

# **ETUDE DE CAS CONTAMINATION PAR LE MERCURE DES COMMUNAUTES DE POISSONS DU HAUT-MARONI (Guyane Français).**

## **INTRODUCTION.**

La contamination environnementale par le mercure en Guyane résulte des activités d'orpaillage développées à la fin des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles. Des études ont été réalisées entre 1994 et 2005 pour mesurer le taux d'imprégnation par le mercure de la population guyanaise et suivre son évolution en cours du temps dans la population les plus exposées. Cependant, les enquêtes ont montré une exposition au mercure excessive des populations amérindiennes et ont confirmé que cette exposition est bien liée à une alimentation riche en poissons dont certaines espèces sont fortement contaminées, et ont également permis d'identifier les espèces contribuant le plus à l'exposition. Des études réalisées sur l'ensemble du territoire de la Guyane Française ont mis en évidence des imprégnations par le mercure supérieur à la norme OMS dans les cheveux des populations amérindiennes vivant dans la zone Haut-Maroni. Cette contamination a été attribuée à la forte consommation par ces populations de poissons des rivières, ces derniers étant considérés comme les vecteurs privilégiés du métal. En effet, la contamination mercurielle peut être attribuée pour une part importante aux rejets métalliques liés aux activités d'orpaillage car le mercure est largement utilisé pour ses propriétés d'amalgams avec les micro particules d'or. Les données sont constituées de 80 poissons appartenant à 12 espèces et 4 régimes alimentaires.

- Carnivores :
  - Ageneiosus brevifilis (7)
  - Cynodon gibbus (7)
  - Hoplias aimara (10)
  - Potamotrygon hystrix (4)
- Omnivores :
  - Leporinus fasciatus (3)
  - Leporinus frederici (3)
- Détritivores :
  - Doras micropoeus (8)
  - Platydoras costatus (10)
  - Pseudoancistrus barbatus (7)
  - Semaprochilodus varii (8)
- Herbivores :
  - Acnodon Oliganthus (8)
  - Myleus rubripinnis (5)

L'objectif de cette étude est d'acquérir une meilleure connaissance de la contamination par le mercure des communautés de poissons de Haut-Maroni en Guyane Française, afin de prévenir les risques liés à la contamination de certaines espèces. Pour cela nous allons réaliser l'ACP et le Clustering.

Installation des packages nécessaires pour le traitement des données. Dans notre base de données nous avons remplacés les valeurs manquantes par la moyenne des variables pour pouvoir réaliser les statistiques.

## **I- ETUDE AVEC LES VARIABLES D'ORIGINES**

### **1-Statistiques Descriptives sur les variables qualitatives.**

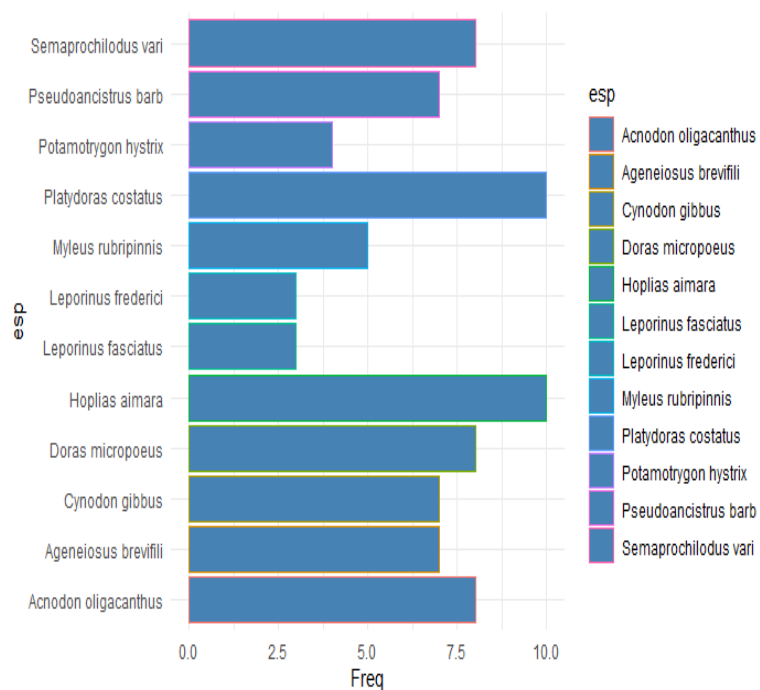
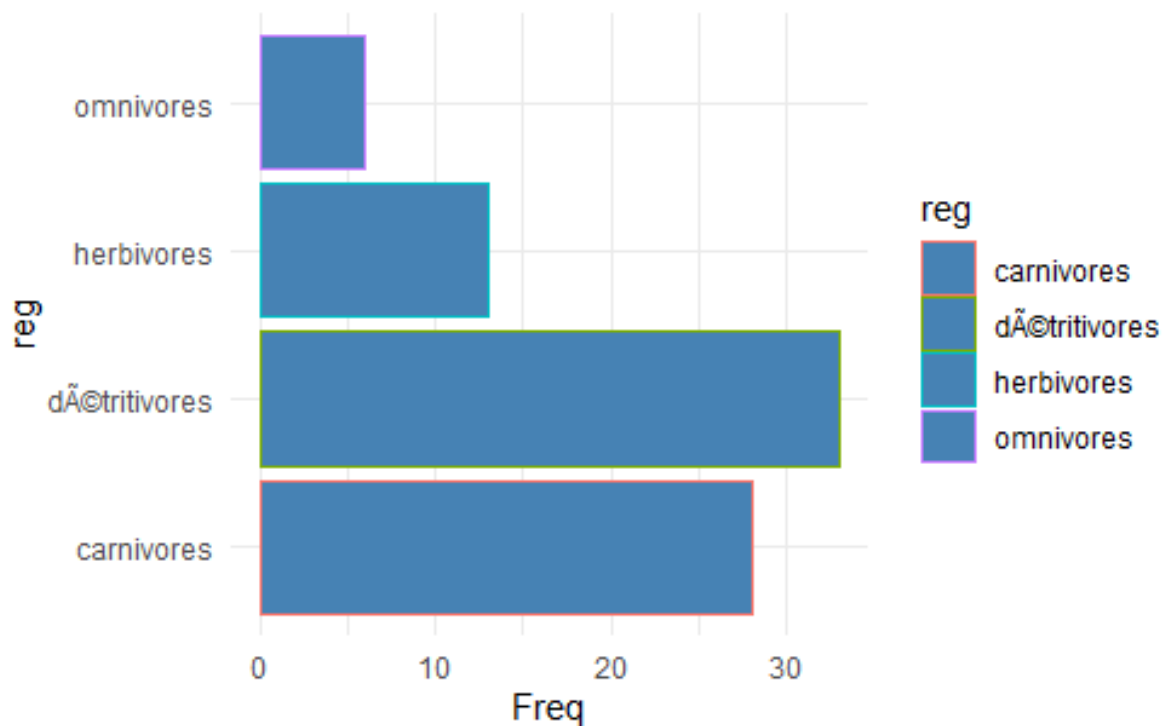


