

Revue systématique de la littérature sur les performances techniques des systèmes de traitement de l'air vicié émis par les bâtiments porcins

*S.P. LEMAY¹, M. BELZILE¹, D. ZEGAN¹, J.J.R. FEDDES^{1,2}, S. GODBOUT¹ ET M. MARTEL^{1,3}.

RÉSUMÉ - S.P. Lemay, M. Belzile, D. Zegan, J.J.R. Feddes, S. Godbout et M. Martel. *Revue systématique de la littérature sur les performances techniques des systèmes de traitement de l'air vicié émis par les bâtiments porcins. Agrosolutions 19 (2) : 51-62.* Les contaminants évacués par les bâtiments d'élevage porcins incluent des gaz, poussières, bioaérosols et plusieurs composés volatils. Ces éléments sont souvent perçus par les résidents ruraux comme préoccupants pour leur santé et conduisent parfois à des conflits entre les producteurs porcins et leurs voisins. Des technologies permettant la réduction de ces contaminants, tel que le traitement de l'air à la sortie des bâtiments, pourraient réduire les nuisances parfois engendrées par leur présence. Une revue systématique de la littérature portant sur ces technologies a donc été réalisée à l'aide de l'approche développée par le « National Institute for Health and Clinical Excellence ». Les informations consultées tout au long de la démarche démontrent qu'actuellement il n'existe pas de technologie permettant le traitement efficace de l'ensemble des contaminants de l'air provenant des bâtiments porcins. Les expérimentations visent souvent à traiter un seul ou quelques-uns des polluants présents dans l'air et sont souvent réalisées dans des conditions de laboratoire. Par contre, il existe un fort potentiel de développement et de mise au point de certaines des nouvelles technologies qui sont à divers stades de développement, dont les biofiltres à percolation (biotrickling filter) et les biolaveurs (bioscrubber). Des technologies de traitement de l'air basées sur la combinaison de plusieurs méthodes de traitement, dont la filtration mécanique, le lavage d'air et le biotraitement, présentent un potentiel élevé d'application, mais il n'existe pas d'information sur l'efficacité de ces différentes combinaisons de technologies.

Mots clés : traitement de l'air, biofiltre, laveur d'air, contrôle des odeurs, réduction des gaz, émissions

ABSTRACT - S.P. Lemay, M. Belzile, D. Zegan, J.J.R. Feddes, S. Godbout and M. Martel. *Systematic Literature Review of Treatment Techniques for Exhaust Air from Swine Buildings. Agrosolutions 19 (2): 51-62.* Contaminants expelled from livestock buildings include gases, dust, bioaerosols and several others volatile compounds. These airborne contaminants are often perceived by rural residents as being health threatening and they often lead to conflicts between swine producers and their neighbours. Technologies allowing reduction of these contaminants, such as air cleaning, could limit the level of nuisance caused by pig buildings. A systematic literature review of these technologies was thus carried out using the approach developed by the National Institute for Health and Clinical Excellence. Information collected throughout the review steps showed that there is no existing technology allowing an effective reduction of all the air contaminants coming from pig buildings. Previous experiments often aim at treating only one or some of the airborne pollutants and they are often carried out under laboratory conditions. However, various configurations of biotrickling filters and bioscrubber filters have been studied and show a very good potential for controlling emissions from pig buildings. According to the knowledge base, most promising technologies will likely emerge from a combination of air treatment principles, and at this stage, there is no information on the effectiveness of these various technology combinations.

Keywords: Air Treatment, Biofilter, Scrubber, Odour Abatement, Gas Removal, Emissions

1. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), 2700 rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8, Canada

*Auteur pour la correspondance : téléphone : 418 646-1073, télécopieur : 418 644-6855, courriel : stephane.lemay@irda.qc.ca

2. University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada

3. University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada

Introduction

De récentes études démontrent que les enjeux environnementaux provoqués par l'expansion globale et l'intensification de l'agriculture industrialisée lors des 50 dernières années sont devenus extrêmement importants (Martinez et Pourcher 2008, Godbout et Lemay 2007). Les contaminants évacués par les bâtiments d'élevage porcin incluent différents gaz, particules de poussière (inhalables et respirables), bioaérosols (bactéries, virus, endotoxines, moisissures) et plusieurs autres composés volatils tels que l'ammoniac (NH_3) et le sulfure d'hydrogène (H_2S). De plus, une importance croissante est accordée au problème des nuisances olfactives issues de la production porcine. La recherche dans ce domaine s'est donc accentuée au cours des dernières années.

Dans le but de protéger la qualité de l'air et afin de réduire les tensions créées entre les résidents et les éleveurs, plusieurs municipalités et gouvernements ont été amenés à adopter ou à renforcer la réglementation. Ce faisant, ils ont précisé les normes que doivent désormais respecter les installations et les activités associées à l'élevage intensif. Dans beaucoup d'endroits, en particulier en Amérique du Nord, les impacts environnementaux des activités d'élevage intensif ont fait l'objet d'un examen attentif lors d'un processus de consultation publique et souvent d'un remplacement des codes de bonnes pratiques par la réglementation. Ainsi, la démarche adoptée au Québec par la mise en place de la Commission du BAPE sur le développement durable de la production porcine rejoint des consultations du même type qui ont eu lieu au Wisconsin, en Ontario, en Alberta et au Manitoba. Au Québec, depuis le dépôt du rapport du BAPE en 2003, la question porcine a fait l'objet de décisions politiques, y compris des modifications législatives et réglementaires.

Les systèmes de traitement de l'air pour les bâtiments porcins pourraient représenter une partie de la solution pour la réduction des odeurs et des contaminants aériens. En effet, une étude au sujet de l'état de la recherche et du développement sur les concepts de bâtiments porcins réduisant les

odeurs (Joncas *et al.* 2002) a permis de recenser, parmi quelque trente technologies offrant un potentiel de réduction des odeurs, le traitement de l'air à la sortie des bâtiments comme étant une technologie prometteuse.

But et objectifs de la revue systématique

Le processus de la revue systématique de la littérature mise en application dans le présent projet visait à revoir l'information de la littérature sur les systèmes de traitement de l'air, tant au niveau agricole qu'industriel et à l'analyser de façon critique et détaillée. La littérature scientifique et technique concernant les systèmes de traitement de l'air ayant un potentiel d'application pour contrôler les contaminants aériens provenant des bâtiments porcins a été revue et analysée en suivant une démarche rigoureuse.

Le travail effectué dans ce contexte poursuivait les objectifs suivants :

- Réviser les derniers développements en matière de systèmes de traitement de l'air afin d'évaluer les forces et les faiblesses de chacune des techniques étudiées dans un contexte d'application pour les bâtiments porcins;
- Définir les orientations de recherche à prioriser dans le cadre d'un programme de recherche sur le traitement de l'air émis par les bâtiments porcins.

Stratégie et démarche de recherche

La stratégie de recherche utilisée pour réaliser cette recension des écrits a été inspirée de l'approche développée par le National Institute for Health and Clinical

Excellence du Royaume-Uni (NICE 2007). La démarche utilisée dans la présente étude est présentée en six étapes.

Étape 1 : Établir la question de recherche

La première étape de la revue systématique consiste à établir une question de recherche précise et concise. Dans le contexte de la présente revue, la question retenue était la suivante : « *Quelle technologie potentielle de traitement de l'air peut être utilisée pour réduire l'odeur provenant des installations de production de porcs en engraissement?* »

L'ensemble des articles qui ont été retenus lors du processus de revue systématique des écrits devait conduire à l'obtention d'informations permettant de répondre à cette question.

Étape 2 : Recherche bibliographique et évaluation des critères d'inclusion

La recherche de la littérature associée à la question de recherche a ensuite été amorcée à l'aide des bases de données électroniques d'articles scientifiques. Afin qu'elle soit efficace, certains paramètres devaient être préalablement déterminés. Ainsi, seuls les articles avec résumés, provenant de partout dans le monde, en français ou en anglais et entre 1993 et aujourd'hui ont été conservés.

