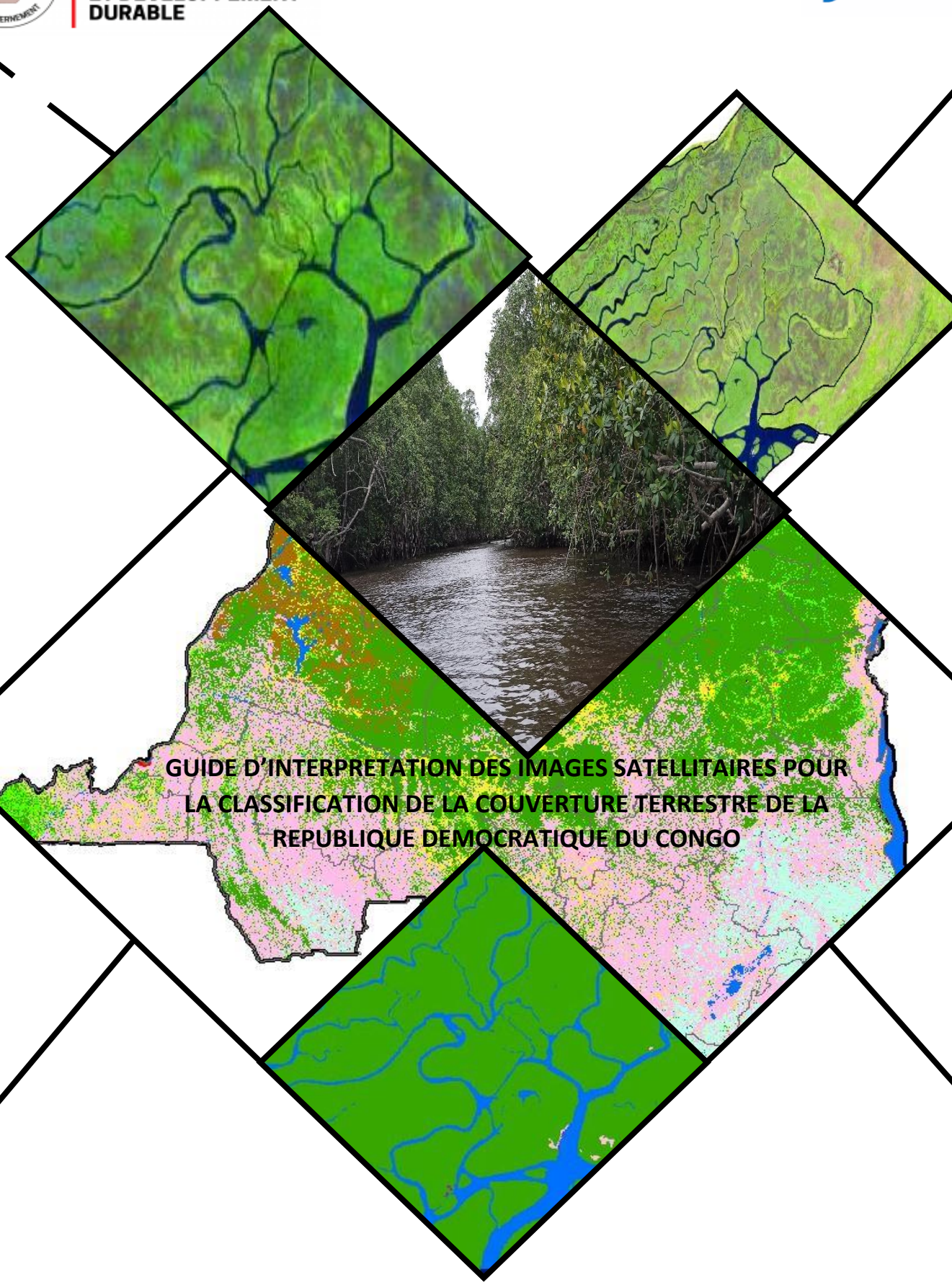
MINISTÈRE
DE L'ENVIRONNEMENT
ET DÉVELOPPEMENT
DURABLE



GUIDE D'INTERPRETATION DES IMAGES SATELLITAIRES POUR LA CLASSIFICATION DE LA COUVERTURE TERRESTRE DE LA REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

©MEDD-JICA 2024

Préface

La République Démocratique du Congo, dotée d'une richesse naturelle exceptionnelle, abrite l'une des plus vastes étendues de forêts tropicales au monde. Ces écosystèmes forestiers jouent un rôle crucial dans la régulation du climat, la préservation de la biodiversité et la fourniture de services écosystémiques essentiels pour les populations locales et le monde entier.

