

Teneurs et flux de neuf éléments traces d'effluents avicoles

BLAZY Vincent¹, GALLIOT Pascal²

¹ ITAVI, rue Maurice Le Lannou, 35000 Rennes, France

² ITAVI, 41 Rue de Beaucemaine, 22440 Ploufragan, France

blazy@itavi.asso.fr

RÉSUMÉ

Initialement prévu pour une entrée en vigueur en 2021, le projet de décret de socle commun à toutes les matières fertilisantes d'origine résiduaire a été reporté avec une application envisagée courant 2024. Ce texte de loi repositionne les effluents d'élevages avec un statut réglementaire de déchet questionnant de facto sur l'innocuité de ces produits retournant au sol. L'objectif de ces travaux est de fournir un référentiel sur les teneurs et les flux de neuf éléments traces métalliques (arsenic, cadmium, chrome total et chrome VI, cuivre, zinc, mercure, nickel et plomb) pour douze effluents avicoles. Les résultats ont été comparés aux valeurs limites présentées dans le projet de décret. Aussi bien au niveau de leur teneur que des flux (sur 10 ans), les effluents avicoles ont présenté des valeurs inférieures aux futurs seuils réglementaires. Sans surprise, le cuivre et le zinc ont présenté des valeurs plus élevées que les autres composés avec respectivement une teneur comprise entre 40 et 260 et 150 à 412mg/kg matières sèches (MS) et un flux compris entre 52 à 844 et 360 à 2784g/ha/an sur 10 ans selon l'espèce avicole considérée. Le nickel, le chrome total et le cadmium sont quantifiés, mais à des niveaux 10 à 100 fois inférieurs aux valeurs limites. Enfin, le mercure (<0.05mg/kgMS), le plomb (<1 mg/kgMS), l'arsenic (<0.5mg/kgMS) et le chrome VI (<2.4mg/kgMS) ont des teneurs souvent inférieures au seuil de détection des méthodes analytiques. Ces premiers résultats permettent d'exempter les éleveurs d'analyses systématiques grâce à la production de valeurs forfaitaires. Ces travaux doivent être confortés et élargis par de nouvelles analyses.

ABSTRACT

Levels and Fluxes of Nine Trace Elements in Poultry Effluents

The draft decree for a 'socle commun' for all fertilizing materials of residual origin, initially set to take effect in 2021, has been postponed and is now expected to be implemented in 2024. This legislation redefines livestock effluents, assigning them a regulatory waste status and prompting questions about the safety of these products when reintroduced into the soil. This study aims to establish a reference framework for the levels and fluxes of nine trace metal elements (arsenic, cadmium, total chromium and hexavalent chromium, copper, zinc, mercury, nickel, and lead) in twelve poultry effluents. The results were compared to the limit values specified in the draft decree. Both the content and fluxes of poultry effluents, over a 10-year period, demonstrated values below the anticipated regulatory thresholds. Notably, copper and zinc exhibited higher values than other compounds, with respective content ranging from 40 to 260 and 150 to 412 mg/kg of dry matter (DM) and a flux ranging from 52 to 844 and 360 to 2784 g/ha/year over 10 years, depending on the poultry species under consideration. Nickel, total chromium, and cadmium were quantified, albeit at levels 10 to 100 times lower than the limit values. Finally, mercury (<0.05 mg/kg DM), lead (<1 mg/kg DM), arsenic (<0.5 mg/kg DM), and hexavalent chromium (<2.4 mg/kg DM) often fell below the detection limit of analytical methods. These initial findings permit farmers to be exempt from systematic analyses through the use of lump-sum values. Nevertheless, these studies require reinforcement and expansion through further analyses.