Parmi les titres, les résumés et les mots clés des articles scientifiques retenus avec les paramètres précédemment décrits, l'information disponible a ensuite été passée en revue par un évaluateur pour juger si l'article devait être inclus ou rejeté de l'étude selon la liste de critères d'inclusion présentée au tableau 1. À cette étape, aucun article complet n'a été évalué. Les études qui ne rencontraient aucun des critères d'inclusion ont été exclues alors que celles qui en rencontraient au moins un sont demeurées dans le processus d'évaluation.

Tableau 1. Liste des critères d'inclusion pour la sélection des articles scientifiques lors de l'étape 2 de la revue systématique.

Numéro	Critère	État (O/N)
1	Air traité provenant de bâtiment d'élevage	
2	Enlèvement des odeurs	
3	Enlèvement des contaminants de l'air	
4	Technologie appropriée pour l'industrie porcine	

Tableau 2. Liste des critères de pertinence pour la sélection des articles scientifiques lors de l'étape 3 de la revue systématique.

Numéro	Critère	Description	Cote de pertinence et sa définition		
			Excellent (++)	Acceptable (+)	Inacceptable (-)
1	Technologie applicable à la ferme	La technologie doit avoir un lien avec le traitement de l'air provenant des bâtiments d'élevage	La technologie est utilisée sur des sites d'élevage existants	La technologie est utilisée sur des sites de recherche ou est à l'étape du prototype	La technologie n'est pas applicable
2	Caractéristiques des contaminants	Les contaminants ciblés par la technologie doivent inclure l'odeur et les contaminants de l'air	L'odeur et les contaminants de l'air sont mentionnés	L'odeur ou les contaminants de l'air sont mentionnés	Ni l'odeur, ni les contaminants de l'air ne sont mentionnés
3	Performance des technologies	Il doit y avoir des renseignements concernant les performances des technologies	Des critères de performance sont utilisés	Peu de renseignements sur les performances sont mentionnés	Aucun renseignement sur les performances n'est mentionné
4	Domaine d'application	La technologie doit être applicable pour le traitement de l'air provenant de bâtiment d'élevage.	La technologie vise le traitement de sources provenant de bâtiments porcins	La technologie vise le traitement de sources provenant de bâtiment d'élevage	La technologie vise le traitement d'autres sources d'air

Étape 3 : Évaluation de la pertinence des titres, résumés et mots clés des articles scientifiques

Tous les titres d'articles scientifiques, résumé et mots-clés qui ont été sélectionnés lors de la l'étape 2 ont ensuite été passés en revue par un évaluateur en utilisant les critères de pertinence (tableau 2). À cette étape, aucun article complet n'a été évalué. L'information disponible a été révisée afin de juger si l'article était d'assez bonne qualité pour faire partie des écrits conservés pour la prochaine étape. Les duplicats et les articles ne satisfaisant pas les critères de pertinence ont donc été rejetés lors de cette étape.

Étape 4 : Évaluation du contenu des articles scientifiques à partir des critères d'inclusion et de pertinence

Les versions complètes des articles retenus lors de l'étape 3 ont ensuite été récupérées. L'ensemble du contenu complet a été lu et évalué par au moins deux évaluateurs en utilisant les mêmes critères d'inclusion (tableau 1) utilisés lors de l'étape 2 et les mêmes critères de pertinence (tableau 2) ayant servi lors de l'étape 3. Seuls les écrits ayant un contenu qui rencontre les critères d'inclusion et de pertinence ont été conservés pour l'étape suivante.

Étape 5 : Évaluation de la rigueur méthodologique des articles scientifiques

Le matériel retenu lors de l'étape 4 a ensuite été évalué selon une liste de contrôle systématique (tableau 3). Au moins

Tableau 3. Tableau d'évaluation de la validité des articles scientifiques retenus pour l'étape 5 de la revue systématique.

Numéro	Paramètres	Évaluation du paramètre	
SECTION 1 : VALIDITÉ SCIENTIFIQUE			
5.1.1	L'étude répond à une question claire et précise.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.2	Une description de la méthodologie est incluse.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.3	La revue de littérature est suffisamment rigoureuse afin d'identifier l'ensemble des articles pertinents.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.4	La seule différence entre les unités expérimentales est le traitement évalué.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.5	L'ensemble des mesures sont faites en utilisant une méthode valide et fiable.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.6	La qualité de l'étude est prise en considération.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
SECTION 2 : ÉVALUATION GÉNÉRALE			
5.2.1	Comment l'étude s'assure de réduire les biais? Cote ++, + ou -		
5.2.2	Si le code est + ou -, comment le biais a pu affecter les résultats? (positivement ou négativement)		
5.2.3	En considérant les aspects technologiques, votre évaluation de la méthodologie et l'exactitude des statistiques utilisées, êtes-vous certain que l'effet global est dû aux interventions effectuées? (élevé, moyen, faible)		
5.2.4	Le traitement est-il la cause des résultats? (élevé, moyen, faible)		
5.2.5	Est-ce que les résultats de l'étude sont directement en lien avec ses objectifs? (élevé, moyen, faible)		

deux réviseurs devaient lire tout le matériel et compléter l'évaluation de la liste de contrôle pour chaque publication. Puisque les

critères d'évaluation pouvaient différer selon le type d'étude, une liste de contrôles a été développée pour fournir une approche

cohérente à l'évaluation (NICE 2007). L'évaluation globale de chaque étude a été effectuée en utilisant une cote (++, + ou -), basée sur le niveau de réduction des biais de l'étude (tableau 3; Section 2). Pour réduire au minimum le biais lié à l'évaluation, l'étape 5 devait faire intervenir une équipe de deux critiques et une attribution aléatoire des articles était souhaitable. En outre, l'évaluation devait s'assurer qu'il y avait une relation de cause à effet entre les traitements et les données obtenues.

Description générale de la littérature retenue pour la revue systématique

Les seize bases de données utilisées lors de la deuxième étape du processus de revue systématique des écrits ont fourni environ 72 000 titres d'articles distincts, tous basés sur des investigations à l'aide des mots-clés et expressions de recherche. Une grande partie de ces titres n'ont pas été retenus suite à leur évaluation préliminaire avec les critères formels de sélection présentés plus haut. Du nombre obtenu préalablement, seuls 243 articles ont été soumis à l'étape 3. Les étapes 3 et 4 ont, quant à elles, permis de retrancher respectivement 116 articles et 91 articles. Les 36 articles identifiés par ces dernières étapes ont été retenus pour une analyse approfondie de leur contenu. La démarche d'évaluation de la validité des écrits réalisée à l'étape 5 a ensuite permis le retranchement de 12 des 36 articles retenus lors de l'étape précédente. Vingt-quatre documents ont donc été retenus pour la recension finale des écrits dans le cadre de cette revue systématique. Chacun des articles retenus apporte des informations pertinentes et de qualité en lien avec la question de recherche et a été utilisé pour réaliser l'analyse systématique.

Résultats de la revue systématique de la littérature

Méthode et application

Les applications industrielles disposent depuis longtemps d'une grande diversité de

systèmes pour le traitement de l'air. En effet, les usines de traitement des eaux usées, les usines chimiques et pétrochimiques, l'industrie des plastiques, des pâtes et papier et l'industrie alimentaire ne sont que quelques exemples des domaines qui ont requis le développement de systèmes de traitement de l'air.

Les méthodes de traitement de l'air pour le contrôle des odeurs se classifient en deux grandes catégories, soient les méthodes de traitement non biologique (physico-chimique) et les méthodes de traitement biologique (Manuzon *et al.* 2007, Sheridan *et al.* 2002a, Kim *et al.* 2000, Revah et Morgan-Segastume 2005). Les industries utilisent l'une ou l'autre de ces méthodes de traitement ou une combinaison des deux (Deviny *et al.* 1999, Revah et Morgan-Segastume 2005). La gamme des contaminants est très vaste, les débits d'air à traiter atteignent des valeurs extrêmement élevées et les conditions de température et de pression des gaz à traiter sont très souvent différentes des conditions atmosphériques.