La gestion durable de ces ressources forestières est une priorité absolue pour le gouvernement congolais, et cela nécessite une connaissance approfondie de l'état des forêts et des pressions qui les affectent. Dans cette optique, le Ministère de l'Environnement et Développement Durable (MEDD) s'engage activement dans la collecte, l'analyse et la diffusion de données spatiales pour soutenir une gestion responsable des écosystèmes forestiers, par le biais de son Système National de Surveillance des Forêts (SNSF).

Dans le cadre du projet de l'opérationnalisation du Système National de Surveillance des Forêts et le Programme Intégré REDD+ pour le développement durable dans la province du Kwilu (PIREDD Kwilu), le Ministère de l'Environnement et Développement Durable (MEDD), à travers sa Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers (DIAF) et sa Division Géomatique, met à votre disposition ce manuel d'interprétation des Images Satellitaires pour la classification de la couverture terrestre Landsat et Sentinel-2 pour la classification de la couverture terrestre de la République Démocratique du Congo, avec l'appui technique de l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA/JAFTA).

Ce guide d'interprétation des images satellites pour la cartographie de l'occupation du sol en République Démocratique du Congo est une contribution importante à ces efforts. Il vise à fournir aux acteurs impliqués dans la gestion des forêts congolaises les outils et les connaissances nécessaires pour réduire les erreurs d'omission et de commission et aussi d'interpréter avec précision les images satellites, afin de mieux comprendre les dynamiques du couvert forestier et de planifier des actions de conservation et de gestion durable.

Nous espérons que ce guide sera une ressource utile pour les professionnels engagés dans la préservation des forêts de la RDC, ainsi que pour tous ceux qui s'intéressent à la protection de notre patrimoine naturel commun. En travaillant ensemble, nous pouvons assurer un avenir durable pour les forêts congolaises et les générations futures.

Benjamin TOIRAMBE BAMONINGA

Secrétaire Général à l'Environnement et Développement Durable

Auteurs

Corneille KUMBAZI MBEMBA, Expert en SIG et Télédétection à la Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers (DIAF)

Daudet MBENZA NGIMBI, Expert en SIG et Télédétection à la Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers (DIAF)

Eric MANZILA NGONGO, Expert en SIG et Télédétection à la Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers (DIAF)

Franck MUKENDI MULUMBA, Expert en Gestion des données spatiales à la Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers (DIAF)

Autres contributeurs

Célestin BOLILI MOLA, Géographe et Chef de Bureau Télédétection à la Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers (DIAF)

Gloria KUSANIKA MUSOLE, Experte en SIG et Télédétection à la Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers (DIAF)

Ismaëlle MILOLO AGNAR, Experte en SIG et Télédétection à la Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers (DIAF)

Malick MUAMBA TSHIBANGU, Environnementaliste et Chef de Division Géomatique honoraire à la Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers (DIAF)

TOMOKO FURUTA, Conseillère Technique JICA/JAFTA

Liste des acronymes

DIAF	Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers
FDHSH	Forêt Dense Humide sur Sol Hydromorphe
FDHTF	Forêt Dense Humide sur Terre Ferme
FS	Forêt Secondaire
FC/FSe	Forêt Claire/Forêt Sèche
GEE	Google Earth Engine
JAFTA	Association Japonaise des Technologies Forestières
JICA	Agence Japonaise de Coopération Internationale
MEDD	Ministère de l'Environnement et Développement Durable
MSS	Multispectral Scanner
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIR	Near Infrared
R	Rouge
RDC	République Démocratique du Congo
REDD+	Réduction des Emissions issue de la Déforestation et de la Dégradation des Forêts, associées
	A la conservation des stocks de carbone forestier, à la gestion durable des forêts et à l'accroissement des stocks de carbone forestier
SA	Savane
SEPAL	System for Earth Observation Data Access, Processing and Analysis for Land Monitoring
SIG	Système d'Information Géographique
SNSF	Système National de Surveillance des Forêts
SWIR 1	Short-Wave Infrared 1
USGS	US. Geological Survey
RCA	Régénération et Cultures Abandonnées
RGB	Rouge Vert Bleu

