



Aérocontamination des halls d'abattage de gros bovins en France

Les centrales de traitement d'air en hall d'abattage : une condition nécessaire mais non suffisante pour maîtriser la contamination aéroportée

Mots clés : abattage, décontamination, traitement d'air

Auteurs : Laurent Picgirard, Arnaud Joffe, Xavier Aleyrangues, Christophe Chenille

ADIV - 10 rue Jacqueline Auriol – 63039 Clermont-Ferrand Cedex 02

E-mail de l'auteur correspondant : laurent.picgirard@adiv.fr

Les niveaux de contamination des zones « sales » (de l'amenée à l'arrachage du cuir) des halls d'abattage de gros bovins sont naturellement élevés et peu différents d'un abattoir à un autre. En revanche, la configuration des halls et les systèmes de traitement d'air en place notamment les centrales de traitement d'air impactent positivement la contamination de l'air des zones avales dites « propres » de l'émoissage au ressuage mais cette contamination est beaucoup plus variable.

Résumé

La contamination de l'air ambiant de 8 halls d'abattage à dominante gros bovins de cadence comprise entre 24 et 70 gros bovins/h, a été caractérisée en fonction des installations de traitement d'air en place. Sur la base des données acquises, des seuils de dénombrements en cohérence avec les données de la bibliographie, ont été proposés pour le contrôle de la flore totale aéroportée. Pour tous les halls d'abattage, les niveaux de contamination de l'air en flore totale et en entérobactéries décroissent depuis l'amenée jusqu'au ressuage. Les niveaux de contamination en « zone sale » (depuis l'amenée des animaux jusqu'à l'arrache cuir) sont peu différents entre halls d'abattage et excèdent $3,2 \log \text{ UFC/m}^3$. Celle des « zones propres » (depuis l'émoissage jusqu'au ressuage) est en revanche beaucoup plus variable et illustre l'impact de la configuration des halls d'abattage. Ainsi, les centrales de traitement d'air (CTA) apportent une plus-value pour maîtriser les flux d'air des zones arrache-cuir, émoissage et pesée, par rapport aux extractions seules mais le recours à cet équipement n'est pas suffisant pour maîtriser la contamination de l'air de ces zones. En effet, le cloisonnement des zones propres et sales, la position des bouches d'extraction en zone propre, prévues pour aspirer la vapeur des carcasses et des équipements (*steam vacuum* par exemple), sont est la maîtrise des fuites d'air depuis la triperie poil vers la zone propre sont également à prendre en compte. L'apport de filtres de type F9 dans les CTA pour traiter microbiologiquement l'air extérieur insufflé en zone propre limite la variabilité des niveaux de contamination en flore totale même si, l'aérocontamination des zones d'émoissage et de pesée reste, comme les autres configurations, supérieur à celui de l'air extérieur ($2,4 \log \text{ UFC/m}^3$).

Abstract: Aerocontamination of large cattle slaughterhouses in France.

Airborne contamination of 8 beef abattoirs was characterized considering the air treatment systems in place. Based on the data acquired, thresholds in line with the bibliography were proposed for controlling total viable counts. For all abattoirs, airborne contamination by total viable counts and Enterobacteriaceae decreases from bleeding to carcass cooling. Total viable counts contamination levels in the "dirty" areas (bleeding, dehairing) differed little between slaughterhouses, exceeding $3.2 \log \text{ CFU/m}^3$. In "clean" areas (evisceration to cooling), contamination is more variable, illustrating the impact of the abattoir configuration on airborne contamination. Air treatment systems provide added value to control air flows in dehiding, trimming and weighing areas, compared with extractions alone. Nevertheless, these systems that control airflows are necessary but not sufficient. The physical separation of clean from dirty areas, the positions of extraction fans in the clean area to extract steam from carcasses and from equipment like steam vacuum, air leaks from the hair triperies to the clean area need to be considered. The use of F9 filters in air treatment systems to microbiologically treat outside air blown into the clean zone limits the variability of total flora contamination. But, like other configurations, it remains higher than that of the outside air ($2.4 \log \text{ CFU/m}^3$).

INTRODUCTION

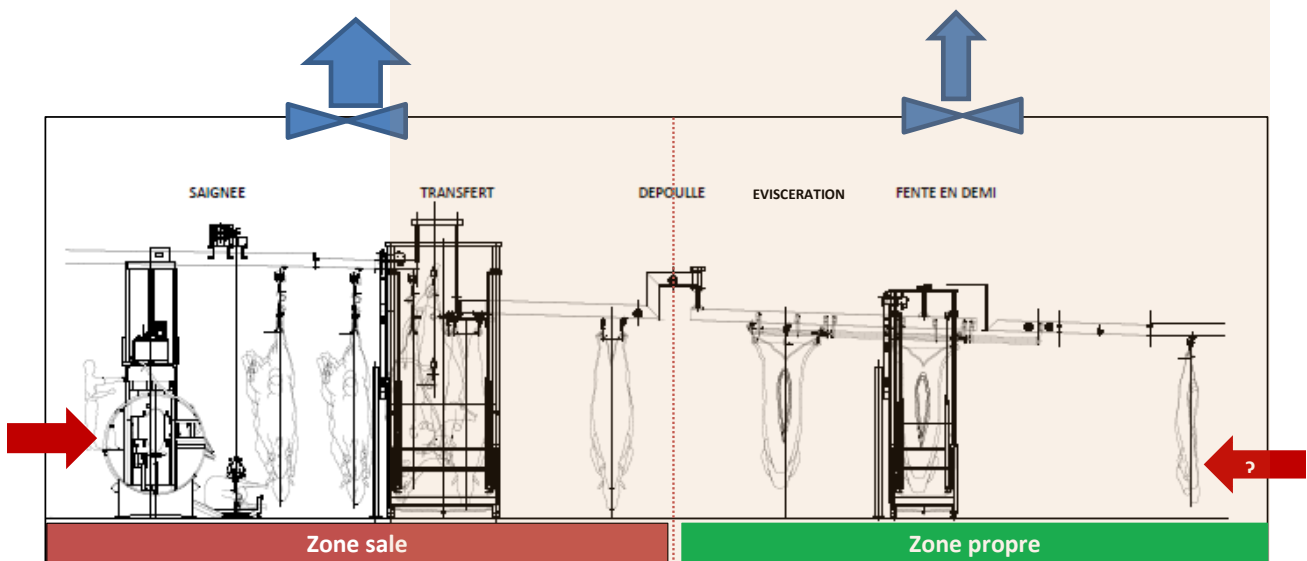
De nombreuses publications sont en accord sur le fait que la contamination aéroportée a une incidence sur la contamination des produits alimentaires, que ce soit dans l'industrie laitière (Kang and Frank, 1989a, 1989b ; Ren and Frank, 1992), en abattoir porcin (Kotula et Emswiler-Rose, 1988, Knudtson and Hardtman, 1993), ou en abattoir de gros bovins (INTERBEV-ADIV, 1988 ; Sirami, 1989 ; Rahkio et Korkeala, 1997). Les bactéries sont présentes dans l'air sous différentes formes (Prendergast *et al.*, 2004) (i) enfermées dans des gouttelettes d'eau ou aérosols, nébulisées dans le hall d'abattage, à partir de l'humidité des cuirs ou de l'eau de process, (ii) véhiculées par des particules solides (poussières, fèces, fragments de poils,...) dispersées dans le hall au cours des opérations de pré-dépouille et de dépouille, (iii) dispersées en l'état en suspension dans l'air après dissémination et évaporation des deux formes précédentes. En abattoirs bovins, le cuir est identifié comme la source principale de la contamination de l'air à l'abattoir (Rahkio et Korkeala, 1997, Jericho *et al.*, 2000), la charge bactérienne d'origine fécale ou tellurique de chaque cuir pouvant dépasser 9 log UFC/cm² et constituant un écosystème unique, spécifique à chaque animal (Jericho *et al.*, 2000). Ainsi, Jericho *et al.* (2000) et Mothershaw (2008) considèrent que la contamination de l'air avec la dépouille des cuirs constitue un point critique d'un plan HACCP pour maîtriser la contamination des carcasses et à ce titre, doit être contrôlée.