Les applications agricoles, notamment les bâtiments d'élevage, nécessitent le développement de solutions particulières pour le traitement de l'air émis. Les débits d'air sont importants et les concentrations des polluants plus faibles comparativement aux applications industrielles. De plus, les systèmes de traitement doivent être simples, faciles à exploiter et à entretenir (Deviny *et al.* 1999). Dans ce cas, les principaux objectifs des traitements de l'air sont l'abattement des odeurs, du NH_3 , du H_2S et des poussières. Les conditions de température et de pression de l'air à traiter sont similaires à celles de l'air ambiant, mais le facteur climatique constitue parfois un élément important à prendre en considération.

Méthodes de traitement physico-chimique

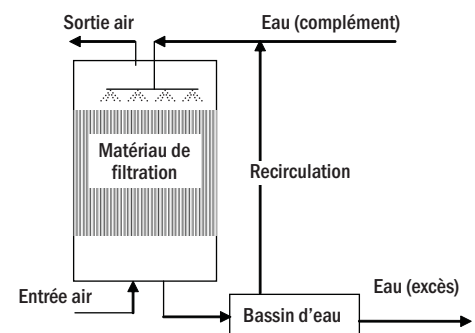
Lavage d'air (scrubbing)

Parmi les méthodes non biologiques de traitement de l'air émis par les bâtiments d'élevage, le lavage d'air présente un potentiel fort intéressant à cause de sa simplicité et de ses performances concernant la réduction de poussière, l'abattement du NH_3 et du H_2S . En effet, ses principaux

avantages sont sa structure compacte, le contrôle facile du pH et de la température, l'utilisation des matériaux inertes et leur adaptation assez rapide au changement de la composition des gaz. Le lavage de l'air consiste à mettre en contact le gaz polluant avec un liquide dans lequel il est soluble. Le transfert de masse du gaz au liquide est réalisé par l'utilisation d'un matériau de remplissage qui constitue le filtre de l'appareil (Deviny *et al.* 1999). L'eau est souvent utilisée comme solution de lavage et le pH peut être ajusté (basique ou acide) afin d'augmenter la solubilité des gaz présents.

Le système de lavage d'air le plus habituel est de type « tour de lavage », soit un réacteur vertical rempli avec un matériau inorganique ou inerte (figure 1). Ce matériau doit présenter une grande porosité et une grande surface spécifique (couramment entre 100 et 200 $\text{m}^2 \text{m}^{-3}$). La solution utilisée est pulvérisée à partir de la partie supérieure de l'appareil afin d'humidifier uniformément et continuellement le médium. L'air vicié peut circuler soit horizontalement dans l'appareil (courant croisé), soit à partir du bas vers le haut (contrecourant). Une fois le traitement par lavage réalisé, un traitement du liquide pourrait être nécessaire et des mesures doivent être prévues pour sa disposition une fois qu'il est évacué de l'appareil (Deviny *et al.* 1999).

Manuzon *et al.* (2007) considèrent que les lavesurs d'air avec pulvérisation de solution acide ont le plus grand potentiel d'adaptation aux installations de production d'animaux à cause de la faible réduction du débit d'air par l'installation de ces systèmes (pertes réduites de pression), de l'abatte-



Adapté de Melse et Ogink, 2005

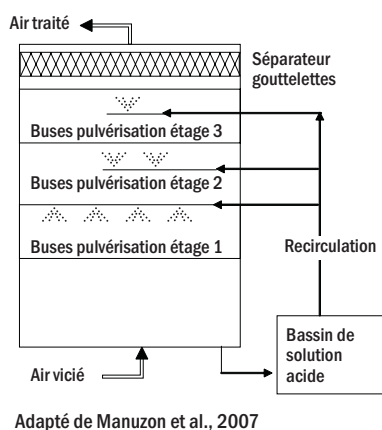
Figure 1. Schéma d'un laveur d'air à contrecourant.

ment simultané des particules et des gaz polluants et du fait qu'il n'y a pas de génération de déchets puisque les effluents liquides sont utilisés comme fertilisants.

Selon les exemples cités par Melse et Ogink (2005), des laveurs d'air à l'acide (pH de 1,3 à 4,4) utilisés dans des bâtiments porcins, fonctionnant à des débits d'air compris entre 4 000 à 4 500 m³ h⁻¹ et pour des temps de résidence compris entre 0,5 et 0,9 s, ont permis la réduction de l'ammoniac de 77 à 100 %. Selon un autre exemple cité par la même étude, un laveur d'air à l'acide (pH de 4) utilisé avec un débit d'air maximal de 15 000 m³ h⁻¹ a réalisé une réduction des odeurs de 3 et 55 % pour un temps de résidence de 0,6 s.

L'une des solutions pour augmenter les performances de ce type d'appareil consiste à combiner plusieurs étages. Un prototype proposé par Manuzon *et al.* (2007) a été testé pour un, deux et trois étages. Dans sa configuration à un étage, la réduction moyenne de l'ammoniac se situait entre 60 % pour une concentration de 5 ppm_v de NH₃ et 27 % pour une concentration de 100 ppm_v de NH₃. Dans les mêmes conditions, la réduction moyenne de l'ammoniac pour deux étages a été de 60 et 35 % et de 63 et 36 % pour les essais avec trois étages. Ces résultats correspondent à une vitesse superficielle de l'air de 6,6 m s⁻¹. La réduction de la vitesse superficielle à 3,3 m s⁻¹ (temps de résidence de 0,2 à 0,4 s) a eu un impact majeur sur les performances de l'appareil. En conservant les autres conditions équivalentes aux autres essais, la réduction de la vitesse a eu pour effet de réduire l'ammoniac entre 98 et 46 % pour un étage, entre 77 et 57 % pour deux étages et entre 70 et 64 % pour trois étages. La figure 2 présente le prototype expérimental de l'installation avec trois étages et l'installation de pulvérisation adaptée pour cette application.

Cependant, les résultats expérimentaux ont montré que ce type d'installation exige un nombre important d'optimisations au niveau du type et du nombre de pulvérisateurs, de la pression et de la surface de pulvérisation, de la concentration de l'acide et du temps de résidence en fonction de la concentration du NH₃ à l'entrée. Le fonctionnement à plu-



Adapté de Manuzon *et al.*, 2007

Figure 2. Schéma d'un système de laveur d'air à l'acide à trois étages.

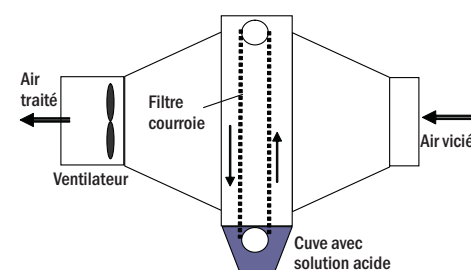
sieurs étages a aussi mis en évidence des phénomènes d'interactions entre les étages, ce qui réduit les performances. Malgré une efficacité relativement élevée pour l'enlèvement de l'ammoniac, l'efficacité de réduction du H₂S est nulle. L'utilisation des solutions acides impose un contrôle optimal afin d'éliminer les phénomènes de largage de NH₃ par volatilisation. L'efficacité de certains additifs chimiques ajoutés pour améliorer les performances d'absorption des solutions de lavage a été faible. La modélisation des phénomènes de transfert de gaz n'est pas encore au point et d'autres essais sont nécessaires.

Dans une autre étude, Gabriel et Deshusses (2003) considèrent le traitement par lavage d'air à solution fortement alcaline (pH > 12) assez évolué et performant pour contrôler les émissions de H₂S (temps de résidence réduits, situés entre 1,3 et 2,0 s), mais dont la disposition des résidus et des substances chimiques représente des désavantages assez sérieux.

Une étude récente (Shah *et al.* 2007) présente le développement et les performances d'un nouveau type de laveur chimique d'air à voie humide (wet scrubber) pour la réduction de l'ammoniac dans les bâtiments d'élevage d'animaux. La nouvelle solution de laveur (figure 3) consiste à utiliser un écran filtrant mobile, conçu sous la forme d'une courroie sans fin en propylène qui se déplace avec une vitesse réduite (2,7 m/min) afin d'être humidifiée en continu par l'immersion dans une cuve

contenant une solution d'alun (Al₂(SO₄)₃·14 H₂O). L'ammoniac contenu dans l'air vicié est absorbé par la solution acide qui imbibe le matériau du filtre qui est ensuite transféré vers le liquide de la cuve. Un effet de régénération des qualités absorbantes du filtre est réalisé grâce à cette immersion en continu du matériau du filtre dans la cuve (filtre régénératif).

