie directement avec la moulée. Ainsi, ce type de système est comparable au système de trémie-abreuvoir (Choinière, 2001).

### **2.4.4 Avantages et inconvénients des différents systèmes**

Tous ces systèmes ne fonctionnent pas de la même façon et n'ont pas nécessairement les mêmes normes d'utilisation. Avec la trémie sèche, un ajustement est effectué pour s'assurer que le débit de moulée distribué est le bon et qu'il n'y a pas de gaspillage (Choinière, 2001). Généralement, ce type de trémie est conçu pour pouvoir contenir une réserve de moulée pour une période variant de 3 à 6 h. Pour le stade de finition, il est recommandé d'avoir des places d'une largeur de 33,1 cm (13,2 pouces) (CNSAE, 2014), ce qui permet généralement d'accueillir 3 à 4 porcs par place (Choinière, 2001).

Du côté de la trémie humide, une largeur de place de 29 cm (11,4 pouces) est recommandée pour le stade de la finition (CNSAE, 2014). Avec cette dimension, il est possible d'accueillir 10 à 12 porcs par place (Choinière, 2001). Généralement, la trémie humide est munie d'un clapet pour la distribution de la moulée et d'un pousse-tube servant à la distribution de l'eau. Il est recommandé d'installer les pousse-tubes à une hauteur de 2,5 cm du fond de la trémie pour éviter le gaspillage d'eau (Choinière, 2001). Il est également important de contrôler le débit de l'eau ainsi que la pression. Pour la période de l'engraissement, le débit recommandé est de 1,0 à 1,5 L/min avec une pression d'environ 20 psi. Des valeurs supérieures favorisent les éclaboussures et le gaspillage d'eau (Choinière, 2001).

Avec le système de trémie tubulaire, le tube est ajusté pour laisser un espace entre le bas du tube et le fond du plateau. C'est cette hauteur qui dictera l'épaisseur de moulée que les animaux pourront consommer. Tout comme pour la trémie humide, il est recommandé d'avoir un système pouvant accueillir 10 à 12 porcs par place (Choinière, 2001). Le système de trémie tubulaire est employé sous forme humide, le débit de 1,0 à 1,5 L/min ainsi que la pression d'utilisation de 20 psi doivent être respectés. Pour terminer, il est recommandé d'utiliser un tube ayant une couleur translucide. Ainsi, la visualisation du niveau de la moulée est facilitée. Autrement, ce système est plus sensible au gaspillage de la moulée et il nécessite un contrôle plus important par rapport aux deux systèmes précédents (Choinière, 2001).

#### **2.4.5 Remplissage des trémies**

De nos jours, le remplissage de ces différents types de systèmes se fait de façon automatisée. En effet, des contrôleurs sont programmés pour activer un système de vis ou de pastilles et ainsi remplir les trémies. Les trémies se remplissent une par une jusqu'au moment où, un œil magique installé à la dernière trémie force l'arrêt du système. En engraissement, l'alimentation se fait à volonté pour s'assurer de maximiser le gain et la croissance des animaux (AQINAC, 2015). Ainsi, la programmation du système électronique est importante pour s'assurer qu'il n'y ait pas de manque dans les trémies.

#### **2.4.6 Système d'abreuvement**

Finalement, l'accès à l'eau, peu importe le type de gestion choisi, est un paramètre à considérer. En effet, l'eau est un des plus grands constituants du corps du porc. Elle permet le transport des nutriments dans le corps ainsi que des déchets corporels. Il est donc essentiel de s'assurer un accès en tout temps aux porcs. En matière de chiffre, un porc consomme de 4 à 12 litres par jour pendant la période de l'engraissement (Pouliot, 2006). Il existe deux systèmes d'approvisionnement en eau disponible en porcherie. Il s'agit des bols d'eau et des sucettes. Le tableau 8 présente les différentes données recueillies sur les deux systèmes pour les porcs à l'engrais.

Tableau 8. Nombre de points d'eau et débit des différents systèmes (adapté de Pouliot, 2006)

	Débit (L/min)	Nombre max (porcs)
Bol	1,5-3,0	18
Sucette	1,0-1,5	10

## 2.5 Matériaux de construction

Les matériaux de construction employés dans la construction de bâtiment sont séparés en plusieurs fonctionnalités : structure, isolation et revêtement. Une estimation de la structure sera effectuée pour le calcul provisoire de l'isolation du bâtiment. Les facteurs de résistance thermique sont nécessaires pour calculer les besoins de ventilation et de chauffage.

Les choix possibles de matériaux de structure pour le bâtiment sont le bois, l'acier et une combinaison des deux. Le bois est économique et facile à travailler lors de l'installation, mais il est aussi moins résistant que la structure en acier. Il est donc important de ne pas avoir un bâtiment trop large. Autrement, il faudra prévoir des colonnes de support à l'intérieur du bâtiment. Les poteaux à l'intérieur du bâtiment peuvent être encombrantes et peuvent limiter les options d'aménagement intérieur et de rénovation ultérieure du bâtiment. Il est donc judicieux penser à faire une partie de la structure en acier si le bâtiment est trop large ou trop haut. La structure mixte présente la meilleure option, en ayant la résistance de l'acier, mais en réduisant les coûts et le poids avec l'utilisation du bois. Pour rentabiliser une structure d'acier, le bâtiment doit avoir une largeur plus grande que 21 mètres et la hauteur maximale du mur d'acier est de 12 mètres alors que la hauteur maximale du bois est de 4,9 m (La Terre, 2018).

Pour l'isolation des bâtiments, les options sont variées et les combinaisons de matériaux possibles sont beaucoup trop nombreuses pour toutes les analyser. Par contre, certaines règles de base doivent être respectées. L'isolation permet de limiter la perte de chaleur du bâtiment, mais elle doit aussi permettre d'éviter la formation de condensation à l'intérieur du mur pour éviter les problèmes de pourriture et ainsi conserver l'efficacité isolante de tous les matériaux. Les bâtiments doivent aussi respecter des valeurs de résistance thermique minimales pour éviter d'avoir un système de ventilation et de chauffage surdimensionné et très énergivore (ASABE, 2017).

Tableau 9. Valeurs des résistances thermiques de références

Composantes	Valeur isolante agricole (Larouche, 2006) - m <sup>2</sup> K/W	Valeur isolante agricole (ASABE, 2017) - m <sup>2</sup> K/W
Murs de fondation	RSI : 1,2	X
Murs extérieurs	RSI : 3,5	RSI : 3,45
Plafond	RSI : 5,3	RSI : 5,88

Pour calculer la perte d'énergie de l'ensemble du bâtiment, il faut avoir les résistances thermiques ainsi que la surface occupée par les portes et les ventilateurs. Les dimensions et le positionnement des portes peuvent être prévus à l'avance, mais les ventilateurs dépendent en partie de la perte thermique du bâtiment, donc il faudra faire des itérations pour s'assurer que notre système est bien dimensionné.

## 2.6 Manutention des fumiers

Pour la conception du système de gestion des déjections, il existe deux possibilités. Tout d'abord, la gestion peut être effectuée sous forme liquide. Pour cela, les planchers des porcheries doivent être lattés. Ainsi, les déjections des porcs tombent directement dans un dalot sous le plancher (Boucharde, 2007). La profondeur des dalots en production porcine varie de 0,5 à 1,2 m. De l'autre côté, la largeur du dalot varie de 0,3 à 3,6 mètres (CSST, 2000). Les déjections sont par la suite traînées à l'aide d'une grappe mécanique jusqu'à une pré-fosse pour par la suite être pompées dans la fosse principale à l'extérieur du bâtiment. Autrement, la gestion peut se faire sous forme solide. Cette méthode consiste à mettre une litière de paille ou de copeaux de bois sous les animaux pour absorber l'humidité des déjections. Toutefois, cette méthode requiert plus de travail puisque l'évacuation du fumier est prise en charge soit à l'aide de dalot et d'un écurier dans la porcherie ou bien à l'aide d'une machinerie, comme un tracteur, par exemple. Dans les années 80, c'était la gestion solide qui était la plus présente au Québec. Toutefois, la situation est bien différente aujourd'hui. En effet, la gestion liquide représente 97 % de la production porcine (Godbout et al, 2010). Ce changement a permis aux producteurs d'augmenter la densité animale dans les

bâtiments, de diminuer les coûts en main-d’œuvre et de finalement améliorer le coût de production. C’est également pour faciliter la gestion des déjections et pour un meilleur contrôle sanitaire que ce type de gestion s’est développé rapidement (Godbout et al, 2010).

Peu importe le mode de gestion, il faudra également concevoir une fosse permettant d’entreposer ces déjections. En effet, la structure d’entreposage doit en premier lieu permettre d’entreposer les déjections des deux bâtiments sur une période où les épandages sont impossibles. Les règles de bonnes pratiques recommandent un ouvrage d’entreposage pouvant accueillir 250 jours de déjections (MAPAQ, 2007). D’autres sources stipulent que pour éviter de surdimensionner l’ouvrage de stockage, le dimensionnement se fera plutôt en considérant la période de temps où les épandages sont impossibles (Fournel, 2018d). Au Québec, les épandages sont interdits du 1<sup>er</sup> octobre au 1<sup>er</sup> avril, à moins d’avoir une dérogation (MAPAQ, 2015). De plus, il faudra considérer les précipitations qui s’ajouteront au volume de lisier si la structure n’est pas recouverte. Pour évaluer l’impact des précipitations, l’IRDA a publié le Guide technique — Accumulation d’eau dans les installations d’entreposage des fumiers à ciel ouvert (2010). Ce document donne les précipitations minimales et maximales pour différentes villes du Québec pour une durée d’entreposage de 7, 8 ou 9 mois. Ces données sont disponibles pour des périodes de récurrence de 10 ans et de 25 ans. Puisque la ferme est située en Montérégie, la ville la plus près dans le document est Farnham.

*Tableau 10. Accumulation d’eau dans la fosse pour différente durée pour la ville de Farnham (adapté de Godbout et al, 2014)*

Récurrence	7 mois		8 mois		9 mois	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
10 ans	635	688	631	664	646	679
25 ans	708	769	683	810	704	783

En plus des précipitations, il est important de considérer les volumes complémentaires pour le dimensionnement des structures d’entreposage. Ces volumes à considérer incluent notamment les eaux usées et de lavage ainsi que la litière lorsque celle-ci est utilisée (Godbout et al, 2017). Dans

l'application de la formule présente dans le document « Calcul du volume de fumier pour le dimensionnement des structures d'entreposage », le volume de litière ajouté doit être multiplié par un facteur d'ajustement qui tient compte du type de litière utilisé. Par ailleurs, le volume des eaux usées est de son côté multiplié par un facteur de sécurité variant de 1,1 à 1,3. Ce facteur est choisi par le concepteur et il permet de considérer des imprévus comme des dégâts d'eau ou des lavages non prévus (Godbout et al, 2017). Autrement, un autre facteur de sécurité doit être utilisé lors de la conception d'un ouvrage de stockage. Il s'agit d'un facteur de sécurité pour le débordement et il est utilisé sous forme de hauteur d'eau. Ce facteur dépend du type de construction (Fournel, 2018d). En effet, différentes valeurs sont disponibles selon le type d'ouvrage de stockage qui est utilisé. Pour les structures en béton, ces valeurs varient de 100 à 200 mm. Toutefois, ces valeurs sont augmentées lorsque les déjections sont entreposées directement sur le sol (Fournel, 2018d).

Pour la gestion liquide, la construction habituelle est une fosse ronde en béton armé. Une fosse à lisier doit être suffisamment solide et étanche. La combinaison du béton et de l'acier d'armature permet à la fosse d'être suffisamment solide lorsque celle-ci est remplie et que le lisier pousse sur ces parois. Généralement, les fosses rondes de ce type ont des hauteurs variant de 3,05 à 4,9 m (10 à 16 pieds) et un diamètre pouvant atteindre jusqu'à 48,75 m (160 pieds). Il s'agit du modèle le plus utilisé au niveau de la gestion liquide (MAAARO, 2010). Avec ce type de gestion, le facteur de sécurité à utiliser pour le débordement est de 200 mm (Fournel, 2018d). Au niveau de la gestion solide, la fosse est habituellement conçue en béton directement au niveau du sol. Très souvent, il s'agit d'une dalle sur le sol avec des murets sur le contour (MAPAQ, 2018). Pour ce type d'ouvrage de stockage, le facteur de sécurité pour le débordement est de 100 mm. Lorsque le fumier est sorti du bâtiment soit par un nettoyeur ou par la machinerie, le fumier s'accumule en tas dans cette fosse. Il s'agit d'un mode commun en production laitière.

## **2.7 Armature d'un réservoir circulaire pour le lisier**

Il est important de différencier la fosse d'entreposage des lisiers à tout autre ouvrage de béton. En effet, dans le cas général des calculs de béton, on considère que celui-ci fissure à 15 % de sa résistance totale et que cela ne nuit pas à l'intégrité structurale de l'ouvrage. Cependant, dans le cas d'un réservoir à lisier, il n'est pas souhaitable que les murs se fissurent et permettent au liquide de s'échapper dans l'environnement. La résistance du béton sera donc considérée à 10 % de sa valeur maximale (PCA, 1993).

Aussi, il est important de connaître le type de chargement appliqué sur la fosse. Il existe plusieurs types de chargement possible. Le premier se décrit comme une force uniformément répartie le long de la paroi intérieure du mur et appliquée par le liquide. Un deuxième chargement possible est du même type, mais représente un chargement qui agit sur la surface extérieure du mur par le poids du sol. Un troisième type de chargement possible est le chargement en fonction de la hauteur. Ainsi, une force maximale est appliquée à la base du mur par le liquide et la pression jusqu'à devenir nul au sommet du mur. Le quatrième cas est similaire, mais, comme dans le cas du deuxième chargement, la force est appliquée par le sol sur la surface externe du réservoir. La figure 6 illustre les cas de chargement possibles. Il est aussi possible d'avoir une combinaison des types de chargement dépendamment de l'utilité et de l'emplacement du réservoir.

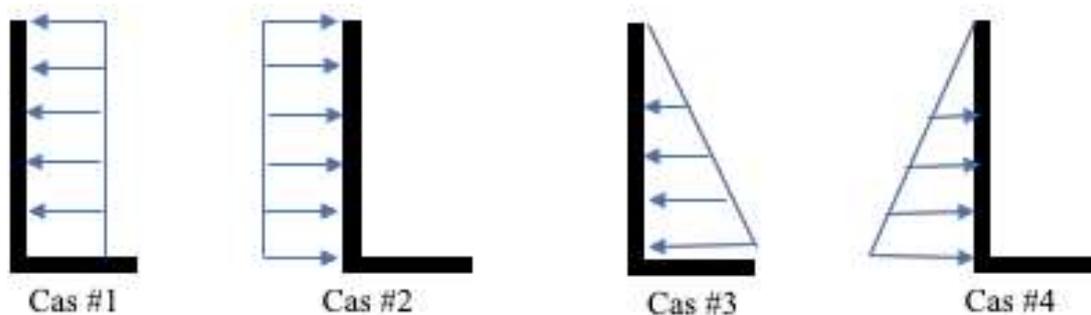


Figure 6. Cas de chargement possible pour un réservoir circulaire (adapté de PCA, 1993)

Pour commencer le dimensionnement, *Portland Cement Association (PCA)* utilise une méthodologie simple et efficace. Ainsi, la première étape est de vérifier si l'épaisseur du mur du réservoir est suffisante pour supporter les charges. Pour ce faire, il faut dans un premier temps, identifier le type de chargement appliqué sur les murs. Par la suite, le chargement résultant est calculé en utilisant le produit d'un coefficient de service, de la force latérale pondérée ( $w$ ) et d'un facteur de 1,7. Pour le coefficient de service, dans le cas des calculs de chargement, un facteur de 1,65 est utilisé pour les pressions directes, ce qui donne comme formule finale suivante :  $w_u = \text{coeff. de service} \times 1,7 \times w$ .

Il faut ensuite ramener cette valeur en fonction des dimensions de la fosse, donc de multiplier la valeur trouvée ( $w_u$ ) par la hauteur ( $H$ ) et le rayon de la fosse ( $R$ ), ce qui donne comme équation :  $w_uHR$  ou  $w_uHD/2$ , où  $D$  est le diamètre.

Étant donné que la base du mur est considérée comme fixe, car elle est solidaire de la base, un facteur de pondération doit être appliqué sur la valeur de  $w_uHR$  obtenue. Ce facteur de pondération se retrouve dans la table A-1 du document de PCA et en annexe de ce document (figure 22). Il pondère ainsi la valeur maximale trouvée en fonction de la hauteur permettant de calculer l'emplacement où la somme des forces est maximale. C'est avec cette valeur de forces maximale qu'il est possible par la suite de faire les calculs permettant de déterminer l'acier d'armature nécessaire verticalement. La formule suivante permet en effet de calculer l'acier d'armature minimal pour résister à la force maximale, soit  $A_s = T/\phi f_y$ . Connaissant  $A_s$ , soit l'acier d'armature minimale, il sera possible de sélectionner les barres à utiliser et l'espacement entre celles-ci.

Finalement, il faut valider si le béton fissurera avec l'acier d'armature et l'épaisseur choisie. Pour ce faire, l'aire de béton en compression est sélectionnée, soit l'aire sous l'emplacement où agit la force maximale. Ensuite, la formule suivante peut être utilisée et il sera possible de comparer cette valeur à la valeur de la compression du béton maximal permise, soit 10 % de la valeur théorique. La valeur calculée doit être inférieure à la valeur de 10 %.

$$F'_c = cE_sA_s + T_{max}/(A_c + nA_s)$$

La deuxième étape de cette méthodologie est d'obtenir les moments présents dans le mur du réservoir. La valeur de chargement appliqué sur le mur doit être calculé. La même formule ( $w_u = \text{coeff. de service} \times 1,7 \times w$ ) est utilisée, cette fois, avec un coefficient de service 1,3 pour tout ce qui est des flexions. Il faut encore une fois, ramener cette valeur selon les dimensions en utilisant un rapport de  $w_uH^3$ . La table A-2 du document de PCA et en annexe de ce document (figure 25) permet de trouver le facteur de pondération selon la hauteur. Des moments positifs et négatifs peuvent alors apparaître avec des facteurs négatifs. Ceci a pour effet d'obliger l'ajout d'armature du côté intérieur du mur, soit avec un espacement de recouvrement de 2 pouces, pour un moment négatif et du côté de la face extérieure du mur pour un moment positif. Procédant similairement, il est possible d'obtenir l'acier d'armature minimal requis pour éviter toute flexion par la formule suivante :  $A_s = \omega bdf' c/f_y$ , où  $\omega$  provient la table A-20 du document de PCA et en annexe de ce document et de la relation  $M_u/(\phi f' c b d^2)$ .

Finalement, la troisième et dernière étape pour la conception de l'acier d'armature proposée est de vérifier le cisaillement présent dans le mur. Ainsi, la résistance au cisaillement est donnée par la

formule suivante :  $\phi V_b = 2 f' c^{1/2} b_w d$ . Cependant, cette valeur n'est que la valeur théorique du cisaillement du béton. Pour obtenir la valeur réellement appliquée en cisaillement, le chargement est calculé à nouveau ( $w_u = \text{coeff. de service} \times 1,7 \times w$ ). Le coefficient de service est égal à un si la valeur réellement appliquée est plus petite que la valeur théorique ou 1,3 dans les autres cas. La valeur de chargement sera multipliée par la hauteur au carré ( $w_u H^2$ ) et multipliée une fois de plus par le plus grand facteur de la table A-12 du document de PCA et en annexe de ce document (figure 28). Il sera ainsi possible de vérifier si cette dernière valeur est inférieure à la valeur théorique, ce qui signifie que la conception est suffisamment résistante au cisaillement.

### **3 Devis d'ingénierie**

#### **3.1 Dimensionnement et aménagement du bâtiment**

En considérant que la superficie requise par porc est de  $1,25 \text{ m}^2$  ( $13,5 \text{ pi}^2$ ) et qu'il faut loger 750 porcs par bâtiment, la superficie totale de chaque bâtiment doit être de  $940 \text{ m}^2$  ( $10\,125 \text{ pi}^2$ ). Puisqu'il a été décidé de construire le bâtiment en bois, la capacité de ce matériel doit être respectée. En effet, il est difficile de construire des bâtiments en bois ayant plus de 13,7 m de large (45 pi) (Fournel, 2018f). Pour cette raison, il a été décidé de construire deux bâtiments de 68,6 m x 13,7 m ( $225 \text{ pi} \times 45 \text{ pi}$ ).

Pour la zone d'élevage des porcs, c'est à dire, les aires de repos, d'alimentation et d'expédition, il a été noté qu'une gestion de groupe avec balance trieuse amène de grands avantages par rapport à la gestion de plus petit groupe (en parcs conventionnels). En effet, les conditions de travail sont améliorées pour le producteur. Ils peuvent toutefois choisir entre deux types d'aménagement. Il a été décidé d'opter pour l'aménagement avec cafétéria. Ce type d'aménagement fut choisi puisqu'il nécessite moins de travail pour le producteur. En effet, dans le système à fonds de parcs ouverts, le producteur doit constamment guider les animaux vers la balance lorsque ceux-ci sont près du poids d'abattage. Dans l'aménagement avec cafétéria, les animaux vont eux-mêmes vers la balance pour avoir accès à la zone d'alimentation. Ainsi, le producteur n'a pas à guider les animaux vers la balance. De plus, le lavage du bâtiment avec cafétéria est beaucoup plus facile que le système avec les fonds de parcs ouverts. En effet, il y a beaucoup moins de séparations dans le cas du premier système. Cet aménagement permettra donc une économie de temps pour le lavage.

Par ailleurs, il a aussi été question d'un nombre maximal de porcs par balance trieuse. Selon les manufacturiers, une balance trieuse peut servir avec des groupes de 500 à 700 porcs. Toutefois, les chercheurs recommandent plutôt un nombre de 500 à 600 porcs par balance. Par contre, il faut clarifier que le nombre de porcs par porcherie est une contrainte du client. Considérant que les porcheries recevront 750 porcs chacune, il sera nécessaire de disposer de deux balances trieuses par bâtiment afin de ne pas limiter l'accès à l'aire d'alimentation ou de repos et de respecter la capacité du système. Pour chaque bâtiment, deux aménagements de type cafétéria regroupant chacun 375 porcs sont conçus, même si l'efficacité d'utilisation des balances trieuses ne sera pas à son optimum.

## 3.2 Contrôle de l'ambiance

### 3.2.1 Ventilation

Les deux bâtiments seront conçus avec un système de ventilation transversale. Le tableau 11 montre que le système est beaucoup plus commun dans la Montérégie, il est donc probable que les producteurs soient plus familiers avec ce système. L'abondance du système assurera ainsi un meilleur accès aux matériaux et aux ressources nécessaires à l'installation et à l'entretien du système.

