

SILOS TOURS ET GAZ D'ENSILAGE

Webinaire | 17 mars 2020

CONFÉRENCIERS

François Granger, ingénieur et agronome, conseiller en prévention-inspection, CNESST

Chantal Bonneau, inf. B. Sc., conseillère en soins infirmiers, Direction de santé publique de la Montérégie

Michel Lagacé, ingénieur, directeur, Silo Supérieur



Y A-T-IL
QUELQUE
CHOSE
DANS L'AIR?



PLAN DE LA PRÉSENTATION

1. Silo tour, ensilage et production de gaz
2. Gaz d'ensilage - effets sur la santé
3. Mesures de prévention requises
4. Les défis de la ventilation
5. Tests et détection des gaz
6. Conclusion



1. SILO TOUR, ENSILAGE ET PRODUCTION DE GAZ



SILOS TOUR ET RISQUES SST

- Exposition à une déficience en oxygène
- Exposition à des gaz d'ensilage : CO₂ et NO_x
- Inhalation de moisissures, spores, etc.
- Chute de hauteur (tomber d'une échelle)
- Écrasement (chute du videur suspendu)
- Happement / entraînement (videur)
- Autres risques machines et électriques
- *Risques structuraux / détérioration des matériaux*
- *Risques d'incendie / feu couvant*



**RISQUES
ATMOSPHÉRIQUES**

RISQUES ATMOSPHÉRIQUES CIBLÉS

- **Risques d'asphyxie** (*perte de conscience*)
 - Notamment – déficience en oxygène
 - Effet instantané
- **Risque d'intoxication aiguë**
 - Gaz ou vapeurs toxiques
 - Effets instantanés ou à retardement
 - Peut aussi provoquer une perte de conscience

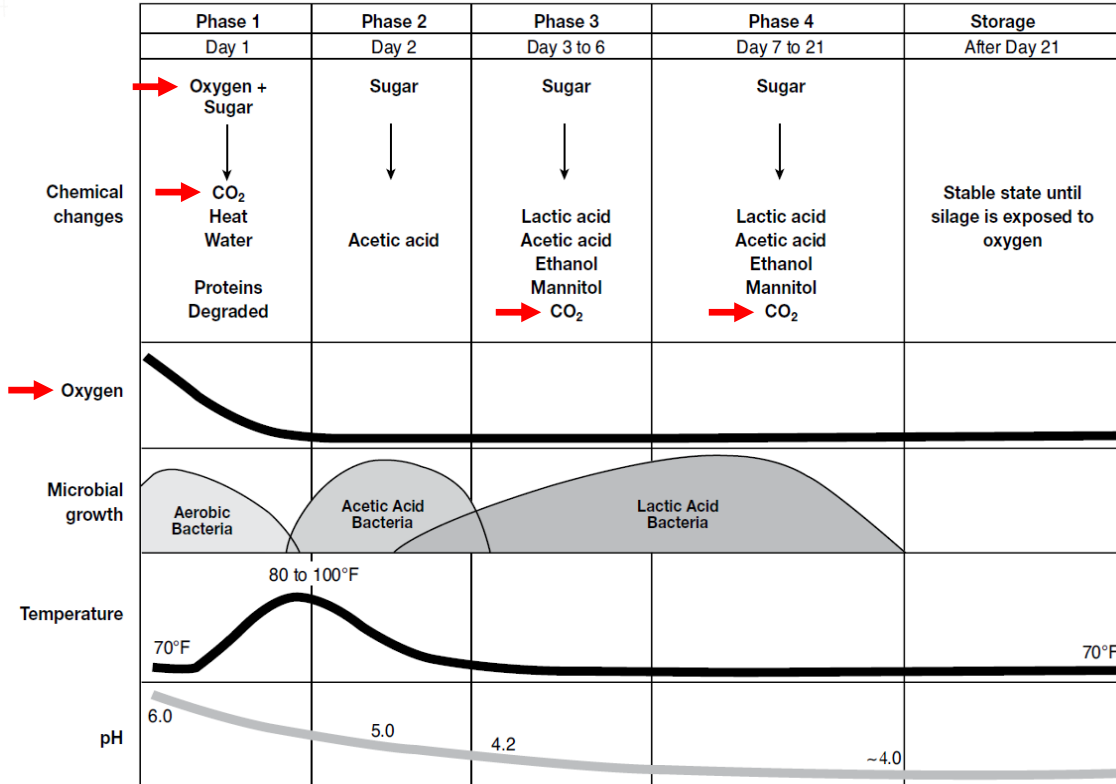


L'ENSILAGE

- **Procédé de fermentation**
- **Divers types de fermenteurs**
 - Silos tours, silos couloirs, balles enrobées de film plastique, grands sacs
- **Fermentation = processus microbiologique**
 - Consommation d'oxygène, puis fermentation anaérobie
 - Affectée par diverses conditions (température, humidité population microbienne, sucres, etc.)
- **Génère des gaz asphyxiants et toxiques :**
 - dioxyde de carbone (CO_2), monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO_2)