À partir d'air évacué d'une fosse à lisier et d'une installation de compost, le taux de réduction des émissions d'ammoniac assuré par ce type d'appareil varie respectivement



Adapté de Shah *et al.*, 2007

Figure 3. Schéma d'un système de laveur d'air à l'acide avec filtre - courroie.

entre 57 et 63 % pour des essais avec des faibles (< 5 mg m⁻³) et des hautes (11 à 26,6 mg m⁻³) concentrations d'ammoniac. Selon les résultats de l'étude, le remplacement de l'eau de lavage (pH de 5,77) par une solution de 1 % d'alun (pH moyen de 3,46) permet une augmentation de l'efficacité d'environ 17 fois. Par contre, ce type de traitement n'a aucune efficacité pour la réduction du H₂S. Les pertes d'eau du système représentent 3,7 l h⁻¹ pour un débit d'air de 0,93 m³ s⁻¹. Il n'y a pas de résultats sur la réduction des particules en suspension. L'un des avantages de cette solution est la perte réduite de pression réduite des circuits de ventilation (< 100 Pa) par rapport aux solutions classiques de laveur d'air (> 250 Pa).

Selon Shah *et al.* (2007), pour les bâtiments d'élevage, le traitement par lavage d'air reste encore limité pour des considérations de problèmes techniques, dont la consommation de l'eau et les exigences de nettoyage.

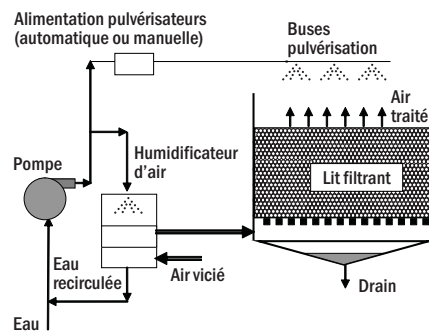
Méthodes de traitement biologique

Biofiltration

Selon Deviny *et al.* (1999), les traitements biologiques des gaz résiduels ont commencé à être utilisés depuis les années 1950 (biofiltres utilisant le sol comme lit filtrant) dans le cadre de fermes ou d'installations de traitement des eaux usées. À partir des années 1970, l'intérêt pour la biofiltration a augmenté par le renforcement des réglementations concernant la qualité de l'air. Entre 1980 et 1990, la biofiltration a progressé rapidement en Europe, mais plus lentement en Amérique du Nord. Les systèmes fermés conçus pour le traitement des odeurs et des composés organiques volatils (COV) sont devenus de plus en plus informatisés. De nombreuses recettes pour le lit filtrant ont alors été testées et des modèles mathématiques ont essayé d'optimiser les processus. Aujourd'hui, la recherche dans le domaine de la biofiltration se concentre principalement sur une meilleure compréhension des voies de dégradation biologique, sur le traitement des mélanges de polluants, sur la suppression du surdéveloppement de la biomasse et sur la modélisation des processus.

L'application la plus connue de ce type de traitement est le biofiltre de type ouvert (figure 4). Ses particularités sont un équipement qui peut être exposé aux conditions atmosphériques et qui peut être installé au niveau du sol. De plus, il utilise en général des matériaux de remplissage facilement disponibles et abordables (sol, compost). La hauteur habituelle du lit de filtration d'un biofiltre ouvert se situe entre 1,0 et 1,5 m. Les systèmes ouverts sont idéals pour des applications où l'espace n'est pas une contrainte et ils sont reconnus comme étant les solutions les moins coûteuses pour le contrôle des odeurs (Deviny *et al.* 1999).

Les biofiltres fermés (figure 5) sont généralement plus complexes et peuvent présenter une section qui est soit circulaire, soit rectangulaire. Ces systèmes de traitement de l'air permettent de mieux contrôler certains paramètres d'opération (température, humidité, nutriments, pH) tout en étant moins sensibles aux facteurs climatiques.

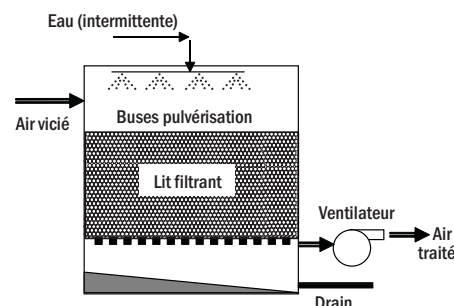


Adapté de Revah et Morgan-Segastume, 2005

Figure 4. Schéma d'un système de biofiltre ouvert.

Le lit de filtration utilisé dans les biofiltres fermés a généralement une hauteur qui varie entre 1,0 et 1,5 m et il est composé de matériaux organiques et/ou inorganiques. Un plénum d'entrée et un plénum de sortie facilitent la distribution uniforme de l'air dans l'appareil. Pour la majorité des applications avec biofiltre fermé, la circulation descendante de l'air s'avère plus performante que la circulation ascendante, car le contrôle de l'humidité du matériau de filtration est meilleur dans le premier cas (Revah et Morgan-Segastume 2005).

Une étude de Nicolai et Janni (2001) recommande le maintien d'un taux d'humidité dans le matériau de filtration compris entre 35 et 65 %. La réduction moyenne du H_2S pour un taux d'humidité relatif bas, moyen et élevé a été respectivement de 3, 72 et 87 %. Dans les mêmes conditions, la réduction des odeurs a été respectivement de 42, 69 et 79 % et celle de l'ammoniac a été respectivement de 6, 49, et 81 %. Le ratio optimal de compost et de copeaux de bois recommandé par l'étude pour le traitement de l'air des bâtiments porcins est d'un minimum de 30 % de compost et de 70 % de copeaux de bois.



Adapté de Deviny *et al.*, 1999

Figure 5. Schéma d'un système de biofiltre fermé.

Sheridan *et al.* (2002a) ont étudié une installation pilote de biofiltration pour déterminer les conditions optimales de fonctionnement. Le lit de filtration avait une hauteur de 0,5 m et a été composé de copeaux de bois de 20 mm et plus. Les conditions d'humidité du lit filtrant ont varié entre 64 et 69 %. Des essais préliminaires ont démontré que l'installation d'un filtre mécanique à l'entrée de l'air dans le biofiltre permet de réduire plus de 99 % des particules en suspension avec pour impact une réduction des odeurs de 19 %. Lors de l'expérimentation, le système de biofiltration a atteint une efficacité d'enlèvement pour le NH_3 comprise entre 73 et 87 %. Quand la charge en ammoniac est passée de 967 à 2 057 $mg\ h^{-1}$ et pour une charge volumique maximale de 1898 $m^3_{air}\ m^{-3}\ m^3_{matériau\ filtrant}\ h^{-1}$, l'efficacité d'enlèvement a été réduite de 19 %. L'étude démontre que les copeaux de bois de plus de 20 mm sont recommandables pour les biofiltres utilisés pour le traitement de l'air émis par les installations de production porcine. La charge volumique maximale recommandée est de 1350 $m^3_{air}\ m^{-3}\ m^3_{matériau\ filtrant}\ h^{-1}$ dans le but d'assurer une efficacité d'enlèvement des odeurs plus grande que 90 %. Dans les conditions d'exploitation estivale, le dimensionnement du réacteur de biofiltration correspond à 0,148 $m^2\ porc^{-1}$. Une réduction des pertes de pression a été possible grâce au type de matériau utilisé et à une hauteur du lit de filtration de seulement 0,5 m. L'étude recommande d'assurer une humidité du lit de filtration d'au moins 63 %. Un système d'humidification efficace (humidificateur de l'air à l'entrée et dispositif de pulvérisation intermittente du lit de filtration) et un design approprié du système de distribution de l'air sont des facteurs déterminants pour la conception et l'exploitation des solutions de traitement pour les grands volumes d'air.

