



HAL
open science

Appui à la Guyane pour la définition du potentiel écologique de la retenue de Petit-Saut : Programme de Surveillance DCE

Angélique Bonnet, J.M. Baudoin, Christophe Laplace-Treyture

► **To cite this version:**

Angélique Bonnet, J.M. Baudoin, Christophe Laplace-Treyture. Appui à la Guyane pour la définition du potentiel écologique de la retenue de Petit-Saut : Programme de Surveillance DCE. [0] irstea. 2020, pp.68. hal-02610234

HAL Id: hal-02610234

<https://hal.inrae.fr/hal-02610234>

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Programme de surveillance DCE de la retenue de Petit-Saut

Version Février 2020

Avec le soutien financier de :

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



Programme 2017/2019 – R&D et innovation Outre-Mer - Action n° 95

Appui à la Guyane pour la définition du potentiel écologique de la retenue de Petit-Saut

Programme de Surveillance DCE

Rapport final

Pôle ECLA

Version Février 2020

Document élaboré dans le cadre de :

- Contrat de recherche et développement DEAL Guyane, OEG, Irstea
- Programme scientifique du Pôle R&D Hydroécologie des Plans d'Eau (Action n° 95)

- **AUTEURS**

Angélique BONNET, Inrae – Pôle R&D ECLA, angelique.bonnet@inrae.fr

Jean-Marc BAUDOIN, chef du pôle R&D ECLA, jean-marc.baudoin@ofb.gouv.fr

Christophe LAPLACE-TREYTURE, Inrae – Pôle R&D ECLA, christophe.laplace-treytur@inrae.fr

- **CONTRIBUTEURS**

Christine ARGILLIER, Inrae, christine.argillier@inrae.fr

Vincent BERTRIN, Inrae, vincent.bertrin@inrae.fr

Sébastien BRO SSE, UPS, sebastien.brosse@uni-tlse3.fr

Régis CERE GHINO, UPS, regis.cereghino@uni-tlse3.fr

Rémi CHAPPAZ, IMBE-AMU, remi.chappaz@imbe.fr

Fanny COLAS, Inrae, fanny.colas@inrae.fr

Pierre-Alain DANIS, OFB – Pôle R&D ECLA, pierre-alain.danis@ofb.gouv.fr

Nicolas DEDIEU, UFC, nicolas.dedieu@univ-fcomte.fr

Marjorie GALLAY, ODE Guyane, marjorie.gallay@office-eauguyane.fr

Maxime LOGEZ, Inrae, maxime.logez@inrae.fr

Olivier MONNIER, OFB, olivier.monnier@afbiodiversite.fr

Jean-Claude RAYMOND, OFB – Pôle R&D ECLA, jean-claude.raymond@ofb.gouv.fr

Stéphanie REY, DEAL Guyane, stephanie.rey@developpement-durable.gouv.fr

Mathieu RHONE, ODE Guyane, mathieu.rhone@office-eauguyane.fr

Valérie VERNEAUX, UFC, Valerie.Verneaux@univ-fcomte.fr

Régis VIGOUROUX, Hydreco, regis.vigouroux@hydrecolab.com

- **CORRESPONDANTS**

Agence française pour la biodiversité :

Jean-Marc BAUDOIN, chef du pôle R&D AFB-Irstea (AFB), jean-marc.baudoin@afbiodiversite.fr

Inrae :

Martin DAUFRESNE, DR (Inrae), martin.daufresne@inrae.fr

Droits d'usage : accès libre
Niveau géographique : mondial
Couverture géographique : Guyane
Niveau de lecture : novice

• SOMMAIRE

Contexte	6
1. Aspects réglementaires.....	7
1.1. La réglementation européenne	7
1.2. La réglementation nationale.....	8
1.3. La déclinaison en Guyane	8
2. Paramètres et fréquences de suivis	9
2.1. Pertinence des éléments de qualité.....	9
2.2. Fréquence des suivis DCE	10
3. Méthodes de surveillance des paramètres écologiques	11
3.1. Choix des zones et stations d'échantillonnage	11
3.2. Hydromorphologie	12
3.2.1. Régime hydrologique.....	12
3.2.2. Conditions morphologiques	13
3.2.3. Continuum écologique.....	18
3.2.4. Synthèse de la surveillance de l'hydromorphologie	19
3.3. Physico-chimie soutenant la biologie (groupe 1 à 5).....	20
3.3.1. Données disponibles.....	20
3.3.2. Suivis des paramètres physico-chimiques.....	20
3.3.3. Bon fonctionnement de l'écosystème	23
3.3.4. Moyens matériels & humains.....	24
3.4. Le phytoplancton	25
3.4.1. Données disponibles.....	25
3.4.2. Suivi du phytoplancton	25
3.4.3. Moyens matériels & humains.....	30
3.5. Les invertébrés benthiques	31
3.5.1. Données disponibles.....	31
3.5.2. Protocole de surveillance DCE.....	31
3.5.3. Matériel & moyens humains	36
3.6. Les poissons.....	37
3.6.1. Données disponibles.....	37
3.6.2. Protocole de surveillance DCE Petit-Saut.....	37
4. Chimie et polluants spécifiques de l'état écologique	43
4.1. Suivis des paramètres de l'état chimique.....	43
4.2. Suivi des substances dans le biote & NQE	44
4.3. Echantillonneurs passifs	47
4.4. Stations de prélèvements et répliques	47
5. Synthèse du programme de surveillance de Petit-Saut	48
6. Recherche et développement	49

6.1.	Evaluation de la pertinence des macrophytes	49
6.2.	Evaluation de la pertinence du phytobenthos	50
6.3.	Variabilité spatiale des paramètres physico-chimique et télédétection	51
6.4.	Bon fonctionnement de l'écosystème.....	51
6.5.	Des méthodes innovantes pour l'échantillonnage du phytoplancton.....	52
6.6.	Combinaison de plusieurs méthodes d'échantillonnage pour les poissons	52
6.6.1.	Utilisation de la pêche électrique dans les zones de berge.....	52
6.6.2.	Utilisation de nasses dans les zones de berge.....	52
6.6.3.	L'hydroacoustique pour évaluer les densités de poissons	53
6.6.4.	L'ADNe pour évaluer la biodiversité	53
6.7.	Etude de la biodiversité approfondie	53
6.8.	Evaluation du mercure dans le biote.....	54
7.	Bancarisation des données	55
8.	Conclusion	56
	Bibliographie.....	57
	Table des illustrations	60
	Annexes	63

Contexte

La Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) a pour objectif l'atteinte d'un bon état écologique et chimique des eaux. L'état écologique est l'expression de la qualité de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Elle requiert la mise en place d'une gestion intégrée à l'échelle des bassins hydrographiques sur la base de plans de gestion et de programmes de mesures. En application de la DCE, un programme de surveillance de l'état des eaux doit être mis en place sur l'ensemble des catégories d'eau, c'est-à-dire les eaux douces de surface, les eaux côtières et de transition et les eaux souterraines sur l'ensemble des bassins français. La mise en œuvre de la DCE en France concerne uniquement aux **plans d'eau de plus de 50 hectares**.

Comme sur l'ensemble des bassins français, les objectifs de surveillance et d'atteinte du bon état ou du bon potentiel écologique s'appliquent en Guyane. En Guyane, le seul plan d'eau DCE est le lac du **barrage hydroélectrique de Petit Saut** qui est l'unique masse d'eau « plan d'eau » du district hydrographique. Petit-Saut est également la seule Masse d'Eau Fortement Modifiée de Guyane du fait de fortes modifications hydromorphologiques obligatoires pour le maintien de sa fonction et ainsi les objectifs environnementaux sont l'atteinte d'un **bon potentiel écologique** et d'un **bon état chimique**.

Le suivi environnemental de la retenue est assuré par EDF/HYDRECO et aucun réseau au sens propre de la DCE n'est effectif actuellement sur cette masse d'eau plan d'eau. Le suivi du milieu aquatique commandité par EDF a commencé préalablement aux travaux de construction du barrage dans les années 1990 et se poursuit toujours aujourd'hui avec une surveillance régulière sur différentes parties du réseau hydrographique du fleuve Sinnamary : sur la retenue, sur les cours d'eau en amont et sur le fleuve en aval. Une convention entre EDF et la DEAL a permis l'échange des données de suivis et leur utilisation pour évaluer le potentiel écologique de la retenue et définir le programme de surveillance. Ces données ont permis de développer des connaissances sur le fonctionnement écologique d'un grand réservoir tropical comme Petit-Saut.

La qualité écologique de la retenue semble être plus ou moins stabilisée à l'heure actuelle et la retenue a pu être classifiée en tant que MEFM ayant un bon potentiel écologique lors de l'état des lieux réalisé en 2019. Dans ce contexte, EDF s'interroge sur la révision du programme des suivis actuels et de la pertinence des éléments suivis ainsi que des fréquences et méthodes d'échantillonnage sachant qu'uniquement le suivi de l'oxygène en aval est une obligation légale. Etant donné que la DEAL et l'ODE Guyane doivent élaborer le programme de surveillance de la retenue pour le troisième cycle DCE 2022-2027 l'objectif est de mutualiser les moyens et construire un **programme de surveillance commun** (EDF/ODE/DEAL) qui réponde aux objectifs des différentes parties prenantes ainsi qu'aux obligations normatives de la Directive Cadre sur l'Eau. Ce protocole devra être applicable immédiatement étant donné les enjeux écologiques sur la retenue et l'apparition de nouveaux acteurs ainsi que le devenir des usages du réservoir. Il faudra également veiller à maintenir une certaine **continuité** dans les paramètres suivis et les méthodes mises en œuvre étant donné la longue chronique des données actuellement disponible. Ce rapport détaille le contenu du programme de surveillance pour la retenue de Petit-Saut développé par le pôle R&D ECLA, la DEAL, l'ODE ainsi qu'un groupe d'experts (voir contributeurs).

1. Aspects réglementaires

1.1. La réglementation européenne

La directive cadre sur l'eau (DCE) du 23 octobre 2000 (directive 2000/60) définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique avec une perspective de développement durable. Elle requiert la mise en place d'une gestion intégrée à l'échelle des bassins hydrographiques sur la base de plans de gestion et de programmes de mesures. La DCE définit une méthode de travail, commune aux 27 Etats membres, qui repose sur quatre documents essentiels (Figure 1).

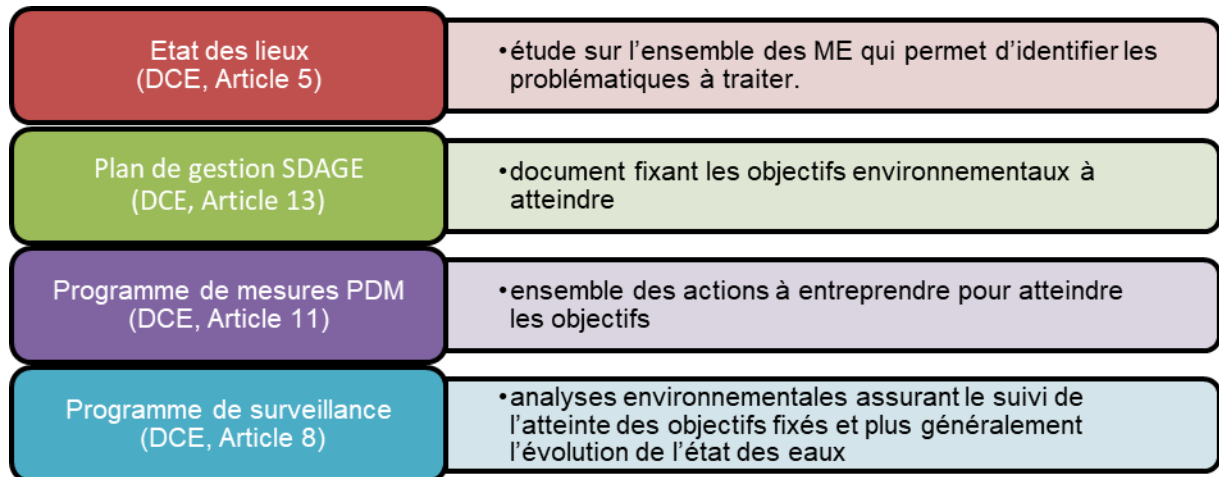


Figure 1. Cadre méthodologique de la DCE reposant sur l'élaboration de quatre documents : l'état des lieux, le SDAGE, le programme de mesures et le programme de surveillance.

Le programme de surveillance définit les analyses environnementales nécessaires pour contrôler le suivi de l'atteinte des objectifs environnementaux fixés dans le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE). Le programme doit permettre de suivre l'état des milieux aquatiques, d'identifier les sources de pression et de suivre l'effet des actions correctives engagées. Ce programme de surveillance est constitué de différents réseaux ayant des objectifs différents : le contrôle de surveillance, le contrôle opérationnel et le contrôle d'enquête (Figure 2).

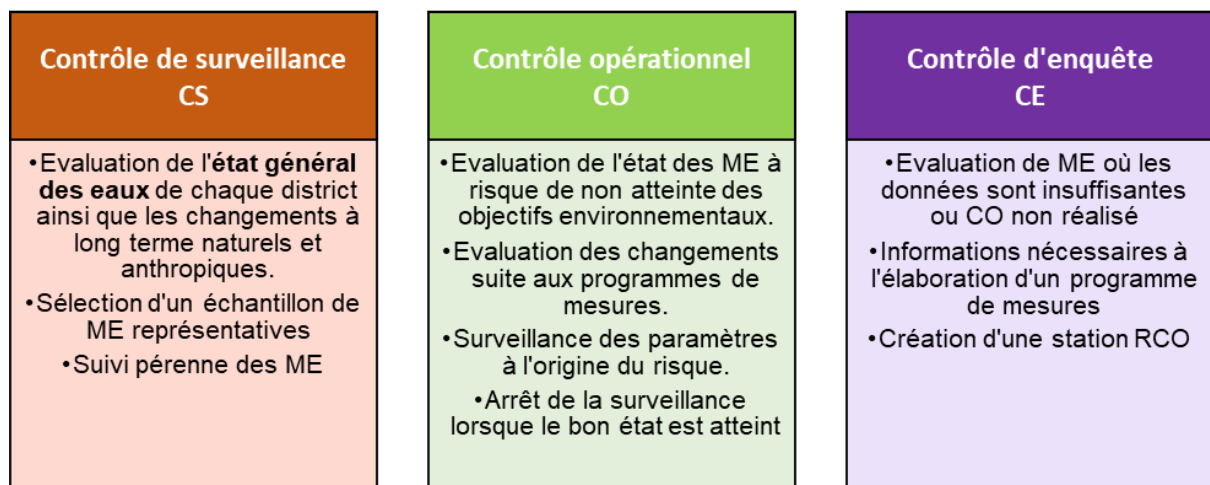


Figure 2. Différents niveaux d'analyse du réseau de surveillance (Texte DCE, annexe V, 1.3)

La mise en œuvre de la DCE s'effectue selon des cycles de six ans où les SDAGE et PDM sont mis en œuvre : **2010-2015, 2016-2021, 2022-2027**. Les méthodes de surveillance sont révisées à chaque cycle de gestion. Actuellement le deuxième cycle DCE est en cours de mise en œuvre. L'état des lieux pour le troisième cycle DCE a été réalisé en 2019, le programme de surveillance sera révisé en 2020 et enfin le SDAGE et le PDM seront révisés en 2021.

1.2. La réglementation nationale

La législation européenne est traduite en droit français au travers notamment des livres 1, 2, 4 et 5 du code de l'Environnement (parties réglementaires et administratives). Par ailleurs, les modalités de surveillance des différentes masses d'eau au titre de la DCE, ainsi que les modalités d'évaluation de l'état, sont précisées au travers des arrêtés ministériels ci-après :

- Arrêté ministériel du 25 janvier 2010 modifié par arrêté ministériel du [17 octobre 2018](#), établissant le **programme de surveillance** de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement.
 - Arrêté ministériel du 12 janvier 2010 modifié par arrêté du 11 avril 2014, relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour **délimiter et classer les masses d'eau** et dresser l'état des lieux, prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement.
 - Arrêté ministériel du 25 janvier 2010 modifié par arrêté ministériel du [27 juillet 2018](#), relatif aux méthodes et **critères d'évaluation** de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement.
- ⇒ L'appréciation de l'état écologique dans les DROM est réalisée à **dire d'experts** en s'appuyant sur les données écologiques disponibles, la bibliographie, et l'évaluation des pressions puisque peu ou pas d'outils d'évaluation sont disponibles à l'heure actuelle sur ces territoires.

1.3. La déclinaison en Guyane

Les schémas typologiques de référence mis au point en Europe continentale ne s'appliquent pas aux DROM, où les contextes biogéographiques et climatiques d'une part, et le manque de connaissance de la faune et de la flore d'autre part, ne permettent pas d'appliquer les méthodes d'échantillonnage et les bio-indicateurs développés statistiquement pour les plans d'eau de France métropolitaine. L'arrêté préfectoral n°R03-2016-06-24-007 présente le contenu du programme de surveillance de l'état des eaux du bassin Guyane.

« La surveillance concerne les plans d'eau d'une surface égale ou supérieure à 50 ha. En Guyane, seule la retenue de Petit-Saut est concernée. Le suivi est réalisé dans le cadre de l'exploitation du barrage hydroélectrique. Le programme de surveillance pour le plan d'eau est susceptible d'évoluer au cours du cycle selon l'expertise en cours menée par l'ONEMA sur le suivi à réaliser sur une telle masse d'eau (éléments de qualité pertinents et fréquences en cours de définition) ».

- ⇒ Dans le présent rapport, les conclusions relatives à la surveillance de la retenue de Petit-Saut seront détaillées. Une étude a été menée (IRSTEA/AFB/ODE-Guyane/DEAL-Guyane) afin d'adapter les programmes de surveillance lacustres nationaux en fonction des spécificités de la retenue de Petit-Saut, des contraintes techniques et financières.

2. Paramètres et fréquences de suivis

2.1. Pertinence des éléments de qualité

Petit-Saut étant une retenue ainsi les éléments de qualité à considérer sont ceux des **plans d'eau** naturels ainsi que les éléments de qualité relatifs à la définition de potentiel écologique pour les masses d'eau fortement modifiées (Figure 3).

	Composition		Abondance	Biomasse	Structure de l'âge
	Paramètres Biologiques	Phytoplancton	✓	✓	✓
Macrophytes		✓	✓		
Phytobenthos		✓	✓		
Invertébrés		✓	✓		
Poissons		✓	✓		✓
Paramètres Physico-chimiques	Groupe 1	In situ	Transparence, température, O ₂ , pH, conductivité, côte		
	Groupe 2	Eau	NKJ, P _{totr} , MEST, turbidité, teneur en matière minérale, chl-a, phéopigments		
	Groupe 2 bis	Eau	NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ , COD, silice dissoute		
	Groupe 3	Eau	Chlorures, sulfates, bicarbonates, Ca, Mg, Na, Po, TH, TA, TAC, Al, Fe, Mg.		
	Groupe 4	Sédiments	COT, NKJ, P _{totr} , perte au feu, granulométrie		
	Groupe 4 bis	Sédiments	PO ₄ , P _{totr} , NH ₄		
	Groupe 5	Sédiments	Al, Fe, Mg		
	Groupe 6	Polluants spécifiques de l'état écologique (eau, biote, sédiment)			
Bon fonctionnement de l'écosystème (eg. gaz à effet de serre)					
Paramètres Hydromorphologiques	Régime hydrologique		Quantité et dynamique des débits		
			Temps de résidence		
			Connexion à la masse d'eau souterraine		
	Conditions morphologiques		Variation de la profondeur du lac		
			Quantité, structure et substrat du lit		
			Structure de la rive		
Continuum écologique					

Figure 3. Eléments de qualité de suivis pour les plans d'eau naturels (DCE, annexe V, 1.1.2.) et en jaune éléments de qualité résultant de la définition du potentiel écologique (DCE, annexe V, 1.2.5).

► Pour les **macrophytes**, en raison du marnage sur Petit-Saut de l'ordre de 3-4m, les protocoles DCE lacustres nationaux ne sont pas applicables (Boutry et al. 2013). Actuellement, en métropole, les macrophytes sont exclus de l'évaluation du potentiel écologique dans les retenues marnantes (marnage >2m). Dans les plans d'eau marnants, les communautés de macrophytes sont confrontées à des variations de niveaux qui limitent leur développement. Les communautés présentent généralement une diversité et une stabilité insuffisantes pour contribuer à définir un état/potentiel écologique, au sens de l'évaluation préconisée par la DCE (Dutartre & Bertrin 2012). La retenue de Petit-Saut présente des macrophytes dans les zones de criques (eg. Utriculaires) mais aucune liste taxonomique, ni données de densité n'est actuellement disponible. Ainsi, la pertinence de cet élément de qualité reste à évaluer et l'attente de cette évaluation, les macrophytes seront exclus du programme de surveillance.

► Pour le **phytobenthos**¹, en raison du marnage sur Petit-Saut de l'ordre de 3-4m, les protocoles DCE lacustres nationaux en cours de développement ne sont pas applicables (Irstea 2013). Comme pour les macrophytes, le phytobenthos n'est pas suivi dans les retenues marnantes en métropole. Sur Petit-Saut, actuellement, aucune donnée n'existe concernant le phytobenthos et dans un premier temps, le phytobenthos sera exclu du programme de surveillance. La pertinence de cet élément de qualité dans la retenue de Petit-Saut reste à évaluer. Une étude est nécessaire pour développer une méthode de suivi adéquate si la pertinence du suivi en routine de ce compartiment est avérée.

► Pour les autres compartiments biologiques (phytoplancton, invertébrés et poissons), les données disponibles confirment la pertinence des suivis de ces éléments de qualité. De plus, il est pertinent de suivre la physico-chimie de l'eau ainsi que les caractéristiques hydromorphologiques.

2.2. Fréquence des suivis DCE

L'arrêté « surveillance » définit les fréquences des contrôles par année de suivi et par plan de gestion (annexe 1). Les fréquences peuvent être adaptées en fonction du fonctionnement écologique de la masse d'eau (notamment la variabilité interannuelle) et des contraintes techniques. Pour le contrôle de surveillance, de la retenue de Petit-Saut, étant donné la variabilité intra-annuelle élevée pour les communautés phytoplanctoniques, un échantillonnage **mensuel** et **tous les 2 ans** est recommandé. Ainsi, les groupes 1,2 et 2bis des éléments physico-chimiques seront suivis à la même fréquence que le phytoplancton. Pour la physico-chimie dans les sédiments nous préconisons **2 échantillonnages annuels** afin de mettre en évidence si ces paramètres évoluent annuellement et la période d'échantillonnage la plus favorable. Etant donné que l'hydrologie est un élément structurant important dans une retenue ainsi elle sera suivie **quotidiennement** toutes les années, sachant que cette donnée est disponible puisqu'enregistrée par EDF dans le cadre de l'exploitation de la retenue. Cette donnée est fondamentale pour interpréter les données physico-chimiques et biologiques et connaître la dynamique hydrologique à un moment donné (relargage d'eau si apports en excès ou au contraire stockage d'eau si apports déficitaires). Les poissons et les invertébrés seront suivis 2 fois par cycle de gestion puisque certaines années peuvent présenter des variations importantes ponctuelles. Les autres fréquences de suivi de l'état écologique respectent l'annexe IV de l'arrêté du 25 janvier 2010 modifié établissant le programme de surveillance de l'état des eaux (Tableau 1).

Tableau 1. Paramètres et fréquences du contrôle de surveillance des éléments de qualité du potentiel écologique de la retenue de Petit-Saut. Les éléments en rouge sont les fréquences recommandées dans le cadre de la surveillance de la retenue de Petit-Saut. Les éléments entre parenthèses sont les fréquences minimales réglementaires définies dans l'arrêté « surveillance ».

Eléments suivis	Nombre d'années de suivi par SDAGE	Fréquence des contrôles par année
Morphologie	1 (1)	1 (1)
Hydrologie	6 (1)	Donnée quotidienne (variable)
Poissons	2 (1)	1
Invertébrés	2 (1)	2 (1)
Phytoplancton	3 (2)	12 (4)
Macrophytes	Pertinence à évaluer	Pertinence à évaluer
Phytobenthos	Pertinence à évaluer	Pertinence à évaluer
Physico-chimie groupes 1,2,2 bis	3 (2)	12 (4)
Physico-chimie groupe 3	1	1
Physico-chimie groupe 4,4bis et 5	1	2 (1)
Substances prioritaires	Variable*	Variable*

* Fréquences variables en fonction des paramètres, du support et des années du cycle

Les fréquences de suivi des paramètres chimiques et des polluants spécifiques de l'état écologique sont variables selon les substances considérées et les matrices (biote, sédiment, eau). Les fréquences définies dans l'arrêté surveillance seront mises en œuvre sur Petit-Saut.

¹ Phytobenthos : flore aquatique benthique (algues, plantes aquatiques).

3. Méthodes de surveillance des paramètres écologiques

3.1. Choix des zones et stations d'échantillonnage

La retenue a une forme allongée (80 km le long du Sinnamary), dendritique avec la présence de nombreux bras et très découpée avec plus de 400 îlots. Contrairement à d'autres barrages, la forêt primaire n'a pas été déboisée au préalable. La retenue a inondé une surface d'environ **365 km²** de forêt tropicale. Ainsi, un échantillonnage exhaustif de la totalité de la retenue n'est pas réaliste.

- La stratégie d'échantillonnage retenue est la sélection de **zones ou sous-ensembles** lacustres selon un gradient amont/aval afin d'être représentatif des différentes conditions lacustres. Ces zones sont situées dans la retenue (hors zones de transition/confluence) et incluent des stations suivies historiquement afin de maintenir la chronique des données.

- La DCE ne prévoit pas un suivi des zones de confluence. Cependant, conserver des stations de mesure dans les zones de confluence avec chaque grand tributaire (Lucifer et Takari Tante) serait intéressant afin (i) d'évaluer rapidement les impacts de certaines pressions et pouvoir mettre en œuvre les actions nécessaires et (ii) être un élément explicatif des tendances mises en évidence dans la retenue. Enfin, les zones de confluence sont particulièrement importantes pour suivre les impacts des activités aurifères légales et illégales touchant certains affluents comme la crique Tigre et Leblond.

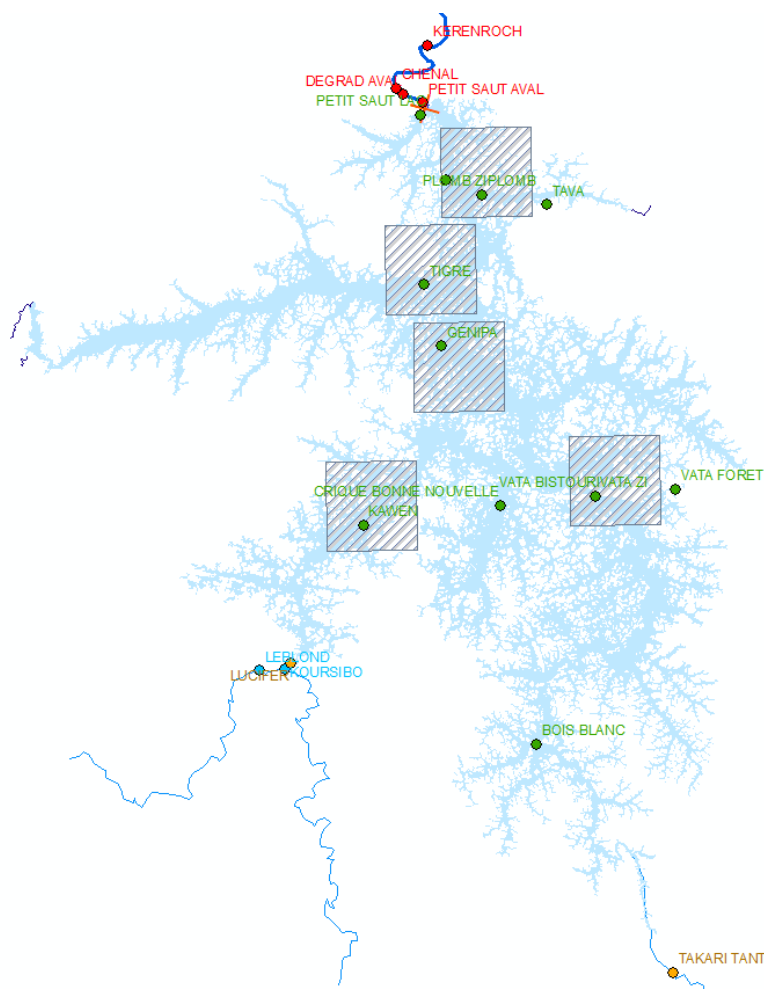


Figure 4. Localisation des **zones d'échantillonnage** dans le cadre du programme de surveillance DCE (zones grisées) et stations d'échantillonnage historique sur Petit-Saut (bleu : affluent amont, orange : transition, vert : retenue et rouge : affluent aval) dans le cadre de la surveillance EDF/HYDRECO.

