



## CleanR3 - Développement d'un procédé de lavage d'air innovant divisant par trois les coûts d'investissement et de fonctionnement

Nadine Guingand, Fabrice Poisbeau, Thierry Carlo, Yvonnick Rousselière

### ► To cite this version:

Nadine Guingand, Fabrice Poisbeau, Thierry Carlo, Yvonnick Rousselière. CleanR3 - Développement d'un procédé de lavage d'air innovant divisant par trois les coûts d'investissement et de fonctionnement. Innovations Agronomiques, 2023, 88, pp.147-158. 10.17180/ciag-2023-vol88-art12 . hal-04327286

**HAL Id: hal-04327286**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04327286>**

Submitted on 6 Dec 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives| 4.0 International License

## **CleanR<sup>3</sup> - Développement d'un procédé de lavage d'air innovant divisant par trois les coûts d'investissement et de fonctionnement.**

**Guingand Nadine<sup>1</sup>, Poisbeau Fabrice<sup>2</sup>, Carlo Thierry<sup>3</sup> et Rousselière Yvonnick<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Ifip-Institut du Porc, 35651 Le Rheu

<sup>2</sup> Sodalec, 35000 Rennes

<sup>3</sup> Sodalec Distribution, 35000 Rennes

**Correspondance :** [yvonnick.rousseliere@ifip.asso.fr](mailto:yvonnick.rousseliere@ifip.asso.fr)

### **Résumé**

Le lavage d'air est une technique efficace de réduction des émissions d'ammoniac, d'odeurs et de particules des porcheries. Elle est d'ailleurs reconnue comme Meilleure Technique Disponible dans la dernière version du BREF Elevage de l'Union Européenne. Néanmoins, la consommation d'eau et les coûts associés sont les principaux facteurs limitant son développement en élevage porcin. Pour s'affranchir de ces obstacles, une nouvelle conception de ventilation combinant une extraction haute et basse a été développée (notée DVP pour double ventilation partagée) et connectée à un laveur d'air dont la taille a été divisée par trois par rapport à celle d'un laveur classique. Ce laveur peut traiter jusqu'à 30 % du débit maximum de ventilation de la salle. Après une phase de réglage du boîtier, le concept CleanR<sup>3</sup> (DVP et laveur réduit) a été testé en conditions réelles. Sur les trois campagnes de suivi, 60 % des émissions d'ammoniac de la salle sont acheminés via l'extraction basse. L'efficacité du laveur réduit est identique à celle d'un laveur classique dimensionné pour traiter 100 % de l'air extrait avec une consommation d'eau quasiment divisée par 3. Le concept CleanR<sup>3</sup> permet donc de lever les freins économiques identifiés sur le lavage conventionnel tout en maintenant le niveau d'abattement sur l'ammoniac.

**Mots-clés :** Porcs, ammoniac, particules, odeurs, réduction, équipement, innovation

**Abstract: CleanR<sup>3</sup> – Innovating design of a bioscrubber dividing by 3 the investment and operating costs.**

Bioscrubbers are known to be efficient to reduce ammonia, odours and particles emitted by pig farms. It was also recognized as a Best Available Technique in the most recent BREF for Intensive Rearing of Poultry and Pigs of the European Union. Nevertheless, its cost and water consumption are the most important factors hindering its development. To overcome these obstacles, a new concept of ventilation combining under- and over-floor extraction was developed and connected to a classic bioscrubber of which size was divided by 3. This bioscrubber can treat until 30 % of air flow of the fan system. After an adjustment phase on the regulation unit, the CleanR<sup>3</sup> concept was studied in real conditions. In these conditions, 60 % of ammonia emitted was under-floor extracted. The efficiency of the CleanR<sup>3</sup> bioscrubber is identical to that of a conventional bioscrubber sized to treat 100 % of the extracted air with a water consumption divided almost by three. The CleanR<sup>3</sup> concept makes it possible to overcome the economic obstacles identified on conventional bioscrubbers while maintaining efficiency on ammonia removal.

**Keywords:** Fattening pigs, ammonia, particles, odours, reduction, innovation

## Introduction

La qualité de l'air dans les élevages porcins a pris ces dernières années une importance croissante. D'un point de vue réglementaire, la directive sur les émissions industrielles (directive 2010/75/UE) impose la mise en œuvre des Meilleures Techniques Disponibles (MTD) en vue de réduire le niveau d'émission en ammoniac des porcheries de plus de 2 000 places de porcs de plus de 30 kg ou 750 truies. Parmi les techniques reconnues MTD, le lavage d'air présente l'avantage d'agir sur l'ammoniac, les odeurs et les particules. Cependant, différents freins s'opposent à un plus large développement de cette technique.

L'objectif du projet CleanR<sup>3</sup> est de concevoir, réaliser et valider un laveur d'air innovant présentant le même niveau d'efficacité technique que les laveurs d'air existants, tout en divisant par trois les coûts d'investissement et de fonctionnement. Pour réduire le dimensionnement de ces ouvrages, et conséquemment leur coût, ce projet propose de développer un laveur d'air ne traitant que 30 % de l'air vicié d'une salle en se concentrant sur celui le plus chargé circulant à la surface du lisier sous le caillebotis de manière à égaler les performances environnementales d'un laveur conventionnel. Les objectifs opérationnels sont de :

- Réduire le coût de l'investissement représenté par le laveur ;
- Réduire les consommations d'eau et d'énergie afférentes ;
- Obtenir le même niveau de réduction des émissions d'ammoniac et de particules vers l'atmosphère qu'un laveur conventionnel, et donc contribuer avec la même efficacité à la réduction de l'impact de l'activité d'élevage sur la qualité de l'air.

Le développement de ce type de laveur « partiel » nécessite une conduite spécifique de la ventilation permettant à la fois de répondre aux objectifs initiaux de gestion de l'ambiance mais aussi aux obligations spécifiques du traitement de l'air par lavage.

Le projet CleanR<sup>3</sup> est le résultat d'une collaboration entre l'Ifip-Institut du porc et les sociétés Sodalec et Sodalec Distribution, équipementiers d'élevage tant pour la conception du module de ventilation que pour l'unité de lavage d'air.

