

Biofiltration de l'air des bâtiments porcins

Cahier des charges pour des performances optimales

Solène Lagadec, Khaled Amin - Chambre d'agriculture de Bretagne
Claude Cochet – I-TEK

Mai 2024

Un biofiltre est un système de traitement de l'air des bâtiments porcins. Son objectif est de réduire les émissions gazeuses nocives pour l'environnement, notamment l'ammoniac. Pour cela, il est composé d'un substrat à travers lequel passe l'air des porcheries à traiter. Les bactéries se développant au sein de ce substrat agissent pour réduire les émissions de polluants. Différents paramètres sont à prendre en compte pour dimensionner et optimiser l'efficacité de ce système de traitement de l'air.

1. Principe de la biofiltration

Un biofiltre est composé d'un support solide appelé « substrat » à travers lequel passe l'air des porcheries à traiter (figure 1). Des micro-organismes se développent au sein de ce substrat et absorbent les composés gazeux de l'air afin de les oxyder biologiquement. Ce système de traitement de l'air vise à réduire les émissions d'ammoniac, de méthane et d'odeurs.

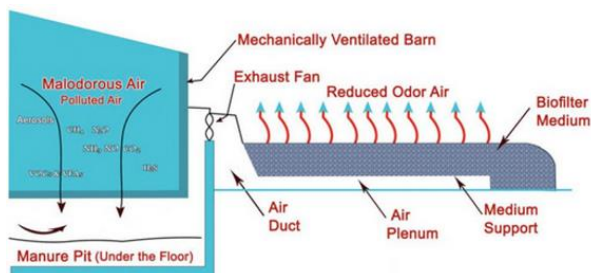


Figure 1 : Schémas d'un biofiltre (Schmidt et al. 2020)

Les bactéries nitrifiantes autotrophes entraînent une oxydation de l'ammoniac (NH_3) en nitrite et en nitrate et les bactéries méthanotrophes utilisent le méthane (CH_4) comme source de carbone et d'énergie. Les composés odorants (acides organiques, hydrocarbures) retenus par le support organique sont dégradés en CO_2 en H_2O , en sels et en composés organiques volatils (COV) grâce à l'activité microbienne qui utilise l'énergie et les nutriments pour se développer (Buelna et al., 2008).

2. Dimensionnement d'un biofiltre

Les 7 étapes pour dimensionner un biofiltre sont les suivantes :

Etape 1 : Obtenir les informations suivantes :

- Débit volumétrique (m^3/h),
- Temps de passage (entre 5 et 10 secondes),
- Surface disponible pour implanter le biofiltre,

- Ventilateur (débit par rapport à la pression statique),
- Propriétés aérodynamiques du substrat (perte de charge par hauteur à différentes vitesses d'air).

Etape 2 : Calculer le volume requis (m^3) de substrat en multipliant le volume (m^3/s) par le temps de passage (s).

Etape 3 : Choisir soit la hauteur (maximum 1 m) soit la surface (m^2) du substrat.

Etape 4 : Calculer la surface (m^2) ou la hauteur (m) à partir du volume de substrat et de la hauteur ou surface choisie.

Etape 5 : Vérifier que la hauteur et la surface conviennent à l'emplacement où le biofiltre doit être installé.

Etape 6 : Calculer la vitesse d'air (m/s) à travers le substrat en divisant le débit volumétrique (m^3/s) par la surface (m^2) du biofiltre.

Etape 7 : Estimer la chute de pression à travers le biofiltre en utilisation d'équation 1 (Sadaka et al., 2002).

$$p = 4 \times d \times 10^{\left(\frac{\log_{10} v + 0.0032c + 1.9447}{-0.0014c + 0.6187} \right)}$$

Where: p is pressure drop (Pa)

d is depth of filter medium (m)

v is velocity through filter bed (m/s)

c is % compost in the filter bed (%)

Après avoir dimensionné le biofiltre, il est nécessaire de suivre les recommandations ci-dessous afin d'optimiser les performances de ce système de traitement de l'air.

