

**EN004242**

## **RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident ayant causé la mort d'un ouvrier agricole et d'un employeur à la ferme Rodveil Holstein inc. située au 3431, rang de Léry, Saint-Simon-les-Mines (Québec), le 26 septembre 2018**

**Direction régionale de la Chaudière-Appalaches**

**VERSION DÉPERSONNALISÉE**

**Inspecteurs :**



**Yannick Boutin,  
inspecteur**



**François Morency, ing.  
inspecteur**

**Date du rapport : 15 novembre 2019**

**Rapport distribué à :**

- Monsieur [ A ], [ ... ]
  - Docteur Pierre Guilmette, coroner
  - Docteur Philippe Lessard, directeur de santé publique
-

**TABLE DES MATIÈRES**

<b><u>1</u></b>	<b><u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b>2.1</b>	<b>STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT</b>	<b>2</b>
2.1.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	2
2.1.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	2
2.1.3	RECRUTEMENT ET COMMUNICATION AVEC LES TRAVAILLEURS ÉTRANGERS TEMPORAIRES	2
<b><u>3</u></b>	<b><u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b>3.1</b>	<b>DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL</b>	<b>4</b>
<b>3.2</b>	<b>DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER</b>	<b>4</b>
3.2.1	SILO TOUR CONVENTIONNEL EN ACIER VITRIFIÉ #2	5
3.2.2	LES CARACTÉRISTIQUES D'UN SILO HERMÉTIQUE	6
3.2.3	TYPE DE SOL ET FERTILISATION	6
3.2.3.1	Type de sol	6
3.2.3.2	Fertilisation	6
3.2.4	PROCESSUS D'ENSILAGE DE MAÏS	7
3.2.5	CONDITIONS MÉTÉO :	9
<b><u>4</u></b>	<b><u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b>4.1</b>	<b>CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT</b>	<b>10</b>
<b>4.2</b>	<b>CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES</b>	<b>11</b>
4.2.1	RÉCOLTE DU MAÏS FOURRAGER ET REMPLISSAGE DU SILO TOUR CONVENTIONNEL EN ACIER VITRIFIÉ #2	11
4.2.2	ÉVÉNEMENTS PRÉCURSEURS CHEZ RODVEIL HOLSTEIN INC.	12
4.2.2.1	Accident dans un évacuateur à fumier	12
4.2.2.2	Interventions précédentes dans le silo tour conventionnel en acier vitrifié #1	12
4.2.3	LA RÈGLEMENTATION	13
4.2.4	LES RÈGLES DE L'ART	13
<b>4.3</b>	<b>RAPPORTS D'EXPERTISE</b>	<b>14</b>
4.3.1	RAPPORT D'EXPERTISE GROUPE GESFOR	14
4.3.2	RAPPORT D'EXPERTISE DE LA COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL (CNESST)	17
<b>4.4</b>	<b>PROBLÈMES DE COMMUNICATION</b>	<b>20</b>
<b>4.5</b>	<b>ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES</b>	<b>21</b>

4.5.1	L'EMPLOYEUR ET LE TRAVAILLEUR SONT ASPHYXIÉS EN RAISON D'UNE ATMOSPHÈRE APPAUVRIE EN OXYGÈNE À L'INTÉRIEUR DU SILO TOUR CONVENTIONNEL EN ACIER VITRIFIÉ #2 DÙ À LA PRÉSENCE DE GAZ D'ENSILAGE.	21
4.5.2	LA PLANIFICATION ET L'EXÉCUTION DU TRAVAIL EN ESPACE CLOS SONT INEXISTANTES.	22
<b>5</b>	<b><u>CONCLUSION</u></b>	<b>23</b>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	23
5.2	RECOMMANDATIONS ET/OU SUIVIS À L'ENQUÊTE	23
<b><u>ANNEXES</u></b>		
ANNEXE A :	Liste des accidentés	24
ANNEXE B :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	26
ANNEXE C :	Rapport d'expertise	27
ANNEXE D :	Références bibliographiques	40

---

## SECTION 1

### 1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

#### Description de l'accident

Le 26 septembre 2018, deux personnes sont retrouvées inanimées au fond d'un entonnoir d'ensilage de maïs à l'intérieur du silo tour conventionnel en acier vitrifié #2.

#### Conséquences

L'employeur et le travailleur décèdent en raison d'une atmosphère appauvrie en oxygène à l'intérieur du silo tour conventionnel en acier vitrifié #2.



(Source : Sûreté du Québec)

**Photo 1 : Scène de l'accident**

#### Abrégé des causes

- L'employeur et le travailleur sont asphyxiés en raison d'une atmosphère appauvrie en oxygène à l'intérieur du silo tour conventionnel en acier vitrifié #2 dû à la présence de gaz d'ensilage.
- La planification et l'exécution du travail en espace clos sont inexistantes.

#### Mesures correctives

Une décision est rendue sur les lieux afin de suspendre l'accès à l'intérieur des silos situés à la ferme Rodveil Holstein inc. Une procédure d'entrée en espace clos doit être élaborée conformément à la section 26 du *Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST)* [S-2.1, r. 13]. Le rapport d'intervention RAP9121146 émis le 27 septembre 2018 fait état de l'intervention effectuée.

*Le présent résumé n'a pas de valeur légale et ne tient lieu ni de rapport d'enquête ni d'avis de correction ou de toute autre décision de l'inspecteur. Il constitue un aide-mémoire identifiant les éléments d'une situation dangereuse et les mesures correctives à apporter pour éviter la répétition de l'accident. Il peut également servir d'outil de diffusion dans votre milieu de travail.*

## SECTION 2

### 2 ORGANISATION DU TRAVAIL

#### 2.1 Structure générale de l'établissement

Rodveil Holstein inc. est une entreprise agricole qui œuvre dans la production laitière. Elle est située au 3431 rang de Léry à Saint-Simon-Les-Mines. Il y a 190 vaches dont 100 sont en lactation. [ ... ]. L'entreprise emploie [ ... ] travailleurs, dont [ ... ] travailleurs [ ... ]. La supervision du personnel est assurée par [ B ].

##### 2.1.1 Mécanismes de participation

L'établissement fait partie du [ ... ] groupe prioritaire et son secteur d'activité économique est l'agriculture (026). Ce secteur d'activité économique n'est pas visé par l'application du *Règlement sur le programme de prévention [S-2.1, 1.10]*.

##### 2.1.2 Gestion de la santé et de la sécurité

[ ... ]. Il y a un programme de prévention propre aux activités de la ferme sous forme de fiches de prévention. Certains dangers signifiés reviennent à chaque année. D'autres documents y sont inclus. Des rapports d'intervention sont complétés annuellement par le conseiller ou la conseillère en prévention de l'UPA en fonction des lacunes observées incluant un délai pour effectuer les correctifs. À l'exception de directives verbales qui sont données aux travailleurs, il n'y a pas d'autres mécanismes de prise en charge que ceux énumérés.

##### 2.1.3 Recrutement et communication avec les travailleurs étrangers temporaires

La firme Arimé Canada inc. est un intermédiaire entre l'employeur et une agence de recrutement de travailleurs étrangers temporaires au [ ... ]. Celle-ci a été mandatée par l'employeur à des fins de recrutement. L'entreprise s'occupe du transport au pays et de la régularisation des papiers des travailleurs auprès des différents ministères et organismes au Canada et au Québec. Une fois arrivés, les travailleurs sont transportés à la ferme. À partir de ce moment, ils sont sous la responsabilité de l'employeur. L'entreprise offre également un service d'interprète en fonction des exigences du client. Dans le cas des travailleurs embauchés en 2018, il n'y a pas eu de requête de ce service par l'employeur.

[ C ] de l'entreprise Arimé Canada inc. mentionne qu'un descriptif verbal du travail est donné aux travailleurs, mais sans fournir d'informations concernant la santé et la sécurité du travail. Il n'y a pas de visite des lieux afin d'expliquer les tâches à effectuer. Selon les témoignages recueillis, l'apprentissage d'un nouveau travailleur s'effectue sous forme de compagnonnage. L'information est transmise de bouche à oreille. Le plus ancien des travailleurs veille à transmettre ses connaissances au nouveau. Il n'y a pas de documentation ou de formation plus spécifique sur les différentes tâches à effectuer sur les lieux. [ B ] transmet ses directives au plus ancien qui les dicte au nouveau.

Au moment de l'accident, 2 travailleurs [ ... ] sont présents sur la ferme. Ils sont d'origine [ ... ] et parlent [ ... ]. Monsieur [ D ], ci-après nommé travailleur 1 (décédé) parle peu [ ... ] tandis que Monsieur [ E ], ci-après nommé travailleur 2 ne le parle pas. L'employeur parle le français et selon les témoignages il parle peu [ ... ]. Dans ses directives à donner aux travailleurs, l'utilisation de Google traduction est d'usage à l'aide d'un téléphone intelligent. Le travailleur 1 est au Québec et travaille sur la ferme depuis le [ ... ] tandis que le travailleur 2 y est depuis le [ ... ]. Un des rôles du travailleur 1 est de parrainer le travailleur 2. Aucune procédure ou directive de travail traduite en [ ... ] n'est présente sur les lieux.

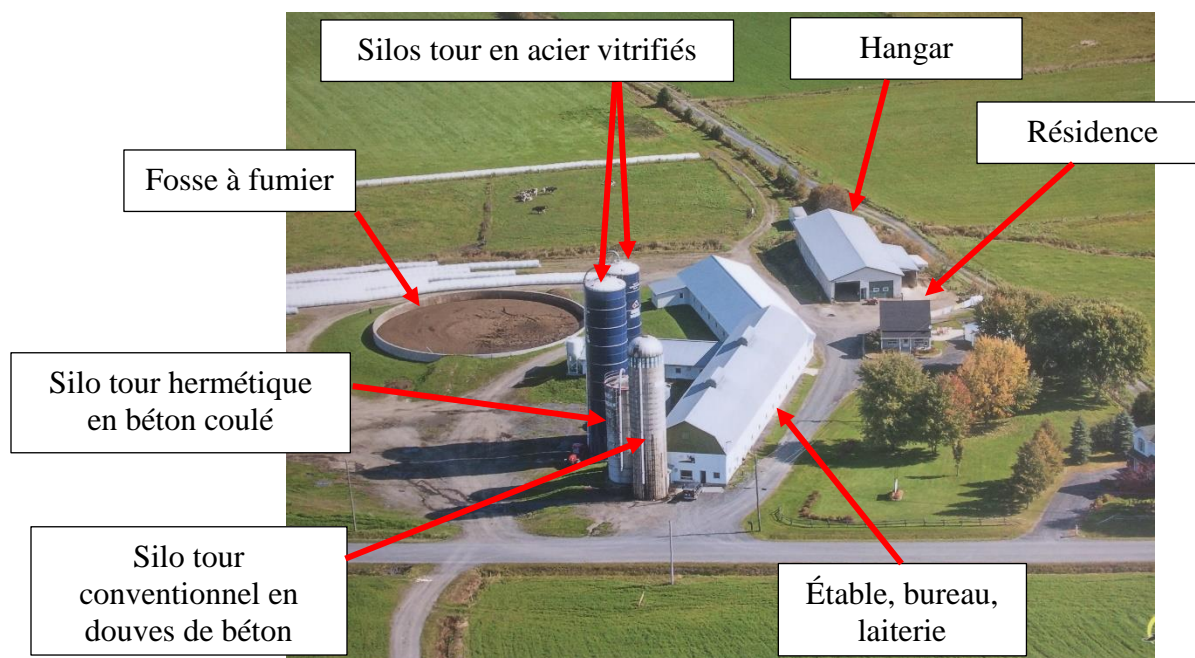
Le [ ... ], un travailleur d'origine [ ... ] parlant [ ... ], Monsieur [ F ], a été embauché par l'employeur par l'entremise de la firme Arimé Canada inc. Son contrat avec ce dernier s'est terminé le [ ... ]. C'est ce travailleur qui a parrainé le travailleur 1 durant l'été [ ... ].

## SECTION 3

### 3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

#### 3.1 Description du lieu de travail

Outre la résidence, la ferme comprend un silo en acier galvanisé, 2 silos tour conventionnels en acier vitrifié (silos hermétiques convertis en silos conventionnels), un silo hermétique en béton coulé, un silo tour composé de douves de béton avec cerceaux d'acier (silo tour conventionnel). Il y a l'étable qui abrite les vaches laitières, la laiterie, un bureau, un hangar et une fosse à fumier. Pour le remplissage des silos, un souffleur est relié à un conduit métallique fixé à la paroi extérieure de chacune des structures. Au moment de la récolte, la matière végétale est hachée puis transportée à l'aide de voitures à ensilage jusqu'au silo afin d'être déversée dans le souffleur. Le tout est soufflé à l'intérieur de chacun des silos.



(Source : Rodveil Holstein inc.)

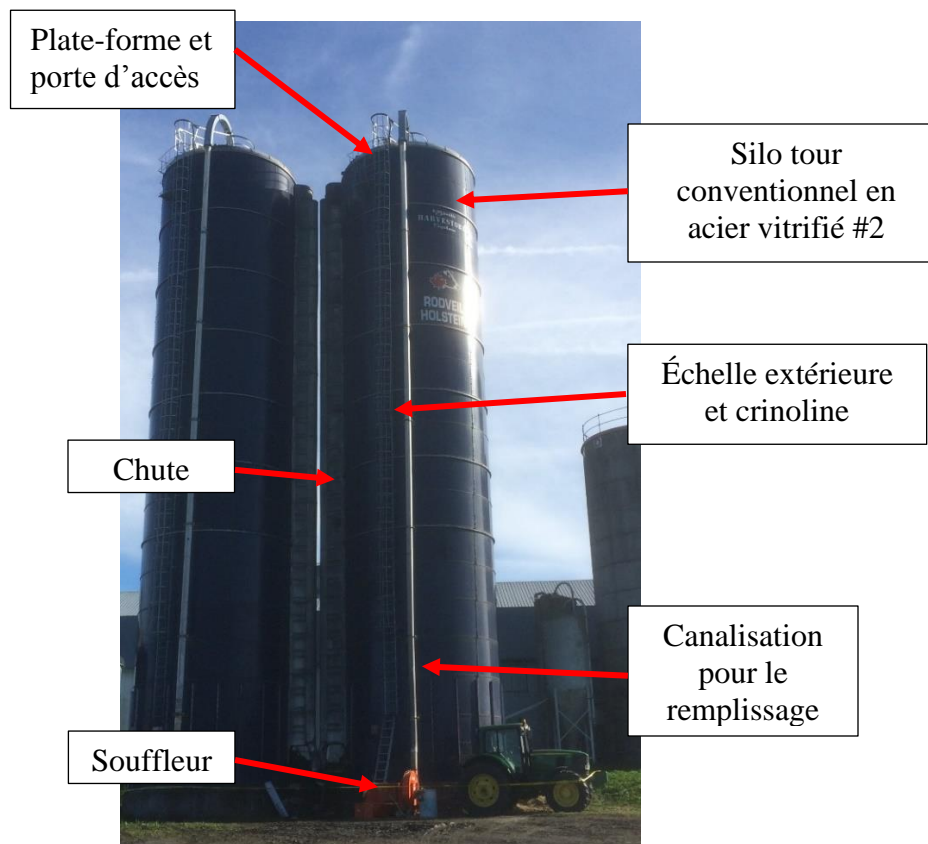
**Photo 2: Lieu de l'accident**

#### 3.2 Description du travail à effectuer

La journée du 26 septembre 2018 vers 16h40, l'employeur demande aux 2 travailleurs d'aller niveler l'ensilage de maïs, situé au 2/3 du silo tour conventionnel en acier vitrifié #2 à l'aide de fourches. Lors du soufflage de l'ensilage de maïs à l'intérieur de la structure, le videur situé au sommet tourne sur son axe afin de le répartir uniformément au pourtour du silo. Un entonnoir se forme à l'intérieur. Leur tâche consiste à répartir le tout également.



### 3.2.1 Silo tour conventionnel en acier vitrifié #2



(Source : CNESST)

**Photo 3 : Silo tour conventionnel en acier vitrifié #2**

Selon le fournisseur, Silo J.M. Lambert inc., le silo tour en acier vitrifié #2 est de marque Harvestore Product inc. Celui-ci a été converti en silo conventionnel, c'est-à-dire ouvert à l'atmosphère par le fournisseur. À l'origine, il est de type hermétique, donc, fermé à l'atmosphère. L'employeur l'a acquis le 17 janvier 2012. Il a un diamètre de 6 mètres (20 pieds) et sa hauteur est de 27 mètres (90 pieds). Sa capacité est estimée à 500 tonnes, et ce, en fonction du taux d'humidité de l'ensilage. Il est composé de 18 panneaux d'acier vitrifié. Chaque panneau forme une section mesurant 137 centimètres (55 pouces) de haut. Chacune des sections est munie d'une porte donnant accès à l'intérieur du silo. Une porte mesure 55 centimètres X 68 centimètres (22 pouces X 27 pouces). Les 2 premières sections mesurent 228 centimètres (90 pouces) de haut. La toiture mesure 1,5 mètre (5 pieds) de haut. Sur la paroi extérieure du silo est située une canalisation métallique ayant un diamètre de 23 centimètres (9½ pouces) servant à souffler l'ensilage à l'intérieur du silo.

Une échelle munie d'une crinoline donne accès à une plate-forme et à la toiture de la structure. Au niveau de celle-ci, une porte ayant les mêmes dimensions que celles de la chute donne accès à l'intérieur. Elle est utilisée pour manutentionner du matériel au besoin et pour vérifier le niveau de l'ensilage à l'intérieur du silo afin de déterminer la quantité de matière à ajouter. Sur le toit sont installés 3 évents afin d'évacuer l'humidité à l'extérieur. À l'intérieur au sommet du silo est situé un videur de marque Valmétal. Il est utilisé pour l'alimentation animale et pour le remplissage du silo à l'aide d'un dispositif de distribution de la matière.