Dans une autre étude, Sheridan *et al.* (2002b) ont comparé les efficacités de deux installations pilotes de biofiltration pour le traitement de l'air pour les bâtiments d'élevage de porcs. Le premier biofiltre utilisait des copeaux de bois de plus de 20 mm et le deuxième des copeaux de bois avec des dimensions comprises entre 10 et 16 mm. L'humidité du lit de filtration a été maintenue à 69 % et la charge volumique a varié entre 769 et 1847 $m^3_{air}\ m^{-3}\ m^3_{matériau\ filtrant}\ h^{-1}$.

pour une période d'expérimentation de 63 jours. Les deux filtres ont réduit les odeurs de l'ordre de 88 à 95 %. La réduction de l'ammoniac a été de l'ordre de 64 à 92 % pour le premier biofiltre et de 69 à 93 % pour le deuxième. Le H_2S a été réduit de 9 à 66 % pour le premier biofiltre alors que les résultats pour le deuxième vont d'une augmentation de 147 % à une diminution de 51 %. Le pH est resté constant, entre 6 et 8. Les investigations démontrent qu'il existe un risque de formation de zones anaérobiques (deuxième biofiltre) et de largage de composants sulfureux. L'étude conclut que la biofiltration est une technologie intéressante pour l'enlèvement des odeurs et de l'ammoniac de l'air provenant des installations en production porcine.

Hartung *et al.* (2001) ont réalisé une étude sur deux biofiltres de type ouvert qui correspondent aux modèles couramment utilisés pour le traitement de l'air dans les bâtiments pour l'élevage de porcs en Allemagne. La surface du lit de filtration était de 18 et de 30 m² et la hauteur de 0,5 m. Le matériau de filtration était constitué d'un mélange de fibres de noix de coco et de fibres de tourbe. L'efficacité de réduction obtenue pour l'ammoniac a été de 15 % pour le premier biofiltre et de 36 % pour le deuxième. Au niveau de la réduction des odeurs, les efficacités des deux biofiltres ont été respectivement de 78 et 81 %. Cette étude semble en contradiction avec d'autres recherches antérieures, car l'efficacité d'enlèvement de l'ammoniac a augmenté (15 à 39 %) avec l'accroissement de la charge volumique en ammoniac à l'entrée (1 000 à 6 000 mg m⁻³ h⁻¹).

Hoff et Harmon (2006) ont tenté de combiner une stratégie de ventilation du débit minimal et de la biofiltration. Un débit minimal d'air de 75 m⁻³ h⁻¹ porc⁻¹, qui correspond aux conditions de nuits d'été, a été établi comme référence. Les essais ont été faits sur un biofiltre utilisant les copeaux de bois, ayant une hauteur de lit filtrant de 27 cm et une surface de 80 m². Les résultats ont montré une efficacité moyenne de réduction de 44 % pour l'ammoniac, de 58 % pour le H_2S et de 54 % pour les odeurs.

Kaligan *et al.* (2004) ont étudié l'efficacité des biofiltres sur la réduction de l'ammoniac émis par les bâtiments d'élevage. Le but de la recherche a été d'expérimenter un lit filtrant composé de matériaux organiques et inorganiques non dispendieux en combinaison avec une charge microbienne diversifiée (multiculture). Les essais se sont déroulés sur un banc d'essai avec un réacteur de type fermé ayant une hauteur de 500 mm. Le matériau du lit de filtration était composé de tourbe (91 % organique), de vermiculite et de perlite (ratio 3:1:1). Dans une seconde série d'essais, le matériau de filtration a été réalisé à partir de tourbe et de polystyrène (ratio 3:1). Les résultats de l'étude démontrent que l'efficacité de réduction de l'ammoniac peut être très élevée (99 à 100 %) dans des conditions où la concentration de NH_3 à l'entrée est de 200 ppm et les débits se situent entre 0,03 à 0,06 m³ h⁻¹.

Une première série d'expérimentations a permis de mettre au point un banc d'essai pour un biofiltre de type ouvert qui utilise des copeaux de bois de dimensions réduites (2 mm à 5,6 mm) (Sunghyoun *et al.* 2007). Le temps de rétention a été de 5, 7 et 9 s et le taux d'humidité du matériau de filtration a varié entre 40 et 63 %. L'efficacité de réduction de l'ammoniac a enregistré des valeurs de 92,7 à 95,2 %. La concentration de l'ammoniac à l'entrée a varié de 3,0 à 24,2 ppm (moyenne de 6,5 ppm). La hauteur du lit de filtration était de 60 cm, le temps de résidence de 7 s et le taux d'humidité du matériau de filtration a été maintenu à un niveau supérieur à 50 %. L'efficacité de réduction de l'ammoniac a varié de 67 à 97 % (moyenne de 89 %) pour l'air provenant d'une fosse à lisier et de 68 à 96 % (moyenne de 86 %) pour l'air provenant d'une installation de fermentation. L'étude ne fait aucune estimation de la réduction des odeurs ou du H_2S .

Une étude sur une installation pilote à l'échelle réduite a permis à Luo (2001) d'investiguer sur les performances de réduction des odeurs avec des biofiltres contenant différents matériaux de filtration, tels que le sable, l'écorce de bois et des mélanges sol et écorce. La réduction des odeurs analysée par des méthodes olfactométriques a atteint des niveaux d'efficacité

entre 29 et 99,9 % pour une concentration des odeurs à l'entrée de 143 100 et 890 000 UO m⁻³. L'étude a mis en évidence la présence du lixiviat qui résulte de l'humidification du lit de filtration. Ce liquide joue un rôle très important dans le maintien du taux d'humidification, mais il peut avoir aussi d'autres effets sur la qualité du lit de filtration, tels que des phénomènes de lavage, l'accumulation d'importantes quantités de polluants, des interférences avec le flux d'aération, la formation de chemins préférentiels, la favorisation des zones de réactions anaérobiques et un largage de NH_3 et de H_2S . L'étude démontre la nécessité d'effectuer d'autres recherches pour clarifier ces aspects influençant directement les performances et la longévité du système de biofiltration.

Dans une étude portant sur la biofiltration pour le contrôle de la pollution de l'air, Deviny *et al.* (1999) ont analysé en détail les aspects particuliers de cette technologie de biotraitement. Ils ont démontré que le choix d'une solution optimisée pour une application particulière impose des connaissances théoriques approfondies et des résultats validés par voie expérimentale sur une large gamme de problèmes dont les plus importants sont les mécanismes de biofiltration, le matériau de filtration, le contrôle des paramètres et de l'opération du biofiltre et l'écologie microbienne. En accord avec les recherches de plusieurs chercheurs, l'étude démontre l'importance du contrôle du contenu en eau dans le biofiltre. Si un biofiltre ne reçoit pas d'irrigation, le contenu en eau devra être contrôlé par l'humidité de l'air qui alimente l'appareil. Ce type de contrôle du contenu en eau du matériau filtrant n'est pas toujours efficace et les variations de l'humidité et de température de l'air à l'entrée peuvent affecter les performances du biofiltre.

D'un autre côté, quand la quantité d'eau excède la capacité du lit filtrant, l'eau est drainée sous la force de la gravité. L'eau de drainage contient des cellules, des polluants non dégradés, des produits résiduels, des matériaux humiques, des nutriments, des acides et des sels. La perte de nutriments réduit les performances du biofiltre, mais un faible drainage peut aussi diminuer les phénomènes d'acidification et d'accumulation des sels et de la biomasse et les

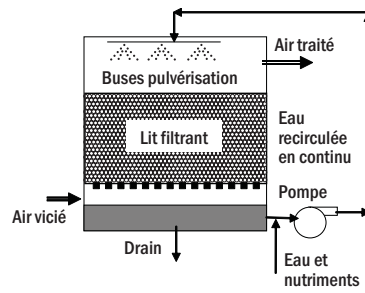
risques d'encrassement du lit de filtration. Le lixiviat nécessite souvent un traitement en vue de sa disposition.

Des études plus approfondies sur les effets du lixiviat dans les systèmes de biofiltration en corrélation avec l'accumulation des composants azotés et le taux d'application de l'eau ont été développées par Armeen *et al.* (2007a et 2007b). Ces études ont tenté d'identifier les facteurs physiques et chimiques qui influencent à long terme la performance et la stabilité des biofiltres pour l'enlèvement des contaminants de l'air. Selon ces auteurs, l'efficacité d'un bioréacteur est influencée principalement par des facteurs tels que la charge du polluant à l'entrée du biofiltre, le pH, de même que le contenu en humidité et la température du lit de filtration.