3. Cahier des charges pour des performances optimales

3.1. Limiter les pertes de charge

Une exigence fondamentale pour un biofiltre est de faire passer l'air vicié à travers le substrat. Or, une chute de pression est observée à travers les biofiltres et doit être limitée à 50 Pa maximum. Les différents paramètres qui entraînent une augmentation des pertes de charge à travers le biofiltre sont :

- Une vitesse d'air accrue à travers le substrat (due au frottement) ;
- Une augmentation de la hauteur du substrat ;
- Une porosité réduite du substrat (causée par des matériaux fins tels que le compost ou copeaux de bois fins) ;
- Une augmentation de la teneur en humidité (due à une légère réduction de la porosité avec des pores devenant rempli avec de l'eau).

Le système de ventilation devra donc être adapté pour permettre une bonne ventilation des salles du bâtiment d'élevage et un passage de l'air homogène au sein du biofiltre. Pour cela, il faudra vérifier que la perte de charge corresponde bien aux performances du système de ventilation. Si elle est trop importante, il faudra réduire la hauteur du substrat.

3.2. Assurer un bon passage de l'air à travers le biofiltre

Le temps de passage indique la durée pendant laquelle l'air est en contact avec le substrat. Le temps de passage, exprimé en temps de contact à vide (EBCT), est défini comme le temps qu'il faut pour que l'air passe à travers un volume de la même taille que le média. L'EBCT est déterminé en divisant le volume du média (m^3) par le débit d'air (m^3/s). Des temps de contact plus longs donnent au biofiltre plus de temps pour traiter les gaz mais nécessitent également un biofiltre plus grand. 5 secondes est le temps de contact minimum pour permettre au biofiltre d'être efficace (Schmidt, 2020).

3.3. Utiliser des matériaux de construction adaptés

Des niveaux élevés d'humidité et de sels se combinent pour créer un environnement hautement corrosif dans le biofiltre. Il est donc essentiel de choisir des matériaux résistants à la corrosion ou pouvant être revêtus pour les protéger de la corrosion. Les matériaux qui résistent à la corrosion comprennent plastiques (par exemple polyéthylène haute densité), composites de fibres et acier inoxydable. L'utilisation d'alliages ferreux (tels que l'acier) doivent être évités dans la mesure du possible, à moins qu'ils ne puissent être revêtus ou galvanisés pour éviter la corrosion. Le choix des matériaux appropriés dépendra fortement de la taille du biofiltre à construire, le budget disponible et la disponibilité locale (Dunlop et al., 2005).

3.4. Choisir le substrat approprié

Les matériaux utilisés pour le substrat doivent être biologiquement actifs et structuraux. Les propriétés souhaitables du substrat doivent être les suivantes : (1) un environnement approprié pour que les micro-organismes se développent ; (2) une grande surface pour maximiser les zones de fixation et la capacité de d'absorption des micro-organismes ; (3) un compactage stable ; (4) une capacité de rétention d'humidité élevée ; et (5) une porosité élevée pour maximiser le temps de passage (EBRT) et minimiser la chute de pression. Enfin, des préoccupations pratiques telles que le coût et la disponibilité locale doivent également être pris en compte.

Les substrats tels que le compost et la tourbe possèdent bon nombre des qualités précisées ci-dessus mais ils se dégradent rapidement conduisant à un compactage (donc augmentation des pertes de charge) et à une limitation de leur durée de vie (Swanson et Loehr, 1997). Un retournement fréquent permettrait d'augmenter la porosité et d'améliorer légèrement les performances mais cela entraînerait des dépenses de fonctionnement supplémentaires (Goldstein, 1996). Ainsi, des matériaux comme le sol, la sciure de bois, la tourbe, la fibre de coco et la paille ne doivent pas être utilisés dans les biofiltres car ils se dégradent rapidement, se compactent et nécessitent un entretien élevé et de grands ventilateurs pour surmonter les résistances au flux d'air.

Les bois déchiquetés ou copeaux de bois ont été identifiés comme des matériaux appropriés en raison de leur résistance au flux d'air raisonnablement faible et de leur décomposition lente. Ces matériaux fournissent certains nutriments aux micro-organismes, retiennent l'humidité et maintiennent une structure appropriée, qui résiste au compactage (Dunlop et al. (2005). Enfin Chen et al (2009) précisent que le mélange de compost (30%) et copeaux de bois (70%) est identifié comme l'un des meilleurs choix car le compost introduit des micro-organismes et fournit des nutriments.