Fig.1 Répartition des espèces

Fig.2 Répartition des régimes.



La fig.1 ci-dessus nous montre que dans la population des poissons, les espèces *Platydoras costatus* et *Hoplias aimara* sont plus représentés suivi des *Acnodon*, *Doras micropoeus* et des *Semaprochilodus*. Les *Ageneiosus brevifili*, *Cynodon gibbus* et *Pseudoancistrus barb* occupent également une part importante en effectif.

Les Détritivores sur la figure 2 sont plus nombreux dans la population suivie des Carnivores, des herbivores et des omnivores. Les Détritivores sont plus représentatives dans la population que les autres régimes.

## 2-Statistiques Descriptives sur les variables quantitatives.



Fig.3 Corrélation des variables quantitatives

Tableau.1 Résumé des données

LONG		POID		MUSC		INTE	
Min.	:10.00	Min.	: 34.9	Min.	: 8.0	Min.	: 21.0
1st Qu.	:18.95	1st Qu.	: 128.0	1st Qu.	: 220.0	1st Qu.	: 279.4
Median	:23.00	Median	: 234.0	Median	: 769.7	Median	: 669.9
Mean	:25.14	Mean	: 709.7	Mean	:1549.8	Mean	: 690.1
3rd Qu.	:27.25	3rd Qu.	: 435.0	3rd Qu.	:1980.0	3rd Qu.	: 745.4
Max.	:63.00	Max.	:6250.0	Max.	:8737.0	Max.	:2980.1
ESTO		BRAN		FOIE		REIN	
Min.	: 10.76	Min.	: 2.438	Min.	: 101.3	Min.	: 42.34
1st Qu.	: 132.42	1st Qu.	: 67.314	1st Qu.	: 785.5	1st Qu.	: 956.25
Median	: 450.66	Median	: 167.811	Median	: 2365.5	Median	: 2541.93
Mean	: 707.08	Mean	: 325.938	Mean	: 5440.1	Mean	: 4527.70
3rd Qu.	: 707.08	3rd Qu.	: 358.665	3rd Qu.	: 6457.1	3rd Qu.	: 5142.90
Max.	:10860.70	Max.	:1976.380	Max.	:43014.0	Max.	:27514.60

La variable Branchie et Muscle sont fortement et positivement corrélées sur la figure.3, si la concentration de mercure augmente (respectivement une baisse) dans les Branchies du poisson, elle augmente également (respectivement une baisse) dans ses muscles.

Le poids des poissons est corrélé positivement avec sa longueur, ainsi les poissons qui ont un poids important, ont également une longueur importante.

Les variables intestins et estomac sont positivement corrélés à la variable muscles, ainsi si la concentration de mercure augmente dans l'intestin où dans l'estomac, elle augmente également dans les muscles du poisson mais Intestin et Estomac ne sont pas corrélés entre elle ce qui est absurde. D'où il convient de normaliser les données.

Ici sur les variables quantitatives dans le tableau 1, il y a un écart significatif entre les moyennes de ces variables et un grand écart entre le min et le max de ces variables. Ainsi nous devons normaliser les données avant de réaliser l'ACP.

En moyenne la concentration en mercure dans les musclés des poissons est de 1549.8, le poids moyen des poissons est de 709.7 et la concentration en mercure dans leur intestin est de 690.1

