

NUMERO SPECIAL • GEOSCIENCES EN GUYANE

LA GEOLOGIE DE LA GUYANE DE LA DOCUMENTATION DES TEMPS ANCIENS AUX ENJEUX DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

DOSSIER

**LA GUYANE AN TAN TRÈS LONTAN,
AUX ORIGINES DU SOUBASSEMENT
GÉOLOGIQUE GUYANAIS**

ENTRÉTIEN AVEC ARNAULD HEURET

**LA GÉOLOGIE, CLÉ DE
COMPRÉHENSION DES PAYSAGES**

PORTFOLIO

LES ARCHIVES DU CLIMAT

**E-MAGAZINE DE LA FONDATION
UNIVERSITAIRE,**

Université de Guyane

Université de Guyane – Établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel situé sur le Campus de Troubiran, BP 20792, 97337 Cayenne Cedex

Président de la Fondation

universitaire : Laurent Linguet

Comité éditorial : Gaëlle Fornet,

Arnauld Heuret, Suzanne Pons,

Julie Ronzon, Sophie Vo

Rédacteur en chef : Arnauld Heuret

Rédaction des actualités : Julie Ronzon

Rédaction/édition : Sophie VO

Conception : Cellule de communication de l'Université de Guyane

Maquette : Laure Jacob

Photo de couverture

Filon magmatique doléritique de la série d'Apatou sur le littoral rocheux cayennais.
Photo d'Arnauld Heuret

Réf 13/2024 / ISSN 2825-8797

Les opinions exprimées dans la revue numérique Lemag' n'engagent que les auteurs

En application de la réglementation en vigueur, vous disposez d'un droit d'accès, de rectification ou d'effacement, de limitation du traitement de vos données, d'un droit d'opposition, d'un droit à la portabilité de vos données ainsi que du droit de définir des directives relatives au sort de vos données après votre décès qui s'exercent par courrier électronique à cette adresse :

dpo@univ-guyane.fr

Vous disposez enfin du droit d'introduire une réclamation auprès de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL), autorité de contrôle du respect des obligations en matière de données de la fondation universitaire, [cliquez ici](#).

Si vous souhaitez vous désinscrire, veuillez [cliquer ici](#).

SOMMAIRE

08 DOSSIER LA GUYANE AN TAN TRES LONTAN



► **Aux origines du soubassement géologique guyanais**

► ENCART : La place de la géologie guyanaise dans l'échelle des temps géologiques

► ENCART : L'orogénèse Transamazonienne vue depuis la pointe Buzaré (Ile de Cayenne)

► ENCART : Boris Choubert, pionnier de la carte géologique guyanaise

► **Les gisements d'or, marqueurs de l'histoire géologique du Bouclier des Guyanes**

21 RECHERCHE L'EXPLORATION OCÉANOGRAPHIQUE DU PLATEAU DE DEMERARA



► **Un historique des campagnes océanographiques**

► **Le plateau de Demerara, un laboratoire naturel pour l'étude des plateaux marginaux transformants**

► ENCART : Les marges continentales

► ENCART : Il y a marges et marges...

► **Les événements géodynamiques à l'origine du plateau de Demerara**

► ENCART : Les points chauds

FRISE DES TEMPS GÉOLOGIQUES

2,26 - 1,98 Ga Orogénèse Transamazonienne
Formation du soubassement géologique guyanais
p.08

environ 0,2 Ga
Initiation de l'ouverture de l'Atlantique
avec formation de la Province
Magmatique Centre-Atlantique (CAMP)
p.16

4,56 Ga
Formation de la terre

Supercontinent
Columbia



36 ENTRETIEN AVEC ARNAULD HEURET

- La géologie, clé de compréhension des paysages

42 RECHERCHE

- Un riche écosystème côtier vieux de 125 000 ans découvert sous Ariane 6 en Guyane

78 INITIATIVE

- De la géodiversité à la géofonctionnalité :

Quantifier les fonctions de la géodiversité pour l'aménagement du territoire en Guyane.



82 UG

- La Licence professionnelle VALORISATION DES RESSOURCES DU SOUS SOL

44 PORTFOLIO LES ARCHIVES DU CLIMAT

- A Terre... les découvertes paléontologiques récentes
- En mer... les marqueurs des cycles de glaciation
- Les latérites, témoins de l'altération tropicale

58 RECHERCHE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES MINIERES

- Histoire de l'exploitation de l'or en Guyane
- ENCART : Le Bouclier des Guyanes : Une grande variété de minerais disponibles
- La migration des frontières extractives dans le Bouclier Guyanais
- ENCART : Un bref aperçu du concept de "frontière"
- L'évolution de la frontière minière en Guyane française
- Vers une objectivation des enjeux de l'exploitation des ressources aurifères en Guyane française : exploitation minière, protection de l'environnement et développement humain
- Le projet ECLAT pour étudier les contaminants métalliques en Guyane



85 FAITS & CHIFFRES

- OVE chiffres doctorants

avec les grands événements de l'histoire géologique de la Guyane

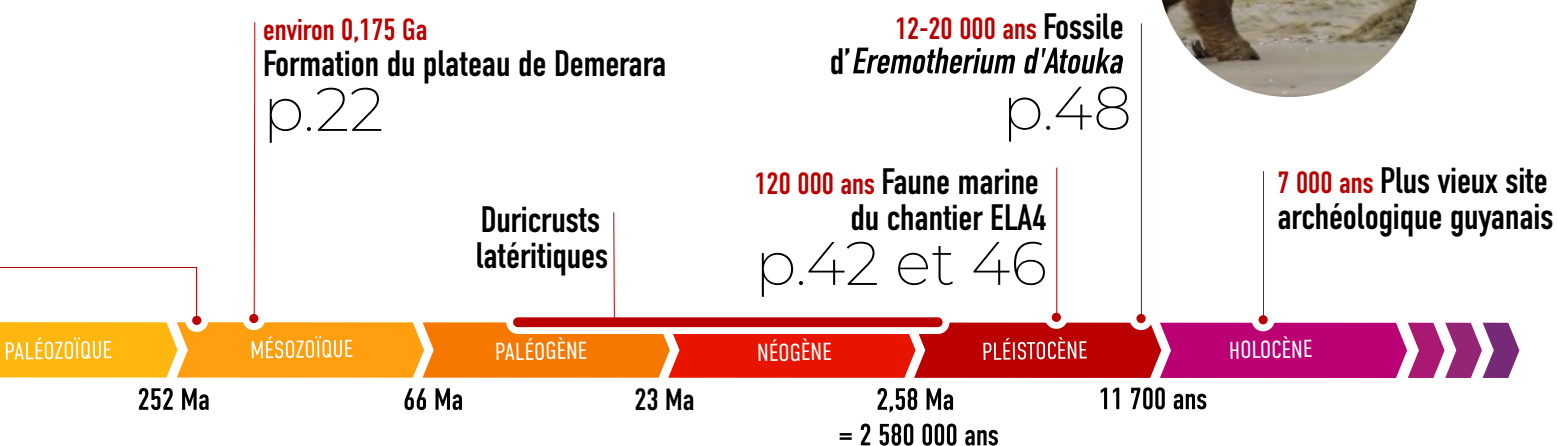




Photo Université de Guyane

“ En mettant l'accent sur le développement des compétences locales, l'Université de Guyane s'affirme comme un pilier de l'éducation supérieure en Amazonie, engagée à offrir une formation de qualité, accessible et pertinente. ”

LE MOT DU PRÉSIDENT

Laurent Linguet



À l'aube de la rentrée universitaire de septembre 2024, c'est avec beaucoup d'enthousiasme que je partage avec vous les avancées significatives que l'Université de Guyane s'apprête à réaliser dans le cadre de son engagement envers le développement des compétences locales. Cette année sera marquée par l'introduction de formations stratégiquement alignées avec les besoins spécifiques de notre région amazonienne. La diversification de nos programmes est pensée pour répondre non seulement aux exigences du marché de l'emploi local et global, mais aussi pour contribuer au développement durable de notre territoire.

Nous inaugurons trois nouvelles licences qui symbolisent notre engagement envers cette mission. **La Licence en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)** vise à former des professionnels qualifiés, capables de promouvoir la santé et le sport dans notre contexte géographique unique. Parallèlement, **la Licence en Langues Étrangères Appliquées, parcours Espagnol-Anglais**, et **la Licence en Langues, Éducation et Médiation en Milieu Amazonien**, ouvriront des perspectives professionnelles nouvelles et nécessaires pour favoriser l'interculturalité et la communication dans un environnement aussi divers que le nôtre.

L'ouverture de **l'Institut de Préparation à l'Administration Publique (IPAG)** et **des classes Prépa Talents** illustrera notre volonté de préparer nos étudiants aux plus hautes responsabilités dans la fonction publique, avec une conscience aiguë des réalités et des défis spécifiques à la Guyane. Ces formations sont essentielles pour bâtir une administration publique compétente, équitable et efficace. Enfin, **l'Institut d'Études Judiciaires** nous permettra de former les futurs juristes et professionnels du droit, renforçant ainsi notre système judiciaire local par des compétences solides et adaptées aux particularités de notre région.

Ces initiatives représentent des pas de géant dans la réalisation de notre vision stratégique. En mettant l'accent sur le développement des compétences locales, l'Université de Guyane s'affirme comme un pilier de l'éducation supérieure en Amazonie, engagée à offrir une formation de qualité, accessible et pertinente.

Je vous invite tous à vous joindre à cette belle aventure qui, sans aucun doute, marquera un tournant décisif pour notre université et pour la Guyane. Ensemble, œuvrons pour une université qui inspire, innove et inclut, en parfaite harmonie avec les richesses et les défis de notre territoire.

Un colloque sur “La mine d’or en Guyane”

Les 22 et 23 octobre 2024 aura lieu à l’Université de Guyane le colloque sur « La mine d’or en Guyane ». Organisé par Mathilde KAMAL et Hugues DOMINGO, maîtres de conférences à l’Université de Guyane, le colloque permettra d’apporter des réponses scientifiques sur un thème dont les enjeux sont cruciaux pour notre territoire.

Destruction de la forêt et mine d’or - photo : Kakteen -Adobestock.com



La mine, terrain ou gîte au sein de la terre d’où l’on extrait des métaux, des combustibles ou encore des gemmes, marque quotidiennement les espaces et les esprits en Guyane. Pour saisir cet objet complexe, le colloque propose des éclairages pluridisciplinaires, mettant en valeur les expériences vécues dans le territoire guyanais, au travers de contributions en droit, en sociologie, en littérature, sciences de gestion, économie, ainsi qu’en géosciences.

Les substances, minérales et fossiles, dont il est question, sont visées à l’article L. 111-1 du code minier. Renfermées dans le sein de la terre ou existant à la surface, leur exploitation varie en fonction du contexte géologique et physique. Ainsi, la mine est indissociablement liée à la géologie, à la géographie et à la géochimie. Si ouvrir une mine n’est jamais, techniquement, simple, son maintien se révèle tout aussi

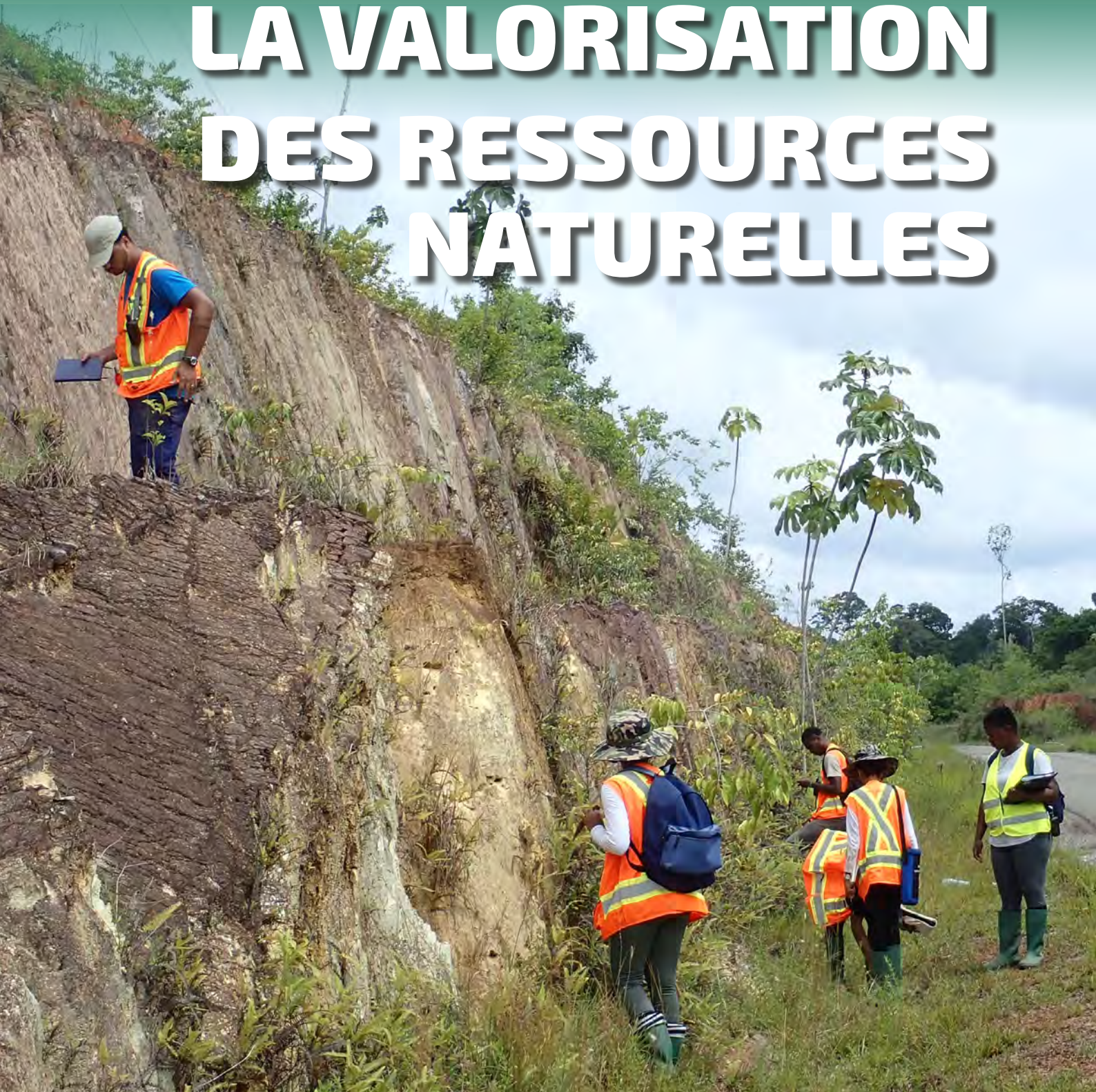
complexe et ce d’autant que l’activité extractive présente un certain nombre de risques, notamment écologiques. Quant à sa fermeture, elle pose la question de la revitalisation et de la régénération des sols.

L’ensemble de ces questions – et d’autres encore ! – **seront abordées les 22 et 23 octobre à l’Université de Guyane**. Les organisateurs espèrent que le colloque participera à éclairer le débat public, autant qu’il sera l’occasion de lancer une dynamique de réflexion plus large sur les activités extractives en Guyane, qu’elles soient terrestres ou sous-marines.

Pour tout renseignement :

- **N’hésitez pas à contacter les organisateurs :**
mathilde.kamal-girard@univ-guyane.fr
et hugues.domingo@univ-guyane.fr.

LA DYNAMIQUE DE LA BIODIVERSITÉ EN AMAZONIE ET LA VALORISATION DES RESSOURCES NATURELLES



DOSSIER

La connaissance géologique de la Guyane française a atteint un premier niveau de compréhension grâce à la cartographie réalisée par Boris Choubert et ses collaborateurs, dans les années 1960 (+ page 15).

A partir des années 1990, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières entreprend une actualisation de la carte géologique guyanaise. Les équipes du BRGM couplent les méthodes de géophysique aéroportée* et les levés de terrain pour définir plus finement les contours des différentes unités géologiques et entreprennent les premières datations de ces unités, impossibles du temps de Choubert.

Les cartes qui en résultent apportent un éclairage nouveau sur la connaissance du sous-sol guyanais et sur la compréhension de l'histoire géologique de la Guyane française.

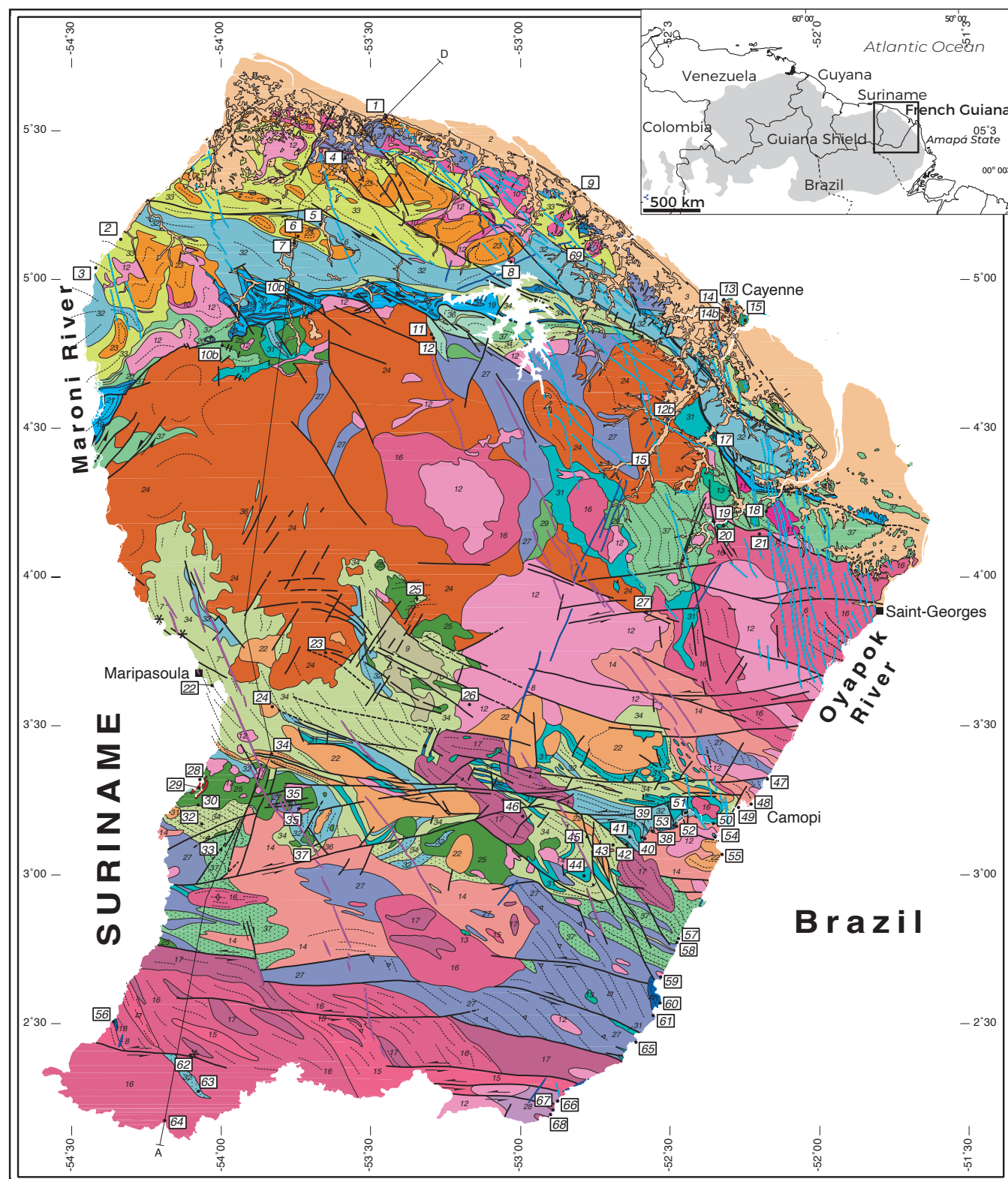
La carte géologique ci-contre, établie par Delor et ses collègues en 2001, est le résultat majeur de cette campagne de cartographie menée par le BRGM. La nature et l'âge des roches (plutoniques, volcaniques, volcano-sédimentaires et sédimentaires) y sont représentés par des nuances de couleurs différentes.

*Définitions

- LA GÉOPHYSIQUE AÉROPORTÉE est une méthode d'acquisition de données géophysiques à l'aide d'un aéronef. Différentes propriétés des roches, telles que l'aimantation, la conductivité électrique, la densité, la radioactivité naturelle peuvent être mesurées

Carte géologique de la Guyane

Source : Delor C., Lahondère D., Egal E., Marteau P. (2001) - Carte géologique de la Guyane à 1/500 000, 2nd édition, BRGM.



- | | |
|---|---|
|  Zone de failles transcurrentes |  22 Tonalite, Trondjémite (2140 - 2120 Ma) |
|  Sédiment cénozoïque | ] Granodiorite, tonalite et monzogranite (2080 - 2115 Ma) |
|  Grès, conglomérat (2000 Ma ?) |  Granodiorite, diorite et tonalite (2130 - 2170 Ma) |
|  Granites métalumineux, (2069 - 2060 Ma) |  Méta-volcanites (rhyolite, and site et basalte > 2150 Ma) |
|  Granites péralumineux (2084 Ma) |  Méta-sédiments > 2150 Ma |
|  Gabbro Tampok (2100 Ma) | |

LA GUYANE AN TAN TRES LONTAN

Assise sur un socle vieux de plus de deux milliards d'années, la Guyane abrite des roches parmi les plus vieilles de France et du monde. La diversité de ces roches est directement héritée d'une histoire géologique ancienne, qui a impliqué plusieurs grandes phases géodynamiques associées chacune à des déformations et à des conditions de pression et de température précises, elles-mêmes à l'origine de ceintures de roches spécifiques.

AUX ORIGINES DU SOUBASSEMENT GÉOLOGIQUE GUYANAIS

Les événements géologiques qui façonnent le socle guyanais datent du Paléoprotérozoïque et, plus précisément, d'une fenêtre d'environ 250 millions d'années (Ma) qui commence il y a environ 2,26 milliards d'années (Ga) et se termine il y a 1,98 Ga (+ page 3). Ils impliquent ❶ la formation d'un océan puis ❷ sa disparition et aboutissent ❸ à la formation d'une chaîne de montagnes (orogénèse). Cette orogénèse amène à souder deux fragments de continents plus anciens, le craton Nord-amazonien et le craton d'Afrique de l'Ouest. Le rassemblement de ces deux cratons est appelé l'orogénèse Transamazonienne.

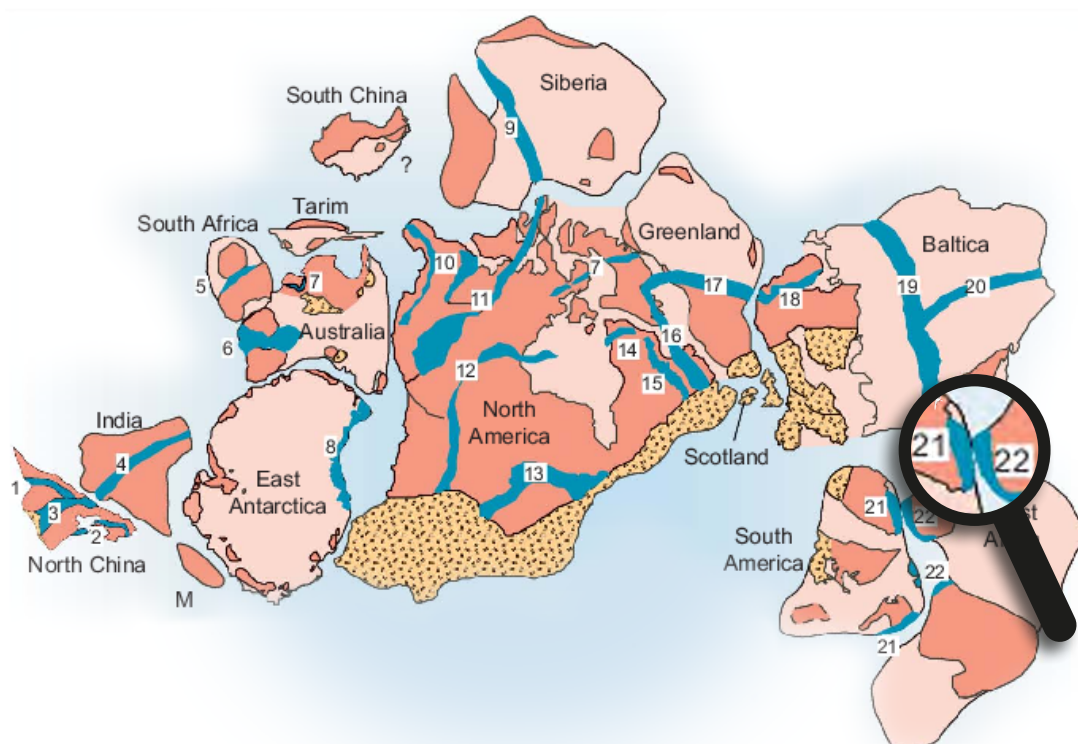
L'orogénèse Transamazonienne

Une étape de l'histoire de la formation du mégacontinent Columbia...

L'orogénèse Transamazonienne, qui participe **au rassemblement de l'Amérique du Sud avec l'Afrique de l'Ouest** est une des étapes de la formation du mégacontinent Columbia, un des premiers mégacontinents qui aurait existé. Si son assemblage se fait

progressivement, sur plusieurs centaines de millions d'années, sa configuration finale, rassemblant l'ensemble des masses continentales du globe en un seul et même gigantesque continent, se serait stabilisée pour environ 300 Ma, à partir de 1,8 Ga.

Le mégacontinent Columbia (Zhao et al. 2004)



Les traits bleus matérialisent les orogénèses ayant permis de rassembler les différents blocs continentaux en une seule gigantesque masse, le mégacontinent, Columbia. La loupe est centrée sur l'orogénèse Transamazonienne, rassemblant le bloc nord-amazonien et le bloc ouest-africain.

...Associée à la mise en place de plusieurs ceintures de roches

En Amérique du Sud, l'orogénèse Transamazonienne est associée à la mise en place d'une grande province géologique, le **Bouclier des Guyanes**, qui s'étend sur 1500 km, de l'Est du Venezuela au Nord-Ouest du Brésil, en passant par le Guyana, le Suriname et la Guyane (+ Fig. A). Le Bouclier des Guyanes est délimité, à ses extrémités Est et Ouest, par deux noyaux d'âge archéen, plus anciens, le complexe d'Imataca, au Venezuela (3,23-2,67 Ga) et le bloc de l'Amapà, au Brésil (2,85-2,58 Ga). Entre ces deux unités archéennes, le bouclier s'organise en ceintures de roches parallèles à la côte Atlantique et de plus en plus jeunes lorsqu'on se déplace vers l'intérieur du continent. Chacune de ces ceintures de roches s'est mise en place lors de phases géodynamiques spécifiques, de l'orogénèse Transamazonienne. **La Guyane est uniquement**

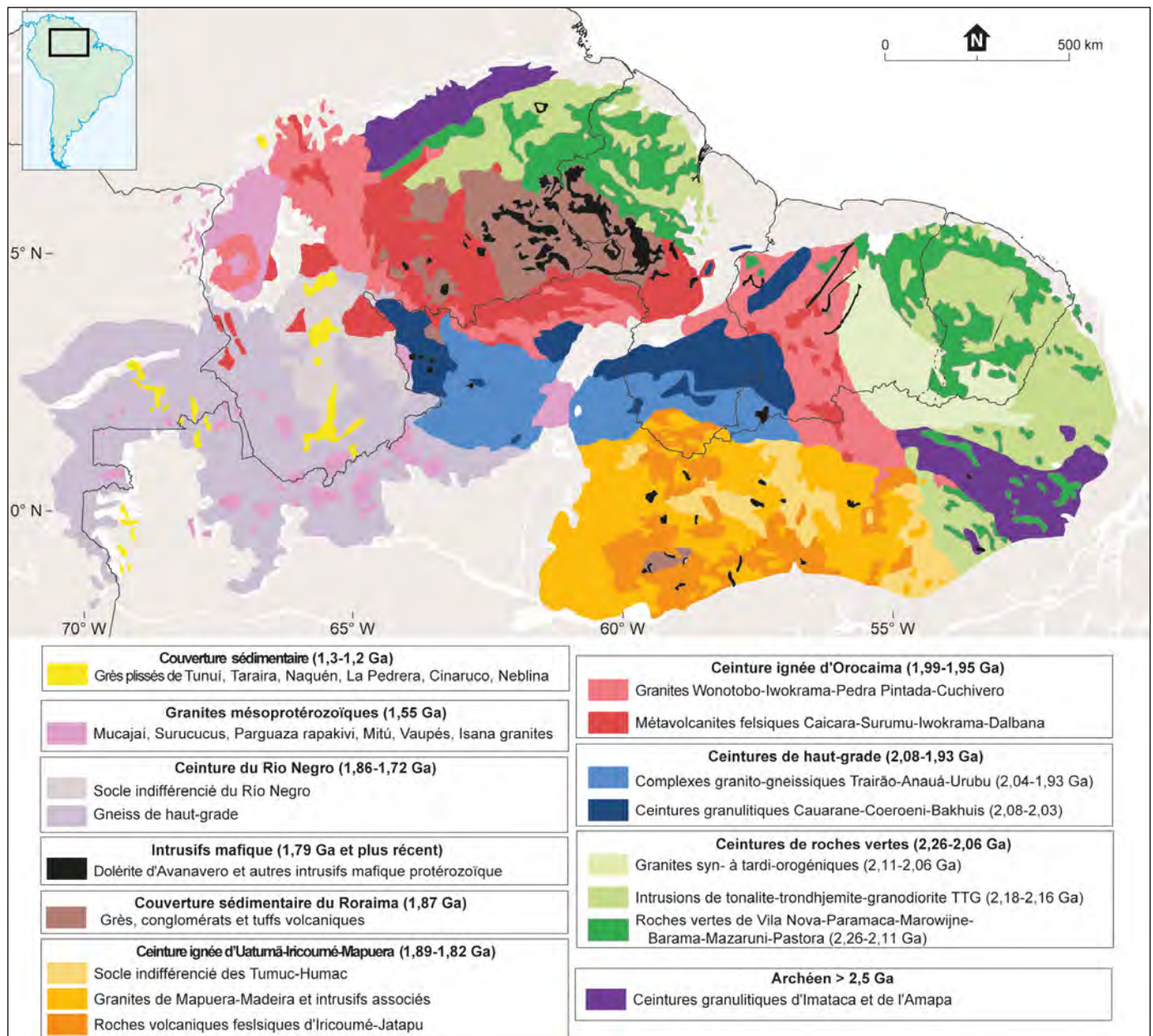
concernée par la plus ancienne de ces ceintures de roches, la ceinture de roches vertes (et granitoïdes associés) de Vila-Nova, Paramaca-Marowijne, Barama-Mazaruni, Pastora.

Des changements géodynamiques majeurs

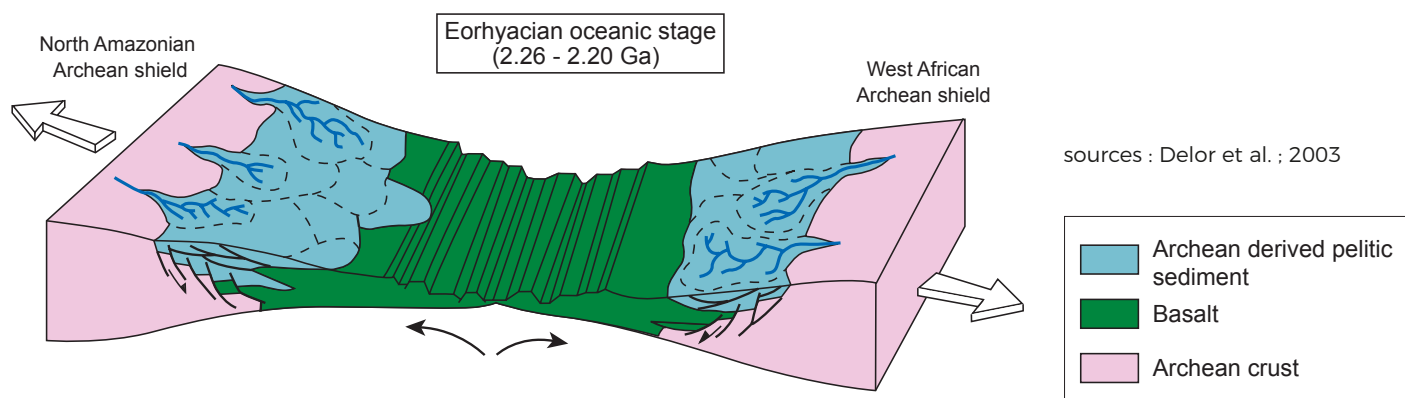
Le soubassement géologique guyanais est principalement constitué de **roches métamorphiques**, c'est-à-dire des roches issues de la recrystallisation, à l'état solide, de roches préexistantes (essentiellement magmatiques, dans le cas de la Guyane, bien que plusieurs générations de roches sédimentaires soient également concernées), sous l'effet de changements de pression et de température parfois importants.

A - Schéma géologique simplifié du Bouclier des Guyanes

(modifié d'après Kroonenberg et al., 2016, Géologie protérozoïque du Bouclier des Guyanes, Géologues n°206, Septembre 2020)



B① - Ouverture d'un océan à l'Eorhyacien (2,26-2,20 Ga)



La diversité des roches observées au sein des grands ensembles géologiques guyanais **est directement héritée des changements géodynamiques** qui s'opèrent tout au long de l'orogénèse Transamazonienne.

Les trois premières phases de l'orogénèse Transamazonienne amènent à la création d'une chaîne de montagne

Trois phases géodynamiques se succèdent, chacune étant associée à des roches et des paysages géologiques spécifiques (+ Fig. B) :

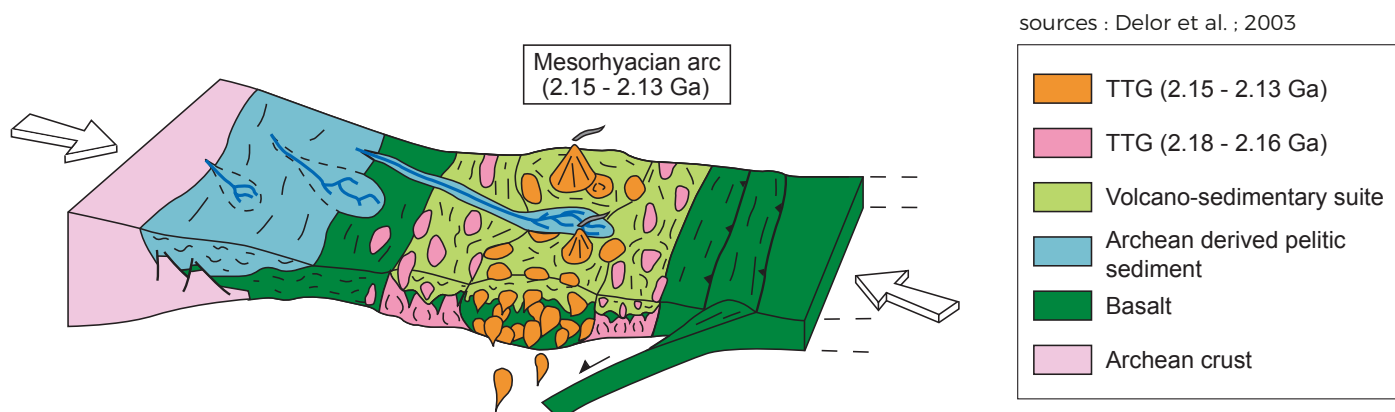
① Ouverture d'un océan à l'Eorhyacien (2,26-2,20 Ga)

Les plus anciennes roches identifiées en Guyane sont des métagabbros et des amphibolites, c'est-à-dire **des roches d'origine magmatique** du type de celles constituant le plancher des océans (basaltes et gabbros) mais déformées et transformées pendant l'orogénèse Transamazonienne. Datées de 2,26-2,20 Ga, elles suggèrent qu'à l'Eorhyacien, des volcans sous-marins étaient actifs, le long d'une dorsale océanique, laquelle accompagnait la formation

d'une croûte océanique entre les cratons archéens amazoniens et ouest-africains (en vert).

② Fermeture de l'océan éorhyacien pendant le Mésorhyacien (2,18-2,13 Ga)

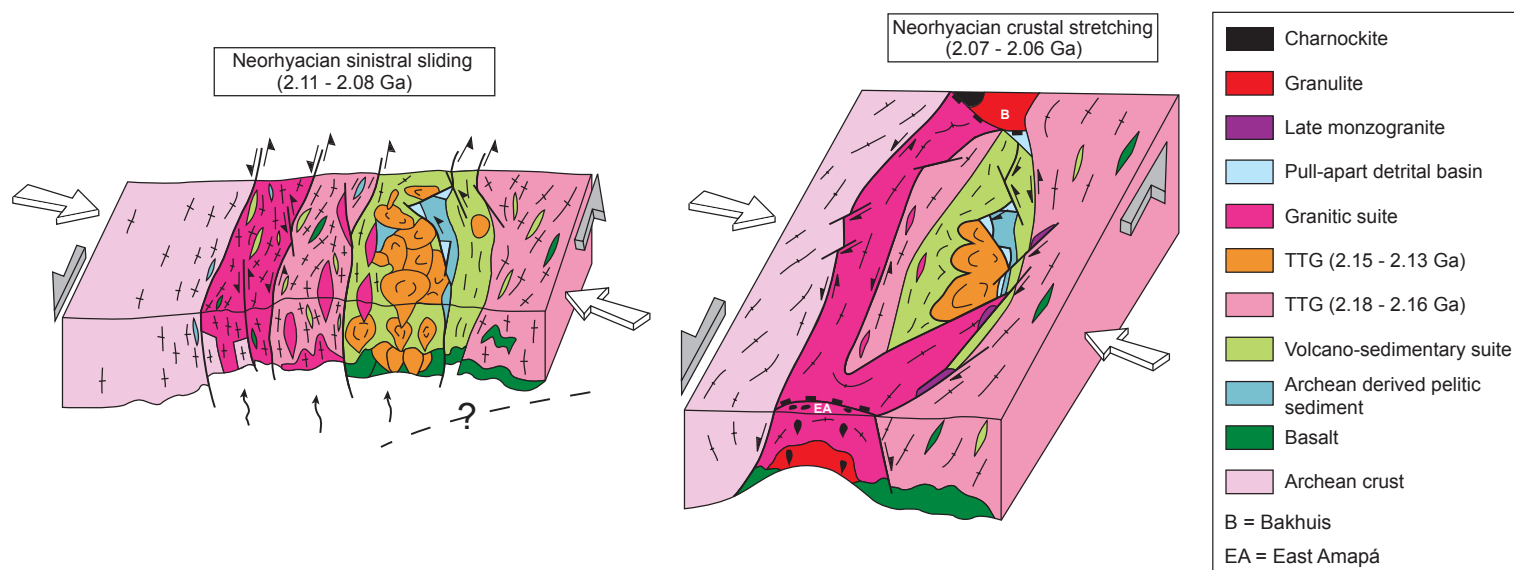
Le Mésorhyacien est marqué, entre 2,18 et 2,13 Ga, par l'apparition **d'un ensemble de roches volcaniques aux compositions calco-alkalines** qui se mêlent aux produits de leur propre érosion pour alimenter une sédimentation en domaine océanique profond. Cet ensemble de roches correspond à la définition originelle des "roches vertes", caractéristiques à l'échelle mondiale, de l'Archéen et du début du Protérozoïque. En Guyane, elles s'organisent en **deux "ceintures de roches vertes"**, orientées Est-Ouest, l'une au Nord, l'autre au Sud, à hauteur de l'axe Maripasoula-Camopi (+ ensembles bleus et verts sur la carte page 9). Dans le même temps, plusieurs générations de corps magmatique profonds (intrusions), associant **des roches à la composition de Tonalites, de Trondjhémites et de Granodiorites** se mettent en place au milieu des ceintures de roches vertes. **Ces cortèges de roches magmatiques dites TTG** sont également caractéristiques de l'Archéen et du début du Protérozoïque. Elles appartiendraient à un type de magmatisme aujourd'hui à peu près



B② Fermeture de l'océan éorhyacien pendant le Mésorhyacien (2,18-2,13 Ga)

B 3 - Modèle d'évolution géodynamique des terrains paléoprotérozoïques de Guyane

sources : Delor et al. ; 2003



disparu et spécifiquement associé à une Terre à la température interne globalement plus forte, permettant la fusion de la croûte océanique basaltique, en contexte de subduction.