Tableau 11. Système de ventilation par région du Québec (Godbout et al., 2010)

Région administrative	Cheptel porcin (nombre d'unités animales)	Nombre d'unités animales porcines (%)				
		Systèmes de ventilation <sup>1</sup>				
		Naturelle <sup>2</sup>	Extraction basse	Mécanique		Autres
conventionnelle	avec cheminée haute					
Bas-Saint-Laurent	10 945	3,3	8,5	86,4	1,1	0,7
Saguenay – Lac-Saint-Jean	1 705	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Québec	21 526	5,6	4,7	89,7	0,0	0,0
Mauricie – Bois-Francs	90 307	9,3	7,0	82,0	1,6	0,1
Estrie	29 593	11,8	3,1	84,7	0,0	0,5
Outaouais	414	14,1	0,0	78,1	6,8	1,0
Abitibi-Témiscamingue	378	5,2	0,0	89,6	0,0	5,2
Chaudière-Appalaches	155 104	4,9	4,1	89,9	0,7	0,5
Lanaudière	46 117	8,2	1,8	84,5	5,4	0,0
Laurentides	4 190	8,2	0,0	89,1	2,5	0,2
Montérégie	204 405	7,1	1,8	90,3	0,6	0,2
<b>Au Québec</b>	<b>564 683</b>	<b>7,0</b>	<b>3,5</b>	<b>88,0</b>	<b>1,1</b>	<b>0,3</b>

<sup>(1)</sup> Dans le cas d'un bâtiment avec plus d'un système de ventilation, les unités animales porcines ont été divisées par le nombre de systèmes de ce bâtiment.

<sup>(2)</sup> La ventilation naturelle est un système passif qui utilise la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment ou encore la vitesse des vents, pour aérer le bâtiment.

Tiré de Gilbert et al. (1998).

### 3.2.2 Équations

La première étape pour faire le bilan de ventilation est de calculer totale produite dans le bâtiment. Celle-ci se subdivise en trois catégories, soit la chaleur sensible, latente et totale produite par les animaux. Pour installer un système de ventilation adapté aux besoins de la porcherie, il est important de déterminer les besoins pour les extrêmes de production, soit quand les porcs sont petits et lorsque les porcs sont au poids final.

Par la suite, un bilan de ventilation pour les différents stades de croissance des porcs est calculé à l'aide des équations de bilan de ventilation. Toutefois, il n'y a pas que la température à surveiller lors de la conception d'un système de ventilation. En effet, un bilan d'humidité et un bilan des gaz doivent aussi être complétés. La liste des équations utilisées est présentée en annexe 1 de ce document.

Les résultats des calculs de ventilation illustrent les besoins de ventilation pour les températures de la région et pour les stades extrêmes de production. En effet, les calculs sont faits lorsque le porc pèse 25 kg et lorsqu'il pèse 120 kg. Le système de production étant tout plein tout vide, il est estimé que les individus grossissent au même rythme et le design prendra en compte que les animaux peuvent avoir les poids mentionnés à tout moment dans l'année. Ainsi, les débits de ventilation requis sont évalués pour chaque écart de température possible dans la région pour l'année complète. Le système de ventilation devra donc fournir 1967 L/s dans la période où la demande de ventilation sera la plus faible et 82 192 L/s lorsque la demande sera la plus élevée.

### Résultats partiels

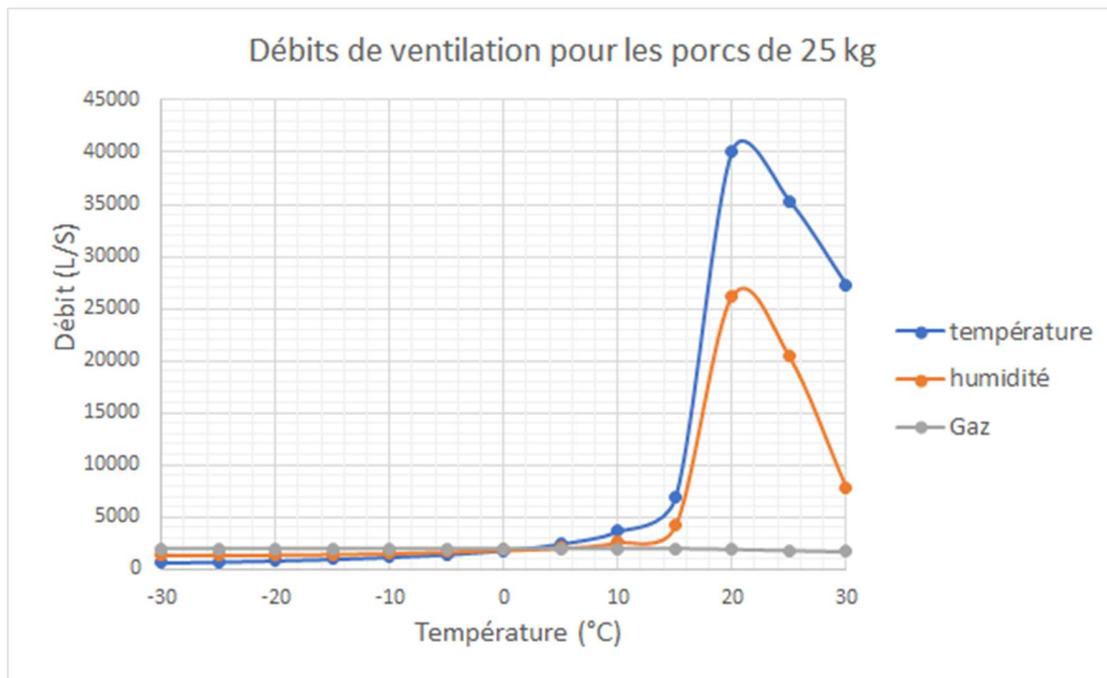


Figure 7. Besoin en ventilation en fonction de la température extérieure avec des porcs à 25 kg

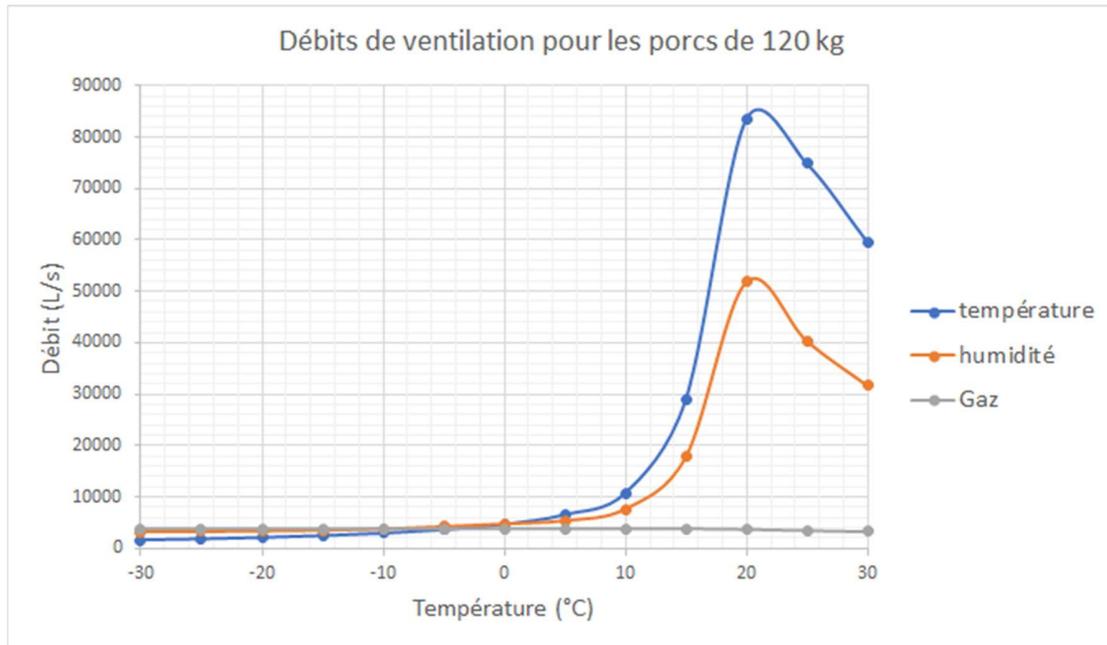


Figure 8. Besoin en ventilation en fonction de la température extérieure avec des porcs à 120 kg

Tel qu'il fut mentionné précédemment, des itérations sont nécessaires pour dimensionner adéquatement le système de ventilation. Actuellement, l'entreprise possède déjà un bâtiment en parcs conventionnels pouvant accueillir 750 porcs. C'est à partir de la conception actuelle de ce bâtiment que la première itération fut effectuée. Le système de ventilation choisi pour les nouveaux bâtiments inclut 28 ventilateurs avec les dimensions montrées dans le tableau 12.

Tableau 12. Choix des ventilateurs

Nombre	Capacité @0.10" SP	Diamètre - cm (Pouces)	# modèle
	L/s - (CFM) par ventilateur		
6	1205 (2553)	40,6 (16)	VFA16P3
6	1537 (3256)	50,8 (20)	VFA20PC
10	2551 (5405)	61,0 (24)	VFA24PC
6	4251 (9008)	91,4 (36)	VFA36NC

Adapté de J&D Manufacturing Tornado

Tableau 13. Débit des stades de ventilation nécessaires en fonction du poids de l'animal

25 kg		120 kg	
Stade de ventilation	Débit (L/s)	Stade de ventilation	Débit (L/s)
1	1905	1	4110
2	3809	2	8219
3	6476	3	13973
4	11428	4	24658
5	19046	5	41096
6	38092	6	82192

Les ventilateurs présentés dans le tableau 12 peuvent produire un total de 67 465 L/s ce qui représente 82 % du besoin maximum du bâtiment. Le besoin maximum n'est pas comblé pour plusieurs raisons. Premièrement, le besoin maximum de 82 192 L/s se produit en situation de canicule lorsque les porcs pèsent 120 kg et cette situation est rare. La rareté de la situation ne justifie pas l'augmentation de la dimension, du nombre et du coût des ventilateurs que le besoin maximum requiert. Deuxièmement, le diamètre maximum des ventilateurs est de 36 pouces et la majorité des ventilateurs sont de 24 pouces de diamètre pour éviter de réduire l'intégrité structurale du mur. Cette limitation implique l'installation de peu de ventilateur à grand débit ce qui rend l'écart de besoin de ventilation causer par l'augmentation de température difficile à atteindre. Pour atteindre un débit de 82 192 L/s, il faudrait installer 6 ventilateurs de 24 pouces supplémentaires. Il est important de prendre en considération que ces ventilateurs pourraient être utilisés quelques journées par an et seulement si le stade de finition coïncide avec la période de canicule. Pour installer les ventilateurs de 36 pouces, il faut couper un montant de bois ce qui enlève l'effet structural du montant. Les montants sont espacés de 24 pouces, ce qui explique que la majorité des ventilateurs soit de taille égale et inférieure à l'espacement. Le nombre important de ventilateurs de petite taille permet d'avoir une meilleure répartition des ventilateurs sur la surface du mur. La répartition des ventilateurs permet une ventilation mieux répartie dans le bâtiment ce qui est crucial due à la longueur du bâtiment. Il est donc plus facile d'uniformiser la température et la qualité d'air du bâtiment. Les températures estivales extrêmes sont à surveiller surtout lorsque le porc est près de son poids final. Lors des périodes de canicule, le producteur doit

rester vigilant pour assurer le confort de l'animal en les arrosant ou en installant des ventilateurs de recirculation. Le fabricant choisi offre les ventilateurs dans les dimensions appropriées et l'information pertinente pour faire le choix de ventilateurs adéquats. Par exemple, la capacité des ventilateurs est donnée avec une différence de pression qui reflète mieux la réalité que la majorité des fabricants avec les capacités données à 0 SP.

La figure suivante représente la progression de la ventilation que le système peut offrir. Il est important de constater que le minimum du graphique est légèrement supérieur au besoin minimum. En effet, il est très difficile de ventiler uniformément un long bâtiment sans dépasser le besoin en période froide. Il est donc probable que la perte de chaleur réelle durant les périodes à faible demande de ventilation soit légèrement supérieure à celle calculer avec les valeurs théoriques.

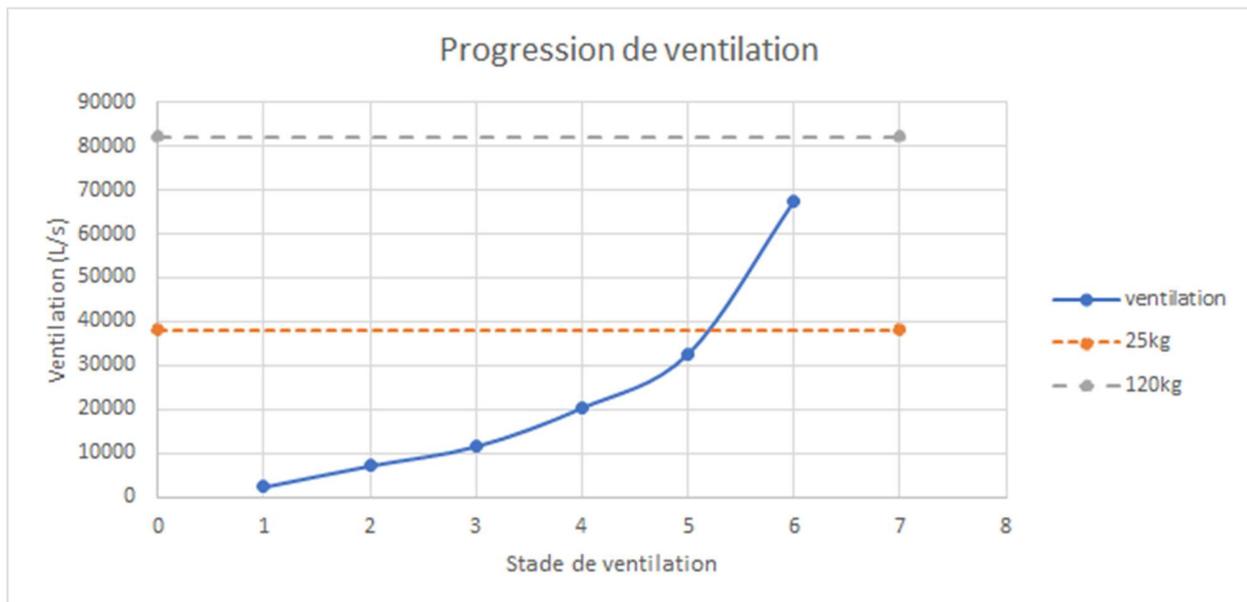


Figure 9. Progression du débit de ventilation du système

### 3.2.3 Système de chauffage

Le système de chauffage devra être en mesure de fournir un maximum de 91 kW (Figures 10 et 11) pour assurer le maintien de la température à l'intérieur du bâtiment dans la période la plus froide. Puisque l'entreprise utilise présentement des systèmes de chauffage au propane dans ses autres bâtiments et qu'il s'agit d'une source d'énergie bon marché et efficace, ce système de

chauffage sera utilisé pour les nouveaux bâtiments. Pour les calculs, il est considéré que le propane a une densité liquide à pression atmosphérique de  $580 \text{ kg/m}^3$  et une chaleur de combustion de  $49\,700 \text{ kJ/kg}$  (Gaz Propane Rainville, 2018).

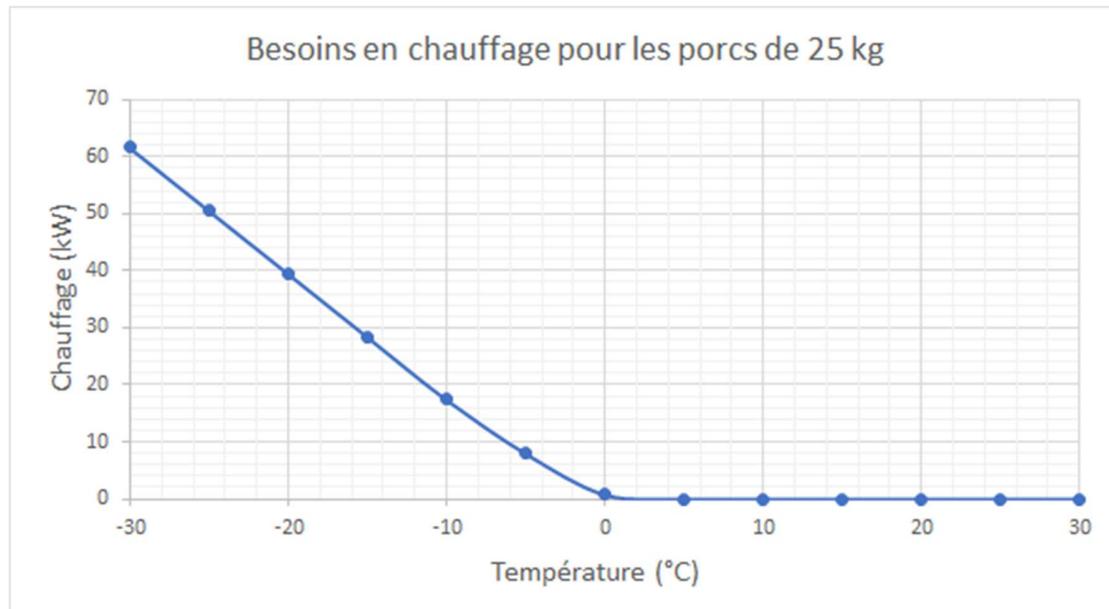


Figure 10. Besoin de chauffage en fonction de la température extérieure à 25 kg

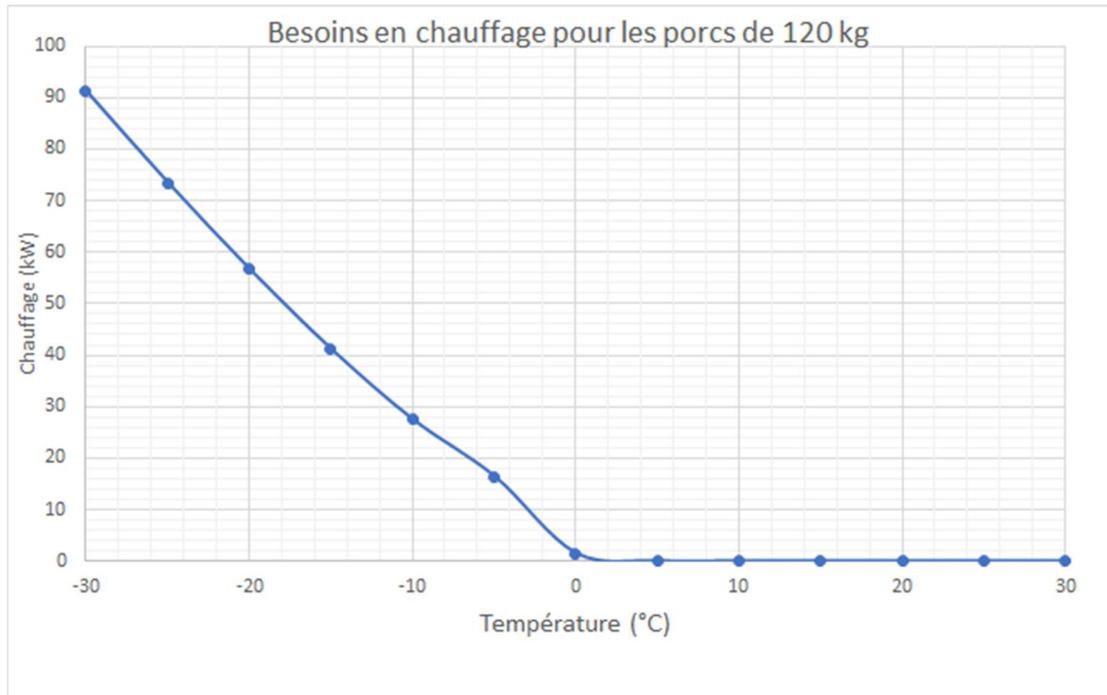


Figure 11. Besoin de chauffage en fonction de la température extérieure à 120 kg

À des fins de calcul, il faut noter qu'une puissance de 1 kW équivaut à 3412,14 BTU/h. Puisque les systèmes de chauffage sont généralement conçus aux États-Unis, cette unité est couramment utilisée. Puisque la demande maximale en chauffage est de 91 kW, la puissance maximale requise sera de 310 505 BTU/h. Notre choix d'équipement s'est arrêté sur le modèle Guardian 100 de la compagnie L.B. White. Cet appareil de chauffage offre une puissance variant de 50 000 à 100 000 BTU/h (Figure 32, annexe 6). En effet, une valve manuelle peut être ajustée pour contrôler le taux de sortie de la chaleur entre 50 et 100%. Il faut cependant noter qu'habituellement, le rendement de ces appareils n'est pas de 100%. Le rendement pour les appareils de chauffage au propane serait de l'ordre de 80 à 90% (Éco habitation, 2019). Dans le cas présent, il faudrait installer 4 appareils répartis de façon égale dans le bâtiment. Chaque appareil fournira une puissance de 77 600 BTU/h pour répondre à la demande maximale. En considérant un rendement de 80%, la puissance maximale pouvant être obtenue est de 80 000 BTU/h, ce qui permet de répondre aux besoins actuels. De plus, il est important d'installer plusieurs appareils ayant de plus petite puissance que seulement un seul système offrant une puissance plus grande. Tout comme pour les ventilateurs, l'augmentation du nombre d'appareils permettra à la chaleur d'être mieux répartie à travers le bâtiment et les variations de température et de conditions seront évitées de cette façon. L'appareil

L.B. White Guardian 100 est d'une longueur de 29,5'', d'une largeur de 14,3'' et d'une hauteur de 18,0''.

Au niveau du positionnement, le système de chauffage sera installé du côté des entrées d'air, juste après le couloir. Il faut positionner les appareils dans la zone des animaux pour éviter que les travailleurs soient dérangés par le système qui est accroché au plafond. De plus, la position recommandée pour les équipements de chauffage est près des entrées d'air pour éviter d'envoyer la chaleur directement dans les ventilateurs et pour réchauffer l'air froid qui provient des entrées d'air.