### 3. Effet de l'Asymétrie des distributions.

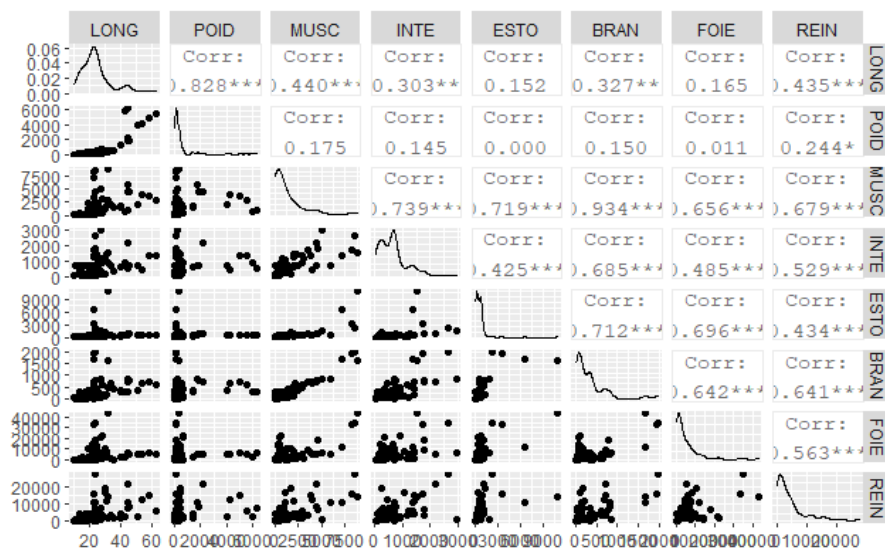


Fig.4 Distribution des variables qualitatives

Il s'agit sur la figure 4 d'une asymétrie positive de la distribution des variables qualitatives. Ceci est dû aux écarts significatifs entre les moyennes supérieures aux médians. Les distributions sont donc étalées à droite de leurs moyennes.

### 4. Analyse en Composante principales.

Sur la figure.5 il s'agit de la projection des variables sur le sous-espace de dimension 2 de  $R^{80}$  qui

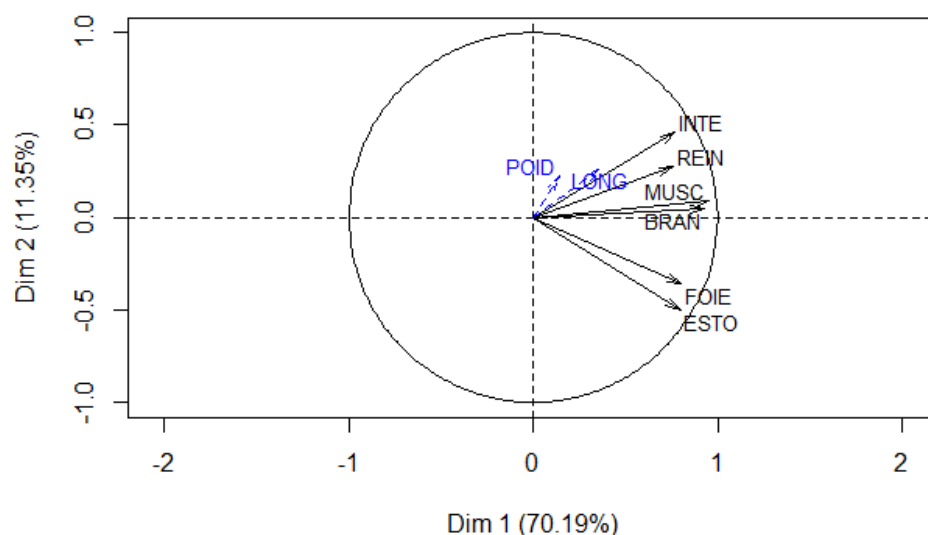
Apporte le plus d'information. Les 6 variables sont bien représentées dans ce plan 1-2 (ce qui n'est pas une surprise car il contient 81,54% de l'information) car leurs

Projections sont proches de la circonférence du cercle.

L'axe 1 qui explique 70.19% de l'inertie est corrélé positivement avec les variables Intestin, Estomac, Rein, Muscle, Branchie et Foie. C'est un facteur entre ces variables et les variables

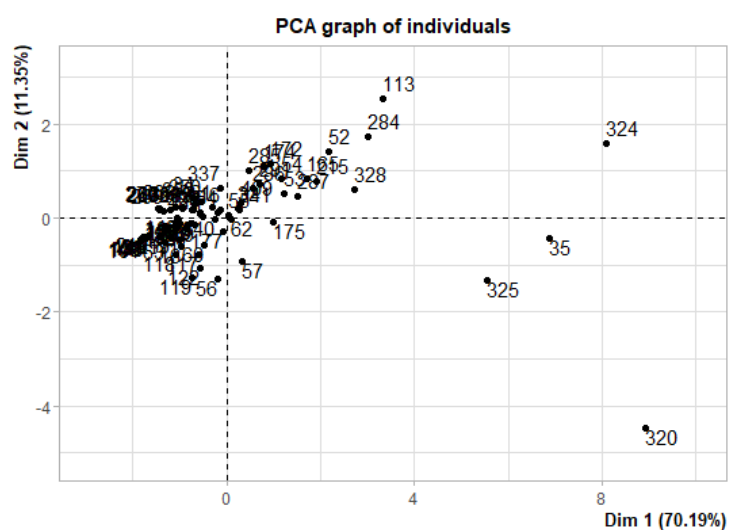
sont corrélées entre elles, ce qui Pollue l'ACP. Ceci n'est pas étonnant car l'axe 1 à pris toutes les informations.

**Fig.5 Cercle des corrélations du plan 1**



L'axe 1 sur la figure 6 est corrélé positivement avec les poissons 324, 35, 325 et 320. Ce sont des poissons qui ont une forte concentration de mercure dans leur Intestin, Estomac, Rein, Muscle, Branchie et Foie.

**Fig.6 Plan factoriel 1 des individus**



## II. ETUDE AVEC LES LOG DES VARIABLES DE CONCENTRATION.

Dans cette section, nous allons transformer les variables de concentration par passage au log afin d'obtenir des distributions moins asymétriques. Ensuite nous réalisons un ACP sur les nouvelles données et analysons les nouveaux résultats.

- Analyse des nouvelles variables numériques.....

