



PROGYSAT

Projet de coopération Régionale d'Observation des GuYanes par SATellite

Descriptif Projet

Porteur :

IRD - Centre de Guyane

- version 2019 -

PROGYSAT

Projet de coopération Régionale d'Observation des GuYanes par SATellite

- SOMMAIRE -

- SOMMAIRE -	2
Contexte général	3
Acquis et positionnement	4
Objectifs du Projet.....	5
Principales actions prévisionnelles PROGYSAT	7
Instruments de gouvernance et de pilotage des activités.....	10
Partenariat.....	11
AXE 01 Données et outils pour la Coopération régionale en Observation de la Terre.....	14
1.1 Consolidation des capacités régionales en Observation de la Terre	14
1.2 Alimentation d'un système d'informations et de services satellitaires dédiés à la coopération	17
1.3 Formation et support e-learning dédié à l'observation de l'environnement transfrontalier par satellite	18
Axe 01 : Résumé des activités et résultats prévisionnels	20
AXE 02 Applications thématiques et produits d'information satellitaire d'intérêt régional ...	22
Objectifs généraux.....	22
Objectifs spécifiques	23
Activités et résultats prévisionnels	24

Contexte général

Le développement harmonieux de la Guyane est pour la Collectivité un enjeu majeur de la prochaine décennie. Les zones transfrontalières et le littoral, qui représentent les principaux espaces de développement du Territoire, sont en effet marqués par des dynamiques socio-spatiales très différentes.

A la frontière avec le Suriname, les projections démographiques de la décennie à venir feront de la zone Mana-St Laurent-Apatou la sous-région la plus peuplée de Guyane, devant L'île de Cayenne. A l'ouest le fleuve Maroni, qui matérialise la frontière, est un espace d'échanges permanents, qui structurent et brassent les relations intercommunautaires. Les exigences de protection de l'environnement se confrontent à la vocation d'espace-ressource pour les populations et pour les besoins de croissance et d'aménagement de la région, à la prévention des maladies vectorielles et à la gestion raisonnée des ressources naturelles.

A l'est, face au voisin brésilien, le fleuve Oyapock partage des Parcs Nationaux et des espaces littoraux protégés de part et d'autre de la frontière. L'ouverture progressive du pont de l'Oyapock impose la poursuite du suivi de ces espaces exposés à une pression encore mal contrôlée sur les ressources forestières, aurifères ou halieutiques. Là aussi, face aux enjeux et aux besoins des populations, les gestionnaires du territoire doivent mettre en œuvre des stratégies publiques d'aménagement et de développement adaptés et durables.

Plus largement, à l'échelle du Plateau des Guyanes, les problématiques environnementales sont similaires. Le Guyana avec 75% de couverture forestière est confronté à une forte pression sur cet espace naturel. Le développement de capacités de suivi et de management du territoire est de nature à favoriser une stratégie raisonnée de développement durable de son environnement.

Dans ce contexte, la mise en place d'un suivi global de ces zones en mutation constitue un apport fondamental pour la conjugaison, au sein de politiques durables de développement à l'échelle de la Guyane, de visions économiques et de contraintes environnementales.

Acquis et positionnement

Les fortes disparités socio-économiques de part et d'autres des frontières et la continuité spatiale des écosystèmes communs au Plateau des Guyanes invitent à une coopération constante avec les pays voisins pour que des mesures de préservation des ressources naturelles ou d'aménagement des territoires soient efficacement conçues et déployées. Pour élaborer des politiques de gestion environnementale ou territoriales durables, la Guyane doit disposer d'une vision régionale des dynamiques naturelles ou anthropiques à l'œuvre. L'imagerie satellitaire et les géo-informations qui en sont extraites apportent, aux échelles spatiales et temporelles requises, la vision et des connaissances permettant la mise en place d'applications thématiques d'intérêt commun. La capacité à établir des indicateurs spatiaux et à les partager entre acteurs institutionnels du Plateau est un enjeu majeur de la politique de coopération dans la sous-région.

Le projet PROGYSAT est une proposition de réponse à cet enjeu. Elle se fonde sur la mobilisation des acquis de l'Observation de la Terre en Guyane et sur le développement de nouveaux outils issus du spatial, fabriqués par le Projet pour les besoins institutionnels du Territoire.

PROGYSAT propose d'apporter aux utilisateurs institutionnels de l'information satellitaire de Guyane et de la sous-région des avancées récentes et essentielles du secteur. En effet, le domaine a considérablement évolué au cours des 5 dernières années principalement sous l'impulsion de :

- La création et l'opération de dispositifs nationaux dédiés à l'usage et à l'appropriation de l'information satellitaire pour les applications scientifiques et institutionnelles ;
- La mise en service de nouveaux capteurs orbitaux.

Concrètement, ces avancées qui ont jusqu'à présent bénéficié essentiellement aux acteurs des territoires de la France métropolitaine permettent aujourd'hui : d'accéder à de nouvelles données ; d'accéder à de nouvelles chaînes de traitement ; d'expérimenter de nouveaux produits thématiques qualifiés pour les territoires tempérés ; d'échanger dans des forums et des enceintes dédiées ; de projeter de nouveaux traitements d'image dans des environnements informatiques

innovants et opérationnels. Les activités PROGYSAT visent l'import pour le plateau des Guyanes de certaines de ces nouvelles capacités, en lien étroit avec les besoins locaux et avec les nouvelles structures nationales. PROGYSAT est un projet articulé à l'Animation au sud de ces structures : le réseau GeoDEV du Pôle national Theia.

PROGYSAT propose un plan de travail pour que des capacités d'intérêt adaptées aux thématiques de la sous-région des Guyanes soient à nouveau rendues disponibles aux acteurs institutionnels consommateurs de données satellitaires et d'informations géo-environnementales, en appui à leurs missions et objectifs gestionnaires ou scientifiques.

Le projet vient conforter les actions de coopération internationale du dispositif SEAS Guyane, dont le plan de remise en activité, porté par la CTG avec l'appui du CNES, de l'UG et de l'IRD est à l'instruction au Pôle des Affaires Européennes de Guyane. PROGYSAT prolonge dans une dimension partenariale les acquis guyanais existants dans le domaine par : (1) de nouvelles capacités d'observation et de traitement de données ; (2) de nouvelles modalités de partage et de mutualisation de l'information ; (3) de nouvelles chaînes applicatives et produits d'intérêt ; (4) un programme dédié à l'accompagnement des communautés du Plateau des Guyanes utilisatrices d'informations satellitaires appliquées à la gestion, le suivi ou la surveillance des territoires. Partant de réalisations antérieures (PO Amazonie), le projet vise la ré-activation au sein du Plateau des Guyane d'un réseau dédié à l'utilisation des données d'observation de la Terre pour le suivi de l'état et des dynamiques de l'environnement.

Objectifs du Projet

PROGYSAT a comme principal objectif de formaliser et de mettre en fonctionnement des services d'accès, de traitement et de diffusion de géo-informations issus de l'observation de la Terre, adaptés aux missions de communautés institutionnelles de la sous-région en charge de la gestion environnementale.

Sa finalité est de concourir par les outils du spatial à une gestion raisonnée des patrimoines naturels et territoriaux en Guyane et dans les pays voisins. Les chaînes de traitement de l'information prévues sont construites à partir des avancées méthodologiques de la communauté scientifique

représentée par les institutions participant au Projet. Elles se matérialisent par des applicatifs accessibles via le web, dans les domaines de la gestion des ressources naturelles et du suivi de dynamiques territoriales transfrontalières d'intérêt pour les Autorités publiques.

Pour cela l'IRD de Guyane propose, en lien étroit avec la Collectivité de Guyane et grâce à l'implication de l'Université de Guyane, des objectifs définis en partenariat avec l'Université ANTON de KOM au Surinam, au Brésil avec l'Université Fédérale de l'Amapa (UNIFAP), l'Institut de Recherches Environnementales de l'Amapa (IEPA), et l'Institut National de Recherches Spatiales (INPE) et au Guyana avec l'Université du Guyana. Un ensemble élargi de collaborations attachées aux actions thématiques du Projet complète ce partenariat (Institut Pasteur, Agence régionale de Santé, ONF Guyane, Hôpital de Cayenne, Services de démoustication, Université de Brasilia, Embrapa, Fiocruz, Université de l'Amazonas, Université du Para, Université Rurale d'Amazonie, Commission des Forêts du Guyana, Commission des territoires et statistiques du Guyana).

Le périmètre d'intervention proposé par *PROGYSAT* se décline en 2 Axes d'opérations :

Axe 01 - Les données et outils pour la Coopération

L'Axe 01 propose l'animation et l'opération d'une coopération régionale en matière d'acquisition, de pré-traitement et de diffusion de données satellitaires. L'ensemble de ces activités seront adossées à et compléteront le dispositif SEAS.

Les jeux de données seront acquis pour la coopération régionale, et exploités d'un point de vue thématique par les activités de l'Axe 02 de *PROGYSAT*. Les images, les géo-informations issues des jeux d'imageries, ainsi que les outils de prétraitement des images seront diffusés le plus largement possible auprès des communautés institutionnelles de la sous-région consommatrices d'informations satellitaires. Un portail web compatible avec les systèmes d'informations existant permettra d'accéder aux produits et images issues du projet. Un outil d'accompagnement et de formation sera développé sous la conduite de l'Université de Guyane : module d'enseignement à distance en télédétection.

Cet axe de *PROGYSAT* sera conduit en lien étroit avec la Collectivité Territoriale, afin de garantir la cohérence avec la politique de l'Autorité en matière d'observation satellitaire du territoire et d'orientation des activités de SEAS. Les actions de support à l'intention du grand public viendront compléter la diffusion des résultats du projet.

Axe 02 - Les applications thématiques d'intérêt régional

En aval des apports de l'Axe 01 du Projet, l'Axe 02 soutient des équipes mixtes (brésiliennes et/ou guyaniennes et/ou surinamaises et/ou françaises) engagées dans le développement ou l'harmonisation d'applications thématiques de la télédétection. Elles ont pour objectifs de produire des géo-indicateurs environnementaux et territoriaux qualifiés par la recherche, destinés aux utilisateurs institutionnels de la l'information satellitaire dans la sous-région. Ces travaux se matérialiseront par des séries de produits cartographiques dans différentes thématiques et/ou par des services de traitement en ligne de données satellitaires accessibles à distance par les communautés utilisatrices de l'imagerie satellitaire.

Au final les activités menées par PROGYSAT consolideront et enrichiront la place de l'information satellitaire dans la recherche, l'enseignement et la gestion des territoires. Il s'agit par là d'améliorer, d'optimiser ou de compléter l'action publique en matière de suivi de l'environnement et des territoires dans les régions d'intérêt des Guyanes ; PROGYSAT veut, grâce à cette feuille de route, développer l'appropriation et l'usage d'outils de la télédétection par les communautés institutionnelles, et ainsi faire émerger les applications utiles à la gestion et au développement des territoires amazoniens. La Guyane grâce à SEAS a su assimiler et exploiter le potentiel majeur de l'information satellitaire dans les pratiques gestionnaires de l'environnement et des territoires ; cette exploitation sera poursuivie et amplifiée par la mise en œuvre de PROGYSAT.

Principales actions prévisionnelles PROGYSAT

L'exécution du Projet d'une durée de 24 mois reposera sur un double positionnement opérationnel :

(1) Alimenter et accompagner la structuration d'une Coopération régionale répondant aux besoins actuels des utilisateurs de l'information satellitaire dans le territoire. Cet Axe d'intervention est proposé sous l'autorité de la Collectivité Territoriale, propriétaire de la plateforme SEAS et prescripteur de ses orientations stratégiques ;

(2) Produire et diffuser, dans une démarche de co-construction entamée avec les acteurs de Guyane et les institutions de la sous-région (scientifiques et gestionnaires), des outils et produits thématiques innovants et fiables en réponse aux défis environnementaux et territoriaux du Plateau des Guyanes.

Les principaux défis de PROGYSAT seront dans ce cadre d'aboutir à des chaînes applicatives à la fois qualifiées et calibrées d'un point de vue scientifique, et simples d'accès pour les utilisateurs institutionnels de la sous-région qui en ont besoin pour remplir leurs missions de service public.

Le projet sera mis en œuvre et organisé à partir des principales étapes de mise en place d'un système d'observation de l'environnement par le spatial, de la maîtrise des jeux de données utiles à la maîtrise de référentiels communs à usage partagé, et de la maîtrise des processus de fabrication d'indicateurs à la maîtrise des outils de catalogage, référencement et diffusion des informations en partage. Ces outils de type « observatoire » accolés aux infrastructures de données spatiales, permettront l'élaboration des méthodologies de détection et d'étude des modifications environnementales à partir des outils satellitaires, ainsi que la production des géo-informations attendues.

Les grandes catégories d'actions prévisionnelles PROGYSAT sont :

- Acquisition d'imageries satellitaires et mise en œuvre d'applications de l'information satellitaire dans différents domaines thématiques utiles aux acteurs institutionnels de la sous-région ;
- Définition collégiale, entre animateurs et utilisateurs du Projet, de chaînes applicatives prioritaires à développer par le Projet à l'échelle de territoires d'intérêt dans la sous-région ;
- Production de chaînes de traitement de l'imagerie satellitaire dans les thématiques d'intérêt ;
- Production de géo-informations thématiques qualifiées par les acteurs du projet et mutualisées à l'échelle des sphères institutionnelles de la sous-région ;
- Valorisation et pérennisation des résultats par la mise en ligne des outils de production des géo-informations élaborées, grâce aux équipements et réalisations du Projet et/ou l'établissement de partenariats avec des entités publiques ou privées du domaine établies en Guyane ;

- Recensement des compétences des différents territoires dans le domaine de l'utilisation de la donnée spatiale ;
- Conduite d'un Plan de formation et d'accompagnement de communautés cibles (scientifique/gestionnaires de l'environnement et des territoires) non expertes en traitement de données satellitaires ;
- Mise en œuvre d'un module d'éducation à distance en collaboration avec l'Université de Guyane dans le domaine de la télédétection ;
- Développement de modules éducatifs et de vidéo sur les axes thématiques développés par le projet à vocation grand public;
- Introduction de champs applicatifs innovants dans le domaine de l'analyse et de l'évaluation de la sensibilité des ressources naturelles.

Les dynamiques écologiques ou anthropiques d'intérêt seront l'objet de modules applicatifs visant l'extraction et la composition d'informations utiles. Ces modules applicatifs s'inscrivent dans thématiques qui font écho aux objectifs prioritaires du PCIA.

Les applications spécifiques proposées sont au nombre de 4:

- Ressources naturelles et énergies renouvelables
- Risques de transmission de la Malaria et des arboviroses
- Urbanisation et habitat précaire
- Connaissance et caractérisation des territoires forestiers

Le Projet s'appuiera sur une capitalisation des acquis de projets antérieurs en matière de production de connaissances et de suivi des territoires et des environnements de la sous-région, pour que les scientifiques et les gestionnaires des écosystèmes et des dynamiques territoriales

disposent d'informations pertinentes et mises à jour. Les dynamiques écologiques ou anthropiques d'intérêt seront l'objet de modules applicatifs visant l'extraction et la composition d'informations utiles à des fins de gestion environnementale en coopération, dans une perspective partagée de développement durable des territoires transfrontaliers.

Instruments de gouvernance et de pilotage des activités

La coordination générale du projet veillera à la bonne exécution des applicatifs en proposant et pilotant les instruments de gouvernance nécessaires à sa réalisation.

Un Comité de Pilotage sera mis en place et animé par le Porteur. Il se réunira à une fréquence semestrielle. Il se composera des représentants suivants :

- Autorité de gestion PCIA
- Porteur IRD
- Partenaire principal : Université de la Guyane
- Partenaires principaux étrangers

Le cas échéant, un représentant de la politique régionale en matière d'observation de la Terre participera au Comité afin d'assurer la bonne cohérence entre les activités projets et les stratégies régionales.

Pour assurer l'exécution financière et administrative, l'ensemble des dépenses et de leur suivi comptable s'effectue sous le contrôle et la responsabilité du porteur de projet (IRD), garantissant ainsi le respect des procédures et des modalités techniques de dépenses du cadre PCIA. L'équipe de coordination du Projet prévoit l'implication de personnels administratifs permanents, l'appui de la Représentation IRD de Brasilia et des services centraux du Siège de l'IRD, le concours des services centraux de l'Université, et la collaboration si nécessaire des services techniques et administratifs des partenaires.

Le Projet se dotera d'une Cellule de Coordination Technique.

La Cellule de coordination technique du projet se compose du Porteur, de l'Université de Guyane, du chef de file au Surinam (Université Anton de Kom), du chef de file du Guyana et des chefs de file au Brésil (Université Fédérale de l'Amapa, Institut de Recherche Environnementale de l'Amapa, Institut National de Recherches Spatiales). Elle assure au quotidien la coordination des activités engagées par les équipes partenaires membres du projet. Elle travaille essentiellement à distance et se réunit régulièrement (base mensuelle).

Les Chefs de file coordonnent avec le porteur IRD et l'Université de la Guyane l'avancée des travaux, la résolution de difficultés d'exécution, l'élaboration d'éléments de suivi des équipes, les actions de mise à disposition des produits et livrables attendus et véhiculent les actions de communication et de promotion de celui-ci.

Parallèlement à ce dispositif de coordination chaque Application a prévu une coordination conjointe de ses actions, entre un responsable français et un responsable étranger. Afin d'assurer une bonne cohérence et une bonne transmission des informations, ces responsables ainsi que certains membres des équipes sont bilingues ou trilingues.

Partenariat

La phase de construction du projet est très importante car elle est la base d'un projet réussi. Dans cette phase le contenu du projet a été défini collégialement à partir de propositions faites par le porteur (IRD) et le partenaire principal Guyane (UG) en direction des partenaires étrangers pressentis, aux cours de différentes rencontres spécifiquement organisées à cet effet. Des Lettres d'Intention de collaboration des principaux partenaires ont été mises en forme, transmises et adossées au Dossier à approbation du PCIA.

L'IRD et l'UG ont prévu la tenue d'une réunion technique de pré-démarrage avec les partenaires impliqués pour traiter et faire avancer les questions relatives à la mise en œuvre des conventions de partenariats, dans le cas où le Projet est accepté. Cette réunion associera également

la représentation de l'IRD au Brésil qui sera amenée à intervenir ponctuellement dans la gestion de dépenses.

PROGYSAT est construit sur un partenariat renforcé avec le Brésil (Amapa), le Suriname et le Guyana autour de 4 applications thématiques.

En Guyane le partenaire principal est l'Université de Guyane. Les équipes du projet associeront ponctuellement selon les thématiques des membres de l'Institut Pasteur de Guyane, du Centre Hospitalier de Cayenne, de l'Office Régional de l'Air, de l'ONF, des Services de démostication, de l'Agence Régionale de Santé et pourront solliciter pour des retours d'expérience des acteurs institutionnels concernés par les thèmes du projet (CTG, PNRG, DEAL, OHM...).

Au Brésil le Chefs de file sont : l'Université Fédérale de l'Amapa (UNIFAP), l'Institut de Recherche environnementale de l'Amapa (IEPA) et l'Institut National de recherches spatiales (INPE). Interviendront également ponctuellement des échanges avec les institutions suivantes : EMBRAPA Amapa, Université d'Etat de l'Amazonas, Super-Intendance de Vigilance Sanitaire de l'Amapa, Université Fédérale de Brasilia, Université Fédérale de l'Amazonas, Fiocruz, Université Rurale d'Amazonie, Université Fédérale du Para.

L'INPE contribuera aux activités de l'Axe 01 du Projet, dans le domaine du partage de chaines de pré-traitement de l'imagerie satellitaire que le Projet mettra à disposition des communautés institutionnelles.

Au Suriname le Chef de file est l'Université Anton de Kom. Une recherche de collaboration avec l'institution en charge de la gestion des forêts sera engagée.