Les systèmes volcano-sédimentaires calco-alcalins des ceintures de roches vertes et TTG témoignent, au Mésorhyacien, **de la disparition de la croûte océaniques basaltique éorhyacienne dans les profondeurs du manteau terrestre, par subduction** (+ Fig. B 3). Cette subduction s'accompagne du développement d'un magmatisme d'arc insulaire (volcans calco-alcalins et intrusions de TTG ; en rose et orange). Il se développe ainsi **un nouveau paysage d'îles volcaniques**, soumises aux intempéries de surface et à l'altération. Les produits de leur érosion alimentent la sédimentation dans les bassins profonds qui les entourent (en vert clair). L'ensemble se fait dans un contexte de convergence des cratons archéens nord-amazonien et ouest-africain. Cette première grande phase de métamorphisme amène à déformer les roches suivant des plans subverticaux perpendiculaires à la direction de convergence.

3 Collision continentale au Néorhyacien (2,11-2,06 Ga)

Au Néorhyacien, tout le domaine océanique éorhyacien a disparu en subduction. Entre 2,11 et 2,06 Ga, les complexes de roches vertes et de TTG qui composaient l'arc insulaire mésorhyacien se trouvent pris en étau entre le craton nord-amazonien et le craton ouest-africain. Une phase de collision continentale s'initie.

Sous l'effet de la convergence entre les deux cratons, la croûte se déforme et s'épaissit. **Un paysage continental au relief important, sans doute montagneux**, s'installe. De grandes failles cisailantes verticales, parallèles à l'axe de la chaîne de montagne, se développent, découpant les formations antérieures en une série d'écaillés. Ces dernières glissent latéralement, le long des failles qui localement, délimitent de petites dépressions, dites "bassins en pull-apart", vers lesquels s'écoulent les rivières pour alimenter une sédimentation fluviale détritice (en bleu clair). Dans le même

temps, en profondeur, l'épaississement de la croûte s'accompagne d'un réchauffement généralisé qui conduit à la fusion partielle des racines de la chaîne de montagne et à un nouvel épisode magmatique, granitique celui-là (en rose vif).

Les phases suivantes amènent au démantèlement progressif de la chaîne de montagne

Bien exprimées au Suriname et au Guyana et, plus généralement, vers l'intérieur du continent, au Sud du bouclier (+ Fig. A), les phases suivantes ont laissé peu de traces en Guyane, si ce n'est quelques occurrences, assez localisées, de granulites et de charnockites (+ respectivement en rouge et en noir sur les Fig. B). Ces roches sont caractéristiques des hautes températures atteintes au pic du métamorphisme, entre 2,07 et 2,06 Ga, au moment où s'initie l'étirement de la croûte accompagnant le début du démantèlement de la chaîne de montagne.

A l'échelle du Bouclier Guyanais, les produits de la destruction de la chaîne de montagne Transamazonienne s'accumulent il y a 1,87 Ga dans un bassin sédimentaire fluviale. Les roches essentiellement gréseuses constituent la formation du Roraima (Fig. A), lesquelles arment dans les paysages d'aujourd'hui **les tepuys**, imposant reliefs qui dominent l'Ouest et le Sud-Ouest du Bouclier Guyanais.

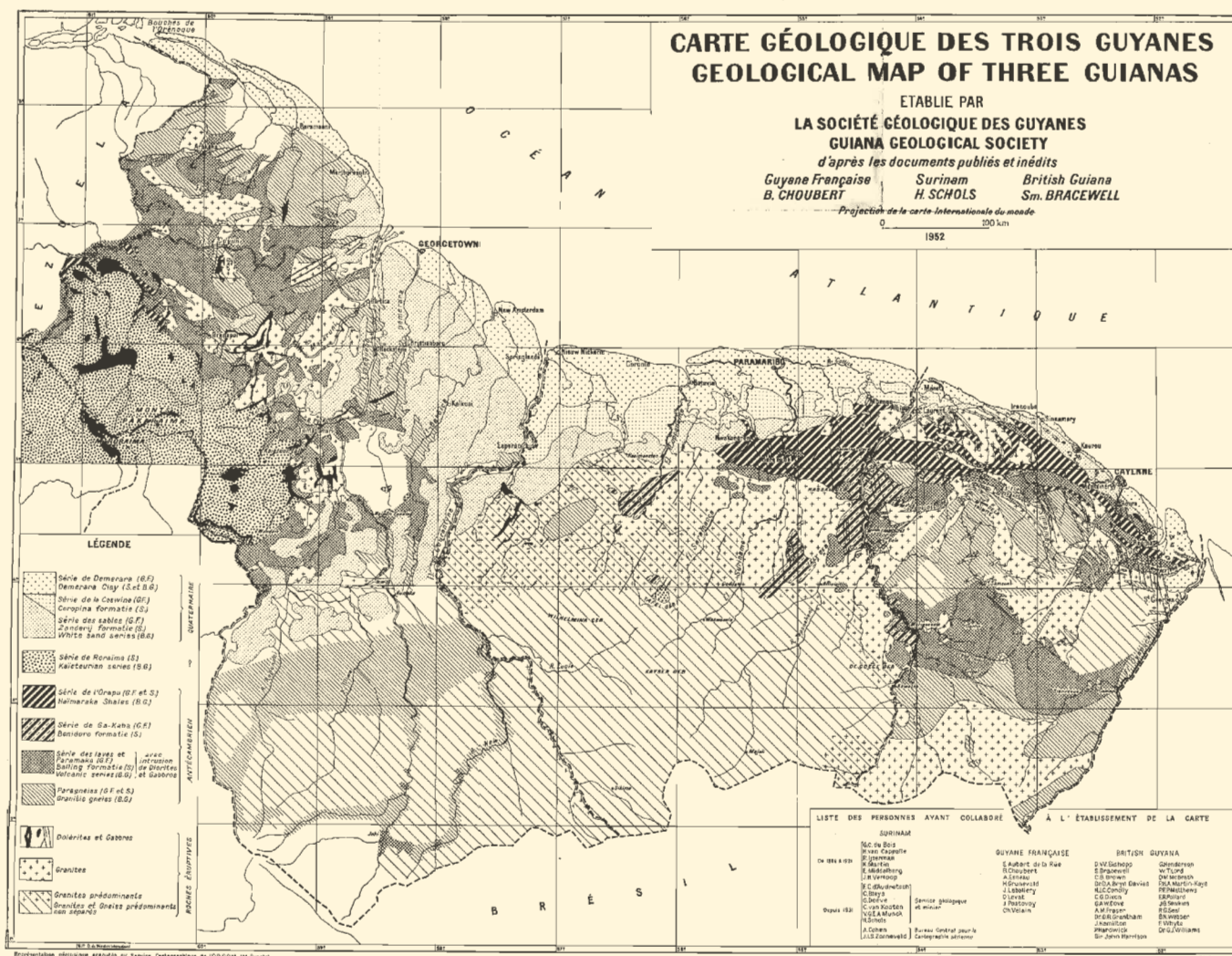
Cette phase de l'histoire du Bouclier Guyanais s'accompagne d'une extension crustale pendant laquelle se mettent en place des intrusions magmatiques de composition basaltique constituant la série d'Avanavero (1,79-1,78 Ga). Largement répartie à l'échelle du bouclier, en Guyane, elle ne s'exprime que par quelques filons orientés NNE-SSW, dans le secteur de la Comté.

Les premières cartes ont pourtant été dressées dès le courant des années 1940 par Boris Choubert et ses collaborateurs, véritables grands pionniers de la géologie guyanaise.

logique du territoire (88 000 km²) à l'échelle 1/500 000, carte qui sera publiée en 1949 puis, sous une forme plus détaillée, en 1960. Entre autres ouvrages, il publie *Le Précambrien en Guyane* avec une première carte géologique du Bouclier Guyanais (BRGM, 1974).

Source photo : wikipedia.org

dans lequel une reconstitution voisine de celle de Choubert est réalisée à l'aide d'un ordinateur, par minimisation numérique des écarts entre les blocs continentaux. Si cet article acquiert rapidement une grande renommée auprès de la communauté scientifique, le travail de Choubert est resté quasi inconnu.



source carte : https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers21-04/28598.pdf

Filon magmatique doléritique de la série d'Apatou sur le littoral rocheux cayennais. Datés à environ 200 Ma et associés à la Province Magmatique de l'Atlantique Central, ces filons témoignent de l'initiation de la déchirure du continent Gondwana, préfigurant l'ouverture de l'Océan Atlantique (Cliché A. Heuret).



Après l'orogénèse Transamazonienne...

L'ouverture de l'Océan Atlantique

Après l'orogénèse Transamazonienne, la Guyane reste éloignée de tout événement géologique majeur pour près de 2 milliards d'années. Pendant cette période, les seules formations géologiques mises en place en Guyane correspondent à plusieurs générations de **filons magmatiques de composition basaltique, dits doléritiques**, comparable à ceux de la série d'Avanavero-Comté. La dernière de ces séries magmatiques, l'essaim de filons doléritiques orientés WNW-ESE à N-S de la série d'Apatou se met en place il y a 200 millions d'années, au Jurassique (photo ci-dessus). Affectant plusieurs continents (Afrique, Amérique du Sud et Amérique du Nord), ils sont associés à une gigantesque province magmatique, la Province Magmatique de l'Atlantique Central (CAMP), qui marque l'initiation du dernier grand événement tectonique affectant la Guyane : **l'ouverture de l'Océan Atlantique qui vient déchirer le continent Gondwana** pour séparer l'Amérique du Sud de l'Afrique. Jusqu'aux récentes missions d'exploration du plateau continental guyanais et la découverte du soubassement magmatique à signature du point-chaud du plateau de Demerara, au large du Maroni (+ article *L'origine du plateau de Demerara* page 32), ces filons doléritiques de la série d'Apatou étaient considérés comme étant les dernières pages de l'histoire géologique guyanaise.

Les événements récents

De nouvelles découvertes sur l'histoire plus récente de la Guyane sont attendues. Bien que tectoniquement stable depuis la fin de l'ouverture de l'océan Atlantique, il y a environ 100 millions d'années, les roches guyanaises sont soumises à **l'altération intense imposée par le climat équatorial chaud et humide** qui y règne, entraînant le développement progressif d'épaisses **couvertures latéritiques** (+ page 55). Depuis quelques années, l'avènement de nouvelles méthodes analytiques permettant la datation et l'interprétation de ces latérites en termes de conditions climatiques, en ont fait d'excellentes archives géologiques capables de participer à reconstituer les paléo-paysages guyanais des dernières dizaines de millions d'années (Ere Tertiaire).

Sur les temps encore plus récents, la découverte des tous premiers fossiles guyanais (+ page 46) dans les formations sédimentaires du Pléistocène et de l'Holocène (fin du Quaternaire ; derniers 150 000 ans) ouvre également de nouvelles perspectives sur la compréhension de l'évolution des paysages et de la biodiversité avant et après l'arrivée de l'Homme dans le périmètre du Bouclier Guyanais. (+ Portfolio page 44)

L'OROGENÈSE TRANSAMAZONIENNE VUE DEPUIS LA POINTE BUZARÉ (ÎLE DE CAYENNE)



Les affleurements rocheux de la pointe Buzaré (Cliché A. Heuret). Au premier plan, le sombre des amphibolites, ultimes reliques de l'océan éorhyacien, contraste avec le clair des TTG métamorphisées.

SOURCES :

- Héloïse Pinon, La reconstruction du supercontinent Columbia : Apport du Complexe de l'Île de Cayenne (Guyane française), Mémoire de stage de M2, Géosciences Montpellier, Univ. de Montpellier et de Guyane, Juin 2021

- Scammacca O., Heuret A., Rivera L., Aergeerts G., Boudrie M. (2024)

La pointe Buzaré et le littoral cayennais : un paysage géologique emblématique de la Guyane française. Dynamiques Environnementales.

L'île de Cayenne offre une exceptionnelle - et sans équivalent à l'échelle du Bouclier des Guyanes - fenêtre sur la géologie paléoprotérozoïque, permettant d'accéder, à quelques minutes du centre urbain de la capitale guyanaise, à des géosites majeurs. Parmi ceux-ci, la pointe Buzaré est certainement l'exemple le plus représentatif.

La pointe Buzaré est un promontoire rocheux localisé entre les anses Nadau (à l'ouest) et Méret (à l'est). Le site est principalement composé de roches paléoprotérozoïques, elles-mêmes recoupées par plusieurs générations de filons parmi lesquelles de remarquables filons jurassiques d'origine magmatique (dolérites). La qualité de l'affleurement permet, sur une surface de moins de 2 hectares, de documenter et d'illustrer les principales grandes phases géodynamiques à l'origine du socle guyanais.

Deux faciès principaux peuvent être observés : des orthogneiss clairs, contrastant avec de nombreuses enclaves de roches sombres. Ces enclaves, composées de métagabbros et d'amphibolites, sont interprétées comme étant les reliques de la croûte océanique éorhyacienne (+ page 11). Elles correspondent à la lithologie la plus ancienne du

Complexe de l'Île de Cayenne et, par extension, de Guyane et de France. Les orthogneiss résultent du métamorphisme de roches magmatiques appartenant à la série des TTG guyanaises (Tonalite-Trondhjemite-Granodiorite), associées à la fusion partielle d'une croûte océanique en contexte de subduction. En Guyane, ces TTG résultent du fonctionnement de la zone de subduction associée à la fermeture du paléo-océan éorhyacien (il y a 2,170 Ga) (+ Fig. B1) dont les enclaves mafiques seraient l'ultime relique.

L'ensemble a subi une déformation intense marquée par des plans sub-verticaux orientée NO-SE. La présence d'un réseau complexe de corps rocheux clairs, souvent organisés en filons quartzo-feldspathiques ou aux contours parfois plus diffus, et affectant les gneiss et les enclaves sombres, témoigne de la fusion partielle de l'ensemble (phase de « migmatitisation »). Ce processus

s'est produit sous l'effet d'une nouvelle phase tectonique, signant la collision entre le craton ouest-africain et le craton amazonien et le pic de métamorphisme associé (+ page 32). L'océan initial a laissé place à une chaîne de montagnes, dont les racines profondes affleurent aujourd'hui, après 2 Ga d'altération.

Plusieurs filons de roches volcaniques, des dolérites, recoupent cet encaissant paléoprotérozoïque. Ils sont rectilignes et généralement orientés N-S. Datés à 192-198 Ma, ils appartiennent à la Province Magmatique de l'Atlantique Central (CAMP) et témoignent de l'initiation de l'ouverture de l'océan Atlantique et de la séparation du craton ouest-africain et du craton amazonien. À Buzaré, l'avancée rocheuse principale, localisée à l'ouest du site, correspond ainsi à un filon d'une vingtaine de mètres de large se prolongeant vers la mer sur plusieurs centaines de mètres.

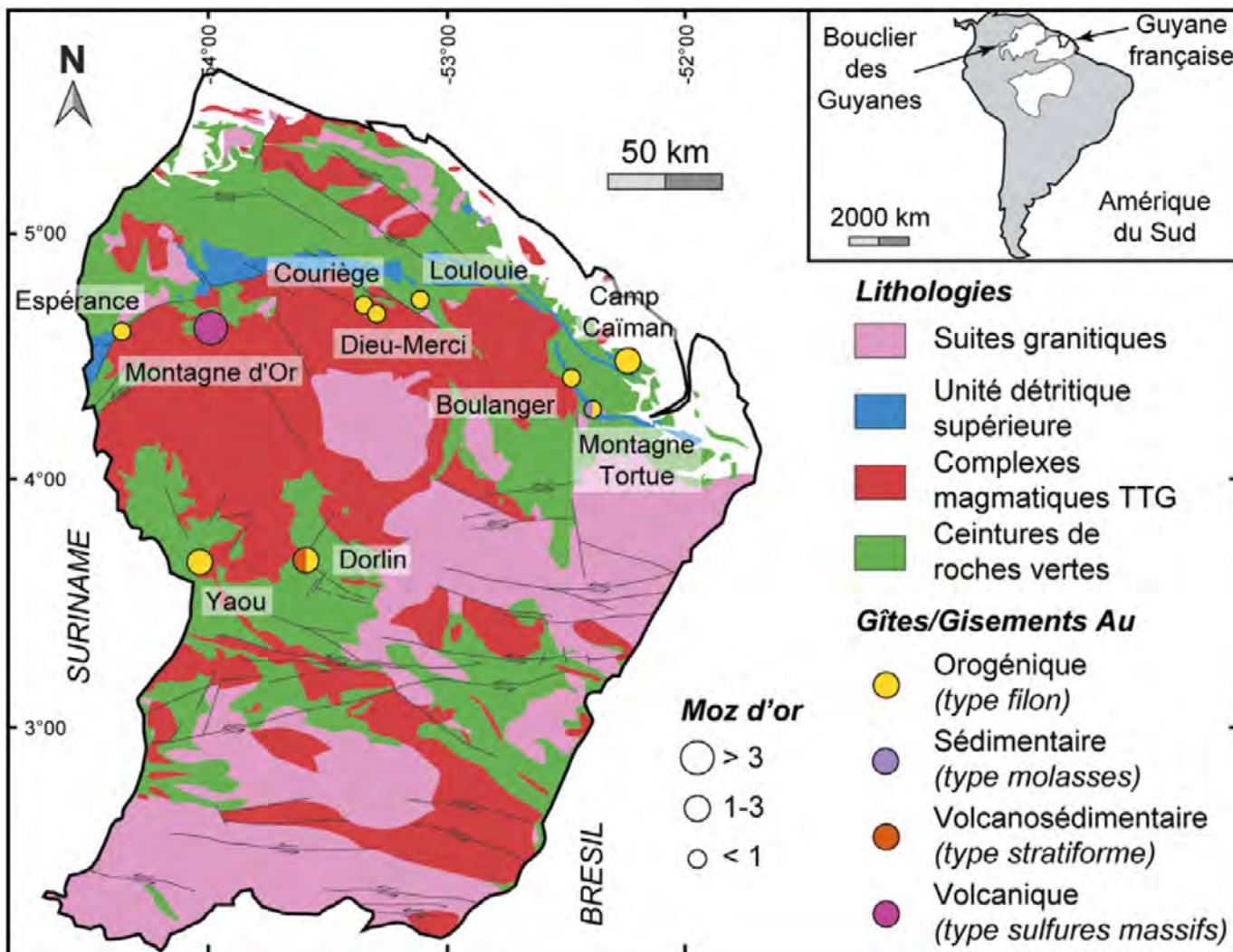
LES GISEMENTS D'OR, MARQUEURS DE L'HISTOIRE GÉOLOGIQUE DU BOUCLIER DES GUYANES

L'or est abondant dans tout le Bouclier Guyanais, du Brésil au Venezuela, où il est associé aux ceintures de Roches Vertes. En Guyane française, on trouve deux ceintures de roches vertes, l'une au nord, le long de la côte atlantique, et une seconde au sud, dans l'intérieur profond, entre Maripasoula et Camopi. L'or y a été concentré par différents processus géologiques qui se sont succédés tout au long de l'évolution géodynamique qui s'opère pendant l'orogénèse Transamazonienne.

A - Carte géologique simplifiée de la Guyane

Localisation des principaux gisements aurifères en fonction de leur typologie.

Moz : méga-once, une once étant égale à 28,349 g.

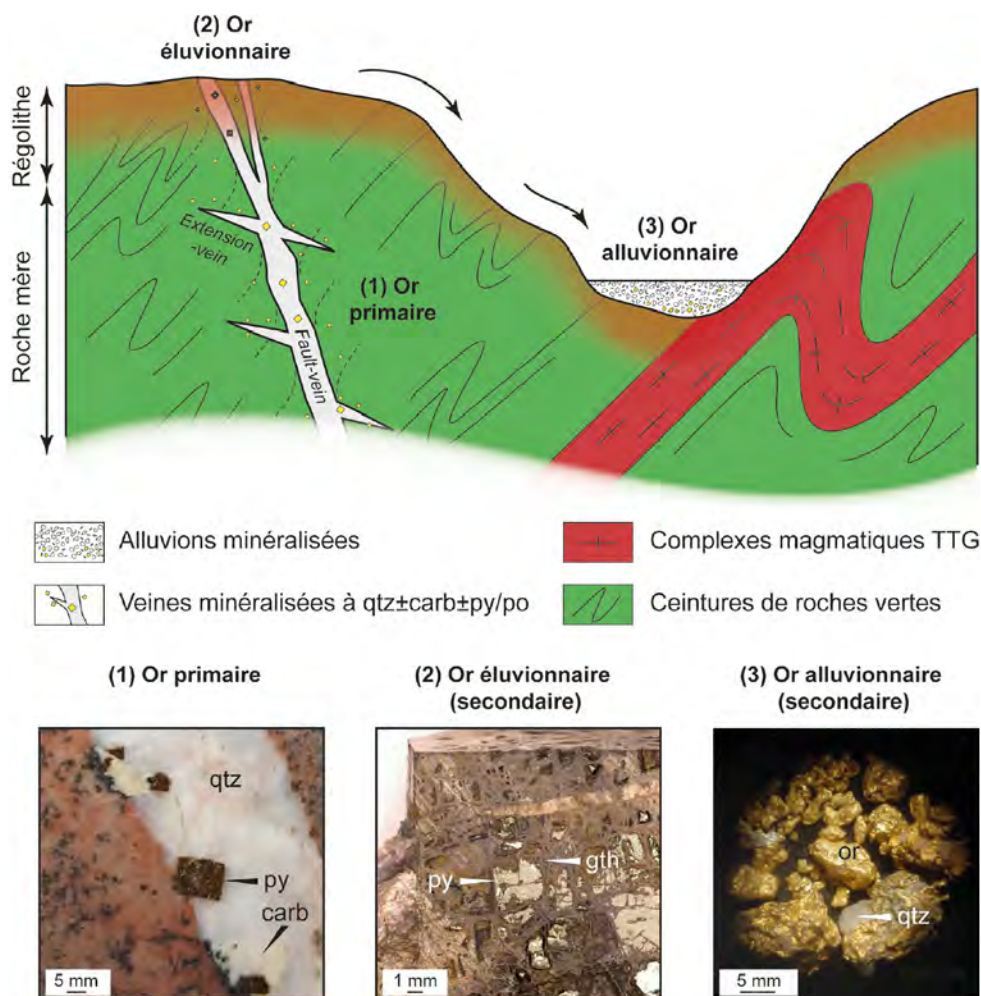


L'or est un élément chimique sidérophile, littéralement : « *ayant une affinité pour le fer* ». Cette propriété géochimique implique que l'or a été préférentiellement concentré dans le noyau lors de la différenciation de la Terre primitive, et explique que cet élément ne soit que très faiblement distribué à la surface de la Terre, dans la croûte continentale supérieure.

En Guyane Française, les minéralisations aurifères sont principalement **associées aux ceintures de roches Vertes et aux complexes magmatiques TTG** qui les accompagnent (Fig. A). Ces gisements se forment dans le socle paléoprotérozoïque dans deux contextes géodynamiques distincts : **les zones de subduction** mésorhyaciennes (+ page 13 schéma géodynamique de Delor), associées à la formation des TTG et **les zones de collision** qui leur font suite, au Néorhyacien (+ page 11 article Aux origines du soubassement géologique de la Guyane). Cet or paléoprotérozoïque, contenu dans les roches du sous-bassement géologique, est appelé **or primaire**. Il peut également être re-concentré, plus tardivement, par l'altération de surface définissant ce qu'on appelle **l'or secondaire** (Fig. B).

B - Coupe géologique simplifiée

présentant les différents types de gisements aurifères en Guyane française.



Les gisements primaires et secondaires

L'or primaire et or secondaire définissent des catégories de gisements d'or très distincts, exigeant des techniques d'extraction et de métallurgie spécifiques et des niveaux de savoir-faire et d'investissement différents.

Les gisements primaires sont de deux grands types reconnus en Guyane :

1 les gisements à sulfures massifs, principalement décrits à **Montagne d'Or/Paul Isnard**. Ce gisement, daté entre 2,15 et 2,12 Ga, est étroitement associé au fonctionnement de volcans sous-marins mis en place à la surface du plancher océanique protérozoïque, au moment de la subduction du Mésorhyacien. La minéralisation s'exprime

sous forme d'amas de sulfures associant cuivre, or et zinc ;

2 les gisements d'or "orogénique" qui comprennent :

- (a) des gisements d'or associés à des filons de quartz, souvent de faible tonnage mais à haute teneur
- (b) des gisements d'or disséminé, comme à **Espérance** ou comme dans les gisements des grandes mines industrielles de Merian et de Rosebel, au Suriname, composés de sulfures disséminés dans des roches sédimentaires ou des roches plutoniques.

Les gisements d'or orogénique résultent du remplissage de failles ou de zones de failles par des fluides hydrothermaux à la fin de la formation de la chaîne de montagne, au Néorhyacien.

Cet or orogénique constitue le principal type de gisement primaire représenté en Guyane. Ces gisements peuvent être enracinés jusqu'à des profondeurs de 3 km. Ils se prêtent à l'exploitation artisanale et à petite échelle, près de la surface, là où la roche est altérée, et à l'exploitation industrielle en profondeur.

Dans le cas du gisement de **Yaou**, l'enrichissement des veines se fait par phases successives d'apport et/ou de remobilisation d'or au fur et à mesure des différentes phases de l'histoire tectonique complexe enregistrée par le Bouclier des Guyanes au cours du Paléoprotérozoïque. Ce polyphasage des minéralisations aurifères guyanaïses s'observe sur d'autres gîtes tels ceux de **Dorlin** ou de **Montagne Tortue** (Fig. A).

Les gisements secondaires

L'or, presque insoluble dans les eaux de surface, est censé s'enrichir progressivement au fur et à mesure du lessivage des éléments chimiques plus solubles. Il peut s'y ajouter, sous certaines conditions chimiques, des processus de dissolution/reprécipitation de l'or.

On distingue plusieurs types de gisements secondaires :

► **éluviaux** lorsque les produits d'altération restent sur place

► **colluviaux** lorsque ces derniers sont transportés le long des pentes des reliefs

► **alluvionnaires** lorsqu'ils sont pris en charge par les rivières. L'or se trouve alors en petits grains individuels, disséminés dans des gros grains de sédiments peu compacts ou non consolidés. Les gisements secondaires peuvent être exploités à petite échelle ou à l'aide d'équipements miniers modernes.

Les principaux gisements exploités en Guyane sont actuellement de type secondaire. L'or primaire n'est exploité qu'en surface, malgré le potentiel économique avéré de plusieurs sites. Un exemple de projet d'exploitation avorté est celui de **Camp Caïman**, projet officiellement rejeté par le gouvernement début 2008. Récemment, un autre projet a été mis en suspens, celui de **Montagne d'Or** avec un potentiel confirmé de 85 tonnes d'or de réserves à exploiter sur 12 ans.

La zone de Couriège, un exemple de gisement secondaire

La zone de Couriège a fait l'objet d'une étude de détail récente. Située au sein de la ceinture de Roches Vertes du nord de la Guyane, la minéralisation primaire est associée à la présence de structures minéralisées de 2 à 15 m de large se relayant sur une zone de 3 km de long. Ces structures correspondent à des filons de quartz primaire. Ils sont interprétés comme des gisements d'or orogénique. Les profils d'altération observés à Couriège présentent une succession caractéristique des profils latéritiques, surmonté d'une cuirasse indurée. Les veines de quartz d'épaisseur centimétrique à décimétrique, bien que plus résistantes à l'altération de surface que la roche alentour, ont également subi un démantèlement d'intensité variable. Les profils d'altération sont parfois tronqués et surmontés par

un niveau de sédiments issus du démantèlement du profil. Ce niveau, principalement constitué d'une matrice ocre et fine contenant des fragments de cuirasse et de quartz, est localement riche en or pépitique.

L'étude des variations des teneurs en or le long de deux profils latéritiques indique que l'enrichissement en or est essentiellement restreint à la proximité immédiate des veines de quartz aurifères et ne permet pas de mettre en évidence une contribution significative des processus de surface à un enrichissement secondaire.

L'étude de la morphologie des grains d'or libre montre une évolution de la texture de surface des grains : les grains, très irréguliers dans les niveaux les plus

profonds et les moins altérés du profil deviennent très émoussés avec des figures de rayures physiques dues au transport dans les niveaux sédimentaires de surface. Seuls les grains d'or collectés vers la surface présentent des zonations chimiques marquées par la présence de bordures de 5 à 20 µm appauvries en Ag, ce dernier, toujours présent en impureté dans les grains d'or, étant lessivé par les eaux de surface.

SOURCE :

● Les gisements d'or de la Guyane française, Aurélien Eglinger, Anne-Sylvie André-Mayer, Vincent Combes, Yoram Teitler, Arnauld Heuret, Géologues N°206 : 36-40, Septembre 2020.

LES GISEMENTS D'OR GUYANAIS

représentent des marqueurs de l'histoire géologique du Bouclier des Guyanes du Protérozoïque à l'Actuel. Les gisements d'or primaire illustrent la mise en place de matériel juvénile fournissant un environnement fertile en éléments sidérophiles, suivi d'un recyclage et d'une remobilisation de cette croûte néoformée par phénomène couplée de sédimentation, métamorphisme, déformation et **hydrothermalisme**.

Les gisements éluvionnaires matérialisent l'importante latéritisation affectant l'ensemble du Bouclier des Guyanes à partir du Cénozoïque (Ère tertiaire). Ces mêmes gîtes/gisements éluvionnaires sont également exposés à d'autres processus de surface tels que l'altération des horizons latéritiques, le transport et le dépôt des sédiments produisant les gisements secondaires de type alluvionnaire.

Définitions

• **HYDROTHERMALISME**
Circulation souterraine d'une eau chaude, chargée en minéraux dissous. Cette circulation, favorisée par une source de chaleur, se déroule souvent dans des filons en zone volcanique

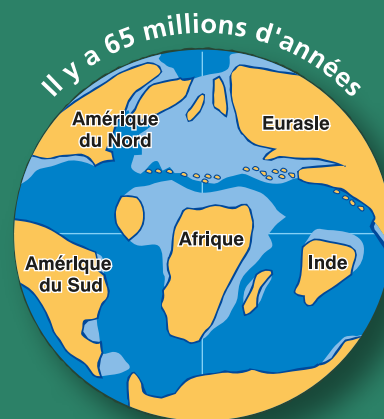
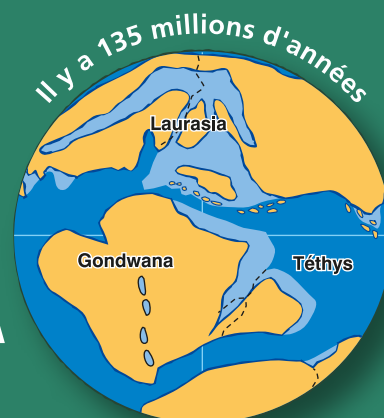
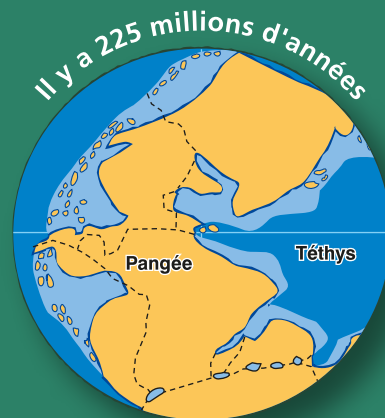
RECHERCHE

Mise à l'eau
du carottier de
« L'Atalante »,
Mission IGUANES
(2013)

L'EXPLORATION OCÉANOGRAPHIQUE DU PLATEAU DE DEMERARA

La bordure nord du Bouclier Guyanais est née lorsque la partie ouest du continent du Gondwana commençait à se déchirer, il y a environ 200 millions d'années, à la faveur de l'ouverture de l'océan Atlantique, entre Amérique du Sud et Afrique.

Depuis plus de 10 ans, les géologues s'intéressent particulièrement à une zone charnière héritée de cette déchirure continentale, le plateau sous-marin de Demerara. Promontoire sous-marin situé à 180 km au large de l'embouchure du Maroni, le plateau de Demerara forme un vaste replat qui s'étend sur environ 400 km, parallèlement aux côtes, tout en avançant sur environ 200 km vers le large. Ce relief a la particularité de dessiner une marche intermédiaire, à des profondeurs d'environ 1000-2000 m, entre le plateau continental et les plaines abyssales (+ encart "Marges continentales, p. 30).



UN HISTORIQUE DES CAMPAGNES OCÉANOGRAPHIQUES

Depuis 2013, un enchaînement de 4 campagnes océanographiques opérées par l'Ifremer depuis les navires de la Flotte Océanique Française (FOF) - l'Atalante et le Pourquoi pas ? - a permis de regrouper un exceptionnel jeu de données (cartographie de surface, imagerie sismique, carottages de sédiments superficiels, prélèvements de roches, plongées sous-marines, courantologie...) qui éclaire la structure et l'histoire géologique de l'énigmatique plateau mais également les processus qui se produisent actuellement à sa surface.

Les premières explorations de la marge guyanaise datent des années 1970, lorsque des compagnies pétrolières cherchent à évaluer le potentiel de la région. Les résultats sont peu probants mais permettent une première description de ce domaine sous-marin. Près de 30 ans plus tard, l'avènement de technologies de prospection plus fines permet la reprise des investigations et la présence effective de pétrole est finalement vérifiée en 2011. Les premières données publiques sont quant à elles acquises en 2003, au cours de la campagne

GUYAPLAC, qui visait à définir les limites de la zone économique exclusive. C'est suite à l'exploitation scientifique de ces données qu'une équipe menée par Lies Loncke (Laboratoire CEFREM, Université de Perpignan) initie avec la mission IGUANES, en 2013, une série de campagnes océanographiques spécifiquement focalisées sur le plateau de Demerara.

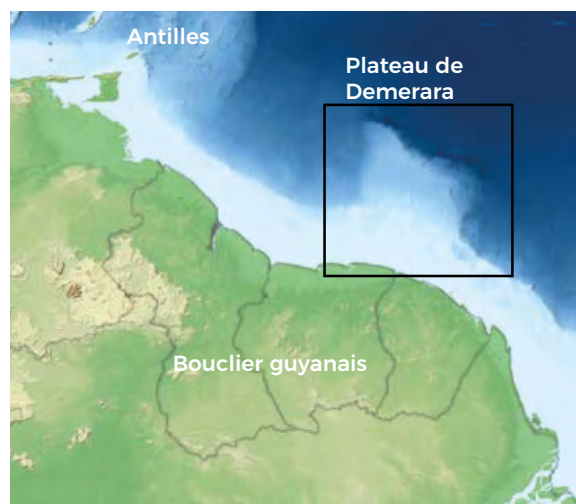
SOURCES : ● GUYAPLAC 2003 - <https://doi.org/10.17600/3010050>
● Mission IGUANES, les abysses du Plateau de Demerara, Arnauld Heuret - IGUANES 2013 <https://doi.org/10.17600/13010030>

2013 La Mission IGUANES

Cette campagne de 23 jours a été dirigée par Lies Loncke (laboratoire CEFREM, université de Perpignan), à bord de "L'Atalante". Le programme d'acquisition comprenait une **cartographie haute résolution** des reliefs sous-marins de la partie Est du plateau, complétée par de l'imagerie sismique à travers les couches de sédiments recouvrant le plateau, une exploration de sa structure générale, ainsi que du carottage de sédiments de surface, des mesures de flux de chaleur et le dépôt d'appareils de courantologie en fond de mer. Les **relevés de cartographie fine** opérés pendant la Mission IGUANES ont mis en évidence les détails des nombreux reliefs qui jalonnent le plateau de Demerara (Fig. 1, p. 24). La présence de **longues cicatrices**, visibles tout au long du haut de pente, a ainsi, par exemple, pu être révélée. Ces structures, continues sur 380 km de long, matérialisent

le point de départ d'imposants et anciens glissements sous-marins qui ont dévalé vers les plaines abyssales, démembrant progressivement les pentes instables du talus (+ encart "Marges continentales", p. 30). La majeure partie du plateau est également apparue parsemée de plusieurs champs de **dépressions en "queue de comète"** (+ champs Matoutou, Tangara, Jamais-Gouté, etc. ; Fig. 1, p. 24), parfois de taille pluri-kilométriques (1 à 2 kilomètres de diamètre pour plusieurs kilomètres de longueur). Les mesures de courantologie et l'interprétation de carottes effectuées dans les sédiments qui les recouvrent ont permis de les interpréter comme résultant de **l'action d'un courant sous-marin profond, la**

North Atlantic Deep Water (NADW), provenant du pôle Nord et longeant les côtes guyanaises vers le Sud, entre 1500 et 3000 km de fond. Ce courant serait responsable de l'affouillement des sédiments meubles autour de gros blocs rocheux indurés.



Localisation du plateau de Demerara

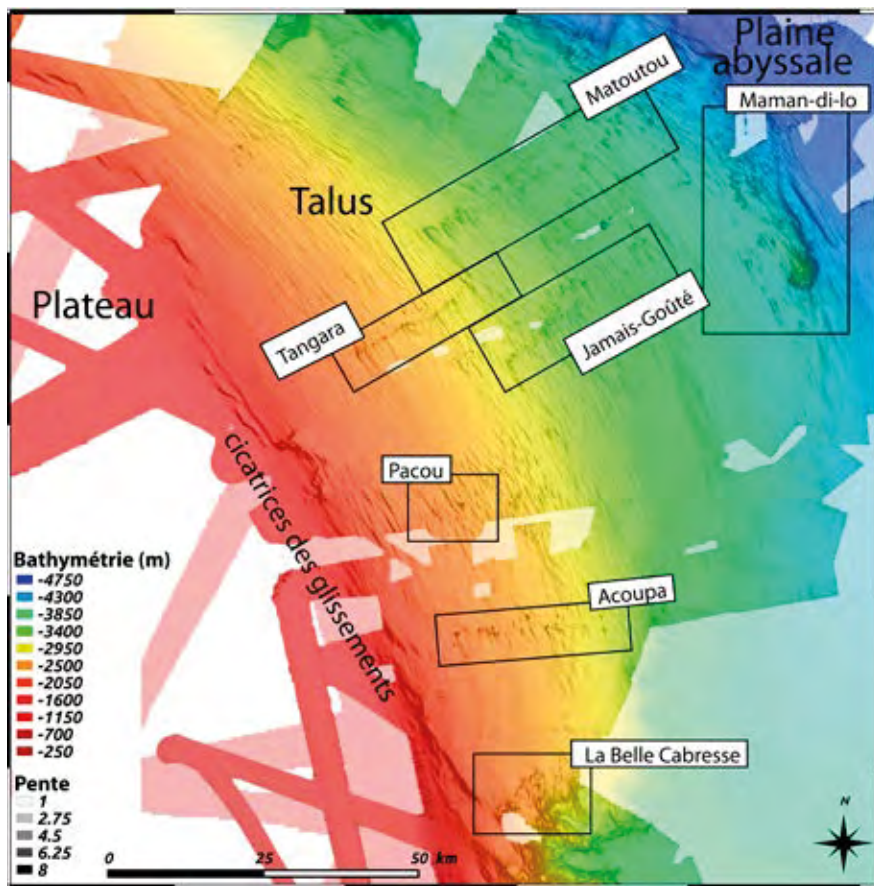
En profondeur, **l'imagerie sismique**, sorte d'échographie basée sur l'étude de la propagation d'ondes acoustiques à l'intérieur des roches, permet de visualiser l'empilement des couches géologiques qui constituent le plateau de Demerara (*Fig. 2*). Elles se composent de quelques kilomètres de roches sédimentaires, accumulées sur la surface du plateau.

Les roches les plus anciennes, localisées sous la limite de “fin de la déchirure du Gondwana” (Fig. 2) présentent **d'intenses plissements qui témoignent des déformations tectoniques** ayant accompagné la déchirure du mégacontinent Gondwana, il y a 100 millions d'années. Les couches les plus récentes, presque horizontales et parallèles entre elles, reflètent le relatif calme tectonique qui règne depuis que l'Amérique du Sud s'est définitivement séparée de l'Afrique.

Sur les bords du plateau, l'imagerie sismique révèle tout de même, au sein de ces roches récentes, le prolongement, en profondeur, des cicatrices des ruptures de continuité latérale des strates mises en évidence par la cartographie, c'est-à-dire les surfaces basales le long desquelles les gigantesques masses de sédiments du talus ont glissé. En contrebas, ces masses de sédiments arrachés s'empilent pour former un complexe glissé qui, couvrant une zone vaste de plus de 10.000 km², fait partie des plus grands au monde.

