

La sous-nutrition combinée à la supplémentation en huile minérale est-elle une stratégie efficace de décontamination en dioxines et en polychlorobiphényles chez la brebis ?

LERCH S. (1,2), CARIOU R. (3), REY-CADILHAC L. (1,4), JONDREVILLE C. (1), DELAVAUD C. (4), FAULCONNIER Y. (4), ALCOUFFE S. (5), FAURE P. (5), MARCHAND P. (3), LE BIZEC B. (3), JURJANZ S. (1), FERLAY A. (4)

(1) Université de Lorraine, INRA, URAFPA, F-54000 Nancy, France

(2) Agroscope, Groupe de Recherche Ruminants, CH-1725 Posieux, Suisse

(3) LABERCA, Oniris, INRA, Université Bretagne-Loire, F-44307 Nantes, France

(4) Université Clermont Auvergne, INRA, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

(5) INRA, UE Herpibôle, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

RESUME

L'élevage de ruminant est épisodiquement confronté à des crises sanitaires liées à l'exposition accidentelle ou environnementale des troupeaux aux polluants organiques persistants (POPs). Il est ainsi nécessaire d'identifier des stratégies de décontamination afin de réduire les dommages économiques et sociaux associés à la destruction des troupeaux contaminés lors de ces incidents. Cette étude vise à tester chez la brebis l'effet de la sous-nutrition combinée à la supplémentation en lipides non-absorbable comme stratégie de décontamination en 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin (TCDD) et en polychlorobiphényle (PCB) 153. Neuf brebis ont été utilisées au cours de 3 périodes successives: i) une période d'exposition aux POPs par voie orale de 27 jours; ii) une période tampon de 8 jours (régime non contaminé); et iii) une période de décontamination de 57 jours selon 2 traitements: contrôle (96% des besoins énergétiques, CTL, $n = 4$) ou sous-nutri (37% des besoins énergétiques) et supplémente en huile minérale (10% de la matière sèche ingérée, SNHM, $n = 5$). La cinétique des POPs lipophiles et la dynamique des lipides corporels ont été décrites simultanément au cours de la période de décontamination dans les compartiments de stockage (tissus adipeux), central de distribution (sang) et d'excrétion (fèces), ainsi que dans l'ensemble du corps vide à l'abattage en fin d'essai. Au cours de la période de décontamination, les concentrations fécales en POPs (en g de matière sèche) ont été 2 à 2,5 fois plus élevées ($P < 0,01$) et les diminutions des quantités de POPs contenues dans le corps vide 2 à 3 fois supérieures ($P < 0,05$) pour le traitement SNHM comparé à CTL. Cependant, à l'issue de la décontamination, ces diminutions dans le cas du lot SNHM ne représentent que respectivement 7 et 6% des quantités totales de TCDD et PCB 153 contenues dans le corps vide en début de décontamination. La demi-vie de décontamination du corps vide estimée pour la TCDD est ainsi réduite ($P < 0,01$) d'environ 1 200 jours pour le lot CTL à 500 jours pour le lot SNHM. Ce type d'approche combinant une description fine de la toxicocinétique des POPs et de la dynamique des lipides corporels est utile pour définir des stratégies de décontamination efficaces et assurer ainsi la qualité sanitaire des produits de ruminant en cas d'épisode de contamination.

Undernutrition combined with dietary mineral oil: an efficient strategy to deplete ewes contaminated with dioxins and polychlorinated biphenyls?

LERCH S. (1,2), CARIOU R. (3), REY-CADILHAC L. (1,4), JONDREVILLE C. (1), DELAVAUD C. (4), FAULCONNIER Y. (4), ALCOUFFE S. (5), FAURE P. (5), MARCHAND P. (3), LE BIZEC B. (3), JURJANZ S. (1), FERLAY A. (4)