## 1. Etablir le concept de double ventilation partagée (DVP)

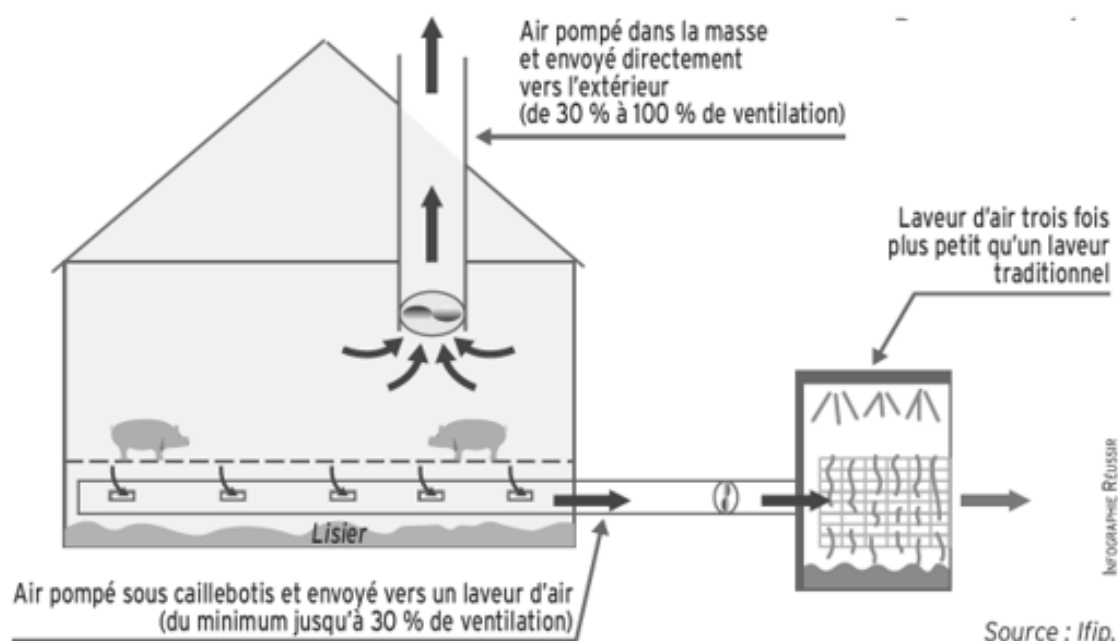
Dans les bâtiments classiques abritant des porcs à l'engraissement, le système de ventilation conventionnel s'appuie sur un point de pompage sous caillebotis ou dans la masse d'air. En effet, la géométrie des salles (forme rectangulaire) amène les éleveurs à positionner deux ventilateurs le long des murs et en quinconce par rapport au couloir central de la salle afin de garantir une extraction homogène. Dans ce cas de figure, les deux ventilateurs sont pilotés par le même boîtier et sont asservis de la même façon.

### 1.1 Définir les caractéristiques de la DVP

Le dispositif CleanR<sup>3</sup> a pour objectif de ne traiter qu'une partie de l'air extrait du bâtiment. Pour cela, la combinaison de deux points de pompage est nécessaire : un premier sous caillebotis et un deuxième dans la masse. La répartition des débits d'air en fonction des points de pompage a été établie à partir du raisonnement initial de réduction de l'unité de lavage. En effet, afin de réduire les coûts d'investissement et de fonctionnement, les dimensions du lavage d'air et plus particulièrement, la surface de maillage ont été divisées par trois. La surface de maillage conditionne le débit maximum d'air à traiter en vue de respecter une vitesse d'air traversante suffisamment faible pour optimiser le contact entre l'eau du lavage et l'air à traiter. Cette réduction de taille entraîne donc une diminution proportionnelle du débit acheminé vers le laveur.

Dans le dispositif CleanR<sup>3</sup> (Figure 1), chaque point de pompage dispose d'un paramétrage spécifique permettant d'adapter son régime au pourcentage de ventilation de la salle avec :

- Entre le minimum de ventilation (généralement proche de 8 - 10 m<sup>3</sup>/h/porc en engraissement) et 30 % de ventilation, soit environ 25 m<sup>3</sup>/h/porc, seul le ventilateur sous le caillebotis fonctionne. Son rôle est d'aspirer l'air au contact du lisier pour l'envoyer vers le laveur d'air pour y être traité ;
- Au-delà de 30 % de ventilation, le ventilateur sous caillebotis atteint son plafond et ventile au maximum de ses capacités tandis que le ventilateur dans la masse monte en puissance pour extraire l'air restant de la salle. De ce fait, ce ventilateur commence à fonctionner lorsque le besoin de ventilation dépasse 25 m<sup>3</sup>/h/porc et ce jusqu'au maximum de ventilation de 75 m<sup>3</sup>/h/porc.



**Figure 1** : Principe de fonctionnement du double système de ventilation CleanR<sup>3</sup>

Le dispositif CleanR<sup>3</sup> est donc composé :

- D'un système de régulation de la ventilation permettant la mise en œuvre de la DVP ;
- D'un laveur dont la taille est adaptée aux débits à traiter à savoir un tiers d'un laveur classique.

### 1.2 Un boîtier de régulation mis au point pour le procédé CleanR<sup>3</sup>

Pour piloter ce système de ventilation, un boîtier de régulation « double voies » a été développé par les sociétés Sodalec et Sodalec distribution et installé au niveau de la station expérimentale Ifip de Romillé. Il permet de piloter séparément les deux ventilateurs avec des réglages différents. Chaque ventilateur est indépendant et dispose de 7 paliers de réglages allant du minimum de ventilation (0 %) jusqu'au maximum (100 %). Pour chaque palier, il est possible de renseigner une tension allant de 0 à 10V conditionnant la puissance déployée par le moteur et donc le débit de ventilation.

