

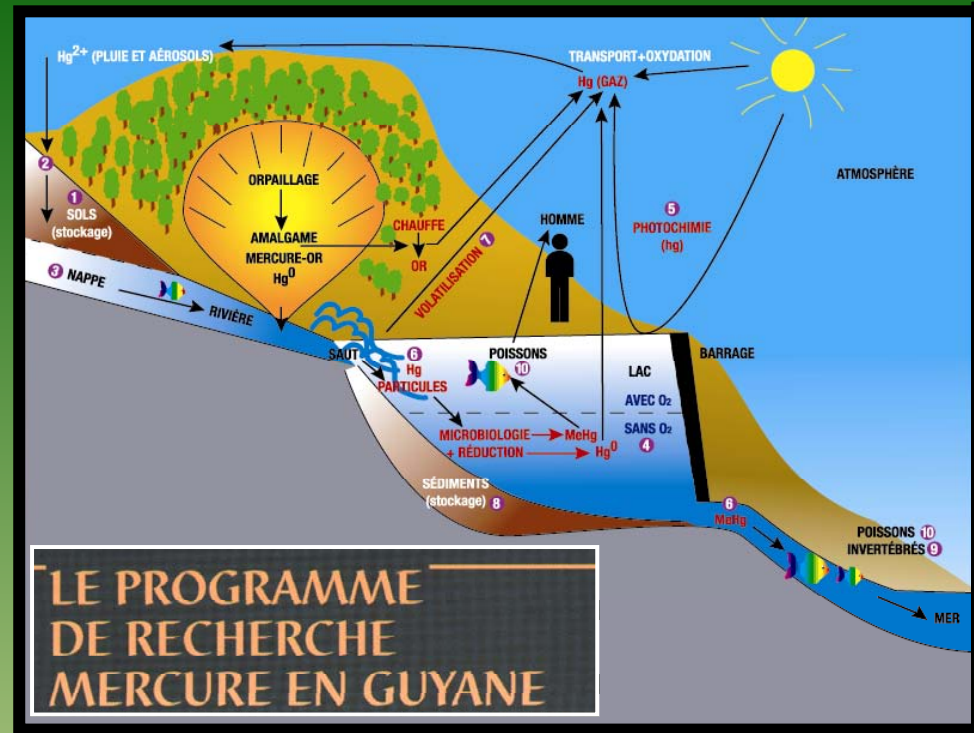
**Les chercheurs d'or et le mercure
en Guyane française : les étapes d'une
énigme biogéochimique et toxicologique**

Professeur Alain BOUDOU

Directeur du LEESA - UMR CNRS 5805

Université Bordeaux 1

a.boudou@epoc.u-bordeaux1.fr



Objectifs :

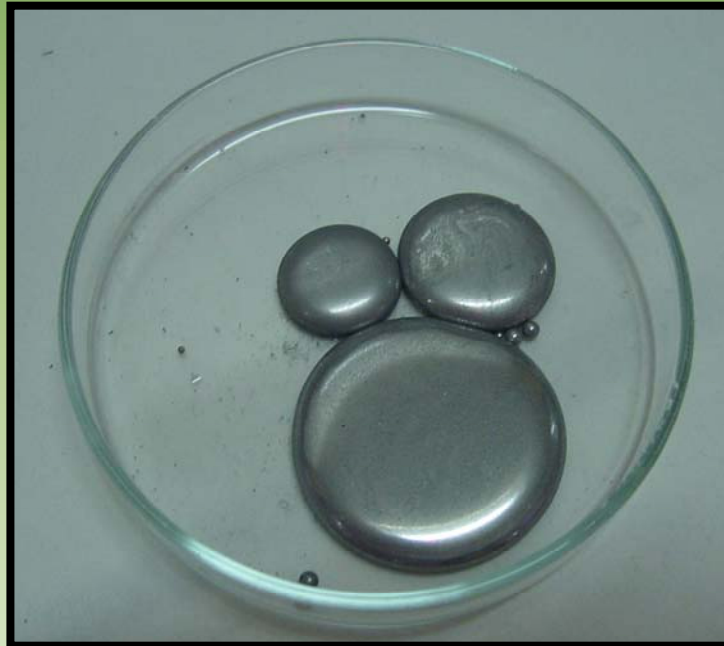
Etude pluridisciplinaire des principales composantes du cycle biogéochimique du mercure en Guyane :

- sources naturelles et anthropiques
- voies de transfert
- transformations des formes chimiques du métal
- bioaccumulation et bioamplification
- exposition et risques à l'égard des populations humaines

Formes chimiques du mercure

Hg⁰ : mercure élémentaire

(métal liquide à la température ordinaire – forme volatile - employé pour les réactions d'amalgamation)



Hg⁰ : mercure élémentaire

oxydation ↓ ↑ *réduction*

**Hg(II) : Hg inorganique
divalent**

méthylation ↓ ↑ *déméthylation*

R-Hg
Organo-mercuriels
monométhylmercure
(CH₃HgX)



Hg⁰

**Orpillage
(amalgame)**



Hg⁰



lances monitor

mise en suspension des argiles minéralisées





moquette



table ("laverie")

**caisse
(pépites)**

"table"

MANIPULATION DU MERCURE



Pertes de mercure



Perte d'argent
+
pollution

Attention ! Le mercure est un produit dangereux !

TRAITEMENT DE L'AMALGAME



Vieilles méthodes



Pollution + maladies

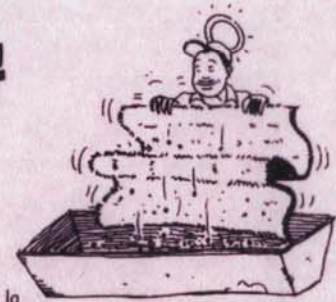
Ne versez pas le mercure
directement sur la table !



1 Roulez la moquette.



2 Secouez la moquette au dessus d'un récipient.



3 Ajoutez le mercure.



Economie + respect de la nature

Utilisez une retorte !



Récupération maximale du mercure,
qui restera toujours
utilisable.



Préservation
de votre santé
et de celle des autres



Respect de l'Environnement + santé



Orpillage
(amalgame)



Erosion
des sols

Hg°

Hg°

Hg(II)





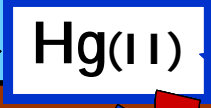
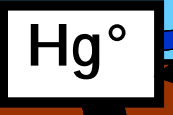
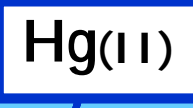
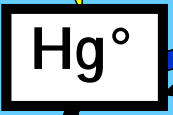
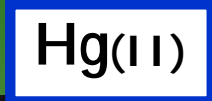
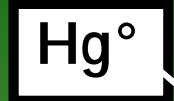
Orpaillage (amalgame)



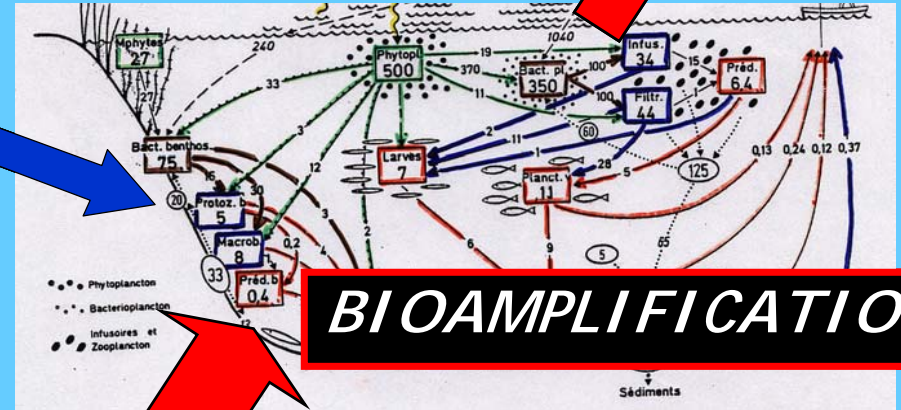
Erosion des sols



Consommation des poissons carnivores-piscivores



METHYLATION
(bactéries - BSR)



