



Appui scientifique et technique

Etablir, sur la base de critères scientifiques et techniques objectifs, des catégories de poissons, crustacés et mollusques bivalves homogènes au regard des niveaux de contamination observés et déterminer l'échantillonnage par espèce à analyser pour pouvoir estimer de manière représentative et pertinente le niveau de contamination de la catégorie considérée

Rapport

Mars 2003

SOMMAIRE

1	Contexte -----	3
2	Objectif de l'étude -----	4
3	Définition des catégories des produits de la mer et de l'aquaculture -----	4
	3.1 Variables écologiques et physiologiques-----	4
	3.2 Critère de consommation-----	5
4	Etude de la pertinence des catégories définies au regard des données de contamination -----	6
	4.1 Méthodes d'analyse statistique -----	7
	4.1.1 Analyse de variance-----	7
	4.1.2 Arbre de régression -----	7
	4.2 Cas de la contamination des poissons par les métaux -----	7
	4.2.1 Le plomb-----	8
	4.2.2 Le cadmium-----	12
	4.2.3 Le mercure -----	16
	Conclusions pour les poissons-----	20
	4.3 Cas de la contamination des mollusques par les métaux-----	22
	4.3.1 Le plomb -----	23
	4.3.2 Le cadmium -----	24
	4.3.3 Le mercure -----	27
	Conclusions pour les mollusques-----	29
	4.4 Cas de la contamination des poissons par les PCB indicateurs, les dioxines et furanes et les PCB de type dioxine -----	30
	4.4.1 Les PCB indicateurs -----	30
	4.4.2 Les dioxines et furanes-----	31
	4.4.3 Les PCB de type dioxine-----	33
	Conclusions pour les PCB indicateurs, dioxines et furanes et PCB de type dioxine like -----	34
5	Conclusion générale-----	35
	Annexe : Recherche d'un plan d'échantillonnage pour les produits de la pêche-----	37

L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments a été saisie le 25 octobre 2001 par la Direction générale de l'alimentation d'une demande d'appui scientifique et technique : sur la base de critères scientifiques et techniques objectifs, disposer de catégories de poissons, crustacés et mollusques bivalves homogènes au regard des niveaux de contamination observés et déterminer l'échantillonnage par espèce à analyser pour pouvoir estimer de manière représentative et pertinente le niveau de contamination de la catégorie considérée.

1 CONTEXTE

Pour limiter le niveau de contamination d'une denrée par un contaminant donné et garantir ainsi la sécurité du consommateur, le gestionnaire dispose de deux outils principaux :

- la fixation de limite maximale en contaminant dans les aliments ou groupes d'aliments qui contribuent significativement à l'exposition ;
- l'élaboration et l'application de codes de bonnes pratiques de fabrication de cette denrée ayant un impact sur son niveau de contamination finale. S'il existe de tels documents en vigueur ou en cours de préparation pour l'aquaculture marine et continentale, de tels guides sont sans objet pour les produits de la pêche.

Pour un contaminant donné, le gestionnaire fixe, en priorité, des limites maximales dans les aliments ou groupes d'aliments qui contribuent significativement à l'exposition, aux niveaux aussi bas que raisonnablement applicables (faisabilité technologique, économique, etc) avec l'objectif de respect des doses toxicologiques de référence (par ex. Dose Journalière Tolérable).

Le travail, conduit depuis plusieurs années par la Commission européenne, s'est concrétisé avec l'adoption de teneurs maximales dans de nombreuses denrées :

- en **plomb, cadmium et mercure** (Règlement 466/2001, applicable au 5 avril 2002) avec un engagement de la Commission de réviser les limites proposées pour les produits de la pêche et de l'aquaculture à l'entrée en vigueur du règlement ;
- en **dioxines et furanes** (Règlement 2375/2001 applicable au 1^{er} juillet 2002) avec un engagement de la Commission de réexaminer ces dispositions le 31 décembre 2004 au plus tard à la lumière d'informations nouvelles sur la présence de dioxines et de PCB de type dioxine, notamment en ce qui concerne l'inclusion des PCB de type dioxine dans les limites à établir.

An plan international, le Codex alimentarius a adopté en juillet 2001 des limites maximales pour le **plomb** dans un certain nombre de denrées. Concernant les poissons, les crustacés et les mollusques bivalves, aucune teneur n'a été fixée en raison de la proposition de plusieurs pays d'établir des limites selon les espèces ou des classes déterminées de poisson.

Des incertitudes subsistent donc pour les produits de la pêche et de l'aquaculture, compte tenu de la très grande diversité des espèces. L'approche retenue pour la fixation de teneurs maximales dans ces denrées consiste généralement :

- à fixer une limite globale par grande famille "reconnue" de produits (exemple : poissons, crustacés, mollusques) ;
- si besoin, à exclure espèce par espèce des produits de l'application de cette limite (exemple : crustacés sauf homard) ;
- si besoin, à fixer une limite spécifique pour une liste "négative" d'espèces.

En l'absence de données de contamination exhaustives et suffisamment représentatives sur toutes les espèces, il est parfois difficile de proposer des limites pertinentes.

2 OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif de ce travail est d'établir les bases méthodologiques sur lesquelles pourraient être constituées des catégories de produits de la pêche présentant un niveau de contamination homogène à partir des courbes de distribution des concentrations, contaminant par contaminant.

Cette approche se fonde sur l'hypothèse que, compte tenu des propriétés physico-chimiques des contaminants concernés, les niveaux de contamination rencontrés dans les produits de la mer et de l'aquaculture sont essentiellement liés au comportement écologique et physiologique des espèces.

La méthodologie adoptée est la suivante :

- définir des catégories de poissons, crustacés et mollusques bivalves homogènes
- vérifier la pertinence des catégories définies au regard des données de contamination actuellement disponibles, notamment au travers des plans de surveillance et de contrôle, en priorité pour le plomb, le cadmium, le mercure, les dioxines et furanes et les PCB indicateurs ou de type dioxine ;
- déterminer l'échantillonnage par espèce à analyser pour pouvoir estimer de manière représentative et pertinente le niveau de contamination de la catégorie considérée.

Il convient cependant de noter que les limites de cet exercice sont la variabilité des conditions environnementales conduisant à des conditions d'exposition différentes pour des poissons de même espèce.

3 DEFINITION DES CATEGORIES DES PRODUITS DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

Les produits de la mer (poissons, coquilles Saint-Jacques) et de l'aquaculture (huîtres et moules) ont été caractérisés d'une part selon des variables écologiques et physiologiques, d'autre part selon des critères de consommation.

3.1 VARIABLES ECOLOGIQUES ET PHYSIOLOGIQUES

Pour les poissons, quatre variables descriptives ont été retenues : l'habitat, le comportement alimentaire, le taux de matière grasse et la taille au moment de la pêche. Pour les autres produits de la mer et de l'aquaculture deux variables ont été retenues : l'habitat et le comportement alimentaire.

Poissons, céphalopodes et crustacés

- Habitat
 - benthique (de fond)
 - benthique démersal (vivant au dessus du fond)
 - pélagique (de pleine eau)
- Comportement alimentaire
 - carnassier
 - non carnassier
- Taux de matière grasse
 - gras (≥ 2 % MG)
 - maigre
- Age et taille au moment de la pêche
 - jeune
 - vieux

Mollusques bivalves

- filtreur
- fouisseur/non fouisseur

Gastropodes

- détritivore
- brouteur

Echinodermes

- filtreur
- brouteur

3.2 CRITERE DE CONSOMMATION

A partir des données des panels consommateurs SECODIP 1998 qui indiquent la répartition selon les marchés des poissons frais, surgelés, en conserve, fumés ou séchés, l'Observatoire des Consommations Alimentaires (OCA) a établi une liste des poissons les plus consommés en France.

Tableau 1 : Catégorisation des produits de la pêche et de l'aquaculture les plus consommés

POISSONS					
Benthique	carnassier	gras	vieux	BCGV	Flétan (<i>Hippoglossus hypoglossus</i>),
Benthique	carnassier	maigre	jeune	BCMJ	Merluchon (<i>Merluccius merluccius</i>)
Benthique Demersal	carnassier	maigre	vieux	DCMV	Cabillaud (Morue) (<i>Gadus morhua</i>), Colin d'Alaska (<i>Theragra chalcogramma</i>), Eglefin (<i>Melanogrammus aeglefinus</i>), Julienne (<i>Molva molva</i>), Lieu noir (<i>Pollachius virens</i>), Lieu jaune (<i>Pollachius pollachius</i>), Lingue (<i>Molva dypterygia</i>), Lotte (<i>Lophius piscatorius</i>), Merlan (<i>Merlangius merlangus</i>), Merlu (<i>Merluccius merluccius</i>), Motelle (<i>Gaidropsarus vulgaris</i>) Rascasse (<i>Scorpaena scrofa</i>), Saint-Pierre (<i>Zeus faber</i>), Saumonette (Roussette) (<i>Scyliorhinus canicula</i>), Tacaud (<i>Trisopterus luscus</i>), Vivaneau (<i>Lutjanus</i>),
Benthique	carnassier	maigre	vieux	BCMV	Sole (<i>Solea solea</i>), Limande (<i>Limanda limanda</i>), Plie (e) (<i>Glyptocephalus cynoglossus</i>), Raie (<i>Raja clavata</i>), Turbot (<i>Psetta maxima</i>), Carrelet (<i>Pleuronectes platessa</i>),
Benthique	Non-carnassier	gras	vieux	BNGV	Grondin (<i>Eutrigla lurnardus</i>), Mulet (<i>Mugil cephalus</i>) Rouget grondin (<i>Aspitrigla cuculus</i>), Rouget barbet (<i>Mullus barbatus</i>),
Benthique	Non-carnassier	maigre	vieux	BNMV	Grenadier (gf) (<i>Coryphaenoides rupestris</i>), Empereur (<i>Hoplostethus atlanticus</i>),
Pélagique	carnassier	gras	jeune	PCGJ	Bar (<i>Dicentrarchus labrax</i>)
Pélagique	carnassier	gras	vieux	PCGV	Espadon (<i>Xiphias gladius</i>), Marlin, Makaires (Istiophoridae) Mérou (<i>Epinephelus spp</i>), Saumon de mer (e) (<i>Salmo salar</i>), Sébaste (<i>Sebastes</i>), Requin (<i>Galeorhinus galeus</i>), Siki (<i>Centroscymnus coelopsis</i>) Thons (rouge/germon) (<i>Thunnus thynnus/atalunga</i>), Truite de mer (<i>Salmo trutta</i>),
Pélagique	carnassier	maigre	jeune	PCMJ	Dorade royale) (<i>Sparus aurata</i>)
Pélagique	Non-carnassier	maigre	jeune	PNMJ	Eperlan (<i>Osmerus eperlanus</i>),

Pélagique	Non-carnassier	gras	jeune	PNGJ	Anchois (<i>Engraulis encrasicolus</i>), Chinchard (<i>Trachurus trachurus</i>) Hareng (<i>Clupea harengus</i>), Maquereau (<i>Scomber scombrus</i>) Sardine (célan) (<i>Sardina pilchardus</i>), Sprat (<i>Sprattus sprattus</i>),
CEPHALOPODES					
Benthique	Non-carnassier	maigre	jeune	BNMJ	Seiche
Benthique	carnassier	maigre	jeune	BCLJ	Poulpe
Pélagique	carnassier	maigre	jeune	PCMJ	Encornet/calamar
CRUSTACES					
Benthique	carnassier	maigre	jeune	BCMJ	Crevettes (rose, grise (e), blanche, etc)
Benthique	carnassier	maigre	vieux	BCMV	Tourteau (<i>Cancer borealis</i>), Crabe (<i>Cancer edwardzi</i>), Langoustines (<i>Metanephrops</i>), Homard (<i>Homarus gammarus</i>), Langouste (<i>Palinurus</i>), Araignée (<i>Maja squinado</i>)
MOLLUSQUES BIVALVES					
filtreur	Non-fouisseur			FNF	Huîtres (<i>Crassostrea spp</i>), Moules (<i>Mytilus edulis</i>), Coquilles Saint-Jacques (<i>Pecten maximus</i>), Pétoncles
filtreur	fouisseur			FF	Praires (<i>Venus verrucosa</i>), Palourdes (<i>Ruditapes</i>), Coques (<i>Cerastoderma</i>), Clams (<i>Mercenaria spp</i>), Amandes (<i>Glycymeris</i>)
GASTEROPODES					
Détritivore				D	Bulots (<i>Buccinum undatum</i>), Murex (<i>Murex spp</i>)
Brouteur				B	Bigorneaux (<i>Littorina littorea</i>), Ormeaux (<i>Haliotis spp</i>), Patelles (<i>Patella</i>)
ECHINODERMES					
Brouteur				B	Oursin (<i>Paracentrotus lividus</i>)
TUNICIER					
Filtreur				F	Violet (<i>Microcosmus spp</i>)

(e) : estuarien

(gf) : poisson de grand fond

4 ETUDE DE LA PERTINENCE DES CATEGORIES DEFINIES AU REGARD DES DONNEES DE CONTAMINATION

L'objectif de cette étude est de vérifier la pertinence des catégories définies pour les produits de la mer et de l'aquaculture au regard des données de contamination en plomb, cadmium, mercure, dioxines et furanes, PCB de type dioxine et PCB indicateurs en utilisant différentes méthodes statistiques (analyse de variance et arbre de régression) et différents modèles prenant en compte l'une ou l'autre des variables.

