Évaluation de l'exposition des ruminants au pâturage

Maurice Mahieu, Claire Collas, Stefan Jurjanz, Régis Tournebize, Yohan Liber, Francois Laurent, Jean-Philippe Bedell, Guido Rychen, Cyril Feidt, Harry Archimède

▶ **To cite this version:**

Maurice Mahieu, Claire Collas, Stefan Jurjanz, Régis Tournebize, Yohan Liber, et al.. Évaluation de l'exposition des ruminants au pâturage. Colloque scientifique et d'information sur la pollution par la Chlordécone 2018, Préfecture de la Martinique & Préfecture de la Région Guadeloupe., Oct 2018, Schoelcher, Martinique & Le Gosier, Guadeloupe, France. hal-02736818

HAL Id: hal-02736818
https://hal.inrae.fr/hal-02736818

Submitted on 2 Jun 2020

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.

Évaluation de l'exposition des ruminants au pâturage

Session : Sécuriser la chaîne alimentaire pour réduire l'exposition de la population

Maurice MAHIEU[1], Claire COLLAS[2], Stefan JURJANZ[2], Régis TOURNEBIZE[3], Yohan LIBER[4, 5], François LAURENT[5], Jean-Philippe BEDELL[4], Guido RYCHEN[2], Cyril FEIDT[2], Harry ARCHIMEDE[1]

[1] INRA UR Zootechnique, FR-97170 Petit-Bourg
[3] Université de Lorraine-INRA, USC340, UR AFPA, FR-54505 Vandoeuvre
[2] INRA UR AgroSystèmesTROpicaux, FR-97170 Petit-Bourg
[4] Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, ENTPE, UMR5023 LEHNA, F-69518, Vaulx-en-Velin
[5] INRA UMR Toxalim, FR-31027, Toulouse

Le niveau de contamination des produits animaux (viande, lait et œufs) dépend à la fois du niveau et de la durée d'exposition au(x) polluant(s) et des capacités d'excrétion de ce(s) polluant(s) par les animaux concernés. Les études de toxicocinétique de la chlordécone (CLD) menées chez les animaux d'élevage montrent toutes qu'ils éliminent la CLD suivant une cinétique de premier ordre

$$① \quad [CLD_{corp}]_t = [CLD_{corp}]_{t0} \cdot e^{-kt}$$

où t représente le temps écoulé depuis t0 (en jours) et k le coefficient d'élimination de la CLD, qui varie suivant l'espèce et intra-espèce suivant l'individu. Ce coefficient k vaut en moyenne 0.016 chez les bovins, soit une demi-vie de 43 j, et 99% des animaux présentant une valeur de $k \geq 0.0066$, soit une demi-vie < 104 j (Mahieu M., 2013). Chez les caprins, k vaut en moyenne 0.038, pour une demi-vie estimée à 18 j avec des extrêmes observés de 12 et 43 j (Fournier A. et al., 2017). Le niveau maximum de contamination est atteint quand la quantité éliminée quotidiennement devient égale à la quantité de CLD ingérée via l'alimentation, cette dernière dépendant de la concentration en CLD de l'aliment ($[CLD_{alim}]$), des quantités d'aliment ingérées (QI) et de la biodisponibilité[1] de la CLD (b), égale à 1 en pratique (Jurjanz S. et al., 2014 ; Fournier A. et al., 2017).

