

La contamination du Rhône moyen aux PCB : voies de contamination et facteurs de contrôle

Christelle Lopes
Cemagref de Lyon
Laboratoire d'Ecotoxicologie



<https://tsip-pcb.cemagref.fr/>

Équipes du projet

M. Desmet, G. Roux – ENTPE L.S.E. (* actuellement Université de Tours)*

M. Babut, C. Miège, M-C. Roger, A. Roy, C. Lopes, B. Motte - CEMAGREF

H. Persat – CNRS, LEHF UMR 5023, Université Lyon 1

P. Bonté, I. Schmitt – CNRS-CEA LSCE, Gif sur Yvette

B. Mahler, P. Van Metre - USGS, Austin

Collaboration : **M.E. Perga**, INRA UMR CARRTEL, Thonon les Bains

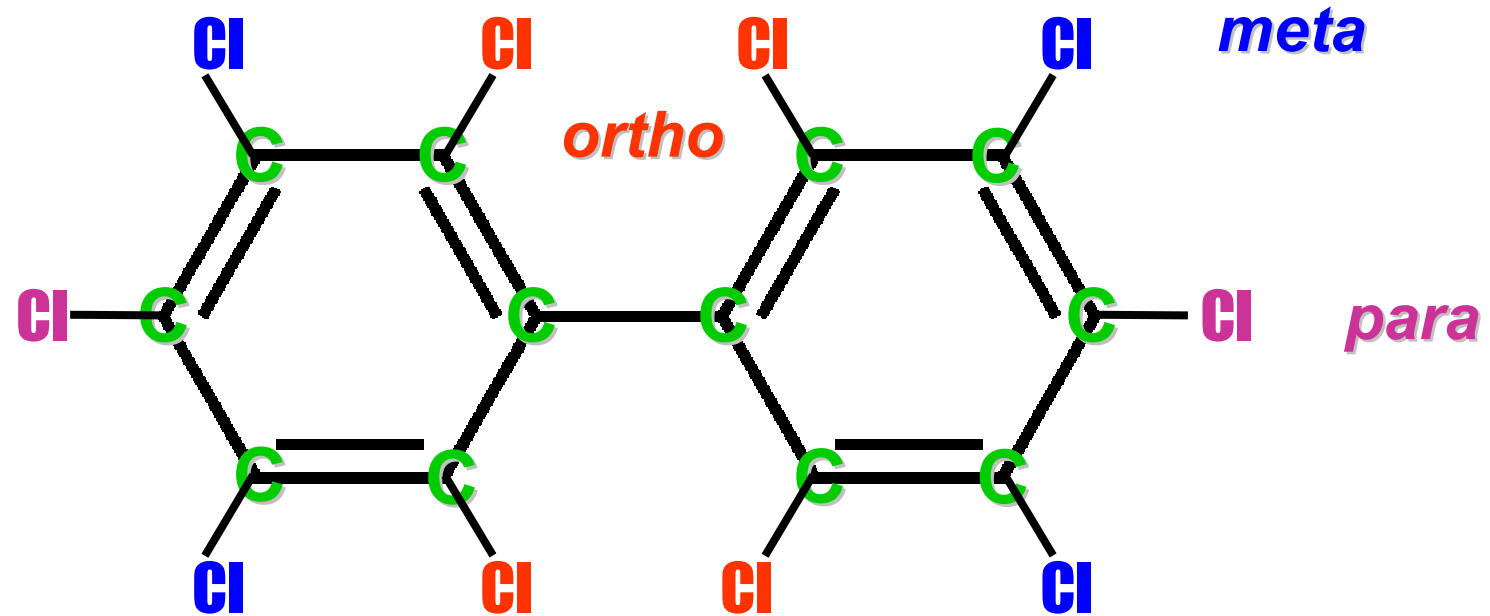


ZABR

ZONE ATELIER BASSIN DU RHONE
RHONE BASIN LONG TERM ENVIRONMENTAL RESEARCH

Séminaire TSIP, 06 janvier 2011

La chimie des PCB



209 combinaisons possibles = 209 congénères

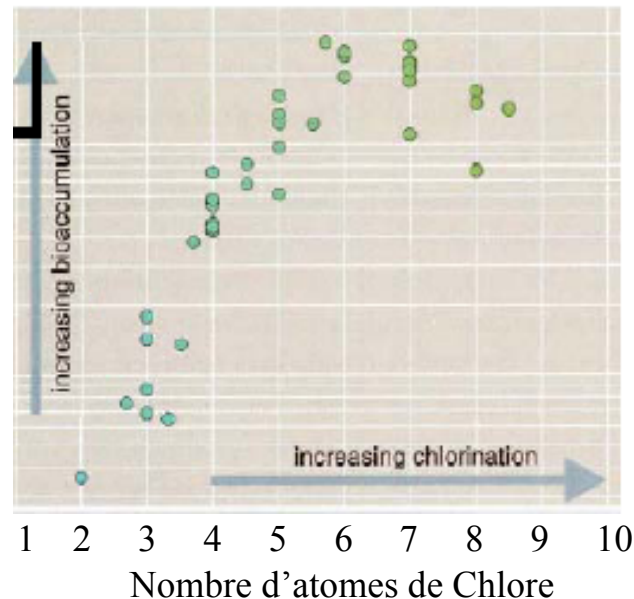
↪ 7 congénères indicateurs (PCBi) très fréquents, persistants dans les chaînes alimentaires et aux propriétés toxicologiques importantes : #28 (3), #52 (4), #101 (5), **#118** (5), #138 (6), #153 (6) et #180 (7)

↪ 12 congénères coplanaires, plus toxiques, d'effet similaire à la dioxine (PCB-DL) : #77 (4), #81 (4), #105 (5), #114 (5), **#118** (5), #123 (5), #126 (5), #156 (6), #157 (6), #167 (6), #169 (6) et #189 (7)



Propriétés physico-chimiques des PCB

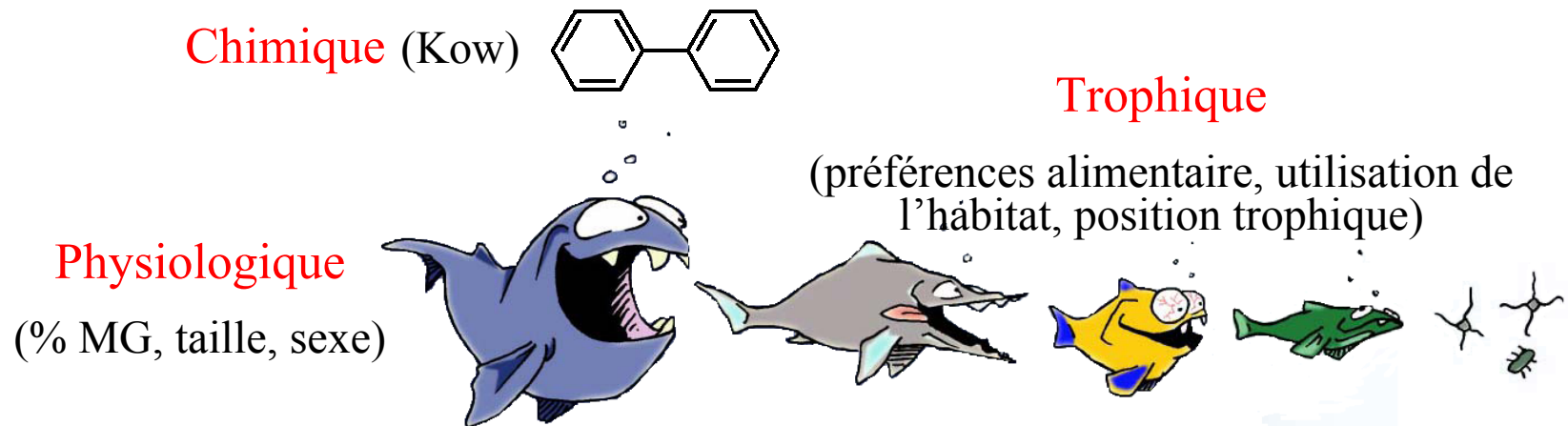
- Très persistants dans l'environnement (peu biodégradable), bioaccumulables, peu solubles dans l'eau et semi-volatils
- PCB comptant 5 à 7 atomes de chlore sont les plus susceptibles de se bioaccumuler dans la chaîne trophique



- Contamination des poissons par voie respiratoire mais essentiellement par voie trophique

Facteurs de contamination des poissons aux PCBs

- Nature des principaux facteurs connus :



- Facteurs susceptibles d'influencer la variabilité inter- et intra-spécifique en concentrations de PCB
- Généralement étudiés indépendamment, alors qu'il semble essentiel de comprendre leur contribution relative



Important de comprendre les facteurs principaux influençant la bioaccumulation des PCB dans les poissons pour prédire et évaluer les risques pour les consommateurs de niveaux trophiques supérieurs



Objectifs du projet TSIP

➤ Déterminer si les teneurs actuelles sont dues à une contamination « récente » ou à un héritage ancien

↪ Analyse géographique et chronologique des sédiments

➤ Identifier, pour des espèces « clés » de poissons, les voies de contamination prédominantes (chaînes trophiques) et les facteurs de contrôle (âge, sexe...)