En réponse aux questions soulevées par l'accumulation des composés azotés dans le lit filtrant suite à de grandes concentrations d'ammoniac dans l'air à l'entrée du biofiltre, une étude menée par des chercheurs japonais (Kim *et al.* 2000) propose l'utilisation d'une nouvelle bactérie (*Vibrio alginolyticus*) qui est capable de dégrader efficacement de grandes concentrations d'ammoniac. L'étude a démontré la possibilité d'utiliser cette bactérie marine pour des concentrations de l'ammoniac comprises entre 120 et 2 000 ppm_v avec une efficacité d'enlèvement supérieure à 85 % pour plus de 60 jours d'opération.

Biofiltres percolateurs

Selon Deshusses et Gabriel (2005), les biofiltres percolateurs (biotrickling filters) constituent l'une des techniques biologiques les plus prometteuses pour le contrôle des odeurs et des COV. Contrairement aux biofiltres principalement constitués de matériaux organiques pour le lit filtrant et qui opèrent avec un minimum d'écoulement d'eau, les biofiltres percolateurs utilisent exclusivement des matériaux inorganiques et l'écoulement de l'eau se réalise par percolation en continu. Dans les biofiltres percolateurs, l'air vicié passe à travers un matériau filtrant inerte dans lequel le liquide est recirculé en continu (figure 6). Le matériau filtrant est similaire à celui utilisé dans les laveurs chimiques et doit avoir une grande porosité et une grande



Adapté de Revah et Morgan-Segastume, 2005

Figure 6. Schéma d'un système de biofiltre percolateur.

surface spécifique (100 à 400 m² m⁻³). Le temps de résidence est de l'ordre de 30 secondes, mais il peut descendre à des valeurs plus basses notamment dans le cas du traitement pour l'enlèvement de H₂S (1,2 s; Revah et Morgan-Segastume 2005).

Le traitement de l'air par les biofiltres percolateurs (biotrickling filters) est une technologie relativement nouvelle et la majorité des résultats expérimentaux proviennent des essais effectués sur des installations pilotes (Iranpour *et al.* 2005). Différents matériaux de filtration, tels que la roche de lave, des pièces en plastique disposées aléatoirement, des blocs structurés en plastique et de la mousse de polyuréthane, ont été utilisés. La grande porosité de ces matériaux permet des pertes minimales de pression sur le flux d'air. Des vitesses supérieures d'écoulement de l'air sont ainsi réalisables. L'une des caractéristiques principales des biofiltres percolateurs est l'écoulement continu par percolation du liquide dans la masse du lit de filtration. Il est ainsi possible d'avoir un meilleur contrôle sur l'addition des nutriments, le pH, l'enlèvement des produits résiduels du processus et sur la température. Dans le cas de la réduction des odeurs et l'élimination du H₂S, la production d'acide sulfurique et la réduction du pH et/ou l'accumulation du sulfate de sodium constituent des paramètres de contrôle essentiels du biofiltre percolateur.

Les exemples cités par Iranpour *et al.* (2005) démontrent que ces réacteurs ont une bonne efficacité d'enlèvement pour des concentrations élevées de H₂S à des temps de résidence (EBRT) qui sont bas. Les biofiltres percolateurs semblent une bonne option pour le traitement des gaz avec une

haute concentration en H₂S et possiblement pour d'autres composés sulfureux. Les expérimentations sur des applications industrielles ont illustré le potentiel des biofiltres et des biofiltres percolateurs pour l'enlèvement combiné des odeurs, du H₂S et des COV. Sur un total de huit cas d'application de biofiltres percolateurs utilisés pour l'enlèvement du H₂S et pour des concentrations à l'entrée de 1 à 1 000 mg m⁻³, l'efficacité de réduction a été de 95 à 99 %. Dans le cas de cinq applications concernant la réduction des odeurs, l'efficacité de réduction a été de 65 à 99 %.

Les biofiltres percolateurs ont certains avantages par rapport aux autres biotraitements pour le contrôle des polluants de l'air (Deshusses et Gabriel 2005). Parmi ceux-ci, la hauteur du lit de filtration plus importante, la meilleure longévité du matériau filtrant (dépasse 10 ans), la facilité de contrôle et la possibilité de traiter de l'air contenant de la poussière et de la graisse sont toutes des caractéristiques intéressantes de ce type de système.

Dans le cas des biofiltres percolateurs, l'ajout des nutriments devient un outil d'optimisation des performances du réacteur. En effet, les biofiltres percolateurs doivent être inoculés avec une variété de microorganismes, car la charge initiale ne contient pas de bactéries. La demande en nutriments dépend du type de polluant à traiter, de sa concentration, de la charge polluante totale et de la stratégie d'opération du réacteur. Un excès de nutriments peut engendrer un surdéveloppement de la biomasse et l'encrassement du réacteur. Les biofiltres percolateurs utilisés pour la réduction du H₂S sont moins exposés au risque d'encrassement, probablement à cause de la relative inefficacité des organismes autotrophiques.

Quelques recherches traitant de la conversion des laveurs d'air en biofiltres percolateurs (Gabriel et Deshusses 2003, Deshusses et Gabriel 2005) ont permis de démontrer qu'il est possible de réaliser un fonctionnement des biofiltres percolateurs dans des régimes de laveurs d'air (temps de résidence comparables de 1 à 2 s), mais avec l'avantage de pouvoir dégrader, en plus des charges inorganiques, les composantes organiques sans faire appel à des substances chimiques toxiques et dangereuses.

Les résultats des essais à long terme montrent une efficacité de plus de 97 % pour l'enlèvement du H_2S ayant des concentrations à l'entrée de 15 à 95 $g\ m^{-3}\ h^{-1}$. Des concentrations plus élevées de 100 $g\ m^{-3}\ h^{-1}$ provoquent une réduction graduelle de l'efficacité à moins de 80 %.

Biolavage (bioscrubbing)

Les filtres biolaveurs (bioscrubber filters) utilisent un schéma de principe qui comprend un absorbeur dans lequel a lieu le transfert du polluant du gaz vers le liquide et un bioréacteur où la dégradation biologique se poursuit dans la masse de liquide. Selon un schéma présenté à la figure 7, l'absorption est effectuée dans une tour de lavage à pulvérisation (absorbeur) et la biodégradation dans un bassin d'activation (bioréacteur) contenant la biomasse en suspension (boues activées). Singh *et al.* (2005) ont répertorié plusieurs variantes d'absorbeur, dont la tour avec un matériau de remplissage, le cyclone à voie humide, la tour de pulvérisation et le scrubber de type venturi.

L'écoulement des flux d'air et d'eau peut se réaliser soit en contrecourant, cocourant ou encore en courant croisé. La vitesse de l'air peut varier entre 1,5 $m\ s^{-1}$ et 20 $m\ s^{-1}$ dans les variantes avec tour, elle peut atteindre 25 $m\ s^{-1}$ pour la variante cyclone et elle se situe entre 40 et 50 $m\ s^{-1}$ pour la variante venturi. Les biolaveurs ont les mêmes avantages d'encombrement, de flexibilité et de contrôle que les filtres percolateurs et ils offrent la possibilité de traiter des composés peu solubles dans l'eau (coefficients d'Henry $H < 0,01$) ou toxiques pour les microorganismes.

Les biolaveurs (bioscrubbing filters) ont permis d'augmenter le domaine d'application des technologies de traitement biologique des gaz résiduels. Les biolaveurs peuvent être définis comme une unité composée de deux réacteurs et d'un système de recirculation de l'eau entre les deux réacteurs (Kraakman 2005). Dans la première unité, appelée absorbeur, le polluant est absorbé par la phase liquide. Le transfert de masse a alors lieu entre la phase gazeuse et la phase liquide. Dans la deuxième unité, appelée bioréacteur en phase liquide, le polluant est dégradé par les microorganismes qui sont dispersés en suspension dans le liquide ou fixés sur un matériau de filtration.