(1) Université de Lorraine, Inra, URAFPA, F-54000 Nancy, France

(2) Agroscope, Ruminant Research Unit, CH-1725 Posieux, Suisse

SUMMARY

Contamination crises involving persistent organic pollutants (POPs) lead to systematic slaughter of livestock to prevent the entrance of lipophilic contaminants in the human food chain. Therefore, there is a real need to develop rearing strategies to deplete livestock contaminated with POPs in order to reduce the deleterious social and economic damages of contamination crises. The current study aimed to test undernutrition combined with non-absorbable lipids supplementation as a depuration strategy of ewe for 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin (TCDD), and polychlorinated biphenyl (PCB) 153. Nine ewes were used during three successive periods: i) a 27-day POPs oral exposure period; (ii) a 8-day buffering period (uncontaminated diet); and iii) a 57-day depuration period according to two treatments: control (96% of energy requirements, CTL, $n = 4$) or underfed (37% of energy requirements) and mineral oil supplemented (10% of dry matter intake, UFMO, $n = 5$). Lipophilic POPs kinetics and body lipids dynamic were monitored concomitantly over the depuration period in storage (adipose tissue), central distribution (blood) and excretion (faeces) compartments, and in total empty body at slaughter (end of the depuration period). During the depuration period, faecal POPs concentrations increased by 2 to 2,5-fold (dry matter basis, $P < 0,01$), whereas decreases of POPs amounts in empty body were 2 to 3-fold higher ($P < 0,05$) in UFMO than in CTL ewes. Nonetheless, those decreases in UFMO ewes account for only 7 and 6% of the initial empty body burdens (day 0 of the depuration period) for TCDD and PCB 153, respectively. Therefore, the estimated depuration half-life for TCDD is reduced ($P < 0,01$) from around 1 200 days in CTL to 500 days in UFMO ewes. The original approach of this study combining the fine description at once of POPs toxicokinetics and of body lipids dynamic will be useful in order to design efficient depuration strategies and thus improve the chemical safety of food from ruminant in case of contamination incident.

INTRODUCTION

Les polluants organiques persistants (**POPs**) listés dans la convention de Stockholm (UNEP, 2001) sont toxiques (cancérogène, neurotoxique, perturbateurs endocriniens...) pour les écosystèmes et l'homme. Ces contaminants de l'environnement s'accumulent au sein des tissus et excréments riches en lipides des organismes animaux, ce qui explique que la consommation de denrées alimentaires d'origine animale riches en lipides (poisson, viande, lait et œuf) représente la principale source d'exposition aux POPs chez l'homme (Hoogenboom *et al.*, 2015a). Afin de limiter ce risque pour la santé humaine, les autorités sanitaires ont défini des teneurs maximales réglementaires pour les principaux POPs dans les aliments pour les animaux et l'homme (règlement n°1259/2011 et directive 2002/32/CE de l'Union Européenne). Malgré cela, le monde de l'élevage est épisodiquement confronté à des crises sanitaires liées à l'exposition accidentelle ou environnementale des troupeaux aux POPs (récemment en France, Saint-Cyprien en 2008, Grez-en-Bouère en 2011... ; Feidt *et al.*, 2017). Le processus de décontamination étant extrêmement long, les troupeaux contaminés sont le plus souvent détruits. Ainsi, il est nécessaire d'identifier des stratégies de décontamination afin de réduire les dommages économiques et sociaux associés aux crises sanitaires impliquant les POPs.

En raison de la forte lipophilie des POPs, le processus de décontamination implique deux étapes successives : i) le relargage des POPs depuis le compartiment de stockage (tissus adipeux) vers le sang et ii), le transfert des POPs depuis le sang vers le compartiment d'excrétion fécale. Chez la brebis, la lipomobilisation induite par la sous-nutrition a été identifiée comme une stratégie permettant d'induire le relargage des polychlorobiphényles (**PCBs**) depuis le tissu adipeux vers le sang (Lerch *et al.*, 2016). Par ailleurs, chez l'agneau ou la chèvre laitière, la supplémentation en lipides non-absorbables (huile minérale) a permis d'augmenter la concentration des fèces en hexachlorobenzène ou en mirex (deux pesticides organochlorés classifiés comme POPs), en stimulant leur transfert depuis le sang vers les contenus digestifs par diffusion passive au travers de la paroi de l'intestin (Rozman *et al.*, 1982, 1984). A notre connaissance, la combinaison de la sous-nutrition et de la supplémentation en huile minérale comme stratégie de décontamination n'a pas fait l'objet d'étude approfondie chez le ruminant.

L'objectif de cette étude est de tester chez la brebis l'effet de la sous-nutrition combinée à la supplémentation en huile minérale comme stratégie de décontamination de l'organisme en 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxin (**TCDD**) et en PCB 153. Ces deux molécules ont été choisies comme des modèles de POPs très persistants, caractérisés par une faible métabolisation et une demie vie d'élimination très longue chez le ruminant (Hoogenboom *et al.*, 2015b). L'originalité de cette étude réside dans l'association de données fines concernant à la fois la toxicocinétique des POPs et la dynamique des lipides corporels, ce qui constitue une étape clé afin de mieux comprendre et tenter d'influencer les flux de POPs chez le ruminant.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. ANIMAUX ET TRAITEMENTS

