



# PETIT SAUT

Suivi écologique sur 20 ans

L'empreinte environnementale du barrage

Novembre 2014



## Président

**Robert DELMAS** Directeur de recherche émérite au CNRS, Laboratoire d'Aérodynamique, Toulouse

## Secrétaire général

**Régis VIGOUROUX** Directeur-adjoint du laboratoire HYDRECO

## Membres

**Jean-Philippe BIAVA** Directeur d'EDF en Guyane

**Philippe CERDAN** Directeur du laboratoire HYDRECO

**Myriam DEBRIS** Adjointe au chef du Service Milieux Naturels, Biodiversité, Sites et Paysages -Responsable du pôle eaux et milieux aquatiques

**Stéphane DESCLOUX** Ingénieur Environnement au Centre d'Ingénierie Hydraulique d'EDF

**Mireille LACHARME** Directrice Communication- Coordination aux Systèmes Energétiques Insulaires d'EDF

**Olivier MONNIER** Chercheur en évaluation biologique, inter calibration européenne et normalisation - ONEMA

**Jérôme ORIVEL** Directeur de recherche au CNRS

**Yves PRAIRIE** Professeur titulaire à l'Université de Montréal

**Nicolas VIDAL** Maître de conférences au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris

**Laurence VIORA** Ingénieur Environnement aux Systèmes Energétiques insulaires d'EDF

---

## SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	5
SCHEMA DE LA RETENUE.....	7
BIODIVERSITE AQUATIQUE .....	9
MERCURE .....	15
GAZ A EFFET DE SERRRE.....	18
SAUVETAGE ET SAUVEGARDE DE LA FAUNE TERRESTRE.....	22



*Le barrage de Petit Saut*

---

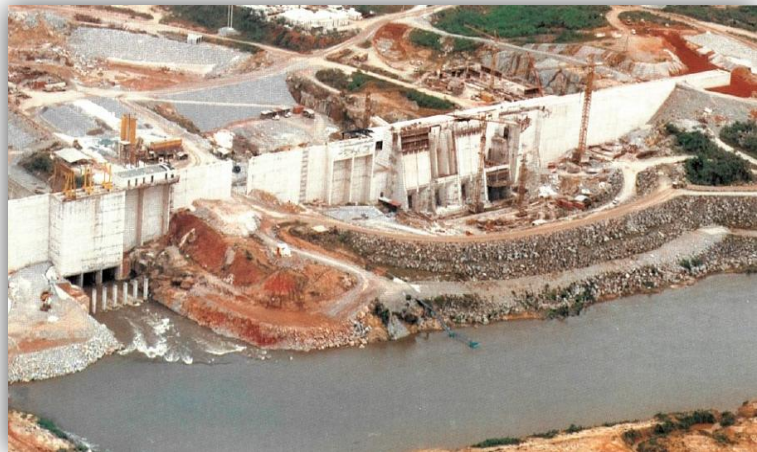
## INTRODUCTION



*Robert Delmas est directeur de recherche émérite au CNRS au Laboratoire d'Aérodynamique de L'Université Paul Sabatier de Toulouse. Professeur dans cette université à partir de 1990, il a dirigé ce laboratoire de 1998 à 2006. Il a ensuite intégré le CNRS pour prendre la direction du Laboratoire de L'Atmosphère et des Cyclones à l'Université de La Réunion où il a aussi créé et dirigé l'Observatoire des Sciences de l'Univers de La Réunion. Physico-chimiste de l'atmosphère, Robert Delmas est un spécialiste des émissions des constituants mineurs atmosphériques et de l'impact climatique de ces composés. Il a initié puis dirigé pendant plus de dix ans le programme d'étude des gaz à effets de serre par la retenue de Petit Saut. Il préside le Comité scientifique depuis 2006.*

### Historique et synthèse des travaux scientifiques sur Petit Saut

Le barrage de Petit Saut a été construit au début des années 1990 et mis en eau en 1994 pour répondre aux besoins énergétiques de la Guyane.



Conscient des perturbations qu'un tel aménagement était susceptible d'apporter à l'environnement naturel de la forêt primaire sur laquelle allait s'installer la retenue, EDF, avec le concours de plusieurs organismes de recherche (CNRS, IRD, Muséum National d'Histoire Naturelle) et d'universités (Marseille, Bordeaux 1, Toulouse 3, Lyon1, Montpellier...) a mis en place, dès le début du projet, **un programme d'accompagnement scientifique exceptionnel**, jusqu'alors sans précédent pour un projet industriel de cette nature.

Ce programme a été **d'abord orienté sur l'analyse de la biodiversité et sa préservation**, ainsi que sur la qualité de l'eau du système lacustre artificiellement créé. Des études archéologiques sur l'emprise de la future retenue (1989-93) ont précédé la mise en eau.

Des études écologiques et des inventaires de la faune et de la flore, ont débuté en 1984, en même temps que l'étude d'impact du futur barrage : ils ont fourni des bases de connaissances permettant d'évaluer l'altération mais aussi l'évolution de la biodiversité, aussi bien au niveau du fleuve que de l'écosystème forestier après la mise en eau. **Une action importante pour le sauvetage de la faune sauvage** (1993-1996) a accompagné ces premiers travaux.

---

Au début de la construction en 1990, une structure d'accueil pour les chercheurs, financée par EDF et gérée par le bureau d'études privé HYDRECO, a été mise en place: le Laboratoire Environnement de Petit Saut était né. Depuis 20 ans, il accueille des équipes universitaires et de grands organismes de recherche français et internationaux.



Pour coordonner les études et piloter le suivi écologique de la retenue, un **Comité Scientifique du Barrage de Petit Saut** a été créé. Il a été présidé pendant une quinzaine d'années par Jacques Lecomte (Conseil National de la Protection de la Nature, spécialiste de la biodiversité), et l'est depuis huit ans par Robert Delmas (CNRS, spécialiste des gaz à effet de serre). Constitué de chercheurs et d'experts reconnus, le Comité initie depuis vingt ans les programmes scientifiques soutenus par EDF et évalue leurs résultats. Ses membres se renouvellent régulièrement.

Le Comité scientifique a connu des périodes de controverses et de débats internes qu'il a traversées en faisant prévaloir les analyses scientifiques raisonnées et dépassionnées. L'altération initiale de la qualité de l'eau, le phénomène d'émissions de gaz à effet de serre dues à l'immersion d'une importante biomasse de même que la présence de mercure dans les eaux de la retenue ont en effet suscité des interrogations légitimes.

