



Transfert de Polluants Organiques Persistants vers l'œuf : Résultats d'études expérimentales et modélisation du transfert à l'échelle de l'animal

Catherine Jondreville, Agnès Fournier, Angélique Travel, Cyril Feidt

Polluants Organiques Persistants (POP)

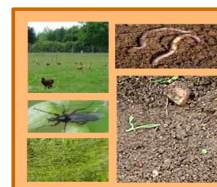
- Propriétés des POPs :
 - Toxicité
 - Persistance dans l'environnement
 - Résistance aux dégradations naturelles
 - Bioaccumulation
 - Accumulation dans les tissus vivants (lipophiles)
 - Accroissement tout au long de la chaîne alimentaire
 - Transport longues distances
 - Eloignement des lieux d'émission

Liste de POP (convention de Stockholm)

2001	2009	En discussion
Pesticides		
Aldrine	Chlordecone	Endosulfan (2011)
Chlordane	α -hexachlorocyclohexane	
DDT	β -hexachlorocyclohexane	
Dieldrine	Lindane (γ -HCH)	
Endrine	Pentachlorobenzene	
Heptachlore		
Hexachlorobenzene		
Mirex		
Toxaphene		
Produits industriels		
Polychlorobiphenyls (PCB)	Hexabromobiphenyl	Hexabromocyclododecane
Hexachlorobenzene	hexa et hepta bromodiphenyl ether	Short-chained chlorinated paraffins
	Pentachlorobenzene	
	Perfluorooctane sulfonic acid	
	Tetra et penta bromodiphenyl ether	
Non intentionnels		
Hexachlorobenzene	Alpha hexachlorocyclohexane	
Dioxines	Bêta hexachlorocyclohexane	
Furanes	Pentachlorobenzene	
PCB		
HAP (protocole d'Aarhus)		

Exposition des animaux en cours d'élevage

- Ingestion :
 - Aliment
 - Accidents : ex PCBs, PCDD/Fs
 - Bâtiment/matériaux d'élevage
 - Retardateurs de flamme (bromés) : PBDE, HBCD
 - Traitements insecticides : toxaphène
 - Environnement (accès à un parcours)
 - Accumulation dans l'environnement
 - Transport sur de longues distances
 - $\Rightarrow$ Tous



- Production de volailles sur parcours
 - Contrôle sanitaire moins aisé

Teneur en dioxines-furanes (pg ITEQ / g MG) d'œufs de poules

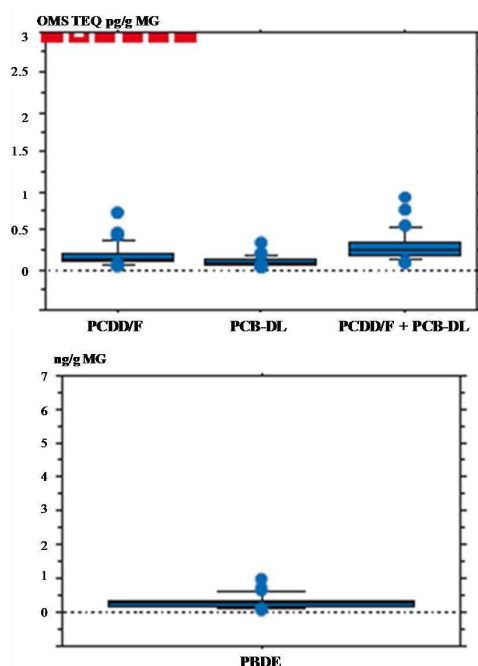
	Claustration	Plein air
Pays-Bas	1,0 - 2,0	0,4 - 8,1
Belgique	1	1,0 - 10
Allemagne	0,5 - 2,3	0,4 - 11,4
Irlande	0,1 - 0,6	0,5 - 2,7
Suisse	1,3	2,9 - 19

Seuil réglementaire :

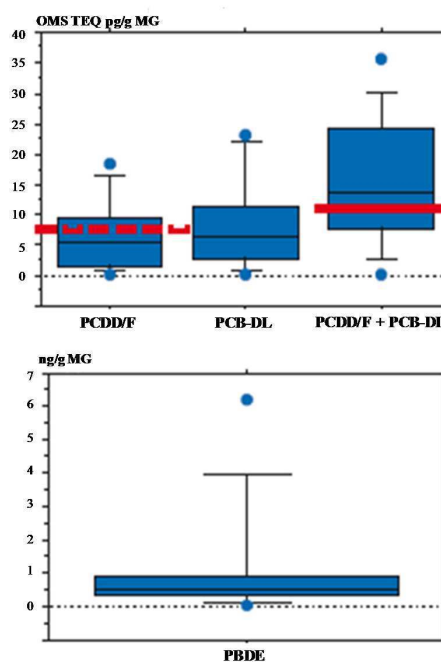
3 pg ITEQ / g MG

D'après Fürst et al. (1993); Schüler et al. (1997); Kijlstra et al. (2004), Pussemier et al. (2004); FSAI (2004)

Elevages professionnels

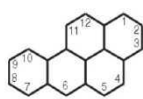


Elevages familiaux

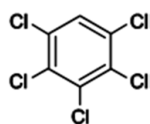


Teneurs en PCDD/F, PCB DL et PBDE des œufs collectés dans 34 élevages professionnels et 10 élevages familiaux (Travel et al., 2008)

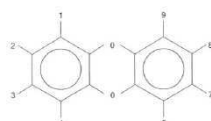
Les valeurs obtenues sont comparées aux valeurs maximales réglementaires (Règlement 466/2001/(CE) de 3 pg OMS-TEQ PCDD/F / g MG et 6 pg OMS-TEQ PCDD/F + PCB-DL / g MG



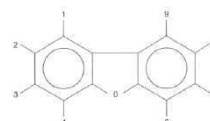
B[a]P



PeCB



PCDD/F



Chlordecone



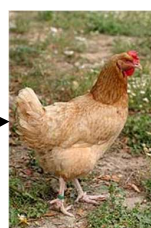
Contamination
du sol

?

Contamination
des produits

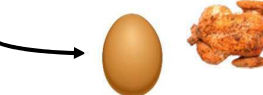


Consommation
de matrices (sol)



Accessibilité

Devenir du
contaminant



Jaune, gras corporel

Questions

- Evaluation du risque

- Exposition

- Quantité ingérée

- Facteurs de variation



- Transfert du polluant ingéré

- Accessibilité (dans le tube digestif)

