

Solène Lagadec, Paul Landrain (Chambres d'agriculture de Bretagne)
Fabien Bellec, Ludovic Masson, Céline Dapello (AVELTIS)
Nadine Guingand (IFIP – Institut du porc)

Le lavage d'air permet de réduire les émissions d'ammoniac, d'odeurs et de particules des élevages de porcs. Cependant, les taux d'abattement de ces polluants varient en fonction des configurations techniques des différents laveurs d'air commercialisés sur le terrain. Une enquête a été réalisée sur 31 laveurs d'air chez des éleveurs de la coopérative AVELTIS afin de proposer des conseils d'utilisation permettant d'obtenir des résultats optimaux sur l'abattement d'ammoniac.

1. Présentation du lavage d'air

Un laveur d'air est constitué d'un bloc de maillage, d'une rampe d'arrosage, d'une pompe, d'un liquide en recirculation et d'un dévésiculeur (pare-gouttelette).

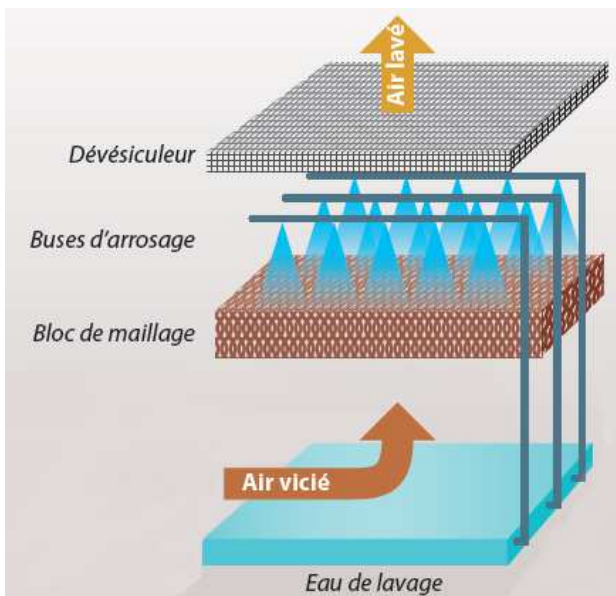


Figure 1 : Composants d'un laveur d'air

L'air extrait de la porcherie traverse le maillage et est ainsi "lavé". La rampe de buses a pour but d'arroser l'intégralité du maillage à l'aide du liquide en recirculation et d'humidifier l'air extrait. Plusieurs paramètres sont à prendre en compte pour y parvenir : le type de buse, le débit d'arrosage et le positionnement des buses. Enfin, le rôle du dévésiculeur est de casser les gouttelettes pour limiter la perte en eau et la dispersion de gouttelettes éventuellement porteuses de légionnelles à l'extérieur du bâtiment.

Le principe du lavage d'air est basé d'une part sur l'action de l'eau solubilisant les composés gazeux solubles et sédimentant les particules, et d'autre part, sur l'action de la flore microbienne présente au sein du maillage dégradant l'ammoniac et les composés odorants (Guingand, 2008).

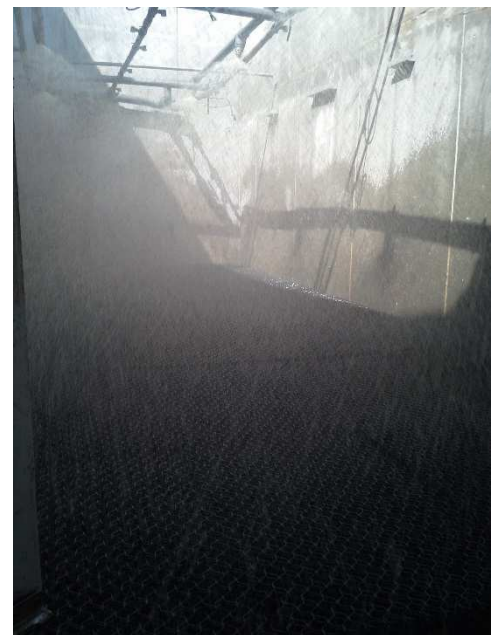


Photo 1 : lavage d'air en fonctionnement

Si la réduction des polluants vers l'air extérieur est garantie avec ce système de traitement de l'air, les taux d'abattement des laveurs sur l'ammoniac et sur les odeurs peuvent être assez variables. Ils diffèrent notamment en fonction du dimensionnement (surface de maillage pour 100 places d'engraissement, volume de maillage pour 100 places d'engraissement), du type de maillage (nombre de blocs, surface de contact) et du système d'arrosage (type de buses et pression/débit de fonctionnement, nombre de buses, nombre de rampes).