En choisissant les produits les plus consommés et donc les plus contrôlés, on pouvait penser disposer d'un nombre de données de contamination suffisant pour vérifier la validité des catégories définies.

Cependant, en raison de l'absence, ou d'un trop petit nombre, de données de contamination sur certaines espèces, toutes les catégories identifiées dans le tableau précédent n'ont pas pu être évaluées au regard de leur pertinence.

4.1 METHODES D'ANALYSE STATISTIQUE

4.1.1 Analyse de variance

Cette méthode suppose une distribution normale des données dans chaque groupe (ou un nombre d'échantillons supérieur à 30 par groupe) et une variance égale entre les groupes. Or, les distributions ne sont manifestement pas normales, les échantillons sont inférieurs à 30 par groupe, et les variances ne sont pas égales.

L'analyse a donc été effectuée sur :

- les données après transformation logarithmique [l'hypothèse d'une distribution log-normale des données de contamination par les dioxines et furanes est largement utilisée au niveau international (JECFA)] ;
- les rangs des données : un test non-paramétrique de type Kruskal Wallis a été réalisé ;

La procédure GLM du logiciel SAS a été utilisée. La comparaison des moyennes a été réalisée par la sous-procédure LSMEAN/PDIFF.

Il convient de noter que les résultats des modèles d'analyse de variance sont à prendre en considération avec prudence, en raison du fort déséquilibre du plan expérimental.

4.1.2 Arbre de régression

La procédure d'arbre de régression propose une classification hiérarchique des observations selon le contaminant.

4.2 CAS DE LA CONTAMINATION DES POISSONS PAR LES METAUX

Données disponibles

Etant donné le nombre important de catégories définies pour les poissons (11), le peu de données disponibles pour certaines d'espèces et le fait que la variable *taux de matière grasse* (Gras/Maigre) ne paraisse pas être un facteur pertinent au regard de l'accumulation des métaux lourds pour les poissons, sauf pour le mercure, cette variable n'a pas été intégrée ; seuls les variables *habitat* (Benthique/Démersal/Pélagique), *comportement alimentaire* (Carnassier/Non-Carnassier) et *âge* (Jeune/Vieux) ont été intégrés. Dans certains cas, les données recueillies mentionnaient le site de débarquement ou de prélèvement (zone de pêche) ; cette variable a également été introduite dans les modèles. Les 6 catégories suivantes de poissons ont fait l'objet d'un traitement statistique.

L'analyse porte sur 890 échantillons de poissons répartis comme suit :

- 2 échantillons Benthiques Carnassiers (Maigres) Jeunes notés BCJ ;
- 58 échantillons Benthiques Carnassier (Maigres) Vieux notés BCV ;
- 57 échantillons Benthiques Non-Carnassier (Gras ou Maigre) Vieux notés BNV ;
- 198 échantillons Démersaux Carnassier (Maigres) Vieux notés DCV ;
- 447 échantillons Pélagiques Carnassier (Gras) Vieux notés PCV ;
- 128 échantillons Pélagiques Non-Carnassier (Gras) Jeunes notés PNJ ;

Dans le cas du mercure, deux sous-catégories prenant en compte la variable Gras/Maigre ont été cependant traitées. Ainsi le groupe BNV peut être séparé en :

- 5 échantillons Benthiques Non-Carnassier Gras Vieux notés BNGV ;
- 52 échantillons Benthiques Non-Carnassier Maigres Vieux notés BNMV

On constate d'emblée un déséquilibre entre les groupes. Toutes les combinaisons entre les variables Benthique/Démersal/Pélagique, Carnassier/Non-Carnassier et Jeune/Vieux ne sont pas représentées, ce qui limite les analyses sur ces variables.

De plus, on ne dispose pas systématiquement de l'ensemble des valeurs de contamination (Pb, Cd, Hg) pour ces poissons.

Relation entre la contamination plomb, mercure et cadmium

La catégorisation devrait pouvoir porter sur l'ensemble des contaminants. Cependant, la figure 1, présentant le croisement des valeurs de contaminations (en log), montre l'absence de corrélation évidente entre la contamination par les trois contaminants. Il semble donc nécessaire d'envisager une classification différente par contaminant.

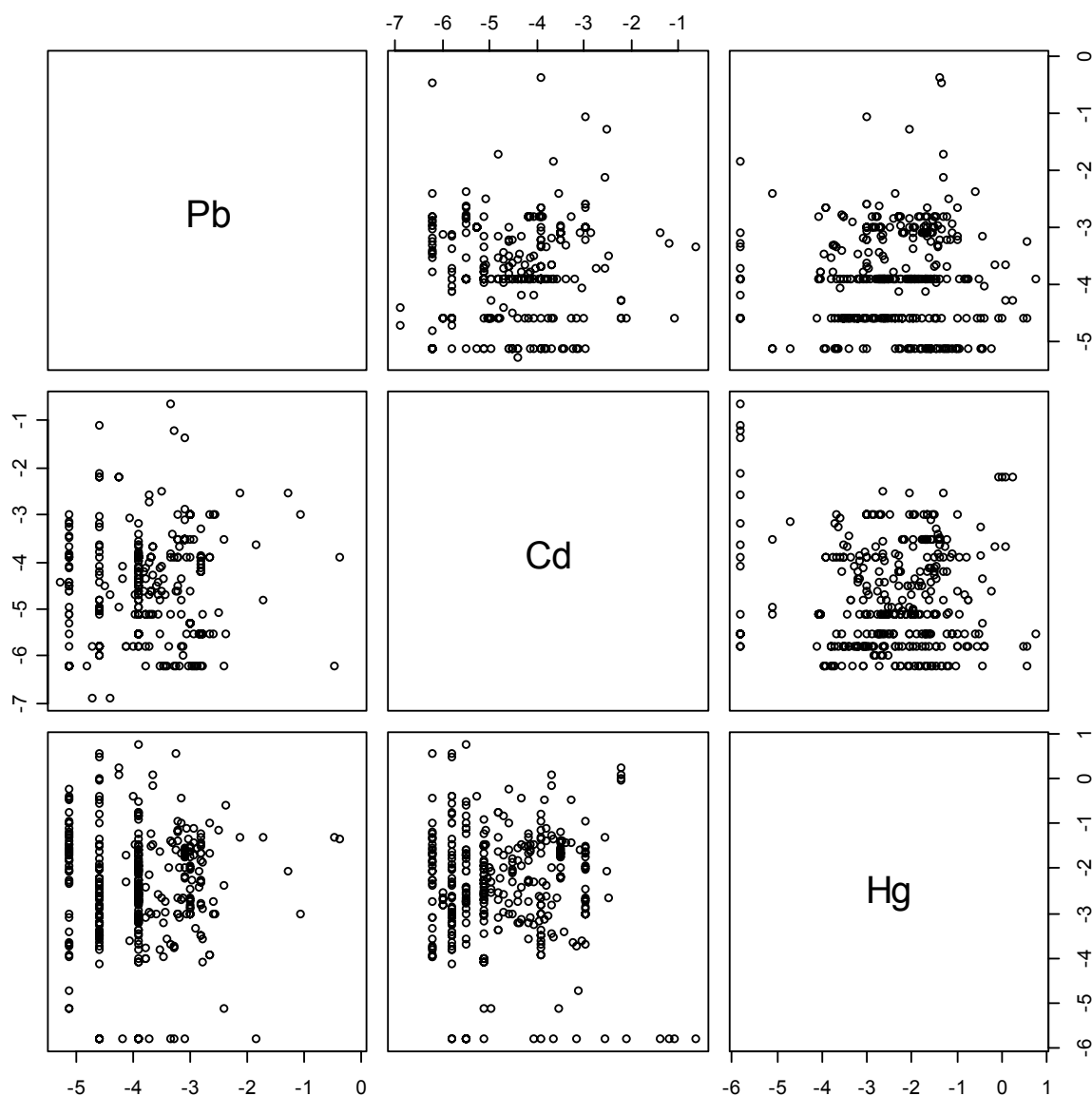


Figure 1 : Etude de la corrélation entre les trois contaminants (Pb, Cd, Hg) chez les poissons

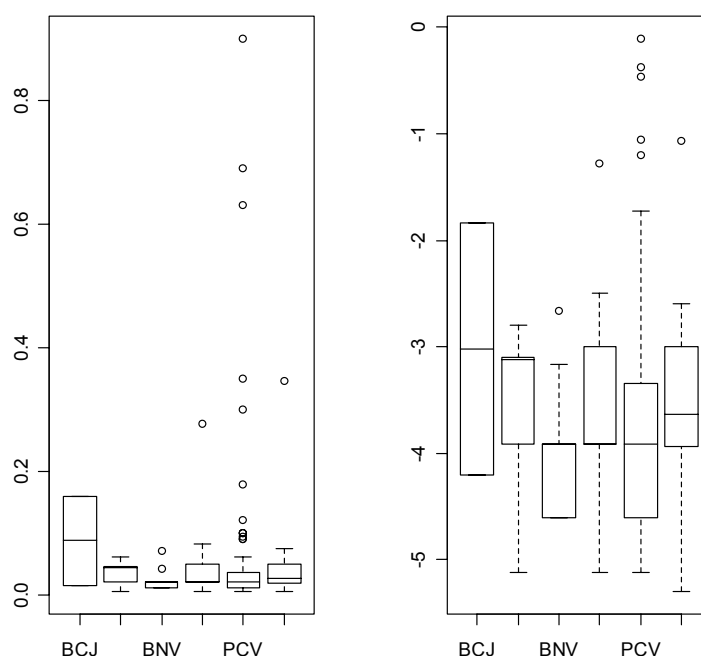
4.2.1 Le plomb

Le tableau 2 présente les données statistiques descriptives selon les catégories de poisson pour le plomb.

Tableau 2 : Données statistiques descriptives selon les catégories de poisson pour le plomb

	N	Min.	P25	P50	Moyenne	P75	Max.	Ecart-type
BCJ	2	0.015	0.051	0.088	0.088	0.124	0.160	0.103
BCV	52	0.006	0.020	0.044	0.033	0.045	0.061	0.014
BNV	9	0.010	0.010	0.020	0.025	0.020	0.070	0.020
PCV	219	0.006	0.010	0.020	0.038	0.036	0.900	0.091
PNJ	112	0.005	0.020	0.027	0.036	0.050	0.345	0.036
DCV	165	0.006	0.020	0.020	0.033	0.050	0.277	0.026

Le graphique 1 présente les "Box Plot" selon les catégories définies. Ce type de graphique permet de faire une représentation rapide des données. (les rectangles représentent l'intervalle inter-quartiles) L'analyse statistique permet de proposer une valeur maximale et minimale attendue (représentées par un trait). Toute valeur sortant de cet l'intervalle [valeur maximale attendue – valeur minimale attendue] est considérée comme aberrante ("outlier").



Graphique 1 : "Box Plot" selon les catégories de poissons, pour le plomb.
A gauche : données brutes, à droite : données après transformation logarithmique.
Les rectangles représentent l'intervalle inter-quartiles.

On constate une faible séparation des catégories définies et la présence de données considérées par l'algorithme comme "aberrantes" (données présentées par un rond), c'est à dire sortant des valeurs attendues.

a) Etude par analyses de variance

On retire de l'analyse la catégorie BCJ pour laquelle on ne dispose que de 2 observations.

Modèle 1

Dans ce modèle, qui ne prend pas en compte la variable "gras/maigre", le critère "catégorie" est fortement significatif ($p = 0.0018$).

**Tableau 3 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie"
au regard de la contamination par le plomb**

Dependent Variable: lpb						
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
catssg	4	10.18296112	2.54574028	4.35	0.0018	

La comparaison 2 à 2 des moyennes des rangs-données (tableau 4) permet d'en déduire que la catégorie PCV est statistiquement moins contaminée par le plomb que les catégories PNJ, BCV et DCV. La catégorie BNV n'est pas discriminée des autres catégories par manque de données (9 observations).

