

# DOSSIERS TECHNIQUES

*Réalisations  
et démarches  
innovantes*

*LE RISQUE D'ASPHYXIE*

*PAR LE GAZ CARBONIQUE (CO<sub>2</sub>)*

*DANS LES COOPERATIVES*

*CEREALIERES*



Mutualité Sociale Agricole

DOSSIER TECHNIQUE

**LE RISQUE D'ASPHYXIE  
PAR LE GAZ CARBONIQUE (CO<sub>2</sub>)  
DANS LES COOPÉRATIVES  
CÉRÉALIÈRES**

*A notre ami Armel.*

*Dossier réalisé par :*

- Armel CARRARO, *Technicien Conseil en Prévention, Caisse de la Mutualité Sociale Agricole de la Haute-Garonne*
- Thierry CHAMPENOIS, *Technicien Conseil en Prévention, Caisse de la Mutualité Sociale Agricole de la Haute-Garonne*
- Michel PERES, *Technicien Conseil en Prévention, Caisse de la Mutualité Sociale Agricole du Gers*
- Jean-Claude RIVALS, *Technicien Conseil en Prévention, Caisse de la Mutualité Sociale Agricole du Tarn-et Garonne*
- Dominique SOULAN, *Technicien Conseil en Prévention, Caisse de la Mutualité Sociale Agricole du Gers*
- Philippe MILLET, *Ingénieur Conseil en Prévention, chargé du secteur des Coopératives céréalières, CCMSA.*

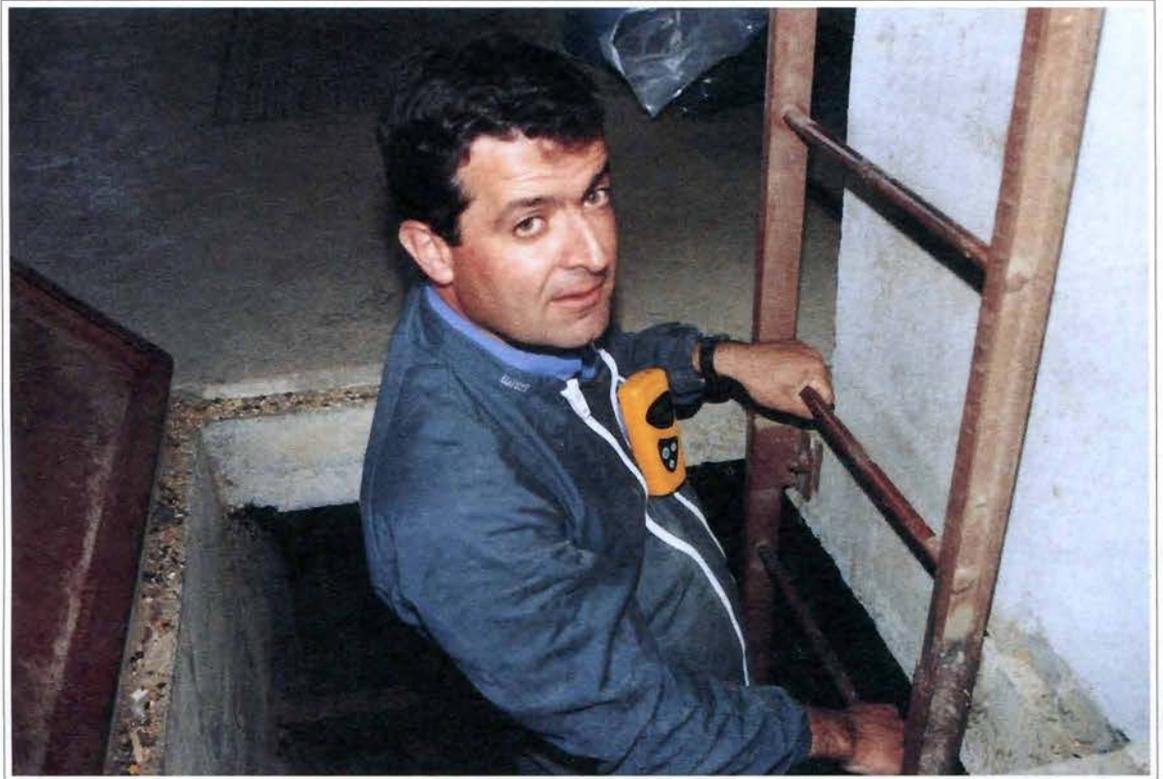
*Ce dossier technique a été réalisé dans le cadre du Plan pluriannuel de Prévention des risques professionnels des salariés agricoles du secteur "Coopératives de stockage, de conditionnement et d'approvisionnement des céréales".*

*Nous tenons à remercier pour leur collaboration :*

- Monsieur VERGER, *Directeur de la Coopérative SAGICOOP (Gers)*
- Monsieur RODRIGUEZ, *Directeur de la Coopérative Union des Agriculteurs du Comminge (Haute-Garonne)*
- Messieurs LETAILLEUR et PETIT, *de la FFCAT.*

## SOMMAIRE

<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>Fiche toxicologique du CO<sub>2</sub></b>	<b>5</b>
<b>Mode d'action sur le corps humain</b>	<b>7</b>
<b>Les phénomènes chimiques qui engendrent l'apparition de CO<sub>2</sub> en coopérative céréalière</b>	<b>9</b>
<b>Le risque d'intoxication par CO<sub>2</sub></b>	<b>13</b>
<b>Les dysfonctionnements qui favorisent l'apparition du CO<sub>2</sub></b>	<b>14</b>
<b>Les moyens de prévention</b>	<b>15</b>
<b>Les moyens pour chasser le CO<sub>2</sub> en coopérative céréalière</b>	<b>20</b>
<b>Les moyens de protection</b>	<b>51</b>
<b>Conclusion</b>	<b>54</b>
<b>Annexes</b>	
<i>Accident mortel du 10 octobre 1984</i>	<b>55</b>
<i>Etude Sagicoop collecte maïs MSA Gers</i>	<b>59</b>
<i>Accident du travail MSA Eure-et-Loire</i>	<b>74</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>76</b>



## INTRODUCTION

L'intoxication par le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) dans les coopératives céréalières est un risque méconnu. En effet, si dans certains secteurs d'activité comme les caves de vinification ce phénomène est bien connu (produire du vin, c'est produire du  $\text{CO}_2$ ), par contre le stockage des grains ne doit pas produire de  $\text{CO}_2$ .

Or, un mauvais stockage du grain (taux d'humidité et/ou température élevée), va entraîner la production de  $\text{CO}_2$  et sa concentration dans certaines parties de l'installation (fosse, pieds d'élévateurs, galerie, boisseaux...).

La présence de  $\text{CO}_2$  dans les coopératives céréalières sera due à un/des dysfonctionnement(s) du système de stockage.

Ce dossier a pour but de regrouper des connaissances sur :

- les caractéristiques chimiques du  $\text{CO}_2$
- les phénomènes chimiques qui engendrent l'apparition du  $\text{CO}_2$  en coopérative céréalière
- le mode d'action du  $\text{CO}_2$  sur le corps humain
- les dysfonctionnements du process qui favorisent l'apparition du  $\text{CO}_2$
- les moyens de prévention fiables à mettre en place.

## FICHE TOXICOLOGIQUE DU GAZ CARBONIQUE (CO<sub>2</sub>)

### **Appellation synonyme**

- gaz carbonique,
- anhydride carbonique,
- dioxyde de carbone.

### **Densité**

Le CO<sub>2</sub> a une densité de 1,53 et l'air a une densité égale à 1. De ce fait, le gaz carbonique est plus lourd que l'air. Il aura tendance à se concentrer dans les points bas (fosses, pieds d'élévateurs, galeries...) et stagner.

### **Valeur moyenne d'exposition (VME)**

C'est la valeur limite de moyenne d'exposition, c'est-à-dire la valeur limite mesurée sur une période de 8 heures.

VME du CO<sub>2</sub> = 0,5 % ou 5.000 ppm.

### **Valeur limite d'exposition (VLE)**

C'est la valeur maximale admissible pendant une période n'excédant pas 15 minutes.

Cette valeur ne doit jamais être dépassée.

VLE du CO<sub>2</sub> = 3 % ou 30.000 ppm <sup>(1)</sup>

### **Caractéristiques**

- inodore,
- incolore.

### **Action**

Effets de toxicité du CO<sub>2</sub> :

8 % = perte de connaissance, diarrhée, nausées

5 % = maux de tête, respiration difficile, vertiges

3 % = VLE (15 minutes)

0,5 % = VME (sur 8 heures).

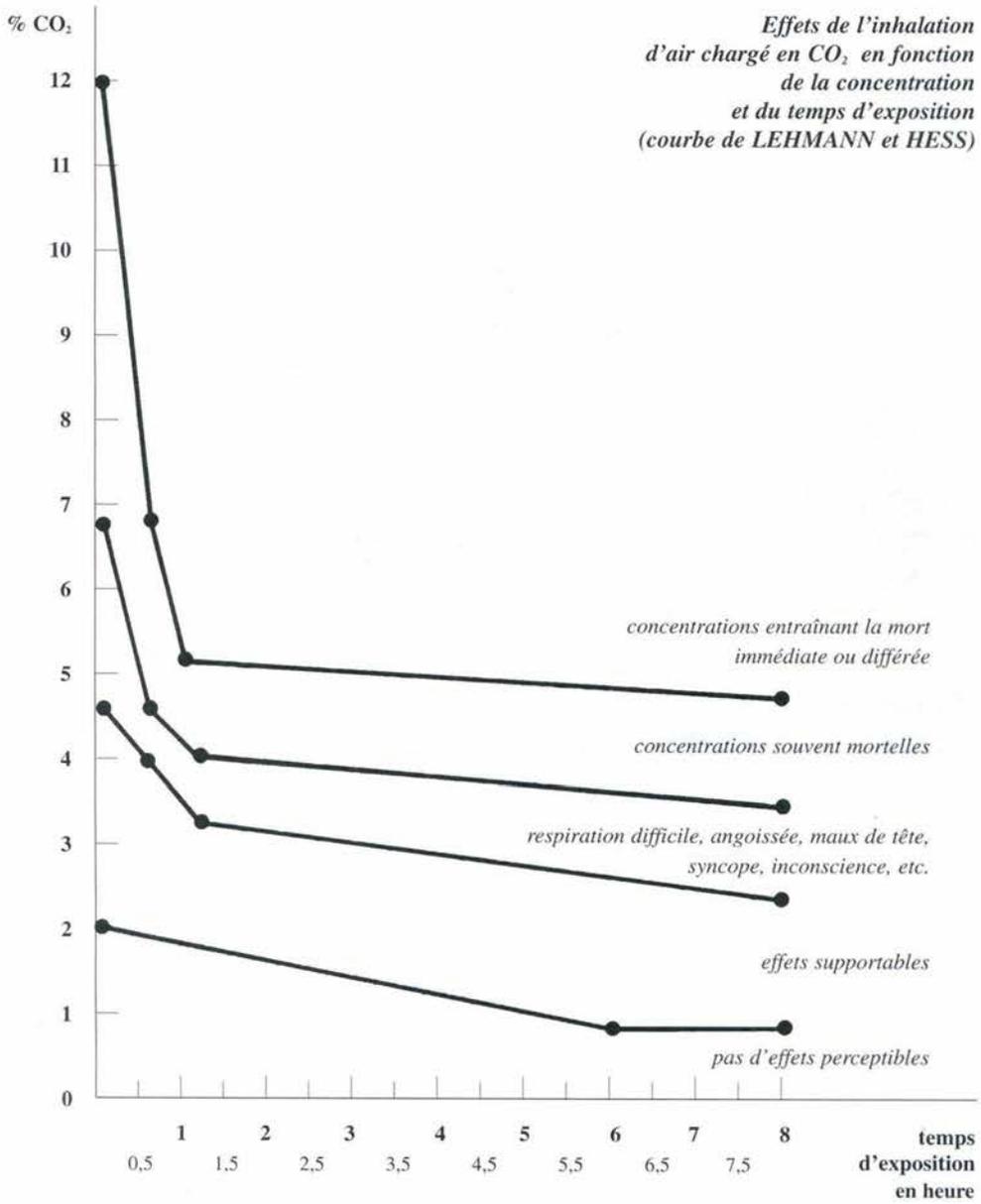
---

(1) Sources : Directive Communauté Européenne, INRS, ACGIH.

ppm = partie par million

10.000 PPM = 1%

## TOXICITÉ DU CO<sub>2</sub> DANS L'AIR



NB : atmosphère exempte d'oxyde de carbone (CO) et contenant suffisamment d'oxygène (O<sub>2</sub>)

fig. 1

## MODE D'ACTION SUR LE CORPS HUMAIN

La toxicité du CO<sub>2</sub> est une notion qui s'apprécie à deux niveaux :

- sa toxicité intrinsèque,
- sa toxicité combinée.

C'est du fait de l'existence de ces deux niveaux, souvent mal discernés et parfois confondus, que de nombreuses erreurs d'approche du risque gaz carbonique ont été commises.

### *La toxicité intrinsèque*

Le gaz carbonique est un :

- accélérateur de la fréquence respiratoire (cette propriété est d'ailleurs parfois utilisée en réanimation, avec une oxygénation en rapport),
- ralentisseur de la fréquence cardiaque
- ralentisseur du système nerveux (action anesthésique)
- irritant pour la peau et les muqueuses.

La sensibilité à ce gaz varie de manière importante d'un individu à un autre.

On estime qu'en moyenne :

- entre 3 et 5 % de CO<sub>2</sub>, des maux de tête apparaissent,
- entre 5 et 8 %, la respiration devient difficile, des troubles digestifs se manifestent et une perte de conscience peut survenir,
- entre 8 et 15 %, un coma s'installe et l'intoxiqué meurt rapidement s'il n'est pas évacué au grand air et traité par oxygénothérapie.

Les renseignements les plus complets concernant cette toxicité propre au CO<sub>2</sub> sont ceux donnés suivant LEHMANN et HESS (*fig. 1*).

### *La toxicité combinée*

La toxicité du CO<sub>2</sub> repose plus sur le fait que sa présence contribue à abaisser la teneur atmosphérique en oxygène, donnant une asphyxie oxyprive (dans les zones où le CO<sub>2</sub> apparaît par oxydation, la teneur en O<sub>2</sub> s'abaisse par simple phénomène de substitution).

Le CO<sub>2</sub> agirait comme asphyxiant par diminution de l'oxygène jusqu'à un taux inférieur à 16 et 17 % qui est le minimum vital pour l'homme.

Isolée, une diminution de l'oxygène en-dessous de 17 % provoque les troubles suivants :

- accélération de la fréquence cardiaque,
- sudation,
- difficultés de coordination des mouvements,
- vers 12 % d'O<sub>2</sub>, des vomissements apparaissent, puis une perte de conscience.

La présence simultanée d'une quantité insuffisante d'O<sub>2</sub> et de quantité excessive de CO<sub>2</sub>, va aggraver les conséquences aussi bien du déficit en O<sub>2</sub> (hypoxie) que de l'excès de CO<sub>2</sub> (hypercapnie).

Il y a accélération importante de la fréquence respiratoire, chute du pH sanguin et apparition d'un coma rapidement mortel. De plus, l'excès de  $\text{CO}_2$  empêche une fixation satisfaisante de l' $\text{O}_2$  sur l'hémoglobine des globules rouges, il en résulte des conséquences redoutables pour l'oxygénation des cellules et des organes vitaux de l'intoxiqué, en particulier du cœur et du cerveau.

En pratique, dans de nombreuses intoxications, il sera difficile de faire la part de l'hypoxie et celle de l'hypercapnie dans les troubles manifestés et le devenir de la victime.

Directement ou en relation avec une diminution concomitante de l'oxygène, un excès de gaz carbonique provoque une intoxication grave.

S'il y a une perte de conscience, la chute au sol de l'intoxiqué va aggraver l'intoxication en lui faisant respirer des quantités encore plus importantes de  $\text{CO}_2$  (gaz lourd s'accumulant au niveau du sol ou des fonds de fosses). Le risque est mortel si la victime n'est pas évacuée dans les trois minutes.

## LES PHÉNOMÈNES CHIMIQUES QUI ENGENDRENT L'APPARITION DE CO<sub>2</sub> EN COOPÉRATIVE CÉRÉALIÈRE

L'apparition du CO<sub>2</sub> dans les coopératives céréalières est due au comportement du grain qui est stocké.

En effet, le grain stocké vit. Il respire en consommant l'O<sub>2</sub> de l'air et en rejetant de la chaleur, du gaz carbonique, de l'eau et une perte de matière sèche.

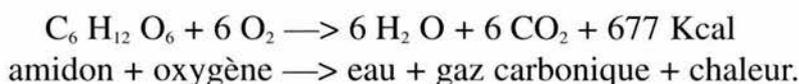
### **Le comportement du grain lors de son stockage**

Il existe deux modes de production de CO<sub>2</sub> qui sont souvent successives.

#### *La respiration*

La respiration ou oxydation a toujours lieu, quelles que soient les conditions de stockage. Cette respiration a lieu uniquement en présence d'oxygène. Elle se traduit par une transformation du carbone contenu dans l'amidon, l'albumen des réserves du grain, en gaz carbonique, en eau et en chaleur.

*Exemple :*



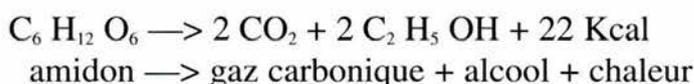
En atmosphère confinée, dès que la teneur en gaz carbonique dépasse 10 %, le phénomène respiratoire est bloqué. Nous passons alors en phase de fermentation.

#### *La fermentation*

En l'absence d'oxygène, la respiration est stoppée. Selon les types de grains et les conditions de stockage, il se produit une fermentation.

Dans ce cas, l'amidon se transforme en alcool et en gaz carbonique avec une faible élévation de la température.

*Exemple :*



### **Les paramètres qui accentuent la respiration**

Si le grain respire, quelles que soient les conditions de stockage, la respiration est plus ou moins importante en fonction des paramètres suivants :

- l'humidité du grain,
- la température de stockage du grain,
- l'influence du moment de la récolte,
- le degré de pollution de la cellule.

Ces différents critères sont repris dans la formule de dégagement de gaz carbonique.

### La formule de dégagement de gaz carbonique

Les phénomènes de respiration et de fermentation ont été modélisés sous forme de formules empiriques.

La formule retenue, qui caractérise le dégagement de CO<sub>2</sub> valable jusqu'à 28°C environ, est :

$$q = Ke^{a\theta}$$

où "K" est une constante dépendant de l'humidité.

Exemple : valeur de K pour du maïs

Humidité (%)	16	17	18	19	21
K	0,463	0,689	1,035	1,581	3,411

"a" est une constante. Elle est l'inverse d'une température et vaut :

- 0,1385 pour les céréales,
- 0,2770 pour le colza,
- 0,0924 pour le tournesol.

"θ" est la température en °C du lot de grains.

"q" est le dégagement de chaleur en mth / heure / tonne matière sèche. Elle se déduit du dégagement de gaz carbonique par la relation :

$$q = 1,07 d$$

dans laquelle "d" = mg CO<sub>2</sub> / 24 h / 100 g de matières sèches  
donc jusqu'à 28°C nous pouvons écrire :

$$d = \frac{Ke^{a\theta}}{1,07}$$

### L'humidité du grain (fig. 2)

L'action de l'humidité est complexe. Le dégagement de gaz carbonique fluctue en fonction du taux d'humidité du grain : du grain à 30 % d'humidité a une intensité respiratoire 400 fois plus importante qu'un grain à 15 % d'humidité.

Le dégagement de gaz carbonique double tous les 1,5 % pour des humidités allant jusqu'à 20 %, au-delà l'influence de l'humidité est plus faible. Pour du maïs, entre 30 et 35 % de taux d'humidité, le dégagement double tous les 6 % seulement.

Un séchage de qualité aura une répercussion importante sur l'apparition ou non de CO<sub>2</sub>.

### La température de stockage du grain

L'augmentation de la température est différente selon la nature des grains. Jusqu'à des températures de 28°C environ, le dégagement de gaz carbonique double tous les :

## PRODUCTION DE CO<sub>2</sub> DE DIFFÉRENTES GRAINES

### FACTEURS DE CONVERSION

(dégagement CO<sub>2</sub> mg / heure x 1,7) = dégagement calories en mth / tonne MS

(dégagement CO<sub>2</sub> mg / heure x 0,17) = eau produite en q / tonne MS

(dégagement CO<sub>2</sub> mg / heure x 0,284) = matière sèche perdue / tonne MS

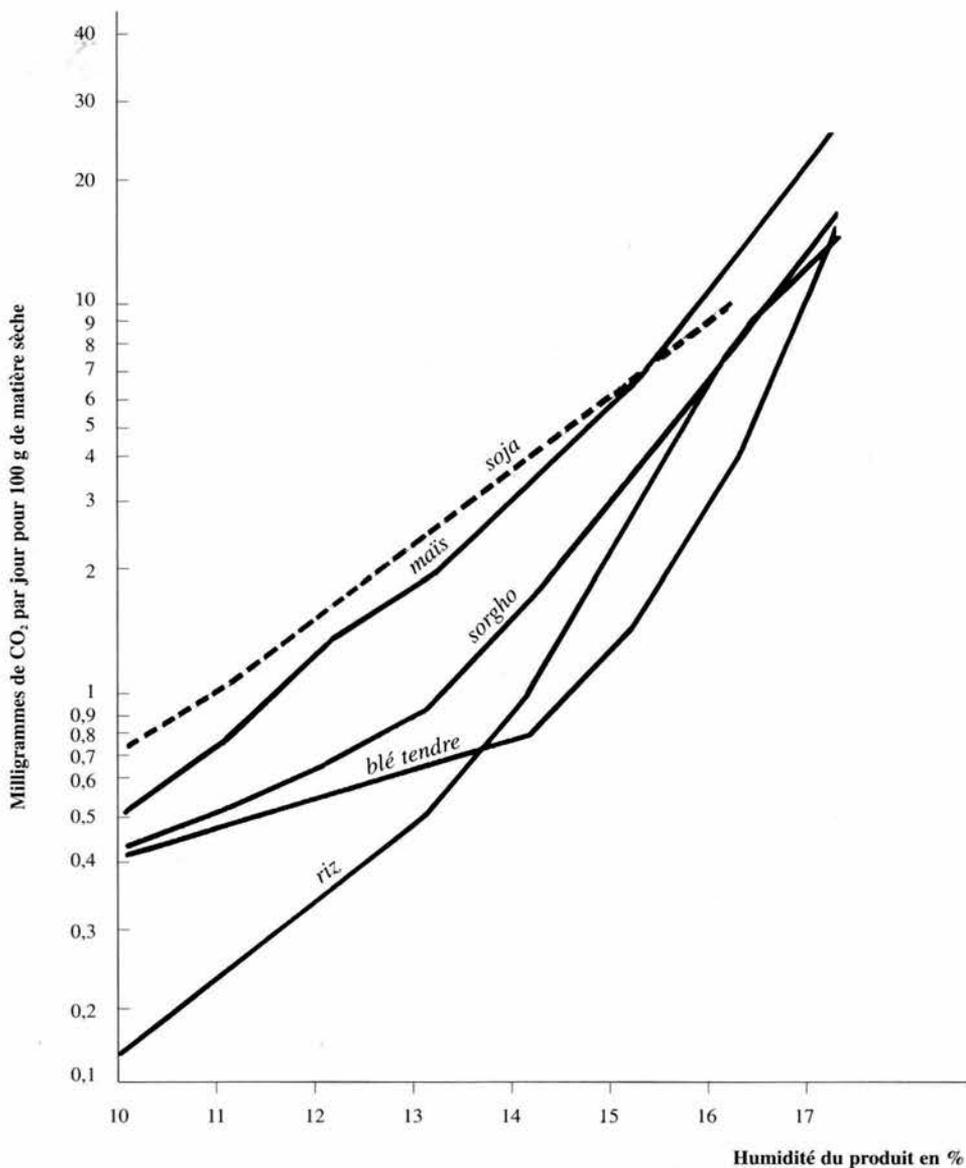


fig. 2

5,0°C pour les céréales,  
 2,7°C pour le colza,  
 7,5°C pour le tournesol.