Le plus grand avantage des biolaveurs par rapport aux biofiltres et aux biofiltres laveurs est la capacité de produire et de maintenir une quantité plus importante de masse microbienne active dans de plus petites unités de procédé. Par contre, Kraakman (2005) considère que les biolaveurs et les biofiltres percolateurs présentent une plus grande complexité à la fois en ce qui concerne leur construction et leur opération.

Singh *et al.* (2005) sont arrivés à la conclusion que les biolaveurs offrent les plus grandes efficacités d'élimination du H_2S , du NH_3 et des composés organiques sulfurés. L'analyse des performances des laveurs d'air utilisés dans l'industrie dans le but de réduire le H_2S , relève des efficacités de plus de 98 %, autant pour des concentrations faibles, élevées qu'extrêmement élevées à l'entrée (entre 0 et 75 $mg\ m^{-3}$; 2 000 $mg\ m^{-3}$; entre 10 000 et 15 000 $mg\ m^{-3}$). Les résultats cités pour la réduction des odeurs présentent une efficacité de 80 % (application pour la réduction des sulfures organiques avec des concentrations à l'entrée de 4 000 à 22 000 U.O.). Kraakman (2005) confirme les performances réalisées avec des biolaveurs pour la réduction du H_2S , pour des débits de l'ordre de 160, 450 et 6 000 $m^3\ h^{-1}$ et pour la réduction des odeurs pour des débits d'air de 40 000 $m^3\ h^{-1}$.

Discussion générale

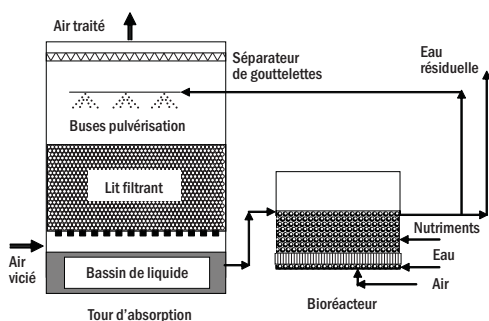
Les méthodes qui visent actuellement la réduction des contaminants de l'air et des odeurs sont très nombreuses. Le choix

d'une technologie particulière doit être déterminé, entre autres, par des considérations d'ordre technique, environnemental et également de santé. La difficulté d'appliquer l'une des technologies existantes pour le traitement de l'air provient des contraintes particulières de l'application. Selon la revue de littérature, les bâtiments d'élevage en général, et plus particulièrement les installations de production porcine, sont caractérisés par un nombre très important de paramètres qui influencent l'application du traitement de l'air.

L'analyse des avantages et des désavantages du lavage de l'air (régime acide ou régime basique) démontre que cette technologie assure seulement l'enlèvement partiel de certains polluants, dont les poussières et le NH_3 ou encore les poussières et le H_2S . En effet, puisque le NH_3 et le H_2S présentent des conditions de solubilité complètement opposées, il est impossible pour cette technologie de cibler à la fois ces deux gaz polluants. De plus, l'effet du lavage d'air sur la réduction des concentrations d'odeur est plutôt limité. Le lavage d'air pourrait donc constituer une étape intéressante de prétraitement, mais elle devrait être combinée avec une autre méthode de traitement afin de réduire plus efficacement l'ensemble des contaminants aériens.

La biofiltration a fait l'objet d'un grand nombre de publications scientifiques et technologiques et plusieurs unités sont présentement installées de par le monde. Les recherches actuelles démontrent que cette technologie répond en partie aux exigences demandées par une application au niveau des bâtiments porcins. En effet, son efficacité a été démontrée pour la réduction des odeurs et, dans une moindre mesure, pour la réduction du NH_3 et du H_2S émis par le bâtiment d'élevage. Par contre, malgré certains avantages reliés à sa simplicité, les problèmes d'accumulation de polluants, les possibilités d'encrassement, les pertes élevées de charge et la dégradation relativement rapide du matériau de filtration ne permettent pas de conclure que la biofiltration est une solution efficace et facile à exploiter.

Les traitements avec biofiltres percolateurs (biotrickling) présentent des caractéristiques supérieures par rapport à la biofiltration, surtout par leur réponse rapide aux



Adapté de Revah et Morgan-Segastume, 2005

Figure 7. Schéma d'un système de biolavage (bioscrubber filter).

variations des conditions de fonctionnement et leur durée de vie plus importante. En effet, l'utilisation d'un liquide percolateur permet un contrôle plus précis des conditions retrouvées à l'intérieur du biofiltre. Par exemple, la concentration ou le type de population bactérienne pourrait être modifié directement à l'aide de ce liquide. Les équipements de biofiltration par percolation permettent de traiter simultanément et efficacement plusieurs des polluants émis par les bâtiments, tels que les poussières, les odeurs, le H₂S, et les COV, tout en ne présentant que de faibles pertes de charge.

Les traitements par biolavage (bioscrubbing) offrent également des avantages intéressants par rapport à la biofiltration. Ils permettent de traiter plusieurs des polluants émis par le bâtiment, tels que le NH₃, le H₂S et plusieurs autres composés sulfurés. De plus, ils présentent une stabilité de fonctionnement et une durée de vie plus importante que les unités de biofiltration. Cependant, ces technologies sont légèrement plus complexes que les biofiltres percolateurs puisqu'elles sont composées de deux équipements distincts.

Par contre, même s'ils sont très intéressants, les biofiltres percolateurs et les biolaveurs n'ont pas fait l'objet de nombreuses études expérimentales avec une validation à l'échelle réelle. De plus, les applications pour les installations de production porcine sont pratiquement inexistantes. La recherche expérimentale portant sur ces deux technologies commence seulement à développer des solutions spécifiques pour certaines applications et il n'y a actuellement que des résultats partiels au niveau théorique ou au niveau des bancs d'essai qui sont disponibles.

L'analyse systématique de l'ensemble de la littérature démontre donc qu'actuellement il n'existe pas de technologies permettant la réduction efficace des odeurs, poussières, NH₃, H₂S et des COV. Plusieurs des technologies présentent des configurations qui sont similaires les unes des autres tout en étant différentes sur le plan du principe de fonctionnement. Il serait donc possible de convertir certains de ces équipements afin

qu'ils effectuent un traitement différent de celui auquel ils étaient destinés. Cependant, les technologies qui auraient le plus grand potentiel d'application pour réduire les contaminants devraient, selon toutes vraisemblances, provenir de la combinaison de systèmes de traitement de l'air existants. En effet, la combinaison d'une unité de lavage de l'air (scrubbing) et d'un biofiltre percolateur ou la combinaison d'un biofiltre percolateur et d'un biofiltre pourrait constituer une solution plus intéressante que les technologies utilisées individuellement. Par contre, il n'existe pas d'informations dans la littérature sur l'efficacité de traitement de ces différentes combinaisons de technologies.

Réponse à la question de recherche et limites actuelles des connaissances

L'analyse des différents résultats de recherche sur les technologies de traitement de l'air nous a permis de répondre à la question de cette recension systématique des écrits : « *Quelle technologie potentielle de traitement d'air peut être utilisée pour réduire l'odeur provenant des installations de production de porcs en engraissement ?* »

La revue systématique de la littérature démontre qu'actuellement il n'existe pas de technologies uniques capables de contrôler efficacement l'ensemble des contaminants aériens provenant d'un bâtiment porcin. Par contre, en considérant les pertes de charges à travers le système sélectionné, le débit spécifique, la longévité des installations, le fait de pouvoir contrôler à la fois les odeurs, les particules et d'autres contaminants, le biofiltre percolateur semble avoir un excellent potentiel de développement et d'application. Il devient évident qu'un contrôle efficace des polluants peut être obtenu en combinant séquentiellement plusieurs technologies. Un système de traitement de l'air incluant un biofiltre percolateur, couplé à un laveur d'air ou un biofiltre, pourrait sans doute procurer un nettoyage efficace de l'air à la sortie des bâtiments d'élevage.

