

SUIVI DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL EN GUINEE PAR IMAGERIE SATELLITAIRE SPOT TRANSFERT TECHNOLOGIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT D'OUTILS PERFORMANTS D'AIDE A LA DECISION

Gabriel Jaffrain¹, Arthur Leroux¹, An Vo Quang¹, Camille Pinet¹, Belvide Dessagboli¹, Yvan Gauthier¹, Adrien Moiret¹

1 : IGN FI gjaffrain@ignfi.fr

Résumé

Comment concilier un développement agricole durable avec la lutte contre le changement climatique et la préservation de la biodiversité ? Pour relever un tel défi, les décideurs politiques, techniques et socio-économiques ont désormais accès à des informations environnementales précises et précieuses. Il s'agit notamment des images satellitaires et des données environnementales produites à partir de ces images. En Guinée, pour mener à bien les politiques publiques de gestion durable des territoires et des ressources naturelles, le gouvernement doit être en mesure de disposer d'informations fiables, cohérentes, précises et aussi actualisées que possible sur l'état et la dynamique de son territoire (artificialisation des sols, extension agricole, déforestation, extraction minière...) et sur l'évolution de certains éléments de la biosphère (forêts, savanes, zones humides, mangroves...). A cet effet, le ministère de l'Agriculture guinéen s'est appuyé sur l'expertise technique française pour élaborer un zonage agroécologique à l'échelle du pays, visant à identifier et quantifier les zones agricoles actuelles, à évaluer le potentiel agricole et obtenir une cartographie de l'occupation du sol et de sa dynamique sur une période de 10 ans (2005-2015). Ce projet a été réalisé sur deux ans dans un cadre partenarial entre une équipe d'experts thématiques français et une équipe de techniciens et experts guinéens., pour assurer un transfert complet de compétences sur l'ensemble des activités du projet. Cette collaboration a permis la réalisation d'une couche d'occupation du sol et la mise en place d'applications pertinentes dans le domaine de l'agriculture et de l'environnement afin de fournir des outils d'aide à la décision aux multiples acteurs guinéens.

Mots-clés : renforcement de capacités, télédétection, satellites SPOT, occupation du sol, changement d'occupation du sol, agriculture, compte des terres

Abstract

How can sustainable agricultural development be reconciled with the fight against climate change and the preservation of biodiversity? To reach such a challenge, political, technical, and socio-economic decision-makers now have access to accurate and valuable environmental information. These include satellite images and environmental data produced from these images. In Guinea, in order to carry out public policies for the sustainable management of territories and natural resources, the government must be in a position to have reliable, consistent, precise, and as recent as possible information on the state and dynamics of its territory (soil artificialisation, agricultural extension, deforestation, mining...) and on the evolution of certain features of the biosphere (forests, savannas, wetlands, mangroves...). To this end, the Guinean Ministry of Agriculture has relied on the French technical expertise to draw up an agroecological zoning for the country, aimed at identifying and quantifying current agricultural areas, assessing agricultural potential, and mapping land cover and land cover change over a 10-year period (2005-2015). This project was implemented over two years in a partnership framework between a team of French thematic experts and a team of Guinean technicians and experts involving a specific organisation and procedure, to ensure a complete transfer of skills on all project activities, from the realisation of a land cover layer to relevant applications in the field of agriculture and the environment, with the aim of providing decision support tools to multiple Guinean actors.

Keywords: capacity building, remote sensing, SPOT satellites, land cover land use, land cover changes, agriculture, land accounting

1. Contexte du projet

Le Ministère de l'Agriculture guinéen a souhaité élaborer un zonage agro-écologique à l'échelle du pays, visant à identifier et quantifier les zones agricoles actuelles, ainsi que le potentiel agricole de la Guinée. Pour cela, une cartographie complète de l'occupation du sol (OCS) et de sa dynamique sur une période de 10 ans (2005-2015) a été élaborée. La constitution de cette donnée nationale de référence s'appuie essentiellement sur l'utilisation et le traitement d'images satellites à haute résolution, qui nécessitent un certain niveau de connaissances et compétences techniques. La construction du projet s'est donc réalisée dans un cadre partenarial entre les différentes parties prenantes guinéennes et françaises et

par la mise en place d'une équipe de 10 opérateurs cartographes guinéens bénéficiant d'un accompagnement technique et d'un transfert complet de compétences et de connaissances. Cet accompagnement a été assuré pendant les deux années du projet par une équipe d'experts internationaux multidisciplinaires d'IGNFI et du CIRAD en télédétection, occupation du sol, agroécologie, pédologie, compte des terres et en Système d'Information Géographique (SIG) afin de rendre, à terme, l'équipe guinéenne la plus autonome possible et de contribuer ainsi au renforcement et à la pérennisation des connaissances et des compétences en Guinée.

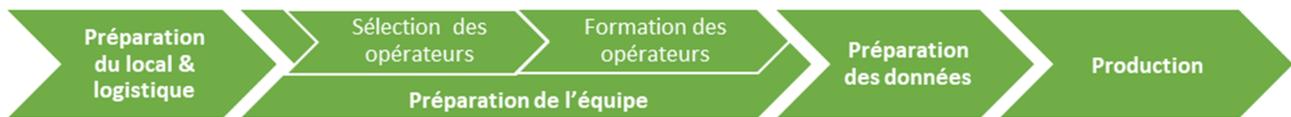


Figure 1 : Flux global de travail

A cet effet et afin d'optimiser ce transfert, un atelier de production a été mis en place au sein du Ministère de l'Agriculture, comprenant l'acquisition et la mise en place d'équipements informatiques, périphériques bureautiques adaptés (ordinateurs, écrans, réseau informatique, logiciels...). Concernant les aspects de ressources humaines, le profil des opérateurs cartographes devait répondre à des critères de qualification stricts et la sélection des opérateurs guinéens a été réalisée sur la base d'un questionnaire de compétences et d'un test en photo-interprétation.

Après la sélection de l'équipe nationale, une formation pratique de deux semaines a été réalisée permettant à l'équipe de production d'avoir une connaissance suffisante des logiciels QGIS/OTB et des concepts de base en télédétection, traitement d'images et SIG. A l'issue de cette formation, l'équipe étant parvenue à une maîtrise suffisante des outils SIG appliqués à la méthodologie de production, l'organisation et la distribution du travail pouvait débuter. En effet, la création d'une base de données nationale exige une organisation rigoureuse du travail, un suivi des cadences de production, un contrôle régulier des données produites afin d'assurer une qualité globale des produits cartographiques et une gestion précise de la base de données.

Ces aspects, développés et décrits ci-dessous, ont été assurés par les différents experts internationaux impliqués dans le projet.

En outre, la coordination technique de l'équipe guinéenne a été assurée par Belvide Dessagboli, recrutée suite à son expérience acquise en tant que technicienne cartographe sur deux projets cartographiques précédents en Afrique de l'Ouest¹.

Brève description du territoire d'étude :

La République de Guinée est un pays d'Afrique de l'Ouest d'une surface d'environ 245 850 km² dont la capitale Conakry se situe le long du littoral atlantique. Ce pays est encadré par 6 pays (figure 2) dont la Guinée-Bissau à l'ouest-nord-ouest, le Sénégal au nord-ouest, le Mali à l'est-nord-est, la Côte d'Ivoire au sud-est, le Liberia au sud-sud-est et la Sierra Leone à l'ouest-sud-ouest. On distingue quatre zones géographiques :

- ✓ Une zone côtière, la Basse-Guinée ou Guinée maritime ;
- ✓ Une zone montagneuse, la Moyenne-Guinée, qui comprend le massif du Fouta-Djalon ;
- ✓ La Haute-Guinée, au Nord-Ouest constituée de savanes arborées et arbustives ;
- ✓ La Guinée forestière au sud-est, constituée de forêts denses

Ces quatre zones illustrées dans la figure 2 sont appelées « régions naturelles », mais ne correspondent pas aux régions administratives.



Figure 2 : Localisation des régions naturelles en République de Guinée .

2. Préparation des données

Nous avons travaillé sur deux couvertures temporelles nationales d'images satellites, que l'on nomme aussi pivot, l'une de référence récente de 2015 et l'autre antérieure de 2005

Un pivot correspond à une date ou année repère en intégrant son intervalle de temps et spécifiquement dans notre étude, un intervalle maximum d'environ 2 ans.

2.1. Couverture nationale SPOT 6/7 de référence (pivot 2015)

Le projet de zonage agro-écologique a bénéficié de la couverture complète d'images satellites SPOT 6/7 de 2015 ±1an (autrement appelé pivot 2015), ortho-rectifiée sur l'ensemble du territoire Guinéen, mise à disposition dans le cadre du projet OSFACO, (Mertens, B., Pinet, C., 2019). Les données issues des satellites SPOT 6 et 7 sont des images de fauchée 60 km, de taille de pixel 1,5 m pour le canal panchromatique et de 6 m pour les autres canaux multi-spectraux (bleu, vert, rouge, PIR). Par la suite, selon l'usage courant pour les images optiques, nous confondrons taille de pixel et résolution spatiale. Ces images ont été géoréférencées et corrigées des effets d'angles de relief et des effets atmosphériques. L'orthorectification a été effectuée par spatiotriangulation, dans un chantier global couvrant la Guinée et la Côte d'Ivoire, générant ainsi une référence géométrique optimale pour comparaison avec la couverture antérieure SPOT4/5 de 2005 autrement appelée « pivot 2005 », utilisée pour cartographier les changements d'occupation du sol. Pour ce pivot, 94 images satellites SPOT6 & SPOT7 couvrent le territoire

¹ Mise à jour de la cartographie nationale du Bénin, projet mené par IGN FI entre 2014 et 2018, puis production de la

cartographie de l'occupation du sol du Bénin, en 2018-2019 dans le cadre du projet OSFACO.

guinéen avec une répartition temporelle de : 1 % en 2013, 16 % en 2014, 53 % en 2015 et 30 % en 2016 (figure 3).

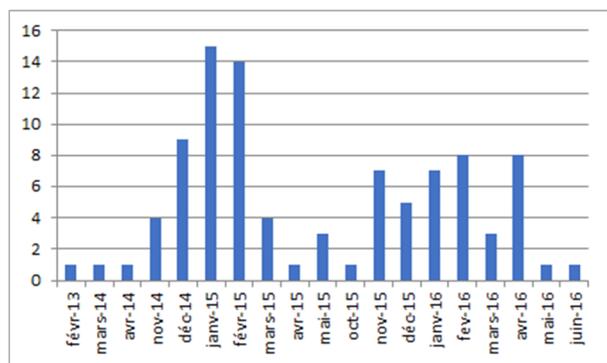


Figure 3 : distribution temporelle, en pourcentage, des images satellites SPOT6/7 du pivot de référence 2015.

La saison dominante dans la répartition des images est évidemment la saison sèche de novembre à avril puisque la nébulosité y est moindre (à l'exception des fumées provenant des feux de brousse).

Couverture SPOT4/5 -de 2005. La couverture SPOT4/5 de l'année 2005±1 an, autrement appelé pivot 2005, provient d'une couverture d'images SPOT4/5 gratuite, mise à disposition par le programme Spot World Heritage (SWH) du CNES. L'évaluation de la qualité géométrique du pivot 2005 a été basée sur la référence 2015 à 1,5m de résolution dont la précision de localisation est indiquée comme étant inférieure à 10 m CE90². La méthodologie consiste à évaluer la géométrie relative (contrôle visuel global de la cohérence des images entre elles en termes de superposition) et la géométrie absolue des images par rapport à la donnée de référence (mesure mathématique et calcul d'écart moyen quadratique (EMQ)). La qualité globale de l'image, notamment sa radiométrie, est également évaluée (couverture nuageuse, fumées, défauts de pixels...). Pour chaque image contrôlée, un ensemble de points d'appui est collecté (9 au minimum). Les points d'appui choisis sont des points d'appui pérennes, visibles sur toutes les images quelle que soit la résolution, et leur distribution spatiale est homogène sur l'ensemble de la scène contrôlée. A partir de ces points d'appui, l'écart moyen quadratique (EMQ) est évalué entre l'image et la référence. Les 137 images SPOT 4/5 constituant l'ensemble du pivot 2005 ont ainsi été évaluées et répondent aux critères de tolérance exprimés au démarrage du projet, c'est à dire des EMQ inférieurs à 30 m. Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

EMQ (en m)	0-10m	10-20m	20-30m	NC
Année 2003	1	-	-	-
Année 2004	4	3	-	-

² SPOT 6 / SPOT7 Technical sheet in www.astrium-geo.com | solutions@astrium-geo.com

Année 2005	4	5	-	-
Année 2006	56	59	2	1
Année 2007	1	-	1	-
Nb d'images	66	67	3	1
Total %	48,18%	48,91%	2,19%	0,73%

Tableau 1 : Résultat de l'évaluation géométrique du pivot 2005

Les 137 images satellites des capteurs SPOT4 & SPOT5 couvrent le territoire guinéen avec une répartition temporelle de 1 % en 2003, 5 % en 2004, 7 % en 2005, 86 % en 2006 et 1 % en 2007 décrite dans la figure 4. La saison dominante concerne toujours la saison sèche de décembre à avril.

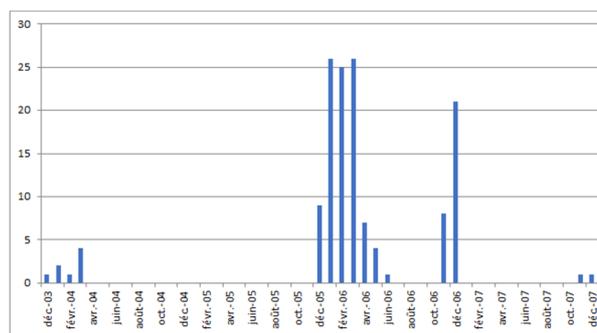


Figure 4 : distribution temporelle en pourcentage des images satellites SPOT4/5 du pivot de référence 2005.

