

# Mise au point de l'outil TARA pour dimensionner et optimiser le lavage d'air en élevage porcin

Solène Lagadec, Pierre Le Devehat- Chambre d'agriculture de Bretagne

Avril 2021

Eric Dumont – IMT Nante Atlantique

Nadine Guingand – IFIP-Insitut du porc

Annabelle Couvert, Abdeltif Amrane – Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes (ENSCR)

Laurence Loyon – INRAE OPAALE

L'efficacité du lavage d'air à l'eau en élevage porcin sur la réduction des émissions d'ammoniac peut varier de 17 à 70% (Lagadec et al., 2015). Celle-ci dépend de plusieurs facteurs comme le dimensionnement du laveur, le type de maillage ou le système d'arrosage. Pour répondre à la demande croissante des éleveurs et techniciens concernant la mise en place et le suivi des laveurs d'air en fonctionnement, le projet TARA a été mené. Il a pour objectifs de proposer aux éleveurs et aux techniciens un outil permettant de concevoir au mieux les laveurs d'air, d'optimiser les performances de traitement de l'ammoniac et de prédire les caractéristiques physico-chimiques des eaux de lavage (azote ammoniacal, nitrites, nitrates) à intégrer au plan d'épandage.

## Introduction

Depuis plus d'une dizaine d'année, les éleveurs s'équipent de plus en plus de laveurs d'air pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il s'agit d'un système de traitement de l'air efficace sur les odeurs et de plus, il permet plus facilement d'atteindre les objectifs d'émissions d'ammoniac pour les élevages soumis à la directive IED (Industrial Emission Directive). Cependant, aucun travail n'avait été réalisé pour préciser comment les dimensionner à l'installation et ensuite comment optimiser leur fonctionnement. C'est pourquoi l'outil TARA<sup>1</sup> a été confectionné.»

## Principe du lavage d'air

Les laveurs d'air permettent de traiter l'air émis par les bâtiments d'élevages de porcs. Dans un bâtiment, l'air de chaque salle est extrait par une gaine de ventilation centralisée et passe à travers le laveur d'air pour être « purifié ». Il s'agit d'un échangeur de matière ayant pour objectif de transférer un composé soluble depuis la phase gazeuse en direction de la phase liquide. Le principe consiste à mettre en contact ces deux phases en utilisant un garnissage (ou maillage). Il existe deux types de laveurs selon le sens de circulation des phases : lavage horizontal ou vertical (Figure 1). Dans un laveur vertical, l'air circule à contre-courant de la phase liquide ; le maillage étant mouillé par des buses situées

au-dessus. Dans un laveur horizontal, les flux circulants sont perpendiculaires (courants croisés) et les buses d'arrosage sont installées en amont et au-dessus du maillage (Guingand N., 2008).

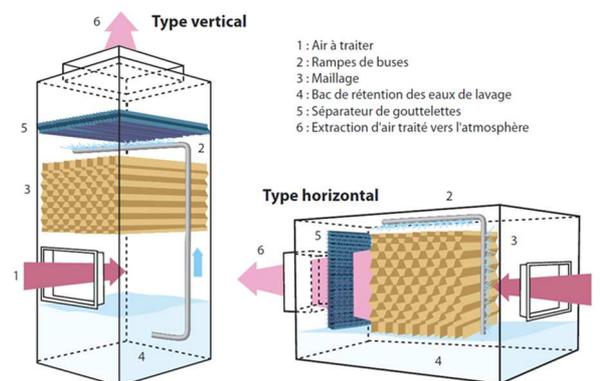
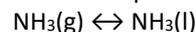


Figure 1 : Schémas de laveurs d'air verticaux et horizontaux (source : Ifip)

Dans les laveurs, l'ammoniac gazeux se solubilise dans l'eau suivant l'équation chimique :



La phase liquide circule en boucle fermée dans l'installation afin de réduire la consommation en eau. En conséquence, l'eau de lavage se charge progressivement en ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et son pH augmente du fait de l'apparition d'ions  $\text{OH}^-$ . Il est alors

<sup>1</sup> TARA est l'acronyme du projet qui signifie « Traitement de l'Air des porcheries : mise Au point d'un modèle de prédiction des flux azotés »

nécessaire de renouveler périodiquement une partie de l'eau de lavage afin de maintenir un transfert de matière efficace.