INTRODUCTION

Les éléments traces métalliques (ETM) représentent environ moins de 0.6 % de la masse du sol (Baize, 1997). Ils sont à la fois nécessaires au bon fonctionnement physiologique du vivant (cas du Cuivre (Cu), Zinc (Zn), l'arsenic (As), Nickel (Ni) et du Chrome (Cr)), mais aussi des métalloïdes toxiques (Plomb (Pb), Cadmium (Cd), Mercure (Hg), Chrome VI (Cr_{VI}) (Denaix L., 2022). L'exposition à ces composés suit des lois de doses-réponses biologiques allant de la carence à une toxicité, voire létalité. L'origine de ces ETM dans les sols français provient de retombées atmosphériques (<https://msceast.org/>), de la nature de la roche mère (Gis sol., 2011) et des apports anthropiques, notamment en lien avec l'épandage d'effluent d'élevage (Saby et al., 2011). D'après l'étude Sogreah-Ademe, (2007), les effluents d'élevages contribueraient respectivement par ordre décroissant à 78 ;64 ;58 ;53 ;50 ;44 ;38 et 25 % des apports d'ETM sur les sols français métropolitains pour Zn, Ni, As, Cu Hg, Pb, Cr et Cd. Les autres types d'apports sont compris à travers les flux d'engrais minéraux (surtout pour Cd, Cr et As), les retombées atmosphériques (surtout pour le Pb, Hg, le Ni et le Zn). Le Cu se distingue avec des apports importants provenant de produits phytosanitaires en lien avec les productions viticoles et d'épandage d'effluents de granivores.

Globalement, les sols ont tendance à accumuler les ETM. Leur mobilité vers la solution du sol dépend de leur localisation initiale et des conditions physicochimiques (pH, eH, matière organique dissoute, ions compétiteurs...) qui vont conditionner leurs formes chimiques et leur biodisponibilité (Denaix L., 2022). Les données du réseau QUASAPROVE (Vivien et al., 2017) montrent (pour des cultures de tournesols et de blés dur et tendre) qu'une fertilisation organique entraînera une accumulation pour l'Ar, Cd, Pb, Cu et Zn quelle que soit la culture testée.

En aviculture, la porte d'entrée des ETM passe par l'alimentation des volailles. Celle-ci est réglementée via des teneurs maximales admissibles, soit au titre des additifs destinés à l'alimentation, principalement Cu et Zn en aviculture (Règlement (CE) 1334/2003 et (UE) 2019/1125, liste non exhaustive...), soit au titre des substances indésirables dans les aliments pour animaux (e.g As, Pb, Hg, Cd) (Règlement (UE) 2019/1869). La couverture du besoin en oligo-éléments doit, non seulement faire disparaître les symptômes apparents de carence, mais également optimiser les fonctions métaboliques des volailles grâce à leur présence dans les enzymes, hormones et vitamines (Nys et al., 2003). Une légère supplémentation d'oligo-éléments est une pratique courante, notamment pour parer à des subcarences éventuelles dues aux variations d'apports par les matières premières. Toutefois une majeure partie (95

à 99 % de l'ingéré) de cette supplémentation se retrouve directement excrétée (Itavi 2013). Les références d'excrétion avicoles (Itavi, 2013), en pleines remises à jour, proposent des valeurs d'excrété à l'animal pour ces deux ETM. Des teneurs en Cu et Zn des effluents avicoles peuvent être également retrouvées dans les travaux de Levasseur et al., (2019). Pour les autres ETM, qui occupent un statut d'indésirables dans les rations, il n'existe pas de modèles de rétention corporelle permettant de disposer de référence d'excrété, ni d'éléments bibliographiques sur leur teneur dans les déjections.

Le volet agricole de la feuille de route pour l'économie circulaire publié le 26/02/2019 porte une mesure consistant à encadrer les critères qualité de toutes les matières fertilisantes d'origine résiduaire, y compris les effluents d'élevage, dès lors qu'elles sont épandues sur les sols agricoles. Les effluents bruts ou traités soumis à un plan d'épandage rentreraient dans le scope du décret et devront à ce titre répondre de critère sur leur teneur et flux (à 10 ans) en ETM. L'affiliation des effluents d'élevage à un statut de déchet est lui encore en suspens.