### 3.2.2 Les caractéristiques d'un silo hermétique

Selon le document « *Atmosphères dangereuses et espaces exigus* » [ISBN : 1-4249-0805-1] du Ministère du Travail de l'Ontario, le genre de silo servant à emmagasiner du fourrage détermine en grande partie quel gaz d'ensilage prédominera. Dans les silos hermétiques, le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sont créés, mais le CO<sub>2</sub> est généralement présent en plus grande quantité. Ce gaz remplace l'oxygène (O<sub>2</sub>) du silo et en concentration élevée, il empêche une personne de s'apercevoir qu'elle est sur le point de succomber. En raison de ce danger, les silos hermétiques sont conçus de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'y pénétrer.

### 3.2.3 Type de sol et fertilisation

#### 3.2.3.1 Type de sol

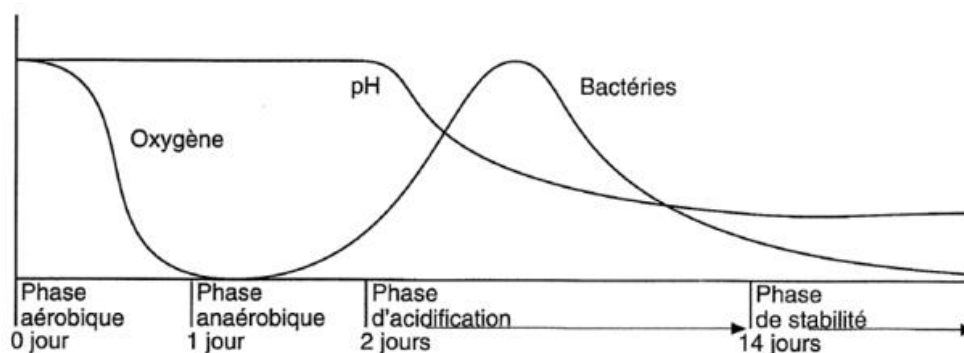
Le fournisseur de services pour l'employeur, La Coop Alliance précise que le sol est un loam ce qui en fait un bon sol pour l'agriculture. Il présente un bon drainage en surface et partiellement en profondeur. L'égouttement ne présente pas de problème particulier.

#### 3.2.3.2 Fertilisation

La Coop Alliance informe qu'environ 50 m<sup>3</sup>/ha (4500 gallons/acre) de lisier de porc et de fumier de vache laitière sont épandus au printemps et à l'automne. L'engrais minéral utilisé est du démarreur (18-13-13) appliqué au moment du semis à un taux de 225 kg/ha (200 lb/acre). Au total, la fertilisation organique et minérale apporte 135-140 unités d'azote à l'hectare. Le type de maïs semé est l'Élite 47A12.

### 3.2.4 Processus d'ensilage de maïs

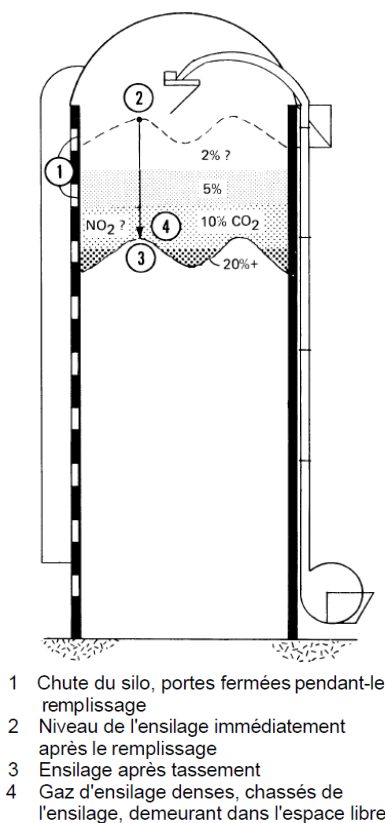
L'ensilage de maïs est un processus de fermentation acide d'une substance végétale qui se déroule en absence d'O<sub>2</sub>, soit en conditions anaérobiques. Selon le document Canada Service Plan M-7410 Gaz d'ensilage, après la coupe et le hachage des plants de maïs dans les champs et leur soufflage dans le silo, lors d'une première phase qui dure environ 1 journée, les plantes épuisent rapidement la quantité d'O<sub>2</sub> atmosphérique emprisonnée dans la masse compactée. Pendant ce processus de respiration, l'O<sub>2</sub> est transformé en eau et en CO<sub>2</sub> et l'atmosphère devient appauvrie en O<sub>2</sub>. Durant la deuxième phase, des bactéries anaérobies producteurs d'acides se multiplient rapidement dans l'ensilage tiède et humide. Ils se nourrissent d'une partie des sucres et de l'amidon contenu dans celui-ci en les transformant en acides (lactiques, acétiques, etc.). Ces bactéries acidogènes produisent encore davantage de CO<sub>2</sub>. La figure 1 montre les principales phases de fermentation de l'ensilage. La phase de stabilité est généralement atteinte après une période de 21 jours de fermentation.



(Source Bachant, 1998)

Figure 1 : Phases de fermentation de l'ensilage

Il y est précisé que la teneur en acides de l'ensilage continue de croître durant les semaines suivantes en fonction de l'étanchéité du silo. L'acidité accrue tue la bactérie acidogène et inhibe la croissance des moisissures et des champignons qui pourrait diminuer la valeur nutritive de l'ensilage. Ce processus donne toujours lieu à la formation d'un gaz d'ensilage, tel que le CO<sub>2</sub>. C'est pendant les 6 ou 7 premiers jours qui suivent le remplissage du silo que la production de gaz est la plus rapide. Pendant cette période, le volume des divers gaz produits représente plusieurs fois le volume du silo. Durant les 3 à 4 semaines suivantes, la production de gaz diminue. Les gaz produits dans la masse végétale migrent en grande partie vers l'espace libre dans le silo. L'effet de tassement peut accélérer l'accumulation des gaz dans cet espace (voir la figure ci-dessous « Silo-tour typique à déchargement par le haut immédiatement après le remplissage »).



(Source : Canada Service Plan M-7410 Gaz d'ensilage)

**Figure 2: Silo-tour typique à déchargement par le haut après le remplissage**

Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) peuvent également être produits dans le processus. Le stress causé aux plantes par des conditions météorologiques ou de cultures ou encore une surfertilisation azotée peuvent faire augmenter la teneur en nitrates (NO<sub>3</sub>) des plantes avant la récolte et faire croître le danger de production de ce groupe de gaz potentiellement mortel. La période la plus dangereuse va jusqu'à 3 semaines après l'ensilage.

### 3.2.5 Conditions météo :

Selon les données d'Environnement et Ressources Naturelles Canada, le 26 septembre 2018 la station opérationnelle de Beauceville a enregistré à 17h00 une température de 20°C, une humidité relative de 93%, une vitesse des vents de 6 km/h et un humidex de 27°C. Selon les données du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques du Québec (MELCC), le total des précipitations enregistré cette journée-là à la station de Saint-Georges est de 0.2 millimètre (mm), par contre, le 10 septembre 2018 le total est de 14 mm et le 21 septembre 2018 le total est de 18.6 mm. Entre les 10 et 21 septembre 2018, il n'y a pas eu de précipitations de pluie.

Les données enregistrées du MELCC sur les normales climatiques du Québec de 1981 à 2010 pour la station de Saint-Georges concernant les précipitations de pluie sont présentées dans le tableau 1. Tandis que les données pour la période estivale 2018 sont présentées au tableau 2.

**Tableau 1**

<b>Normales climatiques du Québec de 1981 à 2010 pour la station de Saint-Georges</b>	
<b>Précipitations de pluie</b>	
Mai	87.4 mm
Juin	111.6 mm
Juillet	117.1mm
Août	120.4 mm
Septembre	85.8 mm

**Tableau 2**

<b>Données météo pour la station de Saint-Georges en 2018</b>	
<b>Précipitations de pluie</b>	
Mai	54.4 mm
Juin	88.4 mm
Juillet	133.4 mm
Août	113.2 mm
Septembre	88 mm

Selon le MELCC, la période estivale 2018 (juin à septembre) a été particulièrement chaude. Les données du Service national d'information sur l'agroclimat (SNIA) d'Agriculture et Agroalimentaire du Canada (AAC) et son outil de surveillance des sécheresses au pays, analyse pour la période estivale 2018 (juin à septembre) que la région de Chaudière-Appalaches a été une zone de sécheresse anormale (D0), c'est-à-dire qu'il s'agit d'une situation qui survient tous les 3 ou 5 ans, par contre, cela ne signifie pas qu'il s'agit d'une sécheresse. Elle attire l'attention sur les zones vulnérables à celle-ci ou à des zones qui s'en rétablissent.

## SECTION 4

### 4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

#### 4.1 Chronologie de l'accident

Selon les témoignages recueillis, le 26 septembre 2018 à 16h40, l'employeur demande aux 2 travailleurs d'accéder à l'intérieur du silo tour conventionnel en acier vitrifié #2 afin de niveler l'ensilage de maïs à l'aide de fourches. Celles-ci sont reliées par un câble afin d'être hissées au niveau de la porte d'accès de la chute par un des travailleurs une fois sur place. Ils n'ont pas eu le temps de les hisser. Afin d'y accéder, les 2 travailleurs utilisent comme moyen d'accès l'échelle dans la chute. Le travailleur 1 est le premier à monter, suivi du travailleur 2. Une fois à la porte d'accès à une hauteur estimée à 18 mètres (60 pieds), le travailleur 1 ouvre la porte puis introduit sa tête à l'intérieur du silo. C'est à ce moment qu'il crie. Le travailleur 2 positionné dans l'échelle, en-dessous du travailleur 1 ressent immédiatement un courant d'air et une odeur qui s'apparente à du gaz. Il a de la difficulté à respirer et est pris d'étourdissements. Il s'agrippe le temps d'un instant puis retourne au sol. Par le fait même, il constate que le travailleur 1 n'est pas redescendu.

Il court chercher l'employeur et l'informe que son collègue est à l'intérieur du silo. Aussitôt arrivé sur les lieux, l'employeur monte par l'échelle de la chute pour aller chercher le travailleur 1. Le travailleur 2 constate qu'il ne le voit plus dans l'échelle de la chute. Il ne sait pas s'il est à l'intérieur. Il court chercher [ G ] à la résidence de la ferme. Celui-ci l'interpelle par la chute et n'a aucune réponse. Il essaie de le joindre sur son cellulaire. Sans nouvelles, il va chercher le tracteur de marque John Deere (JD) afin de le coupler sur le souffleur de marque Valmétal pour le faire fonctionner et ainsi aérer l'intérieur du silo. [ H ] communique avec le 911 vers 17h20 afin de déclarer l'événement. Les corps sont retrouvés inertes à l'intérieur par le Service de sécurité incendie de Beauceville.

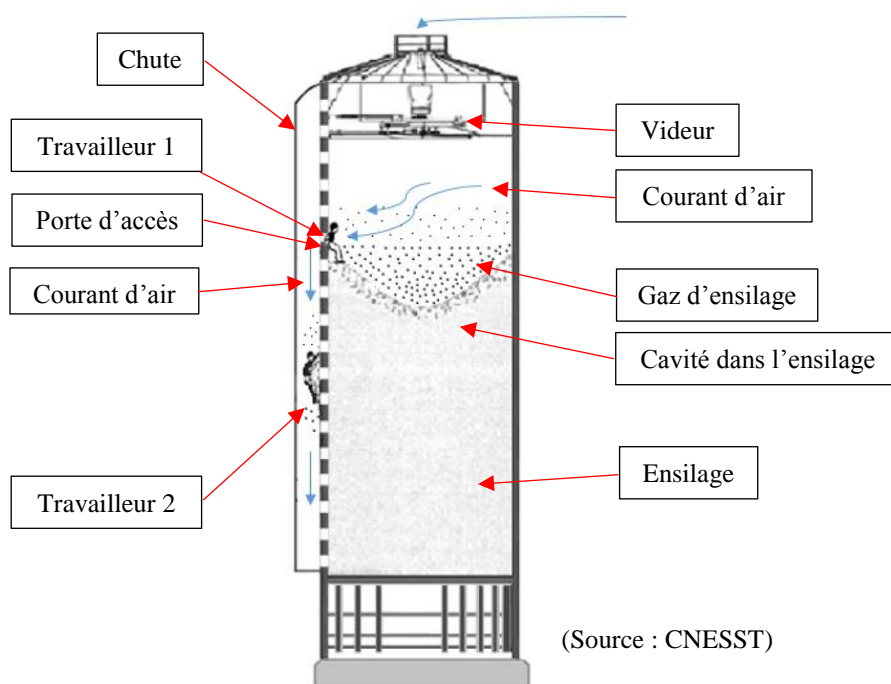


Figure 3 : Croquis du silo tour conventionnel en acier vitrifié #2

## 4.2 Constatations et informations recueillies

### 4.2.1 Récolte du maïs fourrager et remplissage du silo tour conventionnel en acier vitrifié #2

Lors de la récolte afin de produire de l'ensilage, le maïs fourrager est haché puis transporté à l'aide de voitures à ensilage jusqu'au silo à remplir. Au moment du remplissage, le souffleur est relié au conduit métallique fixé à sa paroi extérieure. Le maïs fourrager est ainsi soufflé à l'intérieur du silo. Dès lors, débute le processus de fermentation et la transformation progressive en ensilage.

Pendant le soufflage du maïs à l'intérieur du silo, le videur situé au sommet et muni d'un dispositif de distribution de l'ensilage tourne sur son axe afin de le répartir uniformément au pourtour de la structure. Avec cette méthode de remplissage, un entonnoir se forme à la surface de l'ensilage à l'intérieur du silo. La tâche des travailleurs consiste à répartir le tout également.

Les champs numéro 17, 17A et 28 représentent 16 hectares (40 acres) en culture. La coupe des plants de maïs s'est effectuée à une hauteur variant entre 10 et 15 centimètres du sol selon les échantillons recueillis. La Coopérative Fédérée préconise de ne pas récolter la base de la tige du plant de maïs afin de réduire le taux de NO<sub>3</sub>. La coupe doit se faire à 30 centimètres de haut du sol. Le 21 septembre 2018, il y a eu une pluie abondante (voir point 3.2.5). La Coopérative Fédérée dans de telles circonstances, préconise qu'il faut éviter d'ensiler dans les 5 jours suivants, étant donné que les plants de maïs risquent de se gorger de NO<sub>3</sub>.

Selon les témoignages, la récolte du maïs s'est effectuée la fin de semaine du 22 et 23 septembre 2018. En raison d'un bris au niveau du tuyau télescopique du silo #2 reliant le souffleur de marque Valmétal le 23 septembre 2018, le maïs haché n'a pu être soufflé à l'intérieur du silo avant le 24 septembre 2018 vers l'heure du midi pour se terminer vers 14h00 le 25 septembre 2018. Durant l'opération, un inoculant bactérien de marque Enersile 5 a été pulvérisé. Selon l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue et le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), il s'agit d'un inoculant lactique qui fournit des bactéries à la plante pour assurer une fermentation rapide et efficace. Le 23 septembre 2018, soit avant le remplissage, le silo #2 est vide.

L'institut de recherche et de développement en agroalimentaire (IRDA) a analysé un échantillon d'ensilage de maïs prélevé à l'intérieur du silo le 28 septembre 2018 qui confirme la présence de NO<sub>3</sub> à un taux de 1260 mg/kg ou 1260 ppm. Selon le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAARO), en règle générale, les concentrations de NO<sub>3</sub> doivent être inférieures à 1000 ppm pour l'aliment fourni au bétail. Dans ce cas-ci, le taux de NO<sub>3</sub> est près de la limite recommandée du MAARO.

La valeur obtenue par l'IRDA indique qu'il pouvait y avoir production d'oxydes d'azote dans le silo. Cette production est d'ailleurs confirmée par les mesures de gaz et les photos prises lors de l'enquête qui montrent un petit volume de gaz NO<sub>2</sub> (gaz brun rouge) bien visible dans la partie basse près de la surface de l'ensilage (photo 5, section 4.3.1). Le faible volume observé au fond du silo indique qu'une teneur en nitrates de 1 260 mg N-NO<sub>3</sub> / kg, est modérée et peu susceptible de générer suffisamment de NO<sub>2</sub> pour combler l'espace libre du silo jusqu'au niveau de la porte par où sont entrées les victimes.



Toutefois, les mesures des gaz montrent que les concentrations en NO<sub>2</sub> et NO dans le silo pouvaient être suffisamment élevées pour sérieusement porter atteinte à la santé des travailleurs exposés (section 4.3.2). Les conditions météorologiques qui ont prévalu avant la récolte (section 3.2.5) et la coupe des plants à une hauteur entre 10 et 15 centimètres du sol, peuvent avoir contribué à une certaine accumulation de NO<sub>3</sub> dans le maïs avant sa récolte.

## **4.2.2 Événements précurseurs chez Rodveil Holstein inc.**

### **4.2.2.1 Accident dans un évacuateur à fumier**

Le 9 décembre 2012, un accident survient à la suite d'une intervention de déblocage dans le réservoir de l'évacuateur à fumier. Un travailleur exposé aux gaz est transporté à l'hôpital où il est mis sous O<sub>2</sub> pendant 6 heures. Le réservoir est identifié comme étant un espace clos. Une décision est émise par l'inspecteur y interdisant le travail. L'employeur doit se conformer à la section 26 du *RSSST [S-2.1, r. 13]*. (Référence DPI4176977 et du rapport RAP0737435 de la CSST).

### **4.2.2.2 Interventions précédentes dans le silo tour conventionnel en acier vitrifié #1**

Selon le témoignage du travailleur 2, l'employeur a demandé aux travailleurs d'intervenir à l'intérieur du silo #1 le 25 septembre 2018 vers 20h30 et le lendemain 26 septembre 2018 vers 16h00. Ils sont entrés à l'intérieur du silo sans aucun équipement de protection individuel, ni aucune mesure de la qualité de l'air et sans aucune surveillance. De plus, le souffleur n'est pas en fonction afin de ventiler l'intérieur avant et pendant chaque intervention. L'entrée dans le silo #1 le 25 septembre 2018 a comme objectif de dégager le videur de l'ensilage, puisque celui-ci est hors d'usage. Le 26 septembre 2018, la tâche consiste à faire descendre manuellement dans la chute à l'aide de fourches de l'ensilage pour nourrir les animaux.