2.2. Nomenclature et spécifications cartographiques

La nomenclature décrite dans le tableau 2 a été définie a priori, puis ajustée et enrichie au début de la phase de production. Elle est structurée sur le mode de classification européen Corine Land Cover (Heymann & al, 1994) et adaptée aux spécificités des paysages du territoire guinéen en suivant les expériences d'adaptation précédentes en Afrique de l'Ouest (Jaffrain, 2016). La nomenclature tient compte de la classification des formations végétales conventionnelles retrouvées sur le continent Africain, définies dans la nomenclature de Yangambi (Aubreville. A, 1957), telles que les savanes arborées, arbustives, herbeuses... mais aussi des particularités agricoles demandées par le ministère de l'Agriculture de Guinée ; identification des cultures de bas-fond, des cultures de plaine de mangroves, des cultures de plaine d'eau douce. Cette nomenclature hiérarchisée, parfaitement agrégable répond dans tous les cas aux recommandations du GIEC³ puisqu'elle comprend les 6 principales classes demandées (terres forestières, terres cultivées, prairies, zones humides, établissements et autres terres). Les autres terres intègrent les sols nus et roches nues retrouvés dans la nomenclature Corine Land Cover de second niveau. La nomenclature usitée dans le cadre du projet est décrite

³ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat est un organisme intergouvernemental ouvert à tous les pays membres de l'Organisation des Nations Unies.

dans le tableau 2. Un guide technique de photo-interprétation a été spécialement élaboré dans le cadre du projet, présentant pour chacune des classes d'occupation du sol sa définition propre et les procédures de délimitation et d'identification au cours de la phase d'interprétation des images satellites.

La réalisation d'une cartographie thématique nécessite de définir un certain nombre de règles et notamment l'unité spatiale minimale à cartographier qui doit remplir au moins plusieurs fonctions importantes (Heymann & al 1993) : elle doit correspondre à une zone dont la couverture peut être considérée comme homogène, soit à une combinaison de zones élémentaires qui à travers ses variations représente des structures d'occupation du sol couvrant des surfaces importantes qui peuvent être envisagées comme constituant une même classe d'occupation du sol (secteur de cultures annuelles par exemple). Elle doit bien évidemment se distinguer nettement des unités qui l'entourent. Enfin la définition de l'unité spatiale contribue en partie au choix de la méthode de production. En effet, plus la surface de la plus petite unité cartographiée est petite dont la surface à cartographier est grande, plus la part de l'automatisation dans le processus de production devra être importante et la part manuelle de la production réduite. Dans notre cas, la surface de la plus petite unité cartographiée a été définie à 1 ha.

Les facteurs coût, temps de réalisation et exigence de qualité orientent également le choix de la méthode de production et définissent une part automatique plus ou moins conséquente.

3. Méthodologie de production

3.1. Organisation de la production

Nous ne saurions trop insister sur la nécessité à la fois d'établir un cahier rigoureux de suivi et de gestion de la production lorsque le projet cartographique couvre de grands espaces et implique plusieurs opérateurs, mais aussi de respecter scrupuleusement l'ordre des étapes du processus de production représenté dans la figure 5. Afin de faciliter l'intégration des données dans un système de gestion de base de données, une grille de production découpant le territoire guinéen a été mise en place, telle qu'illustrée dans la figure 4. Cette grille de production de 50 km x 50 km correspond à la surface standard d'environ 2500 km² de l'ancien découpage des cartographies au 1 :100 000 de l'IGN qui reste encore un standard de surface produite pour une durée de

référence par un opérateur cartographe. Dans les années 1990, une unité de production Corine Land Cover⁴ de 2500 km² devait être produite et photo-interprétée manuellement en 12 jours, en y intégrant les contrôles des raccords.

Cette grille sur la Guinée se divise en deux chantiers : une grille dans le système de projection UTM28N représenté en orange et la seconde en UTM29N représentée en rouge (cf. figure 5). Essentielle à la production de la cartographie, elle permet de répartir le travail des opérateurs de manière générale, d'identifier et de planifier l'avancement du travail à la fois pour la production de la carte de référence de 2015 mais aussi de suivre la cartographie des changements d'occupation du sol survenus entre 2005 et 2015.

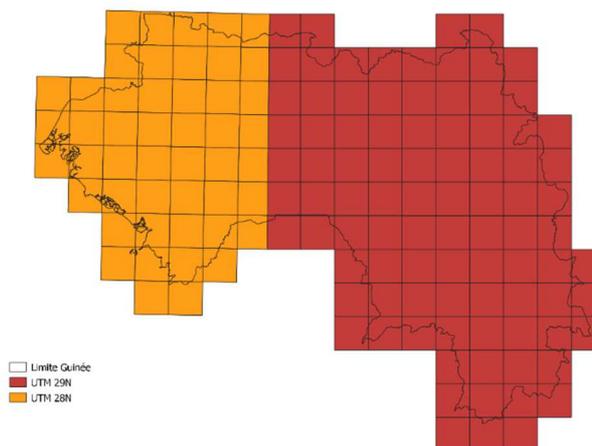


Figure 5 : Grille de production correspondant à un découpage 50 km x 50 km

Les données cartographiques sont produites suivant une succession d'étapes décrites dans la figure 6, qui sont interdépendantes et réalisées successivement. Les huit activités principales comprennent : la collecte des données sources et auxiliaires incluant le prétraitement des données satellites sources, la sélection des régions d'intérêts, les classifications des images du pivot 2015, les campagnes de terrain, les post-traitements, la correction des données vecteurs, l'identification des changements d'occupation du sol et le contrôle qualité de l'ensemble de la production. La phase de développement des applications exploite et valorise les produits cartographiques issus des étapes précédentes.

⁴ CORINE Land Cover (CLC) est un inventaire biophysique de l'occupation des sols et de son évolution produit sur 39 États européens, dans le cadre du programme européen de

surveillance des terres de Copernicus, piloté par l'Agence européenne pour l'environnement.

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	
1. Territoires artificialisés	1.1. Zones urbanisées	111. Tissu urbain continu	
		112. Tissu urbain discontinu et villages	
	1.2. Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication	121. Zones industrielles ou commerciales	
		122. Réseaux routiers et ferroviaires et espaces associés	
		123. Zones portuaires	
		124. Aéroports	
	1.3. Mines, décharges et chantiers	131. Mines / carrières, extraction de matériaux	
		132. Décharges	
	1.4. Espaces verts artificialisés, non agricoles	133. Chantiers	
		141. Espaces verts urbains	
	2. Territoires agricoles	2.1. Cultures annuelles	211. Cultures pluviales et jachères
			212. Cultures de bas-fond
			213. Cultures de plaine d'eau douce
214. Cultures de plaine de mangroves			
2.2. Cultures permanentes		221. Vergers, arboricultures	
		222. Palmeraies	
		223. Hévéas	
		224. Anacardiés	
2.4. Zones agricoles hétérogènes		241. Systèmes Agroforêts (association cultures pérennes et espèces forestières)	
		242. Systèmes culturaux et parcellaires complexes	
		243. Association cultures pluviales / jachères sous couvert arboré	
3. Forêts et milieux semi-naturels	3.1. Forêts	311. Forêts denses	
		312. Forêts claires	
		313. Forêts galeries	
		314. Mangroves	
		315. Forêts marécageuses	
		316. Palmiers naturels	
	3.2. Savanes et formations arbustives	317. Forêts dégradées, secondaires/ et de transition	
		318. Plantations forestières et reboisements	
		321. Savanes herbeuses	
		322. Savanes arbustives	
	3.3. Espaces ouverts sans ou avec peu de végétation	323. Savanes boisées et arborées	
		324. Formation arbustive de transition	
		331. Plages, dunes et sables	
		332. Roches nues	
		333. Sols nus	
4. Zones humides	4.1. Zones humides intérieures	411. Marais intérieurs	
		412. Prairies humides	
	4.2. Zones humides maritimes	421. Marais maritimes	
		422. Marais salants	
5. Surfaces en eau	5.1. Eaux continentales	511. Cours et voie d'eau	
		512. Plans d'eau	
	5.2. Eaux maritimes	521. Lagunes littorales	
		522. Estuaires	
		523. Zones intertidales	
		524. Mer et océan	

Tableau 2 : Nomenclature utilisée pour la cartographie de l'occupation du sol en Guinée

L'organisation mise en place comprend une équipe permanente en Guinée et une équipe d'experts internationaux qui interviennent à chaque étape du

projet, en fonction de leurs rôles et de leurs compétences.

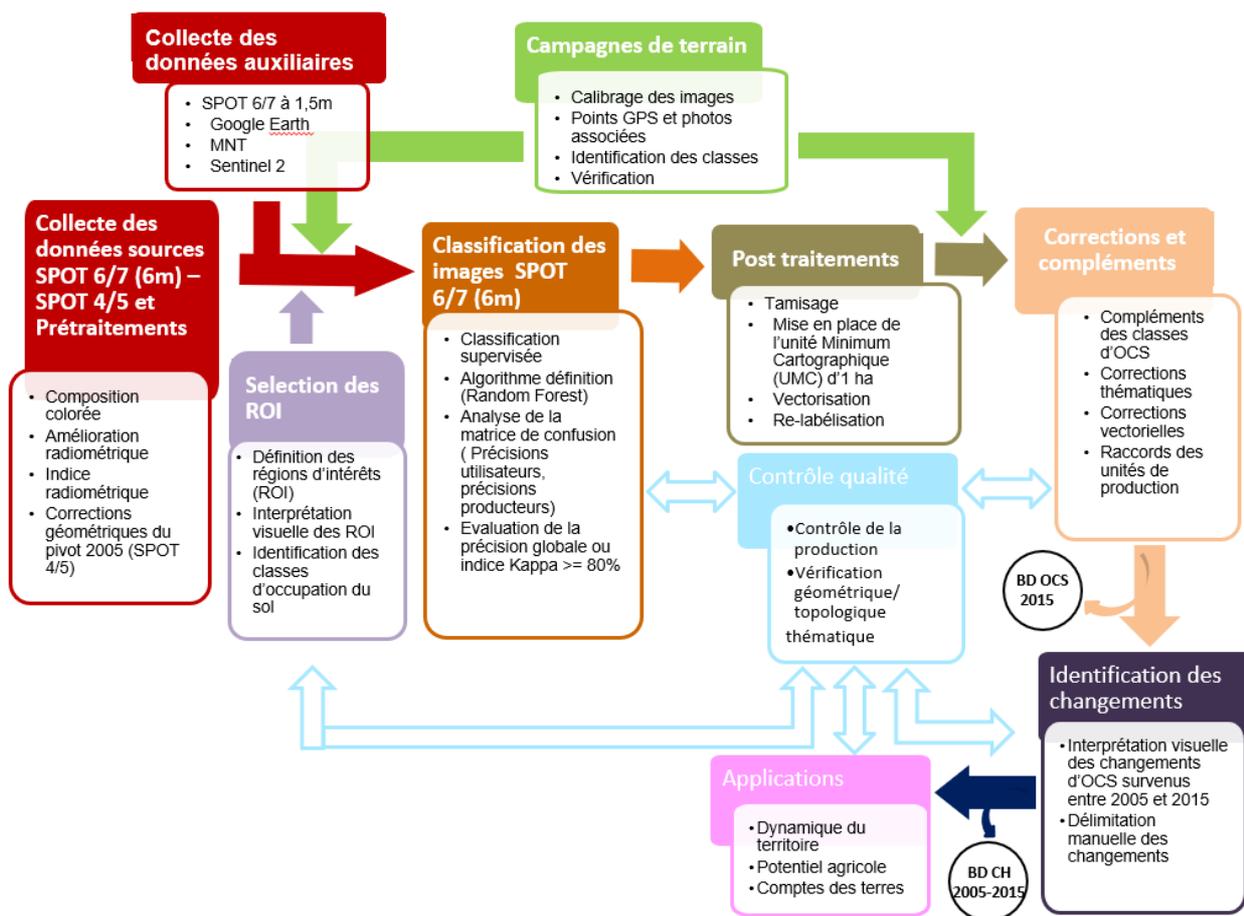


Figure 6 : Etapes de la production des bases de données d'OCS et de ses changements entre 2005 et 2015.

3.2. Mise en place d'une base de données et utilisation d'outils libres

Une des composantes essentielles à la pérennisation et à l'actualisation future de la base d'occupation du sol consistait à développer et produire une méthodologie basée sur des outils libres de droit. Ainsi la méthodologie a principalement été mise en œuvre sur le logiciel QGIS pour la visualisation et la saisie des données, et PostgreSQL / PostGIS pour l'organisation des données dans une structure de base de données. L'utilisation d'un système de gestion de base de données, et notamment la gestion de l'architecture client/serveur, s'est révélée indispensable pour la production d'une base contenant un grand nombre d'entités géographiques. La gestion, le stockage et l'administration de la base de données ont été opérés par les experts depuis PGAdmin. L'exécution de requêtes spatiales et attributaires a facilité, particulièrement la gestion des objets spatiaux (Lijing, Z., Jing, Y2010.). La création de liens entre les couches a rendu possible l'automatisation de la saisie de certains champs de la table attributaire. La base de données mise en place a permis d'organiser l'automatisation de sauvegardes quotidiennes des données saisies.

Les opérateurs travaillaient dans un espace de travail au travers d'une "vue" contenant les couches vectorielles. La connexion à la base de données s'effectuait via un compte client du serveur dans QGIS afin d'afficher et faire les saisies géométriques et attributaires.

3.3. Production de la BD OCS 2015

Le processus de production des bases de données cartographiques, illustré en figure 7, repose sur la mise en place d'une méthode "hybride" permettant de répondre aux règles cartographiques définies et aux délais du projet. Cette méthode combine l'utilisation d'une classification supervisée semi-automatique pour extraire les contours des objets et une phase de correction manuelle par interprétation visuelle afin d'améliorer la précision sémantique par modification de la couche vectorielle. La production de la cartographie de référence du pivot 2015 est issue d'une classification semi-automatique supervisée des images satellites SPOT 6/7 à 6 m de résolution spatiale. Cette approche consiste à définir au préalable des zones d'entraînement, qui servent de base d'apprentissage pour l'algorithme « Random Forest » autrement appelé « forêts d'arbres décisionnels ».