3.2. Hydromorphologie

Une caractérisation de l'hydromorphologie permet (i) de caractériser la variabilité spatiale morphologique influençant les paramètres physicochimiques et écologiques, (ii) optimiser les plans d'échantillonnage des paramètres écologiques en identifiant des zones lacustres ayant des caractéristiques similaires et (iii) mettre en évidence des altérations morphologiques de la retenue altérant potentiellement les paramètres écologiques.

3.2.1. Régime hydrologique

Quantité et dynamique des débits

Les paramètres hydrologiques (débits entrants, débits sortants, côtes du plan d'eau) sont des caractéristiques particulièrement importantes pour comprendre le fonctionnement écologique d'une retenue et l'évolution des communautés biologiques qui la peuplent. Les débits entrants (Sinnamary et Coursibo) et les débits sortants au niveau du barrage sont suivis par EDF dans le cadre de l'exploitation de la retenue. La précision et la fréquence quotidienne de ces suivis sont suffisantes pour répondre aux besoins de la surveillance DCE (Figure 5). L'établissement d'une convention d'échange de données avec EDF est encouragé.

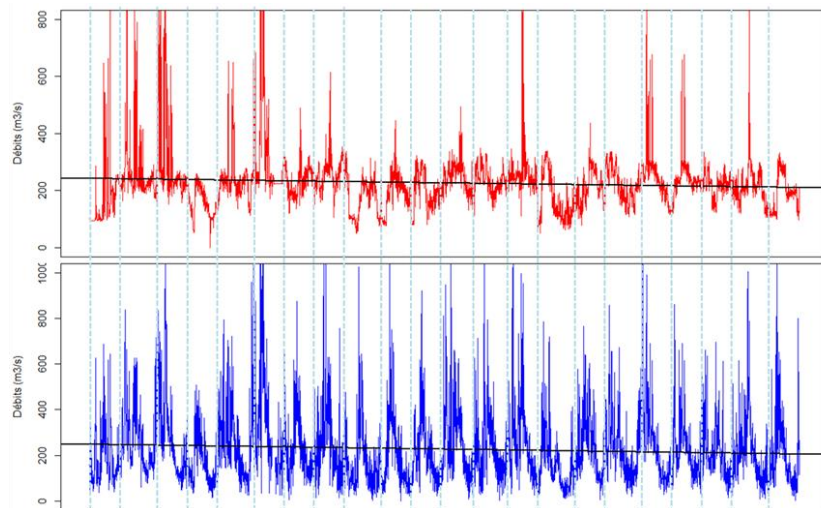


Figure 5. Evolution entre 1995 et 2016 ; en rouge des débits sortants moyens sur 24h, et en bleu des débits entrants moyens sur 24h (source : données EDF/HYDRECO)

Temps de résidence

Pour une meilleure compréhension du fonctionnement des plans d'eau et une plus grande capacité d'intervention contre les facteurs polluants, il est important de calculer le **temps de séjour**. Le calcul du temps de séjour des eaux d'un lac permet en effet de connaître sa capacité naturelle à se purger ou à se renouveler. Le temps de séjour moyen ou temps de résidence est calculé en divisant le volume du réservoir par le flux d'entrée (somme de tous les flux entrants) ou de sortie (somme de tous les flux sortants). Pour la retenue de Petit-Saut, les données sont incomplètes pour obtenir un bilan hydrique précis et nul. Une multitude de cours d'eau et criques se jettent dans le lac et ne sont pas pris en compte dans le calcul des flux entrants. Concernant les flux sortants, l'évaporation sur le lac n'est pas connue. Le volume total moyen de la retenue de Petit-Saut est estimé à 3 km³ (Sissakian 1997). Cette estimation pourrait être précisée avec la réalisation d'une carte de bathymétrie plus précise.

Connexion à la masse d'eau souterraine

Une masse d'eau souterraine est un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou plusieurs aquifères. La retenue de Petit-Saut est localisée au confluent de la crique Cœur Maroni et du Sinnamary. Le réservoir est alimenté principalement par le fleuve Sinnamary, la Coursibo, Leblond, crique Tigre et une multitude de petites criques. La bibliographie ne mentionne pas de masse d'eau souterraine à proximité de la retenue. Cependant, de potentielles connexions avec des masses d'eau souterraines ne seraient altérées par aucune pression. Donc, cet élément de qualité ne nécessite pas un suivi particulier.

3.2.2. Conditions morphologiques

Variation de la profondeur du lac et bathymétrie

La forme de la cuvette est un élément qui conditionne le fonctionnement des systèmes de par son impact sur la disponibilité des habitats et son influence sur l'hydrologie. Ainsi, des données de bathymétrie précises de la retenue de Petit-Saut sont une priorité pour mieux appréhender la **variabilité spatiale fonctionnelle et structurelle** de la retenue. Les variations de formes et de profondeurs du plan d'eau sont décrites au niveau national par une méthode standardisée de relevés bathymétriques. Cette méthode est applicable aux DOM. Sur Petit-Saut, des données bathymétriques anciennes sont disponibles datant des années 80/90 ([Annexe 2](#)). Des données plus récentes ont été collectées par l'entreprise Triton et il pourrait être intéressant d'établir une convention d'utilisation de ces données dans le cadre de la surveillance DCE.

- Au niveau national, le **protocole Bathymétrie** ([Alleaume et al. 2010](#)) est mis en œuvre dans le cadre de la surveillance DCE de l'hydromorphologie. Ce protocole utilise un **échosondeur** couplé à un GPS, permettant l'acquisition de données bathymétriques géo-référencées. Cette méthode est applicable sur Petit-Saut mais étant donné la superficie de Petit-Saut (35 000 ha), l'espacement des transects devra être optimisé afin de respecter un coût et une précision acceptables. Les trajets choisis pour les relevés bathymétriques doivent prendre en compte le nombre important d'îlots et d'arbres morts dans le réservoir ce qui complique la planification des trajets comme pour le réservoir Tucuruí au Brésil ([Curtarelli et al. 2015](#)). De plus, les zones de forêts ennoyées peu profondes ne pourront pas être cartographiées par cette méthode. Ainsi, cette méthode est particulièrement adaptée aux zones de chenal et de forêts inondées ouvertes. Dans les zones de forêt profonde et les baies encaissées, d'autres méthodes sont à envisager (eg. Technologie LiDAR). Dans le cas d'un plan d'eau artificiel fortement marnant le levé bathymétrique doit être réalisé à une côte supérieure ou égale à la **côte normale d'exploitation** ([Alleaume et al. 2010](#)) donc en fin de saison des pluies / début de saison sèche dans le cas de Petit-Saut pour faciliter le relevé dans les zones ennoyées peu profondes. Des méthodes sismiques ou électriques peuvent être mises en œuvre conjointement à l'échosondeur afin de caractériser les sédiments ([Gourry 2008](#)).

Document de référence :

Alleaume et al., 2010. Bathymétrie des plans d'eau. Protocole d'échantillonnage et descripteurs morphométriques. Rapport du pôle ONEMA/CEMAGREF, 24 p.

- **La technologie LiDAR** est une technique de télédétection par balayage laser permettant de cartographier un environnement. Cette méthode est particulièrement adaptée aux levés topographiques de zones végétalisées, accidentées ou difficiles d'accès ainsi que pour les zones de forêts inondées peu profondes, les zones littorales et les zones de marnage. Un drone bathymétrique équipé d'un système LiDAR permettrait d'évaluer la topographie dans ces zones.

- Par des méthodes de télédétection il est possible d'extraire des données concernant les **zones de marnage** (i.e zones inondées et exondées) à partir des images satellites Sentinel-2B. En effet, les pentes étant faibles sur la retenue de Petit-Saut, la surface de marnage est conséquente. Ainsi, les surfaces moyennes, minimales et maximales de la retenue seront précisées.

Quantité, structure et substrat du lit

Actuellement, il n'existe pas de protocole normalisé pour caractériser le **substrat** des milieux lacustres. Des outils traditionnels comme l'utilisation d'une benne à sédiment ou d'une caméra subaquatique permettent de déterminer la nature des substrats de manière très ponctuelle mais ces techniques atteignent leurs limites lorsque tout un plan d'eau doit être caractérisé. Une étude menée en 2009 par Irstea avait pour objectif la construction d'un modèle linéaire simple pour prédire le substrat dominant de la zone littorale à partir du substrat de berge proche et des paramètres morphologiques. Les résultats de cette étude ont montré qu'il n'est pas simple de faire une estimation du substrat dominant de la zone littorale à partir des données de la zone de berge, même en prenant en compte les caractéristiques environnementales et morphologiques des milieux (Argillier & Lalande 2009). Depuis les années 1980, des méthodes de caractérisation des sédiments en utilisant des outils **acoustiques** ont été développées et commercialisées. Pour l'application aux écosystèmes lacustres, de par leur mise en œuvre, les systèmes utilisant les **échosondeurs mono-faisceau** paraissent les plus appropriés (ex : modèle RoxAnn GD-X) (Poulain et al. 2010, Mouget et al. 2017). Cependant, aucun protocole standardisé n'est actuellement disponible pour les plans d'eau de métropole et ainsi ce paramètre n'est actuellement pas suivi en routine dans le cadre de la surveillance DCE. D'autres méthodes sont disponibles afin de connaître l'épaisseur et la nature des sédiments : méthodes **électriques** ou **sismiques** (Gourry 2008, Cukur et al. 2017, Mathieu et al. 2020).

- ⇒ **Ce paramètre ne sera donc pas suivi prioritairement sur la retenue de Petit-Saut étant donné l'absence actuelle d'un protocole national standardisé et du fait que peu de pressions sont potentiellement impactantes sur cet élément de qualité. Toutefois, à plus long terme une caractérisation des substrats apporterait des données intéressantes notamment pour évaluer de potentiels impacts de l'orpillage via l'apports de limons.**

Structure de la rive

Les descriptions de la structure et des aménagements des corridors, des berges, et des habitats des rives sont assurées par les protocoles **ALBER** (ALTérations des BERges), et **CHARLI** (Caractérisation des HABitats des Rives et du Littoral des plans d'eau). Ces protocoles sont applicables dans les DROM. Les protocoles métropolitains de caractérisation des altérations des berges des plans d'eau (ALBER) et des habitats rivulaires lacustres (CHARLI) basés sur des photo-interprétation et des observations de terrain sont applicables sur Petit-Saut. D'ailleurs, une approche similaire a été mise en œuvre au niveau du réservoir brésilien de Curua-Una afin d'identifier différentes zones de fonctionnement au sein de la retenue (Santos et al. 2019) et ce protocole a déjà été mis en œuvre dans des plans d'eau en Guadeloupe et en Martinique (Bouvier & Bargier 2019).

Protocole ALBER :

Ce protocole élaboré par Irstea permet la caractérisation des altérations des berges des plans d'eau basé sur une photo-interprétation associée à des observations de terrain. Il s'agit de décrire les modifications selon leur nature, leur diversité et leur répartition spatiale. Les données sont cartographiées sur SIG et permettent d'extraire différentes métriques sur les altérations des berges. Ce protocole s'applique aux plans d'eau naturels ou d'origine anthropique, quelle que soit la surface du plan d'eau (Alleaume et al. 2012a, 2014b).

Documents de référence :

- Norme XP T90-714 : « Qualité de l'eau - Qualité des milieux - Caractérisation des altérations des berges de plans d'eau »
- Alleaume S., Baudoin J.-M., Heyd C., Lanoiselée C. et Argillier C., 2014. Protocole de caractérisation des Altérations des Berges – Alber. Projet de norme. Rapport intermédiaire, 17 p.
- Onema-Irstea, 2012. Protocole de caractérisation des Altérations des Berges. Rapport Pôle Onema-Irstea, (version 2012.2)

Quelques points de vigilance relatifs à ce protocole :

- Seules les modifications de taille significatives supérieures à 5 mètres, sauf pour les éléments d'hydrologie, sont prises en compte ;
- Il convient de noter les modifications majeures hors zone de berge susceptibles d'agir sur l'hydromorphologie (ex : extraction de matière au milieu du plan d'eau) ;
- L'observation se réalise en parcourant le pourtour du plan d'eau en bateau et les modifications sont relevées. Les modifications se répartissent en 6 thématiques : les renforcements, les apports de matières, les extractions de matières, les compactages/érosions, les éléments hydrologiques et les équipements.

Sur Petit-Saut, l'application du protocole ALBER pourra être mis en œuvre rapidement puisqu'actuellement très peu d'altérations des berges ne sont présentes. Les seules actuellement identifiées sont la présence du barrage et des zones de mises à l'eau. Notons que des modifications majeures hors zone de berge susceptibles d'agir sur l'hydromorphologie devront être indiqués, comme par exemple, des modifications sur les zones de forêts ennoyées.

Protocole CHARLI :

Le protocole CHARLI est un protocole de caractérisation des habitats littoraux des plans d'eau selon leur nature, leur diversité et leur répartition spatiale, à partir d'observations de terrain, puis la cartographie de ces habitats. Ce protocole s'applique aux plans naturels et anthropiques. Les deux protocoles Alber et Charli peuvent être mis en œuvre simultanément (S. Alleaume et al. 2012; S. Alleaume et al. 2014).

Documents de référence :

- Norme XP T90-718 : « Qualité de l'eau - Qualité des milieux - Caractérisation des habitats des rives et du littoral des plans d'eau »
- Alleaume S., Baudoin J.-M., Heyd C., Lanoiselée C. et Argillier C., 2014. Caractérisation des HABitats des Rives et du Littoral des plans d'eau – Charli. Projet de norme. Rapport intermédiaire, 22 p.
- Onema-Irstea, 2012. Charli : Protocole de Caractérisation des HABitats des Rives et du Littoral. Rapport Pôle Onema-Irstea, version 2012.3.

Quelques points de vigilance relatifs à ce protocole :

- Cette méthode consiste à réaliser une cartographie fine des composantes d'habitats sur l'ensemble du pourtour du plan d'eau ;
- Différentes composantes d'habitats sont indiquées comme les tributaires, les types de substrats ou encore les types de végétation. Les habitats sont décrits au moyen de 21 critères répartis en 4 thématiques : les sous-berges, l'hydrologie, le substrat, et la végétation ;

- La présence d'une composante est reportée lorsque dominante dans un rayon de 25 m.

Effort d'échantillonnage :

La retenue de Petit-Saut possède un linéaire de berges très irrégulier et dendritique estimé à 3 773 km. Ainsi, un échantillonnage de la totalité du linéaire de berge n'est pas réalisable. Le protocole CHARLI pourra être mis en œuvre au niveau de plusieurs zones ou sous-ensembles de la retenue. Cette approche est adoptée dans les grands systèmes comme le lac du Bourget (Crétollier et al. 2018). Ces stations seront placées afin de couvrir la variabilité spatiale de la retenue en terme d'habitats. De plus, ces stations seront localisées à proximité des zones d'échantillonnages des éléments de qualité biologiques (figure 6). Le temps de réalisation de ce protocole est très variable d'un plan d'eau à un autre en fonction de la variabilité des habitats, de la visibilité ainsi que de la forme du linéaire de berges. **En moyenne, entre 5 km et 7 km peuvent être échantillonnés par heure soit environ 50-70 km par jour.**

Fréquence :

L'hydromorphologie étant relativement stable d'une année sur l'autre, une seule campagne par plan de gestion est suffisante dans le cadre du programme de surveillance DCE de la retenue soit **une seule campagne tous les 6 ans**. Cependant, si des modifications majeures de ce paramètre sont mises en évidence pendant la durée du cycle de gestion, une deuxième campagne pourra être mise en œuvre.

Période :

Les descriptions sont réalisées lorsque le plan d'eau est au niveau des plus hautes eaux soit à la côte normale d'exploitation dans le cas de la retenue de Petit-Saut.

- ⇒ ***Les résultats de la campagne bathymétrique et des caractérisations écologiques des berges de la retenue de Petit-Saut permettront d'identifier différentes unités écologiques au sein de la retenue et d'appréhender la variabilité spatiale de la morphologie qui est actuellement peu connue.***

Particularités liées à la forêt ennoyée :

La retenue de Petit-Saut se singularise par la présence d'une forêt ennoyée qui couvre la majeure partie de la retenue. Ainsi, cette forêt influence la qualité des habitats de la retenue et des communautés en place. Il serait donc important d'intégrer l'évaluation de cet habitat comme outil de diagnostic dans le cadre du programme de surveillance DCE même si cet élément n'est pas prévu initialement dans le cadre de la DCE. De plus, cartographier les zones de forêts inondées et les densités en arbres permettraient une meilleure interprétation des données biologiques et aussi de préciser les stratégies d'échantillonnage lors de l'application des protocoles de surveillance écologique. Au vu de la superficie de Petit-Saut, la **télé-détection** offre des perspectives particulièrement intéressantes pour extraire ce type d'information. En fonction des premiers résultats d'une étude en cours au sein du pôle R&D ECLA (contact Thierry Tormos), l'approche envisagée sera précisée en 2020. Cependant, un premier test de détection semi-automatique des troncs d'arbres émergeant réalisé sur des ortho-images Pléiades (0,7 m de résolution, ré-échantillonné à 0,5 m) acquises sur une petite partie du plan d'eau présente des résultats intéressants et encourageants. Cette méthode nécessite d'être confortée afin de pouvoir suivre les surfaces de forêt ennoyée au sein de la retenue.

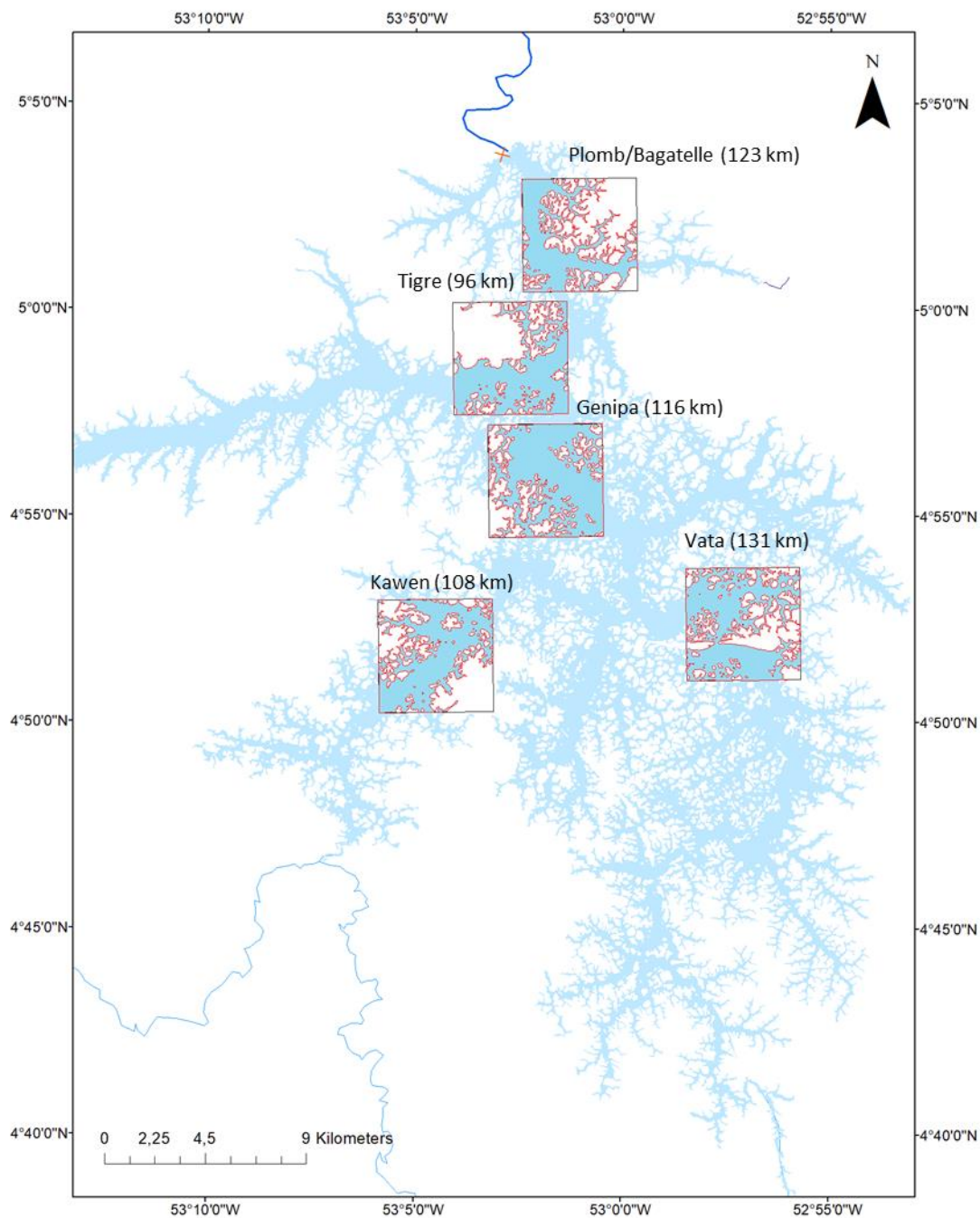


Figure 6. Localisation des zones d'échantillonnage pour la morphologie. Chaque zone mesure 5 km X 5 km = 25 km² et en moyenne chaque zone présente 115 km de linéaire de berges ou d'îlets. Ainsi, il faut compter 2,5j d'échantillonnage par zone en prenant en compte le temps de déplacement entre les stations. La totalité des stations pourront donc être échantillonnées en 12,5 jours de terrain sachant que ce délai est approximatif et dépend fortement de la variabilité spatiale des habitats, de la visibilité ainsi que de la forme du linéaire de berges. Sur Petit-Saut, il faut s'attendre à la présence d'habitats plutôt homogènes mais le linéaire de berges est complexe avec la présence de nombreux îlets.

3.2.3. Continuum écologique

Les conditions hydromorphologiques correspondant au Potentiel Ecologique Maximum (PEM) doivent satisfaire le **meilleur continuum écologique** qui garantit que les différents habitats des espèces aquatiques sont interconnectés dans l'espace et dans le temps afin que les espèces (poissons, invertébrés, flore) puissent remplir leurs cycles de vie. Par exemple, ces habitats servent pour la reproduction (frayères et aires de reproduction), pour l'alimentation, pour l'hivernage ou pour s'abriter des prédateurs. Les dynamiques sédimentaires doivent permettre l'existence de ces différents habitats (European Commission 2018). Dans le cas de la retenue de Petit-Saut, il s'agit de s'assurer du moindre degré d'altération de la continuité avec les tributaires, entre les différents habitats lacustres et avec l'affluent aval :

- La **continuité avec les tributaires** est plutôt bonne puisqu'il n'y a aucun seuil limitant les déplacements d'espèces ou les transports de sédiments. Cependant, les activités d'orpaillage légal et illégal dans les affluents et les criques alimentant la retenue peuvent modifier les déplacements d'espèces et les dynamiques sédimentaires.
 - La **continuité latérale** est bonne puisque les poissons ont accès à différents habitats (chenal, forêt inondée, criques, berges) pour compléter leurs cycles de vie. En outre, la forêt ennoyée permet de conserver des habitats forestiers même quand le niveau d'eau du lac est bas et que l'accès aux zones rivulaires est impossible ;
 - La **continuité longitudinale** est interrompue. L'impact de cette pression dépend de la biologie des espèces et notamment de la présence d'espèces amphihalines dans le Sinnamary qui auraient besoin de remonter ou descendre le barrage de façon obligatoire. La seule espèce amphihaline identifiée à ce jour en aval de la retenue est le palika (*Tarpon atlanticus*) qui est une espèce anadrome. Cette espèce se retrouve uniquement en aval de la retenue de Petit-Saut. Cependant, des lacunes sur la biologie des espèces amphihalines comme le tarpon ne permettent pas de savoir si l'espèce remontait au-delà du saut de Petit-Saut. La rupture de la continuité avec l'aval a donc un impact inconnu sur les espèces situées aval mais serait peu impactante pour les espèces lacustres puisque les espèces présentes dans la retenue peuvent se déplacer vers les affluents amont et les criques. Des mouvements longitudinaux de l'amont vers l'aval et vice versa avaient été observés chez les espèces les plus courantes à Petit-Saut: *Myleus ternetzi*, *M. rhornboidalis* et *Leponinus fridenici*. Ces mouvements seraient en relation avec les changements du niveau des eaux et seraient surtout à caractère trophique (Planquette et al. 1985).
- ⇒ **Une fois par cycle de gestion il convient d'évaluer le continuum écologique de la retenue de Petit-Saut c'est-à-dire l'accès aux habitats dans le temps et dans l'espace.**

3.2.4. Synthèse de la surveillance de l'hydromorphologie

Tableau 2. Fréquence de surveillance et estimation des temps nécessaires par élément de qualité. Certains éléments de qualité sont obligatoires dans le cadre de la DCE (débits, bathymétrie, substrat, ALBER/CHARLI) alors que d'autres sont recommandés dans le cadre de la surveillance de Petit-Saut (forêt ennoyée). Les fréquences minimales réglementaires sont comparées aux fréquences conseillées sur Petit-Saut.

Elément de qualité	Temps / campagne	Obligation DCE			Recommandation			Priorité
		Fréquence SDAGE	Fréquence annuelle	Temps total	Fréquence SDAGE	Fréquence annuelle	Temps total	
Débits	Donnée disponible	1	-	0	6	journalière	0	+++
Bathymétrie	?	1	1	?	1	1	?	+++
Substrat	R&D	1	1	?	1	1	?	++
ALBER/CHARLI	125 h	1	1	125h	1	1	125h	+++
Forêt ennoyée	R&D	Non			6	1	?	+++

3.3. Physico-chimie soutenant la biologie (groupe 1 à 5)

3.3.1. Données disponibles

Les éléments physico-chimiques à suivre dans le cadre de la DCE ([Tableau 3](#)) se répartissent en différents groupes en fonction de leur nature et de la matrice analysée. La plupart des paramètres des groupes 1, 2 et 2 bis ont été suivis sur Petit-Saut **mensuellement** à Roche Genipa et bi-annuellement à d'autres stations (nutriments (NO_2^- , NH_4^+ , Azote Kjeldahl, PO_4^{3-} , P_{total}), MES, turbidité, oxygène dissous, saturation en oxygène, pH, température, conductivité, potentiel d'oxydo-réduction, TAC, DBO5, DCO, CH_4 , CO_2). A ces paramètres, doivent être ajoutés la mesure de la transparence, des nitrates, du COD, de la silice dissoute et des paramètres des groupes 3 (eau), 4, 4bis et 5 (sédiments). Les paramètres et les analyses DCE sont applicables à la retenue de Petit-Saut, cependant les fréquences d'échantillonnage nécessitent des adaptations.

3.3.2. Suivis des paramètres physico-chimiques

Les différents paramètres sont échantillonnés selon (i) des profils in situ ; (ii) un échantillon intégré sur la zone euphotique (2,5 fois la transparence au disque de Secchi) ; (iii) un échantillon ponctuel dans l'hypolimnion; (iv) des prélèvements de sédiments et (v) des prélèvements dans le biote.

Documents de référence :

- *Danis, P.-A. & V. Roubéix (2014) : Physico-chimie soutenant la biologie des plans d'eau nationaux : Principes et méthodes de définition des valeurs seuils & Amélioration des connaissances par la télédétection. Rapport d'avancement. Convention Onema/Irstea 2013. 82 p.*
- *Ministère de la Transition écologique et Solidaire (2018). Guide pour la demande de prestation d'échantillonnage et d'analyse physicochimique dans le cadre de la surveillance DCE. 36p.*

Protocole ([Ministère de la Transition écologique et Solidaire 2018](#)) :

- Les différents paramètres sont échantillonnés selon (i) des profils in situ ; (ii) un échantillon intégré sur la zone euphotique (2,5 fois la transparence au disque de Secchi) ; (iii) un échantillon ponctuel dans l'hypolimnion; (iv) des prélèvements de sédiments et (v) des prélèvements dans le biote.
- Lors d'échantillonnage en plan d'eau, la mesure des paramètres physico-chimiques doit être réalisée sur un profil vertical au niveau de la colonne d'eau correspondant au secteur de plus grande profondeur du plan d'eau.
- Pour les plans d'eau de profondeur > 20 mètres, les profils verticaux du pH, de la température, de la conductivité, de l'oxygène dissous et de la chlorophylle-a sont à réaliser à minima tous les mètres jusqu'à 20 mètres, puis tous les 5 mètres jusqu'à un mètre au-dessus du fond.
- Pour les échantillonnages intégrés, dans le cas de zones euphotiques <15m et en l'absence de système d'échantillonnage de type bouteille intégratrice, des prélèvements ponctuels seront réalisés tous les mètres sur la zone d'échantillonnage.
- Pour les échantillonnages de fond, l'échantillonnage est réalisé à **2 mètres au-dessus** du fond du plan d'eau.

Tableau 3. Suivis des paramètres physico-chimiques de la retenue de Petit-Saut adaptée depuis l'annexe IV tableau 32 et l'annexe VI tableau 45 de l'arrêté « surveillance » du 17 octobre 2018. Les éléments en rouge sont les fréquences adaptées dans le cas de Petit-Saut et entre parenthèses les fréquences minimales de l'arrêté surveillance.