Le tableau 3 ci-dessous nous montre une diminution de l'asymétrie car l'écart observé entre la moyenne et le médian est faible par rapport aux données du tableau.1

Tableau.3 Résumé des données

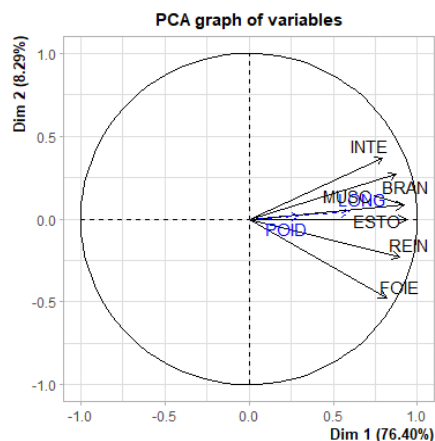
MUSC	INTE	ESTO	BRAN
Min. :2.079	Min. :3.045	Min. :2.376	Min. :0.8914
1st Qu.:5.342	1st Qu.:5.370	1st Qu.:4.596	1st Qu.:3.9787
Median :6.645	Median :6.119	Median :5.778	Median :4.7546
Mean :6.346	Mean :6.023	Mean :5.592	Mean :4.8108
3rd Qu.:7.591	3rd Qu.:6.909	3rd Qu.:6.493	3rd Qu.:6.0641
Max. :9.075	Max. :8.000	Max. :9.293	Max. :7.5890
	NA's :17	NA's :13	NA's :13

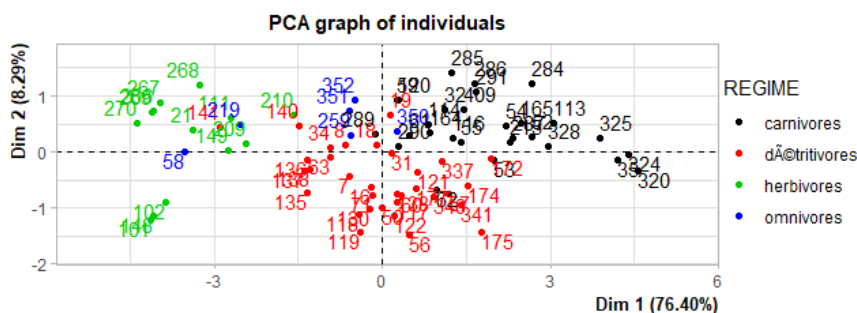
FOIE	REIN
Min. : 4.618	Min. : 3.746
1st Qu.: 6.665	1st Qu.: 6.808
Median : 7.768	Median : 7.573
Mean : 7.721	Mean : 7.490
3rd Qu.: 8.772	3rd Qu.: 8.666
Max. :10.669	Max. :10.222
	NA's :8

- ACP avec les logs des 6 variables de concentration en actives et les autres en illustratives

**Fig.7 Cercle de corrélation du plan 1**



De plus cet effet taille fait qu'on n'a pas d'information pour caractériser les individus qui sont bien projetés sur le côté opposé de l'axe 1.



Il faut supprimer cet effet taille pour pouvoir avoir une vision ou une idée des classes qui peuvent de formées. La suppression permettra aussi d'éviter un mélange de classe. Elle permettra aussi à l'axe 2 de prendre une part significative de l'inertie total et diminuant celle de l'axe 1. La suppression nous permettra une bonne répartition des variables sur le deuxième axe afin de mieux faire la caractérisation sur cet axe.

ACP sur les cinq variables log (organe/muscle) en actives et les autres en illustratives

Fig.9 Corrélation des variables log (organe/muscle)