**Les programmes de suivi écologique** contrôlés par le Comité scientifique **ont apporté des réponses**, conduisant EDF à améliorer en continu l'exploitation du barrage au regard du milieu naturel, et **permettant aujourd'hui à chacun de pouvoir juger lui-même de l'empreinte écologique du barrage.**

### Une référence pour l'hydraulique en milieu tropical

En vingt ans, l'activité scientifique développée à Petit Saut a fait de la Guyane une référence pour l'hydraulique en milieu équatorial.

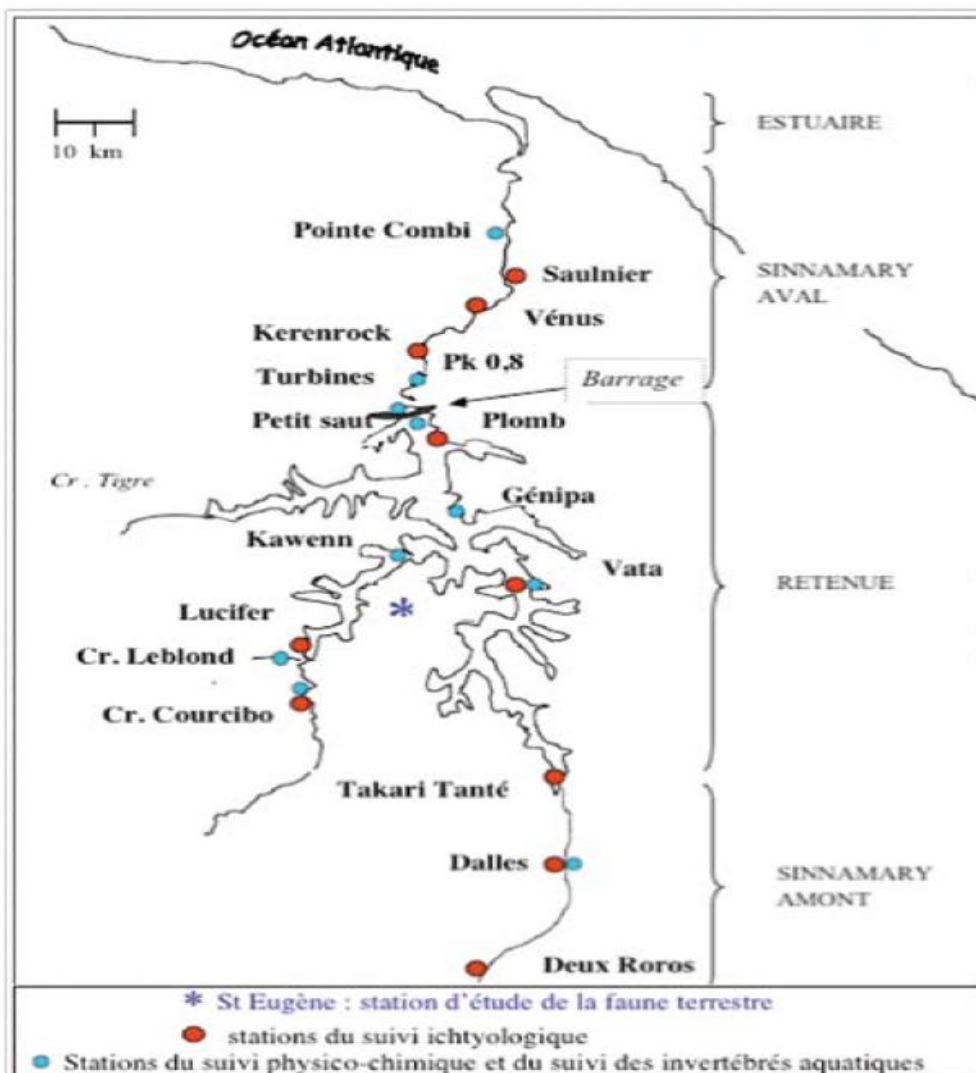
Les connaissances acquises ont renforcé la prise en compte des émissions de gaz à effet de serre pour le même type de retenue, et ont suscité un important effort de recherche international pour les réglementations en la matière, sous l'égide de l'UNESCO, la Banque Mondiale et l'Association Internationale d'Hydroélectricité (IHA). Par ailleurs, des programmes dérivés de ceux conduits à Petit Saut sont appliqués sur d'autres retenues, comme celle du barrage de Nam-Theun II (Laos).

Aujourd'hui, les travaux scientifiques et de nouvelles thèses de doctorat se poursuivent à Petit Saut. Axes privilégiés : le suivi à long terme des indicateurs essentiels sur l'eau, l'air et la vie aquatique dans la retenue (réalisé par HYDRECO) ; des études fondamentales pour continuer à améliorer la compréhension des mécanismes biologiques, physiques et chimiques au sein de la retenue (programmes universitaires).

Une vingtaine de thèses de doctorat et de nombreuses publications scientifiques sont issues de ces travaux, la base de données bibliographique de Petit Saut contenant plus de 700 références. Un rapport de synthèse réalisé sous l'égide du Comité Scientifique est paru en 2008. Il résume l'essentiel des découvertes et avancées scientifiques effectuées par les dizaines de chercheurs qui ont travaillé pendant des années sur le site du barrage.

Grâce à cette activité scientifique mise en place à Petit Saut, les conséquences effectives de la création d'un barrage en forêt équatoriale sur le milieu naturel et l'environnement sont mieux comprises et anticipables. **Ces travaux ont été précurseurs : ils fournissent une base de connaissances pour les décideurs qui ont à faire des choix pour répondre à une demande énergétique toujours croissante**, particulièrement dans les pays émergents et les pays en développement de la zone intertropicale.