$$② \quad QI \cdot [CLD_{alim}] \cdot b = k \cdot [CLD_{corp}] \approx Q_{fèces} \cdot [CLD_{fèces}]$$

$$③ \quad [CLD_{corp}] = QI \cdot [CLD_{alim}] \cdot b / k$$

Une approche par modélisation, basée sur les équations ci-dessus, a été choisie pour relier l'exposition à la contamination des animaux d'élevage, avec l'exemple des bovins à viande. Ce modèle simple permet d'estimer la concentration moyenne en chlordécone dans l'animal entier, par bilan entre entrées (exposition) et sorties (excrétion fécale pour l'essentiel (Saint-Hilaire M. et al., 2018)). On montre ainsi qu'un bovin de poids constant, au départ non contaminé, soumis à une exposition constante, atteindra 95% de son niveau maximum de contamination au bout d'environ 4.3 demi-vies du contaminant, soit environ 6 mois pour un animal proche de la médiane, et il faudra 6.7 demi-vies (près de 10 mois) pour atteindre 99% de ce niveau de contamination. Pour le 1% des bovins présentant une demi-vie de la CLD > 104 j, il faudra respectivement près de 15 et 24 mois. Dans la pratique, les animaux élevés sur des pâturages pollués sont exposés depuis le stade embryonnaire, et il est probable que la plupart aient atteint le plateau de contamination au moment de la naissance, leur mère ayant vraisemblablement elle-même été exposée sur le long terme. Soumis à la même exposition constante, sa $[CLD_{corp}]$ diminuera cependant jusqu'au sevrage

[1] Proportion de CLD apportée par une matrice donnée et absorbée par l'organisme, relativement à la même quantité apportée par une matrice de référence (ici une huile) administrée par voie orale (biodisponibilité relative) ou par voie intraveineuse (biodisponibilité absolue).

(vers 8-10 mois), en raison de l'effet dilution lié à sa croissance rapide. Sa [CLD_{corp}] augmentera ensuite progressivement pour arriver au plateau à la fin de la croissance vers 2 à 3 ans.

En réalité, la CLD absorbée diffuse rapidement dans l'organisme (Fournier A. et al., 2017), et il est nécessaire de connaitre sa répartition pour relier la [CLD_{corp}] au niveau de contamination des produits issus de l'animal. L'affinité relative (af) de la CLD pour les différents tissus, si on prend le gras périrénal comme référence, est d'environ 4:1 pour le foie et de l'ordre de 0.5:1 pour les muscles. Le foie représente 3 à 4% du poids vif total (PV) tandis que les muscles en représentent 35 à 40% et les tissus gras 7 à 20% (Jones S. D. M. et al., 1984). En première approximation on considérera que la teneur en CLD de l'animal entier est grossièrement égale à celle mesurable dans les muscles, soit la moitié de celle du gras périrénal. Sous cette hypothèse, la concentration de la CLD dans le foie sera environ 8 fois plus élevée que dans l'animal entier.

Soit MAX la concentration maximale de CLD admissible dans les produits (en $\mu g \cdot kg^{-1}$). Compte tenu de la variabilité individuelle, **si on veut éliminer pratiquement tout risque de dépassement dans les produits, foie inclus, il faut que le niveau moyen d'exposition n'entraîne pas de dépassement de MAX dans le foie pour 99% des animaux**.

La quantité journalière de CLD ingérée, ou exposition, en $\mu g \cdot kg^{-1}$ PV, devra donc être inférieure à $0.5 \cdot k \cdot MAX/af$, soit $0.0033 \cdot MAX/af$ (valeur d'exposition continue sur la durée de vie de l'animal, ayant potentiellement atteint son plateau de contamination). Pour s'assurer que l'intégralité des produits bovins (foie compris) ne dépasse pas MAX, avec un risque de dépassement inférieur à 1%, il faudra donc que l'exposition à la CLD par kg PV soit inférieure à $0.000825\ \mu g \cdot kg^{-1} \cdot MAX^{-1} \cdot j^{-1}$, ou, pour 100 kg de PV, inférieure à $0.0825\ \mu g \cdot MAX^{-1} \cdot j^{-1}$.

Pour les ruminants au pâturage, l'exposition à la CLD se réalise par l'ingestion de trois matrices potentiellement polluées ou contaminées : l'eau, le sol et le fourrage.

