

En 7802

REDUCTION DES NUISANCES OLFACTIVES LORS DE L'ÉPANDAGE DU LISIER.

B. LEFEVRE (1), Michèle HEDUIT (2), C.R. BERNARD (3), J.L. ROUSTAN (4).

(1) C.T.G.R.E.F. - Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture, 14, avenue de St Mandé, 75012 PARIS

(2) G.I.D.A.- I.T.P. - M.N.E, 149, rue de Bercy, 75579 PARIS Cedex 12

(3) U.C.A.A.B. - Chierry - 02400 CHATEAU-THIERRY

(4) I.N.R.A. - Station de Recherches sur l'Élevage des Porcs, 78350 JOUY-en-JOSAS

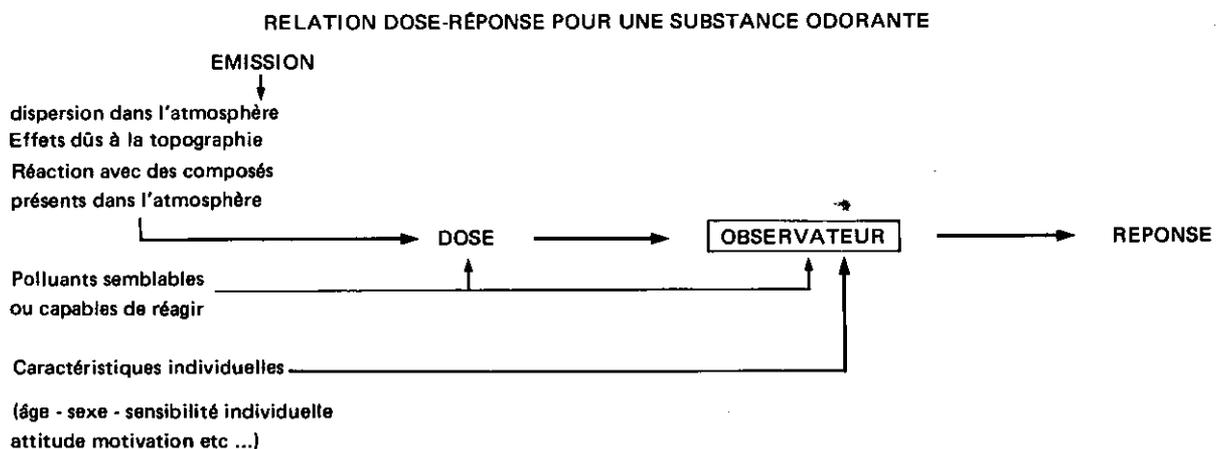
INTRODUCTION

Une nuisance peut se définir comme un phénomène jugé désagréable par les individus qui y sont confrontés et alors considérée comme une atteinte à leur bien-être. Contrairement à la pollution, ensemble de modifications qui dégradent plus ou moins durablement les qualités du milieu naturel la nuisance incommode généralement d'une manière épisodique et n'a pas d'effet destructif ou toxique.

L'épandage de lisier présente les caractéristiques d'une nuisance olfactive : odeurs désagréables et agressives mais épisodiques et non toxiques. Cependant, définir les nuisances atmosphériques reste du domaine des appréciations subjectives et la réponse observée dépend de nombreux facteurs.

Le schéma (1) dû à LINDVALL montre la relation dose-réponse pour une substance odorante. La réponse observée dépend d'une part de facteurs «objectifs» tels que la diffusion dans l'atmosphère, mais d'autre part de facteurs «subjectifs» que constituent «l'expérience» de l'observateur. Ce dernier point rend très difficile sauf dans les cas extrêmes, l'établissement de données quantitatives. La corrélation dose-réponse si elle existe, ne sera donc valable que pour une population définie de façon précise.

FIGURE 1



Ce schéma permet d'expliquer où se situent les problèmes des odeurs à l'épandage

— l'émission : elle a augmenté avec la taille des élevages, leur concentration en certaines zones, ainsi que le changement du mode d'exploitation (les fumiers sont moins odorants à l'épandage que les lisiers)

— la dispersion dans l'atmosphère : la dilution de l'odeur est le moyen le plus simple pour s'en débarrasser. Or cette dilution devient de moins en moins «possible» ; on ne peut concevoir autour des ateliers de productions un espace suffisant pour atténuer les odeurs.

— Les caractéristiques individuelles : la sensibilisation accrue de l'opinion publique à l'encontre de la «qualité de la vie» rend l'observateur plus exigeant vis à vis de la dose perçue.

La perception des odeurs dues aux ateliers de production animale a été accentuée par la concentration des bâtiments d'élevage sur des surfaces limitées et par l'augmentation de la densité d'animaux autorisée par les nouveaux types de bâtiments.

Or, l'utilisation généralisée de l'espace rural pour les activités de détente permet moins souvent d'utiliser la dispersion naturelle des odeurs dans l'atmosphère.

Le problème des odeurs occasionné par l'élevage s'est donc aggravé, bien qu'il ne soit pas un problème nouveau, puisqu'un des premiers exemples de jugement rendu en matière de pollution de l'air remonte à 1611 avec la condamnation par un tribunal anglais d'un accusé qui avait construit «une porcherie si près de la maison du plaignant que l'air en était corrompu» (P. GIBLIN).

Les nuisances olfactives liées à l'élevage se situent à deux niveaux.

— **Au niveau du bâtiment** l'origine de ces odeurs est multiple, liée à l'animal (odeur sui-généris) au type d'alimentation (lactosérum - eau grasse - farine (augmentation du taux de poussière) et aux déjections.

L'odeur du bâtiment peut être une gêne pour le personnel travaillant à l'intérieur ou vivant au voisinage de l'élevage. L'extraction de l'air vicié constitue une source permanente d'odeur dont l'intensité est généralement fonction du taux de renouvellement d'air dans le bâtiment. Il ne faut pas oublier que dans des cas heureusement très rares, on peut passer de la simple nuisance à un risque de pollution grave. (H_2S = plomb des vidangeurs) et le seuil de toxicité pour l'hydrogène sulfuré peut être atteint par exemple lors du brassage d'une fosse sous les animaux en cas d'aération insuffisante.

— **Au niveau de l'épandage** la source d'odeur est uniquement due aux déjections. L'épandage occasionne des nuisances olfactives à caractère épisodique mais dont l'effet peut atteindre des zones éloignées en fonction des conditions climatiques, de la période d'apport et de la superficie traitée.

Devant la complexité des facteurs impliqués il apparaît nécessaire de préciser les niveaux et les qualités de l'odeur.

Pour une odeur spécifique, nous définirons quatre paramètres permettant de la qualifier.

Qualité : par analogie avec les couleurs élémentaires, on définit un certain nombre d'odeurs de base :

- scatol : odeur fécale,
- triméthylamine : odeur de poisson,
- butyraldéhyde : odeur de pomme.

— **Acceptabilité** : seul paramètre, avec l'intensité, qui sert dans les déterminations de nuisance olfactive. Cette notion dérive de la qualité et est variable avec les individus.

— **Délectabilité** : c'est la concentration à laquelle l'odeur considérée peut être perçue. La détectabilité introduit la notion de seuil.

— **Intensité** : elle est liée à la concentration par une relation de la forme :

$$I = K C^n$$

où K = coefficient de l'individu
C = concentration
n = 0,6

Les moyens de mesure utilisés reposent sur deux modes d'approche fondés sur des méthodes sensorielles et des méthodes analytiques.

— **Les méthodes sensorielles** : vu le caractère subjectif de la réponse d'un observateur, on peut différencier deux techniques.

— La notion directe de l'intensité

- l'observateur affecte une note de 0 à 10 suivant la «force» de l'odeur perçue. (SOBEL, 1972 : 0 = absence d'odeur — 10 = odeur très forte)
- l'observateur donne une note de 0 à 4 (UCAAB : 0 = absence d'odeur — 4 = odeur du témoin)

— La détermination du seuil d'odeur : l'air odorant est dilué avec un air préalablement désodorisé jusqu'à obtenir une dilution à laquelle l'odeur n'est plus ressentie.