Fig.1. Carte bathymétrique haute-résolution (100 m)

Talus continental au Sud-Est du Plateau de Demerara montrant la cicatrice d'arrachement abandonnée par les glissements sous-marins, en haut du talus, et les champs de dépressions en queues de comètes, en bas de la pente.



L'Atalante, à Dégrad
des Cannes, en 2016
(photo L. Loncke).

IG_111_SR_4079.88

IG_

18000.0

16000.0

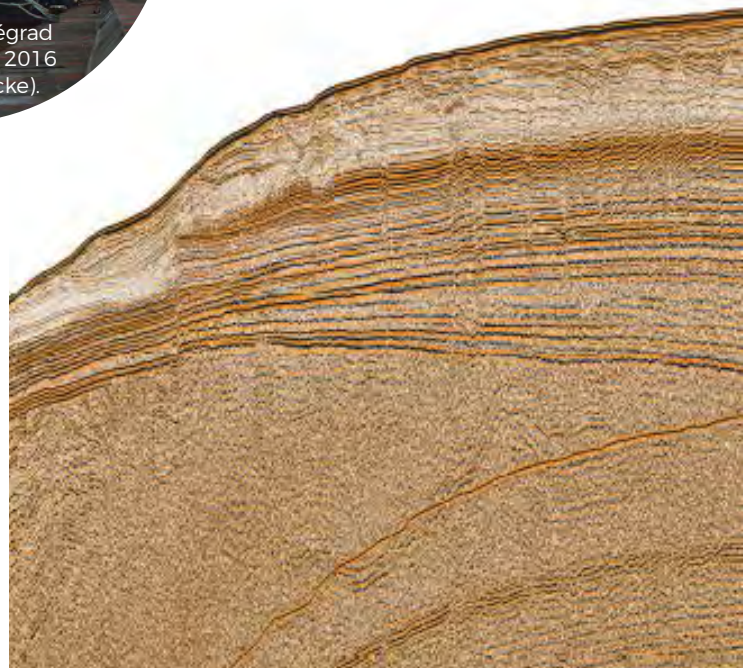
14000.0

Line

juillet 2016

La Mission DRADEM

La mission DRADEM, dirigée par Christophe Basile (laboratoire ISTerre, Université de Grenoble), s'est déroulée sur la bordure Nord du plateau de Demerara. Les objectifs de la campagne étaient de **cartographier la pente** de cette marge et **d'échantillonner par dragage les roches** qui y affleurent. En particulier, l'exploration de ces pentes abruptes et profondes devait permettre d'échantillonner les roches des parties les plus profondes du plateau de Demerara dont, idéalement, son socle, matérialisé sur l'imagerie sismique (Fig. 2) par les séries intensément plissées et déformées, sous la limite de "fin de la déchirure du Gondwana". Douze dragages ont été réalisés, à des profondeurs variant entre 4700 et 3500 m. Ces dragues ont remonté des quantités variables de roches, très



souvent encroûtées, mais à chaque fois de natures différentes : roches sédimentaires (brèche, grès grossiers, grès à plantes, grès coquilliers, marne calcaire) et roches magmatiques, parfois déformées. Ces roches, pour la plupart inconnues dans ce secteur, ont apporté des clés de compréhension inédites sur la structure et l'évolution de la marge. Elles ont notamment apporté de **premiers éléments de preuve de la nature magmatique et de l'âge du socle du plateau de Deme-**

rara. Ces données ont permis de démontrer la présence d'un point-chaud (+ encart "Les points chauds" page 35) sous le plateau de Demerara il y a 175 millions d'années.

SOURCES : ● Campagne DRADEM - DRADEM 2016 <https://doi.org/10.17600/16001900>. Juillet 2016 - Rapport scientifique Christophe Basile, Igor Girault, Arnaud Heuret, Lies Loncke, Ewald Poetisi (<https://hal.science/hal-01418119/document>)

octobre-novembre 2016 La mission MARGATS

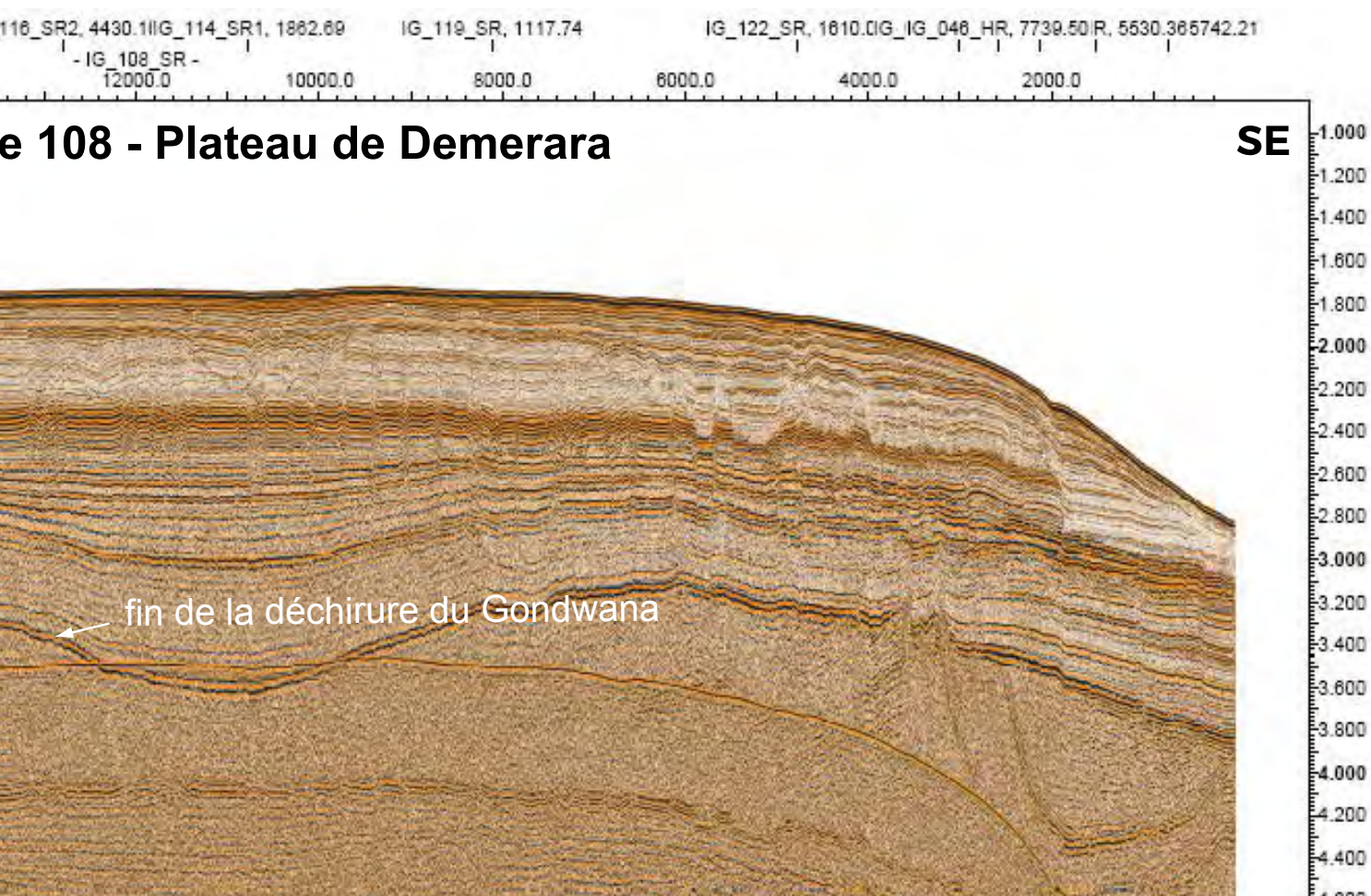
Faisant suite aux missions IGUANES et DRADEM, la campagne MARGATS, coordonnée par David Graindorge et Frauke Klingelhoefer (Laboratoire Géosciences Océan, Université de Brest) avait pour but de produire, par une méthode d'imagerie sismique particulière, **la sismique réfraction, des images des parties les plus profondes du socle du plateau de Demerara**, au-delà des couches de roches sédimentaires déposées depuis la fin de la déchirure du Gondwana, jusqu'à près de 30 km de profondeur, c'est-à-dire la base de l'enveloppe

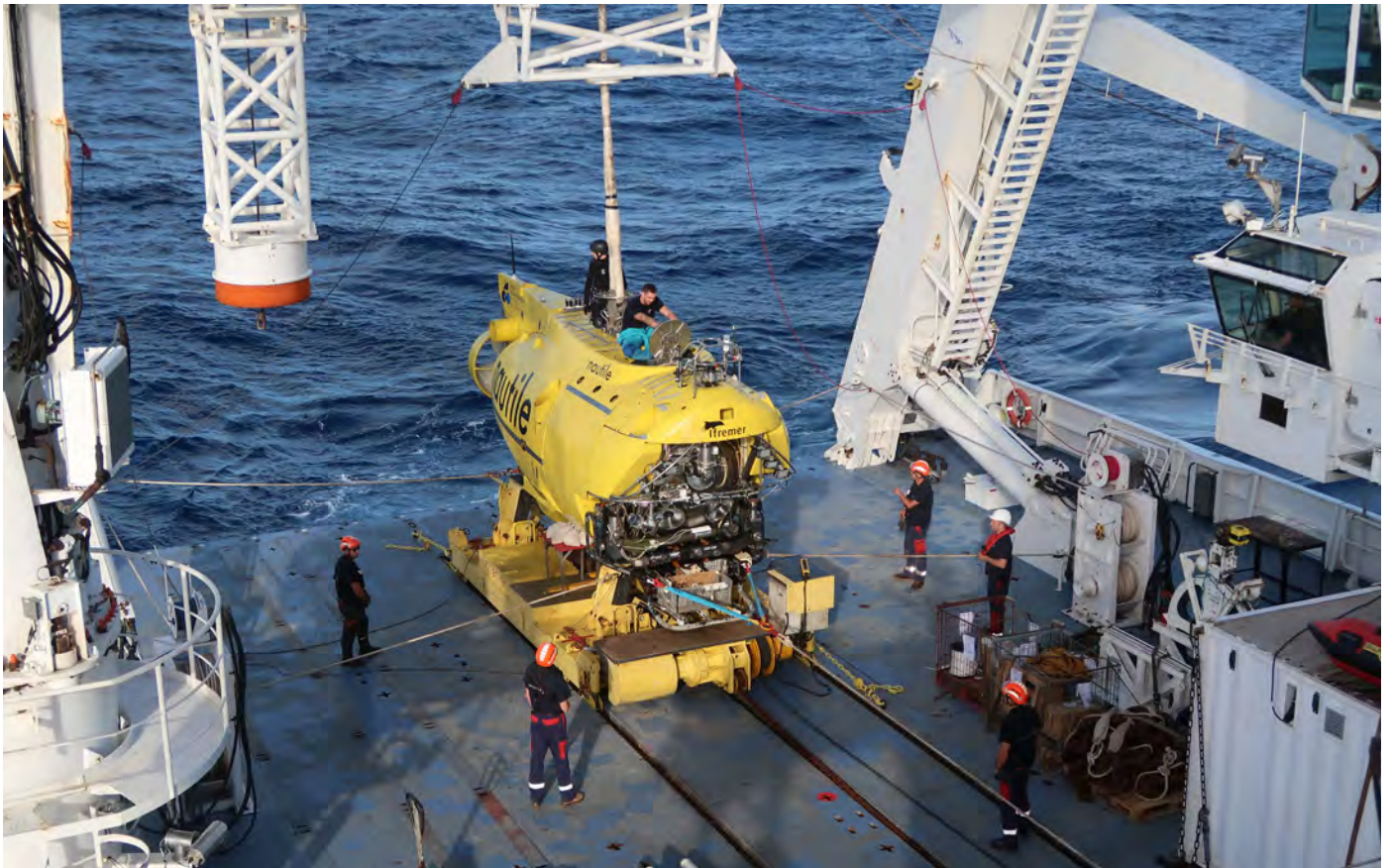
la plus superficielle du globe terrestre, appelée croûte. Les données MARGATS apportent des contraintes majeures sur la structure interne du plateau et ses propriétés physiques. Elles complètent les résultats de DRADEM et démontrent que l'ensemble **du socle du plateau était constitué d'un empilement de roches magmatiques**, tout en permettant de préciser les détails de l'histoire qui avaient accompagné sa mise en place.

SOURCE : ● MARGATS 2016 <https://doi.org/10.17600/16001400>

Fig. 2. Imagerie sismique du Plateau de Demerara.

La fin de la déchirure du Gondwana (séparation Afrique / Amérique du Sud) est marquée par une surface séparant des roches sédimentaires "récentes" (plus jeunes que 100 millions d'années), aux structures presque horizontales et parallèles entre elles, vers le haut, de roches plissées, en dessous. Sur les bords NW et SE du plateau, on peut observer les surfaces basales des glissements ayant accompagné le démembrement des roches du talus.





Mise à l'eau du Nautile, à bord du "Pourquoi pas ?"
(Mission DIADEM ; Janvier-Février 2023).

janvier-février 2023 La campagne DIADEM

L'objectif de la campagne DIADEM (Dive At DEMerara), menée en 2023 par Lies Loncke (Laboratoire CEFREM, Université de Perpignan) et Christophe Basile (ISTerre, Université de Grenoble), était de tester les hypothèses de formation du plateau de Demerara et de ses structures superficielles à partir d'observations et d'échantillonnage au fond (plongées sous-marines en Nautile, dragages et carottages) ou à proximité du fond (utilisation d'un AUV - Autonomous Underwater Vehicle, drone sous marin autonome). Il s'agissait en priorité de :

- ▶ **cartographier et dater les roches magmatiques** affleurant sur la pente du plateau, et les replacer dans la série sédimentaire pour vérifier les modèles de formation du plateau.
- ▶ **combinaison cartographie haute résolution, mesures hydrodynamiques et échantillonnage** pour caractériser les irrégularités morphologiques qui contrôlent la sédimentation récente (dépressions en "queue de comète" notamment), comprendre leur répartition et les processus sédimentaires associés dans un contexte de fort courant de fond associé à la North Atlantic Deep Water.
- ▶ **recueillir une archive sédimentaire et paléo-océanographique** au-delà des derniers 100 000 ans, via des carottes longues positionnées sur le bas de la pente du plateau.

L'analyse de ce nouveau jeu de données exceptionnel est actuellement en cours.

Affleurement de roches sédimentaires associées aux comètes de Tangara (Fig. 2) du plateau de Demerara, vu depuis le Nautile
(Mission DIADEM ; Janvier-Février 2023).



SOURCES : ● Mission DIADEM - DIADEM 2023 <https://doi.org/10.17600/18000672> ● Traitement des données SMF coque et AUV, GEO-OCEAN - ANTIPOD ● Février 2023 <https://archimer.ifremer.fr/doc/00855/96689/105186.pdf>

LE PLATEAU DE DEMERARA, UN LABORATOIRE NATUREL POUR L'ÉTUDE DES PLATEAUX MARGINAUX TRANSFORMANTS

Au-delà du simple constat de sa singularité, le plateau de Demerara est-il un objet unique ou bien existe-t-il des objets comparables de par le monde ? Pour répondre à cette question, les équipes scientifiques investies sur le plateau de Demerara ont mené une étude comparative à travers les différents océans (Mercier de Lépinay et al., 2016 ; Loncke et al., 2020). Cette étude les a conduits à définir un type nouveau d'objet géologique, répondant à des caractéristiques physiographiques précises et à des conditions géodynamiques particulières : les plateaux marginaux transformants. Ces résultats font du plateau de Demerara, un chantier précurseur associé à un exceptionnel jeu de données, un laboratoire naturel de portée mondiale dont l'intérêt dépasse la seule compréhension de l'histoire géologique guyanaise.



Echantillons de craie récoltés lors d'un dragage. Source DRADEM

La notion de plateau marginal...

Les marges continentales présentent souvent des plateaux sous-marins qui, dans une configuration comparable à celle du plateau de Demerara, forment des extensions de 50 à 1 000 kilomètres vers le large et sont immergées à des profondeurs supérieures à celles du plateau continental. Sans que leur nature et leurs origines aient été bien comprises, de tels reliefs sous-marins avaient depuis longtemps été qualifiés de “plateaux marginaux”. Le terme apparaît pour la première fois dans une publication d'Ewing et al., en 1971, pour décrire le plateau sous-marin des Falklands, au Sud de l'Amérique du Sud. En 2008, les “plateaux marginaux” sont définis de manière

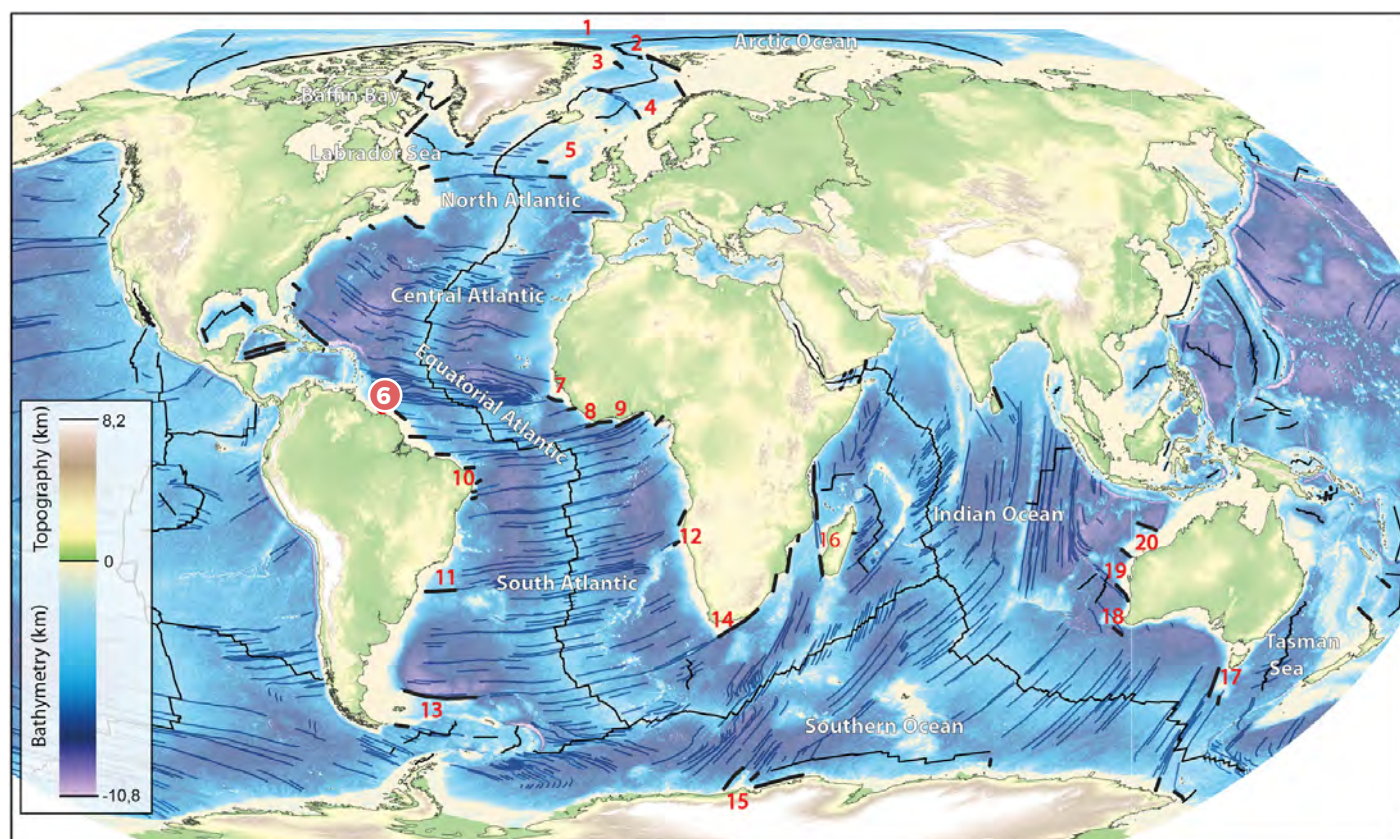
plus précise dans le rapport international conjoint de l'OHI (Organisation Hydrographique Internationale) comme des “*élévations plates ou presque plates d'une étendue considérable, s'abaissant brusquement sur un ou plusieurs de leurs côtés*” mais toujours sans élément de compréhension particulier sur leur origine.

Dans l'étude comparative systématique mondiale réalisée en 2016 sur les marges continentales transformantes, Mercier de Lépinay et al. relèvent la présence d'une vingtaine de plateaux sous-marins anormaux représentant un tiers des marges étudiées (carte 1).

Pour la première fois, des critères à la fois physiographiques et tectoniques vont permettre de définir une classe spécifique de plateaux.

Ces “plateaux marginaux” ont des formes rectangulaires ou triangulaires et l'un de leurs côtés, au moins, correspond à une marge transformante (+ encart «Il y a marges et marges»). L'étude montre également que la plupart de ces plateaux marginaux sont situés à l'intersection de grands bassins océaniques ayant des âges de rupture et/ou des directions d'ouverture différents.

1. Localisation des plateaux marginaux sur une carte bathymétrique et topographique mondiale



Les marges transformantes sont soulignées par un trait noir épais.

En bleu, les zones de fractures océaniques. 1 : Morris Jesup Rise ; 2 : Yermarck ; 3 : NE Greenland ; 4 : Vøring Plateau ; 5 : Faroe-Rockall ; 6 : Demerara, au large de la Guyane ; 7 : Guinée ; 8 : Libéria ; 9 : Côte d'Ivoire-Ghana ; 10 : Potiguar ; 11 : Sao Paulo ; 12 : Walvis ; 13 : Falklands-Malvinas ; 14 : Agulhas ; 15 : Gunnerus Ridge ; 16 : Morondava ; 17 : Tasman ; 18 : Naturaliste ; 19 : Wallaby-Cuvier ; 20 : Exmouth.

Définitions

• **LA BATHYMÉTRIE** est la technique qui permet la mesure des profondeurs et du relief de l'océan pour déterminer la topographie du sol de la mer.

IL Y A MARGES ET MARGES...

La marge guyanaise appartient à la catégorie des marges dites passives, c'est-à-dire asismiques, elles-mêmes définies par opposition aux marges actives sismiques (bordure andine de l'Amérique du Sud, Japon, Indonésie, etc.), caractérisées par la présence d'une gigantesque faille active à la transition continent-océan d'une zone de subduction.

Dans le cas des marges passives, les talus continentaux sont aujourd'hui, par définition, inertes d'un point de vue tectonique et sismique. Cela n'a cependant pas toujours été le cas. Sous les talus se trouvent des failles anciennes qui ont accompagné la déchirure continentale, avant la formation d'un océan.

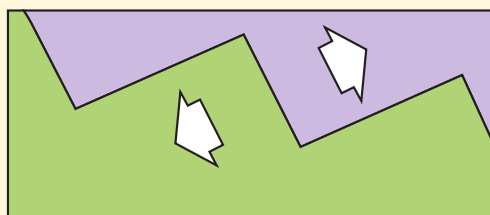
Ces anciennes zones de faille peuvent être de deux types, en fonction du mouvement qui s'y est opéré : "divergentes" lorsque les blocs continentaux s'éloignent l'un de l'autre ou "transformantes" lorsque les blocs ne font que coulisser latéralement l'un par rapport à l'autre. On parle ainsi de **marges divergentes** pour désigner les bordures continentales héritées d'anciennes zones de failles divergentes et de **marges transformantes** pour désigner les bordures continentales héritées d'anciennes zones de failles transformantes.

Modalités de la déchirure continentale et diversité des marges.

La déchirure continentale qui accompagne l'ouverture d'un océan n'adopte pas une géométrie linéaire.

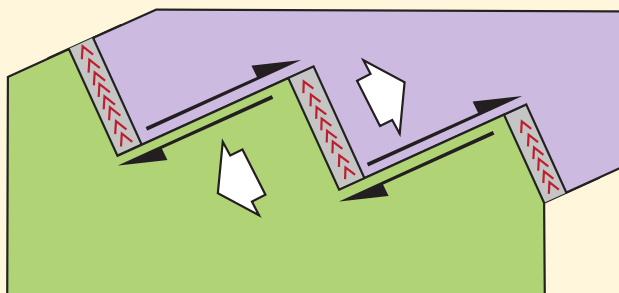
DÉBUT DE LA DÉCHIRURE CONTINENTALE

La déchirure est segmentée en tronçons d'orientation variable par rapport au mouvement globalement divergent des plaques tectoniques en contact.

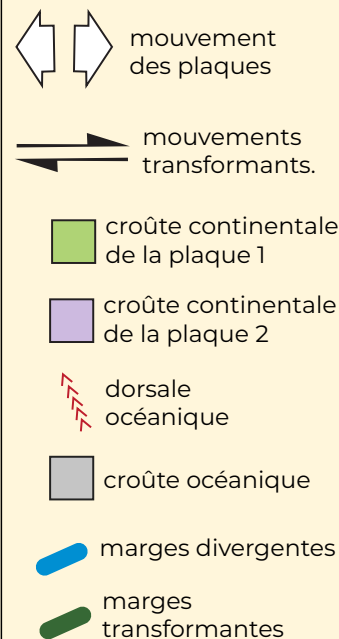


MISE EN PLACE D'UNE DORSALE

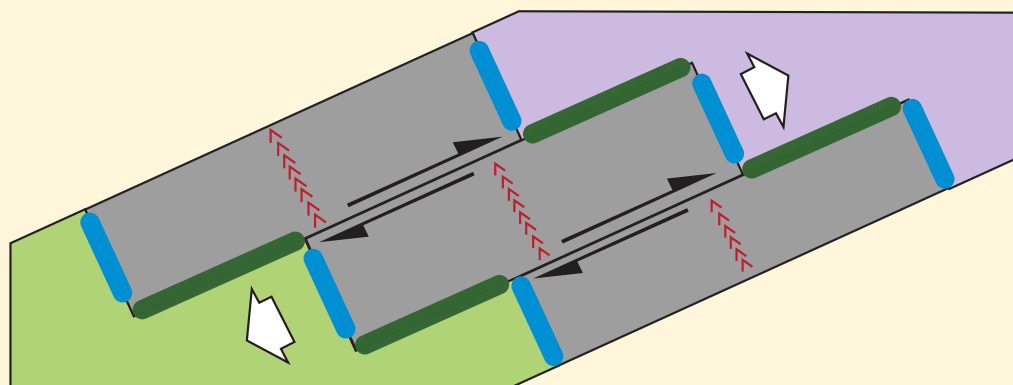
En fonction de cette orientation la déchirure continentale s'organise ainsi en une succession de tronçons divergents, orientés perpendiculairement à la direction de divergence, alternant avec des tronçons coulissants (dits transformants), orientés parallèlement à la divergence.



LÉGENDES



Océan en cours d'expansion et marges continentales associées



Ces deux types de mouvements s'accompagnent de tectoniques, de structures et de morphologies spécifiques qui permettent de distinguer, une fois la déchirure finalisée, marges divergentes et marges transformantes (modifié d'après Mascle et Blarez, 1987).

... illustrée par le cas du plateau de Demerara

Le plateau de Demerara est un exemple caractéristique de plateau marginal transformant tels que défini par Mercier et al., c'est-à-dire un "plateau profond, plan et sub-horizontal, situé entre la plateforme et le talus continental inférieur, (...) et délimité sur un de ses côtés par une marge transformante".

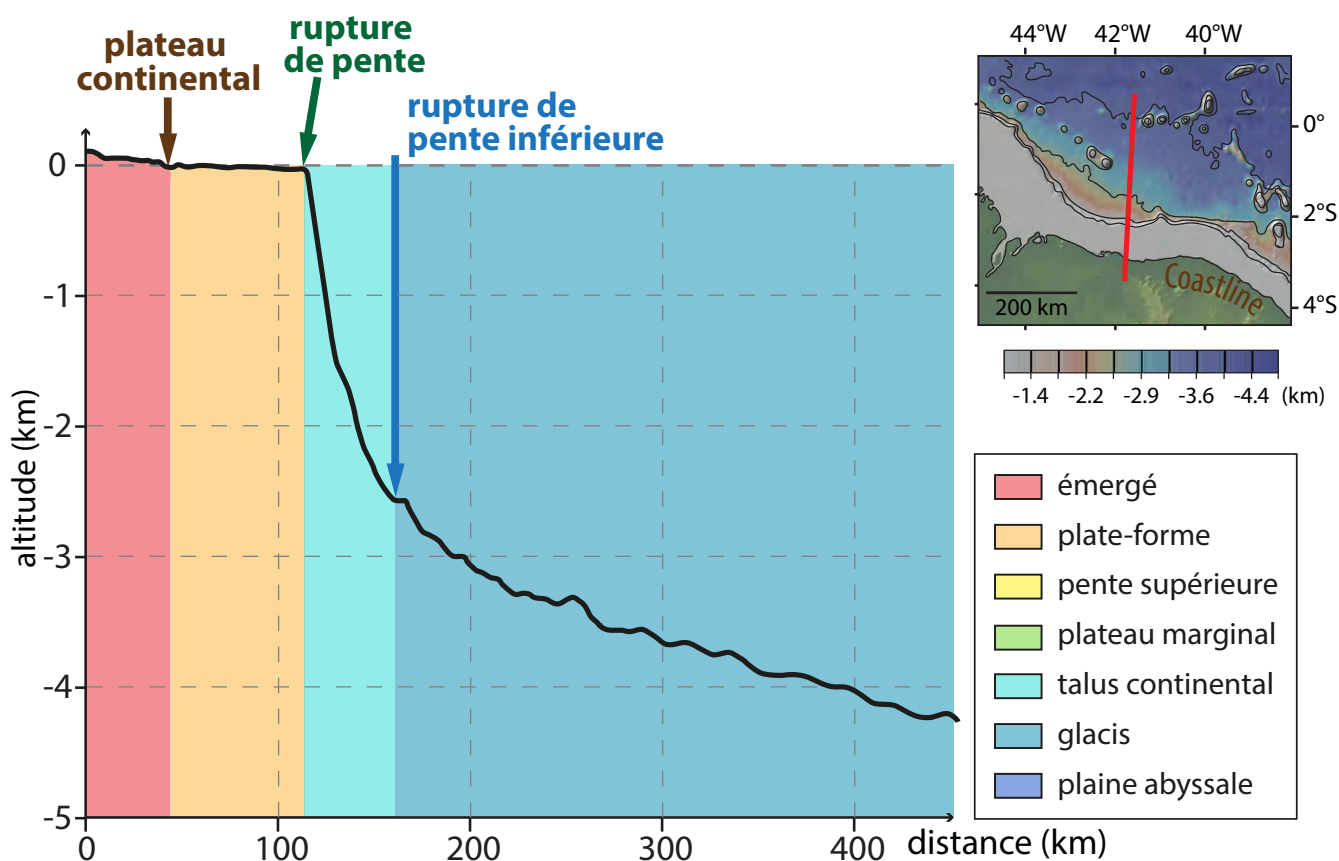
Le plateau de Demerara est la **marge "conjuguée" du plateau de Guinée, côté africain**. C'est-à-dire qu'avant la déchirure du Gondwana et l'ouverture de l'Atlantique, le plateau de Guinée

était accolé au nord du plateau de Demerara et que ces deux plateaux ne faisaient initialement qu'un. Aujourd'hui, le plateau de Demerara est **bordé par deux domaines océaniques d'âges différents**, chacun mis en place lors de phases d'ouvertures distinctes de l'océan. Au nord et à l'est, il est bordé par le domaine crétacé de l'Atlantique équatorial et à l'ouest par le domaine jurassique, plus ancien, de l'Atlantique central (carte 2 ci-contre). La forme du plateau et les trois marges qui la délimitent sont ainsi issues d'une histoire en deux phases :

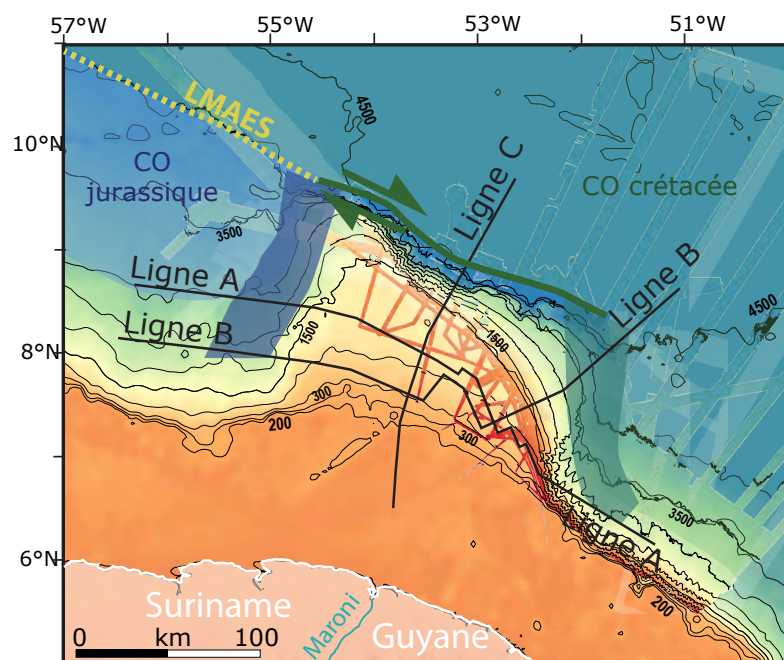
- 1 la marge Ouest (marge divergente) s'est formée au Jurassique lors de l'ouverture de l'Atlantique central ;
- 2 les marges Est (marge divergente) et Nord (marge transformante) se sont formées lors de l'ouverture de l'Atlantique équatorial au Crétacé, phase dominée par le jeu de grandes failles transformantes.

MARGES CONTINENTALES

Les bordures des continents (c'est-à-dire les zones de transition entre continents et océans), également appelées marges continentales, dessinent une pente douce qui se prolonge en mer jusqu'à environ 150-200 km du littoral, sous moins de 100-200 mètres d'eau. Cette partie plate et immergée d'un continent définit ce que l'on nomme le **plateau continental**. Il se termine par un brusque à-pic, le **talus continental**, qui, telle une titanesque marche d'escalier, fait la transition avec le plancher océanique des plaines abyssales, près de 5 000 mètres plus bas.



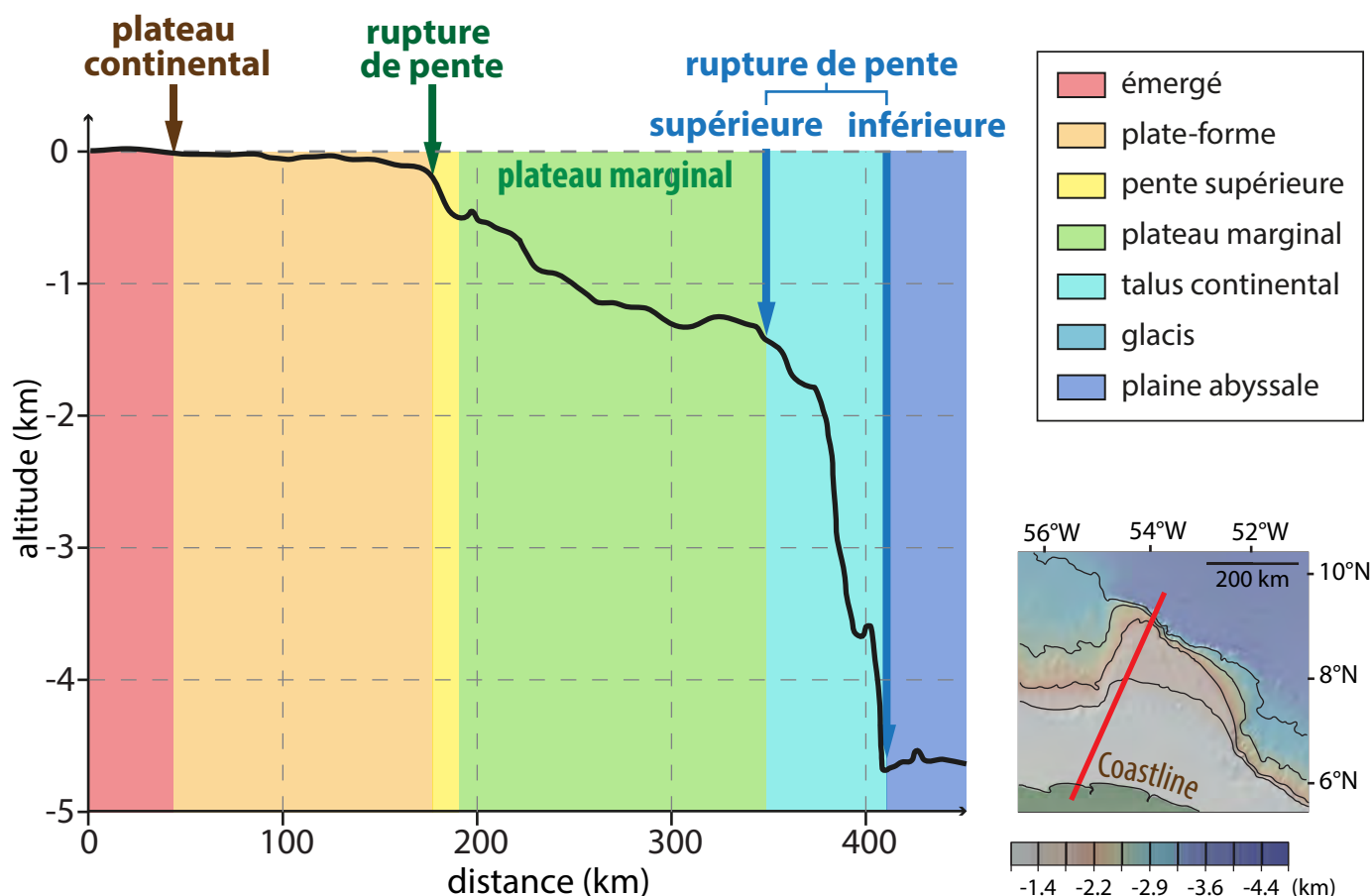
2. Carte bathymétrique du plateau de Demerara.



Les domaines océaniques jurassique et crétacé sont indiqués, ainsi que les différents types de marges, divergentes ou transformantes, bordant le plateau de Demerara. (+ Les 3 lignes sismiques A, B et C traversant le plateau de Demerara page 34).

- CO Croûte Océanique
- Marge divergente (Jurassique)
- Marge divergente (Crétacé)
- Marge transformante (Crétacé)
- Limite Méridionale de l'Atlantique Équatorial Septentrional (LMAES)

3. Profil bathymétrique du plateau de Demerara (plateau marginal).



Deux domaines de pente (la pente peu profonde et la pente continentale) séparent le plateau marginal du plateau et de la plaine abyssale respectivement.

Source : Transform Marginal Plateaus, L. Loncke, W.R. Roest, F. Klingelhoefer, C. Basile, D. Graindorge, A. Heuret, B. Marcaillou, T. Musier, A.S. Fanget, M. Mercier de Lépinay, Earth Science Reviews, 2020

L'ORIGINE DU PLATEAU DE DEMERARA

Les différentes campagnes océanographiques menées depuis 10 ans ont permis de lever une part du voile de mystères qui recouvrait l'histoire du plateau de Demerara. Les

campagnes DRADEM et MARGATS

(+ pages 24 et 25) ont été particulièrement déterminantes pour reconstituer le contexte géodynamique ayant accompagné la naissance du plateau. Les roches magmatiques remontées à la surface lors de la mission DRADEM, notamment, ont révélé que : (1) la genèse du socle du plateau était associée à un épisode magmatique majeur, d'âge jurassique, jusque-là inconnu ; (2) cet événement magmatique était associé au fonctionnement d'un **point-chaud** (+ page 35), lui aussi inconnu jusque-là et dont la partie active pourrait actuellement se trouver au large du Sierra-Leone.