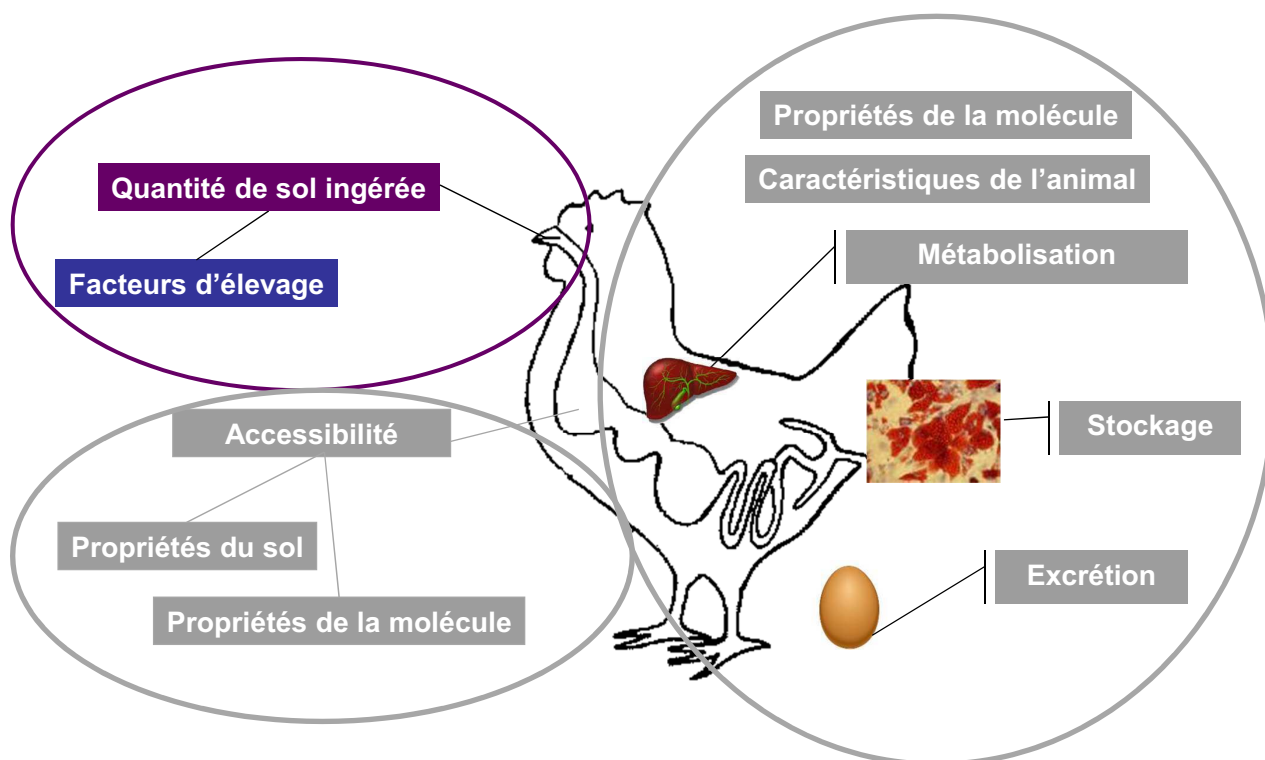
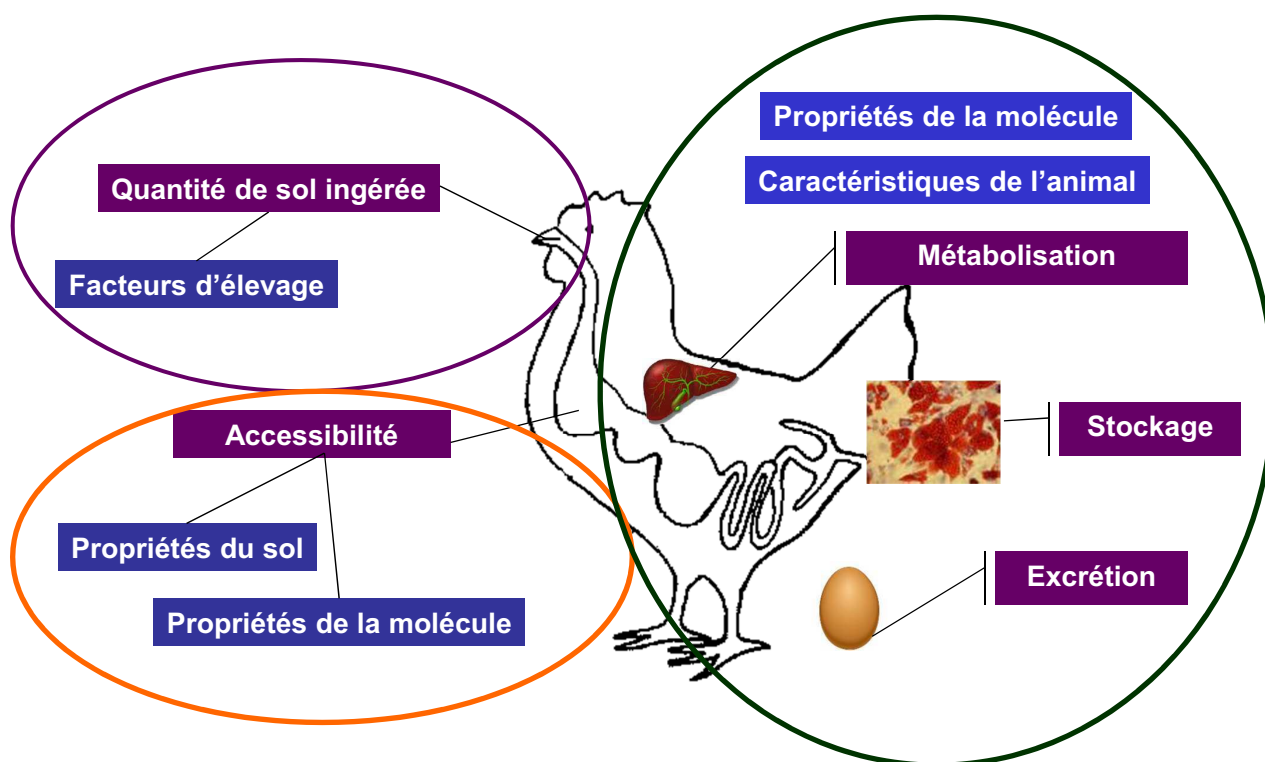
- Rôle du sol et de ses caractéristiques (MO)

- Transfert vers l'œuf

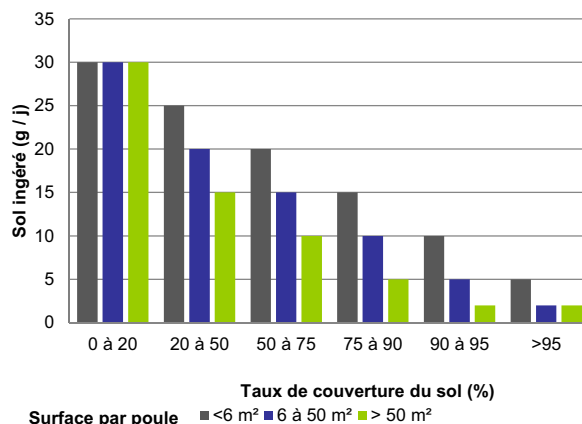
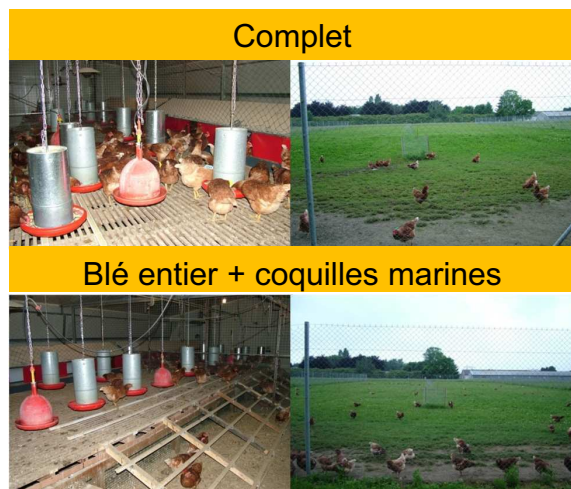
- Caractéristiques du polluant