*Figure 12. Appareil de chauffage L.B. White Guardian en pouponnière*

### **3.2.4 Éclairage**

Tel que mentionné dans la revue de littérature, les recommandations en éclairage sont de 50 Lux, soit 50 Lumens par mètre carré. Il faut rappeler que nos bâtiments ont une superficie de 68,6 m par 13,7 m (225 pi x 45 pi). Au total, la superficie est de 940 m<sup>2</sup>. Ainsi, les besoins en luminosité totale sont de 47 000 lumens pour chaque bâtiment. Pour répondre aux besoins, il sera choisi d'installer des tubes de type T8 au DEL. Ce type d'éclairage a été choisi puisque les systèmes au DEL ont une durée de vie supérieure aux systèmes halogènes. De plus, la consommation en énergie des systèmes au DEL est inférieure aux systèmes halogènes. Sur le site de Home Depot, il y a un

modèle de tube T8 au DEL qui pourrait répondre à nos besoins. À titre comparatif, la consommation d'un tube standard est de 32 W alors qu'elle est seulement de 17 W pour un tube DEL. Ce type de tube offre une luminosité de 2800 lumens pour chaque pièce. Généralement, ces tubes sont installés deux par deux. Ainsi, en arrondissant à la hausse, il faudrait installer 18 tubes dans le bâtiment, soit 9 systèmes de 2 tubes chaque. Ceci permettrait d'avoir un éclairage total dans chaque bâtiment de 50 400 lumens. Il y a cependant un autre point à considérer qui appuie le choix d'un système au DEL. Entre chaque lot, les bâtiments sont vidés puis nettoyés à l'aide d'une laveuse à pression. Ainsi, il peut y avoir des éclaboussures d'eau sur les systèmes d'éclairage. Les systèmes d'éclairage avec des tubes sont généralement recouverts d'un plastique protecteur pour éviter le contact entre l'eau et les lumières. Comme les lampes au DEL ne dégagent pas de chaleur, il n'y a pas de risque de bris du plastique causé par la différence de température entre le plastique chaud et l'eau froide. De plus, ce plastique est facilement lavable.

### **3.3 Système d'alimentation et manutention des aliments**

La première étape dans le choix du dimensionnement du système de manutention des aliments est de sélectionner le type de gestion préconisé par le producteur. En effet, puisque le système cafétéria fut choisi, le choix d'une gestion à trémie sèche a été fait puisque c'est le système recommandé avec l'aménagement choisi. Tel que mentionné précédemment dans la revue de littérature, il est important de disposer des points d'eau à l'extérieur de la zone d'alimentation pour éviter que les porcs restent trop longtemps dans la zone d'alimentation et retournent dans la zone de repos. Le choix de trémie humide ne favoriserait ainsi pas le retour des porcs dans la zone de repos. De plus, selon les recherches, il semblerait que l'utilisation de trémies sèches favorise une économie de moulée pour le producteur.

Ainsi, comme présenté précédemment, le nombre de porcs par place est de 3 à 4. Ceci permet donc de déterminer qu'il faudra :

$$375 \text{ porcs/zones} \div 3,5 \text{ porcs par places} = \mathbf{107 \text{ places /zones}}$$

De plus, il ne faut pas oublier que chaque place doit avoir une largeur de 331 mm pour permettre aux porcs d'avoir suffisamment d'espace pour être épaule à épaule. Lorsque la liste des trémies disponible sur le marché est examinée, il est possible de remarquer que celles-ci sont souvent offertes en 1, 2 ou 4 places en simple ou double accès. Étant donné le nombre de places nécessaire,

il faudra considérer un système en double accès avec 4 places par côté, ce qui équivaut à une trémie de 8 places. La trémie à 8 places est plus avantageuse, car elle nécessite moins d'installation pour y acheminer les aliments. Il faudra 14 trémies de ce type pour convenir au besoin du nombre de places. Malgré les nombreux types de systèmes d'alimentation possible, le type d'aménagement sous forme de cafétéria nécessite l'utilisation d'un système d'alimentation avec des trémies sèches et des bols d'eaux séparés. Les recherches effectuées dans le domaine montrent qu'il est préférable de séparer la zone d'alimentation et la zone d'abreuvement pour favoriser le passage des porcs dans la balance trieuse. Ainsi, seule la quantité de trémies et la répartition de celles-ci doivent être déterminées. Afin de limiter les agressions, le nombre de porcs est le principal facteur pour le calcul du nombre de trémies nécessaire. Un choix de trémies multiples, c'est-à-dire avec plusieurs places par trémies, avait été recommandé à l'automne et donnait comme résultat un nombre de 14 trémies à 8 places. Considérant le choix du producteur pour un type de trémie spécifique (CANARM AgSystems, Wet/dry feeders), il est possible de déterminer la superficie occupée par les trémies ainsi que différentes dimensions importantes pour la conception des plans. Ainsi, les dimensions importantes pour ce type de mangeoire sont 152,4 cm de long, 56 cm de large et 104,14 cm de haut. Les lignes d'alimentation sont généralement situées près du plafond et il n'y a donc pas de contrainte pour approvisionner les trémies. La seule contrainte sera de positionner les trémies de façon à ce qu'une ligne d'alimentation soit relativement droite en évitant le plus possible les courbures. Avec ces informations en main, il est possible de commencer à réaliser les plans d'aménagement intérieur en considérant les contraintes énumérées précédemment.



*Figure 13. CANARM AgSystems, Wet/dry feeders*

Autrement, il est également crucial de considérer l'installation d'un silo à moulée pour pouvoir nourrir les porcs. Pour ce faire, il est intéressant d'évaluer la consommation quotidienne des porcs. En ce sens, il est possible d'utiliser le taux de conversion alimentaire proposé par (Schiettekatte, 2004) de 2,75 kg de moulée par kg de gain pour les porcs en engraissement. Tel que spécifié plus tôt, les porcs entrent à un poids de 25 kg et sortent du bâtiment à un poids de 120 kg. Ainsi, le gain net est de 95 kg de poids vif. La quantité de moulée consommée par porc est de 261 kg. En considérant une durée d'élevage moyenne de 15 semaines (première sortie à 13 semaines et dernière à 18 semaines), la consommation journalière moyenne de l'élevage serait d'environ 2,5 kg/jour/tête. Cela signifie que la consommation totale par jour dans un bâtiment de 750 places peut atteindre 1875 kg par jour, soit près de deux tonnes métriques. En considérant ces données, la décision fut d'installer un silo pouvant contenir environ 10 tonnes métriques pour chaque bâtiment. En considérant la consommation moyenne, le silo rempli à pleine capacité pourrait nourrir les animaux pour une période d'un peu plus de 5 jours. Puisque l'entreprise fabrique sa propre moulée, cette capacité permet de laisser suffisamment de temps à la fabrication et permet également de garder une certaine marge de manœuvre dans le cas où la moulange serait défectueuse. En observant le guide de sélection de la compagnie GSI (Figure 31, annexe 6), la sélection la plus appropriée est d'installer un silo de 2,13 mètres (7 pieds) de diamètre ayant 4 sections, qui possède une capacité totale de 9,70 tonnes métriques. Sa hauteur totale est de 6,56 mètres. Autrement,

l'angle du cône est de 67°. Pour assurer le bon écoulement de la moulée, l'angle du cône doit généralement être de 60° ou plus, ce qui est le cas présentement.

Pour alimenter les trémies dans le bâtiment, il a été décidé d'installer un système avec des vis sans fin. Il est possible d'installer ce système puisque les trémies sont orientées en ligne dans le bâtiment (Figure 17). Ainsi, une vis de 3 pouces partant du silo se rendra à l'intérieur du bâtiment pour alimenter 3 différentes lignes d'alimentation. La dimension de ces vis est habituellement de 2 pouces de diamètre. Tel que mentionné précédemment, l'utilisation d'œil magique, de contrôleur et de moteur électrique permet au système de fonctionner automatiquement pour s'assurer du remplissage des trémies.

Pour l'accès à l'eau, un système pouvant fournir un débit quotidien maximal de 4500 litres doit être installé pour 375 porcs. Il faudra aussi, disposer d'un certain nombre d'accès à l'eau. Cependant, il faut faire un choix sur le système qui sera utilisé. En effet, selon les expériences, il semble que le système à bol d'eau offre le moins de gaspillage. De plus, il faudra disposer d'un moins grand nombre de ce type d'abreuvoir. Selon le tableau 8, il faudra 21 bols et ils devront être disposés uniformément dans la zone de repos.

$$375 \text{ porcs/zones} \div 18 \text{ bols/porcs} = \mathbf{21 \text{ bols/zones}}$$

### **3.4 Manutention et entreposage des déjections animales**

#### **3.4.1 Fosse à lisier**

Tel que mentionné dans les sections précédentes, le type d'aménagement choisi pour notre bâtiment s'adapte mieux avec une gestion des déjections animales sous forme liquide. De plus, c'est le type de gestion le plus employé en production porcine. Il faut donc dimensionner une fosse ronde pouvant accueillir les déjections animales. Puisque les planchers seront complètement lattés, il faudra installer des grattes sur toute la largeur du bâtiment. Généralement, les lattes sont appuyées sur des supports en béton. Ces supports font la longueur du bâtiment. La profondeur de dalot choisie est de 0,75 m. De plus, le dimensionnement de la fosse prend en considération la durée où l'épandage des déjections animales est impossible. Cependant, les conditions météorologiques et les conditions aux champs permettent rarement l'épandage des déjections animales à partir du 1<sup>er</sup> avril. Pour des conditions pratiques, une période d'épandage qui débute à

partir du 1<sup>er</sup> mai est considérée. Ainsi, la durée d'entreposage nécessaire est du 1<sup>er</sup> octobre au 1<sup>er</sup> mai. Cette période représente 7 mois ou 212 jours.

Tout d'abord, il faut considérer les déjections animales produites directement par les animaux. Dans le porc en engraissement, les quantités produites par animal varient selon le stade de croissance (Tableau 18, annexe 2). Avec ces valeurs, la production de fumier peut être calculée pour un cheptel de 1500 porcs (Tableau 19, annexe 2).

Pour calculer le volume à gérer, il faut considérer que le bâtiment fonctionne en mode TPTV. Il y a donc certains moments où le bâtiment ne loge pas d'animaux durant l'année. Dans cette optique, la ferme fonctionne actuellement à un rythme de 2,75 lots par an. De plus, les animaux ne passent pas nécessairement le même nombre de temps dans chaque strate de poids. En effet, pour un poids d'entrée de 25 kg et un poids de sortie de 120 kg, le GMQ moyen en engraissement pour la période est évalué à 925 g/j (CDPQ, 2008). Le nombre de jours pour chaque stade de croissance peut être calculé en fonction du nombre de lot annuel (Tableau 20, annexe 2). Avec les durées calculées, le volume réel de fumier produit est maintenant calculé pour une période d'entreposage de 212 jours (Tableau 21, annexe 2). Les durées calculées incluent les périodes où le bâtiment est vide.

Une fois la quantité de fumier produite calculée, le volume complémentaire doit être calculé. Tel que mentionné précédemment, le volume complémentaire inclut seulement le volume d'eaux usées puisque la gestion liquide du fumier ne nécessite pas l'application de litière. Encore une fois, le volume d'eaux usées dépend du stade de croissance de l'animal (Tableau 22, annexe 2).

Le volume complémentaire est calculé avec l'équation suivante :

$$V_c = (f_{aj} \times VL) + (f_s \times V_{eu}) \quad \text{Équation 1}$$

Où :

$V_c$  : Volume complémentaire (m<sup>3</sup>)

$f_{aj}$  : Facteur selon le type de litière

$VL$  : Volume de litière utilisé

$f_s$  : Facteur de sécurité

$V_{eu}$  : Volume d'eaux usées (m<sup>3</sup>)

Dans notre cas, le volume de litière est nul ( $V_L = 0$ ). De plus, un facteur de sécurité de 1,2 est jugé suffisant (Fournel, 2018d). Le volume complémentaire est donc calculé pour la période de 212 jours (Tableau 23, annexe 2).

Ainsi, il est possible de découvrir que la somme du volume de fumier et du volume complémentaire représente un total de 1478,8 m<sup>3</sup>.

Pour la suite, l'ajout du facteur de sécurité pour le débordement ainsi que l'épaisseur de précipitations est ajouté au calcul de volume. Pour le facteur de sécurité de débordement, une valeur de 200 mm est utilisée puisque la structure d'entreposage est une fosse ronde en béton armé. Pour l'épaisseur de précipitations, le tableau 10 disponible dans la revue de littérature indique les valeurs recherchées. Pour une période de 7 mois à Farnham, l'épaisseur de précipitation moyenne pour une récurrence de 25 ans est de 739 mm. L'épaisseur totale à considérer est donc de 0,939 m.

Pour dimensionner la fosse, une contrainte était imposée. En effet, l'entreprise possède actuellement l'équipement nécessaire pour vider une fosse de 16 pieds de profondeur. Une fosse d'une profondeur de 16 pieds soit 4,8766 m est donc désignée pour répondre aux contraintes. De plus, un aspect important pour l'épaisseur des murs des fosses rondes en béton armé est qu'elle se situe généralement autour de 8 pouces, soit 0,2032m. Le diamètre nécessaire de la fosse peut donc être calculé avec la formule suivante :

$$V = \frac{\pi(D - 2e)^2}{4}(H - P)$$

*Équation 2*

Où :

V : volume de fumier et volume complémentaire à gérer (m<sup>3</sup>)

D : Diamètre extérieur de la fosse (m)

e : épaisseur du mur de béton (m)

H : hauteur de la fosse (m)

P : Précipitation + Facteur de sécurité de débordement (m)

En isolant la valeur D dans l'équation précédente, le diamètre extérieur de la fosse doit être d'au moins 22,274 mètres (73 pieds).

### **3.4.2 Plancher**

Tel qu'il fut mentionné dans les sections précédentes, le logement des porcs en grand groupe nécessite l'utilisation d'un plancher latté à 100 %. Puisque les lattes doivent être appuyées sur un support qui est généralement en béton, il est important de bien analyser leur installation pour s'assurer de pouvoir installer un système de grattes de façon simple et efficace. La compagnie Latte Drummond, une division de Patio Drummond, offre des lattes de 1,2 m à 2,4 m (48'' à 96'') d'une largeur de 0,6 m (24'') et d'une épaisseur de 9,5 cm (3''  $\frac{3}{4}$ ). Toutefois, il est également possible pour eux de concevoir des lattes de dimensions plus grandes sur mesure. Cependant, l'épaisseur de latte pour les longueurs de 2,4 m (96'') et plus doit être de 15 cm (6''). Dans le cas présent, le bâtiment à construire possède une largeur extérieure de 13,7 m (45'). En soustrayant l'épaisseur des deux murs de 20 cm (8''), la dimension intérieure à couvrir en largeur est de 524''. Pour couvrir la largeur du bâtiment, il est donc possible d'installer 5 lattes de 2,4 m (96'') ainsi qu'une latte de 1,2 m (48''). La longueur totale de couverture est de 528'', mais il est possible de d'effectuer de légers ajustements pour couvrir la longueur de 524'' disponible. La latte de 1,2 m (48'') peut être installée du côté du passage puisqu'il y aura moins de lisier à éliminer. En longueur, le bâtiment fait un total de 68,6 m (225'). Encore une fois, le retrait de l'épaisseur des murs de 20 cm (8'') laisse une longueur totale intérieure de 68,2 m (2684''). En considérant une largeur de latte de 0,6 m (24''), il faudra un peu plus de 111 lattes pour couvrir la longueur du bâtiment. La distance manquante peut être compensée par l'installation de lattes individuelles de 13 cm (5'') de largeur.

### **3.4.3 Nettoyage et évacuation**

Tout comme pour les lattes, il est possible d'installer des grattes avec des dimensions sur mesure. Compte tenu de la disposition des lattes telles que mentionnées dans la section précédente, il faudra installer 6 grattes qui permettront de nettoyer entre les supports de lattes. En fonction de supports de lattes de 20 cm (8''), il faudra une gratte de 97 cm (38''), 4 grattes de 224 cm (88'') ainsi qu'une gratte de 218 cm (86''). Le passage de la gratte transportera le lisier vers une pré-fosse située à l'extrémité du bâtiment. Cette pré-fosse possède une profondeur de 168 cm (5'6'') pour une largeur effective de 13,3 m (43'8''). Idéalement, cette pré-fosse doit pouvoir entreposer les déjections pour une période de 1 semaine (CSST, 2000) au cas où il y aurait un bris dans l'équipement. Selon Brassard et al. (2012), la production de déjection maximale du porc est lorsqu'il pèse de 85 à 120 kg. Cette production est de 6,03 L/tête/jour. Par ailleurs, le volume d'eau

complémentaire à gérer est de 0,7 L/tête/jour. En considérant une période de 7 jours pour 750 têtes par bâtiment, le volume à pouvoir entreposer est de 35,33 m<sup>3</sup>. La longueur de la pré-fosse en fonction des données précédentes doit donc être de 158 cm (62,2’’). Pour maintenir une marge de sécurité et pour faciliter la conception, une valeur de 183 cm (72’’) sera privilégiée. Une fois le lisier acheminé dans la pré-fosse par les grattes, le transfert vers la fosse sera initié à l’aide d’une pompe à liquide qui sera actionnée par un employé.

### **3.5 Armature**

Bien que les calculs sur le dimensionnement de la fosse soient appropriés, ils ne prennent en compte que le volume du fumier à gérer et des dimensions standards de fosses. Une étude plus poussée sur l’épaisseur choisie du mur est donc réalisée ainsi que les calculs permettant de déterminer la quantité et l’emplacement de l’acier d’armature.

Pour la conception de la fosse, la première considération à prendre est les forces appliquées sur les parois de celle-ci. Dans un premier temps, certaines hypothèses sont émises afin de simplifier les calculs. Ainsi, il est présumé que la fosse est entièrement hors du sol. Ceci implique qu’aucune charge horizontale provenant du sol n’est appliquée sur les murets. De plus, une masse volumique pour le fumier de 10 kN/m<sup>3</sup> (Jofriet et al., 1995) est prise en considération lors des calculs, une résistance de béton de 30 MPa, une résistance de l’acier de 400 MPa et un module d’élasticité de l’acier de 210 GPa. Finalement, le document de référence étant américain, les calculs ont donc été réalisés à l’aide des unités impériales américaines pour conserver les coefficients donnés dans les tables de référence.

Ainsi, comme vues précédemment, les hypothèses permettent de simplifier le type de chargement à un chargement du type #3. Pour travailler avec les tables du PCA, il est essentiel d’utilisé un facteur  $H^2/D_e$ . La valeur obtenue suite au calcul est de 5,25, mais, étant donné que cette valeur n’est pas dans les tables, il est approximé que la valeur est de 6 qui se récupère dans les tables. La valeur maximale obtenue avant pondération est de 5 038 kN/m<sup>2</sup> (105 218 lb/pi<sup>2</sup>). Ainsi, suite à la pondération, une valeur de 2 586 kN/m<sup>2</sup> (54 000 lb/pi<sup>2</sup>) est trouvée comme valeur maximale et se situe à 1,95 m (6,4 pieds) du sol. Le détail des calculs est fourni en annexe 3 (figure 23). Ceci permet de calculer l’acier minimum requis verticalement. Cette valeur correspond à 2 200 mm<sup>2</sup>/m (1,04 po<sup>2</sup>/pi). Cependant, comme le graphique de l’annexe 3 (figure 24) le démontre, il est possible de diminuer la dimension des barres d’acier sélectionné à partir d’une hauteur de 3,66 m (12 pieds)

pour économiser. Il est donc question de 2 barres numéro 20 espacés au 305 mm (10 pouces) centre à centre pour les 3,66 premiers mètres (12 pieds) de hauteur et de deux barres numéro 15 pour la hauteur restante. L'espacement est le même, peu importe le type de barres pour faciliter le travail des ferrailleurs.

L'étape suivante était de vérifier si le béton fissurait pour l'épaisseur de mur choisi. Étant donné que la force maximale agit à une hauteur de 1,95 m (6,4 pieds), une aire de béton en compression de  $5\,285\text{ cm}^2$  ( $819,2\text{ po}^2$ ) est calculée. En utilisant la formule permettant de déterminer la force de compression dans le béton [ $f_c = cE_sA_s + T_{\max}/(A_c + nA_s)$ ], un  $f_c = 245,5\text{ kPa}$  ( $35,61\text{ psi}$ ) est obtenu. Lorsque cette valeur est comparée à la valeur de compression permise dans le béton avant fissuration ( $10\%f_c = 3000\text{ kPa}$  [ $435\text{ psi}$ ]), il est constaté que le béton ne fissurera pas dans les conditions de chargement présenté précédemment. Il n'y aura donc pas d'écoulement dans le sol provenant de la fosse.

Ensuite, la conception de l'acier d'armature horizontale pour éviter toute flexion a été réalisée. Pour commencer, le moment maximal a été localisé à la base du mur, soit de  $-14,7\text{ kNm}$  ( $-10\,872\text{ pi-lb}$ ). Le signe négatif indique qu'il faudra renforcer l'intérieur du mur alors qu'un signe positif indique un moment à l'extérieur du mur. Pour l'extérieur, le moment maximal trouvé est de  $4\text{ kNm}$  ( $2965\text{ pi-lb}$ ). Il faut, par la suite, utiliser la relation  $M_u/(\phi f_c b d^2)$  pour chercher dans les tables du document. Ainsi, pour l'intérieur du mur, la valeur est de 0,092 ce qui équivaut à un  $\omega$  de 0,087 selon la table A-20 du document de PBA (figure 25, annexe 3). Il est alors possible de déterminer l'acier minimum requis pour l'intérieur du mur, soit de  $278\text{ mm}^2$  ( $0,431\text{ po}^2$ ). Le même raisonnement est suivi pour l'extérieur du mur et les résultats suivants sont obtenus :  $\omega = 0,0246$  et  $A_s = 79\text{ mm}^2$  ( $0,122\text{ po}^2$ ). Ainsi, une barre numéro 15 espacée au 200 mm (8 pouces) centre à centre sera nécessaire pour la partie intérieure et une barre numéro 10 espacée au 250 mm (10 pouces) centre à centre pour la partie extérieure du mur.

Finalement, lors de la vérification de la résistance au cisaillement du béton, on obtient une valeur de  $24,5\text{ kN}$  ( $5507\text{ lb}$ ) pour le cisaillement réel et une valeur de  $34,9\text{ kN}$  ( $7836\text{ lb}$ ) pour le cisaillement pondéré permis. Comme la valeur réelle est plus petite que la valeur permise, il est déduit ainsi que l'ouvrage de stockage est suffisamment résistant au cisaillement selon sa conception actuelle.

### 3.6 Matériaux

Les matériaux isolants pour chaque partie du bâtiment sont disponibles aux tableaux 14, 15 et 16. Ils ont été choisis selon les recommandations de Fournel (2018e) et Larouche (2006). Puisque les recommandations du Service de plans Canada commencent à dater (1982), certaines recommandations ne seront pas retenues. Les matériaux utilisés dans les coupes de mur permettent de respecter les normes présentées dans le tableau 9. De plus, aucune condensation est observée pour le plafond ou le mur (Figures 29 et 30, annexe 4). La température du bulbe sec ( $T_s$ ) doit être supérieure à la température de rosée ( $T_r$ ) et la pression de vapeur ( $P_v$ ) doit être inférieure à la pression de vapeur à saturation ( $P_{vs}$ ) pour éviter la condensation.