Les ions ammonium sont progressivement oxydés en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) puis en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) selon les réactions :



L'étape de nitrification est un processus biologique, assurée par des bactéries nitrifiantes (Nitrosomonas, Nitrobacter et Nitrospira) présentes dans l'eau de lavage ainsi qu'au sein du biofilm qui colonise le maillage. Le pH de l'eau de lavage doit rester sur la gamme de pH favorable aux activités des microorganismes. Il est entre 6,5-7,5 (Ottosen et al., 2011).

Une étape de dénitrification peut également se produire dans les laveurs entraînant la conversion des nitrates en azote atmosphérique via la formation des intermédiaires azotés suivants :



## Efficacité du lavage d'air sur l'abattement de l'ammoniac

L'efficacité des laveurs d'air est principalement fonction des paramètres suivants (Lagadec et al., 2021 et Van der Heyden et al., 2017) :

- **la température de l'eau** : la solubilité de l'ammoniac dans l'eau diminue avec l'augmentation de la température.

- **le pH de l'eau** : la solubilité de l'ammoniac est favorisée en conditions acides. Le pH du liquide de lavage ne doit pas excéder 8. En présence de biomasse, la montée du pH liée à la dissolution de l'ammoniac (production de  $\text{OH}^-$ ) est naturellement contre balancée par son oxydation (production de  $\text{H}^+$ ).

- **le temps de contact entre l'air et l'eau de lavage** : plus la vitesse d'air à travers le maillage est élevée, plus la réaction de solubilisation est limitée. Pour un débit d'ammoniac donné (et donc pour une vitesse de gaz donnée), la hauteur du garnissage doit être suffisante afin de garantir un temps de séjour de l'ammoniac dans le garnissage de l'ordre de 1 à 2 s.

- **la surface de contact entre la phase gazeuse et la phase liquide**, c'est-à-dire de la surface spécifique du maillage.

- **le débit de l'eau de lavage** mis en œuvre : plus le débit est important, meilleure est l'absorption. Pour un débit de gaz donné, le débit liquide de lavage doit être suffisamment important afin de garantir un facteur d'absorption compris entre 1,5 et 2.

- **l'humidification du maillage** afin d'éviter les fuites d'air non traité : l'humidification dépend notamment du type de buses utilisées, de leur positionnement et du débit liquide.

- **l'accumulation des espèces ioniques en solution dans l'eau de lavage**,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NO}_3^-$  réduit la force motrice de transfert entre l'air et l'eau.

La corrélation entre la quantité d'ions azote dissous dans l'eau d'un laveur d'air et la conductivité électrique (CE) a été mise en évidence. Par conséquent, la quantité d'azote dissous dans les eaux des laveurs d'air et ainsi le moment de renouveler les eaux de lavage pourrait être facilement contrôlée par la régulation de la conductivité électrique en utilisant l'équation suivante :

$$\Sigma([\text{NH}_4^+] + [\text{NO}_2^-] + [\text{NO}_3^-]) = 0,22 \text{ CE (précision } \pm 20\%, \text{ R}^2=0,945)$$

$$\text{avec } \Sigma[\text{NH}_4^+] + [\text{NO}_2^-] + [\text{NO}_3^-] \text{ en } \text{g}_\text{N} \text{ L}^{-1} \text{ et CE en mS cm}^{-1}$$

Une régression linéaire est également observée entre la concentration en  $\text{NH}_4^+$  et la conductivité électrique :

$$[\text{NH}_4^+] = 0,11 \text{ CE (précision } \pm 15\%, \text{ R}^2=0,912)$$

$$\text{avec } [\text{NH}_4^+] \text{ en } \text{g}_\text{N} \text{ L}^{-1} \text{ et CE en mS cm}^{-1}$$

## Mise au point de l'outil TARA

L'outil TARA a été mis au point pour répondre à la demande croissante des éleveurs, des techniciens bâtiment et environnement concernant la mise en place et le suivi des laveurs d'air en fonctionnement. Il sera également utilisé par les équipementiers. Il s'agit d'un modèle de prédiction des flux azotés du lavage d'air à l'eau permettant soit de dimensionner un laveur dans le cadre d'un projet d'installation soit d'optimiser l'efficacité d'une unité de lavage déjà en fonctionnement. Cet outil a été réalisé sous Excel à partir des lois sur l'absorption physique de l'eau (Dumont et al., 2011) ainsi que des données issues de la bibliographie et de mesures réalisées en conditions contrôlées et sur le terrain.