Le développement de ce type de boîtier permet de paramétrer finement les deux ventilateurs et ceci de manière indépendante. Le régime du ventilateur est de 0 % du débit maximal pour le premier palier, augmente de 10 % entre les paliers 2 et 3 et de 20 % entre les paliers 4 et 7.

## 2. Construction et premiers tests du dispositif CleanR<sup>3</sup> en conditions réelles

Cette partie du projet s'est organisée en deux étapes : la conception suivie des tests du boîtier de ventilation en conditions réelles et le redimensionnement du laveur du concept CleanR<sup>3</sup>. A l'issue de ces deux étapes, les deux équipements formant le dispositif CleanR<sup>3</sup> ont été connectés ensemble et testés en conditions réelles. Les essais se sont déroulés au sein de la station expérimentale de l'Ifip à Romillé (35) sur deux salles d'engraissement qui abritent chacune 60 porcs répartis en 6 cases de 10 animaux entre 30 et 125 kg. Pour les deux salles, le sol est de type caillebotis intégral béton sur toute la surface de la case avec stockage des effluents sur toute la durée de présence des animaux dans une préfosse de 0,80 m de hauteur utile. Dans chaque salle, chaque case est équipée d'un nourrisseur de 60 cm de large et d'un abreuvoir de type bol.

### 2.1 Conception et premiers tests du boîtier de régulation de la DVP

#### 2.1.1 Gestion des pertes de charge

La principale contrainte à gérer pour le réglage de ce double système de ventilation est l'évaluation et la compensation des pertes de charge. Elles matérialisent l'ensemble des obstacles s'opposant à la libre circulation de l'air au sein d'une salle d'engraissement par exemple. En situation classique d'élevage, avec une seule catégorie de pompage de l'air, la perte de charge est évaluée au maximum à 50 Pa quand le débit de ventilation est à 100 %. La perte de charge est en générale prise en considération par les constructeurs au niveau des ventilateurs mis sur le marché. Cependant, certaines situations conduisent à une augmentation des pertes de charges dans une salle :

- La présence de plusieurs ventilateurs dans une même salle : pour les plus grandes salles, il devient nécessaire d'installer un deuxième ventilateur afin d'homogénéiser au maximum le renouvellement d'air pour toutes les cases abritant des animaux. La présence de plusieurs ventilateurs dans une même salle peut engendrer une concurrence entre les ventilateurs et ainsi un accroissement des pertes de charge.
- Les ventilateurs sont de puissance différente.
- Les ventilateurs sont pilotés par des boîtiers différents avec des réglages potentiellement différents.

Le dispositif CleanR<sup>3</sup> est composé de deux ventilateurs de même puissance et positionnés au même endroit (au centre de la salle) mais avec des réglages différents. Il est donc indispensable d'identifier le meilleur paramétrage pour limiter la concurrence entre les deux ventilateurs. La conduite des deux ventilateurs doit respecter le cahier des charges établi dans la première partie de l'étude, à savoir une extraction maximale des 30 premiers pourcents du débit par l'extraction sous caillebotis avec acheminement de l'air à traiter vers le laveur.

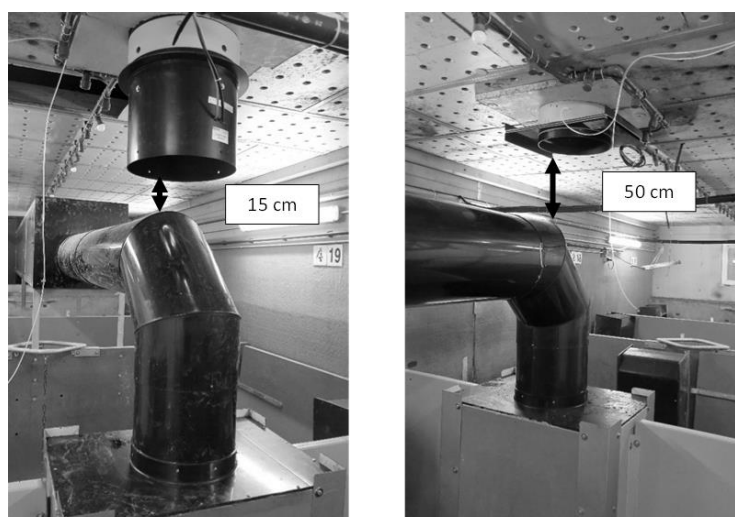
De 0 à 30 %, seul le ventilateur en extraction sous caillebotis fonctionne alors que le ventilateur dans la masse tourne au ralenti. Il n'y a donc pas de concurrence entre les deux ventilateurs. Au-dessus de 30 %, le ventilateur sous caillebotis fonctionne en permanence au maximum de son régime alors que le ventilateur dans la masse adapte son régime pour répondre à la demande. La montée en régime du ventilateur dans la masse perturbe donc le fonctionnement du ventilateur sous le caillebotis en générant des pertes de charges supplémentaires. Il ne faut pas que le ventilateur sous le caillebotis augmente son régime pour compenser ses pertes de charge sous peine de dépasser la part des 30 % du débit maximum et ainsi acheminer une quantité trop importante de gaz et de particules à traiter pour le laveur réduit au tiers. Pour cela, le ventilateur sous le caillebotis a été bridé lorsque son régime dépasse 40 % tandis que le ventilateur dans la masse a été réglé pour monter progressivement en régime entre 20 et 100 % (Tableau 1)

**Tableau 1** : Réglage du boîtier de régulation lors des premiers essais en conditions réelles.

NUMERO DE PALLIER	REGIME DU VENTILATEUR (% DU DEBIT MAX)	TENSION DU VENTILATEUR SOUS CAILLEBOTIS (V)	REGIME DU VENTILATEUR DANS LA MASSE (% DU DEBIT MAX)
1	0	8	0
2	10	7	0
3	20	6	0
4	40	5	12
5	60	5	36
6	80	5	60
7	100	5	84

Afin de vérifier le réglage du dispositif, un diagnostic ventilation a été réalisé dans la première salle où la DVP et le boîtier de régulation ont été installés ainsi que dans la salle adjacente servant de salle témoin. Avant l'entrée des animaux dans les deux salles, le paramétrage du boîtier de ventilation a été effectué afin de répondre aux besoins thermiques des porcs. La consigne de ventilation a été fixée à 24°C pour le début d'essai. Elle a progressivement diminué jusqu'à 22°C sur les 14 premiers jours d'essai puis a été maintenue jusqu'au départ des animaux. Le minimum de ventilation a démarré à 0 % puis a augmenté progressivement sur les 14 premiers jours de l'essai pour atteindre 15 %. Le maximum de ventilation a été fixé à 100 %. La plage de ventilation a été fixée à 6°C sur toute la période de présence des animaux.