Il est à noter que le silo # 1 est à ce moment plein d'ensilage de foin récolté durant l'été 2018. Il est donc plus avancé dans son processus de fermentation pour lequel la production de gaz est passablement ralentie. Par ailleurs, à cette date, le silo était plein et la hauteur réduite de l'espace libre aurait pu favoriser la ventilation et l'évacuation des gaz. Dans le cadre de cette enquête, les conditions à l'intérieur du silo #1 n'ont pas été analysées.



### 4.2.3 La réglementation

Dans le cadre du travail à l'intérieur des silos #1 et #2, la section 26 du *Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) [S-2.1, r. 13]* sur le travail dans un espace clos s'applique.

L'article 1 dudit règlement définit un espace clos comment étant un espace totalement ou partiellement fermé, notamment un réservoir, un silo, une cuve, une trémie, une chambre, une voûte, une fosse, y compris une fosse et une préfosse à lisier, un égout, un tuyau, une cheminée, un puits d'accès, une citerne de wagon ou de camion, qui possède les caractéristiques inhérentes suivantes :

1. Il n'est pas conçu pour être occupé par des personnes ni destiné à l'être, mais qui à l'occasion peut être occupé pour l'exécution d'un travail;
2. On ne peut y accéder ou on ne peut en ressortir que par une voie restreinte;
3. Il peut présenter des risques pour la santé, la sécurité ou l'intégrité physique pour quiconque y pénètre, en raison de l'un ou l'autre des facteurs suivants :
  - a. L'emplacement, la conception ou la construction de l'espace, exception faite de la voie prévue au paragraphe 2°;
  - b. L'atmosphère ou l'insuffisance de ventilation naturelle ou mécanique qui y règnent;
  - c. Les matières ou les substances qu'il contient;
  - d. Les autres dangers qui y sont afférents.

La majorité des caractéristiques présentées ci-dessus sont présentes au moment de l'accident à l'intérieur du silo tour conventionnel en acier vitrifié #2.

### 4.2.4 Les règles de l'art

La norme *CSA-Z1006-16 Gestion du travail dans les espaces clos* à l'article 3.1 définit un espace clos comme étant un lieu de travail qui est entièrement ou partiellement fermé; qui n'est pas conçu pour une occupation humaine permanente, ni destiné à cette fin et dont les accès et les sorties sont restreintes ou de petites dimensions, ou qui présente une configuration interne qui compliquerait la prestation des premiers secours, l'évacuation, le sauvetage ou les autres interventions d'urgence.

À l'annexe A de ladite norme à la partie A.2, elle présente une liste à l'article A.2.2 qui contient des exemples d'espaces qui ont le potentiel d'être des espaces clos. Au sein de la nomenclature, on y retrouve les silos.

### 4.3 Rapports d'expertise

#### 4.3.1 Rapport d'expertise Groupe Gesfor

Le mandat de cette expertise a consisté à réaliser une évaluation des contaminants chimiques de l'air à l'intérieur du silo tour conventionnel en acier vitrifié #2. De plus, des mesures de gaz ont été réalisées en appliquant différents scénarios afin de vérifier les conditions possiblement présentes dans le silo #2 au moment de l'accident.

Le RSST [S-2.1, r. 13] établit les valeurs d'exposition moyenne pondérée (VEMP) et les valeurs d'exposition de courte durée (VECD) pour les contaminants pouvant être présents à l'intérieur du silo. Les valeurs représentant un danger immédiat pour la vie et la santé (DIVS) ainsi que les contaminants sont présentés dans le tableau 3 ci-dessous.

**Tableau 3 : Valeurs limites d'exposition et DIVS**

CONTAMINANT	DIVS	VECD	VEMP	DENSITÉ RELATIVE AIR=1
CO <sub>2</sub>	40 000 ppm	30 000 ppm	5 000 ppm	1,53
NO	100 ppm	—	25 ppm	1,04
NO <sub>2</sub>	20 ppm	—	3 ppm	1,59
CO	1 200 ppm	200 ppm	35 ppm	0,96
O <sub>2</sub>	—	19,5 %	19,5 %	—
H <sub>2</sub> S	100 ppm	15 ppm	10 ppm	1,19
LIE	—	—	—	—

(Source : Groupe Gesfor)

Le 28 septembre 2018, le consultant a recueilli des données à l'intérieur du silo #2, soit 33 heures après l'accident. Selon les constatations recueillies, l'ensilage de maïs dans le silo laissait un espace vide d'une hauteur estimée à 10 mètres (34 pieds). Le volume de cet espace vide est estimé à 268 mètres cubes (9467 pieds cubes).

**Note :** La limite inférieure d'explosivité (LIE) n'est pas un gaz. Il s'agit d'une concentration minimale d'un produit dans l'air où peut se former un mélange inflammable ou explosif en présence d'une source d'ignition. Le monoxyde de carbone (CO) et le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) ne sont habituellement pas des gaz associés aux silos à fourrage.

La reproduction de la journée de l'accident n'a pu être effectuée en raison de l'ouverture de plusieurs portes d'accès à l'intérieur du silo #2 à partir de la chute depuis 33 heures suivant l'accident. Des mesures ont été prises à l'intérieur, soit au niveau de l'espace libre au-dessus de l'ensilage de maïs, au bas de l'entonnoir formé par l'ensilage et dans l'espace libre supérieur. Les résultats sont présentés au tableau 4. Par la suite, il a été décidé de fermer les portes d'accès pour environ 2 heures afin de mesurer la montée des gaz d'ensilage. Les résultats sont présentés au tableau 5. Par la suite, la ventilation à l'aide du souffleur à fourrage couplé à un tracteur a été effectuée pendant 30 minutes. Il s'agit d'un délai de ventilation établi selon une perception véhiculée dans le milieu agricole. Les résultats sont présentés au tableau 6.

**Tableau 4 : Résultats des mesures avec les 4 portes d'accès ouvertes**

CONTAMINANTS	CONCENTRATIONS MAXIMALES ENREGISTRÉES		CONCENTRATIONS MOYENNES	VALEURS LIMITES D'EXPOSITION		DIVS
	HEURE	CONCENTRATIONS		VEMP	VECD	
CO <sub>2</sub>	13 h 33	8 400 ppm	17 ppm	5 000 ppm	30 000 ppm	40 000 ppm
NO	13 h 33	43,5 ppm	7 ppm	25 ppm	—	100 ppm
NO <sub>2</sub>	13 h 33	1,3 ppm	0,2 ppm	3 ppm	—	20 ppm
CO	13 h 33	20 ppm	0 ppm	35 ppm	200 ppm	1 200 ppm
O <sub>2</sub>	13 h 33	20,2 %	20,8 %	—	—	—
H <sub>2</sub> S	13 h 33	0 ppm	0 ppm	10 ppm	15 ppm	100 ppm
LIE	13 h 33	0 %	0 %	—	—	—

(Source : Groupe Gesfor)

**Tableau 5 : Résultats des mesures avec les 4 portes fermées d'accès pendant près de 2 heures**

CONTAMINANTS	CONCENTRATIONS MAXIMALES ENREGISTRÉES		CONCENTRATIONS MOYENNES	VALEURS LIMITES D'EXPOSITION		DIVS
	HEURE	CONCENTRATIONS		VEMP	VECD	
CO <sub>2</sub>	16 h 32	14 000 ppm	4 900 ppm	5 000 ppm	30 000 ppm	40 000 ppm
NO	16 h 32	70 ppm	29 ppm	25 ppm	—	100 ppm
NO <sub>2</sub>	16 h 32	7,1 ppm	2,2 ppm	3 ppm	—	20 ppm
CO	16 h 32	40 ppm	20 ppm	35 ppm	200 ppm	1 200 ppm
O <sub>2</sub>	16 h 32	20 %	20,77 %	—	—	—
H <sub>2</sub> S	16 h 32	0,7 ppm	0,2 ppm	10 ppm	15 ppm	100 ppm
LIE	16 h 32	1 %	0,5 %	—	—	—

(Source : Groupe Gesfor)

**Tableau 6 : Résultats des mesures après avoir ventilé le silo pendant 30 minutes**

CONTAMINANTS	CONCENTRATIONS MAXIMALES ENREGISTRÉES		CONCENTRATIONS MOYENNES	VALEURS LIMITES D'EXPOSITION		DIVS
	HEURE	CONCENTRATIONS		VEMP	VECD	
CO <sub>2</sub>	17 h 22	9 100 ppm	4 000 ppm	5 000 ppm	30 000 ppm	40 000 ppm
NO	17 h 22	54,5 ppm	10 ppm	25 ppm	—	100 ppm
NO <sub>2</sub>	17 h 22	2,3 ppm	0,5 ppm	3 ppm	—	20 ppm
CO	17 h 22	20 ppm	10 ppm	35 ppm	200 ppm	1200 ppm
O <sub>2</sub> (%)	17 h 22	20,6 %	20,67 %	—	—	—
H <sub>2</sub> S	17 h 22	0 ppm	0 ppm	10 ppm	15 ppm	100 ppm
LIE (pourcentage)	17 h 22	0 %	0 %	—	—	—

(Source : Groupe Gesfor)

Selon les relevés, les concentrations de gaz à l'intérieur du silo #2 ont augmenté considérablement en près de 2 heures après la fermeture des portes (tableau 5). Ces relevés démontrent que la fermentation est toujours en cours et qu'il y a production de gaz 3 jours après l'introduction du dernier voyage d'ensilage dans ledit silo.

Les concentrations présentes à l'intérieur lors de l'accès du travailleur 1, selon le consultant pouvaient approcher des valeurs DIVS pour certains gaz. Selon ces informations, puisque les gaz d'ensilage atteignent des concentrations très élevées dès la première heure de mise en silo, notamment le CO<sub>2</sub> durant la première journée, la première victime serait entrée environ 24 heures après la fin de la première phase d'ensilage. Les concentrations obtenues pendant la simulation se sont approchées de la valeur DIVS, notamment pour le NO<sub>2</sub> les concentrations présentes au moment de l'accident pouvaient être suffisamment élevées pour compromettre la santé et la sécurité des deux personnes. L'image ci-dessous présente le gaz d'ensilage NO<sub>2</sub> de couleur brun rouge au fond de la cavité d'ensilage de maïs.



(Source : Images modifiées CNESST)

**Photo 5 : Gaz d'ensilage : NO<sub>2</sub>**

Tel que démontré au tableau 6, le constat est qu'une ventilation de 30 minutes est insuffisante pour permettre l'accès sécuritaire des travailleurs. Selon le calcul effectué par le consultant pour les changements d'air dans le silo, le souffleur génère un changement d'air toutes les 5,67 minutes, ce qui représente 5,3 changements d'air en 30 minutes. La norme CSA Z1006-F16 *Gestion du travail dans les espaces clos* recommande entre 5 et 60 changements d'air par heure dans un espace clos. Selon les règles de l'art du travail en espace clos, au moins 20 changements d'air doivent être effectués par heure.

**Note :** Outre le nombre de changements d'air à l'heure, il faut tenir compte du videur qui fait obstacle et de la hauteur libre. Une estimation par le nombre de changements d'air (volumes déplacés) n'est valide que pour une conduite avec un orifice à l'extrémité qui souffle l'air à la verticale vers le fond du silo et sans qu'il y ait d'obstacle, tel un dispositif de distribution de l'ensilage (Sabourin, 1983, IRSST, R-672).

### 4.3.2 Rapport d'expertise de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et sécurité du travail (CNESST)

Le mandat de cette expertise est d'expliquer la production de gaz d'ensilage, particulièrement dans les premières heures suivant la mise en silo de l'ensilage de maïs ainsi que son effet probable sur la qualité de l'atmosphère à l'intérieur de celui-ci.

Au sein du rapport d'expertise, il y est précisé qu'à l'intérieur d'un espace clos, tel qu'un silo, une concentration en O<sub>2</sub> inférieure à 20,5% indique une anomalie. Il est à noter que la concentration normale en O<sub>2</sub> dans l'air est d'environ 21%. Une concentration inférieure à 20.5% peut être causé par une consommation d'O<sub>2</sub> ou une accumulation d'un autre gaz. Dans le cas d'un silo tour contenant de l'ensilage, les deux phénomènes peuvent se produire simultanément et résulter en une atmosphère fortement appauvrie en O<sub>2</sub>. La figure 4 ci-dessous présente sommairement les principaux effets associés à une baisse des teneurs en O<sub>2</sub> dans l'air. Selon la littérature, une teneur en O<sub>2</sub> inférieure à 6% provoque la mort en quelques minutes. Lorsque la teneur en O<sub>2</sub> est inférieure à 4%, la perte de conscience survient après une ou deux inspirations. Dans le cas présent, selon le travailleur 2, le travailleur 1 a perdu conscience dès qu'il a inséré sa tête à l'intérieur du silo.

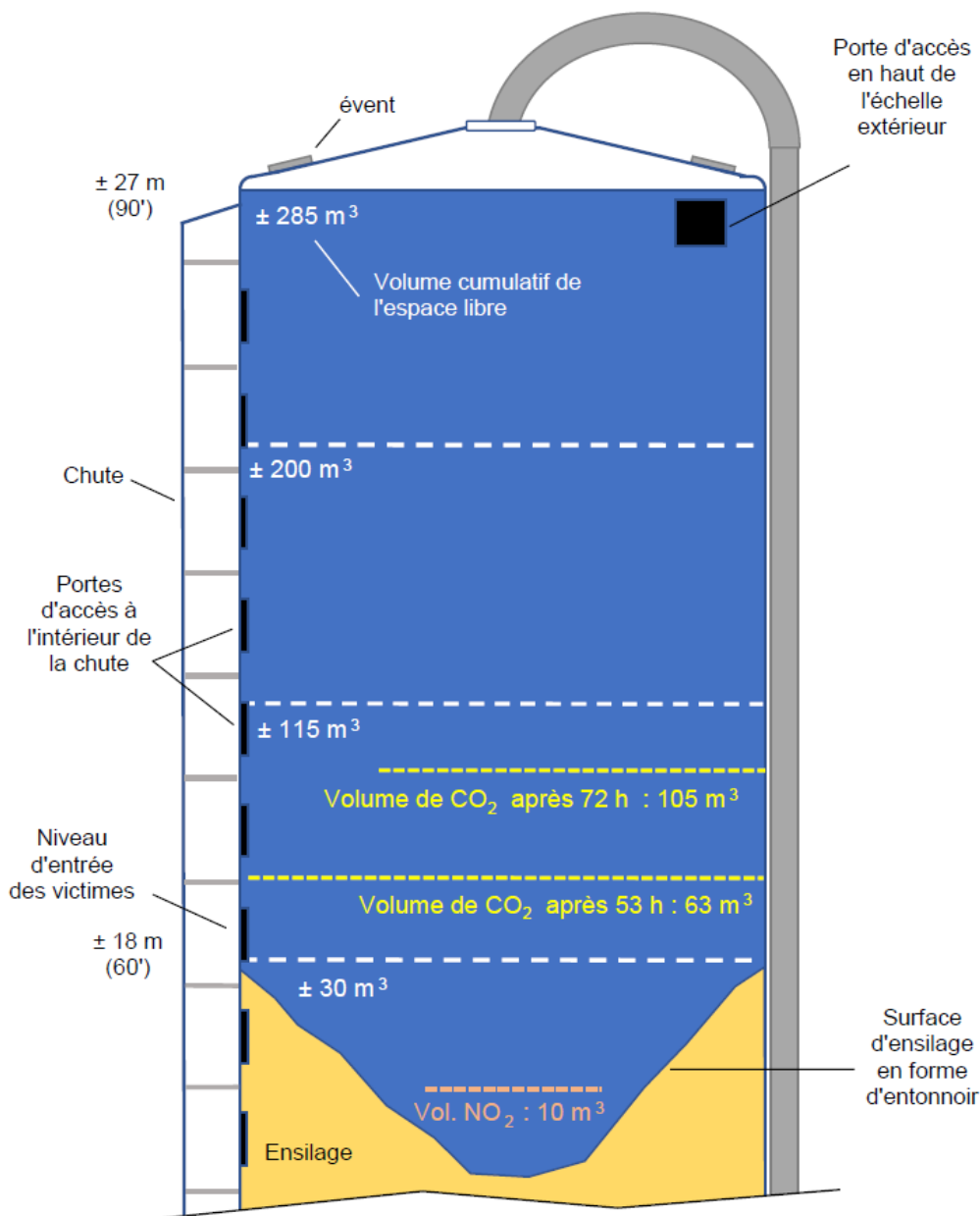


(Source : INRS, France, cité dans le rapport d'expertise CNESST)

**Figure 4 : Effet d'une diminution des teneurs en O<sub>2</sub>**

Dans le processus d'ensilage, l'auteur du rapport d'expertise mentionne que pour donner suite à la phase aérobique, dans des conditions optimales d'ensilage, presque tout l'O<sub>2</sub> dans la masse végétale est consommé en 1 journée environ. Ensuite débute la phase anaérobique (voir point 3.2.4 Processus d'ensilage de maïs).

Selon l'expertise réalisée, il est estimé que le volume de CO<sub>2</sub> dans l'espace libre du silo #2 avant l'accident, pouvait se situer entre un volume correspondant à 53 h de production (75 m<sup>3</sup>) et un volume correspondant à 72 h de production (195 m<sup>3</sup>), tel qu'illustré à la figure 5. Le volume maximum de NO<sub>2</sub> quant à lui, a été estimé à moins de 10 m<sup>3</sup>.



