

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'EXPLOITATION MINIERE EN GUYANE

DECEMBRE 2023

Unité Technique Connaissance Guyane (UTC)
Direction des Outre-Mer (DOM)



© H. Antien - OFB

Holyanna ANTIEN
VSC – UTC Guyane – DOM

Stéphanie BARTHE
Responsable de l'UTC Guyane – DOM

Résumé

Le territoire guyanais fait face à de nombreuses problématiques environnementales principalement liées à la présence de l'exploitation minière légale et illégale. Ces activités impactent l'eau, les sols et la biodiversité: le milieu terrestre est déforesté, les sols déstructurés, les cours d'eau détruits et pollués. Les écosystèmes terrestres et aquatiques et les habitats qui leur sont associés sont, quant à eux, fragmentés voire détruits. Face à ces différents enjeux, des mesures de suivi et des contrôles de la filière légale sont réalisés pour limiter les impacts des activités minière sur l'environnement.

Depuis 2020, l'Office Français de la Biodiversité (OFB) met en place des actions de police et de connaissance pour suivre et réduire les impacts de ces activités, en travaillant en collaboration avec les acteurs de la filière. De plus, l'Unité Technique Connaissance Guyane (UTC) conduit, depuis décembre 2022, un nouveau projet afin de développer et d'améliorer la connaissance sur les impacts environnementaux de l'exploitation aurifère sur le territoire. Pour cela, une synthèse bibliographique et un rapport d'opportunités, consacré aux différentes actions qui pourraient être menées par l'UTC Guyane, ont été rédigés.

Remerciements

Nous souhaitons remercier les partenaires guyanais pour leur disponibilité et leur expertise précieuse lors des échanges que nous avons eus. De plus, nous tenons à remercier les agents de l'OFB pour leur contribution.

Mots-clés

Guyane - Exploitation minière légale – Exploitation minière illégale – Impacts - Impact environnemental - Réhabilitation hydromorphologique - Revégétalisation -Office Français de la Biodiversité (OFB) - Unité Technique Connaissance de Guyane (UTC)

Table des matières

Liste des abréviations	3
1. Introduction	5
1.1 Contexte et enjeux du territoire.....	5
1.2 Objectifs de l'étude.....	7
2. État des lieux de l'activité minière en Guyane.....	8
2.1 Potentiel minier et gisements aurifères.....	8
2.2 Réglementation de l'activité minière.....	13
2.2.1 Titres miniers et autorisations de travaux.....	13
2.2.2 Schéma départemental d'orientation minière (SDOM).....	15
2.3 Impacts environnementaux.....	17
2.3.1 Dégradation des paysages.....	18
2.3.2 Pollution des milieux.....	21
2.3.3 Observation des impacts : la télédétection.....	25
2.4 Impacts sur les espèces aquatiques et terrestres	26
2.4.1 Fragmentation des habitats.....	26
2.4.2 Contamination au mercure des espèces.....	27
2.5 Impacts sanitaires et sociaux.....	28
2.5.1 Intoxication des populations	28
2.5.2 Problèmes sociaux.....	30
2.6 Travaux de remise en état.....	31
2.6.1 Réhabilitation hydromorphologique des cours d'eau	31
2.6.2 Revégétalisation des sites alluvionnaires.....	34
Conclusion	36
Bibliographie.....	37
Annexe 1 : Liste des études menées sur l'orpaillage légal et illégal en Guyane	43

Liste des abréviations

AFB : Agence Française pour la Biodiversité

ARS : Agence Régionale de Santé

BE : Bureau d'Etudes

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CHG : Centre Hospitalier Général

DEAL : Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DGTM : Direction Générale des Territoires et de la Mer

DGSRC : Direction Générale des Sécurités, de la Réglementation et des Contrôles

DROM : Département Région d'Outre-Mer

EMOPI : État-Major de lutte contre l'Orpaillage et la Pêche Illicites

ETM : Éléments-traces métalliques

FFEM : Fond Français pour l'Environnement Mondial

IUCN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

LCOI : Lutte Contre l'Orpaillage Illégal

MCO : Mine à Ciel Ouvert

MES : Matière En Suspension

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

OEG : Office de l'Eau de Guyane

OFB : Office Français de la Biodiversité

ONCFS : Office Nationale de la Chasse et de la Faune Sauvage

ONEMA : Office National de l'Eau et de Milieux Aquatiques

ONF : Office National des Forêts

PAG : Parc Amazonien de Guyane

PME : Petite ou Moyenne Entreprise

PNRG : Parc National Régional de Guyane

RNN : Réserve Naturelle des Nouragues

SD : Service Départemental

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SDOM : Schéma Départemental d'Orientation Minière

SIG : Système d'Information Géographique

TPE : Très Petite Entreprise

UG : Université de Guyane

UTC : Unité Technique Connaissance

WWF : World Wildlife Fund

ZNIEFF : Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique

1. Introduction

1.1 Contexte et enjeux du territoire

Située au nord-est de l'Amérique du Sud, la Guyane est un Département Région d'Outre-Mer (DROM) qui couvre une surface de 83 846 km². Elle est bordée, au nord, par l'Océan Atlantique sur une longueur de 370 km et est délimitée, à l'ouest, par le fleuve Maroni frontalier avec le Suriname, et à l'est, le fleuve Oyapock frontalier avec le Brésil. De plus, la Guyane est recouverte à environ 96 % par de la forêt amazonienne équatoriale (Deloitte, 2018). La forêt guyanaise est connue pour abriter une biodiversité exceptionnelle et très diversifiée : 7 000 à 10 000 espèces végétales, 1 800 espèces d'arbres, 1 600 espèces de vertébrés, 743 espèces d'oiseaux, 220 espèces de mammifères et plus de 400 000 espèces d'insectes (IUCN France et al., 2017 ; Deloitte, 2018 ; CHG, 2022). Ce milieu est par ailleurs protégé notamment par la création d'un Parc national, d'un Parc naturel régional, de six réserves naturelles nationales, d'une réserve naturelle régionale et de nombreux autres zonages (ZNIEFF, réserve biologique domaniale...). Le territoire abrite, lui aussi, une faune aquatique très riche : 461 espèces dont 367 espèces de poissons dulcicoles qui ont pu être recensés (Le bail et al., 2012).

Néanmoins, le territoire guyanais fait face à divers enjeux environnementaux, sociaux, sanitaires, politiques et économiques notamment liés à la présence de l'or, une ressource naturelle exploitée et commercialisée à l'échelle internationale. En effet, localisée sur le Plateau des Guyanes (ou Bouclier des Guyanes), la Guyane possède un potentiel aurifère important qui suscite un grand intérêt et ce, depuis la découverte de quelques grammes d'or par Joseph Paoline, un orpailleur brésilien, sur la crique Aicoupaie (affluent de l'Approuage) dans l'est guyanais, dès le milieu du XIXe siècle (Matheus, 2018 ; Eglinger et al., 2020). Son potentiel est tel que des activités minières légales et illégales se sont implantées au fur et à mesure sur le sol guyanais. Le développement de ces activités est, par ailleurs, fortement corrélé à la fluctuation du cours de l'or à l'échelle mondiale (Deloitte, 2018).

Pourtant, malgré une hausse du cours de l'or depuis la fin du XXe siècle, une baisse importante de la production d'or légale a pu être identifiée à partir des années 2000 sur le territoire (Figure 1). En effet, une prise de conscience collective de la fragilité des écosystèmes et de l'impact des exploitations minières sur ces derniers s'est développée, à l'origine de la mise en place d'un cadre réglementaire pour protéger le milieu naturel (Melun et al., 2020 ; Larrousturou, 2021), telles que : l'interdiction des barges fluviales en 1996, l'extension et l'adaptation du Code Minier métropolitain aux DROM en 2001, l'interdiction du mercure (Hg) pour les exploitations aurifères depuis le 1^{er} janvier 2006 ainsi que l'entrée en vigueur du Schéma Départemental d'Orientation Minière (SDOM) en 2011 qui définit les zones où l'exploitation est autorisée et interdite (SDOM, 2011 ; Marquis, 2015 ; Larrousturou, 2021). Depuis 2015, la production d'or légale par an en Guyane stagne entre 1,1 et 1,5 tonnes, ce qui représente environ 0,4 % de la production aurifère mondiale ; *a contrario*, la hausse du cours de l'or ces dernières années attirent de nombreux orpailleurs illégaux sur le territoire : entre 10 et 12 tonnes d'or sont produites illégalement chaque année (Larrousturou, 2021).

Ces exploitations illégales ne respectent aucune réglementation et ne dispose d'aucune autorisation officielle pour exploiter l'or sur le territoire. Et malgré les opérations de la Lutte Contre l'Orpaillage Illégal (LCOI) menées par les forces de l'ordre depuis le début des années 2000 (« Anaconda », « Harpie I », « Harpie II »), ces activités persistent sur le territoire et constituent une réelle menace.

Qu'elles soient légales ou illégales, les exploitations aurifères exercent une pression majeure sur le milieu. Elles impactent durablement le milieu terrestre et aquatique : dégradation des paysages (déforestation, destruction du réseau hydrographique, déstructuration des sols), pollution des milieux (rejet d'éléments-traces métalliques ou ETM, rejet d'hydrocarbures, rejet de matières en suspension ou MES, abandon des déchets et d'épaves) (Brognoli, 2004 ; Melun & Le Bihan, 2020 ; ONF, 2022). La biodiversité associée à ces milieux est également fortement impactée. Ces activités touchent également la santé humaine (intoxication, risques d'accidents) et génèrent des problèmes sociaux importants (insécurité, conflits, immigration clandestine) (Brognoli, 2004).

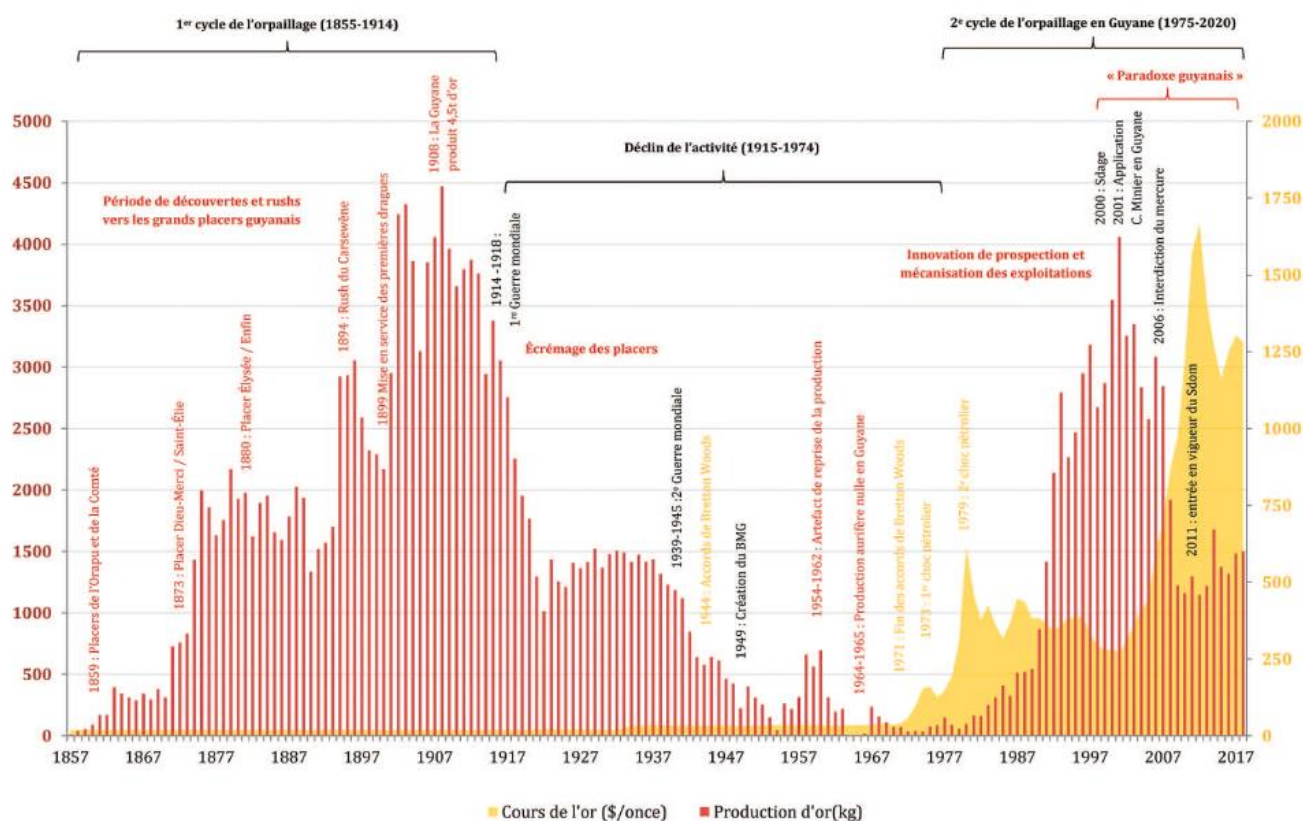


Figure 1. Production légale de l'or en Guyane de 1857 à nos jours (Réalisation : G. Melun et M. Le Bihan – OFB d'après les données des archives territoriales de Guyane ; Pico et al., 1995 ; Matheus, 2019 ; World Gold Council – gold.org)

1.2 Objectifs de l'étude

De nombreux acteurs institutionnels, techniques et scientifiques se sont emparés de ces différentes problématiques auxquelles fait face le territoire. Plusieurs projets ont vu le jour dans le but de comprendre et de limiter les impacts de l'orpaillage légal et illégal mais aussi de proposer des solutions efficaces et durables. Cependant, afin de mieux appréhender la manière dont il faut intervenir pour limiter ces impacts et permettre une bonne remise en état du milieu, il semble nécessaire de comprendre comment fonctionnent ces activités et le milieu sur lequel elles se sont implantées. Inscrit dans le Code Minier, l'obligation de remise en état d'un site après exploitation n'est pourtant pas toujours respectée par les opérateurs miniers légaux.

Afin de mieux cerner les potentielles stratégies d'actions de l'UTC Guyane, il a été rédigé deux documents : une synthèse bibliographique sur l'état des connaissances de l'orpaillage légal et illégal en Guyane et un rapport interne sur les opportunités d'étude de l'UTC sur l'impact de l'exploitation minière en Guyane.

Les informations, sur l'exploitation minière légale et illégale, recueillies dans cette synthèse proviennent, d'une part, de documents bibliographiques qui ont été récupérés auprès des partenaires ou en ligne : thèses de doctorat, mémoires de recherche, rapports techniques, articles scientifiques, articles de revue, documents officiels édités par l'État (lois, décrets, règlements) et documents à diffusion restreinte. De plus, afin d'avoir une vision globale des impacts, l'agent en charge de la thématique a pu effectuer, en interne, une mission sur le terrain avec le SD de l'OFB et, avec l'Office National des Forêts (ONF), une mission héliportée de reconnaissance aérienne de sites légaux et illégaux.

2. État des lieux de l'activité minière en Guyane

2.1 Potentiel minier et gisements aurifères

À la suite de la découverte de quelques grammes d'or en 1854, la présence de gisements aurifères sur le territoire est reconnue et officialisée en 1855 lors d'une nouvelle expédition guidée par Joseph Paoline sous la direction de Félix Couy (Picot *et al.*, 1995 ; Eglingler *et al.*, 2020 ; Melun & Le Bihan, 2020). En 1857, débute la production officielle de l'or avec la création d'une toute première compagnie minière sur le territoire guyanais « La Compagnie Aurifère et Agricole de l'Approuague » exploitant la crique Aicoupaie (Picot *et al.*, 1995, Picot *et al.*, 2015).