Les débits entre les deux salles diffèrent lors des premières séries de mesures en présence des animaux avec des écarts de température pouvant atteindre 2°C. Ces écarts peuvent être liés (1) à une proximité trop importante entre les gaines d'extractions des deux ventilateurs et/ou (2) un maximum de ventilation trop faible. Pour réduire les écarts de débits, la gaine d'extraction du ventilateur dans la masse a été relevée dans les combles pour permettre un meilleur dégagement devant le ventilateur ; les deux gaines d'extraction étant très proches (Photo 1). Pour limiter la sous-ventilation, les tensions du ventilateur pour les paliers 3 à 7 ont été modifiées (-0.8 V pour le palier 3 et -0.5 v pour les paliers 4 à 7).

**Photo 1** : Modification de la gaine d'extraction du ventilateur dans la masse (crédits photos : Ifip-Institut du Porc)

### 2.1.2 Etablissement des courbes de ventilation par équipement

Les courbes de ventilation permettent d'étudier le comportement de chaque ventilateur mais aussi l'impact respectif de leurs fonctionnements. Comme pour les diagnostics de ventilation, la vitesse d'air a été mesurée dans la gaine d'extraction tous les 10 % de ventilation jusqu'au maximum de 100 % dans chacune des deux salles. On comparait ensuite le débit théorique considérant une répartition parfaite avec un ratio 30/70 entre les deux ventilateurs et aucune perte de charge parasite, avec le débit réellement mesuré dans la salle. Pour la salle équipée du double système de ventilation, le débit est la somme des débits des deux ventilateurs. A l'issue de cette première phase, les courbes de débit théorique de la salle, de débit réel en ventilation traditionnelle et de débit réel de la salle en DVP présentaient encore certains écarts (Figure 2).

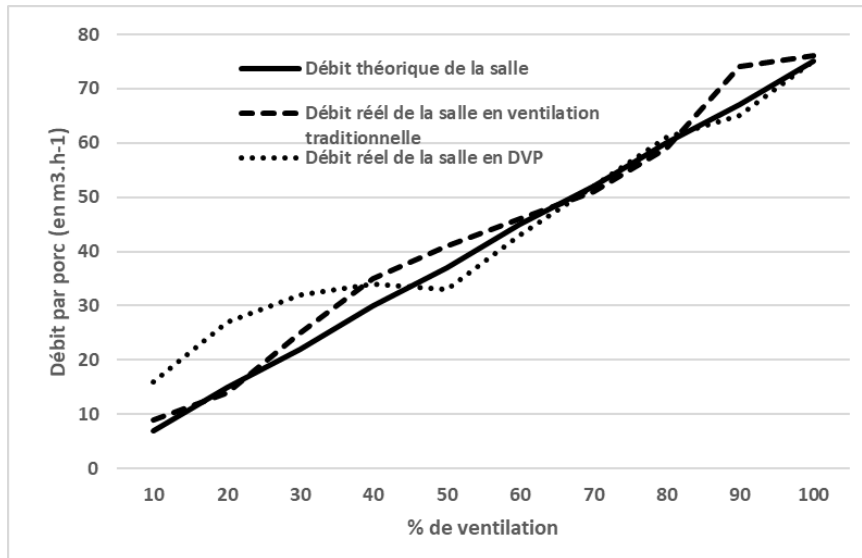


Figure 2 : Comparaison des débits en fonction du niveau de ventilation de la salle

### 2.1.3 Contrôle des circuits d'air

Un générateur de fumée a été utilisé pour mettre en évidence les circuits d'air au sein des salles (Figure 3). Le test a été réalisé en présence de porcs charcutiers d'environ 70 kg avec des débits de ventilation positionnés au minimum et au maximum. Malgré l'observation de deux mouvements d'air différents (vers le couloir et vers le ventilateur), l'ambiance dans la salle était correcte. Ces différences de mouvements sont davantage liées à la configuration de la salle ; la gaine d'extraction en direction du laveur étant positionnée au-dessus des animaux (Photo 2) ; qu'à un réglage inapproprié du dispositif.

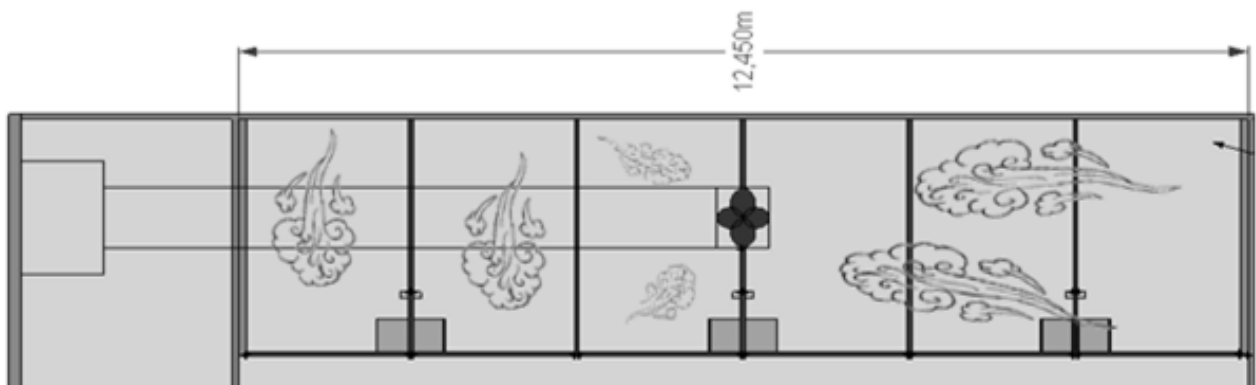
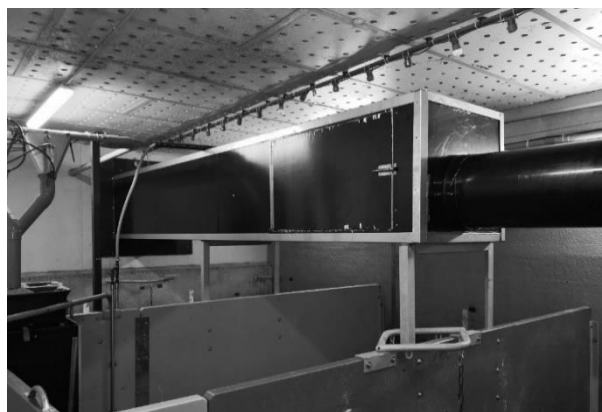