Groupe	Matrice	Paramètres	Fréquence annuelle	Fréquence par plan de gestion	Nb échantillons par campagne
		Température, oxygène	En continu à Roche Genipa, affluent amont et aval		
Groupe 1	In situ (profils)	Température, pH, transparence , conductivité, oxygène dissous, taux de saturation en O ₂ , cote à l'échelle	Mensuel (4)	3 (2)	3 profils verticaux
Groupe 2	Eau intégré + hypolimnion	NKJ, P total, MEST, turbidité, teneur en matière minérale en suspension, chlorophylle a, phéopigments	Mensuel (4)	3 (2)	2
Groupe 2 bis	Eau Intégré + hypolimnion	Ammonium, nitrites , nitrites, orthophosphates, COD, silice dissoute	Mensuel (4)	3 (2)	2
Groupe 3	Eau Intégré + hypolimnion	Chlorures, sulfates, bicarbonates, calcium, magnésium, sodium, potassium, dureté totale TH, TA, TAC, aluminium, fer, manganèse	1	1	2
Groupe 4	Sédiments Benne	Carbone organique total, NKJ, phosphore total, matières minérales et matières organiques sèches (perte au feu à 550°C), granulométrie	2 (1)	1	1*
Groupe 4bis	Sédiments Benne	Orthophosphates, phosphore total, ammonium	2 (1)	1	1*
Groupe 5	Sédiments Benne	Aluminium, fer et manganèse	2 (1)	1	1*
Groupe 6		Polluants spécifiques de l'état écologique	Variable	Variable	
Bon Fonctionnement	Eau (profils)	CH₄, CO₂	Mensuel	3	

* 3 prélèvements élémentaires sont nécessaires à minima pour confectionner un échantillon.

Effort d'échantillonnage :

La variabilité de qualité de l'eau au sein de la retenue semble être principalement une variabilité d'ordre **morphologique**. Ainsi, la qualité de l'eau est relativement homogène au sein du chenal (stratification permanente avec une anoxie en profondeur ; température plus froide en profondeur, zones profondes). Dans les zones de forêt inondée et de criques, la qualité de l'eau est plus hétérogène et dépend des paramètres hydromorphologiques locaux (profondeur, flux de matières, hydrologie etc.). Dans les zones peu profondes (moins de 10 m de profondeur) la totalité de la colonne est la plupart du temps oxygénée. Dans les zones plus profondes, on observe une stratification de la colonne d'eau avec des concentrations en oxygène dissous très faibles en profondeur. La proximité avec les affluents et les berges influence les conditions physico-chimiques de la retenue et dépend de la qualité et de la quantité de ces apports. Plus on s'éloigne des berges, plus on se rapproche du chenal, et plus la thermocline est présente et profonde. Ainsi, d'une station d'échantillonnage à une autre et d'une campagne à une autre, la qualité physico-chimique peut présenter des variations assez importantes.

En métropole une seule station de mesure est déployée au point de plus grande profondeur de la retenue. Sur Petit-Saut, la station **Roche Génipa** (-53.039701 ; 4.941087) sera la station d'échantillonnage DCE afin de conserver une continuité avec les données écologiques existantes. Toutefois, la retenue de Petit-Saut présente des variations spatiales notables des paramètres physico-chimiques. Les paramètres physico-chimiques varient en fonction de différents paramètres comme la distance aux affluents et berges, la bathymétrie, et la nature du substrat. Les variations observées des paramètres physico-chimiques sont principalement en lien avec des modifications d'ordre

morphologique et hors CTO les seules pressions potentiellement impactantes pour la qualité de l'eau sont la pratique de l'orpillage (modifiant la turbidité et les MES). Cependant, au vu des faibles valeurs de turbidité (3.1 NTU) et MES (3.4 mg.L⁻¹) dans l'épilmnion de la retenue, l'impact de cette pression est jugé faible. Ainsi, la prise en compte d'une seule station de mesure est jugée suffisante pour le suivre le potentiel écologique de la retenue. **A plus long terme, la télédétection pourra apporter des informations supplémentaires à haute fréquence et large échelle spatiale pour le diagnostic de la retenue (notamment turbidité).**

L'arrêté surveillance recommande d'assurer un suivi continu du paramètre température. Plusieurs dispositifs de **suivi en continu de la température et de l'oxygène** seront mis en place à Roche Genipa, dans les affluents amonts (Sinnamary amont et Coursibo amont) et dans le Sinnamary aval. A Roche Genipa, étant donné que la thermocline se situe généralement entre -10 m et -3 m de profondeur (Figure 7) des sondes de température et d'oxygène seront placées tous les mètres jusqu'à 12 m puis tous les 5 m. Ainsi, à Roche Genipa, **16 capteurs de température et d'oxygène** seront mis en place dans la colonne d'eau pour un suivi en continu des paramètres de température et d'oxygène. Ces paramètres étant particulièrement explicatifs des variations de qualité écologique du milieu (contact : Pierre-Alain Danis).

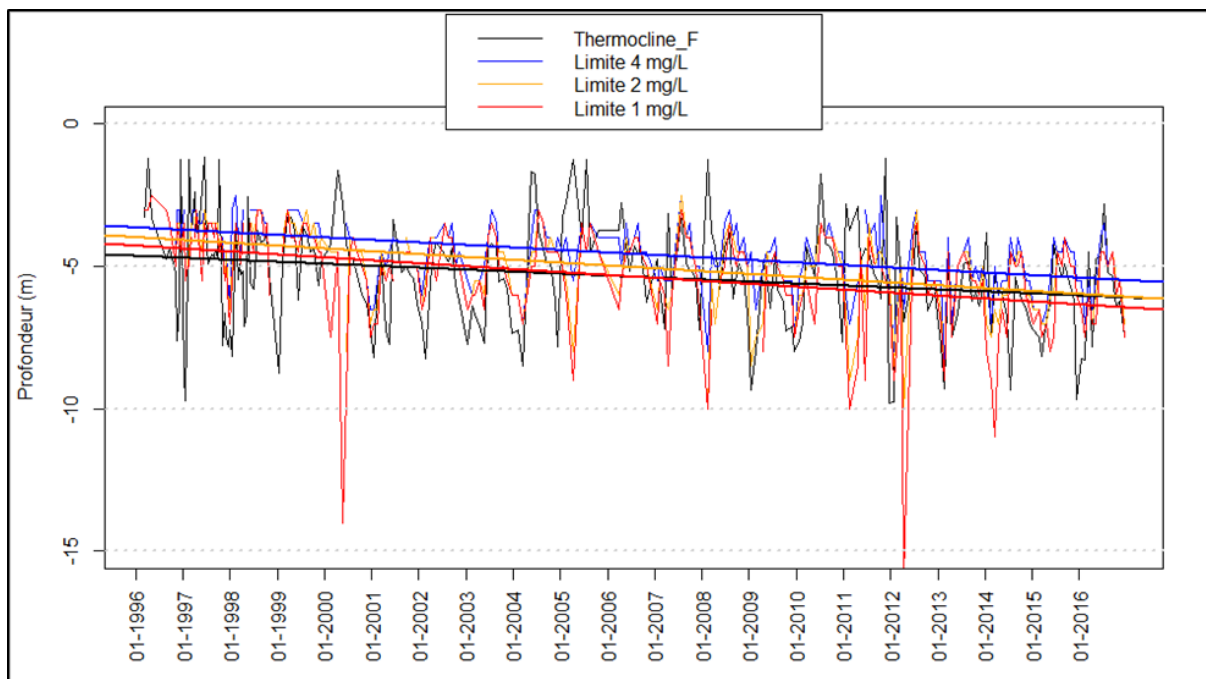


Figure 7. Evolution temporelle de la profondeur de la thermocline (courbe noire) et des limites 4 mg/L (courbe bleue), 2 mg/L (courbe orange) et 1 mg/L (courbe rouge). Données EDF/HYDRECO

Fréquence d'échantillonnage :

Les fréquences de suivi des paramètres physico-chimiques répartis en différents groupes sont adaptées dans le cas de Petit-Saut. Les groupes 1,2, et 2bis seront analysés **mensuellement et 3 fois par cycle de gestion** aux mêmes périodes que le phytoplancton. Dans les sédiments, les paramètres 4, 4bis et 5 seront suivis **deux fois par an** en saison sèche et en saison humide afin de mettre en évidence l'évolution annuelle de ces paramètres. Les autres fréquences de suivi des paramètres physico-chimiques respectent **l'arrêté « surveillance » du 17 octobre 2018** établissant le programme de surveillance de l'état des eaux (Tableau 3). **Dans la mesure du possible, les campagnes pour les paramètres des groupes 1 à 2bis seront réalisées au jour (+/-1 ou 2 jours) du passage des satellites.**

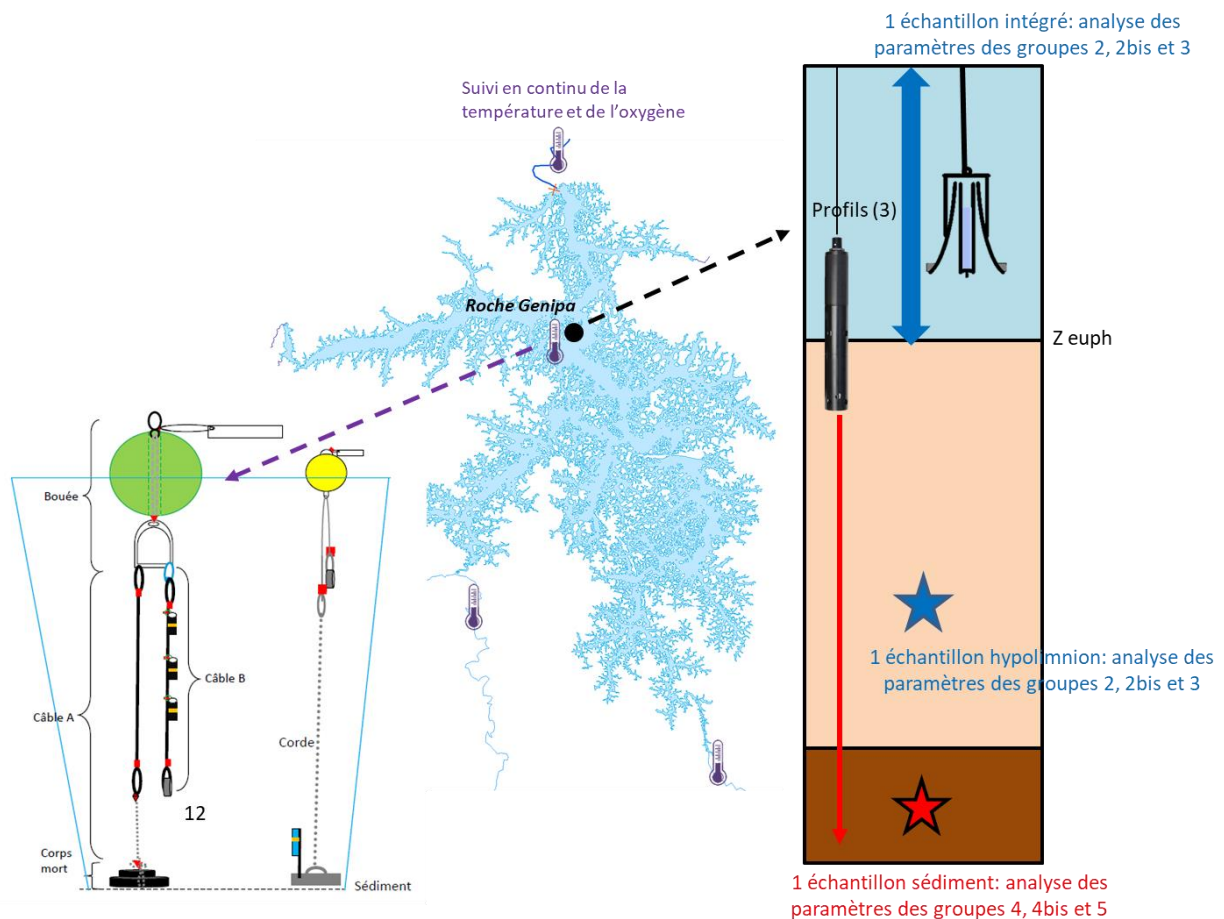


Figure 8. Protocole d'échantillonnage de la physico-chimie de la retenue de Petit-Saut

3.3.3. Bon fonctionnement de l'écosystème

Dans la définition du potentiel écologique, la notion de **bon fonctionnement de l'écosystème** apparaît. De plus, la DCE définit l'état écologique comme l'expression de la qualité de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques associés aux eaux de surface ([Commission Européenne 2000, Article 2, 21](#)). Les indicateurs fonctionnels intègrent la réponse de plusieurs paramètres biotiques et abiotiques ainsi que les conditions environnementales. Dans les retenues de France métropolitaine, des indicateurs de fonctionnement de l'écosystème ne sont pas encore disponibles. Ainsi, le suivi de ce bon fonctionnement en routine n'est pas encore d'actualité en métropole.

- ⇒ ***Cependant, étant donné les forts enjeux notamment en terme d'émissions de gaz à effet de serre de la retenue de Petit-Saut, il convient de poursuivre à minima le suivi des concentrations en CH₄ et en CO₂ dissous dans la retenue de Petit-Saut. Ces paramètres seront mesurés à Roche Genipa mensuellement et tous les 2 ans en même temps que les autres paramètres physico-chimiques des groupes 1,2,2bis. Un protocole de suivi des GES plus précis pourra être défini en fonction des résultats de l'étude de recherche en cours (C-TROPIC) (contact : Fanny Colas).***

3.3.4. Moyens matériels & humains

▪ Suivi continu de la température et de l'oxygène

Au départ des coûts sont à prévoir pour l'installation du matériel dont **16 sondes à oxygène** et **16 sondes de température** dans la zone lacustre puis 3 sondes à oxygène et 3 sondes de température dans les affluents. En terme de moyens humains, 1 à 2 personnes sont nécessaires pour réaliser les mouillages et 3 personnes sont nécessaires pour les campagnes de terrain et il faut compter environ 4j par an de terrain et extraction des données.

▪ Profils & échantillons à Roche Genipa (minimum réglementaire) – par cycle de gestion.

	Nombre de stations	Fréquence annuelle	Fréquence SDAGE	Nb échantillons / campagne / zone	Nb de prélèvements totaux
Déplacements	1	4	2		8
Prélèvements in situ	1	4	2	1	8
Prélèvements d'eau	1	4	2	2 (intégré + hypolimnion)	16
Prélèvements sédiments	1	1	1	1	1

▪ Profils & échantillons à Roche Genipa (recommandation Petit-Saut) – par cycle de gestion.

	Nombre de stations	Fréquence annuelle	Fréquence SDAGE	Nb échantillons / campagne / zone	Nb de prélèvements totaux
Déplacements	1	12	3		36
Prélèvements in situ	1	12	3	1	36
Prélèvements d'eau	1	12	3	2 (intégré + hypolimnion)	72
Prélèvements sédiments	1	2	1	1	2
GES	1	12	3	2	72

3.4. Le phytoplancton

3.4.1. Données disponibles

Les échantillons sont actuellement collectés mensuellement à Roche Genipa par Hydreco et envoyés au laboratoire *Artemis* tous les 6 mois pour analyse. Le phytoplancton est étudié depuis 2015. En 2015 et 2016 deux prélèvements ponctuels étaient réalisés : un prélèvement dans l'épilimnion proche de la surface (noté P+) et un dans l'hypolimnion à -20 m (noté -20). Depuis 2017, un prélèvement intégré jusqu'à l'oxycline est également réalisé à l'aide d'un tuyau (2018) ou d'une bouteille (2017) associé à un prélèvement au filet. Le dénombrement des cellules algales était effectué conformément à la norme AFNOR NF EN 15204/T 90-379 de décembre 2006.

3.4.2. Suivi du phytoplancton

Le **protocole d'échantillonnage du phytoplancton des lacs de métropole est applicable** sur la retenue de Petit-Saut et sera donc mis en œuvre dans le cadre de la surveillance DCE avec des adaptations cependant.

Document de référence : Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation, d'observation et de dénombrement du phytoplancton en plan d'eau pour la mise en œuvre de la DCE, version 3.3 septembre 2009, Cemagref.

Protocole d'échantillonnage :

Les prélèvements de phytoplancton seront **intégrés** sur la zone euphotique étant donné la distribution verticale hétérogène du phytoplancton dans la retenue de Petit-Saut à l'aide d'une bouteille de prélèvement ou selon la méthode du tuyau et un échantillon sera prélevé au filet à plancton afin de faciliter la détermination des taxons. De plus, un prélèvement ponctuel sera réalisé dans l'hypolimnion afin de garder le lien avec les données anciennes.

Il faut noter que dans les campagnes précédentes, les prélèvements de phytoplancton étaient intégrés sur la zone oxygénée alors que dans le cadre de la DCE les prélèvements sont intégrés dans la zone euphotique. Il convient de comparer l'épaisseur de la zone oxygénée et l'épaisseur de la zone euphotique afin de connaître la différence et les impacts potentiels sur les résultats.

Les données de transparence (disque de Secchi) sont disponibles ponctuellement entre 1995 et 2003. Nous utilisons la période 2000 – 2003 pour comparer les épaisseurs euphotiques et les épaisseurs oxygénées. A certaines dates les épaisseurs sont les mêmes alors qu'à d'autres dates nous pouvons avoir une différence de l'ordre de 2,5 m (comme le 16.05.2001) ([Figure 9](#)). En moyenne la différence est de 0,94 m. Les résultats semblent montrer une augmentation de la profondeur de la zone euphotique à partir de septembre 2002 et ainsi le lac tendrait à devenir de plus en plus clair et la zone dans laquelle se développe majoritairement le phytoplancton deviendrait plus épaisse. Étant donné que l'épaisseur oxygénée est généralement plus épaisse que l'épaisseur euphotique, un échantillonnage dans la zone euphotique uniquement empêcherait de capturer certains taxons ou sous-estimerait la biomasse. Cependant, sur les profils d'oxygène nous n'observons pas de pics d'oxygène dissous à une profondeur intermédiaire (qui seraient causés par du phytoplancton se développant en dessous de la zone euphotique) et nous pouvons en déduire que le phytoplancton est réparti de façon plutôt homogène de la surface jusqu'à la limite de 4 mg/L. Ainsi, un prélèvement intégré dans la zone euphotique devrait donner une vision moyenne acceptable des communautés et des quantités de phytoplancton.

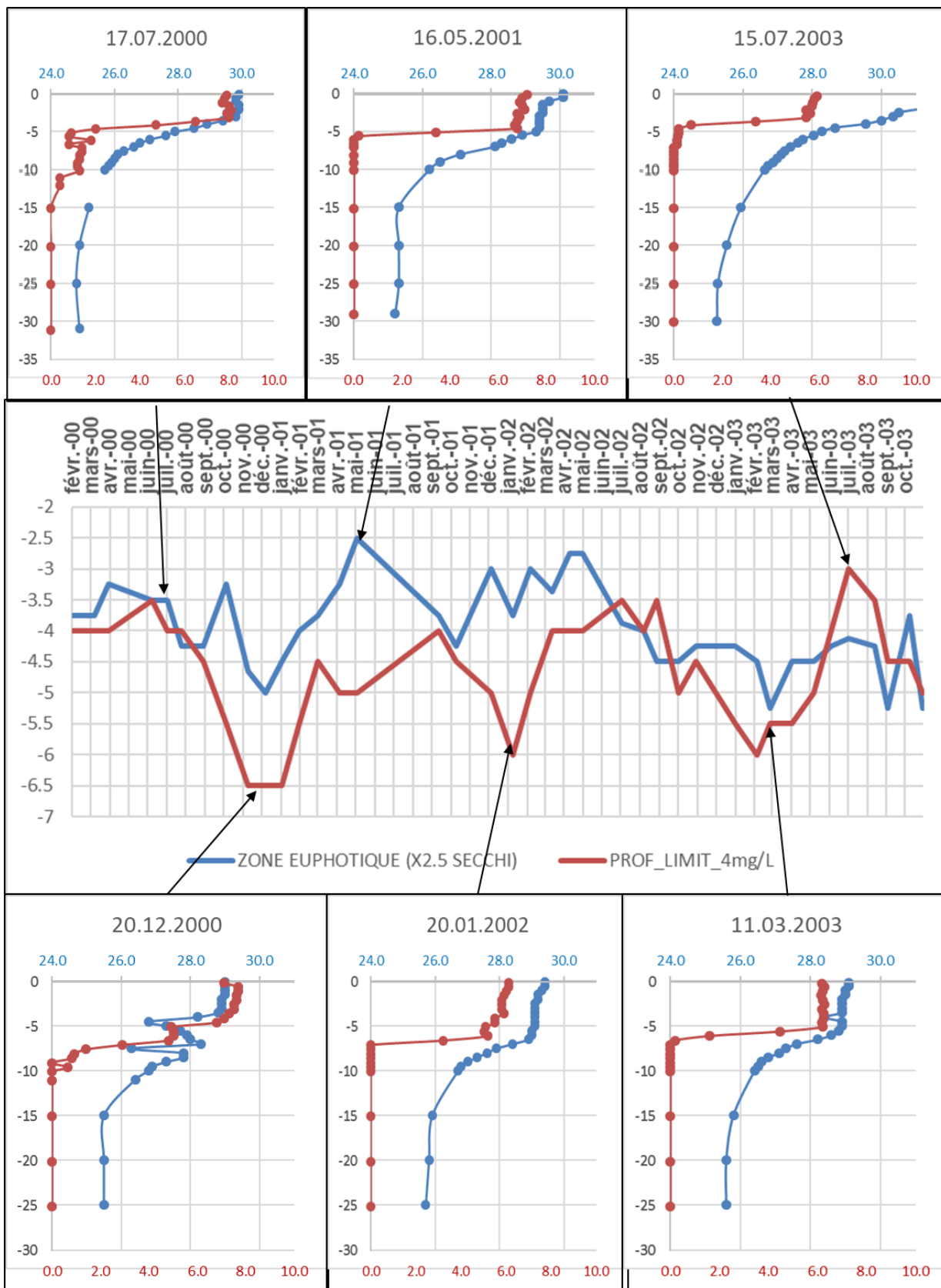


Figure 9. Profondeurs de la zone euphotique (2.5 fois le disque de Secchi) et profondeurs de la limite d'oxygène dissous 4 mg/L entre Février 2000 et Octobre 2003. Notons que la transparence n'a pas été mesurée à toutes les campagnes d'échantillonnage. Des exemples de profils de température (bleu) et oxygène (rouge) sont présentés sur cette figure.

Effort d'échantillonnage :

Des données concernant la variabilité spatiale du phytoplancton sont inexistantes. Uniquement des mesures de chlorophylle-a ont été réalisées selon un gradient amont-aval. De l'amont vers l'aval, les concentrations en chlorophylle-a augmentaient (Horeau et al. 1998, Vaquer et al. 2002) (Figure 10).

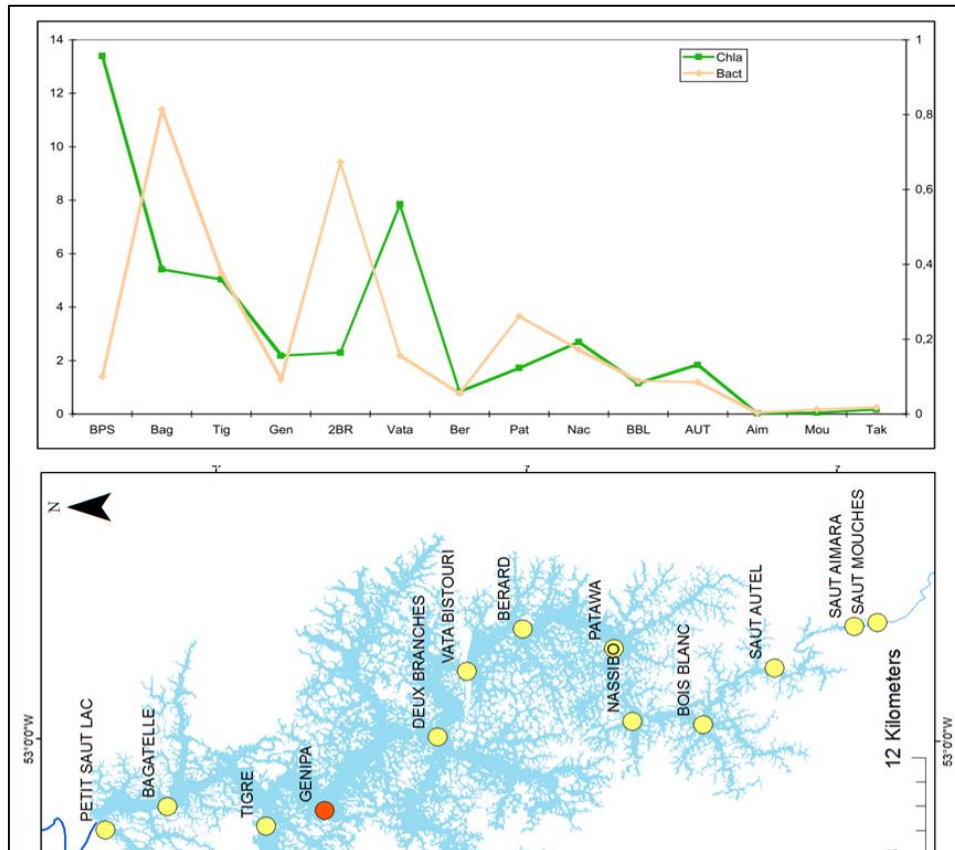


Figure 10. Concentrations en chlorophylle et bactériochlorophylle dans la couche superficielle de la colonne d'eau des 14 stations sur le transect longitudinal entre Petit Saut et Takari Tanté en juillet 2002 (Vaquer et al. 2002)

Etant donné que pour les lacs de métropole, une seule station est jugée suffisante pour évaluer la qualité écologique du phytoplancton et que les informations concernant la variabilité spatiale des communautés phytoplanctonique sont insuffisantes sur Petit-Saut actuellement, un échantillonnage à **Roche Genipa** sera réalisé à minima. **Cependant, afin de s'assurer de la représentativité de l'échantillonnage, il conviendrait d'ajouter des stations supplémentaires au moins la première année. Un prélèvement du phytoplancton pourrait être réalisé dans chacun des sous-ensembles lacustres identifiés précédemment (Plomb, Tigre, Genipa, Kawen et Vata).** A plus long terme, il conviendra d'évaluer la variabilité spatiale du phytoplancton et de dégager un protocole plus représentatif des communautés de la retenue (paragraphe 6.5).

Etant donné l'absence de blooms algaux ou de cyanobactéries toxiques sur la retenue de Petit-Saut, ce compartiment écologique ne semble pas présenter d'altérations écologiques majeures.

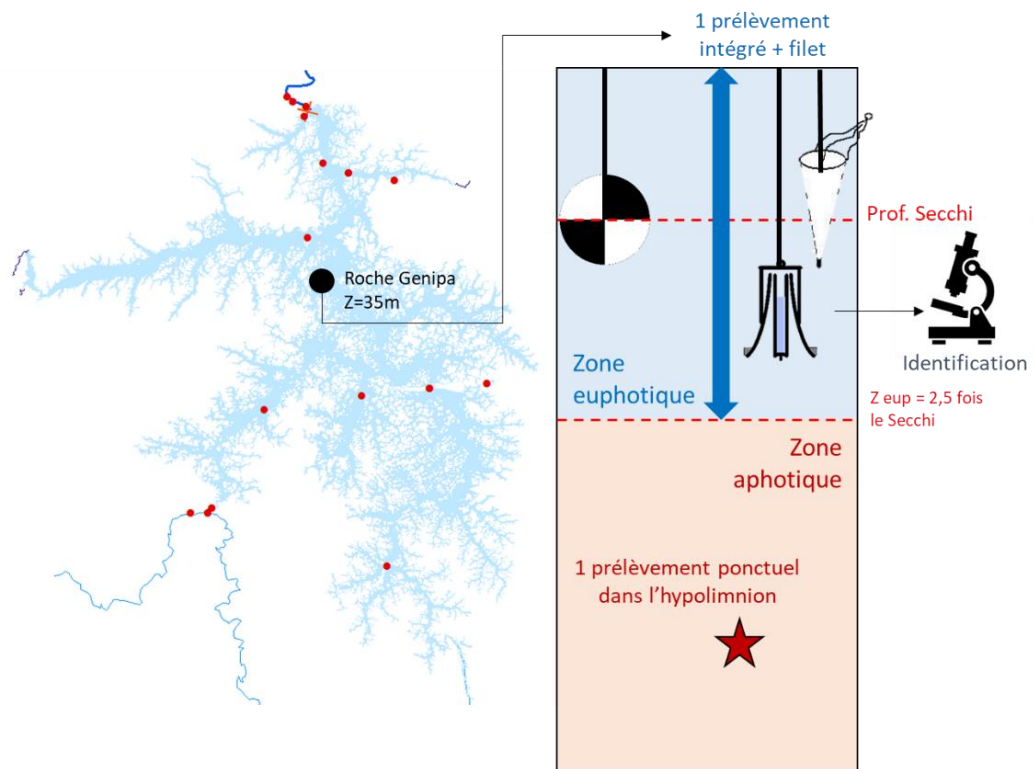


Figure 11. Echantillonnage du phytoplancton de la retenue de Petit-Saut. Echantillonnage réalisé à minima à Roche Genipa et si le budget le permet il serait intéressant d'ajouter des stations supplémentaires afin d'évaluer la variabilité spatiale des communautés phytoplanctoniques.