Progressivement, la découverte de gisements aurifères sur le territoire s'intensifie. Il a pu être mis en évidence que ces derniers se situaient sur des secteurs géologiquement propices à leur présence : les ceintures de roches vertes (Figure 2) (Melun & Le Bihan, 2020 ; Eglingler *et al.*, 2020). Ces formations, dominées par des roches volcano-sédimentaires, se trouvent sur un vaste ensemble géologique : le Plateau des Guyanes (Figure 3), essentiellement formé pendant l'orogénèse transamazonienne (entre 2,26 et 1,95 Ga). Cet ensemble Précambrien se situe au nord-est de l'Amérique du sud et s'étend sur plus de 1,5 millions de km² du sud-est de la Colombie et de l'est du Venezuela jusqu'au nord-ouest du Brésil en passant par le Guyana, le Suriname et la Guyane (Roig & Moisan, 2011 ; Théveniaut *et al.*, 2012 ; Eglingler *et al.*, 2020 ; Kroonenberg *et al.*, 2020 ; Jébrak *et al.*, 2020).



Figure 2. Plateau des Guyanes ©Semhur

POTENTIEL MINIER DE LA GUYANE

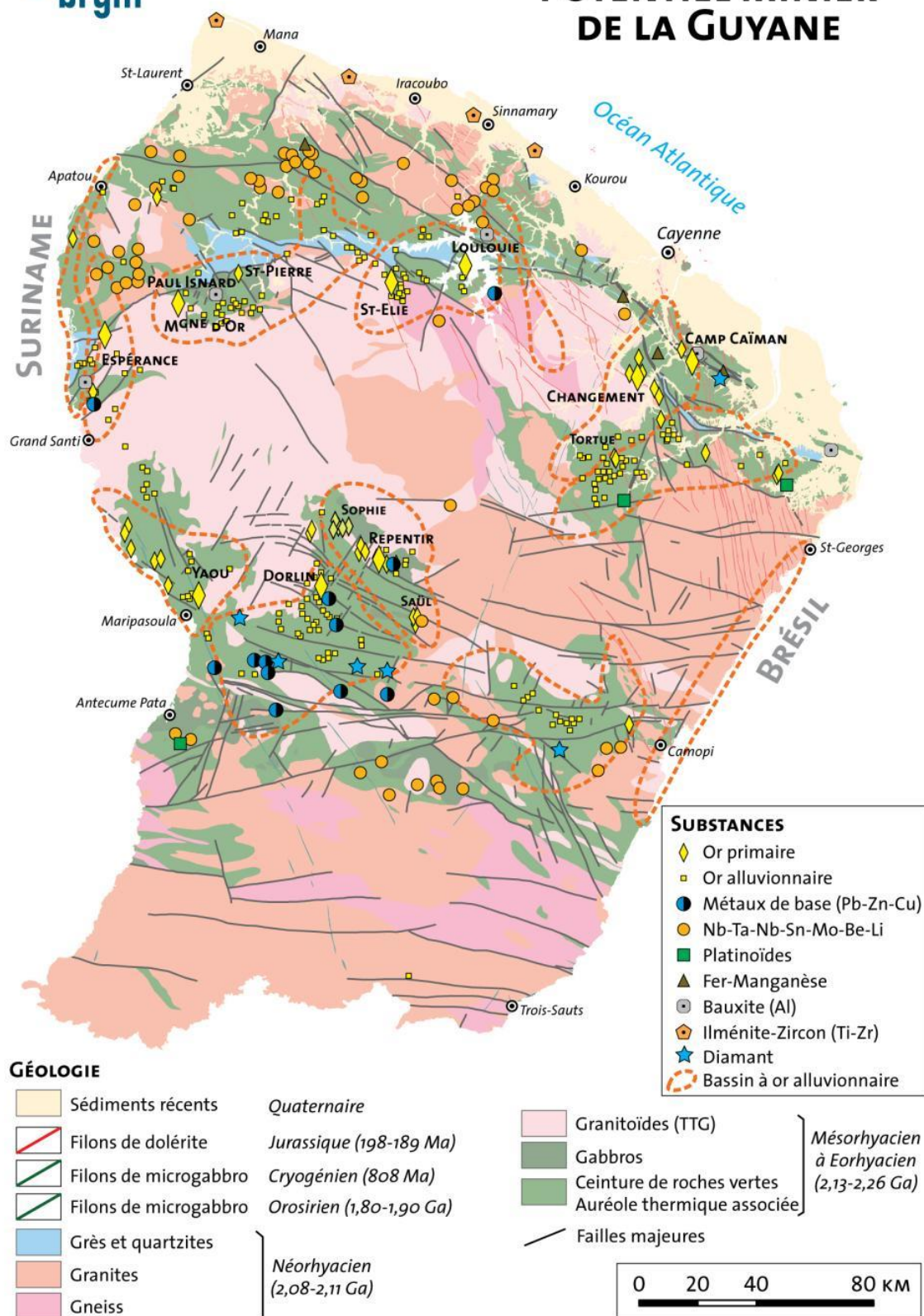


Figure 3. Potentiel minier de la Guyane (Source : Thomassin et al., 2017)

Les gisements aurifères exploités en Guyane sont de deux types : primaire et secondaire. **Les gisements primaires** correspondent à l'extraction de l'or dans la roche-mère, plus précisément, il s'agit de l'extraire soit dans la roche profonde ; soit dans la roche saprolithique (Figure 7, 8). **Les gisements secondaires ou alluvionnaires** correspondent, quant à eux, à l'exploitation des particules aurifères qui proviennent de l'altération de la roche-mère par l'érosion et qui se sont déposées par la suite dans le fond des vallées et dans le lit des cours d'eau au sein des dépôts alluviaux (Figure 5, 6). Ces particules issues de la décomposition chimique et mécanique de la roche-mère peuvent également rester sur place : ce sont des gisements de type éluvionnaires. Elles peuvent également être remobilisées et s'accumuler au pied des versants, il s'agit ici de gisements de type colluvionnaires (Eglinger *et al.*, 2020 ; Melun & Le Bihan, 2020).

Les activités aurifères légales se concentrent essentiellement sur des gisements alluvionnaires et sont de type semi-artisanal (Figure 5) avec un total de 49 sites actifs dénombrés fin 2021 ; la ressource aurifère primaire est, quant à elle, quasiment intacte, 1 site actif légal a été dénombré pour la même année (Figure 4) (ONF, 2022). Le nombre de sites actifs illégaux est bien plus élevé, il a été dénombré environ 60 sites primaires et 277 sites alluvionnaires fin 2021 (Figure 4) (ONF, 2022).

Depuis le milieu du XIXe siècle, environ 660 tonnes d'or dont 235 tonnes provenant de l'activité minière légale ont été extraites du sol guyanais (Melun & Le Bihan, 2020 ; Larrousturou, 2021). Aussi, il semblerait qu'une grande partie des gisements alluvionnaires ai déjà été exploitée : **la quantité restante d'or exploitable serait estimée à 167 tonnes tandis que le potentiel exploitable d'or primaire serait estimé à 210 tonnes** (Pico & Chevillard, 2015). De plus, des barges de dragage de l'or, pourtant interdites sur le territoire guyanais depuis 1996, sont toujours présentes sur les rives surinamaises. En septembre 2020, 30 barges fluviales ont été dénombrées sur le Maroni (Figure 9) (d'après le JO Sénat, 2020).

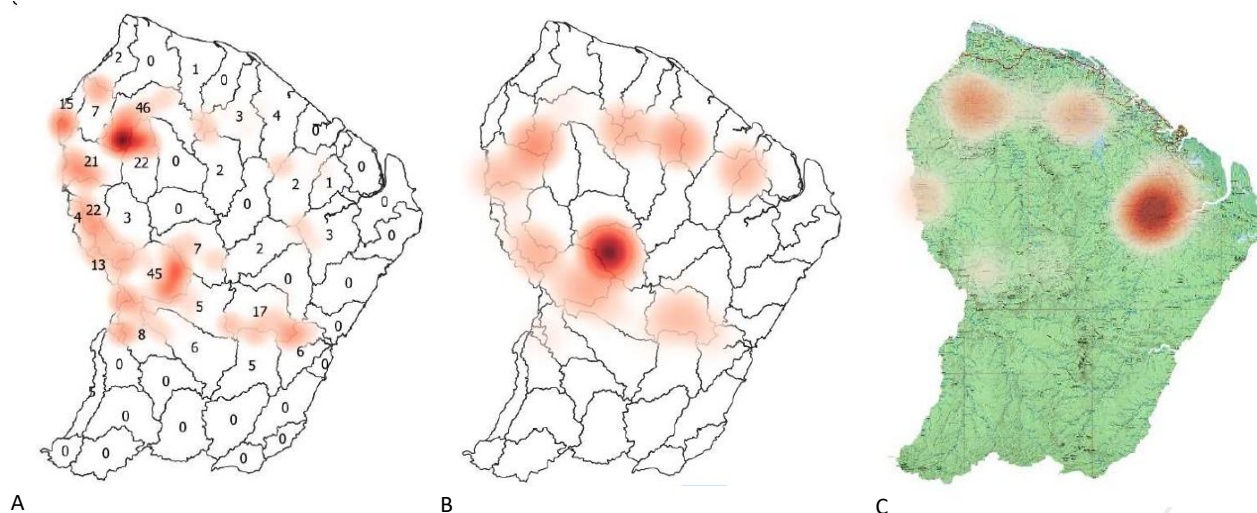


Figure 4. Carte de chaleur. A. Localisation des 277 sites alluvionnaires illégaux actifs (2021) ; B Localisation des 60 sites primaire illégaux actifs (2021). C. Localisation des 50 sites légaux actifs dont 49 alluvionnaires et 1 primaire (2021) (*Bilan ONF, 2022*)



Figure 5. Activité alluvionnaire légale de type semi-artisanal en cours d'exploitation
© O. Scammacca – IRD, 2023



Figure 6 : Activité alluvionnaire illégale © O. Scammacca – IRD, 2023



Figure 7. Activité primaire légale – Exploitation de surface aussi appelée Mine à Ciel Ouvert (MCO) © ONF (droite), © SMSE (gauche)



Figure 8. Activité primaire illégale - Puits creusés © Forces armées de Guyane (droite), © EMOPI (gauche)



Figure 9. Barge fluviale sur le Maroni © Konomeru, 2019

2.2 Réglementation de l'activité minière

Les activités aurifères illégales représentent un véritable fléau pour le territoire, elles sont incontrôlables et ne respectent aucune réglementation en vigueur. Pourtant, la prospection et l'exploitation de l'or est bien encadrée et réglementée depuis l'extension du Code Minier métropolitain aux départements d'Outre-Mer, dont la Guyane, en 2001.

- **Code Minier fondé en 1956 ;**
- **Loi n°98-297 du 21 avril 1998 :** Extension partielle et adaptation du Code Minier métropolitain aux départements d'Outre-Mer ;
- **Arrêté n°1232/SG du 8 juin 2004 :** Interdiction de l'utilisation du mercure pour l'orpaillage en Guyane à partir du 1^{er} janvier 2006 ;
- **Schéma Départemental d'Orientation Minière (SDOM),** instauré par la loi n°2009-594 du 27 mai 2009, entré en vigueur suite au décret n°2011-2105 du 30 décembre 2011.

2.2.1 Titres miniers et autorisations de travaux

Le Code Minier encadre la délivrance de titres miniers et d'autorisations de travaux. La prospection et l'exploitation des gisements aurifères peuvent être réalisées suite à l'obtention de titres miniers : permis exclusif de recherche (PER), concession ou d'autorisations de travaux : autorisation de recherche minière (ARM), autorisation d'exploitation (AEX). Les opérateurs miniers font une demande de titre ou d'autorisation sur des zones géologiquement riches en minéraux, le long de la ceinture de roches vertes (Figure 11). A noter que sur le territoire, les AEX sont les plus demandées et utilisées (Figure 10), pour cette raison, cette synthèse bibliographique s'intéressera aux impacts engendrés par ces autorisations de travaux.

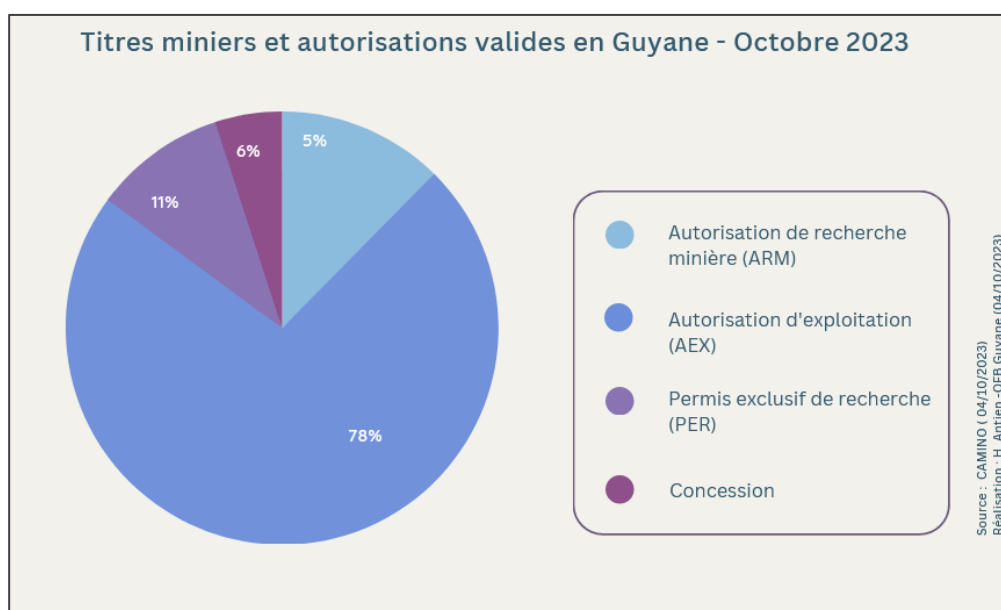


Figure 10. Titres miniers et autorisations de travaux valides en Guyane en octobre 2023. Les valeurs ont été approchées à l'unité près. (Réalisation : H. Antien – OFB)