Figure 3 : Mouvements d'air observés lors des tests fumés réalisés en présence d'animaux



**Photo 2** : Acheminement de l'air extrait sous caillebotis vers le laveur (crédits photo : Ifip-Institut du Porc)

## 2.2– Mise en œuvre du prototype final

### 2.2.1 Paramétrage du nouveau boîtier de régulation

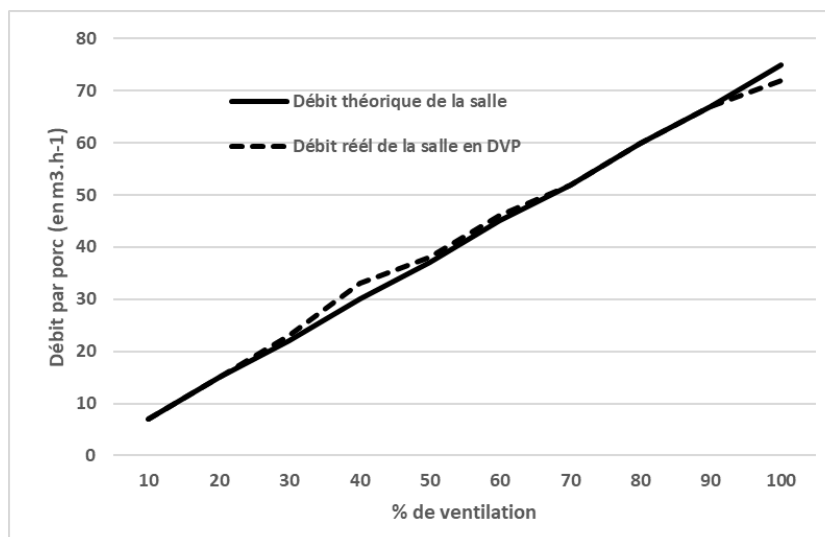
A l'issue des tests précédents, un nouveau boîtier de régulation a été développé par les sociétés Sodalec et Sodalec Distribution avec une augmentation du nombre de paliers de réglage (12 au lieu de 7) afin de permettre une gestion plus fine de la ventilation. De nouveaux paramètres ont été appliqués pour la gestion des deux ventilateurs (Tableau 2).

**Tableau 2** : Réglage de la nouvelle génération de boîtier de régulation

NUMERO DU PALIER	REGIME DU VENTILATEUR (EN % DU DEBIT MAX)	VOLTAGE DU VENTILATEUR SOUS CAILLEBOTIS (EN V)	VOLTAGE DU VENTILATEUR DANS LA MASSE (EN V)
1	0	8,7	10
2	1	8,6	10
3	10	7,7	10
4	20	6,5	10
5	30	5,0	9,4
6	40	4,9	8,0
7	50	4,7	6,7
8	60	4,7	5,4
9	70	4,5	3,6
10	80	4,5	2,2
11	90	4,2	1,0
12	100	4,0	0,1

Le ventilateur dans la masse a été équipé d'une trappe motorisée. Ainsi, de 0 à 30 % de ventilation, la trappe se ferme afin que l'air vicié ne puisse sortir que par le point de pompage sous caillebotis. Au-delà de 30 %, la trappe s'ouvre afin de laisser le ventilateur extraire l'air vicié directement vers l'extérieur. Comme précédemment, les courbes de ventilation ont été établies et comparées (Figure 4). Les modifications réalisées ont permis d'atteindre les objectifs fixés initialement.





**Figure 4 :** Comparaison des courbes de ventilation théorique et celle obtenue avec le boîtier DVP nouvelle génération.

### 2.2.2 Installation du laveur nouvelle génération

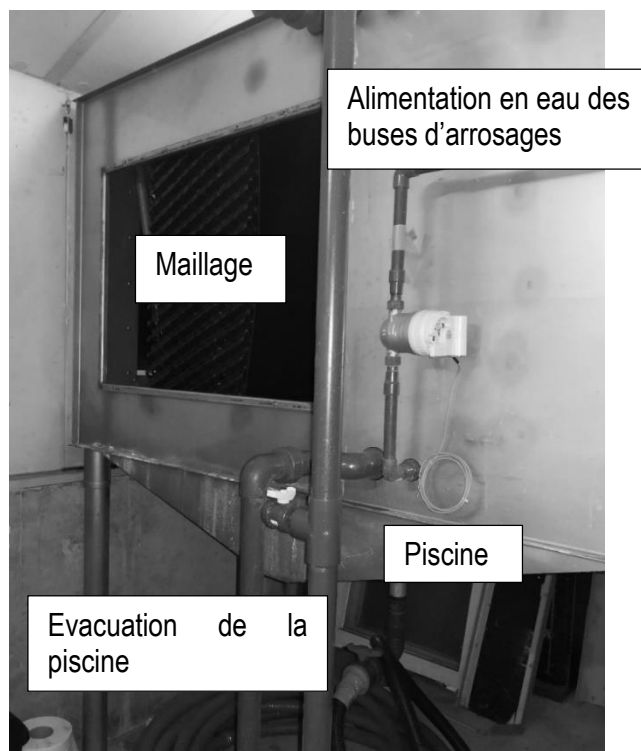
Les dimensions du laveur sont de 1m40 (hauteur) X 1m35 (largeur) X 2m50 (longueur) soit un volume total (dimensions externes) de 4,73 m<sup>3</sup>. La photo 3 montre les différentes parties du laveur en situation à la station de Romillé. Ces différentes parties sont ensuite détaillées d'un point de vue technique.