- Caractéristiques de la poule

- » taux de ponte, état d'engraissement



Ingestion de sol : 2 à 30 g / jour



Déséquilibre alimentaire / Aliment grossier

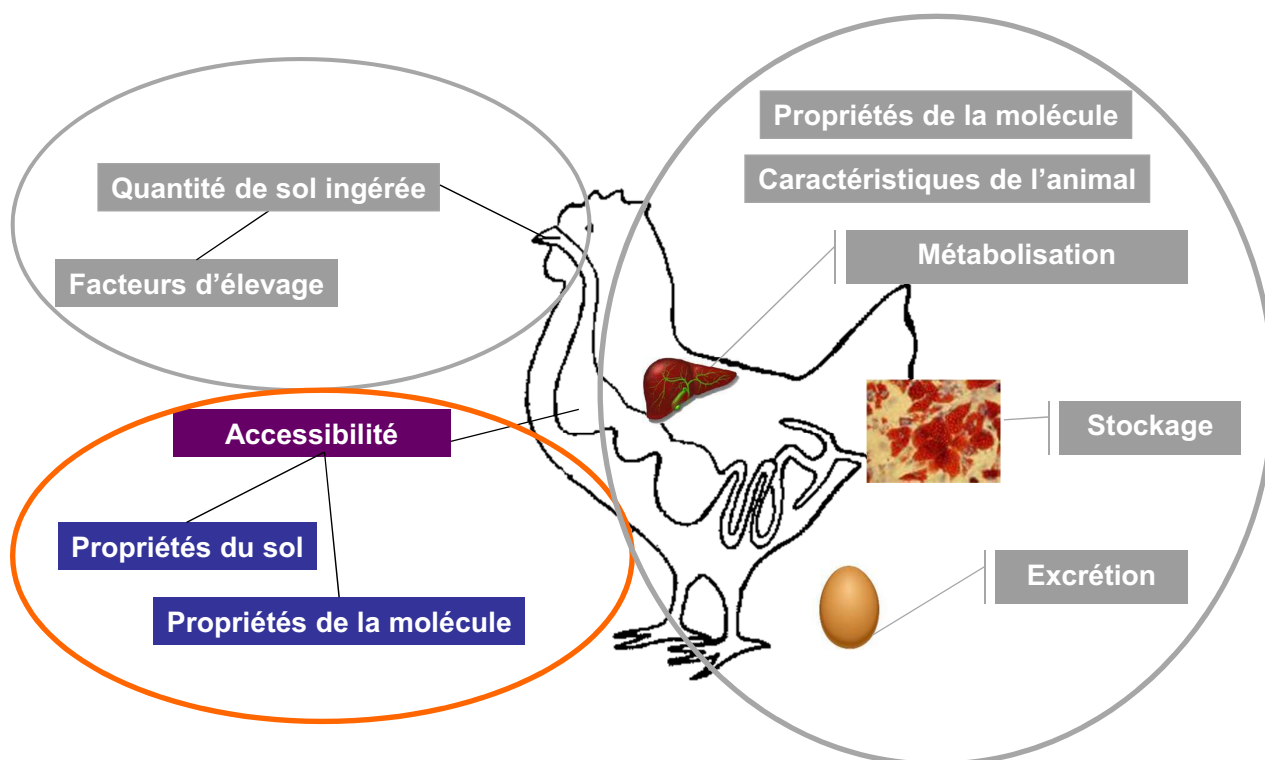
⇒ Comportement exploratoire stimulé
⇒ Ingestion de sol stimulée

Jondreville et al. (2010)

**Dégradation du couvert végétal
+
Densité augmentée**

⇒ Ingestion de sol stimulée

Waegeneers et al. (2009)



Impact du sol sur le transfert (accessibilité)

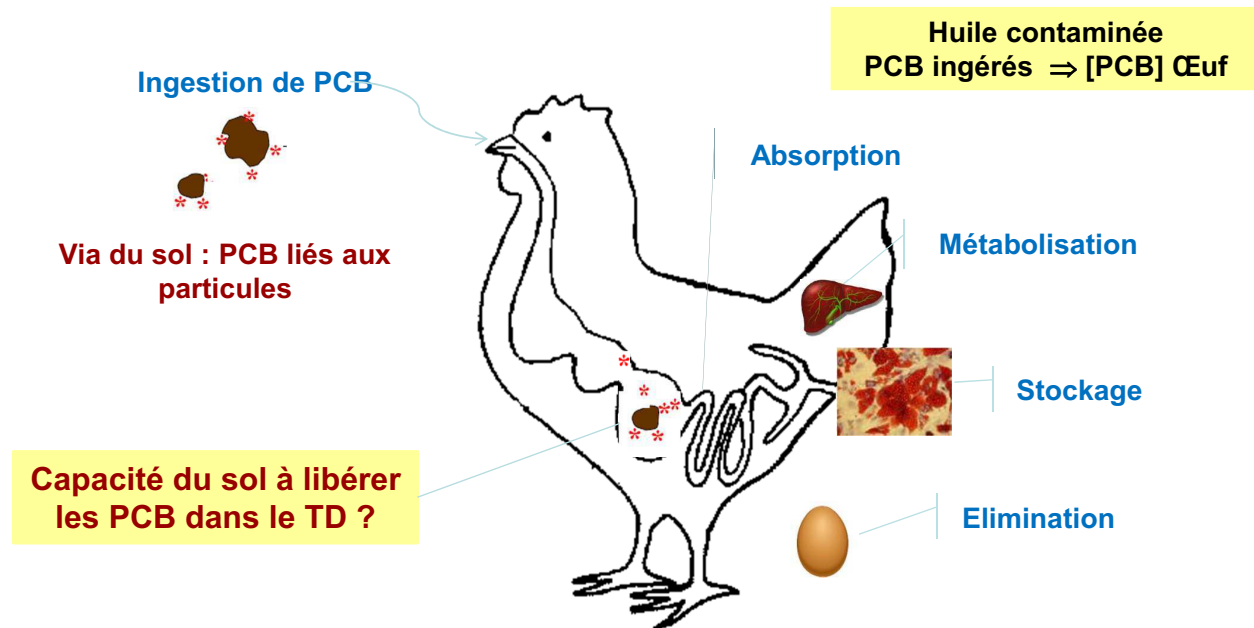
- Ce qu'on dit :
 - Les POP présents dans les sols seraient moins disponibles que lorsqu'ils sont apportés par de l'huile ⇒ Diminution du risque
 - Interactions avec MO, Argiles...
 - Mais : sols industriels (sites et sols pollués - classés) – souvent HAP
- Sols agricoles ?? Autres contaminants ?
- Littérature
 - 1 référence chez la volaille (Van Eijkeren et al., 2006)
 - 2 sols (PCDD/F, PCB DL)
 - La BR est d'environ 50-60% (le sol permet de limiter le risque)
 - Pas d'information sur les propriétés du sol
 - Autres espèces
 - Effet de l'espèce (porc vs rat)....(Budinsky et al., 2009)