Au-delà, il tend vers une limite d'autant plus basse que l'humidité du grain est elle-même plus faible.

*Exemple* : valeur de la fonction "e<sup>aθ</sup>" pour du maïs

Température (en °C)	5°	10°	15°	20°	25°
e <sup>aθ</sup>	2,005	4,020	8,03	16,10	32,30

***Plus le grain est chaud et /ou humide, plus il respire et plus il dégage de CO<sub>2</sub>.***

*Remarque* : plus le grain respire, plus il dégage de chaleur, ceci entraîne donc une accélération du dégagement de CO<sub>2</sub>.

Lors de la respiration, il y a production importante de CO<sub>2</sub>. Cela signifie que nous passons progressivement de la phase de respiration à la phase de fermentation.

***Nous comprenons ici l'intérêt d'équiper de sondes les cellules et le rôle important de la ventilation dans la conduite d'un silo.***

### **L'influence du moment de la récolte**

Du grain récolté tardivement a une intensité respiratoire plus grande, après séchage artificiel, que celui qui n'a pas subi des dessiccations et des réhumidifications successives.

Le séchage artificiel précoce sera préférable à un séchage naturel prolongé sur pieds. En particulier, du grain séché à 15 % en début de récolte a une intensité respiratoire 3 à 4 fois plus faible que celui qui a été récolté tardivement à un taux d'humidité identique.

Il est important de noter que du maïs fortement pollué verra son intensité respiratoire multipliée par 10 ou 15, ce qui condamne toute pratique tendant à retarder les livraisons sans ventilation du produit.

### **Le degré de pollution de la cellule**

Une représentation de l'intensité respiratoire en fonction des seuls paramètres de l'humidité et de la température est incomplète. La production de chaleur, donc l'intensité de la respiration, est liée au degré de pollution de la cellule et de la vitesse de multiplication des micro-organismes.

La respiration et la fermentation aboutissent à une perte de poids par diminution des réserves de matière sèche et à une perte de qualité avec brunissement des grains, détérioration de la valeur alimentaire, acidification des matières grasses, diminution de la valeur d'utilisation et perte de la valeur commerciale, et indirectement, le développement de moisissures et d'insectes ravageurs (dont le développement est favorisé également par la température et l'humidité du grain). ***De ce fait, tout facteur agissant sur le dégagement de CO<sub>2</sub> aura la même action sur la perte de qualité.***

## LE RISQUE D'INTOXICATION PAR CO<sub>2</sub>

Le risque d'intoxication peut se définir par une grandeur à trois dimensions associée à une phase précise du processus de production et caractérisant un événement redouté par :

- la probabilité d'occurrence,
- la gravité du préjudice,
- le temps d'exposition au toxique.

Ces trois dimensions sont-elles présentes dans des coopératives céréalières en prenant comme gaz toxique le CO<sub>2</sub> ?

### La probabilité d'occurrence

La probabilité d'occurrence peut se résumer à la question : "Peut-on rencontrer du CO<sub>2</sub> dans les coopératives céréalières ?" La réponse sera affirmative. En effet, dans un silo, sont présents l'ensemble des facteurs (matière vivante, oxygène, humidité, chaleur) qui peuvent entraîner l'apparition de CO<sub>2</sub> par respiration ou fermentation. Seule l'intervention de l'homme sur le processus maintient le système en équilibre et évite ainsi la production de CO<sub>2</sub> (cf. annexes : expérience menée à la SAGICOOP lors de la récolte de maïs).

### La gravité du préjudice

Selon le degré de concentration du CO<sub>2</sub> dans un point bas, la gravité du préjudice peut aller du simple malaise jusqu'à la mort (cf. annexes : accident mortel du 10 octobre 1984).

### Le temps d'exposition au toxique

C'est la dimension qui différencie le risque mécanique du risque chimique.

Cette dimension exprime la gravité du préjudice en fonction du temps passé au contact de l'agent toxique.

L'existence d'une VME et d'une VLE pour le CO<sub>2</sub>, nous conforte dans le fait que le CO<sub>2</sub> verra sa toxicité fluctuer en fonction du temps à une concentration donnée.

	Concentration	Temps d'exposition maximum
VME	0,5 %	8 heures
VLE	3 %	15 minutes

En outre, la concentration du CO<sub>2</sub> s'effectuera dans des zones (pieds des élévateurs, galeries) où l'opérateur est obligé d'intervenir pour mener à bien la conduite de l'installation.

Ces trois dimensions sont présentes dans le silo si l'on prend comme toxique le CO<sub>2</sub>.

Ainsi, le risque d'intoxication lié au CO<sub>2</sub> est bien présent et doit être pris en compte par les coopératives céréalières.

## LES DYSFONCTIONNEMENTS QUI FAVORISENT L'APPARITION DU CO<sub>2</sub>

Quels sont les dysfonctionnements qui peuvent entraîner l'apparition du CO<sub>2</sub> dans un silo ?  
Sept dysfonctionnements ont été recensés :

- la livraison de céréales (maïs), oléagineux et protéagineux humides dans la fosse de réception qui n'est pas évacuée et qui est stockée tout un week-end (cf. annexes : A.T. Eure-et-Loir)
- le préstockage avant séchage
- le stockage des oléagineux et protéagineux dans les cellules,
- la manutention de grains humides (bourrage, grains qui stagnent en fosse, pieds d'élévateurs)
- le manque d'étanchéité des fosses ou points bas
- l'accumulation de produits sur les parois des cellules ou boisseaux,
- les grains immatures et sales.

Dans toutes ces phases, les conditions sont toujours les mêmes :

- présence d'humidité,
- présence d'O<sub>2</sub>,
- présence d'une microflore,
- persistance de cet état qui concourt à la production de CO<sub>2</sub> plus ou moins importante.

Ces dysfonctionnements pourront se transformer en situation à risque au moment où l'opérateur décidera d'intervenir dans les zones contaminées.



*La livraison de la récolte*

## LES MOYENS DE PRÉVENTION À METTRE EN PLACE

Quelles sont les possibilités pour une coopérative céréalière de réduire le risque d'apparition de CO<sub>2</sub> dans ses zones de stockage ?

Un des premiers axes de réflexion est de travailler sur l'organisation du travail. L'objectif, ici, sera de supprimer le risque à la source en mettant en place une organisation technique, humaine... qui tend à limiter l'apparition des dysfonctionnements précités.

Le deuxième axe de réflexion est de prévoir un moyen technique pour pouvoir renouveler et retirer le CO<sub>2</sub> présent dans l'installation (exemple : pieds d'élévateurs), s'il existe un doute sur la qualité de l'air ambiant.

### **L'organisation du travail**

Quels axes de travail peuvent nous fournir l'organisation du travail ?

#### *La livraison des céréales*

Dans ce cas, la situation rencontrée est : la quantité de céréales livrée n'est pas évacuée dans les cellules, mais stockée un week-end ou une période assez longue dans la fosse de réception.

Cet état peut-être la conséquence d'une :

- livraison tardive d'un adhérent
- panne du moyen d'évacuation ou de manutention du grain
- capacité de stockage insuffisante.

#### *La livraison tardive du grain effectuée par un adhérent*

Cette situation est rarement rencontrée lors de la période des moissons où les coopératives proposent à leurs adhérents une grande souplesse en terme de disponibilité même si un incident lié à cette situation s'est produit dans l'Eure-et-Loir (cf. annexes : A.T. MSA 28). Les silos sont souvent ouverts 7 jours sur 7 et de 8 h à 23 h, ce qui limite le risque de livraison tardive et surtout la durée de stockage du grain dans la fosse.

Par contre, cette situation peut se rencontrer au cours de l'année lorsqu'un agriculteur vient livrer du grain en fin d'après-midi juste avant la fermeture du silo.

L'opérateur réceptionnera bien sûr le grain mais ne pourra pas l'évacuer si ce dernier a déjà commencé à stopper toute la machinerie de manutention du silo.

Dans ce cas-là, nous créons une situation à risque, notamment si ce dysfonctionnement se produit un vendredi soir.

Pour limiter ce type de situation à risque la coopérative devrait stipuler à ses adhérents les heures à partir desquelles la réception de grain n'est plus possible pour des raisons de sécurité mais aussi d'économie.

*La panne momentanée des moyens d'évacuation et de manutention du grain*  
(cf. chapitre "la manutention des grains humides")

*La capacité de stockage insuffisante*  
(cf. chapitre "le pré-stockage avant séchage").

## **Le pré-stockage avant séchage**

### ***Supprimer le pré-stockage de grains humides avant séchage***

- réguler les apports en planifiant la collecte destinée à être séchée,
- augmenter la capacité de séchage,
- augmenter le nombre de séchoirs,
- augmenter les débits de séchage.

### ***Comment éviter le pré-stockage des grains humides ?***

L'investissement dans une capacité de séchage supplémentaire, correspondant au surplus de la pointe de collecte, constitue rarement la solution retenue.

Tous les moyens permettant d'étaler les livraisons plutôt vers la fin de campagne (problème de maturité en début) doivent être utilisés avant d'avoir recours au pré-stockage : sensibilisation des entrepreneurs de battage (assez difficile), des producteurs par le paiement différencié, choix des variétés, etc...

Le choix de la méthode de séchage conditionne le débit des séchoirs. Ainsi, la dryération permet une augmentation de 15 à 20 % du débit instantané. Le séchage en double passage, avec le second différé de 10 à 15 jours, l'augmente de 45 à 50 % mais impose de la place ou du cloisonnement de stockage supplémentaire.

Une conservation intermédiaire sous ventilation avec un débit de type dryération (40 m<sup>3</sup>/h par m<sup>3</sup> de grain) oblige à une reprise du séchage soit par :

- l'orientation du surplus vers du pré-stockage de secours (boisseaux...)
- l'augmentation de la capacité de séchage qui doit être supérieure à la capacité de pré-stockage.

### ***Le stockage ou la conservation des grains humides***

Les axes de réflexion doivent porter essentiellement sur les techniques de ventilation qui pourront non pas sécher le grain, mais éviter toutes élévations trop importantes de celui-ci, et ainsi limiter la production de CO<sub>2</sub>. Bien sûr, ceci implique que les cellules soient équipées de sondes pour pouvoir déceler toutes les éventuelles élévations de température.

### ***Quelles sont les différentes techniques de pré-stockage ?***

Lorsque le pré-stockage est inévitable, quatre techniques peuvent être utilisées. Elles peuvent être classées par ordre d'efficacité croissante :

1) *Le pré-stockage avec ventilation classique* (débit spécifique de 10 m<sup>3</sup>/h par m<sup>3</sup> de grain).

Cette solution, la plus mauvaise, est à proscrire : le grain reçoit une quantité d'air trop faible pour être refroidi, mais suffisante pour entretenir sa respiration, et donc les échauffements qui en découlent vont s'auto-accélérer.

2) *La ventilation renforcée* : bien que reconnue comme une technique performante, car le débit d'air élevé ( $100 \text{ m}^3/\text{h}$  par  $\text{m}^3$ ) permet d'avoir un effet refroidissant de la masse de grain, supprimant par là-même les causes de mise en place des réactions de dégradation, cette technique est peu utilisée pour des raisons économiques (puissance électrique trop importante).

De plus, le débit d'air étant élevé, on observe des passages préférentiels où les vitesses d'air importantes créent des ségrégations des particules les plus légères, en les concentrant en certains points, entraînant ainsi des colmatages, voire des effets voûtes lors de la vidange du grain.

3) *Le pré-stockage sans ventilation* en cellule standard (non étanche). Cette technique, assez utilisée, semble un bon compromis pour une durée de stockage humide de quelques jours sans équipement spécifique.

Précautions à prendre :

- remplir la cellule en grain humide frais en continu, dans la masse du grain, l'oxygène interstitiel, par la respiration du grain, va se raréfier au profit du gaz carbonique (vérifier l'étanchéité de la ventilation de cette cellule afin que des filets d'air ne viennent pas perturber le milieu)
- vider la cellule en continu au rythme du séchoir.

4) *L'inertage en cellule étanche* : même principe que ci-dessus, mais au lieu que le  $\text{CO}_2$  soit produit par la respiration, il est injecté dans des cellules d'étanchéité parfaites, ce qui conduit à une dégradation plus lente.

Cette technique est toutefois très rarement utilisée, même si la durée de stockage (maximum 3 semaines) permet de faire face à la période de pointe de collecte, car elle est coûteuse à l'investissement (cellules étanches) et à l'exploitation.

Les techniques 3 et 4 entraînent un risque de  $\text{CO}_2$  dans les points bas (galeries sous cellules et surtout fosses d'élévateur).

## **La manutention de grains humides**

Suite à un bourrage ou à une erreur de conduite de l'installation, le grain humide peut se retrouver en grande quantité au fond de la fosse des élévateurs ou dans les galeries.

Le grain peut, s'il n'est pas rapidement évacué, commencer à respirer et fermenter et donc "produire" du  $\text{CO}_2$ .

Pour cela, il faut prévoir de mettre en œuvre une organisation qui tendra à diminuer les risques de bourrage des éléments de manutention et notamment les élévateurs, par :

- un réglage des débits adaptés aux machines
- des opérations d'entretien préventif :
  - sangles et godets d'élévateur en bon état,
  - bonne tension et alignement de la sangle,

- des équipements permettant de prévenir les bourrages : ampèremètre, contrôleur de rotation asservi sur l'arrêt de l'élévateur et du matériel situé en amont
- une évacuation immédiate des tas de grains issus du bourrage
- une maintenance préventive
- des techniques de conduite de l'installation : la mise en marche du circuit de manutention se fait toujours en commençant par la destination finale du grain.

### **Le manque d'étanchéité des fosses ou point bas**

Une fosse qui n'est pas étanche aura pour conséquence, lors d'un bourrage dans les godets d'élévateurs, d'augmenter le taux d'humidité du grain qui se trouvera en vrac dans le fond de la fosse. Le mécanisme de respiration et de fermentation sera d'autant plus important que l'humidité de la fosse est élevée. Pour éviter cette situation à risque, il est impératif de veiller à la mise en œuvre des moyens nécessaires à un bon assainissement de la fosse qui sont :

- étanchéité,
- pompage,
- aération.

### **L'accumulation des produits sur les parois des cellules ou boisseaux**

Lors de la vidange des cellules, nous pouvons découvrir le long des parois du grain colmaté. Ce colmatage est souvent dû :

- au stockage de poche de grain humide sur une période trop longue,
- à la compression de poche de grain humide le long des parois.

Le mécanisme peut être :

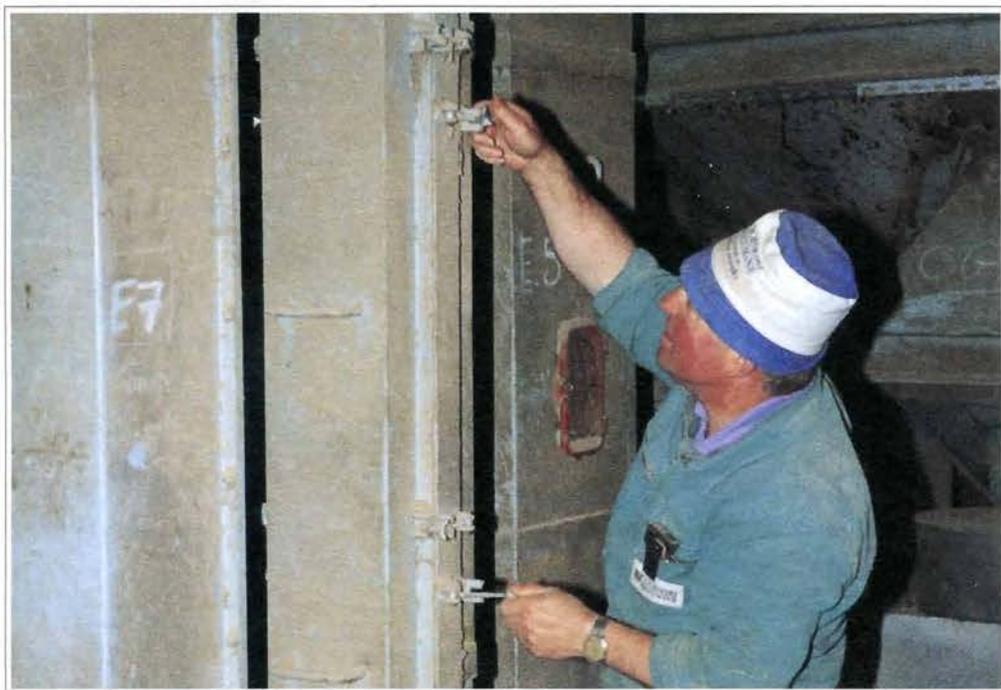
- décelé par des sondes d'élévation de température placées dans les cellules ; la mise en marche de la ventilation ou le transilage de la cellule pourra limiter ou supprimer l'apparition de ce colmatage,
- limité par une conduite de remplissage des cellules appropriées ; en effet, la durée de stockage du grain dans la cellule est influencée par le comportement du grain lors de la vidange.

Contrairement à la logique, la cellule ne se vide pas d'abord par le grain situé dans le fond. C'est toujours le grain stocké en dernier qui s'écoule en premier. La cellule se vide par le haut, même si l'écoulement du grain se fait par le bas.

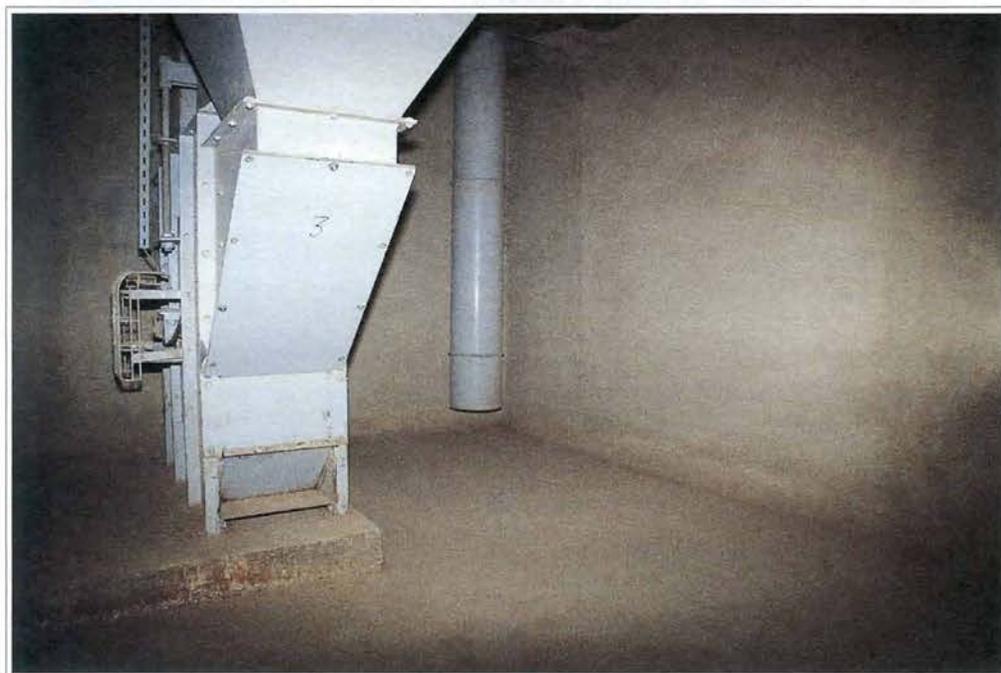
Il se forme une sorte de cheminée au-dessus de la trappe de vidange jusqu'à la surface du grain. L'écoulement constitue un cône, le grain situé à la surface de cet "entonnoir" s'écoule vers le centre et descend dans la trappe.

Tant que la cellule n'est pas totalement vidée, le grain situé dans la partie basse entre les parois et les trappes, ne peut s'écouler.

Le phénomène étant connu, une des méthodes de travail pour limiter l'apparition d'agglomération de grain humide contre la paroi du bas de la cellule, est de remplir le fond de la cellule d'une certaine quantité de grain sec.



*L'entretien préventif*



*Une fosse étanche*

### **Les grains immatures et sales**

Pour limiter le stockage de grains immatures et sales, la coopérative devra porter ses efforts sur :

- l'utilisation des séparateurs en silos
- le nettoyage des cellules
- la désinsectisation des cellules
- la sensibilisation des agriculteurs sur la qualité de leur récolte et sur les répercussions que celle-ci entraîne sur l'activité du silo.

## LES MOYENS POUR CHASSER LE CO<sub>2</sub> EN COOPÉRATIVE CÉRÉALIÈRE

La question à laquelle ce chapitre va s'efforcer de répondre est : "Quel est le système de ventilation (aspiration, soufflerie) le plus efficace pour extraire du CO<sub>2</sub> sous forme de gaz dans la fosse d'éleveurs ?"

Pour cela, un protocole de mesure a été mis au point pour pouvoir répondre à cette question.

### *Le protocole de l'expérience CO<sub>2</sub>*

#### *OBJECTIF*

Déterminer quel est le meilleur moyen de ventilation (soufflerie ou aspiration) pour évacuer le CO<sub>2</sub> dans les fosses des éleveurs d'une coopérative céréalière.

Pour arriver à atteindre notre objectif, trois essais ont été réalisés.

#### *Le 1<sup>er</sup> essai*

Après introduction de CO<sub>2</sub> dans le bas de la fosse (par décompression d'une bouteille de CO<sub>2</sub>) et installation d'un système d'aspiration, nous mettons en marche ce dernier.

L'objectif est de savoir si un système d'aspiration aspire totalement le CO<sub>2</sub> ou s'il existe toujours des poches de CO<sub>2</sub> dans des zones éloignées de la bouche d'aspiration.

#### *Le 2<sup>ème</sup> essai*

Après introduction de CO<sub>2</sub> dans le bas de la fosse (par décompression d'une bouteille de CO<sub>2</sub>) et installation d'un système d'aspiration, nous mettons en marche ce dernier.

Mais pour différencier ce 2<sup>ème</sup> essai du 1<sup>er</sup> une arrivée d'air supplémentaire sera fixée le long de la paroi de la fosse.

L'objectif est de savoir si :

- un système d'aspiration couplé avec une arrivée d'air crée un courant d'air
- la création de ce courant d'air est suffisant pour supprimer toutes les poches de CO<sub>2</sub> formées soit par l'impossibilité du CO<sub>2</sub> de franchir des obstacles, soit par le manque de puissance du système d'aspiration.