2. Réalisation d'une enquête sur 31 laveurs d'air

L'enquête est réalisée sur 31 laveurs d'air installés dans 15 élevages de la coopérative AVELTIS.

Elle a été réalisée en deux phases : (1) état des lieux des équipements utilisés, (2) identification des facteurs influençant les taux d'abattement de l'ammoniac. Les résultats de ces deux phases permettent de proposer des solutions pour obtenir de bonnes performances d'abattement de l'ammoniac avec ce système de traitement de l'air.

3. Description des laveurs d'air enquêtés

Les laveurs d'air ont été mis en route entre 2003 et 2010. Ils sont tous installés dans des bâtiments neufs équipés d'une ventilation centralisée. Ils sont tous de type vertical, c'est-à-dire que l'air traverse le maillage de bas en haut à contre-courant de l'arrosage.

25 laveurs traitent l'air de salles d'engraissement, trois de salles de post-sevrage et un de salles de truies en gestation. Les deux derniers laveurs étudiés concernent des bâtiments rassemblant, pour l'un, le post-sevrage et l'engraissement, pour l'autre, la maternité, les truies gestantes et le post-sevrage.

Deux dispositions du laveur par rapport au bâtiment sont rencontrées : 74% d'entre eux sont intégrés dans le bâtiment et 26% sont disposés sur le côté du bâtiment.

4. Phase 1 : Etat des lieux des équipements utilisés

4.1. Le dimensionnement

La surface du laveur d'air est définie en divisant le débit maximal d'air à traiter par la vitesse maximale souhaitée à travers le maillage.

Plus la vitesse maximale est grande, plus la surface sera petite mais moins le laveur sera efficace sur l'ammoniac.

Les vitesses maximales préconisées sont de 0,7 à 2 m/s selon Roustan (2004). Guingand (2008) préconise une vitesse maximale de 1 m/s avec une durée de traversée de 1 seconde ce qui correspond à une surface de 1,94 m² pour 100 places d'engraissement, un peu plus élevée que la moyenne de notre étude.

Dans notre enquête, la surface de maillage est comprise entre 0,64 et 2,11 m² pour 100 places d'engraissement avec une moyenne de 1,37 ± 0,47 m². La vitesse d'air maximale varie de 0,92 à 3,03 m/s, avec une moyenne de 1,59 ± 0,62 m/s. Aucun lien n'est identifié entre cette vitesse d'air maximale et l'épaisseur du maillage.

Le volume de maillage est compris entre 0,34 et 1,84 m³ pour 100 places d'engraissement avec une moyenne de 0,83 ± 0,45 m³. La durée de traversée de l'air dans le laveur est très hétérogène, sous l'effet combiné de la variabilité des vitesses et l'épaisseur de maillage, et se situe entre 0,18 et 0,94 secondes, avec une moyenne de 0,44 ± 0,24 secondes. Cette valeur est inférieure aux préconisations de 1 seconde (Guingand, 2008) du fait de vitesses d'air élevées à travers le maillage.

4.2. Le maillage

Le maillage est constitué d'un matériau inerte, plastique et structuré. Trois modèles de maillages équipent les 31 laveurs étudiés, différents par la surface de contact et l'épaisseur. La surface de

contact désigne la superficie réelle de la surface d'un objet par opposition à sa surface apparente. Elle est exprimée en m²/m³.

Surface de contact ⁽¹⁾	Epaisseur de maillage	Nombre de couches de mailles	Nombre de laveurs
130 m ² /m ³	45 cm	1	5
	90 cm	2	1
	135 cm	3	3
125 m ² /m ³	30 cm	1	9
	60 cm	2	3
	90 cm	3	9
100 m ² /m ³	15 cm	1	1

⁽¹⁾ Les surfaces de contact sont issues des données des constructeurs

Tableau 1 : Répartition des laveurs selon l'épaisseur de maillage et le type de maillage

Le rôle du maillage est d'augmenter la surface de contact entre les phases gazeuse (air) et liquide (eau) tout en limitant les pertes de charge. Il est aussi un support pour le développement du biofilm.