Impact du sol sur le transfert (accessibilité)

- Programme
 - Impact du sol sur la biodisponibilité des PCB
 - Sols agricoles
 - MO, argiles...
 - Multiespèces
 - » Poule pondeuse, porc, ruminant

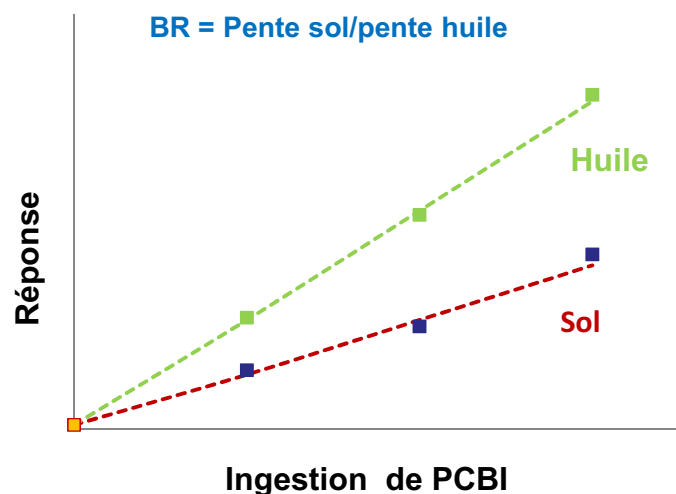
Impact du sol sur la biodisponibilité des POP

Eléments de l'évaluation du risque



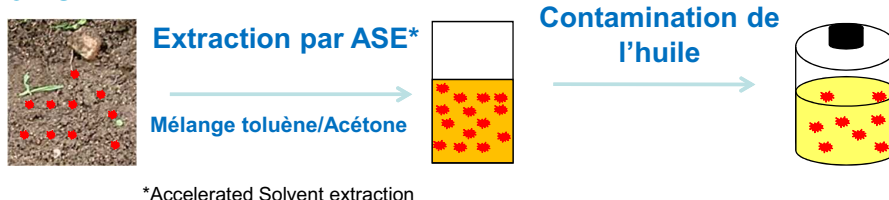
Evaluation de l'impact du sol sur la biodisponibilité : principe

- Biodisponibilité relative (BR)
 - Réponse obtenue avec le sol comparée à la réponse obtenue avec une matrice de référence (huile contaminée)



Première expérience

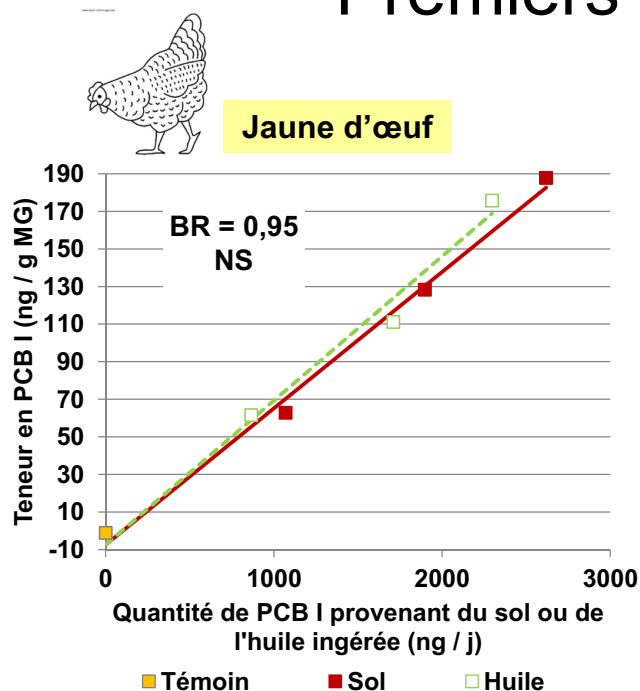
- Deux espèces animales
 - Poule pondeuse vs chèvre laitière
- Matrices contaminées
 - Sol
 - Sableux (6% argiles, 11% limons, 83% sables, 1,2% MO)
 - 709 ng PCB I / g MS
 - Huile



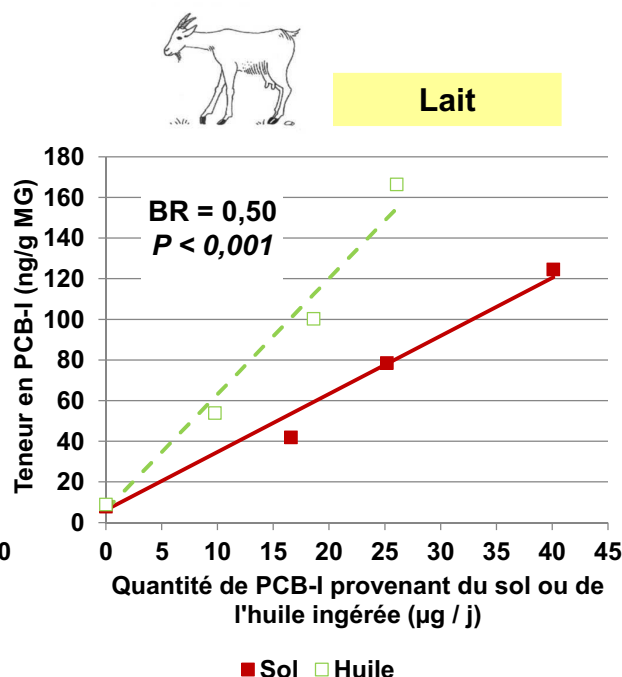
*Accelerated Solvent extraction

- Aliments
 - Granulés
 - Trois niveaux de sol
 - Trois niveaux d'huile

Premiers résultats

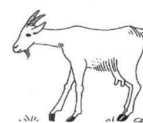
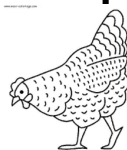


Fournier et al. (2010)