Afin de répondre à ces éléments de contexte, 12 effluents avicoles ont été caractérisés sur leur teneur en 9 ETM (Cu, Zn, As, Cr, Cr_{VI}, Hg, Ni, Pb, Cd). Les teneurs et flux (calculés sur 10 ans) ont été comparés à celles du projet de décret de socle commun pour positionner les effluents avicoles face aux risques de contamination des sols.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Choix des effluents collectés

La liste des 12 effluents collectés est présentée dans le Tableau 1. Ces derniers ont été sélectionnés afin de tenir compte des variétés d'espèces avicoles (poulet de chair, dinde, canards à rôti et à gaver, poule pondeuse, reproducteur et futur reproducteur) et de logements (cage, volière...). L'ensemble de la diversité des productions n'a cependant pas pu être prise en compte de manière à pouvoir intégrer des effluents issus de procédés de traitement / séparation de phase (fientes de poules pondeuses granulées, refus de séparation de lisiers de canards à rôti et compost de fumier de poulet de chair). Ce choix a été motivé par l'opportunité de caractériser des effluents où les matières sèches (contenant les ETM) ont été concentrées avec *in fine* des effluents susceptibles d'afficher des teneurs plus élevées que des déjections brutes. L'ensemble des prélèvements a été réalisé dans des exploitations commerciales représentatives des conditions de production française. Le secteur géographique des exploitations s'étend sur le grand ouest.

1.2. Modalités de prélèvements et d'analyses

Des protocoles de prélèvement distincts ont été appliqués entre les différentes typologies

d'effluents (fumiers, lisiers et fientes). Pour les effluents solides de type fumiers et fientes, le protocole de prélèvement a été adapté de celui de l'ITAVI (Ponchant et al., 2018). Pour les liquides, le protocole s'est inspiré de celui de l'INRAE Transfert-Environnement (version 2.2, octobre 2014). La méthode générale employée consiste à réaliser des sous-échantillons élémentaires (entre 20 et 30) en différents points de surface et de profondeur (au bâtiment, au tas de stockage ou dans une fosse). Ces échantillons sont ensuite mélangés pour suivre une succession de quartage (séparation en 2 tas après homogénéisation) et ce jusqu'à arriver au volume/poids de prise d'essai souhaité (3 x environ 2 kg de fumier ou fiente ou 1 L de lisier). Le protocole a toujours été réalisé à trois reprises sur une même journée de manière distincte pour disposer d'une répétition validant la qualité du prélèvement. Les échantillons ont ensuite été transportés en glacière sous un froid positif (5°C +/- 3) pour être soit congelés puis envoyés, soit directement apportés au laboratoire Inovalys de Nantes (certifié COFRAC) auquel l'ensemble des échantillons ont été confiés.

La méthode de dosage employée est l'ICP (Inductively Coupled Plasma) avec minéralisation par micro-ondes (ICP-MS) pour l'ensemble des ETM (NF EN ISO 15587-2 ; NF EN ISO 17294-2) hormis le Hg où la méthode de dosage est la spectrométrie fluorescence atomique (NF EN ISO 17852). Pour plus de détails (modes de prélèvement, limites de détection des méthodes...) il convient de se référer au rapport ADEME, 2020 (Teneurs en éléments traces des déjections animales brutes et transformés).

1.3. Expression des résultats

Pour l'ensemble des résultats d'analyse, il sera présenté les moyennes, les teneurs minimales et maximales de chaque ETM. Lorsqu'un ETM dispose d'au moins une valeur détectée et au moins une valeur non détectée, il a été retenu par convention d'intégrer le seuil (ou les seuils) de détectabilité dans la moyenne. La moyenne obtenue sera donc une teneur « haute », incluant ainsi une marge de sécurité. Lorsque l'ensemble des résultats sont en deçà des seuils de détectabilité, la moyenne est celle de ces seuils. Au-delà de leur concentration, le projet de décret du socle commun prévoit de fixer les apports de matières fertilisantes aux champs selon les flux ramenés à la parcelle sur 10 ans (en g.ha⁻¹.an⁻¹ sur 10 ans). Pour réaliser cette simulation, il a été choisi de se placer dans les situations les plus fréquemment rencontrées sur le terrain. À savoir, l'indexation des épandages sur l'azote (N) (150 kg N.ha⁻¹.an⁻¹) et sur le phosphore (P) (85 kg P₂O₅.ha⁻¹.an⁻¹). Ces scénarios sont plutôt maximisant, car le respect de l'équilibre de la fertilisation azotée à la parcelle peut conduire à limiter les quantités pouvant être épandues à des niveaux inférieurs à 150 kg N.ha⁻¹. Par ailleurs, dans la pratique, une partie de cette dose peut provenir de

