

TRANSFERT VERS L'ŒUF DE L'ALPHA-HBCD INGERE CHEZ LA POULE PONDEUSE

**Elena Dominguez-Romero^{1,3,5}, Ronan Cariou², Elisabeth Baéza³, Anaïs Vénisseau²,
Philippe Marchand², Erwan Engel⁴, Jérémy Ratel⁴, Gaud Dervilly-Pinel²,
Bruno Le Bizec², Pamela Hartmeyer¹, Angélique Travel⁵, Catherine Jondreville¹**

¹ Université de Lorraine, INRA, URAFPA, USC 340, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

² LUNAM Université, Oniris, Laboratoire d'Etude des Résidus et Contaminants dans les Aliments (LABERCA), USC INRA 1329, Nantes, France

³ INRA, UR 83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly, France

⁴ INRA, UR370 QuaPA, équipe MASS, 63122 Saint Genès Champanelle, France

⁵ ITAVI, Centre INRA de Tours, 37380 Nouzilly, France

Elena.Dominguez-Romero@univ-lorraine.fr

RÉSUMÉ

L'hexabromocyclododécane (HBCD) est un retardateur de flamme bromé composé de trois isomères (α , β et γ) utilisé comme additif, notamment dans certains matériaux isolants. Ce polluant organique persistant est susceptible d'être présent dans les produits animaux, dont l'œuf. Les concentrations retrouvées sont en général très faibles, inférieures à 1 ng/g de lipides, mais certains échantillons atypiques présentent des concentrations atteignant plusieurs centaines de ng/g de lipides, majoritairement sous forme α . De telles concentrations pourraient être dues à l'ingestion accidentelle de matériau ignifugé par les poules. Afin de caractériser le risque de contamination des œufs par l' α -HBCD, il est nécessaire d'en connaître le transfert vers l'œuf. Quarante-deux poules pondeuses (Novo Brown) ont été placées en cages permettant leur contrôle individuel. Elles ont été exposées à l' α -HBCD pendant 18 semaines via la distribution d'un aliment contenant 40 μ g d' α -HBCD/kg, ou pendant 11 semaines, suivies de 7 semaines de décontamination. Les cinétiques de contamination et de décontamination de l'œuf ont été suivies. Les isomères α , β et γ ont été dosés dans les aliments et les œufs par LC-MS/MS, après extraction de la matière grasse et purification. Les isomères β et γ n'ont été détectés dans aucun des échantillons, indiquant l'absence d'isomérisation de la forme α . Pendant la phase d'exposition, la concentration d' α -HBCD dans l'œuf (ng/g de lipides) a augmenté rapidement pour atteindre une valeur de 220 ng/g de lipides au bout de 18 semaines. A ce stade, il a été estimé que 22% de l' α -HBCD ingéré quotidiennement est éliminé via l'œuf. La concentration d' α -HBCD dans l'œuf a été divisée par 2 pendant les deux premières semaines de décontamination, puis a diminué plus lentement. Cette étude montre un transfert significatif de l' α -HBCD ingéré vers l'œuf.

ABSTRACT

Kinetic study of the transfer to eggs of ingested alpha-HBCD in laying hens

Hexabromocyclododecane (HBCD) is a brominated flame retardant composed of three isomers (α , β and γ) used as an additive, notably in some insulation materials. This persistent organic pollutant may be present in animal products, including eggs. Concentrations are usually very low, below 1 ng/g lipids, but atypical samples display very high concentrations reaching several hundred ng/g lipids, mainly as α -HBCD. Such concentrations may originate from the accidental ingestion of insulation materials by hens. The aim of the current study was to describe the transfer to eggs of ingested α -HBCD in hens, in order to better characterize the risk of egg contamination. Forty-two laying hens (Novo Brown) were placed in units allowing an individual control of hens. They were exposed to α -HBCD during 18 weeks through the distribution of a feed containing 40 μ g α -HBCD/kg, or during 11 weeks followed by 7 weeks of decontamination. The kinetics of contamination and decontamination of eggs were followed. The isomers α , β and γ were analyzed in feed and in eggs by LC-MS/MS, after fat extraction and purification. The isomers β and γ were not detected in any sample, indicating the absence of isomerization of the α form. During exposure, the concentration of α -HBCD in eggs increased rapidly to reach 220 ng/g lipids at the end of the experiment. At this stage, it was estimated that 22% of α -HBCD ingested daily was eliminated through eggs. The concentration of α -HBCD in eggs was divided by 2 within the first two weeks of decontamination, and decreased more slowly thereafter. This study demonstrates a significant transfer of ingested α -HBCD into eggs.

