

# Mise au point de l'outil TARA pour dimensionner et optimiser le fonctionnement d'un laveur d'air

Solène LAGADEC (1), Eric DUMONT(2), Nadine GUINGAND (3), Laurence LOYON (4), Pierre LE DEVEHAT(1), Abdeltif AMRANE (5), Annabelle COUVERT (5)

(1) Chambre d'agriculture de Bretagne, rue Le Lannou, 35042 Rennes, France

(2) UMR CNRS 6144 GEPEA, IMT Atlantique, 4 rue Kastler CS 20722, 44307 Nantes, France

(3) IFIP Institut du porc, La Motte au Vicomte, 35651 Le Rheu, France

(4) INRAE – UR OPAALE, 17 avenue de Cucillé, 35044 Rennes, France

(5) Univ Rennes, École Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, CNRS, ISCR-UMR 6226, 35000 Rennes, France

## Mise au point de l'outil TARA pour dimensionner et optimiser le fonctionnement d'un laveur d'air

L'efficacité du lavage d'air sur la réduction des émissions d'ammoniac peut varier de 17 à 70 %. Elle dépend de plusieurs éléments de conception (dimensionnement du laveur, type de maillage, système d'arrosage) et des conditions opératoires. Un outil (dénommé TARA) a été développé pour répondre à la demande croissante des éleveurs et techniciens concernant la mise en place et/ou le suivi de fonctionnement des laveurs d'air. Il s'agit d'un modèle de prédiction des flux azotés en amont et aval d'un module de 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. Dans le cadre d'une installation d'un nouvel équipement, et selon le taux d'abattement d'ammoniac souhaité, l'outil permet de dimensionner les différentes composantes du laveur : surface et hauteur de maillage, volume de stockage des eaux de lavage et débit d'arrosage. Pour des unités de lavage déjà en place, 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 en  $\text{NH}_3$  dans l'air entrant...). Le modèle permet aussi de calculer sur une base annuelle la quantité d'eau chargée à évacuer et d'identifier les leviers d'action permettant d'améliorer l'efficacité de traitement de l'ammoniac. Dans les deux situations, cet outil permet de calculer les quantités annuelles d'ammoniac et de protoxyde d'azote émises ainsi que les quantités d'azote dans les eaux en sortie de laveur. Enfin, l'outil TARA est simple d'utilisation, développé sur le logiciel Excel®, et repose à la fois sur des lois de l'absorption physique entre un gaz et un liquide ainsi que sur de données acquises en élevage, notamment pour établir la fréquence de renouvellement des eaux de lavage.

## Implementation of the TARA tool to size and optimize operation of an air scrubber

An air scrubber's efficiency in reducing ammonia emissions, which can range from 17-70 %, depends on design parameters (size of the scrubber, the type of packing, sprinkler system) and operating conditions. To meet the growing demand from pig farmers and technicians regarding setting up and/or monitoring air scrubbers in operation, the TARA tool was developed. It predicts nitrogen flows upstream and downstream of an air scrubber that uses water, and allows one to size an air scrubber as part of an installation project or to optimize the efficiency of a scrubber already in operation. When setting up new equipment, based on the expected ammonia abatement rate, the tool helps to size the parts of the scrubber: packing surface and height, washing-water storage volumes and watering flow. For units already in operation, the tool estimates their efficiency based on their characteristics (maximum airflow to be treated, packing surface and volume,  $\text{NH}_3$  load in the incoming air, etc.). The tool also calculates the volume of  $\text{NH}_3$ -loaded water that needs to be disposed of each year and helps identify ways to improve its efficiency in processing ammonia. In both situations, it calculates annual quantities of ammonia and nitrous oxide emitted and of nitrogen in the water that leaves the scrubber. Last, the TARA tool is easy to use, developed using Excel® software, and based on the laws of physical absorption between gas and liquid and on data acquired on pig farms, which enables it in particular to estimate how frequently the washing water needs to be changed.