Le risque de contamination des carcasses par l'air est parfaitement décrit dans les Guides de Bonnes Pratiques d'Hygiène dans les activités d'abattage et de découpe des viandes bovines sans toutefois que des valeurs cibles de contamination soient décrites. Deux études conduites par l'ADIV à la fin des années 1990 avaient montré que les niveaux de contamination moyens de l'air des halls d'abattage mesurés à l'époque étaient compris entre 2,8

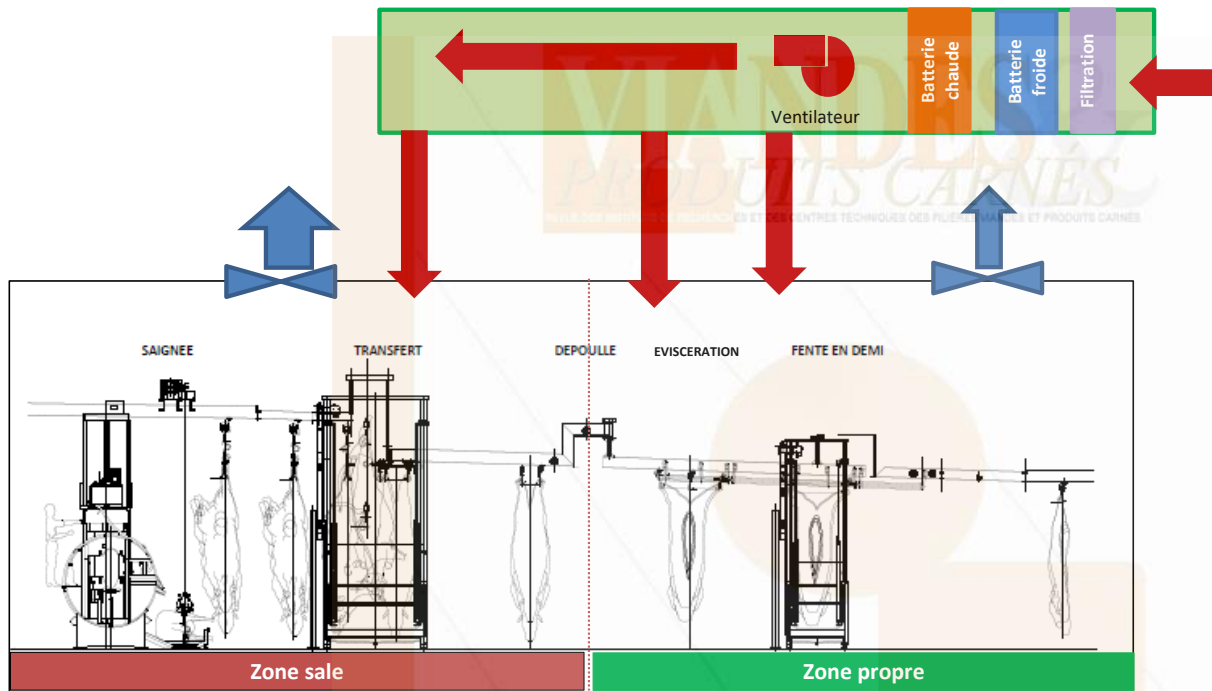
et 4,5 log UFC/m³ (Sirami, 1989). Une corrélation forte entre le niveau de contamination des carcasses et celui de l'air du hall d'abattage et plus particulièrement de l'air prélevé à proximité de l'arracheur de cuirs avait été démontrée.

Depuis ces études, les pratiques d'abattage ont beaucoup évolué pour s'adapter à celles des modes de consommation des viandes de boucherie. En effet, la part de viandes hachées consommées en France, progresse continuellement au fil des années et la consommation de boeuf haché frais et surgelé représente environ 40 % de la viande bovine consommée (FranceAgrimer, 2023). Dès lors, la maîtrise sanitaire des procédés d'abattage est devenue un enjeu majeur pour contrôler au mieux le danger *Escherichia coli* STEC (*Escherichia coli* productrices de shigatoxines). Ainsi, l'accord interprofessionnel du 22 mars 2017 "relatif à l'achat et l'enlèvement des bovins de 8 mois ou plus destinés à l'abattage" établit une grille de notation de la propreté des bovins qui interdit l'abattage des bovins sales classés D. Parallèlement, des systèmes de traitement de la surface des carcasses par la vapeur d'eau se sont généralisés en fin de ligne d'abattage. Enfin pour optimiser leur maîtrise sanitaire, certains abattoirs ont mis en place des systèmes de gestion des flux et de traitement d'air afin d'éviter une pollution de l'air du hall par celui des bouvieries. Dans quelques cas, des dispositifs de filtration et de gestion des flux d'air avec surpression dans les zones propres et dépression dans les zones sales (Figure 1b) ont été mis en place. Au regard de ces évolutions techniques et compte tenu de l'absence des valeurs cibles de contamination de l'air dans le guide des bonnes pratiques d'hygiène, les professionnels de la filière ont souhaité mettre à jour les données acquises il y a 30 ans, en prenant en compte les systèmes de traitement d'air présents dans les halls d'abattage pour en estimer leur performance.

Figure 1 : Schémas illustrant la zone sale de la zone propre de l'abattoir
1a / Schéma d'un hall d'abattage équipé d'extracteurs seuls



1b / Schéma d'un hall d'abattage équipé d'extracteurs seuls et d'une CTA



I. MATERIELS ET METHODES

Préalablement aux mesures d'aérocontamination en abattoirs, 20 abattoirs à dominante gros bovins de plus de 10 000 Tec (tonne équivalent carcasse)/an ont été interrogés. Leurs dispositifs de traitement d'air des zones propres des halls ont été particulièrement analysés. D'un point de vue général, parmi les 20 abattoirs interrogés, 10 abattaient exclusivement des gros bovins et 8 abattent gros bovins et veaux et 2 sont multi-espèces. Le tonnage moyen d'abattage était de 25 300 tec/an et oscillait de 17 000 tec/an pour le plus petit outil de l'échantillon à 87 600 tec/an, pour le plus gros. La cadence moyenne d'abattage valait 40 UGB/h et oscillait de 18 à 80 UGB/h.