Au Guyana le chef de file est représenté par l'Université du Guyana. Seront associés aux équipes thématiques : la Commission des Forêts (Ministère des ressources naturelles), la Commission des territoires et des statistiques (Présidence), le Service des ressources hydrologiques (Ministère de l'Agriculture).

Le choix et la construction des Applications ont été effectués par chacune des équipes thématiques avec leurs partenaires respectifs. Chaque opération est co-encadrée par un responsable issu de l'équipe projet et un responsable d'un pays partenaire.

La nature des activités déployées par les partenaires dans les travaux liés aux Applications se décline dans les catégories suivantes :

- Exposé de méthodes de traitement de données employées ;
- Co-définition ou co-validation des méthodes finales utilisées par le Projet ;
- Traitement d'imagerie satellitaire et qualification ou validation des informations géo-environnementales issues des traitements d'image appliqués ;
- Collaboration à la spécification des chaînes de traitement à distance que le Projet portera ;
- Co-encadrement d'étudiants dans les domaines d'activité du projet ;
- Organisation de séminaire thématique ;
- Contribution à la communication du Projet (relais) ;
- Animation locale Projet et participation aux réunions de travail du Projet ;
- Retour d'expérience sur les premiers résultats du projet ;
- Participation pour les Chefs de file aux instances de gouvernance et de suivi des avancées du Projet.

Les contributions attendues sont du temps passé des personnels impliqués dans le Projet, et le partage de données et de méthodes en traitement d'images satellitaires.

AXE 01

Données et outils pour la Coopération régionale en Observation de la Terre

Dans le cadre de la coopération régionale portée par le PCIA, cet Axe du projet PROGYSAT propose de prendre en charge l'acquisition, l'approvisionnement et le pré-traitement de jeux d'imageries satellitaires dans la sous-région, destinées au partage et aux travaux institutionnels et scientifiques de connaissance, de suivi et de gestion de l'environnement et des territoires.

Cet Axe visera également la mise en fonctionnement d'outils de traitements des données à vocation régionale. Il permettra de répondre, par des solutions transférables et mutualisables dans le cadre de partenariats, aux besoins de *PROGYSAT* et aux demandes spécifiques émanant du PCIA lui-même, ou de la CTG dans le cadre de sa politique de coopération régionale.

Ces outils seront compatibles et intégrables à la plateforme SEAS GUYANE.

Enfin l'axe 01 prévoit de mettre en œuvre des actions de valorisation et de formation : auprès d'étudiants et de professionnels pour les techniques et outils de suivi de l'environnement par satellite ; auprès du grand public pour faire connaître les résultats obtenus ; en direction des scolaires pour sensibiliser à l'importance de la donnée spatiale dans la gestion environnementale.

1.1 Consolidation des capacités régionales en Observation de la Terre

Dans les Guyanes, l'imagerie satellitaire de par sa nature suscite et alimente la coopération régionale dans les domaines des applicatifs de la gestion environnementale et territoriale, étant donné la continuité spatiale des dynamiques écologiques ou territoriales qui s'y exprime. Elle permet d'assister et de développer les activités des institutions en charge de la connaissance et de la gestion des territoires. Elle ouvre des champs d'investigation et d'études scientifiques en prise directe avec les grands défis environnementaux actuels que la sous-région doit relever. Son usage est préconisé par l'ensemble des institutions internationales en charge du suivi global de l'environnement et du suivi des indicateurs des Objectifs du Développement Durable (ODD des Nations Unies).

Dans ce cadre PROGYSAT vise la consolidation de filières d'usage des données spatiales dans les territoires d'intérêt des Guyanes ou au-delà au sein de la Région amazonienne, à partir de la Guyane et en valorisant ses acquis dans le domaine. Pour cela, des actions d'approvisionnement en données satellitaires utiles et de mise en service de chaînes de pré-traitements des jeux d'images sélectionnés, construites avec les partenaires du Projet seront mises en chantier par l'Axe 01 du Projet.

L'Axe 01 du Projet prévoit d'acquérir et de fournir aux acteurs institutionnels utilisateurs d'informations satellitaires des images programmées à la demande, et des jeux d'images actualisées en mode routinier des territoires des Guyanes : Spot 6/7, Périades, Sentinel 1 et 2, Landsat 8 et Spot World Heritage. Ces données seront acquises par le biais du dispositif SEAS Guyane et/ou de dispositifs nationaux récemment créés. Les données Spot 6/7 ou Périades seront obtenues par le mécanisme d'approvisionnement mis en place par SEAS et au travers de dispositifs institutionnels nationaux.

L'Axe 01 de PROGYSAT prévoit de communaliser et d'opérer des outils de pré-traitement pour faciliter l'exploitation thématique des jeux d'imageries : corrections géométriques et orthorectification, corrections atmosphériques, calibrage de données, assemblage d'imagerie ou homogénéisation radiométriques. A partir des données d'intérêt que PROGYSAT rendra disponible, des produits dérivés seront donc fabriqués et diffusés directement par le Projet. Le cas échéant, des chaînes de traitement seront mises à disposition et activées à distance par les utilisateurs eux-mêmes.

Les fonctionnalités que PROGYSAT propose d'implémenter et d'opérer en Guyane seront versées au dispositif SEAS. Pour assurer une cohérence avec la scène nationale, PROGYSAT

mobilisera les acteurs de GeoDEV, le réseau d'Animation THEIA - GEOSUD consacré au Sud. Le réseau fondé par le CNES, le CIRAD et l'IRD a pour mission de soutenir des centres de compétences en télédétection tels que SEAS. PROGYSAT a été ciblé comme projet d'intérêt prioritaire en matière de facilitation de transferts de compétences, de méthodologies et d'outils issus de THEIA et de GEOSUD.

Le projet PROGYSAT répond ainsi au souhait de rationalisation de fourniture d'images formulé par les acteurs Guyanais engagés dans des projets mobilisant l'information satellitaire, ou dans des projets en coopération dans la sous-région qui nécessitent l'usage d'imagerie d'observation de la Terre. Cet investissement dans l'approvisionnement en imageries utiles et dans la mise en place d'outils de traitement renforcera la capacité de la Guyane à se positionner comme acteur privilégié pour l'acquisition et la diffusion de données de Haute à Très Haute Résolution dans l'ensemble de la sous-région, ouvrant ainsi la voie à des partenariats forts en matière de coopération régionale concernant l'utilisation de données spatiale pour la connaissance et la gestion des ressources naturelles en Amazonie. Dans le même sens, le partenariat qui sera noué dans cet Axe 01 avec l'Institut National de Recherche Spatiales du Brésil (INPE) ouvrira des possibilités d'enrichissement du catalogue d'imagerie qui sera rendu disponible. Il permettra également d'étudier les possibilités d'échanges méthodologiques et techniques avec l'INPE pour ce qui concerne le partage d'outils de pré-traitements de l'imagerie mobilisée. Enfin, il étudiera les possibilités d'appuyer une coopération technique avec SEAS GUYANE autour du satellite brésilien d'observation de la Terre CBERS4, en matière d'acquisition et d'usage élargi de ses données dans les Guyanes.

Synthèse des attendus Axe 1.1

- Mobilisation et mise en place d'un réseau d'acteurs et utilisateurs scientifiques et institutionnels porteurs de programmes en coopération et d'entités publiques en Guyane, au Guyana, au Suriname, en Amapa, au Para et en Amazonas utilisant la donnée spatiale ;
- Renforcement d'une infrastructure de données en cohérence avec le dispositif SEAS pour l'accueil, le traitement, le stockage et l'archivage des nouvelles données ;
- Mise en place d'outils et de procédures de manipulation et de pré-traitement d'images dédiés à la Coopération Régionale ;
- Accueil des chaînes de traitement Axe 02 (vocation applicative) utiles aux partenaires de la sous-région.

1.2 Alimentation d'un système d'informations et de services satellitaires dédiés à la coopération

Ce domaine d'action répond à la nécessité de mutualiser et de rationaliser les outils d'accès aux données, aux produits et aux fonctionnalités utiles aux partenaires. La volonté d'offrir à l'ensemble des communautés du plateau des Guyanes utilisatrices d'informations satellitaires une plateforme unique est une évolution majeure qui répond à un besoin de simplification dans le volet "Coopération Régionale" proposé par le Projet.

Pour cela, le Projet revisitera et intégrera le Portail de géo-informations environnementales transfrontalières GUYAMAPA (2012-2014, PO Amazonie/CTG/CNES/IRD/INPE et partenaires) au nouveau Portail. Le Portail PROGYSAT dans cet environnement mutualisé mettra à disposition l'importante masse de données numériques déjà existante et présentera les nouvelles informations issues du Projet. De nouvelles fonctionnalités seront mises en œuvre pour la recherche, le partage, l'analyse et la visualisation des informations offertes aux acteurs institutionnels.

Cette évolution valorisera au niveau régional les produits et les plus values de la Guyane dans le domaine. Le Portail offrira un support matériel, informatif et organisationnel majeur pour les acteurs guyanais engagés dans des actions de coopération avec les partenaires du Plateau des Guyanes. Il favorisera la convergence régionale de méthodologies développées en matière de traitement d'image appliqués à la gestion des environnements et des territoires transfrontaliers.

Synthèse des attendus Axe 1.2

- Mutualisation de moyens, d'outils et simplification des points d'accès aux ressources régionales en observation spatiale pour les acteurs et les partenaires de la sous-région ;
- Portail web d'accès aux produits issus du projet, possibilité d'interfaçage d'accès au catalogue SEAS GUYANE

- Offre de nouvelles fonctionnalités et ajout de nouveaux produits thématiques développés en coopération par le Projet dans un outil dédié de type infrastructure de données et de services ;
- Valorisation des images, des géo-informations environnementales, des chaînes de traitements et des savoir-faire issus du projet
- Adjonction de services routiniers pérenne de suivi de l'environnement par satellites utiles aux communautés partenaires de la sous-région.

1.3 Formation et support e-learning dédié à l'observation de l'environnement transfrontalier par satellite

Le Projet s'adosse principalement sur un partenariat universitaire pour le portage des actions thématiques et scientifiques. L'université de Guyane conduira, par l'investissement de ses équipes, des travaux de recherche clé pour la connaissance et le suivi des environnements des Guyanes, que l'Axe 02 du Projet propose d'organiser. Elle contribuera également de manière significative au soutien d'outils d'enseignement à distance en direction des partenaires institutionnels de la sous-région.

L'ancrage de l'Université de Guyane dans son environnement amazonien sera facilité et conforté par la mise en œuvre du Projet. L'UG est membre du Comité d'Orientation de SEAS ; son intérêt fort pour les champs d'investigation scientifique et pédagogique de l'Observation de la Terre et ses applications sera réaffirmé à l'échelle du Plateau des Guyanes.

Cette ouverture se manifeste également vers l'Afrique Centrale dans le cadre des actions de coopération en cours avec l'Agence Gabonaise d'Etudes et d'Observations Spatiales (AGEOS) qui dispose d'un dispositif similaire à SEAS. Elle pourrait dans le cadre de l'investissement de l'Université dans PROGYSAT et dans SEAS s'étendre aux Antilles sous la forme d'une collaboration avec Haïti, engagé avec le CNES et l'IRD dans une réflexion autour de la mise en place d'un centre de compétences en télédétection.

Enfin, l'engagement de l'Université de Guyane dans PROGYSAT amorce également la

préparation du Master dont l'ouverture est programmée en septembre 2018, pour ce qui concerne le domaine d'utilisation de la donnée spatialisée.

Concrètement, les actions projetées visent le développement, la construction et la mise en ligne d'outils de formation et d'enseignement à distance (Module EAD en télédétection). Ces outils seront mis en place par le Projet grâce aux ressources qu'il mettra à disposition de l'Université, et grâce à aux capacités propres de l'Université.

Ils s'appuieront sur les capacités actuelles et futures de SEAS et sur les travaux applicatifs "Coopération Régionale" organisés par l'Axe 02 du Projet en soutien au dispositif. Dans ce cadre, des outils issus de dispositifs partenaires en métropole (THEIA, GEOSUD) pourront être exploités, adaptés ou transférés avec le soutien logistique et financier de PROGYSAT.

Synthèse des attendus Axe 1.3

- Recensement des capacités universitaires en matière d'utilisation de la donnée spatiale
- Potentialité de mutualisation d'enseignement et d'échanges entre universités sur la gestion environnementale par l'observation satellite
- Création d'un support e-learning dédié à l'observation de la région amazonienne et au suivi de l'environnement par satellite ;
- Sessions de formations binationales sur les thématiques issues de l'axe 2 du projet ;
- Sessions de formations internationales à l'utilisation de l'Infrastructure De Service et internationalisation du portail ;
- L'introduction d'un composant Education à distance.
- Vulgarisation des approches de gestion de l'environnement par l'utilisation des données spatialisées

1.4 Résumé des activités et résultats prévisionnels

1. Réseau d'utilisateurs

Mise en place et animation d'un réseau d'acteurs et utilisateurs scientifiques et institutionnels porteurs de programmes en coopération avec des d'entités publiques en Guyane, au Guyana, au Suriname, en Amapa, au Para et en Amazonas ;

2. Données satellitaires

Captation et acquisition, en fonction de besoins exprimés, de jeux d'imageries satellitaires dédiés à la Coopération Régionale en partenariat, accessibles à tout acteur institutionnel de Guyane et aux acteurs institutionnels étrangers engagés dans le Projet ;

3. Outils et applications

Renforcement à partir des acquis d'une infrastructure de données et de services dédiée aux imageries et aux applications satellitaires pour la Coopération. L'outil mis en service sera cohérent avec les préconisations de la CTG en la matière. En charge de l'accueil, du stockage, de la manipulation et de l'archivage des données, des chaînes de traitement et des produits thématiques proposés par le Projet, cet outil pleinement autonome pourra constituer un composant du dispositif SEAS dans son évolution future ;

4. Services routiniers

Travaux d'automatisation et de mise à disposition de pré-traitement de données, d'informations utiles au suivi de l'environnement et des territoires ; sessions de formations internationales à l'utilisation de l'Infrastructure de services ;

5. Formation

Création d'un support e-learning en ligne dédié à l'observation par satellite de la région des Guyanes et au suivi son environnement;

6. Accès et diffusion

Via le web, point d'accès simplifié aux ressources du Projet pour les acteurs guyanais et les partenaires de la sous-région : portail avec ajout de nouvelles fonctionnalités utiles au Projet et ses utilisateurs, ajout de nouveaux produits thématiques développés en coopération par le Projet dans le contexte de son Axe 02. Préfiguration d'un futur portail "SEAS Coopération" dans cadre de l'évolution du dispositif ;

7. Communication et valorisation des activités

Communication Projet en matière de partenariat, de ressources images, de géo-informations produites, de chaînes de traitements et de savoir-faire mis à disposition, d'outils d'éducation rendus disponibles ; activités confiées des professionnels du secteur par le Projet.

AXE 02

Applications thématiques et produits d'information satellitaire d'intérêt régional

2.1 Objectifs généraux

Le Programme de Coopération Interreg Amazonie (PCIA) est la poursuite du PO Amazonie (Programme Opérationnel de coopération territoriale interreg Amazonie). Il assure une continuité des investissements portés par la Guyane aux projets de coopération dans la sous-région, renforçant le positionnement international de la Guyane.

Le Projet PROGYSAT cible principalement les axes prioritaires 3 et 4 du PCIA : Protection et valorisation de la biodiversité exceptionnelle et du patrimoine naturel et culturel de l'espace de coopération ; préserver et protéger l'environnement et encourager une utilisation rationnelle des ressources naturelles ; mieux protéger, gérer et valoriser la biodiversité exceptionnelle de l'espace transfrontalier de coopération.

Sa finalité est la dissémination de géo-informations environnementales et territoriales, qualifiées et validées par la communauté scientifique, utiles aux institutions de part et d'autre des frontières dans leurs missions de connaissance, de gestion et de valorisation des patrimoines naturels transfrontaliers et transnationaux.

Pour cela, en écho aux objectifs spécifiques du PCIA et s'appuyant sur les actions de son Axe 01, le Projet a pour objectif de mettre en opération ou d'harmoniser, entre équipes de la sous-région, des applications de l'imagerie satellitaire.

Les applications spécifiques proposées sont au nombre de 4:

- Ressources en eau, sensibilité et évolution
- Risques de transmission de la Malaria et des arboviroses
- Pollution, Urbanisation et habitat précaire
- Connaissance et caractérisation des territoires forestiers

Ces déclinaisons applicatives insèrent le Projet indifféremment dans les 2 volets du PCIA : le volet transfrontalier (Suriname - Guyane - Amapa) comme le volet transnational (avec le Pará l'Amazonas et le Guyana).

2.2 Objectifs spécifiques

Avec ses Axes 01 et 02, c'est un ensemble cohérent d'objectifs en faveur de la coopération en matière de suivi environnemental à partir du spatial qui est proposé par PROGYSAT :

- Mise en place d'outils et de moyens pour un observatoire satellitaire transfrontalier dans l'attente de la réactivation du dispositif régionale SEAS ;
- Production d'indicateurs géo-environnementaux caractérisant des ressources naturelles et des dynamiques territoriales dans les Guyanes ;
- Déploiement de services applicatifs accessibles à l'ensemble des acteurs de la connaissance et de la gestion des patrimoines naturels de la région ;
- Accompagnement des utilisateurs par la création d'un support e-learning dédié à l'observation de la région amazonienne par satellite et au suivi de l'environnement ;
- Actions et outils de communication et de valorisation des savoir-faire de la Guyane dans le domaine et des réalisations du Projet, notamment en direction du grand public et des scolaires.

Ce projet n'est pas un projet de recherche fondamentale. Néanmoins, le développement des 4 applications proposées nécessitera la mise en œuvre d'expérimentations sur le terrain et feront l'objet d'action de recherche permettant ainsi de développer les services attendus.

Son contexte de réalisation et ses attendus doivent apporter des réponses aux besoins des acteurs du territoire et se traduire par des retombées locales. Pour chacune des 4 Applications il s'agira donc de définir conjointement avec les utilisateurs institutionnels ciblés les usages pressentis et les indicateurs utiles qui seront au final mis à disposition au sein de l'infrastructure mise en œuvre par le projet.

Pour cela chacune des applications proposées sera co-portée au sein du partenariat entre acteurs de Guyane et acteurs des institutions étrangères impliquées. Les applications donneront lieu à la production de géo-informations partagées. Les équipes agrégées par le Projet définiront les périmètres géographiques et les contenus finaux des produits thématiques générés. Chaque équipe s'engagera à un effort d'harmonisation des données de référence utiles à la construction des applications attendues, et les différents partenaires valideront la pertinence des indicateurs produits en lien avec les gestionnaires référents dans leurs territoires.

2.3 Activités et résultats prévisionnels

Activités transverses aux Applications thématiques portées par l'Axe 2 :

- Mutualiser et valoriser les bases de connaissances existantes, produire en commun des indicateurs / géo-informations environnementales harmonisées à l'échelle de territoires transfrontaliers ou transnationaux ;
- Enrichir le catalogue projet destiné à la dissémination des résultats par les nouvelles informations géo-environnementales produites, dans le but d'améliorer et de partager la connaissance, la compréhension et la gestion des patrimoines naturels ;
- Développer des services routiniers ou ponctuels de surveillance environnementale ou territoriale, à partir des applications proposées et en lien avec des modèles de

connaissance issues de la recherche scientifique ;

- Valoriser, communiquer les activités et les résultats du Projet, notamment au sein de cursus et de formations académiques ;
- Contribuer aux contenus de modules éducatifs à distance destinés aux étudiants dans les domaines de l'observation de la Terre par satellite appliquée au suivi des environnements amazoniens.

La mise en œuvre des Applications thématiques comportera également, au cours de la réalisation du projet, l'organisation de différents séminaires dont les attendus seront :

- Conception et la réalisation des produits géo-environnementaux, et des chaînes de traitement de données associées ;
- Adéquation aux attentes et aux besoins des acteurs publics ;
- Ateliers « éducation » sur la spécification de contenus d'enseignements à distance.