Fréquence d'échantillonnage :

Dans les lacs métropolitains, la fréquence annuelle est de 4 fois ([arrêté « surveillance » du 17 octobre 2018](#)) en fonction des cycles saisonniers de fonctionnement des lacs. Dans la retenue de Petit-Saut et dans d'autres plans d'eau tropicaux, le phytoplancton varie en quantité et en qualité assez rapidement et se développe pleinement tout à long de l'année, ainsi un échantillonnage plus régulier est nécessaire (Figure 12 & 13).

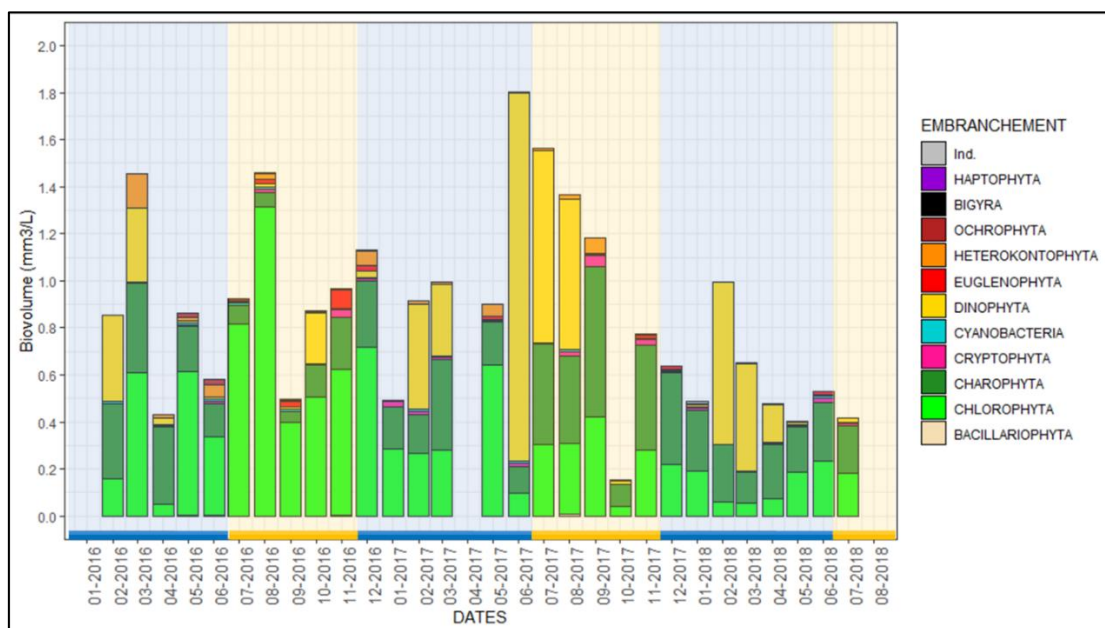


Figure 12. Biovolume algal par embranchement dans l'épilimnion de la retenue de Petit-Saut

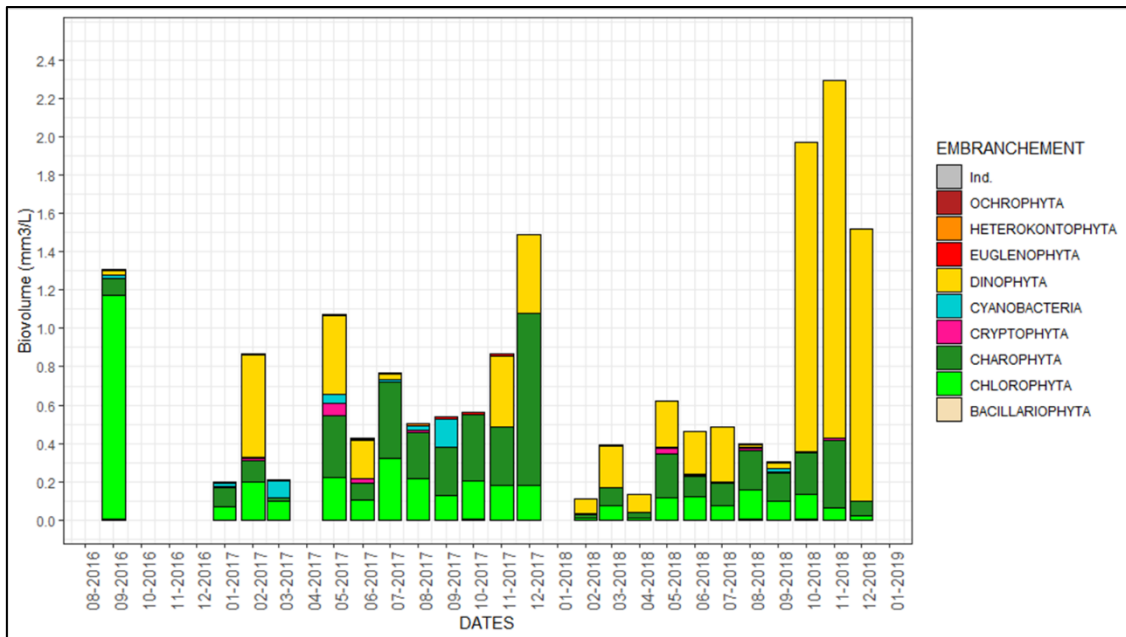


Figure 13. Biovolume algal par embranchement dans les échantillons intégrés de la retenue de Petit-Saut

Les biovolumes totaux des échantillons composite sont significativement différents entre les saisons sèches et humides ($W=27, p=0.01778$) et entre les quatre périodes hydrologiques² ($\chi^2=14.989, df=11, p=0.183$). Ainsi, il est nécessaire de réaliser des prélèvements à chaque saison ou période hydrologique. Les différences mensuelles ne peuvent pas être testées statistiquement en raison d'une chronique des données insuffisante. Au niveau des groupes algaux, certains groupes algaux présentent des différences significatives entre périodes alors que d'autres ne sont pas significativement différents (Tableau 4).

Tableau 4. Comparaison des biovolumes moyens des échantillons composites par embranchement entre la saison des pluies et la saison sèche et entre les différentes périodes hydrologiques. Les données ne suivent pas des lois normales et ainsi les tests de Wilcoxon-Mann Whitney et de Kruskal-Wallis sont utilisés.

	Saisons	Périodes
DINOPHYTA	$W=38, p=0.8524$	$X^2 = 10.67 ; df=3 ; p=0.014 *$
CYANOBACTERIA	$W=68.5, p=0.8524$	$X^2 = 8.25 ; df=3 ; p=0.041 *$
CHAROPHYTA	$W=24, p=0.0098 *$	$X^2 = 8.17 ; df=3 ; p=0.043 *$
CHLOROPHYTA	$W=40, p=0.12$	$X^2 = 3.64 ; df=3 ; p=0.303$
CRYPTOPHYTA	$W=28, p=0.662$	$X^2 = 6.44 ; df=3 ; p=0.092$

Nous recommandons alors un **échantillonnage mensuel** sur la retenue de Petit-Saut afin de pouvoir mettre en évidence les proliférations pouvant avoir lieu certains mois. Un échantillonnage *mensuel* permettrait d'avoir une image précise des communautés en place sur l'ensemble de l'année et d'évaluer les caractéristiques écologiques du système. Etant donné que les populations peuvent aussi varier à une échelle de temps journalière, il est recommandé d'échantillonner toujours à **heure fixe**. La série temporelle de données actuellement disponible est courte ce qui ne permet pas d'évaluer la variabilité temporelle des données à l'échelle d'un plan de gestion de 6 ans. Ainsi, tenant compte de la forte variabilité temporelle, un **échantillonnage tous les 2 ans** est recommandé afin d'évaluer la variabilité temporelle de cet élément de qualité (Figure 14).

² Périodes hydrologiques : P1 => janvier à mars ; P2 => avril à juin ; P3 => juillet à septembre ; P4 => octobre à décembre.



Figure 14. Stratégie d'échantillonnage du phytoplancton.

3.4.3. Moyens matériels & humains

En terme de moyens humains, 2 opérateurs sont nécessaires à minima sur le terrain.

▪ Minimum réglementaire :

	Nombre de stations	Fréquence annuelle	Fréquence SDAGE	Nb échantillons / campagne / zone	Nb de prélèvements totaux
Déplacements	1	4	2	1	8
Echantillons intégrés	1	4	2	1	8
Filets à plancton	1	4	2	1	8

▪ Recommandations Petit-Saut :

	Nombre de stations	Fréquence annuelle	Fréquence SDAGE	Nb échantillons / campagne / zone	Nb de prélèvements totaux
Déplacements	5	12	3	1	180
Echantillons intégrés	5	12	3	1	180
Echantillons ponctuels	5	12	3	1	180
Filets à plancton	5	12	3	1	180

3.5. Les invertébrés benthiques

3.5.1. Données disponibles

Depuis 2007, les invertébrés benthiques sont échantillonnés à l'aide de substrats organiques (SOS) dans les zones de forêts inondées et d'un filet troubleau dans les zones de berge. Les différentes stations échantillonnées sont homogènes en termes de composition spécifique mais seules les zones de forêt inondée sont prospectées par les SOS. Les méthodes actuellement mises en œuvre ne permettent pas de quantifier les abondances (nombre d'individus par m²). Les SOS capturent majoritairement des Chironomes alors qu'avec le troubleau d'autres familles sont capturées en abondance comme les Oligochaeta, Notonectidae, ou les Corduliidae. Dans les zones littorales, un filet troubleau est utilisé mais le protocole mis en œuvre manque de précision (variabilité élevée) et l'effort d'échantillonnage nécessite d'être augmentée afin d'obtenir un nombre plus grand d'individus. Le même protocole a été utilisé depuis 2007 ce qui procure une série temporelle conséquente au niveau de 5 stations lacustres (Figure 15).

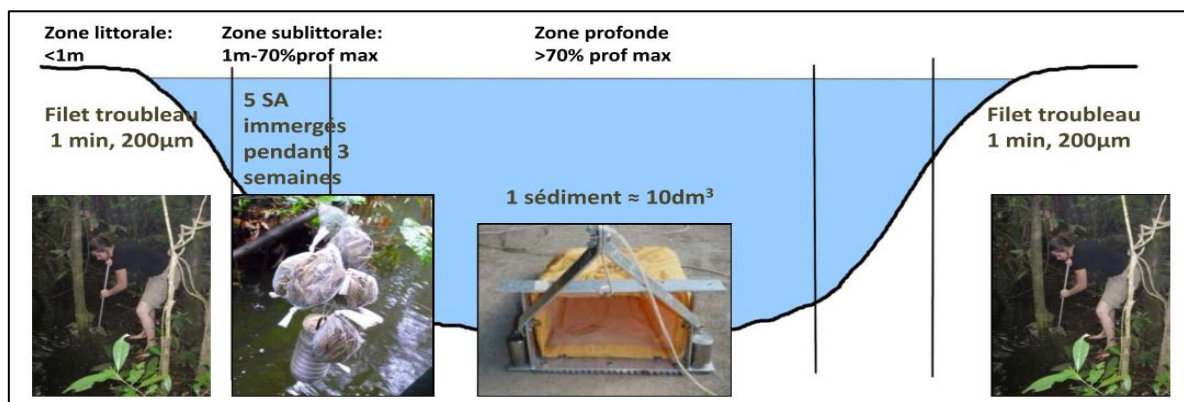


Figure 15. Protocole d'échantillonnage EZSML-2010 : « Protocole d'Échantillonnage des Zones Soumises au Marnage ou Lentique ». Cette méthode combine des substrats artificiels qui permettent de capturer de façon passive les macroinvertébrés benthiques ou nageurs en pleine eau et des captures actives au filet.

3.5.2. Protocole de surveillance DCE

Le protocole d'échantillonnage sera mis en œuvre dans chacun des sous-ensembles lacustres définis précédemment.

- Afin de maintenir une certaine continuité dans la série temporelle des données invertébrés, l'échantillonnage à l'aide des S.O.S sera maintenu à **5 stations (Plomb, Tigre, Genipa, Kawen et Vata)** précédemment suivis par cette méthode et la station Plomb remplacera la station Petit-Saut Lac (voir annexe 3).
- Ces suivis seront complétés en mettant l'accent sur les stations littorales comme ce qui est fait sur les plans d'eau de métropole. Cela permettra d'échantillonner les invertébrés dans une diversité d'habitats littoraux et les criques. La méthode envisagée pour échantillonner les invertébrés benthiques de la retenue de Petit-Saut sera celle du protocole métropolitain d'échantillonnage des **invertébrés benthiques (IML)** en cours de développement (référénts : Valérie Verneaux (UFC) et Nicolas Dedieu – (UFC)).

Méthode pour la mise en œuvre du protocole IML

Au niveau des sous-ensembles littoraux préalablement caractérisés selon le protocole CHARLI, les zones de prélèvements seront choisies afin de couvrir une mosaïque d'habitats différents. Les invertébrés seront échantillonnés au filet troubleau de maille 300 µm d'une largeur de base de 25 cm et d'une profondeur de filet de 40 cm. Pour l'ensemble de la retenue, 15 prélèvements sont réalisés. La technique de prélèvement est la même quel que soit le substrat échantillonné. Elle consiste à réaliser **trois balayages successifs** d'une longueur de 40 cm chacun. La profondeur des prélèvements doit se situer entre 0,5 et 1 m de profondeur. Chaque échantillon est conditionné individuellement et fixé au formol (ou à l'éthanol à 70 %). Les invertébrés sont prélevés dans tous les substrats supérieurs à 5 % de recouvrement et les prélèvements sont doublés dans les substrats dominants (>20 %).

Le protocole IML impose :

- **De prélever hors de l'effet des affluents principaux et des différentes criques** (afin d'éviter de prélever les taxons rhéophiles et être représentatif des conditions lentique).
- Réaliser les prélèvements à l'aide d'un troubleau dans la zone littorale à moins de 10m de la berge et à une profondeur de 2m maximum.
- **Les îlots sont exclus du protocole**

Sélection des stations d'échantillonnage :

Dans le cadre de l'IML l'opérateur doit définir **15 prélèvements** sur la base des pourcentages de recouvrement des différents substrats en se basant sur les résultats du protocole CHARLI. Etant donné que le protocole CHARLI aura été mis en œuvre uniquement dans 5 sous-ensembles la stratégie suivante sera mise en œuvre : les surfaces des différents substrats sont sommées dans les différents sous-ensembles et les pourcentages de recouvrement sont calculés. Ainsi, le nombre de stations par zone dépendra des pourcentages de recouvrement de chaque type de substrat et ne sera pas forcément identique dans chacune des zones. Cela évitera de sur-échantillonner des habitats marginaux qui n'auraient pas été (ou peu) échantillonnés dans le protocole IML « classique ». Une autre approche consiste à définir librement 15 points de prélèvement (stations) répartis équitablement entre les différentes zones d'échantillonnage (Plomb, Tigre, Genipa, Kawen et Vata). Cette approche est envisageable uniquement si les substrats sont très homogènes.

Si les arbres morts sont présents dans la zone littorale des 10 m dans une prof. comprise entre 0 et 2m), il est nécessaire de prélever la placette à la base des arbres morts tout en raclant la base du tronc. Si la présence des arbres est très ponctuelle dans cette zone littorale (<5%), ils sont exclus du protocole IML.

Période d'échantillonnage :

Les prélèvements doivent être effectués avant les émergences massives des imagos d'insectes. En métropole, pour les plans d'eau à fort marnage l'échantillonnage est réalisé à côte normale d'exploitation pour faciliter les accès ou pendant la période de meilleure diversité faunistique. Sur Petit-Saut, les richesses taxonomiques, les indices de Shannon et de Simpson en saison des pluies et en saison sèche ne sont pas significativement différents (Figure 16). La **variabilité interannuelle** pour chaque station est étudiée à l'aide du coefficient de variation défini comme l'écart type divisé par la moyenne. Les stations Kawen et Petit-Saut Lac présentent des valeurs extrêmes certaines années en saison sèche ce qui donne un coefficient de variation élevé. Pour les stations lacustres, le coefficient de variation est plus élevé en saison des pluies (Figure 17).

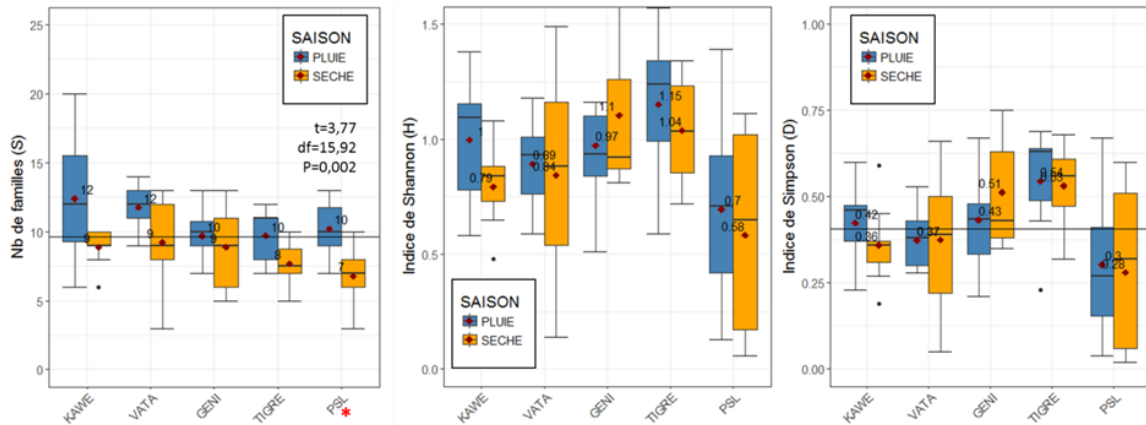


Figure 16. Effet de la saisonnalité : boîtes à moustaches du nombre de familles en fonction des stations et boîtes à moustaches de l'indice de Shannon en fonction des stations. Les tests significatifs sont indiqués par *

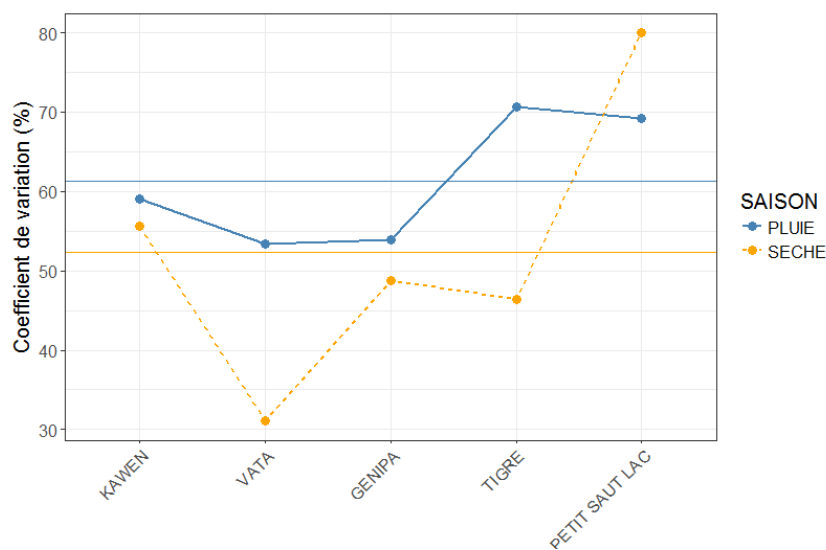


Figure 17. Coefficient de variation (σ / \bar{x}) en fonction des stations et des saisons

La DCE impose une fréquence d'échantillonnage d'une fois par an à minima. Sur la retenue de Petit-Saut, l'échantillonnage sera réalisé en **saison sèche** (mi-septembre à mi-décembre) afin de faciliter l'échantillonnage, de s'affranchir de la saisonnalité et d'éviter de capturer une multitude d'invertébrés terrestres. Cela permet d'effectuer des échantillonnages dans des conditions hydrologiques stables et comparables. En effet, la saison des pluies est généralement plus variable. Cela permet également de s'affranchir de difficultés techniques liées à une côte normale d'exploitation non atteinte. Toutefois, si le budget le permet, répliquer l'IML pendant deux saisons (humide & sèche) permettrait d'améliorer la représentativité de la donnée.

Fréquence d'échantillonnage :

Comme pour les poissons, les invertébrés peuvent présenter des variations de l'abondance et de la diversité certaines années même si globalement les abondances et indices de diversité sont stables depuis 2007 (Figures 18 & 19). La DCE impose un échantillonnage au moins 1 fois par cycle de gestion.

⇒ **Sur la retenue de Petit-Saut, les invertébrés il est conseillé d'échantillonner les invertébrés deux fois par cycle de gestion de 6 ans soit tous les 3 ans.**

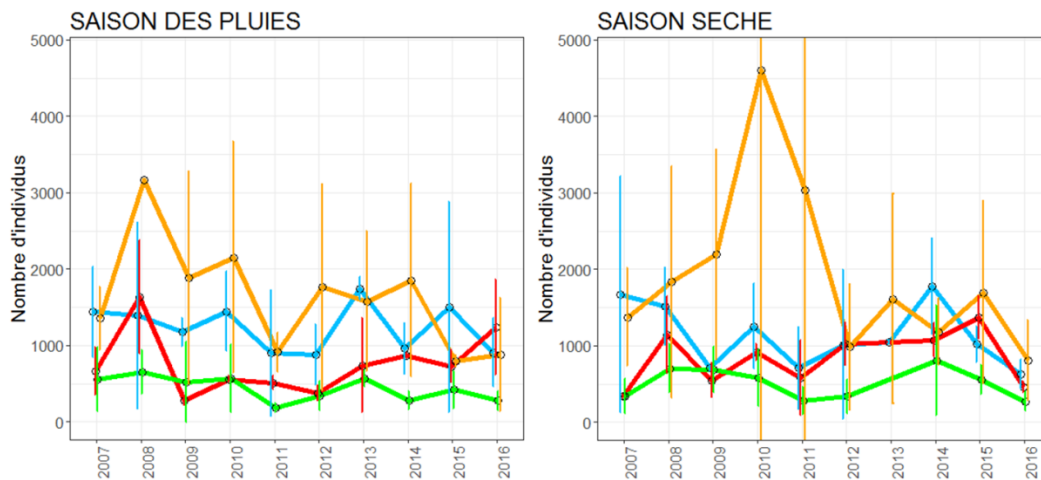


Figure 18. Abondance moyenne en macroinvertébrés en fonction des zones, des années et des saisons. En bleu : rivières amont, en rouge : rivière aval, en orange : zone de transition et en vert : lac. Source : données EDF/HYDRECO.

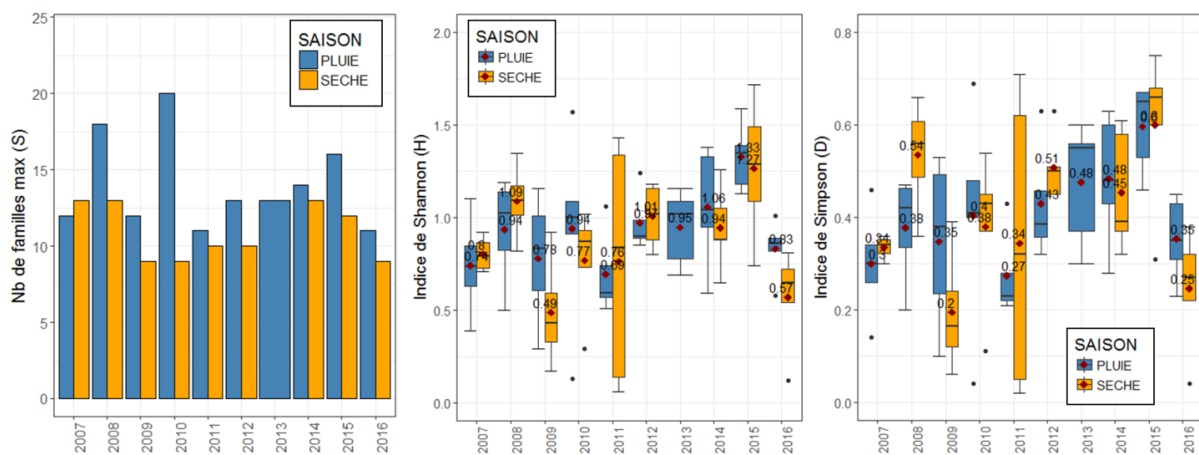


Figure 19. Evolution des indices de diversité en fonction des campagnes : histogramme du nombre de familles (A), boîtes à moustaches de l'indice de Simpson (B), boîtes à moustaches de l'indice de Shannon (C).

⇒ **Les Chironomes devront être identifiés au genre pour l'évaluation du potentiel écologique (puisque les différents genres ont des sensibilités très différentes aux pressions). Une formation pourra être mise en place pour les opérateurs locaux concernant l'identification des Chironomes.**

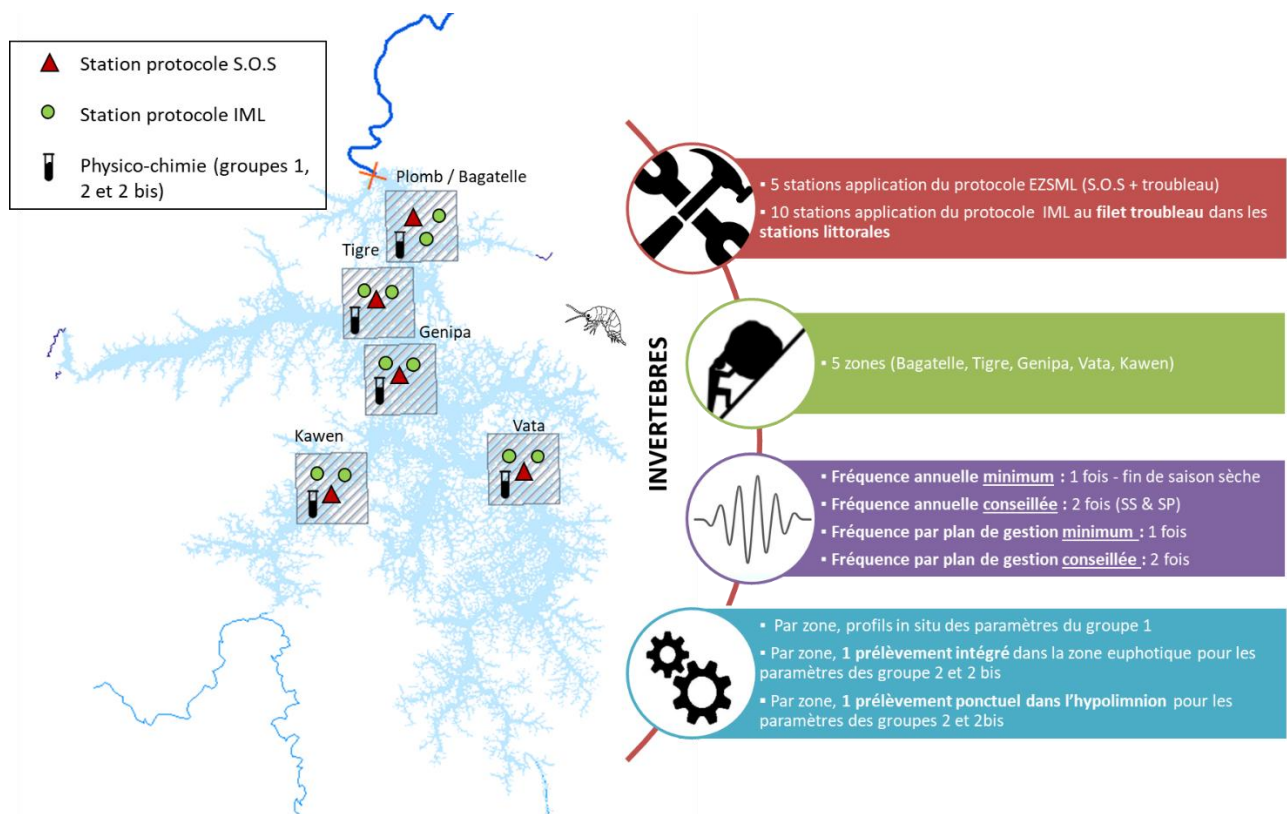


Figure 20. Stratégie d'échantillonnage DCE des invertébrés benthiques de la retenue de Petit-Saut. La localisation et le nombre de stations au sein de chaque zone (sous-ensemble lacustre) dépendra des résultats du protocole CHARLI. Toutefois, le nombre total de stations sera toujours de 15 prélèvements. L'évaluation des paramètres physico-chimiques dans chaque zone n'est pas imposée dans le protocole DCE mais recommandée dans le cadre de la surveillance de Petit-Saut. Cela permet de caractériser les conditions physico-chimiques à proximité des stations de mesure biologique et d'aider à l'interprétation des résultats biologiques.