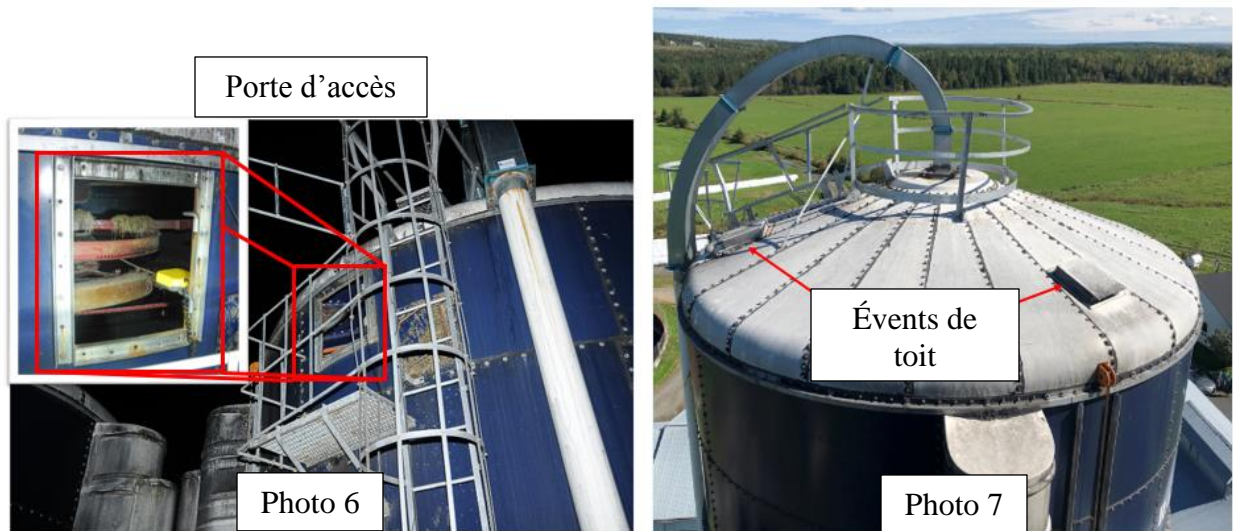
(Source : rapport d'expertise CNESST)

**Figure 5 : Schéma du silo en cause représentant les volumes de CO<sub>2</sub> estimés dans l'espace libre après 53 heures et 72 heures.**



Il y est noté que malgré l'ouverture de la porte d'accès au niveau de la passerelle du silo #2, on peut considérer que la ventilation naturelle dans la majeure partie de l'espace libre était quasi nulle. En considérant l'ouverture de la porte d'accès et celle des événements de toit (photos 6 et 7), le constat est que sans ventilation mécanique, les échanges gazeux avec l'atmosphère extérieure vont être principalement limités à la zone située immédiatement sous la toiture.

À ce moment, le silo #2 se comporte comme un récipient étanche. Les gaz lourds générés lors du processus de fermentation, notamment le CO<sub>2</sub> et le NO<sub>2</sub>, s'accumuleront et seront initialement retenus dans la partie basse de l'espace libre (figure 5).



(Source : modifiée CNESST)

**Photos 6 et 7 : Porte d'accès et événements de toit**

Selon l'expertise réalisée, les gaz lourds générés lors de la fermentation de l'ensilage sont présents dans les parties basses des silos tours dès les premières heures suivant la mise en silo. De plus, ils sont générés par le processus de fermentation bien au-delà des premiers jours.

Selon les vérifications que nous avons effectuées et l'estimation réalisée par l'expert, immédiatement avant l'accident, l'atmosphère se situant derrière la porte d'accès du silo #2 qui a été ouverte pouvait être dépourvue d'O<sub>2</sub> et composée essentiellement de CO<sub>2</sub>. Dans ces conditions, une personne exposée à la suite de l'ouverture de la porte aurait pu, selon le taux de ventilation présent, perdre conscience dans la chute ou dans le silo dès le seuil de la porte franchi.

Compte tenu de la ventilation déficiente dans le silo #2, dans les instants qui ont suivi l'ouverture de la porte, l'atmosphère dans l'espace libre en-dessous de celle-ci devait être composée presque uniquement de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub>. L'atmosphère dans l'entonnoir formée par l'ensilage pouvait donc également provoquer une perte de conscience rapide.

#### 4.4 Problèmes de communication

Des problèmes de communication entre l'employeur et les travailleurs [ ... ] ont été soulevés dans le cadre de cette enquête. Notamment, la déficience de la formation en matière de santé et sécurité du travail dans la langue maternelle des travailleurs. La barrière de la langue et l'absence d'encadrement ont été également remarquées.

Concernant la barrière de la langue, il a été constaté que les travailleurs [ ... ] ne maîtrisent pas la langue française parlée et écrite. De plus, l'employeur ne maîtrise pas la langue [ ... ]. Afin de communiquer, ils utilisent Google traduction à l'aide d'un téléphone intelligent. Également, il a été constaté l'absence de procédures ou directives rédigées en [ ... ] sur les lieux, outre des inscriptions de dangers généraux rédigées en français et en anglais apposées sur les silos tour conventionnel en acier vitrifié #1 et #2. Les directives ou procédures, de même que les connaissances, se transmettent d'une année à l'autre de façon orale entre les travailleurs [ ... ] qui se succèdent.

Toutefois, la présente enquête ne peut démontrer un lien déterminant entre les problèmes potentiels de communication touchant l'employeur et les travailleurs [ ... ] et l'accident en question. Aucun fait ne permet de corroborer avec certitude, à savoir si la barrière de la langue et l'absence de procédures ou directives rédigées en espagnol soient contributives directement ou indirectement à l'accident. Cet événement aurait pu survenir à quelconque travailleur dans de telles circonstances.



## 4.5 Énoncés et analyse des causes

### 4.5.1 L'employeur et le travailleur sont asphyxiés en raison d'une atmosphère appauvrie en oxygène à l'intérieur du silo tour conventionnel en acier vitrifié #2 dû à la présence de gaz d'ensilage.

Le début du soufflage de l'ensilage de maïs a débuté le 24 septembre 2018 vers midi pour se terminer le 25 septembre 2018 à 14h00. Un délai de 53 heures s'est écoulé entre la première mise en silo et l'accident du 26 septembre 2018. La littérature mentionne une période à risque de 12 à 60 heures suivant l'ensilage pour la formation des gaz toxiques, et de porter une attention plus particulière pour le maïs d'ensilage, notamment pour le CO<sub>2</sub>.

Durant, ces premières heures, les plantes consomment l'O<sub>2</sub>, laissant la place au CO<sub>2</sub>. Étant donné que ce gaz commence à être produit dès les premières heures de la mise en silo et que celle-ci a débuté environ 53 heures avant l'accident, il est estimé que le volume de CO<sub>2</sub> généré pouvait avoir rempli l'espace libre jusqu'au-dessus du niveau d'entrée du travailleur 1. Puisqu'il est plus lourd que l'air (densité relative de 1.53), il se tient au niveau supérieur de l'ensilage de maïs dans le silo, faisant en sorte que l'atmosphère est déficiente en O<sub>2</sub>. Selon l'expertise réalisée, lorsque la teneur en O<sub>2</sub> est inférieure à 4%, la perte de conscience survient après une ou deux inspirations. Dans le cas présent, le travailleur 1 a perdu conscience dès qu'il a inséré sa tête à l'intérieur du silo puis s'est asphyxié. Le courant d'air chaud dépourvu d'O<sub>2</sub> ressenti par le travailleur 2 dans la chute l'a incommodé. Dans les instants qui suivent, une partie du volume de CO<sub>2</sub>, plus lourd que l'air, a pu être évacué du silo jusqu'à l'ouverture inférieure de la porte de la chute. Toutefois, l'espace libre à l'intérieur de l'entonnoir à la surface de l'ensilage de maïs demeure une atmosphère appauvrie en O<sub>2</sub>. L'employeur étant exposé au CO<sub>2</sub> lors de la tentative visant à secourir le travailleur 1 au fond de l'entonnoir a également perdu conscience puis s'est asphyxié.

Cette cause est retenue

#### 4.5.2 La planification et l'exécution du travail en espace clos sont inexistantes.

Selon le *RSST [S-2.1, r. 13]*, un silo est un espace clos, ainsi, la section 26 dudit règlement doit s'appliquer.

Les journées du 25 et 26 septembre 2018, il y a eu 3 interventions à l'intérieur des silos tour conventionnels en acier vitrifié #1 et #2. Les travailleurs n'ont pas été informés adéquatement sur les risques reliés au travail à l'intérieur des silos, et l'employeur ne leur a pas assuré la formation, l'entraînement et la supervision appropriée afin de faire en sorte que ceux-ci aient l'habileté et les connaissances requises pour accomplir de façon sécuritaire le travail en espace clos qui leur a été confié. Dans son témoignage, le travailleur 2 mentionne qu'il ne connaissait pas les dangers reliés au travail à l'intérieur des silos. Il mentionne également que le travailleur 1 l'a informé qu'à l'occasion il pouvait y avoir une présence de vapeur dans le silo. Ils n'ont jamais été avisés par l'employeur d'un quelconque danger.

Aucune mesure n'a été prise pour y exécuter le travail de façon sécuritaire. Aucun équipement de protection individuelle et collective n'a été fourni ou mis en place. Aucune cueillettes de renseignements préalables à l'exécution du travail dans le silo n'ont été effectuées. Aucun relevé de la qualité de l'air n'a été pris avant l'entrée des travailleurs, ni aucune lecture en continu de l'atmosphère par la suite. Aucune ventilation de l'espace clos n'a été effectuée à l'aide du souffleur à ensilage. Celui-ci est présent, mais le tracteur est absent. Aucun plan de sauvetage n'a été prévu. Aucun surveillant à l'extérieur de l'espace clos pendant l'intervention dans les silos. Dans le cas présent, les travailleurs 1 et 2 ne sont pas considérés comme des travailleurs habilités au sens de l'article 298 du *RSST [S-2.1, r. 13]*. Ils n'ont pas les connaissances, la formation ou l'expérience requises pour effectuer un travail dans un espace clos.

**298 Travailleurs habilités:** *Seuls les travailleurs ayant les connaissances, la formation ou l'expérience requises pour effectuer un travail dans un espace clos sont habilités à y effectuer un travail.*

Cette cause est retenue

**SECTION 5****5 CONCLUSION****5.1 Causes de l'accident**

- L'employeur et le travailleur sont asphyxiés en raison d'une atmosphère appauvrie en oxygène à l'intérieur du silo tour conventionnel en acier vitrifié #2 dû à la présence de gaz d'ensilage.
- La planification et l'exécution du travail en espace clos sont inexistantes.

**5.2 Recommandations et/ou Suivis à l'enquête**

- Informer l'UPA et l'Association canadienne de sécurité agricole des conclusions de l'enquête.
- Informer les fabricants et distributeurs de silo des conclusions de l'enquête.
- Dans le cadre du partenariat de la CNESST visant l'intégration de la santé et de la sécurité du travail dans la formation professionnelle et technique, le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, diffusera à des fins informatives et pédagogiques le rapport d'enquête dans les établissements de formation qui offrent les programmes d'études en agriculture.

**ANNEXE A****ACCIDENTÉ**

**Nom, prénom** : [ D ]  
**Sexe** : Masculin  
**Âge** : [ ... ]  
**Fonction habituelle** : [ ... ]  
**Fonction lors de l'accident** : Ouvrier agricole  
**Expérience dans cette fonction** : [ ... ]  
**Ancienneté chez l'employeur** : [ ... ]  
**Syndicat** : [ ... ]

**ACCIDENTÉ**

**Nom, prénom** : [ B ]

**Sexe** : Masculin

**Âge** : [ ... ]

**Fonction habituelle** : [ ... ]

**Fonction lors de l'accident** : Employeur

**Expérience dans cette fonction** : [ ... ]

**Ancienneté chez l'employeur** : [ ... ]

**Syndicat** : [ ... ]

**ANNEXE B**

## Liste des personnes et témoins rencontrés

1. Monsieur [ A ], [ ... ];
2. Monsieur [ G ], [ ... ];
3. Monsieur [ E ], [ ... ], Rodveil Holstein inc.;
4. Monsieur Christian Germain, sergent superviseur aux enquêtes, Sûreté du Québec;
5. Monsieur Luis Gerard Tejada Lambert, enquêteur, Sûreté du Québec;
6. Monsieur Maxime Nolet, agent, Sûreté du Québec;
7. Monsieur Steeve Bégin, agent, Sûreté du Québec;
8. Monsieur Benoît Morin, agent, Sûreté du Québec;
9. Monsieur Jocelyn Veilleux, agent, Sûreté du Québec;
10. Madame Caroline Boiselle, agente, Sûreté du Québec;
11. Monsieur Jimmy Houle, identité judiciaire, Sûreté du Québec;
12. Madame [ I ], [ ... ] à l'UPA;
13. Madame [ J ], [ ... ] à l'UPA;
14. Monsieur Daniel Fortin, directeur du Service de sécurité incendie de Beauceville;
15. Monsieur Jean-Paul Mathieu, pompier au Service de sécurité incendie de Beauceville;
16. Monsieur Jean Poulin, pompier au Service de sécurité incendie de Beauceville;
17. Monsieur Gessy Poulin, pompier au Service de sécurité incendie de Beauceville;
18. Monsieur Sylvain Veilleux, directeur du Service incendie de Saint-Georges;
19. Monsieur Even Poulin, Lieutenant du Service incendie de Saint-Georges;
20. Monsieur Renaud Mercier, pompier du Service incendie de Saint-Georges;
21. Madame [ K ], [ ... ] à l'IRDA;
22. Monsieur [ L ], [ ... ] Silo J.M. Lambert;
23. Monsieur [ M ], [ ... ] chez Silo J.M. Lambert;
24. Monsieur [ N ], [ ... ] chez Silo J.M. Lambert;
25. Monsieur [ O ], [ ... ] chez Silo J.M. Lambert;
26. Madame [ P ], [ ... ] chez AgroEnviroLab;
27. Monsieur [ Q ], [ ... ], La Coop Alliance;
28. Monsieur [ R ], [ ... ], La Coop Alliance;
29. Madame [ S ], [ ... ], La Coop Alliance;
30. Madame [ T ], [ ... ], Agri-Nature;
31. Monsieur [ C ], Arimé Canada inc.;
32. Monsieur Mathieu Garon, conseiller en santé et sécurité au travail, Groupe Gesfor;
33. Monsieur [ U ], [ ... ], JNB L'outilleur agricole;
34. Monsieur [ V ], [ ... ], Services sauvetage technique;
35. Monsieur [ W ], [ ... ], Services sauvetage technique;
36. Monsieur [ X ], [ ... ], Services sauvetage technique.

## ANNEXE C

Rapport d'expertise interne ou externe



**RÉSEAU D'EXPERTISE**  
EN PRÉVENTION-INSPECTION

# RAPPORT D'EXPERTISE

*Estimation de la qualité de l'atmosphère  
à l'intérieur du silo en cause avant  
l'accident*

Rapport présenté à  
*Yannick Boutin, inspecteur*  
*François Morency, inspecteur*  
*Direction régionale Chaudière-Appalaches*

Préparé par

---

*Conseiller expert à la Direction générale de la prévention -  
inspection et du partenariat*

*(seule la version originale est signée)*

21 juin 2019  
(révisé 16 octobre 2019)

## Table des matières

---

<b>1.</b>	<b>MISE EN CONTEXTE</b>	<b>29</b>
<b>2.</b>	<b>DESCRIPTION DU MANDAT</b>	<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>INFORMATIONS REÇUES</b>	<b>29</b>
<b>4.</b>	<b>NOTIONS CONCERNANT LES PRINCIPAUX GAZ EN LIEN AVEC L'ENSILAGE</b>	<b>30</b>
<b>5.</b>	<b>PRODUCTION DE GAZ D'ENSILAGE</b>	<b>31</b>
<b>6.</b>	<b>ATMOSPHÈRE PROBABLE DANS LE SILO AVANT L'ACCIDENT</b>	<b>34</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>38</b>
	<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>38</b>



## 1. Mise en contexte

Sur une ferme laitière de Saint-Simon-les-Mines, le 26 septembre 2018, vers 17 h, deux personnes sont retrouvées inconscientes à l'intérieur d'un silo tour utilisé pour la production d'ensilage de maïs.



**Photo 1** :Silo tour en cause (photo CNESST)

## 2. Description du mandat

Le mandat consiste à estimer les conditions atmosphériques probables dans le silo au moment de l'entrée des victimes. Il consiste à expliquer la production de gaz d'ensilage, particulièrement dans les premières heures suivant la mise en silo ainsi que son effet probable sur la qualité de l'atmosphère à l'intérieur du silo en cause. Le mandat est réalisé à partir des informations recueillies par les inspecteurs de la CNESST ainsi que des données issues de la littérature.

## 3. Informations reçues

Selon les informations reçues, les victimes seraient entrées via la chute du silo et par une porte d'accès située à 18 m de hauteur (60') environ 27 heures après l'introduction du dernier voyage de maïs fourrager. De plus, la première victime a vraisemblablement perdu conscience dès qu'elle est entrée partiellement dans le silo, ce qui aurait provoqué sa chute à l'intérieur. La seconde victime a tenté de lui porter secours et a perdu conscience à son tour.

### **Silo en cause :**

Le silo en cause est un silo tour en acier vitrifié ouvert à l'atmosphère d'approximativement 90 pieds (27 m) de hauteur et de 20 pieds (6 m) de diamètre. Au moment de l'accident, le silo était rempli aux 2/3 d'ensilage de maïs, soit, sur une hauteur d'environ 60 pieds (18 m). L'espace libre total au-dessus de l'ensilage correspondait à une hauteur d'environ 30 pieds (9 m). Le remplissage du silo a été effectué entre environ 12 h le 24 septembre et 14 h le 25 septembre 2018. Ainsi, au moment de l'accident, le 26 septembre 2018 vers 16 h 40, environ 53 heures s'étaient écoulées depuis la mise en silo des premiers voyages d'ensilage. Immédiatement avant l'accident, les portes d'accès à l'intérieur de la chute étaient fermées et aucune ventilation mécanique n'avait été effectuée depuis la mise en silo du dernier voyage d'ensilage. Selon les témoignages, seule la porte d'accès en haut de l'échelle extérieure était demeurée ouverte.

Les mesures de gaz effectuées le 28 septembre par le Groupe Gesfor dans le cadre de l'enquête, indiquent qu'il y avait toujours une production de gaz 3 jours après la dernière mise en silo.