La méthode de dilution gazeuse a donné naissance à un certain nombre de dispositifs portables, capables d'être utilisés «in situ». Les résultats que l'on peut attendre de cette méthode concernent surtout la mesure de l'efficacité d'un traitement ou des études de dispersion.

Là encore le problème de l'épandage est rendu différent de celui des bâtiments, l'intensité d'odeur est beaucoup plus faible sur le champ qu'au niveau d'une bouche d'extraction.

Ces méthodes ne permettent de différencier que l'intensité de l'odeur.

— **Les méthodes analytiques** : bien que le «nez» soit un détecteur beaucoup plus sensible que les méthodes chimiques d'analyse, l'utilisation de techniques plus ou moins sophistiquées (CG — chromatographie en phase gazeuse — SM — spectrographie de masse) a permis d'identifier et de doser un certain nombre de composés présents au niveau de l'air des porcheries, ou dans les lisiers. Certes la liste des substances odorantes trouvées n'est pas exhaustive, d'autant que ces composés sont en général à des concentrations très faibles et leur détermination nécessite des «préconcentrations d'odeurs». La détermination des concentrations des divers composés peut donner une idée des composants caractéristiques, mais il est difficile d'établir quelle est la participation de chacun de ces composants à l'odeur perçue.

HILL et BARTH (1976) ont étudié le système (H_2S , NH_3 - $CH_3 NH_2$) qui est déjà très complexe et montre qu'une telle étude est sans intérêt pratique si l'on a plus de quatre constituants d'odeur.

C'est pourtant de ces mesures chimiques que l'on peut espérer obtenir un jour l'établissement de règles permettant de déterminer un seuil «d'acceptabilité» du lisier sur des concentrations seuils en certains composés. Il faut signaler dans ce sens les résultats obtenus par les chercheurs néerlandais, qui ont pu établir une corrélation au niveau de l'air des bâtiments entre la teneur en Paracresol de l'air et l'intensité de l'odeur perçue (exprimée en unité de dilution au seuil); la mesure de la teneur de l'air en paracresol est proposée pour se substituer au jury pour la mesure de l'efficacité des systèmes de désodorisation (SCHAEFER — 1976)

En l'état actuel des connaissances, bien que certaines corrélations aient pu être établies entre la concentration en un composé et l'intensité de l'odeur, les méthodes sensorielles seront, pendant longtemps encore, les seuls moyens d'approche.

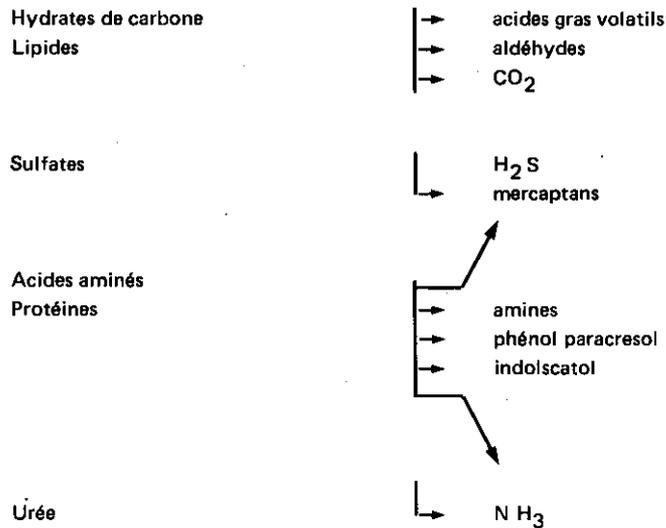
POURQUOI — QUAND ET COMMENT LES ODEURS DUES AU LISIER SE MANIFESTENT-ELLES ?

1^o/ Origine des odeurs

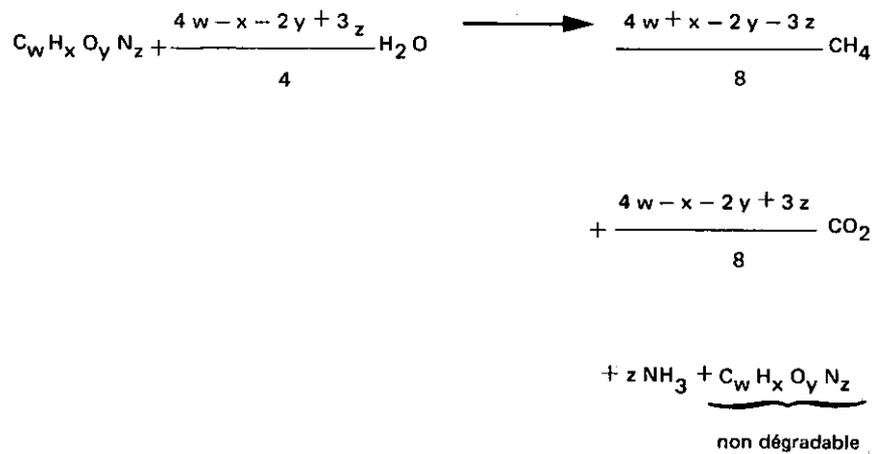
Le lisier frais stocké en l'état subit naturellement une fermentation anaérobie caractéristique d'un milieu liquide à forte charge organique. Cette fermentation produit des composés malodorants dont l'origine a été étudiée ainsi que leur évolution au stockage : certains sont présents dès l'émission des déjections (indols - scatol - phénols...), d'autres voient leur concentration évoluer au cours du stockage (acide gras volatils - hydrogène sulfuré).

Le métabolisme des fermentations anaérobies conduit à la formation de ces composés suivant la figure suivante :

FIGURE 2



L'équation de dégradation des composés par les microorganismes indigènes, pendant le stockage, peut s'écrire :



En fait, la dégradation qui se produit dans les conditions normales de stockage n'est pas aussi complète et l'on n'atteint pas l'étape génératrice de méthane mais on observe l'accumulation ou le maintien dans le lisier d'un certain nombre de composés organiques malodorants dont la liste non exhaustive est donnée dans le tableau 1.

TABLEAU 1

PRINCIPAUX COMPOSÉS ORGANIQUES IDENTIFIÉS DANS LES LISIERS DE PORC :

Acides gras	Acétique Propionique 2 méthyl propionique (isobutyrique) Butyrique Isovalérique Phénylacétique Valérique Phénylpropionique Benzoïque
Composé azotés	Indol Scatol Méthylamine Diméthylamine
Composés Soufrés	Méthylmercaptan Diméthylsulfure Diméthyldisulfure
Composés phénoliques	Phénol Paracresol 5 Ethyl phénol
Alcools	Methanol Ethanol Propanol

La plupart des composés odorants sont volatils et solubles dans l'eau (1 vol. H₂O peut dissoudre 670 vol. NH₃ gaz). Certains peuvent cependant être présents à l'état de microbulles de gaz incluses dans le liquide.

La diffusion de ces composés hors du liquide dépend, non seulement de leur concentration mais encore de facteurs caractéristiques du liquide tels que pH, viscosité, surface d'échange.

Le seuil de perception est variable suivant le composé.

TABLEAU 2

VALEURS SEUILS POUR QUELQUES COMPOSÉS

Composés	Valeurs seuils en ppm (en volume)
ammoniac	46
méthylamine	0,021
diméthylamine	0,047
hydrogène sulfuré	0,1

20/ Quand les odeurs se dégagent-elles ?

En stockage traditionnel non brassé s'il subit des fermentations anaérobies responsables de la formation des composés malodorants, le lisier dégage peu d'odeurs. En effet la surface de contact air-liquide est relativement faible comparativement au volume. Des échanges constants entre l'air et le lisier se produisent : un phénomène d'oxydation est amorcé sur une épaisseur de 1 à 2 cm.

Dès que le lisier est agité (ou brassé), la surface de contact air-liquide étant augmentée, les composés volatils se dégagent facilement.

Ce dégagement d'odeur se manifeste pendant les trois opérations suivantes :

- la reprise : le remplissage de la tonne
- le transport
- l'épandage

a) La reprise

Afin de prélever un produit le plus homogène possible et favoriser également la reprise, il est utile de mélanger le lisier. Cette opération nécessite un brassage important afin d'assurer la remise en suspension des sédiments et, éventuellement de « briser » la croûte qui peut s'être formée.