**Tableau 4 : Degré de signification de la comparaison 2 à 2 des moyennes
des rangs - données de plomb**

	BCV	BNV	DCV	PCV	PNJ
BCV		0.1577	0.5209	0.0047	0.5404
BNV	0.1577		0.2331	0.8297	0.2395
DCV	0.5209	0.2331		0.0012	0.9958
PCV	0.0047	0.8297	0.0012		0.0041
PNJ	0.5404	0.2395	0.9958	0.0041	

Modèle 2

Dans un certain nombre de cas, on dispose de l'information relative au site de prélèvement (ou de débarquement) du poisson. Cette variable a été étudiée dans le modèle 2.

Le modèle prend en compte les variations entre espèces à l'intérieur d'une catégorie et les variations entre sites de prélèvement/débarquement. L'objectif est de vérifier si la différence entre catégories observée précédemment ne reflète pas une différence entre sites de prélèvement/débarquement, et de vérifier si la variabilité inter-espèce dans une catégorie n'est pas plus importante que la variabilité inter-catégorie.

Les variables "site" et "espèce intra-catégorie" sont fortement significatives ($p < 0.0001$). Le critère "catégorie" n'est plus significatif ($p = 0.65$).

**Tableau 5 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie"
et les variables "site" et "espèce" au regard de la contamination par le plomb**

Dependent Variable: lpb						
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
catssg	4	1.072002	0.268001	0.62	0.6467	
Error	105.47	45.330723	0.429812			
Error: 0.2217*MS(espèce(catssg)) + 0.7783*MS(Error)						
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
site	20	49.178440	2.458922	9.79	<.0001	
espèce(catssg)	33	34.867811	1.056600	4.20	<.0001	
Error: MS(Error)	430	108.049615	0.251278			

La variation entre "catégories" observée dans le modèle 1 est moins importante que la variation inter-espèce dans les différentes catégories. D'autre part, le site apparaît être un facteur d'influence majeur.

Modèle 3

On casse les catégories en considérant chacune des variables : "benthique/démersal/pélagique", "carnassier/non-carnassier" et "jeune/vieux". On considère encore les variables "site" et "espèce intra-

catégorie". L'objectif est de vérifier si une de ces variables de classification n'est pas prépondérante sur la contamination.

Les variables "site", et "espèce intra-catégorie" sont fortement significatives ($p < 0.0001$). Les variables "benthique/démersal/pélagique", "carnassier/non-carnassier" et "jeune/vieux" ne sont pas significatives.

Tableau 6 : Analyse de la variance pour les variables "habitat", "comportement alimentaire", "âge", et "site" et "espèce" au regard de la contamination par le plomb

Dependent Variable: lpb					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
fond	2	0.572089	0.286045	0.68	0.5085
Error	111.6	46.915694	0.420409		
Error: 0.21*MS(espèce(fond*regim*age)) + 0.79*MS(Error)					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
regime	1	0.049748	0.049748	0.13	0.7239
Error	130.85	51.921069	0.396813		
Error: 0.1807*MS(espèce(fond*regim*age)) + 0.8193*MS(Error)					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
age	1	0.007356	0.007356	0.02	0.8934
Error	121.13	49.392684	0.407759		
Error: 0.1943*MS(espèce(fond*regim*age)) + 0.8057*MS(Error)					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
espèce(fond*regim*age)	33	34.867811	1.056600	4.20	<.0001
site	20	49.178440	2.458922	9.79	<.0001
Error: MS(Error)	430	108.049615	0.251278		

La variable "site" est prépondérante. La variabilité inter-espèce est plus importante que les variables utilisées pour la catégorisation. La catégorisation *a priori* ne semble pas justifiée selon les variables considérées.

b) Etude par arbres de régression

Modèle 1

On utilise la variable "catégorie" seule pour séparer les observations.

Une seule séparation semble statistiquement intéressante :

- les catégories BCV, PNJ, DCV d'une part (poissons plus contaminés).
- les catégories BNV, PCV d'autre part (poissons moins contaminés) ;

On confirme donc les résultats de l'analyse de la variance sans prise en compte des variables "site" et "espèce intra-catégorie".

Modèle 2

On utilise les variables "benthique/démersal/pélagique", "carnassier/non-carnassier" et "jeune/vieux" pour séparer les observations.

Deux séparations semblent statistiquement intéressantes (du plus au moins contaminé) :

- les benthiques et démersaux d'une part ;
- les pélagiques d'autre part, puis, parmi les pélagiques :
 - o les non-carnassiers ;
 - o les carnassiers.

Cette analyse permet donc de montrer que la principale variable de discrimination est l'habitat de l'animal, puis, parmi les pélagiques, le caractère carnassier ou non des poissons. Rappelons que cette analyse ne prend pas en compte les variables "site" et "espèce". La variable "jeune/vieux" n'apparaît pas comme un facteur discriminant.

Modèle 3

On utilise la variable "espèce".

Quatre groupes apparaissent (du plus au moins contaminés) qui ne correspondent pas aux catégories *a priori* définies :

- plie, roussette, lieu, poulpe, lieu noir, rouget barbet ;
- maquereau, merlu, lotte, morue, sardine, siky, thon listao, chinchard ;
- espadon, marlin, grondin rouge, merlan, tacaud, thon, anchois, carrelet, motelle, colin, mэрou, saumonette, germon, lieu jaune, sardine ;
- cabillaud, requin, sole, daurade, thon albacore, congre, églefin, grenadier, lingue bleue, lingue franche, raie.

Rappelons toutefois que cette analyse ne prend pas en compte la variable "site".

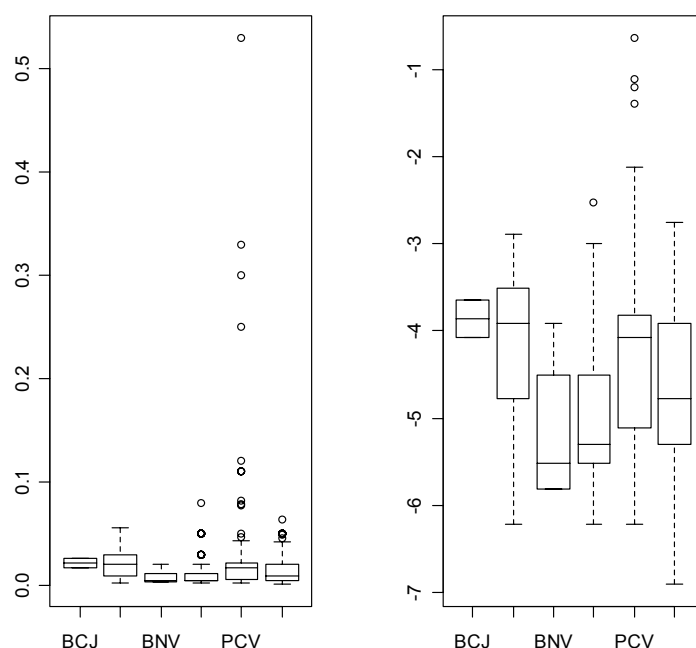
4.2.2 Le cadmium

Le tableau 7 présente les données statistiques descriptives selon les catégories définies de poisson pour le cadmium.

Tableau 7 : Données statistiques descriptives selon les catégories de poisson pour le cadmium

	N	Min.	P25	P50	Moyenne	P75	Max.	Ecart-type
BCJ	2	0.017	0.019	0.022	0.022	0.024	0.026	0.006
BCV	52	0.002	0.009	0.020	0.021	0.030	0.056	0.012
BNV	9	0.003	0.003	0.004	0.008	0.011	0.020	0.007
DCV	165	0.002	0.004	0.005	0.012	0.011	0.080	0.016
PCV	214	0.002	0.006	0.017	0.025	0.022	0.530	0.051
PNJ	112	0.001	0.005	0.008	0.015	0.020	0.064	0.015

Le graphique 2 présente les "Box Plot" selon les catégories définies. Ce type de graphique permet de faire une représentation rapide des données. L'analyse statistique permet de proposer une valeur maximale et minimale attendue (représentées par un trait). Toute valeur sortant de cet intervalle [valeur maximale attendue – valeur minimale attendue] est considérée comme aberrante ("outlier").



Graphique 2 : "Box Plot" selon les catégories de poisson, pour le cadmium.
A gauche : données brutes, à droite : données après transformation logarithmique.
Les rectangles représentent l'intervalle inter-quartiles.

On constate une faible séparation des catégories définies et la présence de données considérées par l'algorithme comme "aberrantes" (données présentées par un rond), c'est à dire sortant des valeurs attendues.

a) Etude par analyses de variance

On retire de l'analyse la catégorie BCJ pour laquelle on ne dispose que de 2 observations.

Modèle 1

Le modèle ne prend en compte que les catégories (sans prise en compte de la variable "gras/maigre").

Le critère "catégorie" est fortement significatif ($p < 0.0001$).

Tableau 8 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie" au regard de la contamination par le cadmium

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
catssg	4	40.88875999	10.22219000	10.17	<.0001

Cependant, la comparaison 2 à 2 des moyennes des rangs-données (tableau 9) montre qu'il n'est pas possible de faire deux groupes de catégories statistiquement séparés au regard de leur contamination par le cadmium.

**Tableau 9 : Degré de signification de la comparaison 2 à 2
des moyennes des rangs - données de cadmium**

	BCV	BNV	DCV	PCV	PNJ
BCV		0.0066	<.0001	0.0852	0.0050
BNV	0.0066		0.5937	0.0355	0.1412
DCV	<.0001	0.5937		<.0001	0.0076
PCV	0.0852	0.0355	<.0001		0.0771
PNJ	0.0050	0.1412	0.0076	0.0771	

Ainsi, on a une structure complexe :

Groupe 1 : BCV et PCV
 Groupe 1' : PCV et PNJ
 Groupe 1'' : PNJ et BNV
 Groupe 1''' : BNV et DCV.

Ceci pourrait refléter une séparation trop fine des catégories.

Modèle 2

Le modèle prend en compte les variations entre espèces à l'intérieur d'une catégorie, et les variations entre sites.

Les variables "site", et "espèce intra-catégorie" sont fortement significatives ($p < 0.0001$). Le critère "catégorie" reste fortement significatif ($p < 0.0001$).

**Tableau 10 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie"
et les variables "site" et "espèce" au regard de la contamination par le cadmium**

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
catssg	4	20.635215	5.158804	5.11	0.0010
Error	77.305	77.995481	1.008933		
Error: 0.2217*MS(espèce(catssg)) + 0.7783*MS(Error)					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
site	20	107.678375	5.383919	11.73	<.0001
espèce(catssg)	33	97.012795	2.939782	6.41	<.0001
Error: MS(Error)	430	197.348880	0.458951		

En comparant 2 à 2 les moyennes des rangs-données (tableau 11) la structure des groupes apparaît plus clairement ($p < 0,05$) :

Groupe 1 : PCV et BCV
 Groupe 1' : BCV et PNJ
 Groupe 3 : DCV et BNV

**Tableau 11 : Degré de signification de la comparaison 2 à 2
des moyennes des rangs - données de cadmium**

	BCV	BNV	DCV	PCV	PNJ
BCV		0.0094	0.0028	0.5978	0.2532
BNV	0.0094		0.5768	<.0001	0.0395
DCV	0.0028	0.5768		<.0001	0.0114
PCV	0.5978	<.0001	<.0001		0.0114
PNJ	0.2532	0.0395	0.0114	0.0114	

La variation entre catégories observée dans le modèle 1 reste intéressante après prise en compte des variables "site" et "espèce". On pourrait proposer un regroupement :

- PCV, BCV et PNJ d'une part ;
- DCV et BNV d'autre part.

Modèle 3

On casse les catégories en considérant chacune des variables : "benthique/démersal/pélagique", "carnassier/non-carnassier" et "jeune/vieux". On considère encore les variables "site" et "espèce intra-catégorie".

Les variables "site", et "espèce intra-catégorie" sont fortement significatives ($p < 0.0001$). La variable "jeune/vieux" n'est pas significative et peut être retirée du modèle. Les variables "benthique/démersal/pélagique" et "carnassier/non-carnassier" sont fortement significatives ($p < 0.0002$ et $p = 0.0188$, respectivement) et l'interaction entre ces deux variables n'est pas significative (résultats non montrés).