Concernant les dispositifs de traitement d'air, un schéma de principe des différentes configurations en place dans les halls d'abattage est donné dans les Figures 1a et 1b.

Les dispositifs de traitement d'air des zones propres des halls se répartissent en 4 familles principales :

- famille A1 : extracteurs simples sans maîtrise de l'arrivée d'air neuf : 6 cas sur 20,
- famille A2 : extracteurs avec maîtrise de l'arrivée d'air neuf par insufflation d'air pris à l'extérieur avec grille anti-insecte ou grille G3 : 2 cas sur 20,
- famille B : présence d'une Centrale de Traitement d'Air (CTA) avec insufflation dans la zone propre d'air pris à l'extérieur et filtré grossièrement avec des filtres de type G1 à G4 : 9 cas sur 20,
- famille C : présence d'une Centrale de Traitement d'Air (CTA) avec insufflation dans la zone propre d'air pris à l'extérieur et filtré finement avec des filtres de type F7 / F9 : 3 cas sur 20.

A la suite de cette enquête, 8 abattoirs ou halls d'abattage (HA) correspondant aux 3 cas-types les plus fréquemment rencontrés ont été sélectionnés pour mettre

en place les campagnes de mesure : (i) 3 abattoirs munis d'extracteurs seuls appartenant à la famille dénommée cas-type A, (ii) 3 abattoirs munis de CTA avec filtration grossière G1/G4 de l'air neuf entrant (cas-type B), (iii) 2 abattoirs munis de CTA avec filtration fine (F7/F9) de l'air neuf entrant (cas-type C). Leurs caractéristiques sont données dans le Tableau 1. Pour chacun des 8 halls d'abattage sélectionnés, les campagnes de mesure ont duré deux jours. La qualité microbiologique de l'air du hall et de l'air extérieur a été mesurée par impaction sur boîte de Pétri avec un biocollecteur et par sédimentation. Ces techniques sont en effet répandues et utilisées depuis longtemps dans le secteur agro-alimentaire pour leur facilité d'emploi dans le cadre d'auto-contrôles. En effet, il suffit de fixer dans l'appareil une boîte de Pétri (disponible dans le commerce) pré-coulée avec le milieu de culture adapté à l'espèce bactérienne recherchée et puis de faire incuber la boîte impactée dans une étuve pendant un couple temps-température décrites dans les recommandations du fournisseur de boîtes. Les prélèvements d'air par impaction ont été effectués avec un équipement AES Sampl'air© de BIOMERIEUX®. Les mesures ont été faites en 6 points de chaque hall : amenée, pré-dépeuille, arrache cuir, émoussage, pesée fiscale, ressuage à raison de 8 séries de mesures de prélèvements d'air par visite. Pour disposer de données robustes, les mesures ont été étalées sur deux journées d'abattage consécutives : cinq le 1er jour et 3, le second jour, dans les deux cas, durant le fonctionnement de la chaîne d'abattage. Les volumes d'air prélevés étaient spécifiques à chaque zone, l'appareil ne pouvant prélever un volume d'air inférieur à 50 L. Leur valeur est donnée dans le Tableau 2.

Tableau 1 : caractéristiques des 8 halls d'abattage (HA) sélectionnés

ND : données non disponibles

| Code hall d'abattage (HA) | Tonnage annuel GROS BOVINS (tec) | Abattage veaux | Abattage autres espèces | Cadence abattage (UGB/h) | Volume Hall (m ³) | Cloisonnement partiel zone sale / zone propre | Traitement air hall |
|--|----------------------------------|----------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|---|---|
| HA1 | 17 095 | Oui | Non | 30 | ND | Non | Famille A1 : Extracteurs (cas-type A) |
| HA4 | 15 000 | Oui | Non | 42 | 4 500 | Non | |
| HA8 | 18 159 | Oui | Non | 24 | 4 650 | Oui | |
| HA7 | 28 600 | Non | Non | 53 | 4 743 | Oui | Famille B : CTA G1 / G4 (cas-type B) |
| HA17 | 55 000 | Non | Non | 80 | 10 934 | Oui | |
| HA22 | 25 000 | Non | Non | 33 | 5 000 | Non | |
| HA6 | 47 000 | Non | Non | 70 | 10 780 | Non mais éloigné | Famille C : CTA F7/F9 (cas-type C) |
| HA14 | 25 000 | Non | Non | 36 | 12 000 | Non mais éloigné | |
| Moyenne des 20 abattoirs interrogés | 25 306 | / | / | 39 | 4 935 | / | / |

Tableau 2 : volumes d'air prélevé avec le biocollecteur par zone des halls d'abattage

| | Volume prélevé flore totale | Volume prélevé entérobactéries | Jour 1 | Jour 2 |
|---------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|
| Amenée | 50 L | 100 L | 2 mesures | 2 mesures |
| Pré-dépouille | 50 L | 100 L | 5 mesures | 3 mesures |
| Arrache cuir | 50 L | 150 L | 5 mesures | 3 mesures |
| Emoussage | 150 L | 150 L | 5 mesures | 3 mesures |
| Pesée fiscale | 150 l | 150 l | 5 mesures | 3 mesures |
| Ressuage | 150 L | 150 L | 5 mesures | 3 mesures |

Pour chaque point de mesure, le biocollecteur était fixé à 1,5 m du sol sur un trépied. A chaque point et chaque temps de mesure, deux prélèvements ont été effectués : un prélèvement sur boîte gélosée coulée avec milieu PCA pour dénombrer la flore totale et un prélèvement sur une boîte coulée avec un milieu VRBG pour dénombrer les entérobactéries. La flore totale est un indicateur d'hygiène global permettant de qualifier la contamination globale de l'air. Les entérobactéries ont été dénombrées pour prendre en compte le risque de contamination par des *Escherichia coli* STEC, germe rattaché à cette famille.

La mesure de la qualité de l'air extérieur avec le biocollecteur n'a été décidée qu'en fin de projet pour relativiser les mesures en hall d'abattage et l'efficacité des dispositifs de traitement d'air en place. Elle n'a donc été mesurée que pour 4 campagnes de mesure. Les mesures ont été effectuées en terrasse à proximité de l'aspiration de la CTA, si le hall était équipé de ce dispositif ou en toiture pour les abattoirs non équipés. Les mesures de la contamination de l'air extérieur en flore totale et en entérobactéries ont été répétées deux fois par

abattoir avec un volume d'air prélevé de 150 L par séquence de mesure soit 8 mesures au total.