INTRODUCTION

L'hexabromocyclododécane (HBCD) est un retardateur de flamme bromé (RFB) utilisé comme additif pour ignifuger divers matériaux tels que les textiles et les isolants de construction. Le mélange technique est principalement composé de trois isomères, α -, β - et γ -HBCD. En raison de sa persistance, de sa bioaccumulation dans les tissus lipidiques et de sa toxicité pour l'homme et la faune, l'HBCD figure parmi les polluants organiques persistants (POP) depuis le 26/11/2014 (Convention de Stockholm).

Les denrées alimentaires d'origine animale en sont les principaux vecteurs d'exposition humaine (EFSA, 2011). L'HBCD y est fréquemment détecté, mais à des niveaux généralement faibles, inférieurs à 1 ng/g de lipides (EFSA, 2011). Cependant, différentes études révèlent une variabilité importante, notamment pour les viandes et les œufs. Lors des plans de surveillance mis en œuvre en Allemagne (Hiebl et Vetter 2007) et en France (DGAL, 2009, 2010), des concentrations dans des œufs atteignant 500 voire 3000 ng/g de lipides ont été enregistrées. La consommation d'un seul œuf contenant 3000 ng HBCD/g de lipides par un homme de 70 kg pourrait multiplier par 1000 l'exposition quotidienne par voie alimentaire établie en France à 0,211 ng/kg de poids corporel (Rivière et al., 2014). Face à cette situation, l'Anses (2012) puis la Commission Européenne (2014/118/UE) ont recommandé de surveiller la présence d'HBCD dans les denrées alimentaires d'origine animale.

Bien que le mélange technique soit composé à plus de 75% d'isomère γ , l'isomère α prédomine dans l'environnement et dans les tissus animaux. Cette modification du profil est généralement attribuée à la transformation des isomères γ et β en isomère α dans des milieux biotiques et abiotiques, ainsi qu'à la plus grande persistance de l'isomère α . La bioisomérisation du γ -HBCD en α -HBCD a en effet été observée chez des mammifères, des poissons et des oiseaux (e.g. Marvin et al., 2011). Elle l'a également été chez des poules pondeuses exposées via un aliment additionné d'isomère γ (Fournier et al., 2012, Jondreville et al., résultats non publiés). Chez ces poules exposées à l'isomère γ , les isomères γ et α représentaient respectivement 90 et 10% de l'HBCD présent dans les matrices animales (œuf, foie, gras abdominal). Au contraire, l'isomère α prédomine généralement dans les denrées alimentaires d'origine animale (e.g. EFSA, 2011 ; Rivière et al., 2014).

Cette prédominance suggère que le profil de la source d'exposition des animaux en élevage est lui-même dominé par l'isomère α . L'ingestion de sol (Covaci et al., 2009) ou de matériaux ignifugés (Hiebl et Vetter, 2007) ont été évoquées comme de possibles sources. A cet égard, Cariou et al. (2014) ont identifié les matériaux d'isolation comme de possibles sources d'exposition des poules à l'HBCD dans les bâtiments

d'élevage. Certains d'entre eux, à base de polystyrène, contenaient jusqu'à 3,8% d'HBCD, avec des profils souvent dominés par l'isomère α (jusqu'à 80%). Ce changement de profil par rapport au mélange technique serait lié à la thermotransformation de l'isomère γ en isomère α lors de la fabrication des polystyrènes. Dans le cadre du projet POPAVI (CASDAR n° 7106), Allain et al. (résultats non publiés) ont montré que les poussières collectées dans des élevages de poules pondeuses présentaient des concentrations d'HBCD variables (jusqu'à 1575 ng/g pour une médiane de 2,3 ng/g), dominées par l'isomère α (résultats non publiés). Il est donc possible que les poules soient majoritairement exposées à l'isomère α et non au mélange technique. Dans cette hypothèse, il est nécessaire de connaître le devenir de ce composé à l'échelle de l'animal. La présente étude a donc pour objectif d'en déterminer les paramètres de transfert et d'accumulation chez la poule pondeuse.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Aliments