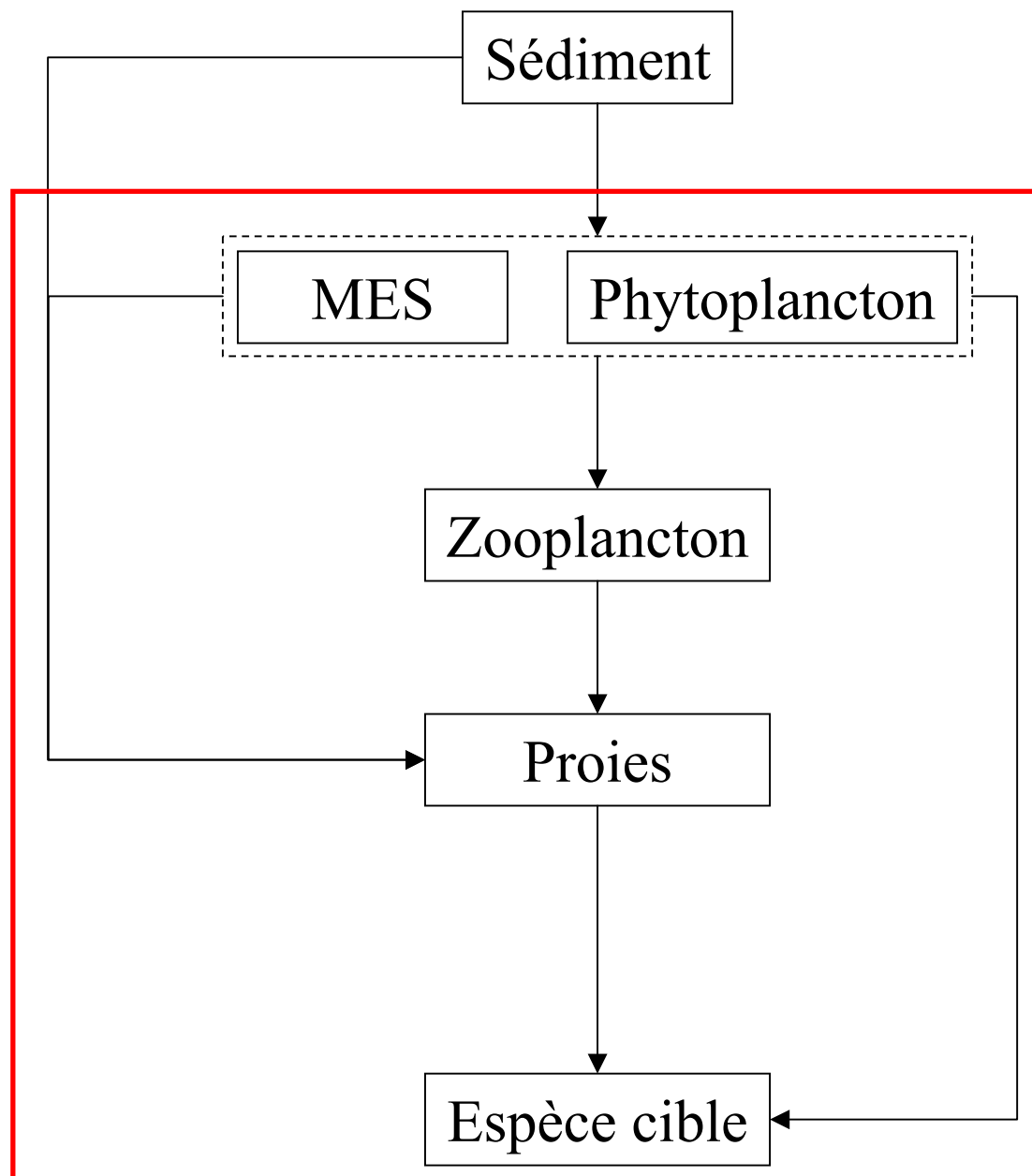
➤ Décrire le transfert des PCB le long du réseau trophique de ces poissons (modèle trophique)



Déterminer un niveau de PCB dans les sédiments compatible avec le niveau réglementaire : $TEQ_{tot} < 8 \text{ pg/g poids frais}$ (153 ng de PCB_i / g poids frais)



Objectifs du projet TSIP



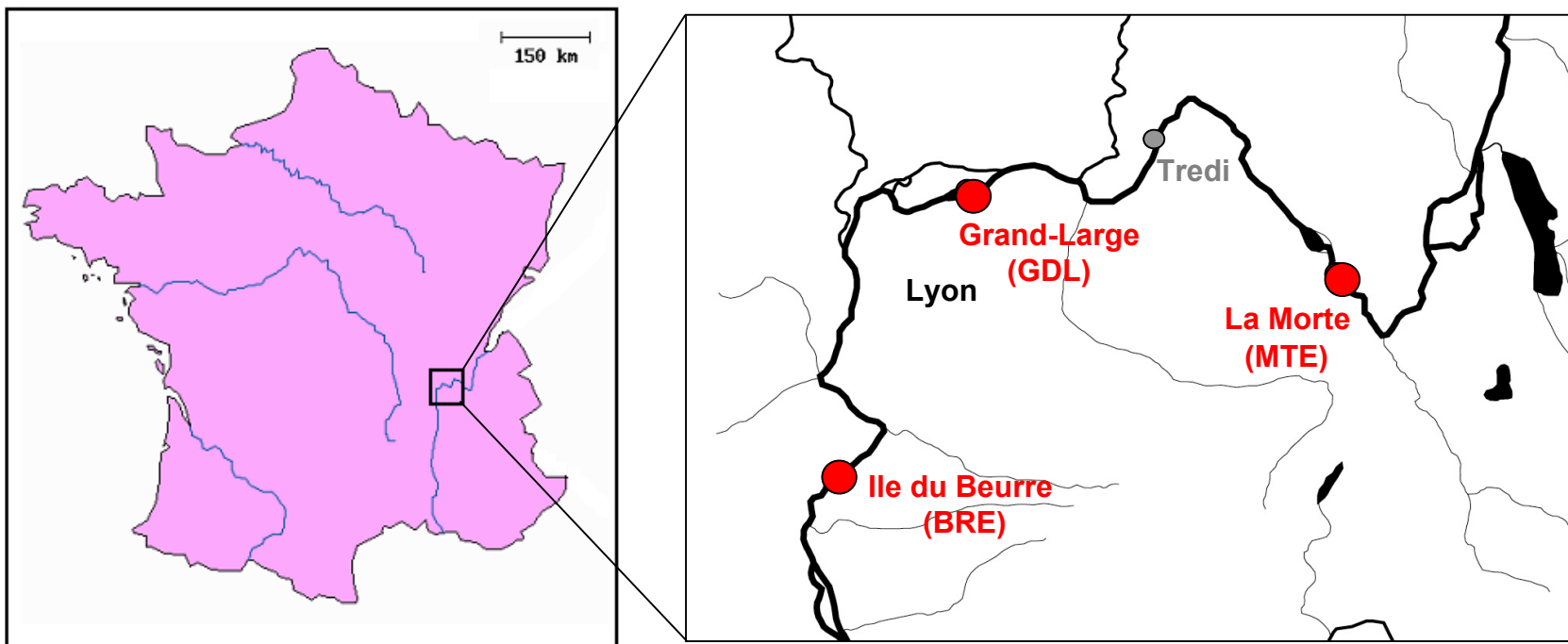
PCB ?