4.1. L'arrosage

Le but recherché par l'arrosage est d'humidifier l'intégralité de la surface de maillage. Plusieurs paramètres sont à prendre en compte pour y parvenir : le type de buse, le débit d'arrosage et le positionnement des buses. Trois types de buses sont rencontrés et décrits dans le tableau 2.

Angle de pulvérisation (°)	Type de cône	Gamme de débit d'arrosage (m ³ /h/buse)
120	plein	4 – 10
120	plein	0,34 – 2,15
90	creux	0,75 – 3,35

Tableau 2 : Description des types de buses observés sur les laveurs d'air enquêtés

Elles diffèrent en fonction du type de cône (plein ou creux) et de la gamme de débit d'arrosage.

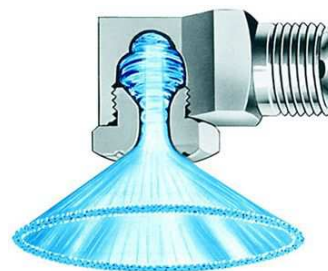


Figure 2 : Fonctionnement de buse à cône creux

4.2. L'eau de lavage

Le volume d'eau de la réserve d'eau est compris entre 0,34 et 1,84 m³ pour 100 places d'engraissement. Pour 27 laveurs, la gestion du

niveau de l'eau se fait grâce à un robinet flotteur établissant un niveau constant dans la réserve. Pour les 4 autres laveurs, la gestion du niveau de l'eau est automatisée et le remplissage se fait suivant un marnage, défini par des poires de niveaux qui agissent sur l'ouverture et la fermeture d'une électrovanne ou sur la mise en route d'une pompe pour le transfert de l'eau. La majorité des laveurs est équipée d'un système pour la déconcentration de l'eau de lavage. Ce renouvellement peut être géré manuellement (18 laveurs) ou automatiquement (13 laveurs).

La consommation d'eau a été calculée pour 8 laveurs. Pour les laveurs installés dans des bâtiments d'engraissement, elle varie de 60 à 80 L/100 places/jour avec dévésiculeur et de 152 à 180 L/100 places/jour sans dévésiculeur. Ce résultat montre l'importance de la mise en place d'un pare-gouttelettes sur la consommation d'eau.

4.3. L'entretien

Sur les 31 laveurs, 14 (dans 6 élevages) ont été nettoyés: 5 laveurs tous les trois mois, 3 laveurs deux fois par an, 3 laveurs une fois par an et 3 laveurs une fois par an avec retrait et lavage du maillage. Concernant les autres laveurs, la majorité des éleveurs surveillent l'encrassement et n'effectuent un nettoyage que si cela est nécessaire.

Il est à noter que le nettoyage du maillage limite l'action biologique du lavage d'air. Or, celle-ci a une place importante dans la réduction des émissions d'ammoniac par ce procédé (Guinand, 2014). Cette opération n'est donc pas conseillée pour assurer une réduction optimale des émissions d'ammoniac.

5. Phase 2 : Identification des facteurs influençant l'abatement d'ammoniac

L'identification des facteurs influençant l'abatement d'ammoniac s'est faite en deux étapes :

- Une première étape a consisté en des mesures dans les 31 laveurs d'air. L'analyse des résultats a permis d'identifier ces facteurs.
- Une seconde étape a consisté en une quantification de ces facteurs par des tests réalisés dans 3 laveurs d'air.

5.1. Mesure de l'abatement d'ammoniac

L'abatement de l'ammoniac a été déterminé en comparant les émissions d'ammoniac mesurées en amont et en aval des unités de lavage. La différence correspond aux quantités d'ammoniac abattues par le traitement de l'air.

Pour calculer les émissions d'ammoniac, les **concentrations** mesurées dans l'air (en mg/m³) sont multipliées par les **débits d'air** (en m³/s).

- Les concentrations en ammoniac ont été mesurées à l'aide de tubes diffuseurs (type Dräger) (photo 4)
- Le débit d'air (m³/s) est obtenu en multipliant la vitesse d'air à travers le maillage (m/s) par la surface de maillage (m²). Celle-ci est déterminée en multipliant la largeur par la longueur du maillage.