Dans le cadre d'un projet d'installation de laveur, et à partir d'un taux d'abattement d'ammoniac souhaité, l'outil permet de **dimensionner les différentes parties du laveur** : surface et hauteur de maillage, volumes de stockage des eaux de lavage et débit d'arrosage (Cliquez sur le bouton « **Dimensionnement** » sur la page d'accueil de l'outil – Figure 2). Pour des unités de lavage déjà existantes, l'outil permet de **déterminer l'efficacité du laveur à partir de ses caractéristiques** (débit d'air maximum à traiter, surface et volume de maillage, charge  $\text{NH}_3$  dans l'air entrant...). Le modèle permet aussi de calculer sur une base annuelle la consommation en eau et d'identifier les leviers d'action permettant d'améliorer l'efficacité d'absorption de l'ammoniac (Cliquez sur le bouton « **Fonctionnement** » sur la page d'accueil de l'outil – Figure 2).

Cet outil peut aussi être utilisé pour connaître les quantités annuelles d'ammoniac et de protoxyde d'azote émises ( $\text{N}_2\text{O}$ ) après traitement de l'air par lavage ainsi que les quantités d'azote des eaux en sortie de laveur mais aussi pour définir la fréquence de renouvellement des eaux de lavage.

Enfin, l'outil TARA est simple d'utilisation, développé sur le logiciel Excel à partir des équations classiques de

transfert gaz-liquide, ainsi que de données acquises en élevage.

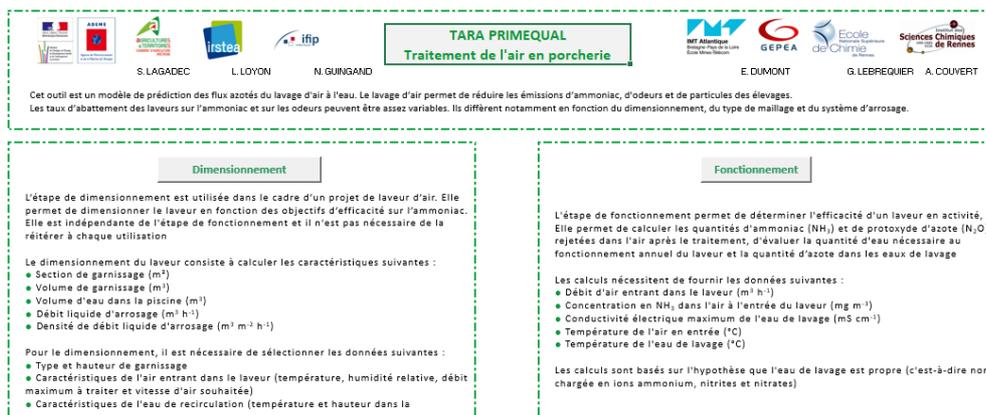


Figure 2 : Page d'accueil de l'outil TARA développé sur Excel

• **Utilisation du module dimensionnement**

Le module Dimensionnement est à utiliser dans le cadre d'un projet d'installation d'un laveur d'air. Il permet de dimensionner le futur laveur d'air en fonction des objectifs d'efficacité sur l'ammoniac que se fixe l'utilisateur de l'outil TARA.

Deux étapes sont nécessaires pour utiliser le module Dimensionnement :

- **Etape 1 :** Compléter les données indiquées dans la figure 3 : caractéristiques de l'air, de l'eau, type de maillage



Figure 3 : données à compléter dans le module dimensionnement (extrait de l'outil TARA)

Pour réaliser l'étape 1, l'utilisateur complète les données relatives à l'air devant être traité par le nouveau laveur ainsi que les caractéristiques envisagées pour l'arrosage du maillage. Un choix de maillages classiquement utilisés en élevage est alors proposé.