PHASES D'ENSILAGE (JONES ET AL, 2004)



Évolution de divers paramètres dans la masse d'ensilage



PRODUCTION DE CO₂

Production cumulative de CO₂ (g / kg_{sec} d'ensilage) pour le raygrass selon les résultats de Meiering et al. (1988)

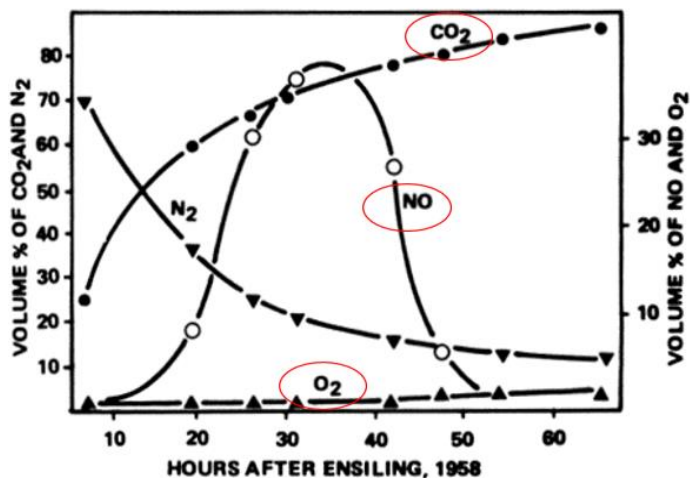
Après :	1 jour	2 jours	3 jours	21 jours
21 % de matière sèche (essai 1 : sans préfanage)	2,6 (40 %)	4 (60 %)	4,8 (73 %)	6,6 (100 %)
40 % de matière sèche (essai 3 : avec préfanage)	0,8 (13 %)	1,1 (18 %)	1,8 (30 %)	6 (100 %)

Résultats pour les essais pour lesquels seul le taux de matière sèche différait.



PRODUCTION DE NO_x (NO ET NO₂)

- Dépend des nitrates dans les plantes à ensiler



Évolution des gaz dans l'ensilage

(Étude de Wang et Buris, 1960, citée par Reid et al., 1984)



Photo : Verhoeff et al., 2007

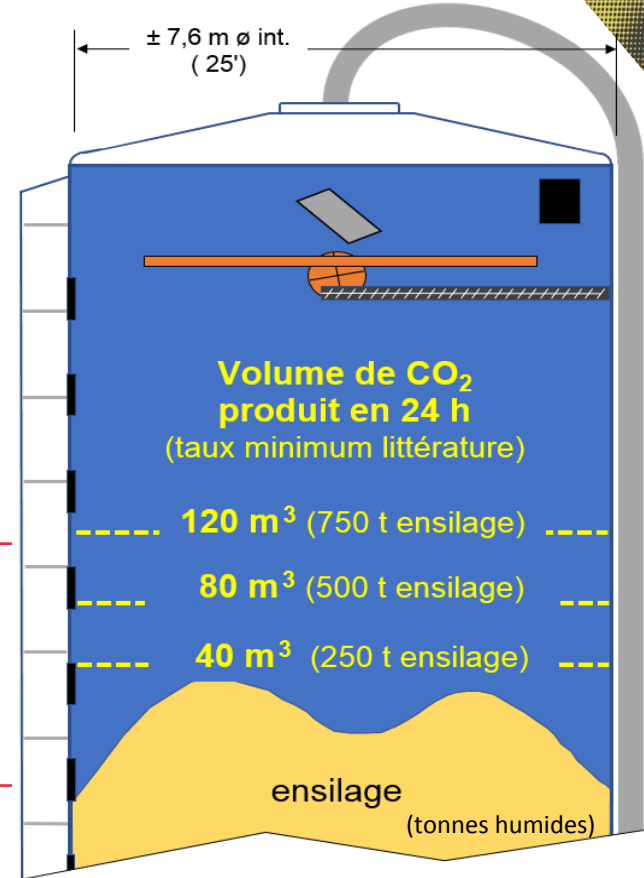
DANS UN SILO TOUR

Dès les premières heures

- Production de CO_2 qui s'accumule et chasse l'oxygène
- **Attention!** Production de CO_2 et de NO_x durant toute la période de fermentation.

Atmosphère sans O_2 !
 $\text{CO}_2 + \text{NO}_x$ (conc. variables)

Meiering et al.(1988) ont observé des taux de production de CO_2 jusqu'à 3 fois plus élevés



2. GAZ D'ENSILAGE - EFFETS SUR LA SANTÉ



ACCIDENTS LIÉS AUX GAZ DE SILO

Cas rapportés à la santé publique

De 2006 à 2018, on rapporte 11 cas dans tout le territoire du Québec, dont 3 décès

- Un décès survenu en 2016 est en lien avec un silo-tour conventionnel. Le travailleur est descendu du silo. Il ne se sentait pas bien. Il est allé se reposer chez lui. Par la suite, n'étant pas mieux, il a consulté les services médicaux. Il est décédé quelques jours plus tard.
- Deux décès survenus en 2018 sont en lien avec un silo-tour hermétique converti. Rapidement au contact des gaz de silo, les travailleurs ont perdu connaissance et leur décès a été constaté par la suite.
- Plusieurs des cas rapportés ont dû être traités aux soins intensifs ou à la salle d'urgence.