Tableau 12 : Analyse de la variance pour les variables "habitat" et "comportement alimentaire", et "site" et "espèce" au regard de la contamination par le cadmium

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
fond	2	20.051253	10.025626	9.69	0.0002
Error	77.867	80.590701	1.034981		
Error: 0.2188*MS(espèce(fond*regime)) + 0.7812*MS(Error)					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
regime	1	6.047491	6.047491	5.77	0.0188
Error	76.365	80.084540	1.048714		
Error: 0.224*MS(espèce(fond*regime)) + 0.776*MS(Error)					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
espèce(fond*regime)	34	105.129930	3.092057	6.74	<.0001
site	20	107.678375	5.383919	11.73	<.0001
Error: MS(Error)	430	197.348880	0.458951		

La variable "benthique/démersal/pélagique" est l'effet le plus important sur la contamination par le cadmium, puis la variable "carnassier/non-carnassier". La variable "jeune/vieux" n'entre pas en compte. Ce résultat ne permet pas de simplifier la catégorisation puisqu'il faudrait donc utiliser toutes les catégories PC, BC, DC, PN et BN...

b) Etude par arbres de régression

Modèle 1

On utilise le critère "catégorie" pour séparer les observations.

Une seule séparation semble statistiquement intéressante :

- les catégories BCJ, BCV, PCV, PNJ d'une part (poissons plus contaminés) ;
- les catégories BNV, DCV d'autre part (poissons moins contaminés).

On confirme les résultats observés en analyse de la variance. En pratique, on pourrait donc garder les catégories : [BNV et DCV] d'une part, [PNJ, PCV, BCJ et BCV] d'autre part.

Modèle 2 :

On utilise les variables "benthique/démersal/pélagique", "carnassier/non-carnassier" et "jeune/vieux" pour séparer les observations.

Deux séparations semblent statistiquement intéressantes (du plus au moins contaminés) :

- les démersaux d'une part
- les benthiques et pélagiques d'autre part, parmi ceux-ci ;
 - o les carnassiers ;
 - les benthiques
 - les pélagiques
 - o les non-carnassiers ;
 - les benthiques
 - les pélagiques

Cette analyse permet donc de montrer que la principale variable de discrimination est l'*habitat* de l'animal, puis, parmi les benthiques et pélagiques, le caractère carnassier ou non des poissons.

Rappelons que cette analyse ne prend pas en compte les variables "site" et "espèce". La variable "jeune/vieux" n'apparaît pas comme un facteur discriminant.

Modèle 3 :

On utilise la variable "espèce".

Plusieurs groupes apparaissent (du plus au moins contaminés) qui ne correspondent pas aux catégories *a priori* définies :

- espadon, marlin ;
- plie, anchois, lieu, siky, poulpe, germon ;
- lotte ;
- morue, sardine, sole, thon albacore ;
- merlan, tacaud, requin, chinchard, grenadier ;
- cabillaud, maquereau, roussette, thon, merlu, carrelet, motelle, lieu noir, lingue bleue, raie, sardine ;
- grondin rouge, colin, mérrou, saumonette, daurade, thon listao, congre, églefin, lingue franche, lieu jaune, rouget barbet.

La présence des "thons" dans trois groupes différents laisse penser à une faible validité de l'analyse. Il convient de noter également que la dénomination "thon" recouvre plusieurs espèces : thon listao, albacore, germon, blanc, rouge, qui ne présentent pas toujours le même niveau de contamination en raison de leur *habitat* différent et le fait qu'il sont pêchés plus ou moins vieux. Les informations disponibles sur l'échantillon ne permettent pas toujours de discriminer les différentes espèces.

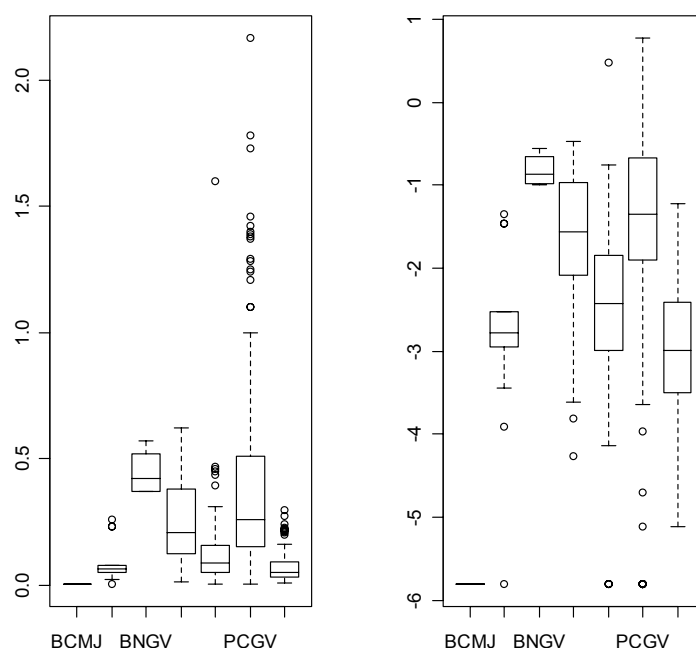
4.2.3 Le mercure

Le tableau 13 présente les données statistiques descriptives selon les catégories de poisson définies avec utilisation de la variable "gras/maigre" pour le mercure.

Tableau 13 : Données statistiques descriptives selon les catégories de poisson pour le mercure

	N	Min.	P25	P50	Moyenne	P75	Max.	Ecart-type
BCJ	2	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000
BCV	14	0.003	0.052	0.062	0.092	0.080	0.260	0.083
BNGV	4	0.370	0.373	0.420	0.445	0.492	0.570	0.094
BNMV	48	0.014	0.125	0.210	0.266	0.378	0.620	0.178
DCV	135	0.003	0.050	0.088	0.124	0.157	1.599	0.158
PCV	348	0.003	0.150	0.259	0.368	0.510	2.166	0.330
PNJ	77	0.006	0.030	0.050	0.074	0.090	0.295	0.067

Le graphique 3 présente les "Box Plot" selon les catégories définies. Ce type de graphique permet de faire une représentation rapide des données. L'analyse statistique permet de proposer une valeur maximale et minimale attendue (représentées par un trait). Toute valeur sortant de cet intervalle [valeur maximale attendue – valeur minimale attendue] est considérée comme aberrante ("outlier").



Graphique 3 : "Box Plot" selon les catégories de poisson pour le mercure.
A gauche : données brutes, à droite données après transformation logarithmique.
Les rectangles représentent l'intervalle inter-quartiles.

On constate une plus forte séparation des catégories par rapport aux autres métaux et la présence de données considérées par l'algorithme comme "aberrantes" (données présentées par un rond), c'est à dire sortant des valeurs attendues.

a) Etude par analyses de variance

On retire de l'analyse les catégories BCMJ pour laquelle il n'y a que 2 observations et BNGV avec 4 observations. Par conséquent, la variable "gras/maigre" ne pourra être étudiée à l'aide des catégories (la catégorisation avec "gras/maigre" est la même que la catégorisation sans cette variable).

Modèle 1

Le modèle ne prend en compte que les catégories.

Le critère "catégorie" est fortement significatif ($p < 0.0001$).

Tableau 14 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie" au regard de la contamination par le mercure

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cat	4	220.2352875	55.0588219	48.76	<.0001

La comparaison 2 à 2 des moyennes des rangs-données (tableau 15) permet de dégager une structure de type :

- Groupe 1 : PNJ et BCV ;
- Groupe 1' : BCV et DCV ;
- Groupe 2 : BNMV et PCV.

**Tableau 15 : Degré de signification de la comparaison 2 à 2
des moyennes des rangs - données de mercure**

	BCV	BNMV	DCV	PCV	PNJ
BCV		0.0002	0.2634	<.0001	0.7107
BNMV	0.0002		<.0001	0.3331	<.0001
DCV	0.2634	<.0001		<.0001	0.0032
PCV	<.0001	0.3331	<.0001		<.0001
PNJ	0.7107	<.0001	0.0032	<.0001	

Modèle 2

Le modèle prend en compte les variations entre espèces à l'intérieur d'une catégorie et les variations entre sites.

Les variables "site, et "espèce intra-catégorie" sont fortement significatives ($p < 0.0001$ et $p = 0.0020$, respectivement). Le critère "catégorie" reste fortement significatif ($p < 0.0133$).

**Tableau 16 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie"
et les variables "site" et "espèce" au regard de la contamination par le mercure**

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cat	4	23.476233	5.869058	3.47	0.0133
Error	56.833	96.231678	1.693226		
Error: 0.563*MS(espèce(cat)) + 0.437*MS(Error)					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
site	20	98.275560	4.913778	4.54	<.0001
espèce(cat)	30	65.034616	2.167821	2.00	0.0020
Error: MS(Error)	281	303.991668	1.081821		

En comparant 2 à 2 les moyennes des rangs-données (tableau 17), la structure des groupes apparaît plus clairement :

Groupe 1 : PCV et BNMV ;
Groupe 2 : DCV et PNJ.

La catégorie BCV diffère significativement de la catégorie PCV.

**Tableau 17 : Degré de signification de la comparaison 2 à 2
des moyennes des rangs - données de mercure**

	BCV	BNMV	DCV	PCV	PNJ
BCV		0.0580	0.5032	0.0073	0.7038
BNMV	0.0580		0.0032	0.1071	0.0157
DCV	0.5032	0.0032		0.0007	0.7107
PCV	0.0073	0.1071	0.0007		0.0009
PNJ	0.7038	0.0157	0.7107	0.0009	

La variation entre catégories observée dans le modèle 1 reste intéressante après prise en compte des variables "site" et "espèce". On pourrait proposer un regroupement :

- PCV et BNMV d'une part ;
- DCV et PNJ d'autre part.

La catégorie BCV ne peut pas être classée dans un de ces groupes en raison d'une trop grande variabilité intra-catégorie et d'un manque de données.

Modèle 3

On casse les catégories en considérant chacune des variables "benthique/démersal/pélagique", "carnassier/non-carnassier", "gras/maigre" et "jeune/vieux". On considère encore les variables "site" et "espèce intra catégorie".

La variable "gras/maigre" ne peut pas être estimée car il y a redondance avec les autres variables. Les variables "site" et "espèce intra-catégorie" sont fortement significatives ($p < 0.001$ et $p = 0.0020$, respectivement).

Les variables "benthique/démersal/pélagique" et "jeune/vieux" sont fortement significatives ($p = 0.071$ et $p = 0.0004$, respectivement). La variable "carnassier/non-carnassier" n'est pas significative ($p = 0.1120$). Il n'est pas possible de tester les interactions avec la structure de données.

Tableau 18 : Analyse de la variance pour les variables "habitat", "comportement alimentaire", "âge", et "site" et "espèce" au regard de la contamination par le mercure

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
fond	2	13.282270	6.641135	5.09	0.0071
Error	183.92	240.087179	1.305382		
Error: 0.2059*MS(espé(fond*regim*age)) + 0.7941*MS(Error)					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
regime	1	3.918130	3.918130	2.58	0.1120
Error	85.664	130.194817	1.519825		
Error: 0.4033*MS(espé(fond*regim*age)) + 0.5967*MS(Error)					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
age	1	14.048578	14.048578	9.74	0.0023
Error	108.81	156.936589	1.442295		
Error: 0.3319*MS(espé(fond*regim*age)) + 0.6681*MS(Error)					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
espé(fond*regim*age)	30	65.034616	2.167821	2.00	0.0020
site	20	98.275560	4.913778	4.54	<.0001
Error: MS(Error)	281	303.991668	1.081821		

La variable "jeune/vieux" semble l'effet le plus important sur la contamination, puis la variable "benthique/démersal/pélagique". La variable "carnassier/non-carnassier" semble moins importante. Ce résultat ne permet pas de simplifier la catégorisation puisqu'il faudrait donc utiliser toutes les catégories.

b) Etude par arbres de régression

Modèle 1

On utilise le critère "catégorie" pour séparer les observations :

- les catégories BCJ, BCV, DCV, PNJ d'une part (moins contaminées). Cette catégorisation peut être poursuivie en :
 - o BCJ, d'une part
 - o BCV, DCV, PNJ, d'autre part, puis
 - BCV, PNJ
 - DCV
- les catégories BNGV, BNMV et PCV, d'autre part (plus contaminées).

En pratique, il faudrait donc garder les catégories : (BCJ), (BCV et PNJ), (DCV), (BNGV, BNMV et PCV). Ce résultat confirme celui obtenu en analyse de variance.

Rappelons que ce résultat ne prend pas en compte la variabilité inter-sites.

Modèle 2

On utilise les variables "benthique/démersal/pélagique", "carnassier/non-carnassier", "gras/maigre" et "jeune/vieux" pour séparer les observations.

Deux séparations semblent statistiquement intéressantes (du plus au moins contaminés) :

- les jeunes d'une part
- les vieux d'autre part, et parmi les vieux :
 - o les démersaux
 - o les benthiques et pélagiques.