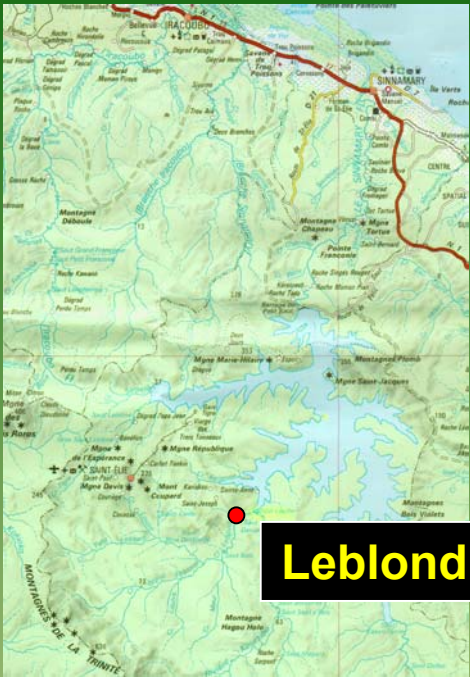
BIOAMPLIFICATION

zones anoxiques
(colonne d'eau/sédiments)

(AIEA, Monaco)

colonne d'eau
Hg total
30 ng.L⁻¹

colonne d'eau
Hg total dissous
5 ng.L⁻¹



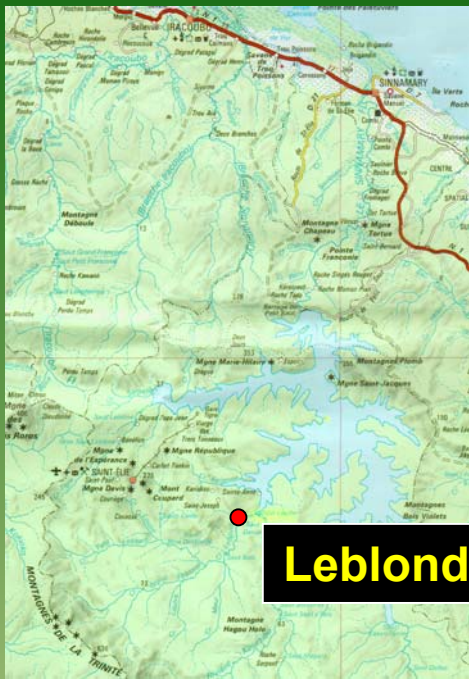
Leblond



Poisson herbivore strict
(*Myleus ternetzi*)
[Hg]_{muscle} : **4 000 ng.kg⁻¹, pf**
FBC : 800



Poisson carnivore/piscivore
(*Hoplias aimara*)
[Hg]_{muscle} : **1 000 000 ng.kg⁻¹, pf**
FBC : 200 000

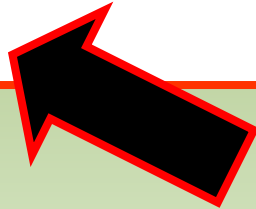


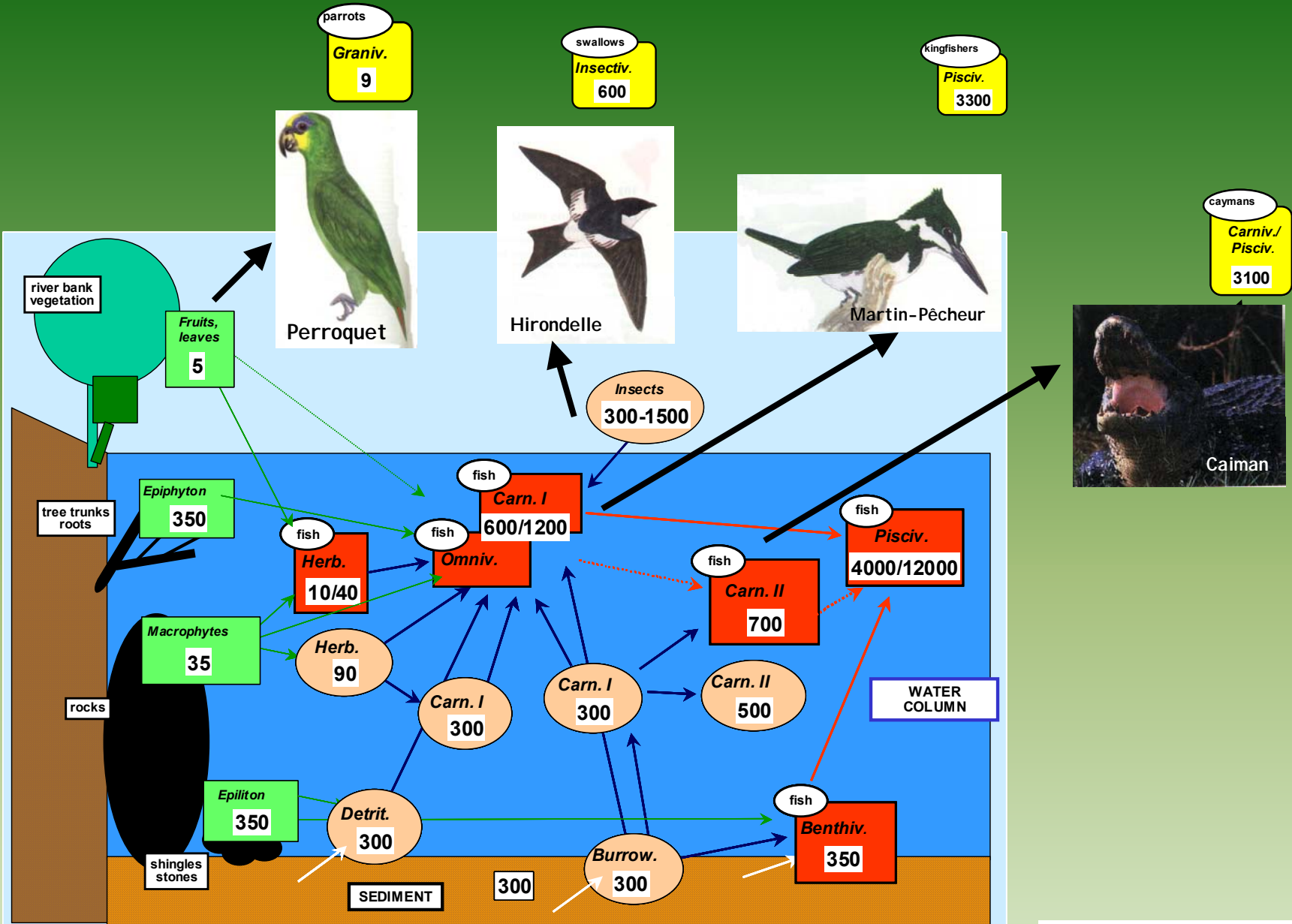
Leblond

(AIEA, Monaco)

colonne d'eau
MMHg total dissous
0,05 ng.L⁻¹
1 % du Hg total

Poisson carnivore/piscivore
(Hoplias aimara)
[MMHg]_{muscle} : 940 000 ng.kg⁻¹, pf
94 % du Hg total
FBC : 19 millions