Les autorités de santé publique suspectent une sous-déclaration des cas en lien avec une méconnaissance de la problématique



OXYGÈNE

- Essentiel à la vie
- L'air sec contient :
 - 20,9 % d'oxygène (O_2)
 - 78 % d'azote (N_2)
 - 1,1 % d'autres gaz, dont 0,03 % de CO_2 ou 300 ppm de CO_2



DÉFICIENCE EN OXYGÈNE

McManus (1999) :

- Teneur en $O_2 < 6 \%$
 - Mort en quelques minutes
- Teneur en $O_2 < 4 \%$
 - Perte de conscience en une ou deux inspirations

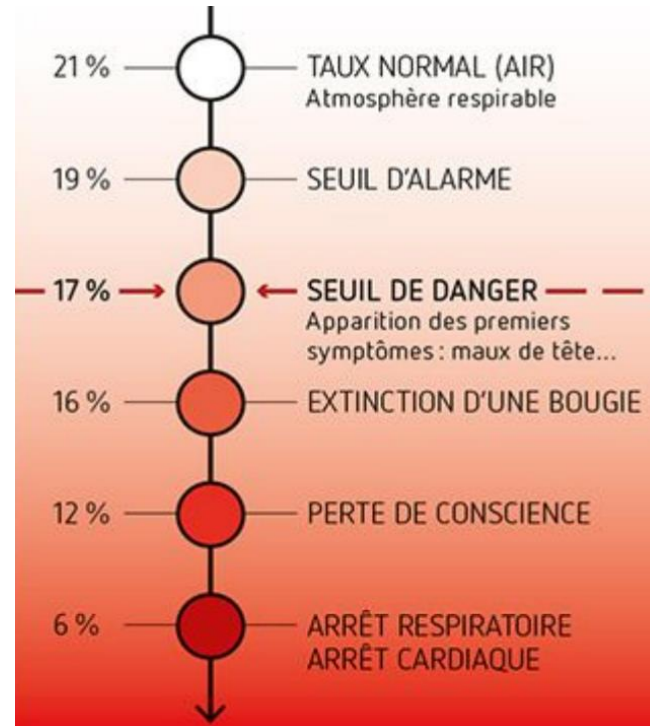


Illustration : INRS, 2018

LES GAZ D'ENSILAGE

- Dès les premières heures après la mise en silo le processus de fermentation débute
- La fermentation est très intense durant les premiers jours
- Les gaz sont produits durant toute la période de fermentation et peuvent être présents plus de 4 semaines après la mise en silo



À retenir

Ne pas entrer dans le silo pendant la période où des gaz peuvent être présents sans appliquer une procédure d'entrée en espace clos

RECONNAÎTRE LES SOURCES D'EXPOSITION ET CONDITIONS ASSOCIÉES

- Silos-tours conventionnels (incluant silo hermétiques convertis)
- Porter une attention aux espaces à risque
 - La chute du silo et l'intérieur du silo
 - L'entrée extérieure en haut du silo
 - L'espace intérieur du bâtiment où se trouve le silo
- En lien avec l'activité d'ensilage de foin et de maïs
- Peu importe les conditions météorologiques

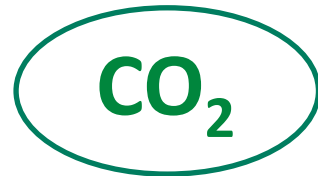


$\text{CO}_2 + \text{NO}_x$

LE GAZ CARBONIQUE

- Réduit la quantité d'oxygène dans l'air respiré
- Est sans odeur, sans couleur et sans effet irritatif
- Est plus lourd que l'air

Une exposition à des concentrations élevées de CO₂ a des effets directs sur le cerveau et peut causer une perte de conscience et même entraîner le décès



INTOXICATION AUX OXYDES D'AZOTE

- La maladie du silo est une intoxication aux oxydes d'azote
- C'est une maladie à déclaration obligatoire (MADO)
- C'est une atteinte broncho-pulmonaire aiguë d'origine chimique
- En gros, les NO_x pénètrent profondément dans les poumons et se transforment en acide au contact de l'humidité
 - Ce qui se traduit par un risque d'œdème pulmonaire



NO_x

QUELS SONT LES OXYDES D'AZOTE

- Formés par les nitrates contenus dans la matière végétale
- Plus lourds que l'air, ils se retrouvent au-dessus de l'ensilage
- Tout fourrage mis en silo représente un risque de production d'oxydes d'azote
- Odeur de javellisant, pas toujours présente
- Brouillard rougeâtre, pas toujours visible
- Concentrations variables selon les conditions météo et les pratiques agricoles



NO_x

À retenir

Les oxydes d'azote sont difficilement détectables à l'œil ou à l'odorat

RECONNAÎTRE LES EFFETS À LA SANTÉ

- **Immédiat** : toux, irritation des yeux et de la gorge
- **Immédiat ou retardé** (4 à 48h) : douleur à la poitrine, nausée, céphalée, difficulté respiratoire, faiblesse
- **2 à 6 semaines post exposition** : toux, difficulté respiratoire, infections à répétitions. Parfois présence de fièvre.