Deux aliments expérimentaux permettant de couvrir les besoins nutritionnels des poules pondeuses ont été fabriqués en mélangeant 5 g d'huile de soja avec 995 g d'une farine principalement composée de maïs (64%) et de tourteau de soja (16%). De l'huile de soja commerciale et de l'huile de soja dans laquelle de l' α -HBCD avait été préalablement introduit ont été utilisées pour produire respectivement l'aliment témoin et l'aliment contaminé. Le niveau de contamination de 50 μ g α -HBCD/kg d'aliment a été choisi de façon à obtenir des niveaux de contamination des œufs de l'ordre de plusieurs centaines de ng/g de lipides, comparables à ceux enregistrés lors des plans de surveillance (DGAL, 2009, 2010). La préparation de l'huile contaminée a nécessité une opération préalable de transformation du γ -HBCD en α -HBCD par un traitement thermique (172°C, 6 h) puis une purification du produit carbonisé. Les cristaux obtenus, contenant en moyenne 99,3% d' α -HBCD ont ensuite été dissous dans de l'acétone et ajoutés dans l'huile de soja de façon à obtenir une concentration de 10 μ g d' α -HBCD/g d'huile. Ces travaux préparatoires ont été conduits au LABERCA. Le mélange des ingrédients et de l'huile, suivi de la granulation des aliments ont été effectués au PEAT (INRA, Nouzilly).

1.2. Animaux et conduite expérimentale

L'expérimentation a été conduite à l'Université de Lorraine dans des locaux agréés (agrément n° B54-547-15), selon un protocole approuvé (agrément CELMEA-2012-0015).

Quarante-deux poules pondeuses (Novo Brown), âgées de 30 semaines et pesant en moyenne 1544±98

g, ont été placées dans un dispositif expérimental permettant le contrôle individuel de l'ingestion d'aliment et de la production d'œufs pour une période totale de 19 semaines. Trente-six d'entre elles ont été réparties en trois blocs sur la base du poids vif (PV), les six poules restantes étant considérées comme des témoins du niveau de contamination ambiant. L'expérimentation a été précédée d'une semaine d'adaptation au cours de laquelle toutes les poules ont reçu l'aliment témoin. A partir de la semaine suivante, les poules, à l'exception des témoins, ont reçu l'aliment contaminé. Dans chaque bloc, une poule a été abattue après 1, 2, 4, 7, 11, 14 ou 18 semaines d'exposition ou après 11 semaines d'exposition suivies de 1, 2, 3, 4 ou 7 semaines de décontamination, via la distribution de l'aliment témoin. Les 6 poules restantes n'ont reçu que l'aliment témoin et ont été abattues par groupes de 2 juste avant le début de l'exposition, au bout de 11 semaines ou à la fin de l'expérimentation.

Pendant toute l'expérimentation, une quantité d'aliment quotidienne correspondant à 7,5% du PV a été distribuée. L'eau était disponible à volonté, la température ambiante a été maintenue entre 21 et 24°C et le programme lumineux ménageait 16 heures de lumière par jour.

Les poules ont été pesées individuellement après 5 et 11 semaines d'expérimentation et la quantité d'aliment distribuée a été réajustée en conséquence. La quantité d'aliment ingérée de même que le nombre et le poids des œufs produits par chaque poule ont été enregistrés quotidiennement. Chaque aliment a été échantillonné chaque semaine et conservé à +4°C. Un échantillon composite a été utilisé pour les analyses. A l'issue de l'expérimentation les poules ont été mises à mort après 12 heures de jeûne, par éthernarcose puis exsanguination. Le gras abdominal et le foie ont été prélevés et pesés puis congelés avant analyses. Les jaunes des œufs pondus la veille de l'abattage ont été séparés des blancs, pesés, puis conservés à -18°C. Seules les données relatives à l'œuf sont présentées.