## INTRODUCTION

Le lavage d'air est un procédé de traitement de l'air constitué d'un bloc de maillage, d'une rampe d'arrosage, d'un bac de rétention des eaux de lavage (appelé « piscine ») équipé d'une

pompe, d'un circuit pour la recirculation des liquides et d'un dévésiculateur. Ce procédé permet de réduire les émissions d'ammoniac, d'odeurs et de particules en solubilisant les composés gazeux, en dégradant l'ammoniac et les composés odorants par l'action de la flore microbienne présente au sein

du maillage et en sédimentant les particules.

L'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) se solubilise dans l'eau. L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) capturé dans les eaux de lavage est progressivement oxydé en ions nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) par les bactéries AOB (Ammonia Oxidizing Bacteria) puis en ions nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) par les bactéries NOB (Nitrite Oxidizing Bacteria). Il s'agit de la nitrification. Une étape de dénitrification peut éventuellement se produire si les conditions dans la piscine des eaux de lavage sont anoxiques, entraînant la conversion des ions nitrate en protoxyde d'azote, puis en azote moléculaire  $\text{N}_2$  (Van der Heyden *et al.*, 2015).

L'installation d'un système de lavage d'air est un choix partagé par de nombreux éleveurs. Cependant, ces derniers manquent d'informations pour dimensionner ce laveur d'air et vérifier son bon fonctionnement. En effet, d'après la littérature, l'efficacité des laveurs d'air en fonctionnement sur la réduction des émissions d'ammoniac est très variable : de 17 à 70 % (Lagadec *et al.*, 2015). L'outil TARA a été mis au point pour répondre à ces enjeux. Il s'agit d'un modèle de prédiction des flux de composés azotés lors du lavage d'air à l'eau permettant soit, de dimensionner un laveur (lors de son installation) soit, d'optimiser son efficacité lorsqu'il est déjà en fonctionnement.

Cet article présente l'outil TARA : la conception du modèle (détermination des paramètres utilisés dans l'outil) et son mode d'utilisation.

### 1. DETERMINATION DES PARAMETRES UTILISES DANS L'OUTIL TARA

L'outil TARA a été mis au point à partir des lois de l'absorption physique des gaz dans l'eau et des données issues d'expérimentations (en conditions contrôlées ou de terrain). Les paramètres intégrés dans l'outil ont été choisis pour répondre aux objectifs et/ou contraintes imposés par l'utilisateur.

#### 1.1.1. Détermination du débit liquide

La détermination du débit liquide ( $L$  en  $\text{mol s}^{-1}$ ) à mettre en œuvre dans un laveur d'air s'appuie sur le débit de gaz entrant dans le laveur ( $G$  en  $\text{mol s}^{-1}$ ) et sur la concentration en polluant dans le gaz (exprimée en fraction molaire  $y_0$ ). Sur le diagramme d'équilibre gaz-liquide (Figure 1), la fraction molaire dans la phase gazeuse  $y_0$  est en équilibre avec la fraction molaire dans la phase liquide  $x_0^*$  selon la loi de Henry caractérisée par la constante d'équilibre  $m$  (en molaire,  $m = H_{yx} = y/x^*$ ). En sortie de laveur, on impose une teneur en polluant dans la phase gazeuse égale à  $y_z$ . La fraction molaire en polluant dans le liquide à l'entrée est  $x_z$  (généralement  $x_z=0$ ). La droite opératoire du laveur d'air est une droite passant par le point  $(x_z, y_z)$  et de pente  $L/G$  (rapport des débits molaires du liquide et du gaz, respectivement : cf Figure 1). Le débit liquide minimum ( $L_{\min}$  en  $\text{mol s}^{-1}$ ) à mettre en œuvre correspond à la droite de pente  $L_{\min}/G$ . Dans ce cas, la hauteur de maillage à mettre en œuvre est infinie. Dans la pratique, il est recommandé de travailler avec un débit liquide  $L$  supérieur au débit minimum  $L_{\min}$  afin de limiter la hauteur de maillage. On choisit le débit liquide  $L$  de manière à ce que le facteur d'absorption  $A = L/(mG)$ , qui correspond au rapport des pentes de la droite opératoire et de la droite d'équilibre, soit compris entre 1,5 et 2,5 (Roustan, 2004).