Neuf brebis Romane adultes non-lactantes et non-gestantes de l'UE Herpipôle (INRA, Theix) [$5,2 \pm 1,0$ ans, 64 ± 7 kg poids vif (**PV**) et $3,9 \pm 0,2$ de note état corporel ; moyenne \pm écart-type] ont été logé individuellement au cours d'une expérimentation d'une durée totale de 92 jours divisée en trois périodes successives :

- i) une période de contamination de 27 jours durant laquelle les brebis ont été exposé oralement à la TCDD (280 ± 35 pg / kg PV / jour) et au PCB 153 (281 ± 35 ng / kg PV / jour) via un concentré contaminé incorporé à une ration couvrant

82% des besoins énergétiques pour l'entretien ($0,23$ MJ énergie nette / kg PV^{0.75} / jour ; INRA, 2007),

- ii) une période « tampon » de 8 jours durant laquelle les brebis recevaient un régime non-contaminé couvrant 96% de leurs besoins énergétiques,
- iii) une période de décontamination de 57 jours durant laquelle les brebis ont été réparties en deux lots homogènes en fonction du PV et de la note d'état corporel. Le premier lot a reçu un traitement contrôle couvrant 96% des besoins énergétiques (**CTL**, $n = 4$). Le second lot a reçu un traitement de sous-nutrition (37% des besoins énergétiques) supplémenté en huile minérale [10% de la matière sèche (**MS**) ingérée ; paraffine liquide, Codex 68, viscosité cinématique à 40°C : 60-79 mm²/sec ; IGOL, Amiens, France] (**SNHM**, $n = 5$).

Les rations étaient composées de 30% de paille d'orge, 30% de foin de prairie permanente et de 40% de concentré pendant les périodes de contamination et tampon, ainsi que pour le traitement CTL, et de 45% de paille, 45% de foin et 10% d'huile minérale pour le traitement SNHM (base MS). Seul un concentré non-contaminé composait les régimes de la période tampon et CTL, alors que 25% du concentré était non contaminé et 75% contaminé durant la période de contamination. Le concentré non-contaminé était composé de 50% de pulpes de betteraves déshydratées et 50% de maïs grain, et le concentré contaminé de 48,8% de pulpes de betteraves, 48,8% de maïs et 2,4% d'huile de colza contaminée (base matière fraîche). L'huile contaminée a été préparée en mélangeant 7,0 µg de TCDD (Sigma-Aldrich, Bellefonte, USA), et 7,0 mg de PCB 153 (LGC Standards) dans 2,5 kg d'huile de colza de qualité alimentaire. L'ensemble des concentrés ont été granulé (2,5 mm de diamètre) au moulin expérimental de l'UE PEAT (INRA, Nouzilly).

1.2. PRELEVEMENTS ET MESURES

Durant toute la durée de l'essai, l'ingestion de MS a été mesuré individuellement (pesés quotidienne des offertes et refus et mesures hebdomadaires des teneurs en MS : 60°C, 48 h). Un pool de chaque aliment a été constitué à partir de prélèvements hebdomadaires, avant d'être lyophilisé et broyé (grille 1 mm).

L'ensemble des brebis ont été pesées chaque semaine à 8 h avant la distribution de la ration. La note d'état corporel a été déterminée sur une échelle de 0 à 5 aux jours 0, +7, +21, +35 et +57 de la période décontamination. Aux mêmes dates, des échantillons de sang de tissus adipeux et de fèces ont été prélevés. Les échantillons de sang ont été prélevés sur tube avec activateur de coagulation à la veine jugulaire. Après coagulation à température ambiante (2-3 h), le sérum (30-40 mL) a été séparé par centrifugation, puis congelé à -20°C. Le tissu adipeux sous-cutané péri-caudal (3-5 g) a été prélevé par biopsie effectuée sous anesthésie locale, congelé à -20°C avant lyophilisation et broyage sous azote liquide. Les fèces (50-100 g) ont été collectés directement au niveau du rectum, congelés à -20°C avant lyophilisation et broyage (grille 1 mm), puis poolés par traitement sur la base d'une quantité identique de MS pour chaque brebis à chaque date ($n = 10 : 2$ traitements \times 5 dates). De plus, un pool de fèces a été constitué pour chaque brebis ($n = 9$) pour la totalité de la période de décontamination à partir de prélèvements bi-hebdomadaires.