Liste des Tableaux

1. Tableau des bandes spectrales de Landsat ----------8

2. Tableau des bandes spectrales de Sentinel-2 ----------9

Liste des Figures

Figure 1 : Carte de stratification de l'année 2000 ----------7

Figure 2 : Carte de stratification de l'année 2015 ----------7

Figure 3 : Plateforme USGS de téléchargement des images Landsat----------10

Figure 4 : Plateforme Copernicus de téléchargement des images Sentinel----------11

Figure 5 : Interface GEE de téléchargement des mosaïques Landsat et Sentinel----------12

Fichier 6 : Plateforme SEPAL de téléchargement des séries temporelles Landsat et Sentinel-----13

Figure 7 : Compilation des bandes----------14

Figure 8 : Stratification nationale 2015 (produit de la DIAF) ----------18

Figure 9 : Composition en vraie couleur (bande 3.2.1) ----------21

Figure 10 : Composition en fausse couleur (bande 5, 4,3) Landsat 8 ----------22

Figure 11 : Composition en infrarouge Couleur (bande 4, 3, 2) Landsat 8----------22

Figure 12 : Composition en Vraie Couleur (bande 3, 2,1) Landsat 8----------23

Figure 13 : Composition en fausse Couleur (bande 5, 4, 3) Landsat 8----------23

Figure 14 : Composition en infrarouge Couleur (bande 4, 3, 2) Landsat 8----------24

Figure 15 : Composition en Vraie Couleur (bande 4, 3,2) Sentinel 2----------24

Figure 16 : Composition en infrarouge couleur (bandes 8, 4, 3) Sentinel 2----------25

Figure 17 : Composition en Vraie Couleur (bande 4, 3,2) Sentinel 2----------25

Figure 18 : Composition en fausse Couleur (bande 8, 4,3) Sentinel 2----------26

Table des matières

PREFACE 1

AUTEURS 2

AUTRES CONTRIBUTEURS 2

LISTE DES ACRONYMES 3

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION 7

CHAPITRE 2 : APERÇU GENERAL DES IMAGERIES SATELLITAIRES 8

2.1 LANDSAT 8
2.2. SENTINEL 9

CHAPITRE 3 : METHODOLOGIE DE L'INTERPRETATION DES IMAGES SATELLITAIRES 10

3.1 ACQUISITION DES IMAGES SATELLITAIRES 10
3.1.1 EARTH EXPLORER 10
3.1.2 COPERNICUS : 11
3.1.3 GOOGLE EARTH ENGINE ET SEPAL 12
3.2 TRAITEMENT D'IMAGES SATELLITAIRES 13
3.2.1 TRAITEMENT DES BANDES 13

CHAPITRE 4 : INTERPRETATION DES IMAGES SATELLITAIRES 17

4.1. RAPPEL DE DEFINITION DE LA FORET ET TYPES DE COUVERTURE TERRESTRE DE LA RDC 17
A. CATEGORIE FORESTIERE 17
B. CATEGORIE NON FORESTIERE 18
4.2 DEFINITION DE L'INTERPRETATION D'UNE IMAGE SATELLITAIRE 19
4.3 CRITERES DE L'INTERPRETATION VISUELLE D'UNE IMAGE SATELLITAIRE 19
4.3.1 LE TON 19
4.3.2 LA FORME : 19
4.3.3 LA TAILLE : 19
4.3.4 LE PATRON : 19
4.3.5 LA TEXTURE : 19
4.3.6 LES OMBRES 19

4.3.7 L'ASSOCIATION 20
4.4. INTERPRETATION VISUELLE DES IMAGES SATELLITES LANDSAT 8 ET SENTINEL_2 20
4.4.2 IMAGES SENTINEL 2 25

Chapitre 1 : Introduction

La connaissance du milieu forestier et de ses ressources revêt une importance cruciale pour la gestion durable des écosystèmes et la préservation de la biodiversité.

Dans cette optique, le Ministère de l'Environnement et Développement Durable de la République Démocratique du Congo (MEDD) s'engage activement dans l'acquisition de données en poursuivant des activités de cartographie de l'occupation du sol et de mise à jour régulière des perturbations naturelles et anthropiques telles que les incendies, les épidémies, les chablis, les coupes, etc., qui affectent les forêts de la RDC. Ces missions sont confiées à la Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers (DIAF).