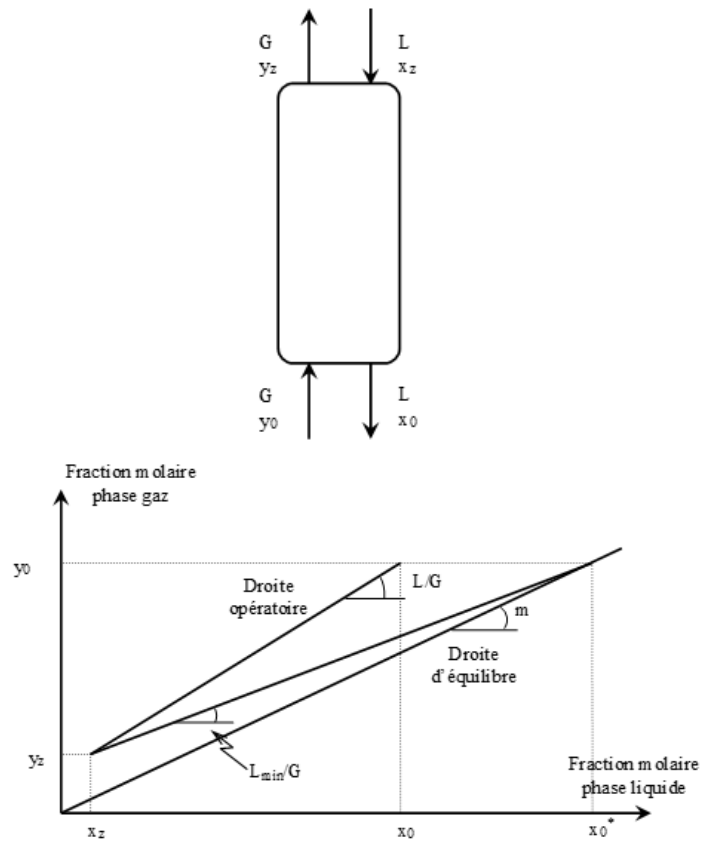


Figure 1 : Diagramme d'équilibre pour un contacteur gaz-liquide fonctionnant à contre-courant

#### 1.1.2. Détermination de la section du maillage

Une fois le débit liquide déterminé, il convient de calculer la section du maillage permettant d'assurer un bon contact entre les deux phases, gaz et liquide. L'hydrodynamique d'un laveur d'air est lié aux propriétés des fluides (débit, viscosité, densité), à la géométrie du laveur et aux caractéristiques du maillage (type, taille, propriétés).

La section de passage du maillage est déterminée au moyen d'une procédure empirique complexe basée sur un « diagramme d'engorgement » dont la description dépasse le cadre du présent document. Le principe consiste à déterminer la section de garnissage provoquant l'engorgement du garnissage (le liquide ne peut plus s'écouler) et à prendre un coefficient de sécurité afin de travailler à 60-70% de l'engorgement. Le lecteur pourra se référer aux ouvrages de références traitant de ce sujet (Eckert, 1970 ; Coulson *et al.*, 2002 ; Mackowiack, 2010).

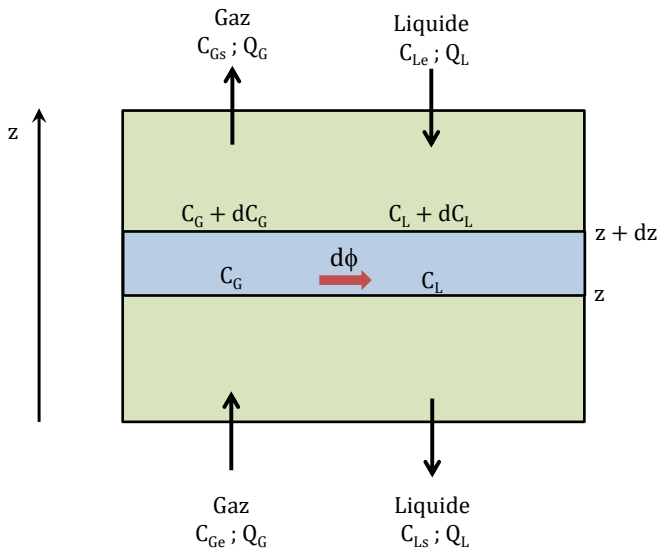
#### 1.1.3. Détermination de la hauteur de garnissage