Pour des questions de budget, des prélèvements d'air par sédimentation n'ont été engagées qu'en cours de projet à la demande des professionnels participant à son comité de pilotage. Ils n'ont concerné que la flore totale avec des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre coulées avec un milieu PCA. 2 campagnes de mesures ont été effectuées le premier jour des prélèvements en 5 points de la chaîne : amenée, prédépouille, arrache-cuir, émoussage et pesée. Le temps de mise en contact des boîtes étant dépendant du niveau de contamination de la zone caractérisée, les temps de contact choisis pour l'amenée, la prédépouille, l'arrache-cuir étaient de 10 minutes et ont été augmentés à 20 minutes pour l'émoussage et la pesée fiscale. Comme pour les boîtes « impactées », les boîtes de Pétri ont été fermées avec du ruban adhésif à l'issue de chaque mesure, pour éviter tout risque de contamination externe et ont été acheminées au laboratoire sans réfrigération dans un délai maximum de 24h. Arrivées au laboratoire, les boîtes ont été incubées 72h à 30°C pour la flore totale et 24 h pour les entérobactéries à 37°C selon les référentiels des normes

NF EN ISO 4833 et NF ISO 21528-2 respectivement. A l'issue de l'incubation, les colonies ont été dénombrées sur chaque milieu sachant qu'un dénombrement supérieur à 300 colonies est considéré comme non comptable (NC). La table de conversion donnée dans la notice du biocollecteur a été utilisée pour prendre en compte la probabilité d'impact de plusieurs microorganismes au même point de la gélose et corriger ainsi les dénombrements. Après dénombrement, les résultats ont été exprimés en log UFC/m³. Pour les boîtes pour lesquelles aucune colonie n'a poussé, le résultat rendu a été 0 log UFC/m³. Pour celles dont le dénombrement était supérieur à 300, la valeur de 300 UFC/boîte a été retenue soit 3,8 log UFC/m³ pour un

prélèvement de 50 L. En ce qui concerne les prélèvements par sédimentation, les résultats ont été exprimés en log (UFC/m²/minute) sachant qu'une boîte de Pétri de 9 cm de diamètre a une surface de 63,61 cm². Pour celles dont le dénombrement était supérieur à 300, la valeur de 300 UFC/boîte a été retenue soit 3,7 log UFC/m²/min pour un prélèvement de 10 minutes.

Pour chacun des 8 halls d'abattage et chaque site de mesure, la moyenne et l'écart-type des 8 mesures d'aérocontaminations par impaction et des 5 mesures par sédimentation ont été exploitées. L'impact de la configuration des halls d'abattage ou cas-types sur l'aérocontamination des halls a été effectuée par analyse de variance à l'aide du logiciel XLSTAT©.

II. RESULTATS

Seules les mesures d'aérocontamination par impaction sont présentées dans cet article, les mesures par sédimentation ne les sont pas. Les résultats obtenus par hall d'abattage pour la contamination en flore totale sont synthétisés dans la Figure 2 et le Tableau 3. Chaque point sur la Figure 2 correspond à la moyenne de 8

valeurs sauf pour l'amenée, site de mesure pour lequel 4 mesures ont été effectuées. Pour tous les halls d'abattage, les mesures confirment comme la bibliographie, c'est-à-dire la décroissance significative du niveau de contamination de l'air en flore totale depuis l'amenée jusqu'au ressuage (p<0,001).

Figure 2 : mesures de la contamination de l'air en flore totale par impaction pour chaque hall d'abattage

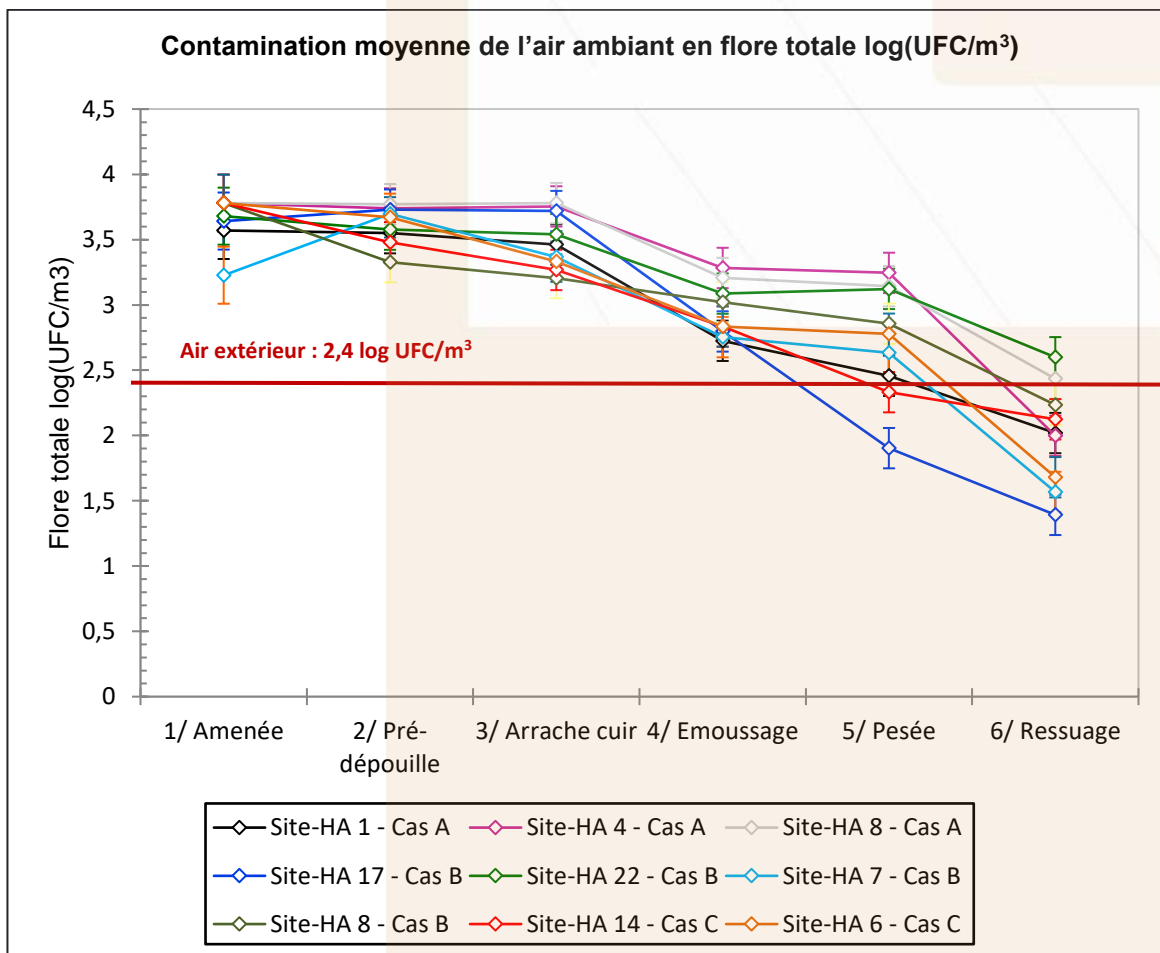


Tableau 3 : mesures de la contamination de l'air en flore totale par impaction pour chaque hall d'abattage (des valeurs de 3,8 log UFC/m³ correspondent à des boîtes jugées comme incomptables)