3.5.3. Matériel & moyens humains

- La liste complète du matériel nécessaire est disponible dans le protocole (Dedieu & Verneaux 2019). L'identification des Chironomes demande de posséder du matériel spécifique (solution de potasse, solution acide HCL (10%), liquide de montage (ex: Aquatex), des lames, des lamelles, pinces, scalpel, et microscope).
- Sur le terrain, un minimum de 2 opérateurs est requis pour des raisons de sécurité et d'efficacité sur le terrain.
- Au total, le traitement d'un site pour 15 échantillons est variable selon le type de plan d'eau (Tableau 5). Ces temps ont été estimés sur la base de 41 lacs. Dans certains cas particuliers (n=3), les traitements ont demandé jusqu'à 30 jours. L'estimation de temps passé sur le terrain ne prennent pas en compte les temps de déplacements.

Tableau 5. Estimation des temps de mise en œuvre du protocole IML. Les valeurs entre parenthèses correspondent aux temps estimés pour les lacs marnants.

Préparation terrain	Terrain	Laboratoire tri et identification			Base de données	Total (lac marnant)
		(lac marnant)				
1j	4h-6h	Taxa autres 4j (2j)	Chironomidae		1j	12,5 (8,5)
			Montage	Identification		
			2j(2j)	4j(1j)		

Si l'on considère deux opérateurs pour la totalité des étapes et 8h de travail par jour :

- Préparation : ~ 8h
- Terrain : ~ 6h + 2h (déplacement entre les stations)
- Laboratoire : ~ 40h
- Base de données : 8h

⇒ TOTAL : 64h par campagne.

3.6. Les poissons

3.6.1. Données disponibles

Dans le cadre des échantillonnages EDF/HYDRECO, depuis 1998, deux campagnes d'échantillonnage sont réalisées annuellement ; une en fin de saison des pluies (SP, juin/juillet) et une en fin de saison sèche (SS, novembre/décembre). Trois types de protocoles utilisant des filets maillants sont utilisés : (i) des filets maillants de surface (250 m X 2 m) avec 10 mailles (10-70 mm) dans les zones de forêt inondée ; (ii) des filets maillants de surface plus larges (175 m X 6 m) avec 7 mailles (10-40 mm) dans les zones de chenal et (iii) des filets verticaux dans des zones de chenal. Ces échantillonnages sont réalisés dans la zone lacustre à différentes stations de chenal (Vata B., Kawen, Genipa, Plomb, Bagatelle), de forêt inondée proche du chenal (Vata FI, Tava) et de forêt inondée plus éloignée (Vata ZI, Plomb ZI). Avec ce protocole, les zones littorales ne sont pas échantillonnées.

3.6.2. Protocole de surveillance DCE Petit-Saut

La reproduction stricte de la méthode mise en œuvre au niveau national (filets benthiques et pélagiques) ne semble pas envisageable sur Petit-Saut en raison de la présence de la forêt ennoyée profonde qui rend difficile la pose et le retrait des filets benthiques. Les zones littorales dans les réservoirs tropicaux constituant des zones d'abondance et de richesse élevées (Agostinho et al. 2016, Tessier et al. 2019), ainsi que les habitats majeurs de beaucoup d'espèces (de Paiva Affonso et al. 2016). Échantillonner les poissons dans les zones littorales pourraient donc être un bon indicateur de la qualité écologique de cet élément de qualité biologique. De plus, les peuplements des zones littorales sont particulièrement sensibles aux pressions anthropiques et l'utilisation des filets maillants est couramment utilisée pour échantillonner ces habitats dans les **grands réservoirs tropicaux** (Tessier et al. 2016). Les mailles utilisées sont variables selon les études ainsi que les types de filets utilisés.

La retenue de Petit-Saut est de grande taille (365 km²) et la majeure partie de la retenue présente une forêt ennoyée. Ainsi, l'effort d'échantillonnage nécessaire pour échantillonner la totalité de la retenue serait considérable. Dans une optique d'évaluation, nous recommandons un échantillonnage à l'aide de filets maillants benthiques dans les zones littorales afin de s'affranchir de la contrainte d'échantillonnage en zone de forêt inondée profonde, réduire la surface à échantillonner, minimiser les variations en relation avec certaines caractéristiques abiotiques (gradient transversal et gradient de profondeur). Cette approche est largement utilisée pour l'évaluation des assemblages d'espèces dans les réservoirs tropicaux (Fontes De Oliveira et al. 2005, Terra & Araújo 2011, Uehara et al. 2015). Cependant, afin de maintenir une **continuité** dans la série temporelle des données existantes, certains échantillonnages à l'aide de filets pélagiques en zone de chenal et forêt ennoyée seront conservés.

Un échantillonnage tous les 5 ans serait suffisant pour les réservoirs âgés qui évoluent lentement (Tessier et al. 2016) et de plus sur Petit-Saut les abondances et les biomasses tendent à se stabiliser depuis 2009. Nous préconisons **deux échantillonnages par cycle de gestion** à la même période de l'année. En effet, les abondances et biomasses peuvent varier d'une campagne d'échantillonnage à une autre en fonction des conditions hydrologiques de la retenue et de la disponibilité des habitats (Figure 21). La diversité est plus stable d'une campagne d'échantillonnage à une autre mais peut également présenter des variations ponctuelles à certaines campagnes et stations (Figure 22).

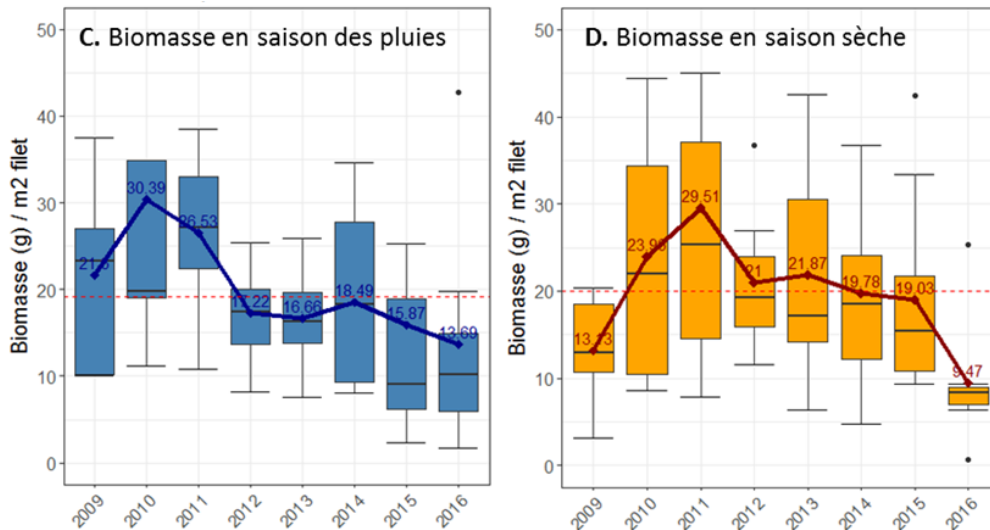


Figure 21. Biomasse par UEP dans les stations lacustres en fonction des années en saison des pluies (C) et en saison sèche (D). Source : données EDF/HYDRECO.

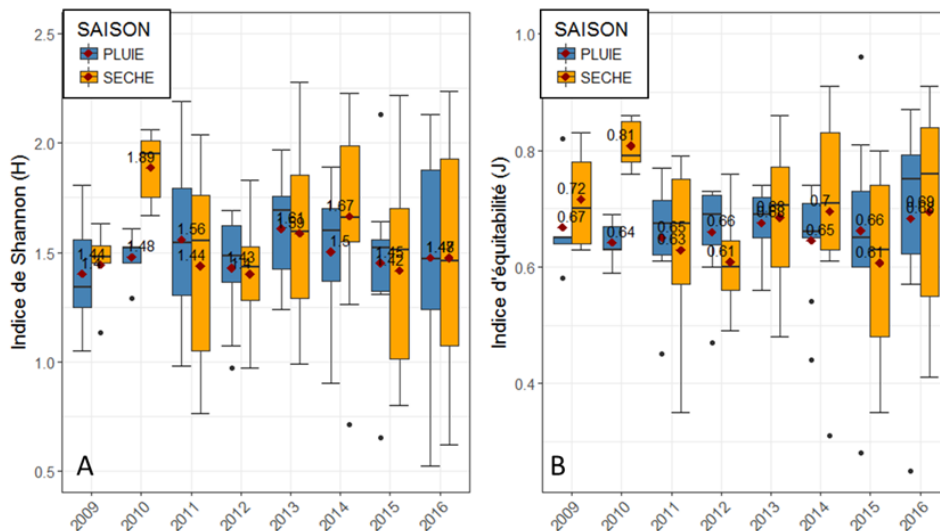


Figure 22. Evolution des indices de diversité en fonction des campagnes : boîtes à moustaches de l'indice de Shannon (A) et de l'indice d'équitabilité (D). Source : EDF/HYDRECO.

La période d'échantillonnage choisie doit permettre de minimiser les variations interannuelles et se situer en dehors de la période de reproduction maximale des populations. Dans le Sinnamary, l'activité reproductrice des poissons est maximale du début de la montée des eaux jusqu'à la fin de la crue avec un minimum pendant l'étiage (De Mérona 2005). Il semblerait donc pertinent d'échantillonner les poissons **en fin de saison sèche** lorsque le niveau se situe à une côte proche de sa côte minimale. De plus, cette période permettrait un échantillonnage plus efficace, une plus faible dilution des polluants (Terra & Araújo 2011) et des conditions environnementales plus stables (Petesse et al. 2014).

La stratégie d'échantillonnage mise en œuvre dans plusieurs grandes retenues tropicales est la division du système en plusieurs zones et la sélection aléatoire d'une ou plusieurs stations dans chacune de ces zones (Terra & Araújo 2011, Petesse et al. 2014). En outre, la norme d'échantillonnage NF EN 14757 prévoit également la possibilité d'un échantillonnage par **sous-unités lacustres** pour les très grands systèmes. Il semblerait donc pertinent d'envisager un découpage de la retenue en grandes unités typologiques d'habitats. Les zones d'échantillonnage sont sélectionnées de façon à couvrir un gradient longitudinal des affluents vers le barrage afin de prendre en compte la variabilité spatiale

hydromorphologique et physico-chimique de la retenue et étant donné les lacunes actuelles de connaissances de ces paramètres. Les mailles actuellement utilisées sur Petit-Saut sont 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 50; 60; 70 en surface et entre 10 – 40 mm pour les filets plus larges. Les mailles 50, 60 et 70 ont été écartées de l'échantillonnage en profondeur puisque ces mailles capturent peu de poissons et la mise en place de ce dispositif est assez long donc le retrait de 3 mailles permet de gagner en efficacité (Figure 23).

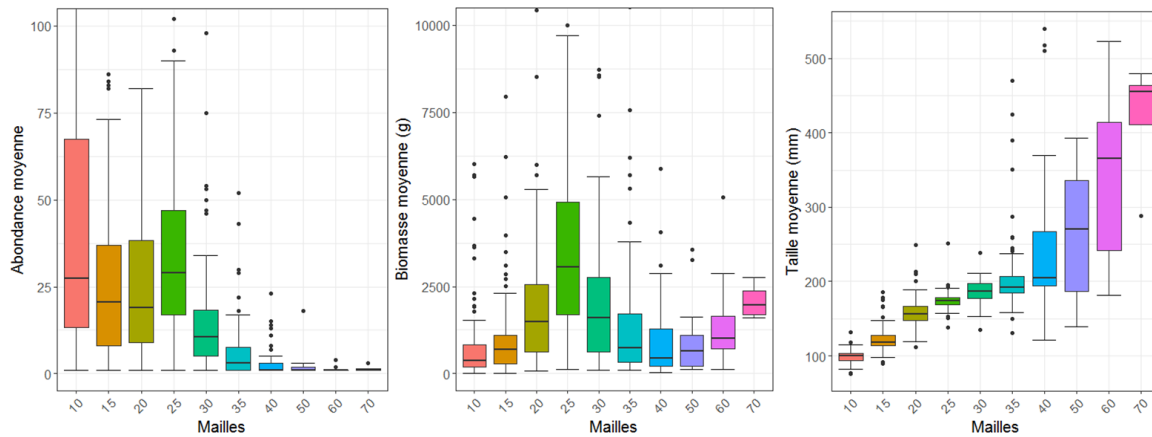


Figure 23. Abondance, biomasse et taille des individus moyens par campagne et station en fonction des mailles utilisées pour l'échantillonnage à l'aide de filets maillants

⇒ **Dans le cadre de l'échantillonnage DCE de la retenue de Petit-Saut les filets maillants de mailles 10-40 seront utilisés (10 ;15 ;20 ;25 ;30 ;35 ; 40).**

Echantillonnage pélagique dans le chenal

▪ Afin de maintenir une certaine continuité dans la série temporelle des données ichtyologiques, des filets pélagiques seront placés dans 3 zones d'échantillonnage : **Vata Bistouri, Génipa et Bagatelle**. Ces filets pélagiques seront abaissés chaque jour afin d'échantillonner la totalité de la zone oxygénée (O_2 dissous > 2 mg/L). La première nuit, les filets sont posés à une profondeur de 0 m à 6 m. La seconde nuit, ils sont abaissés à une profondeur de 6 m à 12 m, et ainsi de suite jusqu'à ce que la totalité de la colonne d'eau ayant une concentration en O_2 dissout > 2 mg/L soit échantillonnée. En effet, lorsque la quantité d' O_2 dissout dans les strates les plus profondes ne permet pas la présence de poissons, ces strates peuvent ne pas être prospectées dans le cadre de l'échantillonnage DCE. Les stations chenal se caractérisent par une profondeur $z > 20$ m ; une distance aux berges $d > 200$ m et une absence de troncs immergés (Figure 24).



Figure 24. Chenal dans la retenue de Petit-Saut

Echantillonnage de surface dans les forêts inondées

- Dans les forêts inondées (plus ou moins éloignées du chenal) des filets de surface seront mis en place aux zones : Plomb, Genipa et Vata avec une station dans la forêt inondée proche du chenal (ex : Tava) et une station dans la forêt inondée plus éloignée (ex : Vata FI). Les stations de forêt ennoyée sont caractérisées par une profondeur moyenne ($5\text{ m} < z < 15\text{ m}$) ; une distance aux berges intermédiaire ($50\text{ m} < d < 100\text{ m}$) et la présence d'une forêt ennoyée (Figure 25).



Figure 25. Forêt ennoyée dans la retenue de Petit-Saut

Echantillonnage benthiques espaces littoraux (proche des berges):

- Dans les espaces littoraux, un échantillonnage sera réalisé dans les différentes zones lacustres identifiées précédemment. Dans chacune des zones des filets maillants benthiques seront disposés **aléatoirement** au niveau des espaces littoraux ($< 5\text{ m}$). Dans chaque des zones, 3 batteries de filets seront mises en place. Les stations littorales sont caractérisées par une faible profondeur ($z < 5\text{ m}$), et une faible distance aux berges ($d < 50\text{ m}$) (Figure 26).

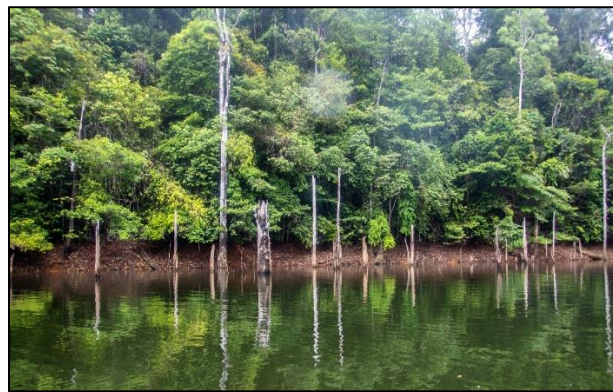


Figure 26. Zone littorale dans la retenue de Petit-Saut

Paramètres additionnels

Dans le protocole DCE poissons de métropole, uniquement la transparence, la température, et certains paramètres chimiques (nutriments, oxygène, pH) sont mesurés au point de plus grande profondeur.

Dans le cas de Petit-Saut, nous recommandons de collecter des données physico-chimiques dans chacune des 5 zones (ou sous-ensembles lacustres) le premier jour de l'échantillonnage au point de plus grande profondeur :

- Profils in situ des paramètres physico-chimiques du groupe 1
- 1 prélèvement intégré dans la zone euphotique pour les paramètres des groupe 2 et 2 bis
- 1 prélèvement ponctuel dans l'hypolimnion pour les paramètres des groupes 2 et 2bis
- Conditions météo lors de l'échantillonnage (couverture nuageuse, direction et force du vent).

Prélèvements ADNe Poissons

L'utilisation des filets maillants entraîne une sélection des espèces et fournit seulement une vision partielle du peuplement. Ainsi, afin d'évaluer la biodiversité, l'utilisation des méthodes ADNe ouvre des perspectives intéressantes.

- ⇒ Des poissons sont capturés par des filets maillants lors des échantillonnages DCE. Cette technique est mortelle pour les individus capturés. Ainsi, des prélèvements de tissus pourront être réalisés afin de **compléter la banque de référence moléculaire ADNe**, mais également pour validation de la taxonomie. De plus, des **échantillons d'eau** afin d'analyser l'ADNe pourront être prélevés avant la pose des filets.



Figure 27. Stratégie d'échantillonnage des poissons de la retenue de Petit-Saut. La mesure des paramètres physico-chimiques dans chaque zone n'est pas imposée dans la DCE mais recommandée dans le cadre de la surveillance de la retenue de Petit-Saut.

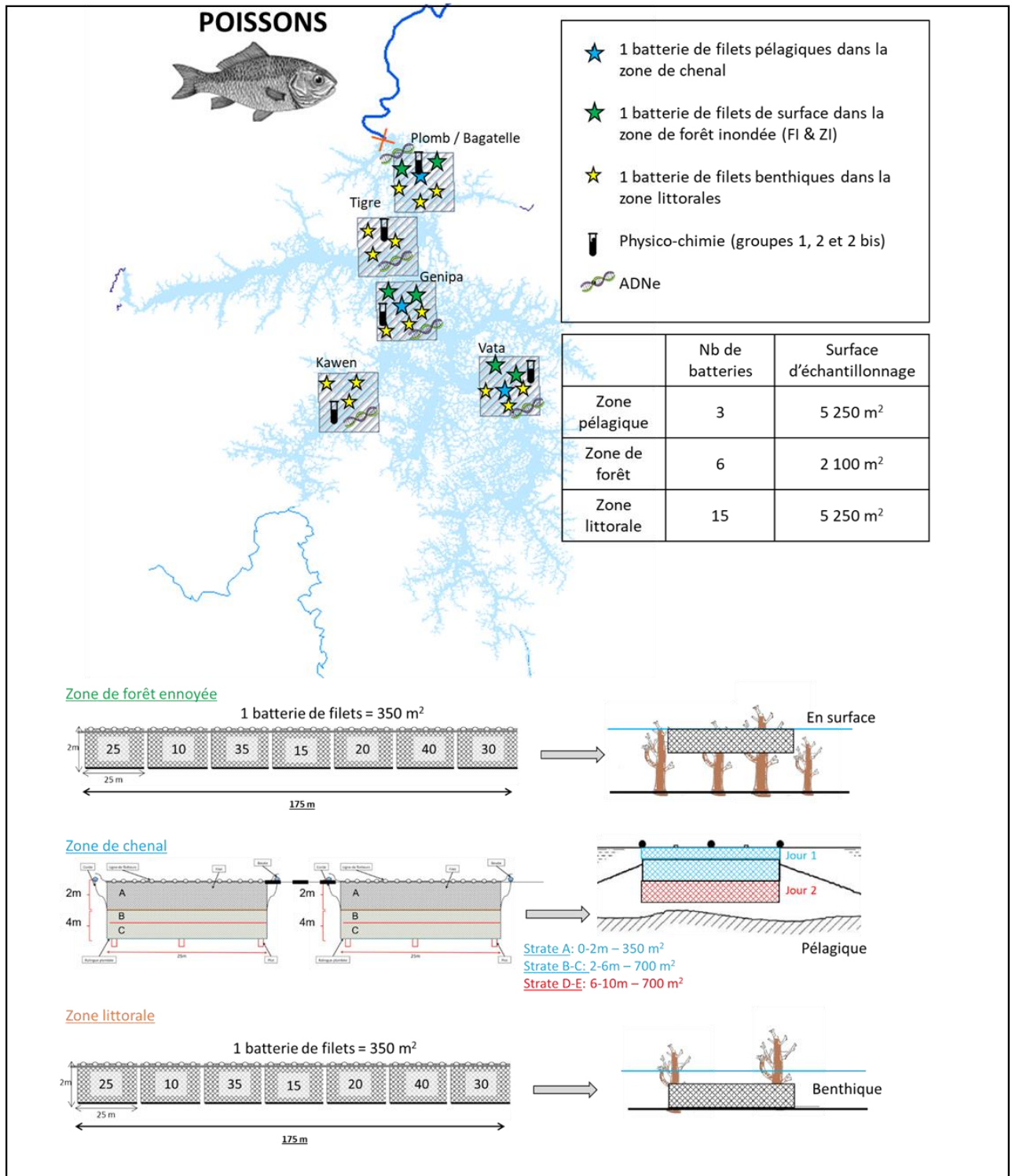


Figure 28. Stratégie d'échantillonnage DCE de la retenue de Petit-Saut. A l'échelle de la retenue, 3 batteries de filets sont placées dans le chenal soit 5250 m² de filet ; 6 batteries de filets sont placées dans la forêt ennoyée soit 2100 m² de filet et 15 batteries de filets sont placées dans les littoraux soit 5250 m² de filet. Dans le chenal, la totalité de la colonne d'eau oxygénée est échantillonnée. Dans la forêt inondée, uniquement la couche de surface est échantillonnée et enfin dans les littoraux, la zone benthique est échantillonnée. De plus, des paramètres additionnels sont mesurés dans la retenue : (i) paramètres physico-chimiques ; (ii) échantillons de tissus pour l'ADNe et (iii) échantillons d'eau pour l'ADNe.

4. Chimie et polluants spécifiques de l'état écologique

4.1. Suivis des paramètres de l'état chimique

Le **bon état chimique** est défini comme l'état chimique requis pour atteindre les objectifs environnementaux c'est-à-dire que les concentrations de polluants ne dépassent pas les normes de qualité environnementale fixées dans les directives ainsi que dans le cadre d'autres textes législatifs communautaires pertinents fixant des normes de qualité environnementale ([Commission Européenne 2000, Article 2, 24](#)). La **norme de qualité environnementale (NQE)** est la concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement ([Commission Européenne 2000, Article 2, 35](#)). Les paramètres et leurs NQE à respecter pour atteindre le bon état chimique des eaux sont ceux de la directive 2008/105/CE du Parlement Européen et du Conseil du 16 décembre 2008, modifiée par la **directive 2013/39/UE**. Les polluants spécifiques de l'état écologique et les normes de qualité environnementale correspondantes à prendre en compte dans l'évaluation de l'état écologique des eaux de surfaces continentales métropolitaines à partir du 22 décembre 2015 sont listés dans l'**arrêté « évaluation » du 27 juillet 2018**. Les polluants spécifiques non synthétiques concernent l'ensemble des bassins métropolitains et DOM.

⇒ **Pour les bassins ultramarins, la mise en œuvre du suivi dans la matrice biote sera précisée dans une note technique dédiée. Dans l'attente de la parution de ces éléments, le suivi sur biote n'est pas imposé en Outre-mer (arrêté Surveillance, Annexe II).**

▪ La liste des **substances de l'état chimique** des eaux de surface est consignée dans le tableau 23, annexe II de l'[arrêté « surveillance » du 17 octobre 2018](#).

▪ La liste des polluants spécifiques de l'état écologique des eaux de surface est consignée dans le tableau 24, annexe II de l'[arrêté « surveillance » du 17 octobre 2018](#). Pour la Guyane, les polluants spécifiques sont les suivants : zinc, arsenic, cuivre, chrome, chlortoluron, oxadiazon, 2,4 MCPA, 2,D, et linuron. L'ensemble de ces polluants est à suivre dans la matrice eau.

▪ Contrairement aux substances de l'état chimique et de l'état écologique, les **substances pertinentes à surveiller** ne sont pas utilisées pour évaluer l'état des eaux de surface. Il s'agit de substances recherchées pour préciser les niveaux de présence et de risque associés à ces substances, en vue d'une possible inclusion dans les listes de polluants spécifiques. La liste des substances pertinentes à surveiller dans les eaux de surface est consignée dans les tableaux 25, 26, 29, 30 Annexe III de l'[arrêté « surveillance » du 17 octobre 2018](#). Les substances de l'état chimique, les polluants spécifiques et les substances pertinentes sont suivies **4 fois par an** dans l'eau alors que dans les sédiments et le biote c'est **1 fois par an** ([Tableau 6](#)).

Tableau 6. Surveillance des substances de l'état chimique, polluants spécifiques de l'état écologique et substances pertinentes dans les eaux de surface continentales-plans d'eau (arrêté surveillance, tableau 38)

Paramètres	Propriétés	Matrice	Fréquence par plan de gestion	Fréquence annuelle
Les substances de l'état chimique	NQE biote	Biote	1	1
	Pas de NQE biote	Eau	0 - 1	4
Polluants spécifiques de l'état écologique		Eau	1	4
Les substances pertinentes		Eau	1	4
		Sédiment	1	1

4.2. Suivi des substances dans le biote & NQE

- Le suivi de substances sur le biote (poisson) sera réalisé à chaque campagne de prélèvement mis en œuvre pour le suivi de l'état écologique. Il comprend notamment le suivi du mercure (substance ubiquiste) qui appartient à la liste des substances de l'état chimique et qui présente une norme de qualité environnementale (NQE) définie pour le biote. Son suivi est particulièrement important en Guyane, compte tenu du fond géochimique de cet élément dans le sol guyanais et des activités illégales d'extraction de l'or (dans les exploitations illégales, du mercure est utilisé pour séparer l'or du reste des minéraux). L'orpaillage illégal extrait en Guyane annuellement entre 10 et 12 tonnes d'or soit 10 fois plus que la production issue de la filière légale (WWF, 2018).
- Les NQE ne sont pas toujours adaptées aux DROM. Par exemple, la norme de qualité environnementale (NQE_{biote}) fixe la limite à **0.02 mg Hg.kg⁻¹** et l'OMS à 0.5 mg Hg.kg⁻¹ pour le mercure. Une étude du BRGM (BRGM/RP-55965-FR Septembre 2007) procure à l'échelle de la Guyane, une carte de répartition des concentrations en mercure (Laperche et al. 2007). Le fond géochimique dans les sédiments en Hg a été estimé à **100 ± 50 ng g⁻¹**. Les concentrations en mercure sont relativement faibles dans l'eau mais se retrouvent à des concentrations élevées dans les poissons et notamment les poissons piscivores. Le mercure est mesuré sur Petit-Saut dans la chair des poissons capturés lors des pêches. Cependant, en fonction du régime alimentaire et de l'espèce, les concentrations en mercure sont amenées à varier fortement. Les poissons carnivores sont ceux qui présentent les taux les plus élevés. Au sein des carnivores, des différences sont observées entre les espèces (Figure 29). En espèce, la contamination au mercure se bio-amplifie le long des réseaux trophiques (Boudou et al. 2005).

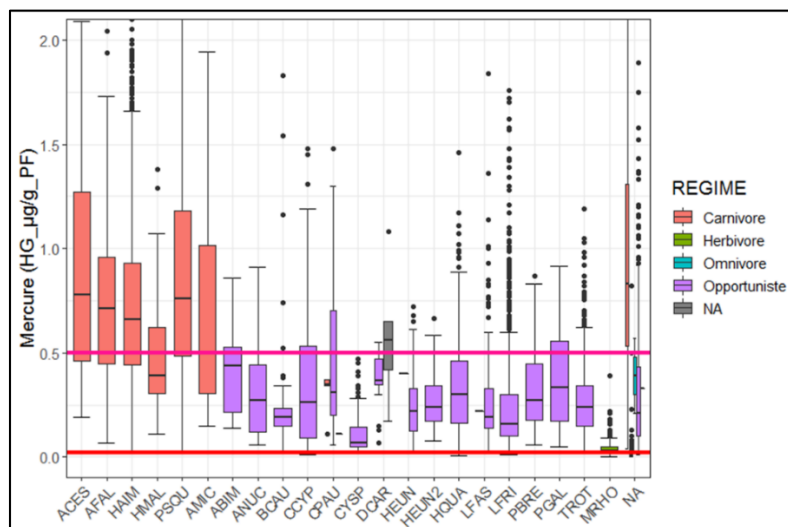


Figure 29. Taux de mercure mesurés dans différentes espèces de la retenue de Petit-Saut

- Afin d'interpréter les concentrations mesurées, il est recommandé de sélectionner une ou plusieurs espèces dites sentinelles pour l'évaluation du mercure. AQUA-REF a publié plusieurs guides à destination des gestionnaires concernant l'évaluation chimique dans le biote pour les programmes de surveillance DCE. Afin de pouvoir interpréter et comparer les résultats de contamination au mercure, un cadrage méthodologique précis est nécessaire : choix d'une espèce et du tissu musculaire. Les espèces bio-indicatrices doivent (i) être identifiées dans un ou plusieurs sites de référence (non impacté) ; (ii) avoir un niveau trophique >3 ; (iii) être abondantes ; et (iv) être peu contaminées dans les sites de référence. De plus, les espèces sédentaires sont favorisées (European Commission 2010, European Commission 2014).