Une fois la section du garnissage calculée, la détermination de la hauteur de garnissage permettant d'obtenir l'efficacité de traitement souhaitée est obtenue à partir du bilan matière dans le laveur. Pour des gaz faiblement concentrés en  $\text{NH}_3$ , le bilan matière côté gaz sur une tranche de maillage d'épaisseur  $dz$  s'écrit en régime permanent (Figure 2) :

$$Q_G dC_G = K_G a \Omega dz (C_G - C_G^*) + Q_G (C_G + dC_G) \quad (1)$$

De manière similaire, pour le côté liquide :

$$Q_L (C_L + dC_L) + K_L a \Omega dz (C_L^* - C_L) = Q_L dC_L \quad (2)$$



**Figure 2 :** Nomenclature utilisée pour l'écriture des bilans matière dans un absorbeur gaz-liquide fonctionnant à contre-courant

En supposant que les débits de gaz et de liquide ( $Q_G$  et  $Q_L$ ), que les coefficients de transfert de matière globaux côtés gaz et liquide ( $K_G$  et  $K_L$ ) et que l'aire interfaciale entre le gaz et le liquide « a », restent constants entre l'entrée et la sortie du laveur, l'intégration des équations (1) et (2) entre les cotes  $z=0$  (entrée gaz et sortie liquide) et  $z=Z$  (sortie gaz et entrée liquide) donne :

$$Z = \frac{Q_L}{K_L a \Omega} \int_{C_{Le}}^{C_{Ls}} \frac{dC_L}{(C_L^* - C_L)} = \frac{Q_G}{K_G a \Omega} \int_{C_{Gs}}^{C_{Ge}} \frac{dC_G}{(C_G - C_G^*)} \quad (3)$$

L'équation (3) s'écrit également sous la forme  $Z = HUT_{OL} NUT_{OL} = HUT_{OG} NUT_{OG}$  dans laquelle  $HUT$  et  $NUT$  correspondent, respectivement, à la hauteur d'une unité de transfert (en mètres) et au nombre d'unités de transfert permettant d'obtenir l'efficacité de traitement souhaitée ( $E$ ). Les indices  $OL$  et  $OG$  indiquent qu'il s'agit du transfert global, côté liquide et côté gaz, respectivement.

En définissant le taux d'absorption molaire ( $A$ ) et l'efficacité d'absorption ( $E$ ) par :

$$A = \frac{1}{m} \frac{L}{G} \quad (4)$$

$$E = \frac{C_{Ge} - C_{Gs}}{C_{Ge}} \quad (5)$$

On montre que :

$$Z = \frac{Q_L}{K_L a \Omega} \frac{1}{A-1} \ln \left( \frac{A-E}{A(1-E)} \right) \quad (6)$$

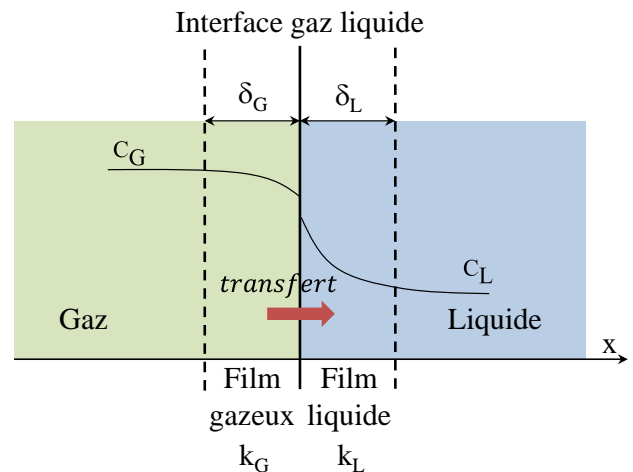
L'équation (6) met en évidence que la hauteur de garnissage à mettre en œuvre sera d'autant plus petite que le coefficient de transfert de matière volumétrique global  $K_L a$  sera grand. Ce coefficient est le produit du coefficient de transfert de matière global côté liquide  $K_L$  (m/s) et de l'aire interfaciale d'échange « a » entre le gaz et le liquide ( $m^2/m^3_{laveur}$ ). La valeur de l'aire interfaciale d'échange « a » peut être différente de la surface spécifique du maillage selon les conditions hydrodynamiques dans le laveur. Le coefficient de transfert de matière volumétrique global  $K_L a$  est relié aux coefficients de transfert locaux  $k_L$  et  $k_G$  selon la relation suivante dans laquelle  $H_{cc}$  est la valeur de la constante de Henry exprimée en rapport de concentrations :

