

Mesures des gaz toxiques émis par les fosses à lisier fermées

Urs Meier¹⁾, Beat Steiner²⁾

Par quelles modifications apportées aux constructions de fosses à lisier fermées peut-on réduire efficacement le danger d'accidents et de dégâts matériels? Combien et quel type d'ouvertures faut-il pratiquer pour permettre une évacuation des gaz hors de la fosse? La suite de notre exposé répondra à ces questions. Des ouvertures grillagées et des cheminées d'évacuation d'air font figures d'événements appropriés. La surface minimale de la bouche d'aération devrait être de 1 m² pour 50 m² de superficie de fosse. Un minimum de deux ouvertures, placées en diagonale, doivent être opérées pour assurer une aération complète.

Les installations électriques des brasseurs, des systèmes de ventilation du lisier etc. doivent, dans la mesure du possible, être installés hors de la zone de dégagement des gaz et être rendus parfaitement étanches.

L'acide sulfhydrique se dégage par vagues et peut durant tout le brassage atteindre des con-

centrations mortelles. Il faut tenir compte de ce comportement particulier.

En agriculture, les fosses à lisier fermées sont encore et toujours la cause d'accidents et de dégâts matériels résultant d'incendies ou d'explosions dont l'origine découle de trop hautes concentrations en gaz toxiques ou explosifs. En sus des dangers d'incendie et d'explosion, hommes ou animaux peuvent être empoisonnés par des gaz toxiques.

La FAT a étudié, en collaboration avec le SPAA, quelles modifications apportées aux constructions pouvaient réduire efficacement de tels dangers. Est primordiale, la réponse à la question suivante: de combien et de quel type d'ouvertures faut-il disposer pour permettre l'évacuation des gaz hors des fosses à lisier?

En plus des ouvertures traditionnelles grillagées, on s'est également penché sur les possibilités offertes par les cheminées d'évacuation d'air et les ventilateurs.



Fig. 1: ... lorsque les gaz d'une fosse à lisier explosent!

¹⁾ FAT ²⁾ Service de prévention des accidents dans l'agriculture, SPAA



Fig. 2: Quelques-uns des instruments de mesure utilisés. Au second plan, prélèvement de gaz pour échantillonnage au chromatographe en phase gazeuse, au premier plan un tube fumigène, un thermomètre et un appareil de mesure du H₂S.

1. Formation de gaz

Toute activité liée à la manipulation de lisier conduit à un dégagement de gaz. Résultant de la fermentation anaérobie, les produits de dégradation ci-dessous sont dégagés sous forme de composés gazeux tels qu'acide sulfhydrique (H₂S), ammoniac (NH₃), dioxyde de carbone (CO₂) et méthane (CH₄) [1].

H₂S provoque une paralysie respiratoire, même à des concentrations minimales (à partir de 200 ppm), et une forte corrosion. Le H₂S est inflammable et le SO₂ qui résulte de sa combustion est lui également toxique et corrosif [2].

CH₄ explose dans l'air à une concentration de 5,3-14%; en mélange avec approximativement 35% de CO₂, les limites liées

Tableau 1: température d'inflammation et limite d'inflammabilité [5]

		NH ₃	H ₂ S	CH ₄
Température d'inflammation	° C	630	270	595
Limite inférieure d'inflammabilité	Vol.-%	15,0	4,3	5,0

Vol.-% = parties pour cent

au danger d'explosion se réduisent aux concentrations allant de 5-12% [3,4].

Aussi le CH₄ est-il la cause première d'explosion de gaz et le composé H₂S d'empoisonnements aigus lourds de conséquences pour les hommes et les animaux.

En cas de danger d'explosion, une attention particulière doit être accordée à la limite inférieure d'inflammabilité et à la température d'inflammation.

Un dégagement de flammes, des corps incandescents portés à des températures de plus de 800° C ou des étincelles électriques peuvent conduire à l'inflammation voire à l'explosion de ces mélanges gazeux [6].

La formation de gaz dépend de

plusieurs facteurs tels que le type d'installation de l'étable, le stockage du lisier, la circulation de l'air, les fourrages, la température de l'air, sa pression ainsi que la valeur du pH et la teneur en MS du lisier. Hormis la teneur en méthane, on ne connaît pas de différences établies au niveau du dégagement de gaz toxiques entre un lisier de bovins et un lisier de porcs [7].