NO_x

À retenir

Le traitement adéquat au bon moment peut permettre de récupérer des atteintes causées par les oxydes d'azote

RECONNAÎTRE LES EFFETS À LA SANTÉ

- L'importance de consulter immédiatement un médecin dès l'apparition de symptômes en mentionnant le contexte de l'exposition
- Être attentif aux symptômes inhabituels, par exemple un rhume qui ne guérit pas
- Les personnes asthmatiques ou atteintes d'une maladie pulmonaire obstructive chronique sont plus sensibles aux effets des oxydes d'azote



NO_x

Info-Santé: 811
CENTRE antipoison
Salle d'urgence
Clinique sans rendez-vous

PORTRAIT DES PRATIQUES ET DES CONNAISSANCES : GAZ D'ENSILAGE

Projet NOx – Entrée dans les silos

- Projet réalisé par un groupe d'externes de l'Université de Sherbrooke (2016)
- Objectif : établir un portrait des pratiques et des connaissances du travail avec les silos à fourrage et les risques associés aux gaz d'ensilage (NO_x)



PORTRAIT DES PRATIQUES ET DES CONNAISSANCES : GAZ D'ENSILAGE

Projet NOx – Entrée dans les silos

Méthodologie

- Sondage exploratoire auprès des producteurs agricoles et des étudiants en agriculture
- Population cible : toutes les personnes effectuant un travail en contact avec les silos à fourrage non hermétiques en Montérégie
- Population accessible
 - Membres de l'UPA ayant leur courriel sur une liste de distribution et ceux qui assistent à des réunions
 - Étudiants des programmes agricoles de la Montérégie



PORTRAIT DES PRATIQUES ET DES CONNAISSANCES : GAZ D'ENSILAGE

Projet NOx – Entrée dans les silos

Caractéristiques des participants (n=61)

- 46 % étaient âgés entre 15 et 34 ans
- Moyenne d'années d'expérience = 18,3 années
- 62 % étaient propriétaires d'un silo à fourrage
- 71 % détenaient une formation en agriculture

Collaboration

- Union des producteurs agricoles
- Institut de technologie agroalimentaire
- École professionnelle de Saint-Hyacinthe
- Centre des moissons de Beauharnois

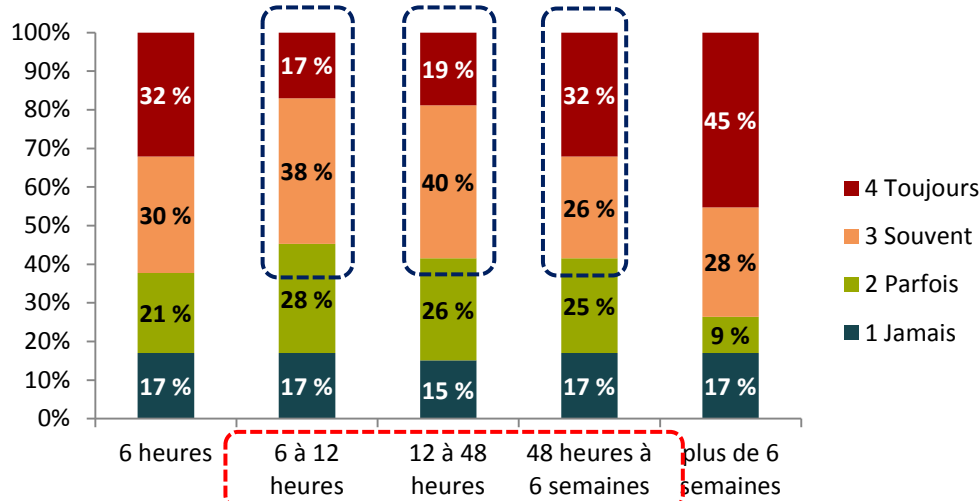


PORTRAIT DES PRATIQUES ET DES CONNAISSANCES : GAZ D'ENSILAGE

Projet NOx – Entrée dans les silos

Pourcentage des répondants entrant dans un silo selon les heures suivant le dépôt de l'ensilage