La vitesse d'air à travers le maillage (m/s) est calculée à partir de la vitesse d'air mesurée dans la gaine de ventilation (m/s) à l'aide d'un anémomètre à fil chaud (photo 5)



Photo 3 : Mesure de la concentration en ammoniac dans la gaine, en amont du laveur



Photo 4 : Mesure de la vitesse d'air dans la gaine de ventilation à l'aide d'un anémomètre

Après avoir mesuré la vitesse d'air dans la gaine de ventilation, l'équation suivante est utilisée :

$$\text{Vitesse d'air à travers le maillage (m/s)} = (\text{vitesse d'air dans la gaine (m/s)} \times \text{surface de la gaine (m}^2\text{)}) / \text{surface du laveur d'air (m}^2\text{)}$$

Au moment de la mesure, les paramètres suivants ont également été enregistrés : la durée de traversée de l'air dans le maillage (dépendant de l'épaisseur de maillage), la température et l'hygrométrie de l'air en amont et en aval du laveur, le débit d'arrosage, la consommation et la composition physico-chimique des eaux de lavage.

La température et l'hygrométrie de l'air ont été enregistrées à l'aide d'un thermo-hygromètre.

Le débit d'arrosage est obtenu par la mesure du temps de remplissage d'un seau de 15 L. Pour un même laveur, la mesure est répétée à minima sur trois buses (selon le nombre total de buses). Les mesures réalisées après un contrôle visuel du bon fonctionnement de ces buses, permettent de valider l'homogénéité d'arrosage du maillage.



Photo 5 : Vérification du bon fonctionnement des buses d'arrosage

Les mesures des paramètres physico-chimiques des eaux de lavage sont effectuées en deux temps : sur place pour la température de l'eau de lavage, le pH et la conductivité ; en laboratoire pour l'azote organique, l'azote ammoniacal, les nitrites et les nitrates (le prélèvement est réalisé en sortie de buse dans des flacons de 2 L).

La consommation d'eau est enregistrée uniquement pour les laveurs équipés d'un compteur d'eau.

5.2. Résultats des mesures dans les 31 laveurs d'air

D'après les mesures d'abatement de l'ammoniac réalisées sur les 31 laveurs d'air, les paramètres

qui l'influencent sont **la vitesse de l'air à travers le maillage, la concentration en azote ammoniacal de l'eau de lavage, la température de l'air en amont du laveur, la température du liquide de lavage, la concentration en ammoniac de l'air en amont du laveur et le pH de l'eau de lavage.**

L'efficacité du lavage d'air augmente lorsque la vitesse d'air, la concentration en azote ammoniacal, le pH et la température de l'eau de lavage diminuent et lorsque la température de l'air et la concentration en ammoniac en amont du laveur augmentent.

L'équation de prédiction suivante permet d'expliquer 68% de la variabilité du taux d'abatement :

$$\text{Taux d'abatement (\%)} = 304,37 - 32,20 \times \text{vitesse d'air à travers le maillage (m/s)} - 30,95 \times \text{pH} - 0,005 \times \text{concentration N ammoniacal (mg/L)} + 7,41 \times \text{T}^{\circ}\text{C air (}^{\circ}\text{C)} - 8,87 \times \text{T}^{\circ}\text{C eau lavage (}^{\circ}\text{C)} + 0,89 \times \text{concentration ammoniac en amont (ppm)}.$$

Suite à ces résultats, des mesures complémentaires ont été réalisées dans trois laveurs d'air. Elles ont permis d'avoir des données plus précises sur l'effet des principaux paramètres identifiés.

5.3. Test sur 3 laveurs d'air

Les caractéristiques techniques des trois laveurs d'air testés sont présentées dans le tableau 2. Ils traitent chacun l'air provenant d'un bâtiment d'élevage d'environ 1400 places en ventilation centralisée et diffèrent principalement par le type de buse et le maillage.

Les paramètres testés ont été :

- Pour le laveur d'air 1 : la vitesse d'air, la durée de traversée (épaisseur de maillage) et le débit d'arrosage
- Pour le laveur d'air 2 : la vitesse d'air et la concentration de l'eau de lavage
- Pour le laveur d'air 3 : la vitesse d'air, la durée de traversée (épaisseur de maillage), le débit d'arrosage, le type de buse et la surface de contact liée au type de maillage