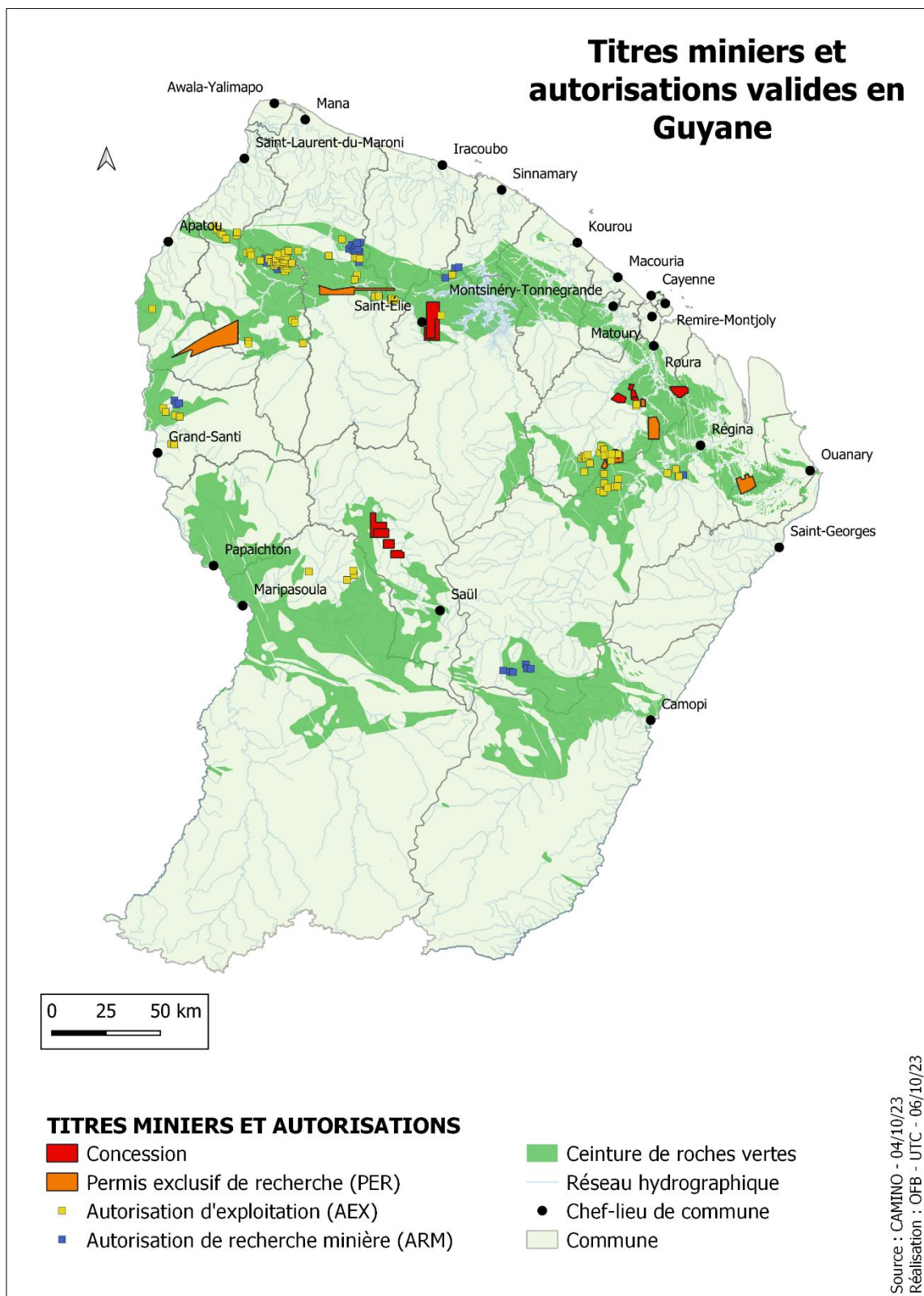


Figure 11. Titres miniers et autorisations de travaux délivrés en Guyane et toujours valides en date du 04 octobre 2023. Pour mieux visualiser les AEX et ARM, les figurés et leurs tailles ont été modifiés. (Réalisation : H. Antien – OFB d'après les données CAMINO)

Ces titres et autorisations de travaux permettent à l'opérateur minier de rechercher ou d'exploiter l'or selon des conditions bien définies (Tableau 1). **A l'heure actuelle, le Code Minier a été réformé.** Cette réforme a été initiée par la loi Climat et Résilience du 22 août 2021 et sera effective à partir du 1^{er} juillet 2024 ; elle a apporté des changements significatifs dans la réglementation de l'activité.

CARACTÉRISTIQUES	AEX	ARM	PER	CONCESSION
Nature	Autorisation	Autorisation	Titre minier	Titre minier
Type de travaux	Exploitation	Recherche	Recherche	Exploitation
Surface	< 25 ha / entre 25 et 100 ha	3 km ²	Libre	Libre
Forme	Libre	Carrée / rectangulaire	Libre	Libre
Durée et renouvellement	4 ans renouvelable 1 fois / 10 ans max non renouvelable	Jusqu'à 2 ans max non renouvelable	15 ans max renouvelable	50 ans max prolongeable par période de 25 max
Délivré par	Arrêté préfectoral	Arrêté préfectoral après accord préalable de l'ONF	Arrêté ministériel	Décret en conseil d'Etat
Type de sociétés	TPE / PME	TPE / PME	PME / multinationale	PME / multinationale

Tableau 1. Caractéristiques des titres miniers et autorisations de travaux suite à la réforme du Code Minier. Les dispositions modifiées sont en rouges. Le permis d'exploitation (PEX) très peu utilisé, a été supprimé. (Réalisation : H. Antien – OFB, d'après : Marquis, 2015 ; Réforme du Code Minier, 2022 ; DGPR – SRT, 2023)

2.2.2 Schéma départemental d'orientation minière (SDOM)

Le SDOM est un document de planification et de programmation de la gestion minière en Guyane qui définit les zones dans lesquelles il est possible de prospecter pour la recherche minière, de s'implanter et d'exploiter les gisements (SDOM, 2011). Ce zonage identifie les secteurs dans lesquels l'activité minière est autorisée sous contraintes, autorisée ou interdite (Figure 12). De plus, le SDOM impose des restrictions réglementaires pour l'exploitation alluvionnaire : il est obligatoire de travailler en circuit fermé et de ne pas rejeter plus de 35 mg/l de matière en suspension (MES). De plus, ces activités sont interdites si la largeur du lit mineur du cours d'eau dépasse les 7,5 m et si les terrasses se situent à moins de 35 m du cours d'eau depuis la berge (SDOM, 2011). Afin que ces directives soient appliquées, une méthode de mesure a été mise en place, expérimentée sur le terrain et rendue exigible le 1^{er} janvier 2017 : il s'agit du protocole CARLA (caractérisation de la largeur des cours d'eau) (Thusy, 2014). Ce dernier incorpore des aspects du protocole CARHYCE (caractérisation hydromorphologique des cours d'eau) permettant le recueil de données hydromorphologiques (Gob et al., 2014 ; Baudoin et al., 2017).

Zonages du schéma départemental d'orientation minière (SDOM) en Guyane

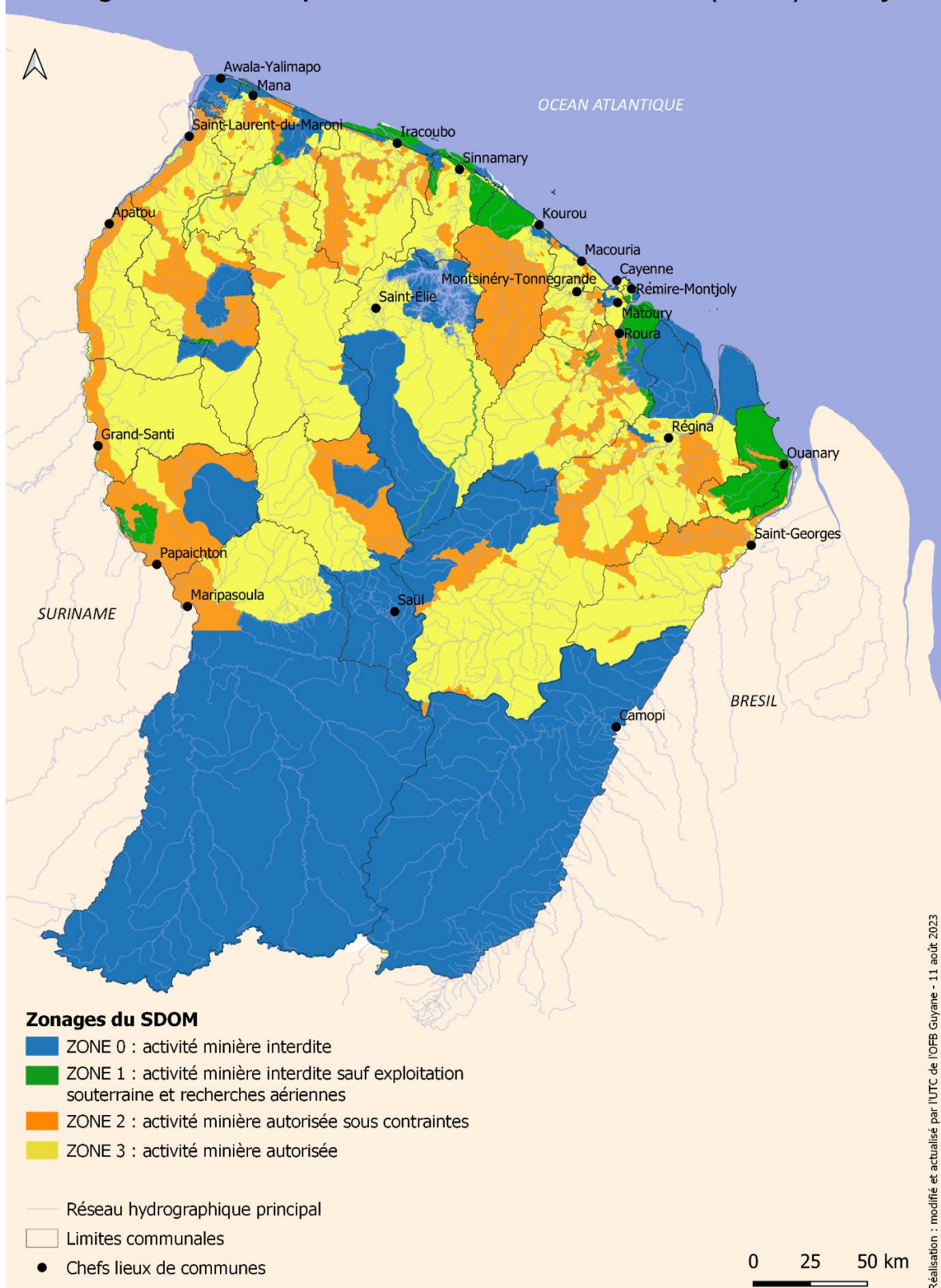


Figure 12. Zonages du SDOM en Guyane (Carte modifiée et actualisée par H. Antien – OFB d'après les cartes réalisées par la DEAL Guyane en 2011)

2.3 Impacts environnementaux

La Guyane, dont le climat est équatorial et humide, dispose d'une stabilité climatique du fait de sa proximité avec l'équateur et de sa façade maritime, avec une température annuelle moyenne de 26°C. Le territoire est marqué par une grande saison des pluies (avril/mai-août), une grande saison sèche (mi-août-novembre), une petite saison des pluies (novembre/décembre-janvier/février) et une petite saison sèche aussi appelée « petit été de mars » (février-mars). Cependant, le changement climatique est actuellement un enjeu majeur auquel fait face le territoire et ses impacts sont également à prendre en compte. A la demande des collectivités, le projet Guyaclimat (2020 – 2022), lancé par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et Météo France, présente les principaux changements qu'il pourrait y avoir sur le territoire. Ces projections annonceraient une augmentation des jours secs, une diminution des jours de fortes pluies et une augmentation de la fréquence des jours et nuits chaudes (Longueville et al., 2022).

Actuellement, la pluviométrie est particulièrement importante, entre 2000 et 4000 mm de pluie tombent chaque année. La forte pluviométrie ainsi que la faible perméabilité du substrat rocheux expliquent ainsi la présence d'un réseau hydrographique très dense comptant 14 bassins versants dont deux transfrontaliers (Maroni, Oyapock) et environ 112 000 km de cours d'eau qui s'étendent sur tout le territoire (Figure 13) (Melun & Le Bihan, 2020 ; SDAGE, 2022-2027). Les fleuves et rivières de Guyane subissent pourtant une forte pression issue de l'orpaillage alluvionnaire légal et illégal, tout comme le milieu forestier.

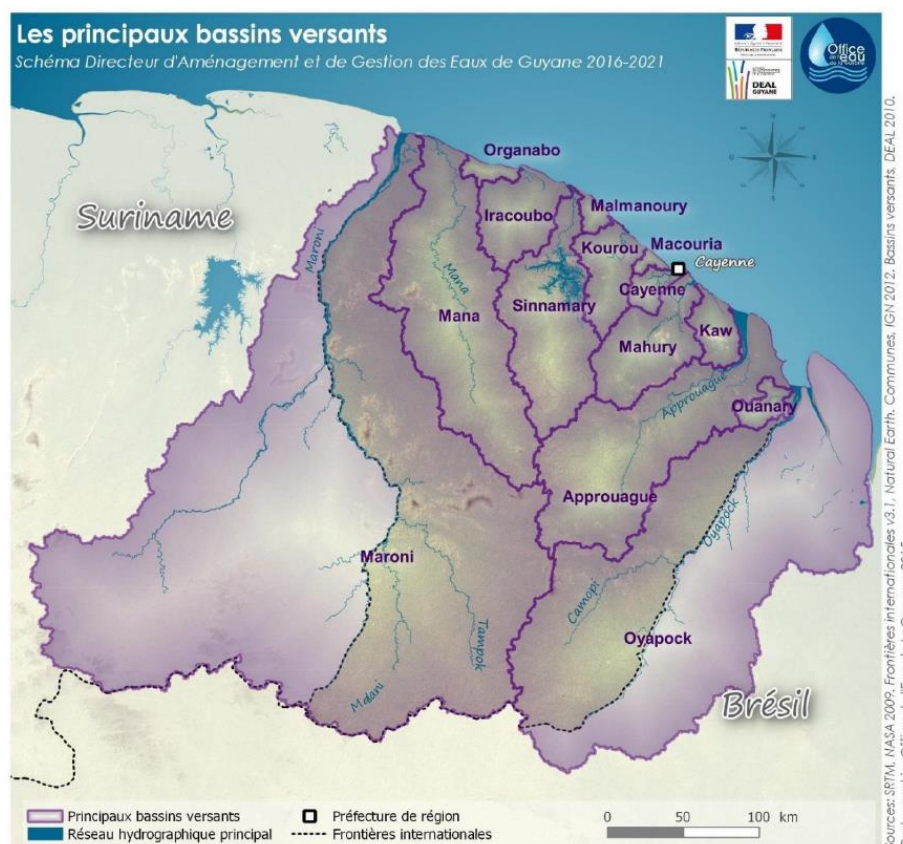


Figure 13. Les principaux bassins versants en Guyane (SDAGE 2016-2021)

2.3.1 Dégradation des paysages

Qu'elles soient légales ou illégales, les exploitations aurifères sont à l'origine d'une dégradation majeure des paysages : destruction du milieu forestier, destruction du cours d'eau, déstructurations des sols et des horizons superficiels et pollution mécanique. Ces impacts sur le milieu sont plus ou moins variables selon le type d'exploitation (Tableau 2). A noter que la dégradation des paysages est difficilement visible dans le cas de l'exploitation aurifère illégale à cause de la canopée qui cache une grande partie de ces activités.

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	EXPLOITATION PRIMAIRE	EXPLOITATION ALLUVIONNAIRE
Destruction du milieu forestier	✓	✓
Destruction du cours d'eau	✓	✓
Déstructuration des sols	✓	✓
Pollution mécanique	✓	✓

✓ Impact limité ✓ Impact élevé

Tableau 2. Comparaison des principaux impacts environnementaux induits par l'exploitation primaire et alluvionnaire (légale et illégale) (Réalisation : H. Antien – OFB)

La déforestation

Les surfaces exploitables sont déforestées, mais d'autres zones sont également impactées notamment à proximité du site pour la construction de pistes d'accès, de bases-vie et de plateformes techniques pour le matériel et les engins. D'après le bilan annuel 2022 de l'ONF, **541 Ha de forêt issues de l'orpaillage illégal ont été détruits en 2022, a contrario, 449 Ha de forêt issus de l'orpaillage légal ont été détruits la même année**. La forêt guyanaise a lourdement été impactée par l'activité minière : **depuis 2001, 32 054 Ha de forêt ont disparu** (ONF, 2023). Cependant, l'essentiel de la déforestation se situe sur l'ouest du territoire, sur les bassins versants du Maroni et de la Mana (ONF, 2023) (Figure 14).

