

## I. L'offre de données

---

### L'offre de données en Guyane et le potentiel des données lidar pour la caractérisation des milieux aquatiques

S. Linarès

DEAL Guyane Service Planification, Connaissance, Évaluation

Le développement de la télédétection ne s'appuie pas uniquement sur les données satellitaires. Le lidar aéroporté représente un potentiel important pour caractériser les milieux naturels dans les trois dimensions spatiales mais aussi temporelle. Plus particulièrement dans les milieux tropicaux forestiers, le lidar est une des rares technologies permettant d'obtenir une image du sol et du sursol des différentes strates de végétation.

La technologie lidar est développée en Guyane depuis la fin des années 90 grâce à des initiatives privées, et l'offre de services s'est progressivement étoffée. Initialement les données lidar ont été principalement utilisées pour répondre ponctuellement à des besoins d'aménagement, généralement par des restitutions sous la forme de plan topographique.

La donnée lidar est aujourd'hui un support majeur pour les politiques environnementales nationales, les risques naturels et la gestion forestière plus spécifiquement. Depuis les années 2010, les institutions locales se sont investies fortement pour développer l'offre et les services autour du lidar. Plusieurs grands projets ont été lancés permettant de couvrir de vastes secteurs, représentant un changement d'échelle majeur dans l'utilisation de cette donnée.

Cette démarche s'inscrit aussi dans le contexte d'ouverture des données publiques de la directive INSPIRE. À travers les portails de données géographiques locaux, les données sont désormais cataloguées pour faciliter la recherche des données disponibles et encourager leur réutilisation. Le portail GéoGuyane propose ainsi un bilan des différents levés topographiques, lidar ou autres réalisés en Guyane depuis les années 90.

En 2017, plusieurs grands chantiers ont été réalisés tant sur le littoral guyanais que dans l'intérieur, représentant plus de 4000 km<sup>2</sup> couverts en quatre ans. La DEAL Guyane a cherché à répondre aux besoins en termes de modélisation hydrographique sur les zones à enjeux, et en termes d'inondation que ce soit sur le littoral ou pour les stations hydrométriques de l'intérieur. L'ONF a réalisé plusieurs acquisitions sur le domaine forestier principalement pour la gestion forestière. La CTG et l'EPFA Guyane ont réalisé respectivement la couverture des deux pôles urbains guyanais que sont la communauté d'agglomération du centre littoral et sur Saint Laurent du Maroni. Sur certains sites on dispose même de plusieurs couvertures temporelles. Ces acquisitions ont été réalisées grâce à une montée en compétence de la commande publique. Les appels d'offres prennent en compte des spécifications de plus en plus poussées pour répondre à des besoins plus précis et s'accompagnent de phases de recette plus exigeantes, contribuant à améliorer la qualité des données produites sur la Guyane.

Les données disponibles sont restituées tant sous la forme de modèles numériques qu'au format natif .las, permettant ainsi de réaliser des retraitements. En interne dans les services, le lidar reste relativement sous exploité en regard de la richesse d'information présente. Il reste à développer des compétences locales et des outils faciles d'accès pour que les utilisateurs locaux puissent exploiter plus à fond les modèles numériques disponibles. Concernant le domaine de l'eau, le lidar reste principalement utilisé pour réaliser des modélisations hydrographiques. On peut cependant envisager d'autres exploitations concrètes de ces données pour améliorer la caractérisation de la morphologie des ressources en eaux : réseau hydrographique, zones humides. Ces axes de recherches sont à développer rapidement au profit de l'ensemble de la communauté d'utilisateurs, tant des gestionnaires que de la recherche.

## II. L'application à la surveillance des milieux aquatiques :

---

### Eau littorale :

### Apports de la télédétection spatiale « couleur de l'eau » pour l'étude de la variabilité biogéochimique des eaux côtières guyanaises

V. Vantrepotte\*, N. Abascal Zorrilla\*, H. Loisel\*\*, X. Mériaux\*\*, D. Dessailly\*\*

\* USR LEEISA, Cayenne \*\* UMR LOG, Wimereux

Les données de télédétection spatiale couleur de l'eau permettent maintenant l'estimation d'une série de variables biogéochimiques. De part leur couverture et résolution spatiale, leur fréquence temporelle et la longueur de leur séries de mesures, ces données représentent une source d'information d'intérêt pour le suivi de la variabilité biogéochimique du milieu côtier de Guyane.