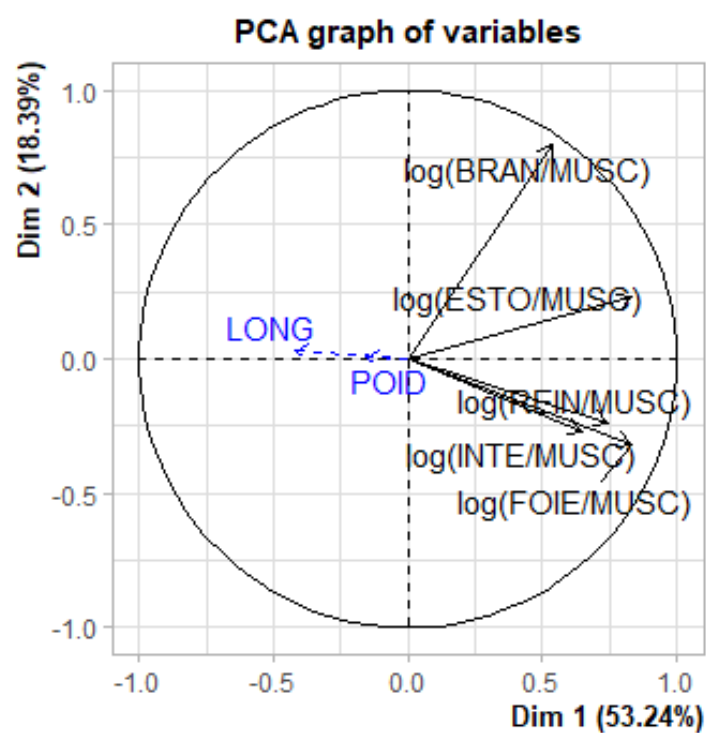
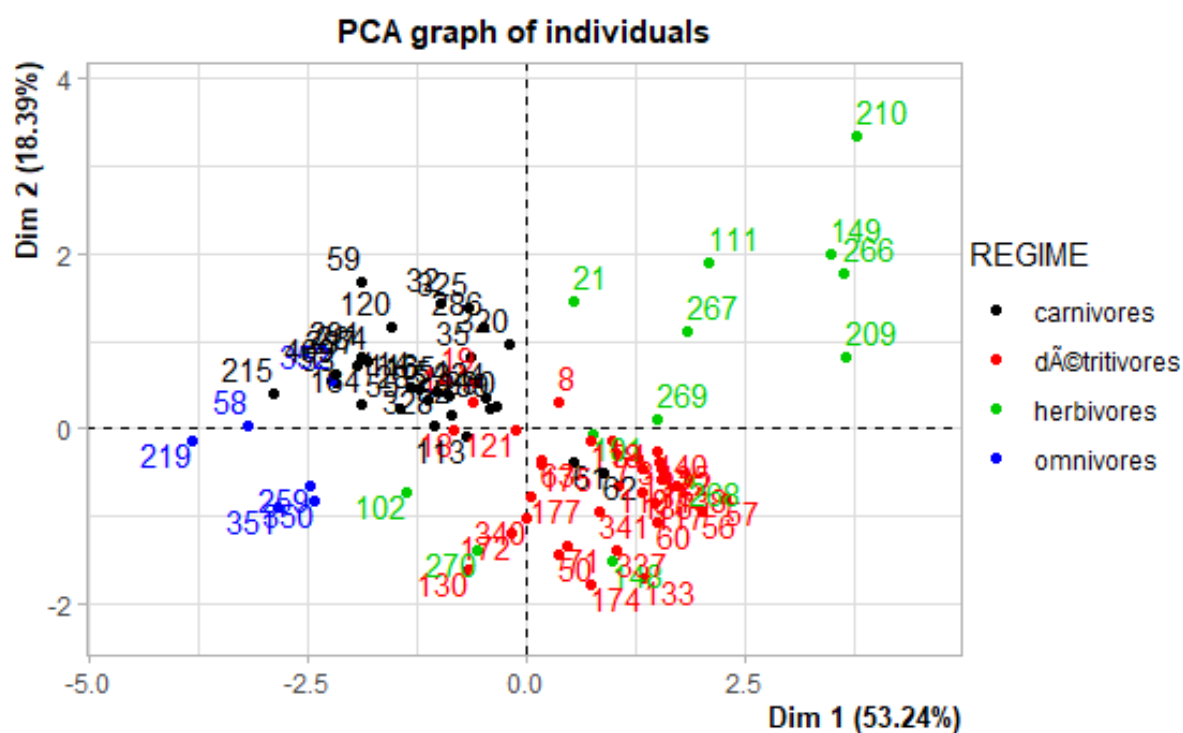


Fig.10 Plan factoriel des individus

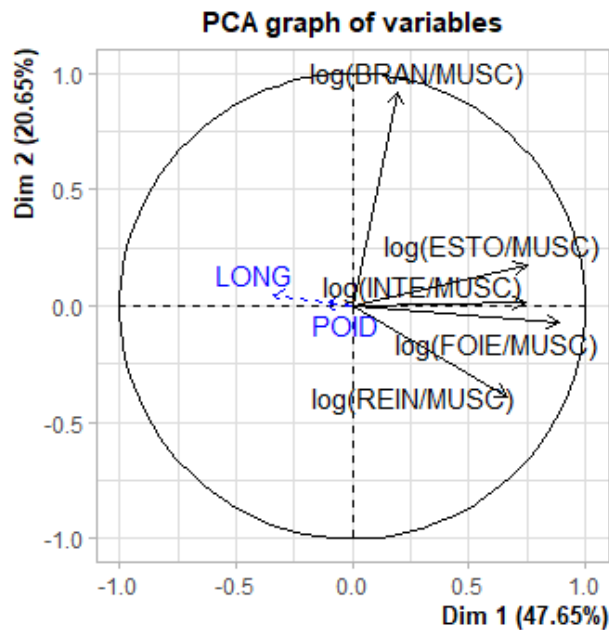




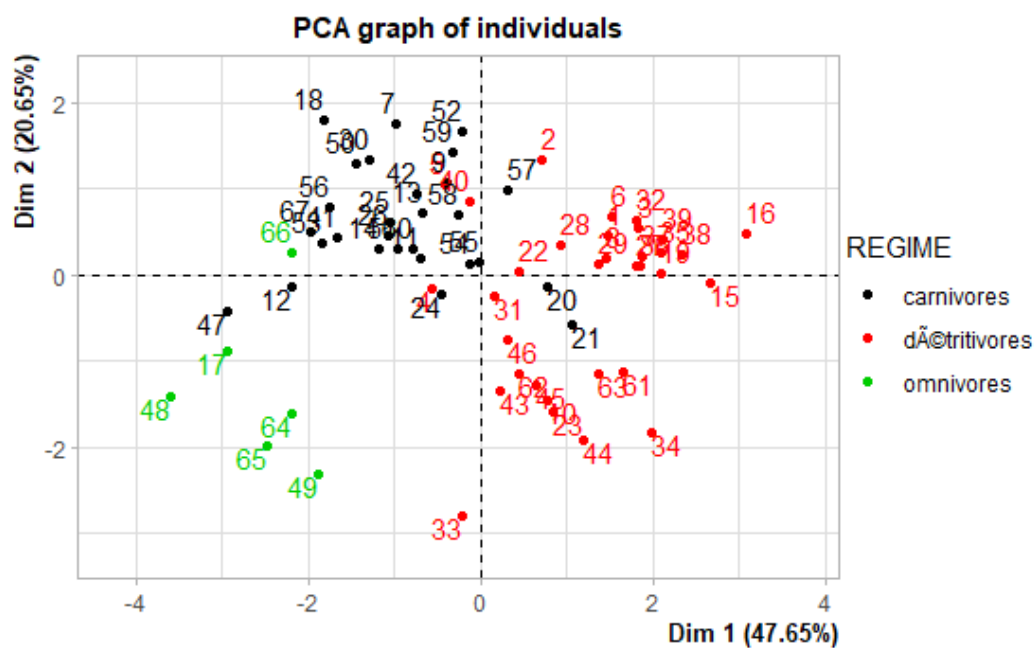
On remarque que les herbivores sont dispersées et se mélangent aux autres classes. On dirait que les valeurs de cette classe sont aberrantes. Ils n'arrivent pas à former un seul groupe constitué que d'eux.