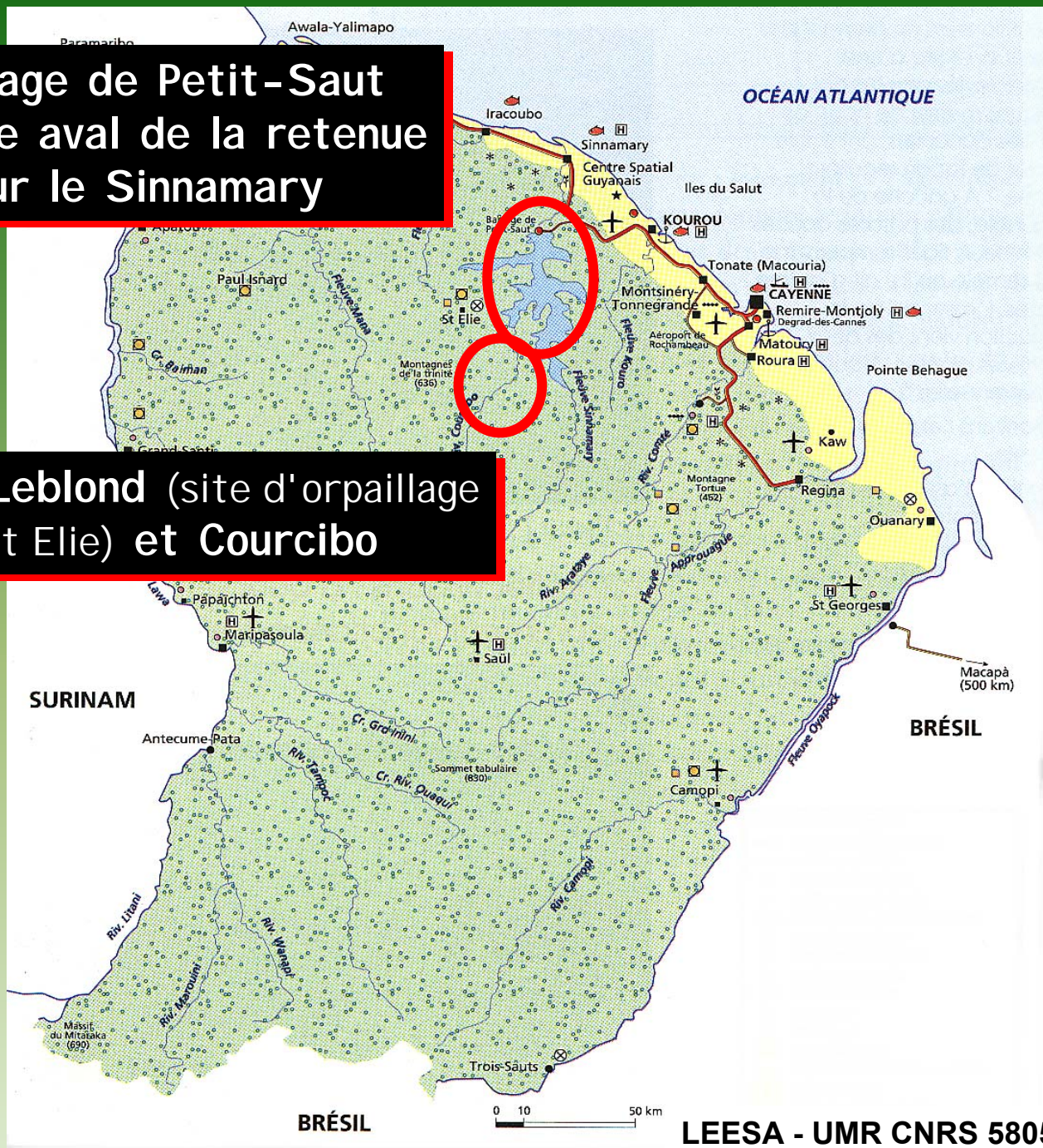


Leblond – [Hgt]: ng.g⁻¹ (pds sec)

LEESA - UMR CNRS 5805
(Bordeaux 1)

Barrage de Petit-Saut et zone aval de la retenue sur le Sinnamary

Criques Leblond (site d'orpaillage
de St Elie) et Courcibo



Début de mise en eau : janvier 1994

Niveau "35 m" : après 18 mois

Retenue : 360 km² – 3,5.109m³

Puissance installée : 116 MW (4 turbines)

Débit moyen du Sinnamary : 260 m³/s

Temps de rétention estimé : 5-7 mois

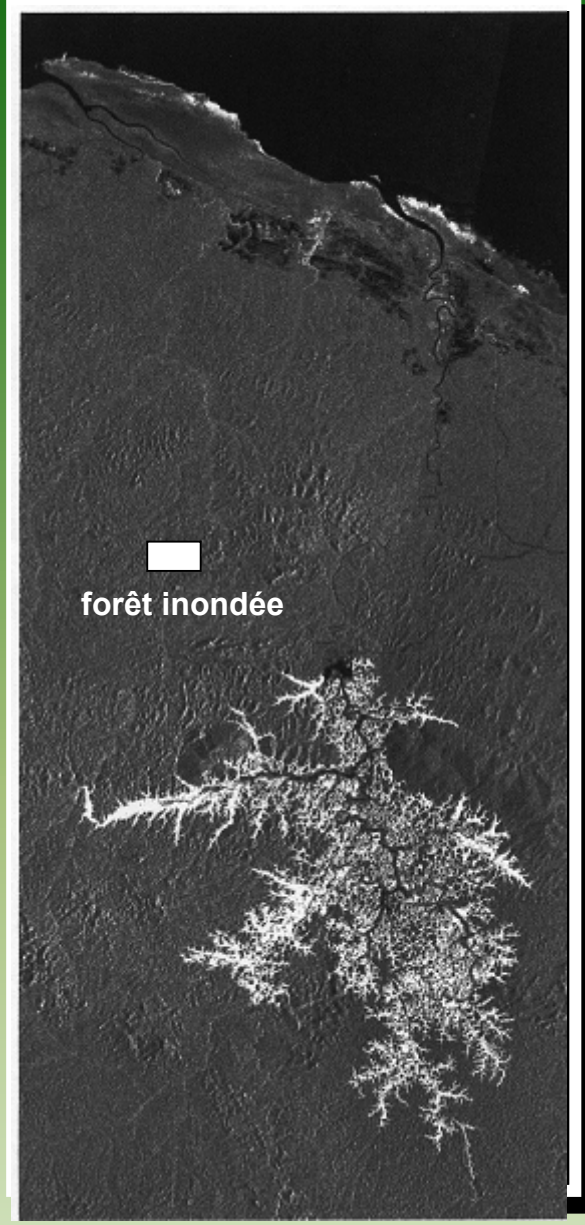
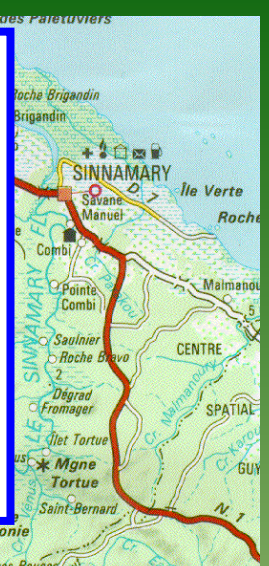
Sinnamary : T, 25-26 °C ; pH, 6-6,2 ;