La DIAF, au travers de sa Division Géomatique, utilise régulièrement des images satellites des capteurs Landsat ou Sentinel-2 pour concevoir et diffuser des cartes d'occupation du sol. À titre illustratif, les cartes de stratification de l'année 2000 (figure 1) et de 2015 (figure 2) ont été élaborées à partir d'images satellites Landsat acquises principalement en 2000 pour la première et en 2015 pour la seconde. Ces images offrent une vision globale de la végétation, de l'occupation du sol et des diverses perturbations naturelles ou anthropiques survenues sur le territoire. La carte d'occupation du sol appuie les fonctions de planification, de suivi et d'aménagement en relation avec ces différentes applications. Ce document décrit la méthode utilisée pour la création des jeux de données ainsi que les clés d'interprétation pour une utilisation optimale des images Sentinel-2 ou Landsat de la RDC, afin de prévenir les erreurs dues à leur mauvaise interprétation.

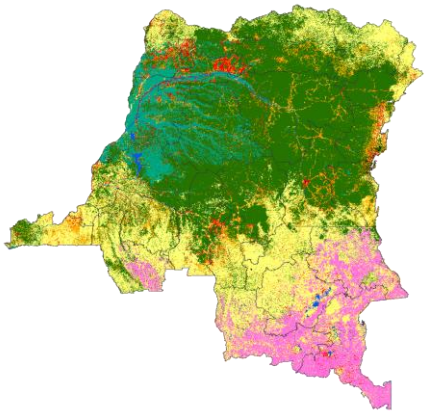


Figure 1 : Stratification RDC 2000

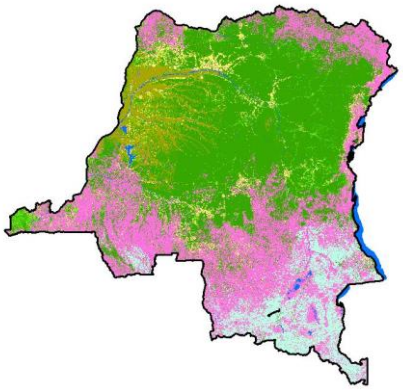


Figure 2 : Stratification RDC 2015

Ce guide est principalement destiné aux photo-interprètes et à toute personne désireuse de mieux comprendre l'interprétation des images satellites Landsat et Sentinel-2 dans le processus de cartographie.

Le document est structuré en cinq chapitres. Le premier consacré à l'introduction, le deuxième est sur l'aperçu général des imageries satellitaires, le troisième explique la méthodologie de l'interprétation des images satellitaires et enfin le quatrième sur l'interprétation des images satellitaires.

Chapitre 2 : Aperçu général des imageries satellitaires

Une image satellitaire est une prise de vue transmise d'un satellite artificiel en orbite, à travers ses capteurs actifs ou passifs. Les images permettent d'obtenir différentes informations sur la surveillance de la terre en fonction de différentes résolutions :

1. Spatiale qui donne une idée assez précise du plus petit objet que nous sommes capables d'identifier sur une image ;
2. Spectrale qui fait référence au nombre des spectres, l'espacement et la largeur des bandes spectrales échantillonnées dans le spectre du rayonnement solaire réfléchi et enfin
3. Radiométrique qui décrit sa sensibilité à l'intensité de l'énergie électromagnétique).

En fonction de mode d'acquisition d'information, il existe deux types de satellite entre autres le **satellite optique** dépendant du soleil comme source d'énergie (capteur passif), et un capteur actif qui ne dépend pas d'une source extérieure donc, lui-même producteur d'une Energie (**Radar**).

Parmi ces satellites optiques d'observation de la terre, nous avons entre autres la série Landsat et la série sentinel-2, équipées chacune de capteurs multispectraux offrant des images de plus en plus précises et riches en informations géographiques.

2.1 Landsat

Landsat est une mission d'observation de la Terre à partir de satellites développés dans le cadre d'un programme conjoint entre l'USGS et la NASA. *(Google cloud, //cloud.google.com)*.

Ce programme américain visait à produire une cartographie complète de la planète pour permettre des études de la géologie planétaire, surveiller le développement de l'agriculture, les changements climatiques.

La série des satellites Landsat a débuté en 1972 et Landsat 9, le plus récent, fut lancé en septembre 2021, c'est le premier véritable programme d'observation systématique d'observation du monde à résolution moyenne.