▪ Identification des espèces bio-indicatrices

Hoplias aïmara a souvent été utilisé pour comparer les taux de méthylmercure dans les poissons des fleuves guyanais puisque cette espèce est ubiquiste et sédentaire (Durrieu et al. 2005). Cependant, cette espèce est peu abondante dans le compartiment lacustre. Une autre espèce identifiée comme un bon indicateur de la bioaccumulation du mercure est *Curimata Cyprinoides* (Dominique et al. 2007). Cependant, cette espèce étant détrivore/benthivore elle ne peut pas être utilisée comme bioindicateur dans le cadre de la DCE. Une étude plus récente propose quatre espèces comme bio-indicateurs pour les rivières de Guyane : *Acestrohynchus falcatus* (AFAL) [10-30cm], *Acestrohynchus microlepis* (AMIC) [10-30cm], *Ageneiosus inermis* (AGBR) [20-45cm] et *Hoplias aïmara* (HAIM) [38-82cm] (Gentès et al. 2019). Un autre critère important est la taille des individus d'une même espèce, puisqu'il est admis que plus un individu est grand plus il est âgé et donc plus il a potentiellement accumulé des polluants. Par exemple, pour *Hoplias aïmara*, plus les poissons sont grands, plus les taux de mercure sont élevés, mais la variabilité par classe de taille est assez élevée (Figure 30). Dans l'étude réalisée sur les cours d'eau de Guyane, des classes de taille homogènes sont définies pour chaque espèce afin de comparer les concentrations en mercure en fonction des stations et des pressions. Dans un objectif d'évaluation de l'état chimique DCE, il semble pertinent d'échantillonner des individus plus âgés (plus grands) ayant eu le temps d'accumuler davantage de mercure.

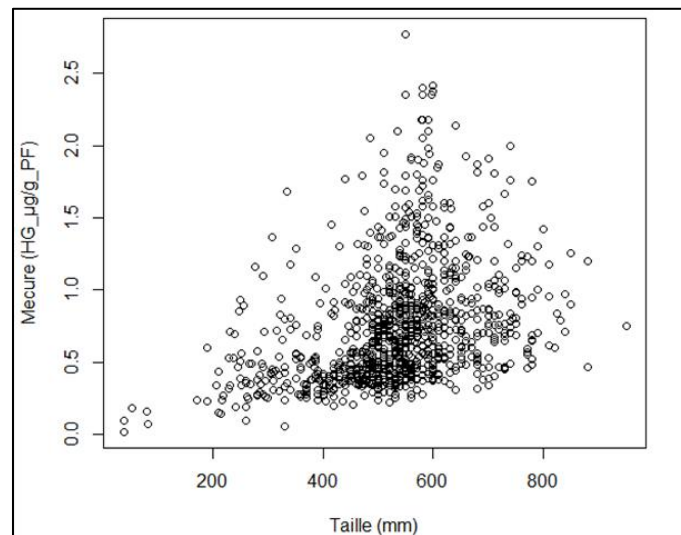


Figure 30. Taux de mercure chez *Hoplias aïmara* en fonction de la taille des individus (mm). Données issues des campagnes d'échantillonnage sur Petit-Saut

Sur Petit-Saut, le choix d'espèces sentinelles dépend de l'abondance de cette espèce dans la retenue afin de pouvoir capturer un nombre suffisant d'individus et avoir des données statistiquement robustes. Les espèces carnivores ayant les effectifs les plus élevés sont de bons candidats (Figure 31). Les espèces carnivores présentant les effectifs les plus élevés sont les suivantes : *Acestrorhynchus* sp. (ACES, AFAL, AMIC), *Hoplias aïmara* (HAIM), *Hoplias malabaricus* (HMAL) et *Plagioscion squamosissimus* (PSQU). *Ageneiosus inermis* (AGBR) n'est pas présent dans la retenue contrairement aux rivières.

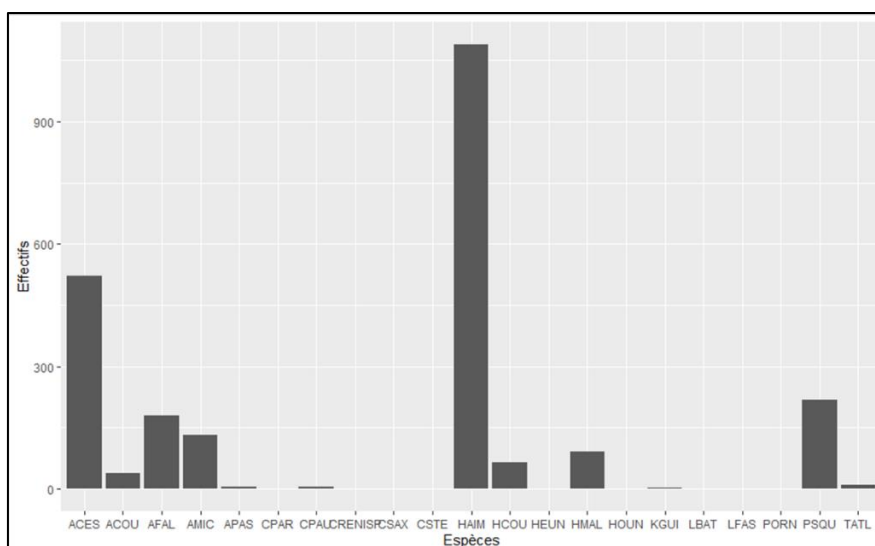


Figure 31. Effectifs par espèces dans la retenue de Petit-Saut (données EDF/HYDRECO 1994 - 2016)

Selon les espèces considérées, les taux de mercure sont très variables et les tendances temporelles peuvent varier ainsi que les différences entre compartiments (Annexe 4). Les espèces qui semblent les plus adéquates pour l'évaluation de la contamination au mercure dans la retenue sont *Hoplias Aïmara* et *Acestrorhynchus sp* (Figure 32). *Plagioscion squamosissimus* et *Hoplias malabaricus* présentent des abondances trop faibles pour être échantillonnées afin d'évaluer la contamination au mercure dans le biote. Il est possible de grouper les résultats pour les différentes espèces pour avoir un nombre plus important d'individus (Gentès et al. 2019).

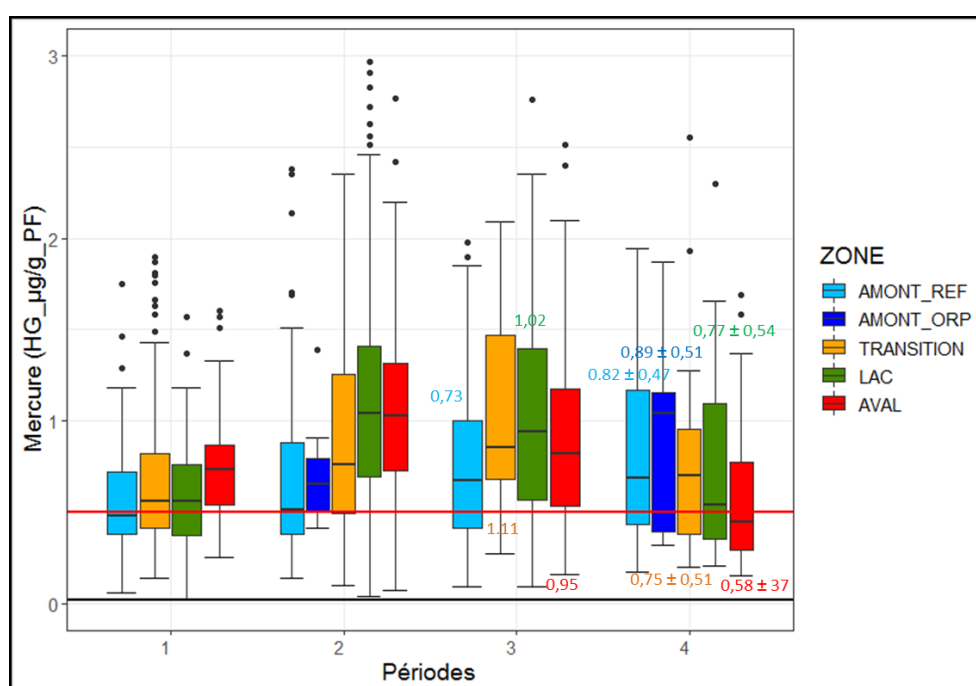


Figure 32. Taux de mercure chez *Hoplias Aïmara* de taille [30-80cm], *Acestrorhynchus falcatus* et *microlepis* de taille [10-25cm] en fonction des zones d'échantillonnage et des périodes (1994 - 1999, 2000 - 2005, 2006 - 2011, 2012 - 2017)

▪ Valeur de référence

Pour les rivières de Guyane, la valeur de référence pour les espèces bio-indicatrices est de $0.33 \pm 0.03 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Cette valeur est basée sur une comparaison des concentrations en mercure dans les sites de référence et les autres sites (Gentès et al. 2019). Pour le compartiment lacustre, il n'existe pas de site de référence lacustre avec des données disponibles. Nous pouvons dans un premier temps se baser sur la valeur de référence déterminée pour les rivières. Par la suite, il serait intéressant de mener une étude sur la contamination au mercure des poissons dans les zones humides lenticule de Guyane et de confronter ces résultats avec la bibliographie dans les grands barrages tropicaux en Amérique du Sud.

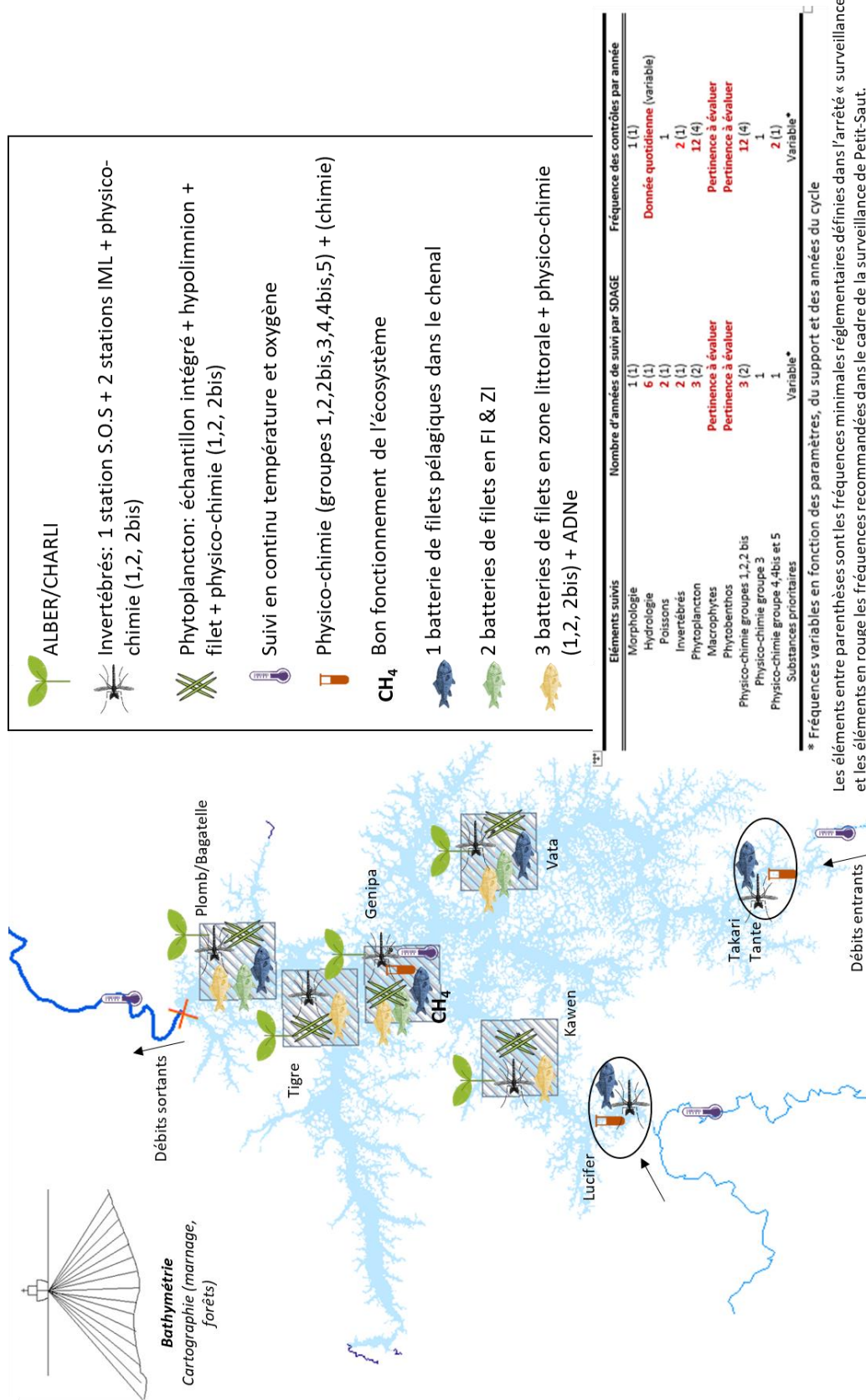
4.3. Echantillonneurs passifs

L'utilisation des échantillonneurs passifs est une technologie éprouvée pour la détermination des concentrations en phase dissoute de polluants. Cette technique d'échantillonnage est basé sur le déploiement in situ ou l'utilisation en laboratoire de dispositifs capables d'accumuler des contaminants dissous dans l'eau. Les niveaux de contamination dans les échantillonneurs passifs permettent d'évaluer d'intégrer dans le temps la contamination ou de mesurer des contaminants présents à des concentrations très faibles dans l'eau (European Commission 2010, Bernard 2019). En milieu aquatique, la plupart des contaminants chimiques sont présents à l'état de traces, notamment dans la fraction dissoute. L'utilisation d'échantillonneurs passifs (DGT, POCIS) ou de procédés de micro-extraction (SBSE) permet, pour certains composés, de les extraire et de les concentrer in situ, réduit ainsi une partie des difficultés et coûts liés à l'analyse des contaminants à l'état de traces. Depuis 2008, ces techniques ont été mises en œuvre en Guyane par l'Ifremer et la DEAL pour évaluer les niveaux de contamination de diverses masses d'eau. Ces méthodes présentent des résultats satisfaisants sur une multitude de molécules cependant pour le mercure la méthode ne présente pas encore des résultats fiables (Gonzalez et al. 2016). Cette méthode a également été mise en œuvre et testé sur le territoire martiniquais (Jaquelin et al. 2017) et guadeloupéen (Tapie et al. 2014). Les échantillonneurs passifs ne permettent pas à ce jour de suivre l'ensemble des molécules imposées dans le cadre de la DCE et les molécules utilisées localement au vu des usages du territoire. Cependant, cette technique non invasive ou destructrice du milieu, doit être améliorée car elle permettra à long terme d'aider à évaluer l'état chimique des eaux.

4.4. Stations de prélèvements et répliques

Les échantillons d'eau et de sédiment sont prélevés à la station **Roche Genipa**. Les poissons doivent être collectés dans des stations représentatives du lac. De plus, la Commission Européenne recommande un échantillonnage du biote lors de la période la plus stable, en dehors de la période de reproduction et lorsque les sources alimentaires sont stables (European Commission 2010). Ainsi, pour le biote les échantillonnages sont réalisés en même temps que les pêches. Etant donné les forts enjeux écologiques liés aux problématiques de contamination en mercure en Guyane, le mercure pourra être suivi à une fréquence supérieure, par exemple lors de chaque campagne de pêche.

5. Synthèse du programme de surveillance de Petit-Saut



6. Recherche et développement

6.1. Evaluation de la pertinence des macrophytes

La retenue de Petit Saut ne possède pas de faune ripicole³ spécifique. La végétation de la retenue de Petit-Saut est principalement composée de végétation terrestre ennoyée une partie de l'année. Quelques radeaux de plantes flottantes se développent à partir de troncs et de branches d'arbres. Leur composition globale (cypéracées du type « papyrus », joncs, fougères, orchidées) est relativement voisine de celle de certains marais de la savane littorale de Guyane. Des utriculaires se développent sur les bois et les zones littorales (Figure 33). Ainsi, la retenue de Petit-Saut présente des macrophytes dans certaines zones en particulier dans les criques fermées.

De façon moins prioritaire, dans une optique d'amélioration des connaissances biologiques et d'évaluation de la pertinence de cet EQB, un état des lieux initial des **taxons** de macrophytes présents pourra être réalisé. Un protocole similaire à celui en développement pour les plans d'eau marnants (Dutartre & Bertrin 2012), où sont échantillonnés les plantes dans les zones favorables à leur développement, est envisageable (**Contact**: Vincent BERTRIN (IRSTEA Bordeaux)). Ce protocole est adapté pour échantillonner les macrophytes dans les plans d'eau qui subissent un marnage supérieur à 2 m. Les zones potentiellement favorables à l'installation de macrophytes sont identifiées et prospectées. Les macrophytes sont échantillonnés par des observations et des prélèvements par points contacts permettant d'établir une liste des taxons d'hydrophytes et d'hélophytes présents et une évaluation de leur abondance respective.

Document de référence :

- *Plans d'eau marnants: « Echantillonnage des communautés de macrophytes des plans d'eau marnants », Irstea, février 2012.*



Figure 33. Utriculaires au niveau des berges de la retenue de Petit-Saut. A gauche : © Angélique Bonnet (Irstea) et à droite © Frédéric Jacob (EDF). Octobre 2019.

Cette méthode n'a toutefois pas encore été adoptée réglementairement et elle reste peu mise en œuvre dans les bassins métropolitains. En outre, le besoin de développement ou d'adaptation d'un indicateur spécifique aux retenues reste à analyser et aucune méthode de calcul n'est aujourd'hui disponible. La pertinence de cette méthode dans les retenues des DROM et en particulier la retenue de Petit-Saut reste à évaluer. La méthode mise en œuvre dans la retenue de Petit-Saut devrait permettre un suivi dans le temps et dans l'espace des macrophytes afin de mettre en évidence la disponibilité de ces habitats.

³ Ripicole : qui vit ou pousse sur les rives immergées d'un cours d'eau, d'un lac, d'un étang.

6.2. Evaluation de la pertinence du phytobenthos

Aucun protocole normalisé et aucun indice biologique n'est actuellement adopté en France pour le phytobenthos des plans d'eau. Un protocole national d'échantillonnage a toutefois été développé récemment par Irstea (Irstea, 2013) et est aujourd'hui appliqué dans le cadre du programme de surveillance. Il consiste à prélever les communautés de diatomées benthiques sur les tiges de macrophytes hélrophytes et sur substrat minéral dur dans les plans d'eau. Les prélèvements de diatomées benthiques sont à réaliser simultanément avec l'échantillonnage des communautés de macrophytes au niveau des mêmes unités d'observation. Cette méthode semble peu adaptée au cas de la retenue de Petit-Saut étant donné la faible densité de macrophytes et la rareté des substrats minéraux durs. Cependant, les bois morts de la retenue favoriseraient le développement algal (McLachlan 1970) or ils sont colonisés par un biofilm autotrophe (Figure 34) assez important pas exclusivement composé de diatomées. Ainsi il est probable que le phytobenthos soit un maillon important du fonctionnement de la retenue. On peut se demander si l'étude du seul compartiment « algues macroscopiques » bien présent et développé sur les bois morts de la retenue ne pourrait pas apporter des informations intéressantes sur le fonctionnement des producteurs primaires de la retenue. Bien qu'aucun indicateur n'existe à ce jour sur ce « compartiment benthique », une étude spécifique et prospective pourrait être envisageable.

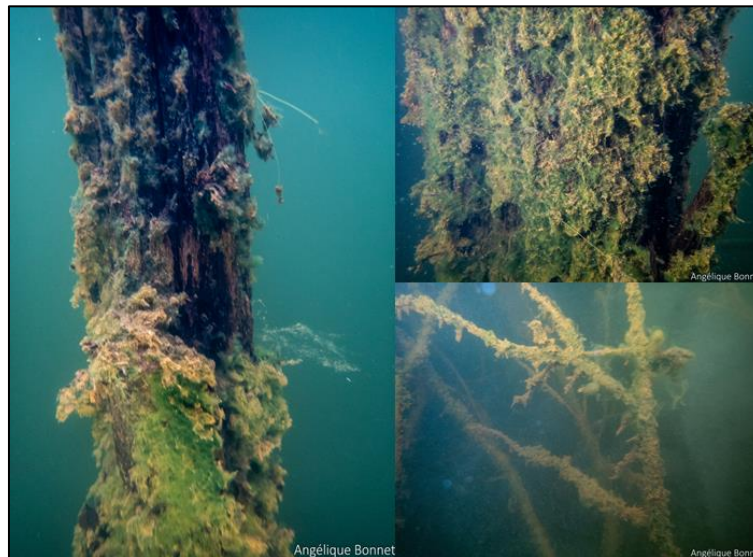


Figure 34. Biofilms sur les troncs immergés de la retenue de Petit-Saut. © Angélique Bonnet (Irstea), Octobre 2019

En conséquence, il pourrait être proposé de réaliser une première étude pour caractériser les communautés qui se développent sur ce type de substrat et leur dynamique. Une première étude exploratoire permettrait de définir la pertinence du suivi du phytobenthos ainsi que les méthodes d'échantillonnage les plus favorables. Des premières données seront disponibles à la fin de l'étude en cours C-TROPIC (contact : Fanny Colas, Pôle R&D ECLA, INRAE). En effet, des prélèvements de biofilm ont été réalisés sur les bois ennoyés ainsi que des mesures de production primaire par la BentoTorch. En métropole, l'approche mise en œuvre pour le suivi du phytobenthos nécessite de trouver des supports de collecte minéral ou organique vivant. Sur Petit-Saut, des *substrats artificiels* (i.e plaques de polyéthylène) « suspendus » dans la colonne d'eau avec des flotteurs pourraient être utilisés afin de s'affranchir de la contrainte du marnage et de la contrainte des substrats naturels. Les substrats artificiels permettent une mesure facilitée de la biomasse. Il est préférable d'échantillonner à la côte minimale de la retenue pour travailler avec une surface réduite. D'autres approches sont envisageables pour échantillonner le phytobenthos avec de nouvelles technologies telles que le codage ADN. Des méthodes de surveillance et des indicateurs de type « ADN environnemental » sont en cours de développement pour le phytobenthos dans les rivières Guyanaises et dans les lacs métropolitains. En

l'absence de connaissances taxonomiques, l'ADNe permet d'évaluer une diversité à partir des unités taxonomiques. Il serait intéressant de « tester » les potentialités offertes par cette méthode (**Contacts:** *Agnès Bouchez (Pôle R&D ECLA, UMR CARRETEL) – Projet SYNAQUA ; Isabelle Domaizon (pôle R&D ECLA, UMR CARRETEL) et JM Baudoïn (Pôle R&D ECLA, AFB) – Projet EcoAlpsWater*).

6.3. Variabilité spatiale des paramètres physico-chimique et télédétection

Les images satellites peuvent être utilisées pour modéliser différents paramètres de la retenue comme la température de surface ou la couleur de l'eau. Les données satellitaires apportent une information à haute fréquence (plusieurs passages des satellites par mois) et une meilleure résolution spatiale (sur toute la surface de la retenue) mais limitée verticalement. A l'opposé, les profils de mesures sont moins fréquents, mais donnent de l'information dans la dimension verticale indispensable à la compréhension du comportement hydrodynamique. Ainsi, afin de mieux appréhender la diversité spatiale de la physico-chimie, la télédétection est un outil particulièrement intéressant à utiliser sur Petit-Saut en complément de mesures sur le terrain. La télédétection ouvre des perspectives de suivi de la transparence, des flux de nutriments, ou d'oxygène dissous. Plusieurs études ont mis en évidence l'importance de la télédétection pour évaluer certains paramètres comme les particules en suspension ou la chlorophylle de réservoirs tropicaux ([Sanchez et al. 2016](#)).

Une étude en cours sur la retenue de Petit-Saut et ses affluents concerne le suivi du carbone organique dissous par télédétection. Des données radiométriques, limnologiques et optiques ainsi que des échantillons d'eau ont été collectés sur 25 sites de la retenue et ses affluents. La modélisation des teneurs en matière organique colorée dissous (CDOM) a été réalisée à l'aide des données radiométrique mesurée in situ et des données satellitaires (SENTINEL-2 et LANDSAT). Cette modélisation est difficile sur Petit-Saut en raison : (i) d'un signal faible car les eaux sont peu chargées en matières en suspension et (ii) d'une correction atmosphérique à améliorer. La potentielle application de cette méthode pour des suivis en routine de paramètres physico-chimiques tels que le CDOM reste à évaluer (**Contact : Thierry Tormos (AFB Aix-en-Provence)**). La priorité sur la retenue est de développer des méthodes robustes afin d'évaluer par télédétection les paramètres de couleurs de l'eau (Carbone Organique Total (COT), matières organiques colorées dissoutes (CDOM) ou encore chlorophylle-a).

6.4. Bon fonctionnement de l'écosystème

Des campagnes de mesures de données de paramètres fonctionnels sont en cours pour un panel de lacs de métropole afin de baser la construction de futurs indices fonctionnels. Les processus écosystémiques suivants sont étudiés : (i) le métabolisme écosystémique et les flux de gaz (à l'aide de sondes spécifiques et de chambres benthiques et flottantes), (ii) la productivité primaire, et le recyclage de la matière organique.

La retenue de Petit-Saut est responsable de fortes émissions de gaz à effet de serre et ainsi suivre ces émissions est primordial. Une étude en cours (**C-Tropic**) s'intéresse au fonctionnement de la retenue de Petit-Saut dont notamment la contribution de la forêt ennoyée dans la dynamique du carbone. A l'issue de cette étude les sources de carbone ainsi que les mécanismes impliqués dans les émissions de GES seront mieux connus. Un protocole de surveillance adapté pour le suivi du fonctionnement de l'écosystème (notamment émissions de gaz à effet de serre) pourra être précisé par la suite (**Contact : Fanny Colas (IRSTEA, Aix-en-Provence)**). Cette étude est importante dans le cadre de la transition énergétique et pour guider les choix stratégiques en terme d'énergie au sein de la région Guyane et des autres territoires en milieu tropical.

6.5. Des méthodes innovantes pour l'échantillonnage du phytoplancton

Les nouvelles technologies offrent aujourd'hui des perspectives intéressantes pour améliorer la fréquence et la représentativité des suivis biologiques. Concernant le phytoplancton, trois techniques semblent particulièrement intéressantes :

- **L'ADNe** : le séquençage de prélèvement d'eau permettrait de disposer facilement et rapidement de listes taxonomiques ou à défaut de connaissance, d'un inventaire d'unités taxonomiques. Des projets sont en cours en métropole (ex : [Projet EcoAlpsWater](#), contact : [Isabelle Domaizon](#) et [JM Baudoin](#)) et vont démarrer en 2020 sur les plans d'eau d'Outre-Mer (ex : [Projet d'étude du phytoplancton d'Outre-Mer par ADNe](#), contact : [Christophe Laplace-Tretyure](#) et [Frédéric Rimet](#) (Pôle R&D ECLA, INRAE Cestas et UMR CARTELL)).
- **La télédétection** : l'analyse de la couleur de l'eau permet aujourd'hui de déterminer des concentrations phytoplanctonique de surface par grandes classes taxonomiques. L'avantage de cette méthode est à la fois la prise en compte des variations temporelles (haute fréquence des suivis satellitaires) et spatiale. Cette dernière semble particulièrement intéressante pour les plans d'eau de grande dimension comme Petit-Saut. La poursuite des études en cours pourrait donc être encouragée.
- Dans une optique d'amélioration des connaissances biologiques et d'optimisation du protocole de surveillance, la pose d'une **sonde en continue** mesurant les concentrations en différents groupes algaux pourrait être intéressante pour estimer les cycles journaliers des différents groupes taxonomiques à une profondeur donnée. De plus, une campagne exceptionnelle pourrait être mise en place afin de collecter des échantillons de phytoplancton dans différentes grandes zones de la retenue et évaluer la **variabilité spatiale du phytoplancton** tout en apportant des données complémentaires pour l'ADNe.

6.6. Combinaison de plusieurs méthodes d'échantillonnage pour les poissons

6.6.1. Utilisation de la pêche électrique dans les zones de berge

La pêche électrique est employée dans les zones peu profondes en complément des filets maillants ([Tessier et al. 2016](#)). Elle est particulièrement intéressante dans les zones structurées où la pose de filets est compliquée ([de Paiva Affonso et al. 2016](#)). Il conviendrait de tester cette méthode sur Petit-Saut afin d'en voir les perspectives. Toutefois, la faible efficacité de cette méthode dans les eaux faiblement minéralisées, ne lui confère pas un caractère prioritaire. Cette méthode est actuellement en phase de test dans différents cours d'eau guyanais ([Contact : Régis Vigouroux \(HYDRECO\)](#)). En complément aux méthodes CEN, la pêche électrique par EPA (Evaluation Ponctuelle d'Abondance) est utilisée pour l'échantillonnage des poissons des étangs côtiers de la Réunion. De plus, en Martinique, la retenue de la Manzo est échantillonnée via des pêches électriques pour les crustacés et les poissons.