Frais, le lisier est dangereux également puisque la production de gaz par les micro-organismes commence déjà dans l'appareil digestif des animaux. Des concentrations élevées d'ammonium (en particulier dans le lisier de bovin) réduisent la production de méthane [8]. Des antibiotiques ajoutés à l'alimentation exercent

Tableau 2: appareillage utilisé

Mesure	appareil	détermination	limites de mesure
CO ₂	tube fumigène	1 %	1 - 20 Vol.-%
CO ₂	tube fumigène	5 %	5 - 60 Vol.-%
H ₂ S	tube fumigène	1/c	1 - 200 ppm
H ₂ S	tube fumigène	100/a	100 - 2000 ppm
H ₂ S	appareil de détection du H ₂ S	Mini-H ₂ S	0 - 200 ppm
NH ₃	tube fumigène	5/a	5 - 700 ppm
CH ₄	tube fumigène	test au gaz naturel	qualitatif (de 0,5 Vol.-%)
CH ₄ + CO ₂	chromatographe en phase gazeuse		0 - 100 Vol.-%
V _{air}	anémomètre à hélices	Airflow	0,1 - 5 m/sec
V _{air}	tube fumigène de détection (de la circulation d'air)		direction du vent
V _{air}	poudre fumigène		direction du vent
Temp.	thermomètre de surface	technotherme	-40 - +140° C
pH-Wert	pH-mètre		0 - 14

ppm = partie par million; 1 Vol.-% = 10'000 ppm

également un effet inhibiteur sur la production de gaz [9].

La formation d'une couche flottante dans la fosse à lisier exerce également une incidence importante sur le dégagement de gaz toxiques. Il est profitable de ne pas détruire une couche flottante constituée vu que celle-ci réduit le dégagement de gaz toxique.

En procédant à un fréquent brassage du lisier, on lui apporte de l'O₂, ce qui stimule la fermentation [10].

Les gaz dissous et retenus dans le lisier sont donc soumis à un dégagement particulièrement intense des suites des manipulations suivantes [5]:

- **destruction de la couche flottante**
- **évacuation dans les canaux de retenue**
- **homogénéisation et transvasement par pompe**
- **rinçage des dépôts.**

Dans la pratique, on observe que des mélanges gazeux explosifs peuvent se concentrer localement dans les fosses [3]. Les gaz H₂S et CO₂ sont tous deux plus lourds que l'air. Pourtant, des expériences ont montré que ces deux gaz se répartissent globalement de manière équilibrée dans l'étable [11].

La dynamique des courants d'air provoqués par les systèmes de ventilation et les différences de température en résultant exercent une influence sur la répartition horizontale des gaz [11].

Le but poursuivi par des aménagements au niveau des constructions consiste à évacuer sans danger les gaz formés. On ne peut y parvenir que par ventilation (ventilation forcée ou ventilation par gravité). Il s'agit dans ce contexte d'éviter une ventilation insuffisante des angles morts. Il faut également assurer à tout prix une étanchéité aux gaz absolument parfaite entre la fosse à lisier et l'étable respectivement les

bâtiments. Dans cet objectif, les siphons et les vannes étanches rendent les meilleurs services. Les languettes en caoutchouc ne conviennent pas [13].

2. Système de mesure

Dans l'expérience présentée ici, les gaz ont été mesurés avec de petits tubes dénommés «tubes réactifs Dräger de détection des gaz» pour tracer NH₃, CO₂, H₂S et CH₄ et au moyen d'un appareil digital de mesure du H₂S. Au fil de l'expérimentation, des analyses ont également été faites par chromatographie en phase gazeuse.

Le tableau 2 et la fig. 2 font état des appareils de mesure utilisés dans le cadre des essais effectués. On a mesuré la circulation de l'air soit avec de la poudre fumigène, soit avec un tube fumigène. La mesure de la vitesse de circulation de l'air a été réalisée grâce à un anémomètre à hélices. Des échantillons de lisier ont été prélevés pour la détermination de la MS et de la valeur du pH.

La teneur en matière sèche (MS) a été déterminée après passage en étuve à 105° C pendant 24 heures.

Les mesures ont été tirées de trois exploitations en activité et disposant de lisier de bovins. Toutes les fosses à lisier étaient de forme rectangulaire et leur contenance était de 240 m³, 315 m³ et 360 m³. Deux exploitations pratiquaient une évacuation du fumier par voie liquide (étable à stabulation entravée), une exploitation faisait une évacuation du fumier par racleur pliant (étable à stabulation libre).

3. Résultats

Le déroulement des 5 essais a été le suivant:

La première mesure a été prise avant qu'un brassage quelconque ne soit effectué. Par la suite, le brasseur a été mis en service. Les événements sont restés clos à ce moment-là. 35 minutes après le début de la mise en fonction du brasseur, les événements ont été ouverts.