Le classifieur « Random forest » a été formellement proposé par Breiman & Cluter, 2001, et fait partie des techniques d'apprentissage automatique. Cet algorithme d'arbres de décisions partitionne l'espace selon différents hyperplans. Ces hyperplans sont des limites qui séparent de façon optimale le nuage de points que sont les valeurs de pixels dans l'ensemble des canaux. Pour cela, l'algorithme des forêts d'arbres décisionnels effectue un apprentissage sur de multiples arbres de décision entraînés. L'algorithme de forêt aléatoire se compose d'un grand nombre d'arbres de décision

individuels qui fonctionnent comme un ensemble. Chaque arbre de la forêt aléatoire recrée une prédiction de classe et la classe avec le plus de votes devient la prédiction du modèle.

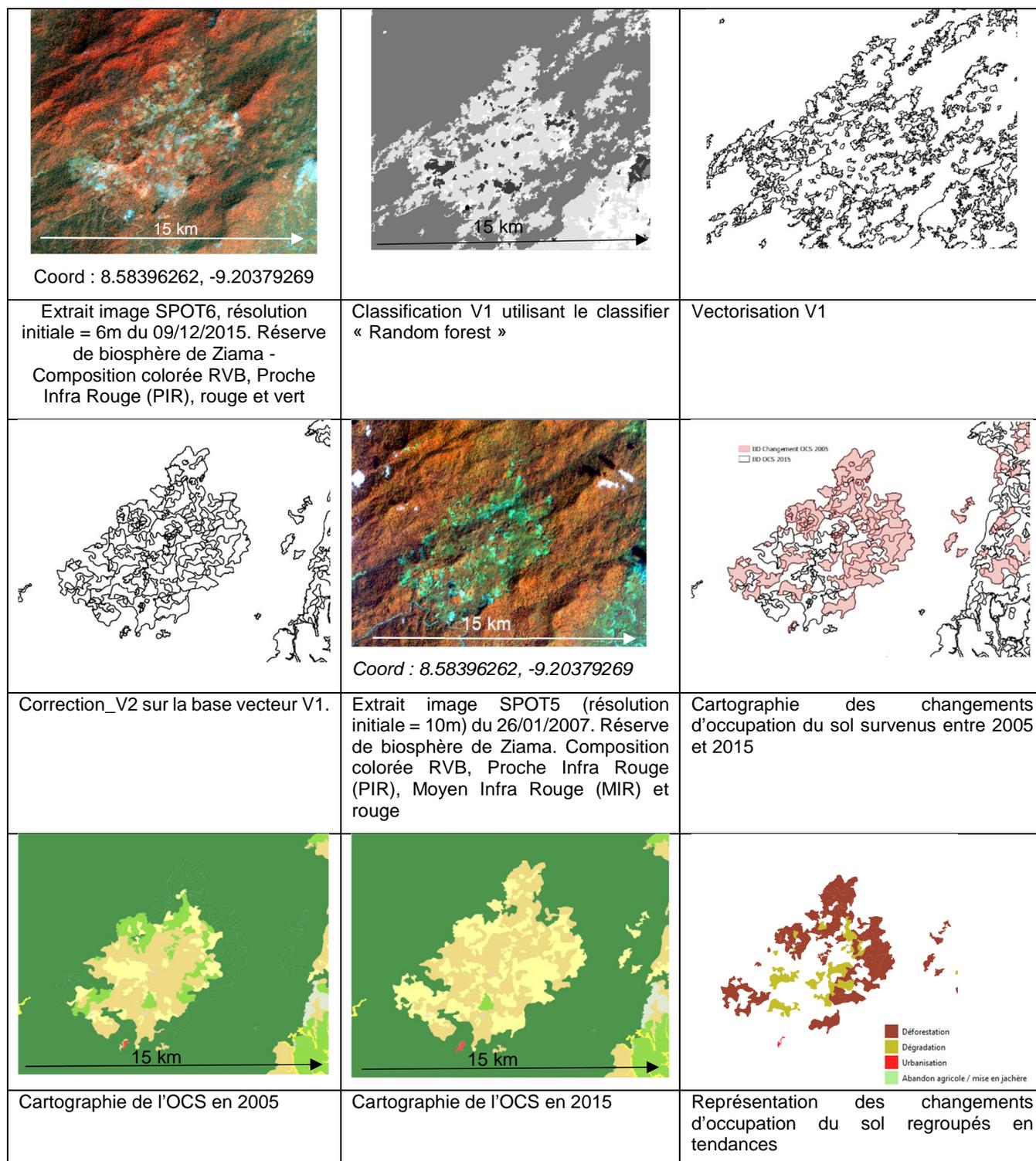


Figure 7 : Méthode de production de la BD OCS 2015 et des changements 2005-2015 – Extrait sur la forêt de Ziamia, Guinée forestière.

3.3.1. Création des parcelles d'entraînement

L'établissement des parcelles d'entraînement nécessite dans un premier temps d'identifier les différents paysages dominants à l'intérieur desquels les opérateurs déterminent des régions d'intérêt

correspondant à des classes de la couverture du sol, en s'appuyant sur le guide technique de photo-interprétation. Ces parcelles d'entraînement sont contrôlées visuellement par les experts thématiques afin de valider leur homogénéité sur le plan radiométrique,

c'est-à-dire que ces parcelles soient bien représentatives de la classe définie et ne contiennent pas ou peu de pixels mixtes. Prenons par exemple le contour d'une zone d'entraînement définissant une formation arborée : le contour ne doit pas intégrer des pixels de bordure appartenant à un plan d'eau ou à une zone agricole ou à toute autre occupation du sol. Cela risquerait d'augmenter les confusions entre les classes et finalement obtenir une mauvaise classification. Enfin, la bonne répartition des parcelles d'entraînement sur toute la zone à classer doit être assurée.

Le choix des zones d'intérêt se limite généralement au niveau 2 de la nomenclature (cf. tableau 2) mais parfois au niveau 3 lorsque la classe est parfaitement caractéristique et se distingue bien des autres types d'occupation du sol. Les zones d'entraînement ont été sélectionnées sur la base des compositions colorées RVB des 3 canaux, respectivement, proche Infra Rouge (PIR), rouge et vert de chaque image satellite SPOT6/7.

3.3.2. Entraînement du modèle

L'apprentissage du modèle a été réalisé sur les 4 canaux initiaux PIR, Rouge, Vert et Bleu des images SPOT 6/7. A l'issue de la classification, on obtient un modèle de classification et une matrice de confusion telle que représentée dans le tableau 3. C'est à partir de ces résultats que l'on observe les statistiques concernant la précision globale du classifieur ainsi que la matrice de confusion, qui donne des indications sur le pourcentage de pixels bien classés et ainsi de confusion possible par classe d'occupation du sol. Au vu de la complexité paysagère et de l'hétérogénéité du territoire, nous considérons comme satisfaisant une classification ayant une performance globale, ou coefficient kappa, supérieure ou égale à 80 %. Si les performances par classe sont inférieures à 80 %, nous considérons que la qualité de la classification est insuffisante et les opérateurs définissent de nouvelles parcelles d'entraînement pour réaliser une nouvelle classification de l'image.

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
[1]	1508	4	0	0	0	0	1	0	0	0
[2]	0	1508	0	0	0	5	0	0	0	0
[3]	0	0	1485	1	0	1	0	24	2	0
[4]	0	0	1	1408	0	0	0	0	0	104
[5]	0	0	0	5	1499	0	0	0	0	9
[6]	0	1	12	2	0	1454	1	0	43	0
[7]	0	0	0	0	0	0	1511	2	0	0
[8]	0	0	46	0	0	26	0	1439	2	0
[9]	0	0	26	0	0	8	0	17	1462	0
[10]	0	0	1	135	2	0	0	0	0	1375

Performance globale du classifieur (kappa index) =, 0,96

Tableau 3 : Exemple de matrice de confusion d'une image classifiée.

Dès l'obtention d'une image classifiée jugée satisfaisante par les opérateurs cartographes puis supervisée par l'expert thématique, celle-ci est soumise à la phase suivante de post-traitement.

3.3.3. Post traitements

Le post-traitement intègre plusieurs étapes. La première consiste à tamiser l'image classifiée afin de convertir les pixels isolés dans une classe majoritaire. Tamiser permet de mettre en place une unité minimum surfacique en filtrant ces pixels ou groupes de pixels isolés

inférieurs à l'unité surfacique définie. Elle permet de simplifier et de généraliser la classification afin de respecter l'unité minimum cartographiée de 1 ha et de retirer la plupart des pixels parasites isolés.

Les images classifiées sont ensuite découpées afin de s'exempter de la superposition des images satellites. Les classifications ont été assemblées pour en faire une mosaïque unique qui est ensuite découpée selon la grille 1 :100 000 (50 km x 50 km). Chaque opérateur a eu à sa charge environ 10 feuilles de production complètes et contiguës et correspondant à une région comprenant des paysages homogènes afin de faciliter le travail d'interprétation. Au total, on compte 139 feuilles de production.

L'étape suivante, en référence à la figure 5, concerne la préparation et la mise en forme des données pour la phase de correction manuelle. Cette phase de post-traitement consiste à convertir les données raster au format vecteur et de les insérer dans une base de données. Ce processus de production s'effectue au travers de l'interface des opérateurs avec l'utilisation d'un identifiant et le chargement de la feuille de production correspondante. Chaque feuille est donc intégrée dans la base de données à partir de l'image classifiée et tamisée au travers d'un processus de vectorisation automatique comprenant le transfert des valeurs numériques (valeurs des classes attribuées automatiquement par l'ordinateur) vers la nomenclature des classes conventionnelles d'occupations du sol (tableau 2).

3.3.4. Phase de correction manuelle

Une fois la vectorisation terminée, les contours et limites des objets sont désormais modifiables. Cette phase de correction a pour objectif de corriger les erreurs ou bien les confusions de la classification. Les corrections s'effectuent sur la base des données sources SPOT 6/7 d'une résolution de 6m, et en utilisant la couverture d'images SPOT 6/7 à 1,5m de résolution spatiale en tant que données auxiliaires. L'apport des données à très haute résolution (THR) à savoir ces images à 1,5 m ainsi que Google Earth ou Bing Aerial, permet de lever les doutes sur l'identification de certaines classes d'occupation du sol et notamment d'évaluer plus précisément la structure et la densité de la végétation et de dissocier certaines zones agricoles et naturelles telles que les zones agroforestières, les forêts dégradées, les palmeraies...

Les corrections manuelles ont permis d'apporter des améliorations dans la distinction des classes d'occupation du sol et d'enrichir, de compléter la base de données au niveau 3 de la nomenclature. En effet, les classifications ne permettent pas de différencier et de détecter l'intégralité des postes de la nomenclature. Cette phase de correction et de complément réalisée uniquement par interprétation visuelle et par délimitation manuelle des objets est donc essentielle puisqu'elle permet d'affiner la cartographie. Les corrections consistent en un travail conséquent de découpage, de fusion et de modification des objets en renseignant dans la table attributaire les codes de la nomenclature. Lorsque les corrections de la base de données de référence de 2015 sont terminées, un travail de raccord avec les feuilles adjacentes est effectué afin de les harmoniser.

3.3.5. Campagne de terrain

Les missions de terrain réalisées sur tous les types de paysages représentatifs du territoire ont pour objectif de vérifier la cartographie de référence de 2015, de calibrer les images satellites qui n'ont pas encore été classifiées et d'ajuster en conséquence la nomenclature. Les campagnes sur le terrain devaient être bien préparées en amont au bureau par les équipes, et devaient prendre en compte les aspects contraignants de logistique et de transport. En effet les contraintes d'accessibilité aux zones sélectionnées sont les facteurs les plus limitants. L'itinéraire devait être établi précisément, le parcours kilométrique estimé, ainsi que les arrêts et les nuitées dans les villes ou villages. Les zones à vérifier sur le terrain devaient pour une partie être identifiées a priori à partir des images satellites et le long de l'itinéraire défini,

notamment les grandes zones homogènes en termes de radiométrie. L'équipe devait s'assurer sur le terrain si ces grandes unités paysagères correspondaient à de la savane arborée ou à de la savane arbustive, ou encore à de la forêt claire. En complément, d'autres points de vérification ont été pris aléatoirement au cours du trajet, notamment sur des types particuliers d'occupation du sol tels que des cultures permanentes (manguiers, anacardiés), de l'agro-forêt, des zones humides, des cultures de bas-fond. Au total environ 400 points ont été observés par les équipes, couvrant toutes les régions naturelles, et illustrés dans la figure 8. Pour rappel, la localisation des régions naturelles est illustrée en figure 2.

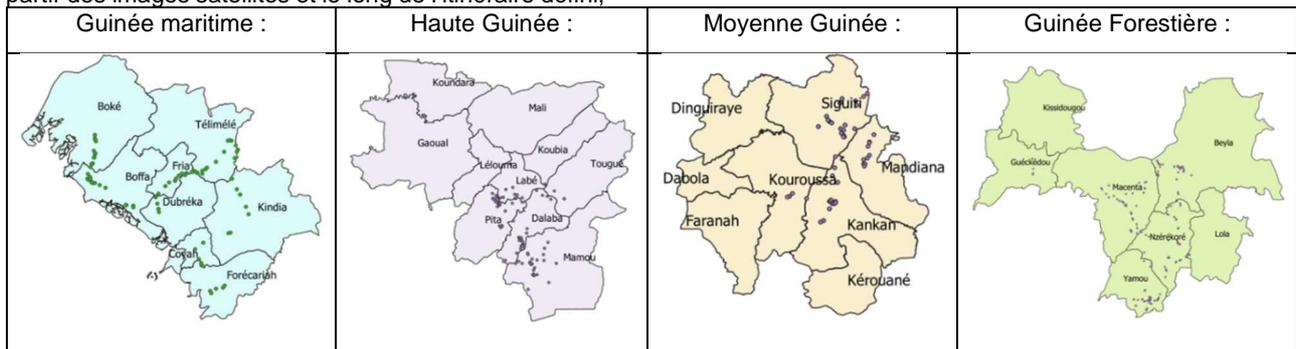


Figure 8 : Distribution des points GPS observés sur le terrain, dans chacune des 4 grandes régions de Guinée.