### Schéma de la retenue d'eau de Petit Saut





*Les îles créées par la mise en eau du barrage*



---

## BIODIVERSITE AQUATIQUE



*Philippe CERDAN, Universitaire, Docteur en écologie avec une spécialité en entomologie, directeur d'Hydréco. Il est arrivé dès 1990 en Guyane pour monter le laboratoire d'hydrobiologie sur Petit Saut, coencadrant avec des professeurs de Marseille les deux premières thèses du futur lac de Petit Saut. Ses travaux sont principalement concentrés sur Petit Saut jusqu'en 1998. Depuis ils se sont étendus sur l'ensemble de la Guyane et des zones tropicales et néotropicales du monde.*



*Régis VIGOUROUX, universitaire, ingénieur hydrobiologiste. Spécialisé dans l'ichtyologie, il développe depuis plus de 15 ans la compréhension des communautés piscicoles néotropicales (diversité, relations trophiques, reproduction, évolution ontogénique, suivi des teneurs en mercure...). Membre du CSRPN depuis 2007, il coordonne actuellement un programme de recherche sur la mise en place d'indice de qualité des eaux en zone tropicale.*

**Le suivi combiné de la qualité de l'eau et des organismes aquatiques (invertébrés et poissons) depuis plus de 20 ans permet de connaître l'écosystème lacustre qui s'est développé dans la retenue de Petit Saut ; d'observer qu'il est aujourd'hui en phase de stabilisation ; et de constater que l'amélioration continue de la qualité de l'eau favorise un écosystème riche et abondant dans le lac.**

### Chimie de l'eau

La qualité de l'eau, dans ses caractéristiques chimiques et biologiques, est suivie depuis les années 1990, avant la mise en eau du barrage. Ces 2 types de paramètres doivent être étudiés simultanément pour comprendre l'ensemble de la dynamique de l'écosystème. Trois zones sont étudiées : l'amont du lac pour comprendre les entrants (et donc l'évolution du lac lui-même), le lac et l'aval.

A l'amont, la « branche Sinnamary », non aurifère (donc non impactée par une activité humaine), permet d'avoir une référence sur la qualité des eaux naturelles. L'autre branche, la « branche Coursibo » est, elle, soumise à une activité d'orpaillage clandestin plus ou moins importante selon les années.

Comme tous les barrages tropicaux ou néo tropicaux, d'une certaine profondeur, le lac de Petit Saut est stratifié en 2 couches : l'épilimnion et l'hypolimnion, séparées par la limite anoxique. La couche oxygénée (épilimnion) se trouve en surface et la couche non oxygénée et chargée en gaz réducteur (hypolimnion) se trouve au fond. Cette stratification est liée à la température qui varie faiblement et ces 2 couches d'eau ne se mélangent que très peu.

---

La couche de surface bien oxygénée permet la vie aquatique. De quelques centimètres la première année de la mise en eau, cette couche oxygénée augmente régulièrement pour arriver aujourd'hui à varier entre 7 et 15 mètres selon la pluviométrie.

Le lac de Petit Saut contient très peu de nutriments comme l'azote ou le phosphate. Sur le Sinnamary, il n'y a aucune ville ou bourg sur le pourtour immédiat du lac ou en amont, donc très peu d'apport anthropique en nutriment. Ceci explique en grande partie l'absence de jacinthes d'eau qui auraient asphyxié le lac comme cela a été observé sur de nombreux lacs de barrage tropicaux et néo tropicaux.

Des mesures de GES (Gaz à Effet de Serre) sont régulièrement réalisées depuis la mise en eau. Des inter-comparaisons de mesure permettent maintenant d'avoir une vision globale de l'ensemble des barrages mondiaux en ce qui concerne les rejets de GES (voir la présentation spécifique).

### Un seuil aérateur, une première à Petit Saut

La qualité de l'eau restituée à l'aval du barrage dépend directement de celle de l'eau du réservoir. Elle est analysée en continu par une station située à Pointe Combi (40 km en aval). **Un seuil d'oxygène dans l'eau (2 mg/l d'O<sub>2</sub>) permettant de préserver la vie aquatique, a été fixé**, après études de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

Afin de prélever de préférence des eaux de surface de bonne qualité, EDF avait construit une pré-digue en amont des turbines. Elle s'est avérée insuffisante : l'eau rejetée à l'aval était sans oxygène. En revanche, celle relâchée par les vannes de fond était de bonne qualité. Explication : l'effet de «jet creux» qui, grâce à ses turbulences, permet la ré-oxygénation mais surtout le dégazage des eaux du fond.

L'analyse des gaz rejetés dans l'air au niveau des vannes de fond a permis de comprendre la désoxygénation du fleuve sur les 40 km reliant le barrage à Sinnamary. Le responsable est le méthane, gaz réducteur qui consomme lentement l'oxygène dissous dans l'eau. En Guyane 100% d'oxygène dans l'eau correspond à environ 7mg O<sub>2</sub>/l. Donc si l'eau rejetée contenait plus de 2 mg CH<sub>4</sub>/l on se retrouvait sans oxygène 40 km plus bas en aval.

Afin de pallier ce problème, la solution trouvée a été celle d'un seuil à double cascade, installé à l'aval immédiat des turbines.

**Ce seuil permet de ré-oxygéner l'eau et de retirer les gaz réducteurs.** Il permet ainsi le maintien de la vie aquatique en aval du barrage.



---

## Invertébrés aquatiques

Souvent méconnus du grand public, les « macro invertébrés benthiques » sont des organismes utilisés pour la définition de l'état d'un écosystème aquatique et pour l'établissement d'un suivi à plus ou moins long terme. Ce terme désigne les animaux dépourvus de colonne vertébrale retenus par des mailles de 0,5 mm et vivant en relation avec le fond du cours d'eau. Il comprend donc un large panel d'organismes : principalement représenté par les insectes (larves de moustiques, d'Ephémères ou de Coléoptères, etc.), il désigne également les annélides (vers), les mollusques (gastéropodes et bivalves), les crustacés (crabes, crevettes), etc.



**Ces invertébrés aquatiques sont de bons indicateurs du milieu.**

Leur pouvoir intégrateur, leur présence au sein de tous les écosystèmes aquatiques, leur grande diversité taxonomique ainsi que leur représentation à différents niveaux trophiques, constituent un moyen efficace d'estimation de la qualité de l'eau.