Le brassage peut se faire soit à l'aide d'un mélangeur indépendant (mixer - pompe - hacheuse canon...) ou par insufflation d'air si l'on dispose d'une tonne à vide.

Dans ce cas particulier, le dégagement d'odeur est maximal et la source peut être considérée comme ponctuelle.

D'après la loi FECHNER WEBER, l'intensité de l'odeur est proportionnelle au logarithme du stimulus qui généralement est la concentration en gaz. ($I = KC^n$)

La théorie de SUTTON sur la diffusion atmosphérique peut être appliquée :

La concentration en gaz et l'odeur perçue varie avec la vitesse du vent et diminue quand la distance augmente (SUTTON 1953)

$$C = \frac{2Q}{\pi K_y K_z u} x^{2-n} e^{-y^2 / K_y^2 x^{2-n}}$$

Q = flux du gaz polluant

K_y = coefficient de diffusion (sens du vent)

K_z = coefficient de diffusion (verticale)

X = distance (dans le sens du vent) de la source de pollution

n = index de turbulence (n = 0,25)

u = vitesse du vent

y = distance dans la direction du vent

b) Le transport :

Les odeurs qui peuvent être émises par les tonnes lors du trajet exploitation-champ sont essentiellement liées dans le cas de tonne à lisier à la propreté du matériel de transport.

Notons que les Allemands disposent de façon quasi-systématique d'aires de lavage sur lesquelles le matériel est nettoyé.

Cette propreté permet de limiter sinon de supprimer toute gêne vis-à-vis des tiers lors du transport.

c) l'épandage :

La répartition du lisier sur le sol est classiquement réalisée par éclatement du jet sur une palette. Le lisier est divisé en fines gouttelettes qui retombent sur le sol après avoir été projetées à une hauteur variable suivant le matériel, mais rarement inférieure à 2 m. Cette dispersion dans l'air favorise le dégagement des composés volatils. On compte que la perte en NH_3 peut être de l'ordre de 20% avec ce système d'épandage. (STEENBUIS - BUBENZER, 1976).

Le pourcentage de perte par volatilisation est fonction de la pression avec laquelle le lisier est éjecté et est d'autant plus important que la taille des gouttelettes de lisier est faible : ceci étant lié à la solubilisation de l'ammoniac. La diminution de la concentration en matière sèche permet de limiter le phénomène de volatilisation. (J. de LEVAL 1970 citant HERIOT)

A l'épandage deux formes d'émission d'odeurs peuvent être prises en considération :

- D'une part l'émission des composés volatils au moment de la dispersion du lisier,
- D'autre part le dégagement progressif des composés volatils une fois que le lisier est épandu.

Dans ce dernier cas, il faut tenir compte de la rémanence caractéristique de chaque composé. D'une manière générale l'odeur de lisier non traité persiste de 2 à 3 jours suivant les conditions climatiques favorisant ou non les pertes par volatilisation.

3^o/ Comment limiter ces nuisances olfactives :

Face à ces problèmes de nuisances deux attitudes sont envisageables. Soit on pense éviter tout risque d'odeurs au moment de l'épandage et on envisage d'appliquer ce que nous appellerons un traitement préventif, soit, pour des raisons propres à l'exploitant ou aux contraintes dues aux bâtiments, il est simplement possible d'utiliser un traitement curatif.

Les traitements préventifs consistent à éviter toute formation d'odeur. Ils doivent intervenir très tôt dès que le lisier est produit. Pratiquement les méthodes mises en cause consistent à maintenir des conditions d'aérobiose au sein du liquide soit au début soit pendant le stockage (cf. III 1). Lorsque l'aération est bien conduite, le lisier est désodorisé et peut être épandu sans nuisances.

Les traitements qualifiés de **curatifs** ne sont appliqués qu'au moment de l'épandage: Il est possible d'introduire dans le lisier des produits dits «produits d'addition», dont le rôle est d'éviter la perception des odeurs du lisier (masquants...) (cf. III 2).

L'apport de ces produits peut se faire soit dans la fosse de stockage, soit directement dans la tonne par un dispositif spécial.

Après épandage sur sol nu, le labour en recouvrant le lisier évite le dégagement des produits nauséabonds. Cette technique n'empêche pas les odeurs au moment même de l'épandage.

L'enfouissement, par contre, permet un épandage sans odeur, puisque le lisier déposé dans un sillon est aussitôt recouvert.

Notons que la projection du lisier au ras du sol permet de limiter les odeurs à l'épandage.

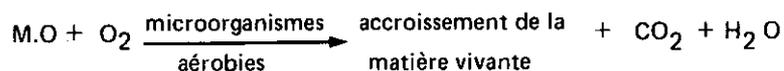
III - TRAITEMENT PRÉVENTIF

31/ Désodorisation par aération

Les composés volatils responsables des mauvaises odeurs proviennent principalement de la fermentation anaérobie du lisier, qui se produit naturellement dans les conditions de stockage habituelles.

En empêchant cette fermentation anaérobie, il est possible d'éviter la formation de ces composés. Pour ce faire, on favorise une évolution aérobie, par un apport suffisant d'oxygène.

En présence d'oxygène, une flore bactérienne aérobie se développe, utilisant les matières organiques contenues dans le lisier. L'évolution du milieu peut se traduire par l'équation simplifiée :



Cette transformation de matières organiques est à la base des traitements d'épuration aérobie des lisiers.

Dans le cas de la désodorisation, l'apport d'oxygène est limité. Les microorganismes aérobies peuvent se développer en suspension dans le milieu liquide, ou fixés sur un support solide.

Pour une culture bactérienne aérobie en suspension, l'apport d'oxygène se réalise à partir de l'oxygène dissous dans le liquide. L'oxygène dissous est consommé à une vitesse proportionnelle à la vitesse de croissance bactérienne et pour entretenir cette croissance, il est nécessaire d'apporter au milieu liquide une quantité au moins égale d'oxygène, par des systèmes d'aération variés (dispositifs d'insufflation d'air ou aérateurs de surface). En régime stationnaire, ce transfert d'oxygène dissous se traduit par les équations :

$$R = K^l T (C^l_s - C^*s)$$

$$\frac{dc}{dt} = K^l T (C^*s - C)$$

$K^l T$ est le coefficient de transfert d'oxygène dans le liquide à la température T.

R caractérise la respiration des microorganismes.

C est la concentration d'oxygène au temps t.

C^l_s est la concentration d'oxygène à saturation.

C^*s est la concentration d'oxygène à l'équilibre.

R dépend de la concentration en matière organique de l'activité des microorganismes et de la température T.

$K^l T$ est proportionnel au coefficient de transfert d'oxygène dans l'eau claire à la température T.

La capacité d'oxygénation d'un système d'aération caractérise la vitesse d'introduction de l'oxygène dans le milieu liquide dans des conditions données. Cette grandeur est généralement mesurée dans des conditions standard, à 10°C, pour de l'eau à teneur en O₂ nulle.

Dans un système aérobie, elle doit être au moins égale à la demande en oxygène du système.

Particularités de la désodorisation aérobie :

A la différence des traitements biologiques d'épuration, ce n'est pas la transformation des matières organiques qui est recherchée. Il n'est donc pas nécessaire de porter la culture bactérienne à un niveau de croissance optimum.

L'introduction d'air dans le liquide, qui constitue le principal apport énergétique, est limitée au maintien de la flore aérobie. Des travaux américains (Converse 1971) ont montré qu'un stockage sans odeur pouvait s'obtenir à un potentiel d'oxydoréduction compris entre -300 et -340 mV. (pH de 7,7 à 8,5).

Des mesures de potentiel rédox, effectuées sur des stockages aérés en France, indiquent qu'une bonne désodorisation se produit à des potentiels supérieurs à -300 mV (pH alcalins > 7,8). Le potentiel rédox d'un lisier non aéré stocké est généralement compris entre -500 et -400 mV.