Une utilisation optimale de ces données nécessite cependant d'utiliser des algorithmes d'inversion du signal satellitaire (la réflectance marine) adaptés à la complexité optique des eaux côtières Guyanaises, les algorithmes standards étant susceptibles d'entraîner de larges biais dans l'estimation des différentes variables d'intérêt pour caractériser la dynamique biogéochimique de ces écosystèmes (e.g. Chlorophylle a, matières en suspension, matière organique dissoutes).

Différents récents projets de recherche (e.g. ANR GlobCoast, TOSCA CNES MODOC, HARDECOT, Peps CNRS MANCOCO) ont permis au cours de ces dernières, via différentes campagnes de terrain qui ont consisté en l'acquisition d'un set complet de mesures bio-optiques, de développer des modèles adaptés aux eaux Guyanaises pour estimer les paramètres classiquement obtenus via la couleur de l'eau, mais également pour dériver des paramètres plus novateurs (carbone organique). Outre des développements méthodologiques dédiés à l'observation spatiale à moyenne résolution (e.g. MERIS, MODIS, Sentinel-3 pixel 300 m-1km) des efforts ont été également développés pour permettre une exploitation du potentiel maintenant offert par les satellites à haute résolution spatiale (LandSat-8, Sentinel 2) pour décrire la distribution des précédents paramètres biogéochimiques de manière fine dans la bande la plus côtière des eaux de Guyane. Une illustration des produits couleur de l'eau disponibles en Guyane et des informations potentiellement exploitables via l'outil télédétection sera dans ce cadre présentée.

Les données couleur de l'eau ainsi générées pour les différentes archives disponibles sont analysées via des outils statistiques adaptés. Un premier type d'analyse consiste à exploiter les séries temporelles couleur de l'eau (décomposition de séries temporelles Census X11, analyse de tendance) pour caractériser les schémas de variation temporelle (variabilité sub-annuelle, annuelle, interannuelle) des différents paramètres biogéochimiques d'intérêt et ainsi suivre la dynamique des eaux côtières de Guyane.

Une autre approche statistique développée consiste à classer les masses eaux côtières en fonction de leurs caractéristiques optiques afin de synthétiser la variabilité spatiale et temporelle de la nature biogéochimique des eaux Guyanaises. Des illustrations de ce type d'applications seront également proposées.

## **Suivi des côtes sablo-vaseuses de Guyane par photogrammétrie aérienne**

**Morgane JOLIVET, Teddy BERNARD, Sylvain MORVAN, Tanguy MAURY et Antoine GARDEL**

USR LEEISA, Cayenne

Les côtes guyanaises sont parmi les plus mobiles au monde. Ses côtes sableuses hébergent les principales poches urbaines du territoire Guyanais, entraînant des enjeux de plus en plus forts face aux phénomènes d'érosion naturelle. Une vraie nécessité se fait aujourd'hui sentir afin d'acquérir une meilleure compréhension du fonctionnement morphologique de ces plages sablo-vaseuses, et anticiper les changements rapides et spectaculaires de ce milieu. A ces fins, il est nécessaire d'avoir recours à un outil optimisé, permettant un suivi régulier et de haute résolution. Depuis quelques années, la recherche sur le suivi du littoral a vu émerger la photogrammétrie aéroportée comme nouvelle technique performante.

Elle semble désormais s'imposer comme un outil de suivi morphologique incontournable. Cette technique a connu de réels progrès dans son adaptation aux milieux littoraux, faiblement contrastés et très homogènes. La photogrammétrie, parmi l'éventail d'outils de mesure morphologique, rivalise désormais en précision avec le lidar pour un coût et une mise en œuvre bien plus abordable. Depuis peu, l'équipe du LEEISA a développé cet outil pour effectuer un monitoring des plages sableuses de Guyane, dans le cadre d'un sujet de thèse en cours (Morgane JOLIVET, Morphodynamisme des plages sablo-vaseuses de Guyane). Ce type de protocole avait déjà été initié et fait ses preuves dans l'étude des plages de Cayenne et Remire-Montjoly (Brunier et al., 2016). L'objectif de ce développement est de réaliser des levés à échelle bi-saisonnière (tous les 3 mois) ainsi que des études plus ponctuelles de micro-topographie à petite échelle. Les premiers levés débutés en Avril 2017 ont permis d'améliorer la mise en œuvre sur le terrain et dans les airs, ainsi que dans l'optimisation du post-traitement et la précision des résultats. Ces premiers levés ont abouti à des photographies aériennes d'une résolution inférieure à 3cm au sol. Après post-traitement, les reconstructions de surfaces (MNS - Modèle Numérique de Surface) garantissent une précision autour de 5cm. Les premières tendances observées à échelle saisonnière montrent déjà une érosion concentrée sur les talus de plage, attaqués par les marées les plus hautes.