Chacun des opérateurs cartographes a pu durant le projet se rendre sur une zone correspondant à une partie des feuilles de production dont il était en charge afin de confronter les résultats de la cartographie avec la réalité du terrain. L'équipe disposait dans une tablette des données sources SPOT6/7 de 2014, 2015 ou 2016, mais aussi de quelques images Sentinel 2 acquises en 2018 et ou 2019. Ces images plus récentes permettaient de vérifier et corroborer quelques observations et notamment de lever les ambiguïtés agricoles liées aux systèmes de cultures itinérantes. En effet, il est possible que certaines zones aient changé entre la date des images satellites de 2014 à 2016 et les sorties sur le terrain effectuées en 2018 et 2019. Les images Sentinel 2 plus récentes venaient donc confirmer parfois la présence de parcelles agricoles en 2018 ou 2019 alors qu'elles n'étaient pas présentes aux dates des images SPOT6/7 de 2014/2016. La collecte des données sur le terrain s'est faite par le biais de la tablette numérique afin de pouvoir afficher et visualiser les données satellitaires, d'enregistrer les coordonnées précises du point (X, Y) et d'y associer des photographies prises sur place. La figure 9 ci-dessous présente quelques formations paysagères observées sur le terrain. A gauche du tableau est représentée une photo illustrant la classe d'occupation du sol et à droite sa représentation sur l'image satellite SPOT6 ou SPOT7 à 6 m de résolution initiale. Les coordonnées géographiques indiquent la localisation du centre de l'extrait de l'image satellite

SPOT et par conséquent représente la classe d'occupation du sol.

3.4. Détection des changements sur la base du pivot 2005

La production des changements 2005-2015 a commencé dès l'achèvement de la base de référence de 2015, corrigée et validée par les experts. La base de changement est produite par interprétation visuelle en comparant l'image de 2015 avec celle de 2005. Seuls les changements réels d'occupation du sol d'une superficie supérieure ou égale à 1 ha ont été pris en compte et délimité manuellement. Selon Feranec & al, 2010, un changement catégorique d'occupation du sol est interprété lorsqu'une classe ou une partie d'une classe d'occupation du sol est remplacée par une autre classe d'occupation du sol. Le changement réel d'occupation du sol est probablement l'élément biophysique le plus compliqué à identifier en comparant deux images satellites. En effet un objet ou une classe d'occupation du sol peut apparaître sous différentes couleurs (radiométries spectrales différentes) comme par exemple une culture annuelle peut avoir différentes couleurs selon le type de sol, la couverture et la nature du couvert végétal de la culture, et a contrario une même couleur peut être attribuée à des objets biophysiques différents (sols nus/ roches nues et tissus artificialisés ont parfois des couleurs similaires).

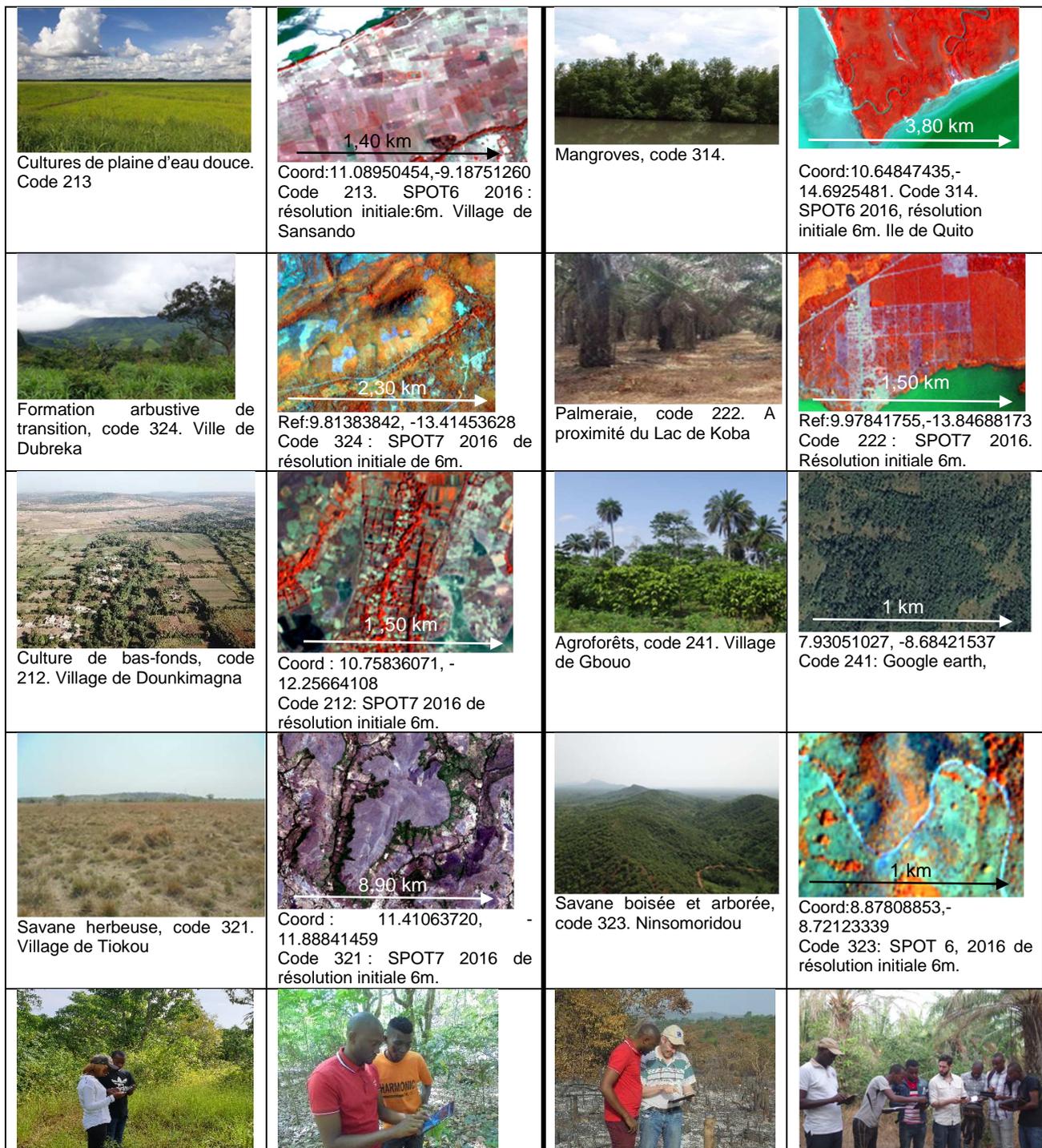


Figure 9 : illustrations de différents types de paysages observés lors des prises de points sur le terrain. Compositions colorées RVB, Proche Infra Rouge (PIR), rouge et vert de chaque image satellite SPOT6/7

Le phénomène de saisonnalité, très marqué dans les régions subtropicales, accentue davantage les impressions de changements d'apparence des objets. Par exemple la physionomie d'une forêt mixte semi-décidue sempervirente ou d'une forêt sèche n'apparaît pas du tout de la même manière si l'on est en période de pluie ou en période sèche, pourtant la nature de l'objet reste la même (si pas d'intervention humaine ou naturelle), c'est-à-dire une forêt. Les variations spectrales et radiométriques liées à ces phénomènes saisonniers ne doivent pas être pris en compte en tant que changements réels. Il existe ainsi de nombreux

pièges d'interprétation et de faux changements qui ne doivent pas être cartographiés sinon ils risqueraient inéluctablement de biaiser les statistiques finales.

Le contrôle qualité mis en place à ce niveau de la chaîne de production est primordial car les changements ne représentent en général pas plus de 1 à 2 % de la surface cartographiée. Une attention particulière et une grande vigilance sont donc attendues lors de cette étape de la production.

Un point important à noter est qu'un changement d'occupation du sol n'entraîne pas forcément un

changement d'affectation ou d'utilisation des terres. Selon Lambin & al, 2003, deux types de changements d'occupation des terres sont définis : les conversions et les modifications. La conversion de la couverture terrestre est considérée comme un remplacement complet d'un type de couverture par un autre et est mesurée par le passage d'une catégorie de couverture terrestre à une autre comme c'est le cas d'une expansion agricole, de la déforestation ou de l'extension urbaine. Les modifications de la couverture terrestre sont des changements plus subtils qui affectent le caractère de la couverture terrestre sans modifier sa classification globale. C'est le cas de l'intensification agricole ou de la dégradation progressive de la couverture végétale liés aux changements climatiques, la désertification, à l'érosion des sols, au surpâturage, à la récurrence des feux de brousse, pratiques très communes en régions subtropicales. Les changements pris en compte dans notre projet intègrent indépendamment ces deux approches, à partir du moment où le changement est considéré comme observable et réel. Si un doute subsiste dans le changement observé, il n'est pas cartographié et la classe d'OCS restera identique aux deux dates. Il est donc évident que les changements identifiés sont totalement dépendants des données sources d'observation c'est-à-dire des images satellites et de leurs résolutions spatiale, spectrale et temporelle. Par conséquent certains changements subtils

notamment les modifications au sens Lambin & al, 2003 risquent d'être sous-estimés. La conversion d'une forêt en culture entre 2005 et 2015 est considérée comme un changement réel d'occupation du sol mais aussi d'utilisation (transformation d'un milieu forestier en territoire agricole) alors que la transformation de cultures annuelles en cultures permanentes par exemple (cacao, café, palmiers), est considérée comme un changement d'occupation du sol ou comme une « conversion interne agricole » sans qu'il ait pour autant un changement d'affectation des terres, le système restant toujours agricole. La détection de la dégradation forestière est également considérée comme un changement d'occupation du sol (modification car sa structure et sa physionomie ont changé (Vo Quang et al. 2020), mais son utilisation reste toujours forestière. Ce suivi de la dégradation sur les massifs de Dieké et Ziama en Guinée a été étudié par Vo Quang et al. 2020, avec les nouveaux capteurs satellitaires optiques à travers l'utilisation de séries temporelles Sentinel-2 entre 2015 et 2020 et d'outils *open source*. Toujours dans le cadre de changements n'affectant pas son utilisation finale, un chantier qui devient au cours du temps une extension industrielle ou résidentielle reste un territoire artificialisé. La figure 10 illustre des exemples concrets de changements d'occupation du sol qui sont considérés comme des conversions des terres au sens de Lambin & al, 2003, survenues entre 2005 et 2015.

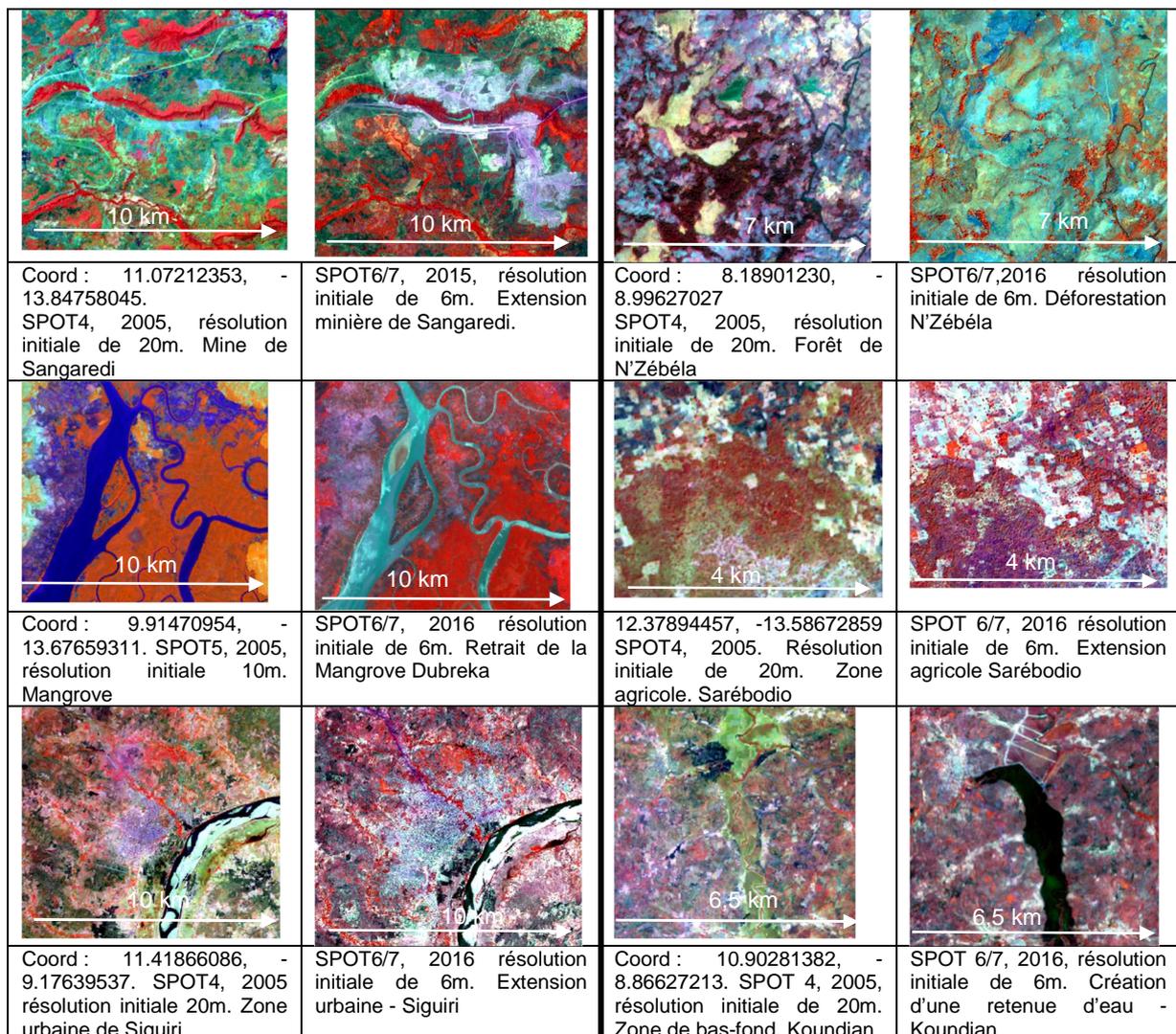


Figure 10 : illustration de changements réels d'occupation du sol (conversion) survenus entre 2005 et 2015.