fertilisation minérale (avec des apports d'ETM respectifs à la parcelle plus ou moins importants). Les teneurs en N et P retenues proviennent principalement de la brochure du RMT Elevage et Environnement (Levasseur et al., 2019). Les teneurs d'effluents non mentionnés dans cette brochure proviennent du projet FranceAgrimer "ABILE2" qui comporte une analyse physico-chimique des effluents pouvant être consultée via le lien suivant <https://ifip.asso.fr/base-de-donnees-abile/>. Au final, seules les fientes granulées n'ont pas fait l'objet d'analyse des macroéléments, à titre indicatif la teneur de fientes de poules pondeuses après séchage sera reprise. Ce choix par défaut implique une probable surestimation des quantités de fientes granulées à l'épandage (celles-ci étant plus concentrées en matières sèches que les fientes). Le tableau 1 récapitule les doses retenues par typologie d'effluent.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Teneurs en éléments traces des effluents avicoles

Les effluents analysés montrent des teneurs en éléments traces systématiquement inférieures aux teneurs maximales définies pour les matières fertilisantes et supports de culture de catégorie B (d'après le projet de décret relatif aux critères de qualité agronomique et d'innocuité, tableau 2). Les oligo-éléments comme le Zn et le Cu, volontairement introduits dans les rations animales, ressortent comme les ETM les plus présents dans les effluents avicoles. Respectivement, ils disposent d'écarts min-max compris entre 150-419 et 33-260 mg.kgMS⁻¹. Pour le fumier de poulet et de dinde standard ainsi que pour les fientes de poules pondeuses en cages, il est possible de comparer ses résultats à ceux de Levasseur et al., (2019). Pour le zinc, les fumiers de poulet et de dinde présentent des écarts relatifs (ER) de -13 et -7 % tandis que pour les fientes une légère augmentation de + 1 % a été observée. Pour le cuivre, la tendance est un peu différente avec le fumier de poulet de chair qui dispose d'un ER de + 4 %, -13 % pour le fumier de dinde et + 17 % en pondeuses code 3. Globalement les résultats de cette étude restent dans des ordres de grandeur proches des précédentes références. Compte tenu des incertitudes et de la précision des mesures, l'ER maximum de +17 % reste acceptable. Aucun lien n'a pu être fait entre la typologie des effluents (fumier, lisier, fiente, transformé) ou leur teneur en MS pour expliquer la variabilité observée.

Pour les ETM indésirables, le Cr et le Ni sont détectés, mais à des teneurs qui restent bien en deçà des seuils de l'arrêté (respectivement 800 et 200 mg.kgMS⁻¹). Respectivement les teneurs min-max rencontrées sont de 0.5-14.4 et 0.6-12.7 mg.kgMS⁻¹. Pour les systèmes avicoles français, il n'existe pas

d'éléments bibliographiques auxquels comparer ces résultats. Pour l'As, autre élément indésirable, les résultats obtenus montrent des teneurs inférieures au seuil de détection des mesures du laboratoire (i.e. $< 0.5 \text{ mg.kgMS}^{-1}$), sauf pour quelques typologies d'échantillons qui sont juste au-dessus. Les teneurs détectées sont comprises entre 0.6 et 3 mgAs.kgMS^{-1} ce qui reste faible. Le Cd est plus souvent détecté (seuls les lisiers de palmipèdes gras et les refus de séparation de phase de canard à rôtir ont une teneur inférieure au seuil de détection) mais à de faibles niveaux, compris 0.1 et 0.4 mg.kgMS^{-1} . Pour mémoire le seuil réglementaire prévu est de 5 mg.kgMS^{-1} .