n = 53 répondants

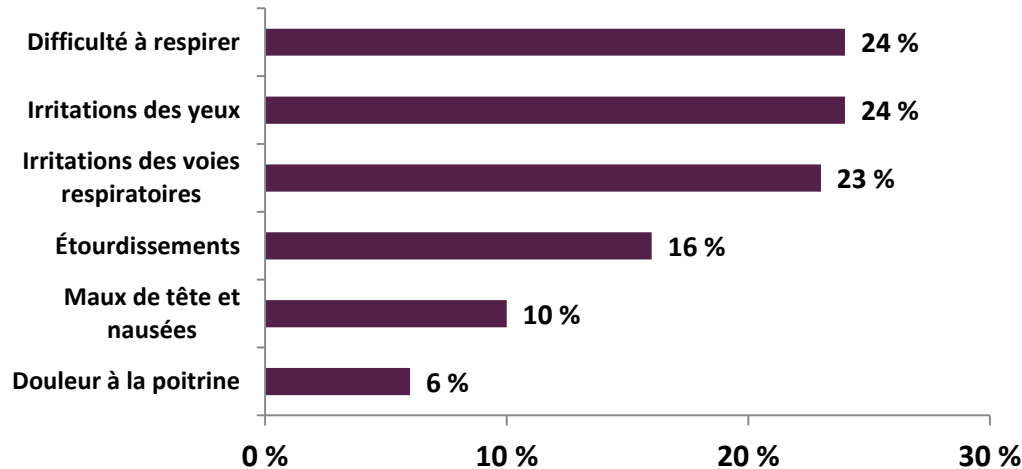


89 % des répondants affirment entrer au moins une fois dans les silos durant les périodes les plus à risque

PORTRAIT DES PRATIQUES ET DES CONNAISSANCES : GAZ D'ENSILAGE

Projet NOx – Entrée dans les silos

Proportion des répondants ayant ressenti des symptômes à la suite d'une entrée dans un silo*
(n = 49)



* Les répondants devaient faire référence à une entrée en silo avec symptômes qui a eu lieu au cours des deux dernières années.

55 % des répondants ont déjà ressenti au moins un symptôme pouvant être attribué aux NO_x

→ 93 % n'ont pas consulté de médecin après avoir ressenti ces symptômes



PORTRAIT DES PRATIQUES ET DES CONNAISSANCES : GAZ D'ENSILAGE

Projet NOx – Entrée dans les silos

- La plupart des répondants (82 %) considèrent que les moyens de prévention sont utiles pour réduire les risques d'intoxication
- Pourtant, certaines mesures sont rarement mises en application

Quelques exemples

- Utilisation d'un appareil à bonbonne d'air ou adduction d'air lors de l'entrée en silo (6 %)
- Utilisation d'un détecteur de gaz avant d'entrer dans le silo (4 %)

Raisons évoquées pour ne pas utiliser de moyens de prévention

- Coûts élevés des moyens de prévention
- Manque de temps
- Manque d'information sur les mesures efficaces
- Mesures trop complexes à mettre en place



3. MESURES DE PRÉVENTION REQUISES



TROIS MESURES DE BASE

L'entrée dans la chute et dans le silo sont des entrées en espace clos qui impliquent une préparation rigoureuse et le respect d'une procédure qui inclut diverses mesures de prévention.

Trois des ces mesures sont au cœur de la procédure

- Ventilation
- Détection des gaz
- Port d'un appareil respiratoire isolant (à adduction d'air ou autonome) lorsque l'atmosphère n'est pas sûre



PRINCIPES DE VENTILATION

La ventilation vise à :

- **Assainir l'intérieur de la chute et du silo avant l'entrée**
 - Requier 10 changements d'air complets selon les normes concernant le travail en espaces clos et pour des situations similaires à celle des silos tour
 - La durée dépend du volume à ventiler, du débit de ventilation, des obstacles et de la configuration du système de ventilation
- **Maintenir un apport d'air neuf au niveau de la zone respiratoire des travailleurs durant l'entrée**
 - Un courant d'air minimum de 0,3 m/s est recommandé



LA DÉTECTION DES GAZ

C'est le seul moyen de vérifier que l'atmosphère est sûre dans la chute et le silo.

Le détecteur permet de vérifier que :

- La teneur en oxygène (O₂) est à 20,9%
- Les teneurs en gaz dangereux sont inférieures à:
 - 5 000 ppm - pour le dioxyde de carbone (CO₂)
 - 25 ppm - pour le monoxyde d'azote (NO)
 - 3 ppm - pour le dioxyde d'azote (NO₂)



Illustration : R. DuRepos

LA PROTECTION RESPIRATOIRE

Le port d'un appareil de protection respiratoire à adduction d'air ou autonome est requis

- Lorsqu'il est absolument nécessaire d'entrer
- Lorsque la détection des gaz n'indique pas que l'atmosphère est sûre