6.6.2. Utilisation de nasses dans les zones de berge

Dans le cadre du projet UROS en cours actuellement sur la retenue de Serre-Ponçon, la pose de nasses en zones littorales offre de très bons résultats, notamment pour évaluer la diversité spécifique. Cette méthode est aussi souvent utilisée pour évaluer la diversité dans les plans d'eau des DRON en complément d'autres méthodes. En complément aux méthodes CEN, des nasses à écrevisses appâtées sont utilisées pour l'échantillonnage des poissons des étangs côtiers de la Réunion. Cette méthode est en outre non destructrice. L'intérêt de cette technique pour ADrait être testée sur Petit-Saut dans les zones littorales peu profondes.

6.6.3. L'hydroacoustique pour évaluer les densités de poissons

Contrairement aux méthodes de pêche, l'hydroacoustique est une méthode non destructive qui peut être utilisée en eaux peu profondes (Tessier et al. 2016). Cette méthode permet d'obtenir des informations sur la densité et la taille des individus et est largement utilisée pour estimer les abondances en poissons dans les lacs (Dennerline et al. 2012). Cette méthode est reconnue comme étant la plus efficace dans les zones pélagiques de grands systèmes. Combiner des méthodes hydroacoustiques et de pêche permet de réduire l'effort de pêche nécessaire pour effectuer un échantillonnage des poissons. Cependant, la présence de bois ennoyés est une limite à l'utilisation de cette méthode et peut conduire à des sous-estimations des densités et biomasses en poissons (Tessier et al. 2019). Cette méthode est largement utilisée dans les grands lacs européens pour estimer les densités de poissons (Guillard et Marchal, 2001; Draščík et al. 2017) dont le Lac Léman (Périer & Vonlanthen 2014) mais également quelques études utilisent cette méthode pour des lacs tropicaux en particulier en Asie (Prchalová et al. 2003, Viravong et al. 2006, Bezerra-Neto et al. 2012, Prado & Pompeu 2016, Lian et al. 2017).

La méthode hydroacoustique permet d'obtenir des informations sur la densité et la taille des individus à l'aide d'un échosondeur. Cette méthode pourrait être testée sur la retenue de Petit-Saut afin d'analyser les performances de discrimination des arbres morts et des poissons ([Contact : Jean Guillard \(Pôle R&D ECLA, UMR CARTELL\)](#)).

6.6.4. L'ADNe pour évaluer la biodiversité

Les progrès récents dans le séquençage de l'ADN ont fourni un nouvel outil pour la détection des espèces à partir de l'ADN présent dans l'environnement. Une étude publiée en 2016 par Valentini et al. 2016 a établi l'intérêt du « Metabarcoding ADNe » à partir d'échantillons d'eau pour quantifier la diversité spécifique au sein des écosystèmes aquatiques d'eau douce. Actuellement, un projet national rassemblant l'AFB, Irstea, l'INRA et SPYGEN ([projet ReadFish, contact : Maxime Logez, Pôle R&D ECLA, Irstea](#)) a pour objectif de standardiser les méthodes pour la surveillance des poissons lacustres en intégrant également des possibilités d'évaluation quantitatives. Cette méthode est efficace pour lister les espèces présentes dans un milieu mais nécessite d'être utilisée en parallèle à d'autres méthodes puisqu'elle ne fournit pas d'information sur l'abondance, la taille ou encore la structure en âge des populations. En outre, concernant les poissons, une banque de séquences déjà complètes existe pour la Guyane ([contact : Sébastien Brosse et SPYGEN](#)). Cette méthode offre donc des perspectives très intéressantes pour la surveillance de grands milieux comme Petit-Saut, particulièrement dans des écosystèmes où la présence de forêt ennoyée limite l'emploi d'autres méthodes. Une étude spécifique sur Petit-Saut pourrait donc être encouragée à l'avenir.

6.7. Etude de la biodiversité approfondie

Outre les espèces utilisées pour la bioindication DCE, Petit-Saut rassemble une importante biodiversité et des espèces emblématiques particulièrement menacées comme la loutre géante, dont l'état de conservation est directement dépendant de la qualité écologique de Petit-Saut. Outre les simples objectifs de bon potentiel écologique, une synergie entre directives est attendue dans le cadre d'application de la DCE. Ainsi, une étude approfondie de l'état et de l'évolution des populations de certaines espèces pourrait être conduite, en particulier pour la Loutre géante ([Figure 35](#)).

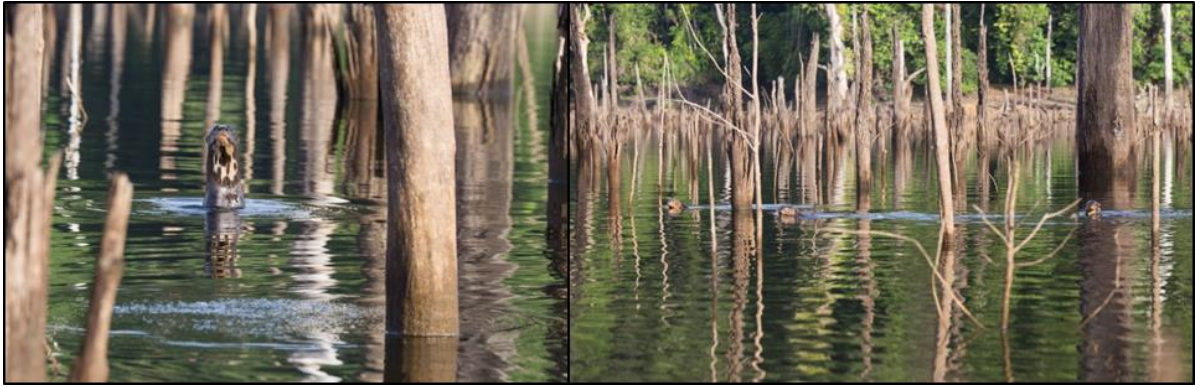


Figure 35. Observations de la loutre géante (*Pteronura brasiliensis*) dans la retenue de Petit-Saut. Cette espèce est classée « en danger » sur la liste rouge de l'UICN. Elle est inféodée aux écosystèmes aquatiques de forêts tropicales et aux zones humides. Elle construit des tanières sur les berges végétalisées ou les systèmes racinaires des arbres et affectionne les zones poissonneuses dont elle dépend pour son alimentation.

6.8. Evaluation du mercure dans le biote

En Guyane, la quasi-totalité des poissons analysés présentent des concentrations en mercure supérieures à la NQE_{biote} , quelle que soit la pression anthropique ou naturelle qu'ils subissent (Gentès et al. 2017, 2019). Donc l'application de NQE_{biote} déclasserait quasiment la totalité des masses d'eau. Il est difficile de définir des stations de référence pour la Guyane puisque la plupart des stations ont subi des activités d'orpaillage et les données sont souvent indisponibles. Les conditions thermiques et physico-chimiques de la retenue favorisent la méthylation du mercure. Cependant, depuis la mise en eau, les conditions d'oxygénation tendent à s'améliorer (baisse de la profondeur de l'oxycline) et donc le barrage aurait une influence moindre sur les conditions de méthylation dans la retenue. Toutefois, les concentrations de mercure mesurées sont très variables et les mécanismes encore largement méconnus donc les conclusions sont à prendre avec beaucoup de précautions.

La NQE_{biote} n'est pas adaptée au cas de la Guyane et il convient de définir une valeur seuil prenant en compte le fond géochimique en mercure de la Guyane ainsi que les contributions des différentes sources de mercure. Le mercure est naturellement présent dans les sols en Guyane mais les activités d'orpaillage anciennes et actuelles participent fortement à la contamination du milieu. Le réservoir est soumis à trois types d'apports : (i) les rejets de mercure issus de l'orpaillage ; (ii) les dépôts atmosphériques (précipitations et dépôts secs) ; (iii) les sources endogènes liées à la dégradation de la végétation immergée et au relargage en provenance des sols ennoyés (Dominique 2006). La quasi-totalité du bassin du Sinnamary a été affectée lors de la première ruée vers l'or en Guyane; de ce fait, les niveaux de mercure dans les différents compartiments abiotiques et biotiques de cet hydrosystème ne peuvent pas être considérés comme des référentiels par rapport au "bruit de fond" géochimique (Dominique 2006). Plusieurs études se sont intéressées au cycle du mercure dans la retenue ainsi que les différents facteurs favorisant les réactions de méthylation, mais peu de données existent concernant la distinction entre les différentes sources de mercure dans le bassin versant du Sinnamary.

Le mercure possède sept isotopes stables qui peuvent être étudiés grâce à un spectromètre de masse à plasma inductif à multi-collection (MC-ICPMS) couplé avec un générateur de vapeur froide (Laffont 2009). L'étude des isotopes du mercure dans le bassin versant du Sinnamary pourrait permettre de distinguer et quantifier les différentes sources de mercure (dépôts atmosphériques, érosions, apports anthropiques). Cette approche a été mise en œuvre dans le bassin de l'Oyapock par une équipe de chercheurs, dirigée par Laurence Maurice, spécialiste en géochimie environnementale à l'IRD. Toutefois, cela ne permettra pas de différencier la partie « naturelle » de la partie remobilisée des sols via la pratique de l'orpaillage mais permettra de distinguer la part anthropique (ajout de mercure) de la part naturelle.

Une étude devra être menée sur les taux de contamination au mercure des poissons dans les zones humides lenticule de Guyane et de confronter ces résultats avec la bibliographie dans les grands barrages tropicaux en Amérique du Sud afin de préciser une valeur de référence fiable pour la retenue de Petit-Saut. Afin d'identifier des moyens d'actions pour limiter la méthylation du mercure dans la retenue, des facteurs responsables de la méthylation sont à clarifier dont notamment le rôle du bactérioplancton et celui du biofilm se développant sur le bois mort ainsi que les relations entre méthylation et production de GES.

7. Bancarisation des données

L'ensemble des données produites seront bancarisées et consultables :

- Dans les banques nationales : base de données plan d'eau (pôle ECLA) et Naiades (<http://www.naiades.eaufrance.fr/>).
- Les données seront bancarisées par la DEAL et l'Office de l'Eau de Guyane.

8. Conclusion

Programme de surveillance DCE des éléments de qualité écologique		
SURVEILLANCE	R&D	FREQUENCE CONSEILLEE
Hydromorphologie		
<ul style="list-style-type: none"> Hydrologie: Débits; temps de résidence Bathymétrie: échosondeur + LIDAR + télédétection Substrat: non suivi Rive: ALBER / CHARLI Continuum écologique 	<ul style="list-style-type: none"> Substrat: échosondeurs/sismique Rive: cartographie des forêts envoyées par télédétection 	<ul style="list-style-type: none"> Journalière (donnée EDF) 1 fois par cycle de gestion Non suivi 1 fois par cycle de gestion 1 fois par cycle de gestion
Phytoplancton		
<ul style="list-style-type: none"> Echantillonnage intégré dans la zone euphotique 1 prélèvement au filet dans la zone euphotique 1 prélèvement ponctuel dans l'hypolimnion Paramètres additionnels 	<ul style="list-style-type: none"> ADN environnemental Analyse de la couleur de l'eau par télédétection Sonde en continue 	<ul style="list-style-type: none"> Fréquence mensuelle 3 fois par cycle de gestion
Les macrophytes		
<ul style="list-style-type: none"> Pas de suivis 	<ul style="list-style-type: none"> Pertinence à évaluer: listes taxonomiques 	
Le phytobenthos		
<ul style="list-style-type: none"> Pas de suivis 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluer la pertinence: substrats artificiels ADN environnemental 	
Les invertébrés benthiques		
<ul style="list-style-type: none"> Substrats Organiques: 5 stations Protocole IML – filet troubleau – 15 échantillons 		<ul style="list-style-type: none"> 2 fois / an 2 fois / cycle de gestion
Les poissons		
<ul style="list-style-type: none"> Echantillonnage pélagique (chenal) – 3 zones Echantillonnage de surface (forêt) – 3 zones Echantillonnage benthique (berges) – 5 zones Paramètres additionnels (physico-chimie) 	<ul style="list-style-type: none"> Nasses Pêche électrique Hydroacoustique ADN environnemental 	<ul style="list-style-type: none"> 1 fois / an 2 fois / cycle de gestion
Physico-chimie		
<ul style="list-style-type: none"> Groupe 1 in situ + suivi continu temp. et oxygène Groupe 2, 2bis : intégré et dans l'hypolimnion Groupe 3: intégré et ponctuel dans l'hypolimnion Groupe 4 et 4bis: benne à sédiments Fonctionnement de l'écosystème: CH₄ et CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> Télédétection (eg. CDOM) Fonctionnement de l'écosystème (C-TROPIC) 	<ul style="list-style-type: none"> Mensuel - 3 fois / cycle Mensuel - 3 fois / cycle 1 fois / cycle 2 fois / cycle Mensuel - 3 fois / cycle
Chimie et polluants spécifiques		
<ul style="list-style-type: none"> Substances de l'état chimique Polluants spécifiques Substances pertinentes 	<ul style="list-style-type: none"> Echantillonnage dans le biote Echantillonneurs passifs 	<ul style="list-style-type: none"> Fréquence variable 4 fois / an - 1 fois / plan de gestion Fréquence variable

Figure 36. Bilan des méthodes d'échantillonnage DCE compatibles pour la retenue de Petit-Saut. En rouge, méthodes recommandées pour un échantillonnage actuel, en bleu les méthodes à développer et besoins R&D et en vert les fréquences de suivis recommandées.

Bibliographie

- AFNOR (2016) XP T90-718 - Qualité de l'eau- Qualité des milieux - Caractérisation des habitats des rives et du littoral des plans d'eau.
- Agostinho AA, Gomes LC, Santos NCL, Ortega JCG, Pelicice FM (2016) Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Fish Res* 173:26–36.
- Alleaume S, Baudoin J-M, Heyd C, Lanoiselee C, Argillier C (2014a) Caractérisation des habitats des rives et du littoral des plans d'eau - Charli.
- Alleaume S, Baudoin J-M, Heyd C, Lanoiselee C, Argillier C (2014b) Caractérisation des altérations des berges des plans d'eau – Alber.
- Alleaume S, Lanoiselee C, Argillier C (2010) Bathymétrie des plans d'eau: Protocole d'échantillonnage et descripteurs morphométriques.
- Alleaume S, Lanoiselee C, Argillier C (2012a) ALBer : Protocole de caractérisation des Altérations des Berges (version 2012.2).
- Alleaume S, Lanoiselee C, Heyd C, Argillier C (2012b) Charli : Protocole de Caractérisation des HABitats des Rives et du Littoral (version 2012.3).
- Argillier C, Lalande N (2009) L'hydromorphologie lacustre : Détermination du substrat dominant de la zone littorale des lacs.
- Bernard M (2019) Déploiement large échelle du POCIS pour l'évaluation de la contamination par les pesticides dans les eaux de surface : apports et complémentarité dans le cadre des réseaux de surveillance du bassin Adour-Garonne
- Bezerra-Neto JF, Brighenti LS, Mello NAST de, Pinto-Coelho RM (2012) Hydroacoustic assessment of fish and Chaoborus (Diptera-Chaoboridae) distribution in three Neotropical lakes. *Acta Limnol Bras* 24:18–28.
- Boudou A, Maury-Brachet R, Coquery M, Durrieu G, Cossa D (2005) Synergic Effect of Gold Mining and Damming on Mercury Contamination in Fish. *Environ Sci Technol* 39:2448–2454.
- Bouvier D, Bargier N (2019) Programme de surveillance de la qualité des eaux de la Manzo - années 2018-2019.
- Commission Européenne (2000) Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. *J Off des Communautés Eur*:72.
- Cukur D, Krastel S, Tomonaga Y, Schmincke HU, Sumita M, Meydan AF, Çağatay MN, Toker M, Kim SP, Kong GS, Horozal S (2017) Structural characteristics of the Lake Van Basin, eastern Turkey, from high-resolution seismic reflection profiles and multibeam echosounder data: geologic and tectonic implications. *Int J Earth Sci* 106:239–253.
- Curtarelli M, Leão J, Ogashawara I, Lorenzetti J, Stech J (2015) Assessment of spatial interpolation methods to map the bathymetry of an Amazonian hydroelectric reservoir to aid in decision making for water management. *ISPRS Int J Geo-Information* 4:220–235.
- Dedieu N, Verneaux V (2019) Développement d'un Indice Macroinvertébrés Lacustres DCE Français - Appui à la mise en oeuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'eau 2017 - 2020.
- Dennerline DE, Jennings CA, Degan DJ (2012) Relationships between hydroacoustic derived density and gill net catch: Implications for fish assessments. *Fish Res* 123–124:78–89.
- Dominique Y (2006) Contamination par les différentes formes chimiques du mercure de la composante biologique du barrage hydroélectrique de Petit Saut et des zones amont/aval du fleuve Sinnamary, en Guyane française (étude in situ et approches expérimentales). *These Univ Bordeaux 1 Sci du vivant, géosciences Sci l'environnement*:355p.
- Dominique Y, Maury-brachet R, Muresan B, Vigouroux R (2007) Biofilm and mercury availability as key factors for mercury accumulation in fish (CURIMATA CYPRINOIDES) from a disturbed Amazonian freshwater system. *Environ Toxicol Chem* 26:45–52.

- Draščík V, Godlewska M, Balk H, Clabburn P, Kubečka J, Morrissey E, Hateley J, Winfield IJ, Mrkvička T, Guillard J (2017) Fish hydroacoustic survey standardization: A step forward based on comparisons of methods and systems from vertical surveys of a large deep lake. *Limnol Oceanogr Methods* 15:836–846.
- Durrieu G, Maury-Brachet G, Boudou A (2005) Goldmining and mercury contamination of the piscivorous fish *Hoplias aimara* in French Guiana (Amazon basin). *Ecotoxicol Environ Saf* 60:315–323.
- Dutartre A, Bertrin V (2012) Echantillonnage des communautés de macrophytes des plans d'eau marnants.
- European Commission (2018) Appendix to Guidance Document No. 4 - Establishing Reference Conditions and Objective Setting for Heavily Modified Water Bodies.
- European Commission (2010) Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance Document No. 25, Guidance on Chemical Monitoring of Sediment and Biota under the Water Framework Directive.
- European Commission (2014) Guidance Document No. 32: On biota monitoring (the implementation of EQS biota) under the Water Framework Directive.
- Fontes De Oliveira E, Minte-Vera C V, Goulart E (2005) Structure of fish assemblages along spatial gradients in a deep subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay border). *Environ Biol* 72:282–304.
- Gentès S, Coquery M, Vigouroux R, Hanquiez V, Allard L, Maury-Brachet R (2019) Application of the European Water Framework Directive: Identification of reference sites and bioindicator fish species for mercury in tropical freshwater ecosystems (French Guiana). *Ecol Indic* 106:105468.
- Gentès S, Vigouroux R, Coquery M, Hanquiez V, Allard L, Maury-Brachet R (2017) PROPOSITION DE CONCENTRATIONS DE REFERENCES EN MERCURE DANS L' ICHTYOFAUNE DE GUYANE.
- Gonzalez J-L, Tapie N, Guyomarch J, Budzinski H (2016) Evaluation de la contamination chimique des eaux guyanaises par les techniques d' échantillonnage passif (DGT , SBSE , POCIS) - Application et soutien à la mise en place de la DCE.
- Gourry J. (2008) Etude par méthodes électriques, sismiques et bathymétriques des sédiments du lac Hatillo (République Dominicaine).
- Horeau V, Richard S, Cerdan P (1998) La qualité de l'eau et son incidence sur la biodiversité : l'exemple de la retenue de Petit Saut (Guyane française). *J d'agriculture Tradit Bot appliquée* 40^e année:53–77.
- Jaquelin N, Allenou J-P, Cimiterra N, Gresse J (2017) Analyses des données échantillonneurs passifs sur la Martinique.
- Laffont L (2009) Fractionnement des isotopes stables de mercure dans un écosystème tropical en Amazonie bolivienne et dans les cheveux de populations humaines exposées
- Laperche V, Maury-Brachet F, Blanchard F, Dominique Y, Durrieu G, Massabuau JC, Bouillard H, Joseph B, Laporte P, Mesmer-Dudons N, Duflo V, Callier L (2007) Répartition régionale du mercure dans les sédiments et les poissons de six fleuves de Guyane Rapport final Répartition régionale du mercure dans les sédiments et les poissons de six fleuves de Guyane.
- Lian Y, Ye S, Godlewska M, Huang G, Wang J, Chen S, Zhao X, Du X, Liu J, Li Z (2017) Diurnal, seasonal and inter-annual variability of fish density and distribution in the Three Gorges Reservoir (China) assessed with hydroacoustics. *Limnologica* 63:97–106.
- Mathieu L, Snyder DB, Bedeaux P, Cheraghi S, Lafrance B, Thurston P, Sherlock R (2020) Deep into the Chibougamau area , Abitibi Subprovince : structure of a Neoproterozoic crust revealed by seismic reflection profiling.
- McLachlan AJ (1970) Submerged Trees as a Substrate for Benthic Fauna in the Recently Created Lake Kariba (Central Africa). *J Appl Ecol* 7:253–266.
- De Mérona B (2005) Le fleuve, le barrage et les poissons: Le Sinnamary et le barrage de Petit-Saut en Guyane française.
- Ministère de la Transition écologique et Solidaire (2018) Guide pour la demande de prestation d'échantillonnage et d'analyse physicochimique dans le cadre de la surveillance DCE.

- Mouget A, Argillier C, Dublon J, Poulain T, Ruiz P, Guillard J (2017) Protocole d'utilisation du système RoxAnn(c) pour la classification des fonds lacustres.
- de Paiva Affonso I, Gomes LC, Agostinho, Angelo Antonio Message HJ, Latini JD, García-Berthou E (2016) Interacting effects of spatial gradients and fishing gears on characterization of fish assemblages in large reservoirs. *Rev Fish Biol Fish* 26:71–81.
- Périat G, Vonlanthen P (2014) Etude du peuplement pisciaire du Lac Léman.
- Pettesse ML, Petrere M, Agostinho A (2014) Defining a fish bio-assessment tool to monitoring the biological condition of a cascade reservoirs system in tropical area. *Ecol Eng* 69:139–150.
- Planquette P, Rojas-Beltran R, Le Bail P. (1985) Etude de l'impact du projet d'aménagement hydroélectrique de Petit-Saut sur le peuplement ichthyologique.
- Poulain T, Argillier C, Gevrey M, Guillard J (2010) Caractérisation de la nature des substrats lacustres par hydroacoustique. Rapport d'activité 2010.
- Prado IG, Pompeu PS (2016) Diel vertical migration of fish in a Neotropical reservoir. *Mar Freshw Res* 68:1070–1078.
- Prchalová M, Draščík V, Kubečka J, Sricharoendham B, Schiemer F, Vijverberg J (2003) Acoustic study of fish and invertebrate behavior in a tropical reservoir. *Aquat Living Resour* 16:325–331.
- Sanches BO, Hughes RM, Macedo DR, Callisto M, Santos GB (2016) Spatial variations in fish assemblage structure in a southeastern Brazilian reservoir. *Braz J Biol*:9.
- Santos J de A, Sousa KNS, Santos PRB, Lima JL de, Bacelar R de J (2019) Habitat, limnological signatures and spatial modeling: a zoning proposal for the Curuá-Una hydroelectric reservoir, Pará, Brazil. *Acta Limnol Bras* 31.
- Sissakian C (1997) Présentation générale de l'aménagement hydroélectrique de Petit-Saut (Guyane française) et du programme de suivi écologique lié à sa mise en eau. *Hydroécologie Appliquée* 1–2:1–21.
- Tapie N, Kanan R, Pardon P, Lemenach K, Monti D, Budzinski H (2014) Utilisation d'échantillonneurs passifs de type POCIS pour le suivi de la contamination des eaux de la Guadeloupe.
- Terra BDF, Araújo FG (2011) A preliminary fish assemblage index for a transitional river-reservoir system in southeastern Brazil. *Ecol Indic* 11:874–881.
- Tessier A, Cottet M, Kue K, Chanudet V, Descloux S, Guillard J (2019) Low input of offshore areas to fisheries in a large tropical reservoir in Lao PDR. *Limnology*.
- Tessier A, Descloux S, Lae R, Cottet M, Guedant P, Guillard J (2016) Fish Assemblages in Large Tropical Reservoirs: Overview of Fish Population Monitoring Methods. *Rev Fish Sci Aquac* 24:160–177.
- Uehara W, Albieri RJ, Araújo FG (2015) Structure of fish assemblages in seven tropical reservoirs in southeastern Brazil during the rainy season; what matters: physico-chemical or hydrological connectivity influences? *J Appl Ichthyol* 31:1034–1042.
- Valentini A, Taberlet P, Miaud C, Civade R, Herder J, Thomsen PF, Bellemain E, Besnard A, Coissac E, Boyer F, Gaboriaud C, Jean P, Poulet N, Roset N, Copp GH, Geniez P, Pont D, Argillier C, Baudoin JM, Peroux T, Crivelli AJ, Olivier A, Acqueberge M, Le Brun M, Møller PR, Willerslev E, Dejean T (2016) Next-generation monitoring of aquatic biodiversity using environmental DNA metabarcoding. *Mol Ecol* 25:929–942.
- Vaquer A, Collos Y, Lautier J, Pons V (2002) Le Phytoplancton dans le réservoir de Petit Saut (Mission juillet 2002).
- VIRAVONG, Sinthavong PHOUNSAVATH, Sommano PHOTITAY, Chanthone PUTREA S, CHAN S, KOLDING J, VALBO JØRGENSEN J, PHOUTAVONG K (2006) Hydro-acoustic Survey of Deep Pools in the Mekong River in Southern Lao PDR and Northern Cambodia.