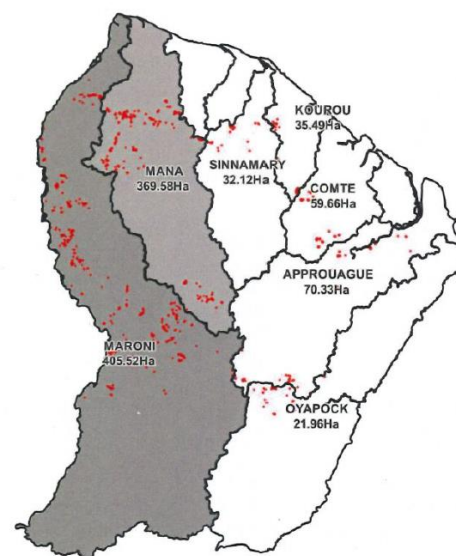


Figure 14. Surfaces déforestées par l'orpaillage en 2022 (Bilan ONF, 2023)

Destruction du cours d'eau

L'orpaillage alluvionnaire est une réelle catastrophe environnementale puisqu'il impacte durablement les cours d'eaux guyanais. En effet, les criques sont dérivées et canalisées sur les marges du flat limitant par la suite un retour à un état écologique fonctionnel. **En 2022, 64 km de cours d'eaux issus de l'orpaillage illégal ont été détruits et 27 km de cours d'eau issus de l'orpaillage légal.** Les bassins versants guyanais sont lourdement impactés par l'activité minière : **depuis 2003, 3 519 km de lits mineurs ont été détruits** (ONF, 2023). Par ailleurs, le Maroni concentre plus de la moitié des exploitations aurifères illégales présentes sur le territoire guyanais. Ce fleuve est pourtant d'une richesse remarquable : il abrite environ 242 espèces de poissons dulcicoles sur 367 espèces de poissons présentes au total en Guyane (Le Bail et al., 2012 ; Melun et al., 2020). Ces activités minières, qu'elles soient légales ou illégales, exercent une forte pression sur le paysage pourtant riche et diversifié. En Guyane, les masses d'eau de surface sont fortement impactées, leur l'état écologique est classé de moyen à mauvais à proximité des zones où l'orpaillage légal et illégal prédomine (Figure 15) (SDAGE, 2022-2027).



Figure 15. L'état écologique des masses d'eau de Guyane (SDAGE, 2022-2027)

Déstructuration du sol et des horizons superficiels

Les sols sont particulièrement impactés par l'activité alluvionnaire légale (Figure 16). La déforestation perturbe fortement le fonctionnement des sols. Ces derniers sont nus, lessivés et déstructurés. En effet, ils peuvent être creusés sur 3-5 mètres de profondeur et parfois même jusqu'à 10 mètres. Dès lors, les sols sont sensibles à l'érosion et la température de surface augmente. Une perte importante voire totale du potentiel de fertilité des sols peut alors être observée. L'impact de l'activité alluvionnaire illégale sur les sols est plus limité puisque le secteur touché est plus restreint (Figure 17).

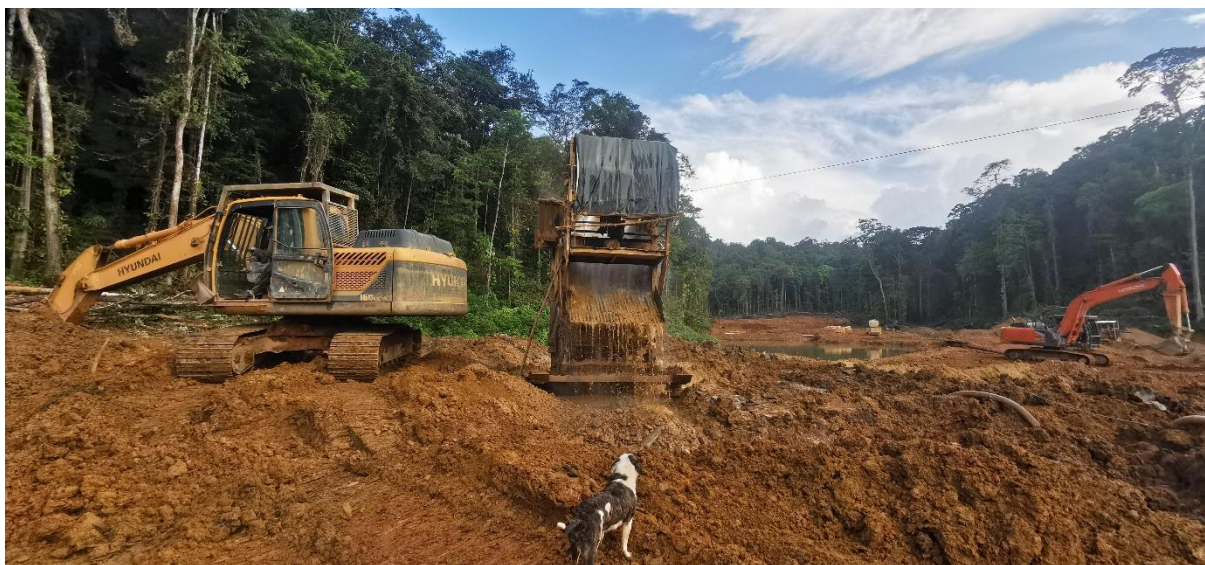


Figure 16. Exploitation alluvionnaire légale : déstructuration des sols et des horizons superficiels. © F. Phan – OFB



Figure 17. Exploitation alluvionnaire illégale : déstructuration des sols et des horizons superficiels © F. Phan – OFB

2.3.2 Pollution des milieux

La pollution des milieux, qu'ils soient terrestres ou aquatiques, se présente sous différentes formes, il peut s'agir de pollutions issues des rejets d'ETM et d'hydrocarbures (pollution chimique), de MES (pollution mécanique) ou encore de l'abandon sur sites de déchets ou de matériels (outils, épaves d'engins).

Rejet d'ETM

Le mercure est naturellement présent dans le sol guyanais, de ce fait, le remaniement ainsi que les différents processus d'érosion participent au relargage du mercure dans l'environnement. Cependant, la diffusion du mercure dans les eaux est principalement due aux activités anthropiques dont l'activité aurifère. En effet, le mercure a longtemps été utilisé par les exploitants pour séparer l'or du minerai, cependant, depuis le 1^{er} janvier 2006, son utilisation est strictement interdite pour l'exploitation minière (arrêté préfectoral n°1232/SG du 08 juin 2004). Des méthodes, sans procédés chimiques, ont dès lors été développées, telles que les méthodes gravimétriques pour séparer l'or de la roche. Malgré cette interdiction, les illégaux continuent d'utiliser le mercure pour désamalgamer l'or que cela soit pour l'activité primaire ou alluvionnaire, avec **environ 1,3 kg de mercure utilisés et relargués dans l'environnement pour 1 kg d'or produit** (Picot et al., 1993 ; Laperche et al., 2008 ; SDAGE, 2022-2027). **Sur une moyenne de 10 tonnes d'or produites chaque année en Guyane par l'activité minière illégale, environ 13 tonnes de mercure par an seraient utilisées et déversées dans les rivières et fleuves** (WWF, 2018).

De plus, avant 2006, le mercure était utilisé également par les exploitants légaux. De ce fait, l'exploitation d'un site anciennement orpaillé (par des légaux ou des illégaux) participe au relargage du mercure. En effet, une étude lancée par le BRGM de 2016 à 2019 a mis en évidence de fortes teneurs en mercure dans les sédiments et un pourcentage élevé en méthylmercure (MMHg) dans les eaux d'une crique, une AEX en cours d'exploitation mais anciennement orpaillée (Laperche et al., 2019).

Rejet de MES et turbidité

Les MES désignent les particules solides insolubles telles que l'argile, le limon, le sable ou encore la matière organique qui se trouve en suspension dans l'eau (Melun et al., 2023). En Guyane, les exploitations minières, légales et illégales, déversent dans les eaux des criques une certaine quantité de MES (Figure 18). Dans le SDOM, il est pourtant imposé aux exploitants de travailler en circuit fermé peu importe la saison et de ne pas dépasser un niveau de concentration de MES de plus de 35 mg/l pour les rejets d'eau. Seulement, les exploitants légaux, pourtant soumis à la réglementation du SDOM, dépassent ce niveau de concentration : en saison sèche, il a pu être constaté que certaines petites ou moyennes entreprises (PME) pouvaient rejeter entre 20 et 45 mg/l de MES (Dedieu, 2014). Une concentration importante de MES déversée dans les eaux peut impacter le milieu de différentes façons (Tableau 3).

Impacts physico-chimiques directs	– Qualité physico-chimique de l'eau dégradée – Température des écoulements de surface élevée – Oxygène dissous dans l'eau réduit (Bilotta & Brazier, 2008 ; US EPA, 2012 ; Kjelland <i>et al.</i>, 2015 ; US EPA, 2021)
Impacts physico-chimiques indirects	– Augmentation du flux total de mercure et de méthylmercure vers le milieu aquatique et potentiel accroissement de la biodisponibilité de ces substances pour la chaîne trophique (Lacerda <i>et al.</i>, 2004 ; Laperche <i>et al.</i>, 2007 ; Quenel <i>et al.</i>, 2007 ; Laperche <i>et al.</i>, 2008, Grimaldi <i>et al.</i>, 2015)
Impacts biologiques et écologiques directs	– Colmatage des branchies et possible étouffement (CCME, 2002 ; Kemp <i>et al.</i>, 2011 ; Swinkel <i>et al.</i>, 2012 ; Kjelland <i>et al.</i>, 2015 ; Azevedo-Santos <i>et al.</i>, 2021). – Modification du comportement et de la physiologie des espèces aquatiques (relations proies-prédateurs) (Utne-Palm, 2002 ; Mol & Ouboter, 2004 ; Sutherland & Meyer, 2007 ; Allard <i>et al.</i>, 2016 ; Ahmad Affandi & Ishak, 2019).
Impacts biologiques et écologiques indirects	– Colmatage du fond du lit (Yule, 1995 ; Wantzen & Mol, 2013 ; Lobo <i>et al.</i>, 2016 ; Melo <i>et al.</i>, 2018 ; Azevedo-Santos <i>et al.</i>, 2021 ; Dethier <i>et al.</i>, 2022) – Recouvrement des habitats et de leurs biocénoses (Laperche <i>et al.</i>, 2008 ; Allard <i>et al.</i>, 2016)

Tableau 3. Impacts directs et indirects engendrés par une concentration importante de MES dans le milieu aquatique (*tableau réalisé d'après la note technique sur les variations de la concentration de MES et de la turbidité dans les petites criques guyanaises, Melun et al., 2023*)

Lors d'une étude réalisée par le BRGM, il a pu être observé que la turbidité augmentait fortement pendant la saison des pluies, lors des travaux d'aménagement mais aussi lors des reprises d'activité sur le site (Laperche *et al.*, 2018). Sur un des sites de l'étude, des orpailleurs illégaux se sont installés pour réexploiter l'or au moment de la revégétalisation. Ils ont déversé une quantité importante de MES dans les eaux, ce qui a généré une forte augmentation des valeurs de turbidité qui dépassaient très largement le seuil établi à 10 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). Cette étude, ainsi que d'autres, ont montré qu'il existe une bonne corrélation entre la turbidité mesurée sur un site et la concentration de MES (De Mérona *et al.*, 2001 ; Vigouroux *et al.*, 2005 ; Vigouroux *et al.*, 2006 ; Weng *et al.*, 2006 ; Laperche *et al.*, 2008 ; Gallay *et al.*, 2018).

La mesure de la turbidité a permis d'établir des valeurs de références : une eau est dite « claire » lorsque les valeurs sont inférieures à 5 NTU, une eau est dite « légèrement trouble » lorsque les valeurs sont comprises entre 5 et 30 NTU et au-delà de 30 NTU l'eau est dite « turbide » (Melun *et al.*, 2023). Également, en contexte tropical, l'effet de la saisonnalité sur la concentration de MES et la turbidité des eaux est un paramètre à prendre en compte (Laperche *et al.*, 2019 ; Hellal *et al.*, 2020). Cet effet est plus ou moins variable selon la zone étudiée (non orpaillée ou orpaillée) (Tableau 4).

	Saison sèche	Saison des pluies
Zones non orpaillées	< 3 NTU*	10 à 15 NTU*
Zones orpaillées	100 à 300 NTU	300 à 1 500 NTU

* Valeurs de référence de la turbidité des cours d'eau guyanais

Tableau 4. Valeur de la turbidité (en NTU) en zones non orpaillées et en zones orpaillées
(Réalisation : H. Antien – OFB d'après les valeurs de Vigouroux *et al.*, 2006 et Dedieu, 2014)



Figure 18. Turbidité de l'affluent de droite (crique Bargot qui se jette dans la Comté) très élevée causée par un fort rejet de MES issue de l'orpaillage illégal. © Guyane la 1ere

Abandon de déchets et d'épaves

Post-exploitation, les orpailleurs légaux laissent sur place des déchets et parfois même des épaves (engins, matériels) et ce malgré la réglementation (Figure 19). Également, suite à l'intervention des forces de l'ordre dans le cadre de la LCOI, les orpailleurs illégaux laissent à l'abandon le site (Figure 20).



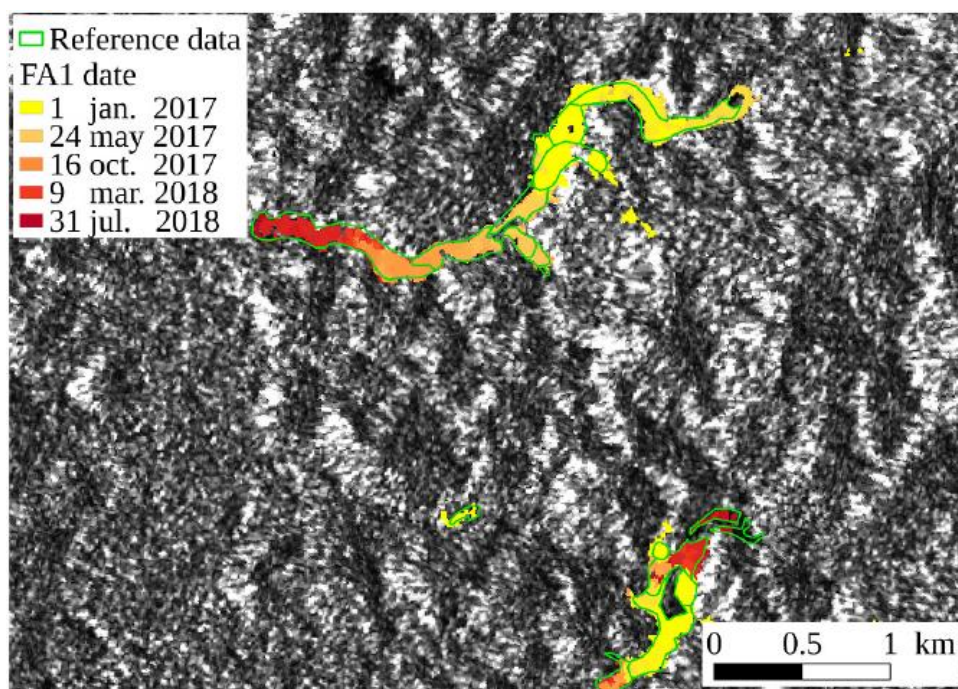
Figure 19. Draglines du gisement alluvionnaire légal Paul Isnard laissé à l'abandon sur le placer Elysée © Poirot, 2011



Figure 20. Matériels abandonnés sur un site alluvionnaire illégal © F. Phan – OFB

2.3.3 Observation des impacts : la télédétection

Le couvert forestier étant si dense, la détection des impacts environnementaux liés à l'exploitation minière illégale reste aujourd'hui encore difficile. Des dispositifs de surveillances sont, pour autant, développés et fortement utilisés, telle que l'utilisation de la télédétection, pour un suivi du territoire, notamment dans le cadre de la LCOI, qui contribue à identifier les sites clandestins actifs (Linarès, 2019). Il s'agit de l'outil le plus adapté actuellement pour observer et quantifier l'activité illégale en Guyane. Il est aujourd'hui possible de détecter la déforestation en quasi temps-réel grâce à la télédétection (Sentinel-1) permettant ainsi de suivre l'exploitation forestière et ses dégradations dans le temps pour les activités aurifères légales et illégales (Figure 21) (Ballère, 2021a ; 2021b). Le Lidar, une méthode de télédétection, est également utilisé pour le suivi de l'activité minière et de ses impacts sur l'environnement, notamment dans le cadre du projet VUX-1 « Expérimentation d'acquisition lidar héliportée à la volée » porté par l'EMOPI. Une première campagne de prise de vue aérienne lidar a été réalisée en 2022. L'objectif était d'équiper les hélicoptères de capteurs pour cartographier : la topographie et l'hydrographie des sites, les impacts des activités minières légales et illégales, les structures et les équipements utilisés ainsi que les voies de circulation tels que les pistes et les layons. Une nouvelle campagne est actuellement en cours depuis septembre 2023. Il existe également différents réseaux de suivi de la turbidité (Blum *et al.*, 2014) dont un observatoire, porté par le Parc Amazonien de Guyane (PAG), entièrement dédié à l'évolution de la turbidité du Lawa et du Maroni, en s'appuyant sur la télédétection à partir d'images satellites (Sentinel 2A, 2B). De plus, des missions de surveillances aériennes, pluviales et terrestres sont mises en place afin de vérifier les résultats issus de la télédétection.