A la fin de la période de décontamination (jour +57), les brebis ont été pesées et tondues avant d'être abattues. Les contenus digestifs ont été exhaustivement retirés du tractus digestif, avant que le corps vide (ensemble de l'organisme, incluant le sang, sans les contenus digestifs et la laine) soit pesé, congelé à -20°C et enfin, broyé et homogénéisé à l'aide d'un concasseur et d'un mélangeur-hachoir à l'UR PR (INRA, Saint-Gilles) selon la procédure décrite par Lerch *et al.* (2015). Un aliquote homogène du broya de corps vide (environ 1 kg) a ensuite été congelé à -20°C avant lyophilisation et nouveau broyage sous azote liquide.

1.2. ANALYSES CHIMIQUES

Les teneurs en MS, cendres, matières azotées totales, et fibres solubles dans un détergent neutre (NDF) ou acide (ADF) ont été déterminés (Lerch *et al.*, 2012) pour l'ensemble des fourrages et concentrés, afin d'estimer l'ingestion et les bilans alimentaires pour l'énergie et les protéiques digestibles à l'aide du logiciel Prev'Alim (INRA, 2006, éditions Educagri, Theix, France). Par ailleurs, les teneurs en cendres insolubles dans l'acide chlorhydrique (cendres indigestibles) ont été mesurées dans les aliments et les fèces afin d'estimer les flux fécaux (Van Keulen et Young, 1977).

Les teneurs en lipides totaux ont été déterminés par gravimétrie (Folch *et al.*, 1957) pour le tissu adipeux, les fèces, et le corps vide et par méthode spectrophotométrique à l'aide d'un kit (HB018, Cypress Diagnostics, Longdorp, Belgique) dans le cas du sérum. Les teneurs en TCDD et PCB 153 ont été déterminées au LABERCA (Oniris, Nantes) par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse haute résolution (GC-HRMS) selon la norme accréditée ISO/IEC 17025:2005, légèrement adaptée selon Antignac *et al* (2006) et Cariou *et al* (2010).

1.2. ANALYSES STATISTIQUES

Les données collectées ont été analysées par ANOVA à l'aide de la procédure MIXED du logiciel SAS (version 9.3, 2003, Cary, USA). Pour le PV, la note d'état corporel, ainsi que les quantités de lipides, et les concentrations et quantités de TCDD et PCB 153 contenues dans le corps vide, les données individuelles aux jour 0 et +57, ainsi que les différences au cours de la période de décontamination (jour +57 – jour 0) ont été analysées à l'aide d'un modèle incluant l'effet fixe du traitement (CTL vs. SNHM) et l'effet aléatoire de la brebis. Pour les concentrations en TCDD et PCB 153 du sérum et du tissu adipeux mesurées au cours de la période de décontamination, le modèle en données répétées inclut les effets fixes du traitement, du jour (jours +7, +21, +35 et +57), de l'interaction traitement \times jour, et une covariable (mesure individuelle au jour 0), et l'effet aléatoire de la brebis. Le seuil de signification a été retenu à $P \leq 0,05$. Les données reportées sont les moyennes ajustées et les erreurs standards.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. MOBILISATION DES RESERVES LIPIDIQUES

Au cours des 57 jours de la période de décontamination, les brebis recevant le traitement SNHM ont adapté leur métabolisme à la restriction énergétique en mobilisant leurs réserves lipidiques. Ainsi, en comparaison du jour 0, le PV, la note d'état corporel et la quantité de lipides dans le corps vide ont été en fin d'essai (à l'abattage, jour +57) diminués de respectivement 22%, 28% et 35% (Tableau 1).

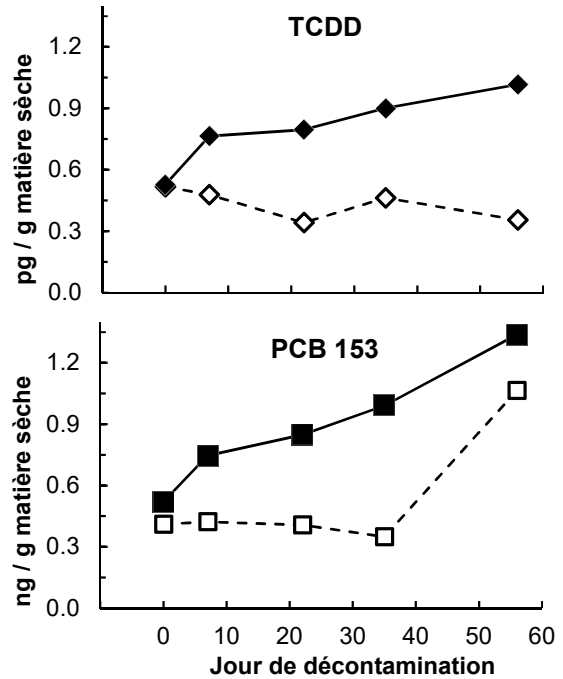


Figure 1 Cinétiques des concentrations en TCDD (◇ et ◆) et en PCB 153 (□ et ■) dans les pools de fèces issus de brebis recevant un traitement contrôle (◇ et □) ou sous-nutries et supplémentées en huile minérale (◆ et ■)