$$\frac{1}{K_L a} = \frac{1}{k_L a} + \frac{1}{H_{cc} k_G a} \quad (7)$$

$1/K_L a$  correspond à la résistance globale au transfert. Cette résistance correspond à la somme des 2 résistances locales à

l'interface entre le gaz et le liquide. En admettant que la résistance de l'interface est négligeable, le soluté à transférer est soumis à une résistance côté gaz ( $1/(H_{cc} k_G a)$ ) et à une résistance côté liquide ( $1/k_L a$ ). Les coefficients de transfert locaux côtés liquide et gaz  $k_L$  et  $k_G$  ont différentes expressions selon le modèle de transfert de matière utilisé (double film ou renouvellement de surface). Le modèle de double film (Lewis et Whitman) est le plus utilisé du fait de sa simplicité (Figure 3).

Dans ce modèle, les coefficients de transfert locaux correspondent au rapport entre le coefficient de diffusion du soluté dans le film considéré de part et d'autre de l'interface (film gazeux ou liquide) et l'épaisseur du film ( $k_L = D_L/\delta_L$  et  $k_G = D_G/\delta_G$ ). Pour un composé très soluble comme l'ammoniac, la résistance au transfert est principalement située dans le film gazeux. Il faut donc favoriser la turbulence de la phase gazeuse afin de diminuer l'épaisseur du film gazeux et donc augmenter la valeur de  $k_G$ . Enfin, différentes approches sont disponibles pour calculer les coefficients de transfert  $k_L a$  et  $k_G a$  (Roustan, 2004). Généralement, pour des colonnes à garnissage en vrac fonctionnant à contre-courants, les valeurs de  $K_L a$  sont comprises entre  $2.2 \cdot 10^{-4}$  et  $8.2 \cdot 10^{-2} s^{-1}$  (Roustan, 2004).



**Figure 3 :** Transfert de matière d'un soluté entre une phase gazeuse et une phase liquide. Modèle du double film

#### 1.1.4. Détermination du seuil de conductivité électrique

La corrélation entre la conductivité électrique et la quantité d'ions azote dissous dans l'eau d'un laveur d'air a été mise en évidence (Lagadec *et al.*, 2015). La relation linéaire suivante a été obtenue entre la conductivité électrique (CE) et la concentration en azote total dissous ( $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$  et  $NO_3^-$  ; Dumont *et al.*, 2020).

$$\Sigma([NH_4^+] + [NO_2^-] + [NO_3^-]) = 0,22 \text{ CE} \quad (8)$$

(précision  $\pm 20\%$ ,  $R^2=0,945$ )

avec  $\Sigma([NH_4^+] + [NO_2^-] + [NO_3^-])$  en  $g_N L^{-1}$  et CE en  $mS cm^{-1}$

Une relation linéaire est également observée entre la concentration en  $NH_4^+$  et la conductivité électrique :

$$[NH_4^+] = 0,11 \text{ CE} \quad (9)$$

(précision  $\pm 15\%$ ,  $R^2=0,912$ )

avec  $[NH_4^+]$  en  $g_N L^{-1}$  et CE en  $mS cm^{-1}$

Par conséquent, la quantité d'azote dissous dans les eaux des laveurs d'air, paramètre influençant l'efficacité du lavage d'air, peut être facilement contrôlée par la régulation de la conductivité électrique. La mesure de la conductivité est donc une méthode robuste et peu onéreuse pour indiquer à l'éleveur que l'eau de la piscine doit être renouvelée : la valeur seuil en

ions ammonium, reliée à la conductivité, a été fixée à 40 mS cm<sup>-1</sup> suite aux expériences menées sur des laveurs de terrain. En effet, une conductivité électrique inférieure à 40 mS cm<sup>-1</sup> soit une concentration en azote total inférieure à 8.8 gN L<sup>-1</sup> ou une concentration en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> inférieure à 4,4 gN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> L<sup>-1</sup> permet d'obtenir une efficacité optimale du laveur d'air.