Enfin, le Pb et le Hg ont systématiquement présentés des teneurs inférieures au seuil de détection (respectivement < 1 et $< 0.05 \text{ mg.kgMS}^{-1}$) empêchant de conclure quant à la teneur exacte de ces composés dans les effluents avicoles. Les seuils de détection étant bien en deçà des valeurs limites du projet de décret, le risque autour de ces composés peut être jugé faible. Le Cr_{VI} n'a lui aussi jamais été détecté à une teneur supérieure au seuil de détection (comprise entre 0.6 et 9.1 mg.kgMS^{-1}). Toutefois, ce dernier étant parfois supérieur à la limite du décret (2 mg.kgMS^{-1}), il est impossible de conclure quant à la conformité des effluents face à la présence de ce composé... Ce dernier résultat montre que les procédures standard des méthodes d'analyses des laboratoires devront évoluer pour disposer de seuil de détection inférieur au seuil de 2 mg.kgMS^{-1} .

Pour les effluents transformés, bien qu'un bilan de masse (impliquant la pesée des effluents) n'a pu être totalement réalisé, il est possible d'observer différentes dynamiques. Ainsi pour le compost de fumier de poulet de chair, un effet de concentration des éléments traces est globalement observé. Concernant la séparation de phase de lisier de palmipède, cet effet n'est pas retrouvé de manière systématique. L'hypothèse expliquant ces résultats pourrait venir du taux de capture de l'équipement pour différentes fractions granulométriques qui reste inconnu. Il n'est pas exclu que certaines fractions puissent accumuler plus ou moins d'éléments traces, expliquant que le phénomène d'accumulation puisse être plus ou moins important d'un élément à l'autre. Enfin, pour les fientes granuleuses, une légère accumulation est observée sur le Zn et le Cu alors qu'une dilution est visible sur le Cr et le Ni. Pour ces deux derniers éléments, ce résultat est surprenant et mériterait d'être à nouveau mesuré.

2.2. Flux en éléments traces des effluents avicoles

En matière de flux, le projet de socle commun prévoit deux seuils à ne pas dépasser. L'un est un flux annuel maximal à ne pas dépasser et l'autre reprend le flux maximal annuel moyen sur 10 ans ($\text{g.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$). Le tableau 2 présente les flux d'ETM

en $\text{g.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ sur la base d'un apport de 150 et 85 kg de N et $\text{P.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$.

L'ensemble des effluents avicoles échantillonnés, brut comme transformé, est conforme aux prescriptions du projet de décret. Ce résultat est valable même pour un plan de fertilisation sur le P qui est un élément limitant au regard du déséquilibre entre le N et le P dans les effluents d'élevage. À l'exception des effluents transformés ayant perdu de l'azote des flux plus importants sont ainsi retrouvés quand la dose d'épandage est rationalisée sur cet élément. Toutefois, deux effluents avicoles sont à surveiller de près avec le fumier de futur reproducteur et le refus de séparation de phase de lisier de canard. Le premier présente un flux important sur le Zn tandis que le second est à recontrôler sur le Cd. En effet, pour cet élément, c'est une détection en dessous du seuil de détection qui a été réalisée. Il est important de rappeler que ces simulations sont peu probables et visent à proposer un scénario maximisant des flux susceptibles de retourner au sol. Ce travail doit être complété par l'analyse d'effluents d'élevages supplémentaires et également représentatifs des systèmes nationaux. En dépit de seuils de détection bas ($< 0,4 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$), le Cd doit faire l'objet d'analyses plus précises.