#### 4. Notions concernant les principaux gaz en lien avec l'ensilage

La présence de gaz d'ensilage dans les silos à fourrage est bien documentée. Dans un tel silo, les gaz préoccupants sont, le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), qui incluent l'oxyde d'azote ( $\text{NO}$ ) et le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ), combinés ou non avec une déficience en oxygène ( $\text{O}_2$ ).

##### Oxygène ( $\text{O}_2$ )

Au niveau de la mer, la concentration en oxygène dans l'air normal<sup>1</sup> est d'environ 21 %. En espace clos, tel qu'à l'intérieur d'un silo, une concentration inférieure à 20,5 % indique une anomalie (INRS, 2018).

Une concentration inférieure à 20,5 % peut être causée par une consommation d'oxygène ou une accumulation d'un autre gaz. Dans le cas d'un silo tour contenant de l'ensilage, les deux phénomènes peuvent se produire simultanément et résulter en une atmosphère fortement appauvrie en oxygène (section 5).

La figure 1, présente sommairement les principaux effets associés à une baisse des teneurs en  $\text{O}_2$  dans l'air.

McManus (1999), rapporte qu'une teneur en  $\text{O}_2$  inférieure à 6 % provoque la mort en quelques minutes. De plus, il mentionne que lorsque la teneur en  $\text{O}_2$  est inférieure à 4 %, la perte de conscience survient après une ou deux inspirations.



Figure 1. Effets d'une diminution des teneurs en  $\text{O}_2$  (INRS, 2018).

##### Dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ )

Le  $\text{CO}_2$  n'est pas un asphyxiant simple. Il peut avoir des effets physiologiques et toxiques selon sa concentration dans l'air (McManus, 1999) :

- > 50 000 ppm (5 %) : jugement altéré en quelques minutes; perte de conscience
- 40 000 - 50 000 ppm (4 à 5 %) : respiration 4 x plus rapide; signes de toxicité en 30 minutes
- 30 000 ppm (3 %) : respiration 2 x plus rapide; rythme cardiaque et pression sanguine augmentés

Par ailleurs, selon McManus (1999), le débit respiratoire est de l'ordre de 7 L/min lorsque la concentration de  $\text{CO}_2$  dans l'air inspiré est normale (0,03 %)<sup>1</sup>. À 1 % de  $\text{CO}_2$ , le débit respiratoire augmente à 8 L/min et à 2 % de  $\text{CO}_2$ , il passe à 9 L/min. Les effets néfastes du  $\text{CO}_2$  peuvent être exacerbés par l'activité physique (Reptox, 2019).

À titre indicatif, il faut une augmentation de la concentration de  $\text{CO}_2$  jusqu'à 7 % (70 000 ppm), pour atteindre la limite inférieure réglementaire de 19,5 % d'oxygène s'il s'agit du seul gaz ajouté à de l'air normal (Reptox, 2019).

<sup>1</sup> Au niveau de la mer l'air sec contient : 20,9 %  $\text{O}_2$  | 78 %  $\text{N}_2$  | 0,9 % Ar | 0,03 %  $\text{CO}_2$  | 0,17 % gaz traces (Dräger).

### Monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

Le monoxyde d'azote (NO) est instable et à température ordinaire (20 °C – 25 °C), il se combine avec l'oxygène de l'air en formant du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) (INRS, 2006; Reptox, 2019).

Le Reptox (2019) explique que « *l'intoxication causée par l'inhalation de fortes concentrations de dioxyde d'azote (> 25 ppm) se produit en trois étapes :*

- *Une irritation plus ou moins intense des yeux, du nez et de la gorge causant des larmoiements, de la toux, des difficultés respiratoires (dyspnée) et des nausées. Ces symptômes disparaissent dès la fin de l'exposition.*
- *Une période de rémission plus ou moins asymptomatique pouvant durer de 6 à 24 heures.*
- *Le développement d'un œdème pulmonaire associé à une détresse respiratoire (tachypnée, cyanose et bronchospasme) et pouvant être déclenché par un effort physique léger. »*

Aussi, l'exposition au dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) peut avoir un effet à retardement avec des conséquences graves, voire mortelles. Malgré l'absence apparente de symptômes, il est très important que les personnes exposées se rendent à l'urgence et informent le médecin qu'elles ont été exposées à des gaz d'ensilage.

Le tableau 1, présente les principales propriétés et les seuils d'exposition pour le CO<sub>2</sub>, le NO et le NO<sub>2</sub>.

**Tableau 1. Propriétés et seuils d'exposition pour les principaux gaz d'ensilage (REPTOX, 2019; INRS, 2006)**

Gaz		Masse molaire	Solubilité dans l'eau	Densité relative de vapeur	État à 20 °C	Seuil olfactif	DIVS ppm	VEMP (8 heures)	VECD (15 min.)
Formule	Nom	g/mol	g/l à 20 °C	(air = 1)		ppm		ppm	ppm
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone	44,01	1,64	1,53	gaz	s.o.	40 000	5 000	30 000
NO	Monoxyde d'azote	30,01	47	1,04	gaz	0,3 à 1	100	25	-
NO <sub>2</sub>	Dioxyde d'azote	46,01	forme un acide	1,59	liquide*	0,1 à 5	20	3	-

\* À 20 °C, le dioxyde d'azote est un liquide très volatil jaune brun. À partir de 21 °C (son point d'ébullition), il existe sous forme de gaz rouge brun, d'odeur très irritante (Reptox, 2019).

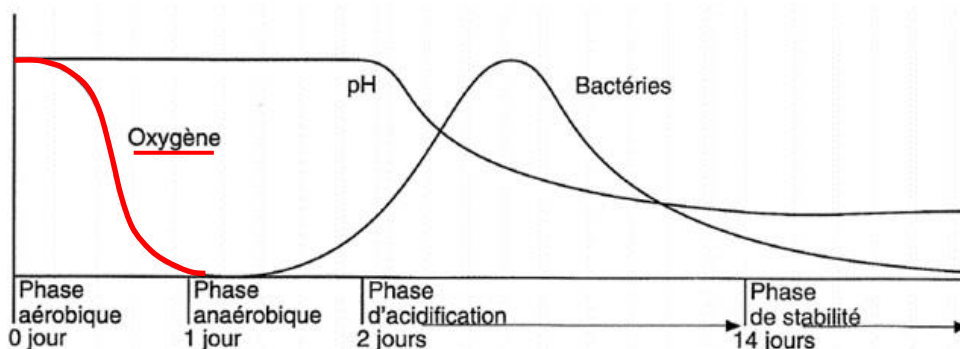
### 5. Production de gaz d'ensilage

L'ensilage des plantes fourragères est d'abord un processus de fermentation biologique. Ainsi, plusieurs facteurs peuvent influencer la production de gaz ainsi que la vitesse et la durée de ce processus, telles les populations de microbes, notamment de bactéries et de levures, l'humidité, la température ambiante, la teneur en sucres et autres nutriments, le type de plante, la granulométrie de la masse de plantes hachées, la densité du

matériel, l'évolution des gaz et du pH dans la masse, etc. (Lafrenière, 2008; Jones et al. 2004; Bachand, 1996; Meiring et al., 1988).

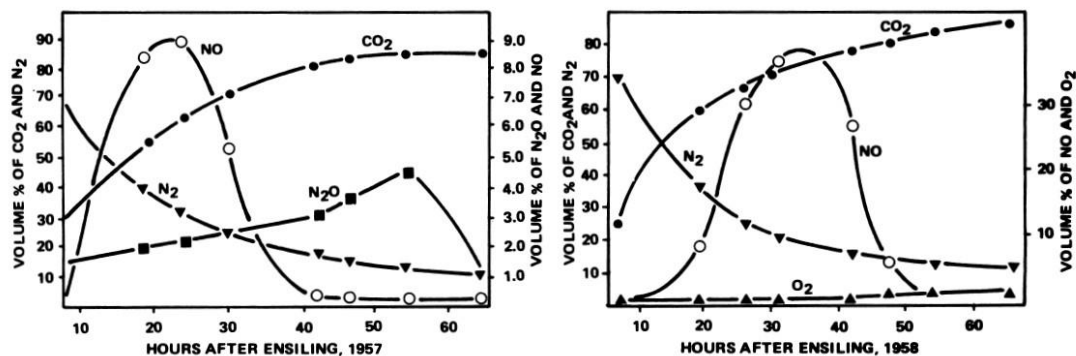
Les principales phases du processus d'ensilage sont présentées à la figure 2. La phase aérobie, débute à la fauche et se termine lorsqu'il n'y a plus d'oxygène ou de sucres facilement disponibles dans la masse de matériel végétal (Lafrenière, 2008; Jones et al. 2004). La phase aérobie est caractérisée par la respiration des plantes et la dégradation des protéines. La respiration utilise l'oxygène de l'air présent à l'intérieur de la masse pour transformer les sucres en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), en eau et en chaleur (Lafrenière, 2008). Dans des conditions optimales d'ensilage, presque tout l'oxygène dans la masse est consommé en 1 journée environ (Jones et al. 2004; Bachand, 1996).

Durant les phases anaérobies, la production de CO<sub>2</sub> se poursuit jusqu'à la fin de l'acidification de la masse après une période d'environ 21 jours (stabilisation), notamment par la transformation des hydrates de carbone lors de la fermentation lactique (Jones et al. 2004).



**Figure 2 :** Phases de fermentation de l'ensilage – *adaptation CNESST* (Pitt, 1990, cité par Bachand, 1996)

Parallèlement à la production de CO<sub>2</sub>, il peut aussi y avoir production d'oxyde d'azote (NO) dans la masse végétale ensilée, et ce, dès les premières heures du processus (Bahloul et al., 2011; Reid et al., 1984). La figure 3 illustre l'évolution des gaz dans la masse d'ensilage durant les premières heures.



**Figure 3 :** Évolution des gaz dans la masse d'ensilage (Étude de Wang et Buris, 1960, citée par Reid et al., 1984)

Dans une étude portant sur la cinétique de fermentation et sur la production de gaz toxiques lors de l'ensilage, Meiering et al. (1988) ont mesuré et ont modélisé les taux de production de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> pour l'ensilage de raygrass.

Les taux maximums de production qu'ils ont obtenus, tels que rapportés par Jiang et al. (1990), sont de :

- 0,098 g CO<sub>2</sub> • h<sup>-1</sup> • kg<sub>sec</sub><sup>-1</sup> d'ensilage (1er jour de l'essais 1), et de;
- 0,9 mg NO<sub>x</sub> • h<sup>-1</sup> • kg<sub>sec</sub><sup>-1</sup> d'ensilage (3e jour de l'essai 2).

Par ailleurs, l'étude de Meiering et al. (1988) démontre que la production de gaz est plus rapide dans les premiers jours lorsque l'ensilage est plus humide. Le tableau 2 présente la production cumulative de CO<sub>2</sub> pour leurs essais où seule la teneur initiale en matière sèche du raygrass diffère. Pour une production totale similaire, une plus grande quantité de CO<sub>2</sub> est produite initialement avec l'ensilage plus humide (21 % de matière sèche).

**Tableau 2.** Production cumulative de CO<sub>2</sub> en g•kg<sub>sec</sub><sup>-1</sup> d'ensilage pour le raygrass selon les résultats de Meiering et al. (1988)

Après :	1 jour	2 jours	3 jours	21 jours
21 % de matière sèche (essai 1 : sans préfanage)	2,6 (40 %)	4 (60 %)	4,8 (73 %)	6,6 (100 %)
40 % de matière sèche (essai 3 : avec préfanage)	0,8 (13 %)	1,1 (18 %)	1,8 (30 %)	6 (100 %)

La teneur en nitrate des plantes quant à elle affecte la production de NO<sub>x</sub>. Cela est également démontré par l'étude de Meiering et al. (1988) qui ont obtenu une production de NO<sub>x</sub> plus importante pour les essais avec une fertilisation azotée de 120 kg N/ ha appliquée à la culture une semaine avant la récolte (maximum cumulatif après 21 jours de 45 à 160 mg NO<sub>x</sub> • kg<sub>sec</sub><sup>-1</sup> d'ensilage contre 1 à 60 mg NO<sub>x</sub> • kg<sub>sec</sub><sup>-1</sup> d'ensilage sans cette fertilisation azotée).

Par ailleurs, les études de Meiering et al. (1988) et de Jiang et al. (1990) montrent également que la production de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> se poursuit au-delà des premières journées suivant la mise en silo.

Lors d'études portant sur les conditions internes et la ventilation dans des silos tours en exploitation, d'autres auteurs ont mesuré les concentrations en gaz dans l'espace vide au-dessus de l'ensilage (Bahloul et al., 2011 [3 silos]; Kedan et al., 2007 [2 silos]; Groves et Ellwood, 1989 [5 silos]; Sabourin, 1983 [39 silos]). Ces études montrent une grande variabilité des concentrations de gaz pour des situations en apparence semblables,

notamment dans le cas des silos ouverts à l'atmosphère. Il ressort également de ces études que la production de gaz peut être très intense dans les premiers jours suivant la mise en silo et qu'elle peut se poursuivre au-delà de ceux-ci, tel qu'attendu pour le processus de fermentation des ensilages (Jones et al., 2004). Plusieurs auteurs émettent un avertissement concernant les conditions atmosphériques imprévisibles dans les silos tours.

Sabourin (1983) a montré que dans certains cas, soit moins de 20 heures après la mise en silo d'ensilage de maïs ou de foin, la production CO<sub>2</sub> était telle que sa concentration remontait à plus de 2% près de la surface d'ensilage (0,3 m) lorsque la ventilation était arrêtée. La hauteur libre dans ces silos variait de 9 à 13 m.

Kedan et al. (2007) ont mesuré la concentration en gaz dans l'espace libre au-dessus de l'ensilage pour deux silos hermétiques. Leurs résultats montrent que 4 et 6 jours après le remplissage, la concentration en oxygène est très basse dans tout le profil malgré une hauteur libre de 12 à 20 pieds au-dessus de l'ensilage, soit moins de 6,5 % O<sub>2</sub> dans le cas du premier silo et moins de 3 % O<sub>2</sub> dans le cas du second silo.

Dans un silo d'acier non hermétique, 13 h après un 2<sup>e</sup> remplissage et pour une hauteur libre variant de 2,4 m (8 pieds) à 4,7 m (16 pieds), Groves et Ellwood (1989), ont mesuré à 1,5 m au-dessus de la surface de l'ensilage, une teneur en O<sub>2</sub> de 12 % et moins dans les parties basses. Ainsi, en l'absence d'échange avec l'atmosphère, la teneur en oxygène de l'air initialement présent dans l'espace libre diminue rapidement.

Enfin, les gaz lourds produits peuvent s'écouler par gravité par la chute et atteindre les locaux situés au pied du silo. Le phénomène est reconnu et le Code national de construction des bâtiments agricoles – Canada 1995 exige une ventilation mécanique continue par extraction basse dans ces locaux. L'écoulement des gaz au bas du silo a d'ailleurs été observé par Bahloul et al. (2011).

## **6. Atmosphère probable dans le silo avant l'accident**

Le silo en cause était à l'origine un silo hermétique en acier vitrifié qui a été modifié en silo conventionnel. Le fournisseur du silo, Silo J.M. Lambert inc. a mentionné aux inspecteurs que les modifications apportées ont été l'installation d'une chute avec 18 portes d'accès munies d'échelons, de 3 évents de toit, d'une passerelle extérieure avec une porte d'accès adjacente à l'échelle extérieure, d'un treuil électrique/manuel pour la montée ou la descente du videur installé à l'intérieur du silo et de tous les accessoires permettant son fonctionnement. Le remplissage du silo se fait par le haut comme avant la modification, mais avec un distributeur d'ensilage monté sur le videur.

Les conditions connues avant l'accident sont les suivantes :

- Près de 53 heures s'étaient écoulées depuis le début de la mise en silo de l'ensilage; ▪ Le silo était rempli au 2/3 :
  - Environ 18 m d'ensilage et 9 m de hauteur libre
- Aucune ventilation mécanique n'avait été effectuée;
- Toutes les portes d'accès dans la chute étaient fermées;
- La porte d'accès au niveau de la passerelle en haut de l'échelle extérieure était ouverte.



## Ventilation naturelle de l'espace libre

Les grandes hauteurs libres sont difficiles à ventiler. Par exemple, pour ventiler mécaniquement un silo à l'aide du souffleur à fourrage lorsque la hauteur libre est grande, CSP (1988) recommande d'ajouter un conduit pour que l'arrivée d'air soit à moins de 6 m de la surface de l'ensilage. Aussi, malgré que la porte d'accès en haut du silo en cause soit demeurée ouverte, il peut être considéré que la ventilation naturelle dans la majeure partie de l'espace libre d'une hauteur de 9 m, était quasi nulle. En effet, compte tenu de la position de la porte d'accès au haut de l'échelle extérieure et celle des événements de toit, on ne peut que constater que sans ventilation mécanique, les échanges gazeux avec l'atmosphère extérieure seront principalement limités à la zone située immédiatement sous la toiture (photos 2 et 3).

L'absence de ventilation dans la majeure partie de l'espace libre fait en sorte que le silo se comporte comme un récipient étanche où les gaz lourds seront retenus. Ces gaz générés lors du processus de fermentation, notamment le CO<sub>2</sub> et le NO<sub>2</sub>, sortiront progressivement de la masse de végétaux dans l'espace libre où ils s'accumuleront à commencer par la partie basse.

Dans le cas de la chute, celle-ci est ventilée naturellement sur toute sa hauteur par des événements créant un courant d'air ascendant ou descendant plus ou moins fort. En effet, de façon générale, l'efficacité de ce type de ventilation varie selon les conditions climatiques.



**Photos 2 et 3** : Porte d'accès en haut de l'échelle extérieure et événements de toit (Photos : Groupe Gesfor)

## Estimation des volumes de gaz dans l'espace libre du silo

Les quantités de gaz produits dépendent, entre autres, de la quantité de matière végétale ensilée. Selon les informations obtenues, le silo a une capacité de 500 t humides d'ensilage (27 m haut. x 6 m diam.) ce qui corrobore avec les chartes de capacité telles celles du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO, 2012). Toutefois ces chartes tiennent compte d'un tassement de 10 à 15 % qui se produit dans les deux premières semaines suivant la mise en silo (MAAARO, 2012).