Exposition par l'eau d'abreuvement

Les quantités d'eau de boisson ingérées par les ruminants peuvent varier considérablement en fonction du type de production (lait, viande), du climat (besoins de thermorégulation) et de l'eau apportée par les aliments. En moyenne, elle s'établit pour des ovins autour de $2.6\ g \cdot g^{-1}$ MS ingérée (MSI), en bâtiment à 20-22°C (Hadjigeorgiou I. et al., 2000), vs. 4.8 et $5.85\ g \cdot g^{-1}$ MSI à 28°C dans des pâtures arborées et à 33.5°C sans arbre (Sousa L. F. et al., 2015). Pour des bovins en bâtiment ouvert, à 15-20°C, ce rapport s'établit à environ $3.6\ g \cdot g^{-1}$ MSI, et même à $2.9\ g \cdot g^{-1}$ MSI pour des bovins tropicaux de type Brahman (Brew M. N. et al., 2011). En appliquant un coefficient multiplicateur pour les bovins élevés en plein air du même ordre que celui des ovins, on aboutit à une consommation d'eau de l'ordre de 5.3 - $6.0\ g \cdot g^{-1}$ MSI. Si on considère que les bovins ingèrent 2 à 2.5 kg MS pour 100 kg de poids vif, leur ingestion d'eau totale dans les systèmes d'élevage antillais devrait être de l'ordre de 12 à 15 L pour 100 kg PV, dont 7 à 10 L devraient être apportés par l'eau contenue dans les fourrages. L'eau d'abreuvement des animaux au pâturage serait donc de l'ordre de 5 L pour 100 kg PV. Les concentrations en CLD mesurées dans l'eau des mares ou en rivière s'échelonnent entre 0 et $35\ \mu g \cdot L^{-1}$ CLD (Mahieu M., 2013 ; Crabit A. et al., 2016), et du fait du coefficient de partage de la CLD entre l'eau et la matière organique, on peut raisonnablement considérer une biodisponibilité égale à 1. On peut donc en déduire une exposition maximale par l'eau de boisson de l'ordre de $5\ L \cdot j^{-1}$ x $35\ \mu g \cdot l^{-1}$, soit $175\ \mu g \cdot j^{-1}$ CLD pour 100 kg PV, plusieurs ordres de grandeur au-dessus de l'acceptable. Si l'eau d'abreuvement était la seule source d'exposition, il faudrait que sa teneur en CLD soit inférieure à $0.0165\ \mu g \cdot L^{-1} \cdot MAX^{-1}$ pour garantir la conformité des produits, avec un risque de dépassement inférieur à 1%.

Exposition par le sol ingéré volontairement ou non

Les niveaux de pollution des sols par la CLD, très variables, peuvent atteindre 70 000 µg·kg^{-1} dans le cas de certains andosols (Cabidoche, comm. pers.). Toutes les évaluations chez les ruminants comme les monogastriques concluent à une biodisponibilité relative de la CLD du sol égale à 1 en pratique, quelque-soit sa nature (Bouveret C., 2012 ; Jondreville C. et al., 2013 ; Fournier A. et al., 2017).

Les expérimentations menées dans le cadre du PNAC3 et de l'ANR INSSICCA montrent que les bovins peuvent ingérer de 2% jusqu'à 9.4% de sol sec par rapport à la matière sèche de fourrage ingéré (Jurjanz S. et al., 2017). L'ingestion de sol est aggravée en cas de surpâturage (faible hauteur d'herbe, fort chargement) et en conditions de sol très humide. En se basant sur une ingestion journalière de 2.5 kg MS pour 100 kg PV, cela représente jusqu'à 0.235 kg·j^{-1} de sol pour 100 kg PV. Si le sol était la seule source d'exposition, il faudrait que sa teneur en CLD soit inférieure à 0.35 µg·kg^{-1}·MAX^{-1} pour garantir la conformité des produits, ce qui correspond à des niveaux de pollutions très faibles permettant même des cultures sensibles comme les légumes-racines.