2.4 Impacts sur les espèces aquatiques et terrestres

2.4.1 Fragmentation des habitats

Les milieux forestiers et aquatiques de Guyane sont connus pour abriter une faune riche et diversifiée. La destruction de ces milieux suite à l'exploitation alluvionnaire est à l'origine d'une diminution importante du nombre d'habitats et, de ce fait, de la diversité des espèces qui s'y trouvaient (Melun et al., 2020). En forêt, certains habitats sont fragmentés, et d'autres détruits par la déforestation que cela soit sur le site exploité mais aussi à proximité de ce dernier notamment pour l'ouverture de pistes. Le milieu aquatique, quant à lui, renferme une grande diversité des habitats notamment grâce à l'hétérogénéité morphologique des criques (Melun et al., 2020 ; Couturier et al., 2021). La modification des cours d'eau pour l'exploitation alluvionnaire engendre donc une diminution des habitats et des espèces associées.

Du fait de la pression de l'orpaillage sur la faune, l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN) a placé sur liste rouge plusieurs espèces de vertébrés menacées en Guyane (Tableau 5). Le *Harttiella pilosa* (*Harttiella pilosa*), une espèce de poisson d'eau douce, a été classé « En danger critique » car leur habitat est menacé par l'orpaillage alluvionnaire (IUCN France et al., 2017). La turbidité des eaux, plus élevée à proximité des sites d'orpaillage, est à l'origine d'une diminution des ressources alimentaires de certains poissons tels que le Tometes de Le Bail (*Tometes lebaili*). La pollution des eaux entraîne une dégradation de la qualité des habitats et représente un réel enjeu que cela soit pour certaines espèces de mammifères marins qui vivent dans les eaux côtières et les estuaires tels que le Dauphin de Guyane (*Sotalia guianensis*) et le Lamantin antillais (*Trichechus manatus*) mais aussi terrestres telles que la Loutre géante du Brésil (*Pteronura brasiliensis*) et la Loutre à longue queue (*Lontra longicaudalis*).

Famille	Nom scientifique	Nom commun	Catégorie IUCN - Liste rouge Guyane
Serrasalminidae	<i>Tometes lebaili</i>	Tometes de Le Bail	NT (quasi menacée)
Loricariidae	<i>Harttiella pilosa</i>	/	CR (en danger critique)
Delphinidae	<i>Sotalia guianensis</i>	Dauphin de Guyane	EN (en danger)
Trichechidae	<i>Trichechus manatus</i>	Lamantin antillais	EN
Mustelidae	<i>Lontra longicaudalis</i>	Loutre à longue queue	LC (préoccupation mineure)
Mustelidae	<i>Pteronura brasiliensis</i>	Loutre géante du Brésil	EN
Tapiridae	<i>Tapirus terrestris</i>	Tapir terrestre	VU (vulnérable)
Podocnemididae	<i>Podocnemis unifilis</i>	Podocnémide de Cayenne	VU

Tableau 5. Faune vertébrée de Guyane menacée en parti par l'orpaillage (Réalisation : H. Antien – OFB d'après IUCN France et al., 2017)

Ces deux espèces de loutres sont impactées par l'orpaillage d'une part car leur activité de chasse peut être perturbée par l'augmentation de la turbidité des eaux et d'autre part car les poissons, qui sont la base de leur alimentation, peuvent voir leur population se réduire au vu d'une perturbation de leur habitat mais aussi être contaminés au méthylmercure (Couturier *et al.*, 2021). Une étude, issue d'une coopération entre l'OFB et le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), a été lancée en 2018 par le PAG dans le cadre du programme « Loutre et Tapir ». Cette étude consiste à étudier les effets de l'orpaillage sur la Loutre géante du Brésil et la Loutre à longue queue et leur potentiel de recolonisation au sein du parc (Couturier *et al.*, 2021). Une première mission a été réalisée afin de proposer une démarche de mise en place d'un protocole de suivi des changements d'abondance et de distribution de ces deux espèces sur le long terme.

Le relargage de MES dans l'eau est à l'origine d'une augmentation ponctuelle de la température des cours d'eau. Des études ont par ailleurs montré que certaines espèces de poissons de l'Amazonie peuvent être menacées lorsque les températures des cours d'eau augmentent que cela soit sur le court ou le long terme (Jung *et al.*, 2020 ; Dahlke *et al.*, 2020). De plus, les résultats issus du projet NOE « Nourag'Obs'Eau » (2018 – 2021), porté par la Réserve Naturelle des Nouragues (RNN), l'ONF et le Groupe d'Etudes et de Protection des Oiseaux en Guyane (GEPOG), montrent une faible résilience des communautés de poissons et d'invertébrés aquatiques ainsi qu'une faible capacité de ces dernières à recoloniser les criques anciennement orpaillées malgré des valeurs physico-chimiques revenue à la normale. Dans sa continuité, le deuxième projet ORION « Observatoire Résilience Impacts Orpaillage Nouragues » (2020 – 2032), a été lancé dans le but de « définir et suivre l'état écologique et la résilience des cours d'eau et des forêts de la réserve des Nouragues ».

2.4.2 Contamination au mercure des espèces

Dans les milieux aquatiques, le mercure peut se transformer en méthylmercure, se bioaccumuler dans les tissus des organismes vivants et par bioamplification se concentrer le long de la chaîne alimentaire (Figure 22).

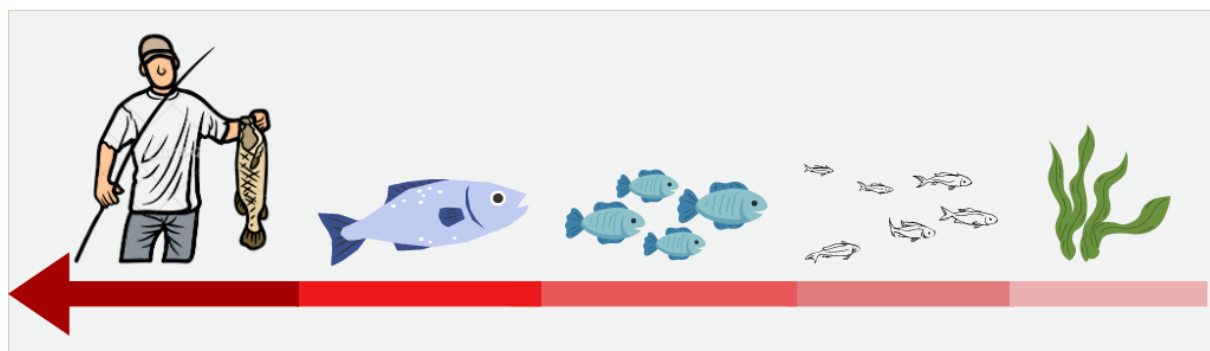


Figure 22. Bioamplification du méthylmercure dans l'organisme le long de la chaîne alimentaire (Réalisation : H. Antien – OFB)

Les espèces dont le régime alimentaire repose sur la consommation de poissons ou d'autres espèces aquatiques ont une concentration très élevée de mercure dans leurs tissus musculaires (Boudou, 2006). En effet, certaines espèces, situées très haut dans la chaîne alimentaire sont contaminées au méthylmercure, tel que le caïman. Bioindicatrices de leur environnement, les

populations de caïmans sont actuellement étudiées afin d'évaluer leur contamination en mercure causée par la présence d'activité aurifère légale et illégale en Guyane, il s'agit du « Suivi des populations et des contaminants environnementaux » par Jérémy Lemaire et Rosanna Mangione (2021-2024). De plus, la contamination au mercure des populations de caïmans pourrait causer des modifications physiologiques importantes, un suivi s'avère donc essentiel. Deux premières campagnes de capture ont pu être réalisées dans le cadre de cette étude afin d'effectuer le marquage des individus et des analyses (mesures morphologiques, prélèvements biologiques) : 3 individus ont été capturés en zone légale et 1 en zone illégale. À noter que les caïmans retrouvés sur les sites exploités sont exclusivement des caïmans gris (*Paleosuchus trigonatus*).

La faune du sol, quant à elle, se voit également impactée par le mercure. Les termites, par exemple, sont un excellent proxy de la faune du sol et ont été utilisées dans le projet MOITERM « Mercure dans l'Orpaillage Artisanal : Impact des Termites et leur Microbiote » (2021-2023) afin de quantifier le mercure du sol au niveau des zones orpaillées et autour du site. Les résultats n'ont pas permis de mettre en évidence un enrichissement du sol en mercure. Cependant, d'autres analyses sont en cours, notamment concernant les concentrations de mercure et de méthylmercure qui ont été comparées entre le sol autour des termitières, les termitières et les termites qui vivent au sein de la colonie. Il a pu être constaté que les termites humivores (qui se nourrissent de l'humus du sol) contiennent plus de mercure dans leur construction que les termites xylophages (qui se nourrissent de bois).

2.5 Impacts sanitaires et sociaux

2.5.1 Intoxication des populations

Le secteur de l'orpaillage ne touche pas seulement la biodiversité, mais aussi les populations locales riveraines, dépendantes des ressources forestières et aquatiques. Le poisson, qui constitue la base de leur alimentation, est contaminé au méthylmercure, la forme la plus toxique du mercure dont les effets sur la santé humaine peuvent être néfastes. Une étude a par ailleurs été menée permettant de faire un lien entre les zones potentiellement touchées par l'activité aurifère et la concentration de mercure dans les Aymaras (*Hoplias aimara*) (Laperche et al., 2007) (Figure 23).

Une enquête alimentaire a également été menée en 1999 par l'institut de veille sanitaire sur l'exposition au mercure de la population amérindienne Wayana du Haut-Maroni. Malgré les recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) avec une valeur à 10 µg/g de mercure total dans les cheveux, il a pu être constaté que plus de la moitié des Wayanas contenaient en moyenne 11,4 µg/g de mercure dans leurs cheveux (Fréry et al., 1999 ; Fréry et al., 2001 ; Pignoux et al., 2019). Du fait de leurs conditions de vie, les populations qui sont les plus à risques sont les amérindiens qui vivent sur le Haut-Maroni et le Haut-Oyapock (Cardoso et al., 2010). Face à l'exposition de la population guyanaise aux ETM, l'Agence Régionale de Santé (ARS) a lancé une stratégie participative et engagée pour une durée de 4 ans (2021-2025) « la stratégie métaux lourds » (StraMeLo), qui a pour objectif de lutter contre les intoxications de la population aux ETM tels que le plomb et le mercure.

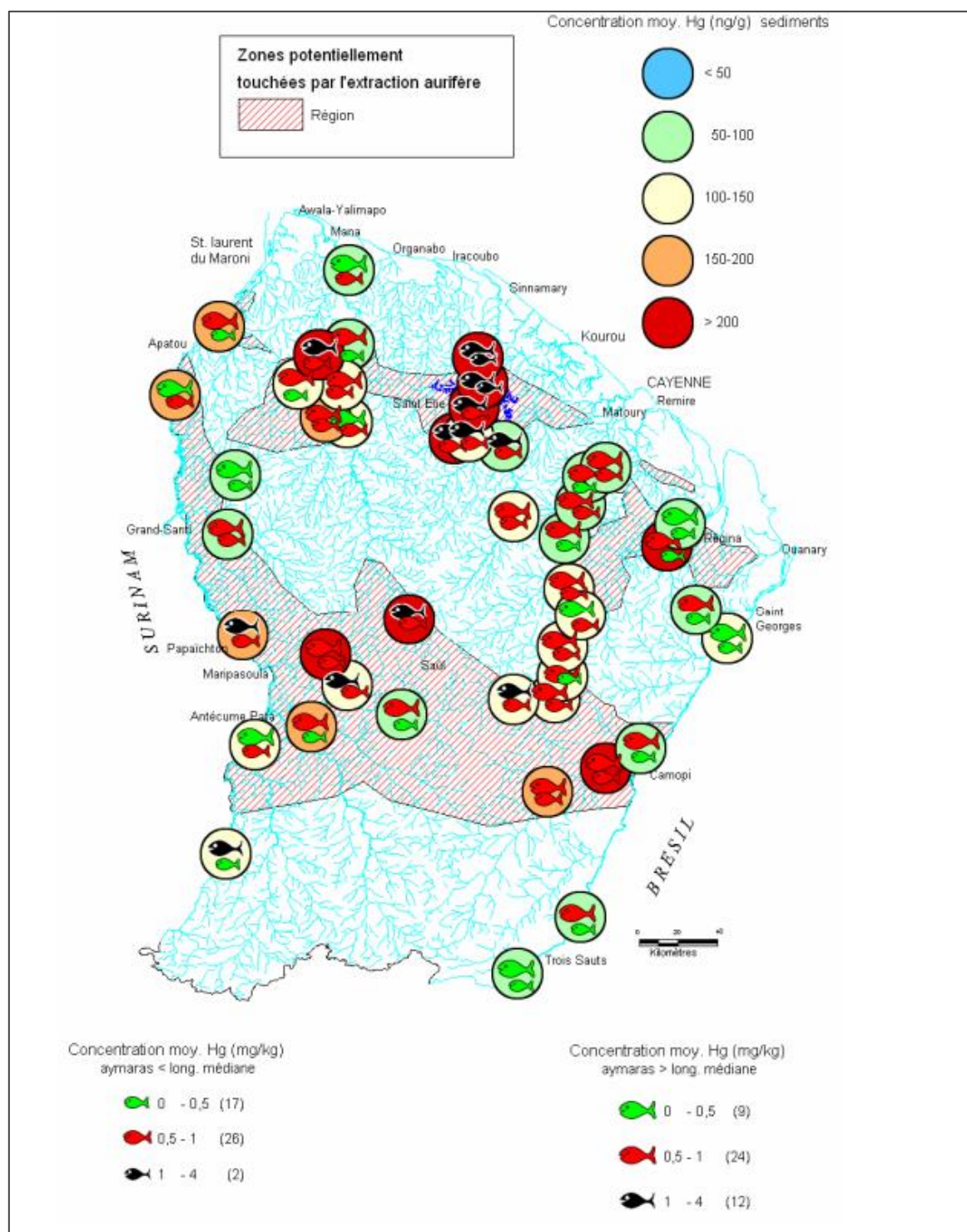


Figure 23. Répartition régionale du mercure chez les populations d'Aymaras (Laperche et al., 2007)

Les populations locales ne sont pas les seules personnes à être impactées, les orpailleurs illégaux sont eux-mêmes exposés directement aux vapeurs du mercure, qu'ils utilisent pour désamalgamer l'or ; ces vapeurs sont libérées et inhalées par ces derniers (Aïman, 2017). Dans

ce contexte, le Fond Français pour l'Environnement Mondial (FFEM) soutient un projet porté par le World Wildlife Fund (WWF) « Soutenir l'abandon progressif du mercure dans les Guyanes » (2019 – 2023) dont l'objectif est d'éliminer le mercure dans le secteur de l'orpaillage d'ici 2025. Il s'agit, dans ce cas-ci, de mettre en place des techniques d'extraction de l'or sans mercure et de produire de la connaissance sur cette pollution à l'échelle de la Guyane, du Suriname et du Guyana.