**Le maillage**, avec sa structure alvéolaire, permet d'augmenter la surface de contact entre l'air à traiter et l'eau tout en permettant le dépôt d'une partie des particules. Constitué de polypropylène (PP), le maillage utilisé dans l'étude est de type WAT NET 150 NC20/48 avec une surface spécifique de 125 m<sup>2</sup>.m<sup>-3</sup>, un diamètre hydraulique – correspond à la dimension de la maille – de 19 mm et une porosité ou degré de vide de 95 %. Le maillage peut être considéré comme le cœur du laveur puisque c'est au sein du maillage que le contact entre l'air à traiter et l'eau est maximal. Pour cette étude dont l'objectif était de réduire la taille du laveur afin de l'adapter techniquement et économiquement à un plus grand nombre de situations, le volume de maillage a été réduit par 3 par rapport à une configuration classique. La surface de maillage est conditionnée par le débit maximal à traiter mais aussi par la vitesse maximale de l'air qui traverse le maillage. Sur une hypothèse de débit maximal de 75 m<sup>3</sup> par heure et par porc et pour une vitesse maximale de 1 m.s<sup>-1</sup>, la surface du maillage devrait théoriquement être de 1,125 m<sup>2</sup>. Dans le cas présent, la surface de maillage a été réduite de deux tiers soit une surface de 0,375 m<sup>2</sup>.

**Les rampes d'arrosage sont de deux types :**

- Une première série de rampes verticales positionnées en amont du maillage et qui servent à pré-humidifier l'air à traiter en créant un rideau d'eau. Ce type de rampes n'est présent que dans le cas des laveurs horizontaux. Pour un laveur classique traitant l'intégralité de l'air extrait d'une salle de 60 porcs à l'engraissement, le nombre de buses serait de 6. Pour le laveur CleanR<sup>3</sup>, le nombre de buses est aussi divisé par 3 : seule une rangée de 2 buses arrose la surface du maillage.
- Une deuxième série de rampes horizontales positionnées au-dessus du maillage et qui servent à l'humidifier. L'arrosage du maillage permet d'alimenter les microorganismes présents dans le maillage en eau mais aussi à permettre partiellement l'évacuation des particules sédimentées dans l'architecture alvéolaire du maillage. Les deux séries de rampes sont alimentées par l'eau stockée dans la piscine. Pour ce laveur, les buses sont de type AAU cône plein avec un débit de 12 litres par minute à 0,5 bar.

**La piscine** : d'un volume de 550 litres, elle permet la récupération des eaux de lavage s'égouttant du maillage positionné au-dessus. Elle est équipée d'une vanne en position basse qui permet de la vidanger intégralement. La surface de la piscine est de 3,37 m<sup>2</sup> et couvre l'intégralité de la surface du maillage ainsi que des zones en amont et en aval du maillage. Une première pompe de 20 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> à 0,5 bar de pression équipée d'un flotteur assure l'approvisionnement en eau propre du laveur. Le circuit d'arrivée d'eau propre est équipé d'un compteur dont l'enregistrement est quotidien ou hebdomadaire selon les périodes de mesures. La piscine est aussi équipée d'une deuxième pompe permettant l'évacuation des boues accumulées au fond vers l'extérieur – résultant de la sédimentation des particules.



**Photo 3** : Vue du laveur installé à la station expérimentale de l'Ifip (crédits photos : Ifip – Institut du Porc)

### 3. Evaluation de l'efficacité du concept CleanR<sup>3</sup>

L'objectif de cette phase appliquée du projet était de confirmer (1) la bonne répartition des débits par le boîtier de régulation nouvelle génération, (2) d'étudier l'impact de la DVP sur la répartition de l'ammoniac dans les extractions, (3) de valider l'efficacité du laveur de taille réduite et (4) de valider l'efficacité du concept CleanR<sup>3</sup> par rapport à une configuration classique.

L'étude a porté sur une salle d'engraissement de la station expérimentale de l'Ifip abritant 60 porcs de 25 à 120 kg. Cette salle était équipée du concept CleanR<sup>3</sup> à savoir du boîtier de régulation nouvelle génération pour la DVP avec le paramétrage établi dans la phase précédente du projet et un laveur d'air réduit des 2/3 par rapport à un laveur classique. Le suivi a été mis en place sur trois bandes entre février 2018 et novembre 2019. Sur les trois bandes, les débits de ventilation ainsi que les températures ambiantes ont été enregistrés toutes les 15 minutes pour les deux systèmes d'extraction (basse et haute) sur toute la durée de présence des animaux. La concentration en ammoniac a été mesurée à l'aide d'un analyseur photoacoustique à infra-rouge (Innova 1412, LumaSense Technologies Inc.) couplé à un échantillonneur 12 voies (Innova 1309, LumaSense Technologies Inc.) à raison d'une mesure toutes les 20 minutes sur des séries de 15 jours consécutifs. Les concentrations ont été mesurées dans l'ambiance de la salle, dans la gaine d'extraction par voie basse acheminant l'air vers le laveur, dans la gaine d'extraction par voie haute acheminant l'air vers l'extérieur, et à la sortie du laveur. Les mesures réalisées

permettent donc d'établir la concentration dans l'ambiance, l'efficacité du laveur de taille réduite ainsi que celle du concept complet CleanR<sup>3</sup>.