Dans le cas des silos tours hermétiques, il est recommandé d'ensiler les graminées et les céréales à un taux de matière sèche (m.s.) de l'ordre de 40 % et pour les silos tours ouverts à l'atmosphère, à un taux de l'ordre de 30 % (Lafrenière, 2008). Un échantillon d'ensilage a été prélevé dans le silo à titre indicatif et le résultat de l'analyse réalisée par le laboratoire de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), montre un taux de 45 % m.s. Cette valeur indique que le taux de matière sèche pouvait être de l'ordre de 40 % lors de la mise en silo.

Avant l'accident, le silo a été rempli au 2/3 environ, soit sur une hauteur de 18 m. Selon les chartes de capacité, cela correspond à 140 t sèches (350 t humides à 40 % de matière sèche, après tassement). En considérant la capacité totale de 500 t rapportée ci-haut, la quantité ensilée pourrait être un peu plus faible, soit environ 330 t humides d'ensilage. Cette valeur plus conservatrice, qui correspond à 130 t sèches d'ensilage de maïs (40 % m.s.) a été retenue pour estimer la de production de gaz.

L'hypothèse retenue pour la production de CO<sub>2</sub>, est que durant les premières 24 heures tout l'oxygène dans la masse d'ensilage est consommé et que la production d'un volume de CO<sub>2</sub> au-dessus de la surface d'ensilage débute après cette période. Pour une plage de temps entre 53 et 72 heures après le début de la mise en silo la production de gaz au-dessus de l'ensilage est estimé pour 29 et 48 heures. De plus, la production de CO<sub>2</sub> a été estimée en utilisant un taux de 0,03 g CO<sub>2</sub> • h<sup>-1</sup> • kg<sub>sec</sub><sup>-1</sup> d'ensilage qui correspond à la production plus lente observée par Meiering et al. (1988) dans le cas d'un ensilage de raygrass à 40 % m.s. (tableau 2). Ainsi, 53 heures après le début de la mise en silo il est estimé qu'environ 115 kg CO<sub>2</sub> se retrouveront au-dessus de la surface d'ensilage. Cette quantité correspond à un volume d'environ 63 m<sup>3</sup> à 20 °C et 1 atm dans l'espace libre au-dessus de la surface d'ensilage.

Le volume de CO<sub>2</sub> dans l'espace libre après 72 heures, avec la même approche que ci-haut, est estimé à environ 105 m<sup>3</sup>. Il s'agit d'une estimation d'un volume supérieur qui aurait pu être atteint avant l'accident compte tenu de l'importance de la hauteur libre (ventilation déficiente), que la production de CO<sub>2</sub> débute dès les premières heures et des incertitudes quant à la production réelle et à la période de séjour de l'ensilage dans le silo. Par exemple, la production peut être très active tel que démontré par Sabourin (1983) et les mesures réalisées 3 jours après la mise en silo dans le cas présent.

La figure 4 montre un schéma du silo en cause indiquant le volume cumulatif de l'espace libre (± 85 m<sup>3</sup> d'espace libre tous les 3 m) ainsi que les niveaux qui seraient atteints par le CO<sub>2</sub> après 53 heures (63 m<sup>3</sup>) et après 72 heures (105 m<sup>3</sup>). Le niveau de CO<sub>2</sub> estimé pour 53 heures, se situe au-dessus du niveau de la porte d'accès qui a été ouverte au moment de l'accident (niveau d'entrée des victimes).

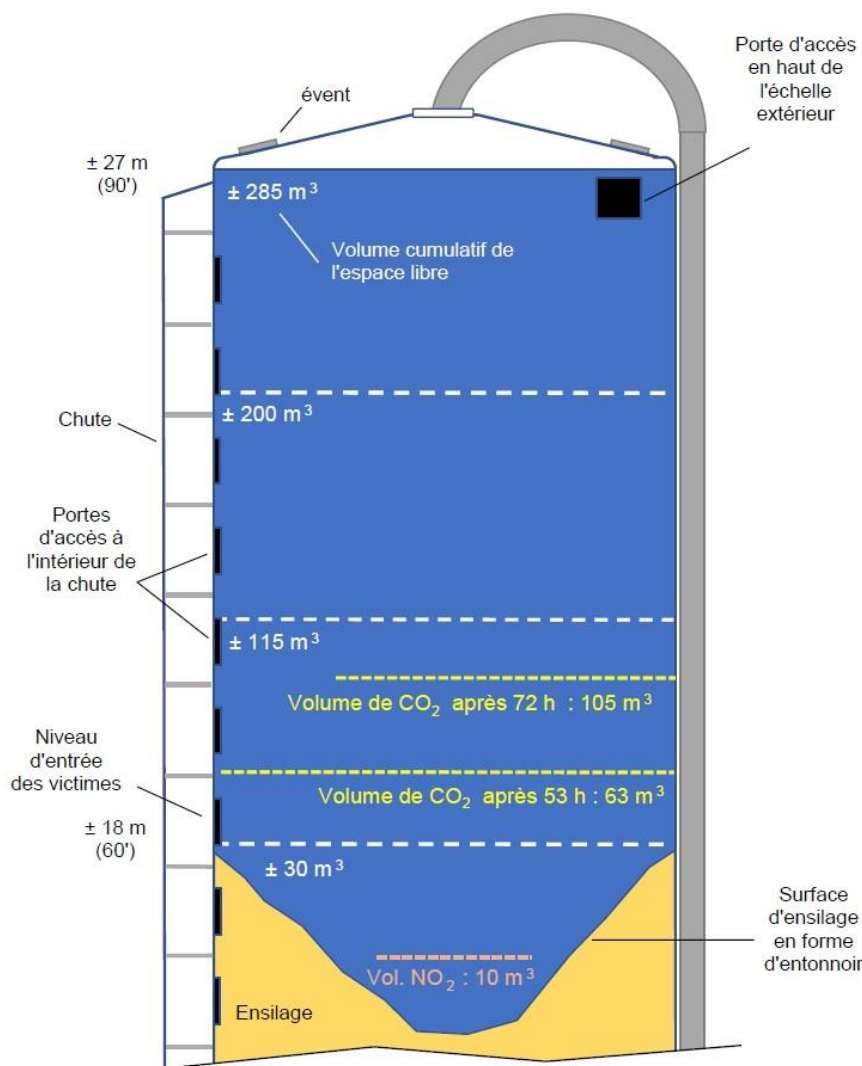
Il est à noter que le même exercice d'estimation du volume de CO<sub>2</sub>, réalisé pour 53 heures après le début de la mise en silo, mais en se basant sur le taux maximum de production observé par Meiering et al. (1988), résulte en un volume de CO<sub>2</sub> de 210 m<sup>3</sup> qui occuperait plus des deux tiers l'espace libre dans le silo.

Par ailleurs, la teneur en nitrates de l'échantillon d'ensilage analysé par l'IRDA est de 1 260 mg N-NO<sub>3</sub>/kg. Bien que près de la limite recommandée pour l'alimentation des bovins (1 000 mg N-NO<sub>3</sub>/kg), cette valeur indique qu'il pouvait y avoir production d'oxydes d'azote dans le silo. Cette production est confirmée par les mesures de gaz et les photos prises lors de l'enquête qui montrent un petit volume de gaz NO<sub>2</sub> (gaz brun rouge) bien visible dans la partie basse près de la surface de l'ensilage.

Le NO<sub>2</sub> est produit lors la réaction entre l'oxygène de l'air et le NO généré par la transformation d'une partie des nitrates présents dans la masse de végétaux ensilée. Toutefois, compte tenu de la teneur en nitrate de l'ensilage et des observations, le volume produit dans le silo était relativement faible en comparaison avec le volume de l'espace libre et celui du CO<sub>2</sub> généré. Dans le cas présent, le NO<sub>2</sub>, un gaz lourd, se retrouvera majoritairement près de la surface de l'ensilage au fond d'un entonnoir de près de 3 m de profondeur formé par le mode de distribution de l'ensilage lors du remplissage du silo.



En considérant que 2 moles de NO réagissent avec 1 mole d'oxygène pour produire 2 moles de NO<sub>2</sub> et en supposant que les NO<sub>x</sub> mesurés par Meiring et al. (1988) correspondent à du monoxyde d'azote<sup>2</sup>, le volume maximum probable de NO<sub>x</sub> peut être estimé en utilisant le nombre de moles de NO produit en appliquant le taux maximum de production observé par Meiring et al. (1988) pour les NO<sub>x</sub> (section 5). Selon cette estimation, la production maximale de NO<sub>x</sub> après 53 à 72 heures, correspondrait à un volume de 5 à 7 m<sup>3</sup> qui se retrouverait dans le tier inférieur de l'entonnoir décrit ci-haut, soit en deçà du niveau d'entrée des victimes (figure 4).



**Figure 4.** Schéma du silo en cause représentant les volumes de CO<sub>2</sub> estimés dans l'espace libre après 53 heures et 72 heures.

<sup>2</sup> Le nombre de moles obtenus est plus élevé en choisissant NO.

## 7. Conclusion

La littérature démontre que les gaz lourds générés lors de la fermentation de l'ensilage sont présents dans les parties basses des silos tours dès les premières heures suivant la mise en silo. De plus, ils sont générés par le processus de fermentation bien au-delà des premiers jours.

Les données de la littérature et l'estimation réalisée démontrent qu'immédiatement avant l'accident, l'atmosphère se situant derrière la porte d'accès qui a été ouverte, pouvait être dépourvue d'oxygène et être composée essentiellement de CO<sub>2</sub>. Dans ces conditions, une personne exposée à la suite de l'ouverture de la porte aurait pu, selon le taux de ventilation présent dans la chute, perdre conscience directement dans la chute à cause de l'écoulement par gravité du CO<sub>2</sub>, ou encore dans le silo dès le seuil de la porte franchi.

Compte tenu de la ventilation déficiente dans le silo, dans les instants qui ont suivi l'ouverture de la trappe porte, l'atmosphère dans l'espace libre en dessous de celle-ci pouvait être composée presque uniquement de CO<sub>2</sub> avec des NO<sub>x</sub> près de la surface de l'ensilage. L'atmosphère dans l'entonnoir formée par le mode de distribution de l'ensilage, pouvait donc également provoquer une perte de conscience rapide.

## Références

- Bahloul, A., B. Roberge, N. Goyer, M. Chavez, et M. Reggio, 2011.** *La prévention des intoxications dans les silos à fourrage (version révisée)*. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. RAPPORT R-672.
- CSP, 1988.** Danger Gaz d'ensilage. Canada Service Plan / Service de plans canadiens. PLAN M-7410 RÉVISION : 88.09
- Groves, J.A. and P.A. Ellwood, 1989.** *Gases in forage tower silos*. Occupational Medicine and Hygiene Laboratories, Health and Safety Executive, London, UK. Ann. Occ. Hyg. Vol 33 No 4; 519-535.
- INRS, 2018.** *Dossier espaces confinés*. Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS), France.
- INRS, 2006.** *Oxydes d'azote Fiche toxicologique n°133*. Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES. Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS), France. Édition 2006. **Jackson, H.A. and J.R. Lessard, 1977.** *Effects of moisture content on corn silage density and storage losses in a large tower silo*. Can. Agric. Eng. 19:57-58.
- Jiang, S., E.M. Barber, A.G. Meiering and J.C. Jofriet, 1990.** *Toxic gas production and silo ventilation*. Can. Agric. Eng. 33: 151-159
- Jones, C. M., A. J. Heinrichs, G. W. Roth and V. A. Ishler, 2004.** *From Harvest to Feed: Understanding Silage Management*. Pennsylvania State University. Penn State College of Agricultural Sciences Cooperative Extension.
- Kedan, G., P. Spielholz, T. Sjostrom, B. Trenary and R.E. Clark, 2007.** *An assessment of gases in oxygen deficient hay silos and the effect of forced ventilation*. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). Journal of Agricultural Safety and Health vol. 13(1): 83-95.
- Lafrenière, C., 2008.** *L'ensilage*. Guide sur les bovins laitiers. Centre de référence en agriculture et en agroalimentaire du Québec (CRAAQ).
- McManus, N., 1999.** *Safety and health in confined spaces*. NorthWest Occupational Health and Safety, North Vancouver BC, Canada. Lewis publishers.
- Meiering, A.G., M.G. Courtin, S.F. Spoelstra, G. Pahlow, H. Honig, R.E. Subden, E. Zimmer, 1988.** *Fermentation Kinetics and toxic Gas Production of Silages*. Transactions of the ASAE, Vol. 31(2): March-April 1988.
- MAAARO, 2012.** Capacité des silos-tours. Fiche Technique 96-142. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. Édition révisée de 2012.
- Reid, W.S., J.E. Turnbull, H.M. Sabourin and M. Ihnat, 1984.** *Silo gas: Production and detection*. Can. Agric. Eng. 26: 197-207.
- Reptox, 2019.** Répertoire toxicologique. Commission des normes, de l'équité de la santé et de la sécurité du travail.

**Sabourin, H.M., 1983.** *Production, détection et évacuation des gaz toxiques (CO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>) dans les silos verticaux.* Roche Groupe conseil et Institut de recherche technique et de statistique, dossier no. 35SZ.01843.0.ME09, Agriculture Canada, 119 pages.

À :  
**COMMISSION DES NORMES, DE  
L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA  
SÉCURITÉ DU TRAVAIL**

835, rue de la Concorde  
Lévis (Québec) G6W 7P7  
Tél. : 418 839-2500



Représentée par :  
Messieurs François Morency et Yannick Boutin  
Inspecteurs

---

**ÉVALUATION DES CONCENTRATIONS DE CONTAMINANTS CHIMIQUES DANS L'AIR**  
**RAPPORT PRÉLIMINAIRE**

**Ferme Rodveil Holstein inc.**  
**3431, rang De Léry, Saint-Simon-les-Mines (Québec)**

---

Par :  
**LE GROUPE GESFOR POIRIER, PINCHIN INC.**  
6705, rue Jean-Talon Est, bur. 211  
Montréal (Québec) H1S 1N2  
Tél. : 514 251-1313, poste 2276  
Télec. : 514 251-1818

Représenté par :  
Madame Véronique St-Onge, M. Sc. A.  
Hygiéniste industrielle  
ET  
Monsieur Mathieu Caron, B. Sc.  
Conseiller principal en santé et sécurité du travail

N° de projet : Q05-25158  
Montréal, le 22 mars 2019

© Droit d'auteur Le Groupe Gesfor Poirier, Pinchin inc.  
Ce document ne peut être reproduit sans le consentement écrit du Groupe Gesfor Poirier, Pinchin inc.  
Toute utilisation de ce rapport par une tierce partie devient automatiquement la responsabilité de cette dernière.

## TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	1
2.	MANDAT .....	1
3.	MÉTHODOLOGIE.....	1
4.	RÉGLEMENTATION ET NORMES APPLICABLES .....	2
5.	RÉSULTATS .....	3
5.1	OBSERVATIONS GÉNÉRALES.....	3
5.2	RÉSULTATS DE MESURES .....	5
6.	DISCUSSION .....	7
6.1	CONCENTRATIONS DANS LE SILO.....	7
6.2	VENTILATION.....	7
6.3	ENTRÉE EN ESPACE CLOS.....	8
7.	CONCLUSION .....	9
8.	LIMITATIONS.....	9

## LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE A – CERTIFICATS D'ÉTALONNAGE DES APPAREILS DE MESURE  
ANNEXE B – PHOTOS  
ANNEXE C – CALCUL DU NOMBRE DE CHANGEMENTS D'AIR

## 1. INTRODUCTION

Nous, Le Groupe Gesfor Poirier, Pinchin inc. (Le Groupe Gesfor, ci-après nommé le « Consultant »), avons été mandatés par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST) (ci-après nommée le « Client »), représentée par monsieur François Morency, afin d'effectuer l'évaluation des concentrations des contaminants chimiques pouvant être présents à l'intérieur d'un silo, initialement hermétique, modifié et ouvert à l'atmosphère comme un silo conventionnel, situé à la ferme Rodveil Holstein inc., au 3431, rang De Léry, à Saint-Simon-les-Mines (Québec). L'intervention a été réalisée le 28 septembre 2018 par monsieur Mathieu Caron, conseiller principal en santé et sécurité au travail du Groupe Gesfor, ainsi que par une équipe spécialisée d'intervention en espace clos.

Cette évaluation fait suite à un accident de travail survenu à l'intérieur du silo hermétique converti en silo conventionnel de cette ferme le 26 septembre 2018. Le Client souhaitait déterminer les concentrations de gaz toxiques présents à l'intérieur du silo au moment de l'accident.

## 2. MANDAT

À la suite d'un double accident mortel, le Consultant a procédé à des mesures de gaz pour le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone (CO), l'oxygène (O<sub>2</sub>), le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) ainsi que la limite inférieure d'explosivité (LIE) à l'intérieur du silo dans lequel est survenu l'accident afin de déterminer, si possible, les concentrations présentes au moment de l'accident.

Puisqu'un silo est considéré comme un espace clos au sens du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST), RLRQ, c. S-2.1, r. 13, les mesures ont été prises à partir de l'accès de la partie supérieure du silo par une équipe spécialisée d'intervention en espace clos. Des mesures ont également été effectuées à d'autres endroits jugés pertinents, à la demande du Client. L'intervention a duré environ sept heures.

## 3. MÉTHODOLOGIE

Les mesures de CO<sub>2</sub>, de NO, de NO<sub>2</sub> et de CO ont été effectuées à l'aide d'un appareil à lecture directe de la société RAE Systems. Les mesures de O<sub>2</sub>, de H<sub>2</sub>S et de LIE ont été réalisées avec un appareil à lecture directe de la société BW Technologies. Ces appareils ont été étalonnés avant l'intervention par la société Concept Controls. Les certificats d'étalonnage sont présentés dans l'annexe A.