1.3. Analyses chimiques

Les isomères α -, β - et γ -HBCD ont été dosés dans l'aliment et le jaune d'œuf. Après lyophilisation, la matière grasse a été extraite par un mélange de solvants organiques toluène/acétone 70:30 (v/v), sous pression (100 bars) et à chaud (120 °C). L'extrait a ensuite été purifié au moyen d'une succession de colonnes d'extraction sur phase solide contenant de la silice acide et du Florisil®, puis par partition liquide/liquide entre hexane et soude 1 N. Les concentrations des 3 isomères d'HBCD ont été déterminées par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS), selon une méthode validée et accréditée (norme ISO 17025), la quantification des molécules reposant sur le principe de dilution isotopique. Le seuil de quantification (statistiquement significatif) a été

déterminé en tenant compte du niveau de contamination analytique rencontré pour ce type de molécule (blancs d'analyses systématiquement contaminés).

1.4. Calculs et analyses statistiques

Pour chaque poule, le poids vif moyen a été calculé à partir du poids vif initial et du poids vif à l'abattage. La quantité d'aliment ingérée quotidiennement (AI, g/j), ainsi que le nombre et le poids d'œuf produits par chaque poule ont été moyennés individuellement sur la période. La quantité de lipides exportée quotidiennement via l'œuf (LE, g/j) a été estimée en considérant que chaque jaune d'œuf est constitué de 35% de lipides et que le jaune représente 26% de la masse totale de l'œuf (valeur moyenne observée dans la présente étude).

Les données ont été analysées en utilisant le logiciel SAS, en considérant la poule comme l'unité expérimentale. Les poules témoins ont été exclues de cette analyse. Les données de poids vif, de consommation d'aliment et de production d'œuf ont été analysées au moyen de la procédure GLM, selon un modèle incluant le bloc et le traitement expérimental (combinaison des durées d'exposition et de décontamination, n=12).

Les données de concentration d'HBCD dans l'œuf ont été analysées par régression non linéaire (NLIN). L'examen graphique des données obtenues pendant la phase de décontamination montrant que l'élimination d'HBCD de l'œuf ne suit pas une cinétique de premier ordre, sa demi-vie dans l'œuf n'a pas pu être estimée. En revanche, les concentrations obtenues pendant la phase d'exposition montrant une croissance asymptotique, le modèle suivant a été mis en œuvre :

$$C_{\text{œuf},t} = C_{\text{aliment}} \times (\text{AI} / \text{LE}) \times \text{COR} \times (1 - \exp^{-k \times t})$$

Où t (jour) représente la durée d'exposition des poules diminuée de 2 afin de rendre compte du délai d'un jour entre l'ovulation et la ponte et de la collecte de l'œuf la veille de l'abattage, $C_{\text{œuf},t}$ (ng/g lipides) est la concentration d'HBCD dans l'œuf au temps t, C_{aliment} (ng/g) est la concentration d' α -HBCD dans l'aliment, AI (g/j) est la quantité quotidienne d'aliment ingéré, LE (g lipides/j) est la quantité quotidienne de lipides exportée via l'œuf, COR (carry over rate) est le taux de transfert d' α -HBCD vers l'œuf à l'équilibre, c'est-à-dire la quantité d' α -HBCD éliminée via l'œuf en proportion de la quantité ingérée.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Aucun des isomères de l'HBCD n'a été détecté dans l'aliment témoin. L'isomère γ a été détecté dans l'aliment contaminé à une concentration de 0,18 ng/g, tandis que l'isomère β n'a pas été détecté. La concentration d' α -HBCD était de 40,0 ng/g, soit 99,5% de la somme des isomères d'HBCD. Cette

concentration représente 80% de la valeur attendue (50 ng/g).