Pour chacune des Applications, de façon générique, les activités et livrables prévisionnels peuvent être catégorisées comme suit :

1. Production de connaissances

Géo-informations environnementales ou territoriales issues des 7 Applications thématiques d'intérêt pour les acteurs scientifiques ou institutionnels de la sous-région ;

2. Mise à disposition d'outils

Panel de chaînes de traitement de données accessibles aux institutions en charge de la connaissance, de la gestion et de la surveillance de l'environnement ou des territoires ;

3. Formation académique ou professionnelle

Encadrement de travaux étudiants, formation aux produits et aux outils d'étudiants et d'acteurs institutionnels de la sous-région, en Guyane, au Suriname et au Brésil ;

4. Communication et restitution

Supports de communication et conférences sur les avancées et résultats thématiques obtenus par le Projet.

Les Domaines applicatifs

Ressources en eau, sensibilité et évolution

3.1 Ressource en eau sur le territoire transfrontalier entre la Guyane Française et le Suriname: sensibilité et évolution

3.1.1 Contexte

Le bouclier Guyanais et plus spécifiquement la région transfrontalière du nord au sud du Suriname se caractérise par une forêt tropicale dense, une biodiversité élevée, un réseau hydrologique exceptionnel fournissant d'importantes ressources en eau et la présence de grandes quantités de minéraux. Une population importante vit dans cette zone transfrontalière et est principalement installée sur les bords du fleuve frontière, car elle dépend de l'eau du fleuve pour ses activités quotidiennes. L'agriculture, l'exploitation des mines et du bois, parmi de nombreuses autres activités, sont les activités principales exercées par les communautés vivant dans la zone d'étude. Cependant, ces ressources sont menacées en raison de facteurs internes et externes, qui peuvent être exacerbés par le changement climatique.

Cette étude vise à compiler une base de données la plus exhaustive possible sur la région étudiée. Un volet concernera la compilation des données accessible par télédétection : hauteur des lacs et des rivières par altimétrie spatiale, rayonnement solaire, estimation des pluies et de l'évapotranspiration, cartes d'occupation des sols, couleur de l'eau. Les équipes Espace-Dev de Guyane sont en effet spécialistes des indicateurs du cycle de l'eau obtenus par télédétection : pour le rayonnement solaire (trois doctorats et plusieurs publications parues), pour la pluie (1 doctorats et articles parues), pour les hauteurs d'eau dans les lacs et les rivières les résultats obtenus au cours du programme Guyamapa sur l'Amapa ainsi que de nombreux travaux publiés de l'équipe. En outre, le projet Guyamapa a permis de mettre au point une méthodologie de cartographie de l'occupation du sol qui

pourra être utilisée dans la modélisation du cycle de l'eau. Pour la région transfrontalière, cette base inclura également les données socioéconomiques.

Objectif général et finalités

Réaliser une évaluation des ressources en eau du bouclier Guyanais et analyser dans la région transfrontalière Suriname-Guyane les facteurs influençant la sensibilité de ces ressources.

1. Compiler dans le système d'information du projet toutes les données obtenues par les différentes études citées sur le plateau des Guyanes, compléter pour les données issues de l'observation spatiale à l'ensemble du bouclier Guyanais et compiler les données socio-économiques de la région transfrontalière Suriname – Guyane

2. Analyser les évolutions spatio-temporelles des ressources en eau dans la zone transfrontalière et production d'indicateurs et cartes

3. Analyse des impacts des changements sur les communautés de la région transfrontalière

4. Renforcer la formation des étudiants sur la caractérisation des ressources naturelles : les étudiants de maîtrise du programme Gestion durable des ressources naturelles de l'Université du Suriname visiteront des instituts de recherche en Guyane Française pour avoir une connaissance plus large des études et recherches menées sur les ressources naturelles. Après cette visite, quelques étudiants seront sélectionnés chaque année pour faire une partie de leur mémoire de maîtrise en Guyane française.

3.1.2 Méthodes et activités

La compilation des données de base est nécessaire pour réaliser les objectifs 2 et 3. La base de données sera construite à partir des observations in situ, satellitaires, cartes et rapport : données climatiques (par exemple, précipitations, température, SST) observées complétées par des données simulées (données de réanalyses des modèles globaux); données hydrologiques (par exemple, niveaux d'eau de mer et de rivière, déversements de rivières, données sur les eaux souterraines); données socioéconomiques (par exemple, population, prix de la terre, lois); cartes géologique et

pédologique, occupation et usage des terres, carte des aires protégées. Cet objectif est préliminaire aux objectifs 2 et 3.

La production d'indicateur de changement sera réalisée à partir de l'analyse des séries chronologiques : pour les changements dus 1) au climat, en utilisant différents tests statistiques paramétriques et non paramétriques (McCuen, 2003; Mamdouh et al., 1993; WMO, 1988) sur les chroniques météorologique et hydrologique. Les modèles statistiques utilisés dans cette recherche seront : MSEXcel (analyse de données) et KNMI Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl/>); changements d'occupation et d'usage des sols à partir d'une chronique Landsat disponible sur les trois dernières décennies. Des simulations à l'aide du modèle brésilien MGB-IPH seront réalisées pour tenter de distinguer les impacts sur les débits liés aux changements climatiques (facteurs externes) et aux changements d'occupation des sols et infrastructure (facteurs internes). MGB-IPH est un modèle distribué pluie-débit adapté à la modélisation large échelle des bassins peu instrumentés ou non jaugés. Il accepte en entrée de nombreuses données issues de l'observation spatiale. Les paramètres du modèle sont le type de sol, l'occupation du sol, la géologie et la végétation. Ce modèle est largement utilisé et a été appliqué dans plusieurs études de l'équipe sur le Bassin Amazonien.

L'analyse des impacts des changements identifiés sur les communautés de la région transfrontalière reposera sur la consultation des parties prenantes (éléments issus des populations locales) au travers d'enquête afin de recueillir les informations nécessaires. Les perceptions des changements seront confrontées aux données (objectif 1) et aux indicateurs de changements produits (objectif 2).

3.1.3 Résultats attendus

- Les caractéristiques physiques de la zone d'étude ainsi que les utilisations actuelles des ressources suivantes : la terre, l'eau, la forêt (bois), l'énergie, ressources minérales, agriculture seront décrites.
- Analyse de base des tendances passées et indicateurs de changements
- Description et analyse des autres facteurs qui influencent les ressources naturelles présentes dans la zone transfrontalière
- perception des changements et impacts sur les populations de la région transfrontalière

3.1.4 Equipe et partenaires

Anton de Kom Université du Suriname

Dr. R. Nurmohamed, Gestion durable des ressources naturelles

U. Satnarain MSc, Gestion durable des ressources naturelles

K. Fung Loy MSc, Gestion durable des ressources naturelles

P. Donk MSc, Chercheur associé

J. De Niel MSc, Chercheur

Partenaires Brésil

Daniel Neves - IEPA

Valter Avelar - UNIFAP

Valdenira Santos - IEPA

Joecila Santos da Silva - UEAM

Université de Guyane

Laurent Linguet, Professeur, Energie et ressources renouvelables, Télédétection

Matiyendou Lamboni, Maître de conférences, Mathématiques, Statistiques

Allyx Fontaine, Maître de conférences, Informatique

Montpellier - IRD

Marie-Paule Bonnet IRD Espace-DEV

Stéphane Calmant IRD LEGOS

Frédéric Frappart CNAM GET

Nadine Dessay IRD Espace-Dev

Thibault Catry IRD Espace-Dev

Laurent Demagistri IRD Espace-Dev

Frédéric Satgé IRD Espace-Dev

3.1.5 Éléments bibliographiques

T. Albarelo, E. Fillol, A. Primerose, L. Linguet. Spatiotemporal indicators of solar irradiation in the Guiana Shield derived from GOES satellite, *Renewable Energy Review*, 2017. doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.081. (IF 2016 : 3.404)

Albarelo, T., Marie-Joseph, I., Primerose, A., Seyler, F., Wald, L., & Linguet, L. Optimizing the heliosat-ii method for surface solar irradiation estimation with GOES images. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 2015, vol 41, n° 2, pp 86-100, <http://doi.org/10.1080/07038992.2015.1040876>

Calmant, S., da Silva J. S., Paiva, R., Paris, A., Moreira, D. M., Frappart, F., Seyler, F., Bonnet, M. P., Papa, F. Satellite altimetry over Amazon basin. In: *Hydrology from Space*, Editors: J. Benveniste, S. Vignudelli, A. Kostianoy, IAWB editors, in press

Caribbean Community Climate Change Center CCCCC (2014). *Vulnerability and Capacity Assessment Methodology; A guidance manual for the conduct and mainstreaming of climate change vulnerability and capacity assessments in the Caribbean Region*, Barbados.

Collischon, W., Allasia, D., Da Silva, B.C., Tucci, C.E.M (2007) The MGB-IPH model for large-scale rainfall. *Runoff modelling, Hydrological Sciences Journal*, 52:5, 878-895, DOI: 10.1623/hysj.52.5.878

Frappart, F., Papa, F., Malbeteau, Y., Leon, J. G., Ramillien, G., Prigent, C., Seoane, L., Seyler, F., Calmant, S. (2015). Surface freshwater storage variations in the Orinoco floodplains using multi-satellite observations. *Remote Sensing*, 2015, 7 (1), p. 89-110.

IPCC (2013a). *Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections* [van Oldenborgh, G.J., M. Collins, J. Arblaster, J.H. Christensen, J. Marotzke, S.B. Power, M. Rummukainen and T. Zhou (eds.)].

In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Y. Goulamoussène, C. Bedeau, L. Descroix, L. Linguet, B. Hérault. Environmental control of natural gap size distribution in tropical forests. *Biogeosciences*, 14, 353-364, 2017. doi:10.5194/bg-2016-320. (IF 2016 : 3.700)

Y. Goulamoussène, C. Bedeau, L. Descroix, V. Deblauwe, L. Linguet, B. Hérault. Weak Environmental Controls of Tropical Forest Canopy Height in the Guiana Shield. *Remote Sensing Journal*, 2016, Vol. 8, Issue 9, 747, 2016, doi:10.3390/rs8090747. (IF 2016 : 3.036)

L. Linguet, Y. Pousset, C. Olivier, Identifying statistical properties of solar radiation models using information criteria. *Solar Energy*, Vol. 132, 136-246, 2016, doi:10.1016/j.solener.2016.02.038. (IF 2014 : 3.469)

Mamdouh, S., Van Oorschot, H. and de Lange, S. (1993). *Statistical analyses in water resources engineering*, Netherlands.

McCeun, R. (2003). *Modeling hydrologic change – statistical methods*, Lewis publishers

Paiva, R.C.D., Buarque, D.C., Collischonn, W., Bonnet, M.P., Frappart, F., Calmant, S., Bulhões Mendes, C.A., 2013. Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. *Water Resour. Res.* 2013. Volume: 49, Pages: 1226–1243. doi: 10.1002/wrcr.20067

Paiva, RCD, Collischonn, W, Bonnet, M.P., de Goncalves, LGG, Calmant, S, Getirana, A, da Silva, JS. Assimilating in situ and radar altimetry data into a large-scale hydrologic-hydrodynamic model for streamflow forecast in the Amazon. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2013. Volume 17(7), 2929-2946. doi:10.5194/hess-17-2929-2013

Paris, A., R. Dias de Paiva, J. Santos da Silva, D. Medeiros Moreira, S. Calmant, P.-A. Garambois, W. Collischonn, M.-P. Bonnet, and F. Seyler Stage-discharge rating curves based on satellite altimetry and modeled discharge in the Amazon basin, *Water Resour. Res.*, 2016, 52, 3787–3814, doi:10.1002/2014WR016618.

J. Ringard, F. Seyler, L. Linguet, A Quantile Mapping Bias Correction Method Based on Hydroclimatic Classification of the Guiana Shield. *Sensors* 2017, 17(6), 1413; doi:10.3390/s17061413 (IF 2017 : 2.677)

J. Ringard, M. Becker, F. Seyler, L. Linguet, Temporal and Spatial Assessment of Four Satellite Rainfall Estimates over French Guiana and North Brazil. *Remote Sensing Journal*, Vol. 7, Issue 12, 16441-16459; 2015, doi:10.3390/rs71215831. (IF 2014 : 3.180)

Seyler, F., de Oliveira Jr, J. E.R., Pfeffer, J., da Silva, J. S., Leon, J. G., Frappart, F., Becker, M., Calmant, S., Bonnet, M.- P. Radar altimetry for ungauged rivers. In: *Hydrology from Space*, Editors: J. Benveniste, S. Vignudelli, A. Kostianoy, IAWB editors, in press

Smit, B., et al. (2001). Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. In J.J. McCarthy and O.F. Canziani, eds., *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group III to the 3rd Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

Taylor, K., R. Stouffer and G. Meehl (2012). *An Overview of CMIP5 and the Experiment Design*, American Meteorological Society

World Meteorological Organization WMO (1988). *Analyzing long time series of hydrological data with respect to climate variability, (WCAP-3).*

Risques de transmission de la Malaria et des arboviroses

3.2 Cartographie du risque de maladies transmises par les moustiques dans le contexte transfrontalier Guyane française - Amapá »

(RiscoTrans)

Fiche résumé 	Resumo 
Porteur-se : Emmanuel Roux (IRD/ESPACE-DEV) et Margarete Gomes (SVS-AP)	Coordinador-a : Emmanuel Roux (IRD/ESPACE-DEV) e Margarete Gomes (SVS-AP)
Problématiques de santé : Paludisme et arboviroses transmises par les moustiques <i>Aedes</i> (dengue, chikungunya, zika, ...)	Questões de saúde: Malária e arbovírus transmitidos por mosquitos <i>Aedes</i> (dengue, chikungunya, zika, ...)
Zones d'étude : Guyane française et Amapá	Áreas de estudo: Guiana Francesa e Amapá
Objectifs spatialisation et actualisation d'un risque de transmission des maladies vectorielles (paludisme et arboviroses transmises par les moustiques du genre <i>Aedes</i>)	Objetivos Espacialização e atualização de um risco de transmissão das doenças vectoriais (malária e arboviroses transmitidas por mosquitos do gênero <i>Aedes</i>)
Méthode <ul style="list-style-type: none">Recensement, production, diffusion et actualisation de couches d'information spatialisées et multi-thématiques cohérentes spatialement et	Método <ul style="list-style-type: none">Censo, produção, disseminação e atualização de camadas de informação espacializadas e multitemáticas, coerentes espacialmente e

temporellement ; <ul style="list-style-type: none"> • Construction de modèles conceptuels du risque de paludisme et des maladies transmissibles par <i>Aedes</i> ; • Cartographie du risque de transmission 	temporalmente; <ul style="list-style-type: none"> • Construção de modelos conceituais do risco de malária e doenças transmissíveis pelo <i>Aedes</i>; • Mapeamento do risco de transmissão
Résultats attendus Publications scientifiques, bases de données, « data papers », connaissances, cartes de risque	Resultados esperados Publicações científicas, bases de dados, « data papers », conhecimentos, mapas de risco
Partenariat envisagé : Brésil : SVS-AP, IEPA, UNIFAP, Fiocruz, UnB ; Guyane française/France : IRD/ESPACE-DEV, ARS-Guyane, IPG, CTG, CHAR/CDPS, IRD/MIVEGEC, Univ. d’Artois	Parceria prevista: Brasil : SVS-AP, IEPA, UNIFAP, Fiocruz, UnB ; Guyane française/France : IRD/ESPACE-DEV, ARS-Guyane, IPG, CTG, CHAR/CDPS, IRD/MIVEGEC, Univ. d’Artois

3.2.1 Contexte général et problématique

Les maladies vectorielles que sont le paludisme et les arboviroses transmises par les moustiques du genre *Aedes* (Dengue, Zika, Chikungunya, ...) constituent un problème de santé publique majeur dans les pays du biome Amazonien et sur le plateau des Guyanes en particulier. Toutefois, les situations épidémiologiques, les connaissances et les priorités d'action diffèrent significativement d'une maladie à l'autre. Alors que le paludisme est en voie de pré-élimination voire d'élimination, la Dengue présente quant à elle un profil endémo-épidémique avec des épidémies récurrentes. Le Chikungunya et le virus Zika ont quant à eux fait leur apparition récemment, en 2014 et 2016, respectivement.

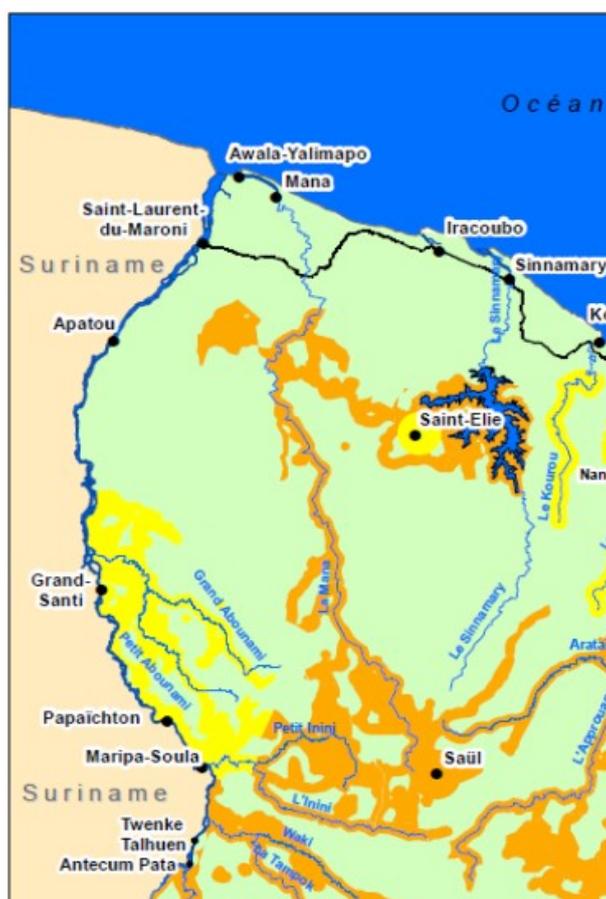


Figure 1 : Carte du risque de paludisme en Guyane – 2018 : Vert : pas de transmission au cours de l'année précédente ; Jaune : Risque faible – Existence de cas mais pas de transmission dans les bourgs ; Orange : Risque fort – Transmission du paludisme dans la zone. **Sources** : Direction de la Démoustication et des Affaires Sanitaires de la Collectivité Territoriale de Guyane – ARS de Guyane – CNR Paludisme, Pôle Zones endémiques - Forces Armées de Guyane – Pôle des Centres Délocalisés de Prévention et de Soins (CDPS) du Centre

Hospitalier Andrée Rosemon – Laboratoires de Biologie Médicale de ville et des Centres Hospitaliers – Cellule d'intervention en région (Cire) Guyane de Santé publique France ; **Validation** : Comité d'experts des maladies à caractère épidémique, le 16 mars 2018 ; **Réalisation** : ARS Guyane en collaboration avec l'Institut Pasteur de la Guyane et la Cire Guyane/SpFrance.

Réalisée à dire d'experts, cette carte présente une forte subjectivité que le projet RiscoTrans contribuera à réduire, tout au moins en ce qui concerne les communes frontalières avec le Brésil.

Depuis 2012, la coopération entre la Guyane et le Brésil sur le paludisme transfrontalier s'est développée et s'est notamment fixée comme objectif la construction d'un observatoire transfrontalier du paludisme, visant à intégrer, harmoniser et diffuser des données et connaissances sur la maladie, des points de vue épidémiologique, entomologique, environnemental et socio-démographique (cf. <https://climaesaude.icict.fiocruz.br/fr/amapa-guyana-francaise> ; Roux et al. 2014 ; Barcellos et al., 2016).

En particulier, un prototype d'un système automatique d'intégration, d'harmonisation et de visualisation des données épidémiologiques du paludisme à la frontière guyano-brésilienne a été développé. Il démontre la faisabilité d'une surveillance transfrontalière et l'intérêt d'une telle surveillance pour la compréhension des dynamiques spatiale et temporelle, le contrôle et l'élimination de la maladie.