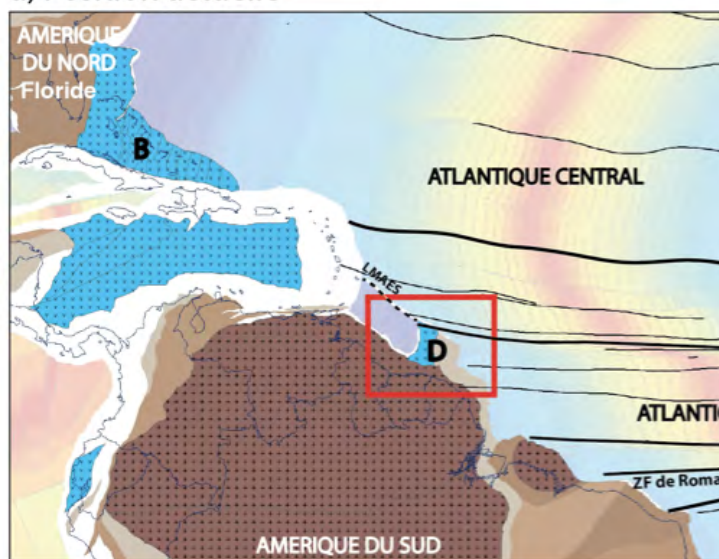
Une activité magmatique intense précède l'ouverture de l'océan Atlantique

Quand l'ouverture de l'océan Atlantique s'amorce, la région actuellement occupée par le plateau de Demerara est accolée à la Floride au nord-ouest et à l'Afrique (plateau de Guinée) au nord-est. L'ouverture en elle-même est précédée par **un premier épisode magmatique majeur correspondant à la Central Atlantic Magmatic Province (CAMP)**, une région d'intense activité magmatique, datée à 200 millions d'années (+ frise chronologique page 2). Elle s'étend sur une surface de 2,5 millions de kilomètres carrés (depuis la Bolivie jusqu'à la Bretagne) et se matérialise par un réseau dense de filons magmatiques dits doléritiques très bien exprimés en Guyane. La CAMP et ses filons y sont d'ailleurs souvent présentés comme l'ultime étape de l'histoire géologique (+ article Aux origines du soubassement géologique guyanais page 11).

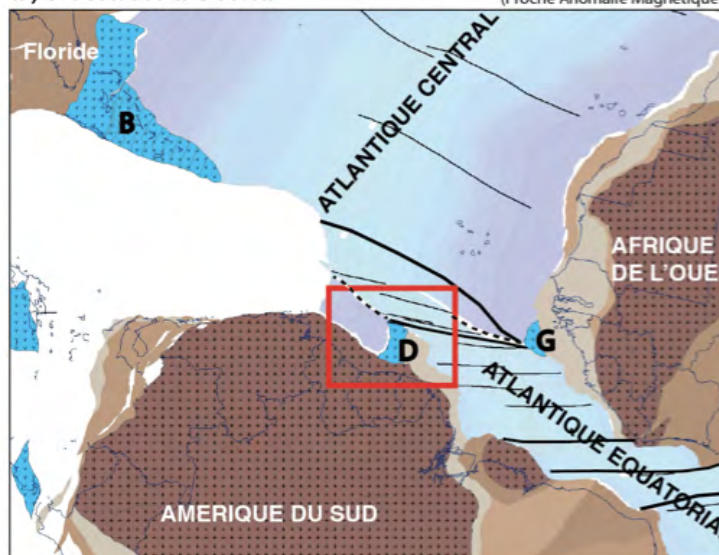
Les étapes suivantes impliquent l'ouverture de l'Atlantique central (séparation entre l'Amérique du Nord et l'Afrique au Jurassique ; Fig. 1c et d) puis celle de l'Atlantique équatorial au Crétacé Inférieur (séparation entre l'Afrique et l'Amérique du Sud ; Fig. 1b).

1. Reconstruction géodynamique des océans

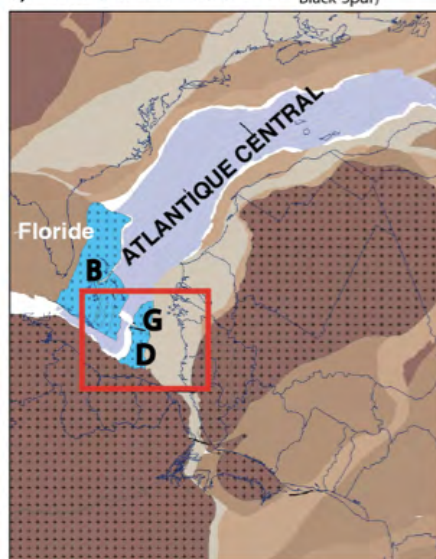
a) Position actuelle



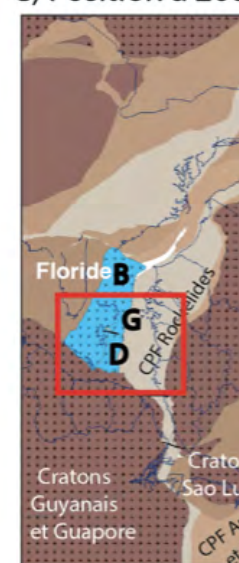
b) Position à 80Ma



d) Position à 160Ma



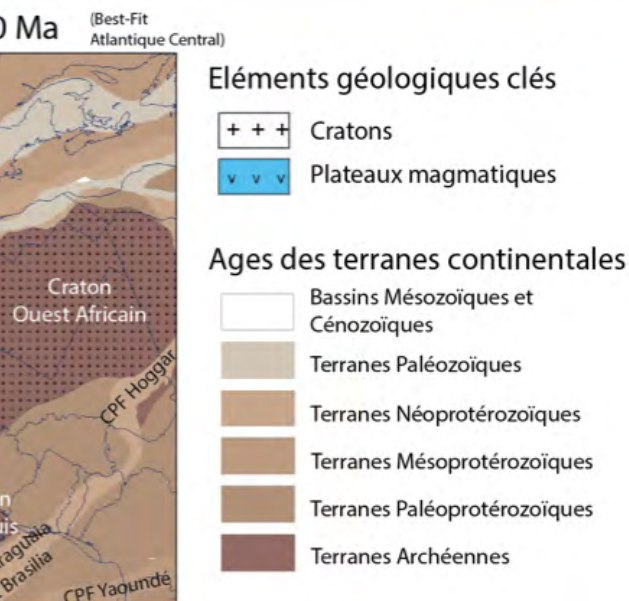
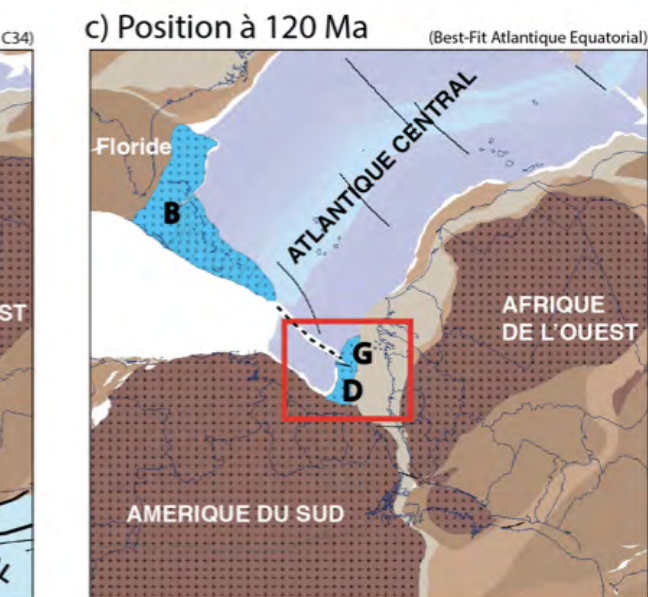
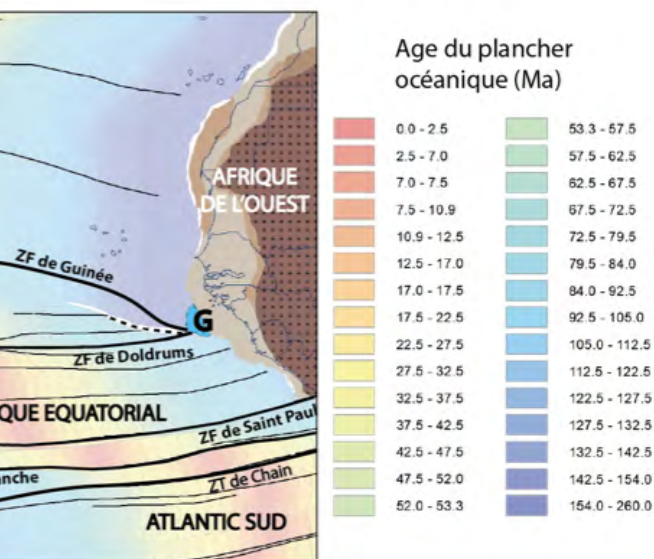
e) Position à 200Ma



- a) Situation actuelle ;
- b) Reconstruction à 80 Ma ;
- c) Reconstruction à 120 Ma ;
- d) Reconstruction à 160 Ma ;

Atlantique central et équatorial

(Amérique du Sud supposée fixe ; d'après Müller et al., 2016) :



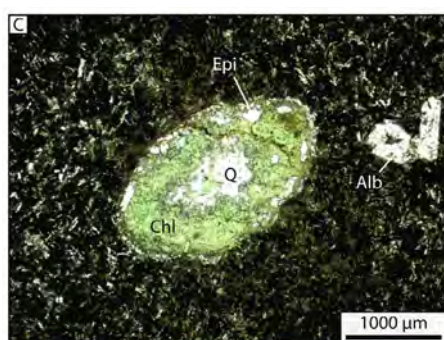
e) Reconstruction à 200 Ma.
Demerara (D) et ses conjugués : plateaux de Guinée (G) et des Bahamas (B). ZT : Zone Transformante. CPF : Chaînes Panafricaines.

Une origine volcanique

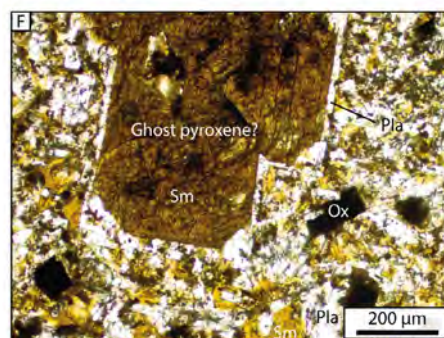
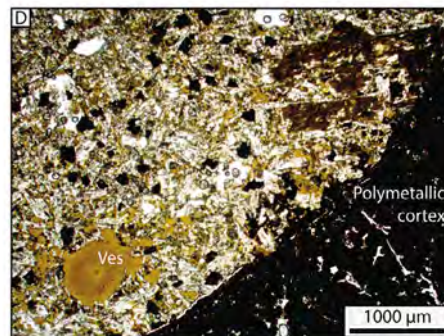
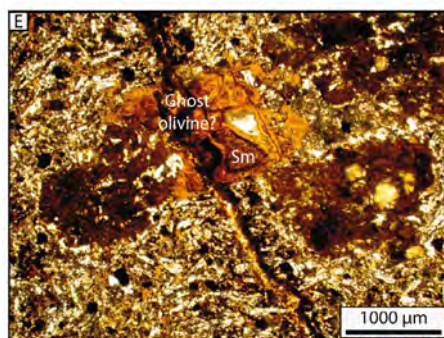
La croûte du plateau de Demerara a longtemps été interprétée comme une croûte continentale amincie, de 15 à 30 km d'épaisseur. Plus récemment, de nouvelles données sismiques avaient permis la découverte d'un ensemble de structures plongeant vers la mer dites "Seaward Dipping Reflectors" (SDR) impliquant une origine volcanique pour au moins une partie de la croûte du plateau.

En 2016, les dragages opérés lors de la mission DRADEM sur les pentes de la marge nord du plateau avaient permis d'échantillonner le socle affleurant et confirmé la présence de roches magmatiques (*basaltes et rhyolites, principalement* ; Fig. 2). Les analyses avaient mis en évidence un âge jurassique de 173 Ma ainsi que

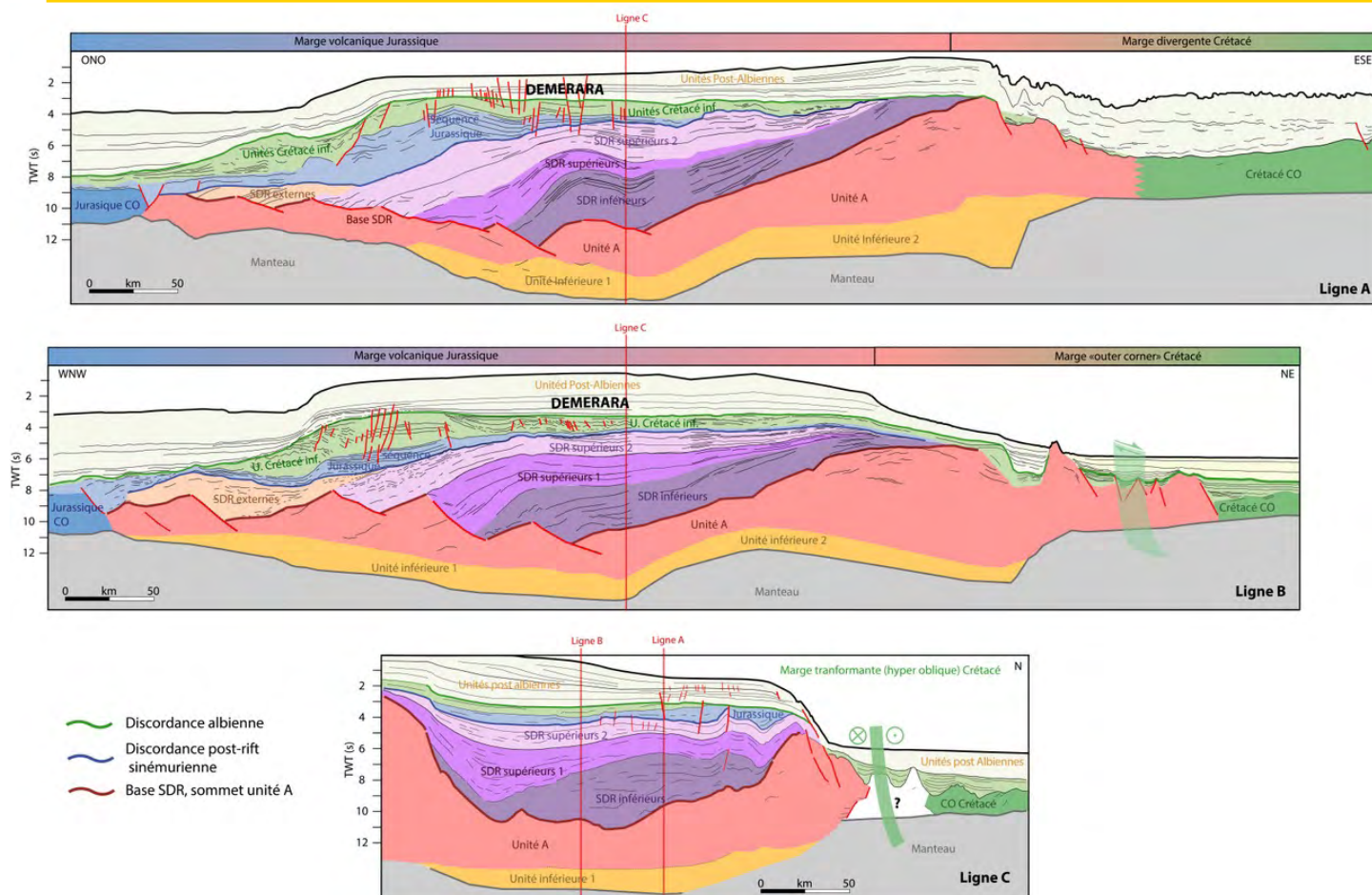
2. Echantillons de roches magmatiques



prélevées le long de la marge Nord du plateau de Demerara (mission DRADEM, 2016) et observées au microscope.



3. Trois lignes sismiques composites du plateau de Demerara (+carte bathymétrique page 31)



des caractéristiques géochimiques communes avec des laves de point-chaud.

La même année, la campagne MARGATS permettait d'imager la structure profonde du plateau de Demerara dont plusieurs unités présentent des caractéristiques compatibles avec une origine magmatique (Fig. 3) :

- L'unité inférieure (en orange) présente de fortes vitesses de propagation des ondes sismiques, caractéristique compatible avec la présence de roches magmatiques en base de croûte ;
- L'unité A (en rouge) présente une géométrie qui s'apparente à celle d'un socle continental mais avec des vitesses de propagation des ondes sismiques trop rapides pour une croûte continentale « standard ». L'hypothèse privilégiée est celle d'une croûte continentale profondément injectée de matériel magmatique associé soit aux SDR, soit aux intrusions plus anciennes liées à la CAMP.
- Le complexe de SDR (en violet et en mauve) atteint 400 km de long pour 20 km d'épaisseur. Les structures

sont inclinées vers l'ouest, en direction de l'axe de l'ouverture océanique jurassique. Uniquement échantillonnées lors des missions DRADEM et DIADEM, ces formations demeurent relativement méconnues mais, par comparaison avec d'autres marges, doivent être composées d'un empilement de matériaux volcaniques sub-aériens et de sédiments non-volcaniques.

- Les unités jurassiques postérieures à la fin de la déchirure continentale (en vert et vert clair), dites post-rifts, terminent la série. Elles sont contemporaines du début de l'ouverture de l'océan jurassique, marquée par la présence évidente de croûte océanique à l'ouest (CO ; bleu foncé).

L'ensemble de ces unités présente des caractéristiques et des vitesses sismiques comparables à celles des marges volcaniques bien documentées. Finalement, la partie profonde du plateau de Demerara correspond à une marge volcanique, héritée des processus tectoniques et magmatiques qui accompagnent la déchirure continentale.

Le magmatisme du plateau, vestige du point chaud du Sierra Leone ?

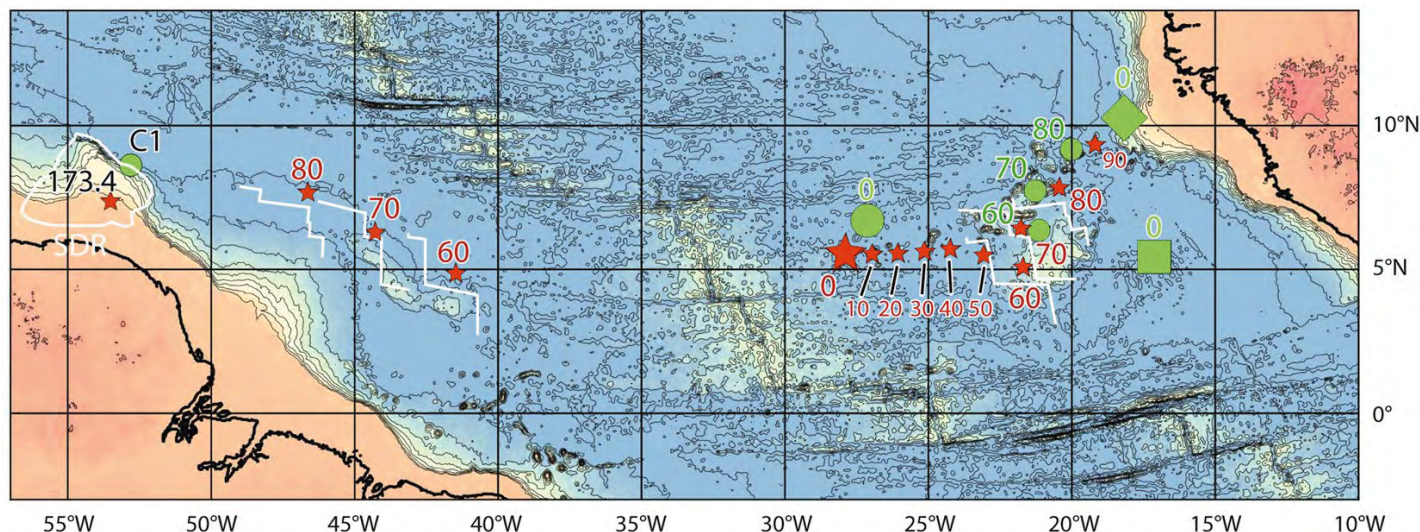
Les modèles géodynamiques permettent de reconstituer la position des plaques tectoniques (Fig. 1) et d'éventuels points-chauds tout au long de l'ouverture de l'Océan Atlantique. Ces reconstructions montrent qu'un seul et même point-chaud, le point-chaud du Sierra-Leone, pourrait être à l'origine de plusieurs épisodes magmatiques affectant le plateau de Demerara

mais aussi d'autres endroits de l'Océan Atlantique (Fig. 4) :

- 1 la Central Atlantic Magmatic Province, il y a 200 Ma, à l'initiation de l'ouverture de l'Atlantique Central ;
- 2 le socle magmatique du plateau de Demerara (entre 180 et 170 Ma) et du plateau de Guinée (vers 165 Ma) pendant la fin d'ouverture jurassique de l'Atlantique central ;

4. Trajectoire reconstituée du point chaud de Sierra Leone.

Les points verts et les étoiles rouges représentent la trajectoire d'un point chaud situé sur le point de dragage C1 ou sous les SDR de Demerara à 173 Ma, respectivement, en utilisant le modèle cinématique de Müller et al. 26 ; la grande étoile et le grand point sont les emplacements actuels attendus (Basile et al., 2020).



- 3 les plateaux océaniques Sierra Leone et Ceara, entre 76 et 68 Ma (Crétacé Supérieur), pendant l'ouverture de l'océan Atlantique équatorial ;
- 4 la chaîne de monts sous-marins des Bathymetrists depuis le Crétacé supérieur et jusqu'à une période récente.

L'emplacement actuel du point-chaud supposé de la Sierra Leone devrait se situer à 100 km à l'ouest du mont sous-marin Knipovich, qui serait son dernier centre émissif.

SOURCES :

- Le magmatisme jurassique du plateau de Demerara comme vestige du point chaud de Sierra Leone pendant le rifting atlantique, Christophe Basile, Igor Girault, Jean-Louis Paquette, Arnaud Agranier, Lies Loncke , Arnaud Heuret & Ewald Poetisi, Scientific Reports, 2020
- Le plateau de Démérara et ses marges au large des Guyanes, David Graindorge, Christophe Basile, Arnaud Heuret, Frauke Klingelhoefer, Lies Loncke, Walter R. Roest et François Sapin, Dossier L'évolution géologique des Guyanes, Géologues N°206, septembre 2020

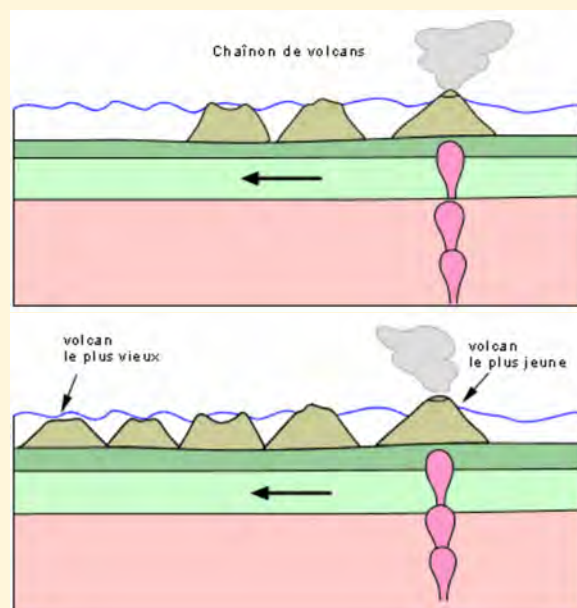
LES POINTS CHAUDS

Les points chauds sont des régions dont l'activité volcanique, intense et localisée, est due à des remontées chaudes de manteau profond appelés panaches. En remontant vers la surface de la Terre, les roches du manteau subissent une décompression qui les amène à fondre et à générer un magma basaltique qui peut traverser les plaques tectoniques pour alimenter des volcans dits de points-chauds. Ces volcans peuvent être sous-marins (ils atteignent et dépassent parfois la surface de l'eau en formant des îles), ou des volcans continentaux avec des épanchements considérables.

Le point-chaud étant fixe, le déplacement d'une plaque tectonique par rapport à la remontée mantellique est à l'origine d'alignements volcaniques à la surface de la Terre, comme les îles Hawaï ou les îles Marquises. En effet, la plaque se déplaçant régulièrement, le volcan le plus vieux finit par s'éteindre et un autre apparaît au-dessus du panache resté fixe. On peut ainsi suivre le déplacement de la plaque, à travers l'alignement de volcans issus d'un même point chaud.

Fonctionnement d'un point chaud : le volcan le plus ancien a été créé il y a longtemps alors qu'il était à la verticale du panache mantellique. Avec le déplacement de la plaque (voir flèche), il s'est éloigné petit à petit du panache, et donc de la source de magma, jusqu'à s'éteindre. Le volcan le plus jeune est en cours de formation au-dessus du panache.

(source du schéma : Université de Laval, Québec)



ENTRETIEN AVEC ARNAULD HEURET

LA GÉOLOGIE, CLÉ DE COMPRÉHENSION DES PAYSAGES

Enseignant-chercheur en Géologie à l'Université de Guyane, Arnauld Heuret est impliqué dans plusieurs champs de recherche touchant à la géologie guyanaise, incluant la géologie marine, la paléontologie, la géologie du socle ancien, les géoressources et, plus généralement, la géodiversité guyanaise et les dimensions patrimoniales qui l'accompagnent. Il est également responsable d'une licence professionnelle, la LP Métiers des Ressources Naturelles et de la Forêt (LP RNF) formant des techniciens-géologues (parcours VALOrisation des Ressources du Sous-Sol - VALORESS) et des techniciens-environnement (parcours Gestion et Traitement des Eaux et des Déchets - GTED) (+ cf article sur la LP RNF parcours VALORESS page 82).

Lemag' Comment est née votre envie de faire de la géologie ?

J'ai toujours été intéressé par la nature, en général. Jeune, j'aimais l'ornithologie et je passais mon temps en forêt à chercher les oiseaux que je ne connaissais pas encore. J'ai également hérité d'un intérêt pour les fossiles, par mon arrière-grand-mère qui les collectionnait, par la rencontre avec un pédologue et collectionneur passionné, Claude KOSSURA, et pour en avoir moi-même cherché lors de mes vacances en France hexagonale. Après un bac à Saint-Laurent-du Maroni, d'où je suis originaire, je me suis donc orienté en classe préparatoire Biologie Chimie Physiques et Sciences de la Terre (BCPST). C'est là que j'ai tranché pour la géologie. Cela me fascinait de comprendre comment on passe de l'infiniment grand à l'infiniment petit, et de l'infiniment petit à l'infiniment grand, sur les échelles d'espace et de temps.

Lemag' Suite à votre formation en France hexagonale, vous revenez en Guyane pour y faire de la recherche ?

Le chemin a été un peu long, mais oui... Après la prépa BCPST, j'ai intégré une licence en Sciences de la Terre, à l'Université de Lorraine, à Nancy, puis j'ai fait un DEA et une thèse sur la géodynamique des zones de subduction, à Montpellier, et enfin un post-doc de plusieurs années entre l'Université Roma Tre et Montpellier. Le cœur du travail était de dresser des portraits-robots des zones de subduction actuelles, à travers des jeux de paramètres (géométrie, sismicité, vitesses des plaques, etc.) issus de l'analyse de bases de données géophysiques globales pour trouver des lois empiriques qui permettent de discuter des forces et des mécanismes qui régissent leur dynamique puis de tester ces lois à travers des modèles de laboratoire. De la géologie à très grande échelle, celle des plaques tectoniques, pour des problématiques très académiques. Ce travail a notamment amené à contribuer au développement de Submap, un outil web qui permet de cartographier et de décrire toutes les zones de subduction du monde en quelques clics ([🔗 Submap](#), [🔗 vidéo](#))

"Générer des cartes et des coupes des Zones de SUBDUCTION".

A l'époque, malgré mon envie de revenir au pays, je travaillais sur des sujets qui concernaient plus les Antilles que la Guyane. J'ai été recruté en 2012 comme maître de conférence à l'Université des Antilles et de la Guyane, en Guadeloupe. C'était le seul pôle de l'ancienne UAG qui avait un département de géologie. Une équipe se renforçait pour étudier la zone de subduction antillaise. A la scission UG / UA, on offrait la possibilité au personnel d'être muté sur le pôle de son choix. J'ai fait valoir

mon droit d'option pour rejoindre la nouvelle Université de Guyane à la rentrée 2015. Il n'y avait encore jamais eu de géologue en poste. Encore aujourd'hui, je suis le seul enseignant-chercheur en géologie de l'Université de Guyane.

Lemag' Comment expliquer le fait que la recherche en géologie ne soit pas plus développée en Guyane ?

Il y a sans doute plusieurs raisons. Tout d'abord, historiques. L'université est jeune et ce champ disciplinaire est nouveau pour elle. L'essentiel de ce qui s'est fait en Géologie sur



Campagne océanographique DIADEM (2023) - Photo Lies Loncke

le territoire l'a été par l'ORSTOM/IRD, le BRGM et quelques universités de France hexagonale, dans des logiques de missions et de turn-over plutôt que de constitutions d'équipes locales pérennes. Il n'existe ainsi, en local, aucun laboratoire de Géosciences. Je suis moi-même rattaché au laboratoire Géosciences Montpellier.

Et puis, les géosciences, en Guyane, sont vite connotées « mines ». Ce focus, bien que fondamental pour le territoire, est parfois mal perçu, alors qu'il n'est pas le seul. C'est important de promouvoir les autres approches : la manière dont la géologie documente l'histoire, à grande échelle, du territoire, l'évolution de la biodiversité, les clés qu'elle apporte dans la lecture et la compréhension des paysages et de leur évolution, pour l'aménagement du territoire, etc. Il y a une culture générale en géosciences à développer.

Lemag' Quels sont aujourd'hui vos thèmes de recherche ?

Je travaille toujours sur les zones de subduction, dans la continuité de mes travaux de thèse et de post-doc, mais depuis que je suis de retour en Guyane, les sujets guyanais ont pris une place de plus en plus importante. Je suis impliqué sur de nombreux projets qui vont de la géologie fondamentale, comme la géologie du socle (c'est-à-dire la compréhension des roches anciennes qui font le socle guyanais), la géologie marine ou la paléontologie jusqu'à de la géologie plus appliquée, comme l'objectivation des enjeux de la filière minière guyanaise, les services géo-écosystémiques, les contaminants métalliques présents dans les sols guyanais... Pas seul, bien sûr, mais au milieu d'un réseau de collaborations assez dense impliquant par exemple des spécialistes de Géosciences Montpellier, l'ISEM, le BRGM, ISTerre, le CEFREM, PRODIG, l'UQAM, l'Université de Lorraine, etc.

Certains collègues me qualifient parfois de « géologue généraliste », mais s'il faut identifier des fils directeurs, on peut citer les notions de géodiversité et de géopatrimoine guyanais, de la documentation des

“ Riche de toutes ces spécificités, la Guyane, avec une recherche en Géosciences localement structurée et valorisée, pourrait être une formidable vitrine de l'expertise française en Amérique du Sud ”

roches jusqu'au développement d'outils qui permettent de discuter science autour de ces objets. C'est le sens, par exemple, de mon implication dans la toute nouvelle Commission Régionale du Patrimoine Géologique de Guyane, qui réunit un groupe d'experts de la géologie du territoire pour dresser un inventaire, aux normes du Muséum National d'Histoire Naturelle, du patrimoine géologique guyanais ([InvenTerre](#)).

Lemag' La Guyane est un territoire singulier au niveau géologique, quelles sont ses spécificités ?

Effectivement, en Guyane, nous sommes sur un territoire à la géologie originale, au moins à l'échelle nationale. Parmi les spécificités, il y a, d'abord l'âge du soubassement géologique guyanais : les roches qui le composent ont plus

de 2 milliards d'années. Ce sont les plus vieilles de France. Elles témoignent de processus géologiques anciens, rattachés à une terre primitive aux conditions et aux processus géologiques en partie différents de ceux qu'on connaît actuellement. La Terre était par exemple plus chaude, permettant des types de magmatismes aujourd'hui disparus, comme le cortège de roches qu'on appelle TTG (*pour tonalite-trondhjémite-granodiorite*) qui a participé à construire les noyaux de l'essentiel des continents d'aujourd'hui... et donc importantes pour comprendre comment le monde actuel s'est structuré.

De leur côté, les ceintures de roches vertes (un ensemble de formations volcano-sédimentaires transformées sous l'action de changements de conditions de pression et de température importantes) sont associées à des processus géologiques qui concentrent l'or, sur des modèles qui peuvent être comparés et transposés à de nombreuses régions du monde. La thématique minière, d'une manière générale, depuis les processus géologiques qui expliquent les gisements jusqu'aux différentes considérations techniques tournant autour de leur prospection et de leur exploitation en passant par les conséquences socio-environnementales qui l'accompagnent, est bien sûr, une autre spécificité.

On peut encore citer l'altération extrême qui accompagne le climat équatorial guyanais, entraînant le développement d'imposantes épaisseurs de latérites en surface, à la fois marqueurs climatiques, concentrateurs d'éléments métalliques dont certains peuvent être des contaminants à forte dose et on comprend que riche de toutes ces spécificités, la Guyane, avec une recherche en Géosciences localement structurée et valorisée, pourrait être une formidable vitrine de l'expertise française en Amérique du Sud.

Lemag' Parmi les sites géologiques d'exceptions en Guyane, on trouve le littoral de Cayenne et l'île du Connétable ?

Effectivement, le littoral rocheux cayennais et l'île du Connétable font partie des géosites guyanais à l'intérêt patrimonial majeur. On trouve tout le long du bord de mer de l'île de Cayenne, des dalles rocheuses continues sur plusieurs centaines de mètres. En Guyane, tout le territoire est recouvert de forêt et de latérite, et de fait, avoir accès à cette roche fraîche non altérée, est exceptionnel. Et pas seulement à l'échelle de la Guyane. On a là, simplement, les affleurements les plus beaux et les plus accessibles de tout le Bouclier Guyanais. Formées dans le contexte de racines d'anciennes chaînes de montagne à l'histoire complexe, mises à nu par près de 2 milliards d'années d'érosion, certains affleurements sont spectaculaires et ouvrent une remarquable fenêtre sur la géologie paléoprotérozoïque. C'est aussi là qu'on trouve les roches les plus anciennes de Guyane (et donc de France). Certains sites, comme la Pointe Buzaré, sont documentés par des études fines et certains autres le seront bientôt, dans le cadre de nouveaux programmes de recherche. Ces données modernes, associées à la qualité des affleurements, font aussi de ces dalles rocheuses de remarquables supports pédagogiques. Le tout, au cœur même du chef-lieu guyanais, à portée de main d'une université, de lycées, etc.

Moins accessible, mais tout aussi remarquable : l'île du Connétable ( Réserve naturelle Ile du Grand-Connétable). Située au large de l'embouchure de l'Approuague, cette île est formée, à la base, d'un affleurement de socle paléoprotérozoïque comparable à celui de l'île de Cayenne mais recouvert par un chapeau latéritique de plusieurs dizaines de mètres de hauteur. Cette latérite est très particulière. D'abord, elle témoigne d'une altération extrême : plus qu'une latérite, c'est en fait une bauxite. Les roches du socle ont été tellement altérées que même le fer et le silicium ont été lessivés. Il ne reste pour ainsi dire plus que de l'aluminium. Plus remarquable encore : lorsque l'endroit devient une île, des colonies d'oiseaux marins s'installent et du



Prospection dans le cadre d'une étude paléomagnétique, sur le littoral rocheux cayennais (2024) - Photo : Paul Antonio

guano s'accumule. Ce dernier, traversé par l'eau de pluie, se dissout et pénètre la bauxite, pour réagir avec elle et former un gisement de phosphates, exploité à partir de la fin du XIX^e siècle, pendant quelques dizaines d'années, par une compagnie américaine. Le site témoigne ainsi d'une série de processus géologiques extrêmement originaux.

Lemag' La montagne de Kaw suscite également l'intérêt des géologues ?

La montagne de Kaw est effectivement un autre site majeur, bien connu du grand public pour sa biodiversité, mais moins pour sa géodiversité. Une des caractéristiques les plus spectaculaires est la présence d'un réseau de grottes. La plupart des naturalistes connaissent les entrées où nichent les célèbres coqs de roche. L'intérieur moins. Ces grottes se développent à la base de l'épaisse couverture latéritique qui coiffe le relief, sous ce qu'on appelle la duricrust, la partie la plus indurée d'un profil latéritique ( Portfolio p. 44). On est sur des configurations qui évoquent presque les systèmes karstiques des territoires calcaires... mais sans calcaire. Il y

a des galeries parfois longues de plusieurs centaines de mètres, suffisamment hautes pour qu'on tienne debout, des rivières souterraines, des stalagmites, des stalagmites et autres concrétions sur les parois, etc. C'est très inattendu en Guyane. Surtout, encore une fois, dans un matériau autre que le calcaire.

Il y a donc toute une série de questions posées par ces objets géologiques : sur les processus de mise en place des cavités, la nature des matériaux formant les concrétions, la manière dont le réseau souterrain contrôle la morphologie de surface de la montagne, l'écoulement des eaux, etc. Etudier ces grottes et leur fonctionnement amènera des clés de compréhension sur tout le reste, y compris les écosystèmes et la biodiversité. Un projet est en cours de montage pour poser quelques premiers jalons...

Lemag' Récemment, de grandes découvertes en géologie ont été permises par le chantier d'Ariane 6 ?

Cette découverte est très importante et inattendue. La Guyane était depuis toujours présentée comme vide de fossiles, les

conditions climatiques étant trop agressives pour en permettre la conservation. La découverte des premiers gisements fossiles guyanais ouvre de très belles perspectives pour documenter l'évolution de la biodiversité et des paysages. Et pas seulement pour la petite Guyane. Le gisement découvert lors des travaux du pas de tir du lanceur Ariane 6 est le premier gisement fossile de tout le Bouclier Guyanais.

L'âge de 120 à 140 000 ans peut paraître anodin par rapport à des fossiles qui dépassent facilement les 100 millions d'années en France hexagonale, par exemple. Mais il permet de documenter une période qui correspond au dernier moment où la mer est montée très haut, ce qui équivaut à ce qu'on vit aujourd'hui, à l'heure du réchauffement climatique. On peut alors avoir un aperçu de l'évolution des paysages avec le réchauffement climatique. Le gisement permet également de poser un premier jalon sur ce qu'était la biodiversité avant l'arrivée des premiers humains en Guyane, il y a une dizaine de milliers d'années environ, et de mieux en

“ La découverte des premiers gisements fossiles guyanais ouvre de très belles perspectives pour documenter l'évolution de la biodiversité et des paysages. ”

comprendre l'impact. Un projet, en association avec des archéologues, est centré sur cette idée.

Et puis, cette première découverte en a déjà appelé une autre, plus spectaculaire encore, celle des os d'un paresseux géant, à Atouka, au Sud de Maripasoula. Outre la découverte du premier fossile de cette mégafaune disparue il y a 10-20 000 ans, l'analyse des sédiments associés a permis de détecter la présence d'ADN environnemental ancien, donnant accès à des possibilités d'inventaires fossiles plus précis. La porte est ouverte à de nombreuses nouvelles découvertes.

Lemag' Quelles autres découvertes récentes ont suscité l'intérêt des géologues ?

Autour du projet minier Montagne d'Or, en parallèle de la campagne de prospection menée par la compagnie pour caractériser le gisement, une thèse s'est penchée sur la géologie du gisement. Sur la base des carottages effectués par la compagnie, cette thèse, menée par James Guiraud



Mission de prospection archéologique dans la forêt des Malgaches, à Saint-Laurent-du-Maroni (2023) - Photo Pierre Michelon

(Université de Québec à Montréal) a décrit les roches accompagnant le gisement pour mieux comprendre la succession d'évènements et les processus géologiques qui avaient permis sa mise en place. Ce genre de démarche, mettant à contribution des données minières pour alimenter la science est assez courante. Mais c'était la première fois que c'était entrepris pour un gisement guyanais avec, au-delà de la thèse, la publication d'articles scientifiques. Les résultats ont montré que le gisement Montagne d'Or correspondait à un modèle très différent du modèle dominant en Guyane, celui de « l'or orogénique ». Au lieu d'un gisement mis en place à la faveur de la circulation de fluides chauds le long de grandes failles associées à un contexte de formation de chaîne de montagne, on a mis en évidence l'existence d'un gisement associé à des phases plus anciennes de l'histoire géologique guyanaise. Le gisement Montagne d'Or s'est formé autour de volcans sous-marins qui étaient actifs. Il faut imaginer un contexte d'eaux chaudes qui ressortent à la surface de l'océan, à travers des cheminées comparables aux « fumeurs noirs » que l'on trouve au niveau des dorsales océaniques. Une série de minéraux précipitent dans la roche encaissante et l'or avec. Ce modèle de formation de l'or est nouveau pour le Bouclier Guyanais et offre une nouvelle clé de prospection. Il incite à chercher l'or ailleurs, notamment au sein de ces roches volcaniques. D'autres scoops géologiques ont été récemment mis à jour par l'exploration océanographique du plateau de Demerara (+ p.32), au large du Maroni. On y a découvert, par exemple, les indices d'une phase de l'histoire géologique de la Guyane complètement inconnue jusque-là, associée au fonctionnement d'un point-chaud, responsable de la production d'énormes quantités de magma dans les premiers stades de l'ouverture de l'Océan Atlantique, il y a environ 170 millions d'années, c'est-à-dire 30 millions d'années après les derniers épisodes magmatiques documentés dans la région.