#### *Le 3<sup>ème</sup> essai*

Après introduction de CO<sub>2</sub> dans le bas de la fosse (par décompression d'une bouteille de CO<sub>2</sub>) et installation d'un système de soufflerie, nous mettons en marche ce dernier.

L'objectif est de savoir si un système de soufflerie expulse totalement le CO<sub>2</sub> ou si ce dernier est seulement dilué dans la fosse. Pour pouvoir être sûr de notre conclusion, il faudra laisser notre système de mesure en marche pour pouvoir déceler la formation éventuelle de poche de CO<sub>2</sub>.

Cette expérience, conduite par la MSA, s'est déroulée avec la collaboration de :

- l'APAVE
- la FFCAT
- l'UAC
- la Société ABISS
- la Société CARBOXYQUE.

Avant chaque simulation réalisée au CO<sub>2</sub>, nous avons, pour des raisons de sécurité, réalisé avec des fumigènes les différentes simulations afin d'analyser leur pertinence.

L'utilisation du CO<sub>2</sub> n'a eu qu'un rôle de validation des phénomènes constatés avec les fumigènes. Si, lors d'une simulation fumigène, nous constatons que le système de ventilation ne fonctionne pas, il semble raisonnable de ne pas réaliser cette simulation avec l'utilisation de CO<sub>2</sub>.

Avant de commencer les essais, nous avons :

- établi la carte d'identité du système de ventilation (taux de renouvellement, débit, diamètre des conduits, plan de l'installation...). Ce dernier a été constitué par l'UAC et par la FFCAT qui ont conçu le système,
- réalisé un test à l'aide de fumigène pour matérialiser les flux d'air lors de la mise en route du système et de le modifier en conséquence pour augmenter son efficacité.

Pour mesurer l'efficacité des différentes simulations, la fosse est équipée de capteurs de CO<sub>2</sub> à infrarouge de la manière suivante (fig. 3) :

- 3 capteurs de sensibilité 100 % CO<sub>2</sub> à 0,5 m du sol contre les murs (1 seul mur n'est pas équipé). Ces 3 capteurs ont pour mission de mesurer le mouvement du CO<sub>2</sub> au niveau du sol lors de la mise en route de la ventilation (aspiration et soufflerie)
- 1 capteur de sensibilité 100 % CO<sub>2</sub> à 2,5 m du sol, situé au milieu de la fosse
- 2 capteurs de sensibilité 10 % CO<sub>2</sub> au niveau du palier à environ 3,5 m du sol
- 2 capteurs de sensibilité 10 % CO<sub>2</sub> à l'entrée des galeries.

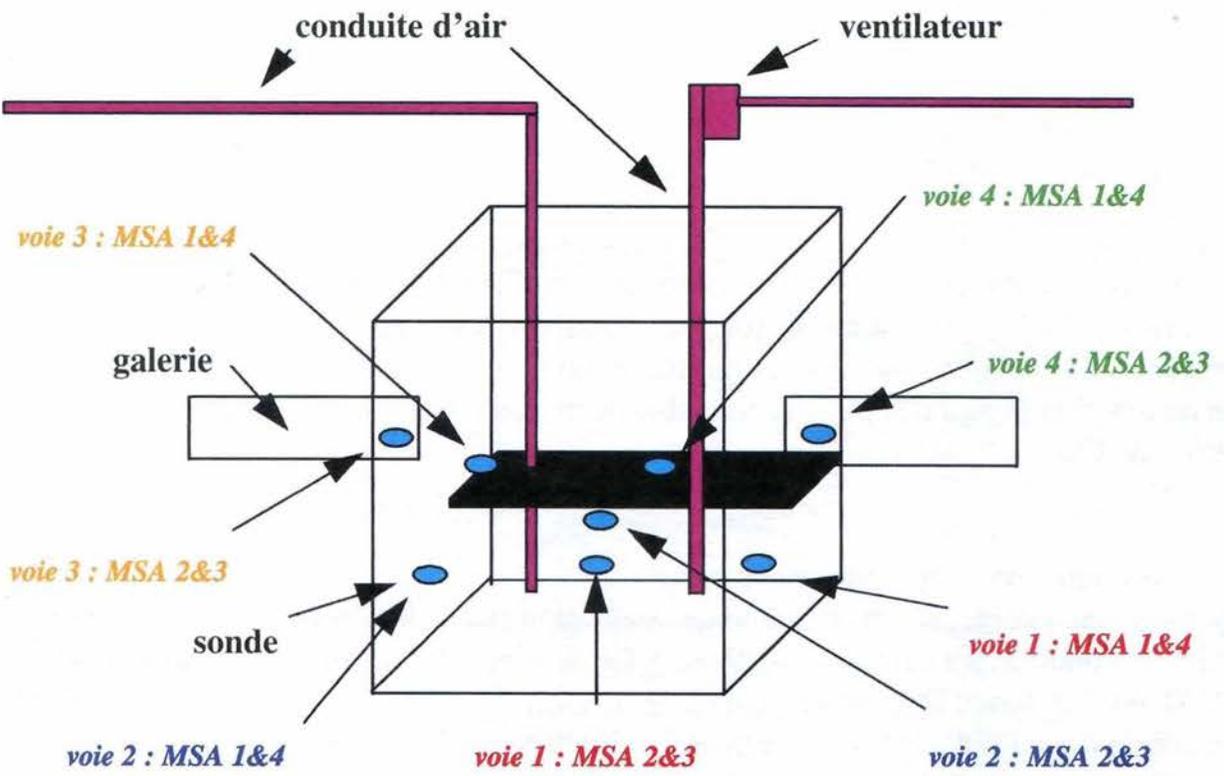
Ces deux derniers capteurs ont pour objectif de suivre l'évolution du CO<sub>2</sub> dans les allées de manutention et de passage.

Pour mener à bien l'expérience, nous avons choisi le site de l'UAC à Boulogne / Gesse qui possède les critères suivants :

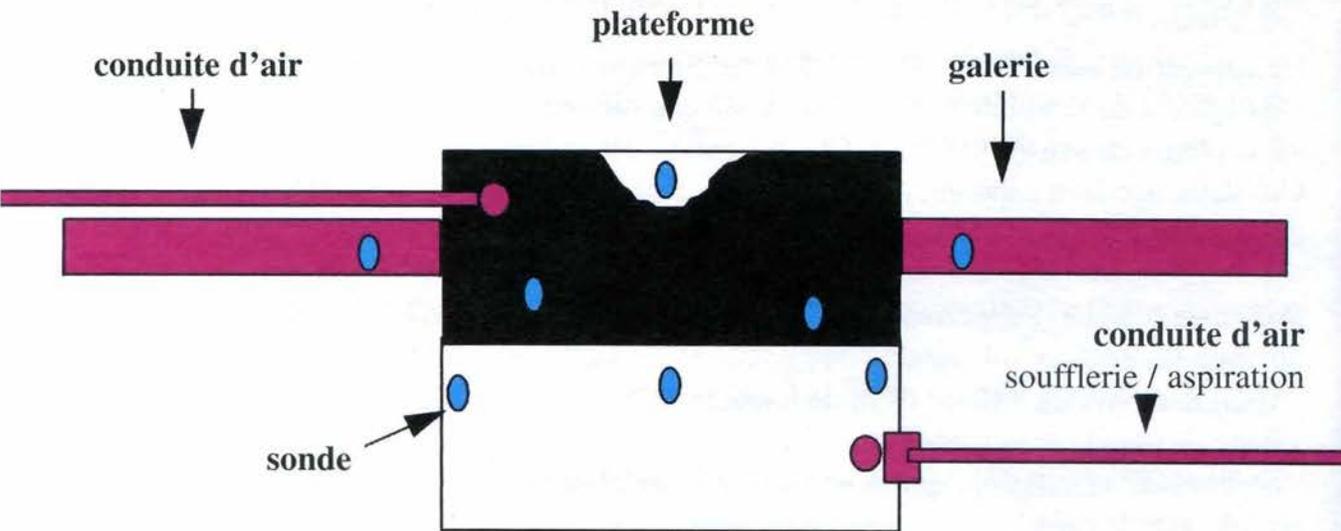
- volume d'environ 140 m<sup>3</sup> (7 m de hauteur et 20 m<sup>2</sup> de surface au sol),
- fosse des pieds d'élévateur couverte,
- absence de ventilation, qui nous permet d'installer le dispositif de ventilation servant à réaliser nos expériences.

gauche

droite



FOSSE D'ÉLÉVATEUR (vue de profil)



FOSSE D'ÉLÉVATEUR (vue de dessus)

## DÉROULEMENT DE L'EXPÉRIENCE

L'expérience s'est déroulée du 23 au 26 février 1998.

### Lundi 23 février

#### *Matin*

Présents : MSA

- mise en place des capteurs CO<sub>2</sub>
- mise en place des dispositifs de mesure
- connexion des portables
- livraison des bonbonnes de CO<sub>2</sub> par la Société CARBOXYQUE.

#### *Après-midi*

Présents : MSA, APAVE, UAC, ABISS

- visite du site
- élaboration du plan de prévention.

#### ABISS

- étalonnage des capteurs CO<sub>2</sub>
- chargement du logiciel PICOLOG sur les ordinateurs
- vérification du bon fonctionnement de l'installation de mesure.

#### APAVE, MSA, UAC

- début des essais au fumigène
- réglage du système de ventilation, rajout ou non d'un manchon.

### Mardi 24 février

Présents : MSA, APAVE, UAC, FFCAT

- suite des essais au fumigène
- début des essais avec CO<sub>2</sub>.

### Mercredi 25 février

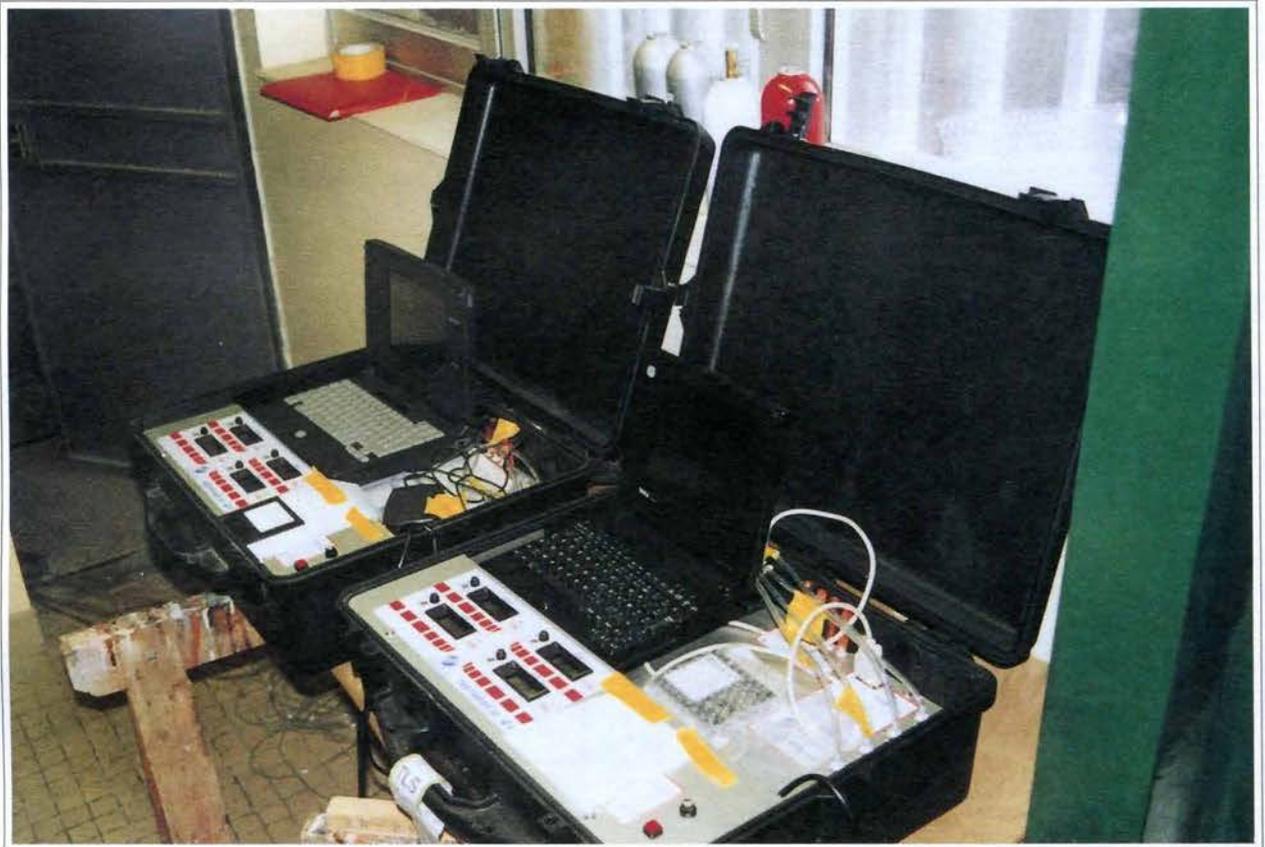
Présents : MSA, APAVE, UAC

- suite des essais avec CO<sub>2</sub>.

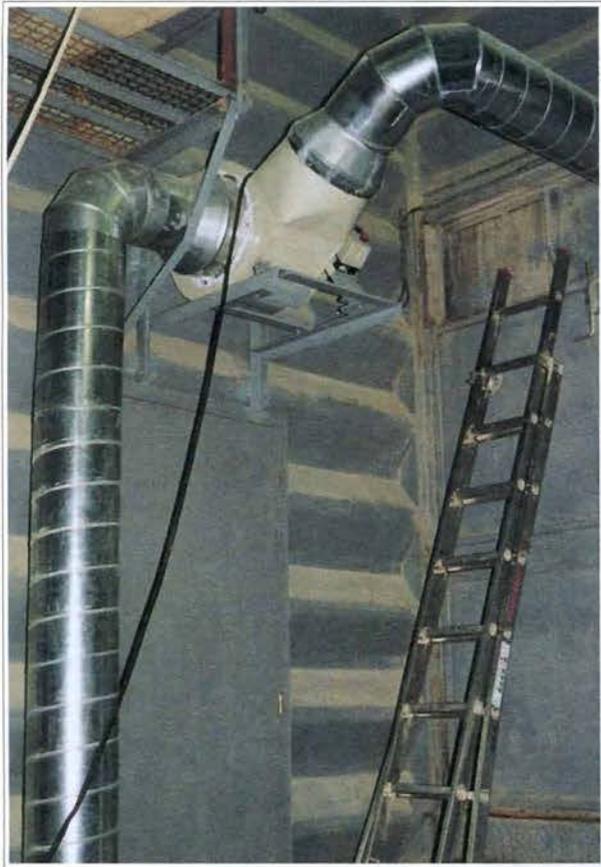
### Judi 26 février

Présents : MSA, UAC

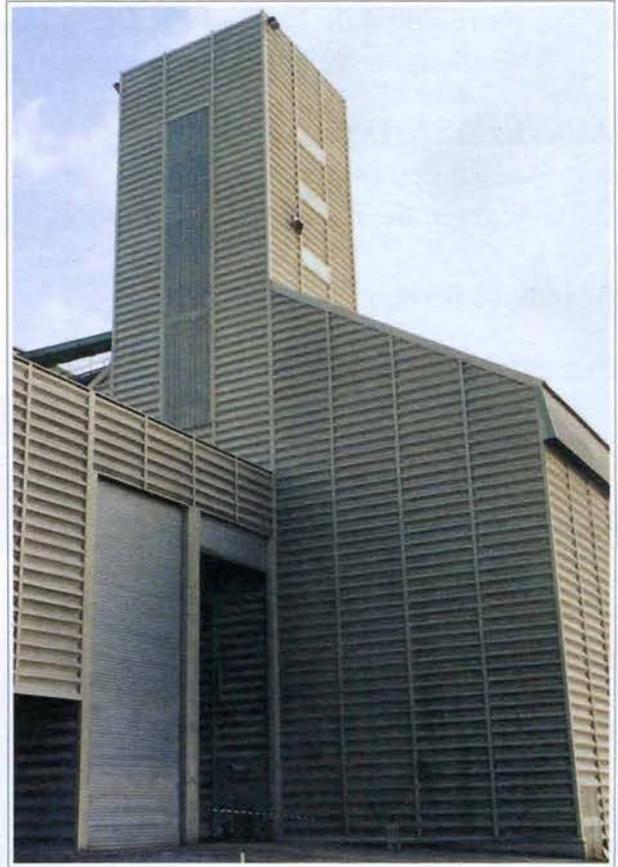
- démontage du matériel de mesure
- récupération par CARBOXYQUE des bonbonnes de CO<sub>2</sub>.



*Valises de mesure*



*Dispositif de ventilation*



*Le site retenu*

## **1 - MATERIALISATION DE LA VENTILATION NATURELLE DE LA FOSSE**

La matérialisation de la ventilation naturelle s'est effectuée à l'aide d'un anémomètre et de fumigène DRÄGER.

Nous pouvons constater :

- pas de circulation d'air en fond de fosse au niveau du sol,
- pas de circulation d'air en fond de fosse et à hauteur d'homme,
- pas de débit en sortie de gaine d'aspiration,
- légère circulation d'air ascendante au niveau de l'échelle d'accès au niveau supérieur (phénomène du tirage de cheminée).

*En conclusion :*

La fosse ne possède pas de ventilation naturelle. Nos expériences ne peuvent donc pas être biaisées par des paramètres propres à la fosse.

## **2 - LA CARTE D'IDENTITE DU SYSTEME DE VENTILATION**

*Le moteur ventilateur* retenu pour créer la dépression ou la pression dans la fosse est :

Marque : DENIS - type : D2

Moteur : 1,5 kw - 380 volts - 3000 tours / mn

Débit pression : voir courbes caractéristiques (*fig. 4*)

Ventilation : centrifuge à turbine à aubes.

*La tuyauterie*

L'ensemble des tuyaux est d'un diamètre de 250 mm.

*Remarque :*

Entre les deux principes de ventilation (aspiration, soufflage), le ventilateur sera décalé d'un quart de tour.

## **3 - LE PREMIER ESSAI**

Aspiration forcée par l'utilisation du ventilateur sans apport d'air neuf de l'extérieur.

Essai mené avec abondante génération de fumée.

Nous constatons que :

- la vitesse de circulation au niveau de la gaine d'aspiration est égale à 9 m/s (le débit est de 1638 m<sup>3</sup>/h); la fosse faisant environ 140 m<sup>3</sup>, l'extraction est égale à 11 fois le renouvellement de l'air du volume de la fosse en une heure,
- la vitesse de circulation au niveau bas des élévateurs est égal à 0,2 m/s,
- la vitesse de circulation à hauteur d'homme en fond de fosse est égale à 0,4 m/s.

# COURBES CARACTÉRISTIQUES

MOTO-VENTILATEUR

marque : DENIS - type : D2 - moteur : 1,5 kw

380 volts - 3000 tours / mn

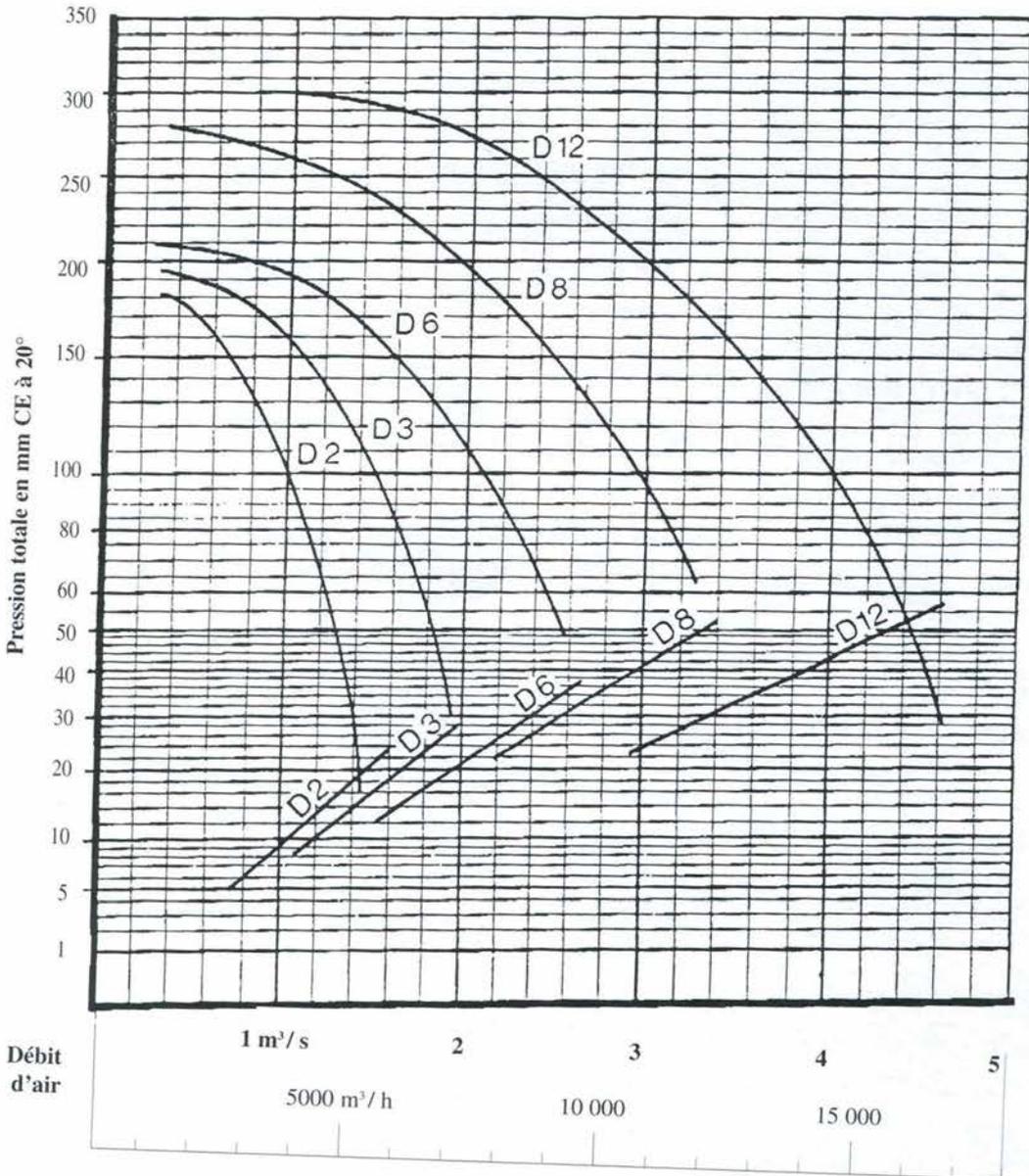


fig. 4

Nous observons que :

- l'aspiration de la fumée n'est satisfaisante que dans un diamètre d'environ 3 mètres autour de l'orifice de la gaine d'aspiration
- l'ascension et les turbulences des fumées indiquent l'absence d'un flux de balayage qui peut s'expliquer par l'absence d'apport d'air neuf ou un débit d'extraction trop faible.

En conclusion :

Au vu des résultats, il n'est pas souhaitable, de réaliser un essai d'extraction de CO<sub>2</sub>. Dans cette configuration, il nous paraît difficile de pouvoir extraire correctement le CO<sub>2</sub> injecté dans la fosse.