**Le suivi de ces espèces** a été intégré dans une étude à grande échelle et inédite d'indicateurs biologiques en Guyane. Il **a permis de faire un état des lieux du fleuve Sinnamary dans la durée**, qui a commencé avant le début des travaux de Petit en 1994 et se poursuit actuellement. Plusieurs stations d'études sont installées depuis l'amont du lac de Petit Saut et sur une quarantaine de kilomètres en aval du barrage (ville de Sinnamary)

En amont de la retenue, les deux principaux cours d'eau alimentant le lac de Petit Saut sont étudiés. La branche Sinnamary permet d'observer l'évolution d'un écosystème non impacté par des pollutions anthropiques, que l'on désigne sous le terme « d'approche par conditions de référence ». D'autre part, les stations situées sur la crique Coursibo, sur son affluent la crique Leblond et à l'aval du saut Lucifer permettent la caractérisation des impacts de l'orpaillage sur les communautés d'invertébrés benthiques. L'étude de la macrofaune benthique au niveau de ces stations met en évidence une pollution qui diminue fortement le nombre d'invertébrés collectés ainsi que la diversité de ces derniers. Les conséquences de l'orpaillage se font ressentir principalement sur la crique Leblond. En effet, l'ordre des Plécoptères, qui est observé sur la crique Coursibo et dont la présence est signe de bonne qualité d'eau, est absent de l'échantillonnage sur la crique Leblond. Les Plécoptères sont des invertébrés fortement polluo-sensibles, au même titre que les Ephéméroptères dont l'abondance et la diversité diminuent de façon notable sur la crique Leblond.

---

Ensuite, plusieurs stations d'échantillonnage sont réparties sur le lac de Petit Saut depuis la queue de la retenue jusqu'au barrage. La diversité des invertébrés benthiques est 50% inférieure à celle retrouvée sur l'axe amont du Sinnamary, même si le lac reste un milieu très productif (l'abondance en invertébrés est seulement 10% inférieure à celle échantillonnée en amont). De par le rôle de recyclage de la matière organique et de transfert aux niveaux trophiques supérieurs qu'ils assurent, ces organismes jouent un rôle de grande importance dans la structure et le fonctionnement des lacs.



**Une érosion de la diversité des macro-invertébrés aquatiques a été observée au sein du lac de Petit Saut. Elle s'explique par des caractéristiques propres au milieu lacustre.** En l'absence de courant, la température de l'eau plus élevée et la concentration en oxygène plus faible que celle retrouvée en amont du Sinnamary sont des conditions contraignantes pour certaines espèces. C'est le cas pour l'ordre des Ephemeroptères dont les individus se retrouvent réduits à quelques genres capables de se développer dans ces conditions. En contrepartie, certains invertébrés trouvent dans le lac de Petit Saut des conditions très favorables à leur colonisation, comme Cyclestheria hislopi ou l'ordre des Diptères. La surface plane et calme d'eau qu'offre le lac de Petit Saut permet également le développement d'invertébrés aquatiques se déplaçant à la surface ou sous la surface de l'eau, tels que certaines familles de Coléoptères et d'Hétéroptères.

Une étude récente, couplée aux données récoltées depuis une vingtaine d'années, a permis de mettre en évidence le rôle majeur des arbres ennoyés dans cet écosystème lacustre. Les troncs d'arbres encore en place permettent de doter la colonne d'eau d'un substrat dur et voient ainsi une biocénose benthique, normalement absente de ce type de faciès, s'y développer : la forêt inondée favorise la complexité des niches écologiques et la diversité de la vie aquatique au sein de la retenue.

A l'aval du barrage, les résultats de cette étude convergent ceux de nombreuses études effectuées en milieu tempéré. Ils démontrent une **baisse de la diversité et de l'abondance en aval proche de l'ouvrage**. De plus, une modification de l'assemblage des communautés est observée au sein desquelles les invertébrés benthiques polluosensibles ont fortement régressé. Toutefois, une **résilience** (retour à un assemblage des communautés en absence d'impact) **est remarquée alors que la distance au barrage s'accroît**.

## Poissons

La formation de lac en Guyane reste un évènement unique et de nombreuses questions quant à son impact sur les populations de poissons ont été soulevées. C'est pourquoi un suivi de l'ichtyofaune (poissons) a été proposé dès le début des travaux du barrage.

L'étude de l'ichtyofaune présente des intérêts multiples, comme l'augmentation des connaissances sur la dynamique des populations, mais aussi sur les traits d'histoire de vie des espèces.

---

Les capacités d'adaptation et de résilience face à une perturbation majeure ont ainsi pu être étudiées. Il a notamment été observé un fort **pic de reproduction durant les 18 mois de montée des eaux de la retenue**. Les périodes de crue favorisant la reproduction des poissons, la mise en eau du barrage a été perçue par eux comme étant une période de crue étendue sur 18 mois.

Les poissons peuvent également être utilisés comme indicateur de l'état du milieu et un indice biologique, l'Indice Poisson de Guyane (IPG), a été créé en 2011 par l'Institut de Recherche pour le développement (IRD).

Afin de rendre analysable et comparable des données sur le long terme, un protocole d'échantillonnage standardisé a été créé et mis en place dès 1998. Il consiste en la pose de filets maillants de surface de 50 m<sup>2</sup> (25 m de long sur 2 m de fond). Les mailles font 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60 et 70 mm et sont disposées en 2 batteries. Ainsi, 20 filets servent à l'échantillonnage et permettent une capture la plus large possible. Ces batteries sont placées dans le milieu 2 fois par an, en saison des pluies et en saison sèche afin de prendre en compte la variabilité saisonnière.



Tous les poissons prélevés sont alors déterminés à l'espèce, mesurés, pesés et sexés. Divers prélèvements sont également réalisés afin d'étudier les guildes trophiques ou l'évolution des concentrations en mercure.

Les stations de prélèvement définies servent à comprendre le gradient d'évolution des communautés selon l'impact du lac. Les stations amont offrent un aperçu de l'évolution des communautés piscicoles dans un environnement non perturbé ou orpaillé. Les dernières études ont révélé que ces populations évoluent principalement en fonction des variations environnementales, notamment avec la sécheresse de 2009.



---

L'aval permet d'observer un double impact sur le milieu. Le premier est anthropique et dû au barrage. Cet effet baisse avec l'augmentation de la distance barrage/station. Le deuxième impact est naturel et est provoqué par l'onde de marée. Cet effet croît avec la baisse de la distance estuaire/station.

**L'étude du lac révèle les fortes capacités d'adaptation des poissons face à une perturbation durable.** En effet, une structure des populations de l'ichtyofaune a pu être démontrée via la richesse spécifique et les guildes alimentaires.