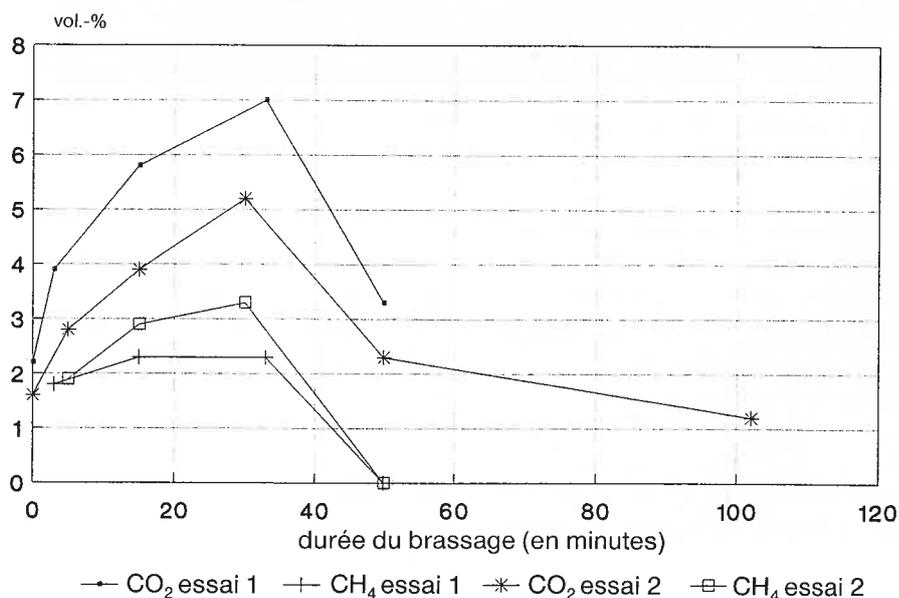


Fig. 3: Tracé des concentrations des gaz toxiques dans les essais 1 et 2.

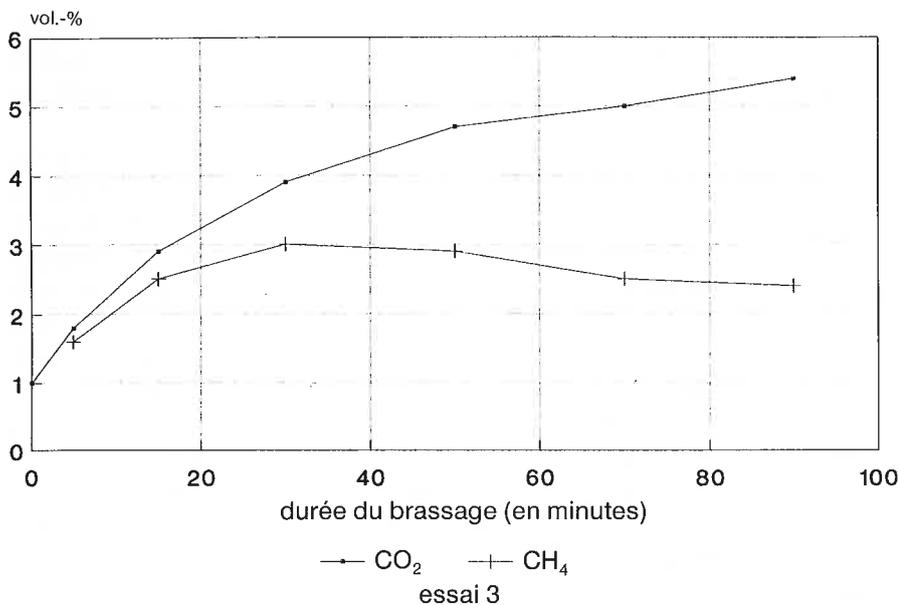


Fig. 4: Tracé des concentrations des gaz toxiques dans l'essai 3.