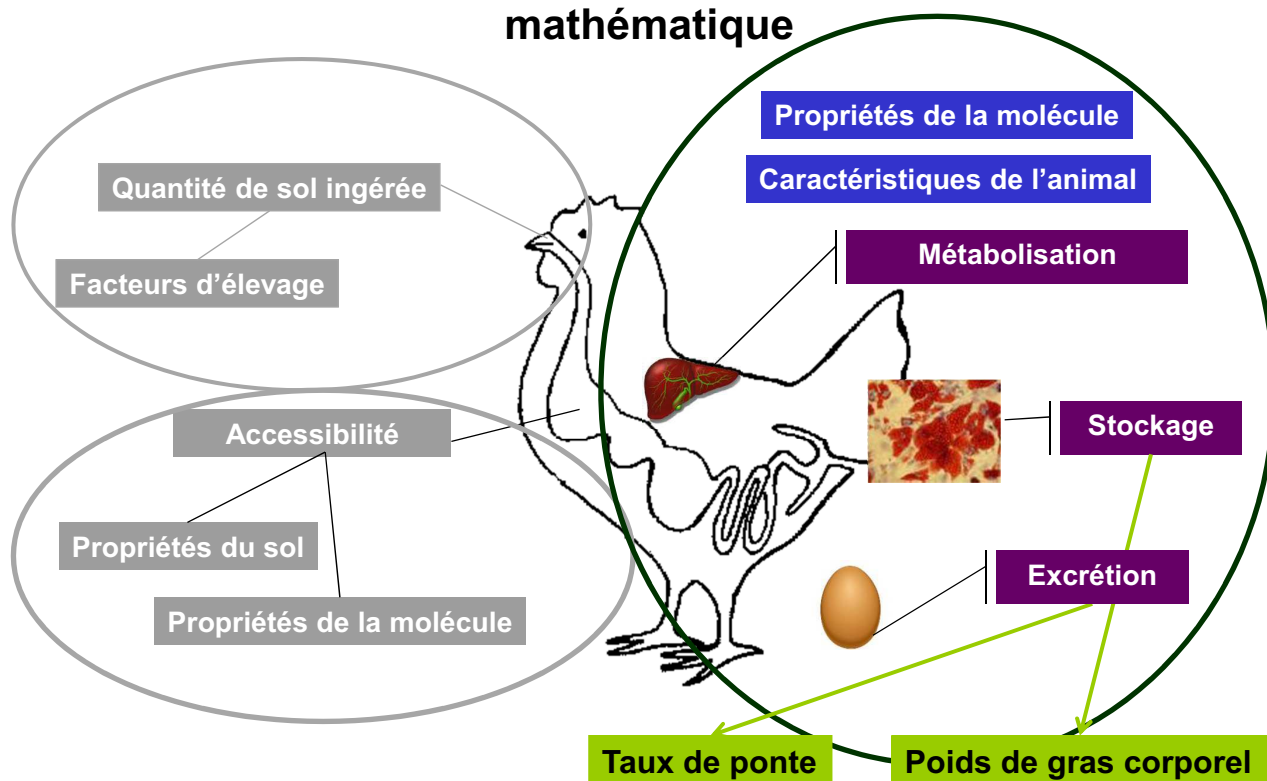
Ounnas et al. (2011)

Premières conclusions



- Le sol ne permet pas de limiter la biodisponibilité des PCB
- Le sol permet de diviser par deux la biodisponibilité des PCB
 - Interactions au niveau digestif
 - Efficacité alimentaire
 - Digestion des lipides (Sels biliaires), Temps de séjour ...
 - Poursuivre le travail
 - Autres sols
- Trois modèles animaux (porc, poule, chèvre)

Transfert à l'échelle de l'animal : modélisation mathématique



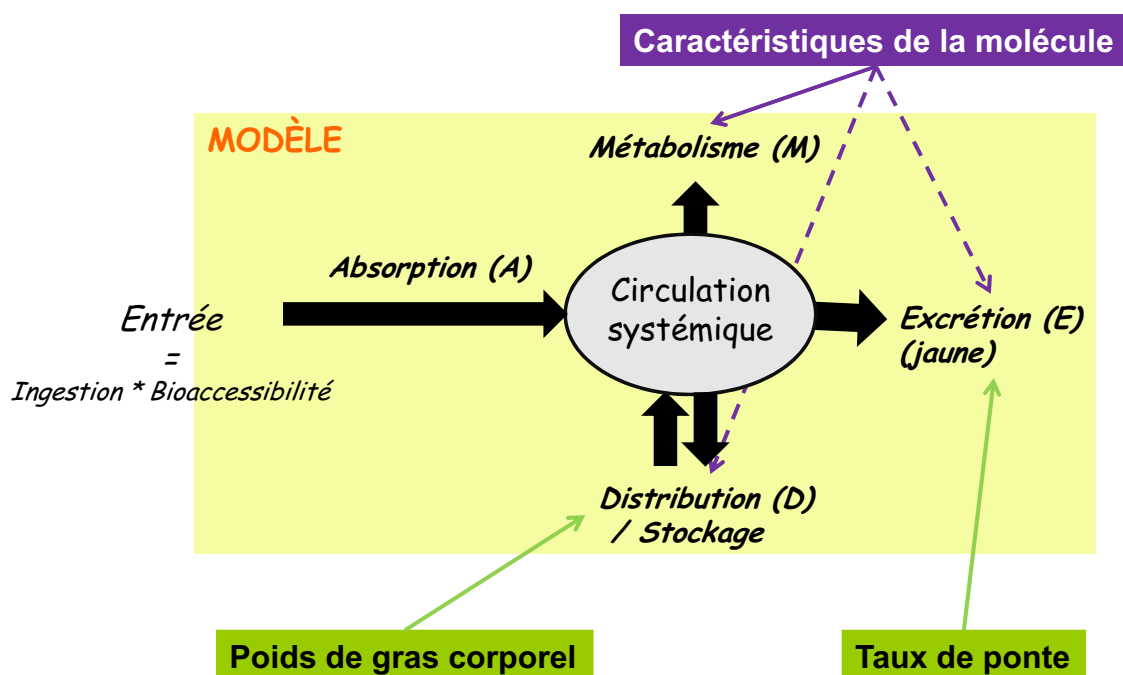
Modèle mathématique

- Indicateurs disponibles
 - BCF (facteur de bioconcentration)/ COR (taux de transfert)

Entrées / Sorties
 = boîte noire
 → ~~Facteurs de variation~~

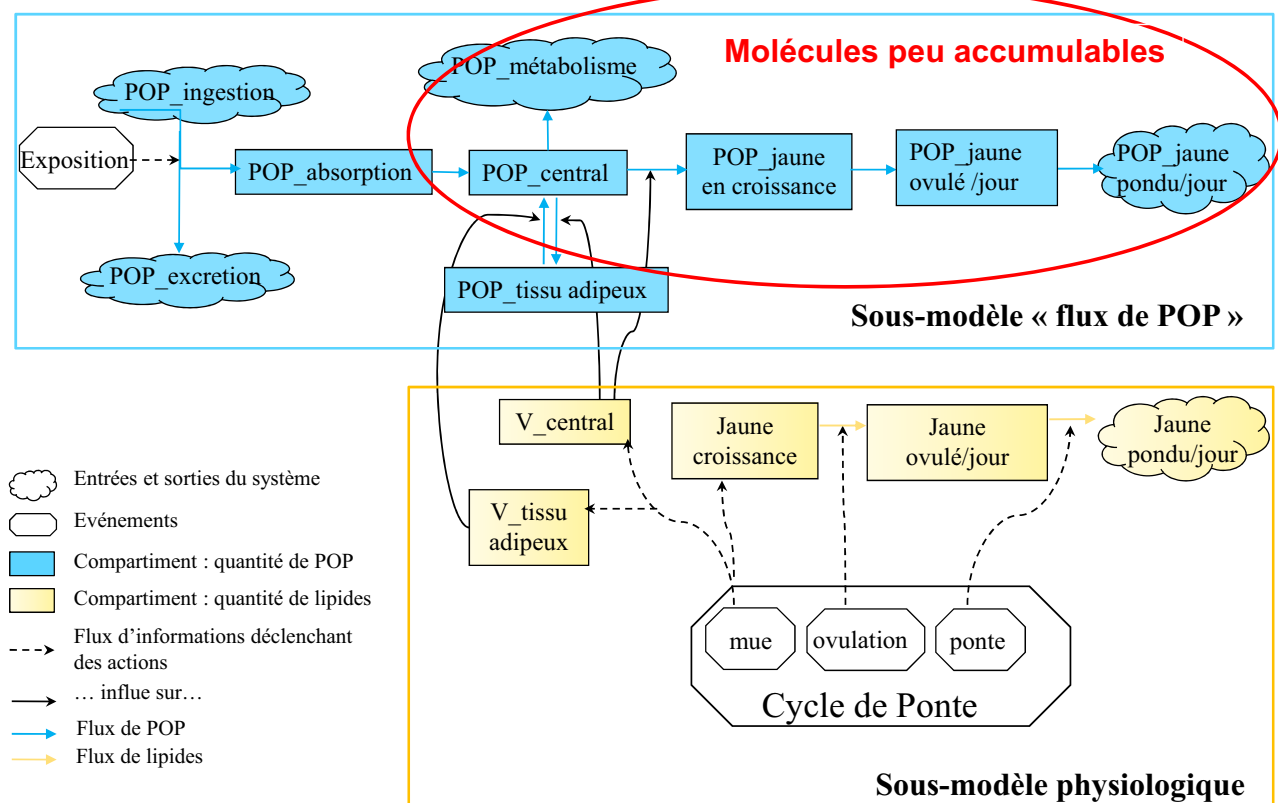
- Objectifs
 - Modèle de recherche
 - Représenter les facteurs de variation de la contamination des produits et évaluer leur impact
 - Type de molécule (métabolisation)
 - Caractéristiques physiologiques de l'animal (taux de ponte, état d'engraissement)