Données



Sites d'étude





Espèces de poissons sélectionnées

3 grands cyprinidés, suffisamment communs pour être présents dans tous les sites et susceptibles d'accumuler les PCB :

- **Brème commune** (*Abramis brama*)
Limnophile, invertivore, benthophage
Aspire la vase et tamise avec filtre branchial



- **Chevaine** (*Squalius cephalus*)
Ubiquiste, Omnivore, Opportuniste
Régime varié selon lieux, saisons, individus



- **Barbeau fluviatile** (*Barbus barbus*)
Rhéophile, invertivore, benthophage
Fouille les galets et graviers





Données disponibles et Analyses effectuées

➤ Pêches (août 2008 à janvier 2009)

Sites	Brème commune (BRE)	Chevaine (CHE)	Barbeau fluviatile (BAF)
La Morte (MTE)	7 (3♀ + 4♂)	20 (13♀ + 7♂)	11 (11♀ + 0♂)
Grand-Large (GDL)	15 (9♀ + 6♂)	15 (6♀ + 9♂)	15 (8♀ + 7♂)
Île du Beurre (BRE)	17 (10♀ + 7♂)	17 (12♀ + 5♂)	5 (3♀ + 2♂)

➤ Analyses effectuées

- Taille, poids, sexe
- Age (scalimétrie)
- Isotopes stables C (préférences alimentaires) et N (position trophique)
- PCB_i (7 congénères) → PCB-DL (12 congénères) (Babut et al., 2009)
- Taux de lipides
- Contenus stomacaux



Espèces d'invertébrés sélectionnées

Invertébrés présents en quantité dans les contenus stomacaux des poissons choisis :

- **Larves de Chironomes (diptères)**
Microphages détritivores
- **Gammares (crustacés)**
Genre *Gammarus* : omnivore détritivore
Genre *Dikérogammarus* : prédateur omnivore
- **Larves d'Ephémères**
Râcleur de périphyton, microphytophage
- **Corbicules et *Pisidium***
Mollusques bivalves filtreurs
 - ***Corbicula***: grosses uniquement (> 2cm), se nourrit profondément dans le sédiment
→ source de carbone détritique
 - ***Pisidium***: se nourrit à la surface du sédiment
→ source de carbone plus autochtone





Données disponibles et Analyses effectuées

➤ Prélèvements

Sites	Chironomes	Gammarès	Éphéméroptères	<i>Corbicula</i>	<i>Pisidium</i>
MTE	25	260	94	15	140
GDL	200	170	21	13	160
BRE	400	130	–	24	130

➤ Analyses effectuées

- Poids, nombre d'animaux
- Isotopes stables C et N
- PCBi (7 congénères) + PCB-DL (12 congénères) (sauf Corbicules)
- Taux de lipides

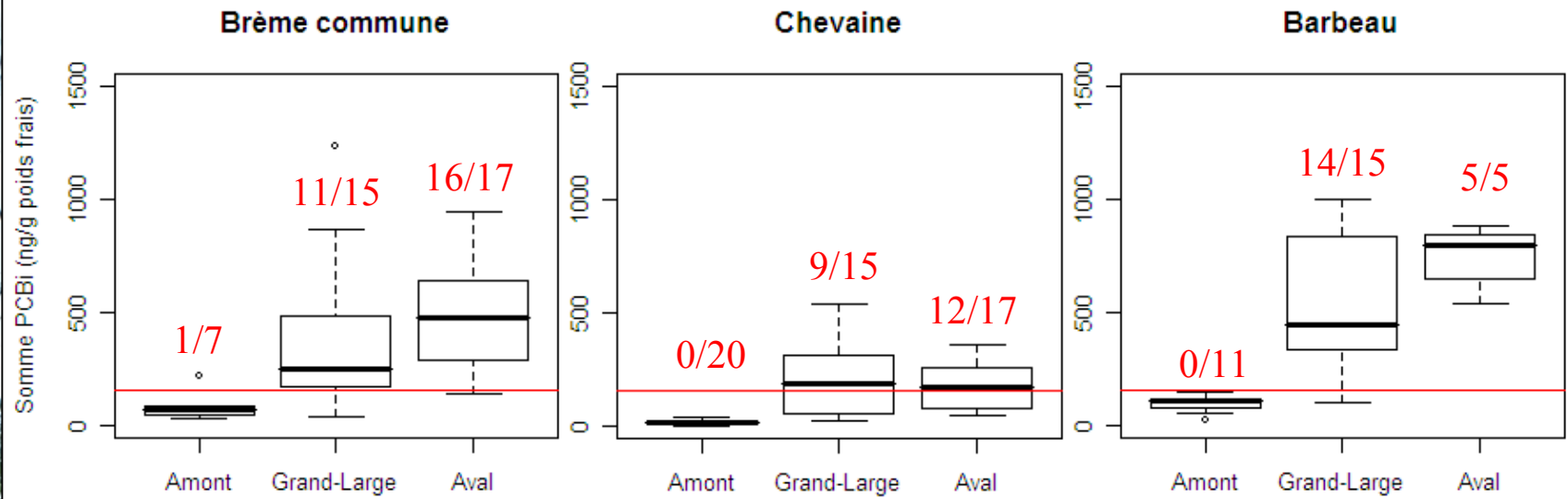
➤ Inventaire faunistique : substrats artificiels



Étude de la contamination



Contamination globale des poissons par site



Contamination < niveau réglementaire à La Morte, forte contamination au Grand-Large et à l'aval (niveaux = 2005)

Différence entre espèces : chevaîne < brème < barbeau

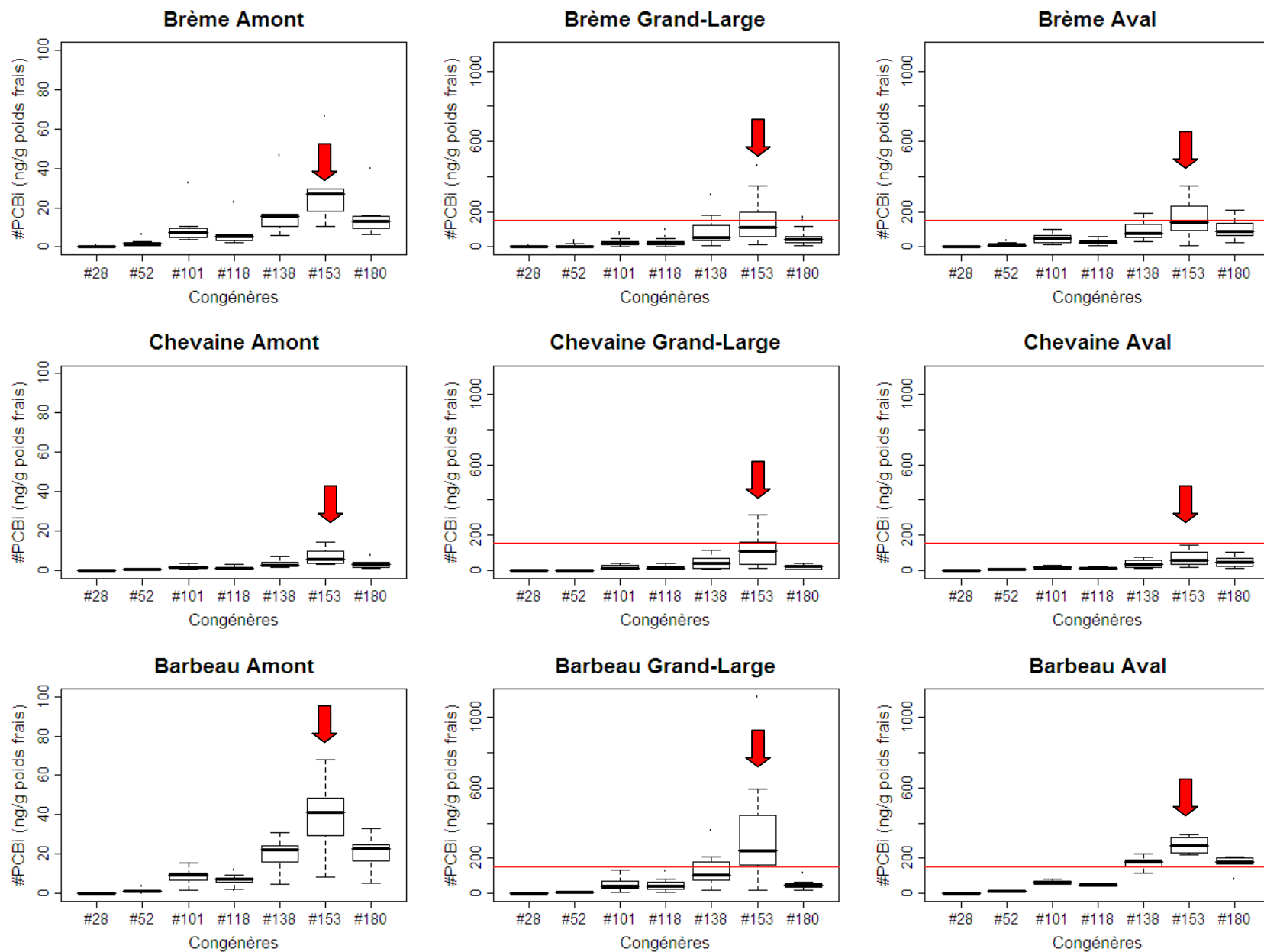
Pas de différence de contamination mâles / femelles

Lien variabilité de contamination / habitat ?

Jonage et Aval : forte variabilité → poissons ayant vécu dans des environnements assez contrastés ?