L'intensité de cette lipomobilisation en réponse à la sous-nutrition à hauteur de 37% des besoins énergétiques est comparable aux observations de nombreux autres auteurs (revues par Chilliard *et al.*, 1998).

2.2. EXCRETION FECALE DES POLLUANTS

En comparaison du jour 0 ou du traitement CTL, les concentrations fécales en TCDD et PCB 153 (par g de MS), ainsi que les quantités totales excrétées via les fèces au cours de la période de décontamination, ont été 2,1 à 2,5 fois plus élevées ($P < 0,05$) en réponse au traitement SNHM (Figure 1). L'amplitude de ces augmentations n'est cependant pas supérieure à celles observées dans le cas de régimes couvrant les besoins énergétiques et supplémentés en huile minérale à hauteur de 5% de la MS ingérée : concentration fécale 2,0 fois plus élevée dans le cas du mirex chez la chèvre laitière (Rozman *et al.*, 1984) et 2,9 fois plus élevée dans le cas de l'hexachlorobenzène chez l'agneau (Rozman *et al.*, 1982).

Tableau 1 Poids vif, note d'état corporel et quantités de lipides, TCDD et PCB 153 dans le corps vide de brebis recevant un traitement contrôle (CTL, $n = 4$) ou sous-nutries et supplémentées en huile minérale (SNHM, $n = 5$)

Paramètre	Jour de décontamination						Différence au cours de la décontamination (jour +57 – jour 0)						
	Jour 0			Jour +57			Traitement						
	Traitement	CTL	SNHM	SEM	Traitement	CTL	SNHM	SEM	CTL	SNHM	SEM		
Poids vif (kg)		62	64	3		59	51	6	-3	**	-14	1	
Note d'état corporel (0-5)		3,6	3,6	0,2		3,5	**	2,6	0,2	-0,1	***	-1,0	0,1
Quantités dans le corps vide ^a													
Lipides (kg)		12,6	14,7	1,2		11,8		9,8	1,6	-1,0	**	-5,2	0,5
TCDD (ng)		247	233	19		239		216	19	-8	*	-17	2
PCB 153 (µg)		258	256	15		253		241	15	-5	**	-15	2

*, ** and *** indiquent une différence significative entre les traitements à respectivement $P < 0,05$, $< 0,01$ et $< 0,001$.

^a Mesures réalisées directement *post-mortem* au jour +57, ou estimées au jour 0: pour les lipides, sur la base de la diminution du poids vif entre les jours 0 et +57 en considérant une perte de -0,38 kg lipides / kg poids vif (Chilliard *et al.*, 1998) ; pour la TCDD et le PCB 153, sur la base des quantités mesurées dans le corps vide au jour +57 + quantités excrétées via les fèces et la laine – quantités ingérées au cours de la période de décontamination (jours 0 à +57).