Le processus de production des changements consiste donc à juxtaposer l'image SPOT 6/7 du pivot 2015 dont la composition colorée RVB est respectivement le PIR, rouge et vert, et l'image SPOT 4/5 du pivot de 2005 (composition colorée PIR, MIR et rouge) avec la base de référence vectorielle 2015 en transparence. Les changements réels observés sont identifiés visuellement et vectorisés (délimités) manuellement. Les polygones d'occupation du sol identiques aux deux dates ne sont pas modifiés. Seuls les éléments biophysiques ayant changé sont cartographiés, en s'appuyant sur les contours de la base vectorielle existante de 2015. Les opérateurs renseignent ces nouveaux éléments créés dans le champ de la table attributaire prévu à cet effet. Pour la grande majorité des polygones n'ayant pas changé, l'attribut du code affecté à la classe d'occupation du sol en 2015 est affecté automatiquement au champ 2005. Finalement, la base d'occupation du sol contient donc à la fois les informations correspondantes aux occupations du sol de 2015 et de 2005. La figure 10 présente quelques exemples de changements d'occupation du sol survenus entre 2005 et 2015. A gauche du tableau est représenté l'état 2005 à partir de SPOT 4 ou SPOT5 respectivement à 20 m et 10 m de résolution spatiale initiale et à droite l'état de 2015 à partir des images satellites SPOT6 ou SPOT7 à 6 m de résolution initiale. Les coordonnées géographiques indiquent la localisation du centre des exemples des images satellites SPOT.

3.5. Contrôle qualité interne ; évaluation qualitative

Pendant toute la phase de production, un contrôle interne de la qualité a été mis en place, réalisé par l'équipe d'experts thématiques. Ce contrôle qualité interne consiste principalement en une évaluation qualitative des bases de données de l'OCS et de ses changements par des vérifications visuelles. Cette vérification a pour objectif d'être corrective et d'apporter des améliorations dans les procédures de classification des images satellites. Il s'agit d'assister et d'échanger avec les équipes de production afin d'obtenir des résultats homogènes et harmonisés sur l'ensemble du territoire et d'éviter des éventuelles erreurs importantes. La méthode de vérification est basée sur une interprétation visuelle des images satellites ayant servi à la cartographie d'occupation du sol de 2015, en s'appuyant sur l'interprétation de donnée THR (Très Haute Résolution) telles que la couverture SPOT6/7 à 1,5 m de résolution spatiale ou « Google Earth » lorsque cela était possible.

La vérification de la cartographie se focalise sur l'ensemble des classes de la nomenclature d'occupation du sol et porte sur les deux types d'erreurs d'interprétation suivantes :

- L'exhaustivité selon IGN, 1997, est la conformité de la présence ou de l'absence d'un poste d'occupation du sol par rapport à la donnée de base (images satellites). Cela consiste à vérifier si des classes n'ont pas été omises ou ajoutées.
- La précision sémantique est la conformité de l'interprétation des postes avec les données sources (images satellites). Il s'agit de vérifier pour chacun

des postes de la zone sa cohérence avec les données sources.

Le contrôle qualité interne inclut aussi la vérification des raccords entre les chantiers de production des différents opérateurs, puis de la topologie (présence de trous ou de polygones adjacents ayant le même code). Enfin la fréquence de ces contrôles était journalière afin d'indiquer rapidement les erreurs aux opérateurs via une couche alerte. La reprise des corrections par l'équipe pouvait être immédiate.

4. Développement d'applications

4.1. Zonage agroécologique et potentiel disponible des terres

Outre la création des couches d'occupation du sol, le projet de zonage agroécologique fut l'occasion de développer quelques applications spécifiques, répondant notamment aux attentes du Ministère de l'Agriculture de Guinée, l'une d'entre-elles consistant à évaluer les terres agricoles.

Cette application réalisée en partenariat avec le CIRAD⁵ a permis de cartographier et d'évaluer précisément le zonage agroécologique et de définir les terres potentiellement disponibles pour l'agriculture (Camara & al, 2019).

La méthodologie s'inspire des démarches d'évaluation des terres et de zonage agroécologique de la Food and Agriculture Organization (FAO). Elle mobilise différentes données sources, principalement la carte morphopédologique réalisée par l'IRD⁶ (Y. Boulvert, 2003), le modèle numérique de terrain, les données climatiques et la couche d'OCS de 2015. Ces données combinées en une analyse multicritères dans un Système d'Information Géographique (SIG), tel que représenté dans la figure 11, permettent de spatialiser et de quantifier le potentiel de terres agricoles et de dresser une carte des zones agroécologiques de la Guinée.

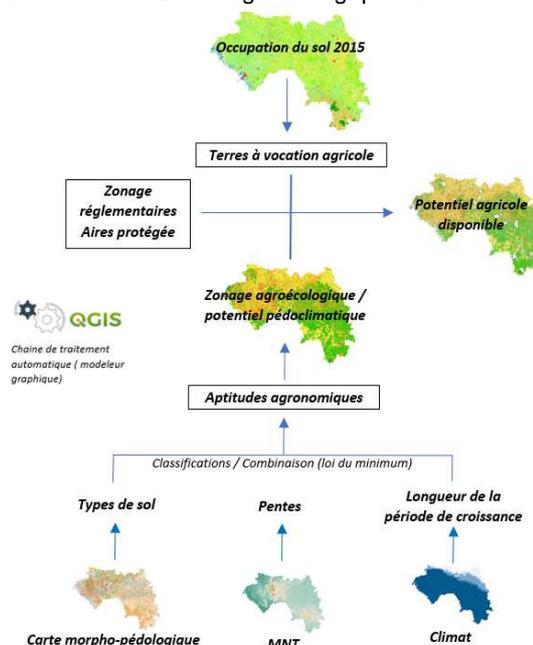


Figure 11 : Analyse multicritères via un Système d'information Géographique

⁵ CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

⁶ IRD : Institut de Recherche pour le développement

Selon Camara & al, 2019, le zonage agroécologique définit des zones homogènes sur la base de l'interaction entre des caractéristiques de sols, de la géomorphologie et du climat. La combinaison de ces trois couches structurantes permet d'évaluer l'aptitude agronomique des terres dont la classification définira un zonage agroécologique.

Les trois couches structurantes utilisées pour le zonage de la Guinée sont les suivantes :

- La couche morphopédologique : qui définit l'aptitude d'une terre à l'agriculture en fonction des caractéristiques de son sol (texture, profondeur, caractéristiques physique et chimique). Cette couche a été produite par Y. Boulvert en 2003, puis traduite en classes d'aptitudes agronomiques par le SENASOL⁷ en Guinée.
- La couche climat : ces données climatiques sont issues de WorldClim⁸. A partir de celle-ci, les experts du CIRAD ont calculé la longueur de la période de croissance (LPC) qui correspond à la période de l'année où sont réunies les conditions de température et d'humidité adéquates pour la production agricole. Ce paramètre synthétique prend en compte la pluie, la température et l'évapotranspiration
- Le Modèle Numérique de Terrain : le MNT donne une information sur le relief (altitude et pentes). Cette couche a permis la réalisation d'une classification des pentes, à partir du SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, NASA). L'information des pentes renseigne sur la possibilité d'une mécanisation de la culture et sur les risques d'érosion.

Le croisement de ces couches a permis de stratifier le territoire guinéen en cinq zones agroécologiques (aptitude élevée, aptitude moyenne, aptitude marginale, inaptitude actuelle et inaptitude permanente). L'aptitude agronomique des terres est définie par la FAO comme étant « l'aptitude d'un type de terre donné à un type d'utilisation donné, dans son état actuel ou après l'apport de certaines améliorations ».

Chacune de ces strates d'aptitude agronomique rend compte d'une qualité différente des sols avec des rendements théoriques plus ou moins élevés. Le modèle opérationnel du zonage a été réalisé sous le logiciel QGIS via un modèleur Graphique.

4.2. Compte biophysique des terres : vers une comptabilité écosystémique du capital Naturel (CECN)

4.2.1. Intérêt du compte des terres

Les surfaces terrestres et les systèmes hydriques sont le support des écosystèmes naturels ou aménagés qui procurent des services écosystémiques à la base de nombreuses activités économiques, du bien-être et de la santé humaine. La dégradation ou la transformation récentes et en cours de ces écosystèmes est une menace majeure pour l'atteinte des Objectifs de Développement Durable (ODD) et de l'agenda 2063

pour l'Afrique⁹. La mesure et le suivi précis et régulier des changements de ce capital naturel acquièrent une importance grandissante dans les engagements internationaux et les politiques nationales dans divers secteurs d'activités (Babin & al, 2019). Le Compte des terres est la première étape indispensable à l'établissement d'une Comptabilité Ecosystémique du Capital Naturel (CECN). Le Compte des terres puis son approfondissement dans la CECN permet de répondre aux engagements internationaux des États. La CECN permet notamment d'identifier et de mesurer les efforts pour la mise en œuvre nationale de la Convention sur la Diversité Biologique (ODD 15.9), de la Convention des Nations Unies sur la Lutte Contre la désertification (CNULCD) sur la Neutralité de la Dégradation des Terres (ODD 15.3) et l'Accord de Paris de 2015 sur le climat (CCNUCC) en offrant une vision complète de leurs actions sur les terres et systèmes hydriques et de leurs impacts sur l'état et les changements des écosystèmes. La CECN permet aussi de mesurer les pertes ou gains de capacité écosystémique face aux changements globaux ou à des aménagements et infrastructures à différentes échelles du local à l'international.

La mise en place des comptes biophysiques des terres nécessite donc de réaliser dans un premier temps une évaluation des changements d'occupation du sol sur au moins un intervalle temporel. La couche d'occupation du sol et ses changements 2015-2005 réalisée en Guinée est justement l'occasion d'expérimenter la méthode puisque cette information est une donnée structurante dans la mise en place des comptes biophysiques des terres.

En Europe, le projet de comptabilité du capital-écosystème a fourni ses résultats à partir des données d'occupation du sol *Corine land cover* et de ses changements survenus dans les périodes 1990-2000, 2000-2006, 2006-2012 et plus récemment entre 2012-2018. Il couvre plus de 30 pays et sur une période de près de 30 ans. L'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) qui le pilote s'appuie sur son expérience commencée avec les comptes des terres et des écosystèmes de l'Europe publiés par Weber, 2006. En Guinée, la méthodologie mise en place s'est appuyée fortement sur la trousse de démarrage du guide méthodologique développée par Weber JL, 2014. La méthode s'appuie sur l'utilisation des logiciels libres QGIS et SAGA (Weber JL, 2014) et est décrite dans la figure12 ci-dessous.

4.2.2. Approche méthodologique

Associées aux bases de données sur l'occupation du sol, les tables attributaires renseignent l'ensemble des informations sur la nature des classes (urbain, cultures annuelles, cultures permanentes, savanes, forêts, eau), leurs surfaces, leurs périmètres. La réalisation des comptes des terres doit suivre plusieurs étapes dont la première consiste à établir la matrice des changements survenus pendant la période étudiée, ici entre 2005 et 2015.

⁷ Service National des Sols (SENASOL)

⁸ <https://www.worldclim.org/>

⁹ Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. Archer, et al. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.

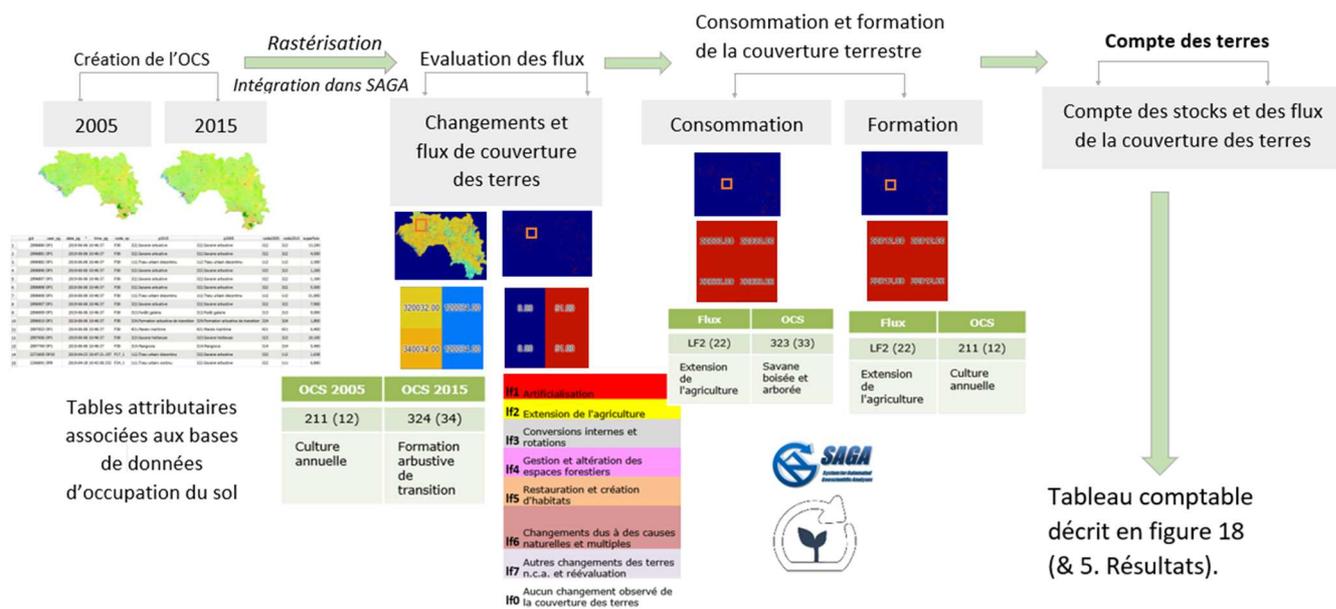


Figure 12 : Méthode de production des comptes des terres

La matrice des changements illustrée dans la figure 13 est obtenue en mettant en ligne les classes d'occupation du sol de 2005 et en colonne les classes d'occupation du sol de 2015. Les surfaces en hectares sont indiquées dans la matrice. Nous obtenons 2162 combinaisons de changements théoriques mais évidemment ils ne sont pas tous possibles. Il est donc important de les regrouper afin d'avoir une compréhension des phénomènes dynamiques. Ces changements sont regroupés en flux représentés dans la figure 14.