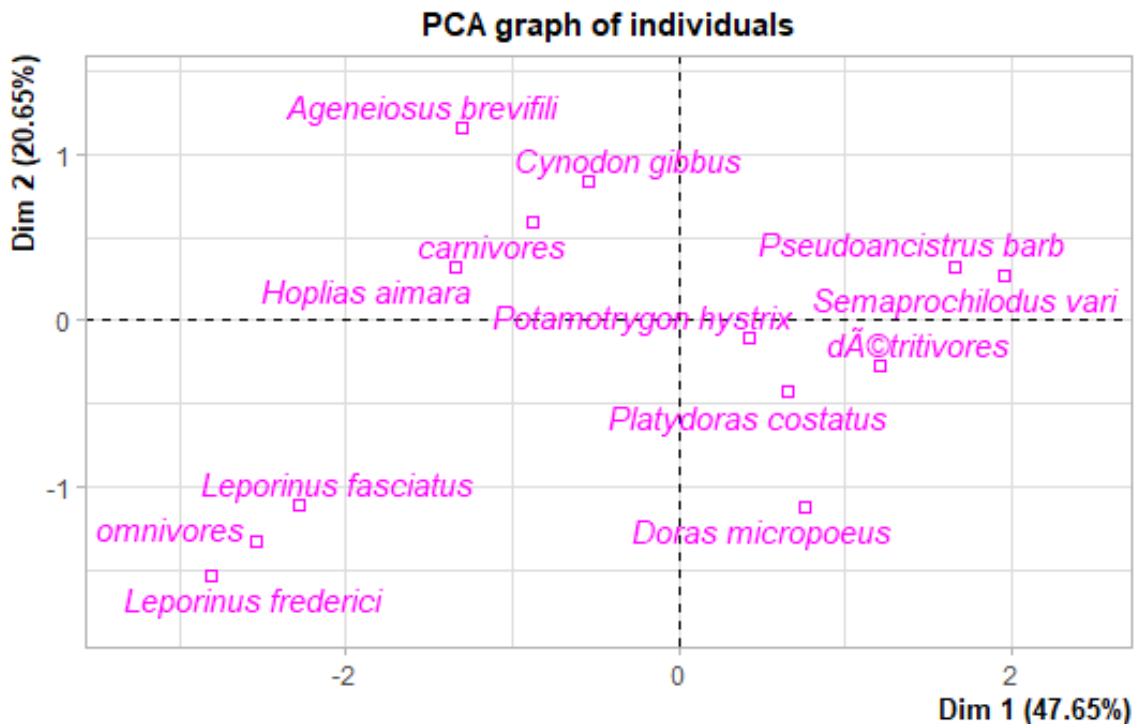
**ACP normée des 80 poissons après transformation log (organe/muscle).**

**Fig.11 : Corrélation des variables log (organe/muscle) sans les herbivores**



**Fig.12 : Plan factoriel des individus.**





**Fig.13 ACP normée des 67 poissons non herbivores après transformation log(organe/muscle)**

Interprétation :

La variable log (BRAN/MUSC) est corrélé positivement avec l'axe 2.

L'axe 1 est corrélé positivement avec les variables log (ESTO/MUSC), log (INTE/MUSC), log (FOIE/MUSC) et log (REIN/MUSC). C'est un facteur taille pour ces variables.

La figure.13 nous indique que les espèces (*Ageneiosus brevifili*, *Cynodon gibbus*, *Hoplias*) sont des Carnivores, les espèces (*Pseudoancistrus barb*, *Semaprochilodus vari*, *Platydoras costatus* et *Doras micropoeus*) sont des détritivores et les espèces (*Leporinus fasciatus*, *leporinus frederici*) sont des omnivores.

#### IV- Définir une typologie des poissons et des espèces



- **Interprétation avec les variables quantitatives :**

**Tableau 4 : Tableau d'analyse quantitative du cluster 1**

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category
log.FOIE.MUSC.	5.650815	2.76066965	1.2094110	0.7863116
log.INTE.MUSC.	4.860606	0.07341025	-0.6444148	0.4787354
log.ESTO.MUSC.	4.003099	-0.50914253	-1.0047387	0.4866043
log.BRAN.MUSC.	2.303081	-1.68658971	-1.8898372	0.2012784
	Overall sd	p.value		
log.FOIE.MUSC.	1.3004227	1.596886e-08		
log.INTE.MUSC.	0.6995835	1.170267e-06		
log.ESTO.MUSC.	0.5864662	6.251803e-05		
log.BRAN.MUSC.	0.4180491	2.127426e-02		

Ici la moyenne des variables log.FOIE.MUSC, log.INTE.MUSC, log.ESTO.MUSC, log.BRAN.MUSC ont une moyenne supérieur à leur moyenne globales, donc ces variables caractérisent bien la classe 1.