Conductivité, 22 µS.cm⁻¹ – pente : 0,04 %

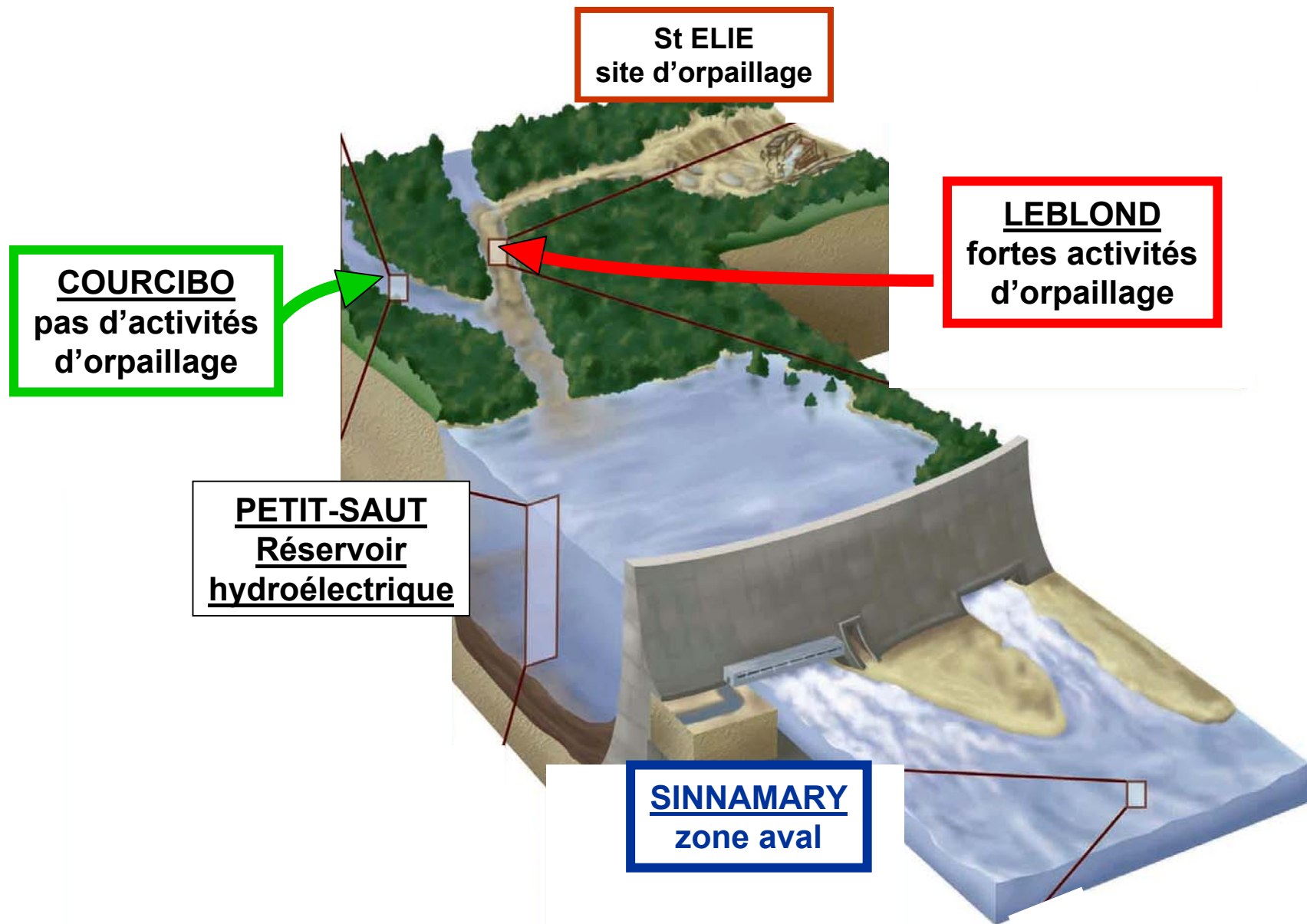
Pluviométrie moyenne : 2750 mm/an



Barrage hydroélectrique de Petit-Saut Guyane française

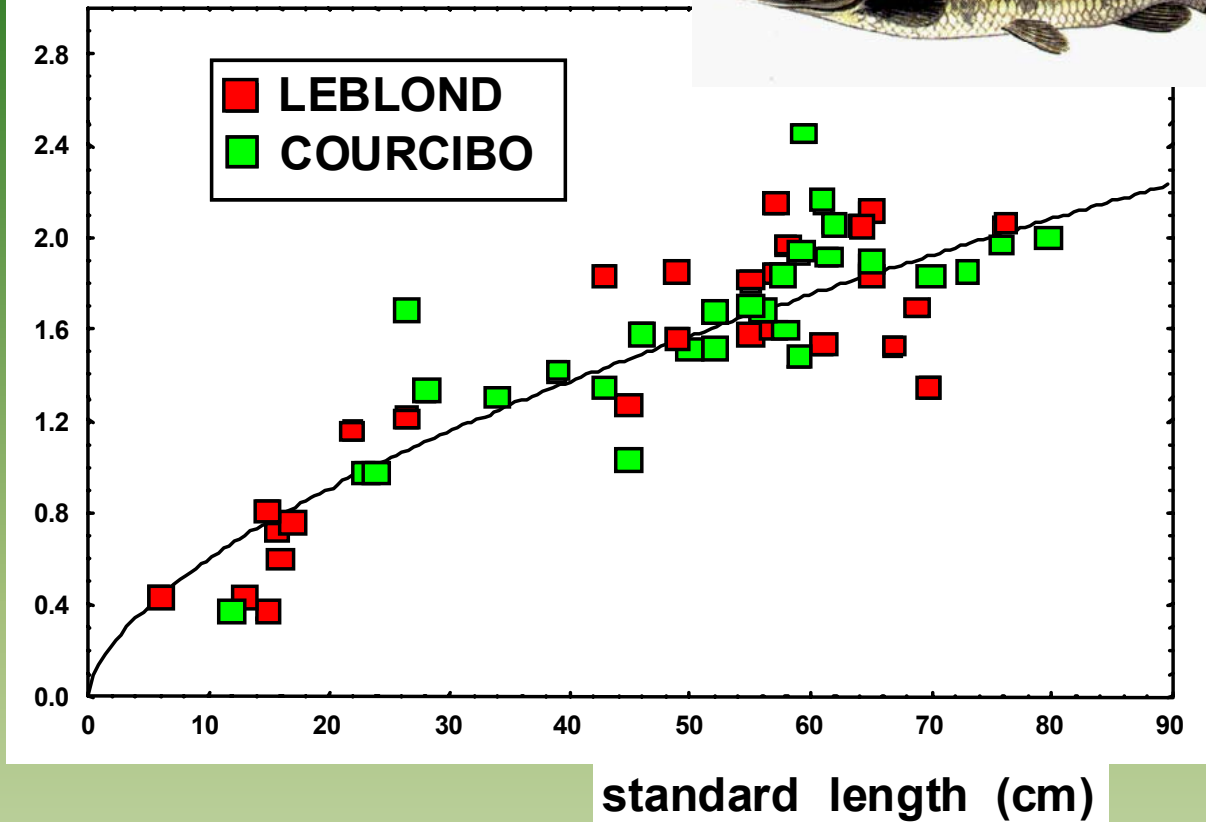


forêt inondée



Log([Hg] muscle +1)

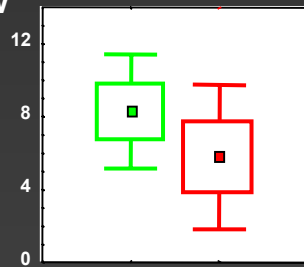
Hoplias aimara



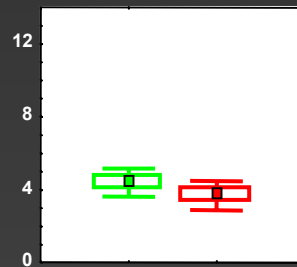
Pas de différence significative entre les [Hg] des deux populations de l'espèce carnivore/piscivore *Hoplias aimara*

(N = 56 – Kruskal-Wallis test)

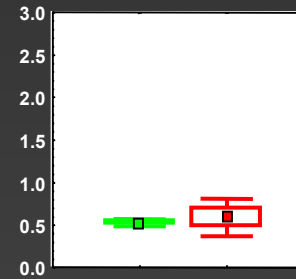
[Hg] muscle
 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, dw