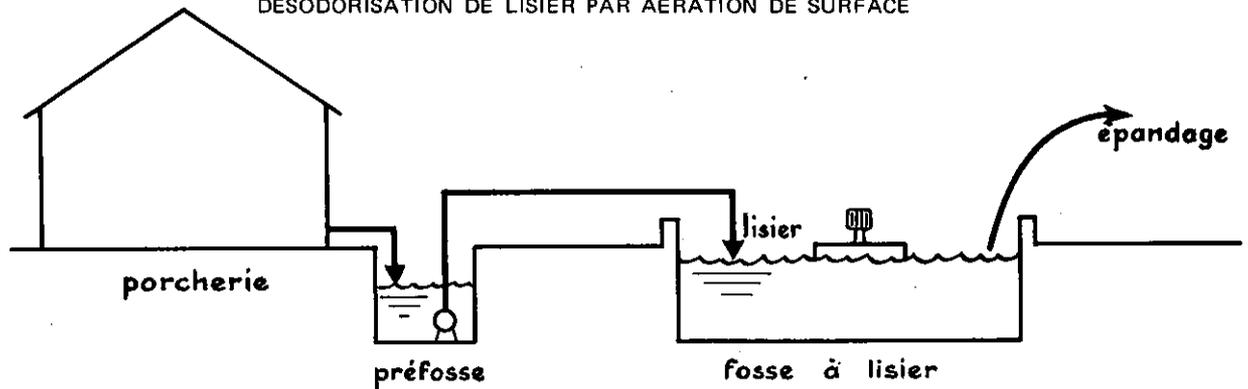
Cependant la mesure de potentiel d'oxydo-réduction est particulièrement délicate dans un milieu tel que le lisier aéré. Le potentiel d'oxydo-réduction du milieu est fortement affecté par la concentration en oxygène dissous, ainsi que par la température. La concentration en oxygène dissous est comprise dans un intervalle de 0 à 2 mg/litre. Dans la plupart des cas, une désodorisation suffisante est obtenue pour des valeurs moyennes variant de 0,5 à 1 mg O₂/litre. La mesure de ces teneurs en oxygène dissous est cependant délicate. Elle doit se faire lorsque le lisier est agité.

Un apport minimum d'oxygène suffit donc à assurer la désodorisation plus ou moins complète du lisier stocké. BALLAY et al. (1974) estiment qu'une capacité d'oxygénation de 7 à 10 g/heure et par porc logé assure une bonne désodorisation.

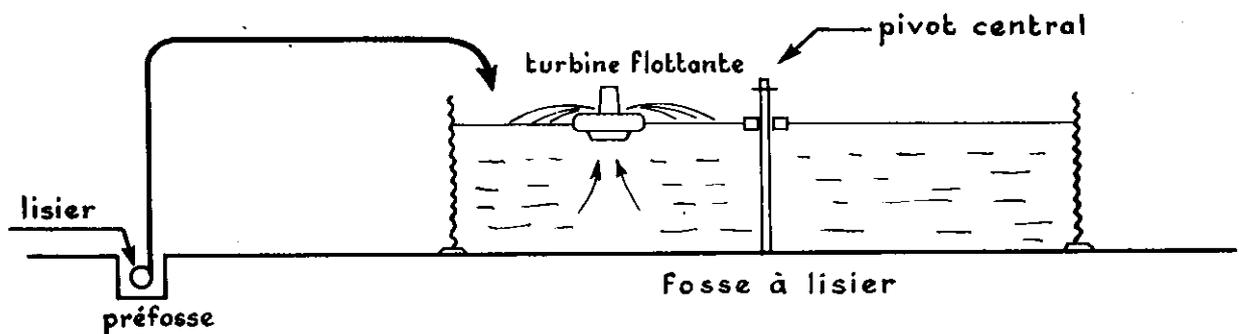
L'apport d'oxygène dans le milieu se fait différemment suivant le mode de croissance des microorganismes, fixés ou en suspension.

FIGURE 3

DESODORISATION DE LISIER PAR AERATION DE SURFACE



Turbine flottante centrale



Turbine flottante en manège

32/L'aération de surface :

Le lisier généralement recueilli dans une préfosse est envoyé dans un bassin de stockage à ciel ouvert. En stockage aéré l'introduction d'air est réalisée par une ou plusieurs turbines, généralement flottantes, afin de permettre une variation du volume stocké. (Une turbine fixe ne permettrait pas de faire varier le volume contenu dans la cuve.)

Les turbines peuvent être installées au centre du bassin, ou montées en manège autour d'un pivot central.

Ce matériel se définit, entre autres, par trois caractéristiques :

- La capacité d'oxygénation (quantité d'oxygène apportée par unité de temps).
- La capacité de brassage (possibilité de mise en suspension des particules du lisier stocké, de façon à éviter toute zone morte où le lisier pourrait décanter).
- La puissance spécifique qui est le rapport de la puissance absorbée au volume de liquide brassé.

L'expérience a montré que pour une installation à volume variable, l'apport d'oxygène nécessaire au maintien de conditions aérobies correspond à une consommation électrique de 70 à 80 Wh par équivalent - porc de 70 Kgs et par jour, (soit 7 à 10gO₂/porc/h) (CT GREF).

On compte en général, pour une turbine rapide, qu'une puissance installée de 15-20W/m³ de bassin permet d'obtenir une bonne désodorisation. Mais, pour une telle puissance, si la capacité d'oxygénation est suffisante, la capacité de brassage ne l'est généralement pas. La puissance nécessaire à l'agitation sera supérieure à celle qui a été calculée pour l'aération, soit une puissance installée de 25 à 30W/m³ (turbines lentes et turbines rapides).

La puissance installée peut être diminuée par la mise en place de matériel performant.

Les turbines lentes (à réducteur de vitesse) ont une meilleure capacité de brassage.

On peut utiliser également le principe de la turbine en manège (la turbine flottante pivote autour d'un poteau central auquel elle est reliée par un bras mobile). Le mouvement circulaire est entretenu par la rotation de la turbine.

Dans ce cas, la puissance installée pourrait être diminuée de 5 W/m³.

Le tamisage du lisier frais, en éliminant les particules en suspension les plus volumineuses (40% des MES > 400 μ STAMBOULI - 1974) permet aussi de diminuer la puissance nécessaire au brassage d'environ 5 W/m³.

Résultats :

On a constaté qu'une teneur en oxygène dissout inférieure à 1mg/l (10% de la saturation) au cours du stockage était suffisante pour obtenir une désodorisation satisfaisante. Pratiquement, c'est la capacité de brassage qui est le paramètre limitant pour déterminer la puissance installée de la turbine. Un aérateur fonctionnant en continu introduirait une quantité d'oxygène excédentaire par rapport aux besoins du traitement. Auquel cas, il est possible d'évaluer le temps de fonctionnement de l'aérateur qui permettrait l'introduction de la quantité d'O₂ souhaitée. La marche de l'installation est discontinue : l'aérateur fonctionne de 40 à 60% du temps. L'aération peut être programmée par séquences horaires ou journalières. Quand l'aération est séquentielle, à la reprise d'agitation, on observe un dégagement d'ammoniac dont la concentration n'atteint pas des seuils gênants.

Le lisier aéré a une couleur brun foncé, un pH alcalin et ne laisse pas d'odeur tenace.

Lorsque le traitement du lisier est effectué dans une préfosse (aération continue) pendant une quinzaine de jours, le lisier peut ensuite être stocké sans reprise d'odeurs pendant un à deux mois, si la concentration en oxygène dissout pendant l'aération est au moins égal à 50% de la saturation.

Dans le premier cas, la désodorisation s'accompagne d'un certain nombre de modifications des caractéristiques physico-chimiques du produit :

- réduction de la charge polluante : la DBO₅ est diminuée de 70%, la DCO de 40 à 60%.
- réduction de la teneur en azote (azote Kjeldhal) par ammonification et dégagement gazeux d'ammoniac. Cette perte d'azote varie avec le réglage de l'aération et peut aller jusqu'à 60% de la charge initiale.

Ainsi, cette réduction de la charge azotée peut permettre d'envisager des épandages à plus fortes doses, donc de réduire d'autant les surfaces d'épandage nécessaires (azote : élément limitant). La réduction de charge polluante limite les risques de pollution organique des cours d'eau (ruissellement, drainage).

Exemple de calcul d'aération pendant le stockage

Soit une porcherie de 500 porcs à l'engraissement (70 kgs), soit une production de 1300 porcs par an.

On envisage un stockage d'une durée de 60 jours.