### 3.1– Evaluation de la DVP

Sur les trois campagnes, le débit de ventilation par animal varie de 32 à 52 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> avec une valeur moyenne de 43,9±8,6 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Cette valeur est tout à fait en accord avec la valeur moyenne de 45 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> qui est utilisée pour le dimensionnement des systèmes de ventilation. L'application de ces débits permet d'aboutir à des valeurs moyennes de température ambiante de 24,7±0,2°C ce qui est en accord avec les recommandations de températures entre 22 et 24°C faites par l'Ifip pour les porcs charcutiers (Ifip, 2013). La gestion de la ventilation de cette salle est donc conforme à celle d'une salle classiquement conduite en extraction basse ou haute.

Sur les trois campagnes de mesures, la part du débit acheminé par l'extraction basse vers le laveur a varié entre 31 et 37 % avec une moyenne de 33 ±2,7 % ; l'objectif de traiter environ un tiers de l'air extrait de la salle par le laveur est donc atteint.

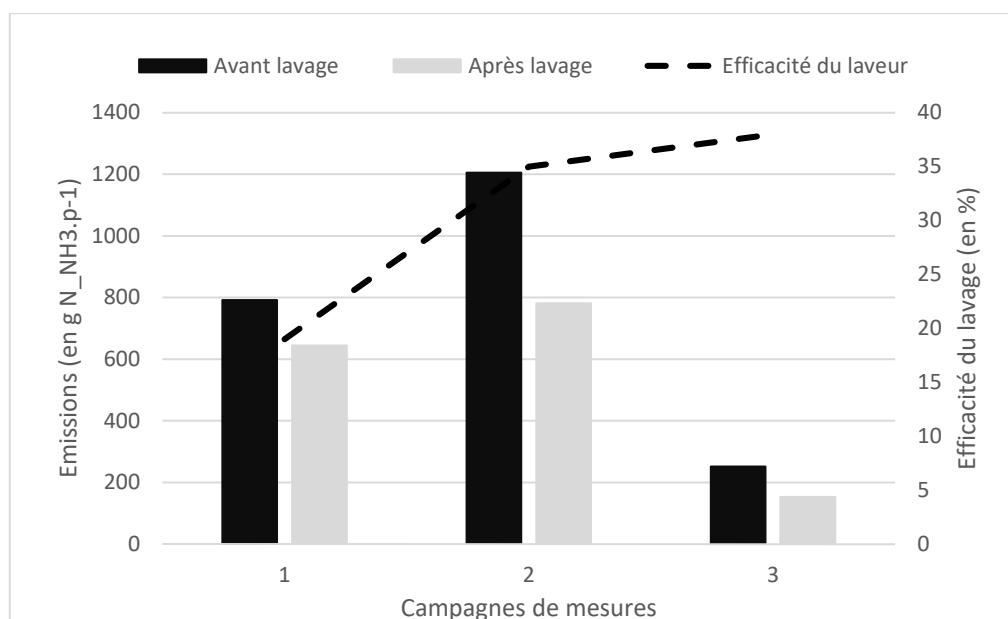
### 3.2– Répartition des concentrations en ammoniac en fonction du type d'extraction

Le concept de la DVP repose sur l'hypothèse que l'air le plus pollué se situe à proximité de la source d'émission ; à savoir les effluents. Ainsi, l'air extrait au niveau de la préfosse (extraction basse) est censé être plus chargé en ammoniac que l'air au-dessus des animaux, dirigé vers l'atmosphère via l'extraction haute. Dans cette étude, les différents sites de mesures de l'ammoniac permettent d'évaluer la répartition de l'ammoniac en fonction du type d'extraction. Ainsi, en moyenne sur les trois bandes suivies, 64 % de l'ammoniac émis a été acheminé par l'extraction basse contre 36 % par l'extraction haute.

Dans la littérature, ce type de double ventilation, souvent appelée « partial pit ventilation » a fait l'objet d'un certain nombre d'études avec un pourcentage du débit en extraction basse souvent compris entre 10 et 20 %. Avec cette gamme de pourcentage, inférieure à celle appliquée dans notre étude, la part de l'ammoniac évacuée par l'extraction basse peut être inférieure à 50 % (Saha et al., 2010, Zong et al., 2014) ou supérieure à 65 % (Pedersen et Jensen, 2010 – Rong et al., 2020). Les différences observées entre les études viennent principalement du débit maximal appliqué par porc mais aussi du type de sol avec des pourcentages d'ouvertures variant du simple au double. D'après Zhang et al. (2014), la réduction de l'ouverture des sols (espace ouvert entre les lattes de caillebotis) augmente la vitesse d'air dans l'espace caillebotis-lisier. Or, cette vitesse d'air pourrait contribuer à une augmentation de la volatilisation de l'ammoniac dans ce même espace. Le même auteur, dans une synthèse sur différents essais réalisés au Danemark sur le « partial pit ventilation », conclue à une augmentation des émissions totales d'ammoniac d'autant plus importante que la part de débit attribué à l'extraction basse serait importante.