Lemag' Les nouvelles connaissances géologiques pourront-elles avoir des impacts sur le développement du territoire ?

Autour des questions minières, la réponse est évidente. Les connaissances géologiques amènent à mieux caractériser les gisements, à savoir s'ils sont exploitables et comment ils peuvent être mis en exploitation pour non seulement être rentables mais aussi pour minimiser les impacts sur l'environnement. Après, si la géologie est fondamentale, elle ne suffit pas. Les projets miniers et les politiques minières ne se décident pas sur ces seules bases. Les approches doivent nécessairement être transversales pour intégrer les dimensions sociales, économiques, environnementales, historiques, etc.

Sur cette idée d'une géologie qui aiderait à la prise de décision politique, l'approche d'Ottone Scammacca impliquant cartographie et caractérisation de la géodiversité et des géofonctionnalités associées (cf article "De la géodiversité à la géofonctionnalité") est intéressante car elle traduit un manque qu'il y a longtemps eu en Guyane : mieux intégrer les réalités du soubassement géologique guyanais aux stratégies d'aménagement du territoire. La Guyane est un territoire non homogène, avec des unités géologiques qui ont des propriétés différentes. La prise en compte de ces spécificités a longtemps été négligée, alors qu'elle est importante pour le développement des sociétés humaines. La production d'indices cartographiques, associés à des fonctionnalités, est un élément essentiel pour penser l'aménagement du territoire.

Lemag' Avec la licence pro RNF, vous souhaitez développer les compétences autour des géosciences en Guyane ?

La LP RNF, qui forme effectivement des techniciens-environnement (parcours Gestion et Traitement des Déchets ; GTED) et des techniciens-géologues (parcours VALOrisation des REssources du Sous-Sol ; VALORESS), est actuellement la seule formation à BAC+3 qui, en Guyane, forme aux métiers de l'environnement, de l'exploitation du sous-sol et plus généralement, aux problématiques géo-environnementales. Ce sont des compétences auxquelles les Guyanais n'avaient pas accès, depuis le territoire.

Il y a, bien sûr, la nécessité de permettre aux guyanais de se former, sur place, aux métiers associés à la filière minière et de se mettre à l'interface avec l'une des filières industrielles présente sur le territoire. Mais le besoin va au-delà. L'idée est aussi de construire des compétences locales en géosciences de l'environnement, afin de soutenir le développement du territoire et aboutir à une meilleure gestion de l'environnement.

“ L'idée est aussi de construire des compétences locales en géosciences de l'environnement, afin de soutenir le développement du territoire et aboutir à une meilleure gestion de l'environnement. ”

UN RICHE ÉCOSYSTÈME CÔTIER VIEUX DE 125 000 ANS DÉCOUVERT SOUS ARIANE 6 EN GUYANE

RECHERCHE



Référence complète de l'article :

Antoine, P.-O., Wieringa, L.N., Adnet, S., Aguilera, O., Bodin, S.C., Cairns, S., Conejeros-Vargan C.A., Cornée, J.-J., Ežerinskis, Ž., Fietzke, J., Gribenski, N.O., Grouard, S., Hendy, A., Hoorn, C., Joannes-Boyau, R., Langer, M.R., Luque, J., Marivaux, L., Moissette, P., Nooren, K., Quillévéré, F., Šapolaitė, J., Sciumbata, M., Valla, P.G., Witteveen, N.H., Casanova, A., Clavier, S., Bidgrain, P., Gallay, M., Rhoné, M. ; Heuret, A., 2024.

A Late Pleistocene coastal ecosystem in French Guiana was hyperdiverse relative to today. Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A. <https://doi.org/10.1073/pnas.2311597121> .

Un consortium international de paléontologues, géologues et biologistes, coordonné par des scientifiques de l'Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier (Université de Montpellier/CNRS/IRD) et de l'Université de Guyane/Géosciences Montpellier, décrit la découverte d'assemblages fossiles couvrant les derniers 125 000 ans, sous la zone de lancement de la fusée Ariane 6, à Kourou, en Guyane. Ces assemblages côtiers, riches de plus de 270 espèces animales, végétales et de microorganismes, sont les premiers mis au jour dans l'Atlantique équatorial. Cette découverte vient de paraître dans les *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*.

Une faune marine d'une extraordinaire diversité...

Des dizaines de milliers de fossiles ont été mis au jour sur l'emprise du Centre Spatial Guyanais (CSG) entre 2017 et 2021, grâce à une autorisation du CNES, propriétaire des lieux. En premier lieu, les scientifiques ont pu y caractériser un assemblage fossile côtier daté d'environ 130 000 à 115 000 ans. Selon Pierre-Olivier Antoine (Université de Montpellier) et Arnaud Heuret (Université de Guyane) qui ont dirigé cette étude, « *les communautés fossiles marines et terrestres reconstituées incluent plus de 270 espèces, dont des for-*

minifères, des mollusques, des poissons osseux, des bryozoaires, des décapodes, des requins et de nombreuses plantes. Tous les spécimens fossiles identifiés à Kourou appartiennent à des espèces actuelles, dont certaines sont aujourd'hui au bord de l'extinction ». Les résultats documentent un court intervalle de haut niveau marin pendant le dernier interglaciaire, lorsque la zone abritait un écosystème de mangrove et des habitats d'eau peu profonde, avec notamment des assemblages de mollusques très diversifiés.

...qui nous renseigne sur les écosystèmes passés

En mettant en commun leurs expertises, des paléontologues, géologues et biologistes ont pour la première fois pu reconstituer précisément les écosystèmes passés de la Guyane. Selon les auteurs, les résultats permettent de mieux comprendre l'écologie et la biogéographie des écosystèmes côtiers tropicaux de l'Atlantique équatorial, préalablement à toute influence humaine, ainsi que l'impact potentiel à long terme des changements climatiques en cours sur des espèces actuelles et menacées d'extinction. En effet, les oscillations climatiques des 2,5 derniers millions d'années ont entraîné des changements radicaux dans la distribution des organismes sur l'ensemble du globe. En particulier, le dernier intervalle interglaciaire (128 000-116 000 ans) est caractérisé par des niveaux marins plus élevés et des températures plus chaudes qu'aujourd'hui, ce qui fait de cette période un analogue plausible des conditions globales prévues pour 2100. Toutefois, rien n'était connu des faunes et des flores côtières équatoriales de cette période-là

autour de l'Atlantique, jusqu'à la mise au jour d'argiles fossilifères lors des travaux d'aménagement de la zone de lancement d'Ariane 6.

D'après Austin Hendy (Muséum d'Histoire Naturelle, Los Angeles), « *cette diversité montre qu'il existait alors de très fortes affinités entre les eaux côtières des Caraïbes et des Guyanes, probablement avec une influence moindre des méga-courants d'origine amazonienne* ». Après le retrait de l'océan il y a environ 110 000 ans, lié au refroidissement global de la dernière glaciation, « *les fossiles végétaux découverts sur place (pollen, phytolithes et charbons de bois) suggèrent l'existence de savanes et de conditions locales plus sèches, avec des épisodes de feux naturels, jusqu'à il y a environ 50 000 ans* », détaille Carina Hoorn (Université d'Amsterdam). Enfin, Pierre-Olivier Antoine espère « *que ce travail contribuera à une meilleure appréhension des grands bouleversements environnementaux que la région pourrait connaître d'ici à 2100* ». »

PORTFOLIO

LES ARCHIVES DU CLIMAT



PLÉISTOCÈNE

Dans le passé, les variations du climat ont façonné les paysages de la Terre, impactant la biodiversité sous-marine et terrestre. Les fossiles et les roches qui les contiennent sont autant d'archives qui documentent l'évolution des climats et des paysages. En Guyane, ce passé lointain a longtemps été sous-documenté, mais d'importantes découvertes ont été réalisées ces dernières décennies.

A Terre, le chantier d'Ariane 6 a permis de révéler des échantillons d'une faune marine d'une incroyable diversité, datant du Pléistocène, alors que

LIMAT

Illustration : carole.pourcher@gmail.com



IL Y A ENVIRON 50 40 000 ANS

la préservation de tout fossile était réputée quasiment impossible en Guyane. Côté mer, différentes explorations témoignent de l'influence des variations du niveau marin sur le paysage guyanais à la faveur des cycles glaciaires-interglaciaires qui se produisent depuis plusieurs centaines de milliers d'années. Sur le temps plus long, les latérites se révèlent être d'excellentes archives permettant d'explorer les variations du climat tropical qui ont lieu depuis plusieurs dizaines de millions d'années, tout au long du Cénozoïque.

À TERRE... DES DÉCOUVERTES PALÉONTOLOGIQUES RÉCENTES

Les faunes marines du chantier du lanceur ELA4 - Ariane 6

La campagne de terrain sous la zone de lancement d'Ariane 6 a dévoilé une extraordinaire vie marine datant du Pléistocène (cf Article page 42). L'essentiel de la paléobiodiversité a été révélée grâce à de fastidieuses opérations de lavage-tamassage ayant mobilisé plus de 800 kg de sédiments, issus de plusieurs tranchées, passés au crible. Les différentes fractions du résidu correspondant ont ensuite méticuleusement été scrutées à la loupe binoculaire.

La faune est largement dominée par les mollusques, d'une diversité et d'une préservation exceptionnelles (gastéropodes, huîtres et divers bivalves). Nombreux aussi sont les oursins réguliers, avec leurs piquants conservés, et les coraux du genre *Astrangia*. Le tri après tamassage a également permis la découverte de centaines de petits éléments minéralisés provenant de crânes de poissons, appelés otolithes, qui permettent d'identifier les espèces (anchois, courbine

ti-yeux, bourrugue coquette, poissons-chats koko-blé et grondé). Plusieurs espèces de requins ont également été reconnues grâce à leurs dents, dont les requins nourrice, aiguille, citron et autre requin demoiselle, aujourd'hui en danger d'extinction.

Il y a également une diversité de fragments de charbon de bois (incluant le palétuvier rouge *Rhizophora*, l'arbre typique de la mangrove).



Le site

- 1 Tranchée dans la couverture sédimentaire, aux abords de la future rampe de lancement ELA4 d'Ariane 6, au Centre Spatial Guyanais, à Kourou, en 2019. Localisés à environ 7 m de profondeur, à 1 m au-dessus du niveau actuel de la mer, les silts argileux gris, très riches en huîtres et autres fossiles essentiellement marins, ont livré le premier assemblage paléontologique diversifié de Guyane et même du Bouclier Guyanais. Ces dépôts datent du dernier épisode interglaciaire (128 – 116 000 ans..., âge estimé par datation des sables et des coraux *Astrangia*)

Les Fossiles

- 2 Les silts argileux gris de Kourou ELA4 (formation Coswine, fin du Pléistocène moyen), sur le terrain, avant tamisage. Les mollusques et décapodes dominent l'assemblage, en matière d'abondance. Le doigt indique un otolithe de poisson.
- 3 Charbon de bois fossile retrouvé dans des niveaux sédimentaires continentaux recouvrant les niveaux à huîtres. L'analyse des charbons de bois a permis de reconstituer finement les associations de végétaux associés aux différents niveaux sédimentaires mais aussi la datation, par carbone 14, des niveaux continentaux, étagés sur les derniers 50 000 ans.
- 4 Amas d'huîtres fossiles.
- 5 Dents de requins et de raies.



2



3



4

5



MÉGAFAUNE / L'EREMOTHERIUM D'ATOUKA



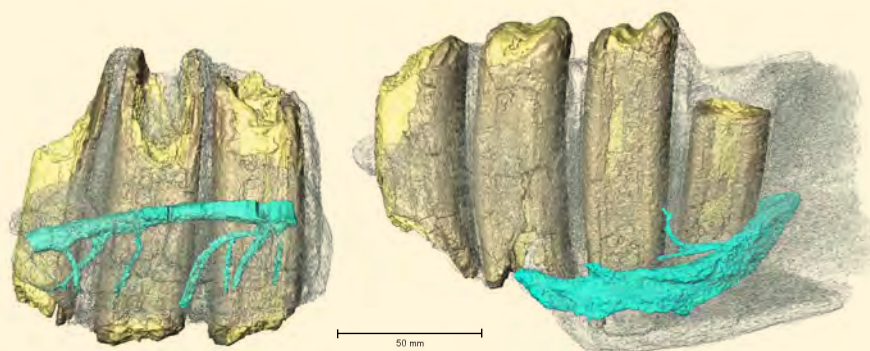
Reconstitution du paresseux géant *Megatherium*. Les restes fossiles de son contemporain et plus proche cousin, *Eremotherium*, viennent d'être découverts pour la première fois en Guyane, près de Maripasoula. © France 4/Ushuaïa TV/French Connection/Megafun/CNRS/MNHN).



Les éléments du crâne et de la mandibule du jeune individu de l'*Eremotherium laurillardi* découverts à Atouka et restaurés sur place, replacés en position anatomique sur un contour de crâne pour en faciliter l'illustration. © P.-O. Antoine.



Rendu surfacique 3D de la mandibule d'*Eremotherium laurillardi* d'Atouka, après passage au microtomographe à rayons X de l'Université de Montpellier (Montpellier Rio Imaging © R. Lebrun).



Reconstruction virtuelle en 3D de la série dentaire supérieure (trois dents, en jaune) et de l'innervation intracrânienne (canaux, en bleu) de l'individu d'*Eremotherium laurillardi* d'Atouka. Ces éléments sont encore enchâssés dans l'os (ici en gris translucide) © L. Hautier.

EN MER... LES MARQUEURS DES CYCLES DE GLACIATION

Récifs de l'Amazonie

En 2019, une campagne océanographique est menée par Greenpeace, sous la coordination scientifique de Serge Planes (laboratoire CRILOBE, CNRS), pour explorer la portion guyanaise du Grand Système Récifal de l'Amazonie, un écosystème récifal localisé à environ 150 km des côtes, en bordure du plateau continental (cf encart "Marges continentales" page 31) et à une centaine de mètres de profondeur, loin de toute lumière.

Cet écosystème abrite une biodiversité exceptionnelle composée d'une association originale d'ophiures, de crinoïdes, de gorgones, d'éponges, d'algues rouges, etc (photo 6) et de

rare coraux scléractiniaires vivant fixés sur un éperon rocheux parallèle à la rupture de pente du plateau continental.

Pendant deux semaines, les plongées se sont enchaînées pour remonter échantillons biologiques et géologiques à la surface.



© Alexis Rosenfeld

Le récif

Photos sous-marines de Greenpeace
© Alexis Rosenfeld

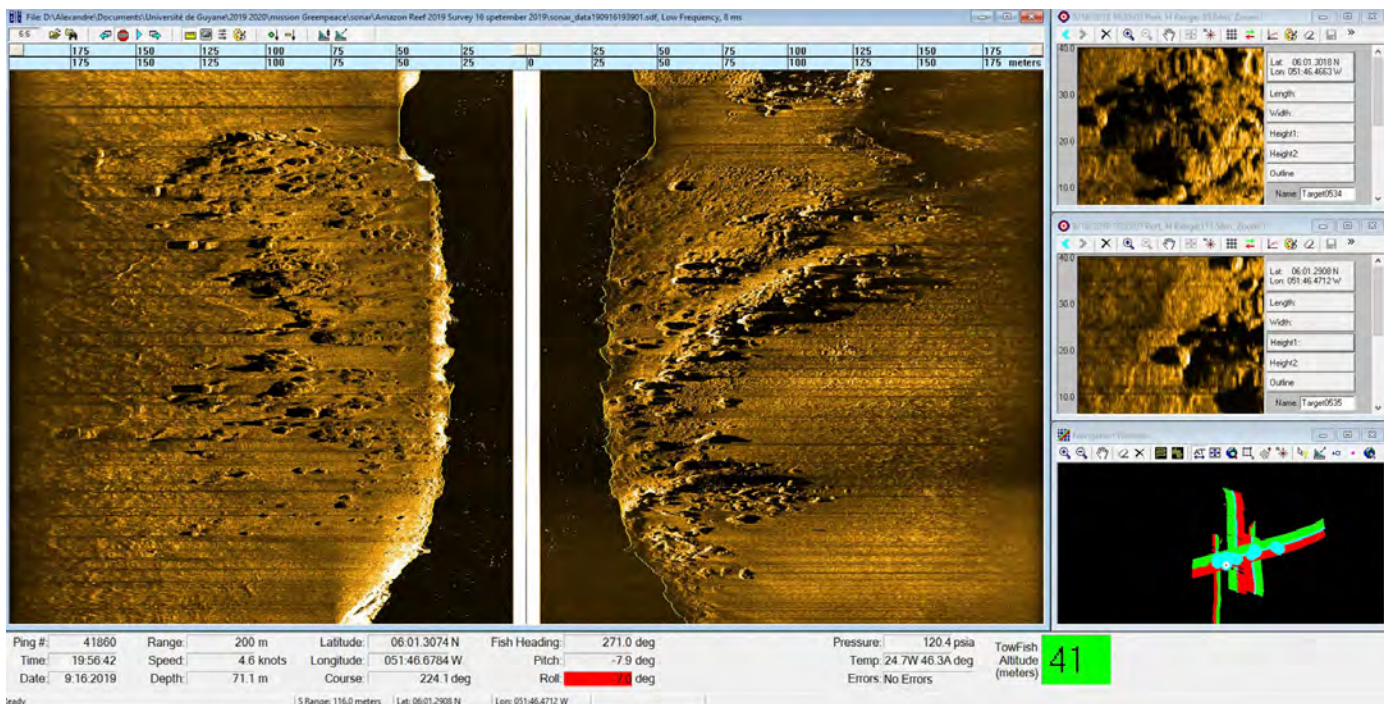


6



Imagerie sonar sur les affleurements rocheux

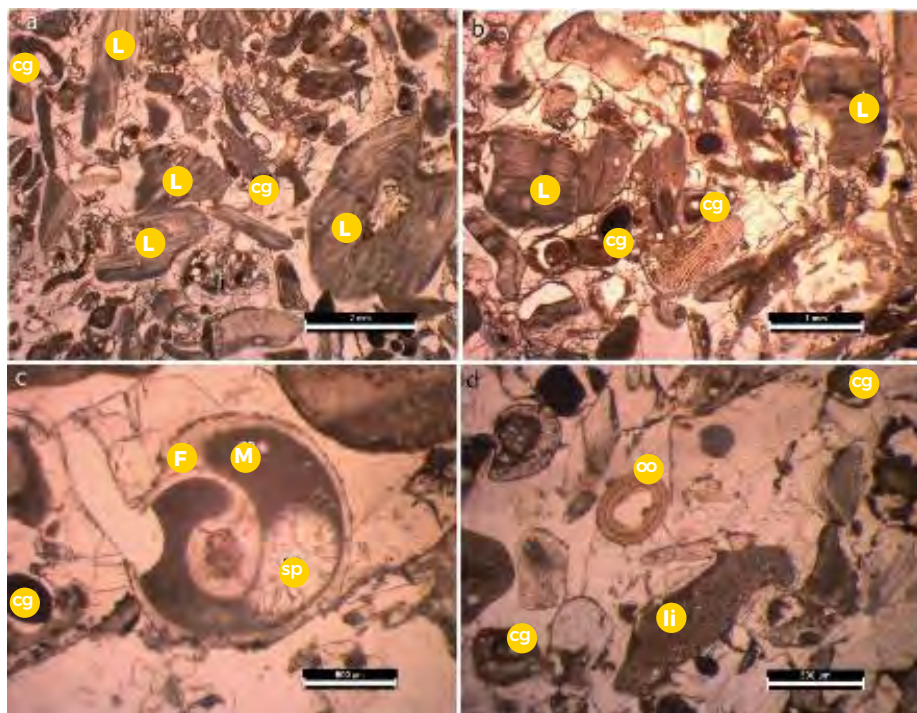
Elle a été utilisée en amont des plongées pour repérer les zones d'échantillonnage



Lames minces

Les échantillons de roches, vus au microscope. Les grains de l'ancien sable sont composés d'un mélange de petits fossiles (F et L sur la figure) plus ou moins fragmentés, de grains de quartz, d'**oolithes*** ou de fragments de roches préexistantes (li sur la figure). Les cristaux plus ou moins fins du ciment calcaire (M et sp sur les photographies) apparaissent en rosé.

Aujourd'hui à plus de 100 m de fond et à 150 km de la côte actuelle, ces beachrocks constituent un témoignage de un temps où le niveau marin était plus bas d'une centaine de mètres et où le continent s'étendait loin vers le large, jusqu'à la rupture de pente du plateau continental. Les datations effectuées donnent un âge d'environ 20 000 ans, âge qui correspond à la dernière grande baisse du niveau marin, pendant la dernière période glaciaire, et qui confirme le statut d'archives climatiques pour ces roches du Grand Système Récifal de l'Amazonie.



*Définitions

• **OOLITHES** : petites concrétions sphériques formées d'un nombre plus ou moins important de couches concentriques calcaires précipitant autour d'un nucleus (cg et, surtout, oo sur la figure)»

SOURCE :

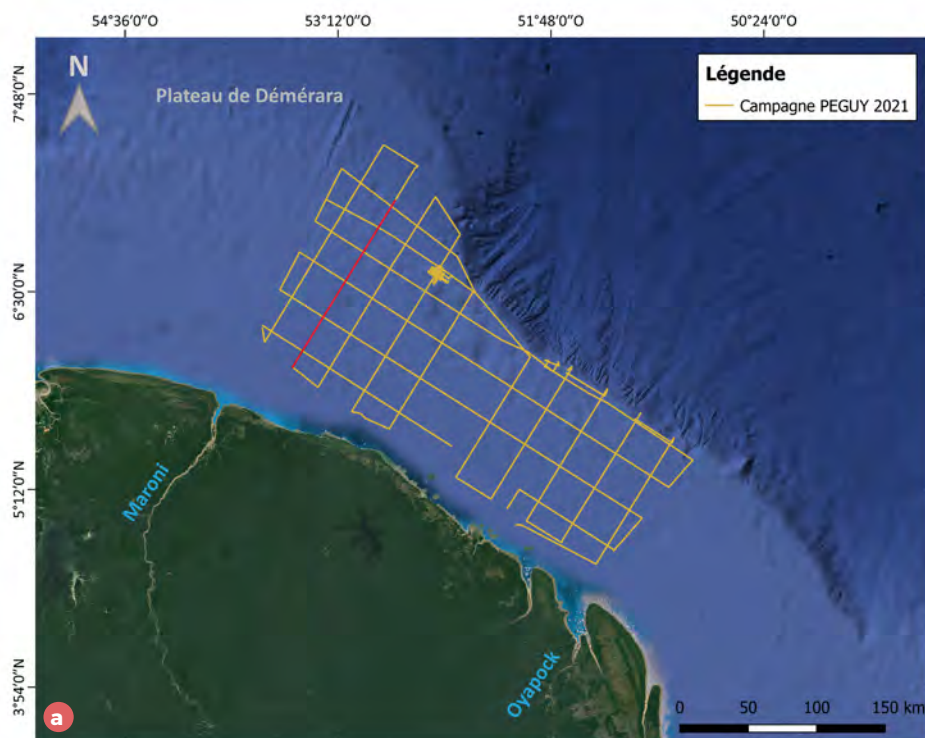
● Beachrocks of the last low sea level, substrate of the Great Amazon Reef system along the outer Guiana shelf, Pierre Giresse, L Loncke, A Heuret, F Longueville, A Casanova, M Sadaoui, Geo-Marine Letters 2023

Imager les effets des grands cycles eustatiques (Mission PEGUY, 2021)

La Terre a fait face à des changements climatiques cycliques qui peuvent se manifester par des variations du niveau marin, impactant les paysages. Depuis le Pléistocène moyen (environ 750 000 ans) jusqu'à aujourd'hui, des variations majeures du niveau marin liées à des cycles glaciaires-interglaciaires se produisent avec une amplitude d'environ 100 mètres.

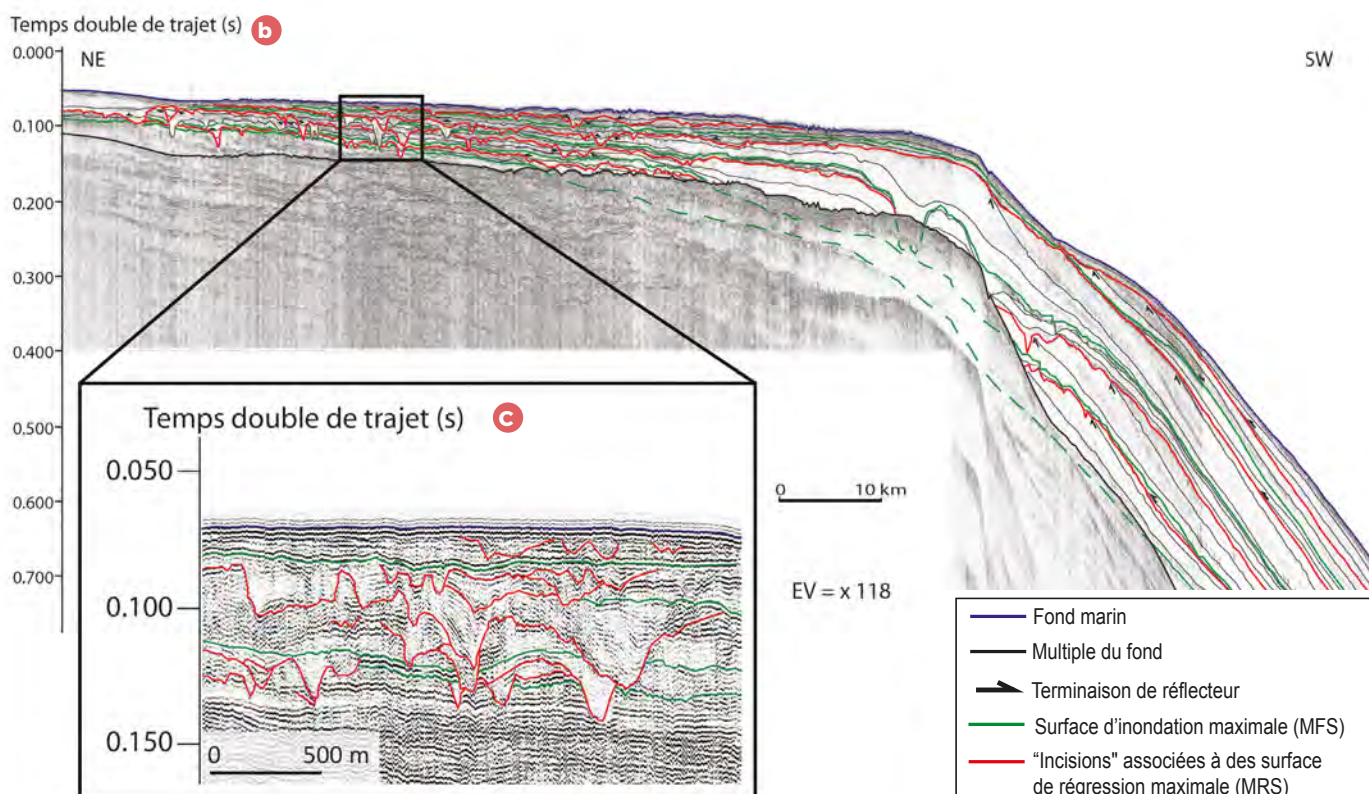
Sur le plateau continental de la Guyane française, la campagne d'imagerie sismique PEGUY (2021) a permis l'acquisition de profils de sismique réflexion qui apportent de nouveaux éléments sur l'influence des variations du niveau marin sur l'enregistrement sédimentaire. Les interprétations effectuées sur ces profils apportent un éclairage sur l'évolution du plateau continental de la Guyane française depuis le Pléistocène supérieur (environ 125 000 ans).

On observe ainsi un empiement de séquences sédimentaires entrecoupées de plusieurs générations d'incisions dont les plus marquées sont reliées à des surfaces de régression maximale (« Maximum regressive surfaces », dites aussi « MRS »), mises en place



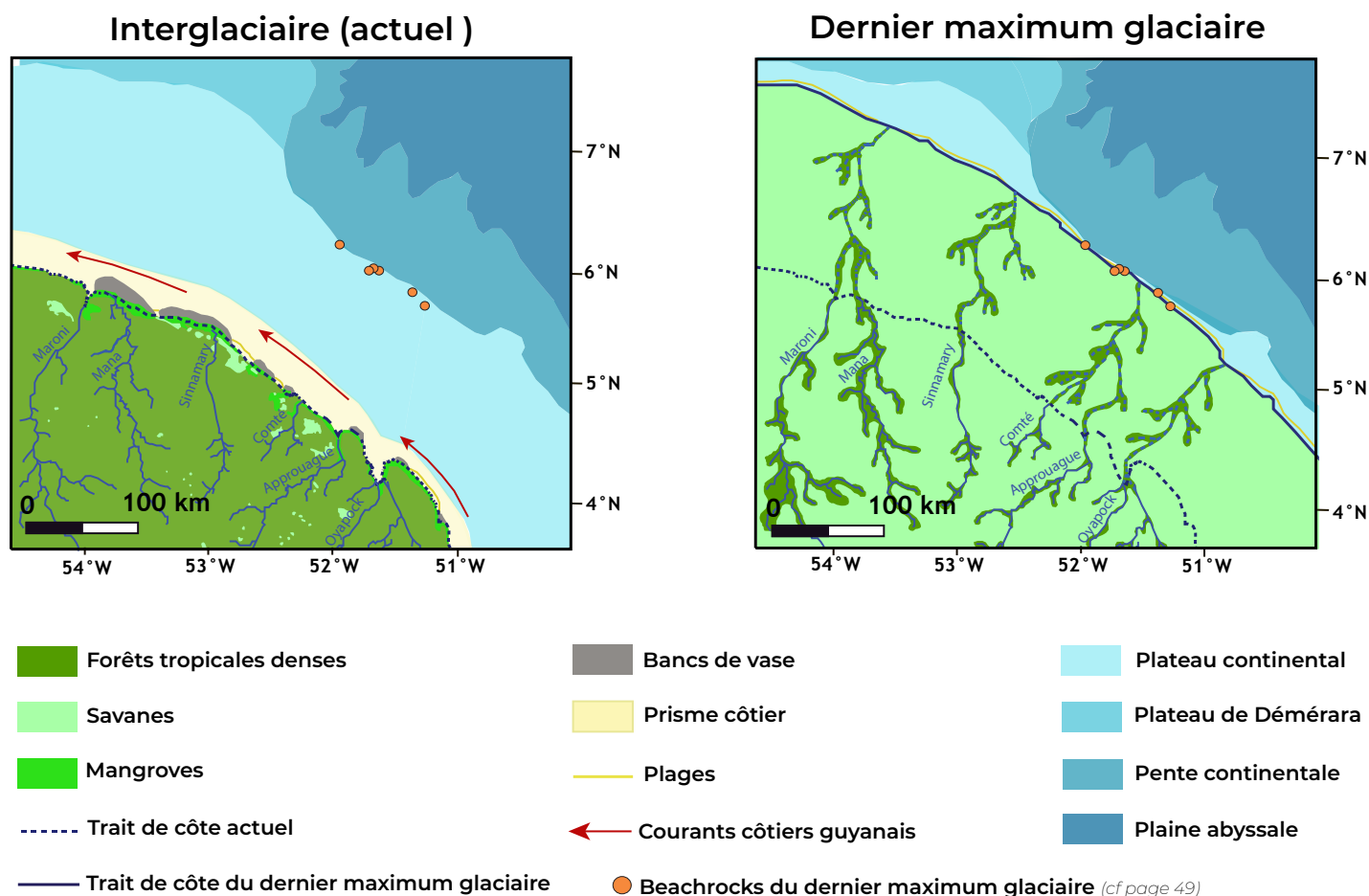
1 - Profils de sismique réflexion

- a** Plan de position des profils sismiques réalisés le long du plateau continental guyanais lors de la Mission PEGUY
- b** Exemple de profil dans l'axe de l'embouchure du fleuve Maroni, à l'ouest de la Guyane
- c** Vue rapprochée sur la partie centrale du profil, au coeur du plateau continental permettant de visualiser l'empilement de plusieurs générations d'incisions comblées par du matériau sédimentaire à la faveur de l'alternance des périodes de haut et de bas niveau marin.



2 - Cartes paléogéographiques

du plateau de la Guyane française au cours des extrema climatiques pléistocènes (au plus haut et au plus bas niveau marins). Le réseau hydrographique dessiné lors des épisodes de plus bas niveau marin est purement représentatif de la mise en place d'un réseau de rivières lors de la régression marine.



lors des périodes de chute des niveaux marins. Lorsque le niveau marin remonte, ces incisions sont comblées par du matériel sédimentaire (Fig. b et c). Les différentes générations d'incisions et leur remplissage ont ainsi pu être reliées aux quatre derniers cycles glaciaires/interglaciaires du Pléistocène moyen à supérieur (- 400 000 ans à l'actuel).

Cette étude montre que **l'eustatisme serait le facteur principal impactant l'architecture sédimentaire du plateau continental guyanais**. Il est donc possible d'imaginer combien les variations du niveau marin ont eu une influence sur le paysage de la Guyane française, en particulier lors des extrema climatiques quaternaires.

En période glaciaire lorsque le niveau marin est plus bas d'une centaine de mètres (comme lors

du dernier Maximum Glaciaire), le plateau continental est presque entièrement émergé, se transformant en plaine d'inondation sur laquelle s'est développé un réseau hydrographique ayant incisé les dépôts sédimentaires des cycles antérieurs. Le climat plus aride permet le développement de savanes qui ont pu se développer sur les terres nouvellement émergées (Fig. 2).

En période interglaciaire lorsque le niveau marin est comparable à l'actuel, le climat devient tropical-équatorial et favorise un paysage de type forêts humides et denses (Guiral, 2003 ; Pujos et Odin, 1986).

Sur le plateau continental guyanais nouvellement ennoyé, les sédiments ont comblé les paléovalées lors de la remontée de la mer et se concentrent le long de la

côte où ils forment un prisme sédimentaire (Fig. 2). C'est sur ce dernier que migrent les bancs vaseux provenant des apports argileux de l'Amazonie qui permettront à leur tour le développement de mangroves (Fig. 2).

SOURCES :

- Paquet F. (2021) PEGUY 2021 cruise, RV Antea, <https://doi.org/10.17600/18001363>
- Laurent M., (2022). Impact des variations climato-eustatiques d'âge Pléistocène et des circulations océaniques sur l'architecture stratigraphique du plateau continental guyanais. Mémoire de Master 2, Université de Bretagne Occidentale (D. Graindorge), BRGM (F. Paquet)..

Missions IGUANES et DIADEM, grands cycles climatiques et enregistrement de la variabilité temporelle de la circulation océanographique profonde

Très au large de la côte guyanaise, sur le plateau de Demerara, entre 1300 et 3500 m de profondeur circule une veine d'eau profonde, la « North Atlantic Deep Water » (Fig. 3). Cette veine d'eau est associée au plongement d'eaux froides depuis le pôle Nord vers le Sud et participe à la régulation du climat terrestre.

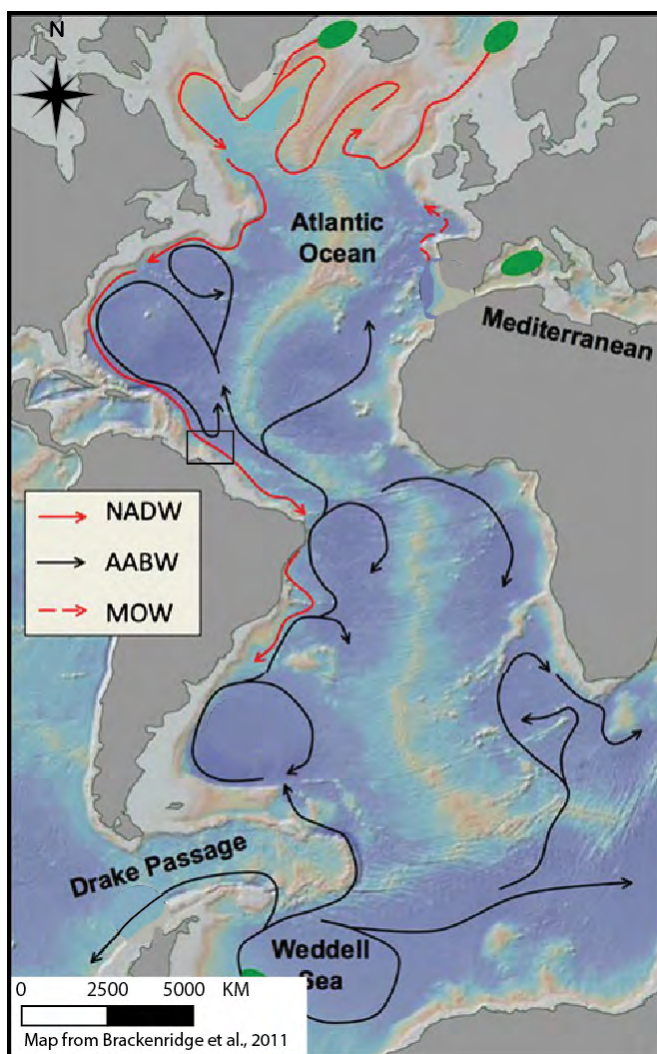
De très grandes structures sous-marines dites « en queue de comète » (Fig. 4) attestent du pouvoir érosif de ce courant qui circule vers le Sud Est, au large de la Guyane, comme cela a pu être confirmé par des mesures de courants sur le fond pendant presque 1 an (dépose de courantomètres pendant la campagne IGUANES). Ces grandes structures sont interprétées comme résultant de l'effet de l'affouillement de sédiments meubles autour de blocs rocheux indurés présents sur le fond de mer. Il en existe des centaines au large de la Guyane. La plus grande, surnommée « Matoutou », mesure 2 km de large sur 10 km de long.

Des carottes sédimentaires ont également été prélevées et étudiées à proximité de ces structures d'affouillement (maximum 15m de longueur, campagne IGUANES)(Fig. 3). Des variations de granulométrie et de contenu sédimentaire de ces carottes ont permis de tracer l'évolution de l'intensité du vannage au cours du temps et donc de la puissance du courant : pendant les épisodes où la NADW accélère, le sédiment est à majorité sableux (sables à foraminifères) et lorsque l'hydrodynamisme de ce courant décroît, la sédimentation devient plus fine et argileuse.