Il a permis de très grandes avancées dans de nombreux domaines et a inondé le monde de millions d'images. Ce programme a évolué en termes de capteur passant de RGB au MSS (Multispectral Scanner) et thematic mapper en thematic mapper plus jusqu'au Enhanced Thematic Mapper, donc une évolution en résolution spectrale passant de 3 bandes à une dizaine de bande, et de résolution de 60m à 30m dans le multispectral (visibles et infrarouges) et 15m dans le panchromatique.

Tableau 1 : Bandes spectrales et résolution de Landsat 8

Bande	Description	Longueur d'onde (µm)	Résolution spatiale (m)	Résolution radiométrique (m)
Bande 1	Aérosol	0.43 - 0.45	30	14
Bande 2	Blue	0.45 - 0.51	30	14
Bande 3	Vert	0.53 - 0.59	30	14
Bande 4	Rouge	0.63 – 0.67	30	14
Bande 5	Proche infrarouge	0.85 – 0.87	30	14
Bande 6	Court infrarouge	1.56 – 1.65	30	14
Bande 7	Court infrarouge	2.10 – 2.29	30	14
Bande 8	Panchromatique	0.50 – 0.67	15	14
Bande 9	Cirrus	1.36 – 1.38	30	14
Bande 10	Infrarouge thermal	10.60 – 11.19	100	14
Bande 11	Infrarouge thermal	11.50 – 12.51	100	14

Sources : https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-band-designations

Dans le cadre de ce document, seules les bandes visibles et les infrarouges sont prises en compte pour les différentes compositions.

2.2. Sentinel

Sentinel-2 est une série de satellites d'observation de la Terre de l'Agence spatiale européenne (ESA) développée dans le cadre du programme Copernicus dont les deux premiers exemplaires ont été mis en orbite en 2015 et 2017.

Le programme a pour objectif de fournir aux pays européens des données complètes et de leur permettre d'assurer le contrôle et la surveillance de l'environnement. Les satellites Sentinel-2 constituent une des composantes spatiales de ce programme. Les satellites Sentinel-2 doivent fournir des images multispectrales à grande résolution. Sentinel-2A a été lancé le 22 juin 2015 et Sentinel-2B le 06 mars 2017.

Tableau 2 : Bandes spectrales et résolution de Sentinel 2

Bande	Description	Longueur d'onde (µm)	Résolution spatiale (m)
Bande 1	Aérosol	0.433	60
Bande 2	Blue	0.490	10
Bande 3	Vert	0.560	10
Bande 4	Rouge	0.665	10
Bande 5	Végétation rouge edge	0.705	20
Bande 6	Végétation rouge edge	0.740	20
Bande 7	Végétation rouge edge	0.783	20
Bande 8	Proche infrarouge	0.842	10
Bande 8A	Végétation rouge edge	0.865	20
Bande 9	Vapeur d'eau	0.945	60
Bande 10	Court infrarouge- cirrus	1.375	60
Bande 11	Court infrarouge	1.610	20
Bande 12	Court infrarouge	2.190	20

Source : https://www.researchgate.net/figure/Caracteristiques-des-bandes-spectrales-de-Sentinel-2_fig4_337649764

Références

Anonyme, https://gisgeography.com/sentinel-2-bands-combinations/

Drusch, M., et al. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. « Remote Sensing of Environment », 120, 25.

Chapitre 3 : Méthodologie de l'interprétation des images satellitaires

3.1 Acquisition des images satellitaires

Pour l'acquisition des données satellitaires optiques Landsat et/ou sentinel 2, différents outils ou plateformes sont utilisés :

3.1.1 Earth Explorer

Earth Explorer est une plateforme en ligne qui permet de gérer les données associées à ses cours de la manière la plus efficace et la plus transparente possible, L'affichage de navigation, l'exportation de métadonnées et le téléchargement de données satellitaires. Elle offre un moyen rapide et intuitif de télécharger gratuitement des images satellitaires. Cet outil offre un large éventail d'options.