Ainsi, le gradient amont/aval montre une dominance des espèces invertivores dans les eaux de surface. **La station la plus proche du front du lac (Takari Tante) est donc dominée par les invertivores, puis viennent les omnivores (Vata) et de nouveau les invertivores (Plomb).** Ces résultats suivent ceux portant sur les macro-invertébrés benthiques. Cette structuration amont/aval suit un gradient en apports nutritifs. Cependant, ce gradient amont/aval n'est pas le seul à agir sur les communautés piscicoles. Le deuxième est le gradient forêt profonde/ancien chenal. Il met en évidence une dominance des omnivores en surface. De plus, la richesse spécifique est plus importante en forêt inondée vis-à-vis de l'ancien chenal, dépourvu d'arbres immergés.

Ce résultat est à mettre en relation avec la présence de la forêt inondée et souligne son importance pour le maintien des populations. Ce suivi permet de connaître le fonctionnement et la dynamique de l'écosystème depuis l'amont de la retenue de Petit Saut jusqu'à une quarantaine de kilomètres à l'aval. Il permet également de faire progresser les connaissances scientifiques sur un sujet peu documenté dans la littérature scientifique.



---

## MERCURE



*Régine MAURY-BRACHET est Ingénieur de Recherche Hors Classe au laboratoire EPOC UMR5805 dans l'équipe d'Ecotoxicologie Aquatique à l'Université de Bordeaux. Le thème principal de recherche est l'étude des métaux traces dans les écosystèmes aquatiques d'eau douce. Depuis 1997, elle travaille plus spécialement sur les problèmes de contamination par le mercure dans les principaux hydrosystèmes de Guyane. Elle a coordonné de nombreux programmes de recherches liés à cette problématique.*



*Régis VIGOUROUX, universitaire, ingénieur hydrobiologiste. Spécialisé dans l'ichtyologie, il développe depuis plus de 15 ans la compréhension des communautés piscicoles néotropicales (diversité, relations trophiques, reproduction, évolution ontogénique, suivi des teneurs en mercure...). Membre du CSRPN depuis 2007, il coordonne actuellement un programme de recherche sur la mise en place d'indice de qualité des eaux en zone tropicale.*

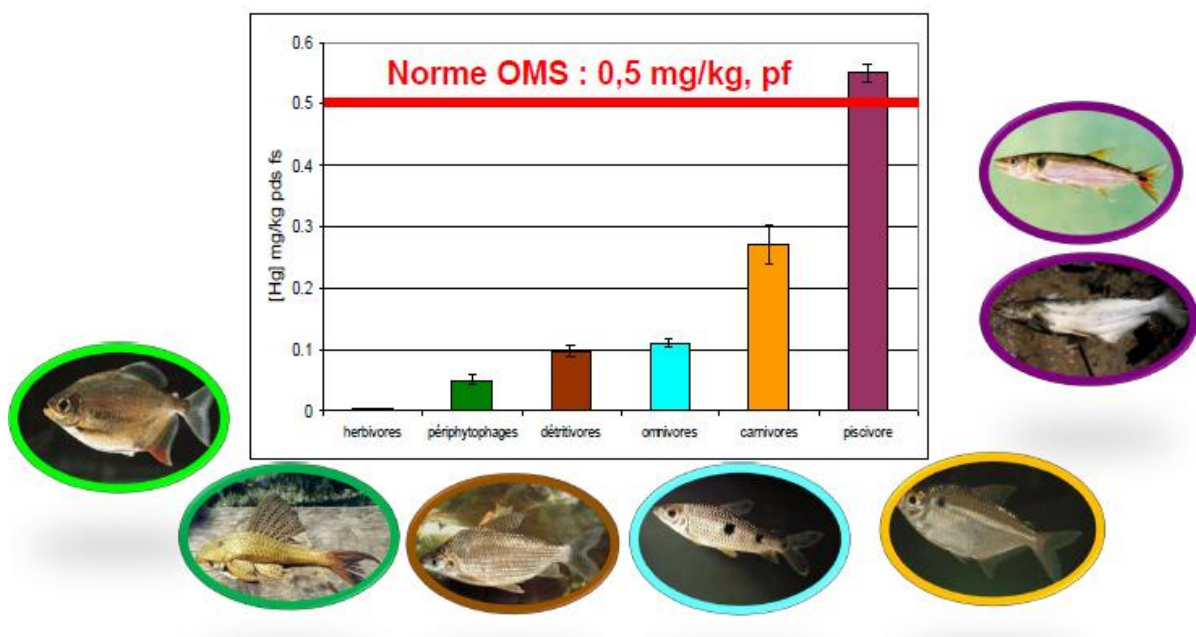
### Comprendre les mécanismes de contamination par le mercure

Le mercure est naturellement présent dans l'écorce terrestre. Il est libéré dans l'environnement par l'activité volcanique, l'érosion des roches et particulièrement par les activités humaines comme l'orpaillage.

Pour comprendre les processus de contamination par le mercure, il faut connaître la forme chimique sous laquelle il se trouve dans les différents compartiments de l'écosystème étudié (eau, sédiment, organismes). Selon sa forme chimique, sa toxicité sera très différente. Le mercure existe sous trois principales formes : le mercure élémentaire utilisé par les chercheurs d'or ; le mercure inorganique ; le mercure méthylé (MeHg) appelé également monométhylmercure composé neurotoxique (mis en cause lors de la maladie de Minamata).

En absence d'oxygène, le mercure inorganique sera transformé par méthylation en MeHg par des bactéries sulfato réductrices au niveau du biofilm. C'est ce MeHg qui est la forme la plus dangereuse pour les êtres vivants car ses caractéristiques chimiques (rémanence, forte capacité de diffusion au travers des membranes cellulaires, demi-vie importante) lui confèrent une capacité de **bioaccumulation** très élevée dans les organismes, et ceci par l'ingestion de proies contaminées.

Dans les écosystèmes aquatiques, ces mêmes caractéristiques chimiques lui permettent de se **bio-amplifier** dans la chaîne alimentaire à travers les relations proies-prédateurs, conduisant, à partir de très faibles concentrations dans le milieu, proches du nanogramme par litre (dans l'eau par exemple), à des concentrations élevées dans les poissons carnivores comme *Hoplias aimara*. La consommation excessive de poissons carnassiers (plusieurs fois par jours) peut entraîner des niveaux de contaminations importantes par le mercure chez les êtres humains. Ce contaminant a pour effet sur l'homme d'altérer principalement le système nerveux.