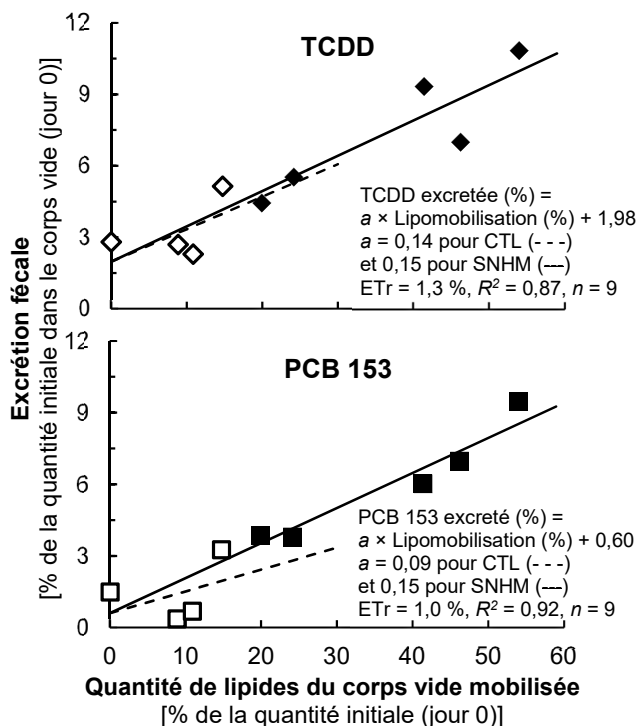


Figure 2 Relations entre la quantité de lipides mobilisée et l'excrétion fécale corrigée (excrétion fécale – ingéré) de TCDD (\diamond et \blacklozenge) et de PCB 153 (\square et \blacksquare) au cours d'une période de 57 jours de décontamination chez des brebis recevant un traitement contrôle (\diamond et \square , CTL, $n = 4$) ou sous-nutries et supplémentées en huile minérale (\blacklozenge et \blacksquare , SNHM, $n = 5$)

Sur la base de cette comparaison indirecte entre études, l'hypothèse d'un effet synergique entre sous-nutrition et supplémentation en huile minérale sur l'augmentation de l'excrétion fécale en POPs apparaît peu vraisemblable. Dans notre essai, les rapports des concentrations en TCDD et en PCB 153 (sur la base des lipides) dans les fèces sur celles dans le sérum ont été diminués ($P < 0,01$) respectivement de 2,0 et 2,5 pour le traitement CTL à 0,7 et 1,0 pour le traitement SNHM. Cela suggère que l'équilibre des concentrations entre sérum et fèces n'a pas été atteint et qu'ainsi, le taux de transfert des POPs depuis le sang vers la lumière intestinale est l'étape limitante de l'augmentation de l'excrétion fécale en réponse au traitement SNHM. Cette limitation pourrait provenir de la moindre capacité des molécules hautement lipophiles telles que la TCDD et le PCB 153 (coefficient de partage entre l'octanol et l'eau supérieur à $10^{6,5}$) à traverser la « lame » d'eau bordant la paroi intestinale par diffusion passive, comme cela a été rapporté précédemment chez l'homme (Moser et McLachlan, 1999) et suggéré à partir du concept de fugacité chez le ruminant (McLachlan, 1994).

2.3. QUANTITES DE POLLUANTS DANS LE CORPS VIDE

Au début de la période de décontamination (jour 0), les quantités totales estimées de TCDD et de PCB 153 contenues dans le corps vide des brebis représentaient respectivement $50 \pm 9\%$ et $54 \pm 6\%$ (moyennes \pm écart-types) des quantités ingérées durant les 27 jours de la période de contamination. Ces taux d'assimilation mesurés via l'analyse du corps vide sont proches du taux d'absorption de 45% mesuré par recouvrement fécal pour la TCDD chez la vache à l'entretien (Richter et McLachlan, 2001). Cette similitude entre taux d'assimilation et d'absorption confirme les contributions minoritaires du métabolisme et des voies d'excrétion urinaire et respiratoire au processus global d'élimination de la TCDD qui est dominé par l'excrétion fécale dans le cas du ruminant non-lactant. En réponse à l'augmentation de l'excrétion fécale au cours de la période de décontamination, des diminutions

des quantités de TCDD et de PCB 153 dans le corps vide 2,1 à 3,0 fois plus élevées ($P < 0,05$) ont été observées chez les brebis recevant le traitement SNHM, en comparaison du traitement CTL. Toutefois, ces diminutions chez les brebis SNHM n'ont représentées que 7% pour la TCDD et 6% pour le PCB 153 des quantités présentes dans le corps vide en début de décontamination (jour 0 ; Tableau 1). Comparativement, chez le poulet de chair contaminé à l'Arochlor 1254 (mélange de PCBs hautement chlorés), la sous-nutrition (50% de l'ingestion *ad libitum*) combinée à la supplémentation en huile minérale (10% de la MS ingérée) d'une durée de 21 jours a permis de réduire de 67% la quantité dans le corps entier de la somme des PCBs en comparaison d'un traitement contrôle (Polin *et al.*, 1989). Cette disparité entre études peut provenir à la fois des différences i) de propriétés physico-chimiques des POPs étudiés (niveau de lipophilie et susceptibilité métabolique), ii) des rapports des lipides fécaux excrétés sur ceux stockés dans l'organisme (rapports de 0,3 chez la brebis et de 2,5 chez le poulet) et iii) de sévérité de la lipomobilisation (-35% de la quantité de lipides dans le corps vide chez la brebis et -71% chez le poulet). Cette dernière hypothèse est corroborée par les relations linéaires et positives qui peuvent être observées entre intensité de la lipomobilisation et taux d'excrétion fécale corrigée (excrétion fécale – ingestion au cours de la période de décontamination) de TCDD et de PCB 153 (Figure 2). Compte tenu de la pente des relations obtenues pour les brebis du traitement SNHM, environ 1,5% de la quantité initiale de POPs contenu dans le corps vide est excrétée dans les fèces lors d'une mobilisation de 10% des lipides corporels.