2.5.2 Problèmes sociaux

L'orpaillage illégal, très présent sur le Haut-Maroni, constitue une menace importante pour les habitants notamment concernant la contamination au mercure et le sentiment d'insécurité. Un projet récent « Gardien du Haut-Maroni » (2023 - 2026), porté par le WWF, vise à mettre à disposition des habitants du fleuve des outils de suivi et d'alerte pour leur santé et leur environnement. Les exploitations minières illégales génèrent de l'insécurité, notamment pour les populations locales, mais peuvent également être à l'origine de conflits entre les exploitants et les locaux notamment concernant la chasse au gibier où les populations locales entreraient en concurrence avec les orpailleurs illégaux.

2.6 Travaux de remise en état

2.6.1 Réhabilitation hydromorphologique des cours d'eau

L'exploitation légale et illégale de l'or en Guyane impacte fortement les écosystèmes terrestres, aquatiques et leurs habitats, pour cela, des solutions de réhabilitation des sites dégradés ont été proposées et mises en œuvre. La réhabilitation hydromorphologique des cours d'eau est un processus qui vise à réactiver certaines fonctionnalités du milieu qui ont été altérées voir détruites par l'activité anthropique (Melun *et al.*, 2021), *a contrario*, la restauration vise à rétablir l'intégralité du milieu, elle implique donc de remettre en état le milieu dans son état originel (Figure 24). En raison de la richesse exceptionnelle de la biodiversité du territoire, il n'est pas envisageable de restaurer intégralement le milieu, c'est pourquoi la réhabilitation est une technique préconisée.

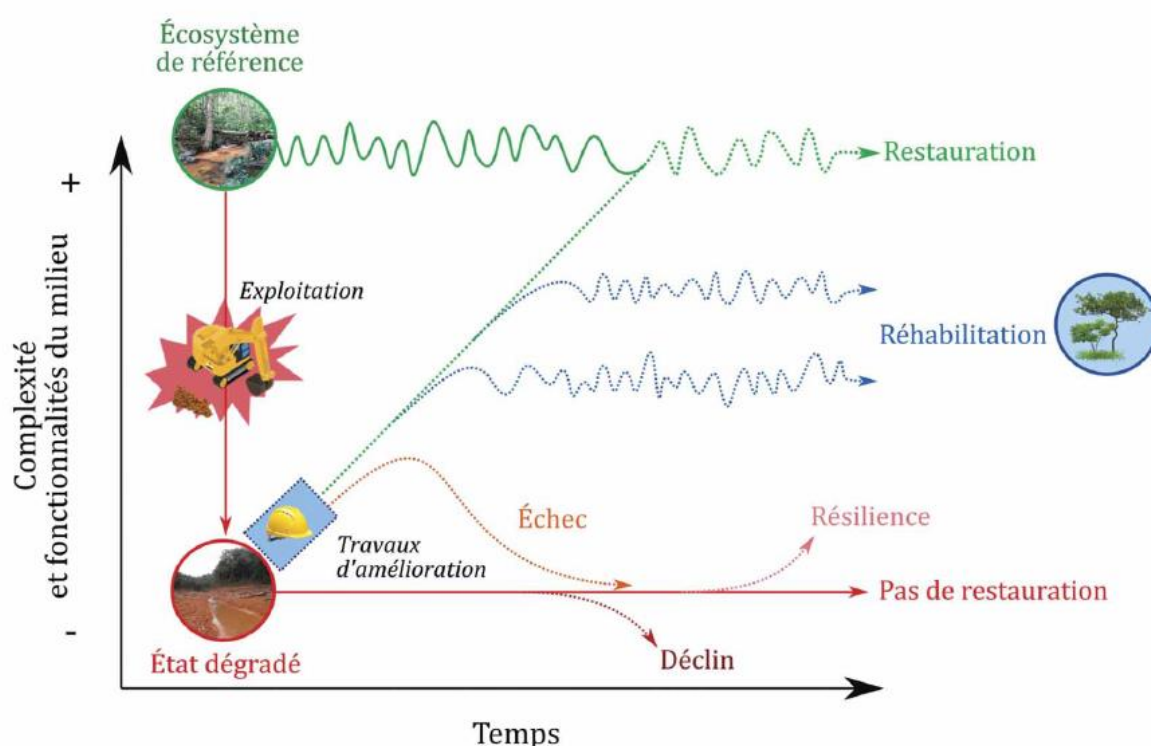


Figure 24. Principe de la réhabilitation hydromorphologique des cours d'eau (d'après Bradshaw, 1997, modifié)

Post-exploitation, la remise en état des AEX est une obligation réglementaire pour les opérateurs miniers, qui parfois, font appels à des BE pour leur expertise (Guide THEMA, 2018). Cependant, malgré les législations actuelles, les méthodes pour remettre en état les sites dégradés restent encore à préciser. Des défauts dans les techniques employées ont pu être constatées concernant la réhabilitation hydromorphologique des criques.

Dans ce contexte, les services de l'état (DGTM, DGSRC) et les établissements publics (OEG, OFB) ont lancé en 2018 le projet RHYSOG « Réhabilitation hydromorphologique des sites d'orpaillage guyanais » (2018 – 2022) (Melun & Le Bihan, 2020). Grâce à une expertise multidisciplinaire de 5 AEX, un bilan des pratiques actuelles a pu être établi ainsi qu'un guide

de préconisations techniques en vue d'une amélioration des techniques d'exploitations et d'une meilleure réhabilitation des criques dégradées. Les techniques recommandées consistent à reconstruire, d'une part, la forme du lit mineur et, d'autre part, à revégétaliser le lit majeur (pour plus de précisions, se référer au guide de préconisations techniques, Melun et al., 2021). Dans le cadre de cette étude, les sites choisis sont à un stade différent de l'exploitation : la crique Belle-Hélène (réhabilitée en 2019), la crique Jaguar (en cours d'exploitation), la crique Mousse (en cours d'exploitation), la crique Ricard (réhabilitée depuis juillet 2019) et la crique Serpent (réhabilitée en 2019). Différents types de mesures ont été réalisés en 2019, puis en 2021, afin de voir l'évolution de chacun des sites : physico-chimiques, hydrologiques, topographiques, cartographiques, géomorphologiques et pédologiques. Il a pu être observé que certaines préconisations ont été appliquées : les souches et les andains sont régaliés et répartis sur le flat, la revégétalisation des sites a été faite à plus de 30%, alors que d'autres n'ont été que peu mises en œuvre : les barranques et les canaux sont en parti comblés et les horizons du sol partiellement reconstitués. De plus, pour l'ensemble de ces sites, le remodelage du fond de vallée est insuffisant, le lit est trop enfoncé, les berges sont trop élevées et les criques trop larges. Les travaux de remise en état de ces 5 sites ne sont pas suffisants, 2 ans après, aucune évolution significative n'a pu être constatée (Figure 25).



Figure 25. Exemple d'un profil érodé sur la crique Ricard sans évolution significative entre 2019 et 2021

Le projet RESCRIOR « Restauration des criques orpaillées » (2021 – 2023) porté par ONIKHA, a également vu le jour dans le but d'accompagner la remise en état des AEX et d'inclure le paramètre biologique qui n'avait pas été abordé dans le projet RHYSOG. Dans le cadre de cette étude, 4 sites ont été choisis : 2 sites où une remise en état traditionnelle a été réalisée (crique Mousse, crique Rondi) et 2 sites où un secteur a été sélectionné pour une remise en état « test » (crique France, crique Aviosa). Ce projet propose une remise en état « test » afin de restaurer la dynamique fluviale. Il s'agit ici de reproduire la topographie initiale, repositionner la crique dans son thalweg, construire des berges inférieures à 50 cm pour ne pas surcreuser le lit et laisser la possibilité à la crique de déborder et étaler des andains et des terres humifères sur le sol (Figure 26).

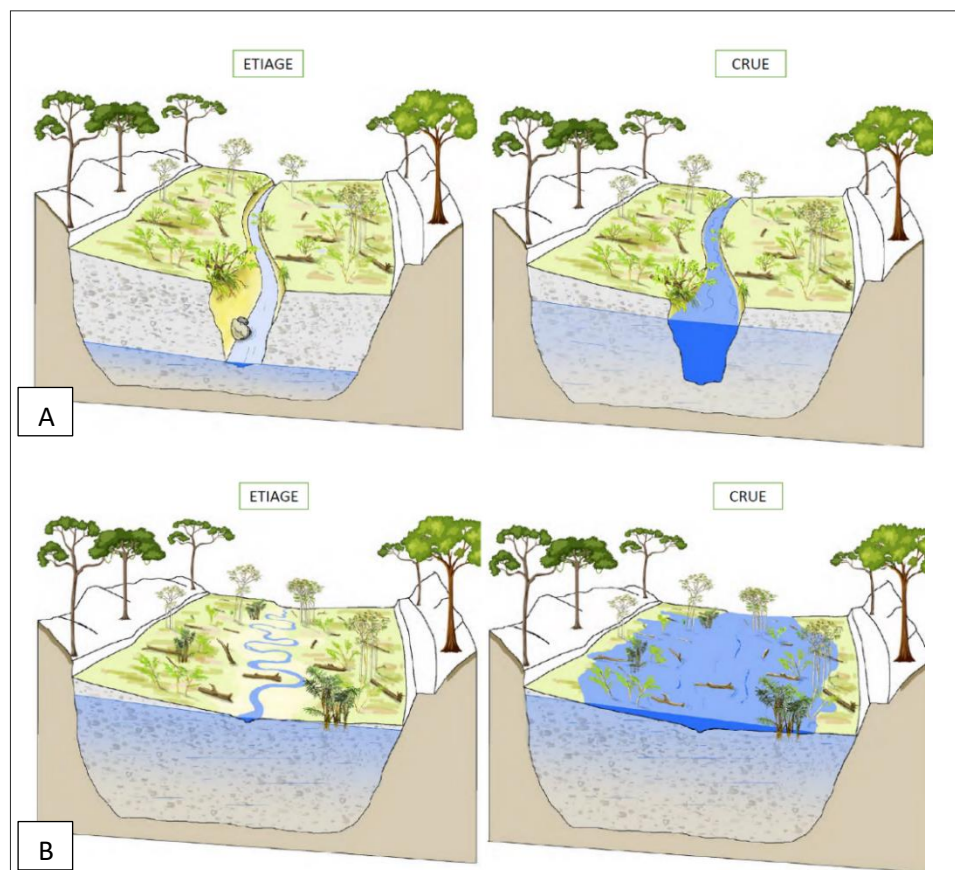


Figure 26. Schéma mettant en avant la remise en état « traditionnelle » employée par les opérateurs miniers (A) et la remise en état « test » proposée dans le cadre du projet RESCRIOR (B)

Deux ans après, les résultats issus de la remise en état « traditionnelle » montrent des berges surélevées, un lit incisé, une absence de sinuosité du cours d'eau et une forte pente, tandis que les résultats de la remise en état « test » montrent des berges inférieures à 50 cm, un lit connecté au lit majeur et une absence d'incision. Le milieu aquatique, quant à lui, reste en mauvais état écologique, une baisse importante des communautés de poissons et d'invertébrés a pu être constaté. Au bout de seulement 2 ans, aucune différence significative n'a été constatée entre la réhabilitation « traditionnelle » et « test » en ce qui concerne les composantes biologiques.

2.6.2 Revégétalisation des sites alluvionnaires

La déforestation totale des sites pour l'orpaillage perturbe fortement le fonctionnement des sols. Ces derniers perdent tout leur potentiel de fertilité. Le projet MOM « Ministère chargé de l'Outre-Mer » (2012 – 2014) mené par SOLICAZ, une société d'ingénierie écologique spécialisée dans la préservation et la restauration du capital naturel des sols, a montré que le sol était fortement dégradé après l'exploitation minière même si les mesures de réhabilitations ont été respectées. En effet, il a pu être constaté que la matière organique, les micronutriments et l'activité biologique du sol étaient très peu présents après l'exploitation du site et pourtant, ces derniers sont essentiels au développement des végétaux. Une intervention humaine est de ce fait nécessaire notamment pour planter des espèces permettant de protéger et stabiliser correctement le sol. La société a, par ailleurs, apporté via le projet GUYAFIX (2012 – 2014) les outils nécessaires pour mettre en place une filière de production d'espèces locales fixatrices d'azote afin qu'elles puissent être utilisées pour revégétaliser le milieu dégradé. Des tests réalisés sur site ont permis de le revégétaliser, les résultats obtenus ont par ailleurs été rapidement visibles (Figure 27).



Figure 27. A : Site minier alluvionnaire avant plantation. B : Site minier alluvionnaire après plantation (Projet GUYAFIX, 2012 - 2014)

La revégétalisation des surfaces exploitées permet de réduire les impacts de l'activité minière sur l'environnement. Cependant, il faut tout de même noter que le Code Minier ne fixe pas d'obligation en ce qui concerne la revégétalisation des AEX post-exploitations. Par ailleurs, les arrêtés préfectoraux précisent un minimum de 25 à 30% de revégétalisation sur la surface totale exploitée (Titre IV, Article 9.1). Dans ce cas-ci, la recolonisation des espaces est effectuée par les opérateurs miniers ou des spécialistes. En effet, revégétaliser le flat nécessite tout de même une certaine expertise, deux fiches techniques (Fiche FR_10 – *Planification de la revégétalisation*; Fiche FR_11 – *Mise en œuvre de la revégétalisation*) sont par ailleurs disponibles pour mettre en œuvre, au mieux, la revégétalisation d'un site (Melun & Le Bihan, 2021). SOLICAZ est également très souvent sollicité par les opérateurs miniers afin de revégétaliser les sites dégradés. Dans le cadre du programme Mina Verde, SOLICAZ a pu réaliser une revégétalisation des sites à 100% sur différentes AEX en Guyane, dépassant largement le seuil de 30% réglementaire.

De nombreuses études sur la restauration écologique des milieux ont été réalisées par SOLICAZ. Une, en particulier, a permis de montrer que certaines espèces animales revenaient sur le site après la revégétalisation confirmant que la faune fréquente, malgré tout, les milieux après l'exploitation. De plus, un tout récent projet, REGEMINE (2023 -2025), porté en partenariat avec l'OFB, étudie l'impact de la circulation des frugivores, plus particulièrement le tapir terrestre (*Tapirus terrestris*) sur la régénération forestière des zones en cours de revégétalisation, permettant ainsi d'en apprendre davantage sur leurs impacts sur le milieu.

Conclusion

Depuis le milieu du XIXe siècle, les gisements aurifères ont suscité un intérêt économique considérable. L'exploitation aurifère reste cependant l'une des activités les plus destructrice sur le territoire, qu'elle soit légale ou illégale. Les conséquences de ces activités sont préoccupantes : les écosystèmes terrestres et aquatiques sont altérés, voire détruits. Les habitats associés sont, quant à eux, fragmentés ou détruits. L'utilisation du mercure et son rejet dans les eaux guyanaises est un véritable fléau pour les espèces aquatiques, ces rejets ont des répercussions sur la chaîne alimentaire et la santé humaine. Les risques de contamination des populations locales est très élevée. De nombreux projets ont vu le jour afin de limiter et de réduire au mieux ces différents impacts. Les impacts environnementaux de l'activité aurifère sont étudiés et des solutions alternatives sont proposées et mises en œuvre telles que la réhabilitation et la revégétalisation des sites dégradés. Ces mesures sont essentielles pour atténuer les effets de l'activité sur le milieu, cependant, pour une remise en état efficace, il est important que tous les acteurs travaillent conjointement. Afin de préserver la biodiversité du territoire, un équilibre doit être trouvé entre le potentiel économique de l'activité aurifère et les impacts environnementaux, sociaux, sanitaires et humains qui en découlent.

Bibliographie

Aiman A. (2017). L'orpaillage en Guyane : quel impact sur l'homme et l'environnement ? CCEE de la Guyane.