2.1. Poids vif, aliment ingéré et ponte

Les poules ont été abattues au poids vif final moyen de 1668 ± 168 g. Bien que de façon non significative ($P=0,09$), ce poids tendait à augmenter avec la durée d'expérimentation (Tableau 1). Conformément au plan d'alimentation, les poules ont ingéré quotidiennement en moyenne $71,3 \pm 4,7$ g d'aliment/kg PV, indépendamment du traitement expérimental ($P=0,95$). Pendant la phase d'exposition de 77 jours, elles ont donc ingéré chaque jour $2,86 \pm 0,18$ µg d' α -HBCD/kg PV ($P=0,97$). Alors que le taux de ponte est resté stable tout au long de l'expérimentation ($0,97 \pm 0,03$, $P=0,44$), le poids moyen de l'œuf ($57,8 \pm 4,0$ g), ainsi que le poids quotidien d'œuf produit ($57,0 \pm 4,3$ g) tendaient à augmenter ($P=0,14$). Cette production rapportée au PV de l'animal est restée stable ($34,8 \pm 2,7$ g/kg PV, $P=0,46$). Qu'il s'agisse du poids des animaux ou de la production d'œuf, ces valeurs sont inférieures aux spécifications du sélectionneur. Toutefois, ces faibles performances ne peuvent être attribuées à l' α -HBCD contenu dans l'aliment, mais plutôt au faible poids des poules à leur arrivée dans les installations expérimentales. En effet, les performances de ponte des poules témoins à 11 et 18 semaines ($n=4$) étaient similaires à celles des poules contaminées, soit en moyenne 0,93 œufs par jour pesant 56,4 g chacun. Effectivement, des effets de l'exposition à l'HBCD sur le nombre et la qualité des œufs d'oiseaux ont été rapportés, mais à des niveaux d'exposition de 510 µg/kg PV, soit de l'ordre de 150 fois supérieurs aux niveaux de la présente étude (Fernie et al., 2011).

2.2. Transfert d' α -HBCD vers le jaune d'œuf

Aucun des isomères α , β et γ n'a été détecté dans les œufs issus des poules témoins. Les isomères β et γ n'ont pas été détectés dans les échantillons issus des poules exposées. Ce résultat était attendu puisque l'isomère α , au contraire des isomères β et γ , est récalcitrant à l'isomérisation chez de nombreuses espèces animales (e.g. Marvin et al., 2011).

En période d'exposition, la concentration d' α -HBCD dans les œufs a augmenté rapidement pour atteindre des valeurs de l'ordre de 200-220 ng/g de lipides après 7 semaines d'exposition (Figure 1). L'ajustement du modèle asymptotique ($R^2=0,99$; $P<0,001$; ETR=21) permet d'estimer qu'à la fin de l'exposition 22,0% de l' α -HBCD ingéré quotidiennement étaient transférés vers l'œuf ($COR=0,220 \pm 0,007$). Cette valeur élevée est du même ordre de grandeur que celles obtenues avec une exposition aux PCB (Kan et Meijer, 2007). En accord avec les données obtenues chez d'autres espèces, notamment des mammifères (Marvin et al., 2011), ce taux de

transfert vers l'œuf est de l'ordre de 10 fois supérieur à celui obtenu avec l'isomère γ (Jondreville et al., résultats non publiés).

La concentration d' α -HBCD dans l'œuf a été divisée par deux pendant les deux premières semaines de décontamination. La vitesse de décontamination s'est ensuite ralentie, avec une diminution de la concentration d' α -HBCD d'environ 20% lors des 5 dernières semaines de décontamination. Cette forme biphasique d'élimination dans l'œuf a déjà été observée pour des PCB et des dioxines (Van Eijkeren et al., 2006). Elle est liée au mode de formation de l'œuf, par accumulation progressive de jaune, qui prend une dizaine de jours. Ainsi, les jaunes pondus en début de décontamination ont été partiellement formés en phase d'exposition, alors que l'animal accumulait encore le composé. Une dizaine de jours après l'interruption de l'exposition, le contaminant présent dans l'œuf a pour origine le déstockage du contaminant des lipides corporels. Néanmoins, la durée de décontamination de 7 semaines ménagée dans la présente étude a été trop courte pour obtenir une décontamination complète, condition nécessaire à l'estimation correcte de la demi-vie de ce composé.

La concentration maximale d'environ 200 ng/g de lipides observée dans cette étude est bien de l'ordre de grandeur des valeurs exceptionnellement élevées observées lors des plans de surveillance. Pour atteindre cette concentration, les poules devraient ingérer quotidiennement 160 µg d'un polystyrène contenant 3% d' α -HBCD, ce qui est plausible dans le cas de la dégradation accidentelle d'une paroi de bâtiment, rendant alors l'isolant accessible aux poules.

CONCLUSION

Cette étude montre un transfert significatif de l' α -HBCD vers l'œuf et son accumulation plus importante que celle du composé majoritaire du mélange technique (γ -HBCD). Compte tenu des résultats obtenus, l'exposition accidentelle des poules via l'ingestion de débris d'isolants comme des polystyrènes est plausible, même si elle reste à démontrer. Les cinétiques de contamination du gras abdominal et du foie permettront de préciser la distribution tissulaire de l' α -HBCD. Ces informations seront utilisées dans un modèle mathématique destiné à prédire le niveau de contamination des produits, en particulier l'œuf, en fonction de l'exposition des poules.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié d'un co-financement de la part du CASDAR (projet n°1256). Les auteurs remercient N. Besne (INRA, PEAT), C. Grandclaude et F. Dugny (UR AFPA), D. Marion (INRA, UR BIA) et J. Huwe (USDA, ARS) pour leur assistance technique.