**Tableau 5 : Tableau d'analyse quantitative du cluster 2**

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category
log.BRAN.MUSC.	3.670223	-1.6923191	-1.8898372	0.2072439
log.ESTO.MUSC.	-2.581909	-1.1996653	-1.0047387	0.5037936
log.INTE.MUSC.	-3.500321	-0.9596498	-0.6444148	0.5471008
log.REIN.MUSC.	-4.000300	0.4209223	0.8915152	0.6766639
log.FOIE.MUSC.	-4.747491	0.4146514	1.2094110	0.7523138
	Overall sd	p.value		
log.BRAN.MUSC.	0.4180491	2.423385e-04		
log.ESTO.MUSC.	0.5864662	9.825537e-03		
log.INTE.MUSC.	0.6995835	4.646974e-04		
log.REIN.MUSC.	0.9138308	6.326236e-05		
log.FOIE.MUSC.	1.3004227	2.059554e-06		

Ici la moyenne de la variables log.BRAN.MUSC est supérieur à sa moyenne globale, donc cette variable caractérise bien la classe 2.

**Tableau 6 : Tableau d'analyse quantitative du cluster 3**

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category
log.REIN.MUSC.	5.039430	2.046830	0.8915152	0.4776183
log.BRAN.MUSC.	-3.656996	-2.273372	-1.8898372	0.2563474
	Overall sd	p.value		
log.REIN.MUSC.	0.9138308	4.669214e-07		
log.BRAN.MUSC.	0.4180491	2.551880e-04		

La variables log.REIN.MUSC a une moyenne supérieur a sa moyenne globale donc cette variable caractérise la classe 3 par contre la variable log.BRAN.MUSC ne caractérise pas cette classe.

**Tableau 7 : Tableau d'analyse quantitative du cluster 4**

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category
log.ESTO.MUSC.	-2.519048	-1.6450900	-1.0047387	0.5646842
log.FOIE.MUSC.	-3.180409	-0.5832839	1.2094110	0.3029601
log.REIN.MUSC.	-3.224693	-0.3857851	0.8915152	0.4642859
log.BRAN.MUSC.	-5.286691	-2.8478033	-1.8898372	0.2609143
	Overall sd	p.value		
log.ESTO.MUSC.	0.5864662	1.176728e-02		
log.FOIE.MUSC.	1.3004227	1.470674e-03		
log.REIN.MUSC.	0.9138308	1.261079e-03		
log.BRAN.MUSC.	0.4180491	1.245487e-07		

Ici aucune variable ne cartérise cette classe. Donc la concentration en mercure des poissons qui sont dans cette classe est faible. Ce sont ces poissons qui seront conseillé à manger.

- **Interprétation avec les variables qualitatives :**

- **Espèce**

Mod/Cla	Global	p.value			
ESPECE=Semaprochilodus vari	100.00000	47.05882	11.94030	3.727178e-06	
ESPECE=Pseudoancistrus barb	85.71429	35.29412	10.44776	7.562782e-04	
ESPECE=Hoplias aimara	0.00000	0.00000	14.92537	4.142136e-02	
		v.test			
ESPECE=Semaprochilodus vari		4.626043			
ESPECE=Pseudoancistrus barb		3.368320			
ESPECE=Hoplias aimara		-2.039287			

Les résultats du tableau ci-dessus nous montrent que 100% des espèces Semaprochilodus et de 85.71% de Pseudoancistrus appartiennent à la classe 1. Les

espèces *Semaprochilodus* et *Pseudoancistrus* ont une forte concentration de mercure dans leur foie, intestin, estomac et branchie.

	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
ESPECE= <i>Hoplias aimara</i>	100	31.250	14.92537	0.0002601356	3.652069
ESPECE= <i>Cynodon gibbus</i>	100	21.875	10.44776	0.0038703650	2.888539
ESPECE= <i>Ageneiosus brevifili</i>	100	21.875	10.44776	0.0038703650	2.888539
ESPECE= <i>Semaprochilodus vari</i>	0	0.000	11.94030	0.0036084813	-2.910502
ESPECE= <i>Doras micropoeus</i>	0	0.000	11.94030	0.0036084813	-2.910502

Les résultats du tableau ci-dessus nous montrent que 100% des espèces *Hoplias aimara* et *Cynodon gibbus* appartiennent à la classe 2. Les espèces *Hoplias aimara* et *Cynodon gibbus* ont une forte concentration de mercure dans leurs branchies.

	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
ESPECE= <i>Doras micropoeus</i>	100	61.53846	11.9403	1.973212e-07	5.201844

Les résultats du tableau ci-dessus nous montrent que 100% de *Doras micropoeus* appartiennent à la classe 3. Les espèces *Doras micropoeus* ont une forte concentration de mercure dans leurs Rein.

	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
ESPECE= <i>Leporinus frederici</i>	100.00000	60	4.477612	0.0002087465	3.708189
ESPECE= <i>Leporinus fasciatus</i>	66.66667	40	4.477612	0.0133597746	2.474032

Les résultats du tableau ci-dessus nous montrent que 100% de *Leporinus frederici* et 66.67% de *Leporinus fasciatus* appartiennent à la classe 4. Les espèces *Leporinus frederici* et *Leporinus fasciatus* ont une faible concentration de mercure dans leurs foie, intestin, estomac et branchie.

#### - Régimes

	Global	p.value	v.test
REGIME=dé@tritivores	51.51515	100	49.25373 3.460923e-07 5.096444
REGIME=carnivores	0.00000	0	41.79104 1.513367e-05 -4.326734

Les résultats du tableau ci-dessus nous montrent que 51.51% des détritivores sont dans la classe 1 et cette classe est constituée que des détritivores. Les détritivores sont des espèces qui ont une forte concentration de mercure dans leur foie, intestin, estomac et branchie.