## 2. PRESENTATION DE L'OUTIL TARA

L'outil TARA a été créé à l'aide du logiciel Excel® et comprend deux modules : un module « dimensionnement » à utiliser dans le cadre du projet d'installation d'un laveur et un module « fonctionnement » à utiliser pour optimiser l'efficacité d'une unité de lavage déjà en fonctionnement.

### 2.1. Utilisation du module « dimensionnement »

Le module « Dimensionnement » 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 : (1) compléter les données d'entrée et (2) observer les caractéristiques du nouveau laveur.

Pour réaliser la première étape, l'utilisateur complète les données relatives à l'air à traiter 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 tableau 1. Certaines correspondent à des objectifs à atteindre (seuil de conductivité par exemple) ou des contraintes liées au site (surface par exemple).

**Tableau 1** – Description des données d'entrée du module dimensionnement

Données d'entrée	Comment les estimer ?	Quel(s) impact(s) sur l'efficacité d'un nouveau laveur ?
Température de l'air en entrée de laveur (C°)	Varie généralement entre 22 et 26°C. A estimer à partir de la température de consigne	La température et l'humidité de l'air à l'entrée du laveur ont un impact sur le facteur d'absorption.
Humidité relative de l'air en entrée de laveur (%)	Varie généralement entre 80 et 90 %.	
Débit d'air maximum (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Peut atteindre 300 000 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> . A calculer à partir du nombre d'animaux et d'un débit maximum par animal	Le débit d'air maximum a un impact sur la surface du laveur d'air. Plus il sera élevé, plus la surface du laveur sera grande pour une efficacité donnée.
Concentration NH <sub>3</sub> dans l'air à l'entrée (mg m <sup>-3</sup> )	Varie généralement entre 10 et 20 mg m <sup>-3</sup> .	La concentration en NH <sub>3</sub> à l'entrée du laveur a un impact sur la charge à traiter. Plus elle sera élevée, plus la consommation d'eau sera importante pour obtenir l'efficacité souhaitée.
Vitesse d'air souhaitée	Varie entre 0.2 et 2 m s <sup>-1</sup> A choisir en fonction de l'efficacité souhaitée.	La vitesse d'air sera déterminante sur l'efficacité du laveur. Plus elle sera faible, meilleure sera l'efficacité de transfert de l'ammoniac dans l'eau, mais par contre, plus la surface du laveur devra être importante.
Température de l'eau de lavage (C°)	Varie entre 10 et 30°C Est généralement inférieure de 4°C à la température de l'air ambiant.	La température de l'eau impacte les capacités de solubilisation de l'ammoniac, donc le facteur d'absorption. Plus elle sera basse, meilleur sera le transfert de l'ammoniac dans l'eau.
Hauteur maximale de l'eau de piscine (cm)	Varie de 30 à 100 cm Valeur par défaut : 50 cm	La hauteur de la piscine détermine seulement le volume d'eau de lavage à gérer.
Seuil de conductivité (mS cm <sup>-1</sup> )	Valeur par défaut : 40 mS cm <sup>-1</sup>	Le seuil de conductivité a un impact sur la fréquence de renouvellement des eaux. Plus il sera faible, plus la fréquence sera importante.
Débit d'arrosage (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> )	Varie entre 1 et 3 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> . A choisir pour que le facteur d'absorption soit supérieur à 1.	Le débit d'arrosage influence le facteur d'absorption. Plus il est élevé, meilleur sera le transfert de l'ammoniac dans l'eau. Cela exige de mettre en place un nombre de buses plus important.
Type de maillage	Une liste de maillages est proposée. A choisir en fonction de l'efficacité souhaitée.	Chaque maillage a une surface spécifique. Plus la surface spécifique est élevée, plus le contact entre l'ammoniac et l'eau est important, ce qui améliore l'efficacité.
Hauteur maillage (cm)	A définir en fonction de l'efficacité souhaitée.	La hauteur de maillage influence le temps de séjour entre l'ammoniac et l'eau. Plus elle est grande, plus le temps de séjour est important ce qui améliore l'efficacité du laveur.