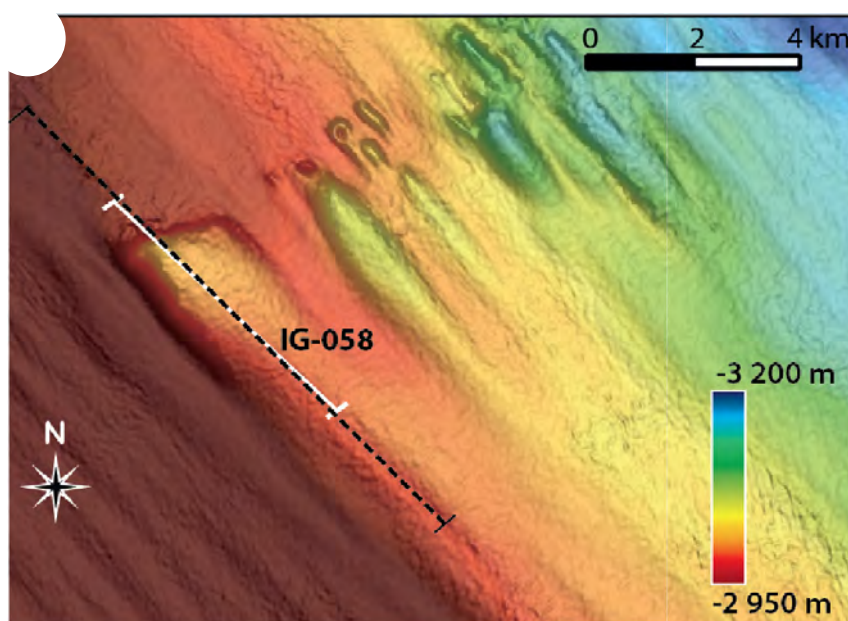
SOURCES :

- Tallobre C. (2017), Mise en évidence d'un système de dépôt contouritique et des processus sédimentaires associés sur le plateau de Demerara (marge guyanaise), Thèse de doctorat, Ecole Doctorale Energie Environnement, Perpignan.
- <http://dx.doi.org/10.17600/18000672>
- <https://campagnes.flotteoceanographique.fr/campagnes/13010030/fr/>

3 - North Atlantic Deep Water (NADW)



4 - Relief



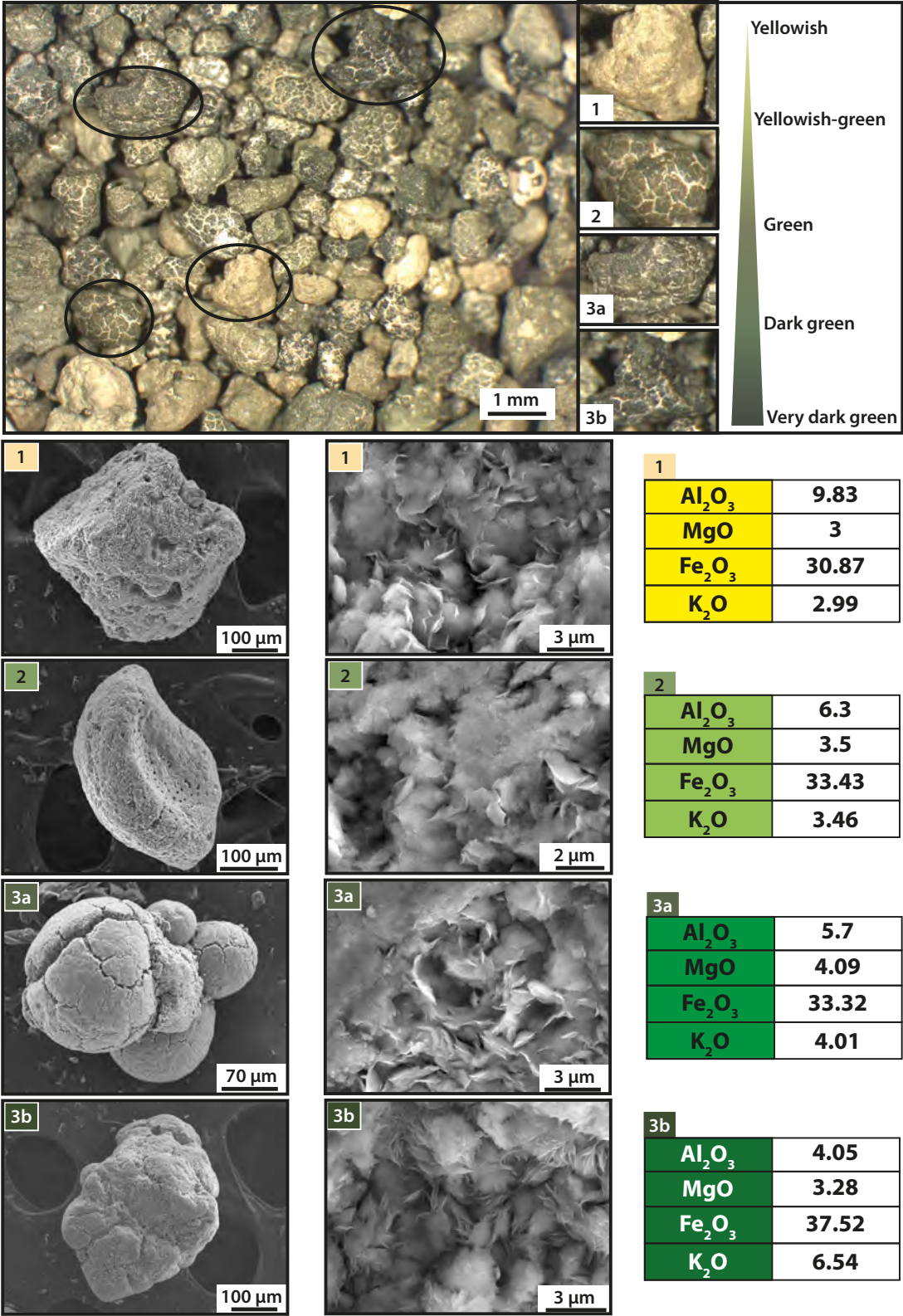
Reliefs en queue de comète sur les pentes du plateau de Demerara. Ces dépressions plurikilométriques se forment sous l'effet de l'affouillement opéré par la NADW dans les sédiments meubles entourant des blocs rocheux indurés.

5 - La glauconie comme indicateur de l'intensité de la NADW

Un minéral argileux vert, appelé glauconie est apparu être un indicateur particulièrement efficace de la force du courant. Sur le plateau de Demerara, la formation de la glauconie à l'interface eau/sédiment est interprétée comme le marqueur d'un faible taux de sédimentation induit par le vannage associé au passage de la NADW. La couleur de la glauconie, d'un vert plus ou moins foncé dépend de la proportion de plusieurs éléments chimiques (fer et potassium) contrôlée par l'intensité du vannage : plus le vannage est fort sur un

temps long, plus la glauconie devient «mature» et les grains verts foncés (3b sur la figure). Ce minéral est donc un excellent traceur de l'évolution de l'intensité du vannage au cours du temps et donc de l'hydrodynamique de la NADW. Ces découvertes ont permis de montrer que la marge guyanaise était un excellent lieu pour enregistrer les variations passées de la NADW en domaine tropical. Ces carottes ont pu être datées et l'évolution de ces alternances d'accélération

et décélération de la NADW semble associée aux grands cycles climatiques globaux et alternances de périodes glaciaires et interglaciaires, avec une tendance à la décélération de ce courant en période glaciaire. Pour confirmer ces premiers résultats et permettre d'étudier une archive climatique plus longue, des carottes longues de 30 m ont été prélevées récemment en janvier 2023, lors de la campagne DIADEM à bord du N/O Pourquoi Pas ? opérée par la Flotte Océanographique Française .



LATÉRITES, TÉMOINS DE L'ALTÉRATION TROPICALE

Profil latéritique / illustration du processus



En Guyane, l'altération subie par les roches affleurantes conduit au développement presque généralisé d'une couverture latéritique. De tels profils d'altération se forment sous l'influence d'un climat tropical chaud et humide. Sous ces conditions, l'altération est intense. Les éléments chimiques les plus solubles (alcalins, par exemple)

sont lessivés par les eaux de surface tandis que les plus insolubles (Al, Fe, Si principalement) reprécipitent pour former de nouveaux minéraux. Dans la zone de battement de la nappe phréatique installée dans le profil latéritique, le fer, en particulier, peut précipiter des cristaux d'oxyde et hydroxyde de fer (hématite et goethite) et

Duricrust latéritique, à la carrière du Nouveau-Camp, Saint-Laurent-du-Maroni (Photo : B. Wild, 2022).

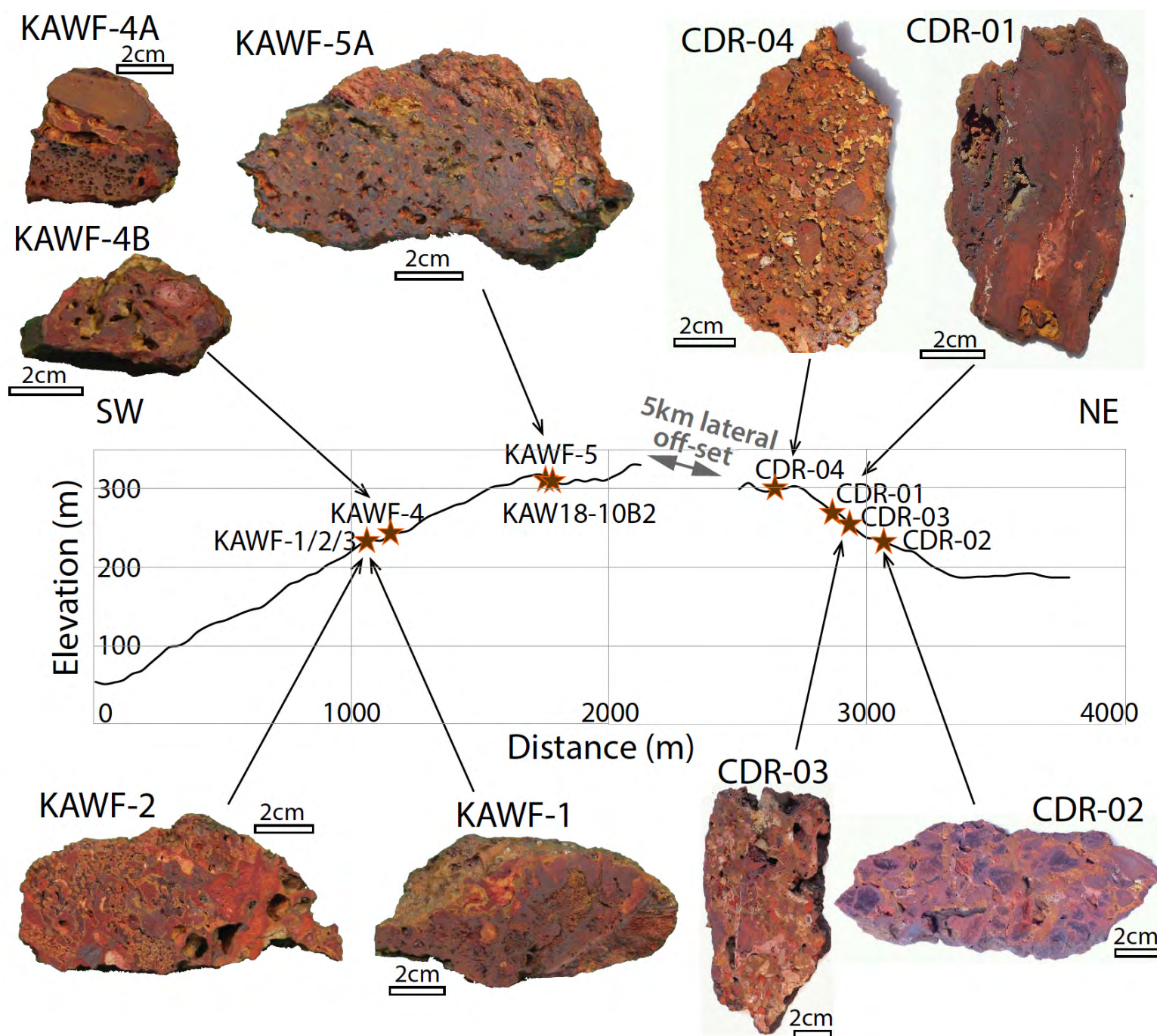
former une roche indurée appelée « cuirasse ferrugineuse latéritique » ou « duricrust ferrugineuse latéritique ». De nouvelles méthodes permettent aujourd'hui d'analyser ces roches pour en faire d'excellentes archives climatiques.

Les archives climatiques de la Montagne de Kaw

Échantillons de duricrust prélevés sur la Montagne de Kaw (Heller et al., 2022). Des âges allant de 2 à 30 millions d'années ont pu être mis en évidence sur les différents

sous-échantillons analysés, révélant l'existence de plusieurs générations de cristaux apparues à la faveur de changements climatiques majeurs au cours du Cénozoïque.

Duricrusts Kaw (Heller et al., 2022)



SOURCE :

● Heller, B. M., Bressan-Riffel, S., Allard, T., Morin, G., Roig, J.-Y., Couëffé, R., G., A., Derycke, A., Ansart, C., Pinna Jamme, R., and Gautheron, C. (2022) Reading the climate signals hidden in bauxite. *Geochim. Cosmoch. Acta*. 323, 40-73.

Les bauxites du Connétable

Située à 15 km de l'embouchure du fleuve Approuague, à l'Est de la Guyane, l'île du Grand Connétable est formée d'un socle de roches métamorphiques paléoprotérozoïques, surmonté d'une couverture d'altération de composition bauxitique. Les bauxites correspondent au stade ultime de l'altération latéritique lorsqu'il ne reste pour ainsi dire plus que de l'aluminium et que même le fer et le silicium ont été lessivés. Elles témoignent de climats plus chauds et/ou plus humides que le climat guyanais actuel.

Le Connétable devenu une île, des colonies d'oiseaux marins s'installent, alimentant une couche de guano en surface. Les eaux de pluie traversant ce guano se chargent en acide phosphorique qui réagit



Photo : A. Heuret, 2023

avec la bauxite pour former des phosphates. Ces derniers ont été exploités en carrière à partir de la fin du XIX^e siècle, donnant à l'île

sa morphologie actuelle. Le piton rocheux central est tout ce qu'il reste de l'ancien gisement de bauxite phosphatée.

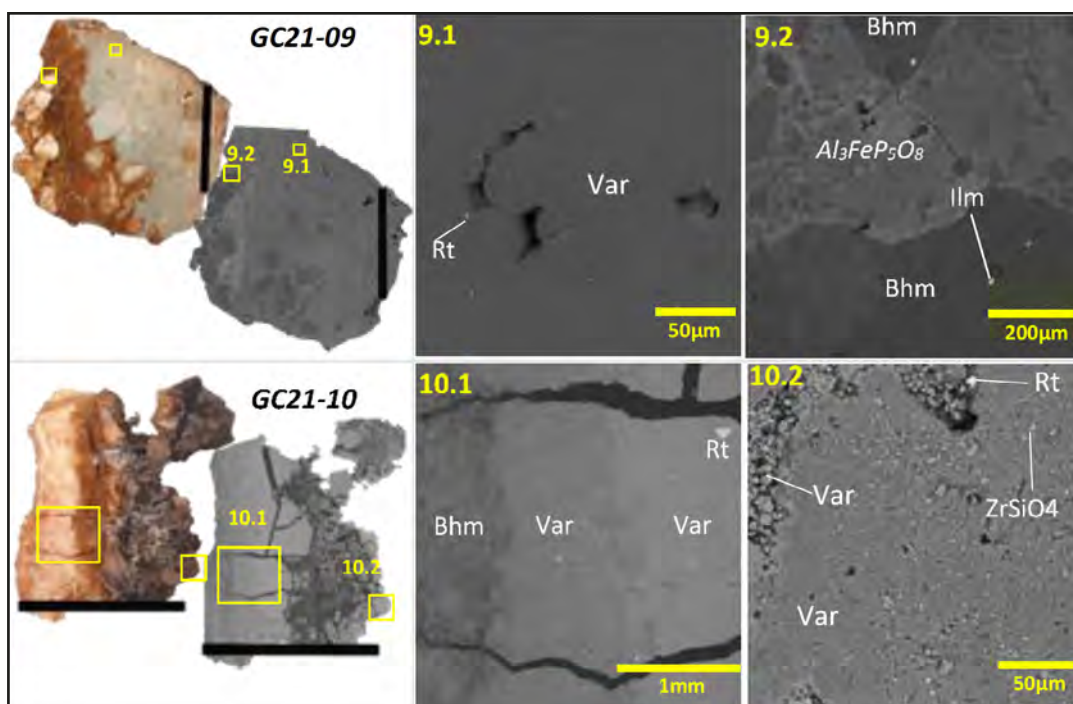
Les échantillons

Echantillons de bauxites phosphatées (Île du Grand Connétable ; Izerumugaba, 2022). Les photographies en différents niveaux de gris sont vues au microscope électronique et permettent de mieux différencier les minéraux présents. La boehmite (Bhm) est un hydroxyde d'aluminium caractéristique des bauxites.

La variscite (Var) est le principal minéral phosphaté (un phosphate d'aluminium) présent sur le gisement du Grand Connétable. L'étude de la composition et de la chronologie d'apparition de ces minéraux permet de tracer les évolutions climatiques subies par l'île du Grand Connétable.

SOURCE :

● Izerumugaba (2022). Geochemical and mineralogical investigation of the phosphated alterites of Grand Connetable, French Guiana. Mémoire de Master, Master des Sciences de la Terre et des Planètes, Environnement, parcours Géoréssources, ISTerre, Grenoble.



Techniques d'extraction de l'or utilisées en Guyane française avant la Seconde Guerre mondiale.



A Mineurs créoles travaillant au sluice sur un gisement alluvionnaire



C Entrée d'une galerie de mine confortée par boisages ; noter le mortier de broyage du quartz au premier plan.



B La drague à godets Danica, de la Compagnie des Placers Guyanais ; cette société belge a exploité la crique Janvier, affluent du Maroni, et la crique Sparouine en 1903.



D Usine de broyage du quartz aurifère installée en 1898 à Adieu-Vat près de Saint-Élie avec depuis l'arrière-plan : machine à vapeur, broyeur à pilons et table d'amalgamation

RECHERCHE

L'EXPLOITATION DES RESSOURCES MINÉRALES

C'est en Amérique du Sud que sont enfouies les origines de l'Eldorado, qui se confondent avec la conquête des Amériques par Christophe Colomb. Pendant des siècles, le territoire va attirer les chercheurs en quête d'or. Au XVII^e siècle s'amorce une véritable ruée vers l'or avec la découverte de filons dans les montagnes de l'actuel Minas Gerais, au Brésil. En Guyane, la découverte de l'or a été plus tardive et c'est à partir du XIX^e siècle que son exploitation va s'initier puis s'étendre dans la région.



HISTOIRE DE L'EXPLOITATION DE L'OR EN GUYANE

La présence d'or en Guyane est connue depuis les années 1850, lorsqu'un orpailleur brésilien, dénommé Paoline, découvre les premières traces de minerai sur les bords de l'Approuague, dans l'Est guyanais. Dès lors, les découvertes de gisements et les ruées vers l'or vont s'enchaîner, remodelant la géographie du territoire (Fig. 2).



2

Localisation des sites miniers en Guyane

L'histoire de l'exploitation de l'or en Guyane est relativement récente, puisqu'elle n'a commencé que dans les années 1850, il y a environ 170 ans. Quatre périodes sont reconnues dans l'histoire de l'exploitation aurifère en Guyane (Fig. 3 : ① la première ruée vers l'or, associée aux premières grandes découvertes de gisements (1858-1880) suivie ② d'un pic de production (1880-1914), ③ d'un déclin des activités traversant les guerres mondiales (1915-1945) et se poursuivant jusque dans les années 1970, et ④ d'une seconde ruée vers l'or à partir de 1980. Ces quatre périodes dessinent les contours de deux grands cycles de l'or s'articulant autour de deux pics de production principaux, l'un dans le courant des années 1900-1910 et le deuxième un siècle plus tard, dans le courant des années 2000.

1858-1880

La première ruée vers l'or

L'or et les pierres précieuses sont extraits en Amazonie depuis l'époque coloniale. C'est au Brésil que l'une des plus anciennes ruées a commencé en 1690, autour d'Ouro Preto. Sur le plateau des Guyanes, l'or n'a été découvert qu'au milieu du XIX^e siècle, d'abord en Guyane, puis en Guyane britannique et au Suriname. L'or est formellement découvert en Guyane sur le fleuve Approuague par Paoline, un brésilien de Ouro Preto. La découverte est ensuite rapidement prise en main par Félix Coüy, un administrateur français. La ruée vers l'or qui s'amorce alors présente des similitudes avec celles qui animent la Californie en 1848 puis l'Australie en 1851.

Le contingent caribéen, un rôle important dans la ruée vers l'or guyanais

L'esclavage ayant été aboli en Guyane en 1848, avant la première découverte d'or, les travailleurs libres sont nombreux et passent progressivement

de l'agriculture à l'exploitation des placers aurifères. Outre les travailleurs locaux, l'exploitation de l'or a rapidement intéressé la main d'œuvre caribéenne. Après la libération des esclaves, la Caraïbe a vu émerger de nouveaux schémas, avec des déplacements soit entre les îles, soit vers l'Amérique du Sud et l'Amérique centrale. Il n'y avait pas de tradition minière dans ces îles, et les migrants sont passés directement de l'agriculture à une industrie minière qui n'en était encore qu'à ses débuts. Il s'agit principalement d'hommes célibataires qui se déplacent de la frange côtière vers les sources des fleuves. Toutefois, ils n'étaient considérés que comme des ouvriers et n'avaient que peu d'occasions d'acquérir des connaissances et de gravir les échelons de la hiérarchie minière et sociale.

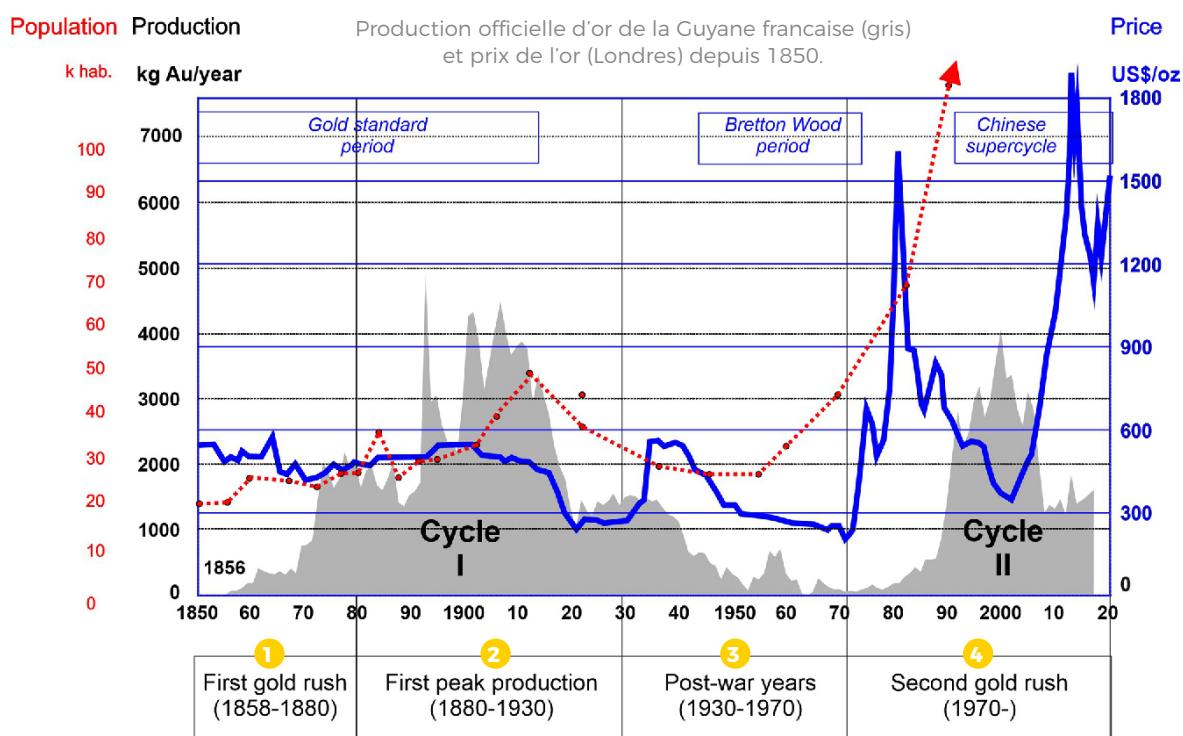
En Guyane, l'abandon du système de plantation a ruiné l'économie fragile de la Région

Si les planteurs européens disparaissent quasiment du paysage guyanais, certains se reconvertissent dans l'exploitation de l'or. Entre 1855 et 1880, l'État a en effet accordé des concessions minières aux planteurs pour compenser les pertes financières engendrées par l'abolition de l'esclavage. Le décret impérial de 1858 attribue les droits miniers au titulaire d'un titre de concession minière et les droits d'exploitation au titulaire d'un titre d'exploration. Cette législation contraignante était défavorable à l'exploitation minière artisanale. Les investissements substantiels nécessaires à la réalisation des travaux d'exploration ont incité les propriétaires de plantations, les notables et les commerçants à créer de nouvelles sociétés pour mettre en commun leurs ressources financières et humaines.

Les Bushinenge ont contribué au développement minier de la Guyane

Leurs compétences en matière de navigation sur les fleuves ont été exploitées par les orpailleurs et les

3



sociétés d'extraction pour transporter des personnes, des vivres et du matériel le long des rivières jusqu'aux villages de l'intérieur et aux placers. Cette fonction était largement dévolue aux Boni sur les placers du Haut-Maroni et de l'Inini, aux Djuka sur la rive surinamaïse du Maroni, et aux Saramaca sur d'autres fleuves de Guyane (Mana, Approuague, Sinnamary, Oyapock). Bien qu'à l'époque, ils ne soient pas directement impliqués dans l'exploitation minière, les Boni sont rapidement devenus une partie essentielle de la chaîne de production de l'or.

1880-1930

Le premier pic de production

L'or a complètement dominé l'économie de la Guyane depuis les années 1880. Le pic de la production annuelle d'or a été de 4,5 tonnes d'or en 1908 (Fig. 3). Deux évolutions différentes caractérisent la période de 1880 à 1930 : ① une tentative de mécanisation des opérations des compagnies industrielles qui développent des mines sur des gisements d'or primaire ou draguant de grands placers et ② l'arrivée d'une nouvelle vague de Caribéens lors de ruées spontanées liées à de nouvelles découvertes de placers. Ces arrivées se sont poursuivies, jusqu'au début du XX^{ème} siècle (Fig. 3). L'activité de nombreux mineurs sans titre, les maraudeurs, va se développer et envahir les principales exploitations légales jusqu'à entraîner parfois leur disparition.

De nouvelles technologies introduites par les ingénieurs français

Après avoir fait l'objet d'une large publicité en Europe, le potentiel minier des Guyanes a attiré de nombreux ingénieurs français, dont certains travaillaient déjà dans d'autres régions de l'Empire colonial. Ces ingénieurs importent ainsi en Guyane les méthodes alors employées ailleurs en France. L'exploitation souterraine et l'installation d'usines de concassage ont été introduites vers 1880 et ont perduré localement jusqu'aux années 1960. Des sociétés à capitaux privés ont pu financer les investissements importants nécessaires au creusement des puits et des galeries et à la mise en service d'usines de traitement pour broyer le minerai (Fig. 5 **c** et **d**). A partir de 1896, les compagnies minières françaises utilisent l'exploitation hydraulique à haute pression pour déstructurer le matériau argileux, ainsi que des concasseurs. Parmi ces nouvelles technologies, une voie ferrée est installée à Saint-Elie en 1898.

Un des plus remarquable parmi ces ingénieurs français investis en Guyane est Edouard-David Levat (1855-1918), ingénieur des mines de l'Ecole Polytechnique de Paris. Il contribue à la modernisation des procédés d'exploitation (sondages de prospection, dragage, jets à haute pression) et publie deux ouvrages techniques sur l'or en Guyane et élabore un plan de construction d'un chemin de fer minier reliant Cayenne aux principaux districts aurifères.

L'avènement du dragage

Une autre innovation technique, le dragage, apparaît en Guyane à la même période. À la fin des années

1890, lorsque les gisements alluviaux ont commencé à s'épuiser, l'avènement de cette technique a permis de stimuler l'exploitation des gisements alluviaux et fluviaux vierges en aval des cours d'eau et des zones marécageuses (Fig. 5 **b**). Ces usines flottantes issues des progrès réalisés dans les technologies de curage des ports et des canaux, sont utilisées pour la première fois dans l'exploitation de l'or en Californie et en Nouvelle-Zélande où elles ont constitué un véritable saut technologique dans l'industrie minière. Construites généralement en Europe, en Hollande ou en Écosse, les dragues étaient acheminées en pièces détachées pour être transportées en pirogues à travers la forêt tropicale et reconstruites sur le site du gisement. Certaines pesant jusqu'à 350 tonnes, il s'agissait de machines coûteuses à l'achat et à l'utilisation. Les premières dragues à or ont été importées en Guyane en 1899, par des sociétés européennes. La dernière drague a été installée sur le Sinnamary en 1928. Malgré quelques succès validant le bien fondé de la méthode, une prospection insuffisante, un équipement inadapté et une mauvaise gestion ont rapidement sonné le glas de la plupart des exploitations mécanisées de l'époque.

La découverte de nouveaux gisements

La phase d'industrialisation concerne principalement les secteurs aurifères déjà connus de la ceinture de roches vertes (Fig. 1 page 18) la plus accessible, au nord du territoire. L'appauvrissement de ceux-ci pousse les miniers à la recherche de nouveaux gisements en s'enfonçant toujours plus profondément dans l'arrière-pays, le long de la ceinture de roches vertes méridionale (région de Saül, Mana supérieur et Maroni, placers de l'Inini) et dans les territoires contestés du Brésil et du Suriname.

La période des maraudeurs et des bricoleurs

Faute de pouvoir obtenir des titres de concession, des mineurs clandestins venus des Antilles forment des commandos de « maraudeurs » qui attaquent les exploitations isolées. Ils créent des ruées locales sur l'or, mobilisant des milliers de personnes, notamment le long du Maroni et de la Mana. Les autorités civiles ont tenté de réguler les activités en appliquant la réglementation française dans la forêt tropicale. Cependant, elles n'étaient pas du tout préparées et, après 1904, les maraudeurs sont tolérés par l'administration.

Ne pouvant plus assurer la protection de leurs chantiers et sans le soutien de l'État, les propriétaires de concessions placent leurs terres en « bricolage » : les maraudeurs, devenus "bricoleurs", ont désormais le droit d'extraire l'or mais doivent se ravitailler aux maisons de commerce installées sur site par les titulaires des concessions qui récupèrent l'or en échange de matériaux et de vivres. Ce système permettait au propriétaire de résoudre à la fois le problème de la main-d'œuvre et la menace des maraudeurs. Il n'a toutefois pas suffi à enrayer le déclin progressif de l'industrialisation de la filière. La superficie cumulée couverte par les permis d'exploitation officiels continue elle aussi à lentement diminuer (Fig. 4 **c**).

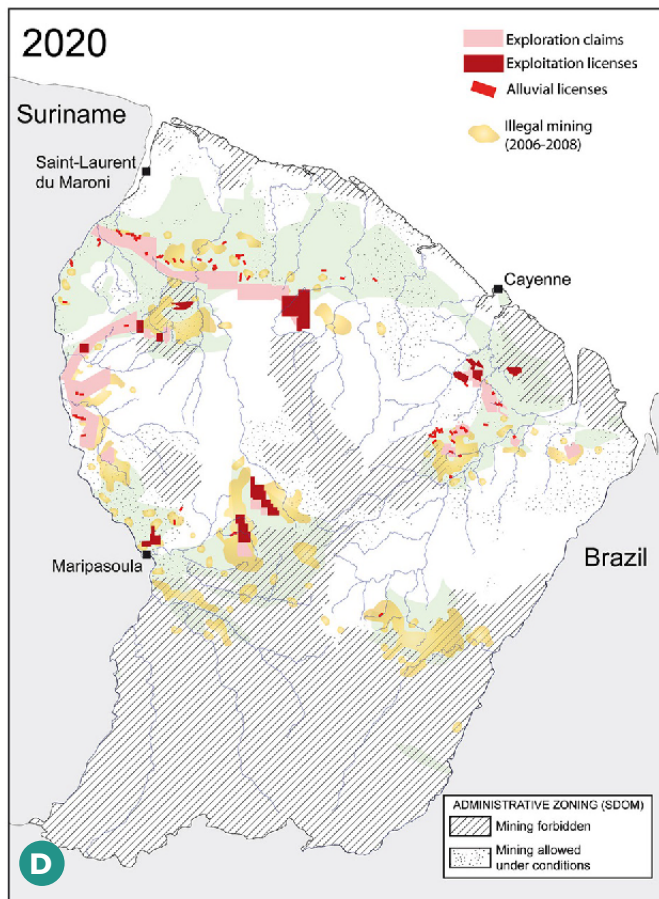
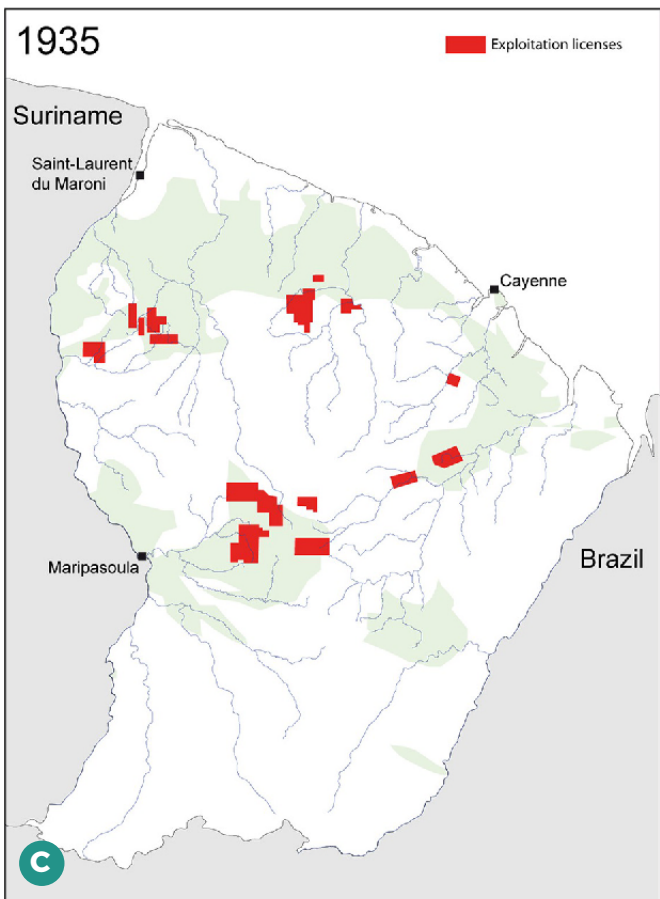
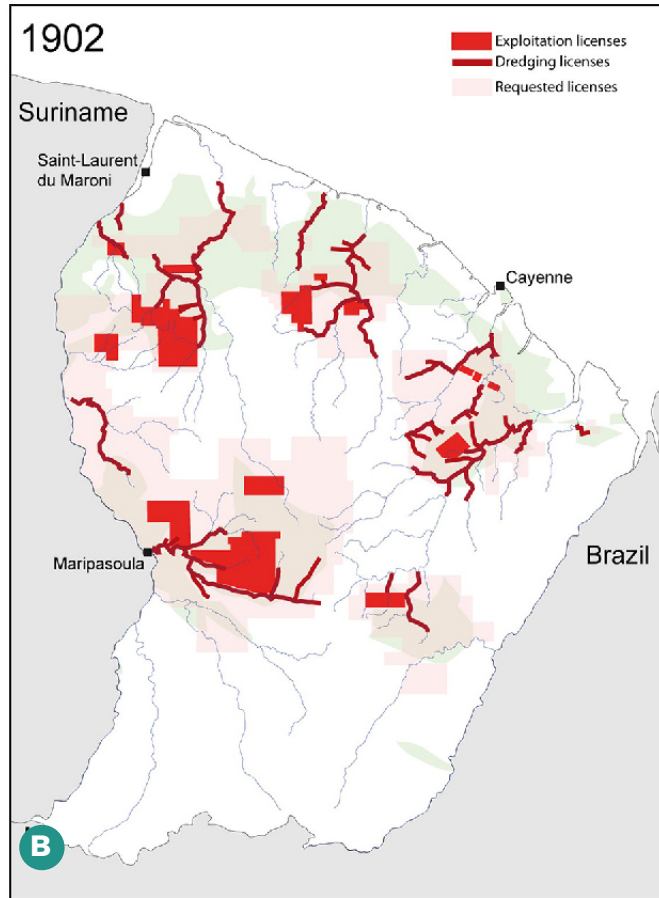
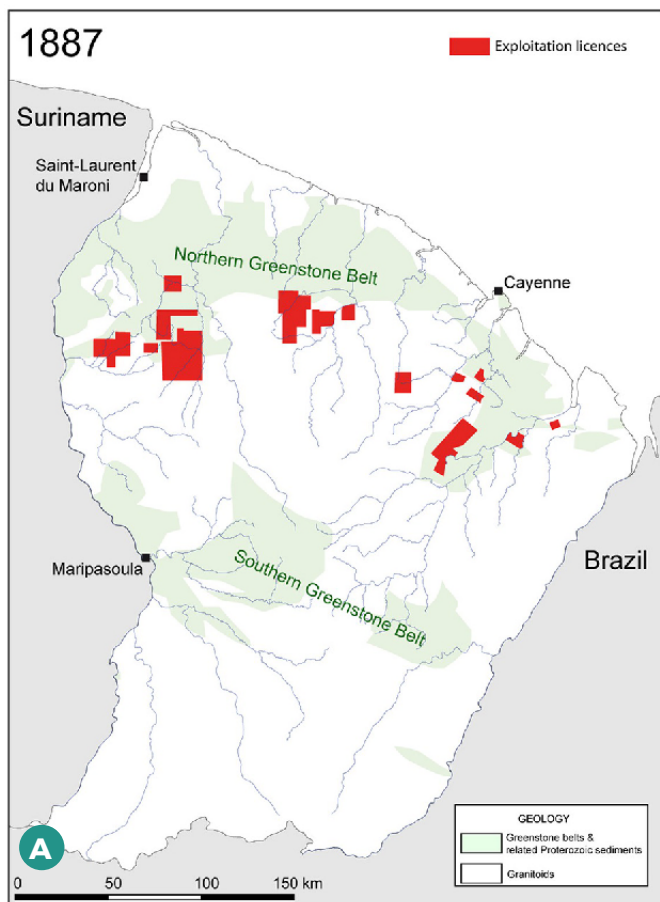
Cette période de brassage des populations a contribué à l'émergence d'une culture créole dans l'arrière-pays

4 - Évolution de l'activité minière en Guyane.

Les données historiques sur la répartition de l'activité minière proviennent de Coudreau (1887), Levat (1902), Bureau (1935).

La distribution actuelle de l'activité minière a été extraite de jeux de données publics le 30/04/2020 : <http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/>, <http://camino.beta.gouv.fr> et <http://www.mineralinfo.fr/>.

La carte actuelle montre à la fois les permis délivrés et les permis demandés. Les données sur l'exploitation minière illégale, provenant du WWF, représentent les zones cumulées de déforestation attribuées à l'exploitation minière illégale entre 2006 et 2008. Les positions des ceintures de roches vertes sont tirées de Vanderhaeghe et al. (1998).



5- Techniques d'extraction de l'or utilisées en Guyane après la Seconde Guerre mondiale



a Usine flottante Bodinson et dragline de marque American, Crique Roche, Paul Isnard (Compagnie Minière de Paul Isnard ; Fonds P. Rostan)

guyanais. De nombreux villages, (il y en a eu plus de 300, *Fig. 2*) ont été construits par une population de travailleurs miniers estimée à 10 000-12 000 dans les années 1920.

Les techniques minières sont restées longtemps artisanales. Les exploitations artisanales s'appuyaient sur les ressources de la forêt, le bois et l'eau, en mettant l'accent sur l'exploitation des petites criques alluviales et des gisements éluviaux (*Fig. 1 p 58*). Ces dernières nécessitaient un certain niveau de gestion de l'eau afin de garantir une quantité d'eau suffisante pour la production, parfois en utilisant un petit canal creusé directement dans le sol. Dans la région de Saül, au

centre de la Guyane, les fluctuations périodiques de l'abondance et de la rareté de l'eau ont transformé l'exploitation minière artisanale en travail saisonnier. Les gîtes primaires filoniens y ont fait l'objet d'une exploitation artisanale par la méthode ancestrale de creusement par le feu. Les éléments du filon de quartz ainsi abattus étaient ensuite concassés et lavés..

1930-1970

Les années d'après-guerre

L'épuisement des ressources, tout au moins en regard des moyens technologiques de l'époque, et les pénuries d'approvisionnement pendant les guerres mondiales ont entraîné un déclin inévitable de l'extraction de l'or (*Fig. 3*). Elle fut finalement reléguée au rang « d'activité de subsistance ». La plupart des maraudeurs disparaissent entre 1920 et 1925, et les villages de l'arrière-pays sont progressivement abandonnés au profit des villes de la frange côtière, au moment de l'exode rural qui marque le milieu du XX^{ème} siècle. Le nombre de petits orpailleurs individuels diminue de façon drastique pour atteindre 461 en 1961. Le village de Saül, construit par des mineurs Saint-Luciens, est l'un des derniers vestiges des villages créoles de l'intérieur guyanais.