Tableau 14. Résistance thermique des matériaux du mur extérieur

Matériaux	R (m <sup>2</sup> K/W)	G (Pa m <sup>2</sup> s/ng)
Film d'air intérieur	0,238	-
Revêtement intérieur PVC 3mm	0,019	0,96
Lattes de bois 19x64 @405mm c à c	0,410	0,0001083
« Plywood » 12 mm	0,110	0,07422
Pare-vapeur 0,15 mm	-	0,294
Montant de bois 38 x 140 @610mm et laine minérale 140mm	3,236	0,000826
« asphalt insulating » 19 mm	0,389	0,0053
Pare-intempérie tyvek	0,011	-
Lattes de bois 19x64 @405mm c à c	0,460	-
Tôle d'acier	-	-
Film extérieur	0,029	-
<b>Résistance totale</b>	<b>4,902</b>	<b>1,3346</b>

Tableau 15. Résistance thermique des matériaux du mur de fondation

Matériaux	R (m <sup>2</sup> K/W)	G (Pa m <sup>2</sup> s/ng)
Film intérieur	0,121	-
Béton 203 mm	0,102	0,0426
Isolant de polystyrène de 38 mm	1,148	0,02166
Revêtement intérieur PVC 3mm	0.019	0,96
Film extérieur	0,029	-
<b>Résistance totale</b>	<b>1,418</b>	<b>1,024</b>

Tableau 16. Résistance thermique des matériaux du plafond

Matériaux	R (m <sup>2</sup> K/W)	G (Pa m <sup>2</sup> s/ng)
Film intérieur	0,193	-
Revêtement intérieur PVC 3mm	0,019	0,96
« Plywood » 12 mm	0,110	0,0469
Latte de bois 19x64 @405mm c. à. c	0,150	0,0001083
Pare-vapeur 0,15 mm	-	0,294
Laine de cellulose soufflée 300 mm	6,828	0,00177
Latte de toit 38x89 @405 mm c. à. c	0,330	0,0002166
Tôle d'acier et film extérieur	0,029	-
<b>Résistance totale</b>	<b>7,659</b>	<b>1,303</b>

### Portes

Pour les deux bâtiments, une porte à chaque extrémité de ceux-ci sera installée. Ainsi, il y aura deux portes pour chaque bâtiment pour faciliter l'accès pour le travail ou pour des réparations, par exemple. De plus, des portes sans vitre seront installées. Avec la poussière et l'humidité dans les

porcherie, les vitres se salissent rapidement et deviennent difficilement utiles. Il faudra donc installer des portes sans vitres ayant un coefficient  $R = 1,11 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ .

### Ventilateurs

Tel que mentionné dans la revue de littérature, une résistance  $R = 0,88 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  est considéré pour les surfaces occupées par les ventilateurs. Au final, il y aura un total de 28 ventilateurs qui seront nécessaires dans le bâtiment pour répondre aux besoins déterminés précédemment.

### 3.7 Plans

Les plans illustrés dans les prochaines sections représentent la fusion et la combinaison de tous les calculs et des équipements qui furent choisis pour dimensionner le bâtiment. Ces plans ont été conçus grâce à l'utilisation du logiciel Autocad.

#### 3.7.1 Vue de face

La vue de face permet d'observer le bâtiment sur le côté de sa largeur. À la droite, il est possible d'y voir la configuration du système d'entrée de l'air. Quant aux ventilateurs, ils sont installés sur l'autre mur. La vue actuelle illustre seulement un ventilateur de 36 pouces, puisqu'il s'agit de la dimension du plus gros ventilateur installé sur le bâtiment. La porte du devant permet d'accéder à l'intérieur du bâtiment, tout près du parc-hôpital.

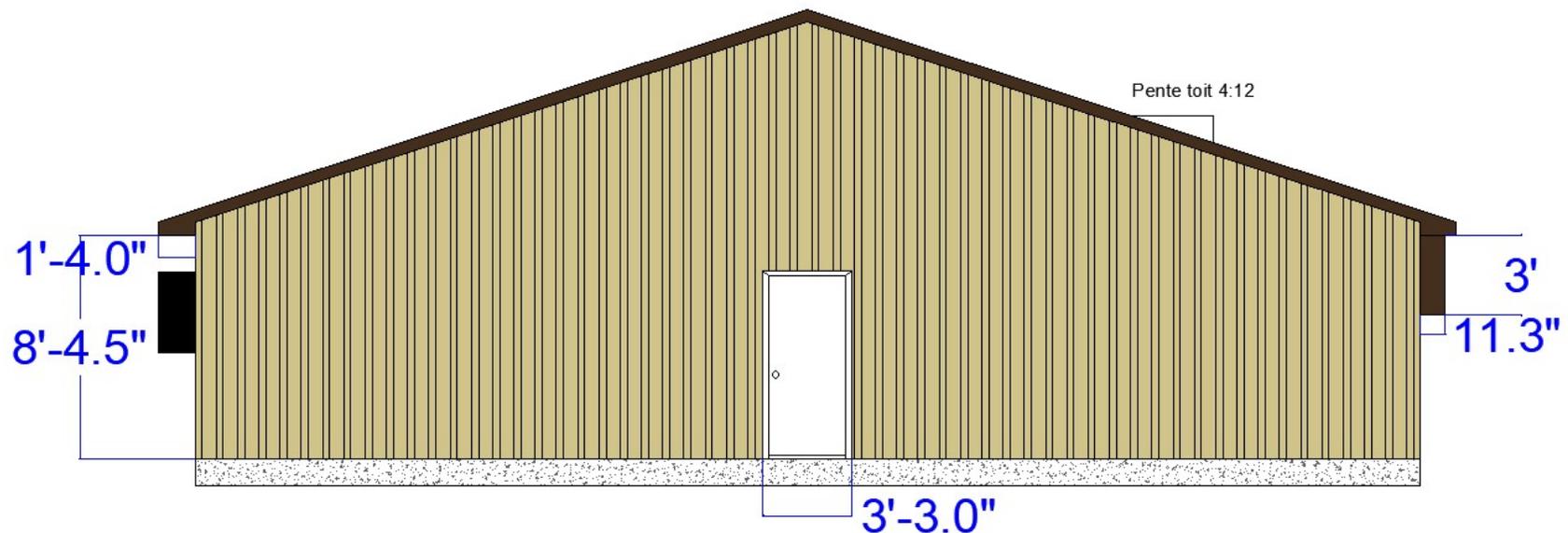
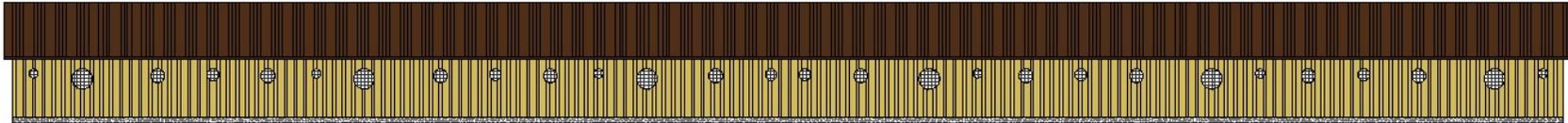


Figure 14. Vue de face du bâtiment - Direction Ouest

### 3.7.2 Vue de gauche

La vue de gauche du bâtiment permet de visualiser le positionnement des ventilateurs. Tel qu'il fut mentionné précédemment, il y a un total de 28 ventilateurs sur tout le bâtiment. Il est possible d'observer 6 ventilateurs de 40,6 cm (16 po), 6 ventilateurs de 50,8 cm (20 po), 10 ventilateurs de 61,0 cm (24 po) et 6 ventilateurs de 91,4 cm (36 po). Le dessus de tous les ventilateurs est aligné à 2,13 mètres (7 pi) du bas du mur. Cette hauteur permet d'éviter qu'il y ait un trop gros courant d'air sur les animaux. Autrement, le positionnement des ventilateurs fut effectué dans le but d'évacuer l'air du bâtiment de façon uniforme et ce, peu importe la température.



*Figure 15. Vue de côté du bâtiment - Direction Nord*

### 3.7.3 Vue de droite

Dans la vue de droite du bâtiment, il est possible d'observer l'entrée d'air pour la ventilation du bâtiment. Dans cette configuration, l'air longe le mur du bâtiment pour monter en direction du plafond par l'ouverture. La largeur de cette ouverture est de 28,6 cm (11,25 po). La longueur de l'ouverture est de 0,91 mètre (3 pi) à partir du dessous de la corniche du bâtiment.



*Figure 16. Vue de côté du bâtiment - Direction Sud*

### 3.7.4 Vue de dessus

Le plan de la vue de dessus est plus complexe. En effet, c'est dans celui-ci qu'on retrouve la séparation des différentes zones du bâtiment. Il illustre également le positionnement des ventilateurs, des trémies d'alimentation et des bols à l'eau. Tout d'abord, il est important de noter que l'entrée de l'air se fait dans la direction sud, alors que la sortie est du côté nord. Il a été choisi d'installer le corridor du côté sud pour éviter que les animaux soient en contact direct avec l'entrée d'air. L'espace du corridor permettra à l'air de se réchauffer avant de frapper les animaux. Lorsque les animaux sont plus jeunes, ils peuvent être sensibles aux courants d'air d'où l'intérêt d'installer les ventilateurs du côté nord. C'est également pour cette raison que les parcs-hôpitaux ont été positionnés de cette façon, soit plus loin des entrées d'air que des sorties. Actuellement, les parcs-hôpitaux sont d'une superficie de 8,9 m<sup>2</sup>. En considérant une aire d'élevage recommandée de 1,05 m<sup>2</sup> par tête, les parcs-hôpitaux peuvent loger jusqu'à 8 porcs chacun.

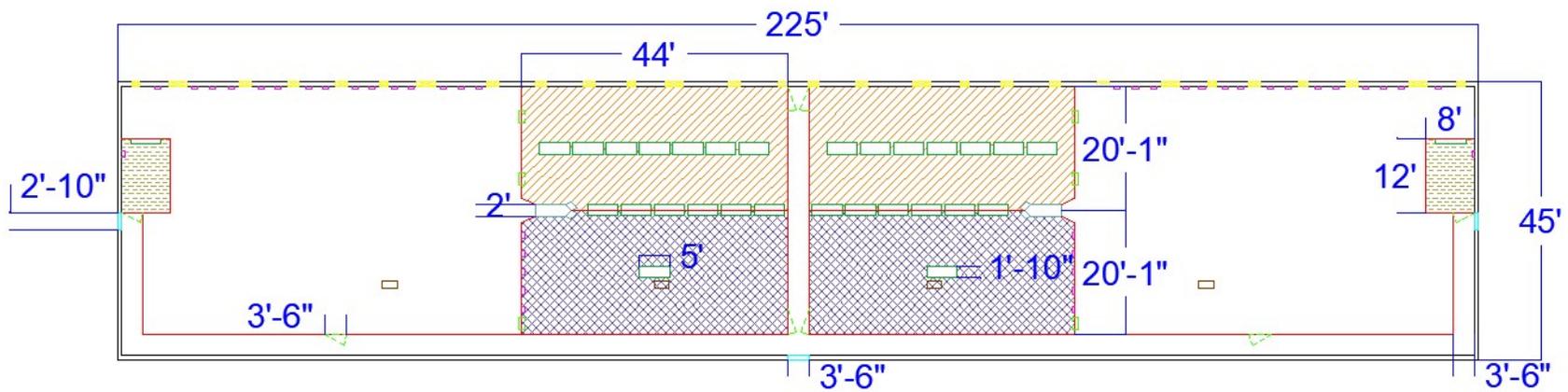
Par ailleurs, la zone d'alimentation est localisée par la section hachurée en orange. Dans cette section il fallait s'assurer de respecter une superficie minimale par tête de 0,2 m<sup>2</sup>, ce qui représente une section de 75 m<sup>2</sup> par zone de 375 porcs. En excluant l'espace de la balance trieuse, la zone d'alimentation a une aire de 81,1 m<sup>2</sup>, ce qui représente une zone de 0,216 m<sup>2</sup> par porc ce qui respecte la norme minimale établie. Pour des considérations pratiques et pour des considérations de conception, la zone de conception fut désigner de la même façon, même s'il n'y avait pas de superficie minimale à respecter. Autrement, la zone restante entre les zones d'expédition, d'alimentation, les parcs-hôpitaux et les couloirs est la zone de repos. Encore une fois, il n'y a pas d'aire minimale ou recommandée à respecter. Actuellement, la conception du bâtiment fait en sorte que l'aire de repos est de 231,9 m<sup>2</sup>. Malgré qu'il n'y ait pas de précision quant au dimensionnement de ces zones, il faut tout de même s'assurer que les porcs aient accès à une superficie d'élevage de 1,05 m<sup>2</sup> par tête. Tel que mentionné précédemment, la superficie d'élevage inclut la zone de repos, la zone d'alimentation, la zone d'expédition ainsi que les parcs-hôpitaux. Pour une zone de 375 porcs, la superficie actuelle est de 403,0 m<sup>2</sup>. Ainsi, l'aire d'élevage représente une superficie de 1,075 m<sup>2</sup> par tête ce qui respecte la norme minimale.

Pour le système d'abreuvement, les calculs avaient déterminé qu'il fallait installer un total de 21 bols à l'eau par zone de 375 porcs, puisque chaque bol pouvait abreuver 18 porcs. Ces bols ne devaient pas être installés dans la zone d'alimentation pour forcer les animaux à revenir dans la zone de repos et faciliter le passage dans la balance trieuse. Ainsi, 15 bols furent installés le long

du mur contenant les ventilateurs, de façon relativement uniforme sur la longueur du bâtiment. Il faut aussi installer un bol dans les parcs-hôpitaux. Autrement, il fallait aussi considérer l'installation de bols dans la zone d'expédition. En ce sens, les porcs passant par la balance trieuse et ayant le poids pour l'expédition peuvent passer quelques jours dans cette section avant de quitter le bâtiment. La section doit avoir les abreuvoirs pour pouvoir subvenir aux besoins durant cette période. Considérant que l'entreprise expédie des porcs pendant une période d'environ 5 semaines, une expédition moyenne de 75 porcs hebdomadairement est considérée. Ainsi, un total de 5 bols sera installé dans la zone d'expédition, ce qui permet d'abreuver jusqu'à 90 porcs.

Au niveau du système d'alimentation, les calculs avaient démontré qu'il était nécessaire d'installer 14 trémies offrant chacune 8 places. Les besoins étaient de 3,5 porcs par place. Ainsi, un arrondissement supérieur recommande d'installer des trémies offrant 4 places de chaque côté. Dans la zone d'alimentation, un total de 7 trémies furent installées. Il faut également installer des trémies entre la zone d'expédition et la zone d'alimentation. Encore une fois, les porcs dans la zone d'expédition peuvent devoir manger durant quelques jours avant l'expédition. De plus, cette zone est également ouverte en début de lot pour acclimater les animaux au bâtiment et au passage dans la balance trieuse. Un total de 6 trémies furent installées directement à la jonction des deux zones. Autrement, une autre trémie fut installée dans la zone d'expédition. Au total, les porcs dans la zone d'alimentation ont accès à 80 places, ce qui permet théoriquement de nourrir jusqu'à 280 porcs. La zone d'expédition offre quant à elle un total de 32 places pour nourrir les animaux, ce qui fournit jusqu'à 112 têtes. Évidemment, une trémie fut installée dans le parc pour les animaux malades. Cependant, cette trémie est une trémie simple de 4 places seulement puisqu'elle est appuyée directement sur le mur du parc.

Pour ce qui est des corridors, leur largeur est de 1,07 mètre (42 po). Cette largeur permet aux travailleurs de circuler facilement. C'est également le cas pour les animaux, qui peuvent même se retourner sans problème. Pour faciliter les déplacements, les portes des différentes zones de logement des animaux sont également de 1,07 mètre (42 po) de large. Au total, il y a trois portes d'accès pour le bâtiment. La première est située au sud, en plein centre du bâtiment. Les deux autres sont situées aux extrémités est et ouest, encore une fois au centre du mur. Pour terminer, les balances trieuses sont localisées au centre de la zone de repos. Ce positionnement fait en sorte que les balances sont accessibles pour tous les animaux facilitant la répartition des animaux dans les zones d'expédition et d'alimentation.



- Zone d'expédition
- Zone d'alimentation
- Zone hôpital

Figure 17. Vue de l'intérieur du bâtiment par le dessus

### **3.7.5 Coupe transversale**

Le plan de la coupe transversale permet de mieux visualiser l'intérieur du bâtiment sur le sens de la largeur. En considérant l'apport du mur de fondation, la hauteur totale disponible dans le bâtiment est de 2,86 mètres (9 pi 4,5 po). Autrement, ce plan permet de mieux visualiser l'installation des lattes ainsi que le positionnement des grattes pour les déjections animales. Tel que mentionné dans la section sur la manutention des déjections, il y a un total de 6 grattes dans le bâtiment. Le dalot est d'une hauteur libre de 0,61 mètre (2 pi) sous les lattes. Ce plan permet également de visualiser la position de la pré-fosse, située complètement à l'est du bâtiment. La hauteur libre de la pré-fosse est de 1,68 mètre (5 pi 6 po) pour une largeur totale de 13,31 mètres (43 pi 8 po). Cette pré-fosse s'étend sur les derniers 1,83 mètre (72 po) à l'extrémité du bâtiment. Du côté gauche, il est encore possible d'observer la présence d'un ventilateur de 91,4 cm (36 po). Dans ce cas, le plan illustre qu'il sera important d'y ajouter des montants de 38 mm x 140 mm pour renforcer le mur dû à la présence du ventilateur. À la droite, il y aura un panneau de ventilation isolé de 40,6 cm (16 po) pour contrôler l'entrée d'air dans le bâtiment. Ces panneaux sont généralement contrôlés automatiquement selon la température désirée à l'intérieur du bâtiment. L'important est que le panneau puisse bien se fermer lorsque les températures sont froides, et que son ouverture soit maximale lors des périodes plus chaudes comme les canicules. Par ailleurs, il est intéressant de noter que la largeur hors-toit à l'extérieur des corniches est de 14,53 mètres (47 pi 8 po) et que la largeur de design de 13,72 mètres (45 pi) est mesurée de l'extérieur des murs de fondation.

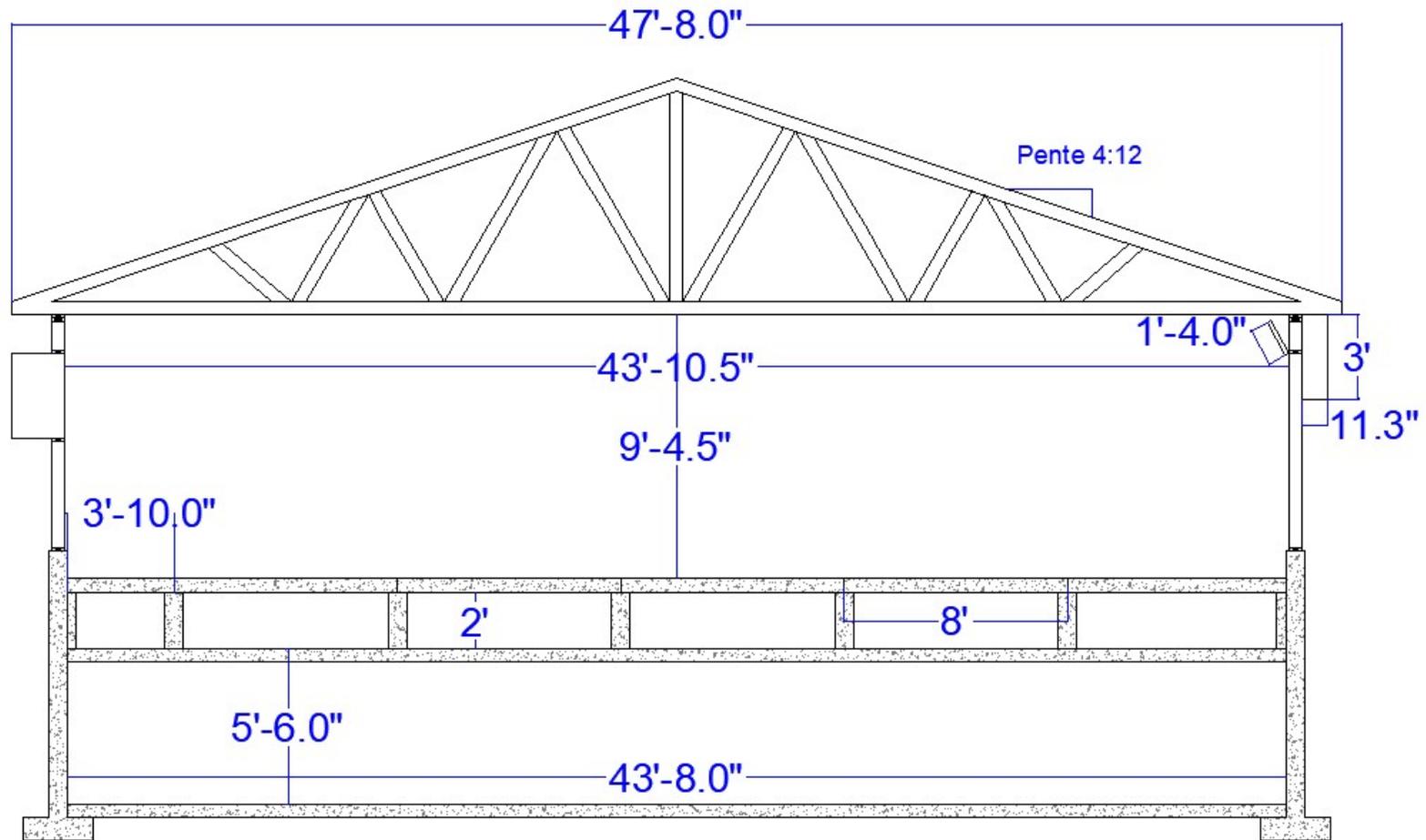


Figure 18. Coupe transversale du bâtiment

### 3.7.6 Coupe de mur

La coupe de mur permet d'identifier les différentes composantes présentes dans les murs de refend, dans les murs de fondation ainsi que dans le plafond. Ce sont les mêmes matériaux qui furent présentés dans la section sur le choix des matériaux.