| Flore totale log(UFC/m ³) | HA 1 - Cas A | HA 4 - Cas A | HA 8 - Cas A | HA 7 - Cas B | HA 17 - Cas B | HA 8 - Cas B | HA 22 - Cas B | HA 14 - Cas C | HA 6 - Cas C | Moyenne | Ecart-type |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|------------|-------------|
| 1/ Amenée | 3,6 | 3,8 | 3,8 | 3,2 | 3,6 | 3,8 | 3,7 | 3,8 | 3,8 | 3,7 | 0,2 |
| 2/ Pré-dépouille | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 3,7 | 3,7 | 3,3 | 3,6 | 3,5 | 3,7 | 3,6 | 0,2 |
| 3/ Arrache cuir | 3,5 | 3,8 | 3,8 | 3,4 | 3,7 | 3,2 | 3,5 | 3,3 | 3,3 | 3,5 | 0,2 |
| 4/ Émoussage | 2,7 | 3,3 | 3,2 | 2,8 | 2,8 | 3,0 | 3,1 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 0,3 |
| 5/ Pesée | 2,5 | 3,3 | 3,1 | 2,6 | 1,9 | 2,9 | 3,1 | 2,3 | 2,8 | 2,7 | 0,5 |
| 6/ Ressuage | 2,0 | 2,0 | 2,4 | 1,6 | 1,4 | 2,2 | 2,6 | 2,1 | 1,7 | 2,0 | 0,5 |
| Moyenne émoussage/pesée | 2,6 | 3,3 | 3,2 | 2,7 | 2,4 | 2,9 | 3,1 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 0,40 |

Les niveaux de contamination en « zone sale » (amenée, pré-dépouille, arrache-cuir) sont peu différents entre halls d'abattage et excèdent 3,2 log UFC/m³, sachant que des valeurs de 3,8 log UFC/m³ correspondent à des boîtes jugées comme incomptables. Pour information, 94 des 172 dénombrements effectués au total en zone sale ont été jugés comme incomptables soit 55% des prélèvements, alors que le volume d'air prélevé (50 L) correspondait au minimum réglable sur le biocollecteur. Ce résultat montre donc que potentiellement, les niveaux de contamination en zone sale sont bien supérieurs à 3,8 log ufc/m³ et que des techniques de prélèvements alternatives doivent être mises en œuvre pour caractériser plus précisément la contamination aérienne de ces zones. Parmi ces solutions, le recours à des préleveurs de type Coriolys© qui consistent à collecter les germes aréoportés dans une solution physiologique qui peut ensuite être diluée en laboratoire semble plus approprié.

En ce qui concerne l'aérocontamination des « zones propres » (émoussage, pesée fiscale, ressuage), le niveau de contamination en flore totale de l'émoussage et de la pesée reste supérieur à celui de l'air extérieur malgré la présence de CTA, avec ou sans la présence de dispositifs de filtration efficaces dans les cas-type B et C. La contamination moyenne de l'air extérieur, sur une base de 8 mesures, est de 2,4 +/- 0,2 log UFC/m³. En zone propre, les niveaux de contamination sont variables et illustrent l'impact de la configuration des halls d'abattage sur la contamination de l'air de cette zone. Ainsi, les configurations les plus défavorables correspondent aux halls d'abattage HA4 (cas-type A), HA8 (cas-type A et B) et HA22 (cas-type B). Les niveaux de contamination moyens en flore totale valent 3,18 3,2 log (UFC/m³) dans les zones émoussage et pesée. La configuration la plus performante est observée pour HA17 (cas-type B) avec une contamination moyenne de ces deux zones de 2,3 log(UFC/m³).

Il y a un impact très significatif ($p < 0,001$) du cas-type sur la contamination aérienne en flore totale. Le cas type A est significativement plus défavorable que les cas types B et C, ces deux derniers n'étant pas significativement différents. La discrimination des cas-types s'effectue sur

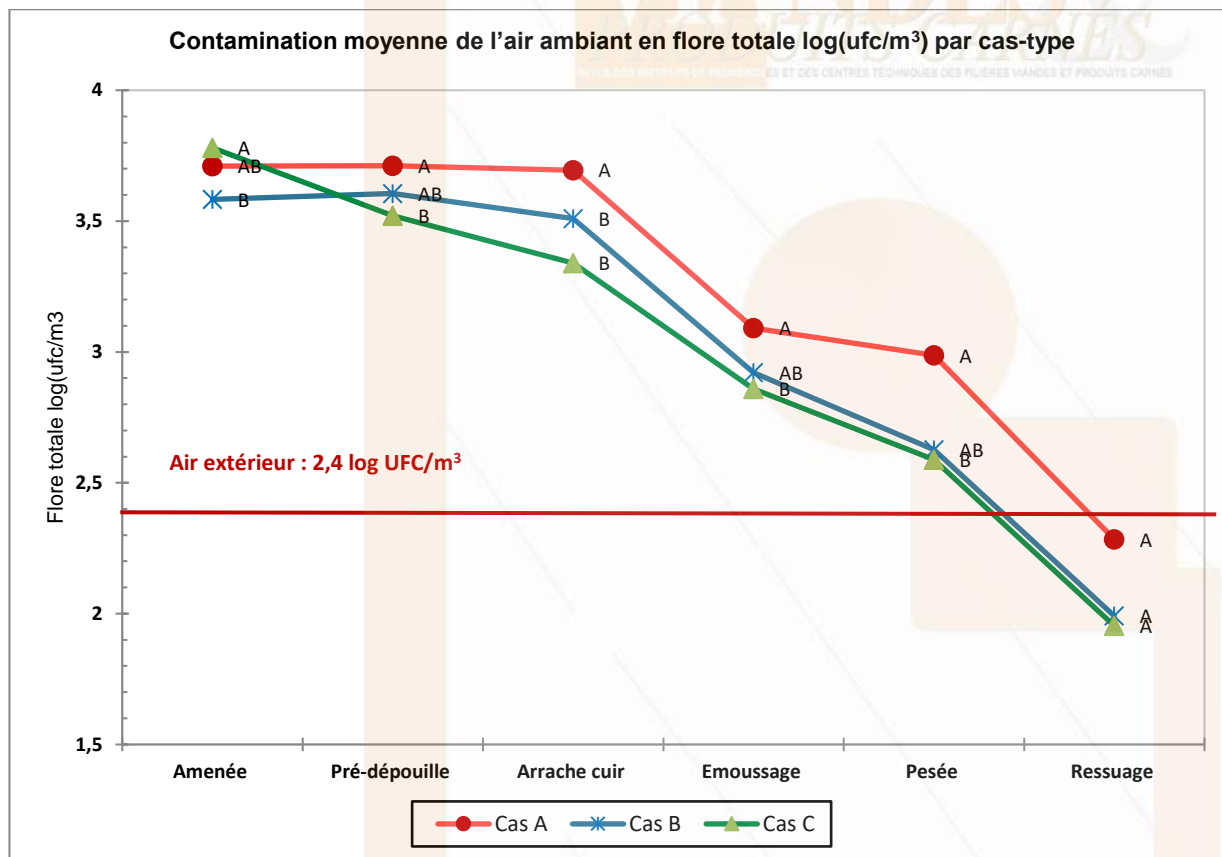
les zones arrache-cuir, émoussage et pesée (Figure 3), le cas-type A étant plus défavorable que C sur ces 3 zones. Pour le cas-type A, la variabilité est très forte. Il intègre les 2 configurations les plus défavorables HA4 et HA8 (Figure 2 et Tableau 3). A contrario, HA1 classé en cas-type A, a une performance équivalente aux cas-types B.