2.4. CINÉTIQUES DES CONCENTRATIONS EN POLLUANTS DANS LE SANG ET LE TISSU ADIPEUX

Les concentrations en POPs du corps vide et du sérum ont été numériquement 1,2 fois ($P > 0,10$) et celles du tissu adipeux 1,5 fois ($P < 0,05$) plus élevées en comparaison du traitement CTL en fin de période de décontamination (jour +57 ; Tableau 1 et Figure 3). Cet effet s'explique par la diminution modeste des quantités de POPs du corps vide (divisées par 1,1 en moyenne), combinée à la diminution importante du volume de leur compartiment de stockage (quantité de lipides du corps vide divisée par 1,5) en réponse au traitement SNHM.

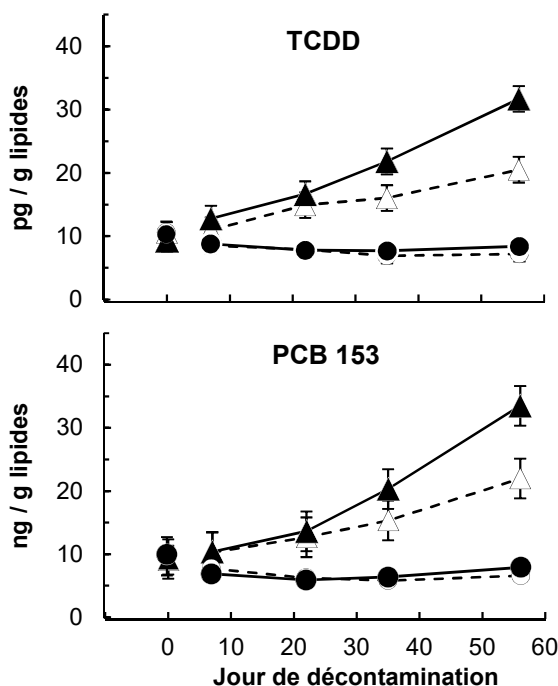


Figure 3 Cinétiques des concentrations en TCDD et en PCB 153 dans le sérum (\circ et \bullet) et le tissu adipeux (Δ et \blacktriangle) de brebis recevant un traitement contrôle (\circ et Δ , $n = 4$) ou sous-nutries et supplémentées en huile minérale (\bullet et \blacktriangle , $n = 5$)

Par ailleurs, dans le cas du tissu adipeux des brebis du traitement CTL, une augmentation des concentrations en POPs a été observée au cours de la période de décontamination ($\times 2$ du jour 0 au jour +57, $P < 0,01$; Figure 3). Cet effet provient vraisemblablement d'un phénomène de redistribution tardive des POPs vers les tissus adipeux. En effet, au cours des premiers jours suivant leur absorption, les POPs sont majoritairement distribués depuis la lymphe et le sang vers les tissus et organes hautement perfusés (foie, tractus digestif et autres organes internes). Par la suite, une étape ultérieure de redistribution tardive vers les tissus moins perfusés mais pour lesquels les POPs lipophiles présentent une forte affinité (les tissus riches en lipides, en particulier le tissu adipeux) est observée, comme cela a pu être mis en évidence précédemment pour la TCDD chez la vache à l'entretien (Richter et McLachlan, 2001).

CONCLUSION

Dans les conditions expérimentales de cet essai, la sous-nutrition combinée à la supplémentation en huile minérale a permis de doubler l'excrétion fécale de TCDD et de PCB 153 en comparaison d'un traitement contrôle. Lorsque l'excrétion fécale est considérée comme unique voie d'élimination, des cinétiques de décontamination appliquées aux quantités de POPs dans le corps vide aux jours 0 et +57 de la période de décontamination permettent de dériver des demi-vies d'environ 1 200 et 500 jours pour la TCDD et 2 000 et 650 jours pour le PCB 153 dans le cas des traitements CTL et SNHM respectivement.