Allard L., Popee, M., Vigouroux, R., Brosse S. (2016). Effect of reduced impact logging and small-scale mining disturbances on Neotropical stream fish assemblages. *Aquat Sci* 78, 315–325. <https://doi.org/10.1007/s00027-015-0433-4>.

Affandi F.A., Ishak M.Y. (2019). Impacts of suspended sediment and metal pollution from mining activities on riverine fish population-a review. *Environ Sci Pollut Res Int.* 26(17) : 16939-16951. doi:10.1007/s11356-019-05137-7.

Azevedo-Santos V.M., Arcifa M.S., Brito M.F.G., Agostinho A.A., Hughes R.M., Vitule J.R.S., Simberloff D., Olden J.D., Pelicice F.M. (2021). Negative impacts of mining on Neotropical freshwater fishes. *Neotrop Ichthyol*, 19(3):e210001. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0001>.

Ballère M., Bouvet A., Mermoz S., Le Toan T., Koleček T., et al. (2021). SAR data for tropical forest disturbance alerts in French Guiana: Benefit over optical imagery. *Remote Sensing of Environment*, 252 p.112159. 10.1016/j.rse.2020.112159. hal-03272230

Ballère M. (2021). Apport des données Sentinel-1 pour le suivi continu de la forêt tropicale : cas de la Guyane. Ingénierie de l'environnement. Thèse. Université Gustave Eiffel.

Baudoin J-M., Boutet-Berry L., Cagnant M., Gob F., Kreutzenberger K. (Coord.), Lamand F., Malavoi J-R., Marmonier P., Pénil C., Rivière C., Sadot M., Tamisier V. et Tual M. (2017). Carhyce – Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau. Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied. Agence française pour la biodiversité. *Collection Guides et protocoles*. 52 p.

Bilotta G.S., Brazier R.E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water research*. Vol. 42, p. 2849-2861.

Blum A., Guiraud A., Rouzeau O. (2014). Suivi de la turbidité des eaux de Guyane. Etat des lieux et recommandations - Approche par télédétection. Rapport BRGM/RP-61632-FR. 162 p.

Boudou A., Maury-Brachet R., Durrieu G., Coquery M., Dauta C. (2006). Chercheurs d'or et contamination par le mercure, des systèmes aquatiques continentaux de Guyane - Risques à l'égard des populations humaines. *Hydroécologie Appliquée*, (15), p. 1-18

Bradshaw A. (1997). Restoration of mined lands - using natural processes. *Ecological Engineering*, (8) p. 255-269.

Brognoli C. (2004). Détection par l'imagerie satellitale des sites d'orpaillage sur le territoire de la Guyane française. Compte-rendu de mission en Guyane française. Département Forêts du CIRAD.

Cardoso T., Blateau A., Chaud P., Ardillon V., Boyer S., Flamand C., Godard É., Frééry N., Quénel P. (2010). Le mercure en Guyane française : synthèse des études d'imprégnation et des impacts sanitaires menées de 1994 à 2005. *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire InVS*. (13) 3 p.

CCME (2002). Canadian Water Quality Guideline for the Protection of aquatic Life - Total Particulate Matter. 12 p.

CHG (2022). Liste des oiseaux de Guyane.

Couturier T., Longin G., Delvaux H., Cambou J., Joubert P., Jailloux A., Besnard A. (2021). Suivi de la dynamique de colonisation-extinction de la loutre géante *Pteronura brasiliensis* et de la loutre commune *Lontra longicaudis* en lien avec l'orpaillage dans le Parc amazonien de Guyane. Rapport méthodologique, protocole version 1. Coopération OFB-CEFE. 60 pages

Réforme code Minier (2022). Présentation de la réforme du Code Minier, Loi climat Résilience N°2021-1104 du 22 août 2021. Diaporama. 19 p.

Dahlke, F. T., Wohlrab, S., Butzin, M., & Pörtner, H. O. (2020). Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish. *Science*, 369(6499), p. 65-70.

DGPR - SRT (2023). Réforme du Code minier: intégration des travaux miniers dans l'autorisation environnementale, servitude d'utilité publique garanties financières et police résiduelle. Diaporama. 62 p.

Dedieu N. (2014). Mise au point d'un outil d'évaluation de la qualité biologique des petites rivières de Guyane sur la base des invertébrés aquatiques. Thèse de Doctorat. Université de Toulouse Paul Sabatier. 340 p.

Dethier E., Silman M., Diaz Leiva J., Alqahtani S., Fernandez L., Pauca P., Çamalan S., Magilligan F., Renshaw C., Lutz D. (2022). The global crisis of mining in tropical rivers. *Physical Sciences*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1875606/v1>.

Deloitte (2018). Le potentiel de développement économique durable de la Guyane. Deloitte Développement Durable. WWF France. 526 p.

De Méroni B., Carmouze J.P., Barral M., Cerdan P., Coste M., Dupuy F., Dominique Y., Gaucherel C., Gerardhi C., Horeau V., Hugueny B., Orth K., Richard S., Scibona D., Soulard F., Tejerina-Garros F.L., Thomas A. (2001). Qualité des eaux des rivières de Guyane – Rapport de synthèse. IRD. 486 p.

Eglinger A., Andre-Mayer A.-S., Combes V., Teitler Y., Heuret A. (2020). Les gisements d'or de la Guyane française. Les ressources des Guyanes. *Revue officielle de la société géologique de France*. (206), p. 36-40.

Fréry N., Maillot E., Deheeger M., Boudou A., Maury-Brachet R. (1999). Exposition au mercure de la population amérindienne Wayana de Guyane : enquête alimentaire. Paris, Institut de veille sanitaire.

Fréry N., Maury-Brachet R., Maillot E., Deheeger M., De Mérona B. Boudou A. (2001). Gold mining activities and mercury contamination of native amerindian communities in french Guiana : key role of fish in dietary uptake. *Environmental Perspectives*, 1009, (5), p. 449-456.

Gallay M., Martinez J.M., Allo S., Mora A., Cochonneau G., Gardel A., Doudou J.C Sarrazin M., Chow-Toun F., Laraque A. (2018). Impact of land degradation from mining activities on the sediment fluxes in two large rivers of French Guiana. *Land Degradation & Development*. 29. 10.1002/ldr.3150.

Gob F., Bilodeau C., Thommeret N., Belliard J., Albert M-B., Tamisier V., Baudoin J-M., Kreutzenberger K. (2014). Un outil de caractérisation hydromorphologique des cours d'eau pour l'application de la DCE en France (CARHYCE), Géomorphologie : relief, processus, environnement [En ligne], vol. 20 - n° 1.

Grimaldi M., Guedron S., Grimaldi C. (2015) Impact of gold mining on mercury contamination and soil degradation in Amazonian ecosystems of French Guiana. In Land-Use Change Impacts on Soil Processes: Tropical and Savannah Ecosystems; Brearley, F.Q., Thomas, A.D., Eds.; CAB International: Wallingford, UK, 2015; p. 95–107.

Guyafix (2012-2014). Mise en place d'une production de plantes fixatrices d'azote endémiques de Guyane pour la restauration des sites dégradés. Rapport final. SOLICAZ. 99 p.

Hellal J., Schafer J., Vigouroux R., Lanceleur J., Laperche V. (2020). Impact of Old and Recent Gold Mining Sites on Mercury Fluxes in Suspended Particulate Matter, Water and Sediment in French Guiana. Applied Sciences Vol. 10(21) : 7829. <https://doi.org/10.3390/app10217829>.

Jébrak M., Kroonenberg S., Heuret A. (2020). Les mines du Bouclier des Guyanes : esquisse historique et métallogénique. Revue officielle de la société géologique de France. (206), p. 30-35.

Jung, E. H., Brix, K. V., Richards, J. G., Val, A. L., & Brauner, C. J., 2020. Reduced hypoxia tolerance and survival at elevated temperatures may limit the ability of Amazonian fishes to survive in a warming world. Science of the Total Environment, 748, 141349.

Kemp P., Sear D., Collins A., Naden P., Jones I. (2011). The impacts of fine sediment on riverine fish. *Hydrological process*. Vol. 25, p. 1800-1821.

Kjelland M.E., Woodley C.M., Swannack T.M., Smith D.L. (2015). A Review of the Potential Effects of Suspended Sediment on Fishes: Potential Dredging-Related Physiological, Behavioral, and Transgenerational Implications. *Environ. Syst. Decis.* Vol. 35, 334–350

Kroonenberg S., Jébrak M., Heuret A. (2020). Géologie protérozoïque du Bouclier des Guyanes. Les ressources des Guyanes. Revue officielle de la société géologique de France. (206), p. 13-20.

Lacerda L.D., De Souza M., Ribeiro M.G. (2004). The effects of land use change on mercury distribution in soils of Alta Floresta, Southern Amazon. *Environ. Pollut*, 129, 247–255.

Larrouturou B. (2021). Développement d'une filière aurifère responsable de Guyane. Conseil général de l'environnement et du développement durable.

Laperche V., Maury-Brachet R., Blanchard F., Dominique Y., Durrieu G., Massabuau J.-C., 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 BRGM/RP-55965-FR. 204 p.

Laperche V., Nontanovanh M., Thomassin J.-F. (2008). Synthèse critique des connaissances sur les conséquences environnementales de l'orpaillage en Guyane. Rapport BRGM/RP-56652-FR. 76 p.

Laperche V., Hellal J., Schäfer J., Brisset N., Dutruch L., Joseph B., Bechelen L. (2019). Caractérisation de l'impact de la pression d'orpaillage sur les masses d'eau de surface de Guyane. Rapport final. BRGM/RP-68552-FR. 108 p.

Le Bail P. Y., Covain R., Jégu Michel, Fisch-Muller S., Vigouroux R., Keith P. (2012). Updated checklist of the freshwater and estuarine fishes of French Guiana. *Cybium*, 36 (1), p. 293-319.

Lobo F., Costa M., Novo E., Telmer K. (2016). Distribution of artisanal and small-scale gold mining in the Tapajós River Basin (Brazilian Amazon) over the past 40 Years and relationship with water siltation. *Remote Sens*, 8(7):579.

Longueville F., Bel Madani A., Thiéblemont R. (2022). Synthèse des travaux relatifs à la projection de l'impact du changement climatique sur différents paramètres physiques en Guyane – Projet GuyaClimat. 11 p.

Linarès S. (2019). Observatoire de l'orpaillage illégal, 10 ans de télédétection au service de l'action. Géodata days 2019, AFIGEO et Décryptagéo, Arras 2019. 23 p.

Marquis F. (2015). Activité minière et aurifère en Guyane et réglementation. Deal Guyane – Unité mines & carrières. 29 p.

Matheus P. (2018). L'exploitation de l'or en Guyane. Communication à la société géologique de France le 5 juin 2019.

Melo M.G.G., Medeiros R.S., Sampaio P.T.M., Vieria G. (2018). Sustainability issues: riparian vegetation and its importance in the hydrological cycle in Amazonian ecosystems. *J Secur Sustain Issues*, 7(4):861–68.

Melun G., Le Bihan M., de Billy V. (2020). Histoire et impacts environnementaux de l'orpaillage en Guyane : clefs de compréhension des tensions actuelles. Office français de la biodiversité. *Collection Comprendre pour agir*. 100 p.

Melun G., Le Bihan M. (2021). Guide de préconisations techniques pour l'exploitation alluvionnaire et la réhabilitation hydromorphologique des criques guyanaïses. Office français de la biodiversité. *Collection Guides et protocoles*. 176 p.

Melun G., Le Bihan M., de Billy V. (2023). Caractérisation des impacts physiques de l'activité minière alluvionnaire sur les cours d'eau. Protocole Cariacou. Documents de travaux. 59 p.

Mol J.H., Ouboter P.E. (2004). Downstream effects of erosion from smallscale gold mining on the instream habitat and fish community of a small neotropical rainforest stream. *Conserv Biol*, 18(1) :201–214

MOM (2012 - 2014). Mise au point d'un protocole de restauration de la biodiversité végétale sur sites dégradés. Rapport final. SOLICAZ. 42 p.

ONF (2023). Suivi des impacts sur l'environnement des activités minières en Guyane. Année 2022. Rapport ONF Guyane. 78 p.

ONF (2022). Bilan annuel 2022. Bilans des impacts sur l'environnement des activités minières en Guyane. Année 2021. Rapport ONF Guyane. 40 p.

Picot, J.-C., Foucher, J.-L., Wagner, R (1993) – Projet or, mercure et environnement ; BRGM/RR – 37837 - FR.

Picot J.C., Bornuat M., Hocquard C., Milési J.-P., Zeegers H. (1995). L'or en Guyane : Géologie, gîtes, potentialités – Quel avenir pour l'an 2000 ? Rapport BRGM – Ministère de l'industrie. 119 p.

Picot J.C. & Chevillard M. (2015). Potentiel aurifère de la Guyane – Note de Synthèse. BRGM. 6 p.

Pignoux R., Gourves P.Y., Sow M., Maury-Brachet R. (2019). Imprégnation mercurielle des femmes enceintes de Guyane (Haut Maroni) : étude et prévention. Toxicologie Analytique et Clinique. 31. 10.1016/j.toxac.2018.12.002.

Quenel P., Salviuc P., Godard E. (2007). Le mercure en Guyane Risques sanitaires et enjeux de santé publique. Bulletin d'Alerte et de Surveillance Antilles Guyane. n°7. 16 p. <https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/184797/2314015?version=1>

Roig J.Y., Moisan M. J.Y. (2011). Inventaire du patrimoine géologique de la Guyane – Partie 2. Rapport BRGM/RP-60644-FR. 67 p., 10 fig., 3 tab, 2 ann.

SDOM (2011). Schéma départemental d'orientation minière de la Guyane. 75 p.

SDAGE (2022-2027). Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux de Guyane. 154 p.

Sutherland A.B., Meyer J.L. (2007). Effects of increased suspended sediment on growth rate and gill condition of two southern Appalachian minnows. Environ Biol Fish, vol. 80(4): p. 389–403. <https://doi.org/10.1007/s10641-006-9139-8>.

Swinkels L.H., Van de Ven M.W.P.M., Stassen M.J.M., Van der Velde G., Lenders H.J.R., Smolders A.J.P. (2012). Suspended sediment causes annual acute fish mortality in the Pilcomayo River (Bolivia). Hydrol Process, 28(1):8–15. <https://doi.org/10.1002/hyp.9522>.

Théveniaut H., Billa M., Cassard D., Delor C., Maldan F. (2011). Le plateau des Guyanes et son potentiel minier. Geosciences, 2011, p. 60-67

Thomassin J.F. Urien, P., Verneyre, L., Charles N., Galin R., Guillon, D., Boudrie, M., Cailleau A., Matheus P., Ostorero C., Tamagno D. (2017). Exploration et exploitation minière en Guyane. Collection « La Mine en France ». Tome 8. 141 p.

Thusy (2014). Guide méthodologique du protocole Carla : Protocole de Caractérisation de la largeur des cours d'eau pour l'application du Schéma Départemental d'Orientati on Minière de Guyane. DEAL Guyane. 19 p.

IUCN France, MNHN, GEPOG, Kwata, Biotop e, Hydreco & OSL (2017). La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitres de la Faune vertébrée de Guyane. Paris, France.

US EPA (2012). Turbidity. In Water : Monitoring & Assessment. (5.5) From <http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms55.cfm>

US EPA (2021). Factsheets on Water Quality Parameters - Factsheets on Water Quality Parameters. 3 p. <https://www.epa.gov/awma/turbidity-parameter-factsheet>

UTNE-PALM A.C. (2002). Visual feeding of fish in a turbid environment: physical and behavioural aspects. *Mar Freshw Behav Physiol* 35. p. 111–128.

Vigouroux R., Guillemet L., Cerdan P. (2005). Étude de l'impact de l'orpaillage alluvionnaire sur la qualité des milieux aquatiques et la vie piscicole. Étude et mesure de la qualité physico-chimique des eaux de l'Approuague au niveau de la Montagne Tortue et son impact sur les populations de poissons et d'invertébrés aquatiques. Rapport Hydreco-DAF 39 p.