Dans le cas-type B, les halls d'abattage HA7 et HA8 ont des caractéristiques relativement proches, alors que le site HA 22 présente des niveaux de contamination élevés et que HA17 correspond à la configuration la plus performante parmi tous les halls d'abattage caractérisés. Les niveaux de contamination des 2 halls de cas-type C sont comparables à ceux des abattoirs de cas-type B. En revanche, la variabilité des mesures en zone propre est plus faible dans ce cas de figure (Tableau 3). Les CTA apportent donc une plus-value pour maîtriser les flux d'air par rapport aux extractions seules mais il ne s'agit pas d'une condition suffisante (exemple du hall HA 1-cas A aussi performant que les cas-type B et C et du hall HA17 du cas type B qui correspond à la configuration la plus performante). En effet, même si les halls d'abattage ont été classés en famille, leur configuration dans le détail est à chaque fois spécifique. Aussi, outre la présence de CTA, d'autres paramètres doivent être intégrés dans l'analyse des performances d'aérocontamination telles que le cloisonnement physique des zones sales et propres (à l'instar de la configuration HA17), la position des bouches d'extraction en zones propres prévues pour aspirer la vapeur des carcasses et des équipements tels que le steam vacuum, les débits d'extraction et d'insufflation, les fuites d'air potentielles depuis la triperie poil vers la zone propre. L'apport de filtres de type F9 dans la CTA pour traiter l'air extérieur insufflé en zone propre limite la variabilité des niveaux de contamination en flore totale. Cela rejoint, les conclusions de plusieurs études qui montrent le caractère plurifactoriel de l'aérocontaminations des halls d'abattage. Ainsi, les abattoirs avec des configurations en ligne assurent une meilleure maîtrise que ceux avec une configuration en serpentin (Prendergast *et al.*, 2004). Une distance suffisante doit être maintenue entre la zone sale et la zone propre (Prendergast *et al.*, 2004, Mothershaw, 2008). Une séparation physique par des murs entre zone

sale et propre doit être prévue pour éviter non seulement les projections d'eau entre les deux zones (Prendergast *et al.*, 2004), mais aussi pour limiter les flux de personnel,

facteur d'augmentation de la contamination aéroportée (Rahkio et Korkeala, 1997, Prendergast *et al.*, 2004).

Figure 3 : mesures de la contamination de l'air en flore totale par cas-type (deux lettres différentes sur le graphique correspondent à des moyennes significativement différentes avec un risque d'erreur inférieur à 5%)



L'allure des profils de contamination de l'air en entérobactéries n'est pas comparable à celui de la flore totale (Tableau 4). La zone sale est la plus contaminée avec des niveaux de contamination moyens de 1,3 log ufc/m³ à l'amenée et de 1,6 à 1,7 log ufc/m³ à la pré-dépouille et à l'arrache-cuir respectivement, zones les

plus contaminées. Mais l'écart avec la zone propre est moins important puisque le niveau de contamination moyen de l'émoussage est de 1,2 log ufc/m³ et celui de la pesée fiscale de 0,9 log ufc/m³. Cet écart avec la flore totale pourrait être expliqué par la nature des flores bactériennes contaminantes des cuirs.

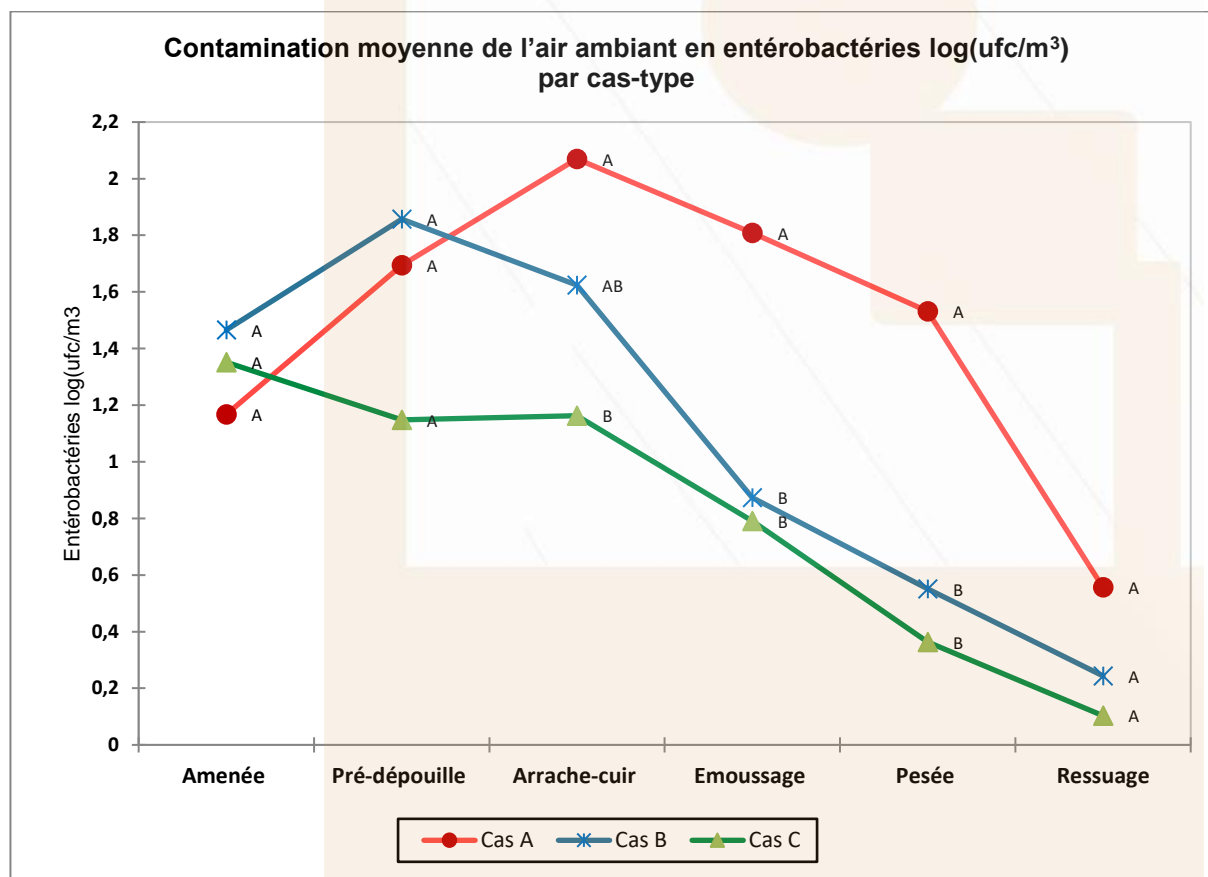
Tableau 4 : mesures de la contamination de l'air en entérobactéries par impactation pour chaque hall d'abattage