Toutefois, au bout de 57 jours de décontamination, les concentrations en TCDD et PCB 153 du tissu adipeux ont été multipliées par 1,5 chez les brebis du traitement SNHM en comparaison du traitement CTL, en raison d'une diminution d'un facteur 1,5 de la quantité de lipides du corps vide. Ainsi, en pratique dans le cas d'un épisode de contamination d'un élevage de ruminant aux POPs hautement lipophiles et peu métabolisables, la stratégie de décontamination SNHM pourra être proposée à l'éleveur uniquement si :

- i) le troupeau est contaminé à un niveau n'excédant que légèrement les teneurs maximales réglementaires,
- ii) la stratégie SNHM est complétée d'une période ultérieure d'accrétion de lipides corporels via la re-nutrition, afin de diminuer les concentrations tissulaires par effet de dilution des quantités de POPs du corps vide restantes.

Dans ces conditions, la réduction d'un facteur 2 à 3 des demi-vies de décontamination en POPs peut permettre d'éviter la destruction d'un troupeau.

Ces travaux de recherche ont été cofinancés par le Conseil Régional de Lorraine (appel à projet de recherche Université/EPST – Région 2014, contrat « Relations entre flux de polluants organiques persistants et flux de lipides à l'échelle de l'organisme de l'animal d'élevage – FLipPOP » ; Nancy, France) et par le Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière (CNIEL, Paris, France). Les auteurs remercient Denis Durand (UMRH, INRA, Theix), Denis Roux, Julien Mongiat, Simon Collange, et toute l'équipe de l'Herbipôle (INRA, Theix) pour la conduite de l'expérimentation animale, les biopsies de tissu adipeux et les abattages ; Nicolas Besné (UE PEAT, INRA, Nouzilly) pour la fabrication des concentrés ; Jérôme Liger, Jean-François Rouaud et Maurice Alix (UE PR, INRA, Saint-Gilles) pour le broyage des corps vide ; ainsi qu'Isabelle Constant (UMRH), Paméla Hartmeyer, Christine Grandclaudon et Claire Soligot (UR AFPA, Université de Lorraine, Nancy) pour leur soutien technique et analytique.

- Antignac J.P., Marchand P., Gade C., Matayron G., Qannari E., Le Bizec B., Andre F., 2006.** Anal. Bioanal. Chem., 384, 271-279
- Cariou R., Marchand P., Venisseau A., Brosseaud A., Bertrand D., Qannari E., Antignac J.P., Le Bizec B., 2010.** Environ. Pollut., 158, 941-947
- Chilliard Y., Bocquier F., Doreau, M., 1998.** Repro. Nutr. Dev., 38, 131-152
- Feidt C., Fournier A., Collas C., Lerch S., Toussaint H., Delannoy M., Jurjanz S., Rychen G. 2017.** Le nouveau praticien vétérinaire – Elevages et santé, 37, 46-53
- Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H., 1957.** J. Biol. Chem., 226, 497-509
- Hoogenboom R., Traag W., Fernandes A., Rose M., 2015a.** Food Control, 50, 670-683
- Hoogenboom R., Stark M.L., Spolders M., Zeilmaker M.J., Traag W., Ten Dam G., Schaff H.A., 2015b.** Chemosphere, 122, 137-144
- INRA, 2007.** Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux – Valeur des aliments – Tables INRA 2007, éditions Quae, ed. INRA, Versailles, France, p. 123-138
- Lerch S., Ferlay A., Pomiès D., Martin B., Pires J.A.A., Chilliard Y., 2012.** J. Dairy Sci., 95, 1956-1970
- Lerch S., Lastel M.L., Grandclaudon, C., Brechet C., Rychen G., Feidt C., 2015.** J. Anim. Sci., 93, 4463-4472
- Lerch S., Guidou C., Thomé J.P., Jurjanz S., 2016.** J. Agric. Food Chem., 64, 1212-1220
- McLachlan M.S., 1994.** Environ. Sci. Technol., 28, 2407-2414
- Moser G.A., McLachlan M.S., 1999.** Chemosphere, 39, 1513-1521
- Polin D., Underwood M., Lehning E., Olson B., Bursian S., 1989.** Poultry Sci., 68, 885-890
- Richter W., McLachlan M.S., 2001.** J. Agric. Food Chem., 49, 5857-5865
- Rozman K., Rozman T., Greim H., Nieman I.J., Smith G.S., 1982.** J. Agric. Food Chem., 98-100
- Rozman K., Rozman T., Smith G.S., 1984.** Bull. Environ. Contam. Toxicol., 32, 27-36
- UNEP, 2001.** Final act of the plenipotentiaries on the Stockholm convention on persistent organic pollutants, éditeur "United Nations Environment Program Chemicals, Genève, Suisse, 445 pp
- Vankeulen J., Young B.A., 1977.** J. Anim. Sci., 44, 282-287