Exposition par le fourrage ingéré

Une vingtaine de couples d'échantillons sol - plantes fourragères potentielles, appartenant aux familles des *Poaceae*, des *Fabaceae*, *Convolvulaceae* et *Araceae*, ainsi que trois échantillons composites de fourrage de prairie spontanée (mélange de graminées ou *Poaceae*), ont été analysés. Les teneurs en CLD ([CLD $_{four}$]) varient de 0 (<LOQ[2]) à environ 210 µg·kg^{-1} MS.

En se basant sur une ingestion journalière de 2.5 kg MS, cela représente une exposition chronique à la CLD pouvant atteindre 525 µg·j^{-1}, pour 100 kg PV. Toujours en considérant le fourrage comme seule source d'exposition (cas d'un élevage en bâtiment), il faudrait une teneur en CLD du fourrage inférieure à 0.033 µg·kg^{-1}·MAX^{-1} pour garantir la conformité des produits, avec un risque de dépassement de moins de 1%.

Il est à noter que pour la plupart des analyses de fourrage réalisées dans le cadre du PNAC1, la LOQ de la CLD de l'ordre de 5, voire 10 µg·kg^{-1} de matière fraiche, correspond en réalité à 20, voire 50 µg·kg^{-1} MS. Ces valeurs de LOQ sont trop élevées pour évaluer l'exposition réelle des animaux.

Exposition globale des animaux au pâturage

En fait les animaux au pâturage sont exposés via les trois matrices décrites. Si l'abreuvement peut être relativement sécurisé en utilisant l'eau de pluie ou l'eau potable qui, en principe, contient moins de 0.1 µg·L^{-1} de CLD, les expositions par le sol et par le fourrage sont liées et s'additionnent. À partir des couples d'échantillons ci-dessus, on a pu estimer le transfert de CLD du sol vers les fourrages (graminées) par la relation :

④ $[CLD_{four}] \approx a \cdot [CLD_{sol}]$

avec : a = 0.055 [0.035 – 0.076], R^2 ajusté = 0.92

Suivant l'ingestion de sol et le taux de transfert de la CLD vers les fourrages, le sol apporterait directement entre 20 et 75 % de l'exposition totale. Ainsi, un sol pollué à 1 000 µg·kg^{-1} (limite supérieure recommandée pour des cultures moyennement sensibles) entrainerait une exposition de l'ordre de 140 à 185 µg·j^{-1} pour 100 kg PV. Dans ces conditions, la [CLD_{corp}] moyenne serait comprise entre 85 et 113 µg·kg^{-1} pour les animaux en fin de croissance (plateau de contamination), et le foie des 1% d'animaux extrêmes pourrait atteindre près de 2750 µg·kg^{-1} de CLD.

Dans la réalité, l'exposition est généralement inférieure à ce maximum théorique, les conditions extrêmes (fort chargement, conditions humides, sol fortement pollué) étant rarement réunies sur le long terme.

[2] LOQ (ou LQ) : limite de quantification (généralement égale à 3 fois la limite de détection LOD ou LD)

L'équation ② indique que la quantité de CLD excrétée par les fèces (principale voie de décontamination pour les animaux hors lactation) permet d'estimer leur exposition. Les analyses réalisées dans des élevages ayant eu des carcasses saisies pour dépassement de LMR montrent des fèces d'animaux pâturant sur des sols pollués qui contiennent de la CLD de l'ordre de 7 à 102 $\mu g \cdot kg^{-1}$ (Mahieu M., 2016). En comptant une moyenne de 1 kg MS de fèces produit pour 100 kg PV, cela correspond à une exposition de l'ordre de 10 - 100 $\mu g \cdot j^{-1}$ pour 100 kg de PV, soit un niveau de contamination corporelle de l'ordre de 6 - 62 $\mu g \cdot kg^{-1}$, et inférieur à 19 - 190 $\mu g \cdot kg^{-1}$ dans 99% des cas. Ces résultats apparaissent globalement cohérents avec ceux des contrôles en abattoir.