| Entérobactéries log(UFC/m³) | HA 1 - Cas A | HA 4 - Cas A | HA 8 - Cas A | HA 7 - Cas B | HA 17 - Cas B | HA 8 - Cas B | HA 22 - Cas B | HA 14 - Cas C | HA 6 - Cas C | Min | Moyenne | Max |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-----|---------|-----|
| 1/ Amenée | 0,5 | 1,3 | 1,7 | 0,9 | 2,2 | 1,2 | 1,6 | 2,7 | 0,0 | 0,0 | 1,3 | 2,7 |
| 2/ Pré-dépouille | 1,4 | 2,4 | 1,5 | 1,9 | 2,6 | 2,1 | 0,8 | 2,4 | 0,4 | 0,4 | 1,7 | 2,6 |
| 3/ Arrache cuir | 1,4 | 2,4 | 2,1 | 1,0 | 2,4 | 1,7 | 1,2 | 2,0 | 0,1 | 0,1 | 1,6 | 2,4 |
| 4/ Emoussage | 0,8 | 2,4 | 2,0 | 0,5 | 0,8 | 1,5 | 1,1 | 1,4 | 0,1 | 0,1 | 1,2 | 2,5 |
| 5/ Pesée | 0,6 | 2,4 | 1,9 | 0,4 | 0,3 | 1,0 | 1,2 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,9 | 2,4 |
| 6/ Ressuage | 0,0 | 0,4 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,5 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,8 |
| Moyenne émoussage/pesée | 0,7 | 2,4 | 1,9 | 0,4 | 0,5 | 1,2 | 1,1 | 0,9 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 2,2 |

Les numérations d'entérobactéries n'ont pas été comparées au niveau de contaminations de l'air extérieur car sur 8 prélèvements d'air extérieur effectués au cours des campagnes de mesure, seulement 1 a mis en évidence la présence de cette famille de germes. Comme pour la flore totale, il y a un impact très significatif ($p < 0,001$) du cas-type sur les contaminations aériennes en entérobactéries (Figure 4). La discrimination des cas-types s'effectue sur les zones arrache-cuir, émoussage et pesée. Il n'y a pas de différence significative de la contamination de l'air en entérobactéries entre les cas-type B et C. En revanche, le cas-type A est significativement plus défavorable que les cas-type B et C sur les zones émoussage et pesée (Figure 4). Le cas-

type A présente la variabilité la plus importante. Dans 2 cas sur 3, il s'agit des configurations les plus défavorables (HA4 et HA8) alors que le hall d'abattage 1 (HA1) a des niveaux de contamination comparables aux halls du cas-type B (Tableau 3). La variabilité est également très élevée pour les halls des cas-type B et C, le niveau de contamination le plus faible ayant été obtenu avec pour HA6 de cas-type C (Tableau 4). L'analyse de la contamination en entérobactéries de l'air des halls d'abattage amène aux mêmes conclusions que l'analyse de celle en flore totale. Les CTA apportent une plus-value pour maîtriser la contamination de l'air en entérobactéries par rapport aux extractions seules mais il ne s'agit pas d'une condition suffisante.

Figure 4 : mesures de la contamination de l'air en entérobactéries par cas-type (deux lettres différentes sur le graphique correspondent à des moyennes significativement différentes avec un risque d'erreur inférieur à 5%)



Les mesures par sédimentation non présentées dans cet article conduisent aux mêmes conclusions que les mesures faites par impaction. Ainsi, une corrélation entre la moyenne des mesures faites en chaque point des halls par impaction et celles faites par sédimentation sur 40 données a été conduite (Figure 4). La corrélation est excellente puisque le coefficient de corrélation R^2 vaut

0,74) ($p < 0,001$) et corrobore la relation obtenue par Okraszewska-Lasica *et al.* (2012). Le contrôle de la qualité microbiologique de l'air d'un hall d'abattage peut donc être effectué facilement sans avoir recours à un investissement d'équipement spécifique. Il faut toutefois être vigilant à l'absence de projections sur les boîtes lors des mesures avec cette technique.

CONCLUSION

Les campagnes effectuées montrent que de nombreux résultats de mesures faites en zone sale sont incompréhensibles avec les méthodes utilisées. Quoiqu'il en soit, il est nécessaire d'adapter les protocoles de mesures au niveau de ces zones en réduisant le volume d'air prélevé au

biocollecteur ou en réduisant le temps de sédimentation. Ainsi, pour un contrôle de la flore totale en zone sale, le volume d'air prélevé devrait être réduit à 30 L et le temps de sédimentation à 5 minutes. En zone propre, le volume d'air prélevé sera de 100 L jusqu'à l'émoussage et pourra

passer à 150 L en fin de ligne d'abattage. Le temps de sédimentation, quant à lui, restera fixe et sera de 20 minutes. Sur la base des données acquises, des seuils de dénombrements peuvent être proposés pour les autocontrôles de l'aérocontamination en flore totale.

Pour les zones amenée / pré-dépouille / arrache cuir, il faut prélever 30 L au bio collecteur. Aucun seuil n'est proposé mais uniquement des valeurs indicatives de 3,2 à 3,8 log UFC/m³ de flore totale. Pour ces zones, le temps de sédimentation à appliquer est de 5 minutes et la valeur indicative est de 3,1 à 3,7 log UFC/m²/min. En alternative et pour quantifier de manière plus fine les niveaux de contamination élevés de ces zones, des techniques de prélèvements alternatives tels que les préleveurs de type Coriolys© doivent être mises en œuvre. JJ