La majorité des données peuvent être estimées à partir des indications présentées dans le guide d'utilisation TARA associé à l'outil. Certaines correspondent à des objectifs à atteindre (seuil de conductivité par exemple) ou des contraintes liées au site (taille de la piscine par exemple).

- **Etape 2 :** Observer les caractéristiques du nouveau laveur et modifier les données d'entrée pour optimiser son dimensionnement si besoin (Figure 4)

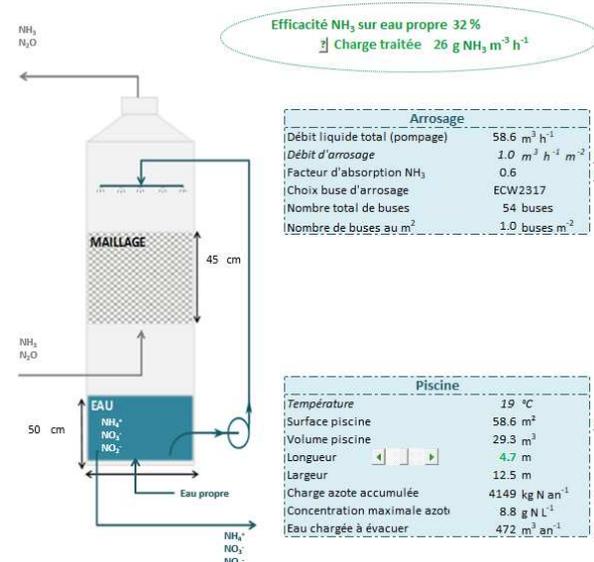


Figure 4 : caractéristiques du nouveau laveur (extrait de l'outil TARA)

Une fois les données complétées, l'étape 2 a pour but d'observer les caractéristiques du nouveau laveur :

- Quelle efficacité sur la réduction des émissions d'ammoniac obtiendra-t-on avec ce dimensionnement ?
- Quel sera le débit liquide ?
- Combien de buses d'arrosage faudra-t-il installer ?
- Quels seront le volume et la surface de la piscine ?
- Quels seront les caractéristiques des eaux de lavage ? Concentration en azote, quantité d'eau chargée à évacuer par an
- Quels seront le volume et la surface de maillage ?
- Quelles seront les caractéristiques de l'air entrant ?
- Quelles quantités d'ammoniac, de protoxyde d'azote et d'azote seront émises après lavage d'air ?

L'utilisateur pourra ensuite faire varier les données qu'il aura complétées (étape 1) afin d'aboutir un projet de laveur répondant à ses critères.

**Utilisation du module fonctionnement**

Le module Fonctionnement permet de déterminer l'efficacité d'un laveur. Il permet de calculer les quantités d'ammoniac et de protoxyde d'azote rejetées dans l'air après traitement et d'évaluer la quantité d'eau nécessaire au fonctionnement annuel du laveur. Les calculs sont basés sur l'hypothèse que l'eau de lavage est propre (c'est-à-dire non chargée en ions ammonium, nitrites et nitrates). L'utilisation du module fonctionnement se fait en 2 temps :

- ➔ (1) Analyse de la situation actuelle
- ➔ (2) Optimisation du laveur si besoin.

Pour chaque temps, deux étapes sont nécessaires :  
 Pour analyser la situation actuelle :

- **Etape 1** : Compléter les données d'entrée de la situation actuelle (figure 5)

Pour réaliser l'étape 1, l'utilisateur complète les données relatives au dimensionnement du laveur en place : caractéristiques du maillage et de la piscine, débit liquide et débit d'air maximum. Il indique également les données relatives à son fonctionnement. Pour certains paramètres, un onglet d'information est disponible en cliquant sur [?](#). Les données peuvent être acquises à partir de mesures sur le site d'élevage concerné et à l'aide d'informations transmises par le fournisseur de laveur d'air ou estimées à partir des indications présentes dans le guide d'utilisation TARA associé à l'outil.