#### 4 - LE DEUXIEME ESSAI

1) Aspiration par l'utilisation du ventilateur avec apport d'air neuf de l'extérieur (via gaine côté crinoline). Essai mené avec abondante génération de fumée.

Nous constatons que :

- la vitesse de circulation au niveau de la gaine d'aspiration est égale à 10 m/s (gain de 1 m/s)
- la vitesse de circulation à hauteur d'homme en fond de fosse est égale à 0,64 m/s (gain de 0,2 m/s).

Nous observons :

Peu d'amélioration par rapport à l'essai précédent, si ce n'est un accroissement léger de la vitesse du flux de balayage.

*En conclusion :*

Au vu des résultats il n'est pas souhaitable de réaliser un essai d'extraction de CO<sub>2</sub>.

2) Aspiration forcée par l'utilisation du même ventilateur mais en inversant les phases de l'alimentation du ventilateur (avec apport d'air neuf). Essai mené avec abondante génération de fumée.

*Remarque :*

L'inversion des phases de l'alimentation permet au ventilateur d'obtenir son rendement optimum. Dans les deux premiers essais, le moteur était monté à l'envers. En effet, lors de l'installation, les phases ont été inversées ce qui a eu pour conséquence de faire tourner les aubes du ventilateur à l'envers.

Le fait que les aubes tournent à l'envers n'inverse pas le mode de ventilation, en effet un ventilateur monté à l'envers en mode aspiration garde sa fonction aspiration mais son débit est réduit d'environ 80 %.

Cette erreur a été découverte par M. Petit de la FFCAT. De plus, il nous a signalé que cette erreur était fréquente dans les coopératives.



*Expulsion de la fumée à l'extérieur du site*



*Aspiration de la fumée*

Nous constatons que :

- la vitesse de circulation au niveau de la gaine d'aspiration est égale à 21 m/s (le débit est de 3900 m<sup>3</sup>; en une heure le volume d'air de la fosse est renouvelé 27 fois)
- la vitesse de circulation d'arrivée d'air neuf est égale à 3 m/s
- la vitesse de circulation au fond de la fosse est égale à 1,3 m/s.

Nous observons que :

- la totalité de la fumée injectée (fosse saturée) dans la fosse est complètement évacuée par la gaine d'aspiration ; elle est chassée à l'extérieur du silo, à la fin de l'essai il ne reste plus aucune trace de fumée.

La présence d'un balayage au fond de la fosse évite la création de poches de fumée dans les coins.

*En conclusion :*

Cette action est retenue pour l'essai réel avec du CO<sub>2</sub>.

## 5 - LE TROISIEME ESSAI

Soufflerie forcée par l'utilisation du ventilateur. Essai mené avec abondante génération de fumée.

Nous constatons que :

- la vitesse de circulation à la sortie de la gaine de soufflerie est égale à 20 m / s, le débit est d'environ 3900 m<sup>3</sup> / h,
- la fumée servant à visualiser les flux n'est pas linéaire mais soumise à de fortes turbulences.

Nous observons que :

- la fumée est dispersée dans toutes les galeries du silo et de la tour de manutention,
- aucune trace de fumée n'est perçue à l'extérieur du silo.

*Remarque :*

La fumée a été expulsée à l'extérieur à l'aide des ventilateurs de ventilation des cellules.

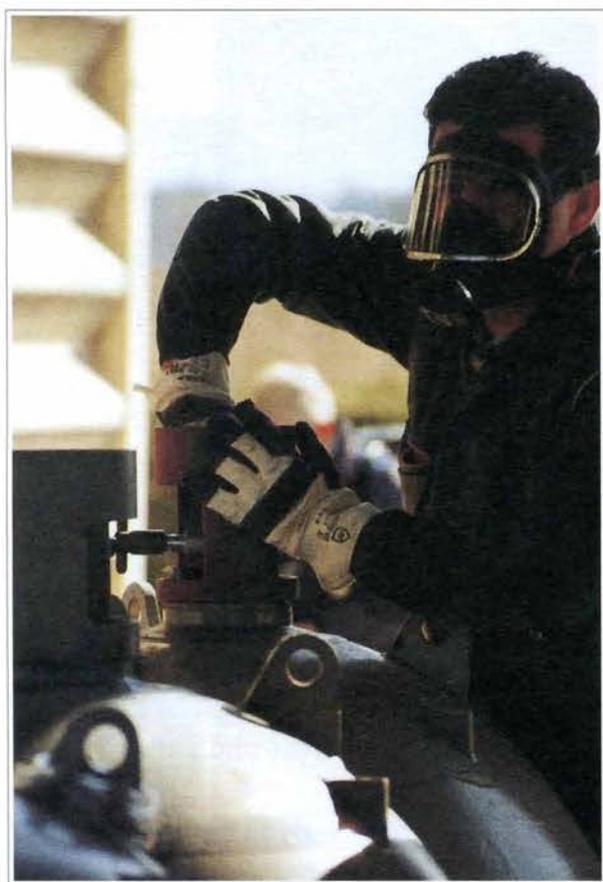
*Conclusion :*

L'essai par utilisation de soufflerie dans notre configuration est non satisfaisant pour deux raisons :

- la soufflerie met en suspension toutes les poussières qui se trouvent dans la fosse ; en fonction de l'état de propreté de la fosse, nous pouvons ainsi créer une atmosphère explosive
- la soufflerie ne permet pas de chasser la fumée du silo ; elle est seulement diluée dans le volume de l'installation. Nous pouvons penser que ce phénomène se renouvellera avec l'emploi du CO<sub>2</sub>.



*Remplissage de la fosse de CO<sub>2</sub>*



*Ouverture des bonbonnes de CO<sub>2</sub>*



*Dispositif de mesure*

## 6 - ESSAI AVEC INJECTION DE CO<sub>2</sub> DANS LA FOSSE

Injection de CO<sub>2</sub> dans la fosse (cf. configuration 2<sup>ème</sup> essai)

La source d'émission du CO<sub>2</sub> provient de bonbonnes de 300 kilos de CO<sub>2</sub> sous-pression. Le remplissage de la fosse s'est effectué en deux phases suite à un problème technique. Deux bonbonnes de CO<sub>2</sub> ont été nécessaires au remplissage, la première en effet était défectueuse et n'a produit qu'une infime quantité de CO<sub>2</sub> (utilisation de cette bouteille du temps 0 s à temps 1300 s).

Le changement de bouteille s'est effectué dans le temps de 1300 s à 2700 s.

Le remplissage s'est terminé avec la deuxième bouteille (temps de remplissage de 2700 s à 3300 s).

La valeur des sondes est à la fin du remplissage :

- 1<sup>er</sup> groupe de sondes (MSA 1 et MSA 4)

	Voie 1 : 7,6 %	—> sonde 100 % - sonde droite à 50 cm du sol
	Voie 2 : 7,7 %	—> sonde 100 % - sonde gauche à 50 cm du sol
	Voie 3 : 6,9 %	—> sonde 10 % - sonde sur échelle à 3,5 m du sol
	Voie 4 : 7,1 %	—> sonde 10 % - sonde au 1 <sup>er</sup> étage à 3,5 m du sol

- 2<sup>ème</sup> groupe de sondes (MSA 2 et MSA 3)

	Voie 1 : 8,1 %	—> sonde 100 % - sonde au fond à 50 cm du sol
	Voie 2 : 7,4 %	—> sonde 100 % - sonde centrale à 2,5 m du sol
	Voie 3 : 4,7 %	—> sonde 10 % - sonde dans galerie gauche
	Voie 4 : 5,3 %	—> sonde 10 % - sonde dans galerie droite

Pourquoi avons nous pris la décision d'arrêter l'injection de CO<sub>2</sub> dans la fosse ?

La raison est fort simple. La valeur de la dernière sonde située entre le point d'injection de CO<sub>2</sub> et le poste de mesure de CO<sub>2</sub> a dépassé la VLE. Nous avons donc décidé d'arrêter l'émission de CO<sub>2</sub> pour des raisons de sécurité.

### *Le lancement de l'aspiration*

L'aspiration a été enclenchée à 170 s. Les sondes avaient pour valeurs à ce moment là :

- 1<sup>er</sup> groupe de sondes (MSA 1 et MSA 4)

Voie 1 : 7,4 %
Voie 2 : 7,7 %
Voie 3 : 6,9 %
Voie 4 : 7,2 %

- 2<sup>ème</sup> groupe de sondes (MSA 2 et MSA 3)

Voie 1 : 8,2 %

Voie 2 : 7,8 %

Voie 3 : 4,5 %

Voie 4 : 5,1 %.

### ***Les premières conséquences de l'aspiration (cf. annexe MSA 3 et MSA 4)***

Dans la configuration de notre dispositif, nous constatons que :

1) Ce sont les sondes placées dans les lieux les plus éloignés de la bouche d'aspiration qui décèlent les premières une baisse de leur concentration en CO<sub>2</sub>.

2 <sup>ème</sup> groupe de sondes	—> Voie 3, baisse amorcée 21 s après l'enclenchement de l'aspiration
1 <sup>er</sup> groupe de sondes	—> Voie 3, baisse amorcée 31 s après l'enclenchement de l'aspiration
2 <sup>ème</sup> groupe de sondes	—> Voie 4, baisse amorcée 51 s après l'enclenchement de l'aspiration
2 <sup>ème</sup> groupe de sondes	—> Voie 2, baisse amorcée 61 s après l'enclenchement de l'aspiration
1 <sup>er</sup> groupe de sondes	—> Voie 4, baisse amorcée 61 s après l'enclenchement de l'aspiration

2) Pour les 3 dernières sondes qui restent à analyser :

La sonde du 1<sup>er</sup> groupe Voie 1 (la sonde la plus proche de la gaine d'aspiration), voit sa concentration en CO<sub>2</sub> décroître avant la sonde du 2<sup>ème</sup> groupe Voie 1 et la sonde du 1<sup>er</sup> groupe Voie 2.

Nous pouvons émettre l'hypothèse pour les deux dernières sondes que le flux d'air est soit entravé par des obstacles, soit pas assez puissant pour aspirer le CO<sub>2</sub>.

De façon générale, nous constatons que toutes les sondes ont amorcé leur baisse en concentration de CO<sub>2</sub> au plus tard 3 mn après l'enclenchement de l'aspiration.

### ***Le passage de la concentration en CO<sub>2</sub> des sondes sous la valeur limite d'exposition (VLE) 3 %***

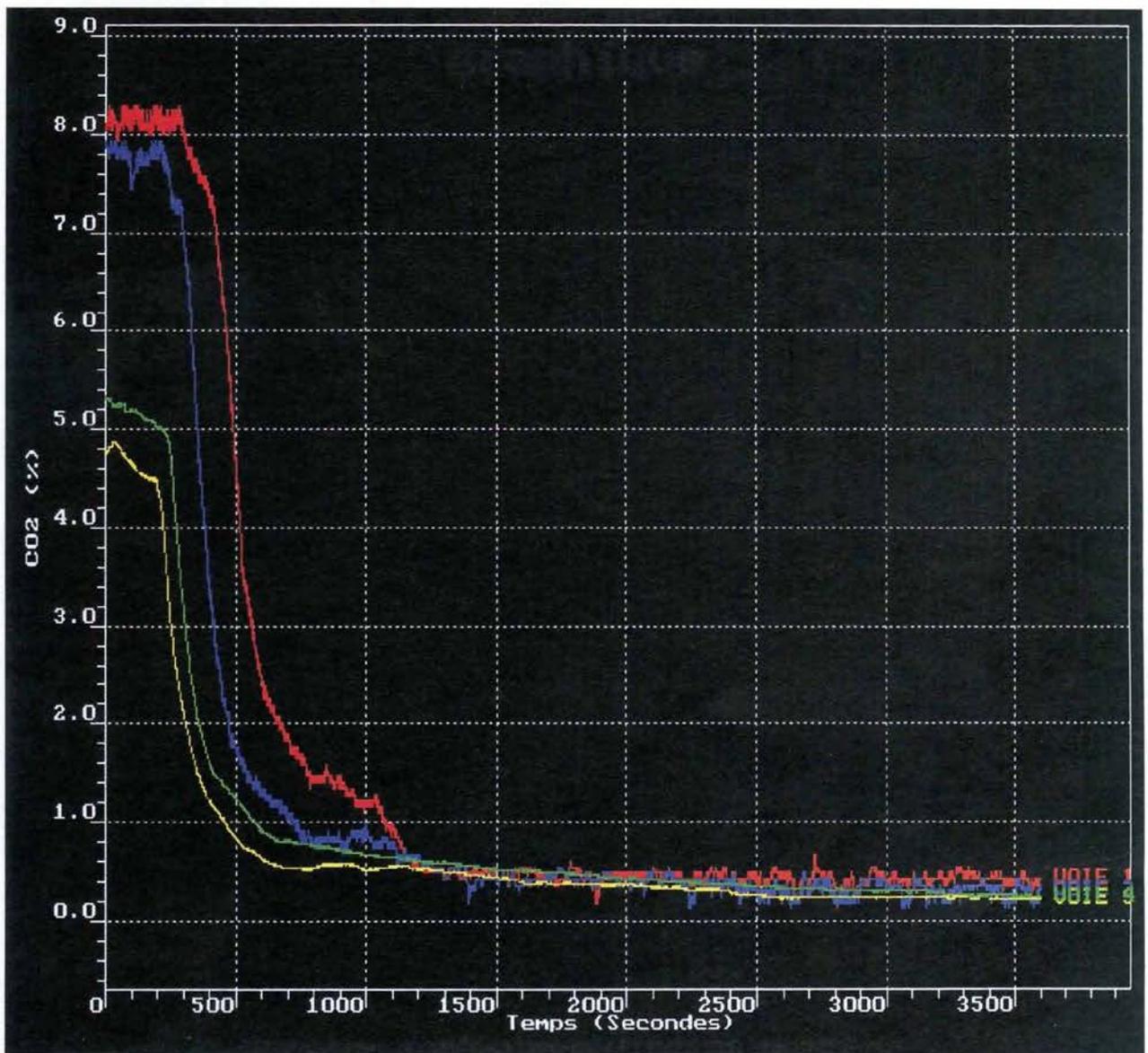
Nous constatons que la VLE est atteinte pour toutes les sondes après 7 mn 21 s de fonctionnement de l'aspiration.

Comme précédemment, nous constatons que ce sont les sondes du

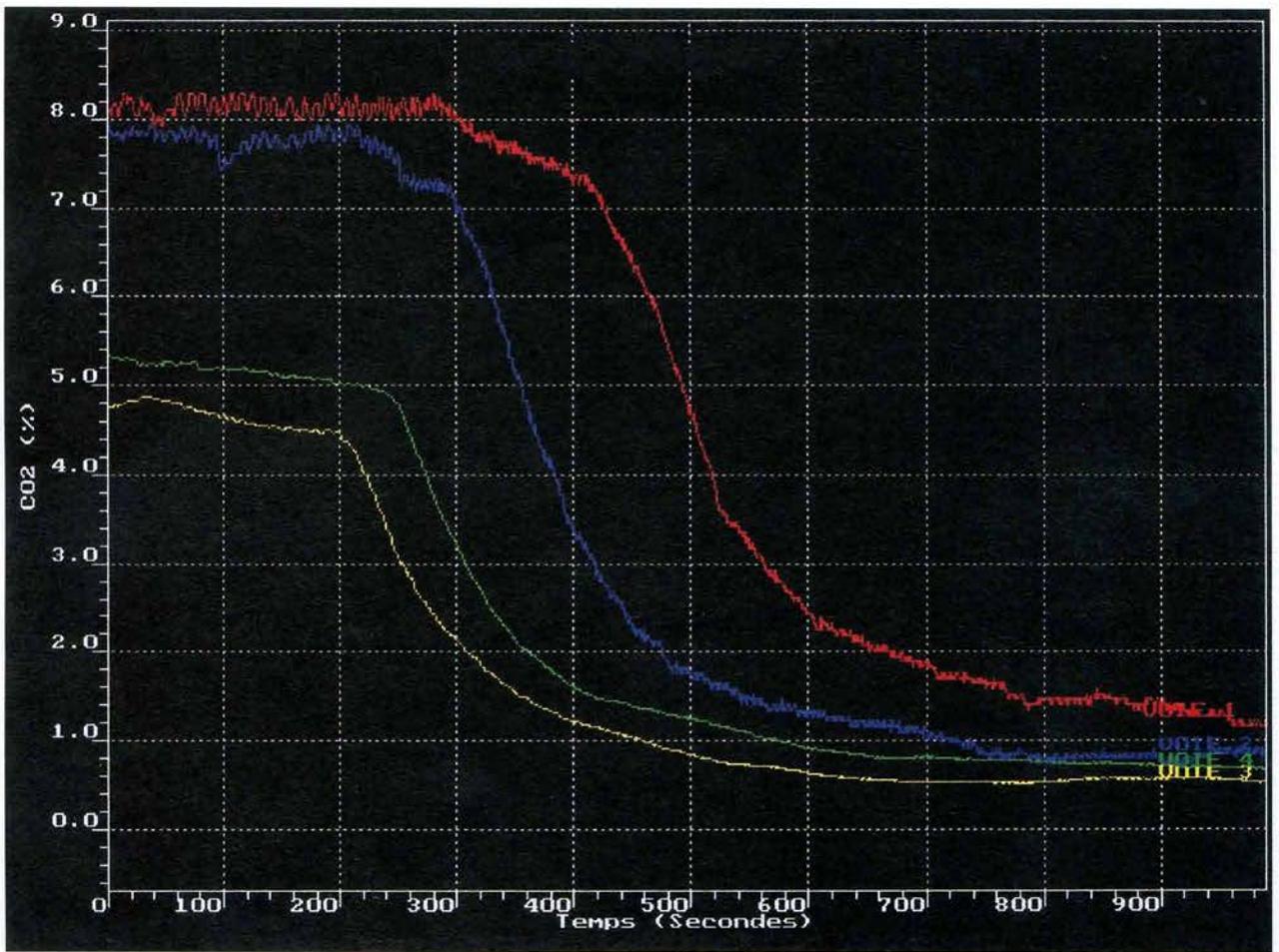
2<sup>ème</sup> groupe Voie 1 : 2,2 %

1<sup>er</sup> groupe Voie 2 : 2,9 %

qui ont encore les seuils les plus élevés.

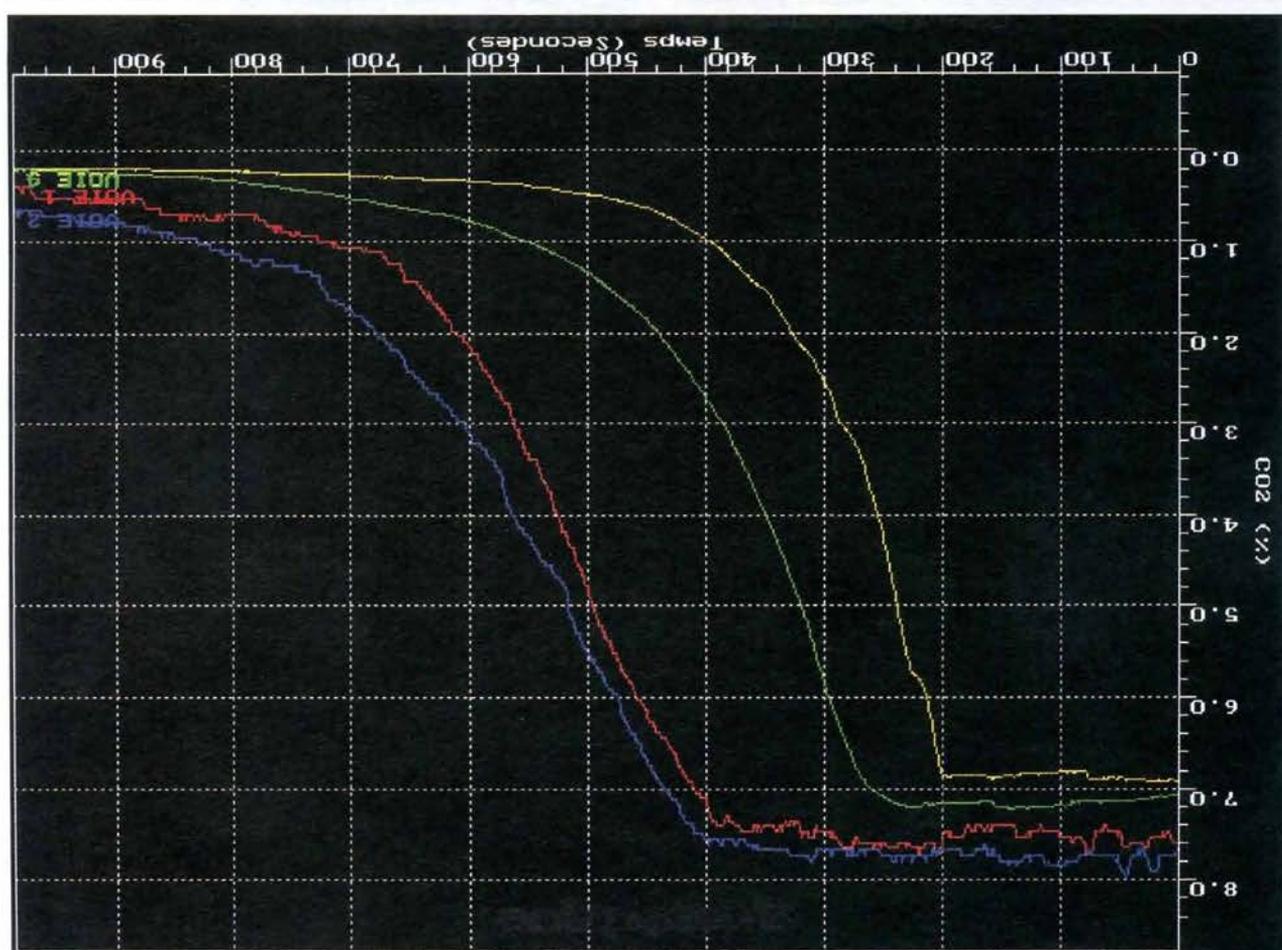
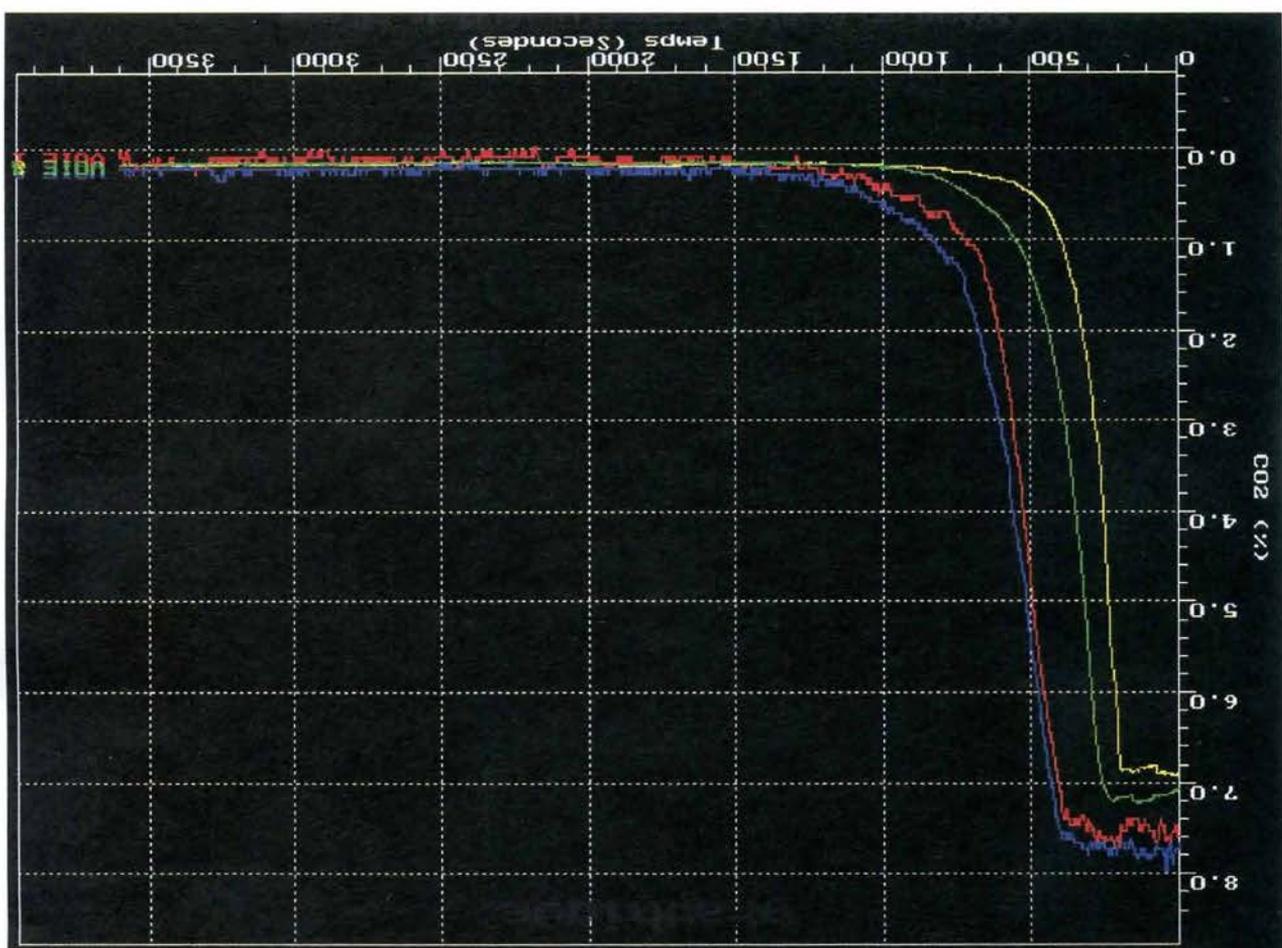