Du point de vue de l'entomologie, une base de données spatialisées des captures d'*Anopheles* réalisées en Guyane et dans la municipalité d'Oiapoque a été construite dans le cadre de la thèse de Yi Moua (Moua, 2017) et a permis de prédire la qualité de l'habitat du principal vecteur du paludisme en région amazonienne, *Anopheles darlingi*, à l'échelle de la Guyane (Moua et al., 2017).

Les travaux réalisés dans le cadre des projets OSE-Guyamapá (PO Amazonie – FEDER Guyane), GAPAM-Sentinela (Guyamazon) et TéléPal (CNES/TOSCA) ont quant à eux permis de définir un indice de dangerosité du paysage entrant dans la construction du risque d'exposition à *An. Darlingi* (Li et al., 2016, 2017), ainsi qu'une carte de l'occupation et de l'usage du sol identifiant les zones humides de la zone transfrontalière, possibles gîtes larvaires d'*An. darlingi*, en combinant des images satellitaires optiques et radar (Catry et al., 2018).

Des équipes partenaires ont également étudié qualitativement et quantitativement les flux transfrontaliers de personnes, quelle que soit la raison du déplacement.

Au vue des avancées réalisées, une meilleure prise en compte des différentes dimensions du paludisme, dans le but d'estimer un risque intégré de la transmission de la maladie, est maintenant envisageable. Un tel travail doit s'appuyer sur un modèle conceptuel détaillé du risque, qui soit adapté aux réalités des maladies vectorielles et dépasse le simple produit d'un aléa naturel (souvent réduit à la présence et à la densité de vecteurs) et d'une vulnérabilité humaine (se limitant souvent à la présence de foyers de peuplement humains).

Toutefois, des efforts de recherche bilatéraux doivent être réalisés afin d'assurer la mise en conformité (empreintes géographiques, périodes, résolutions spatiale et temporelle) des différentes couches d'information, ainsi qu'une mise à jour de ces couches qui soit adaptée aux changements environnementaux et socio-démographiques de la région.

De plus, l'expérience accumulée sur le paludisme par les équipes partenaires doit permettre d'étudier d'autres maladies, en particulier les arboviroses transmises par les moustiques du genre *Aedes* (*Ae. aegypti* plus particulièrement) que sont la Dengue, le Chikungunya et le Virus Zika.

3.2.2 Objectifs et enjeux

L'objectif principal du projet est la spatialisation, à une fréquence qu'il conviendra de déterminer en fonction des besoins et des contraintes relatives à l'obtention ou à la production des données, d'un risque de transmission des maladies vectorielles (paludisme et arboviroses transmises par les moustiques du genre *Aedes*).

Objectifs spécifiques :

- Rendre opérationnel le système automatique d'intégration, d'harmonisation et de visualisation des données épidémiologiques du paludisme transfrontalier à la frontière guyano-brésilienne ;
- assurer la diffusion et la mise à jour des informations et indicateurs spatialisés produits dans la zone transfrontalière : indicateurs entomologiques et qualité d'habitat, occupation et usage du sol, indicateur de « dangerosité du paysage », mobilités transfrontalières, *etc.* afin

de faciliter la construction d'indicateurs, d'évaluer les impacts relatifs des facteurs de risque et d'implémenter le modèle conceptuel du risque (cf. ci-après) ;

- Construire un modèle conceptuel du risque de transmission du paludisme et des arboviroses transmises par *Aedes* dans la région d'étude ;
- contribuer à objectiver et à étendre au município d'Oiapoque la carte de risque de transmission du paludisme produite par l'ensemble des acteurs de la santé de la Guyane française (<https://www.guyane.ars.sante.fr/system/files/2018-09/paludisme%20Carte%20du%20risque%20en%20Guyane%20-%202018.pdf>) ;
- contribuer à mieux identifier et décrire la saisonnalité du risque de transmission du paludisme dans la zone transfrontalière Guyane-Brésil ;
- contribuer à la spatialisation du risque de transmission des arboviroses transmises par *Aedes (aegypti)* : Dengue, Chikungunya et Zika, dans les zones urbaines de l'Île de Cayenne et de Saint-Georges-de-l'Oyapock (Guyane française), d'Oiapoque et de Macapá (Macapá, Brésil).

L'enjeu principal est de contribuer à mieux cibler les actions de prévention et de lutte, et ainsi participer à l'élimination du paludisme dans la région (plan de lutte contre le paludisme en Guyane 2015-2018 et plan d'élimination du paludisme au Brésil à l'horizon 2030, Objectif du Développement Durable 3.3 visant à éliminer le paludisme d'ici 2030), ainsi qu'à la surveillance et à la prévention de l'émergence d'arboviroses.

3.2.3 Zones d'étude

Les zones d'étude diffèrent selon la problématique de santé étudiée : le paludisme sera considéré dans la zone transfrontalière Guyane-Brésil, constituée des communes frontalières de Guyane française (Ouanary, Saint-Georges-de-l'Oyapock et Camopi) et du Brésil (Oiapoque) ; les arboviroses transmises par *Aedes* seront étudiées dans les zones urbaines de l'Île de Cayenne et de Saint-Georges-de-l'Oyapock (Guyane française), d'Oiapoque et de Macapá (Macapá, Brésil).

Les interactions entre les milieux urbain et « naturel », qui constituent des zones où circulent à la fois des maladies « rurales » comme le paludisme et des maladies « urbaines » comme les arboviroses transmises par les *Aedes* (en particulier à Saint-Georges-de-l'Oyapock et à Oiapoque), focaliseront particulièrement l'attention de l'équipe projet.

3.2.4 Méthodes

La méthode repose sur trois grands axes de travail :

- Le recensement, la production, la diffusion, et le développement des conditions d'actualisation de couches d'information spatialisées et multi-thématiques cohérentes spatialement et temporellement ;
- La construction de modèles conceptuels du risque de paludisme et des maladies transmissibles par les moustiques du genre *Aedes* (*Ae. aegypti* plus précisément) ;
- La cartographie du risque de transmission.

Les actions spécifiques associées à ces trois axes sont détaillées ci-après.

3.2.4.1. Données spatialisées multi-thématiques

a) Caractérisation du territoire

Cette action vise à décrire les habitats potentiels des vecteurs, au travers de variables environnementales (occupation du sol, empreinte humaine, unités et paysages géomorphologiques, etc.) et climatiques (précipitations, températures, humidité, ensoleillement, etc.), ainsi qu'à identifier et caractériser différents niveaux de vulnérabilité des populations humaines. Elle se décline selon les deux emprises spatiales décrites plus haut:

- *La zone transfrontalière Guyane-Brésil (Moustiques Anopheles, paludisme)*

Deux des couches d'information ayant permis la spatialisation de la qualité de l'habitat écologique d'*An. darlingi* en Guyane couvrent l'intégralité de la zone d'étude : la cartographie des paysages forestiers produite par le CIRAD (Gond et al., 2011), couvrant le plateau des Guyanes; le modèle numérique d'élévation SRTM produit à l'échelle mondiale par la NASA ; la carte de l'empreinte humaine, produite en Guyane par de Thoisy et al (2010) et trouvant un équivalent à l'échelle globale (bien que moins détaillé), avec la cartographie du Global Human Footprint distribué par le Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) de la NASA. D'autres couches peuvent être obtenues facilement auprès des

organismes brésiliens compétents (réseau routier), mais certaines sont, pour l'instant, spécifiques à la Guyane (formes de terrain et paysages géomorphologiques, Guitet et al. 2013, qui font l'objet de travaux en Amapá dans le cadre du projet BIOMAP, Guyamazon 2015-2017). Le projet permettra de parfaire cet inventaire des couches d'information disponibles, de produire les informations manquantes et de poser les hypothèses nécessaires à l'élaboration de modèles de risque à l'échelle de la zone d'étude.

Il s'agira également d'accéder à des informations plus détaillées sur l'occupation et l'usage du sol, en particulier l'identification des zones d'eau sous couvert végétal (forêts inondées en particulier) et leur dynamique spatio-temporelle, selon l'approche développée par Catry et al. (2018), combinant images satellitaires radar et optiques afin de pallier la présence de nuages et du couvert végétal.

La possibilité et la pertinence de l'exploitation des séries temporelles de cartes d'irradiation solaire (Albarelo et al, 2015) – en lien avec le volet « Ressources naturelles » du projet PROGYSAT – et de pluviométrie (Ringard et al., 2015) seront également explorées.

Des connaissances seront déduites de la combinaison des couches d'informations précédentes, en particulier la distribution spatiale de la qualité d'habitat des Anophèles, en s'appuyant sur les méthodologies proposées et développées par Moua et al. (2017) ;

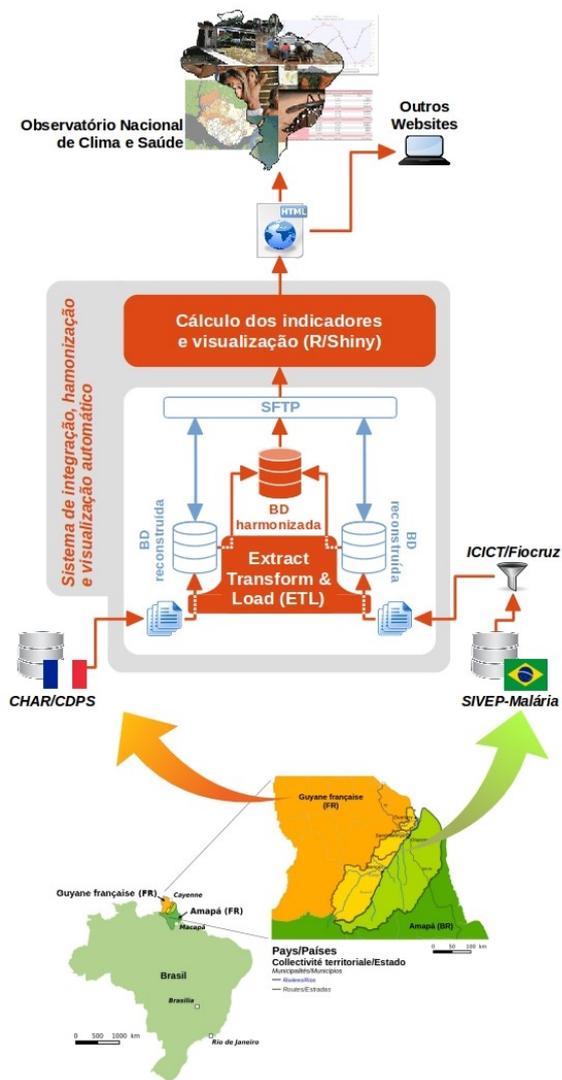
- *Les zones urbaines (Moustiques Aedes, arboviroses)*

Les paysages urbains favorables à la prolifération des moustiques *Aedes*, ainsi que les différents niveaux de vulnérabilité des populations humaines, seront identifiés et caractérisés au moyen de la télédétection à très haute résolution spatiale. Ces travaux s'appuieront sur les résultats de projets antérieurs, notamment le projet DETECT (CNES/TOSCA) ayant mis en relation des données de caractérisation du milieu urbain avec les indicateurs entomologiques à Matoury (Guyane française), sur le projet APUREZA (CNES/TOSCA), ainsi que sur l'axe ADEUSA (Urbain) du présent projet PROGYSAT, visant à étudier, par télédétection, la dynamique d'extension de la tâche urbaine et les paysages urbains.

b) Intégration et harmonisation de données épidémiologiques et entomologiques

Vecteurs : l'inventaire des sites de présence d'anophèles en Guyane, réalisé dans le cadre du doctorat de Yi Moua (Moua, 2017), sera complété suite aux collectes réalisées par l'Institut Pasteur de la Guyane (IPG) dans la région de Trois Palétuvier en 2017 ainsi que, du côté brésilien, par une revue de la littérature et un recensement des données existantes, mené en partenariat avec les équipes d'entomologie médicale de l'Amapá. Il sera publié dans des bases de données ouvertes (en particulier la *Global Biodiversity Information Database*, GBIF), accompagné d'un « article de données » (*Data paper*).

Figure 2 : Flux de données et technologies prévus pour le système d'intégration, harmonisation et visualisation des données du paludisme transfrontalier entre la Guyane française et le Brésil (Roux et al., 2018)



Un travail de recensement sera réalisé en ce qui concerne les sites de présence, et si possible les densités et le statut de résistance aux insecticides des moustiques *Aedes aegypti*, dans les villes de Cayenne/Matoury, Saint-Georges-de-l'Oyapock, Oiapoque et Macapá, grâce aux travaux conjoints, de capture et d'analyse, réalisés par l'IPG (Isabelle Dusfour) et la Fondation Oswaldo Cruz (Ademir Martins).

Enfin, idéalement, un recensement des actions de lutte anti-vectorielle (pulvérisation, utilisation de larvicides, distribution de moustiquaires imprégnées) sera réalisé afin de permettre des études sur les impacts de ces actions et leur intégration dans les modèles de risque.

- **Epidémiologie** : le système d'intégration, d'harmonisation et de visualisation du paludisme transfrontalier (cf. Figure 3) fournira les données sur la répartition de la maladie. Le projet permettra l'amélioration du système, par le géocodage des localités brésiliennes manquantes et le calcul et la spatialisation des taux d'incidence.

L'équipe projet travaillera également à l'adaptation du système précédent afin d'intégrer, harmoniser et visualiser les données épidémiologiques transfrontalières relatives aux arboviroses transmises par *Aedes*.

c) Diffusion

Le projet participera aux efforts de diffusion de données de base et d'indicateurs. Ces efforts sont partagés par le projet PROGYSAT, l'Observatoire brésilien Climat et Santé, le Pôle Theia dans le cadre du Centre d'Expertise Scientifique (CES) « Maladies infectieuses (<http://www.theia-land.fr/fr/themes/santé>)», et ce au travers des infrastructures de données associées.

3.2.4.2. Modèles conceptuels de risque

Le modèle conceptuel de risque de paludisme représenté Figure 3 sera discuté et révisé afin de proposer un modèle valide à la fois pour la communauté scientifique et les acteurs de la santé. L'équipe projet s'appuiera sur la littérature, sa propre expertise et le modèle de construction du

risque utilisé par les acteurs de santé de Guyane française et ayant conduit à la carte de risque de la Figure 1.

La démarche de construction se veut itérative, résultant d'un va et vient permanent entre la collecte / production de données et la construction du modèle, et ce afin d'assurer l'opérationnalité du modèle conceptuel.

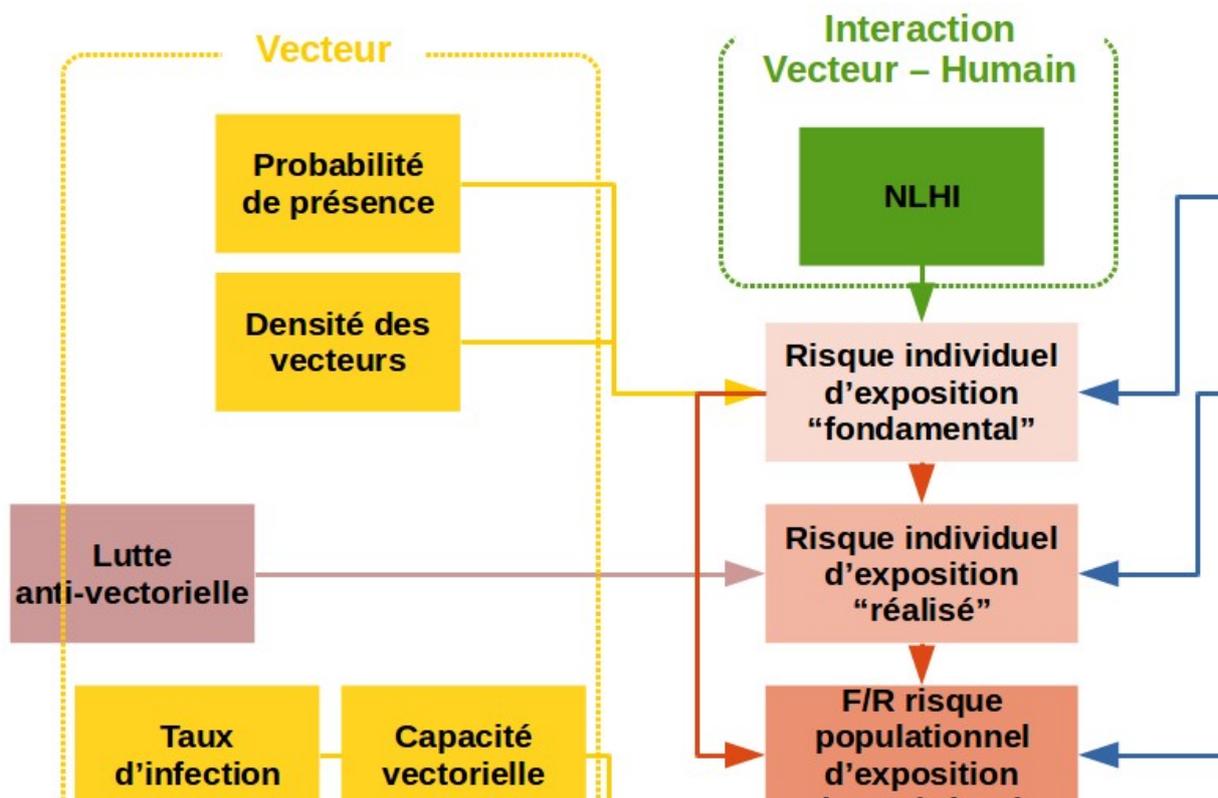


Figure 3 : Une proposition d'un modèle de construction du risque de transmission du paludisme (Roux et al., 2017)

La même démarche méthodologique sera utilisée afin de proposer un modèle de risque des arboviroses transmises par *Aedes*.

3.2.4.3. Cartographie du risque

Les modèles de risque proposés seront implémentés et spatialisés en combinant les couches d'information disponibles, en s'appuyant sur les connaissances des acteurs de la santé et sur des approches objectives exploitant les données épidémiologiques et des méthodes d'apprentissage, de régression statistiques et de sélection de modèles.

La validation des résultats sera assurée par les acteurs de la santé, en s'appuyant sur les données épidémiologiques transfrontalière disponibles.

3.2.5 Résultats attendus et valorisation

Les résultats attendus sont :

- des couches d'information de base permettant une caractérisation multi-thématique et actualisée du territoire transfrontalier entre la Guyane et le Brésil et des zones urbaines de l'île de Cayenne, Saint-Georges, Oiapoque et Macapá,
- La mise à disposition des couches d'information précédentes au travers d'infrastructures de données ;
- Des modèles conceptuels de risque de transmission pour le paludisme et les arboviroses transmises par *Aedes* ;
- Des cartes de risques actualisées associées aux maladies précédentes.

Ces résultats seront valorisés au travers :

- de publications scientifiques dans des revue de référence du domaine (International journal of health geographics, geospatial health, malaria journal, journal of medical entomology, etc.)
- de « data papers » ;
- de la dissémination des données au moyen des bases de données ouvertes (GBIF, VectoBase) et des infrastructures de données existantes et/ou développées dans le cadre du projet.