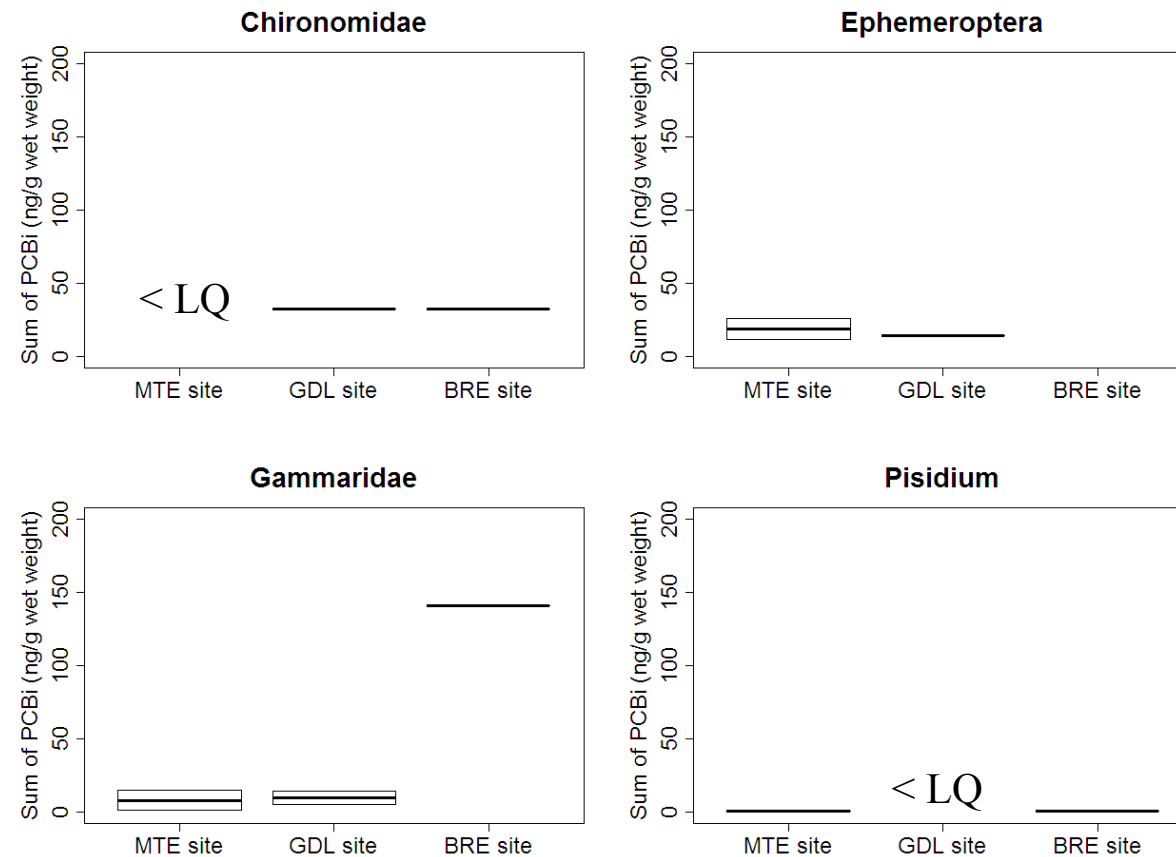


Distribution des PCBi (Poissons)



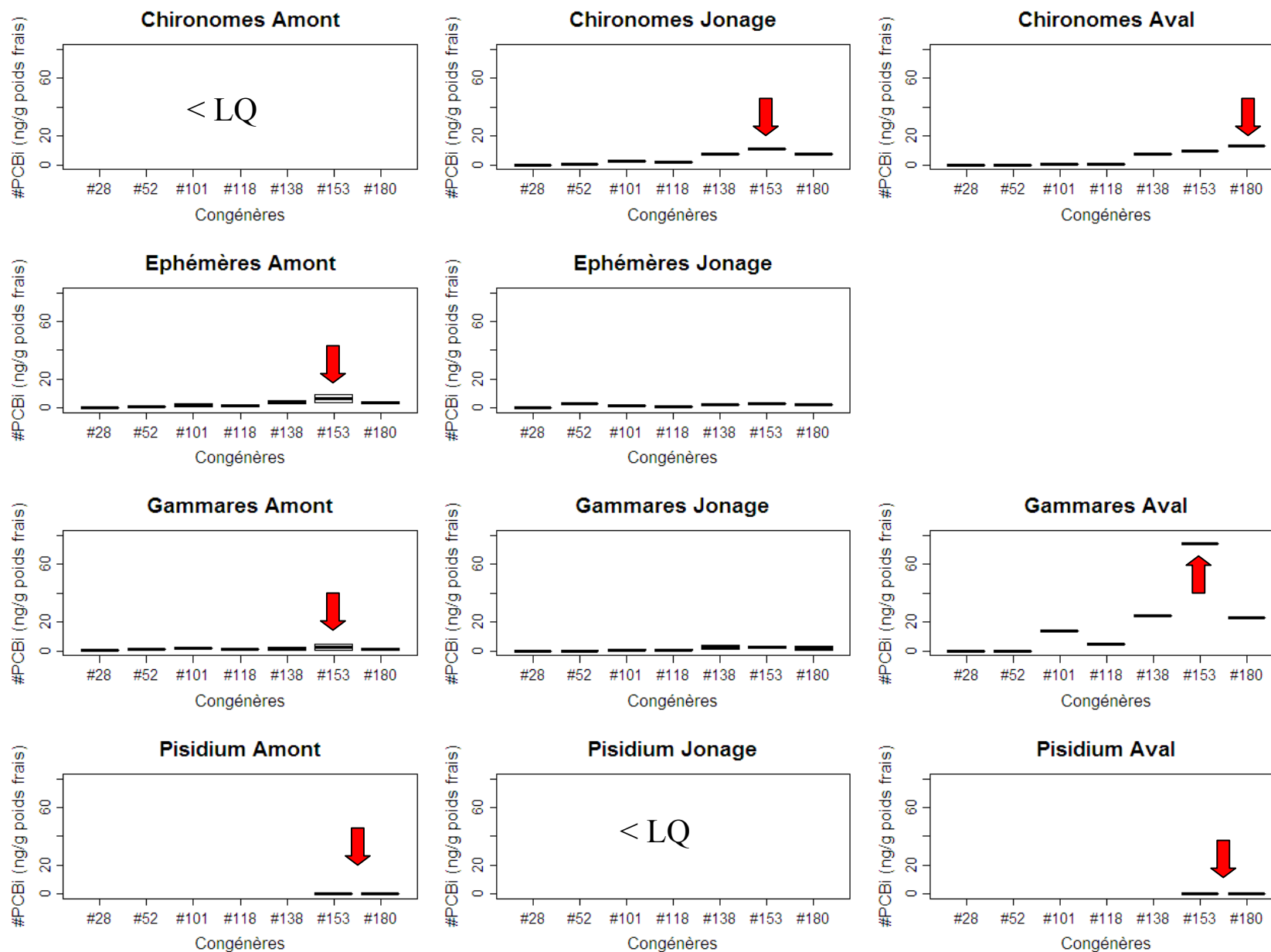


Contamination globale des invertébrés par site



- Beaucoup moins contaminés que les poissons
- Différences de contamination inter-sites et inter-espèces : larves d'éphémères très faiblement contaminé, chironomes moyennement contaminés et gammares très contaminés à l'aval (*Dikerogammarus*)

Distribution des PCBi (Invertébrés)