Principe

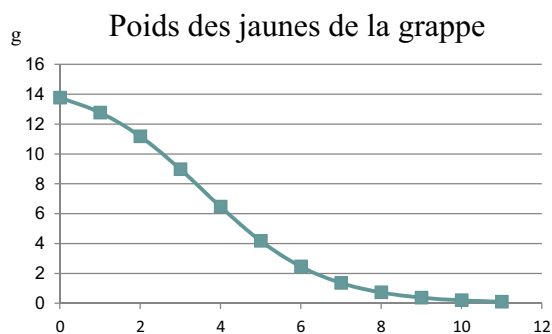


Modèle mathématique

- Principe
 - Cinétique de concentration de POP dans les tissus (œuf) (dynamique)
- Deux sous modèles (dynamiques)
 - Physiologique
 - Dépendent de dynamique d'engraissement et de la ponte
 - Compartiments : quantité de lipides (Œuf, tissu adipeux corporel)
 - Flux de lipides (croissance du jaune)
 - Flux de POP
 - Dépendent de la dynamique lipidique de l'animal



Molécules très métabolisées (peu accumulées dans le gras corporel) : ex des HAP

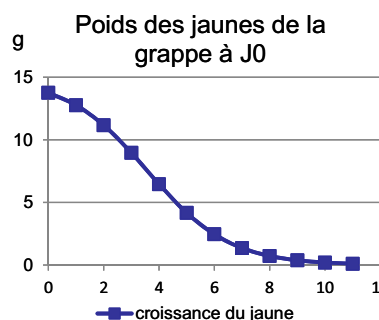


Jaune de l'œuf pondu

Jaune de l'œuf entrant en dernière phase de croissance

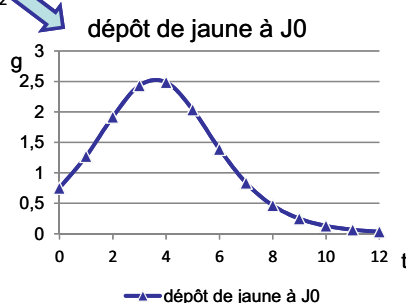
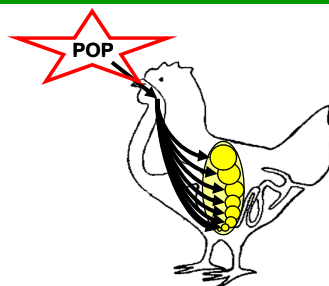


Grappe de jaunes en dernière phase de croissance



Modèle logistique

$$y = \frac{Y_{\max}}{[1 - (\frac{Y_{\max}}{Y_{\min}} - 1)e^{(-kY_{\max}(N-t))}]}$$



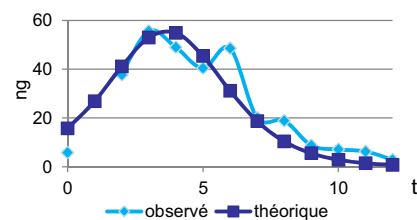
$$K_{\text{pop}} = \frac{\text{qté POP excrété}}{\text{qté jaune déposé}}$$

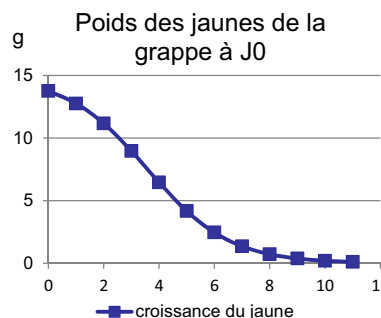
$$\text{POP}_{\text{théo}} = K_{\text{POP}} \times \text{dépôt de jaune}$$

Dérivée :

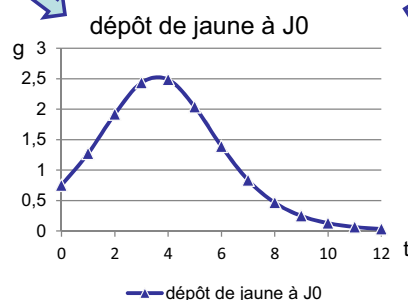
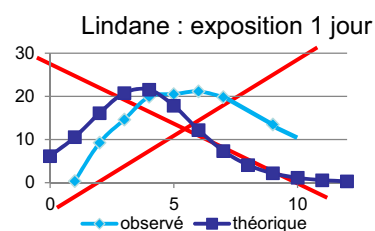
$$\frac{dy}{dt} = k y (Y_{\max} - y)$$

B[a]P : exposition 1 jour

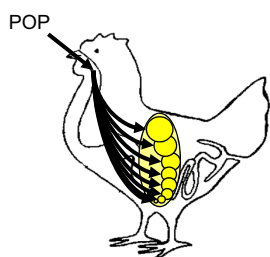




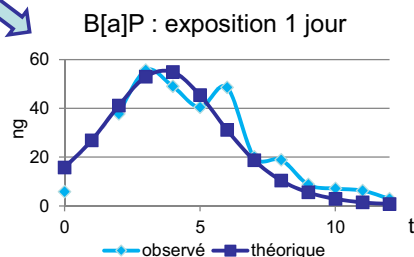
$\frac{1}{2} \text{ vie} > 1 \text{ jour} \Rightarrow$
stockage et relargage
 $\rightarrow$ notion de
bioaccumulation