Malgré un contexte global plus défavorable, l'exploitation minière artisanale s'est ainsi poursuivie après la Première Guerre mondiale. Le faible prix de l'or, fixé par les accords de Bretton Woods de 1944, n'a toutefois pas justifié

« L'or et les pierres précieuses sont extraits en Amazonie depuis l'époque coloniale. C'est au Brésil que l'une des plus anciennes ruées a commencé en 1690, autour d'Ouro Preto. Sur le plateau des Guyanes, l'or n'a été découvert qu'au milieu du XIX^e siècle. »

Source : The gold, peoples and multiple frontiers of French Guiana Michel Jébrak, Arnauld Heuret, Pierre Rostan, The Extractive Industries and Society, 2021.



b Dragage suceuse sur la rivière Awa (2008, Benzdorp ; photographie P. Rostan)

d'investissements importants pendant une génération. La technologie a lentement évolué, avec l'amélioration des moteurs et des pompes dans les années 1950. Plusieurs entrepreneurs originaires du Massif central en France, où l'or était exploité dès l'époque romaine, ou de l'empire colonial français en Afrique et en Asie du Sud-Est (Indochine), créent de nouvelles entreprises avec un certain soutien des autorités locales. Plusieurs entrepreneurs, investisseurs et sociétés minières américains arrivent en Guyane après la Seconde Guerre mondiale, introduisant de nouveaux outils, emblématiques de cette époque : les draglines. Le plus souvent montées sur chenilles (*Fig. 5 a*), équipées d'une grue et de godets, elles permettent la récupération des alluvions en lit vif des rivières pour alimenter une usine flottante. Si ces draglines relancent l'exploitation des placers, la plupart des entreprises échouent.

Dans les années 1970, l'activité des entreprises industrielles de taille moyenne est relancée suite à l'abandon du taux de change or-dollar et à la forte hausse du prix de l'or qui l'accompagne. L'exploitation des placers abandonnés reprend. L'utilisation des pelles mécaniques se généralise sur l'ensemble du territoire guyanais. **L'essor des travaux à ciel ouvert** avec des engins de terrassement (pelles mécaniques et camions) donne un nouveau souffle à la production. En 1978, les premières **dragues suceuses** apparaissent, depuis le Brésil, sur les fleuves guyanais pour exploiter les alluvions au fond des rivières, lesquels avaient été abandonnées une cinquantaine d'années

auparavant. Cette technique avait été expérimentée en Afrique et en Bretagne dans les années 1960. Ce type d'exploitation sera interdit en 1996 pour des questions environnementales.

1990 à aujourd'hui

Deuxième ruée vers l'or

Après 1980, le territoire des Yanomami dans l'État brésilien de Roraima voit naître plusieurs ruées vers l'or qui, progressivement, se propagent vers le nord. La Guyane et les pays voisins se trouvent rapidement sur la frontière nord de ce front minier brésilien. Avec l'arrivée de ces mineurs Brésiliens dits "garimpeiros", une nouvelle ruée vers l'or s'initie en Guyane... (+ "*La migration des frontières extractives...*" page 68). Dans le même temps, les pays européens ont mis en place de nombreuses politiques et règles encadrant l'industrie extractive et la mise en place de normes environnementales. Ces règles, largement acceptées en Europe, ont été appliquées à la Guyane française, impactant directement les pratiques minières historiques.

Les activités minières sont de trois styles différents : **1 ► les petites et moyennes entreprises officiellement reconnues par les autorités.** Elles exploitent des gisements secondaires ou des gisements primaires altérés et produisent environ 1 tonne d'or par an sur les placers historiques. Elles font appel à des géologues, à

Techniques d'extraction de l'or utilisées en Guyane après la Seconde Guerre mondiale



c Mineurs brésiliens illégaux travaillant des alluvions avec une lance monitor et une pompe à gravier (2008, Crique Roche, Saül, photographie P. Rostan).

des outils innovants et à une main-d'œuvre essentiellement brésilienne. Les années 80 ont vu l'introduction de méthodes brésiliennes d'extraction de l'or, telles que les jets à haute pression (*fig. 5 c*) et les pompes à gravier. L'or est récupéré à l'aide d'une table équipée d'un tapis (moquette) et d'une grille en métal déployé et le concentré est amalgamé avec du mercure. Cela a entraîné une reprise de l'activité alluviale qui a atteint une production d'environ 4 tonnes en 2001. Ces entreprises s'adaptent à l'évolution de la réglementation de 1996 sur les dragues suceuses et celle de l'interdiction du mercure en 2006. Les techniques sont d'abord passées aux méthodes gravimétriques. Outre une tentative en 1910 sur le site d'Adieu-Vat, les techniques de lixiviation, qui utilisent le cyanure pour récupérer l'or fin du minerai oxydé, ont été appliquées pour la première fois aux gisements pendant la période de 1987 à 1997. L'entreprise Auplata a installé une unité de cyanuration en 2019.

2 ► les grandes entreprises internationales, qui explorent des gisements importants dans la perspective d'ouverture de mines à ciel ouvert d'échelle industrielle. Suite à l'Inventaire Minier réalisé par le BRGM, le gouvernement français a lancé un appel d'offres international pour la prospection. Plusieurs sociétés minières internationales, telles que Guyanor (Golden Star), Asarco et KWG (Franc-Or Resources Corp. of Canada), répondent à l'appel et développent des programmes d'exploration. Les petites sociétés vendent leurs projets les plus prometteurs à quelques grandes sociétés, notamment la société montréalaise Cambior, fondée en 1986. Cette dernière se tourne vers le bouclier guyanais, où la géologie est similaire à celle du craton supérieur du Canada et où elle peut envoyer des géologues francophones du Québec (1995). La société reçoit trois permis d'exploration dont l'un sur la Montagne de Kaw, qui prend le nom de «projet Camp Caïman». À peu près à la même époque, le ministère français de l'Environnement s'intéresse à l'importante biodiversité du secteur

de Kaw et la classe comme réserve naturelle (1997). Le débat qui s'ensuit oppose les écologistes aux industriels. La controverse est résolue politiquement par la décision du président français de mettre un terme au projet Camp Caïman en 2008. Suite à cette crise, les autorités françaises ont mis en place un zonage du territoire avec des zones interdites à l'exploitation minière et des zones ouvertes avec plus ou moins de restrictions, via le Schéma Départemental d'Orientation Minière (SDOM).

La figure 3d illustre la situation actuelle de l'exploitation minière légale en Guyane. On remarque que la plupart des permis, en termes de surface, sont des titres d'exploration. L'exploitation ayant cessé sur la plupart des plus grandes concessions au cours des dernières années, la surface couverte par l'exploitation active est actuellement inférieure aux surfaces cartographiées sur la figure. En juin 2020, la majorité des exploitations aurifères est limitée aux gisements alluvionnaires (environ 75 permis de 1 km² chacun, dont une trentaine sont alors actifs). La production annuelle d'or exploitée de manière légale, en Guyane française est passée d'environ 4 ou 5 tonnes au début des années 2000 à environ 1,5 tonne.

3 ► l'exploitation minière illégale, principalement effectuée par des Brésiliens, est responsable de la majeure partie de la production d'or (plus de 8 tonnes par an). L'exploitation minière illégale a augmenté de manière significative dans les années 1990, conséquence de l'immigration brésilienne. L'exploitation minière artisanale a connu une résurgence sur le plateau des Guyanes depuis 2000 en réponse à la hausse du prix de l'or. En 2018, entre 6 000 et 10 000 personnes travaillaient illégalement sur environ 700 sites



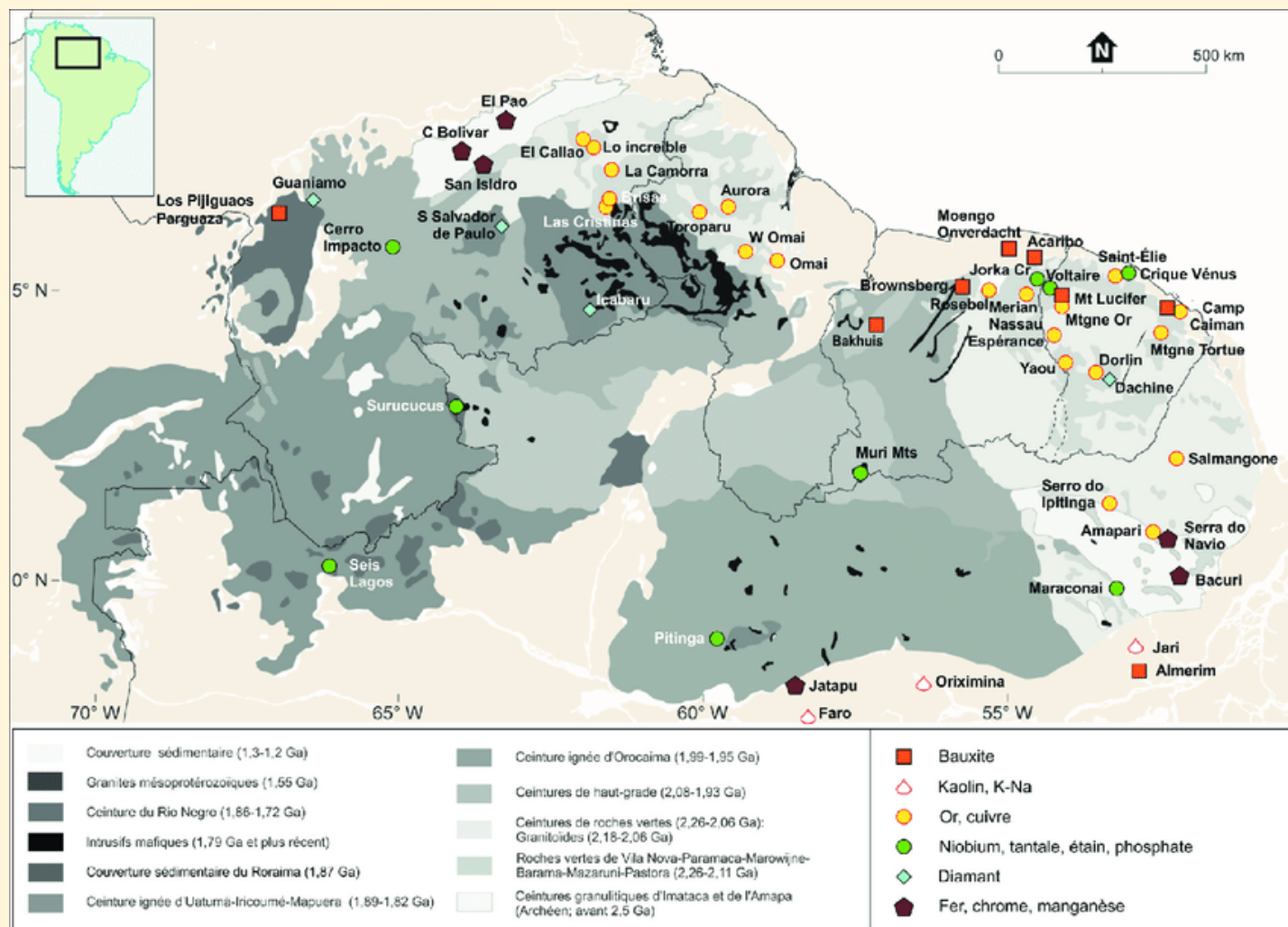
d Exploitation alluvionnaire moderne montrant une pelleteuse, une pompe à gravier, un crible à barreaux ("grizzly") et un tapis d'or (2007, crique Boulanger ; photographie P. Rostan).

LE BOUCLIER GUYANAIS, UNE GRANDE VARIÉTÉ DE MINÉRAIS DISPONIBLES

Au moins 32 minerais différents ont été identifiés sur le Bouclier Guyanais. La plupart était déjà connue dès 1950. Les réserves minérales associées sont significatives à l'échelle mondiale, notamment pour la bauxite, le fer, le kaolin, le cuivre, l'étain, la fluorine, l'or, le zirconium et la potasse.

A titre d'exemple, le Suriname a été le plus important producteur mondial de bauxite dans le monde pendant la seconde guerre mondiale. En 2015, le Brésil produisait 18% du minerai de fer dans le monde, mais aussi 9% de l'étain et 6% du manganèse. L'or constitue, avec plus de 1% de la production mondiale, un produit d'exportation significatif, exploité tant par des groupes industriels que par des mineurs artisanaux légaux et illégaux.

Source : Les mines du Bouclier guyanais : esquisse historique et métallogénique - Michel Jébrak, Salomon Kroonenberg, Arnauld Heuret, 2020.



d'extraction d'or dans la forêt amazonienne de Guyane (Fig. 4 d). Les commanditaires sont souvent des commerçants opérant à partir des villes frontalières brésiliennes le long du fleuve Oyapock. Des réseaux clandestins fournissent aux mineurs du matériel et des denrées alimentaires brésiliennes en amont, le long des fleuves Approuague et Oyapock et de leurs affluents

Les autorités françaises et les ONG utilisent la télé-détection pour cartographier l'activité minière illégale en recherchant des preuves de déforestation (Fig. 3d). Les terres affectées couvrent une zone plus vaste et plus étendue que les permis légaux. En outre,

l'exploitation minière illégale affectent également des endroits où l'exploitation minière est restreinte ou interdite c'est-à-dire des zones où des enjeux majeurs de préservation de la biodiversité ont généralement été identifiés, maximisant l'impact environnemental. Depuis 2008, l'armée française poursuit les travailleurs brésiliens illégaux dans le cadre de l'opération HARPIE, les obligeant à changer d'approche, à adopter de nouvelles technologies minières (éclairage, ventilation, etc.) et à développer des travaux souterrains sur les gîtes filoniens en utilisant des puits et des galeries. En 2019, 10 % des sites aurifères exploitent des gisements primaires par puits.

LA MIGRATION DES FRONTIÈRES EXTRACTIVES DANS LE BOUCLIER GUYANAIS

Le concept de “frontière” a été initialement théorisé en 1893 pour décrire la migration des colons américains vers l'Ouest. Avec l'émergence d'une poussée pionnière dans la région amazonienne, à partir des années 1940, des frontières extractives voient le jour et se déplacent au gré de l'exploitation minière.

Dans le Bouclier guyanais, la frontière extractive progresse depuis le centre du Brésil vers le nord et les espaces amazoniens...

« La diversité des modes d'exploitation minière développés par les pays du Bouclier guyanais illustre différents types de compromis entre l'économie et la protection environnementale : chaos politique au Venezuela, laissez-faire au Guyana, diversification au Suriname, protection environnementale et dépendance à la France hexagonale en Guyane française. »

La frontière brésilienne combine déforestation, création d'infrastructures, ouverture de mines, et développement de l'élevage et de l'agriculture. Elle débute avec le boom minier du Minas Gerais à la fin du XVII^e siècle. On y produit presque la moitié de l'or et des diamants dans le monde aux XVII^e et XVIII^e siècles. En 1719, les chercheurs d'or sont au Mato Grosso. C'est la base de la migration vers l'Amazonie. À partir de la deuxième guerre mondiale, le front minier se dessine plus clairement du fait d'un développement industriel affirmé. Les ressources en métaux ferreux et de base sont exploitées par d'importants groupes miniers. L'entreprise Vale (anciennement Companhia Vale do Rio Doce) est établie en 1942 suite à l'accord Brésil-USA visant à assurer l'approvisionnement des États-Unis et de la Grande-Bretagne en fer. Elle met en production le district ferrifère de Carajas en 1985, ce qui va propulser l'entreprise, privatisée en 1997, parmi les plus grandes compagnies

mondiales.

L'accès direct aux capitaux étrangers en Amazonie brésilienne, longtemps interdit, s'ouvre avec les politiques néolibérales, mais reste fortement contrôlé par l'État brésilien. En avant et parallèlement au front minier industriel, les artisans progressent par une série de ruées pour l'or, le platine, les pierres précieuses ou la cassitérite (minerai d'étain). L'un des plus médiatiques a été celui de la Serra Pelada en 1979, qui a mobilisé plus de 20 000 personnes.

On a pu affirmer que l'activité minière en Amazonie s'était montrée vigoureuse, expansive, rentable, compétitive au niveau international, attirant des capitaux privés, nationaux et étrangers, souvent associés à un investissement public. C'est un point qu'il serait aujourd'hui difficile de défendre en France, au regard d'un souci accru de conservation de la forêt tropicale dans un contexte de changement climatique.

...et depuis la côte atlantique des Guyanes vers l'intérieur du continent

Du côté caribéo-atlantique, les premières mines d'or et de cuivre se développent au Venezuela au XVII^e siècle. Elles financent la révolution de Simon Bolivar (1783- 1830). Le développement est plus lent dans les Guyanes, mais les mines y jouent un rôle économique et politique déterminant. La première ruée vers les placers aurifères démarre avec des capitaux occidentaux et se produit vers le milieu du XIX^e siècle dans un contexte où les territoires restent mal définis. L'essentiel des espaces miniers est ré-englouti progressivement par la forêt à la fin de l'étalon-or, dans les années 1930. Cependant, dès la Première Guerre

mondiale et surtout après la seconde, les Américains veulent s'assurer d'un approvisionnement en fer, en manganèse et en bauxite par l'exploitation de gisements le long de la côte atlantique, entre le sud du Venezuela et le nord du Brésil. Ces activités industrielles sont à l'origine du développement économique des Guyanes, sauf en Guyane française où l'Hexagone investit plutôt dans le secteur tertiaire. Un front pionnier migre vers le sud du Venezuela. À partir de 2000, l'origine des capitaux se diversifie avec l'arrivée de groupes miniers russes et chinois. Depuis 30 ans, avec la hausse du cours de l'or, les exploitations ont repris de manière plus diversifiée, combinant exploitations aurifères

industrielles et artisanales, légales ou illégales. La diversité des modes d'exploitation minière développés par les pays du Bouclier guyanais illustre différents types de compromis entre les enjeux économiques et ceux de la protection environnementale : chaos politique au Venezuela, laissez-faire au Guyana, diversification au Suriname, protection environnementale et dépendance à la France hexagonale en Guyane française. Aujourd'hui, les frontières extractives guyanaises et brésiliennes se rapprochent l'une de l'autre, marquées par les migrations, en partie clandestines, des garimpeiros brésiliens.

UN BREF APERÇU DU CONCEPT DE FRONTIÈRES

Billington en 1966 a défini la frontière comme «une région géographique adjacente aux parties non colonisées du continent dans laquelle un faible ratio homme-terre et des ressources naturelles inhabituellement abondantes et inexploitées offrent une opportunité exceptionnelle d'amélioration sociale et économique aux petits propriétaires».

C'est cependant **Turner** (1893) qui établit la définition originelle : «Le concept de «nationalisation de l'espace» est considéré comme la transformation des «espaces sauvages» en espaces civilisés, un processus inévitable mais souhaitable. Les notions de conquête et d'assujettissement des zones périphériques et de «nationalisation de l'espace» constituent le cœur du concept, de même que la conviction que ces régions frontalières sont sous-utilisées, sous-peuplées et sous-civilisées.

Walter Prescott Webb (1952) a élargi le concept, en commençant par les nouvelles terres découvertes par Christophe Colomb et en terminant par la fermeture des frontières à la fin du XIX^e siècle».

Cependant, la théorie de la frontière de Turner-Webb est vite dépassée. Étant donné que la conquête des Amériques a été destructrice pour l'environnement et les peuples autochtones, **Verbrugge et Geenen** (2019) affirment que les frontières résultent d'actes de colonialisme plutôt que de l'expansion de la «civilisation» sur des terres «inutilisées» ou «barbares».

Les changements qui se sont déroulés à l'échelle mondiale depuis le début des années 1990, notamment la mondialisation, ont exigé une nouvelle interprétation académique du concept de frontière. L'émergence d'une nouvelle vague de matières premières en réponse à l'essor de l'économie asiatique a provoqué un changement structurel dans l'industrie minière et une forte augmentation du nombre et de l'intensité des conflits liés à l'exploitation minière, en particulier le long des frontières des zones peu peuplées, telles que le Sahel, l'Arctique et l'Amazonie. La notion même de frontière est passée d'un concept historique et géographique à des processus multiformes en cours dans les zones d'extraction contemporaines, mobilisant les sciences économiques, politiques et sociales.

L'ÉVOLUTION DE LA FRONTIÈRE MINIÈRE EN GUYANE FRANÇAISE

Depuis l'époque de Christophe Colomb, l'Amérique du Sud est le continent où l'exploitation minière a été la plus prééminente. Celle-ci a joué un rôle majeur dans le développement économique, menant à des conflits centrés autour des matières premières. Toutefois, la Guyane française reste une exception à ce paysage. Sur ce territoire minier singulier, la frontière des matières premières s'est étendue géographiquement mais ne s'est jamais approfondie – c'est-à-dire qu'elle n'a pas évolué vers l'industrialisation, ni développé de liens étroits avec des régions plus densément peuplées et ayant accès aux marchés internationaux.

En Guyane française, la frontière minière s'est étendue à deux reprises depuis le milieu du XIX^e siècle...

En un seul front, vers l'ouest puis vers le sud lors du premier cycle de l'or en Guyane

L'exploitation des matières premières a commencé par les gisements d'or de l'Est de la ceinture de roches vertes du Nord avant d'en atteindre la partie ouest. Elle s'est étendue vers l'arrière-pays, dans la ceinture de roches vertes du Sud, produisant les premiers «îlots miniers» dans la forêt tropicale, accessibles par les grands fleuves. Cette période a été une phase charnière caractérisée par le brassage de populations d'origines ethniques diverses qui partageaient le rêve de l'Eldorado.

En un double front, l'un vers le sud, l'autre vers le nord, lors du deuxième cycle de l'or en Guyane

Au nord de la Guyane, l'exploration et la production ont été le fait de petites et moyennes entreprises. Les importants investissements nord-américains ont permis la caractérisation de gisements d'or de dimension internationale mais jamais mis en exploitation (Camp Caiman, Montagne d'Or, Esperance).

Au Sud de la Guyane, la frontière extractiviste a été un temps, dans les années 1990, portée par les Bushinenge locaux, déjà présents dans la partie supérieure du fleuve Maroni et, de manière plus continue, par l'infiltration des **garimpeiros** brésiliens.

Ces deux fronts contribuent relativement peu au développement économique du territoire, car ni l'État ni les composantes de la population locale ne soutiennent pleinement le premier, et le second est essentiellement illégal.

... mais elle ne s'est pas approfondie

L'absence de développement minier en Guyane, ou pour reprendre l'approche de Moore (2010), la « superficialité » de la frontière des matières premières, résulte d'une combinaison de facteurs :

► des conditions environnementales défavorables

Après 1920, la frontière extractive s'est désintégrée, revenant à son état naturel initial. La population a diminué. Cette situation peut être

« La difficile pénétration de la forêt amazonienne, la longue saison des pluies, les défis du commerce côtier et l'accès difficile à l'arrière-pays sont autant d'obstacles à l'exploration et à l'exploitation minière. »

expliquée par la difficile pénétration de la forêt amazonienne, la longue saison des pluies, les défis du commerce côtier et l'accès difficile à l'arrière-pays, qui sont autant d'obstacles à l'exploration et à l'exploitation minières. De nombreuses technologies importées d'Afrique de l'Ouest par les ingénieurs français ont échoué parce qu'elles étaient inadaptées à l'environnement hostile.

De ce fait, la première ruée vers l'or n'a pas été suivie par l'installation d'agriculteurs qui auraient permis de mailler le territoire. Les sites miniers isolés ont souffert du manque de liens physiques et économiques avec les régions côtières. Bien que plus développées, les régions côtières n'avaient pas non plus les capacités humaines, techniques et financières pour soutenir une industrie à l'intérieur des terres.

En outre, la France ne pouvait pas contrôler entièrement le territoire et assurer la protection contre les maraudeurs. La France hexagonale est davantage occupée par les questions européennes à partir de 1914.

► Un système politique piloté par Paris

Jusqu'en 1946, la Guyane était gérée par les autorités françaises en tant que colonie, ce qui aurait dû constituer un avantage concurrentiel pour le territoire, avec un système juridique de qualité et un accès facile aux ressources humaines et financières. Cependant, les données empiriques concernant les anciennes colonies françaises, notamment en Afrique et en Asie de l'Est, suggèrent qu'elles ont généralement souffert du protectionnisme commercial, de l'enracinement des institutions mercantiles et du droit civil, ainsi que d'une centralisation du pouvoir à Paris. Ce qui a limité le développement. La Guyane française n'a pas fait exception.

► Un isolement du territoire par rapport à ses voisins

Le dernier paramètre qui contrôle l'évolution de la frontière extractive est l'unicité et l'isolement de la Guyane. Elle est de loin le plus

isolé des territoires du plateau des Guyanes et son économie est plus étroitement liée à l'Europe. Cette forte dépendance à l'égard de Paris et de Bruxelles réduit la nécessité d'un développement autonome en Guyane, et donc la nécessité d'une frontière extractive efficace. La Guyane se distingue ainsi fondamentalement de ses voisins. Malgré la reprise du cours de l'or à la fin de la période de Bretton Woods en 1973, ni les compagnies minières internationales, ni les groupes miniers nationaux français n'ont jamais investi de manière significative en Guyane.

De plus, une des principales spécificités de la Guyane est que les divisions et les hiérarchies politiques et administratives ne correspondent

pas à la situation sur le terrain. Dans le Nord de la Guyane, la politique minière est principalement régie par les autorités métropolitaines à Paris. La politique protectionniste de longue date de la France vis-à-vis des investissements étrangers a ainsi joué un rôle majeur dans la limitation du développement des mines industrielles. Dans la partie Sud, l'occupation du territoire par des mineurs illégaux est liée à la très faible présence d'entreprises minières. À des fins de protection de la biodiversité, la création du Parc amazonien de Guyane en 2007 s'est effectivement accompagnée d'une interdiction de l'exploitation minière sur la majeure partie des gisements de la ceinture de roches vertes du Sud.

Définitions

• GARIMPEIROS

Chercheurs clandestins d'or qui s'infiltrèrent le long de la ceinture de roches vertes du sud. Les migrations brésiliennes en Guyane doivent être interprétées dans une perspective régionale, celle d'une progression vers le nord à partir du front brésilien. Cela pourrait être comparé à la frontière artisanale en Afrique de l'Ouest

En conclusion,

Malgré plusieurs tentatives, l'industrie aurifère n'a jamais atteint les standards modernes de production. La Guyane française illustre ainsi le caractère visqueux de la frontière des matières premières dans les forêts tropicales denses, par opposition à la fluidité du développement minier dans les déserts ouverts. Dans un tel contexte, la gestion à distance du développement économique par la France n'a pas aidé au développement des infrastructures, qui sont essentielles à la fois à l'élargissement et à l'approfondissement de la frontière, en particulier dans un territoire continental couvert de forêts tropicales. Aujourd'hui, alors que les enjeux de préservation de la biodiversité sont devenus prééminents, la question du devenir du front minier sud, alimenté par une exploitation illégale, ne répondant à aucune forme de normes, notamment environnementales et sans aucun bénéfice pour le territoire, reste en suspens.

SOURCE :

● The gold, peoples and multiple frontiers of French Guiana Michel Jebrak, Arnould Heuret et Pierre Rostan

VERS UNE OBJECTIVATION DES ENJEUX DE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES AURIFÈRES EN GUYANE FRANÇAISE : EXPLOITATION MINIÈRE, PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DÉVELOPPEMENT HUMAIN

Une étude d'objectivation des enjeux de l'exploitation aurifère en Guyane est en cours. Coordinée par François-Michel LE TOURNEAU (laboratoire PRODIG / CNRS) et Arnauld HEURET (laboratoire Géosciences Montpellier / Université de Guyane) et financée par la Collectivité Territoriale de Guyane, la préfecture de Guyane et le Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires et débutée au 1^{er} juillet 2023, elle est menée par Jérôme FRESNEAU, docteur en Géographie.

La question minière en Guyane, un manque de consensus

Depuis plus de vingt ans et après deux rapports parlementaires et une commission d'enquête, la question minière en Guyane française, et la politique ou les politiques à appliquer en la matière, est l'objet de polémiques presque constantes et d'épisodes de crise. Les débats portent notamment sur l'enjeu de savoir quel pourrait être le gain des populations locales (habitants des communes concernées, population guyanaise en général) dans l'autorisation ou l'interdiction d'activités d'exploitation aurifère. La situation actuelle est marquée par la conti-

nuation de l'exploitation illégale par les garimpeiros malgré la pression portée par le dispositif de LCOI (Lutte contre l'orpaillage illégal), le refus de grands projets industriels malgré leur instruction initiale et des épisodes judiciaires divers autour de l'exploitation artisanale ou semi-industrielle légale.

Le manque actuel d'un consensus permettant de stabiliser une politique minière en Guyane française, encadrant la filière légale et réduisant les impacts de la filière illégale semble patent depuis plusieurs années. Il s'est manifesté



Photo : Björn Wylezich - adobestock.com

lors de plusieurs épisodes comme les débats sur des grands projets industriels (Montagne de Kaw ou Montagne d'or), les controverses récurrentes sur l'efficacité du dispositif de lutte contre l'orpaillage illégal ou bien les contestations judiciaires sur l'activité des entreprises locales. Certains acteurs pointent globalement la déficience de l'État dans la persistance de l'activité illégale, d'autres insistent au premier chef sur la protection de l'environnement, d'autres encore souhaitent privilégier le développement économique et humain en Guyane française. De son côté, l'administration lutte contre les activités clandestines avec les moyens alloués et tente de faire respecter un cadre réglementaire de plus en plus contraignant mais dont l'adaptation au contexte local peut être questionnée. Au-delà des divergences, tous les acteurs du dossier partagent le constat d'une situation intenable, mais les facteurs d'évaluation de celle-ci et les objectifs des actions engagées restent à mieux définir. Dans ces débats, la population guyanaise est souvent prise à témoin, mais la question de lui fournir une information objective pour fonder ses choix est peu adressée.

Depuis le premier rapport sur l'or en Guyane...

Une grande partie des positions tenues par les différents acteurs en présence se base sur les rapports de la députée guyanaise Christiane Taubira, divulgués en 2000 et 2010. Le premier, intitulé « L'or en Guyane », dressait un état des lieux sans concession de l'exploitation aurifère dans le territoire. Ses conclusions ont été fondatrices pour la réflexion politique qui a émergé alors, car elles amorcèrent l'appropriation des enjeux liés à l'exploitation aurifère, appelant ses représentants à contribuer activement à la formulation et à la mise en œuvre de la politique qui y est préfigurée. Ses recommandations plaçaient l'extraction de l'or « au centre d'une stratégie de développement durable » et voyaient, dans la démocratisation des connaissances liées à l'or, le moyen « d'établir un lien, légitime, salubre et fécond entre l'activité

aurifère et la société guyanaise » à la condition que les « désordres » soient maîtrisés. Le rapport de 2010, lui, constatait que les 28 recommandations formulées en 2000 n'avaient pas été dûment mises en place et évaluées et il appelait à consolider les cadres juridiques et économiques autour de l'activité. Sous un angle différent, le rapport rendu le 21 juillet 2021 par les députés de la commission d'enquête sur la lutte contre l'orpaillage illégal a renouvelé les conclusions précédentes et appelé à une « mobilisation générale de l'État, des collectivités territoriales et de la société civile pour contrer l'orpaillage illégal et favoriser un développement économique durable pour la Guyane », soulignant le potentiel

autant que les nuisances liées à l'or, objet, selon les députés, d'un véritable pillage.

... la situation n'a pas évolué

Plus de vingt ans après le premier rapport, la réflexion politique ne semble toujours pas avoir abouti à un consensus : l'opposition entre les partisans et les opposants à l'exploitation aurifère légale perdure et le traitement de l'orpaillage clandestin est repoussé dans l'escarcelle de l'État sans autre vision que la dimension répressive. Dans ce contexte, les ressources aurifères semblent desservir la Guyane française plutôt que de la servir comme atout stratégique. Enfin, la dimension d'implication des populations locales dans le débat n'a pas été beaucoup développée.

Le pillage d'une ressource de valeur

Il résulte de cet état de fait une double stagnation. D'un côté, la lutte contre l'orpaillage illégal plafonne dans son efficacité parce qu'elle rencontre les limites des moyens alloués, qui doivent composer avec toutes les autres priorités, et parce que la réponse judiciaire n'apparaît pas comme une solution suffisante à ce qui ressort d'un phénomène économique et social transfrontalier, même si elle en traite les aspects délictueux. D'un autre côté, la filière d'exploitation légale ne décolle pas, souffrant toujours d'une perception soupçonneuse de la part de l'opinion publique, parfois basée sur des faits avérés, et de l'oscillation des politiques à son encontre, bien montrée dans les dossiers de grandes mines industrielles. En l'absence d'un cadre réglementaire et politique stable, il est difficile d'attirer des investisseurs ou de rassurer les détracteurs de l'exploitation de l'or. Il est aussi difficile pour les populations d'avoir une vision claire des enjeux en termes de retours (fiscalité, emploi, etc.) mais aussi en termes d'impact potentiel (sur le cadre de vie, sur l'environnement, etc.).

La faiblesse de l'exploitation légale à l'heure actuelle n'empêche pas un vif débat public à son sujet, particulièrement animé quand il traite de projets de grande dimension ou des méthodes employées. Il existe des initiatives concrètes transverses favorisant le partage des savoirs (licence professionnelle VALORESS, Pôle Technique Minier de la CTG) et une implication des représentants de la société civile dans les décisions (via commission des mines). Mais, globalement, la réflexion politique n'est pas aboutie et aucun consensus n'émerge sur la place à donner à l'exploitation aurifère. Or, c'est de cette harmonie de vue dont a besoin le territoire pour permettre à ses habitants et à la communauté nationale de décider s'ils veulent oui ou non tirer parti de leur patrimoine aurifère, ou tout au moins en limiter les conséquences néfastes.

Trois positions extrêmes semblent aujourd'hui coexister en Guyane française, qui, toutes, doivent être examinées pour évaluer leur réalisme, leur rapport coût/bénéfice et les compromis envisageables. La protection totale de l'environnement se heurte à l'extrême difficulté et au coût du contrôle, au point que le rapport Taubira de 2000 constatait que le fait qu'il y ait de l'or en Guyane française impliquait qu'il serait extrait d'une

"Globalement, la réflexion politique n'est pas close et aucun consensus n'émerge sur la place à donner à l'exploitation aurifère. Or, c'est de cette harmonie de vue dont a besoin le territoire pour permettre à ses habitants et à la communauté nationale de décider s'ils veulent oui ou non tirer parti de leur patrimoine aurifère."

manière ou d'une autre. L'ouverture totale à l'exploitation minière sous couvert de recherche de croissance économique, elle, n'est pas plus possible du fait de l'importance des dispositifs de protection de l'environnement, des attentes de la population, tant en France hexagonale qu'en Guyane française ou des engagements internationaux pris dans le cadre des COP Climat ou Biodiversité. Enfin, le laisser-faire qui caractérise le voisin surinamais n'est pas non plus envisageable si l'on considère que les lois de la République s'appliquent sur l'ensemble du territoire national. Bien que les trois représentations présentées ici soient très simplifiées, elles montrent à quel point le débat semble aujourd'hui bloqué.

Une réflexion neutre et objective pour aboutir à un consensus

Pour dénouer plutôt que de trancher ce nœud gordien, et faisant écho à la « mobilisation générale » demandée dans le rapport Serville, il semble qu'une première étape pourrait consister en une objectivation des enjeux liés aux ressources aurifères afin d'en proposer une vision actualisée (à titre d'exemple, le cours de l'or aujourd'hui n'est plus celui du début des années 2000) dans laquelle les interdépendances entre les différentes dimensions seraient soulignées et, dans la mesure du possible, quantifiées. Sur la base de ces informations, la délibération collective incluant de la manière la plus large possible la population locale pourrait se tenir de manière plus efficace, et aboutir in fine à un consensus large qui conclurait à terme le débat public sur les possibilités et modalités de l'exploitation de la ressource aurifère de Guyane française et sur les stratégies de contrôle et de lutte contre l'orpaillage illégal.

L'objectif est de proposer une analyse objective de la situation permettant d'initier et d'alimenter la réflexion au niveau politique. Cette réflexion vise donc à recenser l'ensemble des connaissances disponibles sur le sujet afin de répondre

à une série de questions soulevées par les débats sur l'exploitation de la ressource aurifère guyanaise. Se faisant, l'étude doit proposer des éléments qui permettront aux différentes institutions de débattre et formaliser une politique, et d'en tirer une stratégie et des mises en œuvre opérationnelle. Aujourd'hui, ce processus semble manquer et se conformer à des schémas mis en place il y a près de deux décennies (comme l'urgence de la répression dans le cadre de la LCOI). L'enjeu est donc de proposer une prise de recul par rapport aux enjeux immédiats et un éclairage extérieur qui illumine les différents éléments sous une autre perspective. L'intention est de donner des subsides à la réflexion politique et de créer une unité d'analyse entre les parties prenantes afin que toutes disposent des mêmes éléments objectifs pour se positionner.

Les éléments qui constitueront la matière de cette étude seront recueillis auprès de toutes les institutions qui œuvrent sur la question, ainsi que par des interviews auprès des responsables et personnes clés. Le rapport proposé sera donc une synthèse de l'ensemble des connaissances disponibles à ce jour.

LE PROJET ECLAT POUR ÉTUDIER LES CONTAMINANTS MÉTALLIQUES DES ROCHES EN GUYANE FRANÇAISE

Processus contrôlant la dynamique environnementale et les impacts sociétaux des contaminants géogéniques et anthropiques des métaux traces en Guyane française



Avec les activités anthropiques telles que l'extraction de l'or, la quantité de polluants libérés dans l'environnement augmente et impacte la société humaine. Il apparaît indispensable de quantifier la présence des métaux traces et métalloïdes (mercure, plomb, arsenic...), éléments chimiques potentiellement toxiques, leur origine géogénique (naturellement présent dans les roches et sols guyanais) et/ou anthropique, et de comprendre les processus qui accompagnent leurs passages éventuels de la roche aux sols puis aux eaux de surface, et éventuellement aux chaînes trophiques. C'est l'objectif du projet ECLAT^[1].

Ce projet se base sur les collaborations, entamées depuis plusieurs années, de certains membres du projet. Il fusionne les nombreuses discussions scientifiques entre différentes communautés travaillant sur les aspects plus géogéniques et/ou anthropiques et des demandes des acteurs sociaux.

Il s'appuie sur les discussions réalisées lors du workshop «Latérites, sols et mines»^[2] (12 et 13 décembre 2022) réalisé au sein de l'Université de Guyane.

[1] Le projet ECLAT est financé par l'agence nationale de la recherche (ANR) (2024-2027), l'équipe multidisciplinaire regroupant 6 universités françaises et une trentaine de scientifiques, menée par Cécile Gautheron (ISTerre, Université Grenoble Alpes) et à laquelle l'Université de Guyane est associée

[2] <https://www.isterre.fr/french/actualites/agenda-scientifique/article/workshop-laterites-ss-et-mines.html>



Des composants toxiques libérés lors de l'orpaillage

En Guyane, le paysage a été fortement modifié depuis plus de 60 Ma (millions d'années) en raison de la mise en place d'un climat tropical aux fortes oscillations, en particulier au cours des derniers Ma incluant l'Anthropocène. Des millions d'années d'action de ce climat ont entraîné une altération intense des roches dures dites cristallines dont celles de la ceinture de roches vertes contenant de l'or. Lors de l'altération intense, certains éléments chimiques dont les nutriments vont être lessivés et d'autres s'accumulent et forment de phases minérales secondaires comme la kaolinite et des oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium principalement. Cette couche altérée qui peut atteindre une centaine de mètres d'épaisseur est appelée 'latérite' ou 'bauxite' si elle contient encore plus d'aluminium. Ce sont les oxydes de fer qui vont donner la couleur rouge aux latérites et aux bauxites. Les métaux s'accumulent également dans les profils latéritiques et des placers car ils sont très peu solubles. En particulier, en Guyane, la couverture latéritique, qui s'étend sur la quasi-totalité du territoire a accumulé, d'un côté, des minéraux d'intérêt économique (or, notamment) mais, également, d'un autre côté, des niveaux élevés de métaux et métalloïdes géogéniques potentiellement toxiques

(par exemple Hg, Pb et As). Leur stabilité relative dans les couvertures latéritiques est aujourd'hui perturbée par l'élimination de la végétation due aux activités humaines dites anthropiques (extraction légale et illégale de l'or, agriculture, urbanisation et, plus généralement, déforestation) et aux conséquences associées aux forçages climatiques (inondation et glissements de terrain, par exemple). Outre la contamination par le mercure, documentée depuis quelques décennies^[3], une problématique plomb émerge depuis peu. À l'échelle du territoire, ce dernier est responsable de l'intoxication d'environ 30% des enfants amérindiens, tandis que le mercure entraîne des restrictions de consommation de poisson pour réduire son assimilation, sous forme de monométhylmercure, par les populations locales. La pollution aux métaux suscite l'inquiétude des agences de santé publique et du gouvernement français quant à son impact sociétal et sanitaire ( <https://www.guyane.ars.sante.fr/metaux-lourds>).