La quantité de lisier produite en 60 jours sera de $60 \times 500 \times 7 \text{ l.} = 210 \text{ m}^3$

Le volume de lisier produit est de 210 m³, mais le volume de la cuve doit être plus grand :

- Une certaine quantité de liquide doit demeurer au fond de la capacité afin d'assurer la flottaison de la turbine (50 cm de tirant d'eau).

- On doit prévoir une marge entre le niveau haut de stockage et le bord de la cuve (20 cm)

Donc pour une hauteur utile de 3 m, on prévoiera une hauteur supplémentaire de 70 à 80 cm. Dans ce cas, le volume à aérer et à brasser sera de 250 m³ à 300 m³ environ (suivant le type de fosse installée).

● Puissance de brassage :

Plusieurs possibilités se présentent : turbine lente ou rapide, en manège ou centrale, avec ou sans tamisage préalable du lisier.

Utilisant une turbine rapide sur lisier non tamisé, on prévoiera une capacité de brassage de 30 W/m³, soit une puissance installée de 7,5 KW minimum. (Pour 25 W/m³, on pourra utiliser une turbine lente ou une turbine en manège de 6,25 KW)

● Capacité d'oxygénation :

On estime qu'une puissance de 80 Wh/porc et par jour sera suffisante pour assurer la désodorisation. Cette grandeur sera utilisée pour déterminer la durée de fonctionnement de la turbine.

Pour 500 porcs de 70 kg présents, la puissance journalière nécessaire pour une bonne désodorisation est de :

80 Wh x 500 porcs par jour, soit 40 KWh/jour,

ce qui équivaut à un temps de fonctionnement de :

- pour une turbine rapide : $\frac{40 \text{ KWh/j}}{7,5 \text{ KW}} = 5 \text{ h } 20$ de fonctionnement journalier

- pour une turbine lente : $\frac{40 \text{ KWh/j}}{6,25 \text{ KW}} = 6 \text{ h } 30$ de fonctionnement journalier

Ce temps de marche quotidien doit être fractionné de manière à éviter de trop longues périodes en anaérobiose. Pour des raisons économiques, il faut également favoriser le fonctionnement en heures creuses (8 heures par jour).

Ainsi, pour 6 h 30 de fonctionnement, on peut envisager 4 heures de fonctionnement la nuit et le reste en heures normales de jour. La meilleure solution est d'adopter un fonctionnement à périodes marche/arrêt assez courtes (30 mn). Dans ce cas : 4 heures de fonctionnement de nuit avec une séquence arrêt/marche de 30 mn chacune, et 5 périodes de marche de 30 mn dans la journée.

Ce calcul n'est qu'un exemple ; le temps d'aération journalier doit être ajusté à la charge réelle en eq. porcs de la porcherie considérée.

33/Aération sur lit bactérien

Ce procédé consiste à faire ruisseler le lisier à aérer sur un matériau présentant des vides suffisants pour permettre à l'air de circuler dans la masse.

Le lit bactérien est caractérisé par sa surface spécifique qui s'exprime en m² de surface de matériau par m³ de lit.

Pour avoir une surface de contact air-lisier optimale, on considère qu'il faut un pourcentage de vide de 80% environ. Cependant, si l'on peut diminuer cette proportion, il est surtout nécessaire que l'espace entre les parois soit d'au moins 1,5 cm (afin d'éviter les colmatages).

On estime en général, qu'il est nécessaire de disposer d'un volume de lit de 1 m³ pour 20 à 30 m³ de stockage. La charge hydraulique (débit de lisier en m³ par m² de surface supérieure du lit) doit être suffisante pour éviter les dépôts qui pourraient se produire à l'intérieur des canaux.

On peut employer des briques creuses, des matériaux plastiques de type nid d'abeille ; des fagots, liteaux, etc ... disposés en lits.

Il est nécessaire de tamiser le lisier recueilli dans une préfosse, avant le traitement. En effet, les grosses particules colmateront rapidement le lit, ce qui réduirait considérablement son utilité. Le lisier tamisé, stocké dans le bassin circule un grand nombre de fois sur le lit bactérien en retournant par gravité, à chaque passage dans la capacité de stockage. Le lit bactérien sera le siège de deux phénomènes : aération du lisier par ruissellement et contact avec l'air, et développement d'un film biologique appelé « Zooglyée » qui consomme une partie de la matière organique du lisier et participe ainsi à la désodorisation.

Il est indispensable de prévoir un système de brassage dans le bassin de stockage, de façon à éviter le dépôt de boues évoluant en anaérobiose.

Résultats

Ce procédé, bien qu'éliminant les odeurs nauséabondes, laisse subsister une odeur de fond plus intense qu'avec l'aération de surface.

Le liquide désodorisé par aération sur lit bactérien a des caractéristiques voisines du lisier provenant d'un stockage aéré par turbine : la charge polluante globale est proportionnellement moins réduite que dans le cas précédent (50% pour la DBO₅ et 30-40% pour la DCO). Les pertes d'azote sont, quant à elles, comparables (50%).

Cette technique est assez sensible aux conditions atmosphériques (risque de blocage de l'installation en période de gel, amélioration du rendement global en période chaude).

Il faut également faire très attention lors d'un traitement massif des animaux aux antibiotiques : la zooglyée est beaucoup moins résistante aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées.

L'exploitation du système est assez délicate, à cause de la gêne causée par les matières en suspension (risques de colmatage, et surtout dépôts anaérobies dans la capacité de stockage).

Exemple de calcul

Pour présenter un exemple de calcul, nous nous situons dans une exploitation de 500 porcs à l'engrais disposant d'un stockage de lisier de deux mois. La fosse sera donc d'un volume de 250 m³.

1°/ L'aération :

Pour traiter le lisier, le lit bactérien aura un volume de 10 m³ environ ($250/20 \cong 10$).

Dans la fosse de stockage, un système de brassage sera installé : il semble qu'un moteur de 0,75 KW soit suffisant pour assurer la rotation du bras.

Le liquide qui vient de ruisseler sur le lit retourne gravitairement dans la fosse de stockage. Pour remonter le lisier et le répartir sur la surface du lit, il faut prévoir une pompe de 1,5 KW.

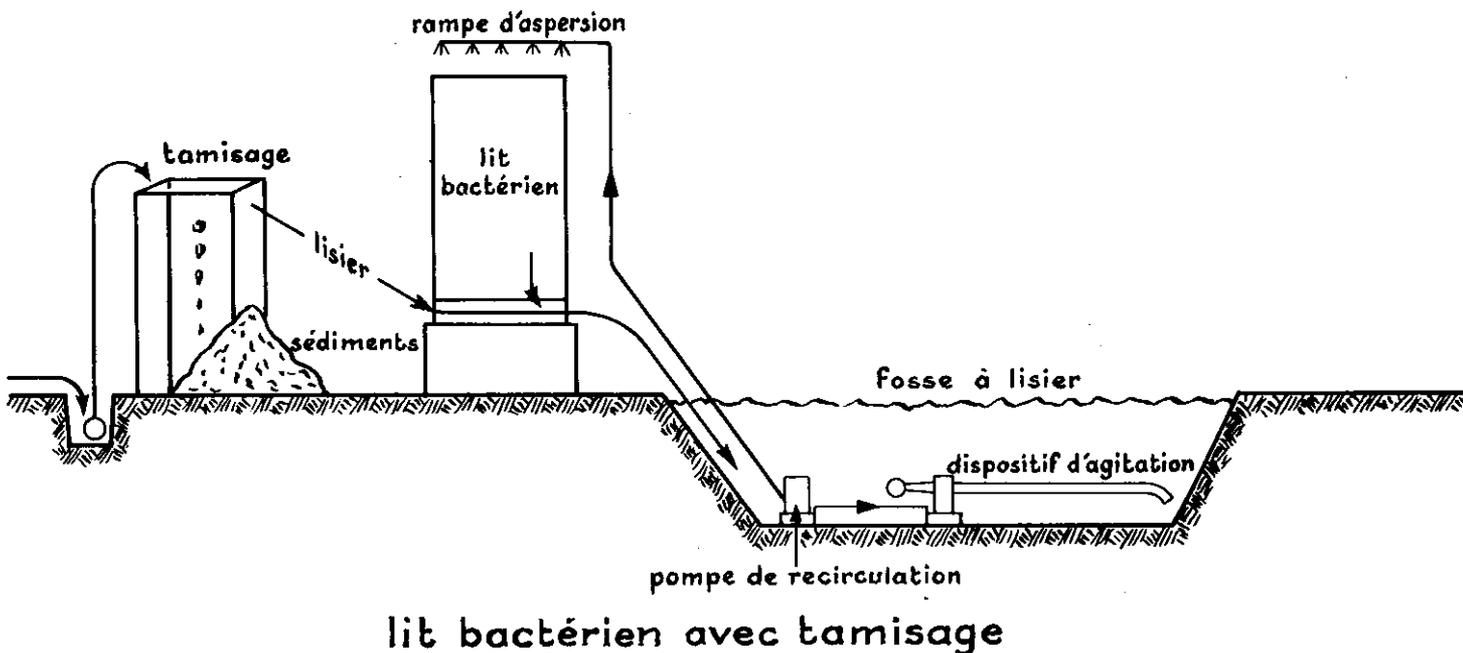
2°/ Le tamisage :

Ce poste est impératif en raison du ruissellement.