Il est à noter que les sensibilités croisées, également appelées gaz interférents, sont des gaz qui peuvent faire réagir l'électrode à l'intérieur du capteur même si le gaz cible n'est pas présent. Idéalement, un utilisateur souhaiterait, par exemple, qu'un capteur de

monoxyde de carbone (CO) ne lise que le monoxyde de carbone, mais d'autres gaz peuvent générer des lectures sur ce capteur. Par contre, après avoir validé auprès du personnel technique d'un fournisseur d'équipement, les gaz présents dans le silo ne causaient pas d'interférence notable sur la cellule de CO de l'appareil comme démontré à la page 39 du « *Technical Note TN-114* » de RAE Systems.

#### 4. RÉGLEMENTATION ET NORMES APPLICABLES

Le RSST a établi des valeurs d'exposition moyenne pondérée (VEMP) et des valeurs d'exposition de courte durée (VECD) par inhalation pour un grand nombre de contaminants présents en milieu de travail. Ces limites à ne pas dépasser sont des concentrations jugées par la communauté scientifique comme ayant peu ou pas d'impact important sur la santé de la vaste majorité des travailleurs qui y est exposée.

À titre indicatif, les VEMP sont plus spécifiquement établies pour une concentration d'exposition dans la zone respiratoire du travailleur sur une période de travail de huit heures par jour en fonction d'une semaine de 40 heures. Les VECD sont des concentrations d'exposition dans la zone respiratoire d'un travailleur pondérée sur 15 minutes, qui ne doivent pas être dépassées durant la journée de travail, même si la VEMP est respectée.

Puisque deux travailleurs sont décédés à l'intérieur du silo, les résultats ont été comparés aux valeurs représentant un danger immédiat pour la vie ou la santé, appelées « valeurs DIVS ». Une concentration atteignant cette valeur représente un danger immédiat pour la vie ou la santé pour toute personne qui y est exposée.

Le tableau 1 présente les valeurs limites d'exposition que le RSST prescrit pour les différents contaminants et les valeurs DIVS :

**Tableau 1 : Valeurs limites d'exposition et DIVS**

CONTAMINANT	DIVS	VECD	VEMP	DENSITÉ RELATIVE AIR=1
CO <sub>2</sub>	40 000 ppm	30 000 ppm	5 000 ppm	1,53
NO	100 ppm	—	25 ppm	1,04
NO <sub>2</sub>	20 ppm	—	3 ppm	1,59
CO	1 200 ppm	200 ppm	35 ppm	0,96
O <sub>2</sub>	—	19,5 %	19,5 %	—
H <sub>2</sub> S	100 ppm	15 ppm	10 ppm	1,19
LIE	—	—	—	—

## 5. RÉSULTATS

### 5.1 OBSERVATIONS GÉNÉRALES

Le Consultant et l'équipe spécialisée d'intervention en espace clos ont été accueillis par messieurs François Morency et Yannick Boutin, de la CNESST, ainsi que par mesdames Karine Phaneuf et Lynda Deschênes, de l'Union des producteurs agricoles du Québec (UPA).

Le site contient quatre grands silos, un en béton, deux bleus en métal et un petit en acier. L'intervention ciblait un des silos d'acier bleus modifiés ouvert à l'atmosphère (celui à droite sur la photo 1 de l'annexe B) d'une hauteur de 85 pi et dont le diamètre est de 19,10 pi. Deux échelles d'accès à crinoline sont présentes. L'une d'elles est située sur la façade du silo et permet d'accéder à une trappe latérale sur le sommet et à la partie supérieure du silo où se trouve un conduit qui sert à la ventilation du silo et à acheminer la matière d'ensilage. La seconde échelle, située entre les deux silos bleus, mène à 17 trappes d'accès à l'intérieur du silo. Ces trappes ont une dimension de 2,01 pi de hauteur sur 1,08 pi de largeur. Lors la visite du Consultant, l'ensilage dans le silo laissait un espace vide d'une hauteur de 33,67 pi. La trappe d'accès par laquelle les victimes seraient entrées (tombées à l'intérieur) dans le silo était à une hauteur de 14,07 pi au-dessus de l'ensilage. Cette mesure a été prise en plongée de la porte d'accès jusqu'au centre de l'ensilage. Le volume de l'espace vide dans le silo était d'environ 9 647 pi<sup>3</sup> au moment de l'accident.

L'intervention consistait d'abord à identifier avec les inspecteurs et les témoins la trappe d'accès par laquelle deux victimes seraient entrées à l'intérieur du silo. Une fois la trappe identifiée, le Consultant a pris des mesures des gaz présents à l'aide de deux appareils à lecture directe munis d'une sonde à l'endroit où les victimes seraient entrées, c'est-à-dire, à 14,07 pi au-dessus de l'ensilage. L'utilisation d'une perche a également permis de prendre des lectures plus près de l'ensilage puisque la portée d'atteinte de la perche est entre 7 à 8 pieds. Or, nous avons pu aller jusqu'à environ 6 pieds du centre de l'ensilage.

Au moment de l'arrivée sur place du Consultant, quatre trappes d'accès étaient ouvertes. Selon les personnes interrogées, ces trappes auraient été ouvertes par les pompiers pour l'évacuation des victimes environ 33 heures avant l'arrivée du Consultant. L'intervention comprenait de prendre des mesures des concentrations des gaz pouvant être présents au moment de l'accident. Or, quatre trappes d'accès étaient ouvertes au moment de l'intervention; le silo était donc ventilé naturellement depuis environ 33 heures. Le Consultant a tout de même pris des mesures de gaz à partir de la trappe d'accès au sommet du silo malgré l'ouverture des portes. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau 2 *Résultats des mesures avec quatre trappes d'accès ouvertes*.

Ensuite, les trappes d'accès ont été fermées et le Consultant a attendu 1,55 heure afin de laisser augmenter les concentrations de gaz à l'intérieur du silo. L'hypothèse était qu'en absence de ventilation, la fermentation du matériel d'ensilage silo ferait augmenter considérablement les niveaux de gaz dans le silo. Après la période d'attente, l'équipe d'intervention en espace clos est retournée prendre les mesures de gaz à l'intérieur du silo en ouvrant légèrement la trappe d'accès par laquelle les victimes seraient entrées. Les mesures de gaz ont été prises à l'aide d'une sonde. Les résultats obtenus sont indiqués



dans le tableau 3 *Résultats des mesures après avoir fermé les trappes d'accès pendant 1,55 heure.*

Enfin, la dernière étape était de prendre des mesures après avoir appliqué la règle d'usage dans le milieu de l'agriculture concernant la ventilation des silos avant l'entrée de travailleurs. Selon nos discussions avec les gens de L'UPA sur place, il semble encore que la règle de 30 minutes de ventilation soit utilisée : les travailleurs ventilent le silo 30 minutes avant d'y entrer. Par contre, depuis 2015, la procédure officielle (générique devant être adaptée à la ferme) de l'UPA, est de ventiler et de détecter les gaz avant d'entrer. Pour ce faire, un ventilateur alimenté par un tracteur est connecté au conduit de ventilation servant aussi à acheminer le matériel à l'intérieur du silo (voir photos 2 et 9 de l'annexe B). En général, ce type de ventilateur aurait un débit de ventilation de 1 700 à 2 100 pi<sup>3</sup>/min. Selon le document *Gaz d'ensilage* (plan M-7410) de Service de plans Canada et le fabricant du ventilateur Val Métal, le débit de ventilation du ventilateur utilisé sur cette ferme, soit le modèle V59HV, serait d'au moins 1 700 pi<sup>3</sup>/min lorsqu'il est utilisé avec un tracteur fonctionnant avec une révolution moteur de 1000 rpm. Par contre, il faut tenir compte du système de distribution de l'ensilage qui fait obstacle à la ventilation, de la forme du conduit, notamment à l'extrémité et aussi de la perte de charge à cause de la longueur de la conduite.

L'équipement a donc été testé en laissant les trappes d'accès du silo fermées et en laissant fonctionner le ventilateur Val Métal pendant 30 minutes. L'équipe d'intervention en espace clos a ensuite repris des mesures de gaz à l'intérieur du silo en ouvrant légèrement la trappe d'accès par laquelle les victimes seraient entrées. Les mesures de gaz ont été prises à l'aide d'une sonde. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau 4 *Résultats des mesures après avoir ventilé le silo pendant 30 minutes à l'aide du ventilateur Val Métal attaché au tracteur.* Dans le cas présent, la ventilation n'est pas efficace en raison du système de distribution d'ensilage qu'on aperçoit un peu sur la photo 5 et qui semble être une plaque tournante, ce qui expliquerait la création d'un « entonnoir » d'ensilage lors du remplissage. Également étant donné la hauteur libre au-dessus de l'ensilage qui est plus de 15-20 pieds.

## 5.2 RÉSULTATS DE MESURES

Les tableaux suivants détaillent les résultats des mesures réalisés à l'intérieur du silo le 28 septembre 2018. Les photos prises durant l'évaluation sont présentées dans l'annexe B.

**Tableau 2 : Résultats des mesures avec quatre trappes d'accès ouvertes**

CONTAMINANTS	CONCENTRATIONS MAXIMALES ENREGISTRÉES		CONCENTRATIONS MOYENNES	VALEURS LIMITES D'EXPOSITION		DIVS
	HEURE	CONCENTRATIONS		VEMP	VECD	
CO <sub>2</sub>	13 h 33	8 400 ppm	17 ppm	5 000 ppm	30 000 ppm	40 000 ppm
NO	13 h 33	43,5 ppm	7 ppm	25 ppm	—	100 ppm
NO <sub>2</sub>	13 h 33	1,3 ppm	0,2 ppm	3 ppm	—	20 ppm
CO	13 h 33	20 ppm	0 ppm	35 ppm	200 ppm	1 200 ppm
O <sub>2</sub>	13 h 33	20,2 %	20,8 %	—	—	—
H <sub>2</sub> S	13 h 33	0 ppm	0 ppm	10 ppm	15 ppm	100 ppm
LIE	13 h 33	0 %	0 %	—	—	—

**Tableau 3 : Résultats des mesures après avoir fermé les portes pendant 1,55 heure**

CONTAMINANTS	CONCENTRATIONS MAXIMALES ENREGISTRÉES		CONCENTRATIONS MOYENNES	VALEURS LIMITES D'EXPOSITION		DIVS
	HEURE	CONCENTRATIONS		VEMP	VECD	
CO <sub>2</sub>	16 h 32	14 000 ppm	4 900 ppm	5 000 ppm	30 000 ppm	40 000 ppm
NO	16 h 32	70 ppm	29 ppm	25 ppm	—	100 ppm
NO <sub>2</sub>	16 h 32	7,1 ppm	2,2 ppm	3 ppm	—	20 ppm
CO	16 h 32	40 ppm	20 ppm	35 ppm	200 ppm	1 200 ppm
O <sub>2</sub>	16 h 32	20 %	20,77 %	—	—	—
H <sub>2</sub> S	16 h 32	0,7 ppm	0,2 ppm	10 ppm	15 ppm	100 ppm
LIE	16 h 32	1 %	0,5 %	—	—	—

**Tableau 4 : Résultats des mesures après avoir ventilé le silo pendant 30 minutes à l'aide du ventilateur Val Métal attaché au tracteur**

CONTAMINANTS	CONCENTRATIONS MAXIMALES ENREGISTRÉES		CONCENTRATIONS MOYENNES	VALEURS LIMITES D'EXPOSITION		DIVS
	HEURE	CONCENTRATIONS		VEMP	VECD	
CO <sub>2</sub>	17 h 22	9 100 ppm	4 000 ppm	5 000 ppm	30 000 ppm	40 000 ppm
NO	17 h 22	54,5 ppm	10 ppm	25 ppm	—	100 ppm
NO <sub>2</sub>	17 h 22	2,3 ppm	0,5 ppm	3 ppm	—	20 ppm
CO	17 h 22	20 ppm	10 ppm	35 ppm	200 ppm	1200 ppm
O <sub>2</sub> (%)	17 h 22	20,6 %	20,67 %	—	—	—
H <sub>2</sub> S	17 h 22	0 ppm	0 ppm	10 ppm	15 ppm	100 ppm
LIE (pourcentage)	17 h 22	0 %	0 %	—	—	—

## 6. DISCUSSION

### 6.1 CONCENTRATIONS DANS LE SILO

Différentes simulations ont été faites afin d'essayer de reproduire les conditions présentes au moment de l'accident. Puisque les trappes d'accès avaient été laissées ouvertes par les pompiers à la suite du sauvetage, le silo était ventilé naturellement par drainage des gaz lourds. Les trappes d'accès ont donc été fermées pour laisser fermenter l'ensilage pendant un peu plus d'une heure trente et ainsi vérifier si les concentrations allaient augmenter, ce qui s'est produit; les concentrations de gaz à l'intérieur du silo ont augmenté considérablement en seulement 1,55 heure. Les mesures du tableau 3 donnent un aperçu des concentrations pouvant être présentes à l'intérieur du silo si celui-ci n'est pas ventilé correctement avant l'accès des travailleurs. Ces mesures ont été prises à l'entrée de la trappe ainsi qu'avec la perche permettant d'avoir une portée entre 7 à 8 pieds de profondeur. Selon les témoignages recueillis, les trappes d'accès du silo étaient restées fermées plus de 24 heures avant l'accident. Les concentrations présentes à l'intérieur lors de l'accès du premier travailleur devaient approcher des valeurs DIVS. En sachant que les gaz d'ensilage atteignent des concentrations très élevées dès la première heure de mise en silo, notamment le CO<sub>2</sub> durant les premières 24 heures, suivant l'ensilage, que la première victime serait entrée environ 24 heures après la fin de la première phase d'ensilage et que les concentrations obtenues pendant la simulation se sont approchées de la valeur DIVS, notamment pour le NO, les concentrations présentes au moment de l'accident pouvaient être suffisamment élevées pour compromettre la santé et la sécurité des deux travailleurs.

### 6.2 VENTILATION

Comme le montrent les résultats du tableau 4 de la section 5.2, une ventilation de 30 minutes est insuffisante pour permettre l'accès sécuritaire des travailleurs. Le document *Gaz d'ensilage* (plan M-7410) de Service de plans Canada indique qu'entre les cinq et huit premiers jours d'ensilage, les concentrations des gaz de fermentation sont les plus élevées. La simulation réalisée au cours de l'intervention comprenait deux heures d'accumulation de gaz de fermentation. En réalité, les gaz de fermentation peuvent s'accumuler plusieurs heures, voire pendant des jours. Dans le cas présent, la période de ventilation de 30 minutes, qui semble être la règle d'usage, est insuffisante (voir le calcul de l'annexe C). Selon le calcul pour les changements d'air dans le silo, le ventilateur générerait un changement d'air toutes les 5,67 minutes, ce qui représente 5,3 changements d'air en 30 minutes. La norme CSA Z1006-F16 *Gestion du travail dans les espaces clos* de l'Association canadienne de normalisation recommande entre cinq et 60 changements d'air par heure dans un espace clos. Selon les règles de l'art du travail en espace clos, au moins 20 changements d'air doivent être effectués par heure. Ventiler un espace clos est nécessaire afin de réduire les concentrations dangereuses de gaz et ainsi permettre d'accéder à cet espace en toute sécurité. Cinq changements d'air sont peut-être suffisants pour aérer un espace et offrir de l'air frais pour les travailleurs. Cependant, pour réduire une concentration toxique en gaz causée par le processus de fermentation de l'ensilage du silo, le taux de changements d'air doit être supérieur.

Malgré la ventilation avec un nombre de rafraichissements d'air adéquat, la détection des gaz demeure une étape essentielle. La détection des gaz valide la présence ou non des gaz en plus de nous indiquer si les concentrations sont sécuritaires selon la norme applicable au Québec, à moins d'utiliser un appareil de protection respiratoire à adduction d'air ou autonome. Par contre, comme il y a risque de perte de la source d'air laissant l'utilisateur sans protection, les appareils de protection respiratoire à adduction d'air ne sont pas approuvés en situation constituant un DIVS. Cependant, un système qui combine un appareil de protection respiratoire à adduction d'air avec un appareil de protection respiratoire autonome permet à l'utilisateur de pénétrer dans une atmosphère déficiente en oxygène ou à concentration élevée de gaz et de vapeurs, et de l'évacuer. Si la réserve d'air doit être utilisée pour entrer dans l'atmosphère en question, l'appareil de protection respiratoire autonome doit avoir une réserve d'air d'au moins 15 minutes et pas plus de 20 % de celle-ci ne doit être utilisée.

Après avoir ventilé le silo pendant 30 minutes à l'aide du ventilateur, les concentrations ont diminué. En revanche, selon le tableau 4, les concentrations mesurées, notamment celle du NO se trouvant à environ la moitié de la valeur DVIS, ne permettaient pas toujours une entrée sécuritaire. Il est à noter qu'en ouvrant les trappes d'accès par la suite, les concentrations ont grandement diminué.

Le document *Gaz d'ensilage* (plan M-7410) de Service de plans Canada indique clairement de ne pas entrer dans un silo dans les cinq à huit jours suivants l'ensilage et d'éviter d'y entrer pendant six semaines; il est clairement indiqué que de ventiler le silo 30 minutes avant d'y entrer ne peut pas être appliqué durant les cinq à huit premiers jours à la suite de l'ensilage. De plus, la période de 30 minutes de ventilation appliquée dans le milieu est un minimum. En effet, selon le document *Gaz d'ensilage* (plan M-7410), il faut prendre en compte la hauteur de l'espace libre au-dessus de l'ensilage et le diamètre du silo afin de déterminer le temps de ventilation nécessaire.

### 6.3 ENTRÉE EN ESPACE CLOS

À la lumière des entretiens avec différents intervenants présents sur place, dont des fermiers et des membres de l'UPA, la fermentation est non seulement dangereuse pour toute personne qui pénètre à l'intérieur d'un silo de ce type sans ventilation, mais les procédures d'accès, les équipements d'accès, la formation, le temps de ventilation, les appareils de mesure minimale de gaz et les procédures de sauvetage semblent déficients. En fonction des résultats obtenus et des équipements de ventilation utilisés ainsi que des conditions présentes pendant la simulation, la règle d'usage mentionnée par l'UPA, qui est de ventiler le silo pendant 30 minutes avant d'entrer, doit être revue. Comme cela a été expliqué ci-dessus, cette règle ne semble pas être bien comprise. Par ailleurs, comme le mentionnent les articles 302 et 306 du RSST, des lectures de gaz doivent être réalisées avant l'entrée dans un espace clos; selon les informations obtenues sur place, elles ne semblent pas être faites avant d'entrer dans un silo. Enfin, l'utilisation de main-d'œuvre étrangère parlant une autre langue que celle du producteur semble problématique. Les intervenants sur place ont indiqué que même si certains de ces travailleurs recevaient une formation, beaucoup d'information circulait de bouche à oreille entre les travailleurs temporaires, ce qui compromet la qualité de l'information transmise lors de la formation.