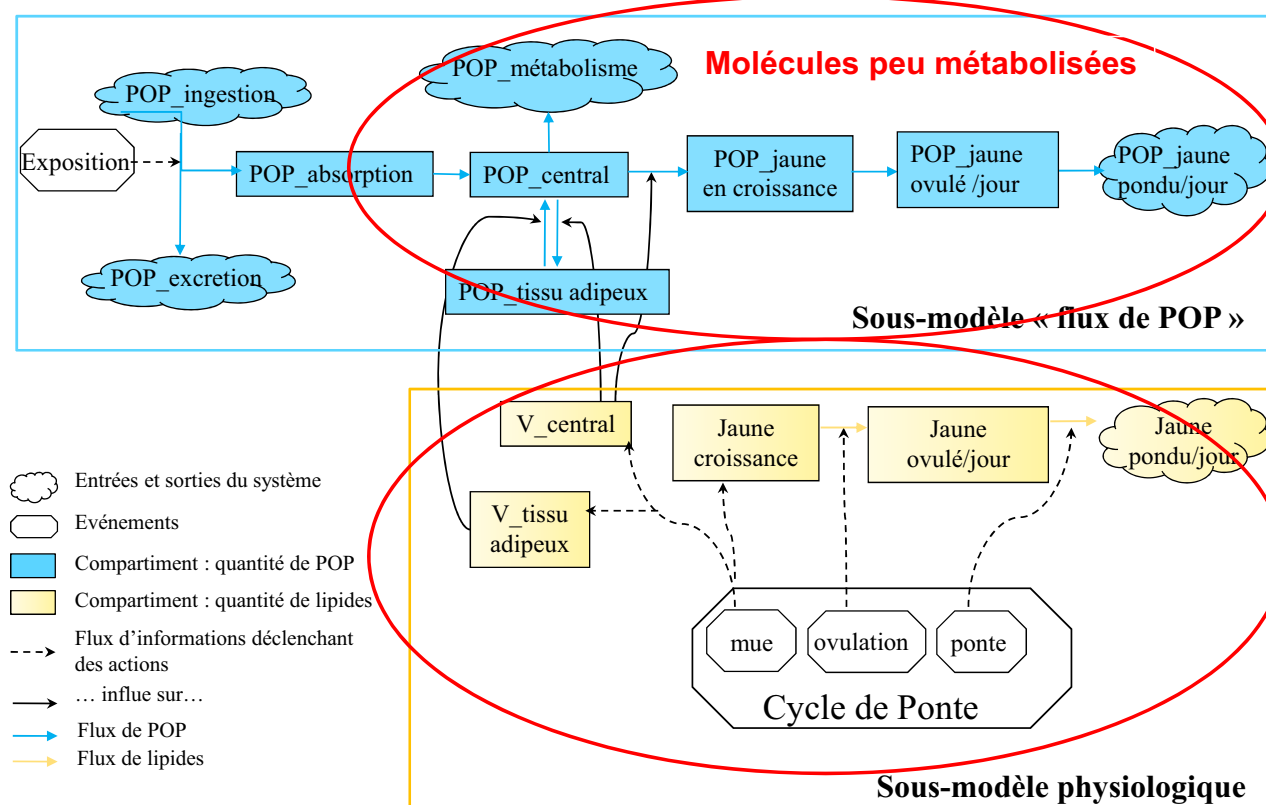
$$POP_{\text{théo}} = K_{POP} \times \text{dépôt de jaune}$$



Modèle valable pour
les molécules à
courte $\frac{1}{2} \text{ vie}$

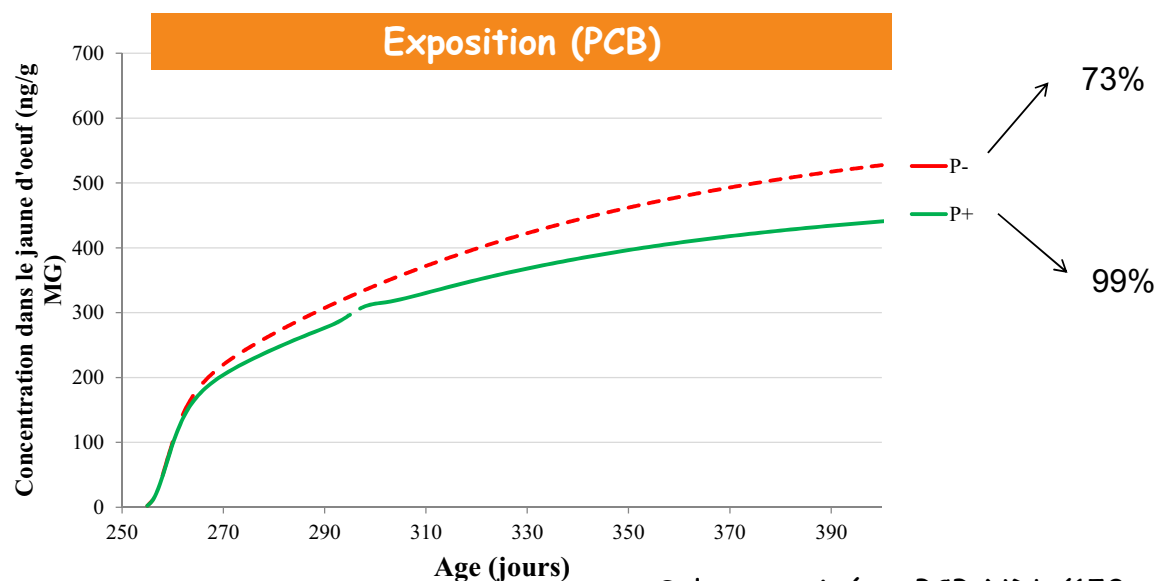


Fournier *et al.*, 2010



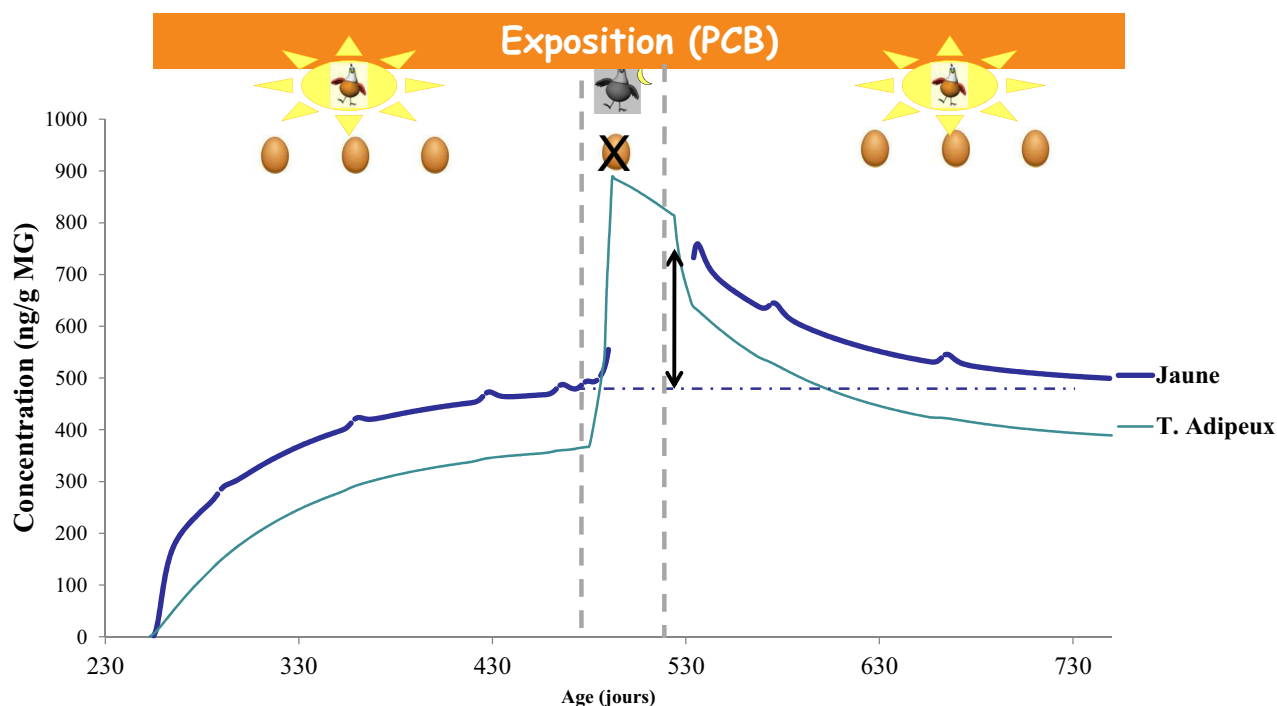
Fournier (2011)