Un flux est un regroupement de changements de même nature. Les flux expliquent les changements et leur donnent du sens.

Par exemple, lorsque nous observons des constructions de maisons ou d'une zone industrielle, ou de routes, nous regroupons l'ensemble de ce phénomène comme une artificialisation de l'espace.

L'artificialisation comprend les extensions urbaines, zones industrielles, minières, barrages, développements portuaires.

	111	112	121	122	123	124	131	132	133	141	142	211	212	213	214	215	222	223	224	241	242	243	311	312
111	50030,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
112	0,0	101749,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
121	0,0	0,0	366,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
122	0,0	0,0	0,0	5586,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
123	0,0	0,0	0,0	0,0	297,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
124	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	417,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
131	0,0	0,0	0,0	14,6	0,0	0,0	8264,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
132	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	248,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
133	0,0	0,0	0,0	0,0	21,7	0,0	0,0	0,0	175,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
141	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
142	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	127,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
211	1163,6	2740,4	3,9	0,0	0,0	0,0	37,0	0,0	7,8	0,0	0,0	1167755,7	0,0	0,0	60,8	823,8	496,9	8973,6	32407,3	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0
212	101,1	8,8	0,0	1,1	49,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	273916,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
213	0,0	49,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	284,2	0,0	0,0	0,0	0,0	101538,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
214	37,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	86484,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
221	67,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99,3	0,0	0,0	0,0	10214,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
222	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	70388,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
223	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11066,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
224	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37077,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
241	514,3	562,2	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	47148,2	0,0	0,0	0,0	0,0	887,5	1989,3	0,0	920375,8	0,0	0,0	0,0	0,0
242	0,0	15,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	60202,3	0,0	0,0	0,0
243	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,6	0,0	0,0
311	1,9	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	458,4	210,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1614,9	0,0	207683,8
312	0,0	27,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11212,1	22,3	0,0	0,0	30,2	0,0	0,0	154,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1136408,9
313	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	257,3	206,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
314	0,0	0,0	0,0	12,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2889,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
315	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
316	0,0	14,4	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,1	0,0	0,0	363,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
317	26,2	567,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	1524,3	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0	5902,0	0,0	0,0	0,0	0,0
318	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
321	655,7	261,7	12,5	1,5	0,0	0,0	340,6	0,0	16,0	0,0	0,0	6091,2	125,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
322	4198,4	6069,0	27,2	58,0	0,0	0,0	2340,3	189,3	93,9	0,0	0,0	136196,8	6422,6	525,2	0,0	96,2	36,1	0,0	606,1	0,0	0,0	0,0	0,0	568,6

Figure 13: Extrait de la matrice des changements (en hectares) : en lignes l'état 2005 et en colonnes l'état 2015

Mais il est surtout important de connaître et de comprendre sur quel type d'occupation du sol ce développement a eu lieu. Est-ce que cette artificialisation s'est étendue sur de l'agriculture, des savanes, de la forêt ou des zones humides ? Un flux explique justement

ce phénomène en précisant sur quel type d'occupation biophysique le changement s'est opéré.

7 principaux flux de premier niveau ont été définis et sont présentés dans la figure 14 :

If1	Artificialisation
If11	Développement artificialisation sur des terres agricoles
If12	Développement artificiel sur des forêts
If13	Développement artificiel d'une autre occupation de terres naturelles
If14	Création de masses d'eau
If19	Autres ...
If2	Extension de l'agriculture
If21	Conversion de petites surfaces agricoles en agriculture à large échelle (intensification...)
If22	Conversion de forêts et savanes arborées en agriculture
If23	Conversion de terres marginales en agriculture
If24	Conversion des mangroves en agriculture
If29	Autres ...
If3	Conversions internes et rotations
If31	Conversion interne de surfaces artificielles
If32	Conversion interne entre types de culture agricole
If39	Autres ...
If4	Gestion et altération des espaces forestiers
If41	Gestion, coupes des formations arborées, perte du couvert forestier
If42	Gestion, coupe des mangroves et autres conversions
If49	Autres ...
If5	Restauration et création d'habitats
If51	Régénération des cultures jachères en formations herbeuses et arbustives
If52	Retrait de l'exploitation agricole, restauration du paysage
If53	Création de plantations forestières, boisement de terres marginales
If54	Régénération des forêts dû au recrutement d'arbres
If55	Restauration des terres dégradées
If59	Autres ...
If6	Changements dus à des causes naturelles et multiples
If7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation

Figure 14: Nomenclature des flux 2005-2015 de premier et second niveau de la couverture des terres en Guinée

Lf1 : L'**artificialisation** correspond à un accroissement ou à une extension des zones urbaines, industrielles ou commerciales, des réseaux de communication, des mines, des décharges

Lf2 : L'**extension agricole** comprend une extension de l'agriculture telles que des cultures annuelles, cultures permanentes, l'agroforesterie sur d'autres types de milieux naturels.

Lf3 : Les **conversions internes** correspondent à des conversions de surface mais gardant la même utilisation des terres. Par exemple des cultures annuelles qui sont converties en cultures permanentes et inversement. Une conversion d'un chantier de construction en résidence urbaine ou en route est incluse dans ce flux.

Lf4 : La **gestion et l'altération des espaces forestiers** correspond aux coupes licites ou illicites des espaces forestiers comprenant alors les phénomènes de déforestation et de dégradation.

Lf5 : La **restauration d'habitat** correspond à un processus d'abandon plus ou moins long des zones agricoles. Cela correspond à une régénération naturelle des cultures ou un processus de plantation d'arbres. C'est un retour progressif à des formations naturelles ou semi naturelles. En Guinée, l'abandon des cultures sur de longue période peut être considéré comme un retour à un état naturel. Ainsi sur le long terme cela peut être considéré comme de la restauration d'habitat.

Lf6 : **Autres types de changements** : par exemple, une digue qui a cédé et des zones agricoles qui ont été transformées en zone intertidale au Sud de Conakry (Kaback).

Lf7 : **Changements non classés ailleurs**

Les flux peuvent être détaillés à un second ou un troisième niveau et adaptés en fonction du contexte biogéographique du pays.

A partir du logiciel libre SAGA, ces flux ont été calculés sur l'ensemble du territoire guinéen mais aussi sur les 4 grandes régions naturelles de la Guinée. Ils sont représentés à la fois sous forme de cartographie des flux (figure 17), mais aussi sous forme de tableau comptable, convertis en compte des stocks et flux de la couverture des terres et présenté dans le chapitre résultat en figure 18.

5. Résultats statistiques et autres applications

Les résultats statistiques (figure 16), obtenus à partir de la carte d'occupation du sol de 2015 représentée dans la figure 15, permettent de décrire le paysage de la République de Guinée. Celui-ci est constitué à 82 % d'espace terrestre naturel et semi-naturel, 15 % de territoire agricole, 1 % de surface artificialisée, 1,5 % de zones humides (réparties en 0,5 % pour les zones humides continentales, 0,4 % pour les zones humides maritimes et 0,6 % pour les mangroves), et enfin 0,5 % de surfaces en eau.

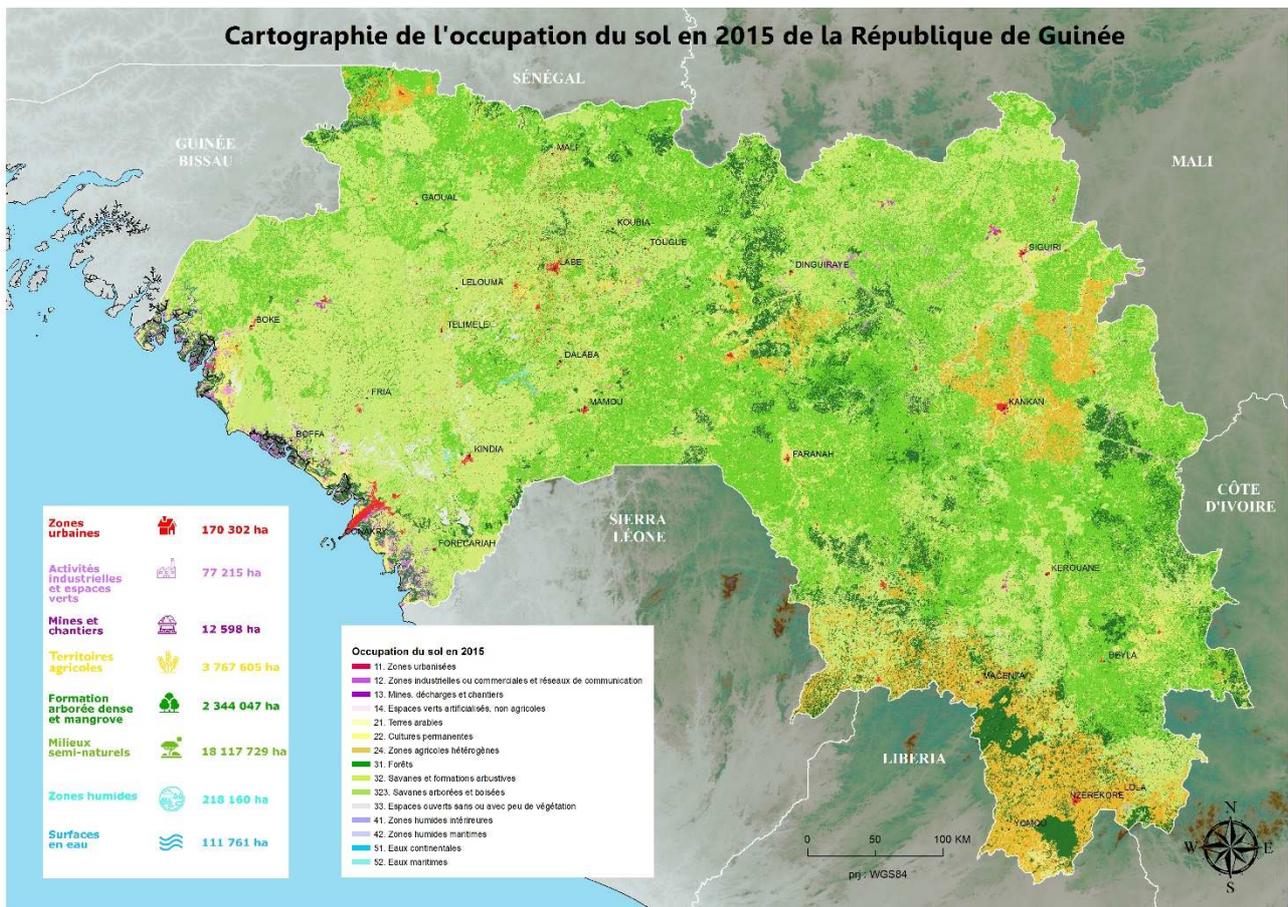


Figure 15 : Représentation cartographique de l'occupation du sol agrégée au second niveau de la nomenclature en république de Guinée en 2015.

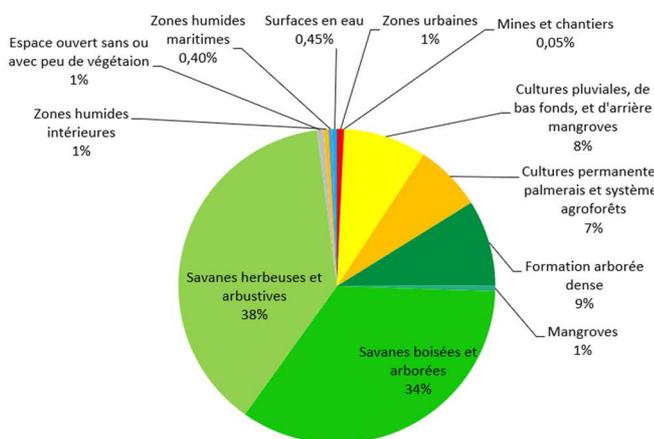


Figure 16 : Représentation proportionnelle (%) de l'occupation du sol en république de Guinée en 2015

La dynamique du territoire représentée dans le graphique de la figure 17 montre un accroissement net

des surfaces agricoles de 7,2 % entre 2005 et 2015. Les zones artificialisées se sont étendues de 12 % et les zones minières de près de 30 % sur 10 ans. A l'inverse les forêts denses, claires, ont vu leurs surfaces diminuées de 1,2 % (près de 27 000 ha) en 10 ans et autant pour les savanes arborées et boisées (-26 000 ha). Les savanes arbustives et herbeuses sont de loin majoritaires avec plus de 38 % de la couverture du territoire répartis en 31 % de savane arbustive et 7 % de savane herbeuse. Elles ont légèrement régressé en 10 ans, notamment les formations arbustives, du fait de l'extension des surfaces agricoles. Les savanes herbeuses sont relativement stables dans le temps, couvrant principalement les sols pauvres de type Bowes et autres croûtes latéritiques. Enfin, la surface des mangroves a diminué de 2685 ha soit 2 % entre 2005 et 2015. Les surfaces en eau ont légèrement augmenté notamment via l'aménagement d'une grande retenue d'eau à Koundian (Préfecture de Kankan), en Haute Guinée.