Vigouroux R., Guillemet L., Pache L., Cerdan P. (2006). Étude de l'impact de l'orpaillage alluvionnaire sur la qualité des milieux aquatiques et la vie piscicole. Étude et mesure de la qualité physico-chimique des eaux de l'Approuague au niveau de la Montagne Tortue et son impact sur les populations de poissons et d'invertébrés aquatiques. Rapport Hydréco- DAF. 44 p.

Wantzen K.M., Mol J. (2013). Soil erosion from agriculture and mining: A threat to tropical stream ecosystems. *Agriculture*, vol. 3(4): 660–83. <https://doi.org/10.3390/agriculture3040660>.

Weng P., Aulong S., Dolbeau X., Guillet J., Orru J.F., Saget M. (2006) - Mise en place de la directive cadre européenne sur l'eau, district de la Guyane : plan détaillé d'état des lieux. BRGM/RP-54630-FR.

WWF (2018). Lutte contre l'orpaillage illégal en Guyane : orientations pour une efficacité renforcée. Rapport WWF France. Bureau Guyane. 21 p.

Yule, C. M. (1995). The impact of sediment pollution on the benthic invertebrate fauna of the Kelian River, East Kalimantan, Indonesia. In *Tropical Limnology*. Vol. III. (Eds K. H. Timotius and F. Goltenboth.) p. 61–75.

Annexe 1 : Liste des études menées sur l'orpaillage légal et illégal en Guyane

PROJETS				
Nom du projet	Porteurs du projet	Partenaires du projet	Durée	Objectifs
NOE (Nourag'Obs'Eau)	Gestionnaires de la RNN : ONF - GEPOG	FAG	2018 - 2021	Acquérir les connaissances indispensables au suivi de l'état écologique des cours d'eau de la Réserve naturelle des Nouragues (RNN).
ORION (Observatoire Résilience Impacts Orpaillage Nouragues)	Gestionnaires de la RNN : ONF - GEPOG	Partenaires techniques envisagés : Axe protection (LCOI) : ONF-USN, EMOPI, FAG-3ème REI, Gendarmerie, PAG, PAF Axe recherche-conservation : OEG, CNRS, ONF-RDI et ONF-SYL.V, OFB en lien projet RHYSOG	Phase I : 2020 - 2023 - Phase II : 2023 - 2032	Définir et suivre l'état écologique et la résilience des cours d'eau et des forêts de la réserve des Nouragues en lien avec l'orpaillage.
RENFORSAP (Renforcer le réseau des aires protégées du plateau des Guyanes)	Projet multi-acteurs et transnational promu par les gestionnaires d'aires protégées de la Guyane française, du Suriname et du Guyana	Pour la Guyane : Université de Guyane, SOLICAZ, FEDOMG, Conseil Coutumier, WWF, EMOPI, DGTM, ONF, PAG, OEG, Gendarmerie, OFB, CTG, Commission des mines	2018 - 2021	Renforcer le réseau des aires protégées du plateau des guyanes et leurs contributions à un développement local durable et respectueux des cultures et des modes de vie en site amazonien isolé. Thème 4 : Lutte contre l'orpaillage illégal
ECOTONE	OEG		Lancé fin 2021	Installations de pièges photos aux abords des criques pour observer la fréquentation de la faune autour des milieux aquatiques dont certaines criques orpaillées.
REGEMINE (Rôle de la faune dans la restauration des sites miniers en Guyane)	SOLICAZ	OFB	2023 - 2025	Suivi de la grande faune et de son rôle dans la revégétalisation forestière des sites miniers.
GUYINT (Gouvernance des grands espaces et enjeux environnementaux : l'intérieur du plateau des Guyanes)	CNRS	CNRS, OHMI, CREDA, OH, EVS-PASSAGES, PRODIG, LEEISA	2017 - 2021	3ième axe du projet : exploitation des ressources naturelles, en particulier minières.
Gardien du Haut-Maroni	WWF Guyane	A définir	2023 - 2026	Mettre en place des outils de suivi et d'alerte mis à disposition des habitants pour leur santé et l'environnement.
ECLAT (Processes controlling the Environmental dynamics and societal impacts of Geogenic and Anthropogenic trace metals contaminants in French Guiana)	Cécile Gauthéron (ISTerre, Université Grenoble Alpes)	ISTerre, IPREM, GEOPS, IMPMC, PRODIG, UG	Projet accepté pour la phase 2, document envoyé le 21-03-2023 à l'ANR (Agence National de Recherche)	Comprendre le processus contrôlant la dynamique environnementale de métaux traces et métalloïdes (mercure, plomb, arsenic, cadmium) et l'exposition des populations vivant le long des fleuves à ces contaminants.
MOITERM (Mercure dans l'orpaillage artisanal : Impact sur les termites et leur microbiote)	EC2CO, CNRS-INSU	ESEAE, GET, OAM-EMOPI, LEEC	2021 - 2023	Etudier l'impact du mercure rejeté par l'orpaillage clandestin sur la faune du sol, notamment les termites.
Soutenir l'abandon progressif du mercure dans les Guyanes	WWF Guyanes	ARM, IRD (partenaires techniques)	2019 - 2024	Production de connaissances sur ce métal et mise à disposition de technique d'extraction aurifère sans mercure pour l'orpaillage d'ici 2025 en Guyane et au Suriname.
STRAMELO (Stratégie métaux lourds)	ARS Guyane en partenariat avec la préfecture de Guyane	Acteurs institutionnels (ARS, CTG, OEG, OFB, ONF, PAG, DGTM, DGCOPOP, CIRE, GCC), de la santé (centres hospitaliers, CDPS, EMSPEC, CRSA, établissements médicaux-sociaux, PMI, réseau périnatal, URPS), de la recherche (BRGM, CIRAD, CNRS-MNnet associatifs Téléos, SOLICAZ, SIAL, CTA	2020 - 2025	Lutter contre l'intoxication aux métaux lourds (plomb, mercure notamment).
RESCRIOR (Restauration des criques orpaillées)	ONIKHA	Téléos, SOLICAZ, SIAL, CTA	2021 - 2023	Mesurer l'impact de la réhabilitation sur la biologie aquatique
RESORPI (Restauration d'anciens sites d'orpaillages illégaux)	ONIKHA	Téléos, SOLICAZ, SIAL	2021 - 2022	Mesurer l'impact de l'orpaillage illégal sur le milieu (MIB, flore, physico-chimie eau et sol, contamination Hg sédiments & poissons, perte SE)
RHYSOG (Réhabilitation hydromorphologique des sites d'orpaillages en Guyane)	ONIKHA - TELEOS - OFB	OEG, DGTM, ONF, PAG	2018 - 2022	Connaître et caractériser les impacts afin d'élaborer des préconisations techniques et proposer des éléments de suivi.
CARBOSOL (Stockage du carbone dans les sols lors de pratiques innovantes de production de biomasse ligneuse : l'initiative 4 pour mille en Guyane)	AgroParisTech	ECOFOP (AgroParisTech, INRAE), SOLICAZ, VOLTALIA, SMSE, GDI	2020 - 2023	Volet 1 : restauration écologique des sites miniers dont l'objectif est de voir l'impact sur la récupération du sol (mesure des stocks de carbone dans les sols).
GUYAFIX (Mise en place d'une production de plantes fixatrices d'azotes endémiques de Guyane pour la restauration de sites dégradés)	SOLICAZ	PTMG Guyane, SMSE, AMAP, Guyane Consult, ECOFOP, EPLEPPA Guyane	2012 - 2014	Apporter les outils nécessaires à la mise en place d'une filière de production d'espèces locales fixatrices d'azote, adaptées au milieu guyanais.

MOM (Mise au point d'un protocole de restauration de la biodiversité végétale sur sites dégradés)	SOLICAZ	PTMG Guyane, SMSE et Equateur, ECOFOG, EPLEFPA Guyane	2012 - 2014	Mise en place d'un protocole de revégétalisation pour restaurer la biodiversité végétale ainsi que la fertilité des sols (qualité des sols).
VALEECO (Etude de la restauration écologique de milieux anthropisés à des fins économiques)	CMB	SOLICAZ, ECOFOG, ADEME, SFA SDEG, Buffard Frédéric, FEDER, Contrat de transition écologique	2020 - 2023	Etudier la faisabilité de plantations à vocation énergétique, bois d'oeuvre et agroforestière sur des zones anthropisées de type site miniers.
De la mine à la vitrine	WWF	FFEM, CAEX REHA	2009	Etat des lieux du système de traçabilité de toute la filière or en Guyane, lacune du suivi de l'activité minière.
Or-IGINE (Origine de l'or)	BRGM		2014 - 2018	Discriminer les provenances des lots d'or échantillonnés par le WWF à travers les propriétés intrinsèques de l'or.
ORO ALVO	A définir	Police fédérale d'un côté et BRGM, Douane, Police et Gendarmerie de l'autre	A définir	Traçabilité de l'or contre la fraude (or propre). Il s'agit d'un programme dans lequel la Guyane devrait adhérer afin d'améliorer la connaissance des profils miniers à l'échelle de l'Amazonie.
OTRG (Or Traçable et Responsable de Guyane)	WWF	Région Guyane, CCI	2013 - 2014	Définition d'un référentiel pour une exploitation aurifère responsable.
TAO (Traçabilité Analytique de l'Or)	WWF	BRGM	2013 - 2015	Décrire les caractéristiques physico-chimiques de l'or pour vérifier l'adéquation entre les caractéristiques du produit et son origine déclarée.
RIOPAG (Evaluation des impacts de l'orpaillage en Guyane et réduction d'impacts de l'orpaillage à l'échelle du bassin versant)	PAG-OFB	OEG, DGTM, ONF	2023 - 2026	Proposer et mettre en oeuvre une technique expérimentale de réduction des impacts hydromorphologiques sur des sites impactés par l'orpaillage illégal.
CREHAM (Coopération pour la réhabilitation de la mine)	A définir	DGTM, OEG, OFB, ONF, PTMG	2023 - 2027	Mise en application des préconisations issues du projet RHySOG à l'échelle d'une AEX.
MAORI (Mesures d'atténuation des impacts hydromorphologiques de l'orpaillage illégaux)	OFB	DGTM, OEG, OFB, ONF, PAG, RN Nouragues	sept 2021 - nov 2021	Transposer des mesures techniques de réduction des impacts - réhabilitation hydromorphologiques aux particularités des chantiers illégaux.
VUX-1 (Expérimentation d'acquisition lidar héliportée à la voilée)	EMOPI		2022 - 2024	Utilisation du lidar pour le suivi de l'activité minière et ses impacts.
CO² (Cartographie des Observations de l'Orpaillage)	CNRS	CNRS - UMR PASSAGES - DGSRC - EMOPI	2023 - 2024	Définir des indicateurs sur les activités aurifères et leur environnement à partir des données de l'Observatoire des Activités Minières (OAM).
Définition et suivi d'une opération-test de réduction d'impacts des sites miniers illégaux dans le parc amazonien de Guyane	PAG, stagiaire : Benjamin Seris	Université des Antilles : pôle Martinique (UFR STE)	2022	Préparer et mettre en place un chantier-test de réduction d'impacts
Suivi de la dynamique de colonisation-extinction de la loutre géante <i>Pteronura brasiliensis</i> et de la loutre commune <i>Lontra longicaudis</i> en lien avec l'orpaillage dans le Parc amazonien de Guyane	CNRS - OFB - CEFE	PAG	2019 - 2022	Adapter le protocole élaboré par Kwata pour étudier les effets de l'orpaillage sur les loutres géantes et loutres communes et le potentiel de recolonisation de ces espèces
Suivi des populations et des contaminants environnementaux sur les caïmans	Jérémy Lemaire (Université de Vienne)	OEG, DGTM	2021 - 2024	Evaluer l'impact des activités aurifères légales et illégales sur la contamination en mercure et autres éléments traces chez les caïmans de Guyane
Objectivation des enjeux de l'exploitation minière en Guyane	UG - CNRS	EMOPI-MTE-CTG	2023 - 2024	Dresser un état des lieux aussi exhaustif et transversal que possible sur la situation minière en Guyane, ses impacts et les scénarios qui se dessinent
Exploitations légales sur des sites illégaux	Préfecture - EMOPI	DGTM, OFB, ONF, OEG	Mise en place du projet en cours	Placer des exploitants légaux sur des sites illégaux pour l'exploitation des ressources et la réhabilitation des sites
Flux Mercure 1 / Flux mercure 2	BGRM	Hydreco, CNRS laboratoire Epoque	2012 - 2013 / 2016 - 2018	Evaluer les quantités de mercure relargué par l'orpaillage
MÉMOIRE				
Sujet de mémoire	Nom de l'étudiant (e)	Université	Durée	Objectifs
Politique minière : un prérequis pour permettre à la filière aurifère, en Guyane Française, d'atteindre les objectifs de responsabilisation environnementale et de développement, en lien avec la réforme du code minier	Mémoire réalisé dans le cadre d'un Master 1 Géographie-Géopolitique à Paris 1 Panthéon Sorbonne		2023	Définir les impacts de la réforme du Code Minier en Guyane

THÈSES				
Sujet de thèse	Nom doctorant (e)	Université / encadrement	Durée	Objectifs
Réhabilitation de sites miniers sur le territoire concerné par le Parc Amazonien de Guyane : étude de faisabilité d'opérations de réhabilitation	Alice Jung-Fourquez	Thèse professionnelle encadrée par le PAG et AgroParisTech	2019 - 2022	Analyser l'opportunité de réhabiliter des sites miniers abandonnés sur le territoire du PAG
Contamination en mercure chez les calmans de Guyane, bioaccumulation et effets physiologiques	Jérémy Lemaire	École doctorale Euclide (La Rochelle)	2018 - 2021	Étudier les concentrations en mercure dans les tissus des calmans et les effets physiologiques du mercure sur ces espèces
Contraire les sources naturelles et anthropiques des contaminants métalliques le long du bassin versant de la Mana (Guyane)	Candidature en cours	Université Grenoble Alpes	A définir	Étudier des processus contrôlant les dynamiques environnementales et les impacts sociétaux des contaminants géogéniques et anthropiques à base de métaux traces
Réhabilitation de sites aurifères en Guyane française : stabilisation et devenir du mercure et du plomb naturels et anthropiques	Naomi Nitschke	Université de Grenoble Alpes	2022 - 2025	Étudier le devenir du mercure et du plomb sur un site minier en cours de réhabilitation en Guyane française. Déterminer l'impact de la réhabilitation sur la mobilité de ces deux éléments (et d'autres : As, Cd, ...)
Analyse pluridisciplinaire des risques miniers dans le cadre de la planification territoriale : un outil d'aide développé et testé sur le cas de l'or en Guyane française	Nina Fermet-Quinet	Université de Lorraine	2021 - 2024	Créer un outil d'aide à la discussion entre acteurs locaux du territoire de la Guyane sur un aménagement prospectif et commun du territoire en prenant en compte les impacts des activités minières légales et illégales
L'analyse des risques des projets miniers à l'échelle territoriale : développement d'un outil d'aide à la décision testé sur le cas de l'exploitation aurifère en Guyane française	Ottone Scammacca	Université de Lorraine	2017 - 2020	Analyser les risques liés aux activités extractives aurifères à l'échelle territoriale à travers la comparaison de différents scénarios d'aménagement minier afin d'avoir un regard sur la mine pas comme simple objet industriel isolé mais comme véritable enjeu d'aménagement territorial co existant avec d'autres activités.
Apport des données Sentinel-1 pour le suivi continu de la forêt tropicale : cas de la Guyane. Ingénierie de l'environnement	Marie Ballere	Université Gustave Eiffel	2018 - 2021	Étudier des méthodes pour suivre l'évolution de l'écosystème forestier en Guyane et pour cartographier ses changements