Ces analyses attestent aussi du fort hydrodynamisme de ce milieu, avec des flèches sableuses et dunes de courants dont on observe la forte mobilité. Ces observations sont à compléter et enrichir avec la reconduction de ces levés. D'après ces premiers tests, de nouvelles perspectives méthodologiques sont envisageables, comme le traitement radiométrique des images pour la correction de la réflectance, ou bien encore l'utilisation de classifications spectrales pour s'affranchir de la végétation rampante.

Ce travail permettra d'améliorer les marges d'erreurs en fonction du type de surface (sable humide, talus et zone de végétation clairsemée). L'acquisition d'un drone ouvre aussi de nouvelles perspectives d'analyses en micro-topographie très haute résolution et analyse à échelle événementielle.

## **Images satellite dans l'aide à la définition des stratégies DCE (cas de la Guyane)**

**L.Lampert**

Ifremer

En Guyane, l'absence de réseaux marins préexistants, ne permet pas d'avoir une vision de l'évolution saisonnière et pluriannuelle des paramètres tels que la température de surface de la mer (SST), la biomasse chlorophyllienne (CHLA), ou la turbidité (TURBI) sur la masse d'eau côtière guyanaise (MEC).

Pour répondre aux questions telles que : La MEC guyanaise est-elle homogène, ou faut-il la sectoriser ? Les paramètres étudiés sont-ils pertinents ? Quelle serait la meilleure stratégie de suivi (points, fréquence) ? Cette connaissance, indispensable pour le choix des stratégies de surveillance liées à la DCE, a été comblée par une série d'études qui abordent l'évolution sur plus de 10 ans, de SST, CHLA et TURBI.

Pour la SST nous avons utilisé des sources telles que MODIS, GHRSSST, ODYSSEA, OSTIA. Concernant les paramètres CHLA et TURBI, il s'agit essentiellement de MODIS (1 km), MERIS (1 km et 300 m) et ponctuellement VIIRS (250 m).

Des images journalières ont été créées pour les trois paramètres. Les images de CHLA et TURBI ont été récupérées au niveau L2 et traitées avec l'algorithme IFREMER OC5 (Gohin et al., 2002, Gohin et al., 2010a, Gohin et al. 2010b). A partir de ces dernières, des répertoires contenant des moyennes mensuelles, annuelles, pluriannuelles, des climatologies et des cartes du P90 ont été ajoutées, aux formats TIF, NetCDF et JPG. Ces images ont constitué la base de travail à partir de laquelle les études ont été réalisées (>350

Go et > 150 000 fichiers). Tous les post-traitements ont été réalisés avec les logiciels libres « R » et « QGIS ».

Ces études ont permis de confirmer l'homogénéité de la MEC guyanaise sur ces trois paramètres, ainsi que définir la meilleure stratégie d'échantillonnage (4 points, 4 fois par an). Les valeurs de CHLA et TURBI obtenues par satellite et celles enregistrées depuis 2013 lors des suivis DCE restent cohérents. Un nouvel algorithme adapté aux fortes turbidités a été testé et comparé avec ceux existants avec succès (OC5-HT). La haute résolution (MERIS 300 m) a donné des résultats prometteurs dans les principales embouchures (MET). Les grilles de niveaux en CHLA de métropole pourraient être utilisées en Guyane, ce qui n'est pas le cas pour la turbidité. Nous avons cependant un doute sur la pertinence de ce paramètre DCE en Guyane.

Les principaux problèmes rencontrés concernent les masques appliqués par la NASA et l'ESA (terre et nuages) ne permettant pas l'accès aux pixels les plus côtiers. Les masques de l'ESA semblent être plus adaptés aux zones côtières. Les mesures de terrain sont plus précises ponctuellement, mais les intégrations des valeurs satellite permettent une couverture de toute la zone et un taux d'échantillonnage supérieur de plusieurs ordres de grandeur.

Un démonstrateur web a été créé pour présenter les possibilités d'un suivi des paramètres satellite en temps réel, avec création des produits DCE (P90, moyennes, climatologies).

## **Cartographie et élaboration de cartes de sensibilité environnementale aux pollutions hydrocarbures (CARTAS SAO) sur la façade maritime de l'embouchure de l'Amazone**

**Valdenira Ferreira dos Santos**

IEPA/NuPAq/LASA UNIFAP/PPGDR Macapá-AP-Brazil

L'Atlas de sensibilité environnementale aux pollutions hydrocarbures de la façade maritime de l'embouchure de l'Amazone (BMFZA) est une publication visant à soutenir la prise de décisions concernant la planification des mesures d'urgence et de contingence dans le cas d'un potentiel déversement de pétrole dans la région de l'embouchure de l'Amazone.