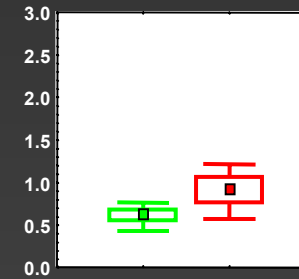
Acestorhynchus guianensis



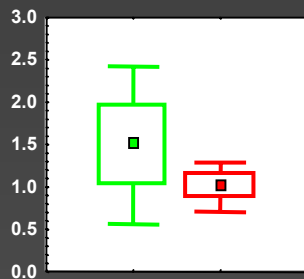
Hoplias aimara



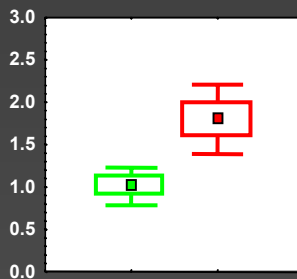
Ancistrus aff. hoplogenys



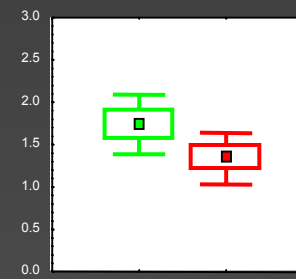
Bryconops melanurus



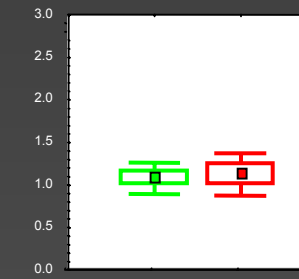
Leporinus friderici



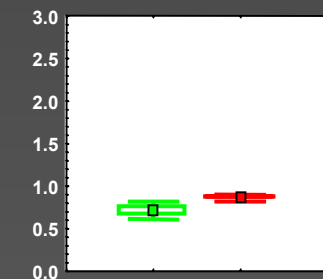
Leporinus lebaili



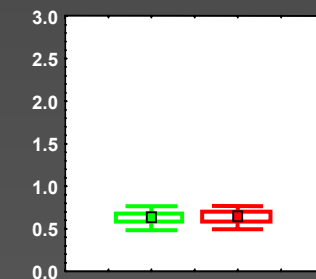
Moenkhausia oligolepis



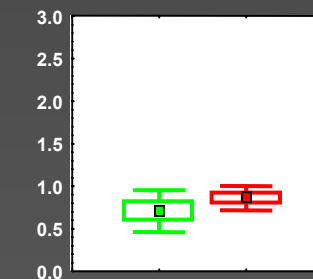
Triportheus rotundatus



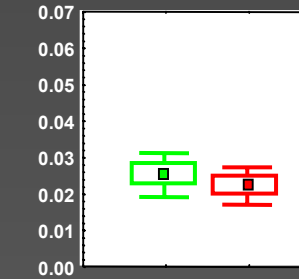
Pimelodella cristata



Poptella brevispina



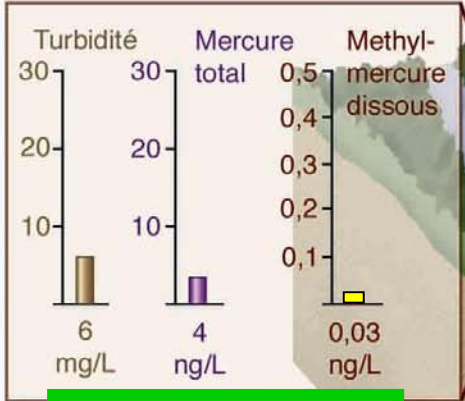
Sternopygus macrurus



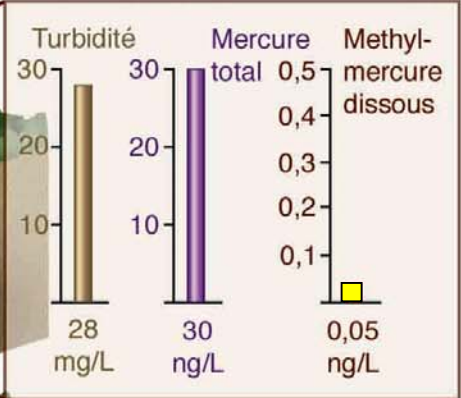
Myleus ternetzi

 Courcibo
 Leblond

St ELIE
site d'orpaillage

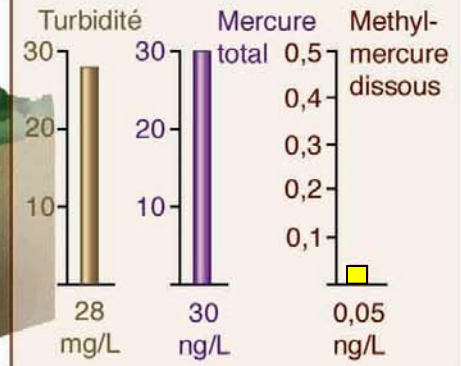
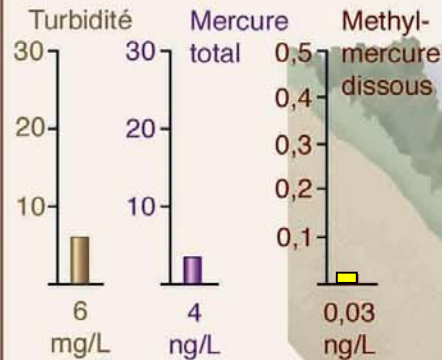


COURCIBO
pas d'activités
d'orpaillage

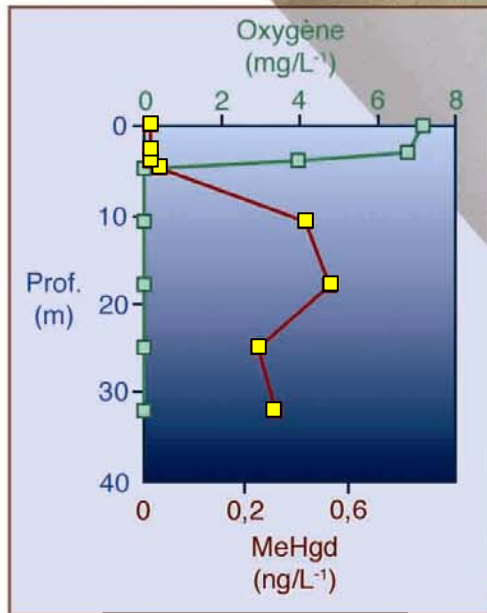


LEBLOND
fortes activités
d'orpaillage

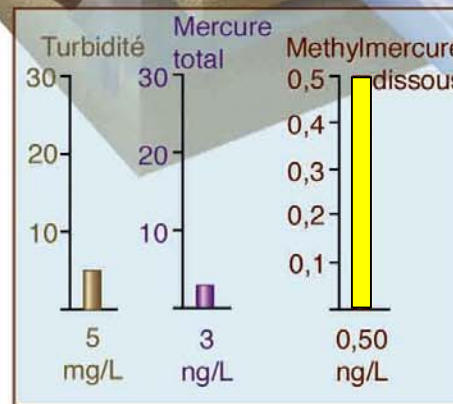
COURCIBO



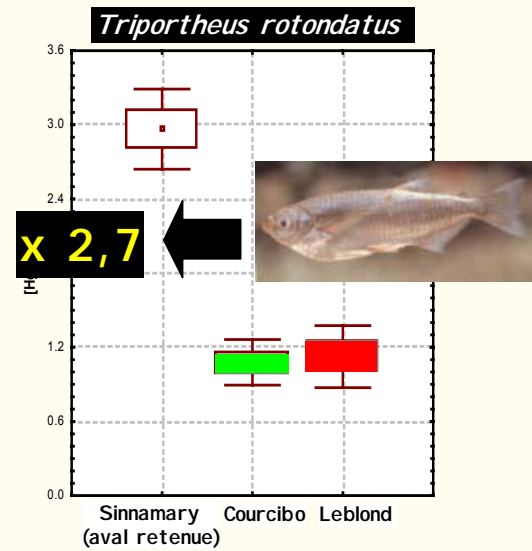
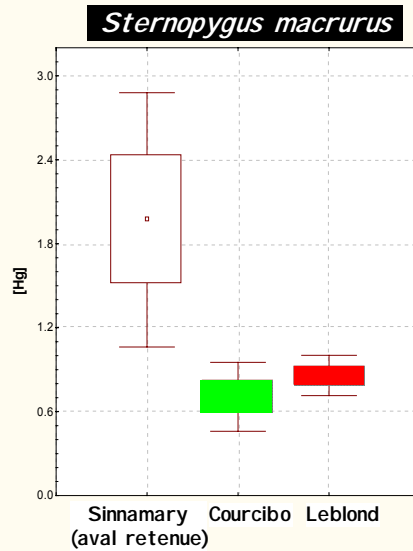
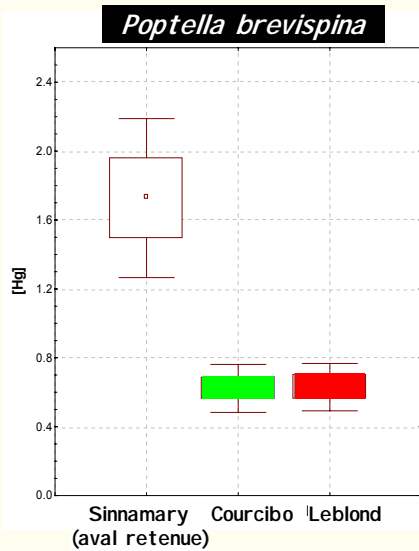
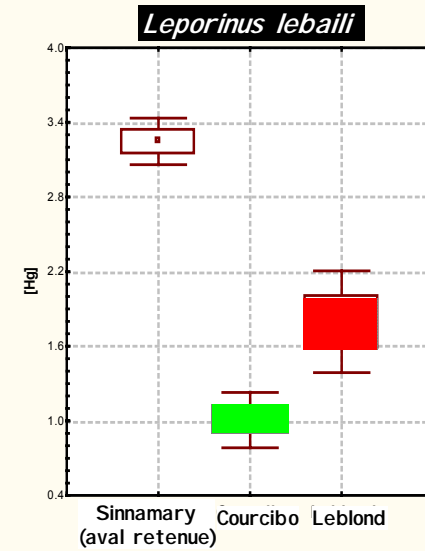
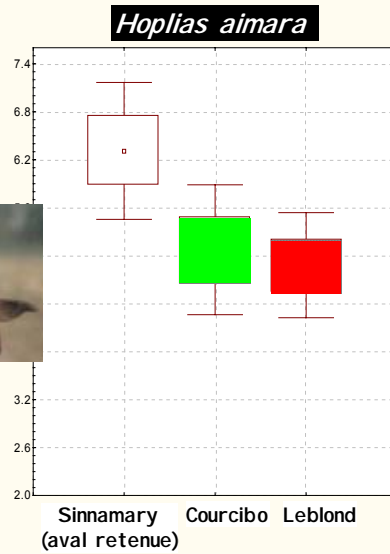
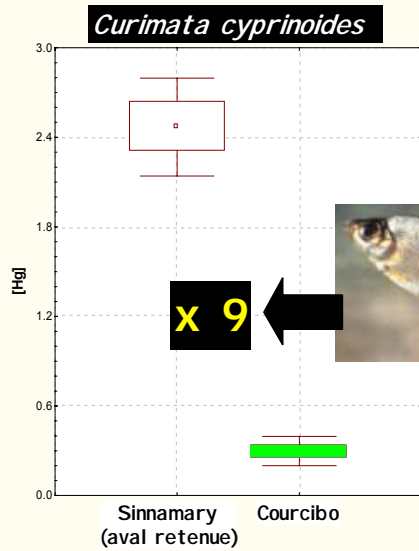
LEBLOND