	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
REGIME=carnivores	96.42857	84.375	41.79104	1.214120e-12	7.103755
REGIME=dé@tritivores	12.12121	12.500	49.25373	4.332862e-09	-5.870957

Les résultats du tableau ci-dessus nous montrent que 96.42% sur l'ensemble des dcarnovores des carnivores et 12.12% des détritivores sur l'ensemble des détritivores sont dans la classe 2. Cette classe est constituée de 84.37% de carnivores et de 12.5% de détritivores. Les carnivores caractérisent la classe 2.

	Cl̄a/Mod	Mod/Cl̄a	Global	p.value	v.test
REGIME=d̄étritivores	36.363636	92.307692	49.25373	0.0005206623	3.469895
REGIME=carnivores	3.571429	7.692308	41.79104	0.0049561860	-2.809868

Les résultats du tableau ci-dessus nous montrent que parmi l'ensemble des détritivores et des carnivores 36.36% sont des détritivores et 3.57% sont des carnivores. Les détritivores caractérisent la classe 3 car ils sont 92.31% sont dans cette classe et que 7.69% sont dans cette classe.

	Cl̄a/Mod	Mod/Cl̄a	Global	p.value	v.test
REGIME=omnivores	83.33333	100	8.955224	6.212693e-07	4.984485
REGIME=d̄étritivores	0.00000	0	49.253731	2.881198e-02	-2.186050

Les résultats du tableau ci-dessus nous montrent que sur l'ensemble des populations des omnivores 83.33% sont dans la classe 4. Les omnivores caractérisent la classe 4 car elle sont 100% dans cette classe.

- Comparaison des résultats :

log(INTE/MUSC)	log(ESTO/MUSC)	log(BRAN/MUSC)	log(FOIE/MUSC)	log(REIN/MUSC)
2.981232e-17	-4.143594e-17	-8.615281e-17	7.132270e-17	-2.819573e-17
log(INTE/MUSC)	log(ESTO/MUSC)	log(BRAN/MUSC)	log(FOIE/MUSC)	log(REIN/MUSC)
0.9925093	0.9925093	0.9925093	0.9925093	0.9925093

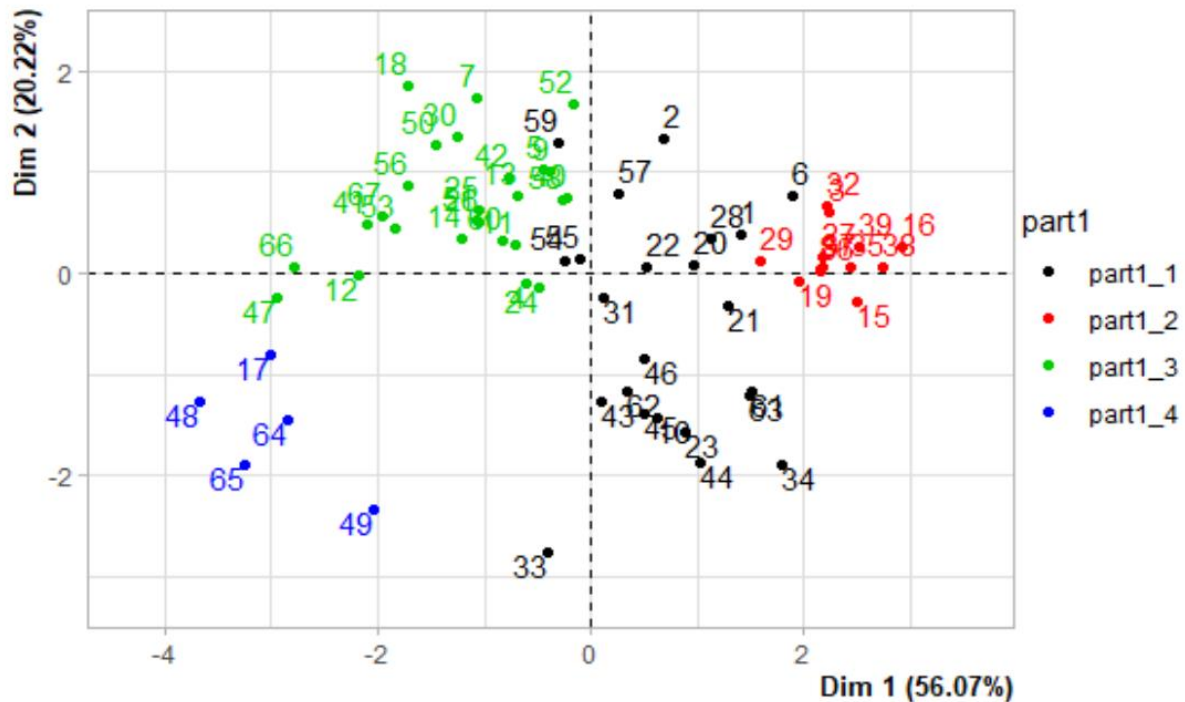


Fig.13 : **Plan factoriel des individus.**

Les résultats du clustering sont pas très différent car l'indice de rang des deux partitions donne 0.8362732. De plus la répartition des individus sur le plan factoriel du partition 1 est un peu différent de celui du partitionnement 2. L'utilisation du package missMDA a donné une partition avec un meilleur pourcentage d'inertie expliquée (65,92% contre 60,77%) et même de l'ACP (76,29% contre 68,3%).

Etant donné que les deux clustering donnent presque les mêmes classes, on peut utiliser les classes d'un des clusterings pour faire un partitionnement des espèces. Mais en prenant les résultats du clustering obtenu dans la section I du IV, l'analyse des clusterings par les variables espèces montrent que 8 espèces ont caractérisé les classes parmi lesquels on retrouve 6 présentes à 100% et 2 espèces présentes partiellement. Nous avons donc un peu flou car les tests n'ont pas sortie toutes les espèces.