Cette analyse permet donc de montrer que la principale variable de discrimination est l'âge de l'animal, puis, parmi les vieux, le caractère démersal ou benthique des poissons.

Rappelons que cette analyse ne prend pas en compte les variables "site" et "espèce". La variable "gras/maigre" n'apparaît pas comme un facteur discriminant.

Modèle 3

On utilise la variable "espèce".

On obtient les groupes suivants (du plus au moins contaminés) qui ne correspondent pas aux catégories *a priori* définies :

- grondin rouge, roussette, thon, motelle, thon albacore, congre, empereur, lingue bleue, rouget barbet ;
- lieu, grenadier, thon listao ;
- tacaud, lotte, morue, chinchard, raie ;
- espadon, merlan, mérrou, requin, saumonette, sole, siky, sardine ;
- cabillaud, maquereau, daurade, eglefin, lieu, noir, lingue franche ;
- marlin, plie, anchois, carrelet, sardine, lieu jaune ;
- merlu ;
- colin, poulpe.

CONCLUSIONS pour les poissons

Il n'existe pas de corrélation évidente entre la contamination des poissons par les trois contaminants métalliques : plomb, cadmium et mercure. Il semble donc nécessaire d'envisager une approche par contaminant au regard des catégories de poissons.

Contamination des poissons par le plomb

La catégorie des poissons pélagiques, carnassiers, vieux (PCV) apparaît statistiquement moins contaminée par le plomb que les autres catégories. Cependant, si on tient compte du site de prélèvement/débarquement, la variabilité entre les espèces d'une même catégorie est plus importante que la variabilité entre les catégories. Le site de prélèvement (zone de pêche) pourrait être un facteur d'influence majeur. Les groupes déterminés par l'étude par arbre de régression ne correspondent pas aux catégories définies, confirmant les résultats de l'analyse de variance.

La catégorisation proposée ne permet pas de discriminer les poissons selon le niveau de contamination observé, après prise en compte de la variabilité inter-espèces et de la variabilité inter-sites.

Contamination des poissons par le cadmium

Bien que le critère "catégorie" apparaisse statistiquement significatif au regard de la contamination par le cadmium, il n'est pas possible de dégager une catégorie plus contaminée qu'une autre. Lorsqu'on

tient compte du site de prélèvement/débarquement et des niveaux de contamination entre les espèces d'une même catégorie, on pourrait regrouper certaines catégories de poissons : pélagiques, carnassiers, vieux (PCV) , benthiques, carnassiers, vieux BCV et pélagiques, non-carnassiers, jeune (PNJ) d'une part, et démersaux, carnassiers, vieux (DCV) et benthiques, non-carnassiers, vieux (BNV) d'autre part. Si l'on considère les variables séparément, on observe que statistiquement, la variable *habitat* "benthique/démersal/pélagique" est celle qui pourrait jouer un rôle dans le niveau de contamination par le cadmium, suivi de celle du *comportement alimentaire* "carnassier/non-carnassier. Dans ce cas, toutes les catégories sont à prendre en considération. Enfin, les groupes déterminés par l'étude par arbre de régression ne correspondent pas aux catégories définies *a priori*, confirmant les résultats de l'analyse de variance.

Contamination des poissons par le mercure

Si le critère "catégorie" est statistiquement significatif, la comparaison deux à deux des moyennes de contamination par le mercure ne permet pas de dégager une catégorie dominante. En tenant compte du site de prélèvement/débarquement et des niveaux de contamination entre espèces d'une même catégorie, on peut identifier deux groupes : pélagiques, carnassiers, vieux (PCV) et benthiques, non-carnassiers, maigres, vieux (BNMV) d'une part et démersaux, carnassiers, vieux (DCV) et pélagiques, non-carnassiers, jeune (PNJ) d'autre part. En considérant chacune des variables, les variables *âge* "jeune/vieux", puis *habitat* "benthique/démersal/pélagique" semblent influencer sur le niveau de contamination. Dans ce cas, toutes les catégories sont à prendre en considération. Enfin, les groupes déterminés par l'étude par arbre de régression ne correspondent pas aux catégories définies, confirmant les résultats de l'analyse de variance.

4.3 CAS DE LA CONTAMINATION DES MOLLUSQUES PAR LES METAUX

Données disponibles

L'analyse porte sur 1905 échantillons de mollusques répartis comme suit :

- 29 échantillons Filtreur Fousseur notés FF ;
- 1876 échantillons Filtreur Non Fousseur (dont 863 huîtres et 992 moules) notés FNF ;

On constate d'emblée un déséquilibre entre les catégories définies. On ne dispose pas systématiquement de l'ensemble des dosages de Pb, Cd et Hg pour tous les échantillons.

Relation entre la contamination Plomb, Mercure et Cadmium

La classification devrait pouvoir porter sur l'ensemble des contaminants. Cependant, la figure 2 montre l'absence de lien évident entre la contamination par les trois contaminants. Il semble donc nécessaire d'envisager une classification différente par contaminant.

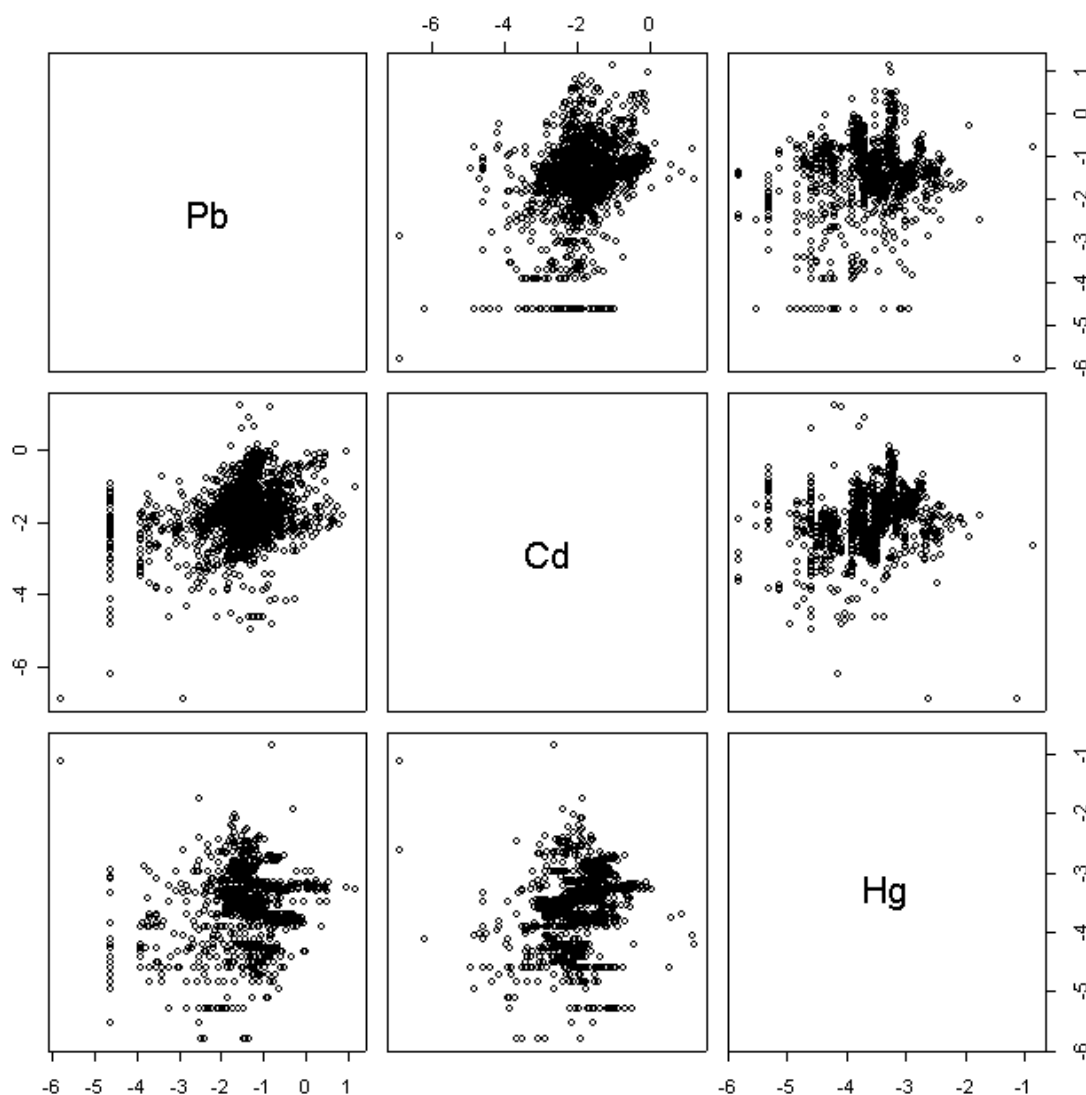


Figure 2 : Etude de la corrélation entre les trois contaminants (Pb, Cd, Hg) chez les mollusques

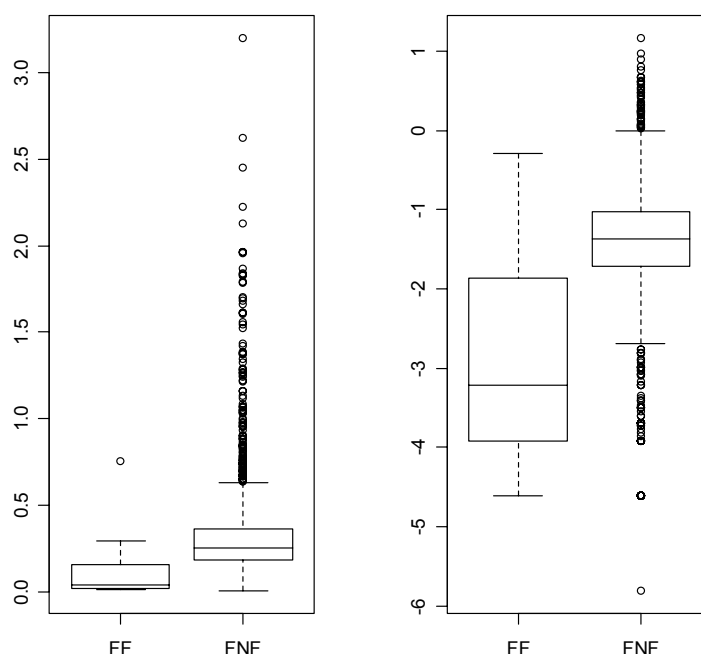
4.3.1 Le plomb

Le tableau 19 présente les données statistiques descriptives selon les catégories définies de mollusques pour le plomb.

Tableau 19 : Données statistiques descriptives selon les catégories de mollusques pour le plomb

	N	Min.	P25	P50	Moyenne	P75	Max.	Ecart-type
FF	29	0.010	0.02	0.040	0.103	0.155	0.75	0.153
FNF	1876	0.003	0.18	0.252	0.315	0.360	3.20	0.279

Le graphique 4 présente les "Box Plot" selon les catégories. Ce type de graphique permet de faire une représentation rapide des données. L'analyse statistique permet de proposer une valeur maximale et minimale attendue (représentées par un trait). Toute valeur sortant de cet l'intervalle [valeur maximale attendue – valeur minimale attendue] est considérée comme aberrante ("outlier").



**Graphique 4 : "Box Plot" selon les catégories de mollusques pour le plomb.
A gauche : données brutes, à droite données après transformation logarithmique.
Les rectangles représentent l'intervalle inter-quartiles.**

On constate une forte séparation des catégories définies et la présence de données considérées par l'algorithme comme "aberrantes" (données présentées par un rond), c'est à dire sortant des valeurs attendues.

a) Etude par analyses de variance :

Modèle 1

Le modèle ne prend en compte que les catégories.

La catégorie FNF est statistiquement plus contaminée que la catégorie FF.

**Tableau 20 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie"
au regard de la contamination par le plomb**

cat	lpb LSMEAN	Standard Error	H0:LSMEAN=0	
			Pr > t	LSMean1= LSMean2 Pr > t
FF	-3.05354634	0.16112420	<.0001	<.0001
FNF	-1.45433800	0.02003288	<.0001	

Modèle 2

Le modèle prend en compte les variations entre espèces à l'intérieur d'une catégorie.

La variable "espèces intra-catégorie" est fortement significative ($p < 0.0001$). Le critère "catégorie" reste significatif ($p < 0.0001$).