L'Atlas synthétise les productions du projet de cartographie et de développement de cartes d'indices de sensibilité environnementale aux pollutions pétrolières dans l'embouchure de l'Amazone (CARTAS SAO FZA). Ce projet est coordonné par l'IEPA (Institut d'Études et de Recherche de l'Amapa), le Musée de l'Amazonie (MPEG) ainsi que par l'Université Fédérale de Pará (UFPA), et est financé par le Ministère de l'Environnement (MMA) en partenariat avec le Conseil National de Développement Scientifique et Technologique (CNPq).

L'Atlas a été réalisé conformément aux spécifications et normes techniques pour la création de cartes de sensibilité environnementales aux écoulements hydrocarbures, publiées par le Ministère de l'Environnement (MMA) en 2004. D'autres atlas cartographiques de bassins sédimentaires marins ont également été étudiés. L'Atlas est structuré en huit chapitres. Les trois premiers traitent des questions liées aux problématiques, objectifs et méthodologie et sont semblables aux chapitres des autres Atlas des façades maritimes déjà cartographiées, avec des mises à jours des chiffres sur la zone BMFZA. Les chapitres quatre à huit sont spécifiques à la zone BMFZA. Le chapitre quatre caractérise les milieux sensibles aux hydrocarbures de la zone, le chapitre cinq développe les indices de sensibilité et le chapitre six présente les cartes stratégiques, tactiques et opérationnelles. Les cartes tactiques et stratégiques ont été réduites au format A3 dans l'Atlas, tandis que les cartes opérationnelles sont à échelle réelle. Les ressources socio-économiques et biologiques de la zone BMFZA sont listées au chapitre sept. Les références bibliographiques utilisées pour la réalisation de l'Atlas figurent au chapitre huit.

L'Atlas comprend les cartes suivantes au format original :

- Une carte SAO (*Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo*) de niveau stratégique, échelle 1:750000 au format A0.
- Dix cartes SAO de niveau tactique, échelle 1 : 150000 au format A1.
- Quinze cartes SAO de niveau opérationnel, échelle 1:25000 pour les zones présentant un plus grand risque/sensibilité aux marées noires: ports de Santana et Macapa (État de l'Amapa), Port de Belém et complexe de Vila de Conde (État de Pará). Ces cartes sont au format A3 dans l'Atlas.

Les annexes du document comportent un DVD avec l'Atlas en format numérique et les cartes référencées. Cinq cents exemplaires ont été imprimés en portugais et une version anglaise sera disponible au format numérique. La version numérique du document peut être consultée à cette adresse : <http://www.iepa.ap.gov.br/saofza>. Les jeux de données géographiques du projet seront également disponibles prochainement.

### **Eau continentale :**

## **Suivi de la turbidité des rivières de Guyane par télédétection multispectrale**

**Dr. ROUZEAU Olivier, o.rouzeau@brgm.fr, Géologue Chef de projet et spécialiste en télédétection, BRGM (Orléans)**

VERNEYRE Laure, l.verneyre@brgm.fr, Directrice régionale du BRGM (Cayenne)

La turbidité est l'un des principaux paramètres responsables de la dégradation de l'état chimique et écologique des cours d'eau de Guyane. Depuis 2013, un projet mené par le BRGM, avec le soutien de la DEAL Guyane et la participation de tous les acteurs concernés par le suivi de la turbidité (en particulier, L'Institut de Recherche pour le Développement guyanais et le Parc Amazonien Guyanais), a permis de rassembler pour la première fois toutes les données de turbidité acquises en Guyane depuis 1988.

L'examen de ces données montre que, malgré l'importance des efforts de suivi, certains secteurs restent trop peu surveillés car difficiles d'accès et entraînent des surcoûts financiers importants. C'est dans ce contexte, et malgré des conditions d'enneigement parfois difficiles du territoire guyanais, que le BRGM a montré qu'il est possible de transformer la réflectance enregistrée par différents satellites multispectraux en une valeur de turbidité (exprimée en NTU) mesurée en rivière. Ce travail a été dans un premier temps réalisé avec des données issues des satellites SPOT (5, 6 et 7) et LANDSAT (7 et 8) qui demandaient un prétraitement manuel des conditions atmosphériques et d'ensoleillement pour les rendre comparables dans le temps. Aujourd'hui, les données des satellites SENTINEL 2, fournies déjà avec ces corrections, semble être adaptées pour ce type d'approche.