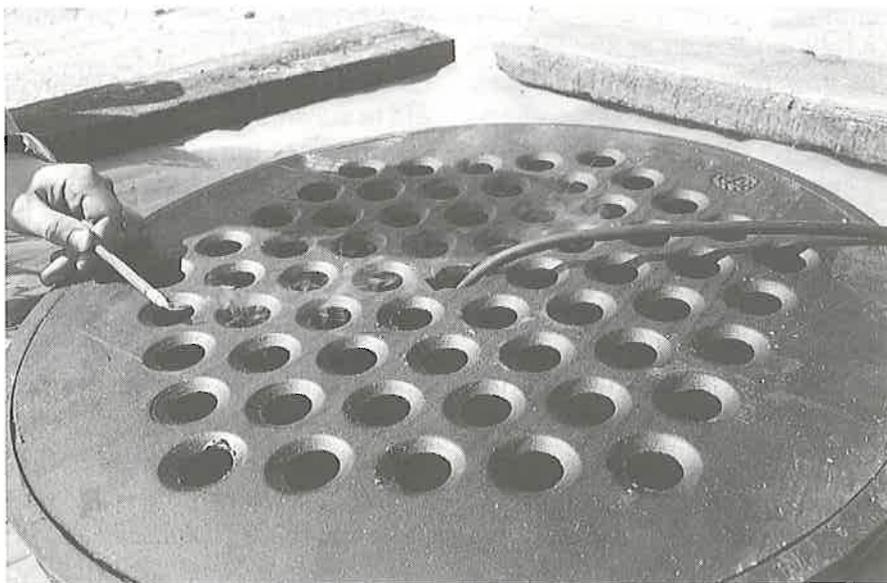


Fig. 5: Exemple d'une surface d'ouverture trop restreinte. L'air passe au-dessus du couvercle en fonte.

Les mesures ultérieures ont été prises alors que les événements étaient ouverts. Durant cette période de mesure, le brasseur a continué de fonctionner.

Les températures du lisier oscillaient entre 15 et 21° C. La production de méthane s'engage à la température de 15° C et atteint des valeurs critiques à partir de 20° C.

La fig. 3 fait état des concentrations des gaz CO₂ et CH₄. On a

choisi pour les essais 1 et 2 des ouvertures de 2×0,8 m² (calibre) pour une superficie de fosse de 100 m². Dans l'essai 1, on n'a pas recouru à des couvercles; dans l'essai 2, des caillebotis laissant passer 80% de l'air ont été installés.

Les ouvertures suffisamment grandes et correctement disposées garantissent une rapide baisse des concentrations des gaz juste après leur ouverture.

Cette réduction a pu être mesurée pour CH₄ et CO₂. Avec de telles ouvertures, même en présence de concentrations en gaz plus élevées au départ, une évacuation rapide et complète des gaz serait assurée. Cependant, on ne peut pas toujours trouver de telles conditions optimales dans la pratique. Pour cette raison, il faut ajouter une marge de sécurité à la superficie totale des ouvertures pratiquées. Tenant compte de tous les facteurs, il faut disposer d'une superficie d'ouverture de 2×1 m² par 100 m² de surface de fosse.

La fig. 4 montre les concentrations de gaz observées avec des ouvertures de 2×0,28 m² (calibre) et une superficie de fosse de 90 m². Dans ce cas précis, des couvercles ronds, en fonte, d'un diamètre de 60 cm (5 t de charge de roue) ont été testés.

Dans cet essai, la concentration en CH₄ ne baissa que très lentement. La concentration en CO₂ passa même de 4 vol.-% à 5,4 vol.-%. Le mélange du volume de gaz fut ainsi insuffisant. Des mesures de la dynamique des courants d'air révélèrent que les ouvertures pratiquées dans le couvercle en fonte étaient trop petites pour assurer un engouffrement suffisant d'air. Celui-ci fut repoussé au-dessus du couvercle (voir la fig. 5).

La fig. 6 montre les concentrations de gaz résultant d'une mise en place de cheminées d'évacuation. Deux types différents de cheminées (sans ventilateur, sans isolation) ont été mis au banc d'essai:

- au titre de l'essai numéro 4, des cheminées d'évacuation de 40 cm de diamètre et d'une hauteur de 4 m (fig. 7).
- au titre de l'essai 5, des cheminées d'évacuation de 15 cm de diamètre et d'une hauteur de 5 m (fig. 8).

Du côté opposé de la fosse se

trouvait un évent pourvu d'un grillage (aire d'ouverture de $0,6 \times 0,8$ m de calibre). Lors des essais faisant intervenir des cheminées d'évacuation, il fut également clairement démontré que la superficie des bouches d'aération était le facteur déterminant pour l'évacuation des gaz. Les concentrations des gaz ont chuté plus rapidement dans l'essai 4, par rapport à l'essai 5. Avec la cheminée dotée d'un plus petit diamètre, la concentration des gaz a chuté nettement moins rapidement. La baisse de concentration en CO_2 s'est ralentie de façon notable. En présence de concentrations de départ plus élevées, il y aurait donc eu un danger d'incendie ou d'explosion durant un certain laps de temps.

Tous les essais ont montré que le dégagement d' H_2S constituait un danger après le début du brassage et ceci durant une période plus ou moins longue (plus d'une heure).