Finalement, le taux de compaction du substrat, qui dicte le temps de passage de l'air dans le substrat doit être minimum pour prévenir l'augmentation des pertes de charge et prévenir la création de passages préférentiels de l'air. La durée de vie d'un biofiltre peut être évaluée entre 3 et 5 ans sans provoquer une chute de pression importante (Schmidt et al., 2020).

3.5. Fournir des conditions correctes pour l'activité microbienne

Les performances du biofiltre sont très sensibles aux conditions atmosphériques (Dumont et al. 2014). Le substrat doit procurer aux microorganismes un environnement (température, humidité, pH, etc.) propice à leur développement.

Les températures du substrat entre 20 °C et 40 °C sont considérées comme optimales tandis que les températures inférieures à 10 °C et au-dessus de 65 °C diminuent l'activité microbienne. Lorsque le bâtiment d'élevage est bien isolé, l'air réchauffé par les animaux peut être suffisant pour éviter le retard de l'activité biologique.

L'humidité du substrat doit être comprise entre 40 et 70 % (Chen et al., 2009). En effet, l'humidité fournit une voie permettant aux contaminants gazeux de passer de la phase gazeuse à la phase liquide, où les micro-organismes peuvent consommer et convertir ces contaminants en composés moins polluants. Les micro-organismes ont également besoin de conditions suffisamment humides pour survivre. Si la teneur en humidité diminue en dessous de ce niveau, l'activité biologique va décliner. Si la teneur en humidité dépasse ce niveau, les pores peuvent être bloqués, ce qui crée des zones anaérobies entraînant des émissions de protoxyde d'azote (N₂O) et de méthane (CH₄) et restreint le flux d'air. L'humidification de l'air est recommandée pour prévenir l'assèchement du substrat du biofiltre (Joncas et al., 2002). Cependant, en cas de forte pluie, il est recommandé de prévoir un système d'évacuation de l'eau accumulée.

Le pH du substrat du biofiltre devrait être proche de la neutralité (pH=7) pour maximiser l'activité microbienne

(Pâques et al., 2005). De plus, Yang et al. (2014) ont montré que les émissions de N₂O augmentaient significativement avec le pH.

Conclusion

L'objectif de cette synthèse est de proposer des recommandations pour le dimensionnement et l'utilisation d'un biofiltre à partir de la bibliographie. Pour dimensionner un biofiltre, il est nécessaire de suivre 7 étapes du calcul de volume de substrat et l'estimation des pertes de charge. Puis, les quatre paramètres à prendre en compte pour avoir un système de traitement de l'air efficace par biofiltration sont :

- Limiter les pertes de charge,
- Assurer un bon passage de l'air à travers le biofiltre,
- Choisir le substrat approprié,
- Fournir des conditions correctes pour l'activité microbienne.

Une fois ces recommandations suivies, la biofiltration est un système de traitement de l'air efficace pour réduire les émissions d'ammoniac, de méthane et d'odeurs des bâtiments d'élevage porcins.

Références bibliographiques

- Buelna G., Dubé R., Turgeon N. (2008) Pig manure treatment by organic bed biofiltration. *Desalination*. Volume 231 :297-304
- Schmidt D., Jacobson L., Nicolai R. (2020) Biofilter design information, University of Minnesota extension, 23 p
- Dunlop M ; Hudson N., Sohn J.H., Yoo Y.H. (2005) Development and application of biofilter systems for intensive livestock operations to minimise odour emissions and nuisance potential
- Swanson W.J., Loehr R.C. (1997). Biofiltration : Fundamentals, design and operations principles, and applications. *Journal of environmental Engineering*, Volume 123 :6
- Goldstein, N. (1996). Odor control experiences: Lessons from the biofilter. *Biocycle* 37, 70-75.
- Chen L., Hoff S.J. (2009). Mitigating odors from agricultural facilities : A review of literature concerning biofilters. *Applied Engineering in agriculture*. Volume 25 :751-766
- Sheridan, B. A., T. P. Curran, and 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 Tech.* 84(2): 129-143.
- Dumont, E., Hamon, L., Lagadec, S., Landrain, P., Landrain, B., & Andres, Y. (2014). NH₃ biofiltration of piggery air. *Journal of Environmental Management*, 140, 26e32.

CONTACTS

Chambres d'Agriculture de Bretagne
Solène LAGADEC, Khaled AMIN
Mail : solene.lagadec@bretagne.chambagri.fr

I-TEK
Claude COCHET