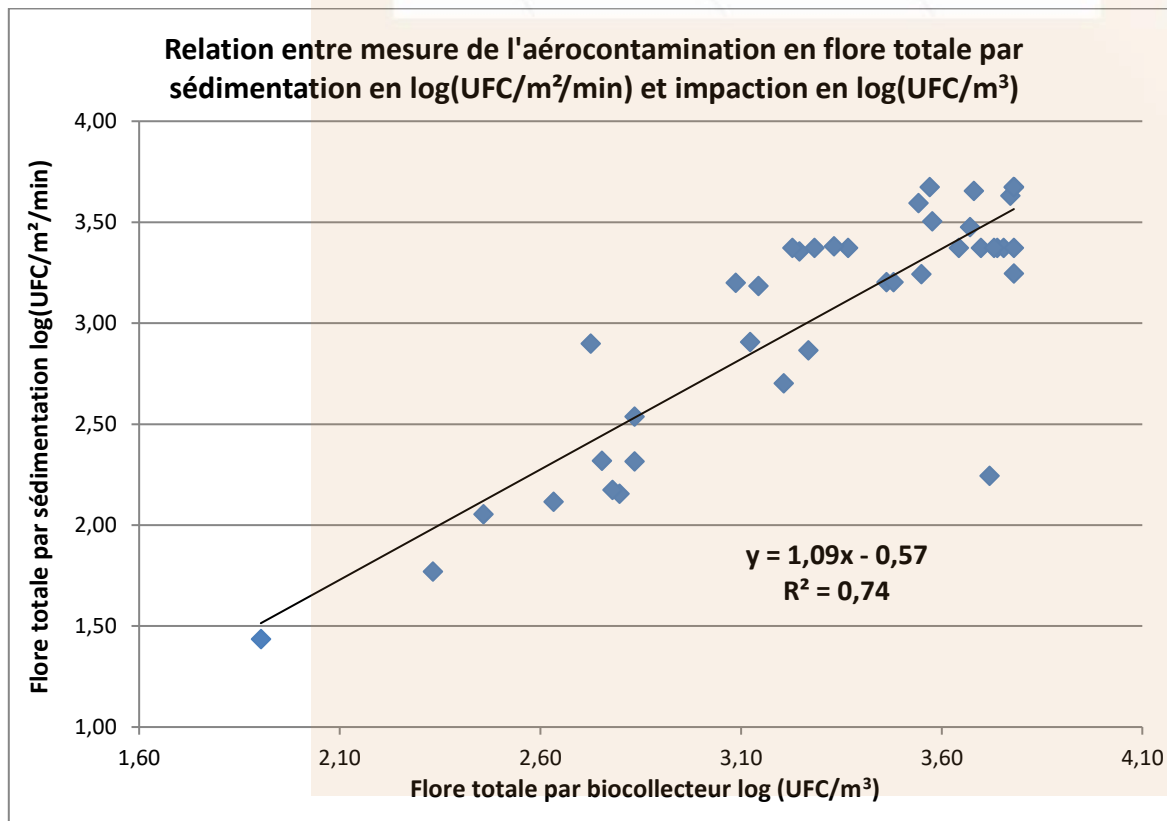
Pour la zone émoussage, le prélèvement d'air au biocollecteur doit être de 100 L et le temps de contact par sédimentation de 20 minutes. Les valeurs indicatives de flore totale à atteindre sont comprises entre 2,3 à 3,0 log UFC/m³ par impaction et doivent être inférieures à 2,7 log UFC/m²/min par sédimentation.

Au niveau de la pesée et du ressuage, 150 LM d'air doivent être aspirés au biocollecteur et le temps de contact par sédimentation doit être de 20 minutes. Les valeurs cibles de flore totale par impaction en pesée seront comprises entre 2,3 et 3,0 log UFC/m³, tandis que celles en ressuage devront être inférieures à 2,3 log UFC/m³. Enfin les valeurs seuil à atteindre par sédimentation sont de 2,7 log UFC/m²/min en pesée et de 2,4 log UFC/m²/min en ressuage.

Pour tous les halls d'abattage, les mesures confirment la décroissance du niveau de contamination de l'air en flore totale et en entérobactéries depuis l'amenée

jusqu'au ressuage, sachant que cette décroissance est sous-estimée, étant donné que la contamination au niveau de l'amenée était dans 55% des cas supérieure au seuil de dénombrement. Les niveaux de contamination en « zone sale » sont peu différents entre halls d'abattage et excèdent 3,2 log UFC/m³, sachant que des valeurs de 3,8 log UFC/m³ correspondent à des boîtes jugées comme incomptables. En « zone propre », les niveaux de contamination sont beaucoup plus variables et illustrent l'impact de la configuration des halls d'abattage sur la contamination de l'air de cette zone. Ainsi, les CTA apportent une plus-value pour maîtriser la contamination de l'air des zones arrache-cuir, émoussage et pesée, par rapport aux extractions seules. Toutefois, s'il s'agit d'une condition nécessaire, elle n'est pas suffisante. En effet, malgré la présence de CTA, l'aérocontamination de l'air peut être impactée par de nombreux autres facteurs qui n'ont pu être mis en évidence au cours de cette étude, tellement les différentes configurations étudiées sont spécifiques. Parmi ces facteurs, le cloisonnement physique des zones sales et propres, la position des bouches d'extraction en zones propres prévues pour aspirer la vapeur des carcasses et des équipements tels que le steam vacuum, les débits d'extraction et d'insufflation, les fuites d'air potentielles depuis la triperie poil vers la zone propre sont à intégrer dans l'analyse des données. L'apport de filtres de type F9 dans les CTA pour traiter microbiologiquement l'air extérieur insufflé en zone propre limite la variabilité des niveaux de contamination en flore totale même si, celui-ci reste, comme les autres configurations, supérieur à celui de l'air extérieur (2,4 log UFC/m³) dans les zones d'émoussage et de pesée.

Figure 5 : relation entre mesure de l'aérocontamination en flore totale par sédimentation en log(UFC/m²/min) et par impaction en log(UFC/m³) n=40



Remerciements :

Cette étude a été conduite grâce au soutien financier d'INTERBEV. Les auteurs remercient les 8 abattoirs qui leur ont ouvert leurs portes pour effectuer les mesures.

Références :

- FRANCEAGRIMER, 2023. La consommation de produits carnés et d'œufs en 2022. 122 pages
- INTERBEV-ADIV, 1988. Zones protégées en abattoir. Rapport d'étude
- Jericho K.W.F., Ho J., Kozub G.C. (2000). Aerobiology of a High-Line Speed Cattle Abattoir. *Journal of Food Protection* 63, 1523–1528
- Kang Y.-J., Frank J.F. (1989a). Biological Aerosols: A Review of Airborne Contamination and its Measurement in Dairy Processing Plants. *Journal of Food Protection* 52, 512–524
- Knudtson L.M., Hardtman P.A. (1993). Enterococci in pork processing. *Journal of Food Protection*, 56, 6-9
- Kotula A.W., Emswiler-Rose B.S. (1988). Airborne Microorganisms in a Pork Processing Establishment. *Journal of Food Protection* 51, 935–937
- Mothershaw A.S. (2008). Air as a source of bacterial contamination in a slaughterhouse prior to implementation of hygienic control systems. *International journal Postharvest Technology and Innovation*, vol 1, n°3, 337-347
- Okraszewska-Lasica W., Bolton D.J., Sheridan J.J., McDowell D.A. (2012). Comparison of aerial counts at different sites in beef and sheep abattoirs and the relationship between aerial and beef carcass contamination *Food Microbiology* 32, 325-331
- Prendergast D.M., Daly D.J., Sheridan J.J., McDowell D.A., Blair I.S. (2004). The effect of abattoir design on aerial contamination levels and the relationship between aerial and carcass contamination levels in two Irish beef abattoirs. *Food Microbiology* 21, 589–596
- Rahkio T.M., Korkeala H.J. (1997). Airborne Bacteria and Carcass Contamination in Slaughterhouses. *Journal of Food Protection* 60, 38–42
- Ren T.-J., Frank J.F. (1992). A Survey of Four Fluid Milk Processing Plants for Airborne Contamination Using Various Sampling Methods. *Journal of Food Protection* 55, 38–42. doi:10.4315/0362-028X-55.1.38
- Sirami J. (1989). La contamination microbiologique de l'air dans le hall d'abattage : facteurs de variation et influence sur la carcasse. *Viandes et Produits Carnés*, 10, 109–116.