Paramètres testés	Caractéristiques des paramètres testés	Laveur d'air 1		Laveur d'air 2		Laveur d'air 3	
		initial	Tests réalisés	initial	Tests réalisés	initial	Tests réalisés
Type de maillage	Surface de contact (m ² /m ³)	125	125	125	125	130	130
Durée de traversée	Épaisseur de maillage (cm)	30 cm	30 cm / 60 cm	90 cm	90 cm	45 cm	45 cm / 90 cm
Type de buse	Cône d'aspersion des buses	A	A	B	B	C	C et A
Débit d'arrosage	Débit d'arrosage (m ³ /h/buse)	3,76	4,1 / 5,8 / 7,7 / 10,3	0,49		0,48	0,75 / 1 (C) 4,5 / 6 (A)
Vitesse d'air	Vitesse d'air (m/s)	0,99 (maxi)	0,3 / 0,6 / 1 / 1,2 / 1,5	1 (maxi)	0,2 / 0,4 / 0,7 / 1,1 / 1,3 / 1,5	1,12 (maxi)	0,3 / 0,5 / 0,7 / 1 / 1,3
Concentration en NH ₄ ⁺ de l'eau de lavage	Renouvellement de l'eau de lavage (%)			0	0 / 25 / 50 / 75		

Tableau 3 : Caractéristiques techniques des laveurs d'air testés et paramètres testés

Pour atteindre des vitesses plus élevées que celles pour laquelle les laveurs sont dimensionnés, la surface du maillage des laveurs a été réduite.

La durée de traversée a été testée en doublant l'épaisseur de maillage pour les laveurs d'air 1 et 3. Une adaptation de la rampe d'arrosage a été réalisée, afin que la hauteur entre la buse et le maillage reste la même quelle que soit l'épaisseur de maillage.

Pour caler les débits d'arrosage, une réserve de 60 L est positionnée sous une buse et le temps de remplissage est chronométré. La modification du débit se fait grâce à une vanne mise en place sur le tuyau de refoulement.

Enfin le test de l'effet de la concentration de l'eau de lavage se fait par dilution de l'eau initiale avec de l'eau propre. Quatre séries de mesures sont effectuées à des concentrations différentes obtenues par dilution de l'eau initiale (tableau 3).

	Pourcentage de renouvellement	Rajout d'eau propre
Concentration initiale	0%	0
1 ^{ère} dilution	25%	25% du volume initial
2 ^{ème} dilution	50%	25% du volume initial
3 ^{ème} dilution	75%	25% du volume initial

Tableau 4 : dilutions de l'eau de lavage testées

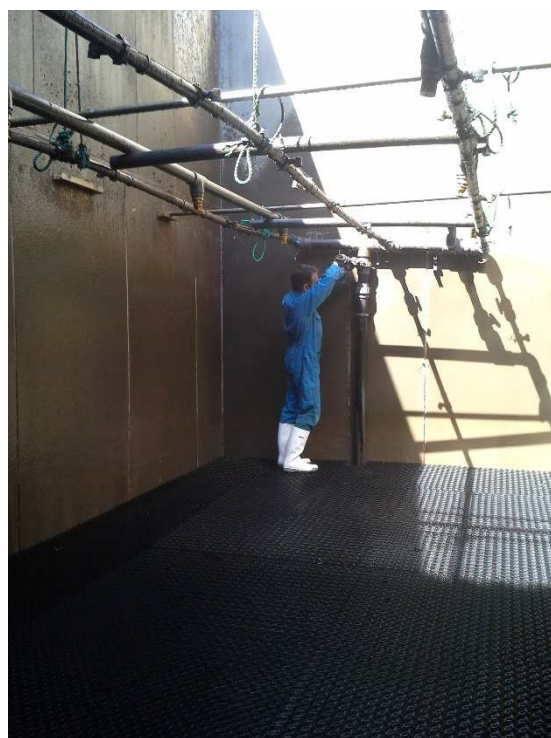


Photo 6 : Elévation de la rampe d'arrosage suite à l'ajout d'une couche de maillage

6. Solutions pour améliorer les taux d'abatement sur l'ammoniac

6.1. Respecter la vitesse d'air maximale de 1 m/s

La vitesse d'air à travers le maillage est le paramètre le plus impactant sur le taux d'abatement de l'ammoniac. En effet, l'augmentation de la vitesse d'air entraîne une diminution de l'efficacité d'abatement de l'ammoniac quelle que soit la valeur de

concentration de l'azote ammoniacal de l'eau de lavage.