### 3.3– Efficacité du laveur

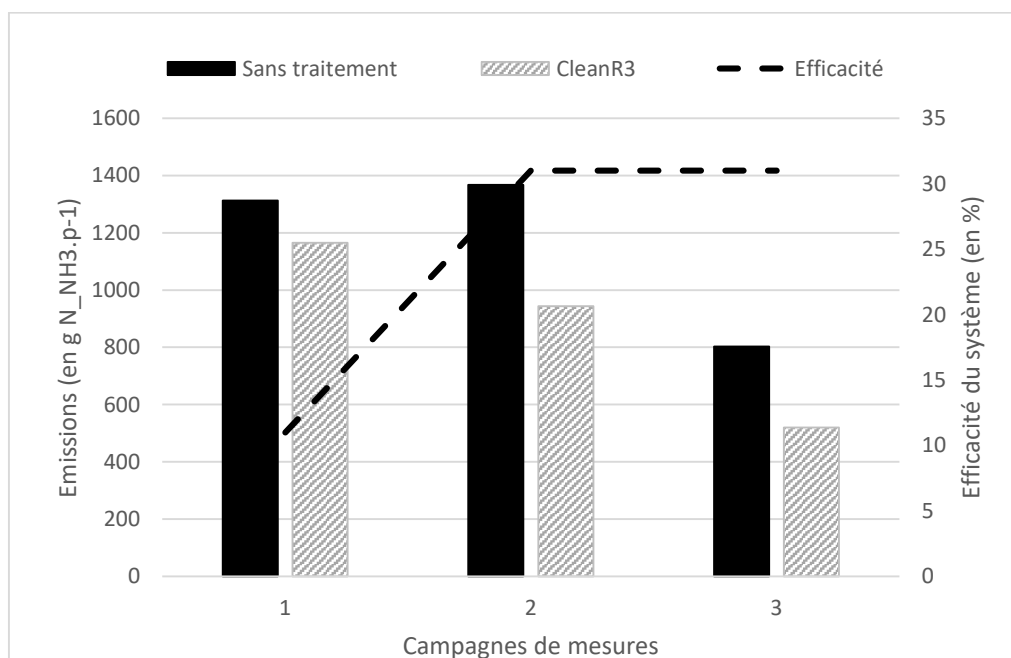
Sur les trois campagnes de mesures, l'efficacité du laveur, à savoir le calcul de l'abattement en ammoniac en amont et en aval de l'unité de lavage, a varié entre 19 et 38 % (Figure 5). Le taux d'efficacité le plus faible a été obtenu au cours de la première campagne avec un laveur relativement propre. Le laveur était en début de fonctionnement avec un maillage peuensemencé du biofilm qui contribue à son efficacité. Au cours des deux campagnes suivantes, le maillage s'est progressivement ensemencé permettant ainsi une amélioration de son efficacité. De plus, durant ces deux campagnes, les eaux de lavage ont été partiellement renouvelées avec une vidange en milieu d'engraissement. Cet apport d'eau propre a permis de réduire la conductivité des eaux de lavage et ainsi d'améliorer l'aptitude des eaux de lavage à solubiliser l'ammoniac sous forme d'ions ammonium.



**Figure 5** : Efficacité du lavage en fonction des campagnes (en g N-NH<sub>3</sub>.p<sup>-1</sup>).

### 3.4– Efficacité du concept dans sa globalité

L'analyse du système complet – ventilation et lavage d'air – met en évidence un abattement qui varie selon les campagnes entre 11 et 31 % par rapport à une situation sans traitement (Figure 6). Cette efficacité est inférieure à celle calculée pour le laveur car elle prend en considération les émissions d'ammoniac au niveau de l'extraction haute.



**Figure 6** : Efficacité du concept complet en fonction des campagnes (en g N-NH<sub>3</sub>.p<sup>-1</sup>).

L'efficacité du système complet est donc équivalente à celle d'un laveur d'air classique qui aurait été dimensionné pour traiter 100 % de l'air extrait, ce qui était un des objectifs du projet.

Concernant la consommation d'eau du laveur, sur les trois campagnes de mesures, elle a varié de 0,65 à 0,68 litre par porc et par jour. Sur une unité dimensionnée pour traiter 100 % de l'air extrait, les consommations moyennes en eau des laveurs varient entre 1,5 et 1,8 litres par porc et par jour (Lagadec et al., 2015). La consommation d'eau du concept CleanR<sup>3</sup> a donc presque été divisée par trois ce qui était un des objectifs du projet.

## Conclusion

Le projet CleanR<sup>3</sup> a permis de développer un prototype de miniaturisation des systèmes de lavage d'air en élevages de porcs. La combinaison de la double ventilation partagée avec un laveur d'une taille réduite par trois permet d'aboutir à un niveau d'abattement en ammoniac équivalent à celui obtenu avec un laveur classique dimensionné à 100 %. Économiquement, la combinaison « Double ventilation partagée + laveur CleanR<sup>3</sup> » conduit à un surcoût de 37,4 €/place (sur la base des référentiels de coûts en 2020) par rapport à un dispositif de ventilation salle par salle sans laveur. Néanmoins, ce surcoût est deux fois plus faible que l'investissement dans un système de ventilation centralisée traditionnelle. La consommation en eau du laveur réduit est divisée de manière quasi proportionnelle à sa taille, réduisant d'autant les coûts de fonctionnement. Les objectifs du projet énoncés en début d'article sont donc atteints. Si les principaux freins au développement du lavage peuvent être levés grâce au concept CleanR<sup>3</sup>, il ne faut cependant pas oublier l'adaptation nécessaire de la double ventilation partagée (DVP) aux systèmes de ventilation des bâtiments actuels.

## Références bibliographiques

Directive 2010/75/UE du Parlement européen et du conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles. Journal Officiel de l'Union Européenne du 17 décembre 2010

Ifip, 2013. Mémento de l'éleveur de porc. 7<sup>ème</sup> édition. 364 p.

Lagadec S., Bellec F., Masson L., Dappelo C., Landrain P., 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. 47<sup>ème</sup> Journées de la Recherche Porcine, 177-182.

Pedersen P., Jensen T L (2010). Forskellige Gulvtyper med og uden Gulvudsugning til Slagtesvin i en Sommerperiode (Different floors with or without pit exhaust for fattening pigs in summer period, in Danish). Meddelelse Nr. 883. Videncenter for Svineproduktion (Danish Pig Research Centre).

Rong L., 2020. Effect of partial pit exhaust ventilation system on ammonia removal ratio and mass transfert coefficients from different emission sources in pig houses. Energy and Built Environment 1 : 343 -350.

Saha C.K., Zhang G., Kai P., Bjerg B., 2010. Effects of partial pit ventilation system on indoor air quality and ammonia emission from a fattening pig room. Biosystem Engineering 105 : 279-287.

Zhang G., Bjerg B., Zong C., 2014. An engineering approach for effective cleaning exhaust air from livestock housing – a review of Danish experiences of using partial pit air exhaust. International Conference of Agricultural Engineering, AgEng 2014, 6-10 July, Zurich, Switzerland.

Zong C., Feng Y., Zhang G., Hansen M.J., 2014. Effects of different air inlets on indoor air quality and ammonia emission from two experimental fattening pig rooms with partial pit ventilation system – summer condition. Biosystems Engineering 122 : 163-173



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations Agronomiques* et son DOI, la date de publication.