Cette revue aura aussi permis de réviser les derniers développements en matière de systèmes de traitement de l'air afin d'évaluer les forces et les faiblesses de chacune des techniques étudiées. Plusieurs technologies ont été évaluées pour le traitement de l'air et le contrôle des odeurs. Chacune de ces technologies est appuyée par un impressionnant nombre d'études fondamentales et interdisciplinaires (microbiologie, chimie, thermodynamique) et par des essais expérimentaux et des validations à l'échelle réelle. La plupart de ces applications concernent le domaine industriel et les applications agricoles disposent de moins de solutions. Récemment, sous la pression des réglementations environnementales, la recherche sur les technologies pour le traitement des odeurs et le contrôle des polluants au niveau des bâtiments d'élevage, commence à prendre de l'ampleur.

Cependant, l'analyse des études sélectionnées a démontré que les essais expérimentaux sont souvent réalisés dans des conditions de laboratoire et qu'ils ne prennent pas en considération la grande variabilité des facteurs qui caractérisent les bâtiments d'élevage. Par conséquent, les coefficients de performance ne reflètent pas le comportement de l'équipement dans des conditions réelles d'exploitation.

Un autre point faible identifié au niveau des données expérimentales présentées dans les études est le fait que l'analyse des performances correspond, pour un grand nombre d'équipements, à l'efficacité de traiter un seul type de polluants. Dans les conditions actuelles, il est plus approprié de connaître l'efficacité des technologies capables de traiter simultanément une gamme plus large de polluants.

Il est aussi connu que les nouveaux développements dans les traitements biologiques sont encore au stade de la recherche en laboratoire ou en installation pilote. La validation de ces concepts dans des conditions réelles d'exploitation et à long terme reste à faire.

Conclusions et orientations pour la recherche

Le développement technologique et l'avancement de la recherche scientifique réalisés dans le domaine du traitement de l'air pour les applications industrielles constituent une ressource de première importance pour le développement futur des applications agricoles. Parmi les technologies potentielles de traitement d'air pour réduire l'odeur provenant des installations de production porcine, les traitements actuels offrent des solutions partielles qui ne répondent pas à toutes les exigences technologiques.

Par contre, il existe un fort potentiel de développement et de mise au point de certaines des nouvelles technologies à divers stades de développement, dont les biofiltres à percolation (biotrickling filter) et les biolaveurs (bioscrubber). Enfin, des technologies de traitement de l'air basées sur la combinaison de plusieurs méthodes de traitement, dont la filtration mécanique, le lavage d'air et le biotraitement, présentent un potentiel élevé d'application.

Dans le contexte actuel, certaines directions de recherche doivent donc être priorisées afin d'assurer le développement des technologies de traitement d'air pour les élevages porcins. Le niveau des connaissances doit tout d'abord être développé à propos des systèmes de biofiltre percolateur quant à leur efficacité à contrôler les odeurs, les poussières et les gaz à la sortie des bâtiments d'élevage. Ensuite, des protocoles de recherche devront être planifiés et élaborés afin de mesurer l'efficacité de plus d'une technique de traitement de l'air dans des conditions similaires aux bâtiments réels. Enfin, des analyses économiques devront être complétées afin de s'assurer que les technologies les plus intéressantes techniquement le sont également lorsqu'il est question de coûts d'acquisition et d'opération.

Références

- Armeen, A., J. J. R. Feddes, J. J. Leonard et R. N. Coleman. 2007a. Biofilters to treat swine facility air: Part 1. Nitrogen mass balance. Still under review by Canadian Biosystems Engineering (submitted 2007).
- Armeen, A., J. J. R. Feddes, J. J. Leonard et R. N. Coleman. 2007b. Biofilters to treat swine facility air: Part 2. Water application rate. Still under review by Canadian Biosystems Engineering (submitted 2007).
- Deshusses, M. A. et D. Gabriel. 2005. Biotrickling filter technology. *Biotechnology for odour and air pollution control*. ed. Z. Shareefdeen and A. Singh. Springer: Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Deviny, J. S., M. A. Deshusses et T. S. Webster. 1999. *Biofiltration for air pollution control*. Lewis Publishers. Washington, DC, USA.
- Gabriel, D. et M. A. Deshusses. 2003. Retrofitting existing chemical scrubbers to biotrickling filters for H₂S emission control. *PNAS*. 100 (11).
- Godbout, S. et S. P. Lemay. 2007. Les activités de recherche sur les odeurs et la cohabitation à l'IRDA. Journée sur la gestion des gaz et des odeurs en production porcine. IRDA, FPPQ, CDPQ.
- Hartung, E., T. Jungbluth et W. Buscher. 2001. Reduction of ammonia and odor emissions from a piggery with biofilters. *Transactions of the ASABE*. 44 (1): 113-118.
- Hoff, S. J. et J. D. Harmon. 2006. Biofiltration of the critical minimum ventilation exhaust air. Workshop on Agricultural Air Quality. Washington, D.C., USA.
- Iranpour, R., H. H. J. Cox, M. A. Deshusses et E. D. Schroeder. 2005. Literature review of air pollution control biofilters and biotrickling filters for odor and volatile organic compound removal. *Environmental Progress*. 24 (3).
- Joncas, R., S. Godbout, F. Pouliot et A. Marquis. 2002. État de la recherche et du développement sur les concepts de bâtiments porcins réduisant les odeurs. IRDA.
- Kalingan, A. E., C. M. Liao, J. W. Chen et S. C. Chen. 2004. Microbial degradation of livestock-generated ammonia using biofilters at typical ambient temperatures. *Journal of Environmental Science and Health*. B 39 (1): 185-198.
- Kim, N. J., Y. Sugano, M. Hirai et M. Shoda. 2000. Removal of a high load of ammonia gas by a marine bacterium, *Vibrio Alginolyticus*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 90 (4): 410-415.
- Kraakman, A. 2005. Biotrickling and Bioscrubber Applications to control odour and air pollutants. *Biotechnology for odour and air pollution control*. ed. Z. Shareefdeen and A. Singh. Springer: Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Luo, J. 2001. A pilot-scale study on biofilters for controlling animal rendering process odours. *Water Science and Technology*. 44 (9): 277-285.
- Manuzon, R. B., L. Y. Zhao, H. M. Keener et M. J. Darr. 2007. A prototype acid spray scrubber for absorbing ammonia emissions from exhaust fans of animal buildings. *Transactions of the ASABE*. 50 (4): 1395-1407.
- Martinez, J. et A.M. Pourcher. 2008. Cohabiter avec la production porcine : mythes et réalités. Compte rendu du forum sur la cohabitation en production porcine 2008. 19 février. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Pp. 11-25.
- Melse, R. W. et N. W. M. Ogink. 2005. Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. *Transactions of the ASABE*. 48 (6): 2303-2313.
- National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE). 2007. The guidelines manual. London: National Institute for Health and Clinical Excellence. [En ligne] www.nice.org.uk.
- Nicolai, R. E. et K. A. Janni. 2001. Biofilter media mixture ratio of wood chips and compost treating swine odors (Dept of Biosystems and Agricultural Engineering, University of Minnesota, USA).

- Revah, S. et J. M. Morgan-Sagastume. 2005. Methods of odor and VOC control. Biotechnology for odour and air pollution control. ed. Z. Shareefdeen and A. Singh. Springer. Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Shah, S. B., P. W. Westernman, R. D. Munilla, M. E. Adcock et G. R. Baughman. 2007. Performance evaluation of a regenerating scrubber for animal house emissions. International symposium on air quality and waste management for agriculture. ASABE Publication. Broomfield, Colorado.
- Sheridan, B. A., T. P. Curran et V. A. Dodd. 2002a. Assessment of the influence of media particle size on the biofiltration of odorous exhaust ventilation air from a piggery facility. *Bioresource Technology*. 84: 129-143.
- Sheridan, B. A., T. Curran, V. Dodd et J. Colligan. 2002b. Biofiltration of odour and ammonia from a pig unit - A pilot-scale study. *Biosystems Engineering*. 82 (4): 441-453.
- Singh, A., Z. Shareefdeen et O. P. Ward. 2005. Bioscrubber technology. biotechnology for odour and air pollution control. ed. Z. Shareefdeen and A. Singh. Springer. Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Sunghyoun, L., Y. Namkyu, K. Gyeongwon et H. Youngki. 2007. Development of an odor abatement system for swine manure treatment facilities. International Symposium on air quality and waste management for Agriculture. ASABE Publication. Broomfield, Colorado.