**Tableau 21 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie" et la variable "espèce"
au regard de la contamination par le plomb**

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cat	1	19.9237564	19.9237564	28.47	<.0001
espèce(cat)	5	104.6278450	20.9255690	29.91	<.0001

La comparaison 2 à 2 des moyennes rangs-données (tableau 22) montre que, dans la catégorie FF, les espèces ne peuvent pas être différenciées selon leur niveau de contamination en plomb. En revanche, dans la catégorie FNF, statistiquement, on sépare nettement les coquilles Saint-Jacques, les huîtres et les moules selon leur niveau de contamination. Les pétoncles ne sont pas différents des huîtres et des moules.

**Tableau 22 : Degré de signification de la comparaison 2 à 2
des moyennes des rangs - données de plomb**

	amandes	coques	palourdes	St Jacques	huîtres	moules	pétoncles
amandes		0.5178	0.8824				
coques	0.5178		0.2123				
palourdes	0.8824	0.2123					
St Jacques					<.0001	<.0001	0.0029
huîtres				<.0001		<.0001	0.3942
moules				<.0001	<.0001		0.9661
pétoncles				0.0029	0.3942	0.9661	

b) Etude par arbre de régression

On utilise la variable "espèce" pour séparer les observations. Les séparations suivantes apparaissent :

- les espèces amandes, coques, coquilles Saint-Jacques, palourdes d'une part (moins contaminées) ;
 - o amandes, palourdes
 - o coques, coquilles Saint-Jacques
- les espèces huîtres, moules, pétoncles d'autre part,
 - o huîtres
 - o moules, pétoncles

On constate que la séparation des catégories FF et FNF n'est pas reproduite.

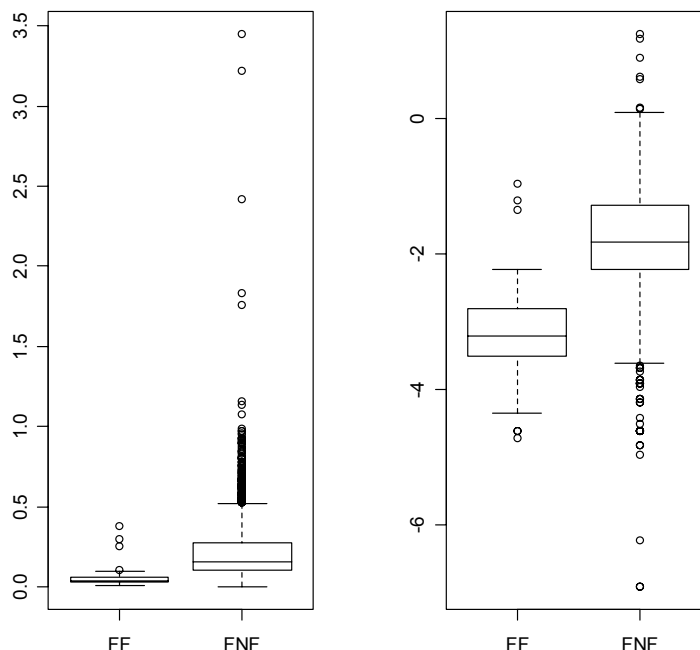
4.3.2 Le cadmium

Le tableau 23 présente les données statistiques descriptives selon les catégories définies de mollusques pour le cadmium.

Tableau 23 : Données statistiques descriptives selon les catégories de mollusques pour le cadmium

	N	Min.	P25	P50	Moyenne	P75	Max.	Ecart-type
FF	29	0.009	0.030	0.04	0.070	0.060	0.38	0.088
FNF	1876	0.001	0.108	0.16	0.228	0.274	3.45	0.218

Le graphique 5 présente les "Box Plot" selon les catégories. Ce type de graphique permet de faire une représentation rapide des données. L'analyse statistique permet de proposer une valeur maximale et minimale attendue (représentées par un trait). Toute valeur sortant de cet l'intervalle [valeur maximale attendue – valeur minimale attendue] est considérée comme aberrante ("outlier").



**Graphique 5 : "Box Plot" selon les catégories de mollusques pour le cadmium.
A gauche : données brutes, à droite données après transformation logarithmique.
Les rectangles représentent l'intervalle inter-quartiles.**

On constate une forte séparation des catégories et la présence de données considérées par l'algorithme comme "aberrantes" (données présentées par un rond), c'est à dire sortant des valeurs attendues.

a) Etude par analyses de variance :

Modèle 1

Le modèle ne prend en compte que les catégories.

Le critère "catégorie" est fortement significatif ($p < 0.0001$). La catégorie FNF est statistiquement plus contaminée que la catégorie FF.

**Tableau 24 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie"
au regard de la contamination par le cadmium**

cat	lcd LSMEAN	Standard Error	H0:LSMEAN=0 Pr > t	H0:LSMean1= LSMean2 Pr > t
FF	-3.13127722	0.14962623	<.0001	<.0001
FNF	-1.78636034	0.01860331	<.0001	

Modèle 2

Le modèle prend en compte les variations entre espèces à l'intérieur d'une catégorie.

La variable "espèce intra-catégorie" est fortement significative ($p < 0.0001$). Le critère "catégorie" est également fortement significatif ($p < 0.0117$).

**Tableau 25 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie" et la variable "espèce"
au regard de la contamination par le cadmium**

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cat	1	39.001822	39.001822	11.89	0.0117
Error	6.6266	21.737574	3.280372		
Error: 0.0369*MS(espèce(cat)) + 0.9631*MS(Error)					

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
espèce(cat)	5	386.177675	77.235535	172.59	<.0001
Error: MS(Error)	1898	849.349362	0.447497		

En comparant 2 à 2 les moyennes des rangs-données (tableau 26), on observe que dans la catégorie FF, les coques et les palourdes sont statistiquement moins contaminées que les amandes par le cadmium.

Dans la catégorie FNF, on peut clairement séparer toutes les espèces dans l'ordre de contamination croissant suivant : moules < (huîtres et coquilles Saint-Jacques) < pétoncles.

**Tableau 26 : Degré de signification de la comparaison 2 à 2
des moyennes des rangs - données de cadmium**

	amandes	coques	palourdes	St Jacques	huîtres	moules	pétoncles
amandes		<.0001	0.0006				
coques	<.0001		0.1148				
palourdes	0.0006	0.1148					
St Jacques					0.2323	<.0001	<.0001
huîtres				0.2323		<.0001	<.0001
moules				<.0001	<.0001		<.0001
pétoncles				<.0001	<.0001	<.0001	

b) Etude par arbre de régression

On utilise la variable "espèce" pour séparer les observations.

Toutes les espèces sont différenciées (de la moins à la plus contaminée).

- coques, moules, palourdes
 - o coques, palourdes
 - coques
 - palourdes
 - o moules
- amandes, coquilles Saint-Jacques, huîtres, pétoncles
 - o amandes, coquilles Saint-Jacques, huîtres

- amandes, coquilles Saint-Jacques
- huîtres.
- pétoncles

La séparation par catégorie FF et FNF n'est pas reproduite.

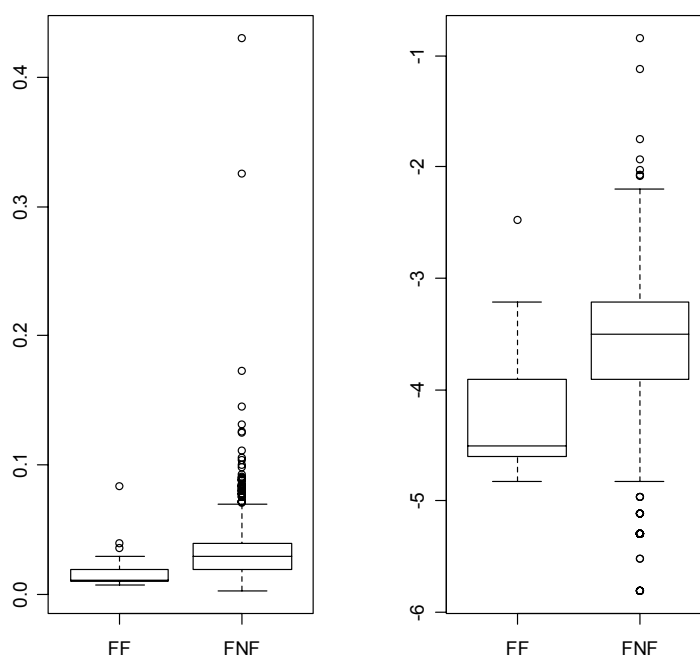
4.3.3 Le mercure

Le tableau 27 présente les données statistiques descriptives selon les catégories de mollusques pour le mercure.

Tableau 27 : Données statistiques descriptives pour les catégories de mollusques pour le mercure

	N	Min.	P25	P50	Moyenne	P75	Max.	Ecart-type
FF	29	0.008	0.01	0.011	0.019	0.02	0.084	0.015
FNF	1204	0.003	0.02	0.030	0.033	0.04	0.430	0.024

Le graphique 6 présente les "Box Plot" selon les catégories. Ce type de graphique permet de faire une représentation rapide des données. L'analyse statistique permet de proposer une valeur maximale et minimale attendue (représentées par un trait). Toute valeur sortant de cet l'intervalle [valeur maximale attendue – valeur minimale attendue] est considérée comme aberrante ("outlier").



Graphique 6 : "Box Plot" selon les catégories de mollusques pour le mercure.
A gauche : données brutes, à droite données après transformation logarithmique.
Les rectangles représentent l'intervalle inter-quartiles.

On constate une forte séparation des catégories et la présence de données considérées par l'algorithme comme "aberrantes" (données présentées par un rond), c'est à dire sortant des valeurs attendues.

a) Etude par analyses de variance

Modèle 1

Le modèle ne prend en compte que les catégories.

La catégorie FNF est statistiquement plus contaminée que la catégorie FF.

Tableau 28 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie" au regard de la contamination par le mercure

cat	lhg LSMEAN	Standard Error	H0:LSMEAN=0 Pr > t	H0:LSMean1= LSMean2 Pr > t
FF	-4.17680980	0.11756961	<.0001	<.0001
FNF	-3.60930765	0.01824655	<.0001	

Modèle 2

Le modèle prend en compte les variations entre espèces à l'intérieur d'une catégorie et les variations entre sites.

Le critère "catégorie" n'est plus significatif ($p = 0.84$). La variable "espèce" est significative ($p < 0.0001$).

Tableau 29 : Analyse de la variance pour le critère "catégorie" et la variable "espèce" au regard de la contamination par le mercure

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Catégorie	1	52.271787	52.271787	155.79	<.0001
espece(cat)	5	32.407232	6.481446	19.32	<.0001
Error: MS(Error)	1225	411.017697	0.335525		

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cat	1	0.028126	0.028126	0.04	0.8429
Error	16.797	11.659152	0.694105		
Error: 0.0583*MS(espece(cat)) + 0.9417*MS(Error)					

Par comparaison 2 à 2 des moyennes des rangs-données (tableau 30), on ne peut pas différencier les espèces de la catégorie FF selon leur niveau de contamination par le mercure.

Pour la catégorie FNF, on peut classer statistiquement les espèces par ordre de contamination croissant : coquilles Saint-Jacques < moules < huîtres. Par manque de données, les pétoncles ne peuvent être classés.

Tableau 30 : Degré de signification de la comparaison 2 à 2 des moyennes des rangs - données de mercure

	amandes	coques	palourdes	St Jacques	huîtres	moules	pétoncles
amandes		0.7907	0.7692				
coques	0.7907		0.9937				
palourdes	0.7692	0.9937					
St Jacques					<.0001	0.0085	0.3644
huîtres				<.0001		<.0001	0.2896
moules				0.0085	<.0001		0.8916
pétoncles				0.3644	0.2896	0.8916	

b) Etude par arbre de régression

On utilise la variable "espèce" pour séparer les observations.

Les groupes suivants apparaissent (du moins au plus contaminé) :

- amandes, coques, coquilles Saint-Jacques, moules, palourdes, pétoncles
 - o amandes, coques, coquilles Saint-Jacques, palourdes, pétoncles
 - coquilles Sain-Jacques
 - amandes, coques, palourdes, pétoncles
 - o moules
- huîtres

La séparation des catégories FF et FNF n'est pas reproduite.

CONCLUSIONS pour les mollusques

Il n'existe pas de corrélation évidente entre la contamination des mollusques par les trois contaminants métalliques : plomb, cadmium et mercure. Il semble donc nécessaire d'envisager une approche par contaminant au regard des catégories de mollusques.

Il convient de noter également un déséquilibre du nombre de données de contamination entre ces deux catégories.

Contamination des mollusques par le plomb

La catégorie des filtreurs, non-fouisseurs (FNF) est statistiquement plus contaminée par le plomb que la catégorie des filtreurs, fouisseurs (FF). En tenant compte de la variabilité entre les espèces d'une même catégorie, il est possible de séparer les espèces de la catégorie FNF. Enfin l'étude par arbre de régression ne permet pas de distinguer les catégories définies.