3.2.6. Partenariat

Tableau 1 : Organismes partenaires et participants à l'axe RiscoTrans (NB : Certaines personnes citées ci-dessous n'ont pas encore donné leur accord formel pour participer au projet)

Amapá, Brésil	Guyane française, France
<p>Superintendência da Vigilância em Saúde do estado do Amapá (SVS-AP) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Margarete Gomes (<i>coordinadora</i>) <p>Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Allan Kardec Galardo <p>Universidade Federal do Amapá, campus d'Oiapoque (UNIFAP-Oiapoque)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anapaula Mendes • Edcarlos Vasconcelos <p>Fiocruz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Christovam Barcellos • Ademir Martins <p>UnB</p> <ul style="list-style-type: none"> • Helen Gurgel 	<p>IRD/ESPACE-DEV</p> <ul style="list-style-type: none"> • Emmanuel Roux (<i>coordinateur</i>) • Nadine Dessay (lien avec l'axe ADEUSA du projet) • Thibault Catry • Renaud Marti <p>Institut Pasteur de la Guyane (IPG)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Isabelle Dusfour • Claude Flamand <p>Hôpital de Cayenne, service des Centres Délocalisés de Prévention et de Soins (CDPS)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Emilie Mosnier <p>Agence Régionale de Santé de la Guyane (ARS Guyane)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alice Sanna <p>Direction de la démoustication de la Collectivité Territoriale de la Guyane</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sandrine Chantilly • Arise Chocho • Johanna Restrepo <p>IRD/MIVEGEC</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vincent Corbel <p>Université d'Artois, Laboratoire Discontinuités</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valérie Morel

Pollution, Urbanisation et habitat précaire

3.3 Protection du paysage en milieu amazonien par l'étude du respect des normes de pollution et le suivi des polluants anthropiques et naturels

3.3.1 Présentation

La réduction des nuisances environnementales passe par une connaissance et un contrôle des polluants de notre environnement. En l'an 2000 Santé, publique France a estimé à 40 000 le nombre de décès liés à la pollution en France.

Compte tenu des acquis précédents via des collaborations avec l'observatoire régional de l'air de Guyane appelé Atmo Guyane (faisant partie du réseau Atmo de France) et du contexte de recherche en Guyane, ce domaine thématique d'application pressenti se divise en trois groupes interdépendants :

-Vérification du Cadre juridique des mesures de sécurité et des normes de pollution (eau, air ; voir ANNEXE 2) franco-surinamienne et franco-brésilienne, connaissance et respect des valeurs limites par la population

-Impact et suivi de la pollution des particules fines anthropiques et/ou naturelles (NOX aérosol, ...) lié au développement et changement de paysage aux abords des zones frontalières (Guyane/Brésil et Guyane/Suriname)

-Caractérisation de la biomasse (Guyane/Brésil et Guyane/Suriname) à partir d'image satellite et par les outils de télédétection et de modélisation

Les partenaires de ce projet en Guyane sont Atmo Guyane (Kathy Panechou-Pulcherie) et l'Université de Guyane (Marie-Line Gobinddass, Mabiane Franca, Rosuel Lima-Pereira, Abdennebi Omrane). Le partenaire au Surinam est l'Université Antom de Kom (Paul Ouboter) et les partenaires au Brésil sont l'Université Fédérale d'Amapa (Maria de Jesus Ferreira César de Albuquerque), l'Entreprise Brésilienne de Recherche Agricole - Embrapa (Eleneide DoffSotta), Francisco Paulo Marques Lopes Professeur des Universités à l'Université Fédérale du PARA (UFPA), Faculté de Mathématiques de Belem, Campus Universitario do Guama et **Cristina Lúcia Dias Vaz, Professeure Associée** à l'Université Fédérale du PARA (UFPA), Faculté de Mathématiques de Belem, Campus Universitario do Guama.

3.3.2 Objectif et Méthodologie du cadre juridique des normes environnementales

3.3.2.1 Les normes environnementales

L'environnement est un ensemble de facteurs d'ordre physique, chimique et biologique qui permet la vie de se développer sous toutes ses formes. Depuis les années 1960, il faut rajouter à l'environnement le facteur d'ordre juridique soulevé par les mouvements politiques. La question de l'environnement gagne du terrain grâce au processus lié à la mondialisation. Depuis, des organisations environnementales comme Greenpeace et Friends of the Earth ont été créées. Au sein du système environnemental la pollution altère la vie en portant préjudice à la santé, à la survie des êtres humains et des autres espèces. En outre, la préservation environnementale relève de la responsabilité de tous car sa conservation est une garantie de la survie des êtres vivants dans notre planète. Même si la législation environnementale n'est pas complètement respectée, elle est toutefois une garantie pour la préservation de ce patrimoine de l'humanité.

En somme, des normes environnementales ont été finalement établies avec pour objectifs de préserver la santé des personnes et de sauvegarder leur environnement. Elles sont basées sur des « critères de préservation souhaitables » et constitue un objectif important des dispositions de

l'administration. Elles sont le fruit de décisions s'orientant vers la mise en place de mesures ayant pour but, la préservation, jusqu'à un certain degré, de l'air, de l'eau, du sol, et la protection contre les nuisances sonores. Cependant, il faut noter qu'elles ne correspondent pas uniquement à des niveaux minimums pour la préservation de la santé des individus, ce sont des normes souhaitables pour une protection active, et l'administration vise au maintien de cette garantie. Elles sont également souhaitables pour éviter, ou du moins limiter, la dégradation de zones jusqu'à présent préservées de la pollution. En outre, les normes environnementales sont établies sur la base de données scientifiques dans la limite du savoir actuel. Ainsi, un effort constant d'investigations sur les dernières découvertes de la science doit aussi se doubler d'un jugement scientifique judicieux pour les intégrer.

3.3.2.2 Objectif généraux

L'étude analytique et comparative des normes juridiques concernant l'environnement, la sécurité et la pollution en France, au Brésil et au Surinam veut, dans un premier moment, faire l'état de lieux des avancements et des retards de ces Etats en matière de protection et de préservation de la nature dans l'espace amazonien en établissant une cartographie des zones protégées. La connaissance des normes juridiques de ces espaces transfrontaliers, Saint Georges de l'Oyapock et Saint Laurent du Maroni, vise à montrer l'importance de l'action des foyers, des quartiers, des écoles, des églises, des communautés pour aider dans la diminution de la production des déchets et d'éléments polluants. En outre, ces actions peuvent être identifiées comme étant positivistes, constructives et critiques. Dans d'autres termes, on peut dire que l'action positive cherche à changer le comportement des individus dans un processus d'enseignement ; l'action constructive se charge du volet pédagogique au long de l'apprentissage en prenant en considération l'affect et le corps des individus dans une dimension informative ; l'action critique passe par la participation de groupes sociaux. Elle privilégie l'émancipation et l'autonomie dans une perspective politique, sans négliger les informations scientifiques, juridiques, économiques et socio-culturelles dans la construction de nouvelles connaissances dans le but de préserver et de protéger l'environnement.

Notre étude analytique et comparative sur l'environnement, la sécurité et la pollution pourra aussi permettre au Plateau des Guyanes une pédagogie contextualisée à sa réalité et à son environnement. En effet, il est important de connaître les conceptions, les représentations, les us et coutumes des habitants transfrontaliers de même que ceux des acteurs sociaux, économiques responsables des problèmes environnementaux comme ceux liés à la sécurité et à la pollution. Un autre objectif de cette étude sur les normes juridiques est d'analyser les représentations sociales du

rapport humain-société-nature présent dans les textes. Il sera donc question de relever dans les textes étudiés des trois pays, les visions dites « naturalistes », « anthropocentriques » et « systémiques » (voir Tableau en ANNEXE 1).

Dans l'analyse et la comparaison des normes juridiques entre la France, le Brésil et le Surinam, d'autres informations sont attendues au terme de cette étude, par exemple :

Du point de vue juridique, quel est le rôle de la société transfrontalière, Saint Georges de l'Oyapock et Saint Laurent du Maroni, dans la préservation de l'environnement ?

Dans le quotidien des populations concernées, comment peuvent-elles aider à préserver l'environnement ?

Quelle est la portée du recyclage dans l'espace transfrontalier franco-brésilien et franco-surinamien ?

Dans la collecte sélective, s'il existe dans le Plateau des Guyanes, quels matériels peuvent-ils être recyclés ?

Quel est le rôle des industries dans la préservation de l'environnement amazonien ?

Quels sont les agents sociaux, économiques, scientifiques, médicaux présents dans l'espace transfrontalier étudié ?

3.3.2.3 SYNTHÈSE

Afin de limiter et réduire les effets néfastes sur l'environnement des projets d'aménagement du territoire qui pourraient faire augmenter les taux de polluants des études d'évaluation d'impact environnementale (EIE) sont menés dans tous les départements français.

Nous chercherons, dans un premier temps, à savoir si l'équivalent de ces EIE existe dans les zones transfrontalières Brésil et Suriname.

L'étude vise à faire l'état des lieux des normes et standards environnementaux dans la région transfrontalière Suriname/Guyane et Brésil/Guyane. Nous chercherons donc à voir dans quelles mesures il est possible de cartographier les items décrits ci-dessous :

Type de pratique suivant les communautés

Législation suivant le territoire

Emprise du recyclage

etc...

Dans le cas de la vérification du cadre juridique, les normes de pollution anthropique de chacun des pays seront fournies par chacun des partenaires afin de comparer celles-ci aux normes de l'Union Européenne (voir Annexe). Un post-doctorant sera recruté et participera au département des Lettres et Sciences Humaines aux recherches sur les objectifs de qualité environnementale dans chacun des pays. Il s'appuiera sur les cahiers de normes disponibles et effectuera une recherche sur les polluants les plus nombreux et les plus toxiques dans chacun des pays. Des outils statistiques et de modélisation seront également utilisés au cours de ces travaux. Ainsi, avec les résultats de l'inventaire, les collectivités locales au Brésil, Suriname et Guyane pourront justifier la nécessité de renforcer la conformité environnementale au Brésil et au Suriname avec l'implantation de normes et standards environnementaux transfrontaliers.

Les principaux résultats de ces travaux devront permettre aux décideurs politiques de prendre des préconisations pour l'aménagement du territoire et en termes de santé publique.

CHRONOGRAMME DES ACTIVITES

Le post-doctorant recruté aura en charge de décrire l'évolution historique des lois, décrets et arrêtés sur la pollution, l'environnement et la sécurité et de décrire les formes de pollutions, les formes de préservation de l'environnement et la sécurité dans l'espace transfrontalier. Au cours des 3 missions de formation (en Annexe) dans la chambre des députés du Brésil, dans la chambre des députés du Suriname et dans la chambre des députés de France, l'étude de la réglementation sera effectuée. A l'issue de ces travaux notre travail sera valorisé une première fois lors du Congrès Air Pollution (voir Annexe) en 2019. Une publication dans un Journal de Sciences Humaines et social est prévu pour la fin de l'année 2019.

3.3.3 Etude de la pollution

3.3.3.1 Présentation

En complémentarité de l'étude du cadre juridique, le projet proposé ici s'articule autour d'une première partie qui consiste à mettre en place un suivi environnemental transfrontalier de la pollution (Suriname/Guyane/Brésil) ainsi que la création d'un support e-learning dédié au suivi de l'évolution des polluants (anthropique ou non) dans le milieu amazonien par satellite et par le biais de capteur au sol.

Cette application thématique a comme appui local Atmo Guyane (Observatoire de la qualité de l'Air de Guyane) et son contexte doit s'inscrire dans les objectifs du PCIA afin de répondre aux besoins des acteurs du territoire aux travers de réelles retombées locales à l'issue du projet et au respect des normes environnementales par la population de ces zones transfrontalières. Dans le cadre du partenariat avec Atmo Guyane, celui-ci participera à la réalisation de la communication grand public et à la communication auprès des scolaires au travers de l'aide à la conception de plaquette, de posters, de films sur la qualité de l'air et de support de prévention pour la santé de la population en cas de forte pollution de l'air.

Pour chaque thème étudié il s'agira de définir conjointement les adaptations potentielles des données disponibles de chaque partenaire et d'évaluer leur mise en cohérence afin d'aboutir au suivi de l'évolution des polluants communs aux zones frontalières au cours de ce projet.

Santé Publique France (SPF) a réalisé une évaluation quantitative de l'impact sanitaire (EQIS) de la pollution atmosphérique afin d'en estimer le poids sur la santé. L'étude de SPF apporte une nouvelle estimation nationale du poids de la pollution par les particules fines PM2.5 en lien avec l'activité humaine. En effet il existe plusieurs voies d'exposition aux aérosols chez l'être humain. La première voie d'entrée principale est la voie respiratoire. Ensuite il y a la voie digestive, pour laquelle la retombée des polluants atmosphériques sur le sol : contamination eau, sol, végétaux, chaîne alimentaire (dioxines, pesticides, métaux lourds, ...). Les particules supérieures à 10 um sont arrêtées dans les voies supérieures. Les particules inférieures à 10 um pénètrent dans les voies inférieures Les particules inférieures à 3,5 um s'insinuent au fond des poumons (particules diesel).

Ces nouvelles données actualisent la dernière estimation publiée en 2000 dans l'étude européenne CAFE annonçant plus de 40 000 décès liés à la pollution en France. L'UE a estimé à 48 000 décès par an, confirmant le même ordre de grandeur que l'étude européenne.

La pollution de l'air n'affecte pas que les grandes villes. Si les effets de cette pollution sont plus importants dans les grandes villes, les villes moyennes et petites ainsi que les milieux ruraux sont aussi concernées :

- dans les zones urbaines de plus de 100 000 habitants les résultats montrent, en moyenne, une perte de 15 mois d'espérance de vie à 30 ans du fait des PM2.5 ;
- dans les zones entre 2000 et 100 000 habitants, la perte d'espérance de vie est de 10 mois en moyenne ;
- dans les zones rurales, ce sont en moyenne 9 mois d'espérance de vie qui sont estimés perdus.

Des gains en santé sont avérés si la qualité de l'air était améliorée. Les travaux de SPF mettent en exergue des bénéfices sanitaires potentiels importants associés à une amélioration de la qualité de l'air. Les résultats montrent que les scénarios les plus ambitieux de baisse des niveaux de pollution conduisent à des bénéfices importants pour la santé. Par exemple, si l'ensemble des communes réussissait à atteindre les niveaux de PM2.5 observés dans les 5 % des communes les moins polluées de la même classe d'urbanisation, 34 000 décès pourraient être évités chaque année (gain moyen de 9 mois d'espérance de vie).

En Guyane Française, c'est Atmo Guyane qui est chargée du suivi de la qualité de l'air. Elle a déjà réalisé des campagnes de mesures dans plusieurs communes de Guyane.

Notre travail de recherche aura pour objectif de compléter les campagnes de mesure effectuées par Atmo Guyane dans les zones transfrontalières afin d'avoir une meilleure connaissance des taux de pollution et estimer les risques sanitaires afin de pouvoir dresser un scénario de prédiction en fonction du taux d'urbanisation.

La télédétection pour la détection des aérosols va apporter plusieurs niveaux d'information à partir d'images satellites SPOT, Landsat et TERRA et AQUA de MODIS. A large échelle nous aurons des informations globales sur le territoire, à échelle régionale ces informations seront plutôt axées sur le fond rural et à petite échelle nous pourrions nous concentrer sur une ou des villes en particulier.

Nous pourrions ainsi compléter des réseaux de capteurs de polluants en fonction de l'urbanisation, améliorer leur emplacement ou les mettre en place si elle n'existe pas encore.

C'est à partir de l'inversion du signal satellitaire que nous allons extraire la composante aérosol, nous déterminerons le type d'aérosols à partir de la taille et nous déterminerons l'épaisseur optique qui nous renseignera sur l'abondance.

La combinaison des mesures in-situ issus des campagnes de mesure de ce projet (voir ci-dessous) avec les observations spatiales (signal satellitaire) permettra d'obtenir une cartographie plus précise des taux de pollution sur la période du projet et confirmera l'importance de pérenniser ce type d'étude au fur et à mesure que le nombre d'habitant va augmenter et que le taux d'urbanisation va croître.

Les analyses de la composition chimique et de la structure de particules individuelles, de mesure in situ et par télédétection de particules urbano-industrielles, désertique et de biomasse (voir les paragraphes b et paragraphe c ci-dessous) prélevées en surface en Guyane et à différentes altitudes. Une série de simulations numériques seront utilisées dans le but d'analyser la sensibilité des observations par télédétection à l'état de mélange des aérosols.

Deux stagiaires de Master (voir fiche jointe) travailleront sur chacune des frontières afin dans un premier temps de collecter, classer et analyser, toutes les données recueillies lors des campagnes expérimentales dans le but de faire un inventaire, ensuite de dresser une base de données des types de polluants et finalement proposer un outil SIG adapté.

Il sera nécessaire de faire la distinction (modélisation et outils statistiques) entre la pollution anthropique (HAP, NOx, CO2, composés organiques volatils, le mercure, etc.) et naturelle (aérosols désertiques, le chlore naturel et autres) dans les régions transfrontalières entre le Brésil, la Guyane française et le Suriname afin de vérifier le respect des normes environnementales à partir de la détection des seuils limite de pollution. La vérification du cadre juridique des normes de pollution présentées au début de ce projet servira à ce stade à valider les convergences/divergences dans les régions transfrontalières à la Guyane.

Les principaux résultats attendus sont la modélisation des polluants (évolution spatio-temporelle), leur analyse statistique, la cartographie de ceux-ci et la prédiction de leur évolution en fonction de l'aménagement du territoire envisagé par les pouvoirs politiques.

3.3.3.2 Campagnes expérimentales et étude qualitative et quantitative de polluant

- **a) Pollution provenant des habitudes et déplacement de la population après la construction du pont et respect des normes environnementales**

Cette étude s'articulera autour de problématique issu des autres sous-thèmes de ce projet :

- i) Vérifier l'évolution du paysage urbain et péri-urbain par le biais des images satellites et de données cadastrales dans les zones transfrontalières en relation avec le sous-thème étude de la biomasse
- ii) Evaluer le respect des normes environnementales par la population à partir de la détection des seuils limite de pollution et le sous-thème vérification du cadre juridique des normes de pollution

- **b) Définir les types et taux de polluants dans l'air, le sol et l'eau (déjà existant ou nouveau)**

En ce qui concerne l'impact et le suivi de la pollution des particules fines anthropiques et/ou naturelles, une première campagne de mesures est en cours de réalisation pour la région transfrontalière Guyane/Suriname avec l'Observatoire de la qualité de l'air de Guyane (Atmo Guyane). Le planning de cette campagne est la suivante pour la ville de Saint-Laurent :

Novembre 2018 à Janvier 2019 : Installation de la station mobile INDY pour la mesure des PM10, oxydes d'azote et ozone de fond (le but à long terme est l'installation d'une station fixe).

Novembre 2018 à Janvier 2019 : Pose de tubes (1 site) pour la mesure du benzène et sa famille (BTEX). Cinq campagnes de 14 jours sont prévues et la pose de tubes pour cartographier la ville en NO2 (4 campagnes de 14 jours sur une vingtaine de sites).

Les prochaines campagnes de mesures dans la région transfrontalière Guyane/Suriname auront lieu en 2018 et 2019 et consisteront à :

Mesurer les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (prélèvement tous les 6 jours, pendant toute l'année)

Mesurer des métaux lourds (plusieurs prélèvements de 7 ou 14 jours, répartis sur l'année)

D'autres campagnes de mesures seront planifiées en concertation avec Atmo Guyane pour le Suriname et la région transfrontalière Guyane/Brésil.

Cette étude sera menée conjointement avec Atmo Guyane qui a le projet d'installation de station de mesure et de capteurs de polluant en temps réel (zone Oyapock début 2019).

A l'issue de cette nouvelle campagne nous chercherons à effectuer une cartographie précise des modifications du paysage urbain et forestier à travers les images satellite afin de prédire les conséquences de la pollution croissante dans les régions transfrontalières

Nous caractériserons également l'augmentation de l'action anthropique et naturelle de la pollution et évaluer les possibles déséquilibres dans l'environnement des régions transfrontalières (Guyane/Brésil et Guyane/Suriname) via des modèles mathématiques.

Il sera nécessaire de faire la distinction (modélisation et outils statistiques) entre la pollution anthropique (HAP, NOx, CO2, composés organiques volatils, le mercure, etc.) et naturelle (aérosols désertiques, le chlore naturel et d'autres) dans les régions transfrontalières entre le Brésil et la Guyane française et le Suriname et le Brésil afin de vérifier le respect des normes environnementales à partir de la détection des seuils limite de pollution.