PETIT-SAUT réservoir

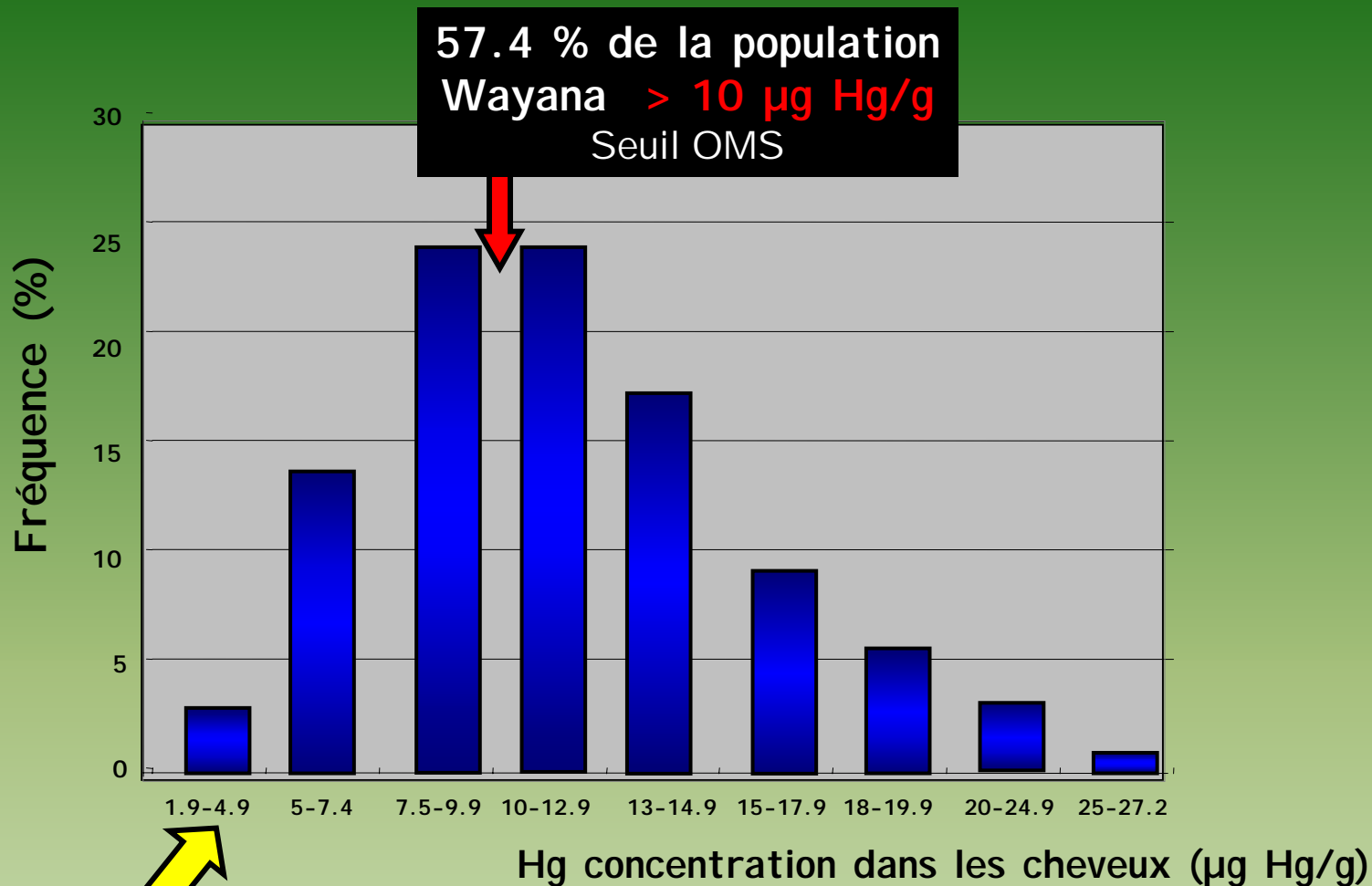


SINNAMARY zone aval





**Villages amérindiens du Haut Maroni
(communauté Wayana)**



Guyane française
(métropolitains)
1.7 µg Hg/g

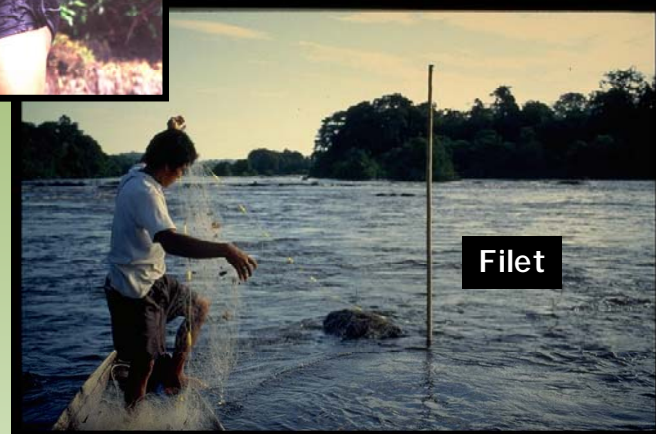
(d'après Frery et al., Environ. Health Persp., 2001 - modifié)

Enquêtes nutritionnelles sur les 3 villages amérindiens du Haut Maroni - 1997

Classes d'âge	Effectifs	moyenne (gpoisson/jour)
1 à 3 ans	14	47
3 à 6 ans	27	116
7 à 10 ans	34	173
11 à 14 ans	29	195
15 à 25 ans	36	282
26 à 45 ans	54	317
> 45 ans	28	155



Techniques de pêche des Wayanas



BILAN DES APPORTS DE MERCURE VIA LA CONSOMMATION DE POISSONS PAR LES INDIENS WAYANAS DU HAUT-MARONI (Guyane)

Espèce	Nom Wayana	[Hg] _{muscle} ng/g, ps	% quantité consommée	% Hg ingéré
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Huluwi	4700	7,5	27
<i>Hoplias aimara</i> > 1700 g (pf)	Aimara	3960	7,2	22
<i>Ageneiosus brevifilis</i>	Mitala	2640	5,5	11
<i>Doras micropoeus</i>	Agonosu	1170	11,2	10
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	Piraïe	1870	4,5	6,4
<i>Hoplias aimara</i> < 1700 g (pf)	Aimara	1960	3,5	5,2

**4 espèces
75 %**

Mercure ingéré

Classes d'âge	Age moyen	N	(ng/jour)		(µg/semaine)	
			moyenne	SD	moyenne	
< 1 an	0,84	19	1197	1015	8.4	
1 to 3 ans	1,8	55	6626	6070	46.4	
3 to 6 ans	5,4	96	14385	17121	100.7	
7 to 10 ans	8,7	166	27673	40799	191.6	
10 to 14 ans	12,4	83	37653	43133	263.6	
15 to 25 ans	hommes	19,3	102	47853	50881	335.0
	femmes	20,3	124	41355	59868	289.5
25 to 45 ans	hommes	37	101	61255	65985	428.8
	femmes	33,5	89	41259	50073	288.8
> 45 ans	hommes	58,1	63	28789	56331	210.5
	femmes	56,6	42	29123	33227	203.9

80% de la population Wayana du Haut-Maroni est au-dessus du seuil défini par l'OMS (200 µg Hg/semaine)

US-EPA (2001)
RfD: 0.1 µg/kg_{body weight}/day
42 µg Hg/semaine

Quantités de mercure ingérées par jour et par semaine, via la consommation de poissons, en fonction de l'âge et du sexe des indiens Wayanas du Haut-Maroni

(d'après Frery et al., Environ. Health Persp., 2001 - modifié)

Risques neurotoxiques chez l'enfant liés à l'exposition mercurielle en Guyane française

INSERM/Institut de Veille Sanitaire
(S. Cordier et M. Garel - 1999)

Examen neurologique et tests de développement neuro-comportemental sur des enfants de 9 mois à 6 ans (N = 378)