Contamination des mollusques par le cadmium

La catégorie FNF est statistiquement plus contaminée par le cadmium que la catégorie FF. En tenant compte de la variabilité entre les espèces d'une même catégorie, on sépare clairement les espèces des catégories FF et FNF selon leur niveau de contamination. Enfin, l'étude par arbre de régression ne permet pas de distinguer les catégories définies.

Contamination des mollusques par le mercure

La catégorie FNF semble statistiquement plus contaminée par le mercure que la catégorie FF. Cependant, en tenant compte du site de prélèvement/débarquement et de la variabilité entre les espèces d'une même catégorie, cette différence disparaît au profit d'une différence entre espèces. On sépare clairement les espèces de la catégorie FNF selon leur niveau de contamination. Enfin, l'étude par arbre de régression ne permet pas de distinguer les catégories définies.

4.4 CAS DE LA CONTAMINATION DES POISSONS PAR LES PCB INDICATEURS, LES DIOXINES ET FURANES ET LES PCB DE TYPE DIOXINE

Données disponibles

L'analyse a été réalisée à partir des données issues de trois sources :

- les résultats du plan de surveillance de la contamination par les dioxines et furanes (exprimés en pg I-TEQ/g de produit) des produits de la mer (étude type "panier de la ménagère"), année 1998/1999 ;
- les résultats du plan de surveillance de la contamination par les dioxines et furanes et les PCB de type dioxine (exprimés en pg I-TEQ/g de produit) des poissons pêchés en mer, année 2000 ;
- les résultats du plan de surveillance de la contamination par les PCB indicateurs (exprimés en ng/g de produit) des poissons pêchés en mer, année 2000
- les résultats SANCO 2002 : PCB indicateurs (exprimés en ng/g produit) et PCB de type dioxine (exprimés en pg I-TEQ/g produit).

Les données de contamination de chaque source ont été regroupées par catégorie de poisson et par contaminant : PCB indicateurs (89 échantillons) , dioxines et furanes (111 échantillons) et PCB de type dioxine (60 échantillons).

Plusieurs résultats n'ont pas été utilisés :

- n'appartenant à aucune catégorie prédéfinie ;
- calculés sur la matière grasse (compte tenu que l'essentiel des données étaient exprimées en gramme de produit).

4.4.1 Les PCB indicateurs

Le tableau 31 présente les données statistiques descriptives selon les catégories de poisson pour les PCB indicateurs.

Tableau 31 : Données statistiques descriptives selon les catégories de poissons pour les PCB indicateurs

Catégorie	DCMV	BCMV	BNCGV	PNCMV	PNCGV	Global
Nombre de données	39	14	1	4	31	89
Moyenne algébrique	12.627	7.524	2.090	1.350	53.861	25.561
Ecart type	28.569	7.543	NA	0.764	68.769	49.133
Minimum	0.170	0.490	2.090	0.630	0.900	0.170
Maximum	145.600	28.530	2.090	2.120	343.070	343.070
Moyenne des ln	1.204	1.546	0.737	0.163	3.258	1.921
Moyenne géométrique	3.333	4.693	2.090	1.177	25.990	6.828
Ecart type des ln	1.604	1.095	NA	0.620	1.404	1.735

On observe que :

- la catégorie BNCGV n'est représentée que par un échantillon ;
- le plan d'échantillonnage est largement déséquilibré ;
- les écart-types sont très variables et semblent d'autant plus élevés que la moyenne est élevée ;
- la transformation logarithmique semble stabiliser la variance.

La répartition des échantillons par catégorie est donnée dans les histogrammes suivants :

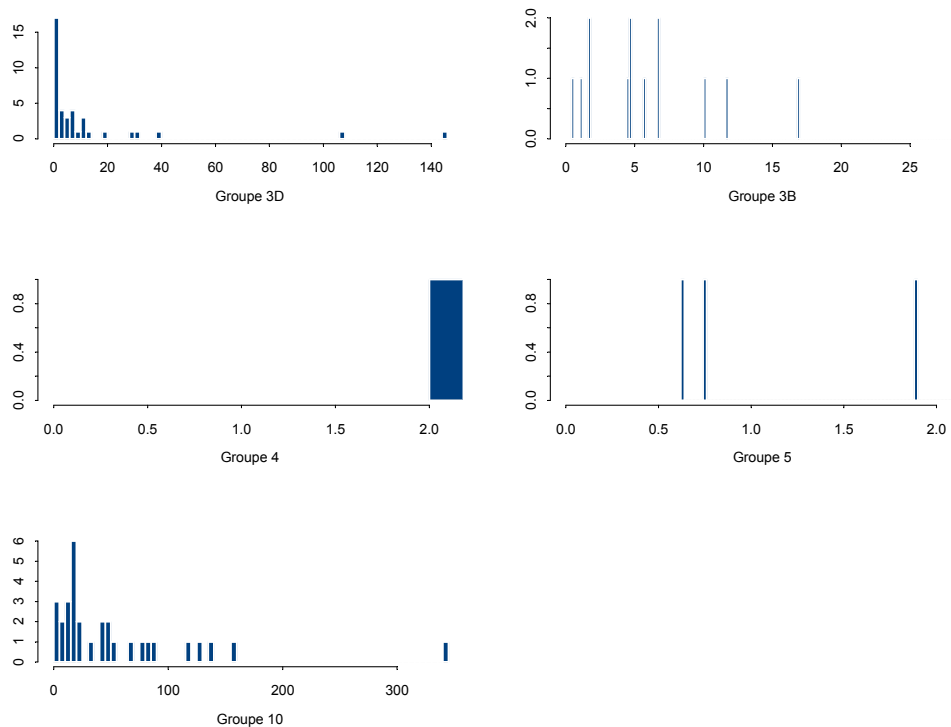


Figure 3 : Histogrammes de fréquence des données par catégorie de poisson pour les PCB indicateurs (attention : les échelles sont différentes ; en ordonnée : fréquence de contamination, en abscisse : concentration en ng/g). DCMV=groupe 3D, BCMV=groupe 3B, BNCGV=groupe 4, PNCMV=groupe 5, PNCGV=groupe 10

Etude par analyse de variance

La catégorie PNCGV est significativement plus contaminée par les PCB indicateurs que les catégories BCMV, DCMV et PNCMV. Il n'est pas possible de dissocier les catégories BCMV, DCMV et PNCMV. En outre, il n'est pas possible de séparer la catégorie BNCGV de toutes les autres (rappelons qu'il n'y a qu'une seule donnée dans ce groupe).

Les résultats sont identiques si l'on travaille sur les données après transformation logarithmique ou sur les rangs.

Tableau 32 : Degré de signification de la comparaison 2 à 2 des moyennes des rangs - données pour les PCB indicateurs

	PNCGV	BCMV	DCMV	BNCGV	PNCMV
PNCGV		0.0002	<.0001	0.0864	<.0001
BCMV	0.0002		0.4373	0.6103	0.0882
DCMV	<.0001	0.4373		0.7781	0.1653
BNCGV	0.0864	0.6103	0.7781		0.6893
PNCMV	<.0001	0.0882	0.1653	0.6893	

4.4.2 Les dioxines et furanes

Le tableau 33 présente les données statistiques descriptives selon les catégories de poisson pour les dioxines et furanes.

Tableau 33 : Données statistiques descriptives selon les catégories de poissons pour les dioxines et furanes

Catégorie	DCMV	BCMV	PNCMV	PCGJ	PCGV	PNCGV	Global
Nombre de données	58	15	4	3	12	19	111
Moyenne algébrique	0.095	0.917	0.045	0.031	0.444	0.834	0.367
Ecart type	0.126	1.782	0.019	0.018	0.341	1.277	0.903
Minimum	0.003	0.060	0.030	0.014	0.004	0.220	0.003
Maximum	0.580	7.200	0.070	0.050	1.170	5.900	7.200
Moyenne des ln	-3.033	-0.953	-3.167	-3.590	-1.452	-0.623	-2.188
Moyenne géométrique	0.048	0.386	0.042	0.028	0.234	0.536	0.112
Ecart type des ln	1.184	1.245	0.415	0.641	1.666	0.794	1.572

On observe que :

- le plan d'échantillonnage est largement déséquilibré ;
- les écart-types sont très variables et semblent d'autant plus élevés que la moyenne est élevée ;
- la transformation logarithmique stabilise mal la variance.

La répartition des échantillons par catégorie est donnée dans les histogrammes suivants.

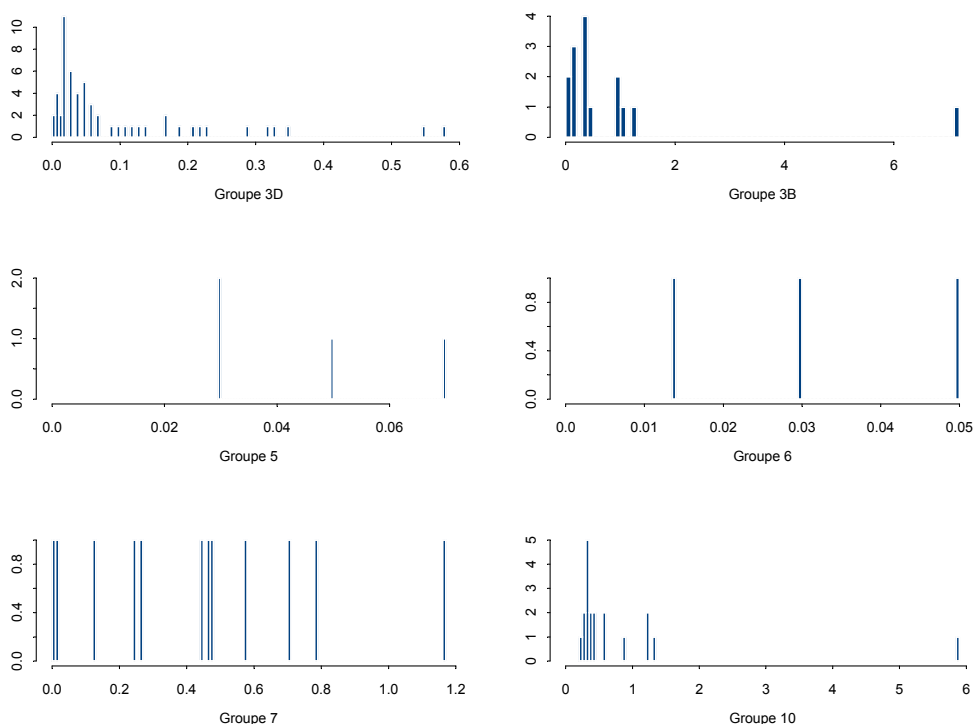


Figure 4 : Histogrammes de fréquence des données par catégorie pour les dioxines et furanes (attention : les échelles sont différentes : en ordonnée : fréquence de contamination, en abscisse : concentration en pg TEQ/g). DCMV=groupe 3D, BCMV=groupe 3B, PNCMV=groupe 5, PCGJ=groupe 6, PCGV=groupe 7, PNCGV=groupe 10

Etude par analyse de variance

La contamination par les dioxines et furanes des catégories PNCGV, BCMV et PCGV est significativement supérieure à celle des catégories DCMV, PNCMV et PCGJ. Il n'est pas possible de mettre en évidence d'autres différences significatives.

Les résultats sont identiques si l'on travaille sur les données après transformation logarithmique ou sur les rangs.

Tableau 34 : Degré de signification de la comparaison 2 à 2 des moyennes des rangs - données pour les dioxines et furanes

	PCGV	BCMV	DCMV	PNCMV	PCGJ	PCGV
PNCGV		0.3064	<.0001	<.0001	<.0001	0.0978
BCMV	0.3064		<.0001	0.0011	0.0003	0.5020
DCMV	<.0001	<.0001		0.8596	0.3637	<.0001
PNCMV5	<.0001	0.0011	0.8596		0.5583	0.0055
PCGJ	<.0001	0.0003	0.3637	0.5583		0.0017
PCGV	0.0978	0.5020	<.0001	0.0055	0.0017	

4.4.3 Les PCB de type dioxine

Le tableau 35 présente les données statistiques descriptives selon les catégories de poisson pour les PCB de type dioxine.