Si on aménage des bouches d'aération, il faut tenir compte de

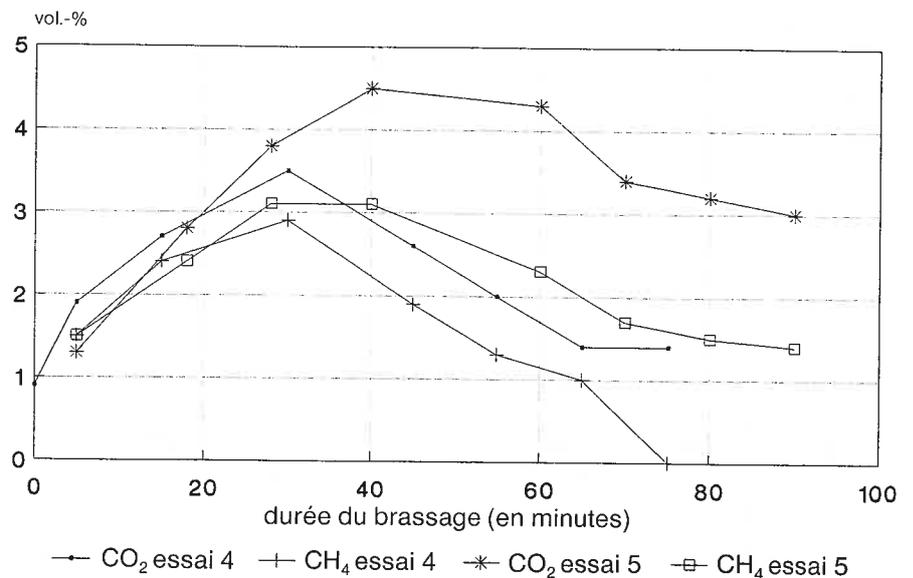


Fig. 6: Tracé des concentrations des gaz toxiques dans les essais 4 et 5 (avec des cheminées d'aération).

ce danger. Le H_2S se dégage par vagues successives. Des mesures effectuées à un mètre au-dessus de l'ouverture et latéralement par rapport à celle-ci ont nettement indiqué qu'un danger existe également hors de la fosse et que des concentrations

mortelles pouvaient s'accumuler (> 1000 ppm). Les enfants sont particulièrement exposés à ce danger.

La fig. 9 indique les concentrations en H_2S mesurées dans les essais 1 à 5.

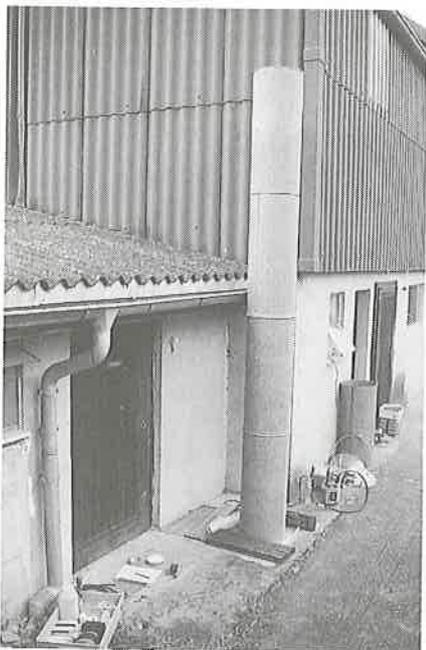


Fig. 7: Cheminée d'aération de 40 cm de diamètre (gauche). La fumée s'engouffre dans la cheminée puis est évacuée à l'extérieur (droite). Une alternative au caillebotis...



Fig. 8: ... mais avec un diamètre de 15 cm, ce n'est plus une alternative!

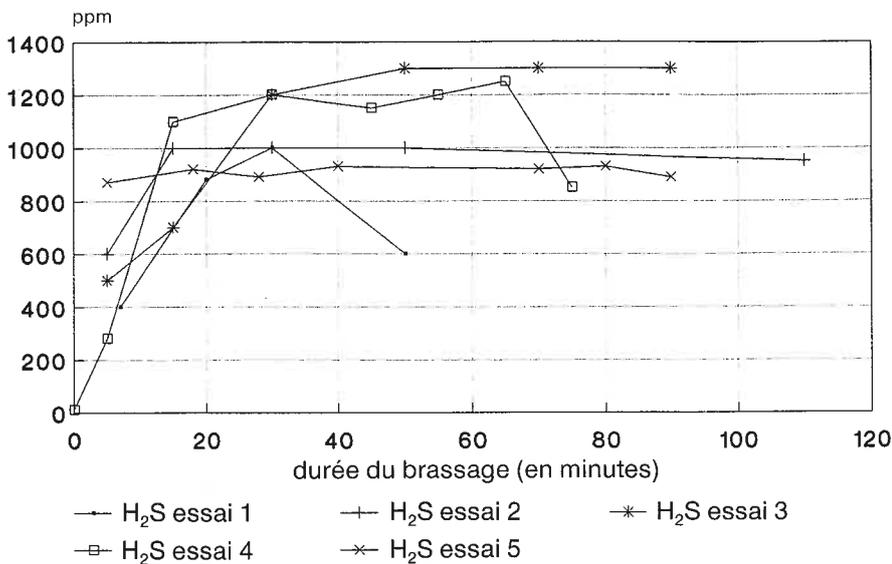


Fig. 9: Tracé des concentrations de H₂S dans les essais 1 à 5.