Une fois les données complétées, l'étape 2 a pour but d'observer les caractéristiques du nouveau laveur (Figure 4).

L'utilisateur pourra ensuite faire varier les données qu'il aura complétées dans l'étape 1 jusqu'à aboutir à un laveur répondant à ses exigences.

### 2.2. Utilisation du module « fonctionnement »

Le module « Fonctionnement » permet de déterminer l'efficacité d'un laveur existant. 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 chargée à évacuer par an. 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 de ce module se fait en deux temps : analyser la situation actuelle en (1) complétant les données d'entrée et (2)

observant les caractéristiques du laveur en fonctionnement ; dans un second temps, optimiser le laveur en fonctionnement en (1) modifiant les données d'entrée et (2) observant les caractéristiques du laveur optimisé.

Les données d'entrée sont présentées dans le tableau 2.

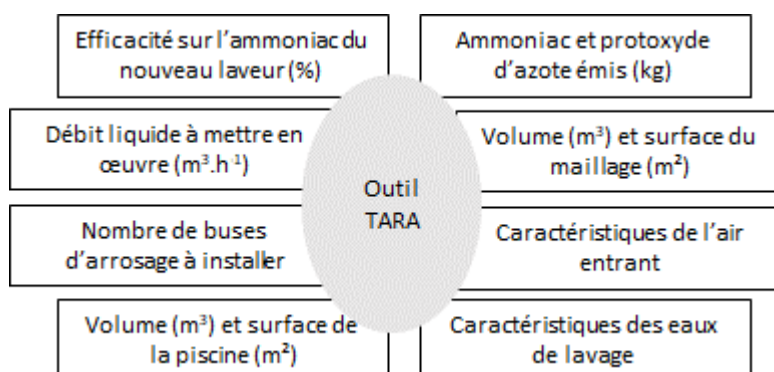


Figure 4 – Caractéristiques du nouveau laveur obtenues dans le module dimensionnement

Tableau 2 – Description des données d'entrée du module fonctionnement

Données d'entrée	Comment les estimer ou les mesurer ?	Quel(s) impact(s) sur l'efficacité du laveur en fonctionnement ?
Type de maillage	A obtenir par le fournisseur du laveur d'air.	Chaque maillage a une surface spécifique donnée. En fonction du type de maillage l'efficacité sera modifiée car plus la surface spécifique est élevée, plus le contact entre l'ammoniac et l'eau est important, ce qui améliore l'efficacité.
Hauteur (cm), surface maillage ( $m^2$ ) et volume ( $m^3$ ) de maillage	A obtenir par le fournisseur du laveur d'air ou à mesurer.	La hauteur, la surface et le volume de maillage jouent sur le temps de séjour entre l'ammoniac et l'eau. Plus ils seront élevés, plus le temps de séjour sera important ce qui améliorera l'efficacité du laveur. Un temps de séjour minimum de 1 seconde permet d'assurer un transfert optimum de l'ammoniac.
Débit liquide ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	A obtenir par le fournisseur du laveur d'air ou en pesant un seau après l'avoir rempli sous une buse pendant 1 minute.	Le débit liquide influence le facteur d'absorption. Plus il sera élevé, meilleur sera le transfert de l'ammoniac dans l'eau. Cela nécessitera de mettre en place un nombre plus important de buses.
Hauteur (cm) et surface ( $m^2$ ) et volume ( $m^3$ ) de l'eau de piscine	A obtenir par le fournisseur du laveur d'air ou à mesurer à l'aide d'un mètre.	La surface, la hauteur et le volume de la piscine ont uniquement un impact sur la fréquence de renouvellement. Plus ils seront élevés, moins la fréquence de renouvellement sera importante.
Débit d'air maximum ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	A obtenir par le technicien bâtiment.	Le débit d'air maximum a un impact sur la surface du laveur d'air. Plus il sera élevé, plus la surface du laveur sera grande afin d'obtenir une efficacité souhaitée.
Débit d'air à traiter ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	A mesurer à l'aide d'un anémomètre ou à calculer à partir du nombre d'animaux et d'un débit maximum par animal	Le débit d'air a un impact sur le temps de séjour et donc sur l'efficacité de transfert de l'ammoniac dans l'eau. Plus il sera faible, meilleure sera l'efficacité.
Concentration $NH_3$ ( $mg \cdot m^{-3}$ )	A mesurer à l'aide d'un tube colorimétrique puis à convertir : Données en ppm $\times 0.7 =$ données en $mg \cdot m^{-3}$	La concentration en $NH_3$ à l'entrée du laveur a un impact sur la charge à traiter. Plus elle sera élevée, plus la consommation d'eau sera importante pour obtenir une efficacité souhaitée.
Seuil de conductivité ( $mS \cdot cm^{-1}$ )	Valeur de $40 \text{ mS} \cdot cm^{-1}$ à mettre par défaut.	Le seuil de conductivité a un impact sur la fréquence de renouvellement des eaux. Plus il sera faible, plus la fréquence sera importante. D'après les mesures réalisées sur le terrain, un seuil de conductivité de $40 \text{ mS} \cdot cm^{-1}$ garantit un taux d'efficacité maximale.
Température et humidité de l'air entrant dans le laveur ( $^{\circ}C$ )	A estimer à partir des données boitier de ventilation.	La température et l'humidité de l'air à l'entrée du laveur ont un impact sur le facteur d'absorption.
Température de l'eau ( $^{\circ}C$ )	Varie entre 10 et $30^{\circ}C$ Est généralement inférieure de $4^{\circ}C$ à la température de l'air ambiant	La température de l'eau impacte les capacités de solubilisation de l'ammoniac, donc le facteur d'absorption. Plus elle sera faible, meilleur sera le transfert de l'ammoniac dans l'eau.