Les données Landsat et sentinel_2 sont donc sélectionnées et téléchargées à partir de cette plateforme à l'état d'acquisition tenant compte des conditions atmosphériques du moment. https://earthexplorer.usgs.gov/

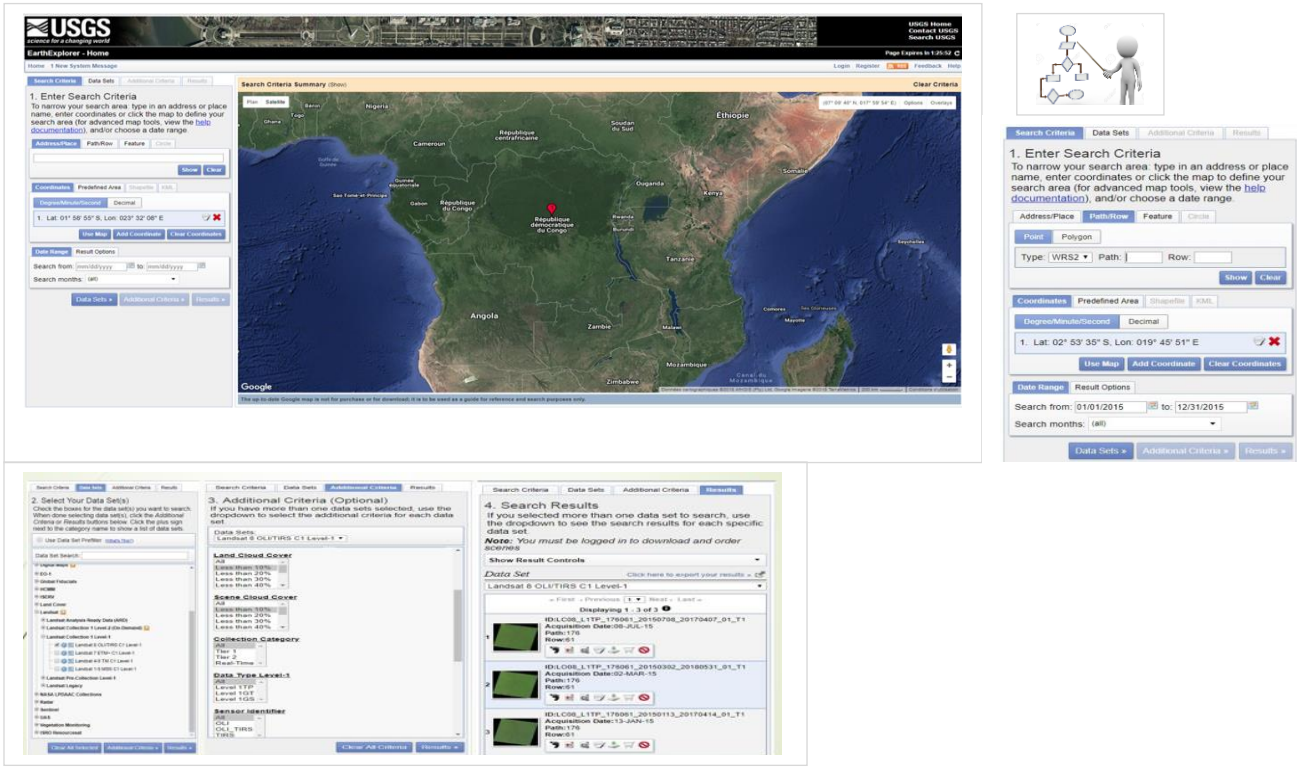


Figure 3 : Plateforme USGS de téléchargement des images Landsat

Pour utiliser la plateforme, il faudra s'enregistrer dans un premier temps avant le processus de téléchargement, choisir le critère de recherche (par point, polygone ou path/row), choisir le type d'image à télécharger, dans le critère additionnel, définir le seuil de nuage, en suite visualiser et télécharger.

3.1.2 Copernicus :

Il faut accéder directement dans le site Copernicus à travers le lien ci-dessous pour télécharger les images sentinel sans passer par USGS.