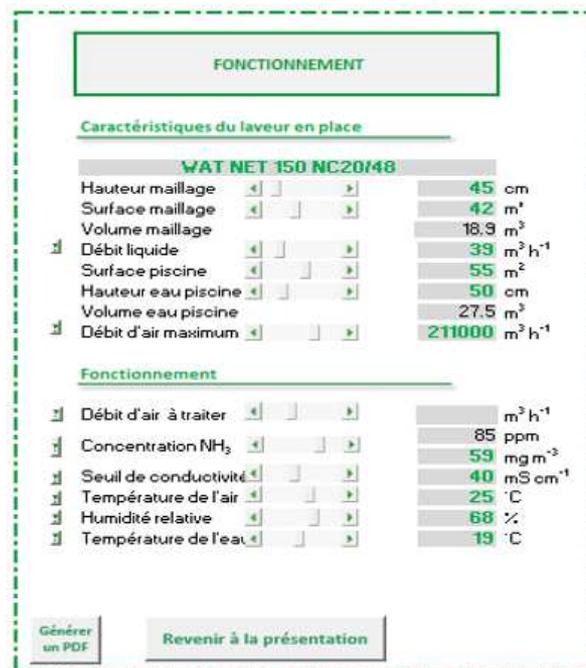


Figure 5 : données à compléter dans le module fonctionnement (extrait de l'outil TARA)

Une fois les données complétées, l'étape 2 a pour but de connaître les caractéristiques de son laveur en fonctionnement et les optimiser si besoin (Figure 6).

- **Etape 2** : Observer les caractéristiques du laveur en fonctionnement

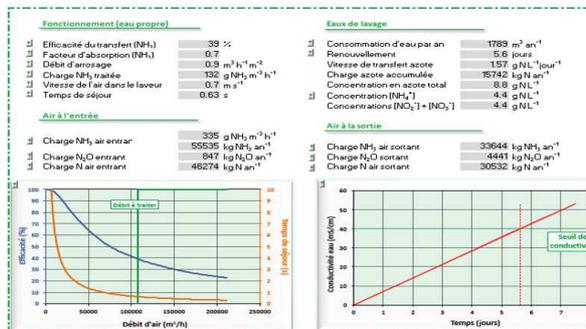


Figure 6 : Caractéristiques du laveur en fonctionnement (extrait de l'outil TARA)

L'utilisateur pourra ensuite faire varier les données qu'il aura complétées (étape 1) afin d'aboutir un projet de laveur répondant à ses critères.

L'utilisation du module fonctionnement permettra de répondre aux questions suivantes :

- Quelle est l'efficacité du laveur d'air ?
- Le facteur d'absorption permet-il un transfert optimal de l'ammoniac dans l'eau ?
- Le temps de séjour est-il suffisant ?
- Quelle est la quantité d'eau chargée à évacuer par an ?
- Quelle doit être la fréquence de renouvellement des eaux de lavage ?

- Quelle est la quantité d'azote contenue dans les eaux sorties du laveur ?
- Quelle est la quantité d'ammoniac émis par le bâtiment

#### Se procurer l'outil TARA

L'outil TARA est gratuit et disponible en faisant la demande par mail auprès de Solène LAGADEC ([solene.lagadec@bretagne.chambagri.fr](mailto:solene.lagadec@bretagne.chambagri.fr)) ou Nadine GUINGAND ([nadine.guingand@ifip.asso.fr](mailto:nadine.guingand@ifip.asso.fr))

### Exemple de cas pratiques

L'éleveur A souhaiterait tout d'abord connaître le taux d'efficacité sur l'ammoniac de son laveur installé sur le bâtiment de post-sevrage et d'engraissement et quelle doit être la fréquence de renouvellement des eaux de lavage afin de garantir une efficacité optimale. Pour cela, il utilise le module **Fonctionnement**. En complétant les données d'entrée correspondant à son laveur d'air en fonctionnement, l'efficacité d'abattement d'ammoniac est de 39%. En fixant le seuil de conductivité maximal à  $40 \text{ mS cm}^{-1}$ , cela permet d'assurer un bon transfert de l'ammoniac dans l'eau. Le renouvellement de l'eau de la piscine devra se faire tous les 25 jours. Les émissions gazeuses du bâtiment sont de  $5702 \text{ kg NH}_3 \text{ an}^{-1}$  et de  $1456 \text{ kg N}_2\text{O an}^{-1}$ . La quantité d'azote contenue dans les eaux de lavage est de  $2668 \text{ kg an}^{-1}$ .