MSA 3 : Graphe des sondes du 2<sup>ème</sup> groupe (enclenchement de l'aspiration à 170s)



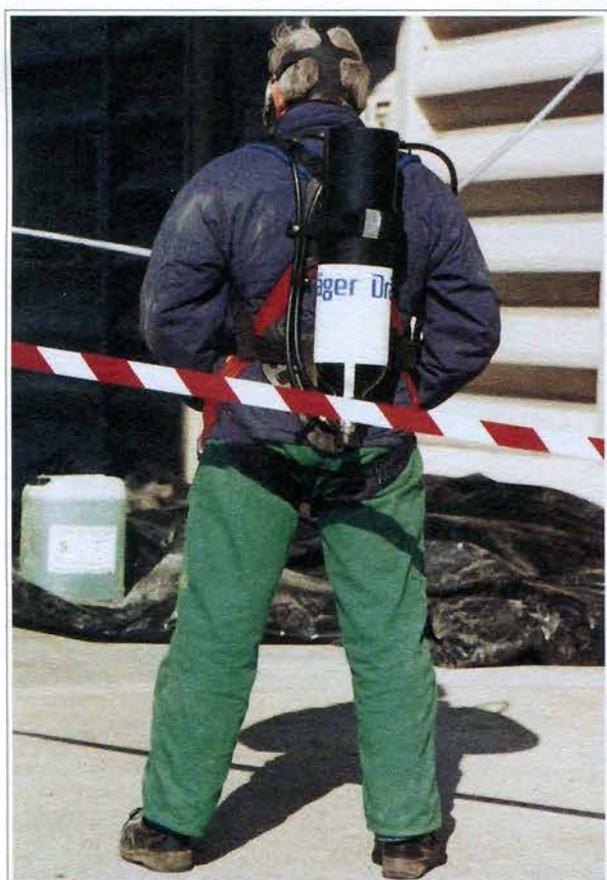
MSA 3 : Graphe des sondes du 2<sup>ème</sup> groupe (zoom de 0 à 1000 s.)

MSA 4 : Graphique des sondes du I<sup>er</sup> groupe (en haut, zoom de 0 à 1000 s.)

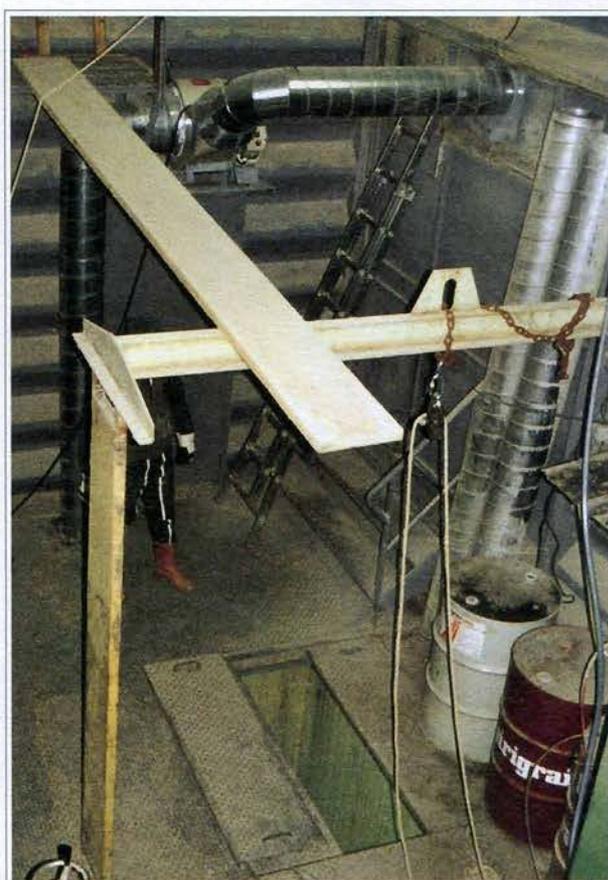




*Vérification des appareils de secours*



*Appareil respiratoire autonome*



*Système de treuillage*

*Remarque :*

Nous reviendrons sur ce phénomène dans le prochain paragraphe et nous essaierons de valider nos hypothèses.

***Le passage de la concentration en CO<sub>2</sub> des sondes sous la valeur moyenne d'exposition (VME) 0,5 %***

Nous pouvons constater que :

1) Les sondes du 1<sup>er</sup> groupe passent toutes sous la VME au bout de 16 mn d'utilisation de l'aspiration.

La dernière sonde à passer sous la VME est la sonde Voie 2, soit deux minutes après les autres.

Cet écart peut s'expliquer par la zone que doit couvrir la sonde.

En effet, cette zone (mur opposé à la bouche d'aspiration) bénéficie moins du balayage (courant d'air) créé par la bouche d'arrivée d'air neuf et la bouche d'air d'aspiration.

De plus, une turbulence peut se créer du fait de la proximité des godets d'élévateurs et ainsi ralentir l'aspiration du CO<sub>2</sub>.

2) Les sondes du 2<sup>ème</sup> groupe passent toutes sous la VME au bout de 21 mn 57 s d'utilisation de l'aspiration, sauf la sonde Voie 1.

Ceci peut s'expliquer par la zone qu'elle doit couvrir. Elle est placée derrière les élévateurs à godets, et de ce fait ne profite ni de l'aspiration ni du balayage.

Mais de façon générale nous constatons que les sondes du 2<sup>ème</sup> groupe passent sous la VME 6 mn après le 1<sup>er</sup> groupe de sondes.

Cette différence s'explique par les zones qu'elles couvrent. Les Voies 3 et 4 sont situées dans les galeries. Si la concentration en CO<sub>2</sub> chute de 50 % en moins de 2 mn, leur concentration, une fois arrivée au niveau de la VME, décroît faiblement pour perdre seulement 0,3 % en 20 mn.

Ceci peut s'expliquer par l'absence totale de balayage dans cette zone et ainsi le renouvellement d'air se fait plus lentement dans ces zones.

La Voie 2 du deuxième groupe se situe à 2,5 m du sol au milieu de la fosse. Après une décrue rapide, en 4 mn la concentration diminue de 7,6 % à 1,8 % soit une baisse de 76 %.

La décrue est moins rapide par la suite. Ceci peut s'expliquer par deux phénomènes :

- le CO<sub>2</sub> est plus lourd que l'air, il descend et donc a tendance à quitter rapidement cette zone,
- le balayage n'est peut-être pas assez suffisant à cette hauteur.

*Conclusion :*

L'aspiration nous semble la plus efficace dans notre configuration pour extraire le CO<sub>2</sub> dans une fosse. Mais pour augmenter l'efficacité du système, il nous paraît important que des arrivées d'air neuf soient installées conjointement au dispositif d'aspiration, afin de créer un balayage qui évitera la création de poches de CO<sub>2</sub>.

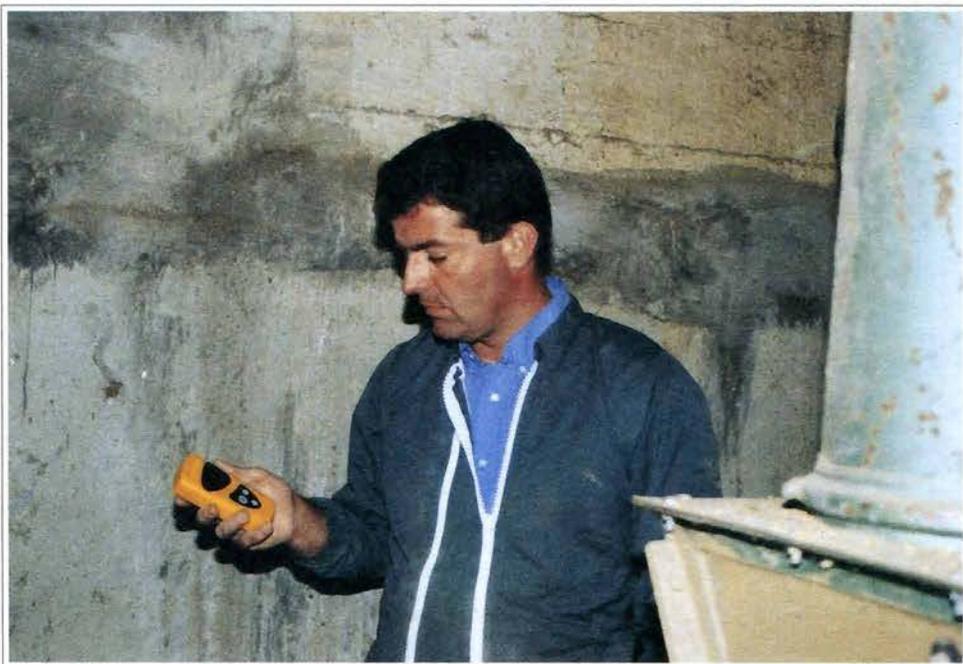
**Quels dispositifs de ventilation  
utiliser en coopérative céréalière ?**

	<b>Inconvénients</b>	<b>Avantages</b>
<b>Soufflerie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poussières en suspension (possibilité de créer une atmosphère explosive)</li> <li>- Dilution du CO<sub>2</sub> qui n'est pas chassé hors de l'installation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Besoin d'un moteur peu puissant</li> <li>- La concentration en CO<sub>2</sub> doit diminuer rapidement après la mise en route de la soufflerie</li> </ul>
<b>Aspiration</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Besoin d'un moteur puissant et d'une arrivée d'air neuf pour créer un balayage</li> <li>- La concentration en CO<sub>2</sub> diminue lentement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le CO<sub>2</sub> est chassé de l'installation</li> </ul>

Le balayage sera d'autant plus efficace que le ventilateur a un débit important et que la bouche d'aspiration soit positionnée dans une zone comprenant le moins d'obstacles possibles.

Le balayage devra être créé dans les zones basses de la fosse mais aussi au niveau de zones intermédiaires 1m 50. Il faudra également vérifier que le ventilateur soit monté dans le bon sens.

Dans notre cas, la fosse est compatible avec une activité humaine au bout de 22 minutes. La poche de CO<sub>2</sub> initialement formée s'est vidée comme "un ballon de baudruche".



*Appareil portable de mesure et d'alarme*

Exemple de mesures du 1<sup>er</sup> groupe de sondes

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %	
3600	1	7,6	7,7	6,9	7,1	
3600	11	7,5	7,7	6,9	7,1	
3600	21	7,5	7,9	6,9	7,1	
3600	31	7,6	7,7	6,9	7,1	
3600	41	7,6	7,8	6,9	7,1	
3600	51	7,5	7,8	6,9	7,1	
3600	61	7,5	7,7	6,9	7,1	
3600	71	7,5	7,7	6,9	7,1	
3600	81	7,6	7,7	6,8	7,1	
3600	91	7,6	7,8	6,8	7,1	
3600	101	7,5	7,8	6,8	7,2	
3600	111	7,5	7,8	6,8	7,2	
3600	121	7,5	7,7	6,8	7,2	
3600	131	7,5	7,7	6,8	7,2	
3600	141	7,4	7,8	6,9	7,2	
3600	151	7,4	7,8	6,9	7,2	
3600	161	7,4	7,7	6,9	7,1	170s départ de l'aspiration
3600	171	7,4	7,7	6,9	7,2	
3600	181	7,5	7,7	6,9	7,2	



Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %	
3600	191	7,5	7,7	6,9	7,2	
3600	201	7,7	7,7	6,8	7,2	31s
3600	211	7,6	7,7	6,1	7,2	
3600	221	7,7	7,7	5,8	7,2	
3600	231	7,6	7,7	5,5	7,2	
3600	241	7,7	7,8	4,8	7,2	71s
3600	251	7,6	7,7	4,1	7,1	1'11"
3600	261	7,6	7,7	3,7	7,0	
3600	271	7,6	7,7	3,3	6,8	
3600	281	7,7	7,7	3,1	6,5	111s
3600	291	7,5	7,7	2,8	6,2	1'51"
3600	301	7,5	7,7	2,5	5,8	
3600	311	7,5	7,8	2,3	5,3	
3600	321	7,4	7,7	2,1	4,9	
3600	331	7,4	7,7	1,9	4,6	
3600	341	7,5	7,7	1,7	4,2	
3600	351	7,4	7,7	1,5	3,9	181s
3600	361	7,5	7,6	1,4	3,6	3'1"
3600	371	7,5	7,5	1,3	3,4	

1<sup>res</sup> conséquences de l'aspiration

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	381	7,3	7,5	1,2	3,1
3600	391	7,3	7,5	1,0	2,9
3600	401	7,1	7,5	1,0	2,7
3600	411	7,0	7,4	0,9	2,5
3600	421	6,7	7,2	0,8	2,3
3600	431	6,6	7,1	0,7	2,1
3600	441	6,4	6,9	0,7	2,0
3600	451	6,1	6,6	0,6	1,8
3600	461	5,9	6,4	0,6	1,7
3600	471	5,7	6,1	0,6	1,6
3600	481	5,4	5,9	0,5	1,5
3600	491	5,2	5,7	0,5	1,4
3600	501	4,8	5,5	0,5	1,3
3600	511	4,4	5,2	0,5	1,3
3600	521	4,2	4,7	0,4	1,2
3600	531	3,8	4,6	0,4	1,1
3600	541	3,5	4,4	0,4	1,1
3600	551	3,3	4,2	0,4	1,0
3600	561	3,0	4,0	0,4	1,0

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	561	3,0	4,0	0,4	1,0
3600	571	2,7	3,6	0,4	0,9
3600	581	2,5	3,4	0,4	0,8
3600	591	2,3	3,2	0,3	0,8
3600	601	2,1	3,1	0,3	0,8
3600	611	2,0	2,9	0,3	0,7
3600	621	1,8	2,8	0,3	0,7
3600	631	1,7	2,7	0,3	0,7
3600	641	1,5	2,5	0,3	0,7
3600	651	1,4	2,4	0,3	0,6
3600	661	1,2	2,2	0,3	0,6
3600	671	1,2	2,0	0,3	0,6
3600	681	1,1	1,9	0,3	0,6
3600	691	1,1	1,8	0,3	0,5
3600	701	1,1	1,8	0,3	0,5
3600	711	1,1	1,7	0,3	0,5
3600	721	1,0	1,6	0,3	0,5
3600	731	0,9	1,4	0,3	0,5
3600	741	0,9	1,3	0,2	0,4

*seuil < VLE*

*441s  
7'21"*

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	741	0,9	1,3	0,2	0,4
3600	751	0,9	1,3	0,2	0,4
3600	761	0,8	1,3	0,2	0,4
3600	771	0,8	1,2	0,2	0,4
3600	781	0,8	1,3	0,2	0,4
3600	791	0,7	1,2	0,2	0,3
3600	801	0,7	1,1	0,2	0,3
3600	811	0,7	1,1	0,2	0,3
3600	821	0,8	1,0	0,2	0,3
3600	831	0,7	0,9	0,2	0,3
3600	841	0,7	0,9	0,2	0,3
3600	851	0,7	0,9	0,2	0,3
3600	861	0,7	0,9	0,2	0,3
3600	871	0,6	0,9	0,2	0,3
3600	881	0,5	0,9	0,2	0,3
3600	891	0,5	0,8	0,2	0,2
3600	901	0,5	0,8	0,2	0,2
3600	911	0,5	0,8	0,2	0,2
3600	921	0,6	0,8	0,2	0,2

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	941	0,5	0,7	0,2	0,2
3600	951	0,5	0,7	0,2	0,2
3600	961	0,5	0,7	0,2	0,2
3600	971	0,5	0,7	0,2	0,2
3600	981	0,4	0,7	0,2	0,2
3600	991	0,4	0,7	0,2	0,2
3600	1001	0,4	0,6	0,2	0,2
3600	1011	0,5	0,6	0,2	0,2
3600	1021	0,4	0,6	0,2	0,2
3600	1031	0,4	0,6	0,2	0,2
3600	1041	0,4	0,6	0,2	0,2
3600	1051	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1061	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1071	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1081	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1091	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1101	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1111	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1121	0,3	0,5	0,2	0,2

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	741	0,9	1,3	0,2	0,4
3600	751	0,9	1,3	0,2	0,4
3600	761	0,8	1,3	0,2	0,4
3600	771	0,8	1,2	0,2	0,4
3600	781	0,8	1,3	0,2	0,4
3600	791	0,7	1,2	0,2	0,3
3600	801	0,7	1,1	0,2	0,3
3600	811	0,7	1,1	0,2	0,3
3600	821	0,8	1,0	0,2	0,3
3600	831	0,7	0,9	0,2	0,3
3600	841	0,7	0,9	0,2	0,3
3600	851	0,7	0,9	0,2	0,3
3600	861	0,7	0,9	0,2	0,3
3600	871	0,6	0,9	0,2	0,3
3600	881	0,5	0,9	0,2	0,3
3600	891	0,5	0,8	0,2	0,2
3600	901	0,5	0,8	0,2	0,2
3600	911	0,5	0,8	0,2	0,2
3600	921	0,6	0,8	0,2	0,2

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	941	0,5	0,7	0,2	0,2
3600	951	0,5	0,7	0,2	0,2
3600	961	0,5	0,7	0,2	0,2
3600	971	0,5	0,7	0,2	0,2
3600	981	0,4	0,7	0,2	0,2
3600	991	0,4	0,7	0,2	0,2
3600	1001	0,4	0,6	0,2	0,2
3600	1011	0,5	0,6	0,2	0,2
3600	1021	0,4	0,6	0,2	0,2
3600	1031	0,4	0,6	0,2	0,2
3600	1041	0,4	0,6	0,2	0,2
3600	1051	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1061	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1071	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1081	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1091	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1101	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1111	0,3	0,5	0,2	0,2
3600	1121	0,3	0,5	0,2	0,2

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %	<i>seuil VME</i>
3600	1131	0,3	0,4	0,2	0,2	<i>961s</i> <i>16'1"</i>
3600	1141	0,3	0,4	0,2	0,2	
3600	1151	0,3	0,3	0,2	0,2	
3600	1161	0,3	0,3	0,2	0,2	
3600	1171	0,3	0,3	0,2	0,2	
3600	1181	0,3	0,4	0,2	0,2	
3600	1191	0,3	0,3	0,2	0,2	
3600	1201	0,2	0,3	0,2	0,2	
3600	1211	0,3	0,3	0,2	0,2	
3600	1221	0,2	0,4	0,2	0,2	
3600	1231	0,2	0,4	0,2	0,2	
3600	1241	0,2	0,3	0,2	0,2	
3600	1251	0,1	0,3	0,2	0,2	
3600	1261	0,1	0,3	0,2	0,2	
3600	1271	0,2	0,3	0,2	0,2	
3600	1281	0,1	0,3	0,2	0,2	
3600	1291	0,1	0,3	0,2	0,2	
3600	1301	0,1	0,3	0,2	0,2	
3600	1311	0,1	0,3	0,2	0,2	

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %	
3600	1321	0,1	0,3	0,2	0,2	
3600	1331	0,2	0,3	0,2	0,2	
3600	1341	0,2	0,3	0,2	0,2	
3600	1351	0,2	0,3	0,2	0,2	
3600	1361	0,2	0,3	0,2	0,2	
3600	1371	0,2	0,3	0,2	0,2	
3600	1381	0,2	0,3	0,2	0,2	
3600	1391	0,2	0,2	0,2	0,2	
3600	1401	0,2	0,2	0,2	0,2	
3600	1411	0,2	0,2	0,2	0,2	
3600	1421	0,2	0,3	0,2	0,2	
3600	1431	0,2	0,3	0,2	0,2	
3600	1441	0,2	0,2	0,2	0,2	
3600	1451	0,1	0,3	0,2	0,2	
3600	1461	0,1	0,3	0,2	0,2	<i>arrêt aspiration</i>
3600	1471	0,2	0,2	0,2	0,1	<i>durée de l'aspiration</i> <i>1295s</i> <i>21'35"</i>
3600	1481	0,1	0,2	0,2	0,1	
3600	1491	0,1	0,3	0,2	0,1	
3600	1501	0,1	0,2	0,2	0,1	