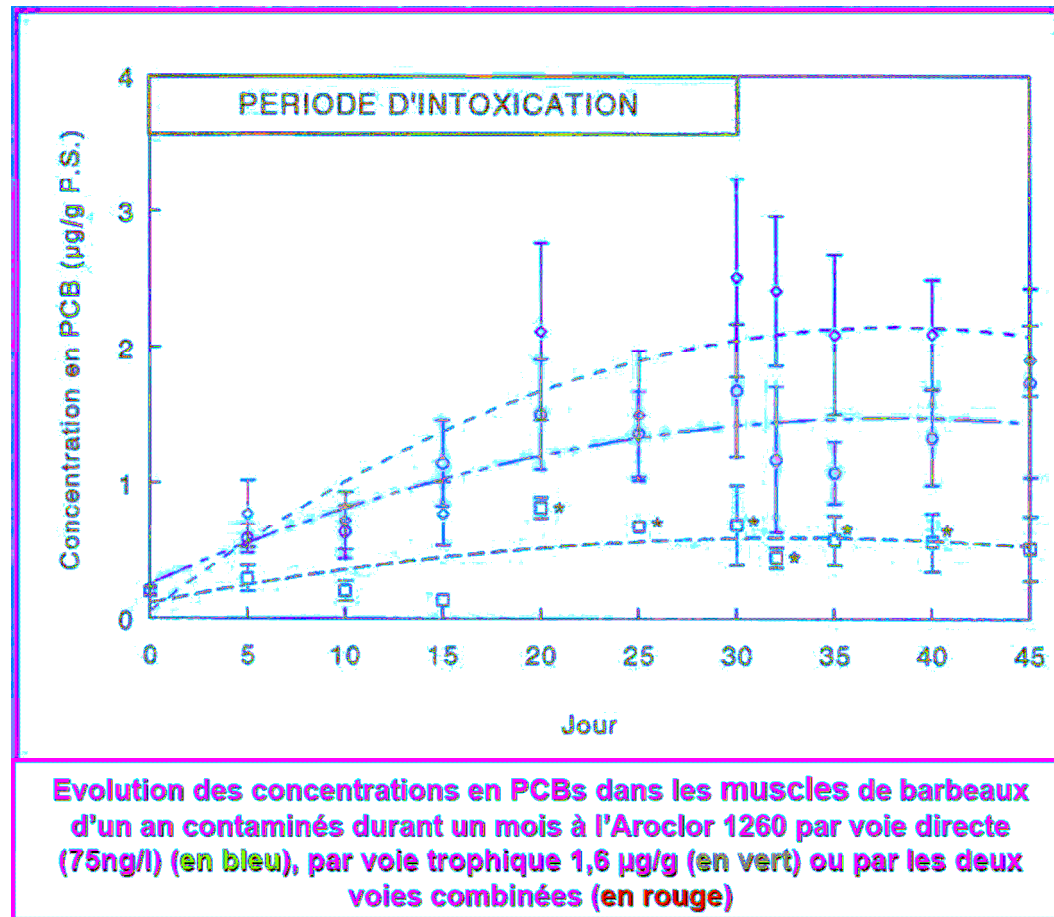


Voies de contamination



Généralités

- Contamination par voie respiratoire mais essentiellement par voie trophique



Thome et Leroy, 2007



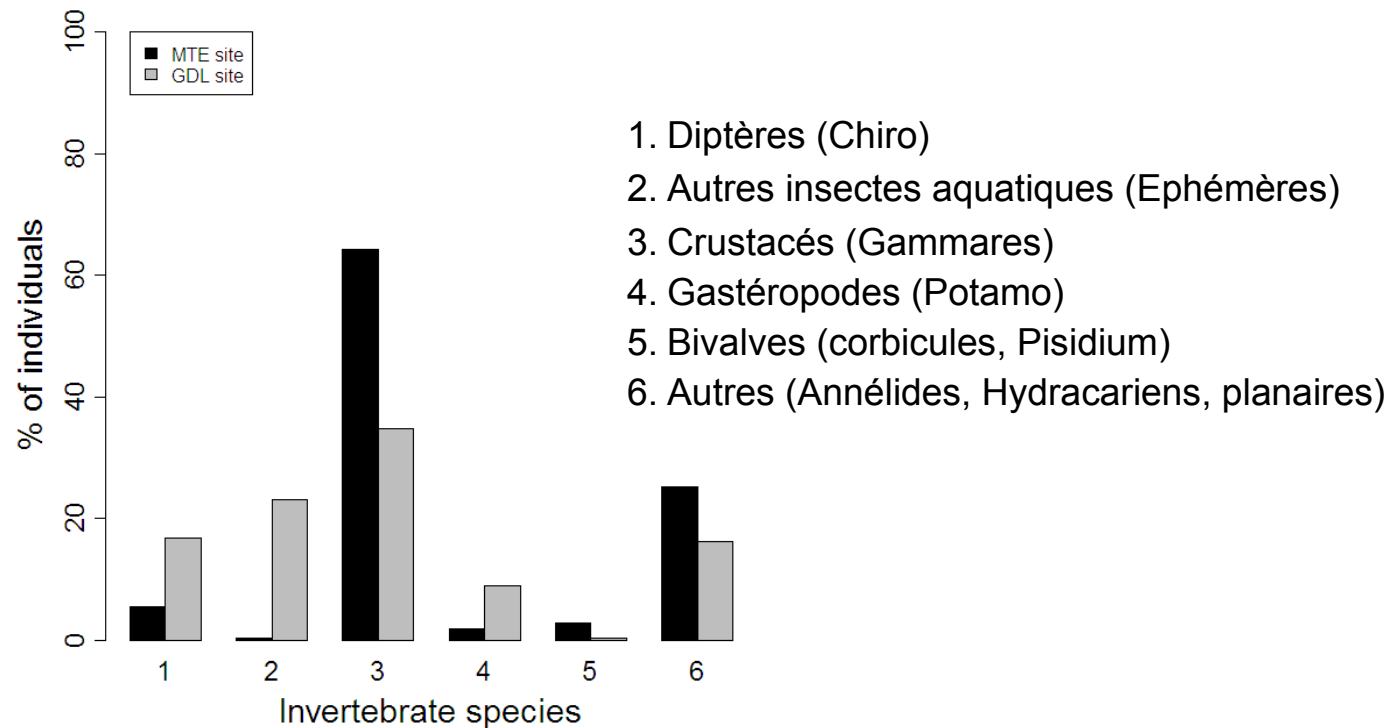
Généralités

- Contamination par voie respiratoire mais essentiellement par voie trophique
- Étude du régime alimentaire des espèces sélectionnées :
 - ✓ Analyse des contenus stomacaux et lien avec les inventaires faunistiques : aperçu ponctuel
 - ✓ Analyse des isotopes stables : vision à long terme



Inventaire faunistique

- Principe : substrats artificiels posés sur chaque site pendant une semaine pour répertorier et quantifier la faune présente (problème avec le substrat en Aval)
- Recensement, classement taxonomique et regroupement



Faune plus diversifiée au Grand-Large → Disponibilité + forte



Contenus stomacaux

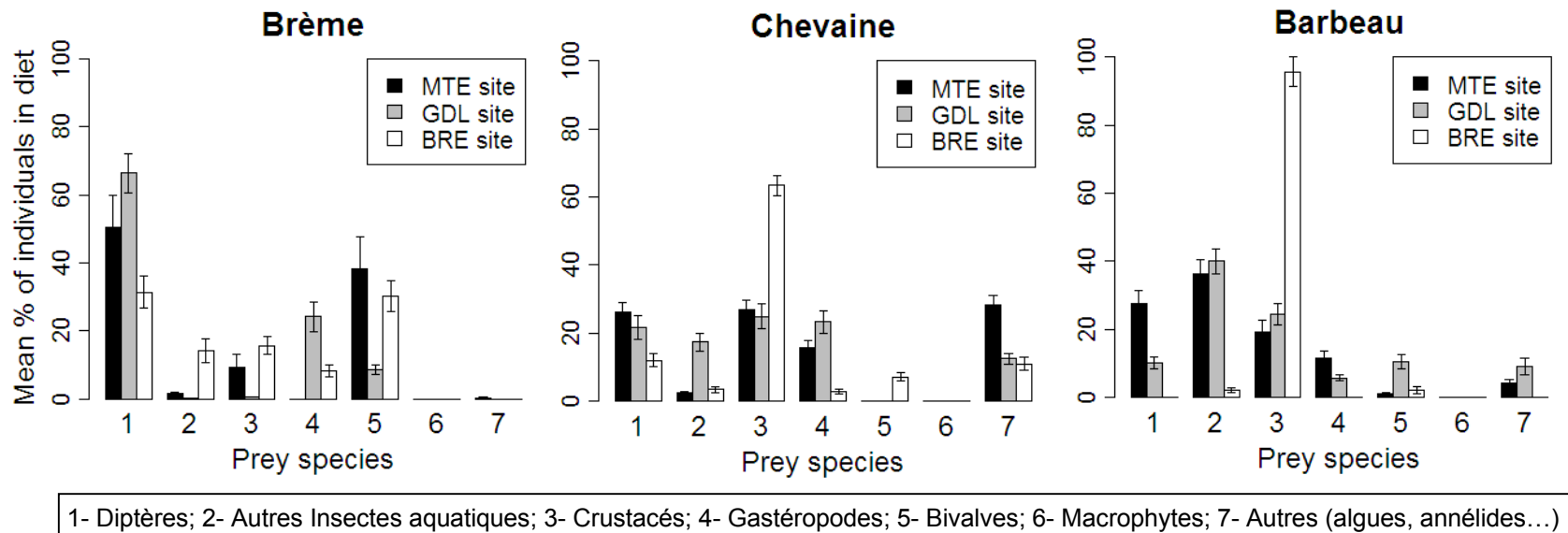
- Aperçu ponctuel du bol alimentaire
- Recensement des proies ingérées, classement taxonomique et regroupement





Contenus stomacaux

➤ Analyse quantitative (nombre d'individus)