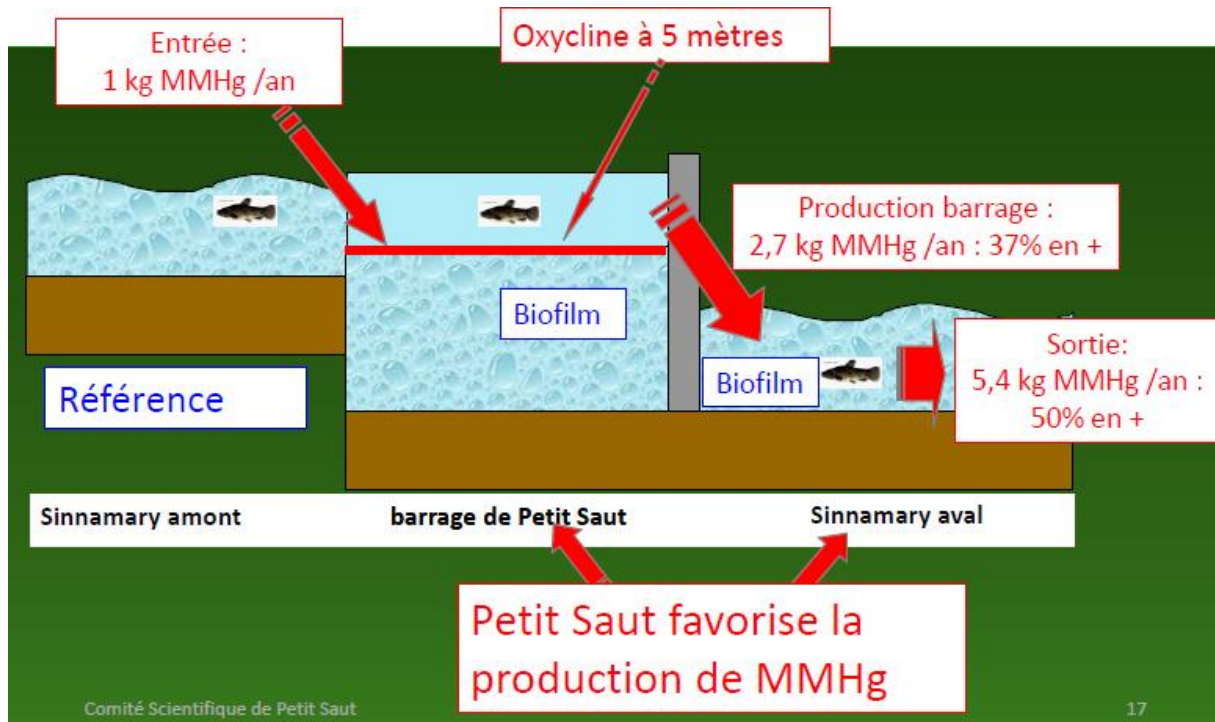
## Présence de mercure dans les poissons de Petit Saut

Une étude comparative des niveaux de contamination en mercure dans le muscle de *Hoplias aimara* (espèce de poisson bio-indicatrice) au niveau des six principaux fleuves de Guyane a montré que le fleuve Sinnamary, avec le barrage de Petit Saut, présentait les niveaux les plus importants.

L'étude des niveaux de contamination par le mercure sur d'autres espèces de poissons appartenant à d'autres régimes alimentaires (omnivores, herbivores,...) confirme cette tendance, et les niveaux de contamination sont 2 à 4 fois plus élevés pour les poissons du Sinnamary. Les conditions physicochimiques de l'eau du barrage de Petit Saut (manque d'oxygène, dégradation de la végétation des arbres immergés, température élevée, présence de bactéries sulfatoréductrices) sont très propices à la production de méthylmercure.



Par contre, l'étude de l'évolution des concentrations en mercure dans le muscle des poissons, montre qu'**au bout de 20 ans, ces concentrations diminuent** (Figure 1). Cette diminution est à mettre en parallèle avec l'amélioration des caractéristiques physicochimiques du milieu : augmentation de la hauteur d'eau oxygénée, diminution de la matière organique. **Ce qui tend à montrer que l'impact du barrage sur les niveaux de contamination par le mercure des organismes tend à diminuer avec le temps et que la qualité de l'eau s'améliore.**



Dans le cadre de la construction d'un futur barrage, afin de limiter la production de méthylmercure et donc la contamination des poissons, les pistes à envisager seraient une optimisation des prises d'eau, l'enlèvement des arbres immergés en zone anoxique ou encore avoir un temps de résidence de l'eau dans la retenue court.

---

## GAZ A EFFET DE SERRRE



*Dominique Serça est Maître de conférences au Laboratoire d'Aérodynamique, Université Paul Sabatier de Toulouse. Ses thèmes de recherche portent sur les échanges entre la surface et l'atmosphère de composés gazeux, dont les gaz à effet de serre. Il s'est intéressé plus particulièrement à ces échanges en région tropicale, depuis les surfaces en eau (réservoirs, comme à Petit Saut), mais aussi les écosystèmes naturels ou perturbés (savanes, forêt, agro systèmes). Il a participé aux mesures des émissions de gaz à effet de serre sur le barrage de Petit Saut dès 1997, et co-encadre une thèse en cours sur cette même problématique.*

L'identification et la quantification des différentes sources de Gaz à Effet de Serre (GES- gaz carbonique  $\text{CO}_2$ , méthane  $\text{CH}_4$  et protoxyde d'azote  $\text{N}_2\text{O}$ , pour citer les trois principaux) responsables du réchauffement climatique, revêt un enjeu environnemental et politique majeur. Les concentrations atmosphériques de ces GES augmentent depuis la révolution industrielle du fait des activités humaines, et notamment de la production d'énergie.

Dans ce contexte, et **dans le but de contenir le réchauffement climatique** à 1,5 à 2°C, et les concentrations de  $\text{CO}_2$  à 450 ppm à l'échéance 2050, **les énergies renouvelables sont amenées à se développer**. Première des énergies renouvelables, **la production d'hydroélectricité devrait doubler d'ici 20 ans**, essentiellement dans les pays de la ceinture tropicale où se trouve l'essentiel du potentiel de développement restant.