Exemple de mesures du 2<sup>ème</sup> groupe de sondes

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %	
3600	1	8,1	7,9	4,7	5,3	
3600	11	8,1	7,8	4,8	5,3	
3600	21	8,2	7,9	4,8	5,3	
3600	31	8,2	7,9	4,9	5,2	
3600	41	7,9	7,9	4,8	5,2	
3600	51	8,1	7,8	4,8	5,3	
3600	61	8,2	7,8	4,8	5,2	
3600	71	8,3	7,8	4,8	5,2	
3600	81	8,3	7,8	4,7	5,2	
3600	91	8,2	7,8	4,7	5,2	
3600	101	8,2	7,5	4,7	5,2	
3600	111	8,1	7,6	4,6	5,2	
3600	121	8,1	7,7	4,6	5,2	
3600	131	8,1	7,7	4,6	5,2	
3600	141	8,1	7,7	4,5	5,1	
3600	151	8,1	7,8	4,5	5,1	
3600	161	8,1	7,8	4,5	5,1	<i>170s départ de l'aspiration</i>
3600	171	8,2	7,8	4,5	5,1	
3600	181	8,2	7,9	4,5	5,1	
<hr/>						
Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %	<i>1<sup>ères</sup> conséquences de l'aspiration</i>
3600	191	8,2	7,9	4,5	5,1	<i>21s</i>
3600	201	8,1	7,9	4,4	5,0	
3600	211	8,1	7,8	4,3	5,0	
3600	221	8,2	7,7	4,0	5,0	<i>51s</i>
3600	231	8,1	7,8	3,7	5,0	<i>61s</i>
3600	241	8,1	7,6	3,4	4,9	<i>1'1"</i>
3600	251	8,1	7,6	3,0	4,8	
3600	261	8,1	7,3	2,8	4,4	
3600	271	8,1	7,2	2,6	4,1	
3600	281	8,3	7,3	2,4	3,7	
3600	291	8,1	7,3	2,2	3,4	
3600	301	8,1	7,0	2,1	3,2	<i>131s</i>
3600	311	7,9	6,7	2,0	2,9	<i>2'11"</i>
3600	321	7,8	6,5	1,9	2,7	
3600	331	7,8	6,0	1,7	2,5	
3600	341	7,7	5,6	1,6	2,3	
3600	351	7,6	5,1	1,5	2,1	
3600	361	7,5	4,7	1,5	2,0	
3600	371	7,6	4,3	1,4	1,9	

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	381	7,5	4,2	1,3	1,8
3600	391	7,4	3,6	1,2	1,7
3600	401	7,3	3,4	1,2	1,6
3600	411	7,4	3,2	1,2	1,5
3600	421	7,1	2,9	1,1	1,5
3600	431	6,9	2,7	1,1	1,5
3600	441	6,7	2,5	1,1	1,4
3600	451	6,3	2,2	1,0	1,4
3600	461	6,0	2,1	1,0	1,4
3600	471	5,8	2,1	0,9	1,3
3600	481	5,4	1,8	0,9	1,3
3600	491	5,1	1,8	0,9	1,3
3600	501	4,6	1,7	0,8	1,2
3600	511	4,2	1,6	0,8	1,2
3600	521	3,7	1,6	0,8	1,2
3600	531	3,5	1,6	0,7	1,1
3600	541	3,4	1,5	0,7	1,1
3600	551	3,2	1,5	0,7	1,1
3600	561	3,0	1,4	0,7	1,1

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %	<i>seuil &lt; VLE</i>
3600	571	2,8	1,3	0,7	1,0	<i>401s</i>
3600	581	2,7	1,3	0,7	1,0	<i>6'41''</i>
3600	591	2,6	1,3	0,7	0,9	
3600	601	2,4	1,3	0,6	0,9	
3600	611	2,2	1,3	0,6	0,9	
3600	621	2,2	1,2	0,6	0,9	
3600	631	2,2	1,2	0,6	0,9	
3600	641	2,2	1,2	0,6	0,8	
3600	651	2,0	1,1	0,6	0,8	
3600	661	2,0	1,1	0,6	0,8	
3600	671	2,0	1,1	0,5	0,8	
3600	681	1,9	1,1	0,5	0,8	
3600	691	1,9	1,1	0,5	0,8	
3600	701	1,9	1,1	0,5	0,8	
3600	711	1,7	1,1	0,5	0,8	
3600	721	1,7	1,0	0,5	0,8	
3600	731	1,6	0,9	0,5	0,8	
3600	741	1,7	1,0	0,5	0,8	
3600	751	1,6	0,9	0,5	0,8	

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	381	7,5	4,2	1,3	1,8
3600	391	7,4	3,6	1,2	1,7
3600	401	7,3	3,4	1,2	1,6
3600	411	7,4	3,2	1,2	1,5
3600	421	7,1	2,9	1,1	1,5
3600	431	6,9	2,7	1,1	1,5
3600	441	6,7	2,5	1,1	1,4
3600	451	6,3	2,2	1,0	1,4
3600	461	6,0	2,1	1,0	1,4
3600	471	5,8	2,1	0,9	1,3
3600	481	5,4	1,8	0,9	1,3
3600	491	5,1	1,8	0,9	1,3
3600	501	4,6	1,7	0,8	1,2
3600	511	4,2	1,6	0,8	1,2
3600	521	3,7	1,6	0,8	1,2
3600	531	3,5	1,6	0,7	1,1
3600	541	3,4	1,5	0,7	1,1
3600	551	3,2	1,5	0,7	1,1
3600	561	3,0	1,4	0,7	1,1

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %	<i>seuil &lt; VLE</i>
3600	571	2,8	1,3	0,7	1,0	<i>401s</i>
3600	581	2,7	1,3	0,7	1,0	<i>6'41"</i>
3600	591	2,6	1,3	0,7	0,9	
3600	601	2,4	1,3	0,6	0,9	
3600	611	2,2	1,3	0,6	0,9	
3600	621	2,2	1,2	0,6	0,9	
3600	631	2,2	1,2	0,6	0,9	
3600	641	2,2	1,2	0,6	0,8	
3600	651	2,0	1,1	0,6	0,8	
3600	661	2,0	1,1	0,6	0,8	
3600	671	2,0	1,1	0,5	0,8	
3600	681	1,9	1,1	0,5	0,8	
3600	691	1,9	1,1	0,5	0,8	
3600	701	1,9	1,1	0,5	0,8	
3600	711	1,7	1,1	0,5	0,8	
3600	721	1,7	1,0	0,5	0,8	
3600	731	1,6	0,9	0,5	0,8	
3600	741	1,7	1,0	0,5	0,8	
3600	751	1,6	0,9	0,5	0,8	

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	761	1,6	0,9	0,5	0,8
3600	771	1,5	0,9	0,5	0,8
3600	781	1,5	0,9	0,5	0,8
3600	791	1,4	0,8	0,5	0,8
3600	801	1,5	0,7	0,5	0,8
3600	811	1,5	0,9	0,5	0,8
3600	821	1,5	0,8	0,5	0,7
3600	831	1,4	0,8	0,6	0,7
3600	841	1,5	0,8	0,6	0,7
3600	851	1,5	0,9	0,6	0,8
3600	861	1,4	0,8	0,6	0,7
3600	871	1,5	0,8	0,6	0,7
3600	881	1,3	0,9	0,6	0,7
3600	891	1,5	0,8	0,6	0,7
3600	901	1,4	0,7	0,6	0,7
3600	911	1,3	0,7	0,6	0,7
3600	921	1,3	0,8	0,6	0,7
3600	931	1,3	0,9	0,6	0,7
3600	941	1,3	0,9	0,6	0,7

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	951	1,3	0,9	0,6	0,7
3600	961	1,2	0,9	0,6	0,7
3600	971	1,1	0,9	0,5	0,7
3600	981	1,1	0,9	0,5	0,7
3600	991	1,2	0,9	0,5	0,7
3600	1001	1,1	0,9	0,5	0,7
3600	1011	1,1	0,9	0,5	0,7
3600	1021	1,1	0,8	0,5	0,7
3600	1031	1,3	0,8	0,5	0,7
3600	1041	1,1	0,7	0,5	0,7
3600	1051	1,1	0,8	0,5	0,7
3600	1061	1,0	0,8	0,5	0,7
3600	1071	1,0	0,8	0,5	0,6
3600	1081	1,0	0,9	0,5	0,6
3600	1091	0,9	0,7	0,5	0,6
3600	1101	1,0	0,8	0,5	0,6
3600	1111	0,9	0,7	0,5	0,6
3600	1121	0,9	0,6	0,5	0,6
3600	1131	0,8	0,7	0,5	0,6

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	1041	1,1	0,7	0,5	0,7
3600	1051	1,1	0,8	0,5	0,7
3600	1061	1,0	0,8	0,5	0,7
3600	1071	1,0	0,8	0,5	0,6
3600	1081	1,0	0,9	0,5	0,6
3600	1091	0,9	0,7	0,5	0,6
3600	1101	1,0	0,8	0,5	0,6
3600	1111	0,9	0,7	0,5	0,6
3600	1121	0,9	0,6	0,5	0,6
3600	1131	0,8	0,7	0,5	0,6
3600	1141	0,7	0,7	0,5	0,6
3600	1151	0,7	0,7	0,5	0,6
3600	1161	0,7	0,7	0,5	0,6
3600	1171	0,7	0,7	0,5	0,6
3600	1181	0,5	0,6	0,5	0,6
3600	1191	0,6	0,7	0,5	0,6
3600	1201	0,5	0,6	0,5	0,6
3600	1211	0,5	0,6	0,5	0,6
3600	1221	0,5	0,6	0,5	0,6

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	1231	0,5	0,6	0,5	0,6
3600	1241	0,5	0,6	0,5	0,6
3600	1251	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1261	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1271	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1281	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1291	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1301	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1311	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1321	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1331	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1341	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1351	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1361	0,4	0,5	0,5	0,6
3600	1371	0,5	0,5	0,5	0,6
3600	1381	0,4	0,5	0,5	0,6
3600	1391	0,5	0,2	0,5	0,6
3600	1401	0,4	0,2	0,5	0,5
3600	1411	0,5	0,4	0,5	0,5

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	1421	0,5	0,4	0,5	0,5
3600	1431	0,5	0,4	0,5	0,5
3600	1441	0,5	0,4	0,5	0,5
3600	1451	0,5	0,4	0,5	0,5
3600	1461	0,5	0,4	0,5	0,5
3600	1471	0,5	0,4	0,5	0,5
3600	1481	0,5	0,4	0,5	0,5
3600	1491	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1501	0,4	0,4	0,4	0,5
3600	1511	0,4	0,4	0,4	0,5
3600	1521	0,4	0,4	0,4	0,5
3600	1531	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1541	0,4	0,4	0,4	0,5
3600	1551	0,4	0,4	0,4	0,5
3600	1561	0,4	0,4	0,4	0,5
3600	1571	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1581	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1591	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1601	0,5	0,4	0,4	0,5

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	1611	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1621	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1631	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1641	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1651	0,4	0,4	0,4	0,5
3600	1661	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1671	0,4	0,4	0,4	0,5
3600	1681	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1691	0,4	0,5	0,4	0,5
3600	1701	0,5	0,5	0,4	0,5
3600	1711	0,4	0,5	0,4	0,5
3600	1721	0,5	0,5	0,4	0,5
3600	1731	0,4	0,5	0,4	0,5
3600	1741	0,4	0,5	0,4	0,5
3600	1751	0,4	0,5	0,4	0,5
3600	1761	0,5	0,5	0,4	0,5
3600	1771	0,4	0,4	0,4	0,5
3600	1781	0,5	0,4	0,4	0,5
3600	1791	0,5	0,4	0,4	0,5

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %	
3600	1801	0,5	0,4	0,4	0,5	
3600	1811	0,5	0,4	0,4	0,5	
3600	1821	0,5	0,4	0,4	0,5	
3600	1831	0,4	0,4	0,4	0,5	
3600	1841	0,4	0,5	0,4	0,5	
3600	1851	0,4	0,4	0,4	0,5	
3600	1861	0,4	0,4	0,4	0,5	
3600	1871	0,4	0,4	0,4	0,5	
3600	1881	0,2	0,4	0,4	0,5	
3600	1891	0,2	0,4	0,4	0,5	
3600	1901	0,4	0,4	0,4	0,5	
3600	1911	0,4	0,5	0,4	0,4	
3600	1921	0,5	0,5	0,4	0,4	
3600	1931	0,4	0,5	0,4	0,4	
<hr/>						
3600	1941	0,5	0,4	0,4	0,4	<i>1761s</i>
3600	1951	0,4	0,4	0,4	0,4	<i>29'21"</i>
3600	1961	0,5	0,4	0,4	0,4	<i>-5'18"</i>
3600	1971	0,4	0,4	0,4	0,4	
3600	1981	0,5	0,4	0,4	0,4	<i>21'57"</i>

*seuil < VME sauf pour  
la sonde placée derrière  
les élévateurs à godets*

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %	
3600	1991	0,5	0,4	0,4	0,4	
3600	2001	0,5	0,4	0,4	0,4	
3600	2011	0,4	0,3	0,4	0,4	
3600	2021	0,5	0,4	0,4	0,4	
3600	2031	0,4	0,4	0,4	0,4	
3600	2041	0,5	0,4	0,4	0,4	
3600	2051	0,5	0,4	0,4	0,4	
3600	2061	0,5	0,4	0,4	0,4	
3600	2071	0,5	0,4	0,4	0,4	
3600	2081	0,5	0,5	0,4	0,4	
3600	2091	0,4	0,4	0,3	0,4	
3600	2101	0,5	0,4	0,3	0,4	
3600	2111	0,5	0,4	0,3	0,4	
3600	2121	0,5	0,4	0,3	0,4	
3600	2131	0,5	0,4	0,3	0,4	
3600	2141	0,4	0,4	0,3	0,4	
3600	2151	0,5	0,5	0,3	0,4	
3600	2161	0,5	0,5	0,3	0,4	
3600	2171	0,5	0,4	0,3	0,4	

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	2941	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	2951	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	2961	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	2971	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	2981	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	2991	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3001	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3011	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3021	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3031	0,4	0,3	0,2	0,3
3600	3041	0,4	0,3	0,2	0,3
3600	3051	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3061	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3071	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3081	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3091	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3101	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3111	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3121	0,4	0,4	0,2	0,3

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	3131	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3141	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3151	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	3161	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3171	0,4	0,3	0,2	0,3
3600	3181	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3191	0,4	0,3	0,2	0,3
3600	3201	0,4	0,3	0,2	0,3
3600	3211	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	3221	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3231	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3241	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3251	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3261	0,4	0,3	0,2	0,3
3600	3271	0,5	0,3	0,2	0,3
3600	3281	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	3291	0,5	0,3	0,2	0,3
3600	3301	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	3311	0,4	0,4	0,2	0,3

(Reprise des données chiffrées après 1150 secondes pendant lesquelles les valeurs n'ont quasiment pas bougé).

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	3321	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	3331	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	3341	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	3351	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3361	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3371	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3381	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3391	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3401	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3411	0,4	0,3	0,2	0,3
3600	3421	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3431	0,4	0,4	0,2	0,3
3600	3441	0,5	0,4	0,2	0,3
3600	3451	0,4	0,3	0,2	0,3
3600	3461	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3471	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3481	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3491	0,4	0,2	0,2	0,3
3600	3501	0,4	0,2	0,2	0,3

Nb Echant.	Temps secondes	Voie 1 0-100% %	Voie 2 0-100% %	Voie 3 0-10% %	Voie 4 0-10% %
3600	3511	0,4	0,4	0,2	0,2
3600	3521	0,4	0,4	0,2	0,2
3600	3531	0,5	0,3	0,2	0,2
3600	3541	0,4	0,2	0,2	0,2
3600	3551	0,4	0,4	0,2	0,2
3600	3561	0,4	0,2	0,2	0,2
3600	3571	0,4	0,2	0,2	0,2
3600	3581	0,4	0,2	0,2	0,2
3600	3591	0,4	0,2	0,2	0,2

*seuil < VME  
de la dernière  
sonde Voie 1*

*3371s  
56'11"*

## LES MOYENS DE PROTECTION

Si l'entreprise juge que son organisation du travail ou que les moyens de prévention mis en place ne lui permettent pas de supprimer l'apparition du risque, alors elle pourra mettre en place des moyens de protection tant au niveau de la détection que de l'organisation des secours.

### La détection

Deux types d'installations de système de détection existent :

- une détection portable,
- une détection fixe.

La détection portable (une seule sonde) permet à l'opérateur de pouvoir amener un système de détection sur n'importe quel point du site. L'utilisateur est à même de savoir s'il y a présence de CO<sub>2</sub>. Il existe des appareils équipés de pompes qui permettent de prendre des mesures à distance par l'intermédiaire de tuyaux souples.

La détection fixe (une ou plusieurs sondes à points fixes) est localisée sur une zone à demeure. Ceci suppose que l'on a identifié la zone dangereuse, solution idéale pour faire de la surveillance en continu.

Le dépassement du seuil peut-être signalé par une alarme sonore ou visuelle et un système d'aspiration peut être également asservi à ce dispositif.

Trois échelons de détection existent :

- les détecteurs,
- les mesureurs,
- les analyseurs.

*Les détecteurs* ne permettent pas une mesure. Ils déterminent un seuil de présence d'un gaz : ils n'affichent pas une mesure. Leur tolérance d'erreur est de +15 %.

L'alarme est émise à partir d'un seuil qui ne peut être réglé.

La détection se fait soit par test colorimétrique, soit par semi-conducteurs.

*Les mesureurs* permettent une mesure, donc un affichage du pourcentage du gaz recherché. Le résultat peut être donné en pourcentage ou en PPM. La tolérance des résultats est ici de 0,05 %.

L'alarme de l'appareil peut être réglable à n'importe quel seuil. Par exemple pour le CO<sub>2</sub> on peut régler l'alarme à 3000 PPM (0,3 %).

La mesure se fait soit par cellule électrochimique (la durée de vie de ces cellules est limitée à 1 ou 2 ans en général), soit par infrarouge (uniquement pour le CO<sub>2</sub>).

L'infrarouge est le système le plus fiable pour mesurer le CO<sub>2</sub>.

*Les analyseurs* permettent d'analyser les différents composants d'une atmosphère. Leur tolérance est de 0,001 %. Nous ne développerons pas ce point car ils sont surtout utilisés en laboratoire.

**Conclusion :**

Si une coopérative souhaite acquérir du matériel de détection, il vaut mieux l'orienter vers un mesureur portable à infrarouge. La durée de vie de ce système est illimitée. Cet appareil devra être IP6X (étanche aux poussières).

Le seuil de l'alarme devra être fixé à 0,5 % (5.000 PPM) si le seuil retenu est de l'ordre de 3 %. Il faudra absolument que l'appareil mesure aussi la teneur en O<sub>2</sub> (la respiration des grains entraîne une apparition de CO<sub>2</sub> au détriment d'une diminution d'O<sub>2</sub>).

### **Présence d'autres gaz toxiques dans les coopératives céréalières**

Deux autres gaz peuvent être présents :

- les NOX (les oxydes nitreux)
- le CO (monoxyde de carbone).

Les NOX sont produits par la combustion de gasoil (moteur diesel). Leur concentration peut être importante dans les halls de chargement ou dans les garages camions. En effet, un camion doit laisser tourner son moteur pendant 15 minutes pour charger ses bonbonnes de freins.

Le CO est produit aussi par la combustion de carburant (chariot élévateur).

### ***Les secours***

En cas d'accident dans un silo lié à la présence de CO<sub>2</sub>, chaque salarié doit suivre les consignes d'intervention propre à son entreprise.

Celles-ci peuvent être construites de la manière suivante.

*La conduite à tenir :*

- enclencher l'aspiration si elle existe,
- alerter les pompiers,
- le sauvetage de la victime doit s'effectuer en moins de 3 minutes pour éviter les séquelles,
- l'objectif : sortir la tête de l'atmosphère viciée,
- pratiquer le bouche-à-bouche jusqu'à l'arrivée des pompiers.

*Le matériel d'intervention :*

Le sauveteur doit a priori suspecter la présence de gaz carbonique, en conséquence pour intervenir il doit :

- s'équiper d'un appareil respiratoire autonome  
(ne jamais essayer d'aller chercher la victime en apnée)
- être muni d'une réserve d'air comprimé permettant une autonomie d'au moins 8 minutes,
- être relié à une source d'air non pollué,
- être deux si possible pour pouvoir évacuer la victime par treuillage du bas de la fosse vers le haut.

## CONCLUSION

Ce document fait le point sur le risque d'intoxication par CO<sub>2</sub> en coopérative céréalière.

Les principales réflexions que nous pouvons tirer de ces expériences sont les suivantes :

- si le risque d'intoxication par CO<sub>2</sub> est bien réel en coopérative céréalière, il est souvent méconnu,
- l'organisation du travail est le meilleur angle d'attaque pour limiter l'apparition du risque,
- l'installation d'un dispositif d'aspiration avec apport d'air neuf est préférable à un dispositif de soufflerie chassant le CO<sub>2</sub> dans les fosses de pieds d'élévateurs,
- l'organisation des secours doit être optimum : trois minutes d'inconscience dans un air vicié en CO<sub>2</sub> entraînent des séquelles irrémédiables pour la victime.

## ANNEXES

### ACCIDENT MORTEL DU 10 OCTOBRE 1984

#### **CIRCONSTANCES DE L'ACCIDENT**

Des féveroles (plantes fourragères) sont stockées dans la fosse de réception du silo depuis le lundi 8 octobre 1984 en début d'après midi. Le mercredi 10 octobre suivant, dans le milieu de la matinée, Monsieur Gérard S., Chef de centre, entreprend de faire acheminer ces féveroles au séchoir. Il est à préciser que plusieurs centres de cette société reçoivent des féveroles mais que les opérations de séchage ont toutes lieu dans ce centre.

L'élévateur vient d'être mis en marche lorsqu'une rupture de sangle intervient. Cette sangle est constituée d'un tapis de caoutchouc sur lequel sont espacés des godets qui permettent de monter les matières vers les cellules. Du fait de cet incident, un bourrage se produit.

Messieurs Gérard S. et Marcel V. (magasinier du centre) entreprennent alors de descendre dans la fosse "pieds d'élévateurs" pour remédier au bourrage précité.

Monsieur V. descend le premier, suivi de son Chef de centre qui, entre-temps, a mis en place une baladeuse.

Tandis qu'il est engagé dans la descente (4 mètres environ), Monsieur S. se sent mal. Il crie à son collègue de remonter et commence lui-même à remonter aussi. C'est alors qu'il voit l'ouvrier basculer au fond de la fosse. Le Chef de centre essaye de redescendre mais n'y parvient pas. Un autre salarié de la coopérative se précipite à son tour pour aller secourir son collègue mais en vain car, pris également d'un malaise avec vertiges, il doit remonter rapidement de la fosse.

Il fait alors immédiatement appel aux Sapeurs Pompiers qui arrivent sur les lieux, où ils sont rapidement rejoints par leurs homologues du SMUR, les gendarmes, ainsi que deux médecins.

Les pompiers, grâce à leurs équipements, parviennent à remonter le corps de la victime, allongée sur le dos en bas de l'échelle. Les tentatives de réanimation resteront vaines.

#### **RAPPORT DU CERCHAR**

**(Centre d'Étude et de Recherche des Charbonnages de France)**

#### *Prélèvements et analyses sur le site réalisés dès le lendemain de l'accident*

Méthode de mesure :

- d'une part, utilisation d'appareils de mesure fonctionnant en continu sur le site,
- d'autre part, prélèvements d'échantillons moyens aux endroits paraissant les plus caractéristiques du point de vue toxicité, en vue d'une analyse plus fine au laboratoire.