Le matériel à utiliser est fonction du choix de chaque exploitant. Il faut seulement penser à un équipement complémentaire qui est la pompe d'alimentation et, suivant le type de tamis installé, il faut prévoir un trop plein ou une préfosse jouant le rôle de trop plein.

FIGURE 4

DESODORISATION DE LISIER PAR AERATION SUR LIT BACTERIEN



34/ Traitements par insufflation d'air :

Dans ce type particulier de systèmes, l'air est injecté au sein du liquide, soit par un phénomène de dépression soit par surpression.

Dans le cas d'une alimentation par surpression, l'air comprimé fourni par un surpresseur est introduit dans le lisier à l'aide d'orifices de diamètre plus ou moins fins (diffuseurs) et situés au fond de la cuve de stockage. Jusqu'à présent, ces systèmes ont été peu employés pour le stockage aéré.

Quand l'air est introduit par dépression, celle-ci est créée par un équipement de brassage immergé (turbine- pompe- hélice).

Ce système de brassage assure ensuite une dispersion de l'air au sein du liquide. Les dispositifs utilisés peuvent être fixes, flottants ou suspendus. La formation de mousses (30 cm à 1 m) à la surface du liquide assure une certaine isolation thermique de la masse traitée. On constate une élévation de température pouvant aller jusqu'à 35° C : c'est ce que l'on peut qualifier de traitement tiède. Cette élévation de température conduit au développement préférentiel d'une flore aérobie mésophile qui assure une dégradation plus rapide de la matière organique. Corrélativement, on constate une perte en eau par évaporation de 20% environ qui conduit à réduire le volume à épandre et à augmenter la teneur en matière sèche. Il se produit également une flottation due aux microbulles d'air qui, en remontant, entraînent les particules les plus légères.

Les matériels utilisés sont caractérisés par les mêmes paramètres que les aérateurs de surface. La capacité d'oxygénation en eau claire mesurée dans les conditions standards est sensiblement inférieure à celle des aérateurs de surface de puissance équivalente.

Il en est de même pour l'apport spécifique brut. Mais du fait de l'élévation en température, les rendements en désodorisation et en abattement de charge polluante sont au moins équivalents.

Ce type de procédé a souvent été utilisé pour stabiliser le lisier avant stockage («stabilisation thermophile»). Le traitement peut être envisagé soit dans des fosses extérieures soit sous les caillebotis si la compacité de l'appareil et le volume des caniveaux le permettent. Dans les deux cas, il semblerait que, suivant le temps de fonctionnement des aérateurs la stabilisation puisse être obtenue entre 8 et 15 jours.

Actuellement le traitement par insufflation d'air aurait tendance à être envisagé en aération pendant le stockage. Cependant, nos connaissances et notre expérience sont trop récentes pour que l'on puisse en tirer des conclusions.

Résultats

Dans le cas d'une stabilisation avant stockage, l'opération permet une réduction d'odeur très comparable à celle obtenue par aération de surface. Le taux de réduction de la charge polluante globale est plus important que pour les autres procédés : 80% pour la DBO₅ - 60% pour la DC0.

Les pertes en azote sont également importantes du fait de l'élévation de température qui rend les composés plus volatils.

Exemple de calcul

Prenons toujours l'exemple d'une exploitation de 500 porcs à l'engrais produisant en moyenne 7 litres de lisier par jour.

1°/ Volume de la cuve de traitement.

Si l'on estime que la durée du traitement est de 10 jours, le volume utile sera donc de :

$$7 \times 500 \times 10 = 35 \text{ m}^3$$

Nous prendrons donc une cuve de 40 m³, ce qui nous permettra de prévoir la hauteur de mousse et les 20 cm de protection.

L'aérateur installé aura une puissance de 3,2 KW

2°/ Volume de la fosse de stockage.

Le lisier traité dans ces conditions est normalement stabilisé et peut être stocké sans risque de reprise d'odeur. Pour un stockage de 2 mois nous prévoirons un volume de 210 m³ (60x500x7).

Cependant, compte tenu de la réduction de volume par évaporation, il sera possible de ne disposer que d'une fosse de 200 m³.

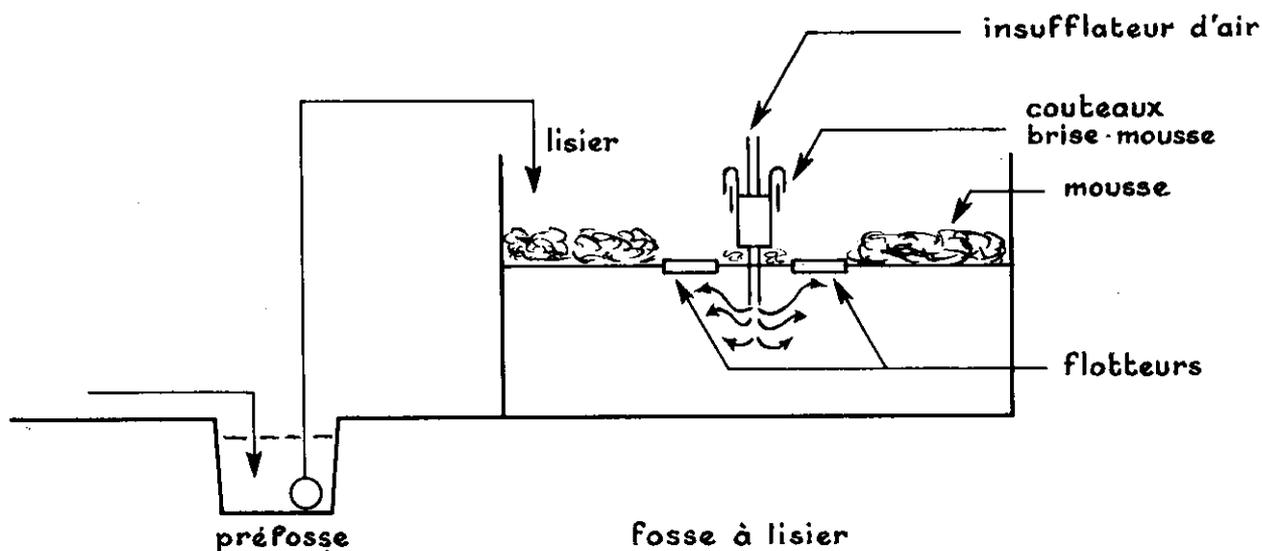
*

* *

Ces trois traitements sont tous générateurs d'investissements. Convenablement mis en oeuvre, ce sont eux qui offrent le maximum de garanties.

FIGURE 5

DESODORISATION DU LISIER PAR INSUFFLATION D'AIR (traitements tièdes)



IV - TRAITEMENTS CURATIFS

Ces traitements font opposition aux traitements préventifs dont le but était d'éviter la formation des odeurs.

Les traitements que nous qualifierons de curatifs consistent à limiter, voire à supprimer la perception ou le dégagement des composés volatils présents au moment de l'épandage.

Il est possible d'intervenir par l'adjonction des produits désodorisants ou par des techniques d'épandage appropriées.