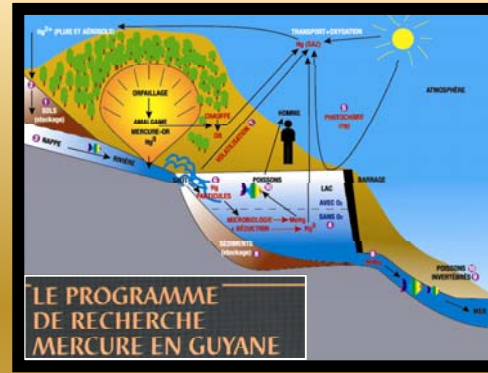
Protocole standardisé

- ❑ examen neuromoteur des membres supérieurs et inférieurs et de l'axe corporel
 - ❑ réflexes ostéo-tendineux
 - ❑ réactions posturales
- ❑ examen des conséquences sur les fonctions neuromotrices
 - ❑ examen neurosensoriel
 - ❑ croissance crânienne
- ❑ tests de motricité fine, coordination et vitesse d'exécution (« Finger Tapping »)
 - ❑ tests de mémoire immédiate
- ❑ test de raisonnement abstrait/visuel
- ❑ test de coordination des jambes

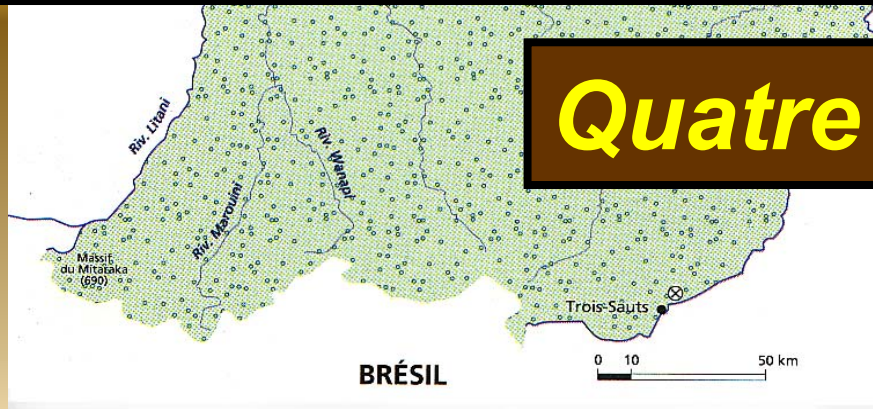
Bilan de l'étude
signes d'altération du développement neurologique et neuropsychologique de l'enfant en relation avec l'exposition au mercure (MeHg)

- ➔ réflexes ostéotendineux accrus
- ➔ moins bonne coordination des jambes
- ➔ déficit sur le score de dessins de figure
(capacité de raisonnement et d'organisation visuo-spatiale)

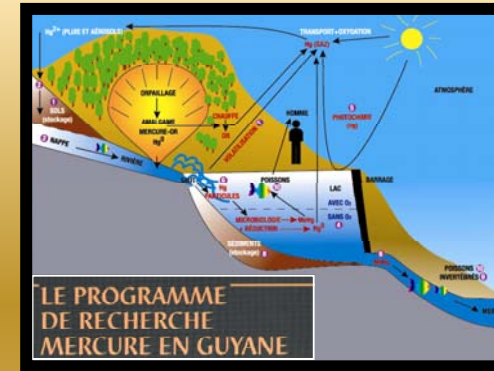
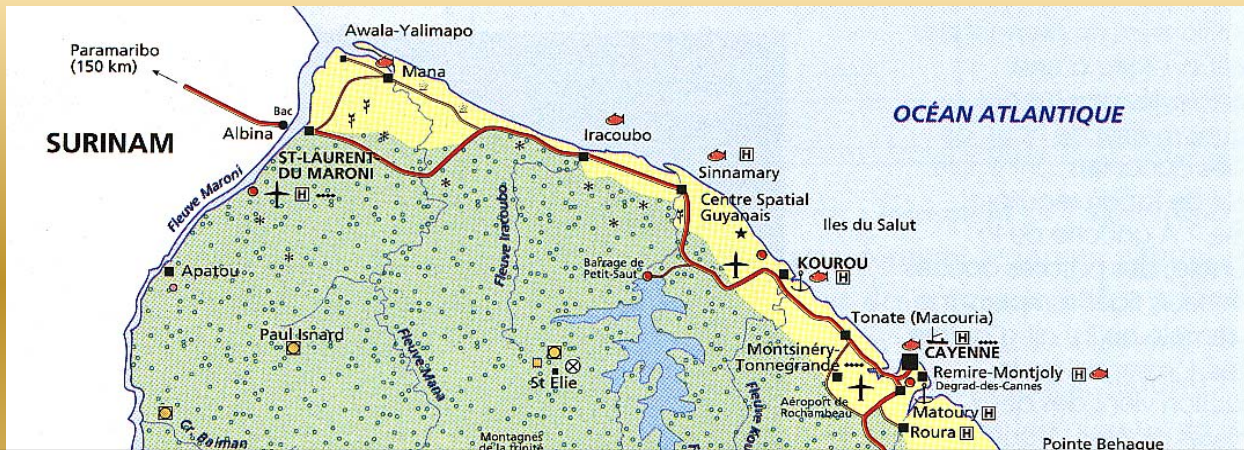
corrélation significative entre les déficits observés à l'échelle individuelle et les niveaux d'imprégnation, via les dosages du Hg total et du MeHg dans les cheveux



Programme "Mercure en Guyane" Phase II (2003-2006)

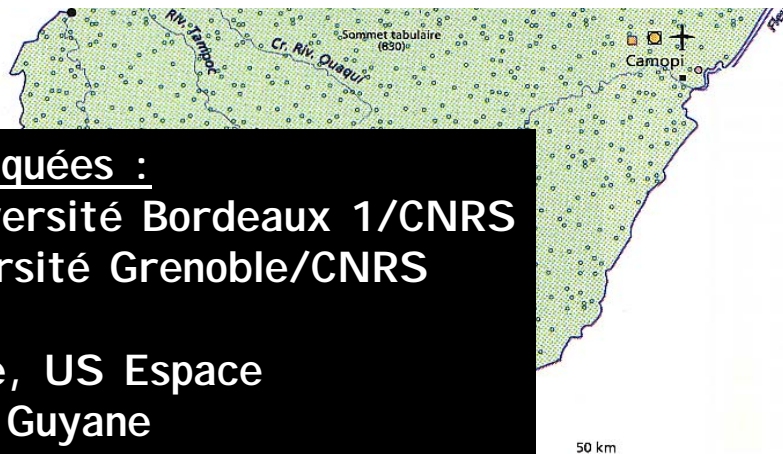


Quatre axes de recherche



Axe I

Inventaire et cartographie, à l'échelle de la Guyane, des niveaux de contamination par le mercure des principaux cours d'eau

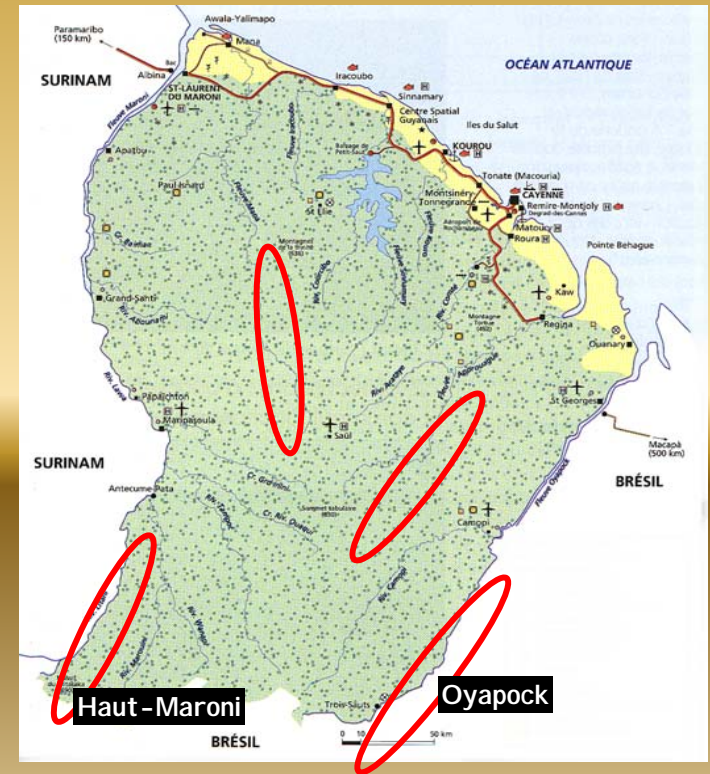


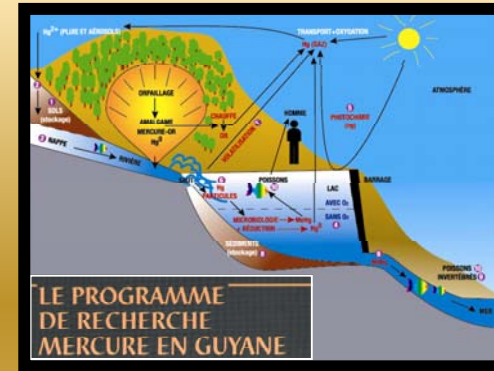
Equipes impliquées :
 LEESA, Université Bordeaux 1/CNRS
 LGIT, Université Grenoble/CNRS
 BRGM
 IRD Cayenne, US Espace
 Rectorat de Guyane
 Cellule "Parc"