4. Conclusions

L'évacuation rapide de gaz hors des fosses à lisier ne peut se faire que par ventilation (par gravité ou forcée). Dans cette optique, il faut prévoir deux ouvertures. Celles-ci devraient être opposées l'une à l'autre et situées sur les petits côtés de la fosse. Une disposition en diagonale est, dans l'optique d'un

brassage d'air efficace également dans les angles morts, plus appropriée qu'une disposition dans les parties centrales des côtés.

Pour parvenir à une sécurité suffisante en matière d'évacuation des gaz, l'aire totale des événements (calibre) ne devrait pas être inférieure à 2% de la superficie de la fosse. En plus des caillebotis, les cheminées d'évacuation ont prouvé leur bien-fondé. Le dia-

mètre des cheminées en question ne devrait pas être inférieur à 40 cm.

Une ventilation forcée provoque l'évacuation des gaz la plus expéditive (fig. 10 et 11). Pour des raisons économiques, elle ne devrait intervenir que là où une aération pratiquée avec des ouvertures traditionnelles, respectivement avec des cheminées, se révèle trop peu concluante.

Les ventilateurs devraient être conçus en matériaux résistants à la corrosion et avoir une puissance nominale de 3000 m³/h. Les ventilateurs radiaux inexplosibles offrent la sécurité la plus grande.

La libération de H₂S intervient après le début du brassage et s'étend sur une période relativement longue (> 1 h). Un danger persiste à proximité des ouvertures. Il faut être attentif à la pose de conduites étanches (canal d'évacuation, WC, chambre à lessive etc.) pour éviter un engouffrement des gaz (en particulier du H₂S) dans d'autres parties des bâtiments.

L'expérimentation a montré que les **conditions** suivantes favorisaient une formation critique de gaz:



Fig. 10: Par une aération effectuée au moyen d'un ventilateur, l'air se trouve aspiré dans l'une des ouvertures...



Fig. 11: ... et soufflé par l'autre ouverture.

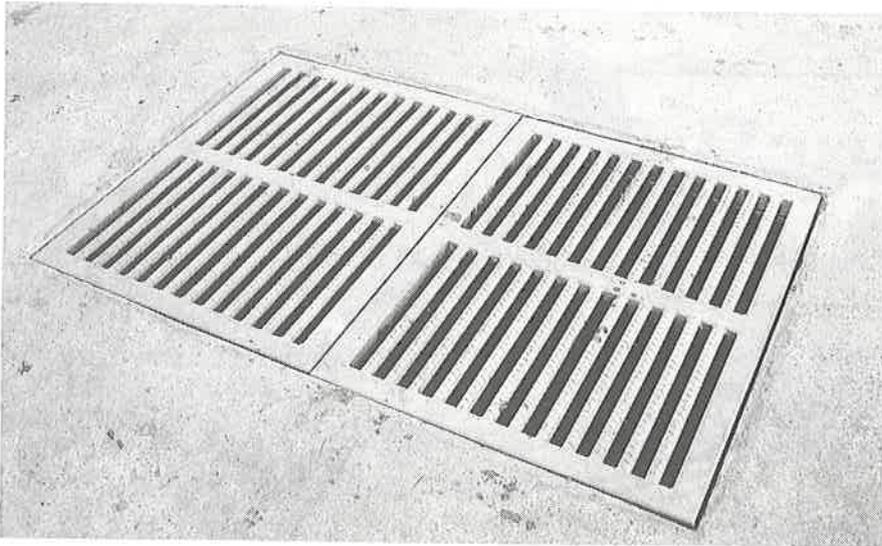


Fig. 12: 2 grilles normales d'une superficie de 80 cm x 120 cm.