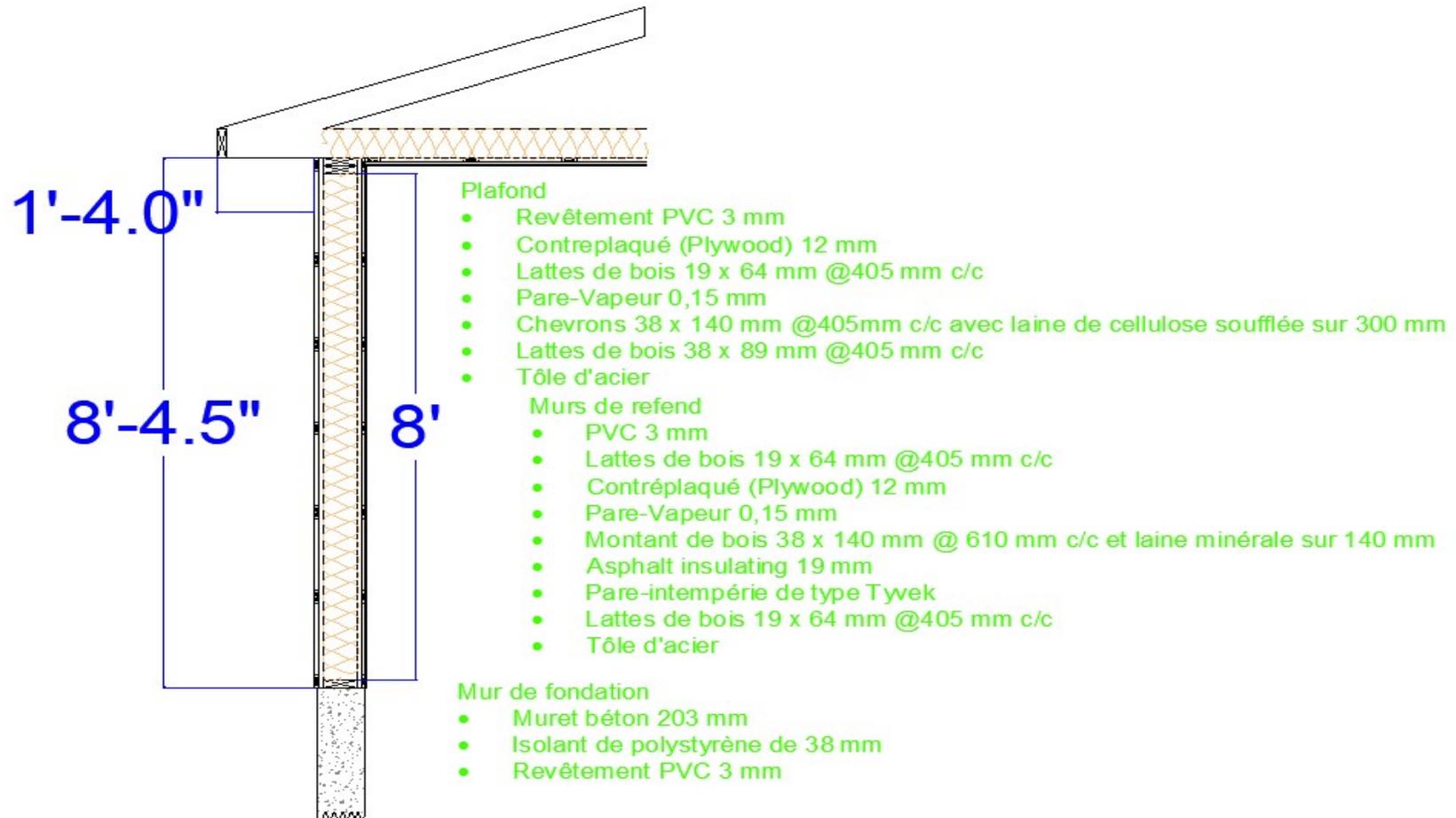


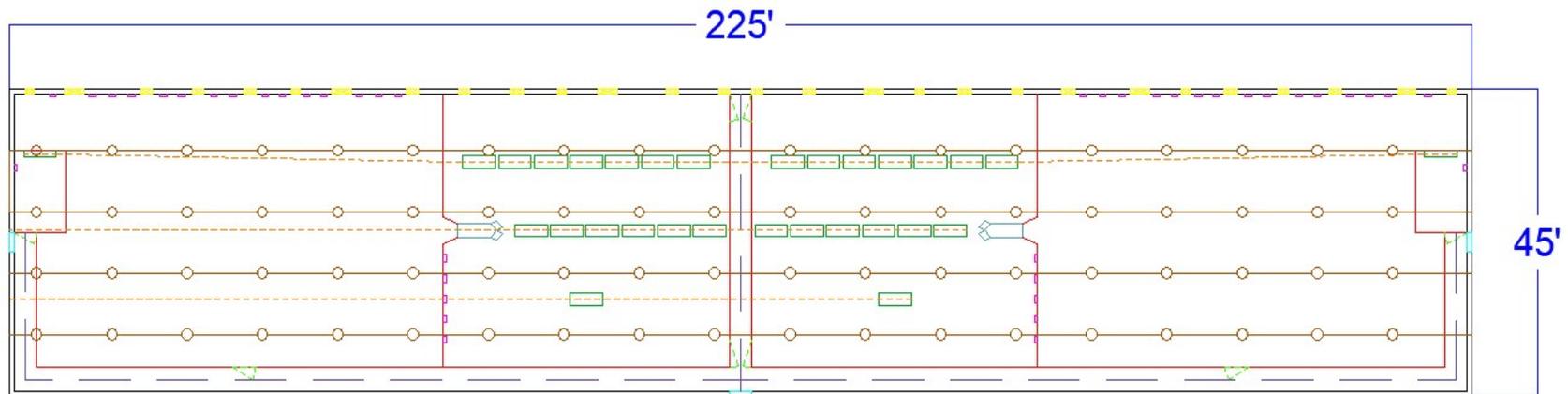
Figure 19. Coupe de mur typique du bâtiment

### 3.7.7 Diagramme d'écoulement

Comme son nom l'indique, le diagramme d'écoulement permet d'illustrer le déplacement de certains éléments à travers le bâtiment. Tout d'abord, les lignes brunes représentent l'écoulement des déjections animales à travers le bâtiment. Tel qu'il fut mentionné plus tôt, le plancher du bâtiment est 100 % latté due à la configuration du bâtiment en grands parcs. Ainsi, les déjections produites par les porcs tombent directement dans le dalot peu importe la position dans le bâtiment. Les déjections sont par la suite trainées par des grattes dans la pré-fosse. L'écoulement des déjections se fait de l'ouest vers l'est, soit de la gauche vers la droite, où est située la pré-fosse. Une fois dans la pré-fosse, les déjections sont pompées dans la fosse principale qui est située à l'arrière du bâtiment, du côté est.

Par ailleurs, les pointillés orange représentent l'écoulement des aliments à travers le bâtiment. Tel qu'il est possible de le voir sur les plans, les pointillés orange alimentent les trémies partout à travers le bâtiment. Au total, il y a trois lignes d'alimentation pour alimenter les trois rangées de trémies. Encore une fois, l'écoulement se fait de l'ouest vers l'est, soit de gauche à droite. Le silo à moulée est localisé à l'avant du bâtiment.

Autrement, les travailleurs se promènent majoritairement dans les corridors le long du mur sud ainsi que dans le corridor central. Les traits mauves dans le diagramme d'écoulement permettent d'illustrer ce déplacement. Toutefois, ils ont également accès aux aires pour les animaux même si le déplacement dans cette zone est moins fréquent. Quant aux animaux, ils ont accès aux zones de repos, d'alimentation et d'expédition. Leur passage dans les couloirs à lieu lors de l'arrivée de la pouponnière ou lors du départ vers l'abattoir.



- Écoulement des déjections animales
- Écoulement des aliments
- Déplacement des travailleurs

Figure 20. Diagramme d'écoulement à l'intérieur du bâtiment

### 3.7.8 Mur de l'ouvrage de stockage

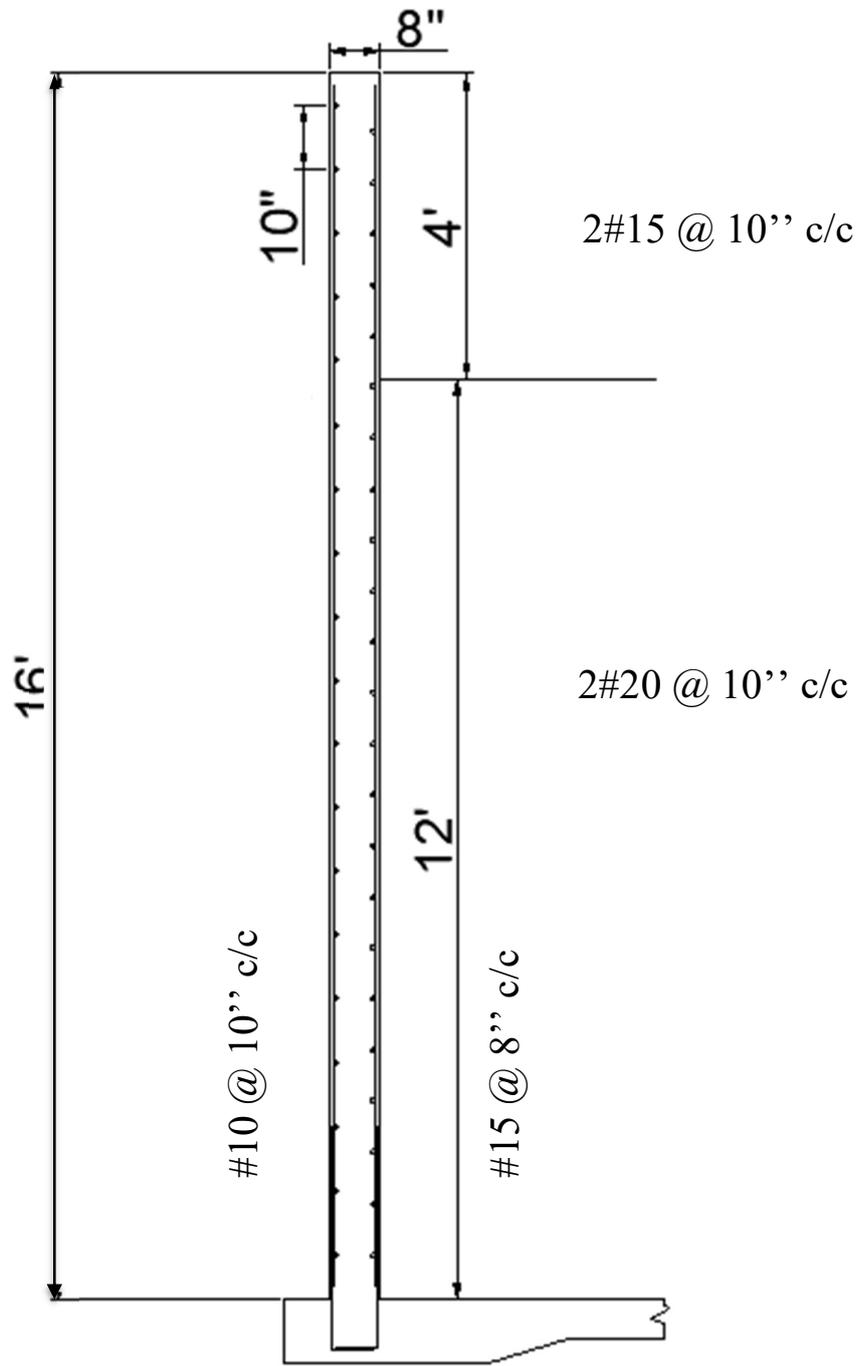


Figure 21. Coupe transversale d'un mur de la structure de stockage

## 4 Analyse des forces

### 4.1 Bâtiment d'élevage

Dans la présente section, plusieurs calculs sont effectués autant pour calculer des charges que des résistances de montant. Les différents calculs proviennent du CNB (2010), du document Introduction to Wood design (2011), du document Wood Design Manuel – Volume 1 et 2 (2017) ainsi que de la norme CSA-086-14(R17).

#### 4.1.1 Charges du bâtiment et de neige

En première analyse, les charges mortes ont été analysées ainsi que la charge de neige pouvant causer des forces sur le bâtiment. La charge morte du toit ainsi que la charge de neige qui s'accumule sur ce dernier doivent être considérées pour calculer l'effort causé sur les murs. La charge morte du toit est fonction des différentes qui composent le toit. La charge morte du toit est détaillée dans le tableau 17.

Tableau 17. Charge morte du plafond

Composantes du toit	Charge (WDM, 2017) (kPa)
Revêtement PVC 3 mm	0,035
Plywood 12 mm	0,06
Lattes 19 x 64 @ 405 mm c/c	0,015
Pare-vapeur 0,15 mm	0,0
Fermes 38 x 140 ÉPS @ 610 mm c/c	0,043
Cellulose soufflée sur 300 mm	0,15
Lattes 38 x 89 @ 405 mm c/c	0,07
Tôle d'acier	0,16
Autres (électricité, lumières, etc.)	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>0,63</b>

Pour la charge de neige, il faut utiliser une formule qui tient compte de la charge de neige pour une période de récurrence de 50 ans. Elle contient également un facteur concernant l'incrément de la charge de neige causée par la pluie qui peut être absorbée par la neige. C'est différentes valeurs sont disponibles dans le CNB 2010 pour différentes villes. Dans ce cas-ci, la ville la plus proche

et la plus représentative est la ville de Farnham. Pour la charge de neige, deux cas peuvent être considérés. Dans le premier cas, la charge de neige est distribuée uniformément sur le toit. Dans l'autre cas, la charge de neige est concentrée sur un côté du toit. Pour le cas 1, la charge de neige déterminée est de 1,30 kPa. Dans le second cas, la charge de neige équivaut à 1,46 kPa. Par rapport à l'ensemble du bâtiment, l'effort causé par les charges mortes du toit représente 4,60 kN/m. Au niveau de la neige, c'est le cas 1 qui cause une charge maximale avec 9,41 kN/m, comparativement à 8,13 kN/m pour le cas 2. Ces valeurs seront utilisées lors de l'analyse de la résistance des murs d'ossature.

#### **4.1.2 Charge de vent**

Au niveau du vent, il faut analyser différentes situations selon la direction du vent. En effet, une première analyse est effectuée en considérant le vent comme étant perpendiculaire à la corniche. Par la suite, l'analyse se fait par rapport au vent parallèle à la corniche. Il est important d'analyser les deux cas, car le facteur dominant dépendra des dimensions du bâtiment. Dans le cas du bâtiment actuel, les valeurs maximales ont été obtenues en considérant le sens du vent comme étant perpendiculaire à la corniche. Une valeur maximale avant pondération de 4,19 kN/m fut obtenue lors de l'analyse. Cette charge affecte les premiers 6 mètres du mur le plus long du bâtiment du côté sud. La pondération de la charge de vent permet d'obtenir une valeur maximale de 5,87 kN/m en considérant un facteur de pondération de 1,4. Les différents calculs et facteurs utilisés pour les calculs de vent sont disponibles à l'annexe 7. Trois schémas illustrant la position des charges de vent sont aussi disponibles dans cette même annexe.

#### **4.1.3 Résistance des murs d'ossature**

Dans cette section, l'objectif est de vérifier si l'utilisation de montants de 38 mm x 140 mm espacés aux 610 mm offre une résistance suffisante aux charges affectant le bâtiment. Tout d'abord, comme il s'agit d'un mur d'ossature, les calculs sont menés en considérant des montants de type SPF STUD ayant une hauteur de 2440 mm, soit 8 pieds. Dans le cas actuel, l'analyse est effectuée en considérant les éléments de façon individuelle. De cette façon, la charge de vent à considérer doit inclure la pression de vent externe et interne (IWD, 2011). La valeur à utiliser dans les calculs est donc différente de celle calculée à la section précédente. La charge de vent non pondérée pour l'analyse sur un élément individuel est de 0,77 kPa. Comme les montants sont espacés aux 610 mm, il faut ramener les charges en fonction de cet espacement. Pour le vent, la charge non pondérée

sera donc de 0,47 kN/m. Pour la neige, la valeur est de 5,74 kN (9,41 kN/m \* 0,610 m). La charge morte à considérer provenant du toit vaut maintenant 2,80 kN (4,60 kN/m \* 0,610 m). Pour la vérification de la résistance, il faut notamment vérifier la résistance en compression-flexion des membrures selon différents cas de charge. La compression résulte directement de la charge appliquée par la neige et le toit. Pour la flexion, le moment est causé par la présence de vent, mais également par l'excentricité du chargement sur les membrures. Dans tous les cas analysés, le moment pondéré maximal est obtenu au milieu des montants. Dans les conditions du bâtiment, la résistance en compression des montants ( $P_r$ ) est de 42,32 kN alors que le moment résistant ( $M_r$ ) est de 1,763 kN\*m. Ces deux facteurs font en sorte que la résistance en compression-flexion est respectée pour tous les cas de charges analysés, car ces valeurs sont supérieures à la compression et au moment de flexion pondéré. Cette vérification tient également compte du facteur  $P-\Delta$ , qui est un facteur qui augmente le moment pondéré en présence de vent.

Il est aussi important de vérifier la résistance en cisaillement des membrures ( $V_r$ ). Dans les deux cas de chargement analysés, la valeur de cisaillement maximale obtenue est de 0,8632 kN. Une partie du cisaillement est causé par le vent alors que l'autre partie est causée par l'excentricité de la charge. Toujours en considérant les conditions du bâtiment, la résistance au cisaillement d'un montant SPF STUD de 38 mm x 140 mm est de 10,8 kN. Comme la résistance est supérieure à la sollicitation, les montants sont résistants au cisaillement.

Le dernier calcul effectué aux états limites ultimes concerne la résistance à la compression perpendiculaire. En ce sens, les montants verticaux sont appuyés sur une lisse de bois ancré dans le muret de béton. Il est important d'assurer que la résistance en compression de cette lisse soit suffisante. Pour ce faire, il faut que la résistance à la compression perpendiculaire ( $Q_r$ ) soit supérieure à la charge de compression maximale. Selon les conditions du bâtiment, la résistance à la compression perpendiculaire au fil de la lisse du bas est de 37,29 kN, ce qui est largement supérieur à la force de compression maximale de 12,11 kN.

La dernière étape à vérifier concerne les états limites de service. Dans les cas précédents, les charges étaient pondérées pour compléter les différentes analyses. Dans le cas présent, il n'y a pas de pondération. Cet état limite sert à évaluer la flèche maximale qui sera créée sur les montants du mur. Pour les murs de bâtiment, une valeur maximale de  $L/180$  est admissible comme flèche (WDM, 2017). Dans les deux cas de chargement considéré, c'est la charge de vent qui cause la

plus grande partie de la flèche. Au final, la flèche maximale obtenue est de 3,47 mm, en considérant une fois de plus l'effet  $P-\Delta$  qui accentue la flèche due à la présence du vent. Puisque la flèche maximale admissible dans le mur est de 13,56 mm, le critère de flèche est vérifié.

En conclusion, tous les critères pour les montants des murs d'ossature ont été vérifiés. Tous les cas considérés sont respectés autant pour les états limites ultimes que les états limites de service. C'est donc dire que dans les conditions actuelles, les montants SPF STUD 38 mm x 140 mm de 2440 mm de longueur espacés aux 610 mm centre à centre sont suffisamment résistants et peuvent être utilisés.

Les détails de tous les calculs sont disponibles dans l'annexe 7 du présent document.

#### **4.1.4 Résistance des murs de refend et des diaphragmes**

Pour la résistance des murs de refend et des diagrammes, il fut impossible d'aller en détail dans les calculs dus au manque d'informations disponibles et à nos connaissances limitées dans les circonstances. Cependant, l'analyse des réactions sur le bâtiment a permis de déterminer que la force de cisaillement maximal sur les murs du bâtiment était de 5,75 kN/m. Tel que mentionné dans la section sur les matériaux, le panneau structural utilisé sur les murs est du contreplaqué (plywood) d'une épaisseur de 12 mm. Pour s'assurer de respecter le cisaillement maximal, il fallait donc déterminer un type de clou et un espacement minimal entre les clous. Pour des clous d'un diamètre de 3,25 mm espacés aux 100 mm avec des lattes de bois, la résistance au cisaillement obtenue est de 8,05 kN/m. Il faut cependant tenir compte du facteur  $J_n$  qui concerne la méthode de clouage. En effet, l'efficacité d'un clouage à la main n'est pas la même qu'un clouage à l'aide d'une cloueuse automatique. S'il y a utilisation d'une cloueuse automatique, un facteur de réduction de 0,85 s'ajoute à la valeur déterminée précédemment. Comme l'utilisation des cloueuses automatiques est largement répandue en 2019, un facteur  $J_n$  à 0,85 fut considéré. Ainsi, la résistance réelle au cisaillement avec l'espacement de clous choisi est de 6,84 kN/m. Comme cette valeur est supérieure au cisaillement maximal présent dans le mur, il est possible d'affirmer que les murs sont suffisamment résistants au cisaillement.

## 5 Conclusion

En conclusion, l'objectif principal du projet était de concevoir un bâtiment porcin durable, moderne, et qui s'agence bien dans l'optique du bien-être animal. En effet, les consommateurs sont de plus en plus exigeants quant à la qualité des produits qu'ils consomment et cela se reflète dans leur choix alimentaire. Pour concevoir un bâtiment de qualité, nous avons déterminé les superficies nécessaires au logement de 750 porcs par bâtiment, ce qui nous a mené à un choix de dimensions de bâtiment de 68,6 mètres par 13,7 mètres (225' x 45'). Nous avons également choisi de loger les animaux dans un aménagement de type cafétéria. Ce choix fut effectué dans le but de maximiser la liberté de mouvement des animaux tout en diminuant la charge de travail à effectuer par les employés. Considérant l'efficacité et la capacité des balances trieuses, nous avons décidé de faire deux zones d'élevage distinct dans chaque bâtiment. En d'autres mots, il y aura deux balances trieuses dans chaque bâtiment pour respecter la capacité limite de l'équipement.

Avec le choix du type d'aménagement, nous avons pu déterminer le type de système d'alimentation à installer dans le bâtiment. Due aux contraintes liées à l'aménagement en cafétéria, il a fallu installer un système d'alimentation avec des trémies sèches et des bols à l'eau. Ce type d'installation a pour but de favoriser le passage des animaux vers la balance trieuse et ce, de façon naturelle. Pour assurer un apport de moulée constant dans les porcheries, il faudra installer un silo d'environ 10 tonnes métriques pour chaque bâtiment.

Par ailleurs, les bilans de chaleur, d'humidité et de gaz effectué dans le bâtiment nous ont permis de déterminer les besoins en ventilation autant pour l'hiver que pour l'été. Dans l'optique de répondre aux besoins maximaux, un total de 28 ventilateurs furent installés dans chaque bâtiment. La répartition de la taille des ventilateurs et leur positionnement font en sorte que le déplacement d'air à travers le bâtiment est le plus constant possible autant en période chaude que pour la période hivernale. Autrement, l'entrée d'air choisi pour le bâtiment est une entrée d'air transversale. Comme le bâtiment est long, le système transversal permettra à l'air d'entrée sur toute la longueur du bâtiment, ce qui favorisera les conditions uniformes à l'intérieur du bâtiment.