Les lois de transformation linéaires simples mises au point par le BRGM, obtenues à partir de mesures de turbidité mesurées en rivières synchrones ou quasi-synchrone avec le passage des différents satellites, sont maintenant opérationnelles sur des cours d'eau de largeur égale ou supérieure à 50 m (largeur fonction de la résolution au sol des bandes spectrales utilisées, de la nature des berges). Les lois de transformation obtenues privilégient l'utilisation de la bande rouge.

En 2018, un réseau de stations virtuelles à mesurer par télédétection (stations suivies dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau et d'autres par le Parc Amazonien Guyanais) sera mis en place afin de suivre l'évolution périodique des valeurs de turbidité et ainsi permettre de définir des niveaux d'alerte.

## **Suivi de la turbidité et des MES des cours d'eau par télédétection (MODIS) et in situ dans trois fleuves du bouclier des Guyanes : l'Orénoque, le Maroni et l'Oyapock**

M.Gallay

IRD/GET (thèse de doctorat)

À l'échelle globale, la qualité et les quantités d'eaux ont fortement diminué ces dernières années. Sa dégradation a des conséquences sur l'agriculture, la santé, l'environnement et l'économie des territoires et est aujourd'hui au centre des préoccupations sociétales. Les objectifs de la présente thèse sont pour trois fleuves localisés dans le Bouclier des Guyanes, au nord de l'Amérique du Sud (l'Orénoque, le Maroni, l'Oyapock) : (i) d'utiliser et d'adapter des outils novateurs de télédétection pour suivre et quantifier, sur du long terme, leurs charges sédimentaires en suspension, (ii) d'évaluer l'existence de tendances spatio-temporelles, ainsi que de ruptures dans les chroniques de données, (iii) de quantifier la part organique et minérale de ces charges, (iv) d'apprécier le rôle des facteurs naturels (débits et précipitations) et anthropiques (surfaces urbaines, agricoles et minières) sur les tendances observées et enfin, (v) de discuter de seuils de charges pour le suivi de la qualité de l'eau. Les résultats présentés aujourd'hui concernent le suivi des MES par télédétection avec les capteurs MODIS. Ils ont montré qu'il est possible de suivre les concentrations de matières en suspension pour les fleuves Orénoque et Maroni avec une erreur relative de 32 et 25%. Sur la période 2001-2016-, des tendances spatio-temporelles régulières ont été observées pour l'Orénoque, alors qu'elles sont en augmentation pour le Maroni avec une rupture en 2009 et en diminution pour l'Oyapock depuis 2008 (données in situ). Un lien fort avec les surfaces minières et les précipitations est observé pour le Maroni alors que pour l'Oyapock les tendances sont liées aux débits.

## **Catalogue des habitats forestiers, cartographie des forêts marécageuses : application du modèle HAND à l'échelle de la Guyane**

Stéphane Guitet (IRD)

Caroline Bedeau (ONF)

Olivier Bruneaux(ONF)

Pierre Joubert (PAG)

La qualité du drainage des sols est un des principaux paramètres écologiques influençant le fonctionnement forestier. Cela est particulièrement vrai en Guyane où il a été démontré que les forêts marécageuses de bas-fond présentaient un cortège floristique, une dynamique et une structure forestière bien différente des forêts de terre ferme.

Afin de cartographier les forêts marécageuses, le modèle Height Above the Nearest Drainage (HAND) développé en Amazonie brésilienne a été testé, adapté et appliqué à la Guyane. Le modèle a été calibré à partir de plus de 3 000 observations de terrain réparties sur l'ensemble du territoire et collectées de 2006 à 2014 selon un protocole standardisé. La méthode a été appliquée sur le Modèle Numérique de Terrain fourni par le SRTM à 30m de résolution en bande C.

Les statistiques de ROC révèlent que 90% de la surface prédite en zone humide est réellement humide (10% de commissions) et qu'à l'inverse 20 à 25 % des zones réellement humides échappent à ce modèle (omissions). Ces écarts s'expliquent en partie par l'imprécision du modèle numérique de terrain utilisé, notamment sur la zone côtière où il présente un bruit artefactuel important (routes, changement de couverture végétale, etc). Le modèle se révèle plus performant en zone forestière où il est notamment utilisé pour guider les opérations terrains (PAG, ONF) ou pour prédire le niveau de biomasse forestière.

L'application du même modèle sur du MNT LiDAR plus précis, ou sur d'autres couvertures radar plus à même de pénétrer la couverture forestière (bande P) pourrait permettre d'affiner et de compléter le modèle notamment pour la bande littorale.