Impact du taux de ponte : sur la cinétique de contamination de l'œuf



- Sol contaminé en PCB-NDL (150 ng.g^{-1})
- ingestion de 10 g de sol / jour
- exposition de 36 à 44^{ème} semaines
- engraissement moyen

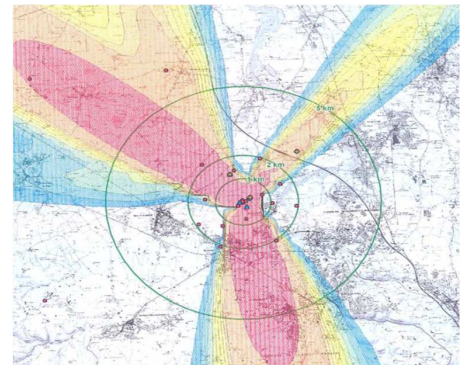
Impact de la mue



- Sol contaminé en PCB-NDL (150 ng.g^{-1}), - ingestion de 10 g de sol / jour, engraissement moyen

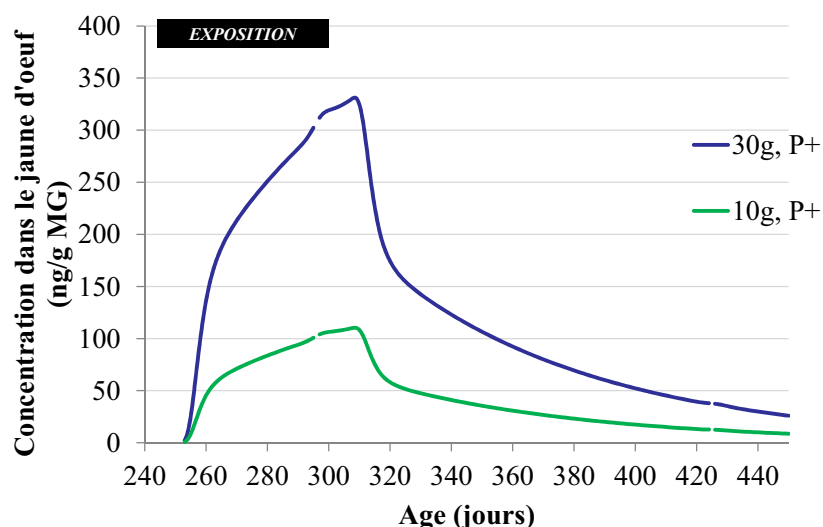
Etude de cas : St Cyprien

- Incendie d'une installation de recyclage de palettes de bois
 - Emission de fumées pendant plusieurs semaines $\Rightarrow$ Contamination des sols agricoles
 - Dioxines, furanes, HAP
 - PCB DL et NDL
- Etude de cas :
 - Elevage sur sol contaminé
 - Temps de décontamination



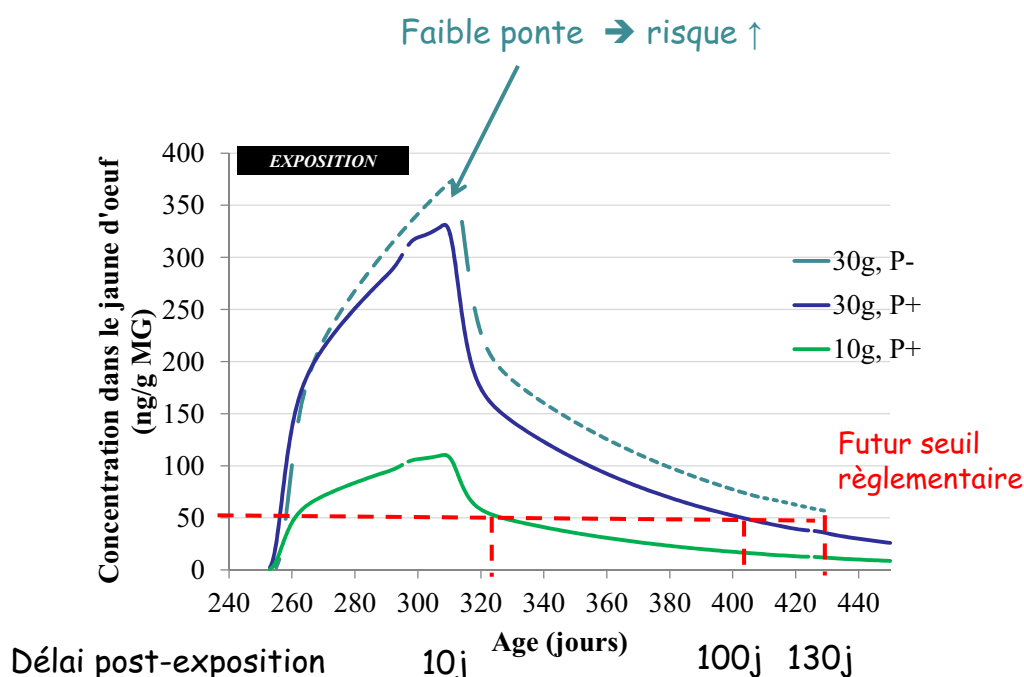
Impact de la quantité de sol ingérée

- sol contaminé en PCB-NDL (150 ng.g^{-1})
- contamination de 36 à 44^{ème} semaines
- bonne performance de ponte, engraissement moyen
 - ingestion de 10 g de sol / jour
 - ingestion de 30 g de sol / jour



Impact des performances de ponte?

Ingestion de sol favorise la détérioration des performances de ponte



Vers un modèle générique

- Toutes matrices possibles
 - Sol, aliment...
 - Travail nécessaire sur l'impact des matrices sur l'accessibilité des POPs
 - Vers un modèle digestif ?
- Tous types de molécules (généricité)
 - Modèle en devenir
 - Transport des POP au sein de l'animal (cinétique/niveau) selon le polluant
 - Transporteurs/affinité selon le polluant

Merci pour votre attention