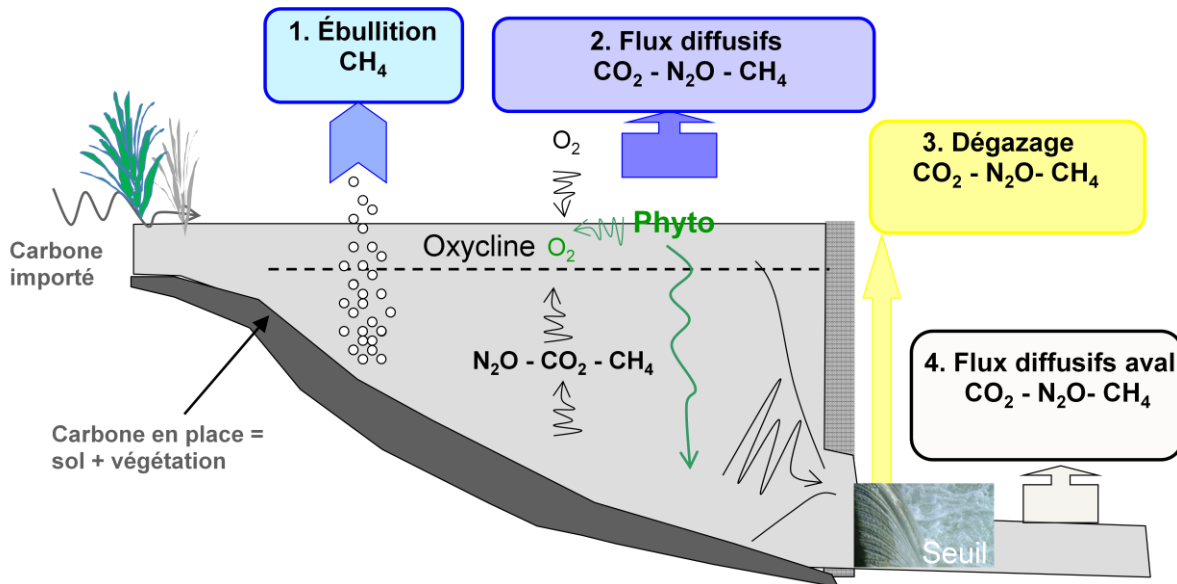
Les réservoirs artificiels, dont ceux destinés à produire de l'électricité, ont été identifiés dans les années 1990 comme source potentielle de GES à l'échelle planétaire : **des études sur les émissions de GES par la retenue de Petit Saut ont débuté en 1994**, année même de la mise en eau. **Elles font partie des toutes premières à avoir été menées en région tropicale.**

### L'évolution des émissions de gaz a effet de serre

Les barrages transforment les écosystèmes fluviaux et continentaux en écosystèmes lacustres, ce qui a pour conséquence de modifier le cycle de la matière organique et les échanges entre la surface et l'atmosphère. La biomasse terrestre (540 tonnes de matière sèche à l'hectare dans le cas de la forêt à Petit Saut avant la mise en eau) ainsi que la matière organique contenue dans les sols ennoyés par la création du réservoir se dégradent au fond de la retenue en consommant de l'oxygène et en produisant du méthane  $\text{CH}_4$ . Ce méthane est ensuite susceptible de s'oxyder en  $\text{CO}_2$  dans les parties oxygénées de la colonne d'eau. Ces composés ( $\text{CO}_2$  et  $\text{CH}_4$ ) peuvent ensuite être émis par différentes voies vers l'atmosphère :

- ébullition ou bullage (quand des bulles de gaz remontent du fond et éclatent à la surface de l'eau) pour le  $\text{CH}_4$ ,

- diffusion (lorsque le gaz dissous dans l'eau atteint l'atmosphère) à la surface du réservoir,
- dégazage après passage dans les turbines (accélération du brassage et du transfert des gaz dissous vers l'atmosphère), notamment au niveau du seuil aérateur aval
- diffusion (même phénomène qu'à la surface du réservoir, une fois l'eau turbinée) et oxydation (pour le méthane) résiduelles après le seuil.



Les études menées à Petit Saut ont montré que l'ébullition (1) et la diffusion (2) étaient les voies d'émission prédominantes la première année. Elles ont baissé dès la deuxième année, et le dégazage (3) est alors devenu, et reste encore, la première voie d'émission.

**La somme de toutes les voies d'émissions de GES**, que l'on appelle l'émission brute, **diminue continuellement à Petit Saut depuis la mise en eau**, avec une baisse importante intervenue durant l'année 1996, soit la troisième année après la mise en eau, puis une baisse moins soutenue mais continue depuis.

- En 2013, les émissions annuelles sont près de vingt fois plus faibles que ce qu'elles furent durant les deux premières années, soit autour de 0.19 M tCO<sub>2eq</sub>/an (190 000 tCO<sub>2eq</sub>/an), et les vingt premières années de Petit Saut cumulent 50% des émissions de gaz à effet de serre estimées sur la durée de vie du barrage (100 ans).
- Cette quantité, rapportée à la production moyenne d'électricité de Petit Saut, mène à un facteur d'émissions brutes autour de 370 gCO<sub>2eq</sub>/KWh en 2013. Le facteur moyen des émissions nettes sur un siècle calculé en 2008 est de l'ordre de 600 gCO<sub>2eq</sub>/KWh. Ce facteur est à comparer aux facteurs d'émissions des centrales thermiques (980 et 644 gCO<sub>2eq</sub>/KWh pour charbon et le fuel).

En prenant en compte ce facteur, **on montre que le barrage aura émis la même quantité de gaz à effet de serre exprimée en CO<sub>2eq</sub> qu'une centrale à charbon et à fuel au bout de 44 et 73 ans d'exploitation**, et constitue donc une alternative préférable aux centrales thermiques à ces échelles de temps.

---

## Une contribution scientifique majeure

**Le programme d'étude mené à Petit Saut a permis de suivre les émissions de GES en continu depuis 20 ans : c'est un effort sans équivalent dans le monde.**

Il a permis de grandes avancées dans la compréhension des émissions de GES par les barrages. Le programme a notamment permis de prendre en compte pour la première fois les principales voies d'émissions, et a montré l'importance du dégazage de méthane à l'aval des turbines.