Inventaire des niveaux de contamination des sédiments et des poissons sur les zones "amont" des fleuves guyanais (programme BRGM, LEESA, LGIT)

Localisation des 23 centres scolaires sur le territoire guyanais (Zonzon J. et Prost G., 1997), en tant que structures potentielles pour la collecte des échantillons de poissons et de sédiments (collaboration avec le Rectorat de Guyane)



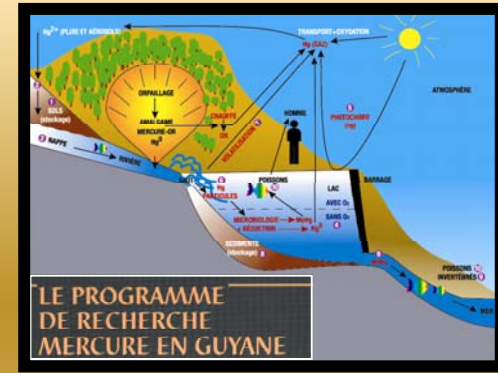


Axe II

Mécanismes de contamination du continuum "Petit-Saut – Sinnamary – Estuaire/Zone côtière"

Equipes impliquées :

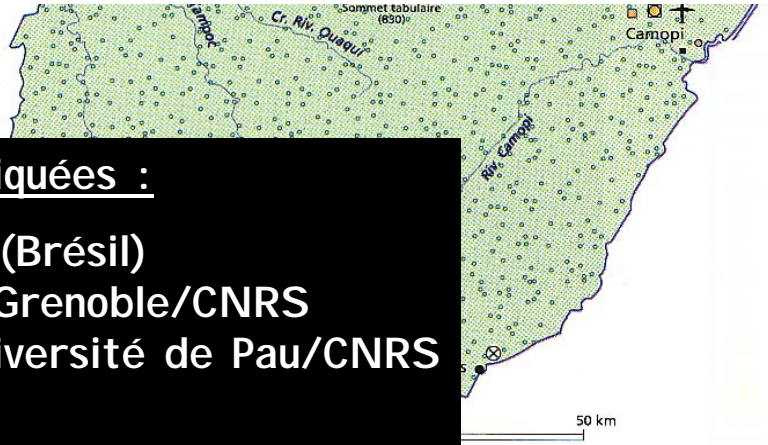
IFREMER, Dept Polluants chimiques
 LEESA, Université Bordeaux 1/CNRS
 Lab Biogéochimie isotopique, Univ Paris VI/CNRS
 HYDRECO, Petit-Saut
 IRD, Cayenne et Marseille
 INERIS, Dept Chimie Evt
 IST Orléans, CNRS
 Chambre d'agriculture, Pisciculture de Soucoumou
 Univ. du Maryland

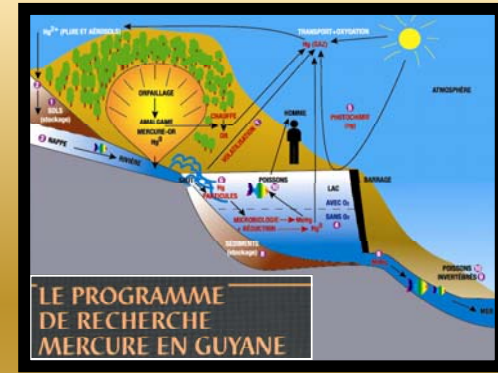
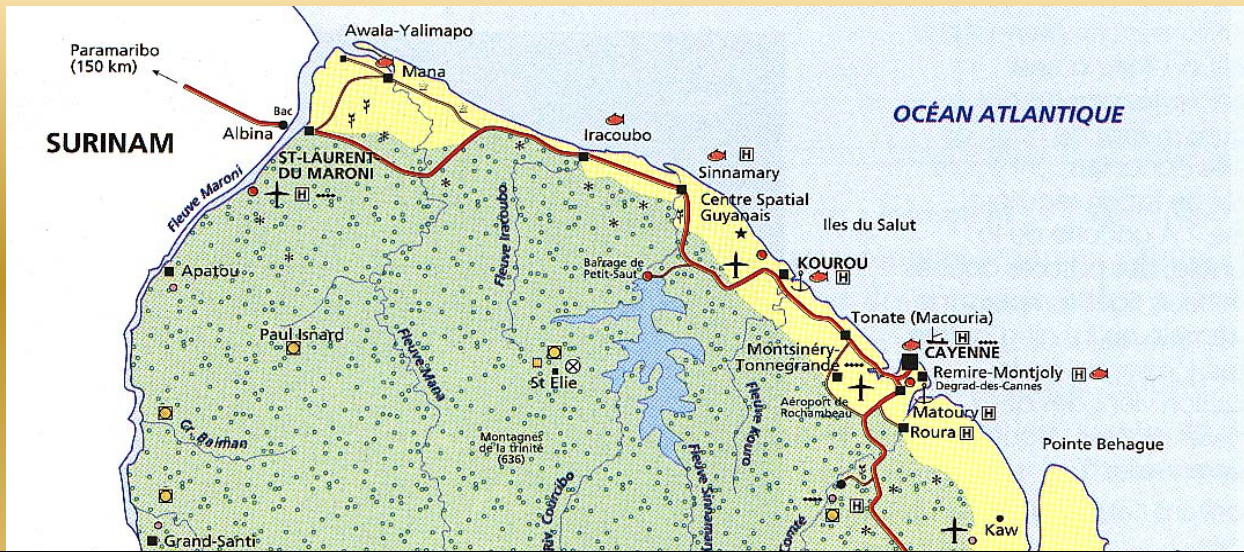


Mine BOULANGER

Axe III
Site minier expérimental

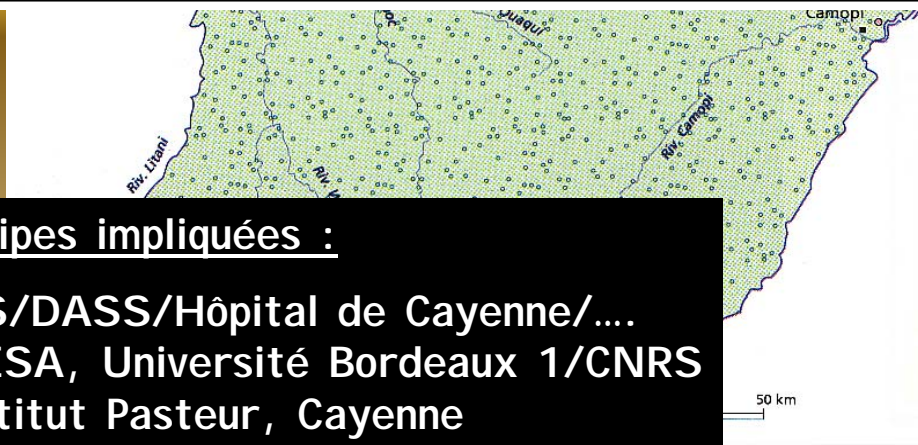
Equipes impliquées :
 IRD, Belém (Brésil)
 LGIT, Univ Grenoble/CNRS
 LCABIE, Université de Pau/CNRS
 BRGM
 Mine Boulanger





Axe IV

Niveaux d'imprégnation des populations par le mercure – Politiques de santé



Equipes impliquées :
 IVS/DASS/Hôpital de Cayenne/...
 LEESA, Université Bordeaux 1/CNRS
 Institut Pasteur, Cayenne