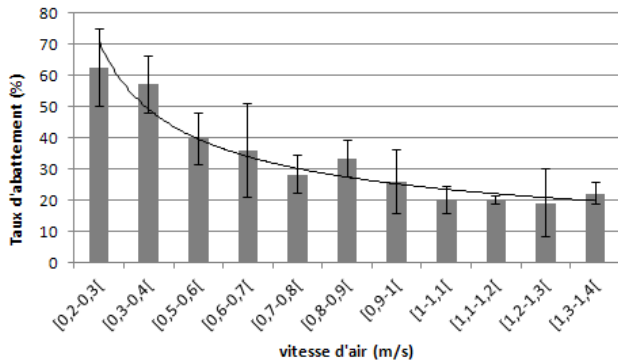


Figure 3 – Plus la vitesse d'air à travers le maillage est élevée, plus le taux d'abatement chute, jusqu'à se stabiliser à 20%

On remarque que le taux d'abatement chute rapidement de 57 à 40% lorsque la vitesse d'air passe de 0,4 à 0,6 m/s puis seulement de 40 à 20% lorsque la vitesse passe de 0,6 à 1,4 m/s. L'équation ajustée à partir de ces données pour prédire le taux d'abatement d'ammoniac à partir de la vitesse d'air à travers le maillage est la suivante :

$$\text{Taux d'abatement (\%)} = 25,094 \times \text{vitesse d'air à travers le maillage (m/s)} - 0,739$$

Avec la vitesse maximale préconisée, de 1 m/s, le modèle ci-dessus détermine un taux d'abatement d'ammoniac de 27 %. Plus la vitesse d'air est élevée et moins la dégradation des polluants par les micro-organismes présents au sein du maillage sera efficace.

6.2. Bien arroser sans surconsommer de l'eau

Les mesures ont montré une forte hétérogénéité du débit d'arrosage selon le type de buse utilisé (de 0,32 à 2,76 m³/h/m² de maillage).

Type de buse	A Cône plein	B Cône plein	C Cône creux
Min	1,03	0,32	0,55
Moyenne	1,92	0,72	1,49
Max	2,76	1,50	2,54
Ecart-type	0,61	0,32	0,75
Nombre de laveurs	11	10	9

Tableau 5 : débits des buses (en m³/h/m² de maillage)

Le débit d'arrosage est en moyenne de 1,39 ± 0,76 m³/h/m² de maillage. Ce débit d'arrosage moyen est plus élevé que celui préconisé de 0,72 m³/h/m² de maillage, ce qui laisse présager un risque de surconsommation d'eau par certains laveurs.

De plus, les mesures ont montré que le débit d'arrosage n'avait pas d'influence sur l'abatement de l'ammoniac. Le débit minimal préconisé par le fabricant est donc suffisant. L'important est que l'intégralité du maillage soit arrosée.

La consommation d'eau dans les bâtiments d'élevage varie de 60 à 80 L/100 places/jour avec dévésiculateur et de 152 à 180 L/100 places/jour sans dévésiculateur. Ce résultat montre l'importance de la mise en place d'un pare-gouttelettes sur la consommation d'eau.

6.3. Décrasser le laveur mais éviter le lavage

Sur les 31 laveurs, 14 (dans 6 élevages) ont été nettoyés : 5 laveurs tous les trois mois, 3 laveurs deux fois par an, 3 laveurs une fois par an et 3 laveurs une fois par an avec retrait et lavage du maillage. Concernant les autres laveurs, la majorité des éleveurs surveillent l'encrassement et n'effectuent un nettoyage que si cela est nécessaire.

Il est à noter que le nettoyage du maillage limite l'action biologique du lavage d'air. Or, celle-ci a une place importante dans la réduction des émissions d'ammoniac par ce procédé (Guinand, 2014). Le nettoyage du maillage n'est donc pas conseillé pour assurer une réduction optimale des émissions d'ammoniac, un décrassage suffit pour limiter l'augmentation des pertes de charges. La solution pour bien décrasser le maillage est de stopper l'humidification du maillage lorsque les salles sont vides afin de l'assécher. Il suffit ensuite de secouer les maillages pour en éliminer les encrassements.



Photo 7 : Maillage encrassé

6.4. Renouveler l'eau de lavage

La diminution de la concentration en azote ammoniacal de l'eau de lavage permet d'améliorer l'efficacité d'abatement de l'ammoniac. En effet, à faible vitesse de l'air (0,4 m/s), l'efficacité augmente ainsi de 30% lorsque la concentration est inférieure ou égale à 4300 mg/L.