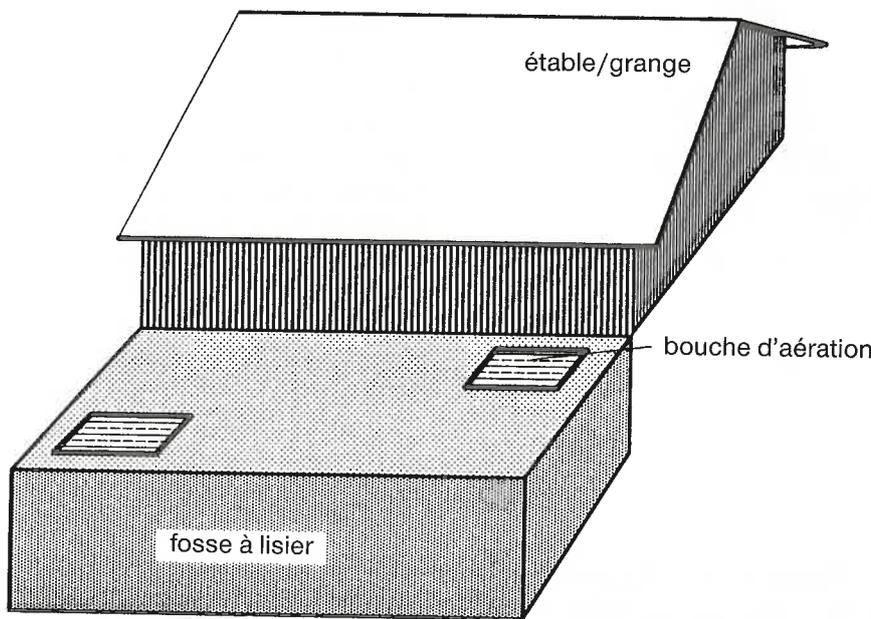


Fig. 13: Fosse à lisier sise latéralement par rapport au bâtiment: quand bien même le plafond de la fosse remplit diverses fonctions, la pose de 2 bouches d'aération opposées peut se faire.

- fosses à lisier exposées au soleil et soumises à des températures élevées ($> 20^{\circ} \text{C}$);
- température de lisier supérieur à 20°C ;
- pas d'aération conduisant à un échange de gaz et provoquant une surpression dans la fosse. Les gaz peuvent être comprimés dans des sec-teurs dangereux (étable, lo-

- caux annexes, installations électriques, etc.);
- il faut s'attendre à un danger maximal juste après le début du brassage;
- on devrait renoncer à effectuer un brassage par temps chaud et en l'absence de vent.

Les évaluations menées par le SPAA concernant les incendies et les explosions provoqués par

les gaz de lisier confirment les conditions susmentionnées influant un développement critique de gaz. Mais, pour qu'un mélange gazeux explose, il faut une source de chaleur.

Dans la plupart des cas, il s'agit du **brasseur** lui-même! Pour cette raison, il est absolument nécessaire que les connexions de moteur des brasseurs, que les systèmes de ventilation etc., soient étanches et que les commutateurs et les installations de commande soient sises en dehors de la zone d'émanation des gaz. D'autres causes d'inflammation connues sont le fait de fumer ou les travaux mécaniques tel que l'affûtage.

En ce qui concerne les **ouvertures d'aération**, on a pu pour l'essentiel confirmer les exigences mentionnées dans les prescriptions de prévention des accidents établies par le SPAA (brochures 7 et 7a).

- il faut, pour 50 m^2 de revêtement de fosse une aire totale d'évent, respectivement de grille, de 1 m^2 ;
- les bouches d'aération devraient se trouver à une distance minimale de 2 mètres des portes, fenêtres et ventilateurs;
- les cheminées d'aération doivent s'élever à un minimum de 2 mètres au-dessus du sol;
- conviennent en tant qu'ouverture seule les calibres de $80 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$ ou $80 \text{ cm} \times 120 \text{ cm}$ (fig. 12).

Avec ce type d'ouvertures, les exigences en matière d'escalier et de montage sont garanties;

- des couvercles en fonte ronds et perforés sont moins adaptés puisque la surface d'ouverture en cas d'utilisation de couvercles en fonte traditionnels est trop petite. Si de telles ouvertures sont malgré tout utilisées, il s'agit

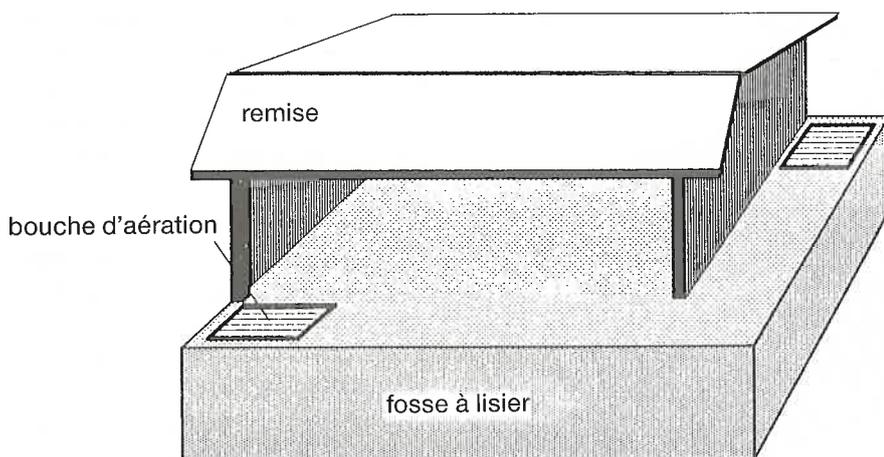


Fig. 14: Fosse à lisier sise sous la remise: effectuer un prolongement de la fosse au-delà du bâtiment est, à long terme, la solution la plus simple par rapport à l'introduction d'une ventilation forcée.