Au niveau des déjections animales, nous avons choisi de gérer les effluents de façon liquide, comme c'est le cas pour la très grande majorité des bâtiments porcins. La gestion liquide permet de maximiser la production et facilite le travail dans le bâtiment. Toutefois, il faut noter que le plancher du bâtiment sera 100% latté, tel que recommandé avec l'usage du système de logement

en cafétéria. Dans de telles conditions, une fosse à lisier de 4,8766 mètres de hauteur (16 pi) par 22,274 mètres de diamètre (73 pi) sera installée pour récupérer les déjections animales provenant des deux bâtiments, soit des 1500 porcs.

Au niveau du bâtiment lui-même, les matériaux choisis sont des matériaux standards qui sont souvent utilisés en production agricole. La combinaison de ces matériaux permet d'éviter la condensation dans les murs tout en offrant une résistance au transfert thermique adéquate, ce qui diminue les pertes de chaleur. Par ailleurs, il est important de noter que le choix des matériaux du murs permettent également de résister aux différentes forces affectant le bâtiment. En effet, la configuration du bâtiment actuel fait en sorte que celui-ci peut résister aux forces de vents, aux charges vives ainsi qu'au charge permanente appliquée sur ce dernier.

Au bout du compte, il aura tout de même fallu changer quelques étapes comparativement à ce qui fut déterminée initialement. En ce sens, certaines étapes furent effectuées plus ou moins rapidement que ce qui était prévue initialement dues aux informations et aux connaissances acquises lors de la dernière année. Nous avons notamment devancé légèrement le choix des matériaux et retardé un peu le choix des ventilateurs. Cependant, ce ne sont pas des pépins majeurs. La principale entrave à notre travail fut au niveau de la charpente du bâtiment. En ce sens, nous devions initialement calculer la charpente du bâtiment pour déterminer les besoins en matériaux en fonction des caractéristiques de notre bâtiment. Toutefois, due à des facteurs hors de notre contrôle, nous n'avons pas été en mesure d'obtenir les connaissances nécessaires pour effectuer cette étape. En contrepartie, nous avons effectué l'analyse des forces sur le bâtiment pour vérifier sa résistance, tel que mentionné précédemment. Par ailleurs, une analyse de la structure d'entreposage a également été faite en remplacement des calculs de charpente.

Au final, le bâtiment conçu est un bâtiment durable, moderne, et qui s'agence bien dans l'optique du bien-être animal. De plus, le bâtiment est fonctionnel autant pour les animaux que pour les ouvriers, ce qui facilite le travail et permet de dégager plus de temps. Ainsi, les producteurs pourront sauver du temps comparativement à des bâtiments standards ce qui permettra inévitablement de diminuer les coûts et d'augmenter l'efficacité de l'entreprise.

## 6 Références

- MAPAQ. Guide sur la superficie des bâtiments d'élevages porcins, [<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/Rapportsuperficieelevagesporcins-final.pdf>], 27 septembre 2018.
- CIGR. Climatization of animal houses (2002), [[http://www.cigr.org/documents/CIGR\\_4TH\\_WORK\\_GR.pdf](http://www.cigr.org/documents/CIGR_4TH_WORK_GR.pdf)], 3 octobre 2018
- ATLAS CLIMATIQUE. Précipitation moyenne : St-Jean-Sur-Richelieu, [[https://atlasclimatique.ca/data/city/400/annual\\_precip\\_2060\\_85](https://atlasclimatique.ca/data/city/400/annual_precip_2060_85)], 16 octobre 2018.
- CRAAQ. Le porc en hiver : comment le tempérer ?, [[https://www.agrireseau.net/porc/documents/liliane\\_chenard.pdf](https://www.agrireseau.net/porc/documents/liliane_chenard.pdf)], 16 octobre 2018.
- LA TERRE DE CHEZ NOUS. À chaque bâtiment son matériau, [<https://www.laterre.ca/utiliterre/dossier/a-batiment-materiau>], 23 octobre 2018.
- SÉBASTIEN FOURNEL. Environnement des bâtiments agricole — GAE-2001, Cours 3 — Environnement des animaux, 24 octobre 2018.
- SÉBASTIEN FOURNEL. Environnement des bâtiments agricole — GAE-2001, Cours 5 — Isolation thermique des bâtiments, 24 octobre 2018.
- SÉBASTIEN FOURNEL. Environnement des bâtiments agricole — GAE-2001, Cours 15 — ventilation naturelle, 24 octobre 2018.
- SÉBASTIEN FOURNEL. Environnement des bâtiments agricole — GAE-2001, Cours 11 — Bilans de chaleur et d'humidité et débits de ventilation, 24 octobre 2018.
- ASHRAE Handbook, figure 3 et 4 (2005)
- VÉRONIQUE BOUCHARD. La production sur litière : une piste de solution incontournable à la crise actuelle de l'industrie porcine, [[http://www.caaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/Memoire%20Laurentides-Montreal%20special/06-14-MS-Chaire\\_recherche\\_education\\_environnement\\_Annexe1.pdf](http://www.caaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/Memoire%20Laurentides-Montreal%20special/06-14-MS-Chaire_recherche_education_environnement_Annexe1.pdf)], 24 octobre 2018.
- MAPAQ. L'épandage de lisier en octobre, c'est encore possible, [<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/chaudiereappalaches/journalvisionagricole/octobre2014/Pages/epandageoctobre.aspx>], 24 octobre 2018.
- MAPAQ. Conception (dimensionnement) d'un ouvrage de stockage de fumier, [<https://www.agrireseau.net/banqueplans/feuillet/feuillelet%2020736.pdf>], 24 octobre 2018.
- MAAARO. Stockage du lisier, [<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/10-052.htm>], 24 octobre 2018.
- MAPAQ. Ouvrage de stockage, [<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/Agroenvironnement/fertilisants/Pages/stockage.a.spx>], 24 octobre 2018.

COOPÉRATEUR. Choix de la trémie en engraissement, [<http://www.coopérateur.coop/fr/affaires-agricoles/choix-de-la-tremie-en-engraissement>], 24 octobre 2018.

CDPQ/FRANCIS POULIOT, ING. Choix d'un système de distribution d'aliment et d'eau en engraissement : les paramètres importants à considérer, [<https://www.agrireseau.net/porc/Documents/Texte%20conf%C3%A9rence%20Congr%C3%A8s%20du%20Porc%20Francis%20finale.pdf>], 24 octobre 2018.

IRDA. *Revue critique des concepts de « bâtiment porcin durable »*, [[https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/godbout-et-al-2010\\_rapport\\_bat\\_porcin\\_durable.pdf](https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/godbout-et-al-2010_rapport_bat_porcin_durable.pdf)], 17 novembre 2018.

IRDA. *Guide technique — Accumulation d'eau dans les installations d'entreposage des fumiers à ciel ouvert*, [[https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/godbout-et-al-2014\\_guide\\_accumulation\\_deau\\_fosses.pdf](https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/godbout-et-al-2014_guide_accumulation_deau_fosses.pdf)], 17 novembre 2018.

IRDA. *Calcul du volume de fumier pour le dimensionnement des structures d'entreposage — Évaluation des volumes complémentaires*, [[https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/calcul\\_volume\\_de\\_fumier\\_pour\\_le\\_dimensionnement\\_des\\_structures.pdf](https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/calcul_volume_de_fumier_pour_le_dimensionnement_des_structures.pdf)], 17 novembre 2018.

FPPQ. *Trémies-abreuvoirs et bols économiseurs*, [[https://www.accesporcqc.ca/nsphp/portail/publications/pub\\_dl.php?dir=483&download...pdf](https://www.accesporcqc.ca/nsphp/portail/publications/pub_dl.php?dir=483&download...pdf)], 17 novembre 2018.

YVES CHOINIÈRE. *Une comparaison des modèles de trémies offertes sur le marché*, [<https://www.agrireseau.net/porc/Documents/Equipement%20tremies.pdf>], 17 novembre 2018.

AQINAC. *L'ABC de l'alimentation porcine*, [[http://www.aqinac.com/client/publications/Infoporc\\_CDPQ\\_ABCalimentation.pdf](http://www.aqinac.com/client/publications/Infoporc_CDPQ_ABCalimentation.pdf)], 17 novembre 2018.

CONSEIL NATIONAL POUR LES SOINS AUX ANIMAUX D'ÉLEVAGE. *Code de pratique pour le soin et la manipulation des porcs*, [[https://www.nfacc.ca/pdfs/codes/porcs\\_code\\_de\\_pratiques.pdf](https://www.nfacc.ca/pdfs/codes/porcs_code_de_pratiques.pdf)], 18 novembre 2018.

CRAAQ. *Caractéristiques des effluents d'élevage - Porcs*, [[https://www.craaq.qc.ca/documents/files/Effluents\\_elevage/Porc.pdf](https://www.craaq.qc.ca/documents/files/Effluents_elevage/Porc.pdf)], 18 novembre 2018.

PLAN CANADA. *Principes et taux de ventilation mécanique*, [[https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_93242.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_93242.pdf)], 18 novembre 2018.

CDPQ. *Évaluer l'influence de l'aménagement des parcs d'engraissement en grand groupe*, [<http://www.cdpq.ca/recherche-et-developpement/projets-de-recherche/projet-231.aspx>], 18 novembre 2018.

CDPQ. *État de la situation sur les performances technico-économiques et opérationnelles engendrées par les nouveaux systèmes d'élevage permettant la pesée et le tri automatique des*

porcs en engraissement, [<http://www.cdpq.ca/recherche-et-developpement/projets-de-recherche/projet-151.aspx>], 18 novembre 2018.

CDPQ. *Évaluation de l'impact de différents systèmes d'abreuvement sur le gaspillage, les performances de croissance et le comportement d'abreuvement des porcs en engraissement*, [<http://www.cdpq.ca/getattachment/Recherche-et-developpement/Projets-de-recherche/Projet-235/Rapport-final.pdf.aspx>], 18 novembre 2018.

MAAARO. *Éclairage écoénergétique en production porcine*, [<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/06-012.htm>], 22 novembre 2018.

IRDA. *Déjections animales — Production 2012*, [[https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/irda-mapaq-aiaq-2012\\_fiches\\_dejections\\_animales.pdf](https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/irda-mapaq-aiaq-2012_fiches_dejections_animales.pdf)], 22 novembre 2018.

CDPQ. *Impacts de l'adaptation à la nouvelle augmentation de poids d'abattage chez le porc visant 97 kg de carcasse*, [<http://www.cdpq.ca/getattachment/3b80391c-6af3-4aba-ae68-a20248268961/Impacts-FINAL.pdf.aspx>], 22 novembre 2018.

CDPQ. *Vos porcs sont-ils retraits en eau ?*, [<http://www.cdpq.ca/getattachment/bbaf50e7-fa33-42fc-b690-39ea8b0b30c4/Vos-porcs-sont-ils-restreints-en-eau.aspx>], 25 novembre 2018.

CSST. *Gaz de lisier et de fumier : guide de prévention des intoxications*, [[https://www.cnesst.gouv.qc.ca/Publications/200/Documents/dc\\_200\\_16193.pdf](https://www.cnesst.gouv.qc.ca/Publications/200/Documents/dc_200_16193.pdf)], 25 novembre 2018.

GAZ PROPANE RAINVILLE. *Propriétés du propane*, [[http://www.gazpropanerainville.com/fichiers/CHARTE\\_PROPRIETE\\_DU\\_PROPANE.pdf](http://www.gazpropanerainville.com/fichiers/CHARTE_PROPRIETE_DU_PROPANE.pdf)], 16 décembre 2018.

PLANS CANADA. *Porcherie de croissance et de finition*, [[https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_93420.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_93420.pdf)], 16 décembre 2018.

HOME DEPOT. *Éclairage Philips LED 17W*, [<https://www.homedepot.ca/en/home/p.led-17w--32w-t8-tled-instant-fit-cool-white-4000k---case-of-10-bulbs.1000842545.html>], 4 février 2019.

PATIO DRUMMOND. *Lattes — Engraissement*, [<http://www.patiodrummond.com/produits/lattes-engraissement/>], 13 février 2019.

GSI. *Bulk feed tanks*, [<http://www.grainsystems.com/products/storage/hopper-bins/bft.html>], 22 mars 2019.

L.B. WHITE. *Guardian forced air heaters*, [<https://www.lbwhite.com/products/Swine-Heaters/Guardian-Forced-Air-Heaters/>], 22 mars 2019.

Canadian Wood Council. *Wood Design Manual 2017*. Ottawa, Ontario : 1156 pages.

Canadian Wood Council. *Introduction to Wood Design*. Ottawa, Ontario.

J.JOFRIET. *Structural design of liquid manure tank*, [[http://csbe-scgab.ca/docs/journal/38/38\\_1\\_45\\_ocr.pdf](http://csbe-scgab.ca/docs/journal/38/38_1_45_ocr.pdf)], 21 mars 2019.

ECO HABITATION. *Est-ce que le chauffage avec une fournaise au propane est un bon système?*, [<https://www.ecohabitation.com/discussions/1695/chauffage-est-ce-que-le-chauffage-avec-une-fournaise-au-propane-est-un-bon-systeme/>], 17 avril 2019.

## 7 Annexes

### 7.1 Annexe 1- Calculs sur pour le contrôle de l'ambiance

#### Chaleur totale

$$Q_{t,20} = 5,09 * m_a^{0,75} + (1 - (0,47 + 0,003 * m_a)) * (5,09 * n * m_a^{0,75} - 5,09 * m_a^{0,75}) \quad \text{Équation 3}$$

Où :

$Q_{t,20}$  : Chaleur totale à 20°C [W]

$m_a$  : Masse corporelle de l'animal [kg]

$n$  : Variable dépendant de la prise alimentaire

Dans les cas où la température est différente de 20°C l'équation suivante est utilisée :

$$Q_T = (\Phi_{tot}/1000) * Q_{t,20} \quad \text{Équation 4}$$

Où :

$Q_T$  : Chaleur totale [W]

Pour le porc, la production de chaleur totale en watt est obtenue avec l'équation suivante :

$$\Phi_{tot} = 1000 + 12 * (20 - t) \quad \text{Équation 5}$$

Où :

$t$  : température [°C]

#### Chaleur sensible

La chaleur sensible est calculée avec des équations très similaires soit :

$$Q_S = (\Phi_S/1000) * Q_{t,20} \quad \text{Équation 6}$$

Où :

$Q_S$  : Chaleur sensible [W]

Pour le porc la production de chaleur sensible en watt est obtenue avec l'équation suivante :

$$\Phi_S = 0,62 * \Phi_{tot} - 1,15 * 10^{-7} * t^6$$

*Équation 7*

Où :

t : Température [°C]

La chaleur latente est obtenue simplement en soustrayant la chaleur sensible à la chaleur totale.

### Bilan de ventilation selon la température

Pour évaluer la ventilation nécessaire pour évacuer la chaleur de trop produite par des sources autres que le système de chauffage, il faut calculer l'énergie de ventilation  $Q_v$ .

$$Q_v = Q_s + Q_m - Q_b - Q_e$$

*Équation 8*

Où :

$Q_v$  : Perte d'énergie par la ventilation [W]

$Q_s$  : Chaleur sensible produite par le troupeau [W]

$Q_m$  : Chaleur des moteurs et des ampoules [W]

$Q_b$  : Perte thermique du bâtiment [W]

$Q_e$  : Énergie requise pour évaporer l'eau qui n'est pas consommée [W]

$Q_m$  et  $Q_e$  sont négligés, car ces valeurs sont généralement très faibles comparativement aux autres variables.  $Q_b$  dépend de l'isolation du bâtiment et de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur.

Ensuite, le débit d'air nécessaire pour contrôler la température est donné par l'équation suivante.

$$m_{air,T} = Q_v / (c_p * \Delta T * 1000)$$

*Équation 9*

Où :

$m_{air,T}$  : Débit massique de l'air [kg/s]

$c_p$  : Chaleur massique de l'air de ventilation [kJ/(kg\*K)]

$\Delta T$  : Différence de température entre l'intérieur et l'extérieur [K]

### Bilan de ventilation selon l'humidité relative

Équation 10

$$m_{air,h} = (m_{ea} + m_{eb}) / (H_{int} - H_{ext})$$

Où :

$m_{ea}$  : Production d'humidité par la respiration et la transpiration des animaux (kg/s)

$m_{eb}$  : Production d'humidité par l'évaporation (kg/s)

$H_{int}$  et  $H_{ext}$  : Humidité relative intérieur et extérieur.

Équation 11

$$m_{ea} = Q_L / h_{fg}$$

Équation 12

$$m_{eb} = Q_e / h_{fg}$$

Où :

$Q_L$  : Chaleur latente produite par le troupeau [W]

$h_{fg}$  : Chaleur latente de vaporisation [J/kg]

Puisque  $Q_e$  est négligé,  $m_{eb}$  le sera aussi.

### Bilan de gaz CO<sub>2</sub>

Équation 13

$$m_{air,CO_2} = (m_{ga} + m_{gb}) / (C_{int} - C_{ext})$$

Où :

$m_{air,CO_2}$  : Débit massique de l'air [kg/s]

$m_{ga}$  : Production de gaz par les animaux [kg/s]

$m_{gb}$  : Production par les autres sources [kg/s]

$C_{int}$  et  $C_{ext}$  : Concentration de CO<sub>2</sub> à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment

$$m_{ga} = Q_T * \frac{0,185}{1000} * 0,53 * 3600 /$$

$Q_t$  : Chaleur totale produite par le troupeau [W]

### Chauffage

Équation 14

$$Q_s + Q_{sr} + Q_m = Q_b + Q_e + Q_v$$

Où :

$Q_{sr}$  : Chaleur produite par le chauffage [W]

Les autres variables sont les mêmes que dans le bilan de ventilation. Par contre, la perte d'énergie par la ventilation doit être obtenue avec le débit maximal calculer dans le bilan de ventilation. Il faut donc prendre la formule inverse du bilan de température soit :

$$Q_v = m_{\text{air max}} * c_p * \Delta T * 1000$$

*Équation 15*

Où :

$m_{\text{air max}}$ : Débit massique de l'air maximal d'entrée

Source (Fournel, 2018b)

## 7.2 Annexe 2 —Calculs de la fosse à lisier

Tableau 18. Caractéristiques du fumier produit par les porcs en engraissement (adapté de Brassard et al., 2012)

Poids (kg)	Qté (kg/tête/j)	% eau	Masse volumique (kg/L)
15-50	3,01	90,8	1,00
50-85	4,55	90,2	1,00
85-120	6,03	91,0	1,00

Tableau 19. Quantité de fumier produite par jour pour 1500 porcs en engraissement

Poids (kg)	Qté (L/j)	Qté (m <sup>3</sup> /j)
15-50	4515	4,515
50-85	6825	6,825
85-120	9045	9,045

Tableau 20. Jours de production de fumier pour une durée d'entreposage de 212 jours

Poids réel (kg)	Gain (kg)	Durée (j)	Durée avec lots (pour 1 an)	Durée avec lots (pour 212 jours)
25-50	25	27	74	43
50-85	35	38	104	60
85-120	35	38	104	60

Tableau 21. Production de fumier par le troupeau de 1500 porcs sur 212 jours

Durée pour 212 jours	Qté (m <sup>3</sup> /j)	Qté (m <sup>3</sup> )
43	4,515	194,9
60	6,825	412,5
60	9,045	546,7

Tableau 22. Volume complémentaire selon le stade de croissance pour 1500 porcs (adapté de Godbout et al., 2017)

Poids (kg)	V <sub>eu</sub> (L/j/tête)	Durée (212 jours)	V <sub>eu</sub> (m <sup>3</sup> )
15-50	1,8	43	116,1
50-85	1,0	60	90
85-120	0,7	60	63

Tableau 23. Volume complémentaire

Poids (kg)	V <sub>eu</sub> (m <sup>3</sup> )	F <sub>s</sub>	V <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> )
15-50	116,1	1,2	139,9
50-85	90	1,2	108,8
85-120	63	1,2	76,2

Tableau 24. Valeur de n en fonction de la masse et de la prise alimentaire (adapté de CIGR, 2002)

Masse de l'animal (kg)	Variable « n » (avec une prise alimentaire de 900 g/j)
20	3,39
30	3,25
120	2,60

### 7.3 Annexe 3 – Calculs d'armature de l'ouvrage de stockage

**Table A-1—Tension in circular rings**

T = coef. × wHR lb per ft

Positive sign indicates tension

$\frac{H^2}{D^3}$	Coefficients at point									
	0.0H	0.1H	0.2H	0.3H	0.4H	0.5H	0.6H	0.7H	0.8H	0.9H
0.4	+0.149	+0.134	+0.120	+0.101	+0.082	+0.066	+0.049	+0.029	+0.014	+0.004
0.8	+0.283	+0.239	+0.215	+0.190	+0.160	+0.130	+0.096	+0.063	+0.034	+0.010
1.2	+0.283	+0.271	+0.254	+0.234	+0.209	+0.180	+0.142	+0.099	+0.054	+0.016
1.6	+0.265	+0.268	+0.266	+0.266	+0.250	+0.226	+0.185	+0.134	+0.075	+0.023
2.0	+0.234	+0.251	+0.273	+0.285	+0.285	+0.274	+0.232	+0.172	+0.104	+0.031
3.0	+0.134	+0.203	+0.267	+0.322	+0.357	+0.362	+0.330	+0.262	+0.157	+0.052
4.0	+0.067	+0.164	+0.256	+0.339	+0.403	+0.429	+0.409	+0.334	+0.210	+0.073
5.0	+0.025	+0.137	+0.245	+0.346	+0.426	+0.477	+0.469	+0.398	+0.259	+0.092
6.0	+0.018	+0.119	+0.234	+0.344	+0.441	+0.504	+0.514	+0.447	+0.301	+0.112
8.0	-0.011	+0.104	+0.210	+0.305	+0.412	+0.504	+0.575	+0.630	+0.581	+0.351
10.0	-0.011	+0.096	+0.208	+0.323	+0.437	+0.542	+0.608	+0.659	+0.640	+0.440
12.0	-0.005	+0.097	+0.202	+0.312	+0.429	+0.543	+0.628	+0.633	+0.494	+0.211
14.0	-0.002	+0.096	+0.200	+0.306	+0.420	+0.539	+0.639	+0.666	+0.541	+0.241
16.0	0.000	+0.099	+0.199	+0.304	+0.412	+0.531	+0.641	+0.687	+0.582	+0.265

Figure 22. Table A-1 servant à trouver le facteur de pondération selon la hauteur