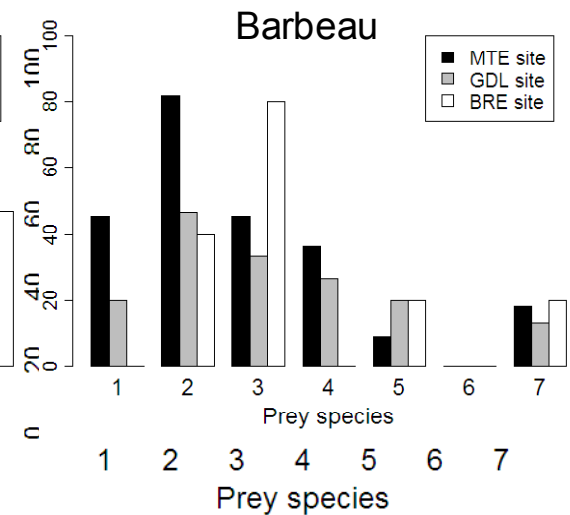
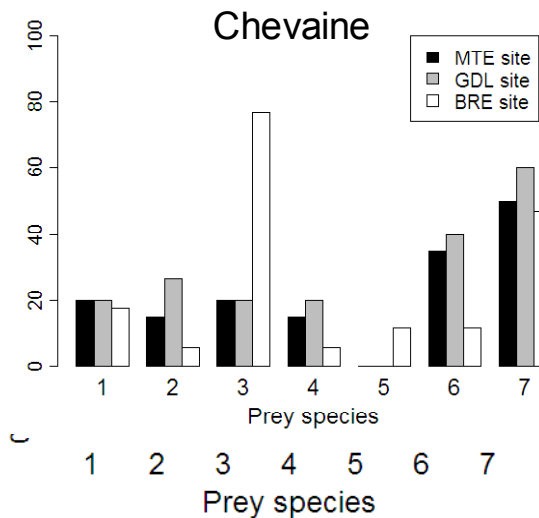
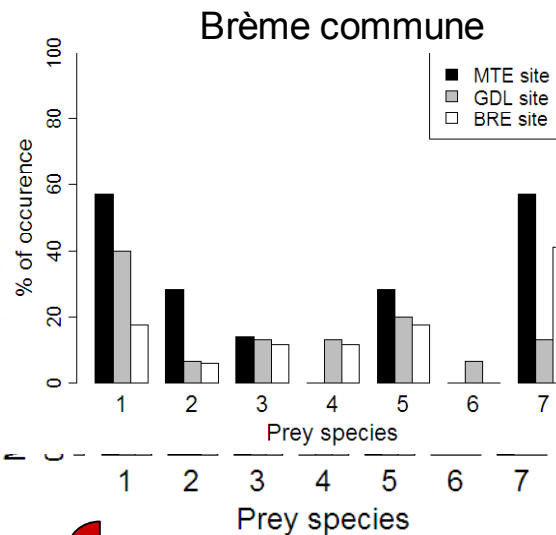
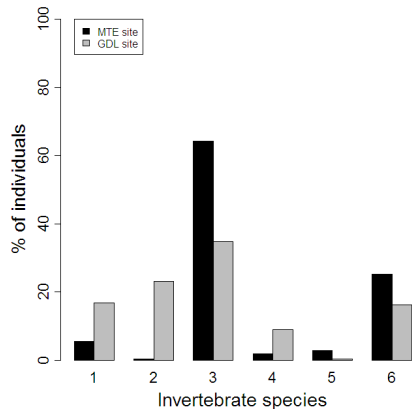
- ↪ Globalement, faible variabilité individuelle (cf adultes seulement)
- ↪ Préférences alimentaires différentes entre espèces et entre sites
- ↪ Régime alimentaire du chevaine et du barbeau plus varié (espèces opportunistes)
- ↪ Pas d'effet sexe ni taille sur le régime alimentaire



Régime alimentaire : choisi ou subi ?

➤ Faune plus diversifiée au Grand-Large mais :

- ✓ pas d'occurrences plus fortes (sauf chevaine, opportuniste)
- ✓ pas moins de variabilités individuelles
- ✓ pas de différence de profil alimentaire



Pas de relation entre disponibilité des proies et régime alimentaire de chaque espèce sur chaque site → Régime alimentaire choisi sur chaque site



Analyse en isotopes stables

- Relier la concentration en PCB à la position trophique (à partir des valeurs de $\delta^{15}N$) et aux sources de carbone (benthique, pélagique, terrestre) à la base du réseau trophique (à partir des valeurs de $\delta^{13}C$)
- Jusqu'à présent, position trophique estimée de manière déterministe (Post, 2002) :

$$TP_p = \lambda + \frac{\delta^{15}N_p - (\alpha \delta^{15}N_{b1} + (1 - \alpha) \delta^{15}N_{b2})}{\Delta N} \quad \text{avec } \alpha = \frac{\delta^{13}C_p - \delta^{13}C_{b2}}{\delta^{13}C_{b1} - \delta^{13}C_{b2}}$$

λ : Position trophique des lignes de base

α : Contribution de la base 1 à la signature isotopique du prédateur

$\delta^{15}N_{bi}$ et $\delta^{13}C_{bi}$: valeur du $\delta^{15}N$ et $\delta^{13}C$ pour la ligne de base i

ΔN : fractionnement isotopique de $N \approx 3.4$ ‰ (moyenne)

- Utilisation de l'inférence bayésienne, considérant la variabilité des données et l'incertitude sur les paramètres (informations *a priori*)

Inférence bayésienne

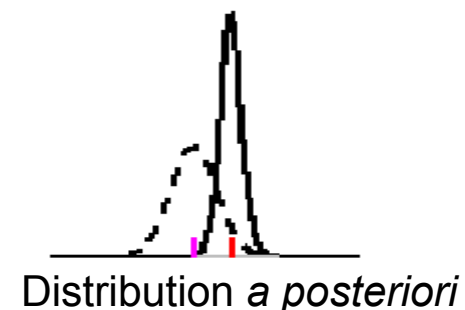
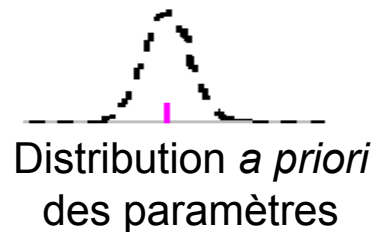
- Principe : à partir des données D , inférence sur la valeur des paramètres θ
 - ➡ $P(\theta/D)$: probabilité d'obtenir les paramètres sachant les données
- Formule de Bayes

Distribution *a priori*
sur les paramètres

Probabilité des Données sachant les
paramètres = Vraisemblance

$$P(\theta / D) \propto P(\theta)P(D / \theta)$$

Distribution *a posteriori*
des paramètres

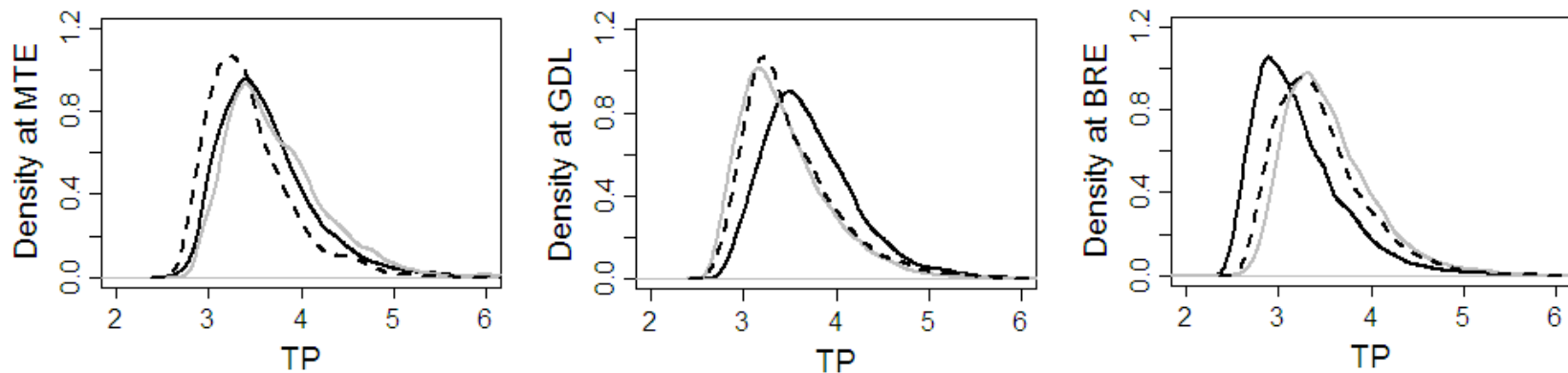


Application au calcul de la position trophique

$$\underbrace{\delta^{15}N_p}_{\text{Données}} = \underbrace{\Delta N * TP_p - \Delta N * \lambda}_{\text{Paramètres à estimer}} + \underbrace{\alpha \delta^{15}N_{b1} + (1-\alpha)\delta^{15}N_{b2}}_{\text{Données}}$$

➤ Informations *a priori* : $\delta^{15}N_p \sim N(\overline{\delta^{15}N_p}, \sigma_N)$ $\delta^{13}C_p \sim N(\overline{\delta^{13}C_p}, \sigma_C)$