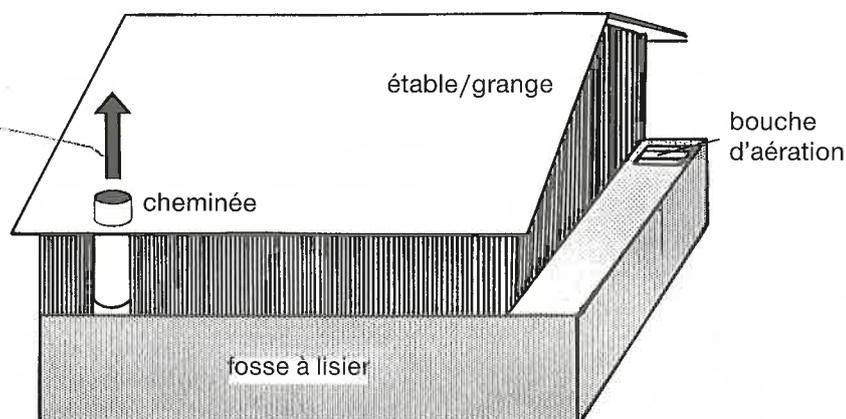


Fig. 15: Fosse à lisier sise complètement sous le bâtiment: exceptionnellement, suivant la topographie et la situation du bâtiment, une solution plus sûre consiste en la pose d'un ventilateur.

d'en prévoir plus de deux par fosse;

- **en tant que revêtement des bouches d'aération, des grilles et des couvercles résistants à la corrosion sont tout indiqués. 50% de la surface de la grille doit permettre un passage de l'air.**

Concernant la **localisation des bouches d'aération**, on se reportera aux solutions exposées au titre des fig. 13, 14 et 15.

Pour la variante de la figure 15, on peut en plus prévoir la pose d'un ventilateur. La localisation exposée - d'un côté, une cheminée d'évacuation et de l'autre côté,

une bouche d'aération traditionnelle - permet une plus grande ouverture totale par rapport à la pose de deux cheminées.

5. Bibliographie

- [1] Boxberger J., 1982: Unfälle durch Güllegase. *Praktische Landtechnik* 6, 181-184.
 [2] Fankhauser J. und Moser A., 1983: Studie über die Eignung von Biogas als Treibstoff für Landwirtschaftstraktoren. *Schriftenreihe der FAT*, Nr. 18.

[3] Wellinger A. und Kaufmann R., 1982: Biogasproduktion aus Schweinegülle in nicht beheizten Anlagen. *Blätter für Landtechnik* 198: 1-12.

[4] Wentworth R.L., 1981: Flammability of Mixtures of Air and Fuel Gas from Anaerobic Digestion. Paper presented at the scd. International Symposium on Anaerobic Digestion, 7. Sept. Travemünde.

[5] Hammer K., Mittrach B., Koller G., 1982: Lebensgefährliche Gase aus dem Flüssigmist. *DLZ* 4, 509-513.

[6] Scheller F., 1988: persönl. Gespräch mit der SUVA, Sektion Chemie, Luzern.

[7] Diekmann L. und Mannebeck H., 1983: Tödliche Gase aus der Gülle und wie sie vermeiden können. *Top Agrar* 7, 64-67.

[8] Zeemann G., Treffers M.E., Hahn H.D., 1983: Mesophilic digestion of dairy cow slurry. Poster paper at the seminar on anaerobic waste water treatment, Noordwijkerhout, NL.

[9] Iannotti E.L., Fischer J.R., 1981: Effect of feed additives and antibiotics on swine digesters. Annual Report of the North Central Regional Project, University of Missouri.

[10] Irps H., 1982: Schadgasmessungen im Güllebereich. *DLZ* 3, 326-327.

[11] Norén O., Skarp S.-U., Anansson G., 1967: Neure Erfahrungen nach JTIs Untersuchungen über das Mistgasproblem. *Schwedisches Institut für Landtechnik*, Zirkular 20.

[12] Unfallverhütungsvorschriften für Güllebehälter der Beratungsstelle für Unfallverhütung in der Landwirtschaft (BUL).

[13] Kupper K., 1983: Untersuchungen zur Qualität des Gummilappens als Geruchsverschluss von Treibmistkanälen in Milchviehställen. Semesterarbeit am Institut für Tierproduktion der ETH Zürich.