Les moyens analytiques utilisés sur le site ont été les suivants :

- oxyde de carbone : mesure en continu du CO et CO<sub>2</sub> par absorption du rayonnement infrarouge au moyen d'un appareil LEY BOLD-HERRAUS de type BINOS
- oxyde diazote : analyse en continu de NO et NO<sub>x</sub> (NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>) par chimiluminescence au moyen d'un appareil ENVIRONNEMENT S.A. type AC2
- oxygène : analyse continue basée sur la mesure de la susceptibilité paramagnétique au moyen d'un appareil TAYLOR de type SERVOMEX OA 570

Ces analyses ont été doublées de prélèvements en ampoule de verre pour analyse en différé par chromatographie en phase gazeuse (avec recherche principalement de O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>).

Enfin, d'autres composés chimiques ont été recherchés sur le site au moyen de tests colorimétriques (tubes indicateur DRÄGER).

### ***Résultats quantitatifs***

Les mesures sont effectuées à différents niveaux de profondeur repérés, par convention, à partir du niveau 0 d'affleurement au sol. Les résultats concernant le CO<sub>2</sub> et l'oxygène sont résumés dans le tableau (*fig. 4*).

Les résultats montrent clairement l'existence d'une stratification de l'atmosphère dans le puits d'inspection ; la composition étant presque normale au voisinage de la surface, la concentration en CO<sub>2</sub> devenant importante à partir de 2 mètres de profondeur, on a alors eu un appauvrissement correspondant en O<sub>2</sub>. Ces observations confirment l'existence d'une fermentation des féveroles.

Pour ce qui concerne les autres polluants qui ont été recherchés : hydrogène sulfuré, oxyde de carbone, acides organiques, aldéhydes et méthane, aucun n'a pu être mis en évidence à une teneur significative sur le plan de l'hygiène ou de la sécurité.

### ***En conclusion***

Les mesures effectuées montrent l'existence d'une fermentation des féveroles, laquelle provoque la formation de gaz carbonique et parallèlement une consommation d'oxygène. Cette fermentation génère une atmosphère suffisamment riche en CO<sub>2</sub> et suffisamment appauvrie en O<sub>2</sub> pour présenter un risque certain d'asphyxie pour le personnel devant intervenir en atmosphère confinée.

Le CERCHAR a rappelé à cet égard que des concentrations supérieures à 4 et à 5% en CO<sub>2</sub> doivent être considérées comme très dangereuses à court terme.

Profondeur (en mètres)	Concentrations (en %)		
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
0	20,9	0,1	-
1	-	0,6	-
2	-	0,6	-
2,5	-	4,95	-
3	16,0	6,65	-
4	16,2	6,75	-
5	16,7	6,85	76,0
6	-	7,0	-
6,2	16,3	6,85	75,9
7	17,7	7,2	76,1

#### L'ARBRE DES CAUSES DE L'ACCIDENT

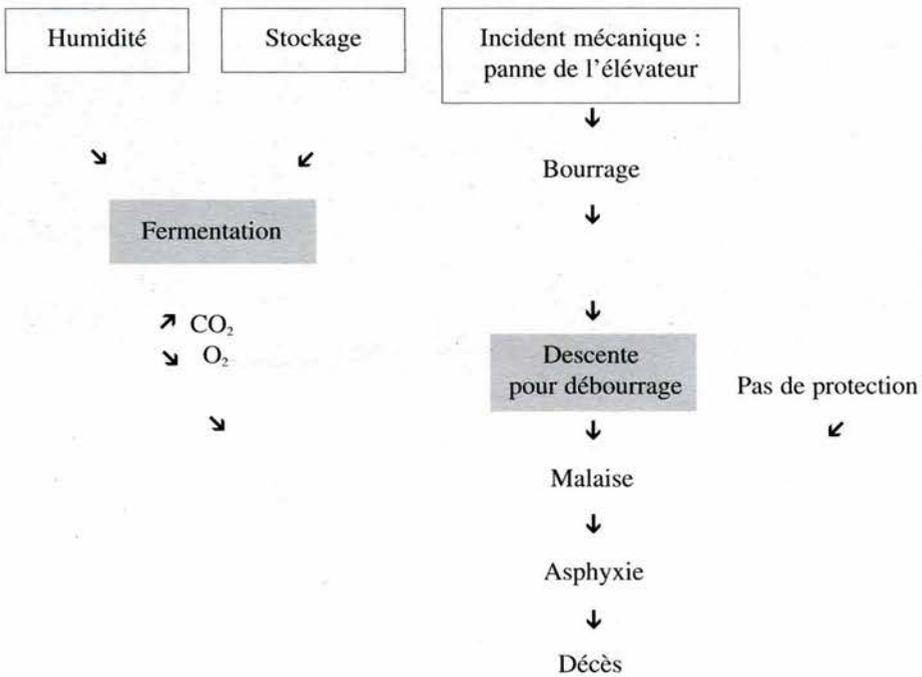


fig. 4

# ETUDE GAZ CARBONIQUE SAGICOOP

Michel PERES



## COLLECTE MAÏS 1997

**MUTUELLE SOCIALE AGRICOLE  
DU GERS**

PREVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

21, avenue de la Marne 32018 AUCH CEDEX 9

tél. 05 62 05 79 00

## REMERCIEMENTS

Dans le cadre du P.P.A. 600 / 610 et de l'étude sur le CO<sub>2</sub> à la SAGICOOP, nous avons rencontré sur le site de Lombez : Monsieur Baudesson, responsable du site et Monsieur Jean Louis Truilhe, responsable du silo.

Ceux-ci nous avaient fait part de leurs soupçons quant à la présence de gaz carbonique sous le silo de stockage du maïs humide lors de la collecte.

A plusieurs reprises, Monsieur Truilhe, détectant d'importantes odeurs de fermentation sous la cellule, a supposé qu'il y avait production de CO<sub>2</sub>.

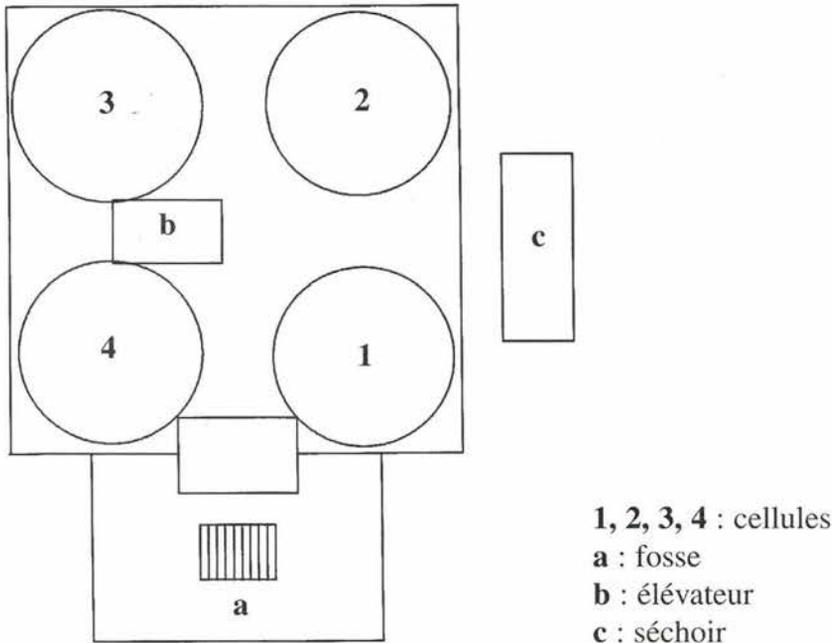
En accord avec la direction de la Coopérative, et dans le cadre du PPA 600 / 610, nous avons décidé de mettre en place lors de la collecte un système de détection de gaz carbonique.

Le but était de vérifier s'il y avait production de CO<sub>2</sub> par le grain et tenter de mettre en évidence les conditions ayant favorisé cette production.

Nous tenons à remercier la SAGICOP et tous les salariés qui ont prêté leur concours à la réalisation de cette expérience, avec une mention particulière pour Monsieur Truilhe dont la collaboration a permis de recueillir les renseignements essentiels.

## Annexe 1

### PLAN DU SILO



## L'EXPERIENCE

### **LA COOPERATIVE**

SAGICOOP - 32220 LOMBEZ

Président : Monsieur Marc CASTEX

Directeur : Monsieur Maurice VERGE

La coopérative emploie quarante salariés et compte sept dépôts, les principaux étant situés à Lombez, Gimont et Simorre.

Forte de 800 adhérents actifs sur le sud du département : cantons de Lombez, Samatan, Gimont, et la partie limitrophe de la Haute-Garonne, elle collecte un million de quintaux.

### **LE SILO**

(annexe 1 )

Il se compose de quatre cellules de 15 000 Qx (H : 25 m, D : 11 m) ouvertes en haut, d'une fosse de réception et d'un séchoir. Le grain réceptionné est stocké dans la cellule n° 1, il est ensuite séché et stocké dans les trois autres cellules.

Le fond des cellules de forme conique (annexe 2), est constitué de deux pentes principales. Ce dièdre est divisé en quatre cônes secondaires à 4 faces (annexe 4), s'ouvrant chacun sur une trappe de vidange située sur le transporteur.

Les deux faces principales sont équipées de grilles qui permettent grâce à de puissants ventilateurs, d'insuffler de l'air dans le grain de bas en haut pour le refroidir. Ces grilles peuvent aussi laisser s'écouler le CO<sub>2</sub> qui serait produit par le grain stocké dans la cellule.

Les cellules sont équipées de sondes thermométriques qui ont permis de noter les températures du grain et de l'air à l'intérieur de celles ci.

La partie située sous la cellule communique avec l'extérieur par une porte qui se situe à une hauteur de 1,30 m par rapport au niveau du sol sous la cellule. Celle ci sert d'accès pour ouvrir ou fermer les trappes de vidange. Elle est généralement ouverte dans la journée quand la ventilation ne fonctionne pas.

### **LA COLLECTE**

Pour ce qui concerne le maïs, la SAGICOOP collecte environ 110 000 Qx, dont 90 000 sur le site de Lombez.

La campagne de collecte 1997 a commencé début octobre pour se terminer à la mi- novembre. L'expérience s'est déroulée du 15 octobre au 10 novembre.

Les horaires de travail étaient pour cette campagne : 5 h - 21 h (2 x 8) jusqu'au 25 octobre et 8 h - 18 h ensuite.

La capacité de séchage compte tenu de l'humidité moyenne se situe à 160 Qx heure, soit 2000 à 2500 Qx jour en 2 x 8, et 1000 à 1500 en 1 x 8.

### **LA VENTILATION**

Il s'agit d'une soufflerie. Son but est de refroidir le grain, mais la circulation de l'air à travers le grain diminue aussi légèrement l'humidité.

Elle est assurée par deux ventilateurs, un de forte puissance pour les cellules 1 et 2, un autre de puissance moindre pour les cellules 3 et 4 qui en principe contiennent du grain sec.

Chaque ventilateur ne peut fonctionner que sur une cellule à la fois. C'est donc la cellule n° 1 (grain humide) qui est le plus souvent ventilée.

Au cours de la ventilation, les portes d'accès à la galerie sous la cellule, sont évidemment fermées. La manipulation des trappes de vidange des cellules : ouverture ou fermeture, ne peut donc s'effectuer que ventilation coupée.

## **LE MATERIEL DE MESURE**

Nous avons installé sur place un détecteur de CO<sub>2</sub> quatre voies TESTABISS (annexe 3).

Quatre capteurs ont été mis en place : deux sous la cellule de stockage du maïs (annexe 2) et deux dans la fosse de l'élévateur située à quelques mètres des cellules. Les capteurs étaient placés à 20cm et 120cm du sol pour détecter une éventuelle différence de taux selon le niveau.

Les capteurs situés à 20cm enregistraient selon une échelle 0 - 10 %, ceux situés à 120cm selon une échelle 0 -100 %.

Les taux de CO<sub>2</sub> pouvaient être lus sur l'appareil en temps réel, et ils étaient enregistrés toutes les heures sur micro.

Chaque jour étaient également notés : le tonnage de grain contenu dans la cellule, le tonnage réceptionné, le taux moyen d'humidité du grain collecté et les températures du grain et de l'air à l'intérieur des cellules.

Le tonnage réceptionné était calculé par totalisation des bons de livraison. Le tonnage cellule était évalué en tenant compte des apports et de l'estimation de la quantité séchée.

## **ETUDE DES ELEMENTS PRIS EN COMPTE**

### **LE CO<sub>2</sub>**

L'étude des courbes (annexe 5) montre que la présence de CO<sub>2</sub> n'a été constatée significativement que sous la cellule, on peut dire qu'il n'y a pas eu production de CO<sub>2</sub> dans la fosse d'élévateur, ni d'ailleurs accumulation.

On peut donc penser que le CO<sub>2</sub> a été produit dans la cellule, et qu'il s'est écoulé en dessous en traversant les grilles destinées à la ventilation. On peut également penser qu'il ne s'écoule pas avec le grain par le transporteur.

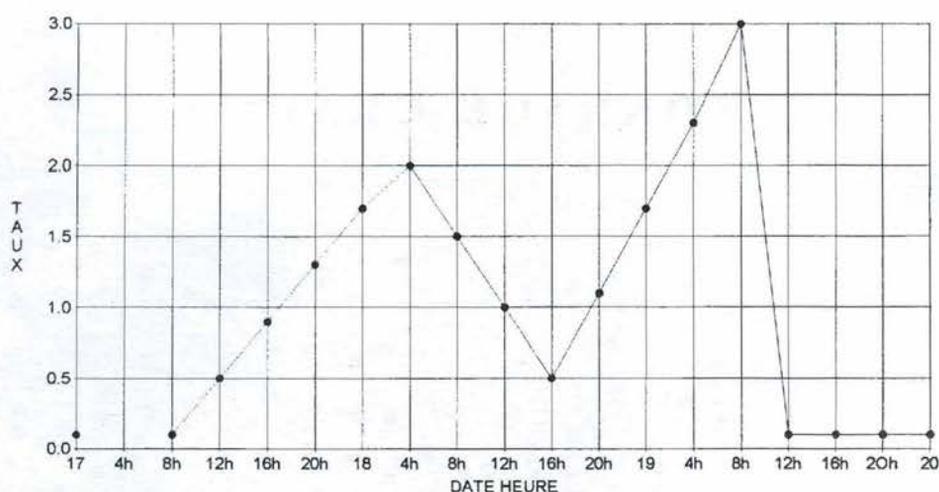
Par contre les taux enregistrés par les capteurs situés sous les cellules, se situent toujours au minimum à 0,1% soit un taux supérieur au taux de CO<sub>2</sub> présent normalement dans l'air. On s'aperçoit que la pollution résiduelle augmente au cours de la période de réception du grain.

On constate plusieurs pics. Deux sont importants, deux sont plus brefs et plus faibles ( 0,5 %), les autres, qui n'atteignent pas 0,5%, peuvent difficilement être interprétés.

Le premier pic se produit du 17 au 19 / 10 et le second du 3 au 4 / 11. Les deux autres pics à 0,5% se situent dans la journée du 25 / 10 et du 5 / 11.

Les enregistrements montrent que le taux de CO<sub>2</sub> est sensiblement le même quel que soit le niveau du capteur par rapport au sol : 0,2 m ou 1,2 m. Cela laisse supposer qu'il n'a pas eu le temps de se déposer sur le sol. Toutefois l'impossibilité d'étudier les courbes séparément ne permet pas de conclusions définitives.

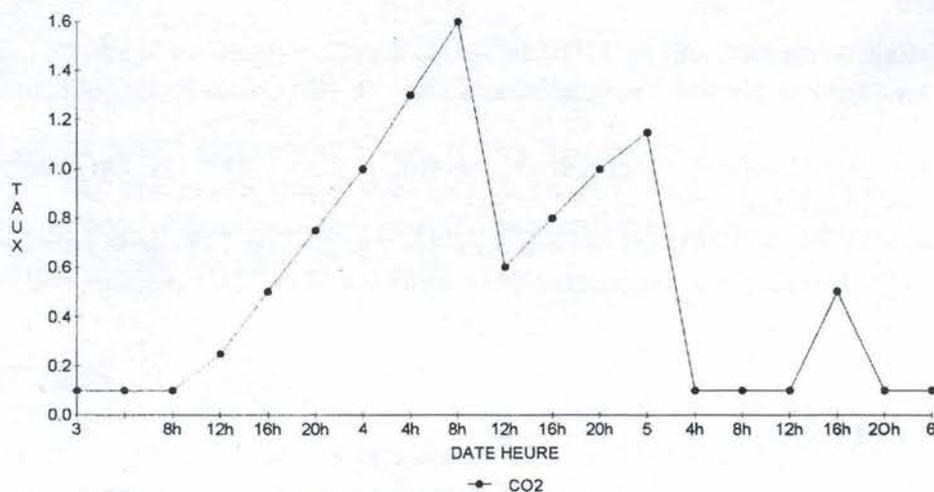
## ANALYSE DU 1<sup>er</sup> PIC



*PRODUCTION DE CO<sub>2</sub> / 1<sup>ER</sup> PIC*

Dans la journée du 17, le taux monte jusqu'à 2%, puis descend à 0,5%, pour remonter très rapidement à 3%. Monsieur Truilhe, s'apercevant du taux élevé, mettra la ventilation en service. Celle-ci fera descendre très rapidement le taux de CO<sub>2</sub>. Nous n'avons pas décelé d'explication valable pouvant expliquer aussi bien l'augmentation que la chute du taux de 2 à 0,5 %. Toutefois, la baisse semble coïncider avec l'ouverture de la porte de la cellule.

## ANALYSE DU 2<sup>ème</sup> PIC



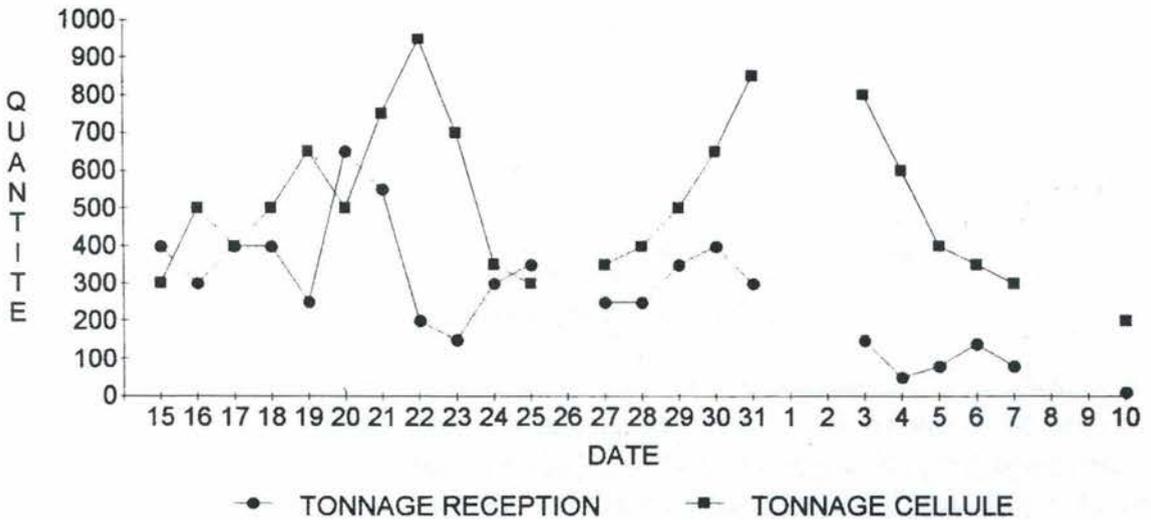
*PRODUCTION DE CO<sub>2</sub> / 2<sup>EME</sup> PIC*

Dans la journée du 3, le taux s'élève rapidement pour atteindre 1,5% dans la nuit du 3 au 4, et redescendre dans la journée, il remonte ensuite dans la nuit du 4 au 5. Le 5, le taux monte brièvement à 0,5 %.

Au cours de ce deuxième pic, les variations sont également difficilement explicables. On note toutefois que la porte de la cellule était ouverte de 8h à 15h, soit approximativement au moment où s'est produite la diminution du taux. On peut supposer que le seul fait d'ouvrir la porte provoque une ventilation de l'espace situé sous la cellule.

## RÉCEPTION TONNAGE CELLULE

### TONNAGE GRAIN



## COLLECTE TONNAGE

Pendant la période de mesure, soit du 15/10 au 10/11, il a été collecté sur le silo de Lombez 60100 quintaux. Le tonnage réceptionné journalièrement varie de 100 Qx en fin de collecte à 6500 Qx le 20 octobre.

La quantité journalière habituellement collectée se situant à : 3 - 4000 Qx. On observe un pic qui se situe les 19 et 20 octobre.

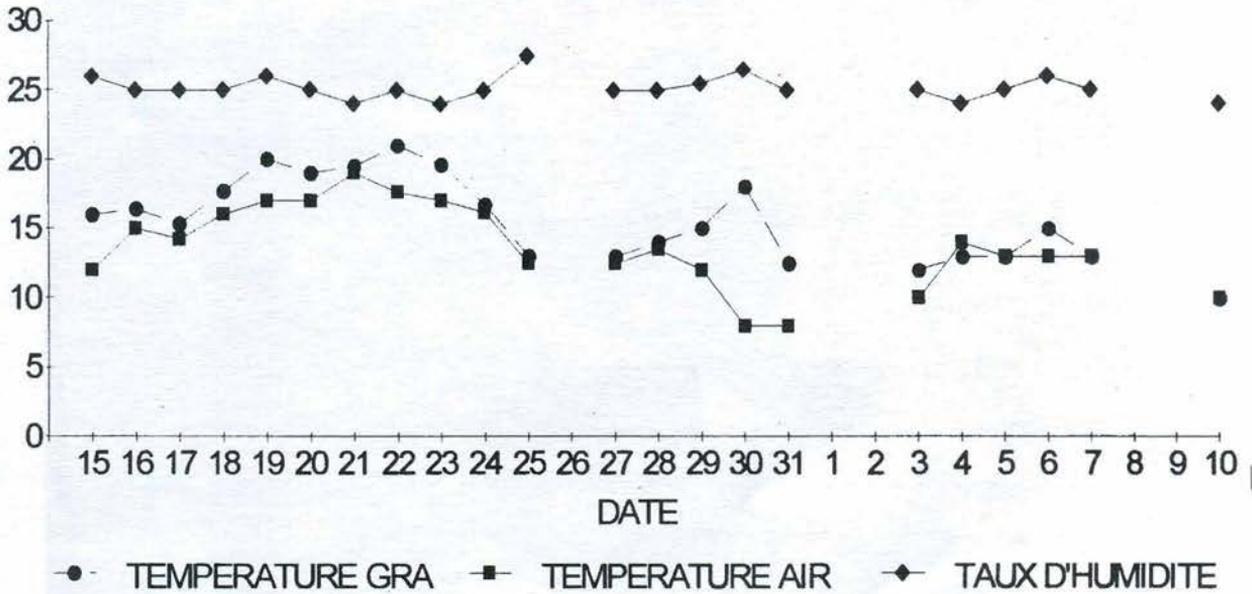
Lors de ces deux journées, 12000 Qx ont été collectés soit plus de 13% de la collecte totale.

En dehors de la fin de campagne, on observe deux creux les 19 et 22-23 octobre, soit avant et après le pic de collecte.