CONCLUSION

Le volet agricole de la feuille de route pour l'économie circulaire publié le 26/02/2019 porte une mesure consistant à encadrer les critères qualité de toutes les MAFOR (matières fertilisantes d'origine résiduaire) - y compris les effluents d'élevage - dès lors qu'elles sont épandues sur les sols agricoles. Pour les effluents avicoles, des référentiels de teneurs et en flux à la parcelle agricole (en g.ha^{-1} sur 10 ans) pour 9 ETM (As, Cr, Cr_{VI}, Cu, Zn, Hg, Ni, Pb, Cd) ont été établis pour 12 types d'effluents. Aucun dépassement des teneurs maximales du projet de décret sur les matières fertilisantes n'a été observé. Les teneurs les plus élevées dans les effluents concernent le Cu et le Zn et s'expliquent par les suppléments alimentaires couramment réalisés en aviculture (respectivement entre 60-260 et $150-420 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$). Des teneurs en Cd, Cr et Ni sont détectées, mais très en deçà des seuils du projet de décret tandis que les teneurs en As, Cr_{VI}, Pb et Hg sont souvent inférieures au seuil de détection des méthodes d'analyses. Les flux d'ETM sur la base des apports agronomiques de phosphore ou d'azote, selon le facteur limitant, ne font pas apparaître d'excédent relativement au seuil du projet de décret. Ces travaux doivent être complétés pour couvrir le vaste nombre d'espèces et de systèmes d'élevage avicole. Les effluents transformés qui retournent aussi au sol mériteraient d'être investigués en intégrant un bilan de masse dans le suivi.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baize D., 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. Editions QUAE, pp 410.
- Denaix L., 2022. Généralités sur les éléments traces. Webinaire journée technique du Comifer Oligoéléments et éléments traces métalliques, 12 avril 2022, pp24.
- Gis Sol. 2011. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, pp 188.
- INRAE Transfert, 2014. Fiche pratique échantillonnage, Version 2.2. Octobre 2014, 5 pp
- ITAVI, 2013. Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, calcium, cuivre et zinc par les élevages avicoles. Mise à jour des références CORPEN-volailles de 2006. pp 83
- Levasseur P., Soulier A., Lagrange H., Trochard R., Foray S., Charpiot A., Ponchant P. et Blazy V., 2019. Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement, Paris, pp 83
- Règlement (CE) 1334/2003 de la Commission du 25 juillet 2003 modifiant les conditions d'autorisation de plusieurs additifs appartenant au groupe des oligoéléments dans les aliments pour animaux. J.O.U.E. du 26/07/2003.
- Règlement d'exécution (UE) 2019/1125 de la Commission du 5 juin 2019 concernant l'autorisation du chélate de zinc et de sulfate de méthionine en tant qu'additif pour l'alimentation de toutes les espèces animales. J.O.U.E. du 02/07/2019.
- Règlement (UE) 2019/1869 de la Commission du 7 novembre 2019 modifiant et rectifiant l'annexe I de la directive 2002/32/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les teneurs maximales pour certaines substances indésirables dans les aliments pour animaux. J.O.U.E. du 8/11/2019.
- Saby N.-P.-A., Marchant B.-P., Lark R.-M., Jolivet C.-C., Arrouays D., 2011. « Robust geostatistical prediction of trace elements across France. », Geoderma, 162: pp 303-311.
- Sogreah-Ademe, 2007. Bilan des flux de contaminants entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine : Bilan qualitatif de la contamination par les éléments traces métalliques et les composés traces organiques et application quantitative pour les éléments traces métalliques. Rapport final. Ademe, pp 329.
- Ponchant P., Godfrain B., Galliot P., Souchet C., Charpiot A., 2018. Caractérisation des effluents de volailles. TéMa n°47, pp7.
- Vivien E. Donnat E., Thunot S., Robert T., Denaix L. Quasaprove network: a trace elements fluxes study (As, Cd, Cu, Pb, Zn) at field scale. 14. International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements ICOBTE, Jul 2017, Zurich, Switzerland. 2017.

Tableau 1. Typologie des effluents prélevés, éléments d'itinéraires techniques et facteur de variation