Tableau 35 : Données statistiques descriptives selon les catégories de poissons pour les PCB de type dioxine

Groupe	DCMV	BCMV	PCGV	PNCGV	Global
Nombre de données	16	6	25	13	60
Moyenne algébrique	2.647	0.688	6.186	2.050	3.796
Ecart type	6.217	0.892	7.134	2.419	6.018
Minimum	0.103	0.156	0.056	0.083	0.056
Maximum	25.542	2.438	33.048	7.935	33.048
Moyenne des ln	-0.256	-0.924	1.103	0.002	0.299
Moyenne géométrique	0.774	0.397	3.014	1.002	1.349
Ecart type des ln	1.466	1.070	1.554	1.397	1.598

On observe que :

- le plan d'échantillonnage est déséquilibré ;
- les écart-types sont très variables ;
- la transformation logarithmique semble stabiliser la variance.

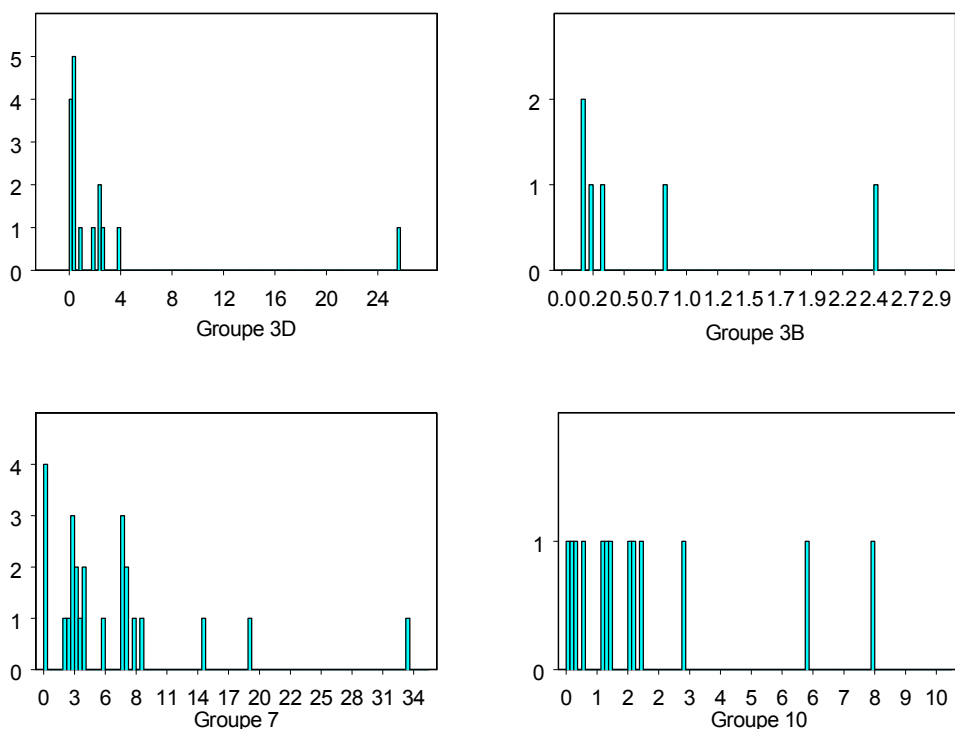


Figure 5 : Histogrammes de fréquence des données par catégorie de poisson pour les PCB de type dioxine (attention : les échelles sont différentes ; en ordonnée : fréquence de contamination, en abscisse : concentration en pg TEQ/g). DCMV=groupe 3D, BCMV=groupe 3B, PCGV=groupe 7, PNCGV=groupe 10

Etude d'analyse de variance

La contamination par les PCB de type dioxine de la catégorie PCGV est significativement supérieure à celle des catégories DCMV, BCMV et PNCGV. Il n'est pas possible de mettre en évidence d'autres différences significatives.

Les résultats sont identiques si l'on travaille sur les données après transformation logarithmique ou sur les rangs.

Tableau 36 : Degré de signification de la comparaison 2 à 2 des moyennes des rangs - données de PCB de type dioxine

	PNCGV	BCMV	DCMV	PCGV
PNCGV		0.1794	0.6736	0.0109
BCMV	0.1794		0.2886	0.0011
DCMV	0.6736	0.2886		0.0017
PCGV	0.0109	0.0011	0.0017	

CONCLUSIONS pour les PCB indicateurs, les dioxines et furanes et les PBC de type dioxine

Contamination des poissons

La discrimination des catégories de poisson définies selon leur habitat, comportement alimentaire, taux de matière grasse et âge au regard d'un niveau de contamination par les PCB indicateurs ou les dioxines et furanes ou les PCB de type dioxine n'est pas possible, y compris lorsque l'on travaille sur les données après transformation logarithmique ou sur les rangs.

5 CONCLUSION GENERALE

Les variables retenues (habitat, comportement alimentaire, âge, taux de matière grasse et taille au moment de la pêche) pour définir des catégories de poissons et de mollusques ne se sont pas montrées suffisamment discriminantes au regard des niveaux de contamination mesurés dans les différentes espèces incluses dans ces catégories. En l'état actuel des données disponibles, selon les catégories *a priori* définies, il n'apparaît pas possible de retenir l'approche fondée sur l'hypothèse d'une relation entre les niveaux de contamination observés dans les espèces marines et d'aquaculture et les propriétés physico-chimiques des contaminants concernés.

Cependant, il convient de rappeler le fait que ne pas mettre en évidence de différence significative entre deux catégories telles que définies ne signifie pas qu'elle n'existe pas. Le faible nombre de données pour certains contaminants, le déséquilibre du plan d'échantillonnage entre les catégories et la variabilité des écart-types qui semblent d'autant plus élevés que la moyenne de contamination est élevée est probablement à l'origine de cette absence de signification (manque de puissance de l'analyse).

Malgré la faiblesse des données relatives au site de prélèvement/débarquement (toutes les données disponibles ne comportaient pas la mention du site de prélèvement/débarquement), cette variable a été introduite dans les modèles d'analyse statistique qui semblent suggérer que cette variable serait plus importante pour rendre compte du niveau de contamination des espèces que celles liées au comportement écologique et physiologique de ces espèces. En l'état actuel des données disponibles concernant la connaissance de la zone de pêche (site de prélèvement), il n'est cependant pas possible d'affiner une classification des espèces sur le fondement de ce descripteur.

Il convient également de tenir compte des propriétés physico-chimiques (liposolubilité) et biologiques (bioaccumulation, métabolisation) des contaminants.

- Concernant le plomb, il apparaît normal, du point de vue écologique, de ne pas voir se dégager de catégories en raison de l'absence de mécanisme de bioaccumulation de ce métal dans les espèces.
- Le cadmium est un métal très diffusible auquel les benthiques carnassiers seraient les plus exposés, les non carnassiers pouvant être aussi exposés mais dans une moindre mesure. Le cadmium est stocké dans le foie et les reins (cf activité des métallothionéines) alors que les dosages sont faits dans le muscle. L'âge joue un rôle dans l'accumulation. De ce fait, les prédateurs "vieux" (espadon ou marlin) sont les plus contaminés. Concernant les autres espèces, l'accès au réservoir conditionnera le niveau de contamination. Les espèces pêchées en zones estuariennes peuvent être aussi très contaminées.
- Le mercure est un contaminant d'origine volcanique qui se concentre et se magnifie sous forme de méthyle mercure dans la chaîne alimentaire. Le caractère "vieux" joue un rôle dans les niveaux de contamination observés chez le thon par exemple. Cette origine volcanique explique également la faible décroissance des taux de mercure mesurés dans les poissons depuis 10 ans. En revanche lorsque la contamination est d'origine anthropique, comme dans le cas des mollusques en région littorale, les données du RNO mettent en évidence une réelle décroissance de la contamination dans les moules et les huîtres.
- Il n'apparaît pas possible d'établir une relation entre un niveau de contamination par les PCB indicateurs, les dioxines et furanes ou les PCB de type dioxine et les catégories de poisson *a priori* définies y compris lorsque l'on travaille sur les données après transformation logarithmique ou sur les rangs. Les connaissances sur les zones de contamination environnementale par les PCB et les dioxines et furanes et le fait que les biocénoses marines et dulçaquicoles concentrent ces substances polychlorées aussi bien par la voie de contact avec les sédiments que par la voie de la chaîne alimentaire, laissent penser que l'ensemble des poissons d'une zone contaminée quels que soient leur habitat ou leur comportement alimentaire seront contaminés de la même façon. Bien que le lieu de prélèvement des échantillons utilisés dans cette étude ne soit pas mentionné, il est fort probable que la zone de pêche soit un descripteur plus significatif pour établir une relation entre niveau de contamination et produits de la pêche contaminés.

Si une approche par zone de pêche devait être retenue, cela impliquerait :

- de définir le mode d'identification des zones de pêche ;
- de connaître pour chaque arrivage la zone de pêche,
- de disposer d'un nombre d'échantillons suffisant et de résultats d'analyse pour les différents contaminants considérés qui permettent d'établir une corrélation statistique avec la zone de pêche,
- de disposer de la taille des individus pour estimer l'âge de l'animal dans sa catégorie,
- de connaître la date de pêche pour pouvoir tenir compte de la variation saisonnière.

De plus, la prise en compte d'autres facteurs écologiques plus précis, comme les phénomènes de migration ou le lieu de vie plus ou moins éloigné des côtes, pourrait permettre d'affiner une catégorisation des poissons.

En vue de réaliser des prélèvements aléatoires adaptés à l'identification d'une contamination d'une zone de pêche, il est proposé en annexe des éléments d'éclairage pour l'établissement de plans d'échantillonnage.

ANNEXE

RECHERCHE D'UN PLAN D'ECHANTILLONNAGE POUR LES PRODUITS DE LA PECHE

Détermination de la limite inférieure de la prévalence de la contamination sur une zone de pêche donnée

On entend par :

- *poisson contaminé* : poisson ayant une teneur en contaminant supérieure à la norme en vigueur ou à toute autre valeur fixée conventionnellement ;
- *prévalence de la contamination d'une zone de pêche* : proportion de poissons contaminés au moment de la pêche.

Le tableau suivant permet de **déterminer la limite inférieure de la prévalence** de la contamination sur une zone de pêche donnée, détectable en fonction du nombre de poissons prélevés et analysés et du risque d'erreur accepté (inhérent à la taille de cet échantillon).

Tableau A1 : Prévalence d'animaux contaminés détectable en fonction de la taille de l'échantillon et du risque d'erreur accepté

n	Prévalence détectée pour P*=90% (Risque d'erreur de 10%)	Prévalence détectée pour P*=95% (Risque d'erreur de 5%)	Prévalence détectée pour P*=99% (Risque d'erreur de 1%)
5	0,369042656	0,450719728	0,601892829
10	0,205671765	0,258865551	0,369042656
15	0,142304101	0,181036273	0,264357746
20	0,108749062	0,139108341	0,205671765
25	0,087989161	0,112928145	0,168236229
30	0,073881272	0,095033853	0,142304101
35	0,063670791	0,082031636	0,123287613
40	0,055939124	0,072157525	0,108749062
45	0,049881493	0,064404289	0,097274822
50	0,045007414	0,058155079	0,087989161
55	0,041000939	0,053011055	0,080320801
60	0,037649374	0,048702913	0,073881272
65	0,034804286	0,045042258	0,068397234
70	0,032358946	0,041893344	0,063670791
75	0,030234641	0,039155887	0,059555148
80	0,028372048	0,036754198	0,055939124
85	0,026725614	0,034630075	0,052736969
90	0,025259774	0,032738034	0,049881493
95	0,023946363	0,031042012	0,047319297
100	0,022762779	0,02951305	0,045007414
150	0,015233348	0,019773438	0,030234641
200	0,011446905	0,014867039	0,022762779
250	0,009168055	0,01191142	0,018252057
300	0,007645904	0,009936082	0,015233348
350	0,006557222	0,008522709	0,013071446
400	0,005739926	0,007461356	0,011446905
450	0,005103787	0,006635073	0,010181525
500	0,004594583	0,005973552	0,009168055

P*=Probabilité de détecter au moins un animal contaminé dans l'échantillon déterminé

Une autre "porte d'entrée" de ce tableau est de se définir une limite inférieure de prévalence de la contamination sur une zone de pêche donnée, que l'on souhaite pouvoir détecter en fonction de laquelle on peut **déterminer la taille de l'échantillon à prélever** en fonction du risque d'erreur accepté.

Exemple : pour pouvoir détecter une contamination qui atteint au moins 7,4% des poissons, l'échantillon à analyser doit comporter 30 poissons tout en acceptant un risque d'erreur de 10% ; si l'on veut réduire le risque d'erreur à 1%, il faut alors prélever 60 poissons ; par contre si le prélèvement ne porte que sur 30 poissons et avec un risque d'erreur de 1%, alors une contamination atteignant au moins 14,2% des poissons pourra seulement être détectée.