H (pi)	Coeff. table A-1	Forces résultantes (lbs/pi)
0,0	0	0
1,6	0,112	11 784
3,2	0,301	31 671
4,8	0,447	47 033
6,4	0,514	54 082
8,0	0,504	53 030
9,6	0,441	46 401
11,2	0,344	36 195
12,8	0,234	24 621
14,4	0,119	12 521
16,0	0,018	1 894

Figure 23. Forces horizontales exercées sur le mur

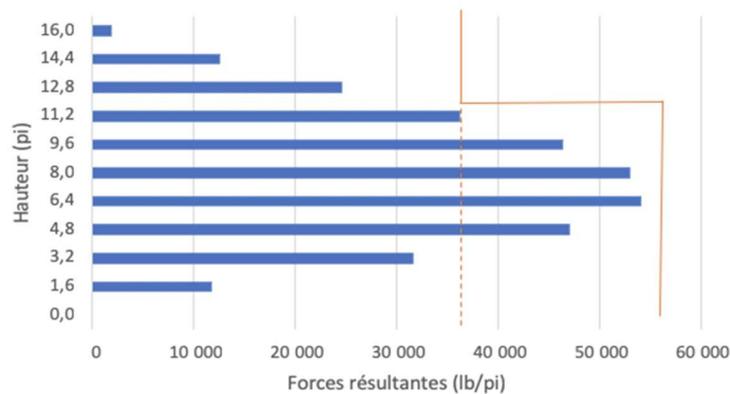


Figure 24. Forces horizontales exercées sur le mur et résistance de l'armature (orange)

**Table A-20—Design Aid for Bending Moment Reinforcing**

<i>m</i>	.000	.001	.002	.003	.004	.005	.006	.007	.008	.009
0.0	0	.0010	.0020	.0030	.0040	.0050	.0060	.0070	.0080	.0090
0.01	.0099	.0109	.0119	.0129	.0139	.0149	.0159	.0168	.0178	.0188
0.02	.0197	.0207	.0217	.0226	.0236	.0246	.0256	.0266	.0275	.0285
0.03	.0295	.0304	.0314	.0324	.0333	.0343	.0352	.0362	.0372	.0381
0.04	.0391	.0400	.0410	.0420	.0429	.0438	.0448	.0457	.0467	.0476
0.05	.0485	.0495	.0504	.0513	.0523	.0532	.0541	.0551	.0560	.0569
0.06	.0579	.0588	.0597	.0607	.0616	.0625	.0634	.0643	.0653	.0662
0.07	.0671	.0680	.0689	.0699	.0708	.0717	.0726	.0735	.0744	.0753
0.08	.0762	.0771	.0780	.0789	.0798	.0807	.0816	.0825	.0834	.0843
0.09	.0852	.0861	.0870	.0879	.0888	.0897	.0906	.0915	.0923	.0932
0.10	.0941	.0950	.0959	.0967	.0976	.0985	.0994	.1002	.1011	.1020
0.11	.1029	.1037	.1046	.1055	.1063	.1072	.1081	.1089	.1098	.1106
0.12	.1115	.1124	.1133	.1141	.1149	.1158	.1166	.1175	.1183	.1192
0.13	.1200	.1209	.1217	.1226	.1234	.1243	.1251	.1259	.1268	.1276

Figure 25. Table A-20 servant à trouver le facteur de pondération selon la hauteur

H (pi)	Table A-2	Moment (pi-lb)
0,0	-0,0187	-10 873
1,6	-0,0041	-2 384
3,2	0,0029	1 686
4,8	0,0051	2 965
6,4	0,0046	2 675
8,0	0,0032	1 861
9,6	0,0019	1 105
11,2	0,0008	465
12,8	0,0003	174
14,4	0,0001	58
16,0	0	0

Figure 26. Moments verticaux exercés sur le mur

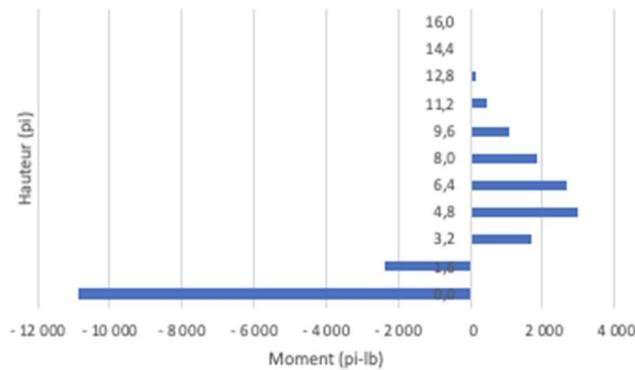


Figure 27. Moments verticaux exercés sur le mur

**Table A-12—Shear at base of cylindrical wall**

$$V = \text{coef.} \times \begin{cases} wH^2 \text{ lb. (triangular)} \\ pH \text{ lb. (rectangular)} \\ M/H \text{ lb. (moment at base)} \end{cases}$$

Positive sign indicates shear acting inward

$\frac{H^2}{Dt}$	Triangular load, fixed base	Rectangular load, fixed base	Triangular or rectangular load, hinged base	Moment at edge
0.4	+0.436	+0.755	+0.245	-1.58
0.8	+0.374	+0.552	+0.234	-1.75
1.2	+0.339	+0.460	+0.220	-2.00
1.6	+0.317	+0.407	+0.204	-2.26
2.0	+0.299	+0.370	+0.189	-2.57
3.0	+0.262	+0.310	+0.158	-3.18
4.0	+0.236	+0.271	+0.137	-3.68
5.0	+0.213	+0.243	+0.121	-4.10
6.0	+0.197	+0.222	+0.110	-4.49
8.0	+0.174	+0.193	+0.096	-5.18

Figure 28. Table A-12 permettant de trouver le coefficient de cisaillement

## 7.4 Annexe 4 —Résistances thermiques et au transfert thermique

Résistance thermique des matériaux du mur			Ts	G	Pv	Tr	Pvs
matériaux	R		21				
film d'air intérieur	0.2380952	m2*KW	18.522958	0	Pa*m2*s/ng	1.4910692	2.4851153
revêtement intérieur PVC 3mm	0.019	m2*KW	18.32529	0.96	Pa*m2*s/ng	1.4910692	2.1316895
lattes 19*64@405mm c à c	0.41	m2*KW	14.059823	0.0001083	Pa*m2*s/ng	0.4404506	2.1054522
plywood 12 mm	0.11	m2*KW	12.91543	0.0742188	Pa*m2*s/ng	0.440332	1.6041532
pare-vapeur 0,15mm	0	m2*KW	12.91543	0	Pa*m2*s/ng	0.3591075	1.4889668
montant bois 38 mm x 140 mm @ 610 mm c-c et laine	3.2356766	m2*KW	12.91543	0.000826	Pa*m2*s/ng	0.0373555	1.4889668
asphalt insulating 19mm	0.3889764	m2*KW	-20.747182	0.0053	Pa*m2*s/ng	0.0364515	0.0966474
pare-intempérie tyvek	0.011	m2*KW	-24.793928	0	Pa*m2*s/ng	0.0306512	0.0649589
lattes 19*64@405mm c à c	0.46	m2*KW	-24.908367	0.0001083	Pa*m2*s/ng	0.0306512	0.0642209
tôle d'acier et film extérieur	0.0294118	m2*KW	-29.694012	0	Pa*m2*s/ng	0.0305327	0.0394413
total	4.90216	m2*KW	-30	1.3345614	Pa*m2*s/ng	0.0305327	0.0381659

Figure 29. Vérification de la condensation du mur

Résistance thermique du plafond			Ts	G	Pv	Tr	Pvs
matériaux	R		21				
film d'air intérieur	0.1934236	m2*KW	19.712124	0	Pa*m2*s/ng	1.4910692	2.2956652
revêtement intérieur PVC 3mm	0.019	m2*KW	19.585616	0.96	Pa*m2*s/ng	1.4910692	2.2777112
Plywood 12 mm	0.11	m2*KW	18.853201	0.046875	Pa*m2*s/ng	0.4149776	2.1761638
lattes 19*64@405mm c à c	0.15	m2*KW	17.854453	0.0001083	Pa*m2*s/ng	0.362434	2.0440929
pare-vapeur 0,15mm	0	m2*KW	17.854453	0.294	Pa*m2*s/ng	0.3623126	2.0440929
laine de cellulose soufflée 300 mm avec latte de toit 38*89@610 mm c.à.c	6.8277551	m2*KW	-27.606922	0.00177	Pa*m2*s/ng	0.0327596	0.0489004
latte de toit 38*89@405 c.à.c	0.33	m2*KW	-29.804167	0.0002166	Pa*m2*s/ng	0.0327596	0.0489004
tôle d'acier et film extérieur	0.0294118	m2*KW	-30	0	Pa*m2*s/ng	0.0307755	0.0389923
total	7.6595905	m2*KW	-30	1.3029699	Pa*m2*s/ng	0.0305327	0.0381659

Figure 30. Vérification de la condensation du plafond

## 7.5 Annexe 5 — Pertes de chaleur totale

Équation 16

$$Q = \frac{A}{R} \Delta T$$

Où :

Q : Perte de chaleur (W)

A : Aire de la surface (m<sup>2</sup>)

R : Résistance thermique (m<sup>2</sup> K/W)

T : Variation de température (K ou °C)

Tableau 25. Pertes de chaleur pour les porcs de 25 kg

T extérieure	°C	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
T intérieur visé	°C	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	26	31
Qfondation hors sol	kW	1.775834353	1.601732946	1.427631538	1.253530131	1.079428724	0.905327317	0.73122591	0.557124503	0.383023096	0.208921689	0.034820281	0.034820281	0.034820281
Qfondation sous plancher	kW	1.6005704	1.6005704	1.6005704	1.6005704	1.6005704	1.6005704	1.6005704	1.6005704	1.6005704	1.6005704	1.6005704	1.8803904	2.1602104
Qmur	kW	4.029066735	3.634060192	3.23905365	2.844047107	2.449040564	2.054034022	1.659027479	1.264020936	0.869014394	0.474007851	0.079001309	0.079001309	0.079001309
Qplafond	kW	6.257621765	5.644129435	5.030637105	4.417144775	3.803652445	3.190160115	2.576667786	1.963175456	1.349683126	0.736190796	0.122698466	0.122698466	0.122698466
Qouverture	kW	0.366408276	0.330485896	0.294563516	0.258641136	0.222718756	0.186796376	0.150873996	0.114951616	0.079029236	0.043106856	0.007184476	0.007184476	0.007184476
Qplancher	kW	3.49425076	3.49425076	3.49425076	3.49425076	3.49425076	3.49425076	3.49425076	3.49425076	3.49425076	3.49425076	3.49425076	4.10513376	4.71601676
<b>Q total</b>	<b>kW</b>	<b>17.52375229</b>	<b>16.30522963</b>	<b>15.08670697</b>	<b>13.86818431</b>	<b>12.64966165</b>	<b>11.43113899</b>	<b>10.21261633</b>	<b>8.994093671</b>	<b>7.775571011</b>	<b>6.557048352</b>	<b>5.338525692</b>	<b>6.229228692</b>	<b>7.119931692</b>

Tableau 26. Pertes de chaleur pour les porcs de 120 kg

T extérieure	°C	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
T intérieur visé	°C	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	21	26	31
Qfondation hors sol	kW	1.671373508	1.497272101	1.323170694	1.149069287	0.97496788	0.800866473	0.626765066	0.452663659	0.278562251	0.104460844	0.034820281	0.034820281	0.034820281
Qfondation sous plancher	kW	1.4326784	1.4326784	1.4326784	1.4326784	1.4326784	1.4326784	1.4326784	1.4326784	1.4326784	1.4326784	1.6005704	1.8803904	2.1602104
Qmur	kW	3.792062809	3.397056267	3.002049724	2.607043181	2.212036639	1.817030096	1.422023553	1.027017011	0.632010468	0.237003926	0.079001309	0.079001309	0.079001309
Qplafond	kW	5.889526367	5.276034037	4.662541707	4.049049377	3.435557047	2.822064717	2.208572388	1.595080058	0.981587728	0.368095398	0.122698466	0.122698466	0.122698466
Qouverture	kW	0.344854848	0.308932468	0.273010088	0.237087708	0.201165328	0.165242948	0.129320568	0.093398188	0.057475808	0.021553428	0.007184476	0.007184476	0.007184476
Qplancher	kW	3.12772096	3.12772096	3.12772096	3.12772096	3.12772096	3.12772096	3.12772096	3.12772096	3.12772096	3.12772096	3.49425076	4.10513376	4.71601676
<b>Q total</b>	<b>kW</b>	<b>16.25821689</b>	<b>15.03969423</b>	<b>13.82117157</b>	<b>12.60264891</b>	<b>11.38412625</b>	<b>10.16560359</b>	<b>8.947080935</b>	<b>7.728558275</b>	<b>6.510035615</b>	<b>5.291512956</b>	<b>5.338525692</b>	<b>6.229228692</b>	<b>7.119931692</b>

Tableau 27. Valeurs pour calculer les pertes de chaleur

	R (m <sup>2</sup> *K/W)	U (W/m <sup>2</sup> *K)	Aire (m <sup>2</sup> )
Fondations hors sol	1,418	0,705	49,38
Fondations sous-sol	2,206	0,453	123,45
Murs	4,902	0,204	394,31
Plafond	7,660	0,131	939,82
Ouvertures	0,979	1,022	7,03

Tableau 28. Valeurs pour plancher - plancher dans un sous-sol

Profondeur (m)	Largeur minimale (m)	Coefficient U	Aire	Température sol (°C)
1.5 (réelle = 0.75 m)	9.7 (réelle = 13.7 m)	0,13	939,82	-7,6

## 7.6 Annexe 6 – Autres informations

DIAMETER (FEET)	RINGS	HOPPER ANGLE	BUSHEL	CAPACITY (CUBIC FEET)	CAPACITY (METRIC TONS)	CAPACITY (U.S. TONS)	HEIGHT (FEET)	HEIGHT (METERS)
6	1	60°	111	138.0	2.50	2.76	10'10"	3.29
	2	60°	171	212.6	3.86	4.25	13'6"	4.10
	3	60°	231	287.2	5.21	5.74	16'1"	4.89
	4	60°	291	361.8	6.56	7.24	18'10"	5.73
7	1	67°	185	230.1	4.17	4.60	13'8"	4.12
	2	67°	266	331.6	6.02	6.63	16'4"	4.93
	3	67°	348	433.2	7.86	8.66	19'0"	5.75
	4	67°	430	534.7	9.70	10.96	21'8"	6.56
	5	67°	511	636.3	11.54	12.73	24'4"	7.37
	6	67°	593	737.8	13.39	14.76	27'0"	8.18
9	1	60°	308	383.9	6.96	7.69	14'3"	4.30
	2	60°	443	551.8	10.01	11.04	16'11"	5.11
	3	60°	578	719.6	13.06	14.39	19'7"	5.92
	4	60°	713	887.5	16.10	17.75	22'3"	6.74
	5	60°	848	1055.3	19.15	21.11	24'11"	7.55
	6	60°	983	1223.2	22.19	24.46	27'7"	8.36
12	2	60°	887	1109.3	20.15	22.18	20'8"	6.25
	3	60°	1126	1407.7	25.57	28.15	23'4"	7.06
	4	60°	1365	1706.1	30.99	34.12	26'0"	7.88
	5	60°	1604	2004.5	36.42	40.08	28'8"	8.69
	6	60°	1842	2303.0	41.84	46.05	31'4"	9.50
	15	2	60°	1554	1934.8	35.12	38.69	24'2"
3		60°	1929	2401.1	43.59	48.02	26'10"	8.14
4		60°	2304	2867.4	52.06	57.34	29'6"	8.95
5		60°	2678	3333.7	60.52	66.67	32'2"	9.77

Figure 31. Capacité des silos à moulée (Source : GSI)

	<b>Guardian 60</b>	<b>Guardian 100</b>	<b>Guardian 250</b>	<b>Guardian 325</b>
<b>Btu/h Rating</b>	30,000- 60,000	50,000- 100,000	160,000- 250,000	200,000- 325,000
<b>Ignition Types</b>	Hot Surface Spark	Hot Surface Spark	Hot Surface Spark Pilot	Hot Surface
<b>Electrical Supply (Voltz/Hz/Phase)</b>	115/60/1	115/60/1	115/60/1	220/60/1
<b>Motor</b>	1/12 H.P. 1700 RPM	1/8 H.P. 1100 RPM	1/3 H.P. 1100 RPM	1/2 H.P. 1100 RPM
<b>Dimensions</b>	L = 21.3" W = 14.3" H = 18.0"	L = 29.5" W = 14.3" H = 18.0"	L = 30.8" W = 18.3" H = 28.3"	L = 36.0" W = 22.0" H = 30.0"
<b>Cabinet</b>	Steel with Tri-shield Coating	Steel with Tri-shield Coating	Galvanized Steel	Galvanized Steel
<b>CSA Certified</b>	Yes	Yes	Yes	Yes

*Figure 32. Caractéristiques des systèmes de chauffage L.B. White modèle Guardian*

## 7.7 Annexe 7 - Données pour l'analyse des charges des bâtiments

Charges de neige		
<b>Données</b>		
Construction porcherie engraissement : Sainte-Brigide d'Iberville		
Charges permanentes (charges mortes)		0.63 kPa (poids du toit)
		0.41 kPa (poids des murs ext.)
Longueur =	68580 mm	
Largeur =	13716 mm	
Pente toit =	18.43 °	
Corniches =	406.4 mm	
Hauteur =	2438.4 mm	
<b>Surcharges dues à la neige</b>		
<i>CNB 2010, Volume 1, Division B, Partie 4</i>		
$S = I_s * [S_s * (C_b * C_w * C_s * C_a) + S_r]$		
Charge	Référence	Valeur
I <sub>s</sub>	Tableau 4.1.6.2 -- État limite ultime de catégorie de risque faible	0.8
S <sub>s</sub>	Tableau C-2	2.2
C <sub>b</sub>	Alinéa 2	0.8
C <sub>w</sub>	Alinéa 4 : Bâtiment exposé aux vents sur les 4 côtés	0.75
C <sub>s</sub>	Facteur toit avec tôle de métal	0.92
C <sub>a</sub>	Alinéa 8 : Charge de neige répartie	1.0
S <sub>r</sub>	Tableau C-2	0.4
S		1.30

kPa

Figure 33. Données du bâtiment et charge de neige sur l'ensemble du toit

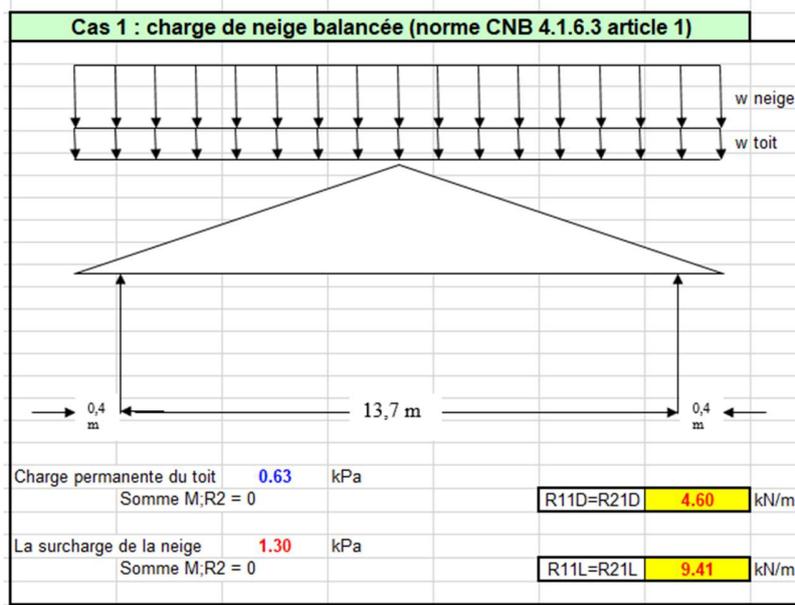


Figure 34. Charges causées par le toit et la neige répartie

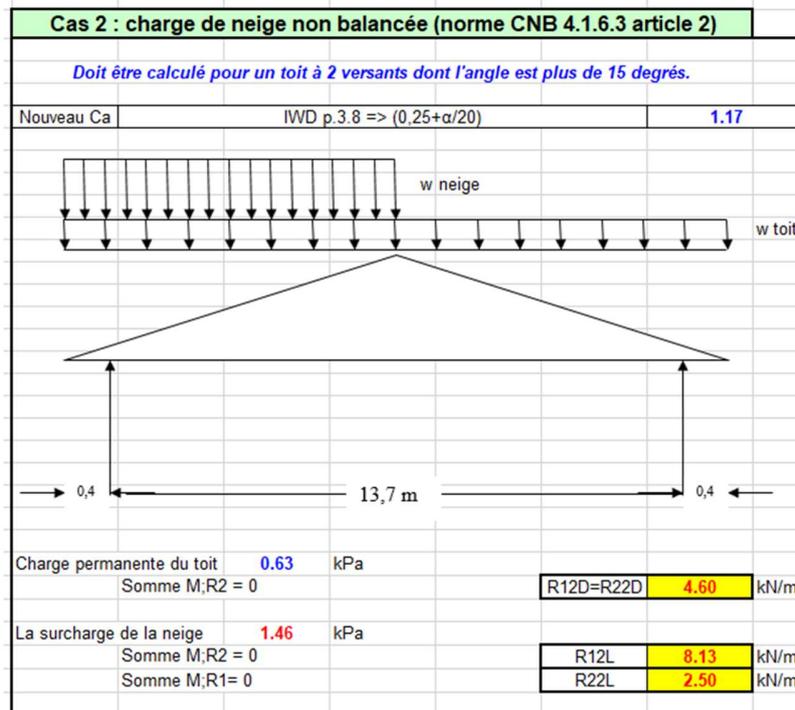
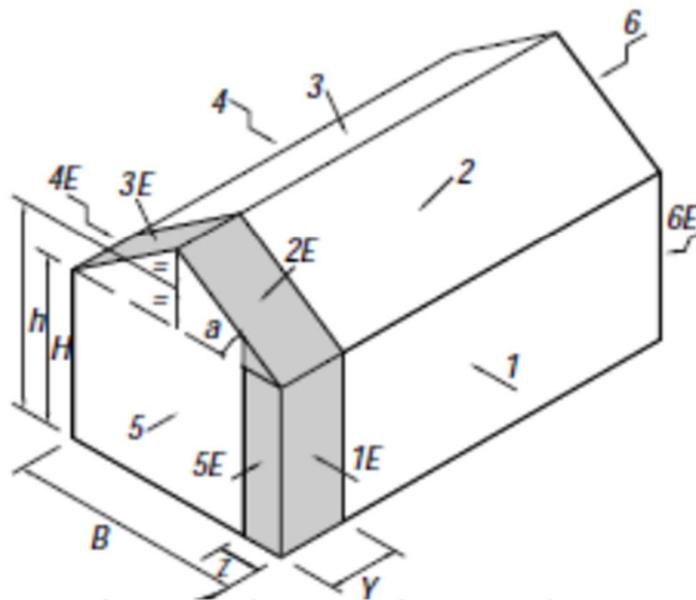