Une fois les données d'entrée complétées, l'utilisateur connaîtra les caractéristiques du laveur en fonctionnement

(efficacité si la fréquence de renouvellement des eaux de lavage est respectée, quantité d'eau chargée à évacuer par an,

quantité d'azote contenue dans les eaux sorties du laveur, quantité d'ammoniac émis par le bâtiment) et l'optimisera si besoin. En effet, il pourra vérifier si le facteur d'absorption est suffisant ( $>1$ ) pour permettre un transfert optimal de l'ammoniac dans l'eau. Si ce n'est pas le cas, il devra augmenter le débit d'arrosage. Il vérifiera également si le temps de séjour à travers le maillage est suffisant ( $>1$  seconde). Si ce n'est pas le cas, il devra envisager d'augmenter la hauteur de maillage par exemple. L'utilisateur pourra ainsi modifier les données d'entrée en fonction de ses choix d'optimisation, observer les caractéristiques du laveur d'air ainsi optimisé et mettre en place ces modifications dans son élevage si les résultats des simulations lui conviennent.

## CONCLUSION

L'outil TARA a été réalisé sous Excel® à partir des lois sur l'absorption physique de l'eau, ainsi que des données issues d'expérimentations, en conditions contrôlées et sur le terrain.

Dans le cadre d'un projet d'installation d'un 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. 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 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.

Les auteurs remercient l'ADEME pour le financement de ce projet dans le cadre de l'appel à projet PRIMEQUAL (Projet TARA – 2016-2020 – n°1660C0014).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Coulson, J.M., Richardson, J.F., Backhurst, J.R., Harker, J.H., 2002. Coulson and Richardson's Chemical Engineering, Particle technology and separation processes, Fifth ed. Butterworth-Heinemann, Oxford. Vol. 2.
- Dumont E., Lagadec S., Guingand N., Loyon L., Amrane A., Couvert A., 2020. Lavage d'air en porcheries : contrôle du fonctionnement par mesure de conductivité. Journées Rech. Porcine, 52, 347-348.
- Eckert J.S., 1970. Selecting the proper distillation column packing. Chem. Eng. Prog. 66, 39-44.
- 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 Rech. porcine, 47, 177-182.
- Mackowiack, J., 2010. Fluid Dynamics of Packed Columns. Principles of the Fluid Dynamic Design of Columns for Gas/Liquid and Liquid/Liquid Systems. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Roustan M., 2004. Absorption en traitement d'air. Techniques de l'Ingénieur G 1 750.
- Van der Heyden C., 2015. Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: state-of-the-art and perspectives. Biosystems engineering. 134. p.74-93