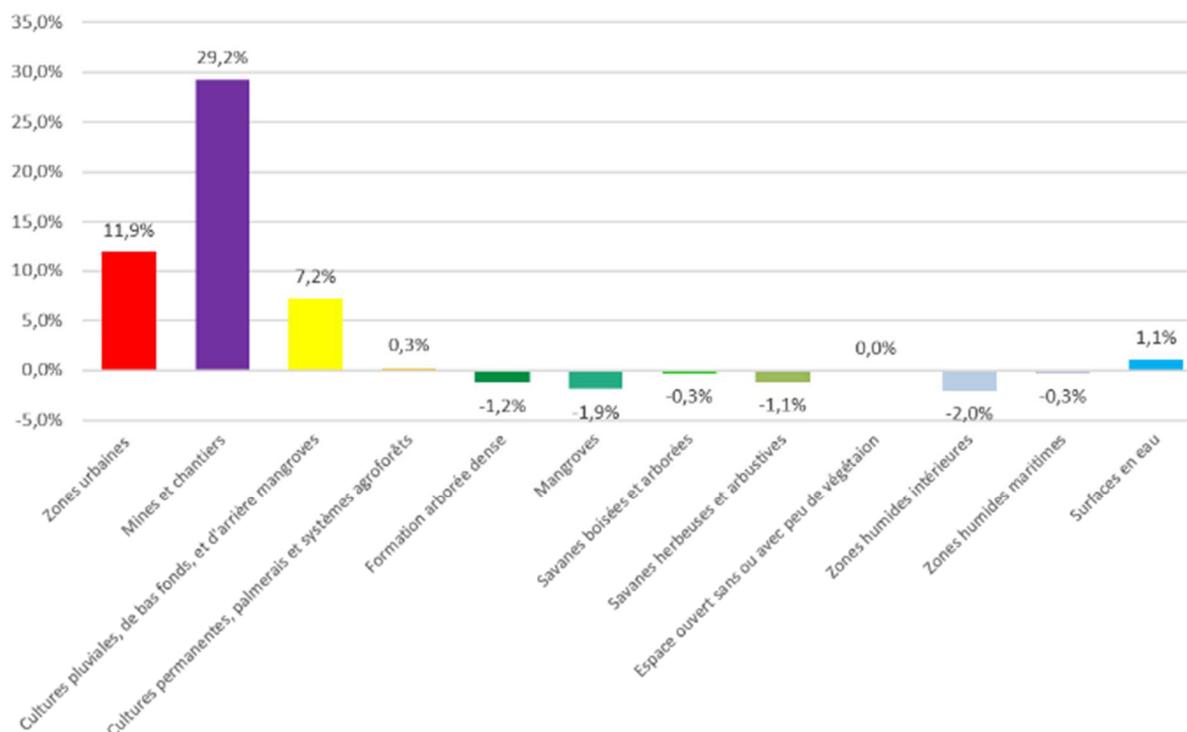


Figure 17 : Diagramme des changements d'occupation du sol (%) en République de Guinée (période 2005-2015)

Comptabilité écosystémique du capital naturel : Compte des stocks et flux de couverture des terres-République de Guinée														Unité : ha
Classes d'unités de couverture des terres écosystémiques (UCTE)	CT01	CT02	CT03	CT04	CT05	CT06	CT07	CT09	CT10	CT12	CT13	CT14	CT17	TOTAL
	Zones urbaines et surfaces artificielles associées	Cultures annuelles	Cultures pérennes et plantations agricoles	Associations et mosaïques agricoles	Savanes herbeuses	Couverture forestière	Couverture de végétation arbustive, avane arbustive, broussailles, fourrés	Savanes arborées et Boisées	Terres nues	Zones humides ouvertes	Surfaces en eau intérieures	Surfaces en eau côtières et zones intertidales	Mer (interface avec la terre)	
Stocks et flux de couverture des terres														
I. Stocks d'ouverture														
Stocks d'ouverture	168443	1936925	128987	1557823	1731252	2344811	7753640	8469619	162852	220915	71898	36582	1943	24585690
II. Formation de couverture des terres														
F_If1 Artificialisation	22658										614			23272
F_If2 Extension de l'agriculture		445997	5407	8100										459504
F_If3 Conversions internes et rotations	40	99	10268	32454	2									42863
F_If4 Gestion et altération des espaces forestiers					1515	973	2440					5		4933
F_If5 Restauration et création d'habitats					13047	245	177695	68552		442				259981
F_If6 Changements dus à des causes naturelles et multiples					216	69	12	187	4	14		655		1157
F_If7 Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation														0
Total, formation de couverture des terres	22698	446096	15675	40554	14780	1287	180147	68739	4	456	614	660	0	791710
III. Consommation de couverture des terres														
C_If1 Artificialisation		5105	68	1082	1290	715	14624	373		4	5	6		23272
C_If2 Extension de l'agriculture				50050	6161	24832	281262	94222		2977				459504
C_If3 Conversions internes et rotations	41	42723	99			4933								42863
C_If4 Gestion et altération des espaces forestiers														4933
C_If5 Restauration et création d'habitats	1024	258575	179		1		46			156				259981
C_If6 Changements dus à des causes naturelles et multiples		655		412			3			3		84		1157
C_If7 Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation														0
Total, consommation de couverture des terres	1065	307058	346	51544	7452	30480	295935	94595	0	3140	5	90	0	791710
Changement net de couverture des terres (formation - consommation)	21633	139038	15329	-10990	7328	-29193	-115788	-25856	4	-2684	609	570	0	0
Aucun changement	167378	1629867	128640	1506279	1723800	2314331	7457707	8375024	162852	217775	71894	36493	1943	23793983
IV. Stocks de clôture														
Stocks de clôture	190076	2075963	144316	1546833	1738580	2315618	7637852	8443763	162856	218231	72507	37152	1943	24585690

Figure 18 : Tableau des comptes des terres en République de Guinée (période 2005-2015)

Le tableau des comptes des terres, illustré en figure 18 montre les variations de stocks des terres entre les formations et les consommations de l'espace survenus entre 2005 et 2015. Prenons l'exemple de l'artificialisation (CT01). Il y a 23 272 ha de zones urbaines et surfaces artificielles associées qui ont été formées au détriment de différentes occupations du sol. Précisément cette artificialisation s'est faite sur 5105 ha de cultures annuelles, 14 624 ha de savanes arbustives, 715 ha de forêts, 373 ha de savanes arborées et boisées...etc. Ce tableau résume parfaitement les mouvements d'occupation du sol en termes de pertes et de gains sur un espace donné.

Les analyses combinées des données morpho-pédologiques, climatiques et d'OCS ont permis de cartographier et d'évaluer les terres agricoles de la Guinée à 13,7 millions d'hectares soit 56 % du territoire national, comme illustré dans la figure 19. Ce potentiel disponible correspond à la fraction des terres aptes à l'agriculture qu'il serait possible d'exploiter agronomiquement compte tenu de leur usage actuel ou futur. Il repose sur l'occupation du sol actuelle et les espaces réservés à d'autres usages que l'agriculture : aires protégées, forêts classées, périmètres miniers, tissus artificialisés.

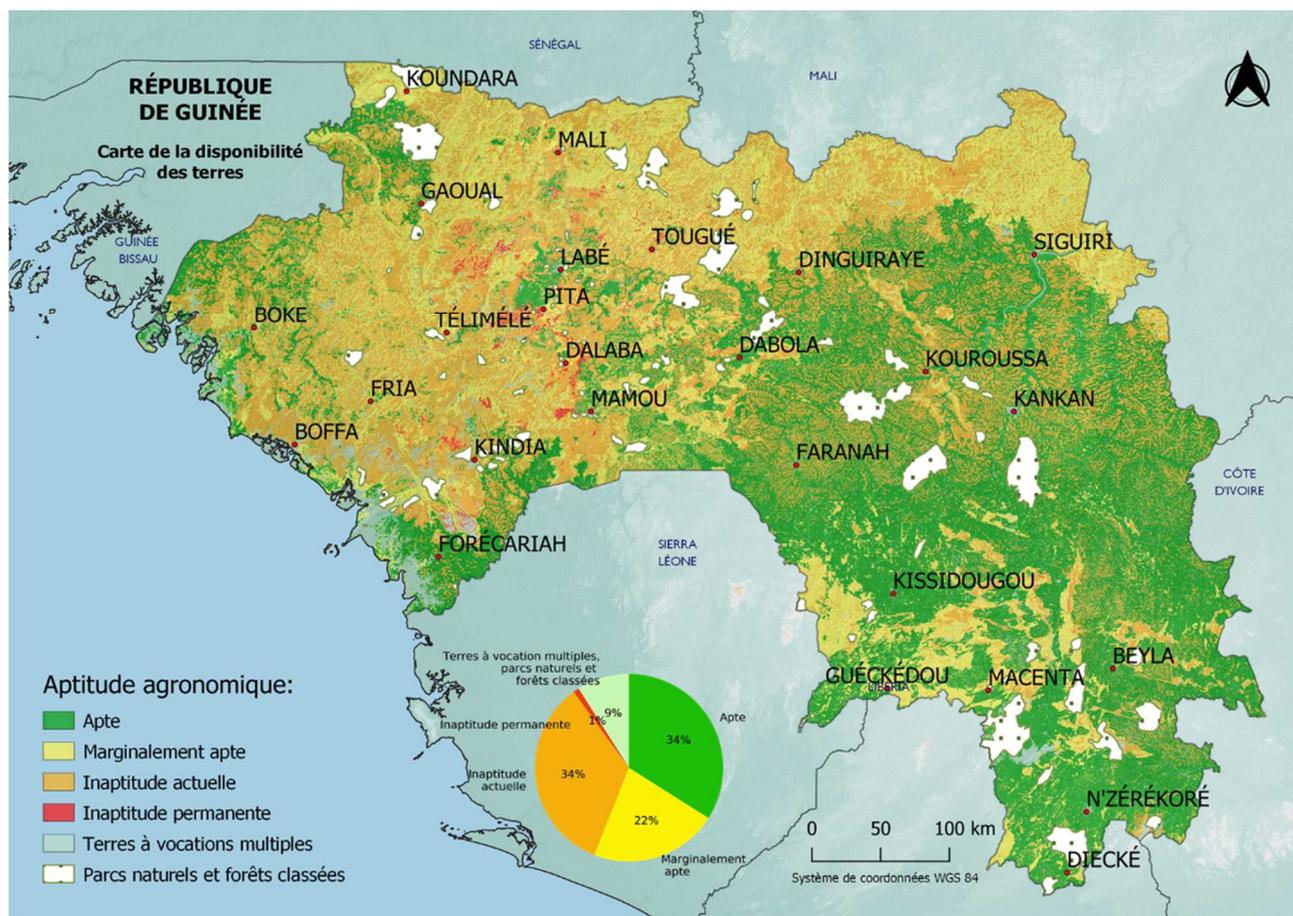


Figure 19 : Représentations cartographique et proportionnelle (%) de la disponibilité des terres en république de Guinée en 2015

Ce zonage permettra une meilleure affectation des cultures en fonction de leur exigence bioclimatique et l'optimisation des ressources publiques et des projets qui accompagneront leur développement. Cela favorisera à l'avenir une meilleure productivité, la prise en compte des autres usages de l'espace (urbanisation, mine, infrastructure) et la préservation des ressources naturelles.

Une analyse des potentialités des séries temporelles d'images optiques Sentinel-2 pour la mise à jour annuelle de la cartographie des espaces agricoles a été menée par le CIRAD sur une petite zone rizicole de la plaine de Monchon en Guinée Maritime en utilisant la chaîne de traitement Moringa (Gaetano R. et al , 2019). Cette étude a permis de démontrer que l'exploitation des séries temporelles améliore les statistiques des surfaces

cultivables de l'année en levant les confusions possibles avec les jachères.

Le tableau 4 présente les flux en surface (ha) et en % des principaux types de changements intervenus entre 2005 et 2015 dans l'utilisation des terres en Guinée et les surfaces concernées (Ha) et la contribution de chaque région naturelle dans ces changements. L'ensemble des flux de changements, représente plus de 790 000 ha soit 3.3 % des surfaces sur 10 ans. Ces flux concernent globalement l'ensemble du territoire guinéen, avec quelques disparités régionales relativement importantes, et sont illustrés en figure 20. L'artificialisation qui intègre notamment l'urbanisation et les extensions minières (lf1) se concentre à près de 50 % en Guinée maritime, suivi de la haute Guinée à 30 %.

Les extensions agricoles (lf2) sont réparties uniformément sur l'ensemble des régions avec un taux plus faible en Moyenne Guinée 17 %. Ces extensions agricoles se développent essentiellement sur les savanes arbustives et arborées. Les conversions internes et rotations (lf3) comprennent à la fois des transformations au sein de systèmes artificialisés tels qu'un chantier en 2005 qui devient une zone portuaire en 2015, mais aussi au sein des systèmes agricoles tels que des zones de cultures annuelles qui sont plantées en cultures permanentes (palmiers / hévéas...). Ce flux lié aux conversions internes (principalement agricoles) et celui lié à la gestion et l'altération des espaces forestiers sont concentrés à plus de 70 % en Guinée forestière. Le flux de restauration et création d'habitat (lf5) représente un retour progressif aux formations naturelles arborées correspondant essentiellement à un abandon plus ou moins important de certaines pratiques agricoles sur le long terme. Ce flux est représenté de façon homogène sur les 4 régions naturelles avec une prédominance en Haute Guinée. Le flux lf6 essentiellement présent en Guinée Maritime correspond à la rupture d'une digue transformant les cultures de plaine de mangrove en zone intertidale. Sur ces 10 ans, le bilan général des flux montre surtout un processus d'intensification agricole du territoire sur environ 2 % des surfaces et un processus de transformation des paysages dû à l'abandon de certaines pratiques agricoles sur 1 % des surfaces.

La figure 20 représente la répartition des flux sur le territoire de Guinée en fonction des 4 régions naturelles. Le diagramme représente pour chaque flux leur répartition sur le territoire Guinéen, avec une somme en

ligne égale à 100 %. Par exemple pour le flux lcf1 (artificialisation), 49,6 % de l'artificialisation a eu lieu en Guinée Maritime,(GM), 11 % en MG, 29,9 % en HG 9.5 % en GF, la somme est bien égale à 100 %.

Près de la moitié de l'artificialisation se situe donc en Guinée Maritime (49,6 %) et moins de 10 % en région de Guinée Forestière. Trois quarts du flux lf4 « gestion et altération des espaces forestiers » sont localisés naturellement sur la région de Guinée Forestière. Les extensions agricoles dominent en Haute Guinée et Guinée Maritime avec respectivement une proportion équivalente de 30 %.