Exemple d'appareil de protection respiratoire à adduction d'air

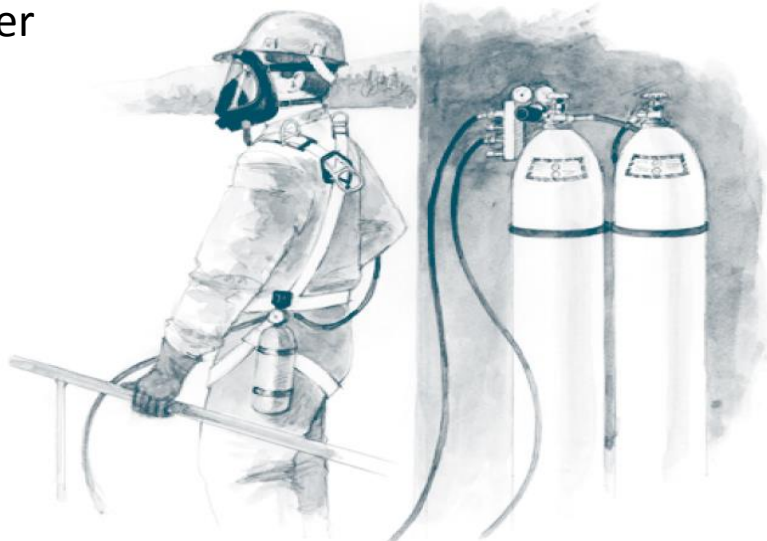


Illustration : R. DuRepos

4. LES DÉFIS DE LA VENTILATION



VENTILATION AVEC LE SOUFFLEUR

- Pas toujours installé
- $\pm 1\ 800$ à $2\ 500$ cfm

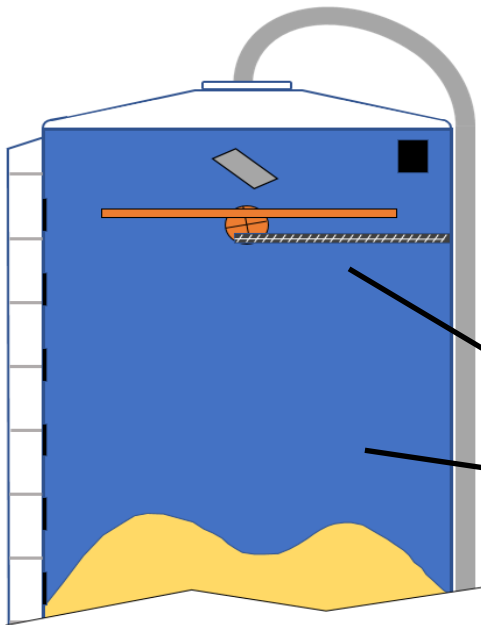


Photo : S. Roy, inspecteur, CNEST

- **Obstacles : videur et distributeur**
- **Hauteur libre à ventiler**
- **Fiabilité et efficacité incertaines**

LIMITES DU SOUFFLEUR

Mises en garde et recommandations (CSP, 1988)

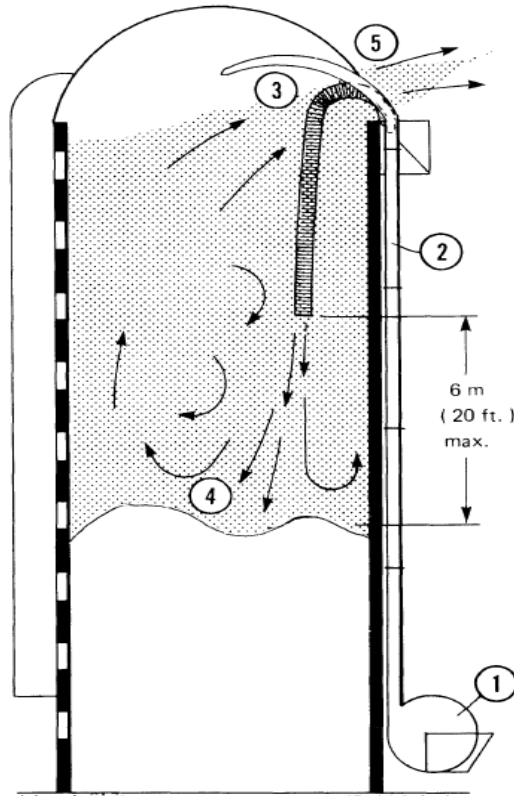
La période durant laquelle la production de gaz est la plus rapide est extrêmement dangereuse. **La souffleuse à fourrage ne réussit pas à diluer suffisamment le gaz pour garantir des conditions sûres dans le silo.**

Espace libre de 6 m et plus de haut : un tuyau descendant est requis (autrement dit, un silo rempli complètement est plus facile à ventiler).

Dans les années 1980, les chercheurs avaient constaté que le souffleur à fourrage était plus efficace pour ventiler le silo lorsque toutes les portes de la chute étaient fermées et que la trappe du toit était ouverte. **Toutefois, à l'époque, les silos, donc les espaces à ventiler, étaient moins grands.**



SOUFFLEUR ET HAUTEUR LIBRE



Recommandation de CSP (1988)

- Extension recommandée si hauteur libre > 20 pieds
- À la fois de la dilution et de l'évacuation
- Portes de la chute fermées