## 7. CONCLUSION

Le Consultant a été mandaté par la CNESST afin de réaliser une évaluation des concentrations de contaminants chimiques dans l'air du silo hermétique converti en silo conventionnel de la ferme Rodveil Holstein inc. située dans le rang De Léry, à Saint-Simon-les-Mines (Québec), à la suite d'un accident mortel ayant coûté la vie à deux personnes. Des mesures de concentration de gaz ont été faites en appliquant différents scénarios. Le but était de vérifier les conditions possiblement présentes dans le silo au moment de l'accident. Les différents scénarios évalués ont permis de relever des concentrations dangereuses de gaz.

## 8. LIMITATIONS

Le travail accompli par Le Groupe Gesfor a été effectué en vertu des normes de l'industrie. Le Client reconnaît que la subsurface et les conditions cachées peuvent être différentes de celles trouvées ou inspectées. Le Groupe Gesfor ne peut que commenter l'état du milieu observé le jour où il a fait son enquête. L'étude s'est limitée aux lieux qui, selon le Client et l'inspection visuelle de ceux-ci, suscitaient des préoccupations. Il en existe peut-être d'autres. Les résultats de l'étude se limitent aux prélèvements et aux paramètres échantillonnés durant l'intervention.

Les conclusions présentées dans le rapport ne doivent pas être considérées comme des avis juridiques. La responsabilité du Groupe Gesfor ou de son personnel se limitera aux frais assumés ou aux dommages réels subis par le Client, le moins élevé des deux montants devant être retenu. Le Groupe Gesfor ne sera pas responsable des dommages consécutifs ou indirects. Le Groupe Gesfor ne sera responsable que des dommages résultant de sa propre négligence. Le Groupe Gesfor ne pourra être tenu responsable des pertes et dommages subis si le Client n'a pas, dans un délai de trois ans suivant la date de découverte de la réclamation au sens du Code civil du Québec, engagé de poursuites judiciaires contre le Consultant dans le but d'être indemnisé pour lesdites pertes ou lesdits dommages.

Le Groupe Gesfor ne communiquera les résultats de ses travaux ou d'autres renseignements à ce sujet à personne d'autre qu'au Client, à moins que ce dernier ne demande par écrit que de l'information ne soit transmise à un tiers ou à moins que Le Groupe Gesfor ne soit tenu par la loi de fournir une telle information. Les tiers qui feront une utilisation quelconque des rapports ou des documents établis par Le Groupe Gesfor, ou qui se fonderont sur les constatations qui y sont présentées, notamment pour prendre des décisions, assumeront l'entière responsabilité à cet égard. Le Groupe Gesfor n'accepte aucune responsabilité s'agissant des dommages subis par un tiers à la suite de décisions prises ou d'actions accomplies par ce dernier.

**Le Groupe Gesfor Poirier, Pinchin inc.**

Rédigé par :



---

Mathieu Caron, B. Sc.  
Conseiller principal en santé et sécurité  
Santé, sécurité et hygiène du travail  
C. É. : [mcaron@gesfor.com](mailto:mcaron@gesfor.com)

Révisé par :



---

Véronique St-Onge, M. Sc. A.  
Hygiéniste industrielle  
Santé, sécurité et hygiène du travail  
C. É. : [vstonge@gesfor.com](mailto:vstonge@gesfor.com)

## **ANNEXE A**

### **CERTIFICATS D'ÉTALONNAGE DES APPAREILS DE MESURE**





# Certificat de Calibration Pour Location

Concept Controls certifie que les instruments énumérés plus bas ont été inspectés, testés et calibrés selon les spécifications du manufacturier.

**Equipement :** Gas Alert MAX XT II **Date de Calibration** 27 septembre, 2018

**Numéro de location**

RE02255

**Numéro de série**

MA217-015229

### Parameters/ Special Requests

Unité programmée selon les spécifications <input checked="" type="checkbox"/>	Les Capteurs ont réussi la calibration et le test fonctionnel <input checked="" type="checkbox"/>
Batterie a été testée <input checked="" type="checkbox"/>	La lecture des capteurs est stable <input checked="" type="checkbox"/>
Equipement nettoyé et sans contaminants <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Les Paramètres de l'appareil ont été ajustés selon les normes de l'industrie ou selon les recommandations du Manufacturier. Pour une configuration spéciale, les paramètres désirés devront être spécifiés lors de la réservation des équipements

Gaz De Calibration Utilisé :	Résultat de la Calibration	Numéro de Série du générateur
CO 100 ppm	Réussi	IBI-421-1
H2S 25 ppm	Réussi	IBI-421-1
LEL 50%	Réussi	IBI-421-1
O2 18%	Réussi	IBI-421-1

Il est recommandé de faire un test fonctionnel de l'appareil avant chaque utilisation.  
Il est aussi recommandé de faire une calibration de l'appareil tous les 7 jours

Accessoires Inclus	Qté: Envoyé	Reçu	Accessoires Inclus	Qté: Envoyé	Reçu
Boitier de Transport	1	<input checked="" type="checkbox"/>			
Manuel D'utilisation	1	<input checked="" type="checkbox"/>			
Chargeur ac/dc	1	<input checked="" type="checkbox"/>			
Manuel d'utilisation	1	<input checked="" type="checkbox"/>			
Logiciel	1	<input checked="" type="checkbox"/>			
Cable USB de Communication	1	<input checked="" type="checkbox"/>			

Tous les accessoires ont été vérifiés avant l'expédition de la location. Les accessoires manquants ou endommagés seront chargés selon le prix régulier lors du retour de la location.

Vérifié Par Yves Paquet  
Concept Controls Inc.

Signature :   
Concept Controls Inc.



# Certificat de Calibration Pour Location

Concept Controls certifie que les instruments énumérés plus bas ont été inspectés, testés et calibrés selon les spécification du manufacturier.

**Équipement :**

MultiRAE

**Date de Calibration:** 27 septembre, 2018

**Numéro de location**

RE02050				
---------	--	--	--	--

**Numéro de série**

MBB3Z090Q6				
------------	--	--	--	--

### Paramètres/ vérification

Unité programmée selon les spécifications	<input checked="" type="checkbox"/>	Valeur Brute des Capteurs vérifiées	<input checked="" type="checkbox"/>
Interval d'enregistrement(secondes): 60	<input checked="" type="checkbox"/>	Batterie a été chargé et testé	<input checked="" type="checkbox"/>
Type d'enregistrement ( méthode ) : Moy	<input checked="" type="checkbox"/>	Les lectures des capteurs sont stables	<input checked="" type="checkbox"/>
débit de la pompe corespond au spécification	<input checked="" type="checkbox"/>	Communication sans Fil ( si Applicable )	<input type="checkbox"/>
La pompe détecte un problème de débit	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Équipement nettoyé et sans contaminants	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Les Paramètres de l'appareil ont été ajustés selon les normes de l'industrie ou selon les recommandations du Manufacturier. Pour une configuration spéciale, les paramètres désirés devront être spécifiés lors de la réservation des équipements

Gaz De Calibration Utilisé :	Résultat de la Calibration	Numéro de Lot du Cylindre
CO 100 PPM	Réussi	DBI-49-100-12
NO 25 PPM	Réussi	JBH-125-25-5
NO2 5 PPM	Réussi	DBI-111-5-2
CO2 2000 ppm	Réussi	IBI-34-2000-3

Il est recommandé de faire un test fonctionnel de l'appareil avant chaque utilisation.

Il est aussi recommandé de faire une calibration de l'appareil tous les 7 jours

Accessoires Inclus	Qté: Envoyé	Reçu	Accessoires Inclus	Qté: Envoyé	Reçu
Boitier de Transport	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Filter hydrophobique	1	<input checked="" type="checkbox"/>
Manuel d'utilisation	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Convertisseur AC/DC	1	<input checked="" type="checkbox"/>
Logiciel USB	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Support de Piles Alcalines	1	<input checked="" type="checkbox"/>
Câble de communication	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Batterie AA		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	Pile Rechargeable	1	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	Probe d'echantillonnage		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	Adapteur pour Probe		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>

Tous les accessoires ont été vérifiés avant l'expédition de la location. Les accessoires manquants ou endommagés seront chargés selon le prix régulier lors du retour de la location.

Vérifié Par

Yves Paquet

Concept Controls Inc.

Signature :

Concept Controls Inc.

## **ANNEXE B**

### **PHOTOS**



Photo 1 – Vue d'ensemble du silo





Photo 2 – Ventilateur avec tracteur



Photo 3 – Intérieur de l'échelle d'accès à crinoline





**Photo 4 – Matériel d’ensilage**



**Photo 5 – Vue intérieure du silo vers le haut**





**Photo 6 – Intérieur d'échelle d'accès à crinoline avec vue sur les trappes d'accès**



**Photo 7 – Vue de l'ensilage à l'intérieur du silo**



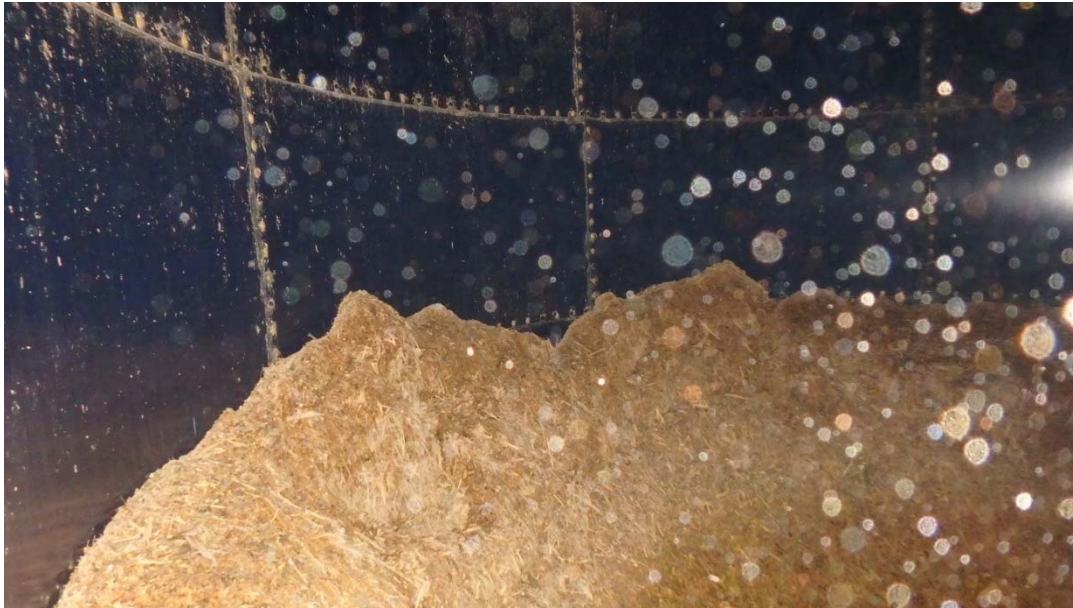


Photo 8 – Vue de la paroi intérieure du silo et niveau inégal d’ensilage



Photo 9 – Vue du ventilateur et produit injecté lors de l’ensilage



Photo 10 – Position des 17 trappes d'accès

## **ANNEXE C**

### **CALCUL DU NOMBRE DE CHANGEMENTS D'AIR**

Calcul de ventilation d'un espace clos :

**Capacité du ventilateur en  $\text{pi}^3/\text{minute} = C$**

$$C = \frac{20 \text{ changements* d'air/h} \times \text{Volume de l'espace clos (en pied)}}{60 \text{ minutes}}$$

\* La norme de l'Association canadienne de normalisation sur l'espace clos (CSA Z1006-F16) recommande entre 5 à 60 changements d'air à l'heure.

Selon les règles de l'art, 20 changements d'air à l'heure permettent de s'assurer de bien ventiler l'intérieur de l'espace clos.

Volume =  $\pi \times r^2 \times \text{hauteur}$  :

$$\Pi = 3,1416$$

$$r^2 = 91,2025$$

$$\text{Hauteur} = 33,67 \text{ pi}$$

$$3,1416 \times 9,55 \times 33,67 = 9\,647 \text{ pi}^3 \text{ de volume d'air (espace vide) dans le silo.}$$

Le ventilateur en place fournit un débit entre 1 700 et 2 100  $\text{pi}^3/\text{minute}$ .

Puisque le débit réel n'est pas connu, le débit minimum estimé est appliqué pour le calcul.

Une période de 30 minutes est le temps d'attente appliqué pour la ventilation du silo selon l'UPA.

$$\mathbf{1\,700 \text{ pi}^3/\text{min} \times 30 \text{ minutes} = 51\,000 \text{ pi}^3 \text{ total.}}$$

$$\text{Volume} = 9\,647 \text{ pi}^3$$

$$\text{Débit du ventilateur en 30 minutes} = 51\,000 \text{ pi}^3$$

$$51\,000 \text{ pi}^3 / 9\,647 \text{ pi}^3 = 5,2 \text{ changements d'air en 30 minutes.}$$

Toutes les 30 minutes, l'air du haut du silo (d'un volume de  $9\,647 \text{ pi}^3$ ) est renouvelé 5,2 fois.

## ANNEXE D

### Références bibliographiques

1. AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA, Analyse des sécheresses – Comparaisons mensuelles, [En ligne], 2018, [<http://www.agr.gc.ca/fra/programmes-et-services/guetter-la-secheresse/outil-de-surveillance-des-secheresses-au-canada/analyse-des-secheresses/comparaisons-mensuelles/?id=1518631888606>], (Consulté 2019).
2. AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA, Outils de surveillance des sécheresses au Canada, [En ligne], 2018, [<http://www.agr.gc.ca/fra/programmes-et-services/guetter-la-secheresse/outil-de-surveillance-des-secheresses-au-canada/?id=1463575104513>], (Consulté 2019).
3. ALLARD, Guy, et autres, Les plantes fourragères, Sainte-Foy, Éditeurs scientifiques, Centre de référence en agriculture et agroalimentation du Québec, 2005, ISBN 2-7649-0155-0, 209 p.
4. ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION, *Gestion du travail dans les espaces clos*, Toronto, Ont., ACNOR, 2016, 118 p. (CAN/CSA Z1006-16).
5. BAHLOUL, Ali, et autres, Faisabilité de l'étude sur les gaz de fermentation et sur la ventilation en silo à échelle réduite, Études et recherches Rapport R-553, 2008, ISBN 978-2-89631-246-7 (PDF), 25 p.
6. BAHLOUL, Ali, et autres, La prévention des intoxications dans les silos à fourrage, Études de recherches Rapport R-672, IRSST, 2011, ISBN 978-2-89631-539-0 (PDF), 53 p.
7. CANADA SERVICE DE PLANS, Danger gaz d'ensilage, Plan M-7410, 1988, 9 p.
8. COOPÉRATEUR, Ensilage de maïs : évitez la formation de gaz de gaz toxique, [En ligne], 2015, [<http://www.coopérateur.coop/fr/affaires-agricoles/ensilage-de-mais-evitez-la-formation-de-gaz-toxique>], (Consulté 2019).
9. ENVIRONNEMENT ET RESSOURCES NATURELLES CANADA, Rapport de données horaires pour le 26 septembre 2018, [En ligne], 2018, [[http://climat.meteo.gc.ca/climate\\_data/daily\\_data\\_f.html?StationID=26777&timeframe=2&StartYear=1840&EndYear=2019&Day=30&Year=2018&Month=9](http://climat.meteo.gc.ca/climate_data/daily_data_f.html?StationID=26777&timeframe=2&StartYear=1840&EndYear=2019&Day=30&Year=2018&Month=9)], (Consulté 2018).
10. ENVIRONNEMENT ET RESSOURCES NATURELLES CANADA, Rapport de données quotidiennes pour septembre 2018, [En ligne], 2018, [[http://climat.meteo.gc.ca/climate\\_data/hourly\\_data\\_f.html?StationID=26777&timeframe=1&StartYear=1840&EndYear=2019&Day=26&Year=2018&Month=9](http://climat.meteo.gc.ca/climate_data/hourly_data_f.html?StationID=26777&timeframe=1&StartYear=1840&EndYear=2019&Day=26&Year=2018&Month=9)], (Consulté 2018).
11. FOURNIER, ALAIN, La production de gaz toxiques dans les ensilages, qu'en est-il?, Fiches techniques, Agri-Réseau, 1999, 3 p.
12. MINISTÈRE DU TRAVAIL DE L'ONTARIO, Atmosphères dangereuses et espaces exigus, [En ligne], 2015, [[https://www.labour.gov.on.ca/french/hs/pubs/farming/gl\\_atmospheres.php](https://www.labour.gov.on.ca/french/hs/pubs/farming/gl_atmospheres.php)], (Consulté 2019).
13. MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, Données climatiques – Sommaire de données climatiques, [En ligne], 2018, [<http://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/donnees/OQcarte.asp>], (Consulté 2019).

14. MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, Normales climatiques du Québec 1981-2010, [En ligne], 2018, [<http://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/normales/index.asp>], (Consulté 2019).
15. NATIONAL AG SAFETY DATABASE, Watch out for silage gas, [En ligne], [<http://nasdonline.org/901/d000741/watch-out-for-silage-gas.html>], (Consulté 2019).
16. OUELLET, Anne-Marie, et LAFRENIÈRE, Carole, Additifs et inhibiteurs de moisissures pour les fourrages, Rouyn-Noranda, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 2005, 34 p.
17. QUÉBEC, Règlement sur la santé et la sécurité du travail, RLRQ, chapitre S-2.1, r.13, à jour au 30 janvier 2019, Québec, Éditeur officiel du Québec, 2019, 125 p.