Productions avicoles	Type d'effluent	Nombre de répétition	Épandage (quantité/ha/an) pour une dose de 150 kgN/ha/an	Épandage (quantité/ha/an) pour une dose de 85 kgP/ha/an
Poulet de chair standard sur litière	Fumier	3	6.85 t	5.78 t
Compost de fumier de poulet de chair standard	Effluent transformé		5.43 t	6.31 t
Dinde standard sur litière	Fumier		5.88 t	5.35 t
Canard à rôti sur caillebotis	Lisier		25.58 m ³	32.11 m ³
Séparation de phase de lisier de canard à rôti sur caillebotis	Effluent transformé		14.58 t	20.68 t
Reproducteur sur caillebotis	Fientes non séchées		7.74 t	8.05 t
Futur reproducteur sur litière	Fumier		10.42 t	4.31 t
Poules pondeuses en cage (code 3)	Fientes séchées		3.80 t	2.25 t
Poules pondeuses en volière (code1)	Fientes en cours de séchage		4.69 t	2.42 t
Fientes granulées de poules pondeuses en volière	Effluent transformé		3.80 t	2.42 t
Canard gras prêt à l'engraissement sur litière	Fumier	3	13.36 t	10.76 t
Canard gras à l'engraissement	Lisier		27.97 m ³	25.06 m ³

Tableau 2. Teneurs (en matière sèche et en 9 ETM) moyenne, minimale, maximale de 12 effluents avicoles

Paramètres	Matières sèches	Zinc	Cuivre	Chrome	Nickel	Chrome VI	Plomb	Arsenic	Cadmium	Mercur
Unités	%									
mg.kg matières sèches ⁻¹										
Socle commun MFSC : Catégorie B (Version du 28/11/21)	-	2 000	800	800	200	2	500	60	5	5
Poulet de chair standard sur litière	62,9 (60,4-63,9)	321,3 (313,5-331,1)	60,3 (59,2-61,9)	4,1 (3,7-4,5)	5,6 (5,4-5,8)	< 1,6	< 1	< 0,5	0,1 (0,1-0,1)	< 0,05
Compost de fumier de poulet de chair standard	40,8 (40,2-41,6)	387,3 (360,6-410,7)	72,1 (69,6-75,2)	14,4 (13,4-15,3)	6,0 (5,6-6,4)	< 2,4	< 1	< 0,5	0,2 (0,2-0,2)	< 0,05
Dinde standard sur litière	52,3 (51,4-53,5)	392,0 (368,9-408,1)	144,2 (132,4-152,1)	8,6 (6,7-10,9)	8,3 (7,5-9,3)	< 1,9	< 2,5	0,6 (0,5-0,7)	0,2 (< 0,2-0,2)	< 0,05
Canard à rôtir sur caillebotis	11 (11-11)	334,1 (331,2-336,6)	64,2 (63,7-65)	0,5 (0,5-0,6)	0,6 (0,6-0,6)	< 9,1	< 1	< 0,5	0,4 (0,4-0,4)	< 0,05
Séparation de phase de lisier de canard à rôtir	40,6 (35-45,8)	170,9 (165,4-176,5)	32,5 (32,1-33,2)	8,0 (5,2-9,7)	5,9 (5,4-6,3)	-	< 5	3 (2,1-4)	< 0,4	< 0,05
Reproducteur sur caillebotis	31,2 (30,8-31,6)	418,6 (404,9-429,2)	47,5 (44,4-51,1)	9,0 (8,7-9,3)	6,8 (6,1-7,4)	< 0,6	< 1	< 0,5	0,3 (0,3-0,3)	< 0,05
Futur reproducteur sur litière	67,5 (65-69)	395,9 (390-408,4)	49,7 (48,3-51,1)	3,3 (3,2-3,3)	4,9 (4,7-5,1)	< 1,5	< 1	< 0,5	0,3 (0,3-0,3)	< 0,05
Poules pondeuses en cage (code 3)	76,5 (72,5-78,6)	411,9 (391,8-428,8)	59,4 (57,2-61,8)	3,6 (3,6-3,7)	7,3 (7,1-7,6)	< 1,3	< 1	1,1 (1-1,2)	0,3 (0,3-0,3)	< 0,05
Poules pondeuses en volière (code1)	51,9 (39,4-65,1)	286,5 (261,6-305,0)	41,4 (36,1-44,3)	13,9 (12,4-14,9)	12,7 (12,1-13,8)	< 1,5	< 1	< 0,5	0,2 (0,2-0,2)	< 0,05
Fientes granulées de poules pondeuses en volière	84,7 (84,6-84,9)	293,8 (274,9-310,5)	48,2 (46,3-50,8)	4,2 (3,1-5,5)	5,2 (4,9-5,7)	< 1,2	< 1	0,7 (0,6-0,8)	0,2 (0,1-0,2)	< 0,05
Canard gras prêt à l'engraissement sur litière	24,0 (23,5-24,3)	228,5 (193,8-258,1)	66,4 (57,4-72,9)	3,3 (2,2-5,2)	4,1 (3,6-4,6)	< 4,1	< 1	< 0,5	0,3 (0,2-0,3)	< 0,05
Canard gras à l'engraissement	11,6 (11,4-11,7)	150 (150-150)	260 (260-260)	8,9 (8,6-9,4)	8 (8-8)	< 0,9	< 1	< 0,43	< 0,09	< 0,05