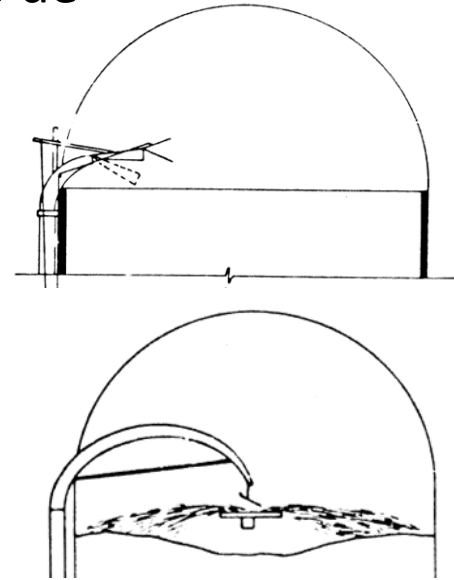
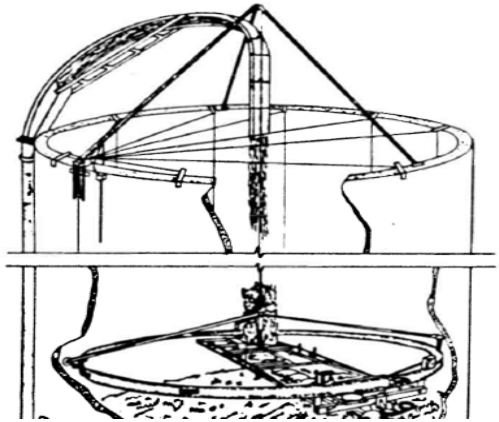
- 1 Souffleuse à fourrage
- 2 Tuyau de remplissage fixe de 230 mm (9 po)
- 3 Boyau de sortie flexible de 200 mm (8 po) en tissu métallique
- 4 Le souffle d'air pénètre jusqu'à la base de l'espace libre
- 5 Mélangés et dilués, les gaz d'ensilage s'échappent par l'ouverture du toit

CSP, 1988. Gaz d'ensilage. Plan M-7410



SOUFFLEUR ET OBSTACLES

Par exemple : forme de la goulotte et système de distribution du fourrage lors du remplissage



Illustrations : Sabourin, 1982



BESOIN D'UNE AUTRE MÉTHODE

- La ventilation avec le souffleur n'est pas fiable
- Un système de ventilation dédié pour chaque silo serait préférable
- Des entreprises ont commencé à travailler à développer un système pouvant être:
 - Installé sur les nouveaux silos et sur les silos existants
 - Abordable



5. TESTS ET DÉTECTION DES GAZ



DÉTECTEUR DE GAZ

- **Les gaz d'ensilage à mesurer sont :**
 - Oxygène (O₂)
 - Dioxyde de carbone (CO₂)
 - Monoxyde d'azote (NO)
 - Dioxyde d'azote (NO₂)
- **Multigaz ou combinaison multigaz et monogaz**
- **Demander une formation au fournisseur et respecter les instructions**



Illustration : R. DuRepos



MISE À ZÉRO (TEST)

Doit être faite avant chaque utilisation

- Où ?
 - À l'air libre propre (l'air sert de référence)
 - À l'écart des sources de contamination, sinon bouteille « air zéro » (20,9 % O₂)
- Sert à vérifier que l'appareil placé dans de l'air non contaminé
 - Lecture de 20,9% pour l'oxygène
 - Lecture de zéro pour les autres gaz

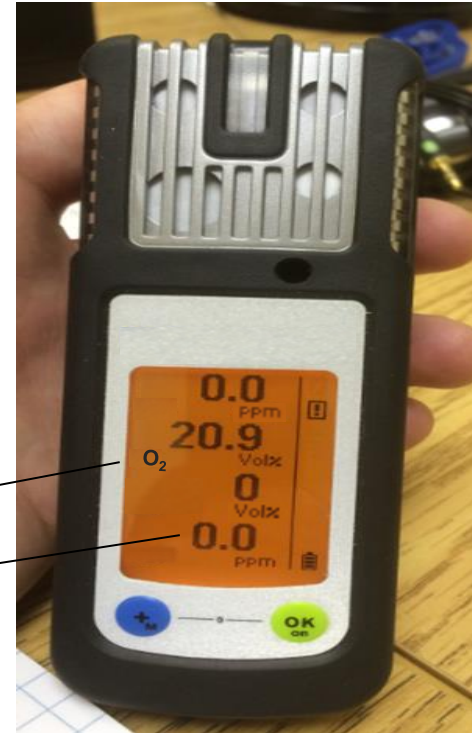


Photo : P. Jobin, inspecteur / simulation CNESSST

TEST DE FONCTIONNALITÉ

Synonymes : « *bump test* » ou « test de déclenchement »

- Réalisé après la mise à zéro de l'appareil
- Effectué au début de chaque journée d'utilisation

Le *bump test* sert à vérifier que

- l'appareil donne les lectures correspondant aux concentrations connues de gaz étalons conservés dans une bouteille
- les alarmes se déclenchent



TEST DE FONCTIONNALITÉ (ÉQUIPEMENT)



Source : Via Prévention, 2016

Exemple - Station manuelle

- a) Bouteille de gaz étalon
- b) Support de bouteille
- c) Détecteur et tête d'étalonnage
- d) Détendeur
- e) Hotte ou bras d'aspiration (ex. : dans un laboratoire)



TEST DE FONCTIONNALITÉ (GAZ ÉTALONS)



- Bonbonnes contiennent des concentrations connues de gaz
- Concentrations supérieures aux valeurs d'alarme pour les gaz toxiques ou inflammables (inférieure pour O₂)
- Pour les gaz d'ensilage, il faut utiliser au moins 2 bonbonnes car le NO et le NO₂ doivent toujours être dans des bouteilles séparées
 - Ce sont deux gaz réactifs, instables si combinés dans la même bouteille.