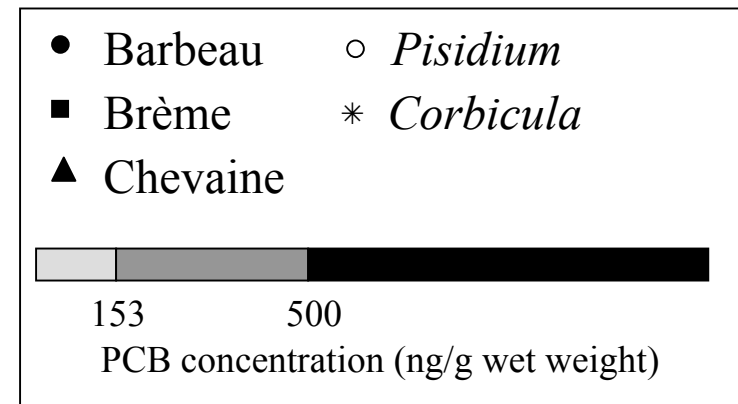
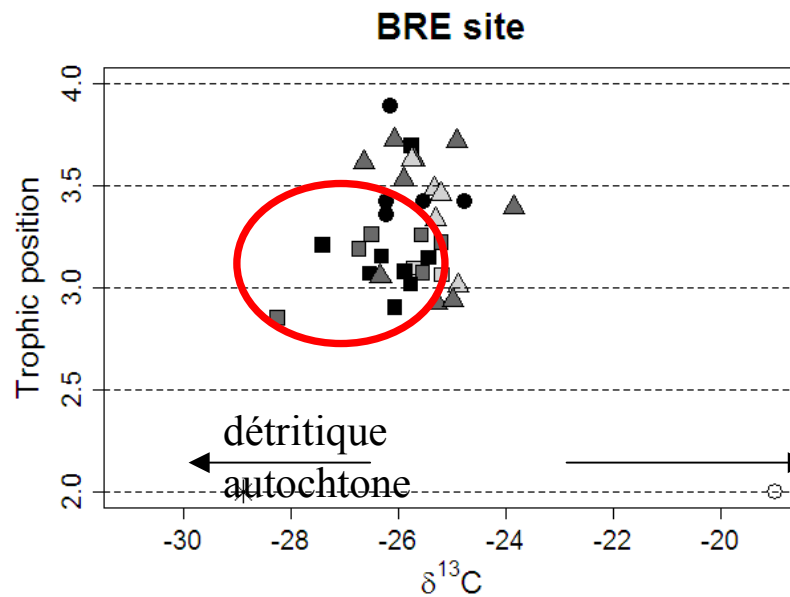
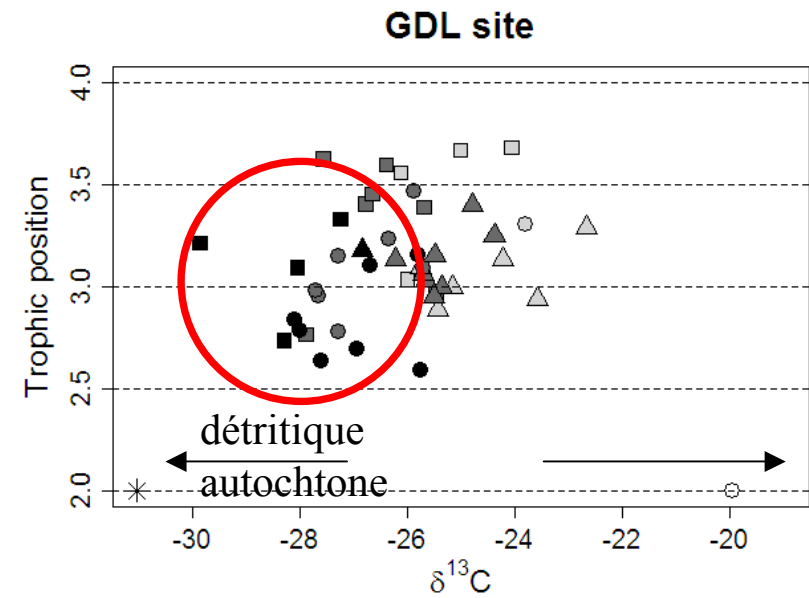
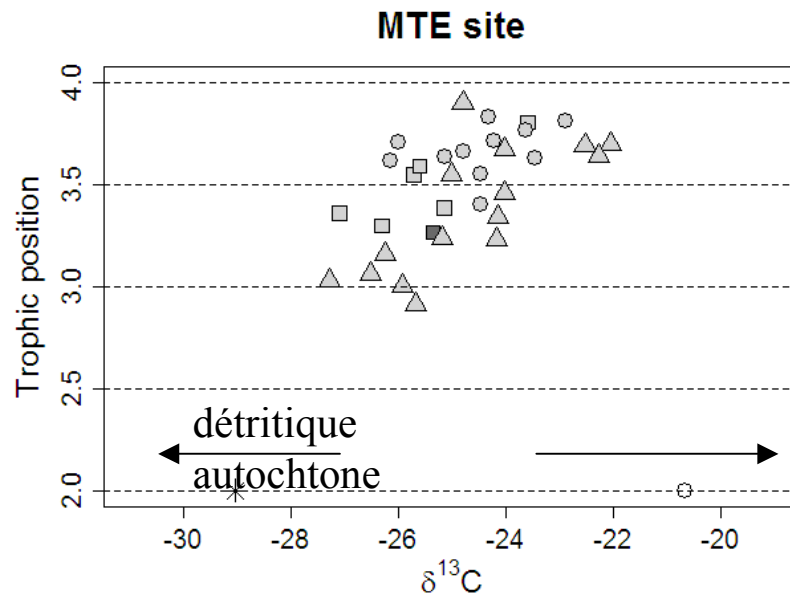
$$\Delta N \sim N(3.14, 1.5) \quad TP \sim U(2, 5)$$



— Brème — Barbeau
- - Chevaine



Résultats





Stable Isotope Mixing Models

➤ Objectifs :

- ✓ déterminer la composition du régime alimentaire des poissons



Difficilement comparable aux contenus stomacaux

- ✓ déterminer la contribution de chaque source de carbone à la signature isotopique de chaque espèce → variabilité inter-spécifique d'exploitation de l'habitat

- ✓ déterminer la contribution de chaque source de carbone à la signature isotopique de chaque individu → variabilité intra-spécifique d'exploitation de l'habitat



Stable Isotope Mixing Models

- Objectif : déterminer les types d'habitats exploités par chaque espèce
- Données : 2 origines de carbones possibles (détritique / autochtone) et 2 isotopes lourds (C et N)

$$\begin{cases} \delta^{13}\text{C}_E = F_d * \delta^{13}\text{C}_d + F_a * \delta^{13}\text{C}_a \\ \delta^{15}\text{N}_E = F_d * \delta^{15}\text{N}_d + F_a * \delta^{15}\text{N}_a \\ F_d + F_a = 1 \end{cases}$$

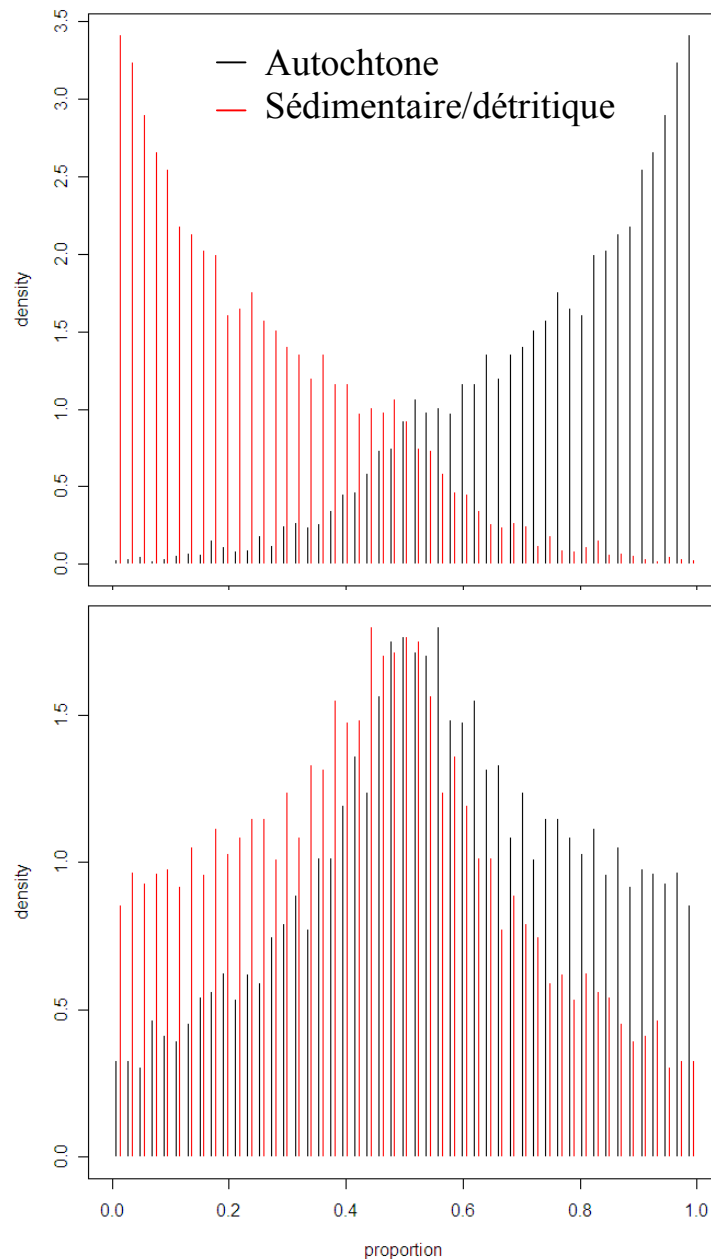
F_d : contribution du carbone d'origine détritique (*Corbicula*)