Les valeurs précédées d'un « < » signifient que la valeur affichée est inférieure au seuil de détection pratiqué par le laboratoire. **Les données en rouge signifient que les 3 analyses sont inférieures au seuil de détection et les données en bleu qu'au moins 1 des 3 analyses est inférieure au seuil**

Tableau 3. Flux annuels moyens sur 10 ans (basé sur un apport en azote et phosphore) pour 12 effluents avicoles bruts et transformés

Paramètres	Zinc	Cuivre	Chrome	Nickel	Chrome VI	Plomb	Arsenic	Cadmium	Mercur
Unités									
g.ha ⁻¹ .an ⁻¹ sur 10 ans									
Socle commun MFSC : Catégorie B (Version du 28/11/21)	3 000	1 000	600	300	nd	900	90	5	10
Poulet de chair standard sur litière	1 168/ 1 384	219/ 260	15/ 18	20/ 24	6/ 7	4/ 4	2/ 2	0.4/ 0.4	0.2/ 0.2
Compost de fumier de poulet de chair standard	997/ 858	186/ 160	37/ 32	15/ 13	6/ 5	3/ 2	1/ 1	0.5/ 0.4	0.1/ 0.1
Dinde standard sur litière	1 097/ 1 206	403/ 444	24/ 26	23/ 26	5/ 6	7/ 8	2/ 2	0.6/ 0.6	0.1/ 0.2
Canard à rôtir sur caillebotis	1 157/ 940	222/ 181	2/ 1	2/ 2	32/ 26	3/ 3	2/ 1	1.4/ 1.1	0.2/ 0.1
Séparation de phase de lisier de canard à rôtir	1 435/ 1 011	273/ 192	25/ 47	50/ 35	-/ -	42/ 30	25/ 18	3.4/ 2.4	0.4/ 0.3
Reproducteur sur caillebotis	1 051/ 1 011	119/ 115	1/ 22	17/ 16	2/ 1	3/ 2	1/ 1	0.8/ 1.0	0.1/ 0.1
Futur reproducteur sur litière	1 152/ 2 784	145/ 349	1/ 23	14/ 34	4/ 11	3/ 7	1/ 4	0.9/ 2.1	0.1/ 0.4
Poules pondeuses en cage (code 3)	709/ 1 197	102/ 173	2/ 10	13/ 21	2/ 4	2/ 3	2/ 3	0.5/ 0.9	0.1/ 0.1
Poules pondeuses en volière (code1)	360/ 697	52/ 101	1/ 34	16/ 31	2/ 4	1/ 2	1/ 1	0.3/ 0.5	0.1/ 0.1
Fientes granulées de poules pondeuses en volière	602/ 945	99/ 155	1/ 14	11/ 17	2/ 4	2/ 3	1/ 2	0.4/ 0.6	0.1/ 0.2
Canard gras prêt à l'engraissement sur litière	590/ 732	171/ 213	1/ 11	11/ 13	11/ 13	3/ 3	1/ 2	0.8/ 1.0	0.1/ 0.2
Canard gras à l'engraissement	427/ 487	741/ 844	1/29	23/ 26	3/ 3	3/ 3	1/ 1	0.3/ 0.3	0.1/ 0.2

(-/-) respectivement, flux calculé sur la base d'un apport N/P