La dilution de l'eau de lavage permet également de limiter la chute du taux d'abatement lorsque les vitesses d'air sont élevées : si la vitesse d'air est de 1 m/s, le taux d'abatement d'ammoniac est de 10% avec une forte concentration en azote ammoniacale des eaux de lavage (7500 mg/l) alors qu'il est proche de 50% avec une concentration de 3100 mg NH₄⁺/l.



Figure 4 – Avec une vitesse élevée, une meilleure efficacité sur l'ammoniac est obtenue lorsque la concentration en azote ammoniacal est moins forte (entre 3000 et 4300 mg/m³)

6.1. Traiter l'air uniquement lorsqu'il est bien chargé en ammoniac

La figure 5 montre l'effet de la concentration en ammoniac en amont du laveur sur le taux d'abattement (laveur 3). Il apparaît clairement que ce paramètre influence de manière très significative le taux d'abattement de l'ammoniac, avec un taux d'abattement qui double entre 20 et 30 ppm.

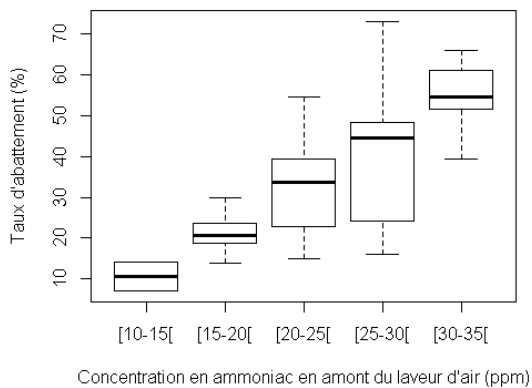


Figure 5 – Plus la concentration en ammoniac de l'air entrant dans le laveur est élevée, plus le taux d'abattement sera élevé

Pour réduire la dimension du laveur d'air, un système de by-pass pourrait être mis en place afin de ne traiter que l'air chargé en ammoniac (>20 ppm).

7. Conclusion

La vitesse de 1 m/s utilisée pour dimensionner les laveurs d'air aujourd'hui semble être une bonne

valeur limite haute, quelle que soit l'épaisseur de maillage. En effet, l'analyse de l'influence de la vitesse d'air sur l'efficacité du laveur d'air pour l'ammoniac montre qu'au-delà de 1 m/s le taux d'abattement de l'ammoniac tend vers 20%. Une épaisseur de maillage de 30 cm pourrait être suffisante pour un abattement satisfaisant de l'ammoniac avec une surface de contact de 125 m²/m³. La concentration en éléments azotés de l'eau ayant un impact sur l'efficacité du lavage d'air, un renouvellement de l'eau est nécessaire. La concentration maximale souhaitable en azote ammoniacal se situe autour de 4300 mg/L de NH₄⁺, au-delà, une forte réduction de l'efficacité a été observée. Toutefois, il est nécessaire de maintenir la flore microbienne installée dans le maillage car elle permet la réduction de l'ammoniac par une action biologique et est également impliquée dans la réduction des odeurs. Pour cela, le maintien des eaux de lavage pendant au moins 3 mois est préconisé et un remplacement partiel semble préférable. Enfin, il est important de vérifier le bon fonctionnement de l'arrosage de façon à laver en permanence le maillage.

8. Pour plus d'informations

Contacts : solene.lagadec@bretagne.chambagri.fr

Références bibliographiques

Guingand N., 2014. Influence de la fréquence de vidange des eaux de lavage sur l'efficacité d'unités de lavage d'air sur les émissions d'ammoniac, d'odeurs et de poussières dans le cas de porcheries d'élevage, Journées Recherche Porcine, 46, 193-198

Guingand N., 2008. Le lavage d'air en bâtiment porcin. Techniporc, 31(1), 23-27

Roustan M., 2004. Absorption en traitement de l'air. Technique de l'ingénieur. Environnement, G 1 (G 1750), 35

Comment citer ce document ?

Solène LAGADEC, Paul LANDRAIN, Fabien BELLEC, Ludovic MASSON, Céline DAPELLO, Nadine GUINGAND, Mars 2015. Enquête sur 31 laveurs d'air, clés d'amélioration de l'efficacité sur l'abattement de l'ammoniac. Rapport 7 pages

Mots-clés :

Lavage d'air, ammoniac, abattement, fonctionnement