Perspectives

Pour mieux évaluer le risque de contamination des produits animaux, il apparait donc nécessaire de :

1) mieux estimer le niveau d'exposition en précisant les relations entre le niveau de pollution du sol et la contamination des fourrages, ainsi que la part de sol ingéré pour les différents sols concernés, et leurs variations saisonnières en fonction des conditions d'élevage,
2) mesurer la biodisponibilité réelle de la CLD des fourrages et des végétaux en général,
3) préciser la répartition de la CLD dans l'ensemble de l'espace corporel, pour mieux relier exposition et niveau de contamination des produits.

Références

Bouveret C., 2012. Biodisponibilité relative du chlordecone de l'andosol et du nitisol chez les animaux d'élevage monogastriques. Sciences agronomiques. Université de Lorraine, Nancy, p. 181

Brew M. N., Myer R. O., Hersom M. J., Carter J. N., Elzo M. A., Hansen G. R., Riley D. G., 2011. Water intake and factors affecting water intake of growing beef cattle. Livestock Science 140, 297-300

Crabit A., Cattan P., Colin F., Voltz M., 2016. Soil and river contamination patterns of chlordecone in a tropical volcanic catchment in the French West Indies (Guadeloupe). Environmental Pollution 212, 615-626

Fournier A., Feidt C., Lastel M.-L., Archimède H., Thomé J.-P., Mahieu M., Rychen G., 2017. Toxicokinetics of chlordecone in goats: implications for risk management in French West Indies. Chemosphere 171, 564-570

Hadjigeorgiou I., Dardamani K., Goulas C., Zervas G., 2000. The effect of water availability on feed intake and digestion in sheep. Small Ruminant Research 37, 147-150

Jondreville C., Bouveret C., Lesueur-Jannoyer M., Rychen G., Feidt C., 2013. Relative bioavailability of tropical volcanic soil-bound chlordecone in laying hens (Gallus domesticus). Environmental Science and Pollution Research 20, 292-299

Jones S. D. M., Rompala R. E., Wilton J. W., Watson C. H., 1984. Empty body weights, carcass weights and offal proportions in bulls and steers of different mature size. Canadian Journal of Animal Science 64, 53-57

Jurjanz S., Jondreville C., Mahieu M., Fournier A., Archimède H., Rychen G., Feidt C., 2014. Relative bioavailability of soil-bound chlordecone in growing lambs. Environmental Geochemistry and Health, 911-917

Jurjanz S., Collas C., Lastel M. L., Godard X., Archimède H., Rychen G., Mahieu M., Feidt C., 2017. Evaluation of soil intake by growing Creole young bulls in common grazing systems in humid tropical conditions. Animal 11, 1363-1371

Mahieu M., 2013. Action 30 du plan national chlordécone, mesure 216 du PDR Guadeloupe 2007-2012 - Projet INRA 2009-2012: CHLORDEPAN. - Volet 2 : Caractérisation de la contamination des légumes et des animaux d'élevage terrestres par la chlordécone. Rapport technique final – Décembre 2013 – Contamination des animaux d'élevage terrestres INRA, p. 18

Mahieu M., 2016. Projet "CHLORDEL" : rapport final. p. 8

Saint-Hilaire M., Bertin T., Inthavong C., Lavison-Bompard G., Guérin T., Fournier A., Feidt C., Rychen G., Parinet J., 2018. Validation of analytical methods for chlordecone and its metabolites in the urine and feces of ewes. Journal of Chromatography B 1093-1094, 66-76 https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2018.06.058

Sousa L. F., Mauricio R. M., Paciullo D. S. C., Silveira S. R., Ribeiro R. S., Calsavara L. H., Moreira G. R., 2015. Forage intake, feeding behavior and bio-climatological indices of pasture grass, under the influence of trees, in a silvopastoral system. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 3, 129-**141**