REFERENCES

1. Anses, 2012. <https://www.anses.fr/sites/default/files/documents/RCCP2010sa0225.pdf>.
2. Cariou, R., Vénisseau, A., Amand, G., Marchand, P., Marcon, M., Huneau, A., Le Bouquin, S., Dervilly-Pinel, G., Travel, A., Le Bizec, B., 2014. Organohalogen Compounds 76: in press.
3. Covaci, A., Roosens, L., Dirtu, A.C., Waegeneers, N., Van Overmeire, I., Neels, H., Goeyens, L., 2009. Sci. Tot. Environ. 407: 4387-4396.
4. Fernie, K.J., Martenson, S.C., Bird, D.M., Ritchie, I.J., Letcher, R.J., 2011. Environ. Toxicol. Chem. 30: 2570-2575.
5. DGAL, 2009. http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/recueil2008_tt_public_PSPC.pdf
6. DGAL, 2010. http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Recueil2009__tt_public_PSPC_.pdf
7. EFSA, 2011. The EFSA Journal, 9, 2296, 118 pp.
8. Fournier, A., Feidt, C., Marchand, P., Venisseau, A., Le Bizec, B., Sellier, N., Engel, E., Ratel, J., Travel, A., Jondreville, C., 2012. Environ. Sci. Poll. Res. 19: 440-447
9. Hiebl J., Vetter W., 2007. J. Agr. Food Chem. 55: 3319-3324.
10. Kan, C.A., Meijer, G.A.L., 2007. Anim. Feed Sci. Technol. 133: 84-108.
11. Marvin, C.H., Tomy, G.T., Armitage, J.M., Arnot, J.A., McCarty, L., Covaci, A., Palace, V., 2011. Environ. Sci. Technol. 45: 8613-8623.
12. Riviere, G., Sirot, V., Tard, A., Jean, J., Marchand, P., Veyrand, B., Le Bizec, B., Leblanc, J.C., 2014. Sci. Tot. Environ. 491-492: 176-183.
13. Van Eijkeren, J.C.H., Zeilmaker, M.J., Kan, C.A., Traag, W.A., Hoogenboom, L.A.P., 2006. Food Add. Contam. 23: 509-517.

Tableau 1. Poids vif, ingestion d'aliment et production d'œufs

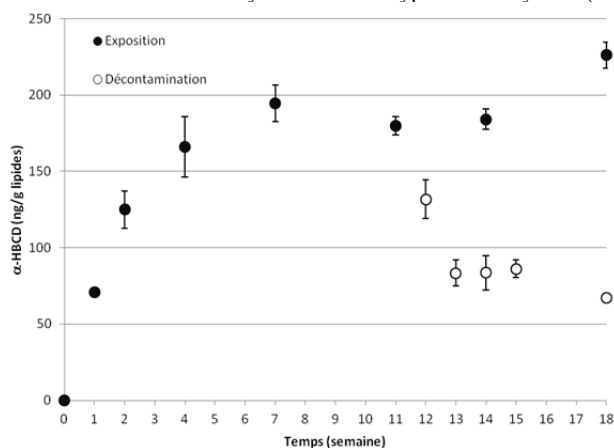
Durée (semaine) ¹		Poids vif (PV, g)		Ingestion quotidienne d'aliment		Production quotidienne d'œuf		
E	D	Initial	Final	g	g/kg PV	Nombre	Poids moyen (g)	g
1	0	1551	1580	110	70,6	0,95	52,7	50,1
2	0	1569	1560	109	70,2	0,93	57,1	53,0
4	0	1581	1583	110	69,6	0,96	59,5	57,3
7	0	1567	1524	110	71,2	0,97	55,6	53,7
11	0	1523	1657	119	74,8	0,99	58,5	58,0
14	0	1561	1793	115	68,8	0,99	57,7	57,1
18	0	1546	1764	119	71,8	0,98	58,7	57,7
11	1	1540	1620	114	72,4	0,98	56,4	55,4
11	2	1535	1781	119	71,0	0,98	59,3	58,2
11	3	1544	1810	114	69,5	0,95	58,1	55,2
11	4	1529	1654	118	72,6	0,97	57,7	55,9
11	7	1548	1692	123	73,3	0,98	62,7	61,4
	P		0,088	0,45	0,95	0,44	0,14	0,14
	ETR		123	7,7	4,9	0,03	3,2	3,9