Types de flux		REGIONS NATURELLES				GUINEE	
			Guinée maritime	Moyenne Guinée	Haute Guinée	Guinée forestière	Surface Totale
lf1	Artificialisation	Ha	11 539	2 549	6 949	2 233	23 270
		%	49,6%	11,0%	29,9%	9,6%	0,10%
lf2	Extension de l'agriculture	Ha	131 400	77 183	138 978	111 925	459 504
		%	28,6%	16,8%	30,2%	24,4%	1,93%
lf3	Conversions internes et rotations	Ha	1 009	229	7 566	34 057	42 863
		%	2,4%	0,5%	17,7%	79,5%	0,18%
lf4	Gestion et altération des espaces forestiers	Ha	657	126	491	3 659	4 933
		%	13,3%	2,6%	10,0%	74,2%	0,02%
lf5	Restauration et création d'habitats	Ha	70 391	53 124	100 564	35 901	259 981
		%	27,1%	20,4%	38,7%	13,8%	1,09%
lf6	Changements dus à des causes naturelles et multiples	Ha	2 762	67	129	216	3 191
		%	87,0%	2,1%	4,1%	6,8%	0,01%
lf0	Aucun changement	Ha	4 169 675	5 638 130	9 930 470	4 053 711	23 791 949

Tableau 4 : Flux en surface (ha) et en % des principaux types de changements intervenus entre 2005 et 2015

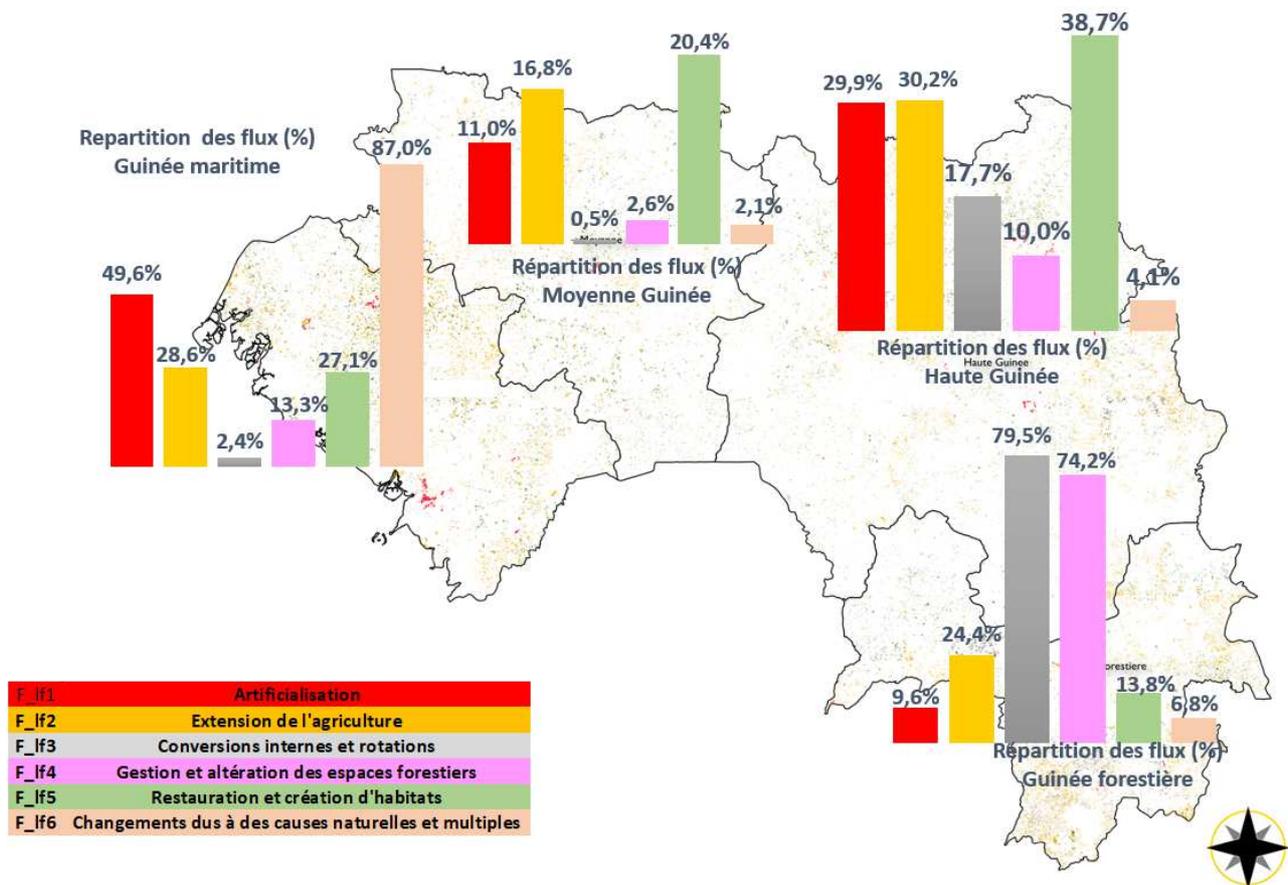


Figure 20 : Répartition (2005-2015) des six principaux flux (en %) de la couverture des terres par région naturelle

6. Conclusion / discussion

La République de Guinée dispose désormais d'un outil d'aide à la décision pour l'orientation, la planification et l'optimisation des ressources agricoles et naturelles. Un outil également pour la mise en œuvre d'actions de développement durable ainsi que de suivi-évaluation de ses engagements internationaux tels que l'accord de Paris sur le climat, les conventions sur la biodiversité, la lutte contre la désertification et la dégradation des terres. Les résultats issus de ces travaux permettent de fournir des données fiables, précises sur l'état et la dynamique du territoire telle que l'urbanisation, les extensions agricoles, la déforestation, les extractions minières, mais aussi sur l'évolution des forêts, des savanes, des zones humides, des mangroves. Outre les résultats scientifiques obtenus, un important transfert de compétence a été réalisé pour parvenir à créer une équipe guinéenne la plus autonome possible. Une dizaine de jeunes cartographes guinéens a travaillé pendant deux ans sur la base d'images satellites haute résolution et ces techniciens sont capables dorénavant de prendre en main les nouvelles mises à jour des données.

Néanmoins, ce transfert technique et de compétence ne s'est pas toujours effectué sans difficultés. Mettre en place une chaîne de production suppose que l'on soit en mesure de fournir au client des produits satisfaisants en termes de qualité et surtout en suivant un échéancier strict. Ce mécanisme complexe pour être optimisé, demande que soient

réunis un environnement et une infrastructure de travail adéquat. Or ces conditions n'ont pas toujours été remplies ; coupures d'électricité régulières ou variations de la tension électrique, occasionnant des dégâts irréversibles dans les appareils informatiques et électriques (onduleurs, ordinateurs, climatiseurs...). La connexion Internet, bien souvent insuffisante et irrégulière, ne permettait pas des échanges immédiats entre les équipes françaises et guinéennes, ainsi les solutions à certains problèmes méthodologiques étaient différées, induisant des ralentissements dans la production. Mais tous ces obstacles d'ordre technique et parfois administratif étaient largement compensés par l'engagement des équipes guinéennes sur place et par les échanges fructueux entre les deux équipes bénéficiant pour les uns des connaissances précieuses de leur territoire et des écosystèmes locaux et pour les autres d'une mise à jour en matière de technicité. Toute l'équipe a bénéficié d'appuis spécifiques extérieurs au projet tel que l'aide de messieurs Mamadou Sow spécialiste des Mangroves et Djouma Bari, herboriste-botaniste, spécialiste de la végétation des forêts et des savanes. Cette information objective sur l'occupation du sol a montré tout son intérêt dans la mise en œuvre d'applications concrètes et dans son intégration simple dans des systèmes d'information géographiques et environnementaux. Il est donc parfaitement envisageable d'enrichir ce système en y intégrant d'autres données spatiales et/ou statistiques afin d'en extraire de nouvelles informations. Ce serait le cas, par exemple, pour compléter les comptes écosystémiques,

puisque uniquement le compte des terres y a été déterminé. Selon la CECN (Weber, 2014), des informations spatiales et statistiques sur l'eau, le carbone peuvent et doivent y être intégrées.

Cette base de données peut être utilisée pour une évaluation des systèmes pastoraux, elle donne en effet la répartition des savanes arbustives et herbeuses sur l'ensemble du territoire.

Afin que ces données restent pertinentes auprès des décideurs, elles doivent être mises à jour régulièrement pour mesurer rapidement les impacts des activités anthropiques sur les milieux naturels et ainsi anticiper des actions ponctuelles et efficaces sur le terrain. Or, aujourd'hui, la cartographie de référence devient obsolète puisque 5 ans se sont écoulés depuis 2015 ; une actualisation de cette information sur l'occupation du sol devient donc primordiale. De nombreuses données satellitaires sont disponibles et gratuites notamment les capteurs Sentinel 2 et Landsat 8 ; leurs résolutions spatiales et spectrales étant parfaitement adaptées à une mise à jour de cette base de données.

Références

- Aubreville A., Janvier-Février 1957. Accord à Yangambi sur la nomenclature des types Africains de végétation. *Revue Bois et forêts Tropiques*, N° 51.
- Babin D., Weber JL., 2019. La comptabilité écosystémique du capital naturel. Introduction et mise en œuvre. In : *Economie et gestion de l'environnement et des ressources naturelles*. Institut de la Francophonie pour le Développement Durable et Université Senghor, IFDD, Québec, Canada, 205-238.
- Boulvert Y., 2003. République de Guinée. Carte morphopédologique et documents phytogéographiques, Edition IRD, Annexe 1 & 3, Cartes et notices N°114, 181p.
- Breiman L., 2001. Random Forests, *Machine Learning*, vol. 45, n°1, 5-3.
- Camara A et al., 2009. De la Forêt naturelle aux agroforêts en Guinée forestière." *Cahiers Agricultures*, vol. 18, no. 5, 425-432.
- Camara A., Saidi S., Gazull L., Mars 2019. Cartographie et évaluation de la disponibilité des terres agricoles en Guinée Maritime. *OSFACO 2019, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin*, 14p.
- Di Gregorio A., Jaffrain G., Weber JL., December 2011. Land cover mapping, land cover classifications, and accounting units. Land cover classification for ecosystem accounting, Expert Meeting on Ecosystem Accounts. London, UK- ISSUE 3, 29p.
- FAO, 1997. Zonage Agroécologique –Directives. Bulletin Pédologique de la FAO, no. 73.
- Feranec J., Jaffrain G & al., 2016. *European Landscape Dynamics: Corine Land Cover Data*. Editors. CRC Press Taylor & Francis group, 337p.
- Feranec J., Jaffrain G & al., 2010. Determining change and flows in European landscapes 1990-2000 using Corine land cover data. *Applied Geography*, 30, 19-35.
- Feranec J & al., 2007. Land use policy. CORINE land cover change detection in Europe (case studies of the Netherlands and Slovakia). Ed Elsevier, Land Use policy N°24.
- Gaetano R., Dupuy S., Lebourgeois V., Le Maire G., Tran A., Jolivot A. and A. Bégué, 2019. The MORINGA processing chain: Automatic object-based land cover classification of tropical agrosystems using multi-sensor satellite imagery. *Living Planet Symposium, Milano (IT)*, 13-17.
- Heymann Y., Bossard M et al., 1994. *CORINE Land Cover: Technical Guide*. Editors Office for Official Publ. of the Eur. Communities, 144p.
- IGN., 1997. Bulletin d'information de l'IGN. Qualité d'une base de données Géographique : concepts et terminologie N°67, 1997/2, 51p.
- Intergovernmental Science-Policy., 2018. Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. Archer, et al. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany, 587p.
- Jaffrain G., 2016. Corine land cover Outside of Europe in. *European Landscape Dynamics: Corine Land Cover Data*. editors CRC Press, 263-274.
- Lambin EF & al., 2003. Dynamics of Land use and land cover change in Tropical region. *Annu. Rev. Environ Resour.* doi: 10.1146/annu.rev.energy, 206-231.
- Lijing Zhang and Jing Yi., 2010. Management methods of spatial data based on PostGIS. *Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System*, Beijing, 410-413, 0.1109/PACCS.
- Mertens, B., Pinet, C., Eds., 2019. Images satellites et gestion durable des territoires : applications et enjeux en Afrique Centrale et de l'Ouest. OSFACO, 63p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02409949>
- Mertens, B., Orekan, V.O.A., Eds. Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique. Actes de la Conférence OSFACO, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02421608>
- Vo Quang A & al., 2021. En cours de soumission. Detection of degraded forests in Guinea, West Africa, based on Sentinel-2 time series by inclusion of moisture related spectral indices and neighbourhood effect, *Remote sensing of Environment*.
- Weber JL., 2006. Land accounts for Europe 1990-2000, EEA Technical report No 11 /2006, 107p.
- Weber JL., 2014. Experimental Ecosystem Natural Capital Accounts. Mauritius case Study – Methodology and preliminary results 2000-2010 ed Indian Ocean Commission, 59p.
- Weber. JL., 2014. Ecosystem natural capital accounts: A quick start package. Montreal: Quebec: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 245p.

Légendes en anglais

Figures

Figure 1: Global workflow

Figure 2: Location of natural regions in Republic of Guinea

Figure 3: Temporal distribution of SPOT6/7 satellite images for the 2015 baseline

Figure 4: Temporal distribution of SPOT4/5 satellite images for the 2005 reference date

Figure 5: Production grid based on 50kmx50km cells

Figure 6: Land cover and land cover changes (2005-2015) Production workflow

Figure 7: Method of production of the OCS 2015 and changes 2005-2015. Extract from the Ziama Forest, region of Guinea Forestiere

Figure 8: GPS points distribution observed in each of the 4 main regions in Republic of Guinea

Figure 9: Illustrations of different landscapes types observed during fieldwork

Figure 10: Illustration of actual land cover changes (conversion) between 2005 and 2015

Figure 11: Multi-criteria analysis through a Geographic Information System (GIS).

Figure 12: Land accounts producing method

Figure 13: Change matrix extract (in hectares): rows the state of 2005 and columns the state of 2015

Figure 14: First and second level of land cover flows nomenclature in Guinea

Figure 15: Land cover aggregated map at the second level of the nomenclature in 2015

Figure 16: Proportional representation (%) of land cover in the Republic of Guinea in 2015

Figure 17: Land cover change diagram (%) in the Republic of Guinea

Figure 18: Table of land accounts in the Republic of Guinea

Figure 19: Mapping and proportional (%) representation of land availability in the Republic of Guinea in 2015

Figure 20: Distribution of the six main land cover flows (in %) by natural region

Tables:

Table 1: Geometric evaluation results of the 2005 reference date

Table 2: Nomenclature used for land cover mapping in Guinea

Table 3: Confusion matrix example of a classified image.

Table 4: Flows in area (ha) and % of the main change types between 2005 and 2015