**Dans un deuxième temps**, l'éleveur A souhaite optimiser ce laveur existant. Pour cela, il utilise aussi le module **Fonctionnement**. Pour améliorer l'efficacité, l'ajout d'un étage de bloc de maillage peut être envisagé. L'efficacité de transfert atteint alors 53% avec un renouvellement de l'eau tous les 18 jours. Une autre alternative est l'augmentation du débit d'arrosage. En effet, le facteur d'absorption (FA) est de 0,7 soit inférieur à 1. Il peut donc être amélioré : si le débit d'arrosage est augmenté de 39 (FA=0,7) à  $55 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  (FA=1), l'efficacité de transfert augmente de 39 à 45 % avec un renouvellement de l'eau tous les 22 jours. En combinant l'ajout d'un étage de bloc de maillage et l'augmentation du débit d'arrosage, le laveur peut atteindre une efficacité de transfert de l'ammoniac de 61% (sur eau propre) avec un renouvellement d'eau tous les 15 jours. Ces modifications entraînent une augmentation du coût qui peut être simulée dans le calculateur « coût » associé à l'outil TARA permettant ainsi à l'éleveur de guider son choix en prenant en compte le volet financier.

**Dans un troisième temps**, l'éleveur A souhaite construire un bâtiment identique au premier avec un nouveau laveur avec une efficacité minimale de 50%. Pour cela, il utilise le module **Dimensionnement**.

Pour améliorer l'efficacité de transfert, il faut augmenter la surface de contact. Ainsi, il est proposé d'augmenter l'épaisseur du maillage de 45 cm à 90 cm, il sera installé un maillage WAT NET 150 NC20/48 avec une surface spécifique de  $125 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ . Aussi, le débit d'arrosage devra être augmenté à  $1,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  pour atteindre au minimum un facteur d'absorption de 1. Les buses sélectionnées sont des Cônes pleins  $90^\circ$  AAU 2610. Elles ont un angle d'arrosage important permettant ainsi de limiter le nombre de pièces à installer (50 buses). Avec cette simulation, l'outil propose à l'éleveur A un système avec une efficacité sur eau propre de minimum 62 % (à débit d'air maximum) avec un laveur plus grand que celui installé dans le bâtiment équivalent à son projet : la surface du maillage devra être de  $59 \text{ m}^2$ .

### Conclusion

Le projet a permis de mettre au point l'outil d'aide au dimensionnement et au fonctionnement du lavage d'air : l'outil TARA. Cet outil a été réalisé sous Excel à partir des lois sur l'absorption physique de l'eau ainsi que des données issues de la bibliographie et de mesures réalisées en conditions contrôlées et sur le terrain. Dans le cadre d'un projet d'installation de laveur et à partir d'un taux d'abattement d'ammoniac souhaité, l'outil permet de dimensionner les différentes parties du laveur : surface et hauteur de maillage, volumes de stockage des eaux de lavage et débit d'arrosage. Cela permet à l'éleveur de dimensionner son laveur en fonction de ses objectifs de réduction des émissions d'ammoniac et de s'assurer d'avoir une efficacité de réduction souhaitée.

Pour des unités de lavage déjà existantes, l'outil permet de déterminer l'efficacité du laveur à partir de ses caractéristiques (débit d'air maximum à traiter, surface et volume de maillage, charge  $\text{NH}_3$  dans l'air entrant...). L'outil TARA permet aussi de calculer sur une base annuelle la consommation en eau et d'identifier les leviers d'action permettant d'améliorer son efficacité sur l'ammoniac. Cet outil permet tant pour des projets que pour des unités en fonctionnement de calculer les quantités annuelles d'ammoniac et de protoxyde d'azote émises et les quantités d'azote des eaux en sortie de laveur.

**Pour en savoir plus** : L'outil TARA a été présenté à la journée TechPorc en 2020 et aux Journées de la Recherche Porcine en 2021.