Les valeurs sont des moyennes (n=3) ; ETR, écart-type résiduel

¹ E, exposition ; D, décontamination

Figure 1. Concentrations d' α -HBCD dans le jaune d'œuf (ng/g lipides)

Les valeurs sont des moyennes $\pm$ écart type de la moyenne (n=3)



TRANSFERT VERS L'ŒUF DE L'ALPHA-HBCD INGERE CHEZ LA POULE PONDEUSE

1. INTRODUCTION

- L'hexabromocyclododecane (HBCD) est un polluant organique persistant.
- Les denrées alimentaires d'origine animale (DAOA) en constituent la principale source d'exposition humaine.
- La concentration d'HBCD dans les DAOA est généralement inférieure à 1 ng/g lipides. Des concentrations maximales excédant 500 voire 3000 ng/g lipides ont été observées dans certains échantillons d'œuf (DGAL 2009, 2008).
- L'isomère α prédomine dans les œufs ainsi que dans de possibles sources d'exposition des poules en élevage (polystyrène).

2. OBJECTIFS

- Comprendre le devenir de l' α -HBCD ingéré à l'échelle de l'animal.
- Déterminer les paramètres de transfert vers l'œuf de l' α -HBCD chez la poule pondeuse.

3. MATERIEL ET METHODES

ANIMAUX : n=42 poules pondeuses Novo Brown
30 semaines d'âge

PV initial : 1544 $\pm$ 98 g

PV final : 1668 $\pm$ 168 g

2 ALIMENTS { • Contaminé, 40 ng d' α -HBCD/g
• Témoin

Quantité quotidienne distribuée : 75 g/kg PV

Cages individuelles



18 semaines de contamination (n=21)

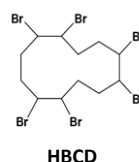
11 semaines de contamination + 7 sem. de décontamination (n=15)

poules témoins (n=6)

ECHANTILLONS :
Aliments, JAUNES D'ŒUF

ANALYSES : α -, β - et γ -HBCD
LC-MS/MS (ng/g lipides)

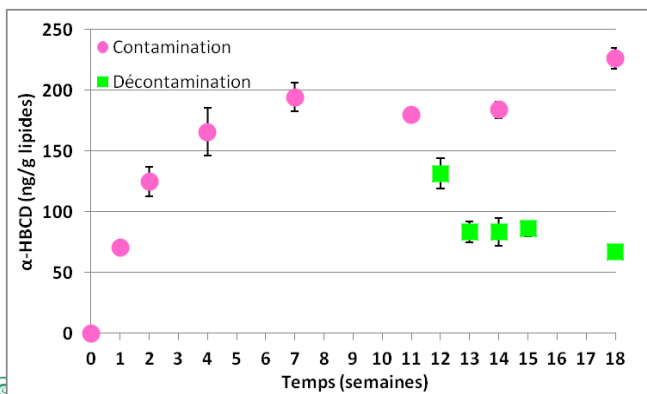
CALCUL : Taux de transfert d' α -HBCD ingéré
vers le jaune d'œuf (COR)



Polystyrène

4. RESULTATS

Figure : Concentrations d' α -HBCD dans le jaune d'œuf (ng/g lipides)
Les valeurs sont des moyennes $\pm$ écart type de la moyenne (n=3)



α , β , γ -HBCD dans le JAUNES D'ŒUF :

Poules témoins : pas d'HBCD

Poules exposées : α -HBCD uniquement

COR (%) de l' α -HBCD = 22,0 $\pm$ 0,7

($R^2=0,99$ $P<0,001$ ETR=21)

5. CONCLUSION

- Transfert significatif de l' α -HBCD vers l'œuf
- Une contamination accidentelle des œufs en raison de l'ingestion de débris de polystyrène par les poules est plausible