3.3.3.3 Interaction des différentes étapes de notre projet

Les objectifs spécifiques à cet axe thématique sont comme suit :

- Construction des objectifs communs en termes de coopération scientifique régionale
- Etude comparative des normes environnementales de pollution
- Mutualisation et valorisation des bases de connaissances entre les 3 régions
- Production les indicateurs de polluants entre les 3 régions
- Suivi en temps réel et/ou différé de l'évolution des polluants (définir selon les frontières le mode de suivi, horaire, journalier, mensuel selon les types de polluants et suivant les saisons)

Cet axe est complémentaire à l'axe sur le mode routinier de surveillance environnementale dans le domaine. Les objectifs complémentaires sont donc :

- Modélisation et suivi des polluants anthropiques (des modèles mathématiques : dynamique, dispersion atmosphérique de polluants, modèles de qualité de l'air seront utilisés)
- Valoriser les résultats pour les cursus et formations académiques par la préparation de modules éducatifs afin de former les étudiants au suivi des polluants dans l'environnement amazonien.

La mise en œuvre de chacun des thèmes intégrera l'organisation de séminaires autour du comportement humain et de l'évolution des polluants transfrontaliers et/ou transnationaux. Il s'agirait, par conséquent, d'insérer leurs apports potentiels face aux attentes et besoins des acteurs publics. Des ateliers « éducation » sur la spécification de contenus ainsi que des enseignements à distance seront proposés.

CHRONOGRAMME DES ACTIVITES

Le post-doctorant recruté aura en charge de répertorier et classer les différents types de polluants dans les régions transfrontalières, de les modéliser et les cartographier en travaillant étroitement avec les deux stagiaires de Master 2 (M2) qui seront sur le projet. Chacun des stagiaires de M2 devra développer à l'IRD des outils SIG permettant d'améliorer la représentation spatiale de différents polluants (Nox, COV, HAP, PM10, PM2.5, etc...) en valorisant les différentes bases de données acquises lors de nos campagnes de mesures. Nous inviterons un chercheur expérimenté dans la modélisation des polluants, Bruno Sportisse, et un Professeur des Université, Zenilda Cardeal spécialisée dans les études HAP et COV en milieu amazonien (voir Annexe).

Au cours d'une mission de formation (en Annexe) à Newcastle nous utiliserons un nouvel outil de modélisation des polluants. A l'issue de ces travaux nos résultats seront valorisés une première fois lors du Congrès European Geophysical Union (EGU, voir Annexe) en 2019 et une seconde fois lors du Congrès Air pollution (voir Annexe). Une publication dans une revue à comité de lecture en Sciences Environnementales est prévue pour la fin de l'année 2019.

3.3.4 Etude de la biomasse et changement d'occupation et d'utilisation des sols

Les forêts tropicales jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des systèmes naturels de la planète. Cependant, les forêts tropicales jouent un rôle significatif sur la régulation du climat local à cause de leur interaction avec les cycles de l'eau.

L'Amazonie abrite 33% des forêts tropicales du monde. Elle est la plus grande et la plus diversifiée des forêts tropicales de la planète. Néanmoins, le scénario de la déforestation et de la dégradation de la forêt Amazonienne a été l'objet d'un intérêt mondial, principalement en raison de la contribution de la déforestation à l'augmentation du réchauffement planétaire.

Les causes de la déforestation peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. En Amazonie, la déforestation est causée principalement par des actions d'origine anthropique liées aux activités agraires, à l'explosion démographique, à l'exploitation forestière et à l'exploitation minière du sous-sol (par exemple orpaillage).

Dans le contexte du changement climatique, la déforestation est une source importante d'émissions de dioxyde de carbone (CO₂).

Les écosystèmes forestiers représentent 80% du carbone terrestre stocké dans la végétation, et 40% de celui stocké dans les sols (Seymour et Forwand 2010). D'après Pan et al. (2011) les forêts tropicales contiennent 47,5 à 62,5% de ce stock, et sont les principales victimes de la déforestation.

La déforestation provoque une modification du climat, aux échelles mondiales, aussi bien qu'à l'échelle régionale et locale. Une modification du cycle de l'eau, l'érosion des sols, une baisse des quantités de pluies, l'augmentation de la pollution dont la végétation permettant de purifier l'eau et l'air, perte de la biomasse présente dans chaque type de forêt et perte de la biodiversité.

Pour ces raisons, il est nécessaire et impératif de connaître la biomasse de chaque type de forêt, pour estimer le stock de carbone. Les estimations de la biomasse sont utilisées pour estimer la quantité de dioxyde de carbone (CO₂) libérée dans l'atmosphère pendant le processus de combustion et le méthane (CH₄) dans le processus de décomposition de la biomasse. Le CO₂ et le CH₄ sont deux des six gaz à effets de serre ciblés par le protocole de Kyoto.

En parallèle, nous allons effectuer le suivi des changements d'occupation et d'utilisation des sols d'origine anthropique dans les zones transfrontalières (Guyane/ Brésil et Guyane/Suriname). Les

changements d'occupation et d'utilisation des sols sont une des principales causes anthropiques de l'augmentation de l'émission du gaz à effet de serre.

L'étude des changements d'occupation et d'utilisation des sols et leurs interactions avec les sociétés humaines et leurs territoires constitue un enjeu majeur pour la communauté politique et scientifique dans un contexte de changement global, régionale et locale (climatique, environnemental, démographique, socio-économique, politique).

Les données de télédétection (images satellites de moyenne et haute résolution spatiale) disponibles jusqu'à présent seront utilisées pour permettre un suivi spatio-temporel détaillé de l'occupation et de l'utilisation des sols à l'échelle régionale dans les zones transfrontalières.

Les résultats de cette analyse devraient permettre de reconnaître les facteurs anthropiques liés aux changements d'occupation du sol et ainsi de vérifier la quantité de carbone stocké par type d'usage du sol à l'échelle régionale et transfrontalière.

Ensuite, les données des séries temporelles d'images NDVI, SAVI et images fraction (ombre, végétation et sol) et les données du terrain (l'inventaire forestier), seront analysées afin de quantifier le carbone (émis et /ou stocké) de la biomasse forestière dans les zones transfrontalières.

Cette méthode a été utilisée en Amazonie Centrale où les analyses statistiques pour la série temporelle des forêts aménagées suggèrent clairement que les valeurs du NDVI, du SAVI et des images-fraction de végétation et d'ombre qui changent au cours du temps (Thèse Mabiane Franca, 2009).

Deux stagiaires de Master travailleront sur les deux frontières afin de répertorier et classer toutes les données disponibles. Il y aura une base de données par type de végétation, de biomasse et son stock de carbone, dans l'objectif d'une meilleure gestion territoriale. Le principal résultat attendu est la cartographie du type de végétation et type d'occupation du sol via l'utilisation des images fournies par l'axe 1.

Définir le paysage transfrontalier

Une pré-étude s'articulera autour de deux problématiques :

- I) Estimer la biomasse en différents types de végétation dans la zone transfrontalière (Guyane/Brésil et Guyane/Suriname) à partir des mesures terrains obtenues via des

inventaires forestiers et par des données disponibles, afin de vérifier le stock de carbone dans chaque type de végétation.

- II) Analyser l'évolution et l'occupation et d'utilisation des sols d'origine anthropique autour des frontières (zones péri-urbaines, pont, fleuve) en utilisant les images satellites (Spot, Landsat, etc...).

CHRONOGRAMME DES ACTIVITES

Les deux stagiaires de Master 2 (M2) qui seront sur le projet devront recueillir et analyser les données des inventaires forestiers dans les zones transfrontalières et constituer une base de données par type de végétation, de biomasse et son stock de carbone. Chacun des stagiaires ira dans une des deux frontières accompagné d'un chercheur pour le recueil et l'analyse des données (voir annexe frais de mission de terrain).

Nous travaillerons également sur la région Brésil avec le Professeur Eleineide DoffSota avec la mise en place d'un un inventaire forestier A l'issu de ces travaux les résultats seront valorisés lors du Congrès Landscape Ecology en 2019. Une publication dans une revue à comité de lecture en Sciences Environnementales est prévue pour la fin de l'année 2019.

3.3.5 Tâches

Action	Intitulé/Description	Période
Action 1	Caractérisation et évolution du paysage transfrontalier par l'acquisition, l'analyse et la production des images satellites	Trimestre 4 (2018) et Trimestre 1 et 2 (2019)
Action 2	Classification du paysage (forestier) transfrontalier par les mesures de terrains (l'inventaire forestier et données disponibles)	Trimestre 4 (2018) et Trimestre 1 et 2 (2019)
Action 3	Etude statistique de la pollution anthropique (HAP, NOx, CO2,	Trimestre 1, 2 et 3 (2019)

	composés organiques volatils, le mercure, etc.)	
Action 4	Modélisation de la pollution anthropique (HAP, NOx, CO2, composés organiques volatils, le mercure, etc.)	Trimestre 1, 2 et 3 (2019)
Action 5	Etude statistique de la pollution naturelle (aérosols désertiques, le chlore naturel et d'autres)	Trimestre 3, 4 (2019)
Action 6	Modélisation de la pollution naturelle (aérosols désertiques, le chlore naturel et d'autres)	Trimestre 3, 4 (2019)
Action 7	Prédiction de l'évolution des polluants dans les régions transfrontalières	Trimestre 1, 2, 3 (2020)

3.3.6 Résultats et Vulgarisations

Résultats	Vulgarisation
Cartographie de la mise en conformité des normes environnementales au Brésil et au Suriname	Campagne d'information sur les normes environnementales aux frontières Guyane/Brésil et Guyane/Suriname avec Atmo Guyane
Production indicateur des polluants dans les 3 régions	Exposition Grand Public sur le thème de la protection de l'environnement avec Atmo Guyane
Cartographie des taux de pollution sur la période du projet à partir de la combinaison des mesures in-situ issus des campagnes de mesure de ce projet avec les observations spatiales	Vulgarisation auprès des scolaires des comportements à avoir pour ne pas polluer autour de soi

Cartographie de la biomasse complémentaire à la cartographie de la pollution	Conférences nationales et internationales pour présenter les résultats de ces travaux
Proposition d'un plan de protection de notre territoire contre la pollution pour les prochaines décennies	

3.3.7 Membre et partenaires du Projet

Membres en Guyane française	Membres à l'étranger
Kathy Panechou-Pulcherie : Directrice de Atmo Guyane	Eleneide Doffsotta : Chercheure à l'Entreprise Brésilienne de Recherche Agricole
Abdennebi Omrane : Professeur des Universités à l'Université de Guyane	Paul Ouboter : Maître de Conférences à l'Université Fédérale du Suriname d'Antom de Kom
Marie-Line Gobinddass : Enseignante-Chercheure à l'Université de Guyane	Francisco Paulo Marques Lopes : Professeur des Universités à l'Université Fédérale du PARA (UFPA), Faculté de Mathématiques de Belem, Campus Universitario do Guama
Rosuel Lima-Pereira : Maître de Conférences à l'Université de Guyane	Maria de Jesus Ferreira César de Albuquerque : Professeure des Universités à l'Université Fédérale d'Amapa (UNIFAP), Faculté de Géographie, Campus Binacional. Coordinatrice du cursus géographie
Mabiane Franca : Enseignante-Chercheure à l'Université de Guyane	Cristina Lucia Dias Vaz : Professeur associée à l'Université Fédérale du PARA (UFPA), Faculté de Mathématiques de Belem, Campus Universitario do Guama

ANNEXE 1

Vision naturaliste
<p>Cette vision considère l'environnement comme synonyme de nature (intouchable) et d'harmonie.</p> <p>L'environnement concerne les aspects physiques et biologiques. Il exclut l'être humain car ce dernier n'est qu'un observateur externe.</p> <p>Type de discours :</p> <p>Spatial : « lieu où habitent les êtres vivants » ;</p> <p>Éléments qui l'entourent cet espace : les éléments biotique (êtres vivants), éléments abiotiques (l'air, l'eau et le sol).</p> <p>Pratiques pédagogiques :</p> <p>Exerce une pédagogie traditionnelle ;</p> <p>Se limite à transmettre les connaissances sur la nature (biotique et abiotique) ;</p> <p>L'être humain s'insère dans cet espace comme prédateur ;</p> <p>Importance de la méthodologie : observation de la nature (celle qui a été préservée ou détruite).</p>
Vision anthropocentrique
<p>Cette vision considère que l'utilité des ressources naturelles sont nécessaires pour la « survie de l'être humain (vision utilitariste).</p> <p>Elle reconnaît l'interdépendance des éléments biotiques et les éléments abiotiques de même que l'action transformatrice de l'être humain sur la nature, basculant « l'équilibre écologique ».</p> <p>Types de discours :</p> <p>Il s'agit de tout ce qui entoure l'être humain : les animaux, les végétaux, l'eau, le sol, l'air. Bref, « tout ce qui permet la survie humaine ».</p> <p>C'est le lieu où vit l'homme. Il profite de tous les ressources qu'il a pour survivre.</p> <p>Pratiques pédagogiques :</p> <p>Exerce une pédagogie traditionnelle ;</p> <p>Elle a comme but de conscientiser les individus de l'importance de la préservation des ressources qu'on utilise et qui sont nécessaires à la survie de l'humanité ;</p> <p>Lors de l'étude de la problématique environnementale, cette pédagogie donne priorité aux aspects</p>

politiques, sociaux et économiques étroitement liés à l'être humain.

Vision systémique

Cette vision met en évidence le rapport réciproque entre nature et société. Elle se caractérise pour mettre en exergue les interactions complexes entre les aspects sociaux et naturels sans oublier toutefois, les aspects politiques, économiques, philosophiques, juridiques et culturels. Dans cette perspective, l'homme est vu en tant qu'être social vivant en communauté.

Types de discours :

« L'environnement est notre foyer, notre quartier, notre ville, notre pays, notre planète. Il est les animaux, les plantes, la famille, la société, la relation entre tous les êtres vivants et tout qui entoure l'homme ».

Pratique pédagogique :

Joue un rôle d'innovation ;

Transmet des connaissances sur la complexité de la nature ;

Voit l'être humain comme un élément constitutif de l'environnement en tant qu'être social et vivant en communautés ;

Cherche à sensibiliser les individus sur la nécessité de préserver les interactions existantes tantôt dans la nature, tantôt dans la société mais aussi entre elles ;

Inclut d'autres thèmes qui ne font pas partie du quotidien pédagogique ou d'un programme officiel. La vision systémique cherche à développer d'autres contenus, d'autres études comme celle de la pollution, la sécurité, les déchets, le recyclage, la santé, la pauvreté.

Adopte une perspective interdisciplinaire.

Source : O Rio da minha vida.

ANNEXE 2

Normes

Valeurs limites, valeurs cibles et objectifs de qualité

Polluant	Valeurs limites	Valeurs cibles	Objectifs de qualité
NO2	En moyenne annuelle pour la protection de la santé : 40 µg/m3		40 µg/m3 en moyenne annuelle
	En moyenne horaire pour la protection de la santé : 18 dépassements annuels de 200 µg/m3		
NOX	30 µg/m3 (équivalent NO2) en moyenne annuelle pour la protection de la végétation		
PM10	En moyenne annuelle pour la protection de la santé : 40 µg/m3		30 µg/m3 en moyenne annuelle
	En moyenne journalière pour la protection de la santé : 35 dépassements annuels de 50 µg/m3		
Plomb	0,5 µg/m3 en moyenne annuelle		0,25 µg/m3 en moyenne annuelle
SO2	20 µg/m3 en moyenne annuelle pour la protection des écosystèmes		50 µg/m3 en moyenne annuelle
	20 µg/m3 en moyenne sur la période allant du 1er octobre au 31 mars pour la protection des écosystèmes		
	En moyenne journalière pour la protection de la santé : 3 dépassements annuels de 125 µg/m3		
	En moyenne horaire pour la protection de la santé : 24 dépassements annuels de 350 µg/m3		
O3		25 dépassements annuels de 120 µg/m3 le maximum pour le maximum journalier de la journalier de la moyenne sur 8	120 µg/m3 pour le maximum journalier de la moyenne sur 8

		moyenne sur 8 heures pour la protection de la santé	moyenne sur 8 heures pour la protection de la santé
			18000 µg/m ³ .h pour l'AOT40 de mai à juillet pour la protection de la végétation
CO	10 000 µg/m ³ pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures pour la protection de la santé		6000 µg/m ³ .h pour l'AOT40 de mai à juillet pour la protection de la végétation
Benzène	En moyenne annuelle pour la protection de la santé : 5 µg/m ³		2 µg/m ³ en moyenne annuelle
Arsenic		6 ng/m ³ en moyenne annuelle	
Cadmium		5 ng/m ³ en moyenne annuelle	
Nickel		20 ng/m ³ en moyenne annuelle	
B(a)P		1 ng/m ³ en moyenne annuelle	

valeurs limites, valeurs cibles et objectifs de qualité

Seuils d'information et de recommandation et seuils d'alerte

Polluant	Seuils d'information et de recommandation	Seuils d'alerte
NO ₂	200 µg/m ³ en moyenne horaire	400 µg/m ³ en moyenne horaire 200 µg/m ³ en moyenne horaire en cas de dépassement de cette valeur la veille et de risque de dépassement le lendemain
SO ₂	300 µg/m ³ en moyenne horaire	500 µg/m ³ en moyenne horaire en cas de dépassement pendant trois heures consécutives
O ₃	180 µg/m ³ en moyenne horaire	seuil 1 : 240 µg/m ³ en moyenne horaire en cas de dépassement pendant trois heures consécutives seuil 2 : 300 µg/m ³ en moyenne horaire en cas de dépassement pendant trois heures consécutives seuil 3 : 360 µg/m ³ en moyenne horaire
PM ₁₀	50 µg/m ³ en moyenne sur 24 heures	80 µg/m ³ en moyenne sur 24 heures

seuils d'information et de recommandation et seuils d'alerte

3.4 Analyse des Dynamiques des Espaces Urbanisés par Satellite : Application aux Guyanes (ADEUSA Guyanes)

3.4.1 Contexte général et Zone d'étude

En Amazonie au cours de la seconde moitié du XXème siècle la population a augmenté très rapidement. Le taux de croissance naturelle de la population, en stabilisation depuis quelques années seulement, était beaucoup plus élevé que les moyennes nationales. Par ailleurs certaines des stratégies nationales de développement des territoires se sont basées sur des politiques de grands chantiers (infrastructuraux, miniers, agricoles...), attirant des populations dans ou à proximité des villes de la région, ou dans des zones rurales éloignées qu'elles finissaient par quitter pour bénéficier de services offerts par la vie urbaine.



Les Guyanes, sous-région de l'Amazonie, forment une entité géographique qui se divise en cinq pays (Fig. 1). La diversité des paysages urbanisés est riche malgré un nombre limité d'agglomérations, notamment de villes secondaires. Même si globalement cet immense espace amazonien n'est pas

densément occupé par l'Homme, on observe une urbanisation encore aujourd'hui croissante, surtout dans les villes frontalières et encore plus dans les capitales de cette sous-région. Une multiplicité de processus a alimenté la production des espaces urbanisés pour faire face à cette situation, se combinant ou se succédant jusqu'à façonner les agglomérations actuelles: aménagement de nouveaux quartiers résidentiels ou création de zones d'activités économiques ; rénovation ou transformation des patrimoines architecturaux historiques; planification et développement de villes nouvelles, ou création de cités ouvrières; constitution de régions métropolitaines; spéculation foncière dans les agglomérations les plus attractives; agrégation et croissance d'habitats précaires dits "spontanés" dans les espaces non bâtis des villes, ou à proximité de nouveaux axes de circulation, ou encore accolés aux zones d'activités; réhabilitation ou reconstruction de quartiers insalubres ou précaires; opérations immobilières de verticalisation de l'habitat.

A partir des années 80 et surtout au cours des années 90 et 2000, des phénomènes d'extension ou de densification très rapides des tissus urbains ont marqué de leur empreinte la plupart des grandes villes ainsi que de plus petits centres urbains de la sous-région, tels que des villes minières, agricoles ou frontalières.