1°/ Désodorisation par produits d'addition

Les produits utilisés peuvent se différencier en deux types :

- les produits d'addition « simple » : c'est-à-dire qui ne sont pas vendus sous une marque commerciale
Exemple : chaux- soude- acide phosphorique ...
- les produits commerciaux classés en trois catégories :
 - les produits désinfectants ou produits bloquant l'émission d'odeurs.
 - les produits dits « biologiques » dont l'introduction correspond à un apport d'une flore particulière (ex. *Bacillus subtilis*).
 - les agents de masquage qui superposent aux odeurs du lisier leur propre odeur.

Ces différents produits peuvent agir selon trois types d'action :

- le blocage des fermentations anaérobies, soit par oxydation de certains composants (oxydants puissants) soit par modification du pH ou de la flore rendant les conditions du milieu impropres aux fermentations.

- le masquage des odeurs par des agents chimiques appropriés (ex. combinaison des molécules du produit sur les sites actifs des molécules odorantes du lisier.)
- l'orientation des fermentations du lisier stocké vers des réactions biochimiques inoffensives sur le plan olfactif.
- l'inhibition de la perception des odeurs (anesthésique des papilles olfactives).

Résultats :

Plusieurs études expérimentales concernant l'efficacité de ces produits ont été réalisées, en particulier par l'UCAAB.

Les conclusions qui peuvent être émises montrent que l'efficacité de ces produits est très variable suivant les conditions : dilution du lisier, âge du lisier et conditions climatiques.

Les produits chimiques et biochimiques ont un rendement nul ou médiocre eu égard à leur prix de revient.

Les agents masquants ou désinfectants semblent être les seuls efficaces pour le rapport efficacité-prix de revient.

Le tableau 3 présente les résultats obtenus sur un type de lisier.

TABLEAU 3

EFFICACITÉ (1) COMPARÉE DE CERTAINS PRODUITS D'ADDITIONS

(D'après Bulletin Technique UCAAB n° 1 - 1976)

TYPE Dénomination	PRODUITS SIMPLES	PRODUITS DÉSINFECTANTS ET AGENTS DE MASQUAGE	PRODUITS BIOLOGIQUES
Acide phosphorique	< 0,2	/	/
Charbon actif	< 10		
Chaux	< 1		
Chlorure ferrique	< 0,25		
Cyanamide	< 1		
Mono-chlorobenzène	10		
Para-formaldéhyde	< 1		
Soude	< 10		
Sulfate d'ammoniaque	< 1		
A	/	20	/
B		5	
C		5	
D		< 0,5	
E		< 1	
F		10	
G		.	
H		5	
I		2	
J		< 2	
K		5	
B 1	/	/	< 1
B 2			< 1
B 3			< 1
B 4			< 1
B 5			2

(1) Dose d'efficacité en m3 de lisier traité/kg de produit

Tous ces produits doivent être ajoutés avant l'épandage soit dans la fosse de stockage en assurant un mélange intime lisier-produit soit par un dispositif spécial assurant l'incorporation du produit pendant le remplissage de la tonne. Suivant les produits le temps de contact recommandé par les fabricants peut varier. Cependant, il est impératif d'assurer une bonne homogénéisation entre le produit et le lisier.

Compte tenu des doses d'utilisation, l'adjonction de ces produits n'entraîne pas de modification de la composition du lisier.

L'incidence de l'incorporation de ces composés à du lisier devant être épandu, n'est pas connue ni sur le plan agronomique ni sur la possibilité de retrouver des résidus dans le cycle alimentaire.

L'utilisation de substances biodégradables permettrait de supprimer ces questions relatives aux risques de toxicité.

2°/ L'enfouissement

L'enfouissement du lisier peut être assuré par retournement du sol en épandage de surface. Ce procédé permet de réduire la persistance des odeurs, mais n'affecte en rien les nuisances olfactives occasionnées par l'épandage lui-même. Par ailleurs, cette possibilité de travail du sol ne peut être appliquée que sur sol nu.

L'enfouissement par injection dans le sol supprime les deux sources d'odeurs à l'épandage. Le matériel commercialisé permet une fumure même lorsqu'une culture est en place : mais après la levée- prairies ...

L'injection évite les risques de brûlures sur les plantes, l'inappétence de l'herbe vis à vis des animaux et surtout permet de faire pâturer sans attendre 15 jours à trois semaines après un apport de lisier comme c'est le cas lors d'un épandage classique.

a) Technique d'injection : le matériel

L'injection du lisier dans le sol, à une profondeur de 20 à 25 cm, est assurée par une canalisation descendant le long d'une dent travailleuse. Deux types peuvent être utilisés.

- sur tout type de sol (nu ou couvert de végétation) les dents de type sous soleuse sont préférables. Elles sont précédées d'un couteau circulaire qui favorise l'ouverture du sillon sans arrachement superficiel.

- sur les sols labourés (sans végétation) le matériel d'injection peut être équipé de dents type canadien ou chisel.

La barre « porte-outil » peut être située à l'avant ou à l'arrière de la tonne.

La hauteur de la barre est réglable par vérin hydraulique. Généralement elle est équipée de 5 dents, espacées de 40 cm environ (le lisier diffuse sur 20 cm de part et d'autre du sillon). Pour assurer une bonne traction il faut disposer d'un tracteur de 70 CV minimum (40 CV pour la tonne et 30 CV pour le matériel d'enfouissement : 5 CV supplémentaires par couteau enfouisseur).

Le lisier s'écoule de la tonne soit par gravité soit par surpression d'air. Le débit peut être variable (modification de pression ou réglage par ouverture de vannes) mais toujours suffisant pour éviter les colmatages qui se produisent dans les canalisations. Il est fortement recommandé (si l'enfouissement n'est pas pratiqué avec du lisier tamisé) d'utiliser une pompe broyeuse hacheuse qui permet une dilacération des particules les plus grosses.

b) Avantages et inconvénients

Ce matériel présente, pour un investissement relativement modeste, des avantages certains quant à la réduction sinon à la disparition de nuisances olfactives à l'épandage ce qui permet d'enfouir le lisier même sur des parcelles voisines d'habitations ou proches de lieux publics.

L'exemple rapporté sur la figure 6 est fourni par LINDVALL (1973). La comparaison de l'émission d'odeur, à différentes distances du champs où le lisier était épandu en surface ou enfoui, montre que l'enfouissement ne donne lieu à la détection d'aucune odeur à partir de 200 mètres, alors que l'épandage en surface donne la même intensité d'odeur à 400 mètres que l'enfouissement à 50 m.

Par ailleurs, comme nous l'avons signalé précédemment, l'enfouissement permet de ne pas rompre le rythme de paturage puisque le lisier n'est pas en contact direct avec les plantes. En effet, le délai recommandé entre l'épandage et la présence des animaux sur la parcelle est essentiellement lié à une diminution des risques de contamination par influence des conditions du milieu (soleil- température- vent ...) Le recouvrement immédiat du lisier déposé dans le sillon évite toute perte d'azote par volatilisation au moment de l'épandage. Cet aspect peut être à la fois positif ou négatif suivant les surfaces disponibles et les cultures envisagées.

L'enfouissement apporte des contraintes d'ordre pratique. Outre la nécessité de disposer d'une puissance de traction plus élevée, le dispositif d'enfouissement suppose de travailler sur un sol «portant» sans pente et dépourvu de cailloux.

Par ailleurs, les doses apportées par hectare sont difficilement maîtrisables et les risques de «sur-dosages» plus fréquents qu'avec un épandage classique. En effet, la vitesse d'avancement (4km/h contre 6km/h) et la largeur d'épandage (2m contre 8m) sont sensiblement plus faibles et, de ce fait, la dose apportée par ha est plus élevée : on ne peut guère descendre en dessous de 60 à 70 m³/ha. La localisation du lisier à la limite du sol et du sous sol peut favoriser le ruissellement interne lié à une différence de dureté à la semelle du labour.

VI - CONCLUSION

Les diverses solutions présentées à l'éleveur montrent qu'il n'y a pas un problème lisier mais des problèmes lisier.

Il convient donc d'adapter à chaque exploitation le type d'installation satisfaisante.

Une étude économique réalisée en 1977 a permis d'établir le coût de quelques procédés de traitement dont les résultats sont rapportés dans le Tableau 4.