- Dimensionner et optimiser le lavage d'air, 2020. Journée TechPorc
- Mise au point de l'outil TARA pour dimensionner et optimiser le fonctionnement d'un laveur d'air, par Solène Lagadec, Eric Dumont, Nadine Guingand, Laurence Loyon, Pierre Le Devehat, Abdeltif Amrane, Annabelle Couvert. 2021 Journées Recherche porcine, NN, PP-PP

Une video de présentation de l'outil TARA est disponible sur la chaine Youtube ChambAgriBzh des Chambres d'agriculture de Bretagne.

<https://www.youtube.com/watch?v=YnGQOkGuI3M>

### SYNTHÈSE - ANGLAIS

*The efficiency of air scrubber in reducing ammonia emissions can range from 17 to 70%. This efficiency depends on several parameters, namely the size of the scrubber, type of packing, liquid dispersing system and operating conditions. To meet the growing demand from pig farmers and technicians regarding the installation and monitoring of air scrubbers in operation, the TARA tool was developed. This tool predicts nitrogen flows from air scrubber with water, allowing either to size an air scrubber as part of an installation project or to optimize the efficiency of an air scrubber unit already in operation.*

*As part of a scrubber installation project and based on an expected ammonia abatement rate, the tool is used to size the different parts of the scrubber: packing surface and height, washing water storage volumes and watering flow. For already existing air scrubber units, the tool makes it possible to assess their efficiency based on their characteristics (maximum air flow to be treated, packing surface and volume, NH<sub>3</sub> load in the incoming air, etc.). The model also enables to calculate the volume of NH<sub>3</sub> loaded water discarded on an annual basis and to identify how to improve its efficiency on ammonia. Available for projects and operating units, this tool makes it possible to calculate the annual quantities of ammonia and nitrous oxide emitted and the quantities of nitrogen in the water leaving the scrubber. Finally, the TARA tool is easy to use, developed using Excel® software, based on the laws of physical absorption between gas and liquid and on data acquired on pig farms, enabling in particular to define the washing water renewal frequency..*

### Références bibliographiques

- Dumont E., Darracq G., Couvert A., Couriol C., Amrane A., Thomas D., Andrès Y., Le Cloirec P., 2011. VOC absorption in a countercurrent packed-bed column using water/silicone oil mixtures: Influence of silicone oil volume fraction, Chem. Eng. J. 168, 241-248.
- Guingand N., 2008. Le lavage d'air en bâtiment porcin. Techniporc, 31(1), 23-27
- Lagadec S., Landrain P., Bellec F., Masson L., Dapello C., Guingand N., 2015. Enquête sur 31 laveurs d'air de porcherie en Bretagne, clés d'amélioration de l'efficacité sur l'abattement de l'ammoniac. Journées Recherche porcine, 47, 177-182.
- Lagadec S., Dumont E., Guingand N., Loyo L., Le Devehat P., Amrane A., Couvert A., 2021. Mise au point de l'outil TARA pour dimensionner et optimiser le fonctionnement d'un laveur d'air. Journées Recherche Porcine, 53, 347-352
- Ottesen L.D.M., Juhler S., Guldberg L.B., Feilberg A., Revsbech N.P., Nielsen L.P., 2011. Regulation of ammonia oxidation in biotrickling airfilters with high ammonium load. Chemical Engineering Journal 167 : 198-205
- Van der Heyden C., 2017. Operation and characterization of air scrubbers for the emission reduction of ammonia, hydrogen sulphide and greenhouse gases from animal housing systems. PhD thesis, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Ghent, Belgium, pp. 242.

### CONTACTS

**Chambres d'Agriculture de Bretagne**  
Solène LAGADEC, Pierre Le Devehat,

**IMT Nantes Atlantique**  
Eric Dumont

**IFIP-Institut du porc**  
Nadine Guingand

**ENSCR**  
Annabelle Couvert, Abdletif Amrane

**INRAE OPAALE**  
Laurence Loyo

### PARTENAIRES FINANCIERS

**Projet TARA (2016-2020) financé dans le cadre de l'appel à projet PRIMEQUAL (1660C0014)**