La Guyane française comptait 252 338 habitants au 1er janvier 2014 (INSEE) contre 55 125 en 1974. Jusqu'à la fin des années 80', le solde migratoire positif représentait environ 50 % de la croissance démographique du Territoire. Depuis, elle est principalement la conséquence, selon l'INSEE, de la forte natalité. Actuellement la croissance de la population est de 2,4 % par an en moyenne entre 2009 et 2014 avec un solde migratoire proche de 0 tel que mesuré par l'INSEE (population légale). Cette croissance est cependant en baisse : elle était de 3,6 % par an en moyenne entre 1999 et 2009. La baisse de ce taux moyen cache dans les faits de fortes disparités et des phénomènes induits. A l'Ouest, de Saint-Laurent-du-Maroni (44 169 hab. en 2014) à Maripasoula (10 984 hab. en 2014), une croissance démographique intense est enregistrée depuis la fin des années 90'. La population de Saint-Laurent a augmenté de 3,3 % par an en moyenne entre 2009 et 2014 selon l'INSEE, et en moyenne de 8,4 % par an sur la période 1978-2013 (GRET, 2013) ; à Papaïchton le nombre d'habitants s'est élevé de 65 % entre 2009 et 2014. Ces rythmes de croissance démographique dépassent les capacités de construction planifiées par les politiques urbaines. A Cayenne, l'Aire urbaine (délimitée en 2010) concentre plus de 120 000 habitants, soit environ la moitié de la population du Territoire ; en 1967, la même zone n'en comptait que 28 257. Mais la ville Capitale malgré son attractivité (concentration des commerces, des administrations et des services) et un solde naturel positif de 2,1 % entre 2009 et 2014 a perdu des habitants dans la même période

(-0,4% par an). Sa faible superficie ne permet pas la construction de nouveaux logements et donc l'installation des nouveaux arrivants.

La capacité limitée à accueillir de nouveaux habitants induit une forte pression sur les politiques publiques d'aménagement. Dans l'Aire de Cayenne cette pression se répercute sur les communes attenantes, notamment à Macouria, Roura, et Montsinéry-Tonnegrande mais aussi à Matoury et Rémire-Montjoly. Des phénomènes d'urbanisation "spontanée" apparaissent tant dans l'Aire de Cayenne que dans l'Ouest guyanais. Ils se manifestent par la fabrication et le développement de poches d'habitats précaires, souvent insalubres, qui font l'objet d'inventaires et de recensements préalables à des plans de résorption.

Au Brésil la croissance démographique a provoqué une explosion des grandes villes. Selon l'IBGE (Institut brésilien des statistiques, 2012) la population urbaine de l'Amazonie brésilienne a augmenté de 36,6 % entre 1980 et 1991, de 30,3 % entre 1991 et 2000 et de 18,8 % entre 2001 et 2010. La zone littorale amazonienne abrite les régions métropolitaines de Belém (Pará) et Macapá (Amapá) qui totalisaient en 2016 près de 3 millions d'habitants contre un peu plus de 720 000 en 1970. Celle de Macapá seule a connu une augmentation de 55 % de sa population entre 2006 et 2010 (UNIFAP, 2013). A l'Ouest, redessinée dans les années 40' la Capitale du Roraima, Boa Vista, concentrait en 2016 une population estimée à 326 419 habitants contre 36 464 en 1970. Manaus en bordure sud-ouest de la zone (Fig. 01) comptait 2 568 817 habitants en 2016 contre 311 622 en 1970. Depuis les années 1980, l'Amazonie a été reconnue comme une "forêt urbanisée" à l'échelle régionale (Browder, 1990; Becker 2005).

Cette croissance démographique massive a engendré une multiplication de quartiers informels et insalubres (invasões), une insécurité accrue, une spéculation immobilière donnant lieu à des phénomènes de ségrégation socio-spatiale de l'espace urbanisé. Les politiques de planification mises en place tentent de réhabiliter et de développer certains quartiers (y compris le patrimoine portugais des cœurs historiques), mais les paysages urbains témoignent encore de ce boom mal contrôlé : favelas sur pilotis en zones insalubres (inondables), vastes quartiers populaires dans les espaces péri-centraux et en périphérie, verticalisation et/ou bunkérisation des zones centrales ou d'îlots marginaux. De même, la condition des services publics de base fournis aux quartiers périphériques tels que les transports publics, l'éducation et la santé sont de faible qualité et, dans certains cas, inexistantes (Santos et al., 2016).

Au Suriname, la Capitale Paramaribo présente un cœur patrimonial hollandais classé (UNESCO) au centre d'une vaste agglomération très étendue. La ville comptait en 1980 170 000 habitants contre plus de 325 000 pour l'agglomération en 2004 (Verrest, 2010), soit plus de la moitié de la population du pays. Son extension (horizontale) se matérialise schématiquement par deux grands types de quartiers : des habitats périphériques peu aménagés en "arête de poisson" le long des principaux axes de circulation, et des quartiers résidentiels bâtis dans des environnements sub-urbains plus favorables (Weidum Celestine, 2014).

Au Guyana, Georgetown capitale fondée par les Anglais, présente une situation comparable même si elle ne concentre qu'un tiers de la population nationale et que la part rurale de la population du pays reste importante (60 % contre 30 % au Suriname).

3.4.2 Objectifs et finalités

L'objectif de cet axe ADEUSA est de mettre au point des outils, par traitement de données satellitaires, pour l'étude des dynamiques des espaces urbanisés. Deux niveaux de granularité dans la thématique sont pris en compte :

- (i) pour suivre l'évolution des tâches urbaines des différentes capitales du plateau des Guyanes.
- (ii) pour cartographier les principaux habitats urbains (dense ou discontinu) avec un focus sur l'habitat précaire (limitation dans ce projet à l'Île de Cayenne, Saint-Georges-de-l'Oyapock, Oiapoque, Macapá).

Concrètement, ces activités permettront de développer, d'installer puis d'opérer (rétrospectivement et en mode routinier), en lien avec les acteurs du domaine, une chaîne de traitement dédiée "urbain" qui délivrera à l'échelle de la sous-région des informations comparables pour qu'un suivi de la tâche urbaine soit réalisé, et que la nature et les évolutions des habitats précaires soient documentées avec régularité.

Les enjeux sont de produire des connaissances nouvelles sur les formes d'évolution historique et actuelle des espaces urbanisés de la région:

- d'une part pour doter SEAS Guyane d'une chaîne applicative dans les thématiques urbaines, pour accroître à partir de la plateforme satellitaire les champs de compétence et d'expertise de la Guyane, notamment dans le cadre de la coopération régionale entre la Guyane et ses pays voisins immédiats.
- d'autre part pour alimenter les réflexions et analyses portées par les gestionnaires des politiques publiques des villes (planification, aménagement), notamment celles en faveur de la gestion des habitats urbains précaires.

Pour atteindre cet objectif l'équipe proposante se basera sur un état de l'art dans le domaine et sur des travaux précédemment réalisés en ce qui concerne la discrimination de paysages urbains par télédétection. Parmi ces travaux nous citerons ceux réalisés : (i) dans le cadre du projet Copernicus LIMES (<http://www.copernicus.eu/projects/limes/>), (ii) CARTAM-SAT (CARTographie dynamique des Territoires AMazoniens : des Satellites aux AcTeurs (2007-2013), (iii) GUYAMAPA "Observation Spatiale de l'Environnement transfrontalier Guyane-Brésil" (2011-2015), (iv) COCLICO "COllaboration, CLassification, Incrémentalité et Connaissance" (2012-2016), (v) APUREZA "Analyse par télédétection des relations entre Paysages URbains d'Engue et Zika (2016-2020).

3.4.3 Méthodes et activités

Les méthodologies proposées portent sur le choix de traitements génériques à mobiliser pour garantir la meilleure reproductibilité possible des traitements tout en conservant la qualité des informations extraites. Elles concernent l'extraction de la tâche urbaine (données historiques) et des habitats urbains rencontrés dans les agglomérations. Un effort particulier sera porté sur la définition précise d'une nomenclature des espaces et paysages urbains à cartographier, qui soit généralisable à l'ensemble des villes de la sous-région. Plus spécifiquement, les caractéristiques de l'habitat précaire seront étudiées (taille et espacement des bâtiments, densité de bâti par unité de surface, proportion de sol nu ou de végétation, indices de fractionnement, indices radiométriques, etc.) afin de mettre en place des procédures de reconnaissance automatique de ces zones à partir des produits de l'imagerie satellitaire.

3.4.3.1 Cartographie de la tâche urbaine et suivi de la dynamique spatio-temporelle des espaces urbanisés dans la sous-région

La cartographie de la tâche urbaine et le suivi de la dynamique des espaces urbanisés dans le temps et dans l'espace seront réalisés à partir d'imagerie satellite haute résolution de type Sentinel 2 (optique, 10m de résolution, répétitivité temporelle de 12 jours) et Sentinel 1 (RADAR, 10m de résolution, répétitivité temporelle de 12 jours). La combinaison de ces deux sources de données, en contexte tropical fortement ennuagé, permettra la création de séries temporelles d'images desquelles seront extraits, par des critères texturaux, les contours de la tâche urbaine et réalisée la détection des changements d'occupation du sol en contexte urbain dans la sous-région. Ces données sont gratuites et accessibles à tous les utilisateurs via la plateforme d'exploitation des produits sentinel (PEPS) développée par le CNES.

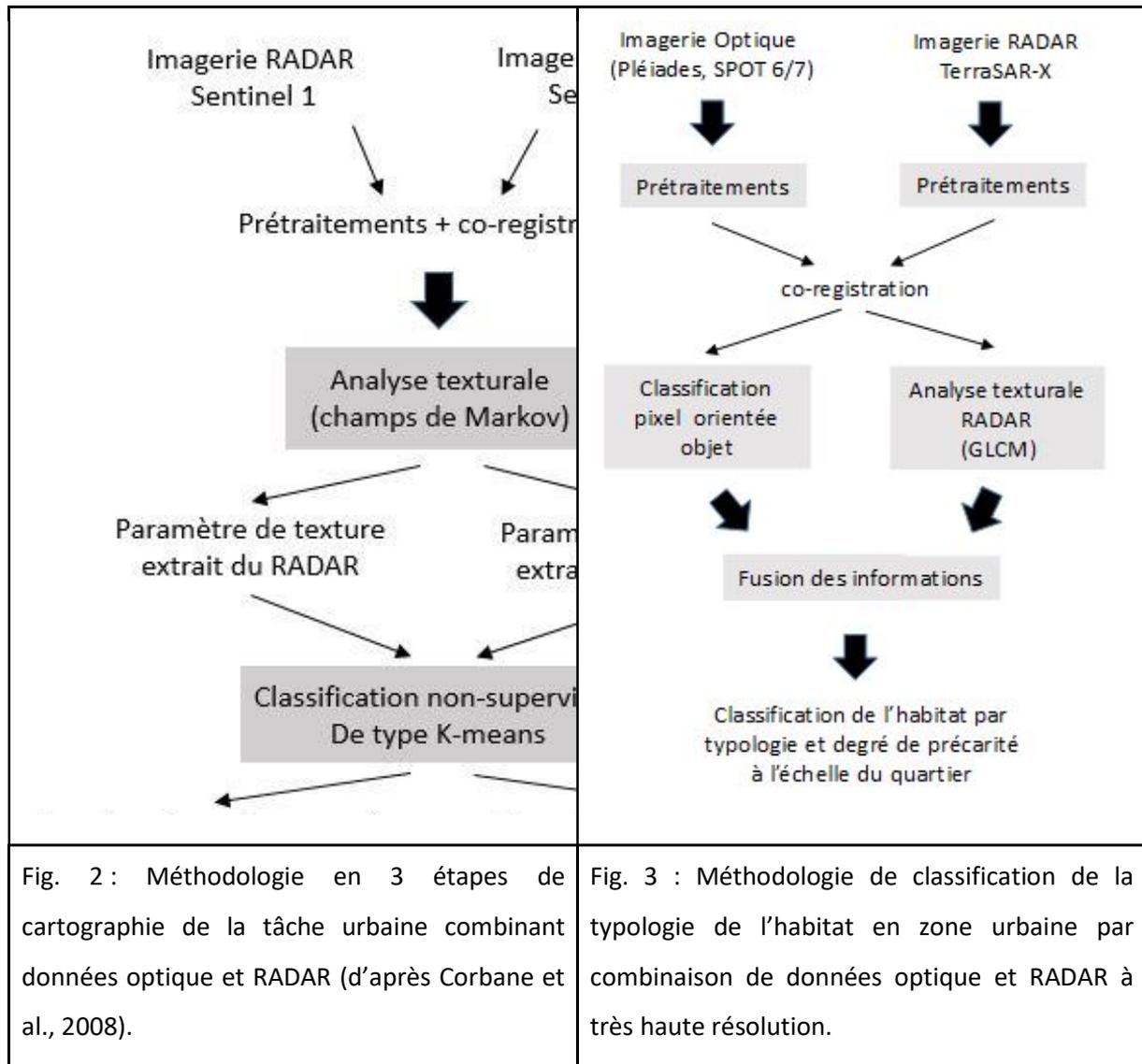
D'un point de vue méthodologique, ce volet de l'étude se basera sur la méthode développée par Corbane et al. (2008) de cartographie de la tâche urbaine à partir d'une combinaison de données optique et RADAR (Fig. 2), qui se déroule en 3 étapes : (1) une analyse des textures en zone urbaine (méthode des champs de Markov (Gaussian Markov Random Field (GMRF), Descombes et al., 1999), (2) une classification non-supervisée de type K-means des paramètres texturaux issus de l'étape (1) et (3) la fusion des informations extraites pour chaque type de capteurs.

Nous proposons de suivre la même méthode pour réaliser une étude rétrospective de l'évolution de la tâche urbaine basée sur l'utilisation des données SPOT 4 et 5 disponibles via le programme SPOT World Heritage. La méthodologie précédente a d'ailleurs été développée à partir de ce type de données et testée positivement sur le site de Cayenne.

3.4.3.2 Caractérisation des paysages/typologies des principaux habitats urbains

Ce volet du projet mettra à profit l'utilisation des données à très haute résolution optique (Pléiades, SPOT 6/7, résolution de 0,5 à 6 m) et RADAR (TerraSAR-X, résolution de 3 m) afin de réaliser des classifications au sein des tâches urbaines précédemment identifiées. Par l'intermédiaire de méthodes orientées objets sur les données optiques et d'informations texturales extraites du RADAR, l'habitat sera classé par typologie, à l'échelle du quartier, avec un intérêt particulier pour le degré de précarité de cet habitat (Fig. 3). Ce degré de précarité sera quantifié par des analyses spatiales réalisées sur les objets issus des classifications: la taille des objets leur distribution, la densité de bâti par unité de surface...

La typologie du bâti extraite à partir de l'imagerie satellite sera validée sur le terrain afin de corrélérer les observations indirectes avec une caractérisation précise des habitats urbains dans chaque ville étudiée dans ce projet.



3.4.4 Résultats attendus et valorisation

- Production d'un algorithme de téléchargement, pré-traitement et traitement des images optique S2 et RADAR S1, ainsi que de détection de la tâche urbaine. Nous proposons que cet algorithme soit implémentable via des plateformes open source (de type python ou R).

- Production de cartographies de la tâche urbaine sur l'ensemble des villes de la sous-région avec mise à jour annuelle afin de suivre l'évolution des espaces urbanisés. Une approche rétrospective sera menée afin de caractériser l'évolution de la tâche urbaine sur les données historiques.
- Définition d'une nomenclature des espaces urbanisés existant au sein de la tâche urbaine, standardisée pour l'ensemble des villes de la sous-région, afin de fournir des classifications homogènes à l'échelle de la zone.
- Caractérisation de la typologie des espaces urbanisés au sein de la tâche urbaine avec un intérêt particulier porté aux habitats précaires (création d'un indicateur spatialisé du degré de précarité de l'habitat).
- Analyse des évolutions de la tâche urbaine afin de dégager des tendances en termes de priorité d'aménagement et de planification à destination des acteurs de l'aménagement du territoire dans les différentes zones d'étude.
- Production d'articles scientifiques avec les résultats obtenus et valorisation par la mutualisation et le transfert de ces chaînes à d'autres acteurs institutionnels au Sud via les outils du Projet, le dispositif SEAS Guyane et le réseau GEODEV .

3.4.5 Lien avec les autres axes du projet PROGYSAT

Axe Pollutions : La caractérisation de l'habitat urbain permettra aux chercheurs de cet axe de comparer l'influence qu'a un site urbanisé sur l'augmentation du taux de polluants (HAP, Nox, PM10, PM2.5 etc....) par rapport à un autre site moins urbanisé.

Axes Vectrans : La caractérisation de l'habitat urbain permettra aux chercheurs de cet axe de mieux évaluer les différents niveaux de vulnérabilité des populations humaines dans le cadre de leur étude sur les maladies vectorielles (paludisme, dengue).

3.4.6 Partenariat

Les travaux s'appuieront sur l'interdisciplinarité du groupe de travail de cet axe afin de mutualiser, de produire en commun des données et des indicateurs harmonisés.

Partenariat Brésilien	Partenariat Français
<p>Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)/ département de Relations internationales</p> <p>Dr. Gutemberg de Vilhena Silva (coordinador)</p>	<p>IRD/ESPACE-DEV/équipes OSE et MICADO</p> <p>Nadine Dessay (coordinateur)</p> <p>Laurent Demagistri (télédétection Texture)</p> <p>Morgan Mangeas (Modélisateur, Deep Learning)</p>
<p>Universidade de Brasilia / Departamento de Geografia - GEA</p> <p>Helen Gurgel coordinatrice du laboratoire de géographie et environnement</p> <p>Yata Massulo (géographie urbaine)</p>	<p>Jean-François Faure (géographie urbaine, Co- Responsable PROGYSAT)</p> <p>Thibault Catry (télédécteur /Radar, MNT)</p> <p>Institutions à solliciter pour leur expertise : DEAL de Guyane, Collectivité Territoriale (SIG)</p>
<p>FIOCRUZ</p> <p>Paulo Peiter Urbaniste, géographe spécialiste des problématiques transfrontalières (vulnérabilité des populations).</p> <p>José Joaquim Carvajal Cortes, géographe et bio-statisticien</p>	

Tableau 1 : Organismes partenaires et participants à l'axe ADEUSA. (NB : Certaines personnes citées n'ont pas encore donné leur accord formel pour participer au projet)

L'UMR Espace-Dev mobilisera les chercheurs et ingénieurs appartenant aux équipes Observation Spatiale de l'Environnement (OSE) et Modélisation, Ingénierie des Connaissances et Analyse des DONnées spatiales (MICADO) pour les aspects télédétection, analyse spatiale, standardisation des produits et le développement de chaîne de traitements.

La cellule du département de Relations internationales de l'Université Fédérale d'Amapa (UNIFAP) contribuera sur les aspects politiques territoriales et développement des zones urbaines et sur la valorisation par communication des résultats au sein du Programme d'études supérieures en études frontalières de l'UNIFAP.

Le laboratoire de géographie de l'Université de Brasilia collaborera pour les aspects analyse de la vulnérabilité des populations et politiques publiques associées aux paysages urbains.

La Fondation Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) contribuera pour les aspects géographie humaine et santé publique en régions transfrontalières.

Actions partenariale à mener au cours du Projet : un contact sera fait avec la DEAL de Guyane et la Collectivité Territoriale (SIG) pour évaluer les résultats et étudier des usages institutionnels des chaînes de traitement élaborées, et leur appropriation éventuelle ; un rapprochement sera établi avec des équipes de l'UFPa à Belém travaillant sur les thèmes urbains pour l'ouverture de collaborations supplémentaires.