TABLEAU 4

PRIX DE REVIENT PAR ANIMAL DES DIFFERENTS PROCEDES DE DESODORISATION (EN FRANCS 1977)

	PROCEDES	COUT ESTIME POUR UNE EXPLOITATION DE 500 PLACES
TRAITEMENTS PREVENTIFS	Turbine centrale sans tamisage	6.90
	Turbine en manège sans tamisage	6.20
	Turbine en manège avec tamisage	9.80
	Traitement tiède sans tamisage	10.00
	Lit Bactérien avec tamisage	9.50
TRAITEMENTS CURATIFS	Produit A	1.50
	B	2.40
	C	1.90
	D	> 5.00
	E	
	F	4.80
	G	11.70
	H	11.20
	I	0.90
	J	4.00
Produits biologiques	> 10.00	
	DISPOSITIF D'ENFOUISSEMENT	7.00

Face à ces coûts d'amortissement et de fonctionnement, il convient de prendre en considération la valeur fertilisante du produit épandu.

L'épandage doit être envisagé dans le planning de travail de l'exploitation, comme le procédé de traitement de la désodorisation doit être inclus dans la conception du bâtiment d'élevage.

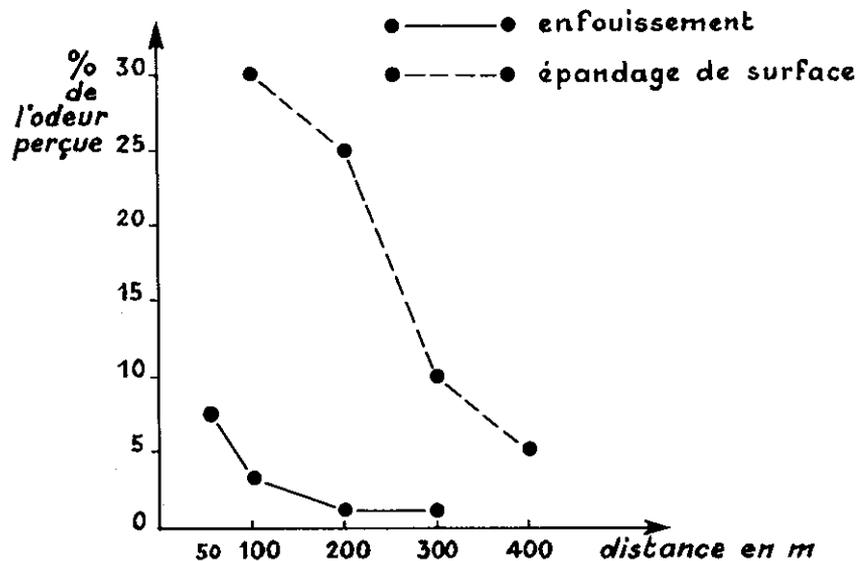
Le système de traitement par aération paraît actuellement le mieux adapté, quelle que soit la solution retenue pour sa mise en oeuvre (aération de surface - insufflation d'air au même lit bactérien). Le système mérite encore cependant une étude plus approfondie en ce qui concerne les pertes d'azote, et sur les conséquences de l'épandage du produit désodorisé, puisque la désodorisation entraîne une diminution importante de la matière organique (ce qui se traduit par la diminution de 60 à 80% de la DBO_5). Il n'a pas été fait mention dans cet exposé de la fermentation anaérobie en tant que procédé de désodorisation, car on ne dispose pas de données dans ce domaine en France, bien que l'aspect diminution de l'odeur liée à la fermentation méthanique ait été signalé par plusieurs auteurs (HOBSON 1974- LAPP 1975).

La désodorisation, en supprimant les nuisances olfactives, permet un calendrier d'épandage plus souple, mais même complète elle ne peut servir d'excuse à la pratique d'un épandage irraisonné susceptible de conduire à un risque plus grave qui est la pollution.

La suppression des gênes occasionnées par les odeurs de lisier ne peut que favoriser les relations entre les exploitants et les autres utilisateurs de l'espace rural.

Figure 6

INTENSITE D'ODEUR PERÇUE EN FONCTION DE LA DISTANCE D'ÉPANDAGE SUIVANT DEUX TECHNIQUES



BIBLIOGRAPHIE (1)

1 - Généralités

- 1973. Development and demonstration of nutrient removal from animal wastes. E.P.A. R2. 73. 095
- Agricultural and Environment, 1976. Seminar on odour characterisation and odour control. Gand (sous presse)
- Agricultural Research Council, 1976. Studies on farm livestock wastes 156 pp.
- A.S.A.E., 1971. Livestock waste management and pollution abatement. Publication PRO 271
- A.S.A.E., 1975. Managing livestock wastes. Publication PRO 275. 633pp.
- Commission des Communautés Européennes, 1976. Utilization of manure by land spreading. EUR 5672 e
- E.N.S.P. de Rennes, 1973. Séminaire sur la réduction des nuisances des porcheries.
- JAENISCH D., ENGERT K., FRANZ W. et TACK F., 1974. Résultats de recherches sur la consommation d'eau et la production de lisier en porcheries industrielles. Tierzucht' 1974, 561-564.
- LOEHR R.C., 1974. Agricultural waste management. Academic Press ed. 574 pp.
- Midwest Plan Service, 1975. Livestock wastes facilities Handbook. 94 pp.
- Midwest Plan Service, 1975. Livestock waste management with pollution control. 88pp.
- STRAUCH D. et al' 1977. Afalle aus der Tierhaltung Ulmer ed.
- TAIGANIDES E.P., 1977. Animal wastes. 428 pp. Applied Science

2 - Études particulières

- AMOORE J.E., 1977. Specific anosmia and the concept of primary odours. Chemical senses and flavor 2, (3), 267 - 281.
- BALLAY D. et CATROUX G., 1974. Possibilités de limitation des nuisances et des pollutions dues aux élevages porcins. Annales agronomiques 25, 351 - 381.
- BERNARD C.R., 1976. La désodorisation des lisiers par produits d'addition. Bulletin technique de l'UCAAB, 1.
- BLENDEH M., HARTL J. et GRUB B.L.T., 1976. L'aspersion contre les odeurs des porcheries. Landtechnische Zeitschrift p 542 - 543.
- CONVERSE J., 1970. Odour control and degradation of swine manure with minimum aeration. Thesis of University of Illinois. 198 pp.

(1) Les communications aux Journées de la Recherche Porcine auxquelles cette étude fait référence figurent dans la liste donnée p 22.

- C.T.G.R.E.F. de Rennes, Division de la production porcine et des élevages industriels. Influence des apports de lisier de porcherie sur les propriétés physiques et chimiques des sols.
- HAEFIER S.C., 1976. Seminar on odour characterization and odour control (Gand 1976 May 10 - 13).
- HILL D.T., et BARTH C.L., 1976. Methods of treating odours. A.S.A.E. paper n° 76 - 4015.
- HOFMANN G., et SMIDT D., 1975. Les odeurs incommodes dues à l'élevage Tierzüchter Mai 1975.
- LINDVALL T., 1970. On sensory evaluation of odorous air pollutant intensities. Nordisk Hygienisk Tidskrift supplément n° 2.
- OWENS J.D. et al, 1973. Aerobic treatment of piggery waste. Water Research 7, 1345 - 1366.
- PREUSCHEN G., Air pollution and human work capacity .
- Revue de l'Elevage 1974. Les Dejections animales. Numéro spécial 16.
- RIVIERE, SUBTIL et CATROUX., 1974. Etude de l'évolution chimique et microbiologique du lisier de porcs pendant le stockage anaérobie. Annales Agronomiques 1974. 25, 383 - 401.
- SOBEL A.T., 1972. Olfactory measurement of animal manure odour. Transaction of A.S.A.E. 696 - 703.
- V.D.I., 1974. Geruchs probleme bei Tierhaltung and Tierkörperbesertigung - V.D.I./KTBL (Gespräch Dusseldorf 3 - 14 Sept 1974).
- WILSON G.B. et HUMMEL J.W., 1972. Aeration rates for rapid composting of dairy manure. Waste management Research Proceedings. Cornell Agricultural waste management Conference 145 - 158.