[3] «Nitschke N, Guédron S, Tessier E, Tisserand D, Campillo S, Amoureux D. (2024). Evaluation of the Hg Contamination from Gold Mining in French Guiana at the Watershed Scale Using Hg Isotopic Composition in River Sediments. ACS ES&T Water»

Mieux estimer le risque pour les écosystèmes et l'exposition des populations

Si le rôle de l'exploitation de l'or dans la contamination par le mercure est bien documenté, le caractère géogénique de cet élément chimique reste, comme pour les autres métaux traces et métalloïdes, encore relativement peu étudié. C'est en réalité l'ensemble des processus physico-chimiques qui accompagnent le passage de ces contaminants de la roche cristalline à la latérite puis aux sols puis aux eaux de surface et éventuellement aux chaînes trophiques, ainsi que les rapports entre les sources géogéniques naturelles et anthropiques qu'il reste à contraindre pour comprendre les risques de contamination des systèmes aquatiques et des populations locales (Fig. 1).

Les fleuves guyanais traversent des contextes géologiques similaires mais différent dans la quantité et la qualité de l'eau liées à l'occupation humaine et aux activités minières passées et présentes. Le fleuve Maroni, qui constitue la frontière naturelle avec le Suriname, traverse une zone densément peuplée et se caractérise par un débit d'eau élevé. Le fleuve est fortement impacté par les activités (il)légalles d'exploitation de l'or à petite échelle menées sur les rives et les affluents des deux côtés du fleuve. En revanche, la rivière Mana se caractérise par un débit d'eau plus faible et une teneur élevée en matières organiques. Les bassins versants des deux rivières ont été l'objet des différentes ruées vers l'or que connaît la Guyane depuis le milieu du XIX^e siècle.

Les principaux résultats du projet ECLAT seront de fusionner, pour la première fois, un ensemble de disciplines pour étudier le transfert et les mécanismes de trans-

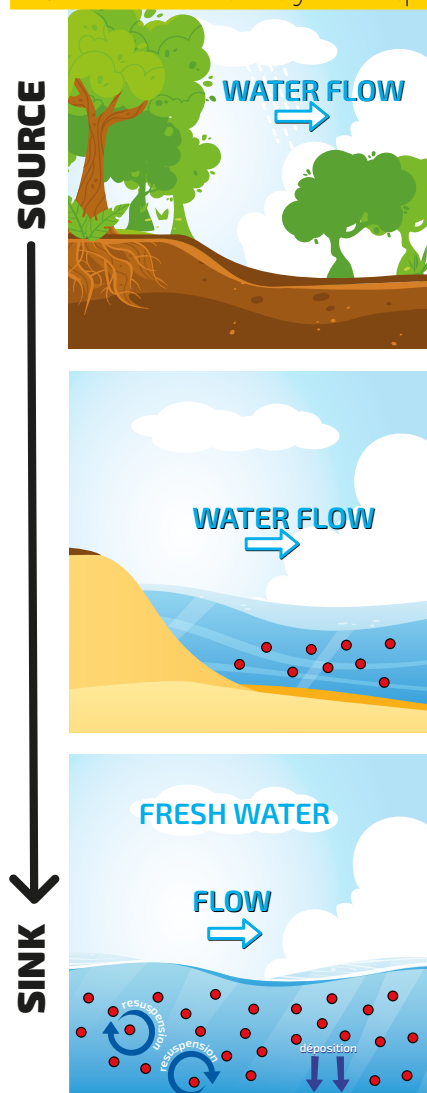
fert de métaux et métalloïdes à différentes échelles de temps et de communiquer les résultats et les impacts sociétaux à la population vivant le long des fleuves, et aux agences locales en utilisant une approche multidisciplinaire (géographie, géologie, géochronologie, géochimie, minéralogie, chimie de l'environnement, sociologie, science de la communication).

Les échelles de temps examinées dans le cadre de cette étude sont les suivantes : ● **l'échelle des temps géologiques** (million à la centaine d'années), avec l'étude du transfert de métaux et métalloïdes depuis la roche cristalline vers la latérite et le sol. ● **L'échelle de temps historique** depuis la première ruée vers l'or. ● **L'échelle saisonnière**, en comparant le devenir des métaux et métalloïdes pendant les saisons humides et sèches, où le débit et la chimie des rivières peuvent changer radicalement. ● Enfin **l'échelle de temps quotidienne** au cours de laquelle les changements biogéochimiques se produisent avec les changements hydrologiques, les gradients physicochimiques et la productivité biologique dans les eaux et les sédiments.

Ainsi, le projet ECLAT documentera les chaînes d'accumulation, de libération et de devenir des métaux et métalloïdes des latérites, aux sols et aux hydrosystèmes par une approche multidisciplinaire pour intégrer ces observations à court et à long terme.

Les conclusions de ce projet seront essentielles pour améliorer le transfert d'information vers la population locale et pour contribuer au renforcement de la formation des acteurs de la population guyanaise sur la pollution par les métaux et métalloïdes.

1 . Processus de dynamique environnementale



Couvertures lateritiques :

- ▶ Accumulation géogénique de métaux et métalloïdes
- ▶ Érosion ou transport de métaux à l'état de traces
- ▶ Cr, Cd, Pb, Hg, métaux...

L'écoulement de l'eau dans les ruisseaux et les rivières :

- ▶ Stabilité des colloïdes
- ▶ Complexation des métaux et adsorption
- ▶ Biominéralisation
- ▶ Cr, Cd, Pb, Hg, métaux... + anthropogénique Hg, Pb...

Interface sédiments/eau :

- ▶ Respiration microbienne de la matière organique
- ▶ Réduction des oxydes de Mn/Fe et des métaux traces sensibles à l'oxydoréduction
- ▶ Enfouissement ou remise en suspension des sédiments

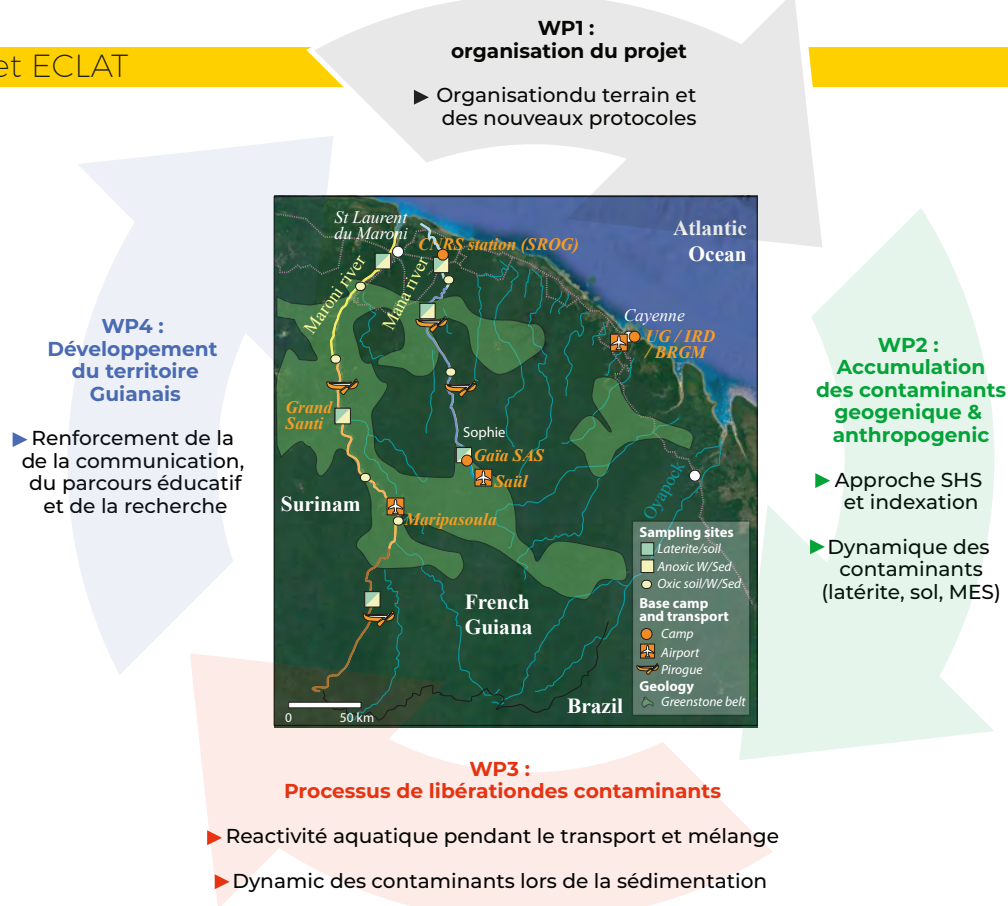
Pour répondre à cette question, la Guyane apparaît comme un laboratoire naturel unique dans la forêt inter-tropicale humide combinant des zones vierges et des zones affectées par l'Homme, qui sont caractérisées par différents types d'utilisation des terres (zone géographique et temporalité). Les différentes sources de métaux et métalloïdes et les processus de transfert seront étudiés dans deux zones choisies comme études de cas, les fleuves Maroni et Mana.

Contacts :

- ▶ Cécile Gautheron (Université Grenoble Alpes) : cecile.gautheron@univ-grenoble-alpes.fr
- ▶ Arnaud Heuret (Université de Guyane) : arnaud.heuret@univ-guyane.fr

2 . Organisation du projet ECLAT

Illustrant l'équipe multidisciplinaire et les principaux groupes de travail ainsi que les tâches par ordre d'implication, Sur cette carte de la Guyane figurent les sites d'échantillonnage (carrés jaunes et bleus), où les sols latéritiques et ferrallitiques, l'eau (W) et les sédiments (Sed) seront collectés. Des sites de « surveillance » supplémentaires (petits cercles jaunes) seront échantillonnés (sol, eau, et sédiments) pour compléter la carte géochimique sur les deux bassins versants.





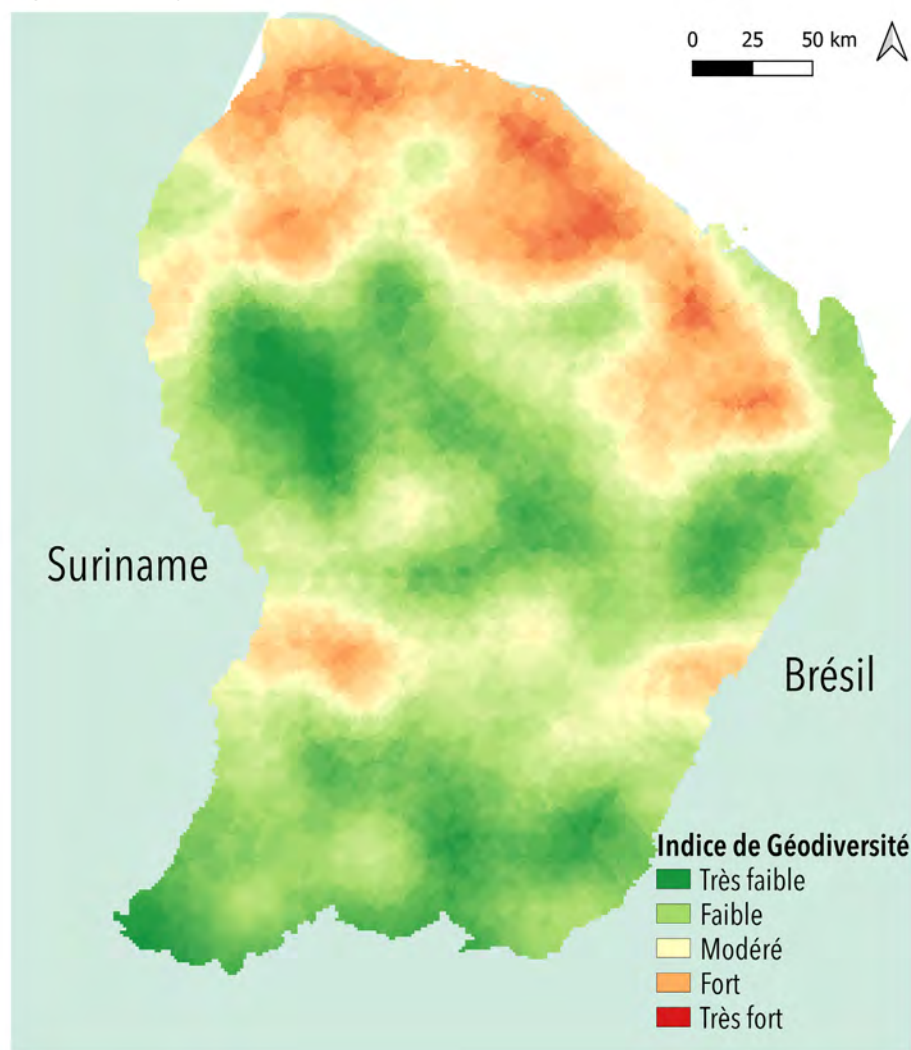
INITIATIVES

DE LA GÉODIVERSITÉ À LA GÉOFONCTIONNALITÉ : QUANTIFIER LES FONCTIONS DE LA GÉODIVERSITÉ POUR L'AMÉNAGEMENT DU PAYSAGE EN GUYANE

L'évaluation de la géodiversité a suscité un vif intérêt au sein de la communauté géoscientifique et au-delà. Cependant, elle n'est pas toujours suffisante pour l'aménagement du territoire ou la conservation du patrimoine naturel vivant et non-vivant. Il est alors essentiel de prendre en compte l'ensemble des contributions que la géodiversité offre aux sociétés humaines, ce que l'on appelle sa « géofonctionnalité ».

1 - indice de géodiversité

Première quantification et cartographie d'un indice de géodiversité à l'échelle régionale en Guyane (Scammacca et al. 2022).



Qu'est-ce la « géodiversité » ?

Équivalent abiotique de la biodiversité, la « géodiversité » est définie comme l'éventail naturel (diversité) des caractéristiques géologiques (roches, minéraux, fossiles), géomorphologiques (formes de relief, topographie, processus physiques), pédologiques (les sols) et hydrologiques (eaux souterraines, eaux de surface) d'une zone donnée, y compris leurs assemblages, structures, systèmes et contributions aux paysages (Gray 2013 ; Bétard, 2017).

Ce concept a d'abord été introduit dans des perspectives de conservation du patrimoine géologique ou géoconservation. En effet, la conservation et la gestion de ces systèmes, parfois issus de millions voire milliards d'années d'évolution, ne sont pas à considérer comme anodines.

Il existe de très nombreuses méthodes qualitatives et quantitatives pour évaluer la géodiversité d'une région. Une méthode répandue consiste à calculer un indice de géodiversité de la zone étudiée en combinant plusieurs sous-indices (à partir de cartes pédologiques, géologiques, géomorphologiques, climatiques). Les cartes de géodiversité qui en résultent peuvent, par exemple, compléter un système d'information du territoire et être utilisées pour la planification d'infrastructures, la définition de zones protégées ou la réglementation de l'utilisation des ressources naturelles. En 2022, des chercheurs ont notamment quantifié et cartographié pour la première fois l'indice de géodiversité à l'échelle régionale (Fig. 1) (Scammacca et al. 2022).

Géodiversité, géofonctionnalité et aménagement du territoire

Néanmoins, la géodiversité en termes d'évaluation d'entités physiques de natures différentes, ne peut pas, isolément, faire office d'outil d'aide à la décision en matière de politique d'aménagement du territoire ou les stratégies de géoconservation. Il est pour cela préférable de considérer les choses sous l'angle de la géofonctionnalité, c'est-à-dire la gamme des contributions (ou services) que la géodiversité fournit aux sociétés humaines (ce qu'on appelle la géofonctionnalité). De telles approches nécessitent des données géoscientifiques de qualité et en quantité suffisantes. L'ensemble se place dans la perspective de gestion environnementale et territorialisée des ressources des sols et des sous-sols. Une façon d'appréhender cette « géofonctionnalité » est celle d'utiliser le concept de « **services écosystémiques** ».

Les « services écosystémiques » sont les contributions directes et indirectes que la nature rend aux sociétés humaines pour répondre à leurs besoins et bien-être. Cette notion a longtemps été appliquée presque exclusivement à la biodiversité et au vivant, mais aujourd'hui, le rôle de la géodiversité dans la mise à disposition de nombreux services écosystémiques est reconnu. La géodiversité peut avoir une importance non seulement d'un point de vue culturel, en offrant des sites géologiquement, historiquement ou scientifiquement remarquables par exemple, mais également comme source d'approvisionnement (d'eau, nourriture, matières premières), de support (développement des sols, support d'habitats naturels), de régulation des cycles naturels (régulation du climat, des cycles des éléments nutritifs, contrôle de l'érosion, de la qualité des eaux). La géodiversité est donc le pilier de la biodiversité et un élément crucial dans le fonctionnement d'un système socio-écologique. En effet, la géodiversité est une variable prédictive de la biodiver-

sité puisqu'elle contribue à créer des habitats favorables à la spéciation. Il apparaît ainsi essentiel

qu'elle, ainsi que les services qu'elle rend, soit prise en considération au même titre que la biodiversité dans

les démarches de gestion environnementale et d'aménagement territorial.

Caractériser la géodiversité et ses "services écosystémiques" en Guyane

En Guyane, les multiples activités humaines et modes d'occupation des sols - tels que la sylviculture, l'industrie, l'exploitation minière, l'agriculture, le tourisme et l'urbanisation - posent un défi majeur de conservation et d'aménagement durable du territoire. Reconnaître et caractériser la géodiversité et les services qu'elle fournit pourraient supporter l'élaboration de politiques publiques pertinentes et holistiques à l'échelle territoriale.

En raison de ses caractéristiques socio-géo-écologiques, la Guyane représente un défi majeur pour l'aménagement et la conservation durables du territoire. Des études antérieures se sont concentrées sur :

- ◆ La cartographie des services écosystémiques de la géodiversité "offerts" et "utilisés"
- ◆ Les points chauds de géodiversité et de géofonctionnalité.

Afin de quantifier les Services Écosystémiques (SE) de la géodiversité, l'étude de O. Scammacca a suivi l'approche de Von Haaren et al. (2014), qui propose un modèle

d'évaluation des SE orienté vers le pragmatique, identifiant les SE « offerts » (en tant que totalité des contributions des écosystèmes qui pourraient, au moins potentiellement, être utilisés par les humains) et les SE « utilisés » (qui sont ceux actuellement utilisés par les humains).

Plusieurs SE (par exemple, approvisionnement en matières premières, en eau potable, régulation d'habitats naturels et contrôle des risques d'inondation, services culturels) ont été ainsi quantifiés et cartographiés à partir d'indicateurs représentatifs de leurs niveaux « offerts » (par exemple, la quantité et qualité des eaux, la favorabilité de certains aires géologiques) et « utilisés » (par exemple, les points de captage d'eau, la localisation de sites miniers et carrières). La figure 2 montre les cartes de la distribution des Services Écosystémiques de la Géodiversité (GES) offerts (a - g) et utilisés (i-o) d'après les données actuellement disponibles.

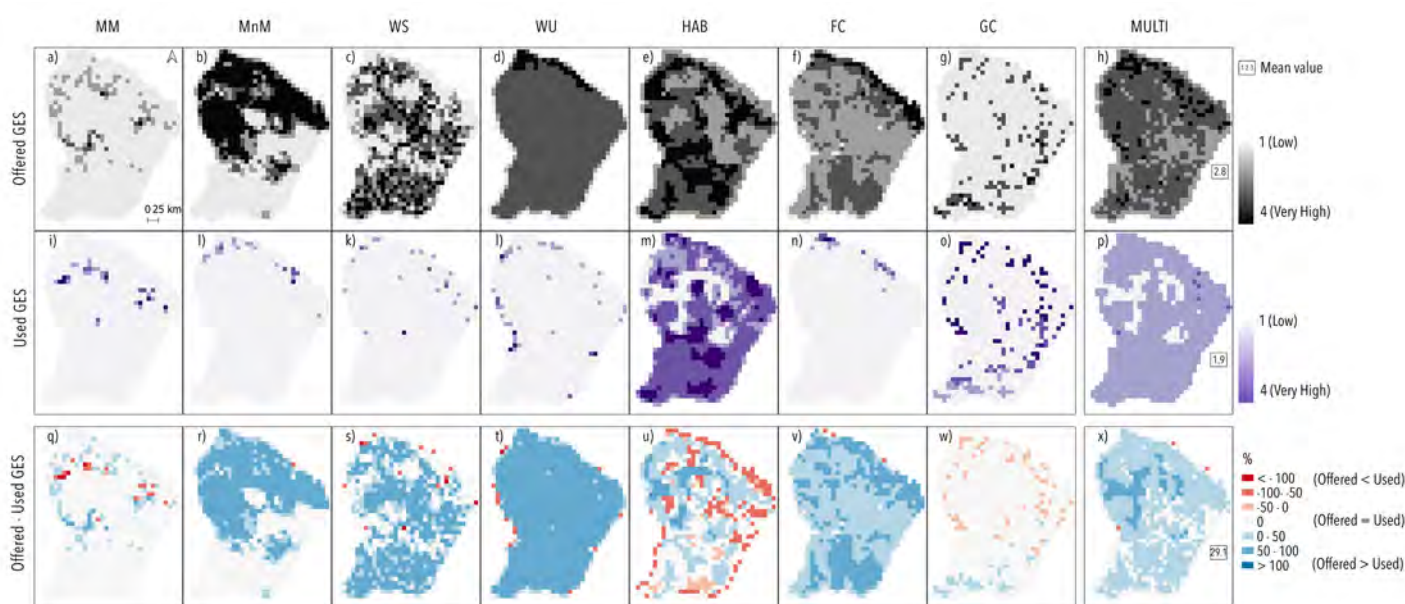
Si on compare la géodiversité et la

géofonctionnalité, on observe alors qu'elles ne suivent pas les mêmes schémas spatiaux : des zones très géodiverses peuvent être peu fonctionnelles et vice-versa.

Globalement, les résultats mettent en évidence les points suivants :

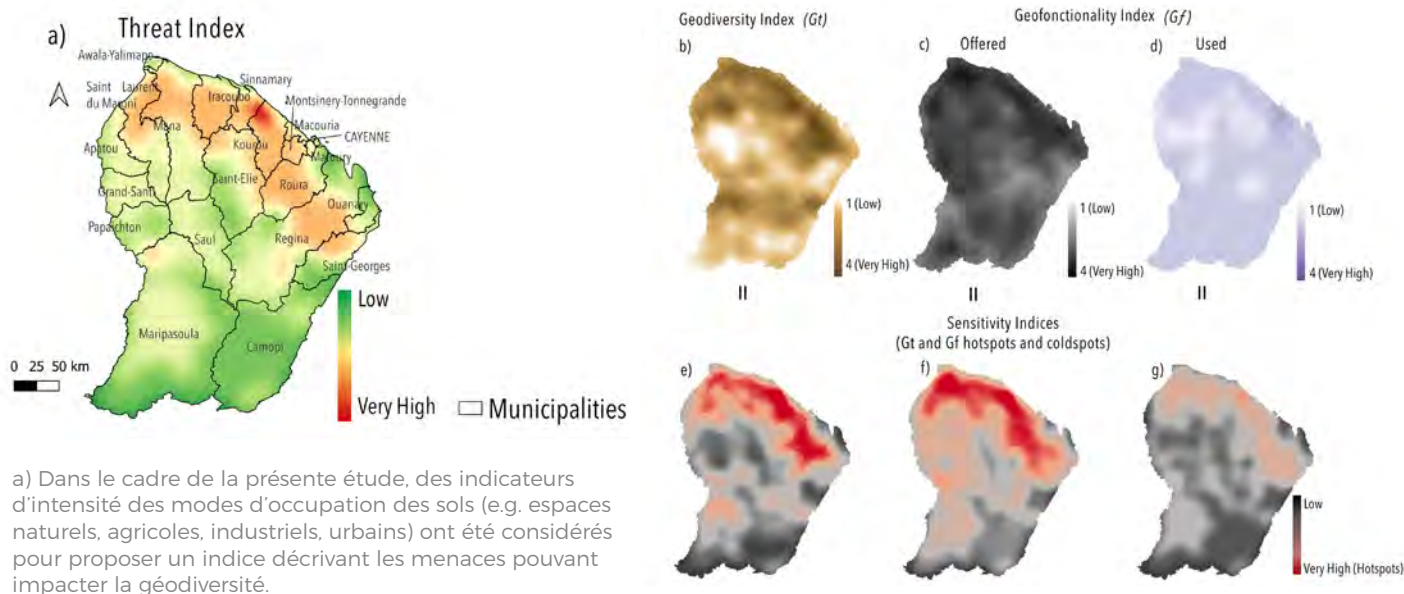
- certains services semblent généralement utilisés - en termes d'exploitation, de gestion ou de stratégies de conservation - par rapport à leur offre. Par exemple, l'exploitation de nombreux gisements aurifères, la conservation de multiples habitats naturels, ou l'accès au géo-patrimoine ;
- certains services sont principalement sous-utilisés - ce qui n'implique pas une nécessité d'utilisation (tels que les aires géologiques favorables, la qualité des eaux de surface, la masse d'eau souterraine en surface, et les zones sujettes à l'engorgement)
- des utilisations de certains services globalement durables - par rapport à leur offre - avec des sur-utilisations potentielles des ressources (gisements, habitats naturels).

2 - Évaluation et cartographie des GES sélectionnés



Évaluation et cartographie des GES sélectionnés dans leurs dimensions offertes (a-h) et utilisées (i-p). h et p sont, respectivement, la carte multiservice offerte et la carte multiservice utilisée.

3 - Vers un indice des menaces impactant la géodiversité



Afin de mieux accompagner la prise de décision par les autorités territoriales, ces cartes de services peuvent être combinées à la carte représentant l'intensité des activités humaines en Guyane. L'intensité de ces activités peut être en effet un indicateur des pressions exercées sur la géodiversité et ses fonctions. Cette combinaison a permis ainsi d'obtenir des « points chauds » (Fig. 3) de géodiversité et de géofonctionnalité, c'est-à-dire des zones à la fois très géodiverses ou géofonctionnelles et très menacées. Il apparaît que les niveaux de menace les plus élevés se concentrent le long des zones côtières où se trouvent la plupart des établissements et des activités humaines.

En conclusion

L'évaluation de la géodiversité se traduit souvent par la mesure de l'hétérogénéité des caractéristiques abiotiques du paysage, et elle est généralement influencée par leur géométrie spatiale et leur distribution dans une zone donnée. Le passage à une dimension fonctionnelle est contrainte par des manques de données géoscientifiques mais elle est essentielle pour améliorer concrètement les stratégies de planification car elle permet de comprendre les relations complexes entre les entités liées à la géo-

diversité et leurs fonctionnements, besoins et utilisations. Comme le montre l'étude d'O. Scammacca, la géodiversité et la géofonctionnalité ne suivent pas toujours les mêmes schémas spatiaux et doivent donc être prises en compte dans les tâches de planification. **La cartographie des points chauds**, qui met en évidence les zones prioritaires pour les planificateurs, pourrait permettre d'améliorer cette prise en compte.

En Guyane française, la gestion des services écosystémiques semble conduire à une distinction claire entre deux zones. La première est constituée des zones littorales et, dans certains cas, fluviales, les plus habitées, où se situent la plupart des besoins et des demandes en SE, mais aussi où les niveaux de géodiversité et de biodiversité semblent plus élevés, abritant des paysages dynamiques et fragiles (par exemple, les mangroves, les zones humides). La deuxième zone englobe la plupart des régions intérieures du territoire où la densité humaine est très faible et où les stratégies de protection de l'habitat dominant, parfois en contraste avec des activités légales ou illégales dispersées telles que l'exploitation informelle de l'or.

La planification du «paysage» - plutôt que de l'utilisation des terres - implique une vision holistique et

métabolique de la diversité des écosystèmes, dans ses dimensions biotiques et abiotiques, et permet de comprendre les relations entre la biodiversité, la géodiversité et le fonctionnement et les besoins socio-écologiques. La géodiversité et la biodiversité sont considérées comme des concepts égaux et liés.

SOURCES :

- Geodiversity Assessment of French Guiana: Challenges and Implications for Sustainable Land Planning. O. Scammacca, F. Bétard, G. Aertgeerts, A. Heuret, N. Fermet-Quinet, D. Montagne, *Geoheritage* 14, 83 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00716-6>
- Évaluation de la géodiversité en Guyane française : Défis et implications pour l'aménagement durable du territoire.
- Ottone Scammacca - François Bétard - Geoffrey Aertgeerts - Arnaud Heuret - Nina Fermet-Quinet - David Montagne - Scammacca, O., Bétard, F., Montagne, D., Rivéra, L., Biancat, C., Aertgeerts, G., Heuret, A., From Geodiversity to Geofunctionality: Quantifying Geodiversity-Based Ecosystem Services for Landscape Planning in French Guiana. *Geoheritage* 16, 3 (2024). <https://doi.org/10.1007/s12371-023-00910-0>
- Prendre en compte la "géodiversité" pour mieux gérer nos territoires, O. Scammacca et F. Bétard, *The Conversation* <https://theconversation.com/prendre-en-compte-la-geodiversite-pour-mieux-gerer-nos-territoires-198535>

L'UNIVERSITE DE GUYANE



LA LICENCE PROFESSIONNELLE MÉTIER DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FORÊT, PARCOURS VALORISATION DES RESSOURCES DU SOUS SOL (LP RNF-VALORESS)

La Licence Professionnelle Métiers des Ressources Naturelles et de la Forêt (LP RNF), Spécialité VALORISATION des RESSOURCES du Sous-Sol (VALORESS), forme des techniciens supérieurs qui se destinent à répondre aux besoins de l'industrie et de la société en termes de valorisation et de gestion durable des ressources minérales (industries extractives de la mine et des carrières), et notamment de l'exploitation aurifère.

Bénéficiant d'une collaboration étroite avec la filière minière guyanaise, les étudiants sont formés à la géologie appliquée à l'exploration et à l'exploitation des ressources du sous-sol, à la géologie de l'environnement minier en Guyane, au suivi et à la réhabilitation des sites en milieu intertropical.

Les objectifs de la formation sont :

- Transmettre des savoirs scientifiques et techniques permettant aux étudiants d'acquérir un approfondissement de leur connaissances et compétences sur des métiers précis ou de développer une seconde compétence.
- Favoriser l'accès à l'emploi par l'interaction avec les professionnels et l'expérience dans le monde du travail (projets tuteurés, stages).
- Être en lien avec les professionnels pour faciliter l'insertion dans le monde du travail.

La LP RNF-VALORESS forme des professionnels de terrain, capables de décrire les caractéristiques du sous-sol, d'organiser, d'administrer et de contrôler un chantier de recherche, d'études ou d'exploitation minières. À ce titre, la pratique de terrain occupe une place de premier rang dans la pédagogie mise en œuvre, avec un total de plus de 60 demi-journées

dédiées dont 2 camps de terrain d'une semaine chacun (initiation à la cartographie et camp sur site minier).

A l'issue de la formation, les étudiants devront être capable de :

- Suivre des protocoles scientifiques en laboratoire ou sur le terrain.
- Analyser, interpréter des résultats scientifiques et donner des pistes de réflexion.
- Maîtriser les outils, techniques et procédés de traitement permettant de comprendre et d'analyser les informations géographiques, cartographiques ou satellitaires.



<https://www.youtube.com/watch?v=TdGIImS6qo>





Les compétences visées sont disciplinaires et transversales :

- Collecte, description et traitement de données géologiques, géotechniques, topographiques et environnementales et analyse de leur fiabilité.
- Construction et mise à jour de documents de synthèse (cartes, SIG, croquis, bases de données) incluant la maîtrise des outils numériques.
- Maîtrise des techniques de prospection de surface et de sous-sol.
- Accompagnement du suivi des chantiers d'exploration et d'exploitation.
- Connaissance des normes réglementaires (environnement, droit minier, sécurité au travail) et de leur application.
- Coordination de la réhabilitation et de la revitalisation des sites.
- Participer à des conférences et effectuer des recherches bibliographiques afférentes à des problématiques techniques en liens avec la géologie, la prospection, l'exploitation minière et l'environnement.
- Rédiger et soutenir un rapport de fin de stage.
- Lire, comprendre, rédiger et s'exprimer en anglais.

Un stage obligatoire de 12 semaines en entreprise, association, collectivité... est proposé aux étudiants en concertation avec les professionnels. Chaque étudiant est encadré par un maître de stage de l'entreprise et est suivi par un responsable enseignant. Le stage donne lieu à la rédaction d'un mémoire et à une soutenance devant un jury.

Les débouchés professionnels sont divers : prospecteur minier, technicien géologue de terrain, technicien géologue de bureau d'étude, technicien géologue de laboratoire, technicien environnement. Les secteurs d'activités sont les mines, les carrières ou les bureaux d'études.

Pour plus d'information :

- La page officielle sur le site de l'UG : <https://www.univ-guyane.fr/choisir-sa-formation/dfr-sciences-et-technologies/lp-metiers-des-ressources-naturelles-et-de-la-foret-valoress/>
- Un « zoom » sur la formation, toujours sur le site de l'UG : <https://www.univ-guyane.fr/actualites/2017/05/zoom-sur-la-licence-pro-rnf-valorisation-des-ressources-du-sous-sol>



FAITS & CHIFFRES

L'HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES (HDR) A L'UNIVERSITE DE GUYANE DE 2016 A 2023

Yves Jamont Junior DUPLAN, Responsable de l'Observatoire de la Vie Etudiante, Enquêtes et Statistiques (OVEES), Chercheur associé à l'UR 7485 MINEA

La reconnaissance du doctorat délivré par les universités est bien établie, mais l'Habilitation à Diriger des Recherches (HDR) demeure souvent méconnue. Pourtant, instituée par la loi Savary en 1984, c'est le titre universitaire le plus élevé en France.

L'obtention d'une HDR est une condition nécessaire pour assurer la direction d'une thèse, pour siéger comme rapporteur de thèse ou pour postuler au professorat des universités.

Au cours des dix dernières années, le nombre d'HDR délivrés par l'Université de Guyane n'a cessé de croître. Entre 2016 et 2023, plus de 25 soutenances d'HDR ont eu lieu, soit en moyenne 3 soutenances par an (Fig.1). Une dizaine de spécialités sont concernées (voir la liste ci-après), relevant de domaines scientifiques variés tels que, la biologie, la médecine et la santé, les sciences pour l'ingénieur, la chimie, les sciences agronomiques et écologiques, les sciences de l'univers, de la terre et l'espace, les sciences humaines et les humanités. Il n'en demeure pas moins que la spécialité la plus fréquemment représentée est « recherche clinique, innovation technologique, santé publique » (Fig. 2) qui appartient au domaine de la biologie, médecine et santé. Cette spécialité représente à elle seule 48% des soutenances d'HDR.

Par ailleurs, le laboratoire Ecosystèmes Amazoniens et Pathologie Tropicale (EPaT), désormais connu sous le nom de Tropical Biome and Immuno Physiopathology

(TBIP UMR CIIL) se distingue comme étant le plus productif en soutenances d'HDR, en en enregistrant 36% depuis 2016, suivi de l'Unité Mixte de Recherche EcoFog (Ecologie des Forêts de Guyane) et de l'Institut Pasteur de la Guyane(IPG) avec respectivement 20% et 16% des soutenances (Fig.3).

Figure 1.
Nombre de soutenances d'HDR par domaine scientifique

Domaine scientifique	Soutenances
Chimie	1
Sciences de la terre et de l'univers, espace	2
Sciences humaines et humanités	1
Sciences juridiques et politiques	1
Sciences agronomiques et écologiques	2
Sciences pour l'ingénieur	3
Biologie, médecine et santé	15
Total	25

FAITS & CHIFFRES

L'évolution des soutenances d'HDR témoigne d'une prédominance du domaine de la biologie, médecine et santé dans la recherche scientifique à l'Université de Guyane. Plus particulièrement, il conviendrait d'y voir une certaine performance, du moins une certaine spécialisation en biologie et écologie.

Liste des spécialités

AMCB	Aspects moléculaires et cellulaires de la biologie
BEPE	Biologie de l'environnement, des populations, écologie
CSN	Chimie des substances naturelles
DP	Droit Public
GC	Génie civil
GE	Génie électrique
PBIOP	Physiologie et biologie des interactions organismes-populations
RCITSP	Recherche clinique, innovation technologique, santé publique
SLLPG	Sciences du langage : linguistique et phonétique générale
STU	Sciences de la terre et de l'univers
SVS	Sciences de la vie et de la santé

Note.- Les données analysées proviennent de la Direction de l'international, de la Recherche de la Valorisation et des Etudes Doctorales (DIRVED) de l'Université de Guyane.

Figure 2. Nombre de soutenances d'HDR par spécialité

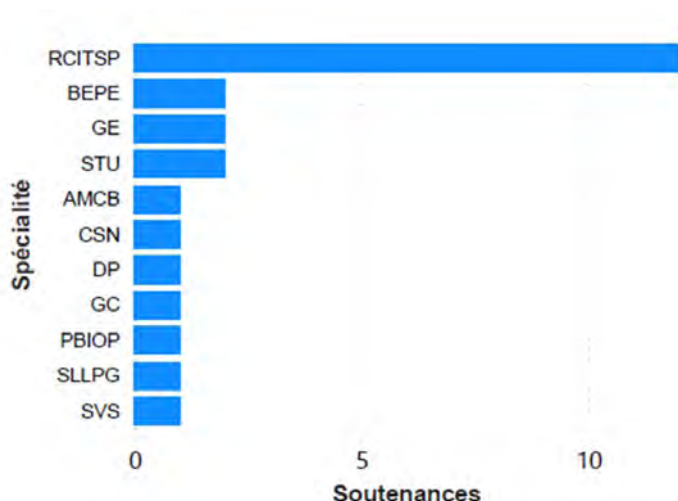
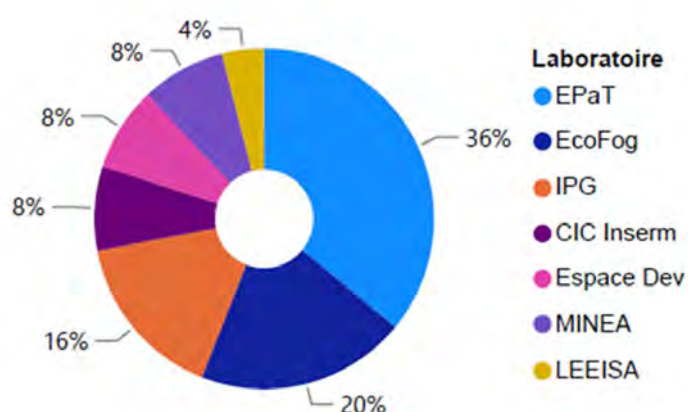


Figure 3. Répartition des soutenances d'HDR par laboratoire de recherche



LES PUBLICATIONS DE LA FONDATION

Les Cahiers de l'Adaptation

Afin de sensibiliser au besoin de s'adapter pour réduire notre vulnérabilité, à la nécessité de protection des populations et des territoires, à la responsabilité collective impliquée, mais aussi à l'opportunité économique que présente la transition vers une économie plus sobre en carbone, la Fondation de l'Université de Guyane lance une nouvelle publication consacrée à l'adaptation au changement climatique sur le plateau des Guyanes.

Les Cahiers de l'Adaptation se concentrent sur les dernières avancées scientifiques dans les filières économiques du bois, des éco-matériaux, de la pêche, des énergies renouvelables et de l'agriculture, ainsi que sur les initiatives et les projets innovants qui sont mis en place pour lutter contre ce phénomène. La parole est donnée non seulement aux chercheurs, mais aussi aux usagers de ces techniques.

Publiés sous format numérique, en français et anglais, Les Cahiers de l'adaptation sont accessibles sur la plateforme Calameo à partir du site de la Fondation :

 <https://www.calameo.com/books/00682196973e78c1a8cd0>



L'UNIVERSITÉ DE GUYANE EN CHIFFRE



74

enseignants/
lecturers



64

chercheurs/
researchers et
70 doctorants/
doctoral (PhD)
students
(2022/2023)



4 480

étudiants/
students



135

personnels
administratifs/
administrative
employees



2

Campus/
campuses,
Cayenne
et Kourou
(Bois Chaudat)



4

grands pôles
de recherches
centrés sur les
problématiques
amazoniennes



Guyane Université

fondation

Campus Troubiran - BP 20792
97336 Cayenne Cedex

www.univ-guyane/fondation.fr
@ : fondation@univ-guyane.fr