Connaissance et caractérisation des territoires forestiers

3.5 Caractérisation des communautés végétales des territoires amazoniens par imagerie satellite multi-spectrale

3.5.1 Contexte

La caractérisation et le suivi de la biodiversité et de l'état écologique des milieux naturels est un enjeu majeur pour la protection de l'environnement dans le bassin amazonien et le plateau des Guyanes, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la richesse exceptionnelle de la flore et de la faune de ces régions en fait l'un des principaux hot spots de biodiversité terrestre (Myers et al., 2000) : il est estimé que le biome amazonien abrite 10% de l'ensemble des espèces vivantes du monde, et il représente un écosystème majeur pour la régulation du climat et des cycles biogéochimiques, dont l'eau et le carbone. Au-delà de la richesse naturelle, il revêt aussi une dimension culturelle importante en raison des nombreuses populations autochtones directement tributaire son état environnemental.

La conservation du patrimoine naturel de l'Amazonie centrale est donc inscrite parmi les objectifs prioritaires de l'Organisation des Nations Unies, avec la mise en place de nombreux parcs nationaux comme le parc amazonien de Guyane Française, et le parc national de Jaú, classé au patrimoine mondial de l'UNESCO, et de nombreux programmes pour la mise en place d'aires protégées.

Les ressources du bassin amazonien, dont l'exploitation aurifère, sont aussi primordiales pour l'économie des populations amazoniennes et plus largement pour celle des gouvernements qui sont responsables de leur exploitation. La cohabitation harmonieuse entre la protection de la nature et le développement économique dans ces régions est cependant particulièrement délicate (Neves et al., 2016; Tsayem Demaze, 2008). Le désastre environnemental provoqué par la rupture de digue de la

mine de fer de Samarco en est une bonne illustration (Fernandes et al., 2016). Suite à cette catastrophe, plusieurs études récentes questionnent la pertinence des études d'impact environnementales (EIE) produites dans le cadre des nombreux projets industriels passés et en cours de réalisation, que ce soit pour la construction de routes, de barrages hydroélectriques, ou pour l'exploitation de minerai (Dias et al., 2017; Ritter et al., 2017). Le manque de rigueur scientifique dans la collecte de données et leur analyse en font un outil d'aide à la décision peu pertinent voire dangereux. Les pressions économiques s'ajoutent aux difficultés techniques de mise en œuvre d'un suivi efficace de la biodiversité et de l'état écologique des milieux naturels

Il est donc urgent de développer des programmes de suivi de la biodiversité efficaces, scientifiquement rigoureux, et s'appuyant sur une expertise et des sources de données fiables. Parmi les outils identifiés pour répondre à ces objectifs, la télédétection satellite apparaît comme un outil particulièrement pertinent qui permettra de collecter des informations sur la biodiversité qui sont jusqu'à aujourd'hui extrêmement lacunaires et biaisées (Maldonado et al., 2015; Meyer et al., 2016).

3.5.2 Objectifs

Dans le cadre du projet l'Application thématique vise à préparer la mise en place d'une méthode opérationnelle permettant de cartographier différentes composantes de la biodiversité floristique des forêts amazoniennes par l'intermédiaire d'indicateurs issus du traitement des données des satellites Sentinel-2 du programme COPERNICUS d'observation de la Terre mis en place par la Commission Européenne avec l'appui de l'Agence Spatiale Européenne. Les indicateurs de biodiversité comprennent :

la dimension locale de la biodiversité (diversité α , indicateur identifié : indice de Shannon)

la distribution spatiale des communautés d'espèces selon des gradients spatiaux physiques ou environnementaux (diversité β , indicateur identifié : dissimilarité de Bray-Curtis)

Le prototype méthodologique se basera sur une implémentation de méthodes développées récemment et validées dans le cadre de l'exploitation de données d'imagerie hyperspectrale (Féret and Asner, 2014a, 2014b), et spécialement adapté à son utilisation avec des données issues des satellites Sentinel-2. Bien que leur richesse spectrale soit moindre en comparaison avec les données d'imagerie hyperspectrale, les satellites Sentinel-2A et -2B permettent cependant d'acquérir une information pertinente sur la richesse des traits optiques de la végétation (Ustin and Gamon, 2010),

qu'il est ensuite possible de convertir en indicateur de biodiversité (Rocchini et al., 2016), pouvant fournir des informations précieuses aux écologues, en particulier lorsqu'elles sont complétées par une expertise de terrain et des bases de données d'observation au sol. La fréquence d'acquisition des satellites Sentinel-2 (une image / 5 jours) apparaît ici parfaitement adaptée pour permettre des acquisitions régulières, même dans un contexte de fort ennuagement.

La mise en place d'un tel outil de suivi permettant de produire des cartes alimentant une base de connaissance valorisée par des experts en écologie peut contribuer significativement à l'amélioration de la préservation des forêts du bassin amazonien et du plateau des Guyanes, en répondant notamment aux forts enjeux associées à la mise en place d'étude d'impact environnemental rendant véritablement compte de l'influence des nombreux projets d'aménagement et de développement de la région sur les milieux naturels au cours du temps.

Les Figures 1 et 2 illustrent l'information spectrale et spatiale acquise par Sentinel-2, ainsi que des résultats préliminaires obtenus en appliquant la méthode développée par Féret & Asner (2014a) à des données satellite acquises sur le site expérimental de CICRA situé en Amazonie Péruvienne.

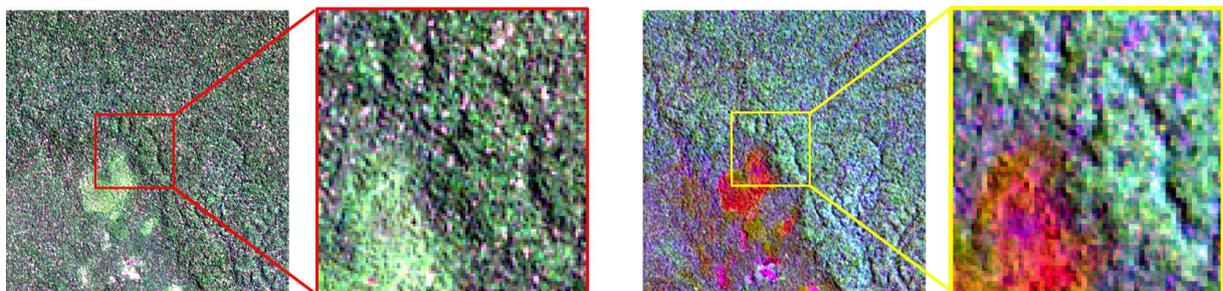


Figure 1. Zone de 16 km² extraite d'une image Sentinel-2 acquise sur la forêt amazonienne. La composition colorée est obtenue à partir des canaux rouge, vert et bleu (gauche), et des canaux vert, proche infrarouge 1 et infrarouge onde courtes 2 (droite). Les différences de couleurs illustrent le contraste spectral entre individus d'espèces différentes.

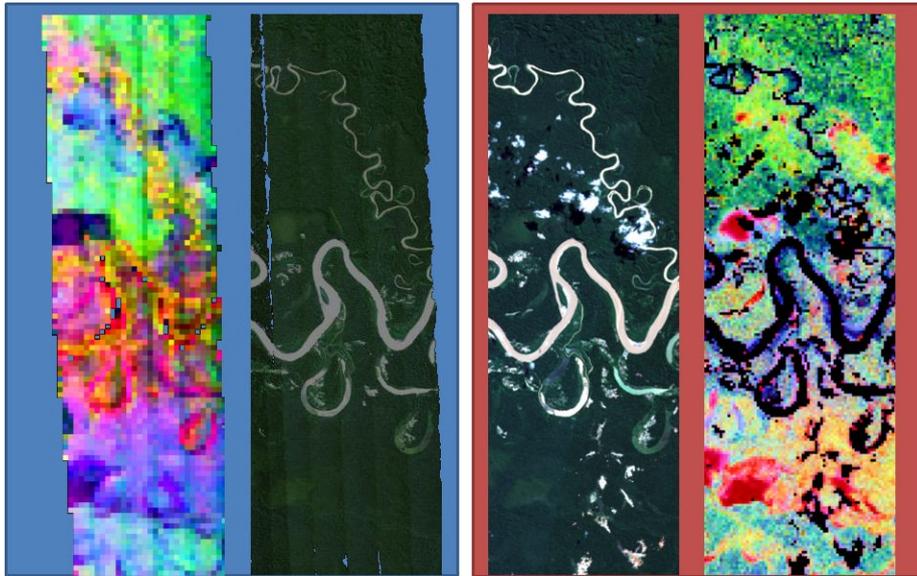


Figure 2. Comparaison de résultats obtenus après application d'une méthode de cartographie de la diversité β sur des données d'imagerie hyperspectrale (à gauche) (Féret and Asner, 2014a) et sur des données Sentinel-2 (droite). Les améliorations importantes appliquées à la méthode depuis sa première publication expliquent le niveau de détail plus important apparaissant avec les données issues de Sentinel-2, malgré leur résolution spatiale et spectrale moindre.

L'application thématique s'inscrit logiquement dans l'axe prioritaire 'Protéger et valoriser la biodiversité exceptionnelle et le patrimoine naturel et culturel' du Programme de Coopération Interreg Amazonie (PCIA). Elle s'appuie notamment sur l'évolution de la plateforme d'acquisition satellite SEAS Guyane, avec la mise en place d'outils de traitements et d'analyse de données satellite issues du programme COPERNICUS de l'union européenne, comprenant les données des satellites multi-spectraux Sentinel-2.

3.5.3 Mise en œuvre et collaboration transfrontalière

L'infrastructure mise en place dans le cadre du Projet se déclinera dans l'axe 01 sous la forme d'une coopération régionale par le biais d'un accès à des données satellitaires Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 et LandSat acquises sur la région concernée, complété par un certain nombre d'outils et méthodes.

Afin d'aider au déploiement et à la validation des méthodologies proposées, la mise en place d'un prototype sera appuyée par une collaboration entre les partenaires français et brésilien, notamment par l'utilisation de la base de connaissance existant sur le territoire brésilien, comprenant des données d'inventaires forestiers, des connaissances associées à leur état écologique, ainsi qu'à la distribution spatiale des communautés d'espèces à l'échelle locale et régionale.

Partenaires : ONF Guyane, Commission des Forêts du Guyana. Collaboration attendue avec l'INPE (Brésil) et avec une institution en charge de la gestion forestière au Suriname.

3.5.4 Besoins propres à l'application thématique

La mise en place de l'Application nécessitera de coordonner d'une part les avancées techniques du travail réalisé dans le cadre du projet BioCop financé par l'Association Nationale pour la Recherche, et d'autre part la collaboration transfrontalière avec les partenaires, notamment les partenaires brésiliens. Ce travail de coordination sera effectué par un scientifique expérimenté dans le cadre d'un postdoctorat d'un an. Ce travail nécessitera notamment la rencontre entre les différents partenaires.

3.5.6 Éléments bibliographiques

Dias, A.M. da S., Fonseca, A., Paglia, A.P., 2017. Biodiversity monitoring in the environmental impact assessment of mining projects: a (persistent) waste of time and money? *Perspect. Ecol. Conserv.* doi:10.1016/j.pecon.2017.06.001

Féret, J.-B., Asner, G.P., 2014a. Mapping tropical forest canopy diversity using high-fidelity imaging spectroscopy. *Ecol. Appl.* 24, 1289–1296. doi:10.1890/13-1824.1

Féret, J.-B., Asner, G.P., 2014b. Microtopographic controls on lowland Amazonian canopy diversity from imaging spectroscopy. *Ecol. Appl.* 24, 1297–1310. doi:10.1890/13-1896.1

Fernandes, G.W., Goulart, F.F., Ranieri, B.D., Coelho, M.S., Dales, K., Boesche, N., Bustamante, M., Carvalho, F.A., Carvalho, D.C., Dirzo, R., Fernandes, S., Galetti, P.M., Millan, V.E.G., Mielke, C., Ramirez, J.L., Neves, A., Rogass, C., Ribeiro, S.P., Scariot, A., Soares-Filho, B., 2016. Deep into the

mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. *Nat. Conserv.* 14, 35–45. doi:10.1016/j.ncon.2016.10.003

Maldonado, C., Molina, C.I., Zizka, A., Persson, C., Taylor, C.M., Albán, J., Chilquillo, E., Rønsted, N., Antonelli, A., 2015. Estimating species diversity and distribution in the era of Big Data: to what extent can we trust public databases?: Species diversity and distribution in the era of Big Data. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 24, 973–984. doi:10.1111/geb.12326

Meyer, C., Weigelt, P., Kreft, H., 2016. Multidimensional biases, gaps and uncertainties in global plant occurrence information. *Ecol. Lett.* 19, 992–1006. doi:10.1111/ele.12624

Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858. doi:10.1038/35002501

Neves, A.C. de O., Nunes, F.P., de Carvalho, F.A., Fernandes, G.W., 2016. Neglect of ecosystems services by mining, and the worst environmental disaster in Brazil. *Nat. Conserv.* 14, 24–27. doi:10.1016/j.ncon.2016.03.002

Ritter, C.D., McCrate, G., Nilsson, R.H., Fearnside, P.M., Palme, U., Antonelli, A., 2017. Environmental impact assessment in Brazilian Amazonia: Challenges and prospects to assess biodiversity. *Biol. Conserv.* 206, 161–168. doi:10.1016/j.biocon.2016.12.031

Rocchini, D., Boyd, D.S., Féret, J.-B., Foody, G.M., He, K.S., Lausch, A., Nagendra, H., Wegmann, M., Pettorelli, N., 2016. Satellite remote sensing to monitor species diversity: potential and pitfalls. *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 2, 25–36. doi:10.1002/rse2.9

Tsayem Demaze, M., 2008. Le parc amazonien de guyane française : un exemple du difficile compromis entre protection de la nature et développement. *Cybergeo Rev. Eur. Géographie Eur. J. Geogr.* 1–23.

Ustin, S.L., Gamon, J.A., 2010. Remote sensing of plant functional types. *New Phytol.* 186, 795–816.

3.6 Politiques publiques et impact sur la protection de la forêt.

3.6.1 Contexte

Les changements globaux amplifient les défis d'un développement territorial durable dans les milieux tropicaux fragiles et notamment ceux concernant les forêts. Dans certains contextes (position frontalière, fréquence des évènements extrêmes, avancée rapide d'un front de déforestation ou construction d'une infrastructure de type barrage) et faute de méthodes pour mobiliser des connaissances actualisées, adaptés aux territoires concernés, gestionnaires et politiques sont parfois amenés à décider dans l'urgence et à proposer des mesures juridiques sans pouvoir ni estimer les conséquences des actions engagées, ni avoir en préalable le temps de l'échange avec les populations locales qui vivent dans ou aux marges des forêts. Aujourd'hui, la société demande et exige parfois un appui opérationnel à la gestion environnementale adapté à la diversité des échelles de gestion, de la parcelle à la région et l'Etat.

Comment mieux connaître et suivre dans le temps et l'espace les effets des actions anthropiques sur les milieux forestiers ? Comment estimer l'effet des politiques mises en place pour protéger la forêt de ces actions ?

3.6.2 Objectifs et finalités

3.6.2.1 Objectif général :

Cette application a pour objectif de produire des données spatialisées (cartes thématiques) permettant de qualifier et quantifier différents impacts de l'action de l'homme sur la forêt, ciblés en fonction d'un enjeu particulier : efficacité d'une politique de protection, mise en place de subvention, bourse d'aide aux familles ou d'incitation à la « non déforestation », exploitation forestière, etc...

A partir de la mise en œuvre de méthodes *ad hoc* il sera proposé de définir, aux échelles des territoires de gestion (Aire Protégée, municipalité, Etat, bassin versant, ...), des indicateurs spatiaux qui permettront d'estimer l'impact dans le temps et dans l'espace de l'action anthropique sur la forêt.

3.6.2.2 Objectifs spécifiques :

1) En partenariat avec des institutions gestionnaires du territoire en Guyane et au Brésil, des indicateurs de suivi seront co-construits pour évaluer l'ampleur et les conséquences de ces impacts en termes d'intensité de l'action sur la forêt (forte/faible) mais également en termes d'identification des actions commises (qui fait quoi/où/quand ?...). Par des mesures régulières, ces indicateurs permettront de suivre dans le temps et dans l'espace les dynamiques de transformation des milieux de l'échelle locale à celle des massifs forestiers.

2) Il s'agira également de déterminer les chaînes de traitement d'image nécessaires à la semi-automatisation de la production des cartes thématiques afin d'accéder à un rythme de production de la donnée en fonction de la demande des gestionnaires (journalier, mensuel, annuel, ...).

3.6.3 Méthodes et activités

3.6.3.1 Pour l'objectif général :

Les méthodes de construction des indicateurs ont déjà été identifiées dans le cadre du précédent projet PO AMAZONIE OSEGUYAMAPA et testées au cours du projet de coopération Guyamazon SINBIOSE. Il s'agira ici de les adapter en fonction des orientations spécifiques qui seront données lors des échanges avec les gestionnaires du territoire en France et au Brésil.

3.6.3.2 Pour les objectifs spécifiques :

1) Une première phase consistera à identifier les domaines à évaluer par les indicateurs en se basant sur les concertations initiales qui ont eu lieu avec les acteurs de l'aménagement en 2016, 2017 et 2018 en Guyane et au Brésil (Cf. projet Guyamazon SINBIOSE). Ces échanges serviront de point de départ pour définir les thèmes ciblés par les indicateurs. Deux exemples de question que cibleront les indicateurs : dynamique d'intensité de la fragmentation de la forêt, évaluation de l'efficacité de mesures d'incitation à la protection de la forêt.

2) Un effort important sera réalisé pour automatiser la détection sur les images des processus de transformation de la forêt par des mesures de paysage (fragmentation, forme, discontinuité, hétérogénéité...). Les étapes de la démarche seront les suivantes :

- sélection et classification des images (occupation du sol) ;
- identification des métriques paysagères nécessaire à la construction des indicateurs d'impact spatialisés ;

- définition des algorithmes de traitement des indicateurs ;
- application des algorithmes sur les images classées ;
- réalisation des cartes thématiques.

3.6.4 Résultats attendus

Les résultats seront de deux ordres.

1) Restitution sous la forme de fiches méthodologiques, des démarches de travail nécessaires à la réalisation des indicateurs et à l'automatisation des traitements d'images. Ces fiches porteront sur :

- les étapes de traitement pour réaliser les indicateurs (choix des métriques paysagères et des algorithmes de traitement des données) ;
- les chaînes de traitement d'images nécessaires à la production semi-automatique d'indicateur d'impact des actions de l'homme sur la forêt.

2) Production d'informations environnementales spatialisées caractérisant les dynamiques territoriales sur des sites d'étude définis avec les gestionnaires.

Restitution sous la forme de cartes sur l'impact de l'action anthropique sur la forêt, mesurée par les indicateurs.

3.6.5 Equipes et partenaires identifiés ou potentiels

Cette liste reprend en partie les partenaires déjà impliqués dans le projet Guyamapa SINBIOSE en cours de réalisation. Elle sera complétée des personnes appartenant aux institutions gestionnaires du territoire au Brésil et en Guyane qui souhaiteront s'associer au projet. Les institutions déjà consultées sont :

- pour la France : Parc Naturel Régional de Guyane, la DEAL, l'Association Guyane Energie Climat, l'Observatoire Homme/Milieu
- pour le Brésil : la RDS UATUMA, le Centre des Unités de Conservation de l'état de l'Amazonas (CEUC), la FAPEAM.

Partenaires français	
Prénoms Noms	Institutions
A-Elisabeth Laques	IRD
Danielle Mitja	IRD
Nadine Dessay	IRD
Laurent Linguet	UG

Abdennebi Omrane	UG
------------------	----

Partenaires brésiliens	
Prénoms Noms	Institutions
Henrique D. Santos P.	UFAM-CCA
Carlos Saito	UnB- Biologie
Izildinha Miranda	UFRA
Suzy C. P. da Silva	UFAM-CCA
Isabel Escada	INPE
Miguel Montero	INPE
Romero Gomes	UnB- CDS

PROGYSAT

Projet de coopération Régionale d'Observation des GuYanes par SATellite

Fin de document

Porteur :

IRD - Centre de Guyane

- version 2019 -