## TONNAGE CELLULE

Il varie de 2000 Qx en fin de campagne à 9500 Qx le 22/10. On observe deux pics : le 22/10 et du 31 au 3/11. Il varie bien sûr en fonction de la quantité enlevée pour le séchage.

## HUMIDITÉ / TEMPÉRATURES



### HUMIDITÉ

Le taux indiqué est estimé et constitue le taux le plus fréquemment collecté le jour donné. Il varie de 24 à 27,5 %, avec une grande majorité au taux de 24 ou 25 %. Il est donc faible et assez homogène. Le grain est donc relativement sec, puisqu'il peut arriver au cours de campagnes moins favorables de réceptionner du maïs avec un taux de 36%.

### TEMPÉRATURES

Elles ont été relevées par des capteurs (annexe 5) situés à différentes hauteurs dans la cellule et, suivant que le capteur se situe dans le grain ou au dessus, il donne la température du grain ou de l'air. Celle du grain varie de 12 à 21° soit une amplitude de 9°. Celle de l'air varie de 12 à 19° soit une amplitude de 7°.

L'étude des deux courbes montre qu'elles ont un tracé assez souvent parallèle, ce qui peut laisser supposer que la température extérieure influence la température du grain.

La température du grain est (sauf le 4 novembre) toujours supérieure ou égale à la température de l'air. Il est donc probable que le grain stocké s'échauffe.

La ventilation a évidemment une influence sur la température du grain, puisqu'elle est utilisée pour le refroidir.

*GALERIE SOUS LA CELLULE n° 1*



*Grilles de ventilation et transporteur*



*Position des capteurs*

## Annexe 3

### LE MATERIEL DE MESURE



Valise TESTABISS et micro



Tableau des sondes de température

## ANALYSE DES FACTEURS POUVANT PROVOQUER LA PRODUCTION DE CO<sub>2</sub>

### **TONNAGE COLLECTE**

Les deux pics de production de CO<sub>2</sub> se sont produits lors de journées de réception moyenne; 4000 Qx les 17 et 18 / 10, moins de 2000 Qx les 3 et 4 / 11.

### **TONNAGE CELLULE**

Au moment du premier pic la cellule contient de 4000 à 5000 Qx, soit le tiers de sa capacité maximum. La quantité stockée est toutefois en phase ascendante.

Au moment du deuxième pic la quantité contenue dans la cellule est de 6000 et 4000 Qx et est en phase descendante.

### **HUMIDITE**

Le taux d'humidité influence de façon importante la formation de CO<sub>2</sub> (annexe 7). Il se situe autour de 25% les jour précédent la montée du taux de CO<sub>2</sub>.

### **TEMPERATURE**

#### **GRAIN**

Au moment de la production elle est en phase ascendante, puis baisse lorsqu'elle est stoppée. Lors du deuxième pic elle augmente aussi légèrement, stagne, puis continue d'augmenter alors que la production a cessé. On note que la production de CO<sub>2</sub> s'effectue quand la température du grain est supérieure à 10°.

#### **AIR**

La température de l'air au moment du premier pic, est inférieure à celle du grain. Lors du deuxième, elle augmente rapidement pour devenir supérieure.

Il semble que la température du grain soit influencée par la température de l'air, qui est en relation avec la température extérieure

**L'étude de ces éléments, ne met en évidence aucun facteur qui jouerait un rôle prédominant, dans la production de gaz carbonique.**

### **DUREE DE SEJOUR DU GRAIN DANS LA CELLULE**

Elle est influencée par le comportement du grain lors de la vidange (annexe 6) et contrairement à la logique, la cellule ne se vide pas d'abord par le grain situé dans le fond.

Monsieur Truilhe nous explique que dans une cellule c'est toujours le grain stocké en dernier qui s'écoule en premier. En effet la cellule se vide par le haut, même si l'écoulement du grain se fait par le bas. Il se forme une sorte de cheminée au dessus de la trappe de vidange jusqu'à la surface du grain. L'écoulement constitue un cône, le grain situé à la surface de cet "entonnoir", s'écoule vers le centre et descend dans la trappe. Tant que la cellule n'est pas totalement vidée, le grain situé dans la partie basse entre les parois et les trappes, ne peut s'écouler, et ce malgré l'utilisation successive des quatre trappes.

Ce phénomène est bien connu puisque Monsieur Truilhe nous indique qu'afin d'éviter une agglomération de grain humide contre la paroi du bas de la cellule, agglomération qui au bout d'un certain temps ne pourrait plus se vider par gravité, il remplit toujours le fond d'une certaine quantité de grain sec.

Cet élément nous fournit une explication à la production de CO<sub>2</sub>.

Le 17, lors du premier pic, la cellule est en cours de remplissage, le tonnage cellule est en phase ascendante. On a de ce fait dans la cellule du grain depuis au moins 2 jours, et la ventilation n'est pas utilisée. Le grain situé dans la partie basse n'est pas enlevé, il est donc possible que la fermentation débute. Dans la journée du 3, lors du deuxième pic, la cellule est en cours de vidange, le tonnage est en phase descendante, mais 400 tonnes sont stockées depuis trois jours et 400 depuis 6 jours. En effet c'est le week-end du 1<sup>er</sup> novembre et la coopérative a été fermée du vendredi 31 au soir au lundi 3 au matin. Durant le week-end, la ventilation fonctionne ce qui explique qu'aucune production n'est détectée. Dès qu'elle s'arrête on enregistre une élévation du taux. Il est probable que l'arrêt de la ventilation a déclenché la fermentation. On peut attribuer la baisse qui se produit dans la journée du 4 par la vidange de la cellule. Celle ci est très rapide les apports étant très faibles : moins de 100 tonnes. Le grain en fermentation étant enlevé, il n'y a plus de production.

## CONCLUSION

Cette expérience ne nous a pas permis de définir avec précision les conditions dans lesquelles le maïs grain non séché pouvait produire des quantités de gaz carbonique, dont l'accumulation constituerait un danger. Toutefois, on peut en tirer quelques enseignements intéressants.

On peut en effet dire que le stockage de maïs humide produit suffisamment de gaz carbonique pour atteindre les valeurs limites d'exposition.

Sur les conditions de cette production, l'expérience menée à la SAGICOOP, si elle ne dégage pas de certitudes, permet d'émettre quelques hypothèses.

Le grain qui s'échauffe produit du CO<sub>2</sub>.

La formation de CO<sub>2</sub> se produit à des températures relativement faibles < 15%.

La formation se produit après deux à trois jours de stockage.

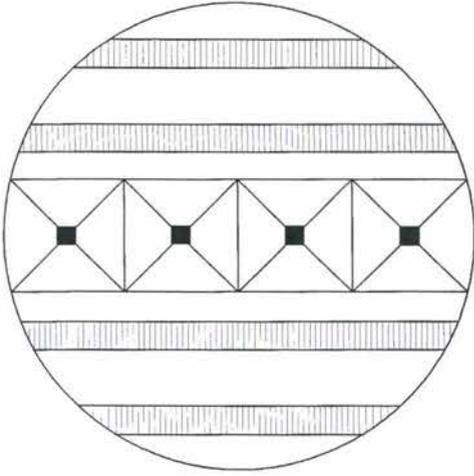
La formation se produit même avec du grain peu humide.

Dans une cellule, le grain stocké en premier dans le bas n'est évacué qu'en dernier, quand la totalité de la cellule est vidée.

Afin de mieux connaître ces phénomènes, il serait souhaitable, au cours de la prochaine campagne de collecte, de poursuivre cette expérience afin de valider ou non ces hypothèses.

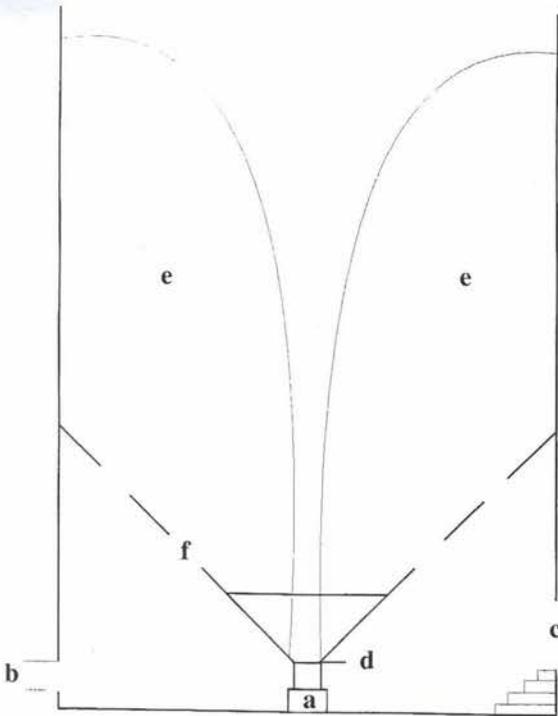
Il est évident qu'une bonne connaissance des éléments conduisant à la production importante de CO<sub>2</sub> est indispensable. D'une part, pour une meilleure sensibilisation et formation des personnels, et d'autre part, pour mettre en place une prévention efficace.

## Annexe 4



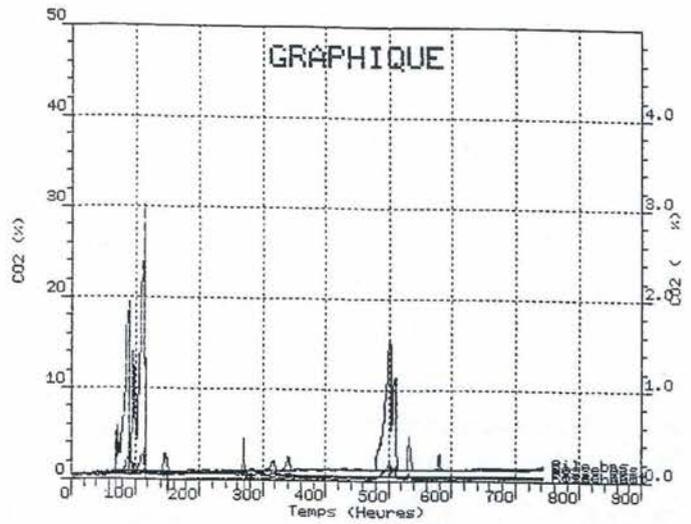
COUPE SILO (*vue de dessus*)

## Annexe 6



COUPE SILO (*vue de face*)

## Annexe 5



- a : transporteur
- b : arrivée ventilation
- c : porte accès galerie
- d : trappe de vidange
- e : grain ne s'écoulant pas
- f : grilles de ventilation

## Annexe 7

### LES PHENOMENES CHIMIQUES QUI ENGENDRENT L'APPARITION DU CO<sub>2</sub>

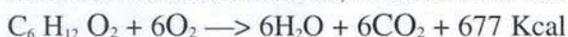
L'apparition du CO<sub>2</sub> dans les coopératives céréalières est due au comportement du grain qui est stocké. En effet le grain stocké vit. Il respire en consommant l'O<sub>2</sub> de l'air, rejetant de la chaleur, du gaz carbonique, de l'eau et perdant de la matière sèche.

Il existe deux modes de production de CO<sub>2</sub> qui sont successives.

#### La respiration ou oxydation

Elle a toujours lieu quelles que soient les conditions de stockage.

Cette respiration a lieu uniquement en présence d'oxygène. Elle se traduit par une transformation du carbone contenu dans l'amidon, l'albumen des réserves du grain, en gaz carbonique, en eau et en chaleur.

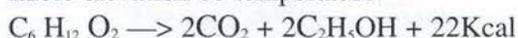


amidon + oxygène  $\longrightarrow$  eau + gaz carbonique + chaleur

Remarque : en atmosphère confinée, dès que la teneur en gaz carbonique dépasse 10%, le phénomène respiratoire est bloqué. Nous passons alors en phase de fermentation.

#### La fermentation

En l'absence d'Oxygène, la respiration est stoppée. Selon les types de grains et les conditions de stockage, il se produit une fermentation. Dans ce cas, l'amidon se transforme en alcool et en gaz carbonique avec une faible élévation de température.



amidon  $\longrightarrow$  gaz carbonique + alcool + chaleur

Si le grain respire, quelles que soient les conditions de stockage, la respiration est plus ou moins importante en fonction des paramètres suivants:

##### *L'humidité du grain*

Le dégagement de gaz carbonique fluctue en fonction du taux d'humidité du grain. L'intensité respiratoire est 400 fois plus importante à 30 % qu'à 15 %. Le dégagement de CO<sub>2</sub> double tous les 1,5 % jusqu'à 20%. Au delà, l'influence de l'humidité est plus faible.

##### *La température de stockage*

Jusqu'à 28° environ, le dégagement de CO<sub>2</sub> double tous les 5° pour les céréales.

##### *Le moment de la récolte*

Le grain récolté tardivement a une intensité respiratoire plus grande. En particulier, du grain récolté tardivement à 15% d'humidité a une intensité respiratoire 3 à 4 fois plus importante que du grain séché à 15% en début de récolte.

##### *Le degré de pollution de la cellule*

La production de chaleur et donc l'intensité respiratoire est annexée au degré de pollution de la cellule et à la vitesse de multiplication des micro organismes.

# LA TOXICITE DU CO<sub>2</sub>

### La toxicité intrinsèque

Le gaz carbonique est un accélérateur de la fréquence respiratoire; cette propriété est d'ailleurs parfois utilisée en réanimation, avec une oxygénation en rapport, ralentisseur de la fréquence cardiaque, ralentisseur du système nerveux (action anesthésique), irritant pour la peau et les muqueuses.

La sensibilité à ce gaz varie de manière importante d'un individu à un autre. On estime qu'en moyenne : entre 3 et 5 % de CO<sub>2</sub> des maux de tête apparaissent, entre 5 et 8 % la respiration devient difficile, des troubles digestifs se manifestent et la perte de conscience peut survenir, entre 8 et 15% un coma s'installe et l'intoxiqué meurt rapidement s'il n'est pas évacué au grand air et traité par oxygénothérapie.

### La toxicité combinée

La toxicité du CO<sub>2</sub> repose plus sur le fait que sa présence contribue à baisser la teneur atmosphérique en oxygène, donnant une asphyxie oxyprive (dans les zones où le CO<sub>2</sub> apparaît par oxydation, la teneur en CO<sub>2</sub> s'abaisse par simple phénomène de substitution).

Le CO<sub>2</sub> agirait comme asphyxiant par diminution de l'oxygène jusqu'à un taux inférieur à 16 et 17% qui est le minimum vital pour l'homme.

Isolée une diminution de l'oxygène, en dessous de 17 %, provoque les troubles suivants: accélération de la fréquence cardiaque, sudation, difficulté de coordination des mouvements, vers 12% d'O<sub>2</sub>, des vomissements apparaissent puis une perte de conscience.

La présence simultanée d'une quantité insuffisante d'O<sub>2</sub> et de quantité excessive de CO<sub>2</sub>, va aggraver les conséquences aussi bien du déficit en O<sub>2</sub> (hypoxie) que de l'excès de CO<sub>2</sub> (hypercapnie).

En pratique dans de nombreuses intoxications, il sera difficile de faire la part de l'hypoxie et celle de l'hypercapnie dans les troubles manifestés et le devenir de la victime.

Directement ou en rapport avec une diminution concomitante de l'oxygène, un excès de gaz carbonique provoque une intoxication grave.

S'il y a perte de conscience, la chute au sol de l'intoxiqué va aggraver l'intoxication en lui faisant respirer des quantités encore plus importantes de CO<sub>2</sub>. L'aboutissement sera une mort rapide, si la victime n'est pas immédiatement évacuée.

**TABLEAU DES ELEMENTS PRIS EN COMPTE**

<b>Jour</b>	<b>tonnage collecte</b>	<b>tonnage cellule</b>	<b>Humidité</b>	<b>horaires Ventilation</b>	<b>température grain</b>	<b>température air</b>
15	400	300	26	/	16	12
16	300	500	25	/	16,4	15
17	400	400	25	/	15,3	14,2
18	400	500	25	/	17,7	16
19	250	650	26	9-24	20	17
20	650	500	25	0-5 / 21-24	19	17
21	550	750	24	8- 24	19,5	19
22	200	950	24	0-5 / 21-24	21	17,6
23	150	700	24	0-5	19,6	17
24	300	350	25	/	16,7	16,1
25	350	300	27,5	21-24	13	12,5
26				0-24		
27	250	350	25	0-8	13	12,5
28	250	400	25	/	14	13,5
29	350	500	25,5	/	15	12
30	400	650	26,5	/	18	8
31	300	850	25	18-24	12,5	8
1				0-24		
2				0-24		
3	150	800	25	0-8	12	10
4	50	600	24	/	13	14
5	80	400	25	/	13	13
6	140	350	26	/	15	13
7	80	300	25	18-24	13	13
8				0-24		
9				0-24		
10	10	200	24	/	10	10

# ACCIDENT DU TRAVAIL

## MSA 28

### **COLLECTE DE MAÏS HUMIDE = RISQUE DE CO<sub>2</sub>**

#### **L'INCIDENT**

Dégagement de CO<sub>2</sub> (gaz carbonique) dans un pied d'élévateurs, lié à la fermentation du maïs humide dans un silo d'Eure-et-Loir en octobre 1995.

#### **CAUSES ET CIRCONSTANCES**

Du maïs humide est livré dans un centre de collecte le vendredi et le samedi matin :

- humidité du grain : 38°
- quantité livrée : env. 50 tonnes

Le maïs est resté stocké dans la fosse de réception jusqu'au lundi matin en attente d'être repris par un centre de séchage :

- temps de stockage : env. 65 heures

Le lundi matin, le salarié va inspecter le sous-sol (pied d'élévateurs) en empruntant l'ascenseur. Surpris par l'odeur de fermentation, il n'a que le temps d'appuyer sur le bouton de l'ascenseur pour remonter.

- volume de la fosse d'élévateurs : 360 m<sup>3</sup>
  - longueur : 10 m
  - largeur : 6 m
  - hauteur : 6 m
- mesures du pourcentage d'oxygène avec un oxygénomètre = 0 % d'O<sub>2</sub>

Mise en fonctionnement à vide de deux élévateurs d'une capacité de 150 tonnes / heure chacun pour créer un brassage de l'atmosphère.

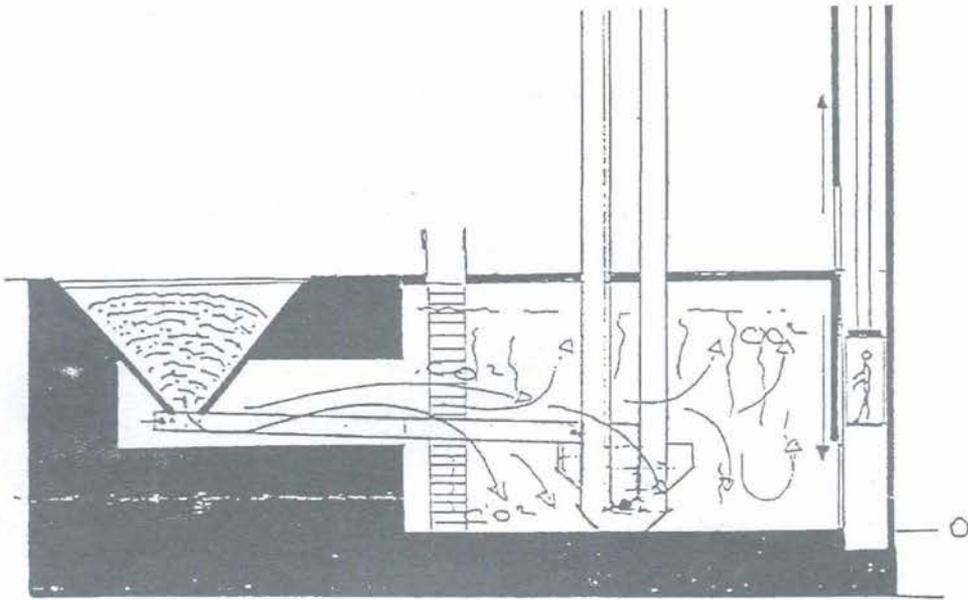
- mesures du pourcentage d'oxygène après 45 minutes de fonctionnement des élévateurs :
  - niveau 0 (sous-sol) : 2 % d'O<sub>2</sub>
  - niveau 2 m 50 : 7 % d'O<sub>2</sub>
  - niveau 5 m : 18,5 % d'O<sub>2</sub>
  - niveau 6 m : 19,5 % d'O<sub>2</sub>

## RÉCIT DU SALARIÉ

“Je pousse la porte de l’ascenseur, à ce moment là je sens une odeur de fermentation mélangée à quelque chose qu’il n’est pas habituel de sentir. Je referme la porte et machinalement j’appuie sur le bouton du rez-de-chaussée ; tout ceci se passe dans ma tête très rapidement : l’odeur différente, fermer la porte, appuyer sur le bouton...”

Immédiatement dans l’ascenseur, je ne me sens pas bien : suffocation, yeux qui piquent, léger malaise...”

Enfin, j’arrive à l’air libre et je comprends que c’est du gaz carbonique venant du maïs, j’ai mal à la tête... Je suffoque toujours et je me sens vraiment mal, je perds légèrement connaissance, je respire à fond plusieurs fois et reprends mes esprits peu à peu...”



## DOSSIERS TECHNIQUES DEJA PARUS

*Dossier n° 1 :*

***Intégration de la sécurité en station de conditionnement de fruits***

Expérience STANOR — M. Cayon - C. Duverneix - P. Millet (juil. 1994)

*Dossier n° 2 :*

***Choisir et installer un Dispositif d'Alarme pour les Travailleurs Isolés (DATI)***

Expérience de VIVADOUR — M. Cayon - P. Millet - D. Soulan (fév. 1995)

*Dossier n° 3 :*

***Prévention et évolution du salariat agricole - Une première approche***

F. Candelot - C. Debrauwer (nov. 1995)

*Dossier n° 4 :*

***Le métier de chauffeur-livreur d'aliments de bétail - Livraison par vis***

P. Barbier - R. Dantec - P. Millet (déc. 1995)

*Dossier n° 5 :*

***Aménagement d'atelier sur l'exploitation agricole - Expériences d'accompagnement de projet et réalisations*** — Groupe Culture-Elevage non spécialisé Midi-Pyrénées

F. Candelot - B. Marchand (déc. 1995)

*Dossier n° 6 :*

***Les installations de contention bovins-ovins - Prévenir les risques d'accidents***

Groupe Polyculture Elevage non spécialisé

F. Candelot (mars 1996)

## BIBLIOGRAPHIE

**Analyse d'un accident du travail mortel par inhalation d'anhydride carbonique dans un silo de stockage de févéroles** - Christine Delabre-Dordain - mars 1986

**Bienvenue "Guide d'accueil" pour les saisonniers de coopératives céréalières et d'approvisionnement** - MSA - FFCAT 1995 - réf. 9696

**Conservation des grains en régions chaudes** - Centre d'études et d'expérimentations du machinisme agricole et tropical - Ministère de la Coopération et du développement

**Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés**  
Coordonné par J.L. Multon - édité par TC DOC LAVOISIER

**Lourd le CO<sub>2</sub>** - MSA - 1992

**Le guide du chef de silo** - Les bonnes pratiques du stockage des graines  
ITCF - FFCAT - oct. 1995

**Travail et Sécurité** - mai 1996