Table des illustrations

Figure 1. Cadre méthodologique de la DCE reposant sur l'élaboration de quatre documents : l'état des lieux, le SDAGE, le programme de mesures et le programme de surveillance.....	7
Figure 2. Différents niveaux d'analyse du réseau de surveillance (Texte DCE, annexe V, 1.3).....	7
Figure 3. Eléments de qualité de suivis pour les plans d'eau naturels (DCE, annexe V, 1.1.2.) et en jaune éléments de qualité résultant de la définition du potentiel écologique (DCE, annexe V, 1.2.5).	9
Figure 4. Localisation des zones d'échantillonnage dans le cadre du programme de surveillance DCE (zones grisées) et stations d'échantillonnage historique sur Petit-Saut (bleu : affluent amont, orange : transition, vert : retenue et rouge : affluent aval) dans le cadre de la surveillance EDF/HYDRECO.....	11
Figure 5. Evolution entre 1995 et 2016 ; en rouge des débits sortants moyens sur 24h, et en bleu des débits entrants moyens sur 24h (source : données EDF/HYDRECO).....	12
Figure 6. Localisation des zones d'échantillonnage pour la morphologie. Chaque zone mesure 5 km X 5 km = 25 km ² et en moyenne chaque zone présente 115 km de linéaire de berges ou d'îlets. Ainsi, il faut compter 2,5j d'échantillonnage par zone en prenant en compte le temps de déplacement entre les stations. La totalité des stations pourront donc être échantillonnées en 12,5 jours de terrain sachant que ce délai est approximatif et dépend fortement de la variabilité spatiale des habitats, de la visibilité ainsi que de la forme du linéaire de berges. Sur Petit-Saut, il faut s'attendre à la présence d'habitats plutôt homogènes mais le linéaire de berges est complexe avec la présence de nombreux îlets.	17
Figure 7. Evolution temporelle de la profondeur de la thermocline (courbe noire) et des limites 4 mg/L (courbe bleue), 2 mg/L (courbe orange) et 1 mg/L (courbe noire). Données EDF/HYDRECO	22
Figure 8. Protocole d'échantillonnage de la physico-chimie de la retenue de Petit-Saut.....	23
Figure 9. Profondeurs de la zone euphotique (2.5 fois le disque de Secchi) et profondeurs de la limite d'oxygène dissous 4 mg/L entre Février 2000 et Octobre 2003. Notons que la transparence n'a pas été mesurée à toutes les campagnes d'échantillonnage. Des exemples de profils de température (bleu) et oxygène (rouge) sont présentés sur cette figure.	26
Figure 10. Concentrations en chlorophylle et bactériochlorophylle dans la couche superficielle de la colonne d'eau des 14 stations sur le transect longitudinal entre Petit Saut et Takari Tanté en juillet 2002 (Vaquer et al. 2002).....	27
Figure 11. Echantillonnage du phytoplancton de la retenue de Petit-Saut. Echantillonnage réalisé à minima à Roche Genipa et si le budget le permet il serait intéressant d'ajouter des stations supplémentaires afin d'évaluer la variabilité spatiale des communautés phytoplanctoniques.	28
Figure 12. Biovolume algal par embranchement dans l'épilimnion de la retenue de Petit-Saut	28
Figure 13. Biovolume algal par embranchement dans les échantillons intégrés de la retenue de Petit-Saut	29
Figure 14. Stratégie d'échantillonnage du phytoplancton.	30
Figure 15. Protocole d'échantillonnage EZSML-2010 : « Protocole d'Échantillonnage des Zones Soumises au Marnage ou Lenticque ». Cette méthode combine des substrats artificiels qui permettent de capturer de façon passive les macroinvertébrés benthiques ou nageurs en pleine eau et des captures actives au filet.	31
Figure 16. Effet de la saisonnalité : boîtes à moustaches du nombre de familles en fonction des stations et boîtes à moustaches de l'indice de Shannon en fonction des stations. Les tests significatifs sont indiqués par *.....	33
Figure 17. Coefficient de variation (σ / \bar{x}) en fonction des stations et des saisons.....	33
Figure 18. Abondance moyenne en macroinvertébrés en fonction des zones, des années et des saisons. En bleu : rivières amont, en rouge : rivière aval, en orange : zone de transition et en vert : lac. Source : données EDF/HYDRECO.	34
Figure 19. Evolution des indices de diversité en fonction des campagnes : histogramme du nombre de familles (A), boîtes à moustaches de l'indice de Simpson (B), boîtes à moustaches de l'indice de Shannon (C).	34

Figure 20. Stratégie d'échantillonnage DCE des invertébrés benthiques de la retenue de Petit-Saut. La localisation et le nombre de stations au sein de chaque zone (sous-ensemble lacustre) dépendra des résultats du protocole CHARLI. Toutefois, le nombre total de stations sera toujours de 15 prélèvements. L'évaluation des paramètres physico-chimiques dans chaque zone n'est pas imposée dans le protocole DCE mais recommandée dans le cadre de la surveillance de Petit-Saut. Cela permet de caractériser les conditions physico-chimiques à proximité des stations de mesure biologique et d'aider à l'interprétation des résultats biologiques.....	35
Figure 21. Biomasse par UEP dans les stations lacustres en fonction des années en saison des pluies (C) et en saison sèche (D). Source : données EDF/HYDRECO.	38
Figure 22. Evolution des indices de diversité en fonction des campagnes : boîtes à moustaches de l'indice de Shannon (A) et et boîtes à moustaches de l'indice d'équitabilité (D). Source : EDF/HYDRECO.....	38
Figure 23. Abondance, biomasse et taille des individus moyens par campagne et station en fonction des mailles utilisées pour l'échantillonnage à l'aide de filets maillants.....	39
Figure 24. Chenal dans la retenue de Petit-Saut	39
Figure 25. Forêt ennoyée dans la retenue de Petit-Saut	40
Figure 26. Zone littorale dans la retenue de Petit-Saut	40
Figure 28. Stratégie d'échantillonnage des poissons de la retenue de Petit-Saut. La mesure des paramètres physico-chimiques dans chaque zone n'est pas imposée dans la DCE mais recommandée dans le cadre de la surveillance de la retenue de Petit-Saut.	41
Figure 29. Stratégie d'échantillonnage DCE de la retenue de Petit-Saut. A l'échelle de la retenue, 3 batteries de filets sont placées dans le chenal soit 5250 m ² de filet ; 6 batteries de filets sont placées dans la forêt ennoyée soit 2100 m ² de filet et 15 batteries de filets sont placées dans les littoraux soit 5250 m ² de filet. Dans le chenal, la totalité de la colonne d'eau oxygénée est échantillonnée. Dans la forêt inondée, uniquement la couche de surface est échantillonnée et enfin dans les littoraux, la zone benthique est échantillonnée. De plus, des paramètres additionnels sont mesurés dans la retenue : (i) paramètres physico-chimiques ; (ii) échantillons de tissus pour l'ADNe et (iii) échantillons d'eau pour l'ADNe.	42
Figure 29. Taux de mercure mesurés dans différentes espèces de la retenue de Petit-Saut	44
Figure 30. Taux de mercure chez <i>Hoplias aimara</i> en fonction de la taille des individus (mm). Données issus des campagnes d'échantillonnage sur Petit-Saut	45
Figure 31. Effectifs par espèces dans la retenue de Petit-Saut (données EDF/HYDRECO 1994 - 2016).....	46
Figure 32. Taux de mercure chez <i>Hoplias Aïmara</i> de taille [30-80cm], <i>Acestrorhynchus falcatus</i> et <i>microlepis</i> de taille [10-25cm] en fonction des zones d'échantillonnage et des périodes (1994 - 1999, 2000 - 2005, 2006 – 2011, 2012 – 2017).....	46
Figure 33. Utriculaires au niveau des berges de la retenue de Petit-Saut. A gauche : © Angélique Bonnet (Irstea) et à droite © Frédérick Jacob (EDF). Octobre 2019.	49
Figure 34. Biofilms sur les troncs immergés de la retenue de Petit-Saut. © Angélique Bonnet (Irstea), Octobre 2019	50
Figure 35. Observations de la loutre géante (<i>Pteronura brasiliensis</i>) dans la retenue de Petit-Saut. Cette espèce est classée « en danger » sur la liste rouge de l'UICN. Elle est inféodée aux écosystèmes aquatiques de forêts tropicales et aux zones humides. Elle construit des tanières sur les berges végétalisées ou les systèmes racinaires des arbres et affectionne les zones poissonneuses dont elle dépend pour son alimentation.	54
Figure 37. Bilan des méthodes d'échantillonnage DCE compatibles pour la retenue de Petit-Saut. En rouge, méthodes recommandées pour un échantillonnage actuel, en bleu les méthodes à développer et besoins R&D et en vert les fréquences de suivis recommandées.	56
Tableau 1. Paramètres et fréquences du contrôle de surveillance des éléments de qualité du potentiel écologique de la retenue de Petit-Saut. Les éléments en rouge sont les fréquences recommandées dans le cadre de la surveillance de la retenue de Petit-Saut. Les éléments entre parenthèses sont les fréquences minimales réglementaires définies dans l'arrêté « surveillance ».	10

Tableau 2. Fréquence de surveillance et estimation des temps nécessaires par élément de qualité. Certains éléments de qualité sont obligatoires dans le cadre de la DCE (débits, bathymétrie, substrat, ALBER/CHARLI) alors que d'autres sont recommandés dans le cadre de la surveillance de Petit-Saut (forêt ennoyée). Les fréquences minimales réglementaires sont comparées aux fréquences conseillées sur Petit-Saut.....	19
Tableau 3. Suivis des paramètres physico-chimiques de la retenue de Petit-Saut adaptée depuis l'annexe IV tableau 32 et l'annexe VI tableau 45 de l'arrêté « surveillance » du 17 octobre 2018. Les éléments en rouge sont les fréquences adaptées dans le cas de Petit-Saut et entre parenthèses les fréquences minimales de l'arrêté surveillance.	21
Tableau 4. Comparaison des biovolumes moyens des échantillons composites par embranchement entre la saison des pluies et la saison sèche et entre les différentes périodes hydrologiques. Les données ne suivent pas des lois normales et ainsi les tests de Wilcoxon-Mann Whitney et de Kruskal-Wallis sont utilisés.	29
Tableau 5. Estimation des temps de mise en œuvre du protocole IML. Les valeurs entre parenthèses correspondent aux temps estimés pour les lacs marnants.	36
Tableau 6. Surveillance des substances de l'état chimique, polluants spécifiques de l'état écologique et substances pertinentes dans les eaux de surface continentales-plans d'eau (arrêté surveillance, tableau 38)...	43

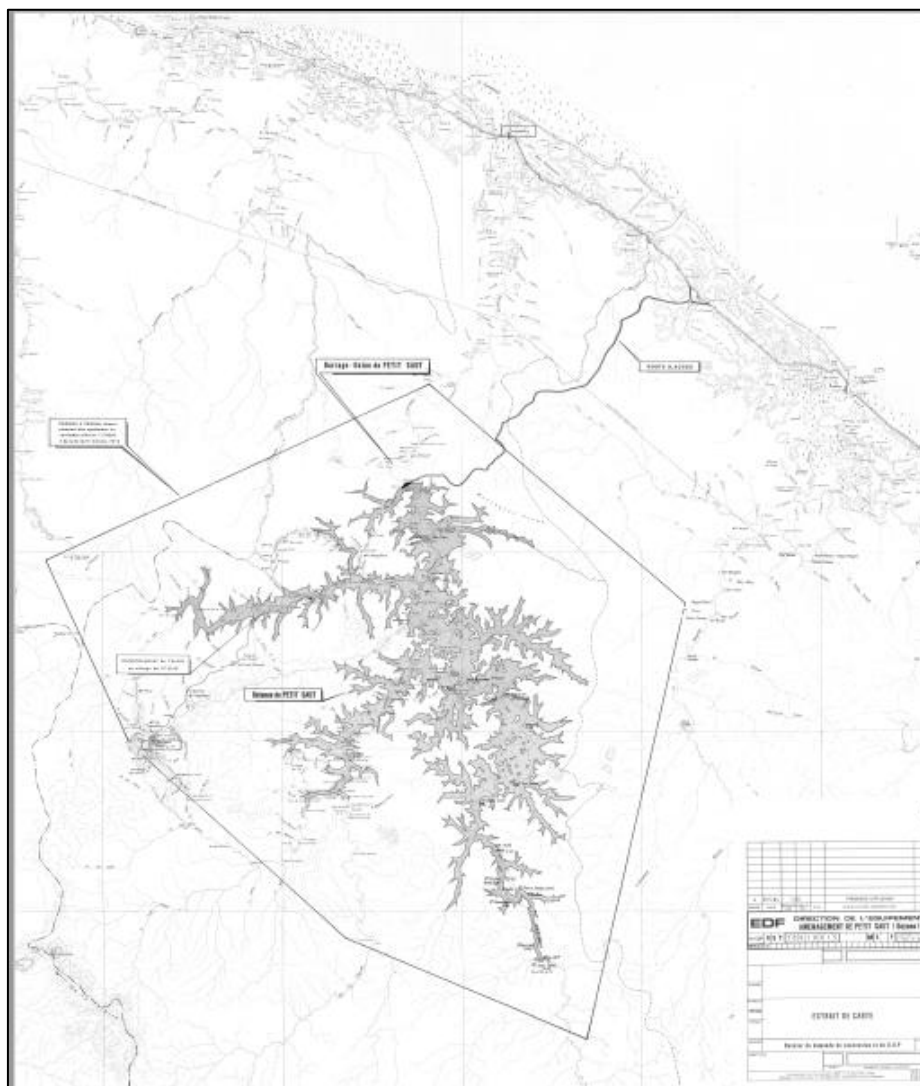
Annexes

Annexe 1 : Fréquence de la surveillance des éléments de qualité de l'état écologique pour les plans d'eau selon arrêté surveillance du 25 janvier 2010 modifié par arrêté ministériel du 17 octobre 2018.

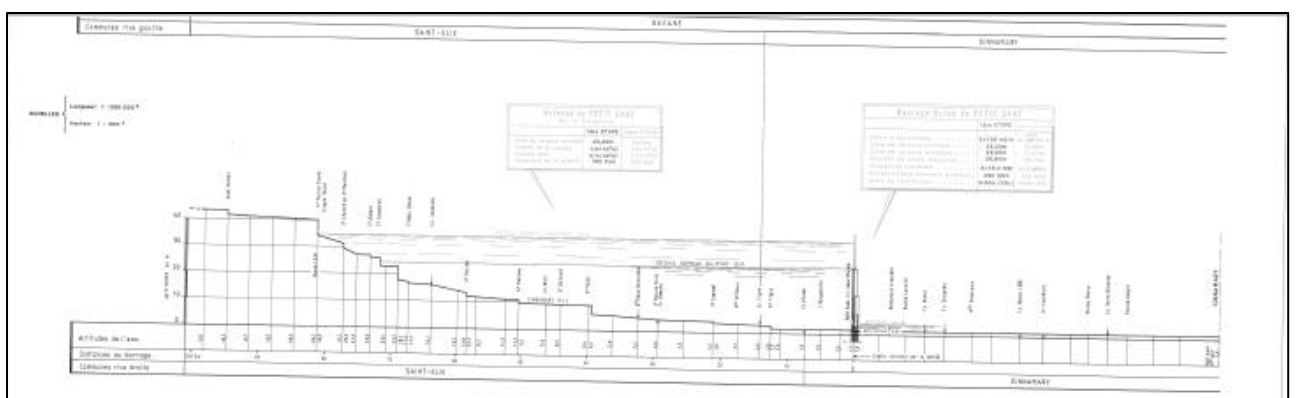
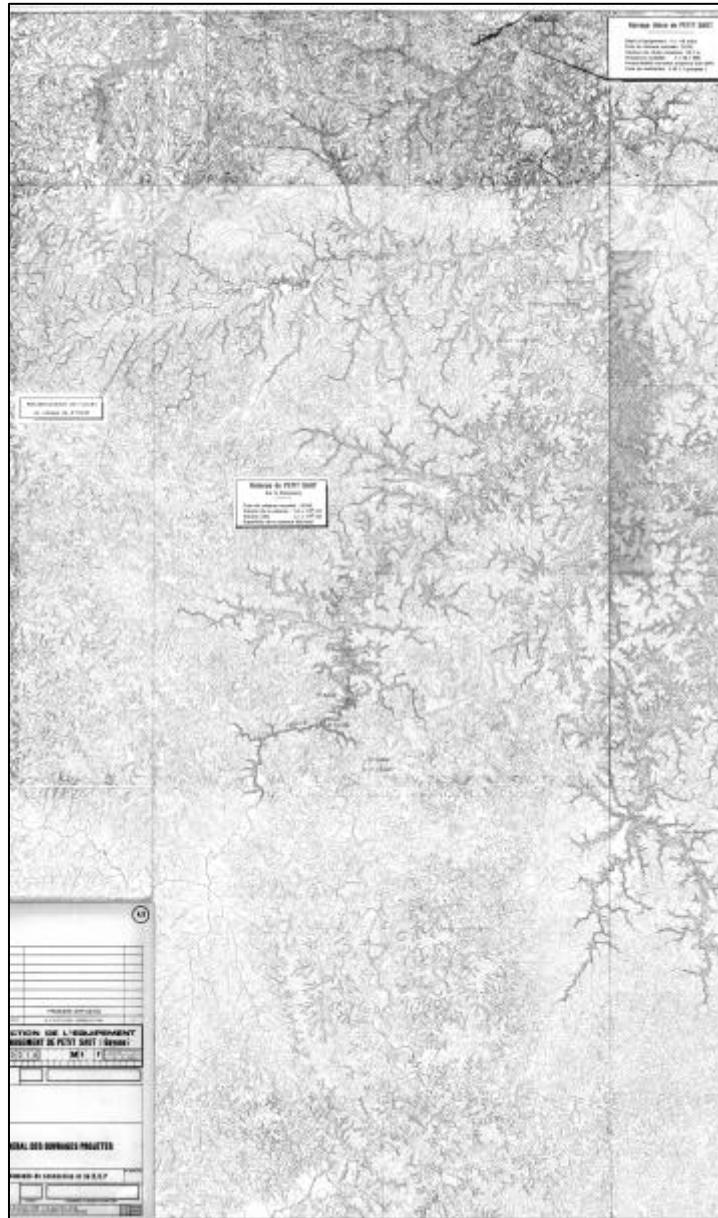
Éléments suivis	Nombre d'années de suivi par SDAGE	Fréquence des contrôles par année
Morphologie	1	1
Hydrologie	1	Variable
Poissons	1	1
Invertébrés	1	1
Phytoplancton	2	4
Macrophytes	1	1
Phytobenthos	1	1
Physico-chimie groupes 1,2, 2bis	2	4
Physico-chimie groupe 3	1	1
Physico-chimie groupes 4, 4bis et 5	1	1
Substances prioritaires	Variable*	Variable*

* Fréquences variables en fonction des paramètres, du support et des années du cycle.

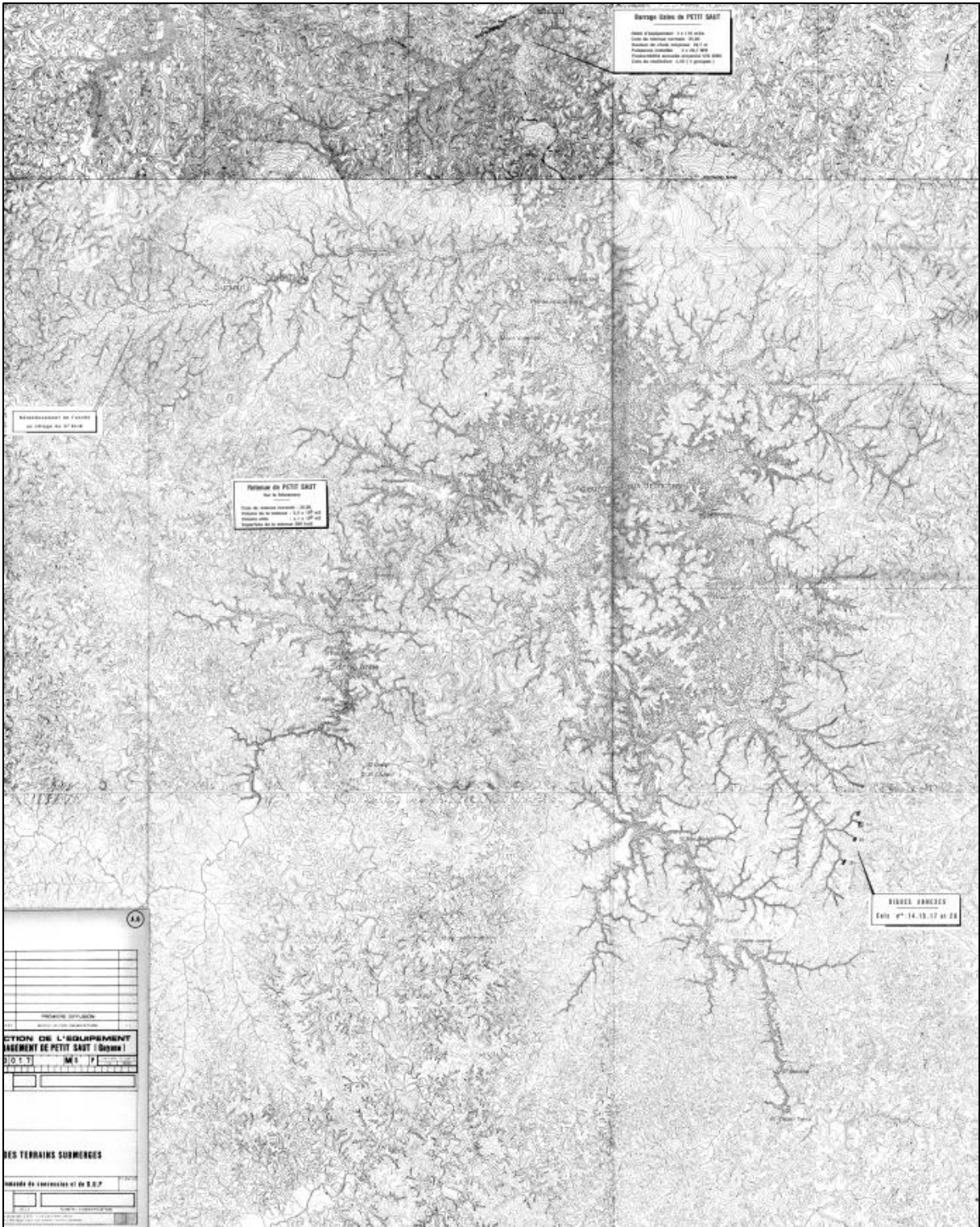
Annexe 2 : Carte bathymétriques de la retenue de Petit-Saut



Extrait de carte au 1 :100 000

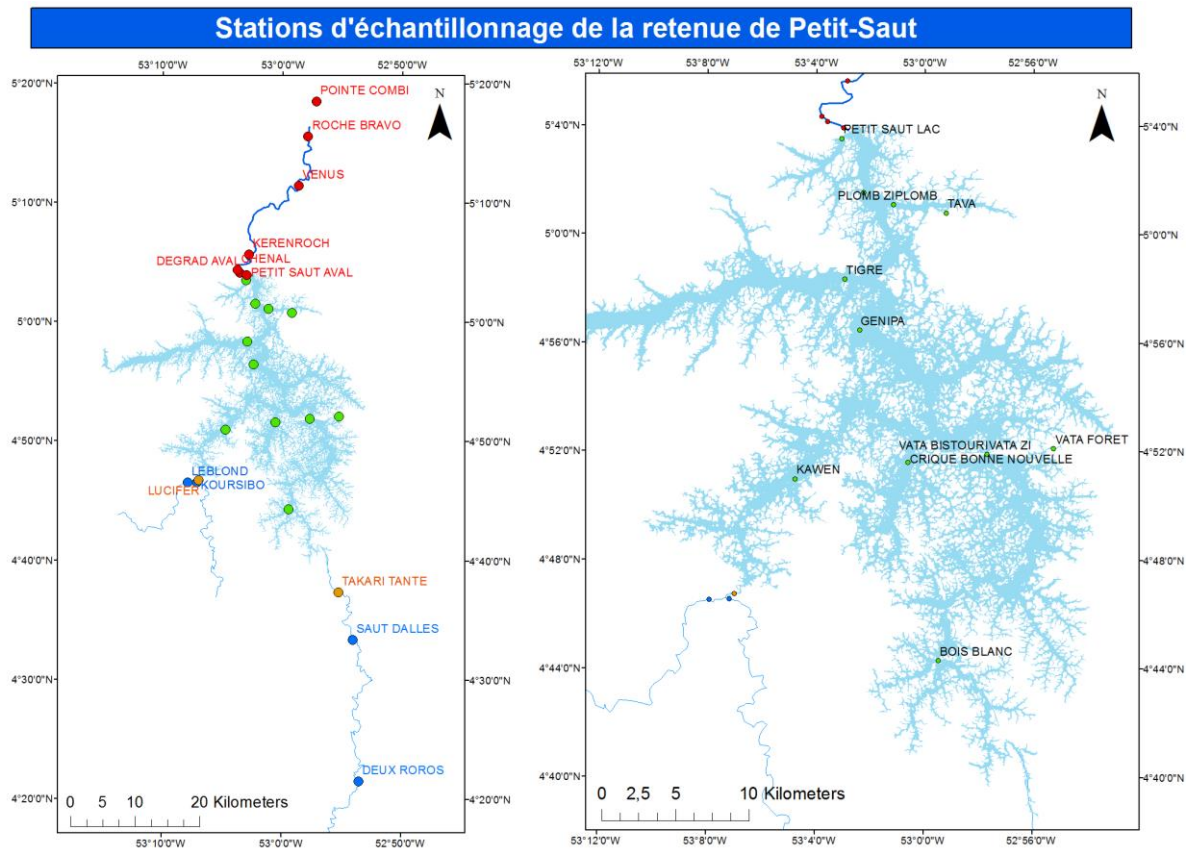


Profil en long du cours d'eau et des ouvrages (1994-1995)



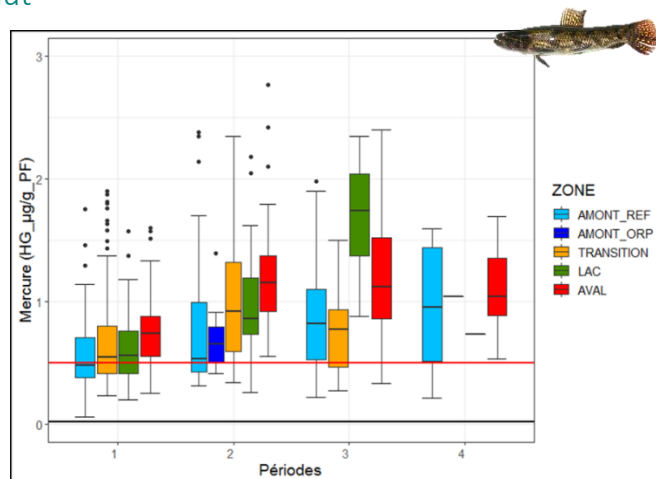
Carte des terrains submergés

Annexe 3 : stations d'échantillonnage EDF/HYDRECO

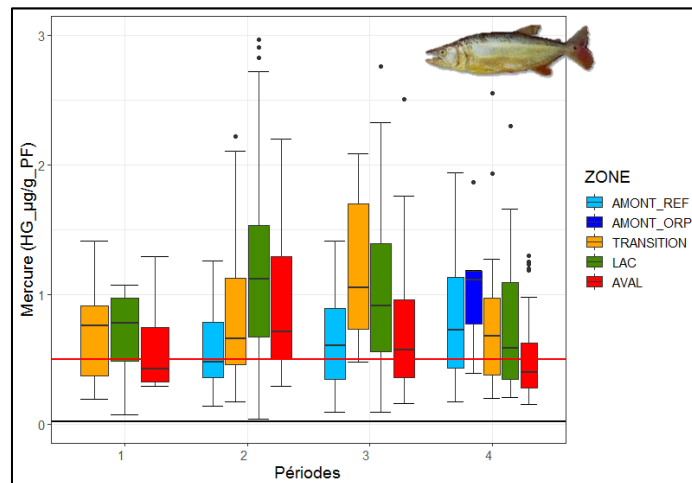


Stations d'échantillonnage Petit-Saut (bleu : affluent amont, orange : transition, vert : retenue et rouge : affluent aval) dans le cadre de la surveillance EDF/HYDRECO

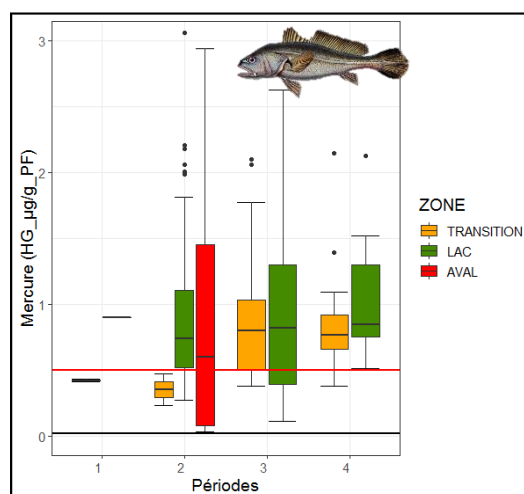
Annexe 4 : Taux de mercure dans plusieurs espèces de poissons du Sinnamary et de la retenue de Petit-Saut



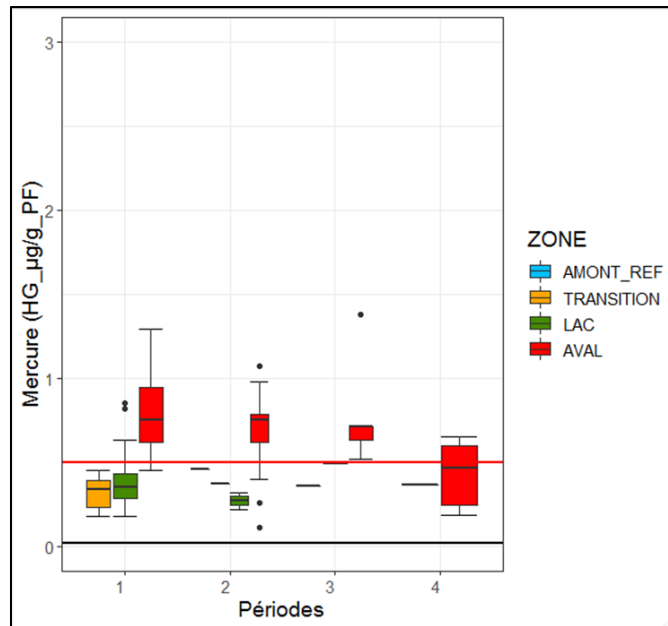
Taux de mercure chez *Hoplias aimara* de taille [30-80cm] en fonction des zones d'échantillonnage et des périodes (1994 - 1999, 2000 - 2005, 2006 - 2011, 2012 - 2017)



Taux de mercure chez *Acestorhynchus falcatus* et *microlepis* de taille [10-25cm] en fonction des zones d'échantillonnage et des périodes (1994 - 1999, 2000 - 2005, 2006 - 2011, 2012 - 2017)



Taux de mercure chez *Plagioscion squamosissimus* de taille [20-55cm] en fonction des zones d'échantillonnage et des périodes (1994 - 1999, 2000 - 2005, 2006 - 2011, 2012 - 2017)



Taux de mercure chez Hoplias malabaricus en fonction des zones d'échantillonnage et des périodes (1994 - 1999, 2000 - 2005, 2006 – 2011, 2012 – 2017)

Irstea

1, rue Pierre-Gilles de Gennes
 CS 10030
 92761 Antony Cedex

01 40 96 61 21

www.irstea.fr

Agence Française pour la Biodiversité

Hall C – Le Nadar
 5, square Félix Nadar
 94300 Vincennes

01 45 14 36 00

www.afbiodiversite.fr