Des études en laboratoire ont aussi permis de quantifier la fraction du carbone envoyé participant aux émissions, les différents termes d'oxydation du méthane, et le bilan du carbone d'un tel système.

Enfin, le savoir-faire issu de ce projet a permis de proposer des recommandations sur les études qui ont suivies, notamment sur les méthodologies à mettre en œuvre et les processus à prendre en compte pour établir l'inventaire des voies d'émissions de GES par les barrages.

On peut donc dire que l'étude sur Petit Saut constitue une étude de référence des émissions de GES liée aux barrages dans la communauté scientifique, en particulier pour la zone tropicale.



L'amélioration attendue de l'inventaire planétaire des émissions de GES liées aux barrages nécessite de développer encore des protocoles de mesures standardisés pour la détermination des émissions nettes de GES, et de promouvoir des mesures et calculs d'émission pour un ensemble représentatif des barrages mondiaux, dont ceux de la zone tropicale. Il faudra aussi développer des outils de modélisation pour la prévision et l'extrapolation des émissions à l'échelle globale, ainsi que développer des outils pour évaluer les approches d'atténuation de ces émissions.

---

**Les pistes pour améliorer globalement le bilan des émissions de GES de l'hydroélectricité passent par :**

- une optimisation des prises d'eau des turbines et une amélioration des turbines,
- une sélection des sites des futurs barrages, avec une recherche des conditions suivantes : stratification verticale profonde (turbinage d'eaux pauvres en CH<sub>4</sub>), densité énergétique forte, temps de résidence court, faibles entrées de carbone,
- la mise en place éventuelle de dispositifs de récupération de CH<sub>4</sub> au fond des barrages (à l'étude).



*Le lac créé par la mise en eau de Petit Saut*

---

## SAUVETAGE ET SAUVEGARDE DE LA FAUNE TERRESTRE



*Cécile Richard-Hansen. Docteur en Eco-éthologie, elle a réalisé l'ensemble de sa carrière en Guyane, depuis plus de 20 ans. Initialement responsable du suivi des animaux déplacés au cours de l'opération de sauvetage du barrage de Petit Saut, elle travaille depuis comme chargée d'étude sur la faune sauvage de Guyane, à l'ONCFS depuis 2000. Ses études portent sur la gestion durable de la faune, et l'écologie des espèces à fort enjeu pour la gestion de la chasse sur le territoire.*

Les opérations sur la biodiversité terrestre ont été menées selon deux principaux programmes. Le **programme « Faune sauvage »** avait comme objectif la récupération avant submersion du plus grand nombre possible d'individus menacés par la montée des eaux, pour les déplacer vers une zone voisine mais non inondée. Cette translocation était scientifiquement suivie et documentée. Le **programme d'étude nommé « Sauvegarde »**, mené par le Museum National d'Histoire Naturelle, était mené sur la branche du fleuve Courcibo avec comme objectif de documenter les effets de la fragmentation d'un milieu forestier continu sur diverses communautés faunistiques.

### Opération Faune sauvage

Plus de 5800 animaux, dont 3202 mammifères ont été capturés sur 284 îles formées au fur et à mesure de la montée des eaux, en priorisant les petits terrestres, plus immédiatement menacés, puis les arboricoles se trouvant piégés dans des arbres isolés et perdant leurs feuilles.



Les animaux étaient alors transférés au centre vétérinaire, pour vérification de leur état sanitaire. Tous étaient anesthésiés, ce qui a permis la validation de protocoles et la collecte de nombreuses informations et échantillons scientifiques (mesures corporelles, parasites, prise de sang, de poils etc...). Chaque animal était identifié individuellement à l'aide de bagues, colliers... Certains (appartenant à 5 espèces différentes) étaient munis en plus de colliers émetteurs pour pouvoir suivre leur devenir dans la durée.

---

Dès le lendemain, les animaux étaient transférés sur une zone dite « de relâcher », voisine et sur laquelle la pression de chasse antérieure avait fait fortement baisser les densités animales. Cette zone, comme celle du barrage, a constitué le premier espace forestier protégé (interdit à la chasse) de Guyane, ce qui a initié la venue de l'ONCFS.

Pour la première fois, les abondances des populations de faune « gibier » ont été suivies. Le marquage a permis la documentation des suites du déplacement des animaux. Constat principal : la grande majorité s'est installée sur place et a établi un domaine vital stable, avec même une première reproduction observée pour les singes hurleurs.

### Opération Sauvegarde

En ce qui concerne l'**opération Sauvegarde**, les suivis à court (1995-1999) et moyen terme (2002-2004) ont documenté l'évolution des populations sur des îlots de 0.1 à 80 ha, plus ou moins isolés (de 20 m à 400 m) de la forêt continue.

Pour les oiseaux, on observe une homogénéisation des peuplements des diverses îles dans un premier temps, puis un appauvrissement progressif en nombre d'espèces et en diversité, avec une dominance marquée d'un petit nombre d'espèces. Le nombre d'espèces sur une île est proportionnel à sa surface, et l'effet constaté est plus fort sur les oiseaux terrestres et de sous-bois que sur ceux de la canopée.

Pour les petits mammifères terrestres aussi, une forte réduction de la diversité des espèces est notée : 1 à 2 espèces restent présentes, la deuxième ayant souvent recolonisé après 1999. La densité est en revanche similaire à celle des 12 espèces présentes auparavant (densité compensation).



Les populations de chauves-souris montrent des réactions différentes selon leur guildes : les frugivores de sous-bois disparaissent ou presque, mais les espèces de canopée n'enregistrent que peu de changement. Globalement, les espèces les plus répandues deviennent les plus dominantes. Les plus grands mammifères continuent semble-t-il d'exploiter ponctuellement les îles et de nouvelles espèces ont également été découvertes.

Les études ont donné lieu à plus d'une centaine de publications et thèses scientifiques. Certaines se poursuivent aujourd'hui, notamment à partir des échantillons collectés (études de génétique par exemple).

La zone dite « de relâcher » a été insérée dans le réseau des sites dont les abondances de faune sont suivies. **La présence de grande faune sur les îles se confirme par des observations régulières, faisant de ces lieux un site privilégié d'observation**, sous réserve que l'évolution en cours de la réglementation permette d'assurer une protection plus efficace.