Attention à la date de péremption

ÉTALONNAGE (CALIBRATION)

- L'étalonnage de l'appareil doit être fait au moins une fois par an ou selon les recommandations du fabricant.
- Test également requis si :
 - Les valeurs obtenues lors du test de fonctionnalité divergent de plus de 10% des concentrations des gaz étalons
 - Une mise à zéro ne fournit pas les lectures attendues
- Étalonnage réalisé par le fabricant ou un laboratoire accrédité
- Dans tous les cas, il faut respecter les recommandations du fabricant pour l'emploi du détecteur, son entretien et les tests à réaliser



MESURE DES GAZ

Ventiler

- Ventiler pour assainir le silo préalablement
- Maintenir la ventilation en fonction pendant toute la préparation et l'entrée en silo

Faire les mesures de gaz sans s'y exposer







- En approchant du silo, au pied de la chute
- En procédant dos au vent
- Avant de monter dans la chute, pendant la montée dans la chute
- Dans le silo avant d'ouvrir une porte
 - À l'aide d'une pompe et d'une sonde à partir du haut, ou
 - À l'aide d'une sonde à travers un accès aménagé dans la porte (en développement)




Si une alarme se déclenche, évacuer et ventiler plus longtemps avant de reprendre les mesures.



DANGERS ET SEUILS D'ALARME



Gaz dangereux		Dangers	Densité relative (air = 1)	(((•))) Alarme (ppm)
Formule	Nom			
CO ₂	Dioxyde de carbone	 	1,53 ↓	5 000
NO	Monoxyde d'azote	 	1,04 ↔	25
NO ₂	Dioxyde d'azote	 	1,59 ↓	3

 = Asphyxie;  = Intoxication aiguë;  = effet à retardement probable

↓ = plus lourd que l'air; ↔ = densité ± neutre

Attention : l'intoxication peut aussi provoquer une perte de conscience



6. CONCLUSION



CONCLUSION



L'entrée dans un silo ne s'improvise pas!

Il faut appliquer une procédure sécuritaire qui inclut la **ventilation** et la **détection des gaz**

Lorsqu'il est nécessaire d'entrer dans le silo sans l'assurance de la qualité de l'air, le **port d'un appareil respiratoire isolant** est requis.

DES QUESTIONS? MERCI!



Y A-T-IL
QUELQUE
CHOSE
DANS L'AIR?



Les
Producteurs
de lait
du Québec



UPA POUVOIR NOURRIR
POUVOIR GRANDIR
L'Union des producteurs agricoles



RÉFÉRENCES

- CNCBA, 1995.** *Code national de construction des bâtiments agricoles - Canada 1995.* Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies. Conseil national de recherches scientifique Canada. CNRC 38732F
- CSP, 1988.** Danger Gaz d'ensilage. Canada Service Plan / Service de plans canadiens. PLAN M-7410 RÉVISION : 88.09
- 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.
- 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.
- 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.
- Sabourin, H.M., 1983.** *Production, détection et évacuation des gaz toxiques (CO₂ et NO_x) 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.
- Verhoeff, J., G. Counotte and D. Hamphuis, 2007.** *Nitrogen dioxide (silo gaz) poisoning in dairy cattle.* Tijdschr Diergeneeskd 2007; 132: 780-782.



RÉFÉRENCES

Agriculteurs, attention aux gaz de silos! Direction de santé publique de la Montérégie en collaboration avec la Direction de santé publique Chaudière-Appalaches, décembre 2019

Bulletin Sentinelle, *Intoxication aux oxydes d'azote (NOx)* Stéphanie Lanthier-labonté et Évelyne Cambron-Goulet, Volume 21, numéro 4– Juin 2015 ISSN # 2369-2413

http://www.santeautravail.qc.ca/documents/13347/375318/2826907_doc-MHS0k.pdf

Fiche complète pour le dioxyde d'azote. Répertoire toxicologique, CNESST

<https://www.merckmanuals.com/fr-ca/accueil/troubles-pulmonaires-et-des-voies-a%C3%A9riennes/maladies-pulmonaires-environnementales/exposition-aux-gaz-et-aux-substances-chimiques> Manuel Merck, consultation le 2020-03-06

[Les gaz dangereux dans les exploitations agricoles http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/14-018.htm#6](http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/14-018.htm#6) Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales, consultation le 2020-03-06

Intoxications professionnelles, gaz et vapeurs irritants et asphyxiants, p:796-800, Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, Robert Lauwerys, 2007