Figure 35. Charges causées par le toit et la neige d'un seul côté

Paramètres		
z	Commentaire du CNB, Figure I-7	
	0,1*Largeur =	1372 mm
	ou 0,4*Hauteur =	975 mm
	Plus petite dimension entre 0,1*Largeur ou 0,4*Hauteur	975 mm
	> 0,04*Largeur ?	Oui
	>1m ?	Non
	Valeur à considérer (z)	1000 mm
y	Commentaire I du CNB, Figure I-7	
	Plus grande dimension entre 6m et 2*z (y)	6000 mm
h	Commentaire I du CNB, Figure I-7	3581 mm



Surcharges dues au vent		
CNB 4.1.7.1		
$p = lw * q * Ce * Cg * Cp$		
Charge	Référence	Valeur
lw	Tableau 4.1.6.2 -- État limite ultime de catégorie de risque faible	0.8
q	Tableau C-2 pour pour une récurrence 1/10 en agricole	0.29
Ce	Alinéa 5 : Terrain ouvert	0.9

Figure 36. Facteurs de dimensionnement pour la charge de vent

<b>Cas A - Vent perpendiculaire à la corniche</b>					
		Figure I-7 Guide CNB 2010			
		Angle(°)	5	20	18.43
Cp*Cg		1	0.75	1.00	0.97
		1E	1.15	1.50	1.46
		2	-1.30	-1.30	-1.30
		2E	-2.00	-2.00	-2.00
		3	-0.70	-0.90	-0.88
		3E	-1.00	-1.30	-1.27
		4	-0.55	-0.80	-0.77
		4E	-0.80	-1.20	-1.16
p1				0.203	kPa
p1E				0.306	kPa
p2				-0.271	kPa
p2E				-0.418	kPa
p3				-0.184	kPa
p3E				-0.265	kPa
p4				-0.162	kPa
p4E				-0.242	kPa
<b>Cas B - Vent parallèle à la corniche</b>					
		Figure I-7 Guide CNB 2010			
		Angle(°)	0 à 90°		18.43
Cp*Cg		1	-0.85		-0.85
		1E	-0.9		-0.90
		2	-1.3		-1.30
		2E	-2.0		-2.00
		3	-0.7		-0.70
		3E	-1.0		-1.00
		4	-0.85		-0.85
		4E	-0.9		-0.90
		5	0.75		0.75
		5E	1.15		1.15
		6	-0.55		-0.55
		6E	-0.8		-0.80
p1				-0.177	kPa
p1E				-0.188	kPa
p2				-0.271	kPa
p2E				-0.418	kPa
p3				-0.146	kPa
p3E				-0.209	kPa
p4				-0.177	kPa
p4E				-0.188	kPa
p5				0.157	kPa
p5E				0.240	kPa
p6				-0.115	kPa
p6E				-0.167	kPa

Figure 37. Analyse des différents cas de chargement du vent

Choix final =		Cas :		A		
	kPa	L (m)	kN/m (n.p.)	$\alpha_w^*$	$\alpha_m^{**}$	kN/m (pond.)
p1	0.203	13.72	2.79	1.40	0.5	3.90
p1E	0.306	13.72	4.19	1.40	0.5	5.87
p2	-0.271	7.66	-2.08	1.40	1.0	2.91
p2x			-0.66	1.40	1.0	0.92
p2y			-1.43	1.40	1.0	2.01
p2E	-0.418	7.66	-3.20	1.40	1.0	4.48
p2Ex			-1.01	1.40	1.0	1.42
p2Ey			-2.21	1.40	1.0	3.09
p3	-0.184	7.66	-1.41	1.40	1.0	1.97
p3x			-0.44	1.40	1.0	0.62
p3y			-0.97	1.40	1.0	1.36
p3E	-0.265	7.66	-2.03	1.40	1.0	2.84
p3Ex			-0.64	1.40	1.0	0.90
p3Ey			-1.40	1.40	1.0	1.96
p4	-0.162	13.72	-2.22	1.40	0.5	3.10
p4E	-0.242	13.72	-3.32	1.40	0.5	4.64
p5	0.157	6.86	1.07	1.40	0.5	1.50
p5E	0.240	6.86	1.65	1.40	0.5	2.31
p6	-0.115	6.86	-0.79	1.40	0.5	1.10
p6E	-0.167	6.86	-1.15	1.40	0.5	1.60

\* du CNB 2010  
\*\*Pour un mur, on divise la charge par 2, car une partie s'en ira à la sablière du plafond et l'autre à la lisse du plancher.

Figure 38. Charge de vent maximal et pondération

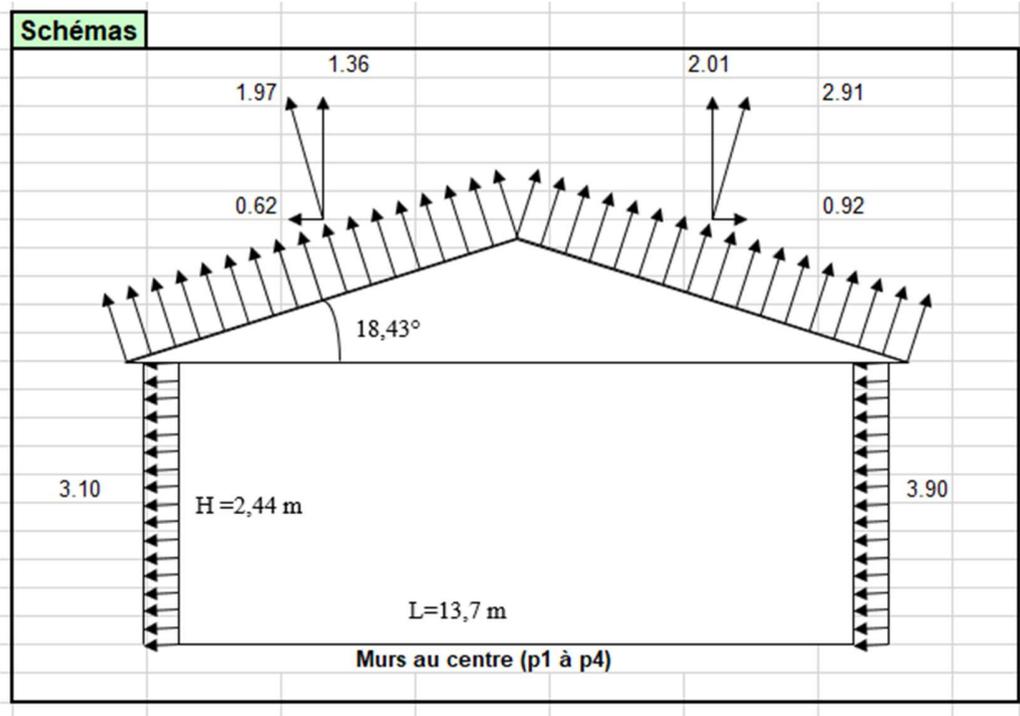


Figure 39. Schématisation de la charge de vent pondérée sur les murs du centre

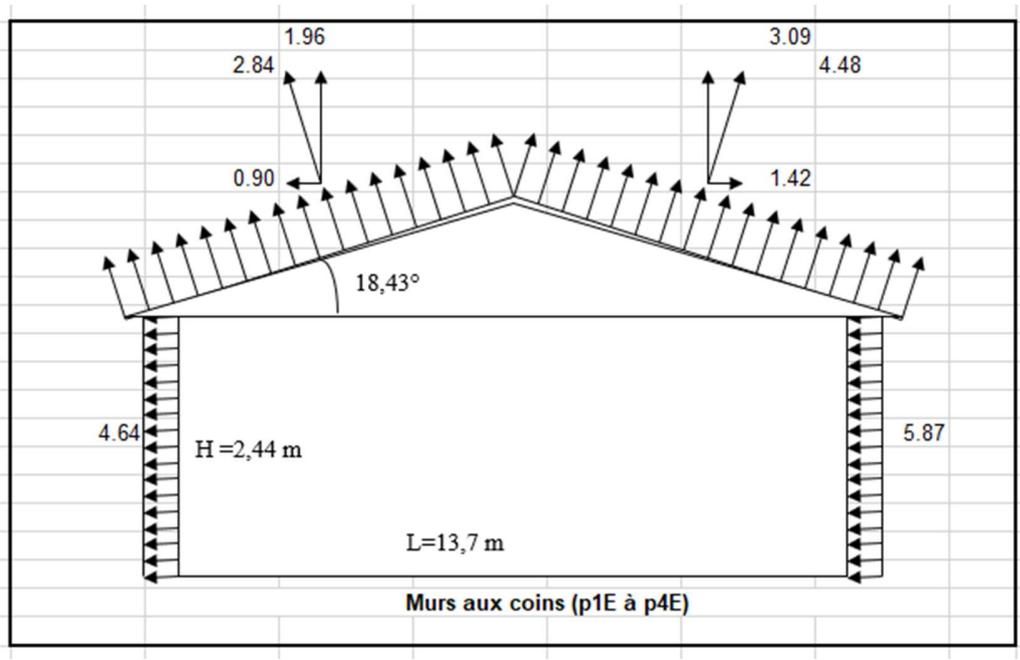


Figure 40. Schématisation de la charge de vent pondérée sur les murs de coin

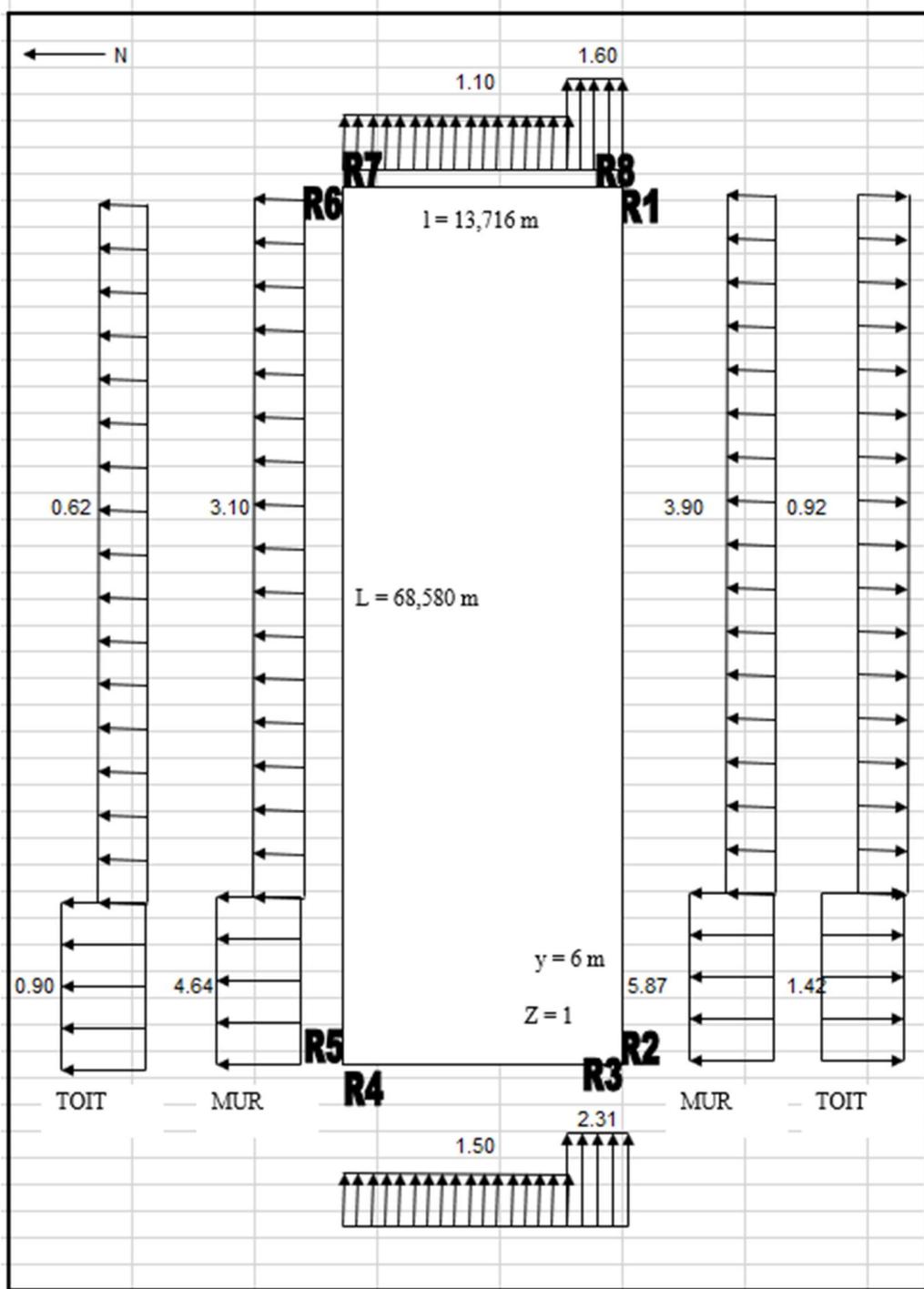


Figure 41. Schématisation du vent sur les murs et le toit pour déterminer les réactions de coin



Charges					
			*Lt (m)		
P <sub>nette</sub> (vent)	0.770	kPa	0.61	0.47	kN/m
Neige max	9.41	kN/m	0.61	5.74	kN
C. morte	4.60	kN/m	0.61	2.80	kN
Calcul aux états ultimes					
CNB 2010 4.1.3					
Condition 3 : 1,25D+1,5S+0,4W					
Pf				12.11	kN
wf				0.188	kN/m
Condition 4 : 1,25D+1,4W+0,5S					
Pf				6.37	kN
wf				0.658	kN/m
Mf					
MCCB CSA 086.01					
				3	4
Excentricité				0.023	0.023
wf				0.188	0.658
Le				2.44	2.44
Pf				12.11	6.37
Mf top (exc)		Pf * e		0.28	0.15
Mf mid (exc)		Pf * e/2		0.14	0.07
Mf vent (mid)		(w <sup>1/2</sup> ) <sup>2</sup> *8		0.14	0.49
Mf (MAX)		Maximal au milieu (donc vent plus excentricité mid)		0.28	0.56

Figure 43. Calcul des différents cas de chargement et du moment de flexion pondéré

<b>Pr</b>		
<b>Méthode IWD/Manuel de calcul des charpentes en bois - norme CSA 086.01</b>		
<b><math>Pr = \varphi \cdot F_c \cdot K_{zc} \cdot K_c \cdot A</math> ou <math>Pr = \varphi \cdot f_c \cdot (K_D \cdot K_H \cdot K_{sc} \cdot K_T) \cdot K_{zc} \cdot K_c \cdot A</math></b>		
<b>Charge</b>	<b>Référence</b>	<b>Valeur</b>
$\varphi$		0.8
$f_c$	tableau 6.3.1A - SPF STUD	9
KD	tableau 5.3.2.2 - condition d'utilisation courte (vent)	1.15
KH	tableau 6.4.4 - cas 2 : classé visuellement en compression	1.1
Ksc	tableau 6.4.2 - milieu sec	1.0
KT	tableau 6.4.3 - bois non traité	1.0
$F_c$		11.39
$K_{zc}$	article 6.5.6.2.3 $6,3 \cdot (d \cdot L)^{-0,13} \leq 1,3$	1.20 OK!
$C_c$	article 6.5.6.2.2 $C_c = L_e / d \leq 50$	17.43
E05	tableau 6.3.1A	5500
Kse	tableau 6.4.2 - milieu sec	1.00
$K_c$	article 6.5.6.2.4 $(1 + (F_c \cdot K_{zc} \cdot C_c^3) / (35 \cdot E05 \cdot K_{se} \cdot K_T))^{-1}$	0.73
A	Aire de la section	5320
Pr (x)		42.32
<b>Mr</b>		
<b>Méthode IWD/Manuel de calcul des charpentes en bois - norme CSA 086.01</b>		
<b><math>Mr = \varphi \cdot F_b \cdot K_{zb} \cdot K_L \cdot S</math> ou <math>Mr = \varphi \cdot f_b \cdot (K_D \cdot K_H \cdot K_{sb} \cdot K_T) \cdot K_{zb} \cdot K_L \cdot S</math></b>		
<b>Charge</b>	<b>Référence</b>	<b>Valeur</b>
$\varphi$		0.9
$f_b$	tableau 6.3.1A - SPF STUD	7
KD	tableau 5.3.2.2 - condition d'utilisation courte (vent)	1.15
KH	tableau 6.4.4 - cas 2 : classé visuellement en compression	1.4
Ksb	tableau 6.4.2 - milieu sec	1.0
KT	tableau 6.4.3 - bois non traité	1.0
S	$b \cdot d^2 / 6$	124133
$K_{zb}$	tableau 6.4.5 - flexion	1.4
KL	section 6.5.4.2 - appuis simples ( $d/b < 4$ )	1.0
Mr		1.763

Figure 44. Résistance en compression parallèle et résistance à la flexion

Vr		
Méthode IWD/Manuel de calcul des charpentes en bois - norme CSA 086.01		
Vr=φ*Fv*2/3*An*Kzv ou Fv=φ*fv*(KD*KH*Ksv*KT)*2/3*An*Kzv		
Charge	Référence	Valeur
φ		0.9
fv	tableau 6.3.1A	1.5
KD	tableau 5.3.2.2 - condition d'utilisation courte (vent)	1.15
KH	tableau 6.4.4 - cas 2 : classé visuellement en compression	1.4
Ksv	tableau 6.4.2 - milieu sec	1.0
KT	tableau 6.4.3 -bois non traité	1.0
An	b*h	5320
Kzv	tableau 6.4.5 - cisaillement	1.4
Vr		10.8

Figure 45. Résistance au cisaillement

Vérifications					
Mr>=	Mf 3	OK!	Pf (kN)	12.11	6.37
	Mf 4	OK!	P-Δ	1.181	1.088
			Mf (kN*m)	0.28	0.56
Pr>=	Pf 3	OK!	Pr (kN)	42.32	42.32
	Pf 4	OK!	Mr (kN*m)	1.763	1.763
Formule : ≤ 1,0	3	0.271	OK!		
	4	0.370	OK!		
	$\left(\frac{P_f}{P_r}\right)^2 + \left(\frac{M_f}{M_r}\right) \left[\frac{1}{1 - \frac{P_f}{P_r}}\right]$				
d/b =	3.68	OK!	(norme CSA 086.01 pour la retenue latérale aux points d'appuis et bord comprimé maintenue par la fixation directe des panneaux d'OSB)		
Vr =	10.8	kN	(tables de sélection p.261)		
Vr>= Vf =	3	0.3451	OK!		
	4	0.8632	OK!		

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_{05} * K_{SE} * K_T * I}{L_e^2}$$

E05 (MPa)	5500
Kse	1.00
Kt	1.0
I (mm4)	8689333.333
Le (mm)	2440
PE (kN)	79.2262755

WDM P.235

Figure 46. Vérifications de la flexion, de la compression et du cisaillement

Qr		
Méthode IWD/Manuel de calcul des charpentes en bois - norme CSA 086.01		
Qr=φ*Fcp*Ab*Kzcp*KB ou Fcp=φ*fcp*(KD*KScp*KT)*Ab*KZcp*KB		
Charge	Référence	Valeur
φ		0.8
fcp	tableau 6.3.1A - SPF STUD	5.3
Ab	38 mm x 140 mm	5320
KB	tableau 6.5.7.5 - Appui de 38 mm sur la lisse en direction de la fibre	1.25
KZcp	tableau 6.5.7.4 - 140 (perp) x 38 (par) : 140/38 > 1	1.15
KD	tableau 5.3.2.2 - condition d'utilisation courte (vent)	1.15
KScp	tableau 6.4.2 - sec en compression perpendiculaire	1.00
KT	tableau 6.4.3 - non traité et sec	1.00
Qr		37.29

Figure 47. Calcul de la compression perpendiculaire au fil de la lisse basse

Calcul aux états de service	
<b>CNB 2010 4.1.3</b>	
Condition 2 : 1.0D+1.0S+0.4W	
Ps	8.54
ws	0.188
Condition 3 : 1.0D+1.0W+0.5S	
Pf	5.67
wf	0.470

Vérifications flèche		
Cas	2	3
ws (kN/m)	0.188	0.470
L (mm)	2440	2440
E (MPa)	9500	9500
I (mm <sup>4</sup> )	8689333.33	8689333.33
<b>Delta vent</b>	<b>1.05</b>	<b>2.63</b>
Ps (N)	8543.80	5673.68
e (mm)	23.33	23.33
L (mm)	2440	2440
E (MPa)	9500	9500
I (mm <sup>4</sup> )	8689333.33	8689333.33
<b>Delta exc.</b>	<b>0.90</b>	<b>0.60</b>
PE (N)	79226.28	79226.28
Effet (P-Δ)	1.121	1.077
<b>Δ (mm)</b>	<b>2.18</b>	<b>3.47</b>
Δ max (mm)	13.56	OK!
	Max L/180 pour un mur	OK!
	WDM P.17	

$$\Delta_{tot} = \left[ \frac{5 * ws * L^4}{384 * E * I} + \frac{Ps * e * L^2}{16 * E * I} \right] * \left[ \frac{1}{1 - \frac{P}{P_g}} \right]$$

WDM P.236

Figure 48. Vérification de la flèche aux états limites de service

Réactions			
R1	102.34	kN	
R2	111.15	kN	
R3	-10.31	kN	
R4	-11.11	kN	
R5	190.04	kN	
R6	127.74	kN	
R7	8.06	kN	
R8	7.56	kN	

Cisaillement de base			
Mur 1			
$v_f =$	5.75	kN/m	1.85
Mur 2			
$v_f =$	0.28	kN/m	0.26

Figure 49. Réaction et cisaillement de base selon les différents murs

Calcul du revêtement				
Liste de contrôle : WDM 2017 P.576				
<b>CHOIX</b>				
Type de bois d'œuvre	Épaisseur nominale de panneau (mm)	Diamètre de clou commun (mm)	Avec ou sans fourrure	Cas
Plywood DFP	12.5	3.25	Avec latte	1
vr table (kN/m)	KD = 1,15 O=1, N=Coef	KSF	Jn	vr
8.05	1	1	0.85	6.84
K <sub>D</sub> : tableau 5.3.2.2 - condition d'utilisation courte				
K <sub>SF</sub> : tableau 12.2.1.6 - <15% milieu sec				
Jn : cloueuse automatique				
Espacement de tous les clous aux 100 mm				
vr > vf	OK!			

Figure 50. Vérification de la résistance au cisaillement dans les murs