F_a : contribution du carbone d'origine autochtone (*Pisidium*)

- But : trouver la combinaison des différentes contributions qui colle le mieux aux données → Inférence bayésienne.
- Package SIAR dans 
- Application pour chaque espèce sur chaque site



Résultats : 2 profils différents



Réseaux trophiques portés majoritairement par du Carbone d'origine autochtone :



Au Grand-Large pour les 3 espèces (forte disponibilité des proies)



Pour chevaine sur les 3 sites (espèce opportuniste et - contaminé)



Réseaux trophiques portés par les 2 sources de carbone : exploitation des 2 types d'habitat par la brème et le barbeau à l'Amont et l'Aval



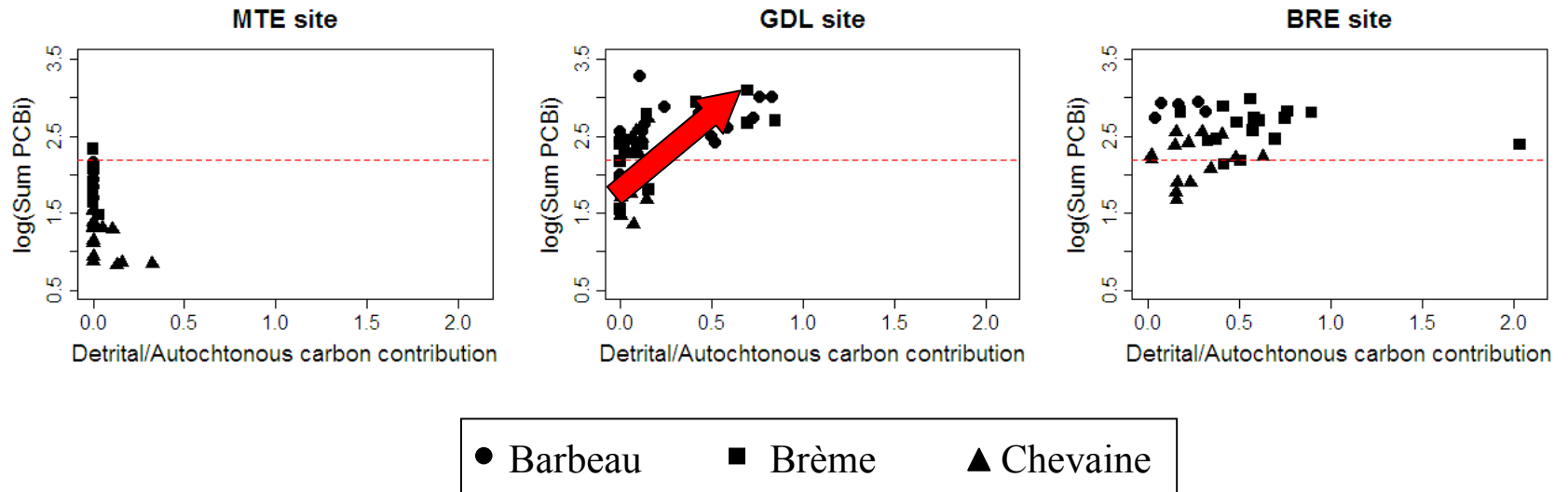
Stable Isotope Mixing Models

- Objectif : déterminer les types d'habitats exploités par chaque individu
- Données : 2 origines de carbones possibles (détritique / autochtone) et 2 isotopes lourds (C et N)

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta^{13}C_p = F_d * \delta^{13}C_d + F_a * \delta^{13}C_a \\ \delta^{15}N_p = F_d * \delta^{15}N_d + F_a * \delta^{15}N_a \\ F_d + F_a = 1 \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} F_d = \frac{\delta^{13}C_p + \delta^{15}N_p - \delta^{13}C_a - \delta^{15}N_a}{\delta^{13}C_d + \delta^{15}N_d - \delta^{13}C_a - \delta^{15}N_a} \\ F_a = \frac{\delta^{13}C_d + \delta^{15}N_d - \delta^{13}C_p - \delta^{15}N_p}{\delta^{13}C_d + \delta^{15}N_d - \delta^{13}C_a - \delta^{15}N_a} \end{array} \right.$$



Liens habitats exploités / contamination



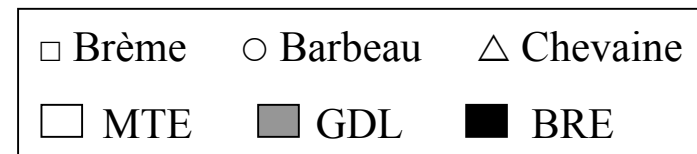
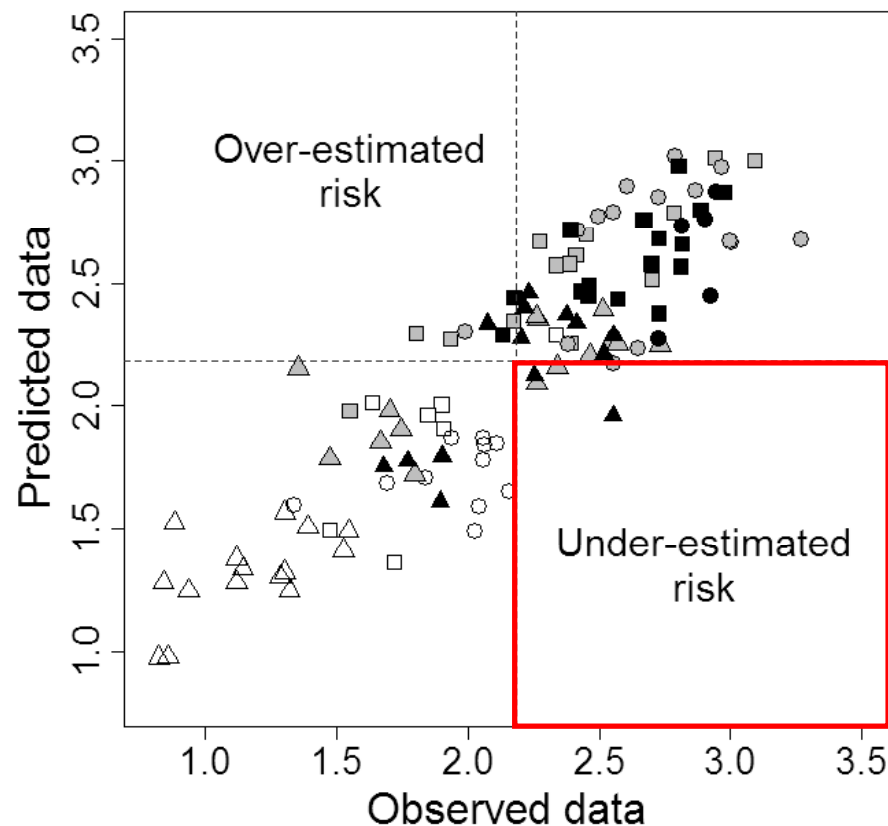
Contamination aux PCBs augmente avec l'exploitation du carbone détritique → importance du sédiment dans processus de bioaccumulation des PCB le long du réseau trophique



Modèle explicatif

➤ Régression pas à pas descendante sur un modèle log-linéaire pour expliquer le niveau de contamination selon : taille, poids, âge, TP, % de carbone détritique, % MG, sexe et site (concentration max dans les sédiments à laquelle les poissons ont été exposés)

↪ **78% de la variabilité totale expliquée par seulement 3 variables : taille, % de carbone détritique et concentration dans le sédiment**



Efficace dans une perspective d'évaluation du risque pour la consommation des poissons mais difficile à utiliser par les décideurs



Conclusions

- Identifier les voies de contamination aux PCBs en distinguant les facteurs physiologiques et trophiques pour expliquer la variabilité intra- et inter-spécifique de contamination
- Forte variabilité intra-spécifique de signatures isotopiques et des niveaux de contamination, mais contenus stomacaux similaires (adultes uniquement)
- Isotope Mixing models :
 - ↪ Chevaine exploite préférentiellement du Carbone d'origine autochtone, $\forall$ site $\rightarrow$ espèce opportuniste
 - ↪ Brème et barbeau plus opportunistes à GDL, où disponibilité des proies plus forte
 - ↪ Contamination augmente avec exploitation du Carbone détritique $\rightarrow$ Rôle central du sédiment dans processus de contamination
- ↪ Ce qui est le plus important n'est pas uniquement ce que les poissons mangent, mais aussi où ils se nourrissent.



Île du Beurre



Merci



La Morte