https://dataspace.copernicus.eu/

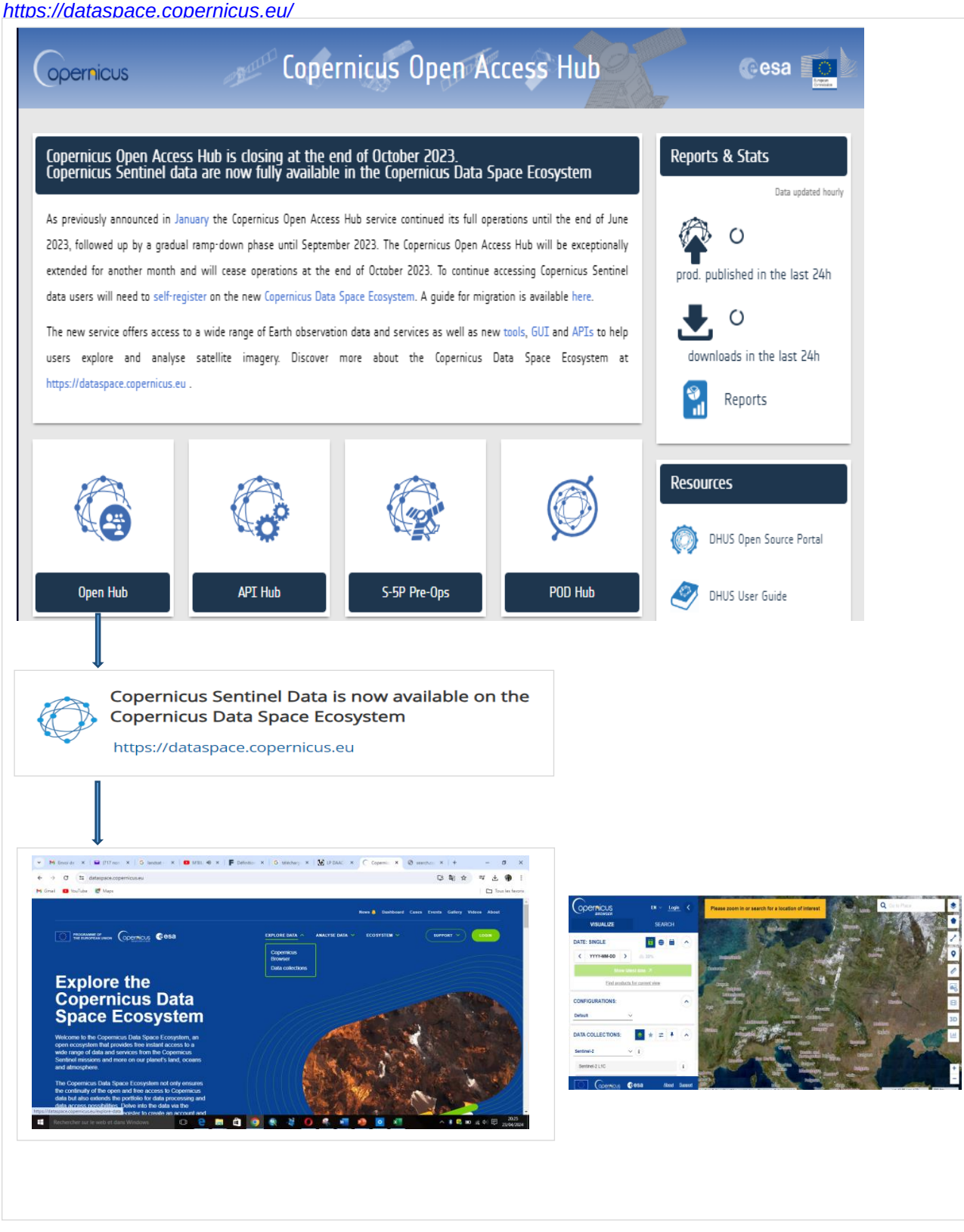


Figure 4 : Plateforme Copernicus de téléchargement des images Sentinel

3.1.3 Google Earth Engine et Sepal

Plusieurs techniques et méthodes ont été développées pour contourner le problème des nuages et de la saisonnalité afin d'obtenir, sur base d'une collection d'images, des composites ou des mosaïques temporelles de bonne qualité sans nuages, ni leurs ombres, ainsi qu'une correction radiométrique pour harmoniser les réflectances mesurées. L'utilisation de ces mosaïques temporelles devient quasi incontournable notamment pour les zones où il y a persistance des nuages au long de l'année, rendant un bon nombre de scènes d'images optiques inutilisables en partie ou en totalité. Les plateformes GEE et Sepal permettent d'accéder à un nombre important d'images satellites couvrant toute la surface terrestre des différents capteurs (Landsat, Sentinel-2, MODIS, etc.) et pour différentes années. Le lien pour accéder à la plateforme GEE https://earthengine.google.com/

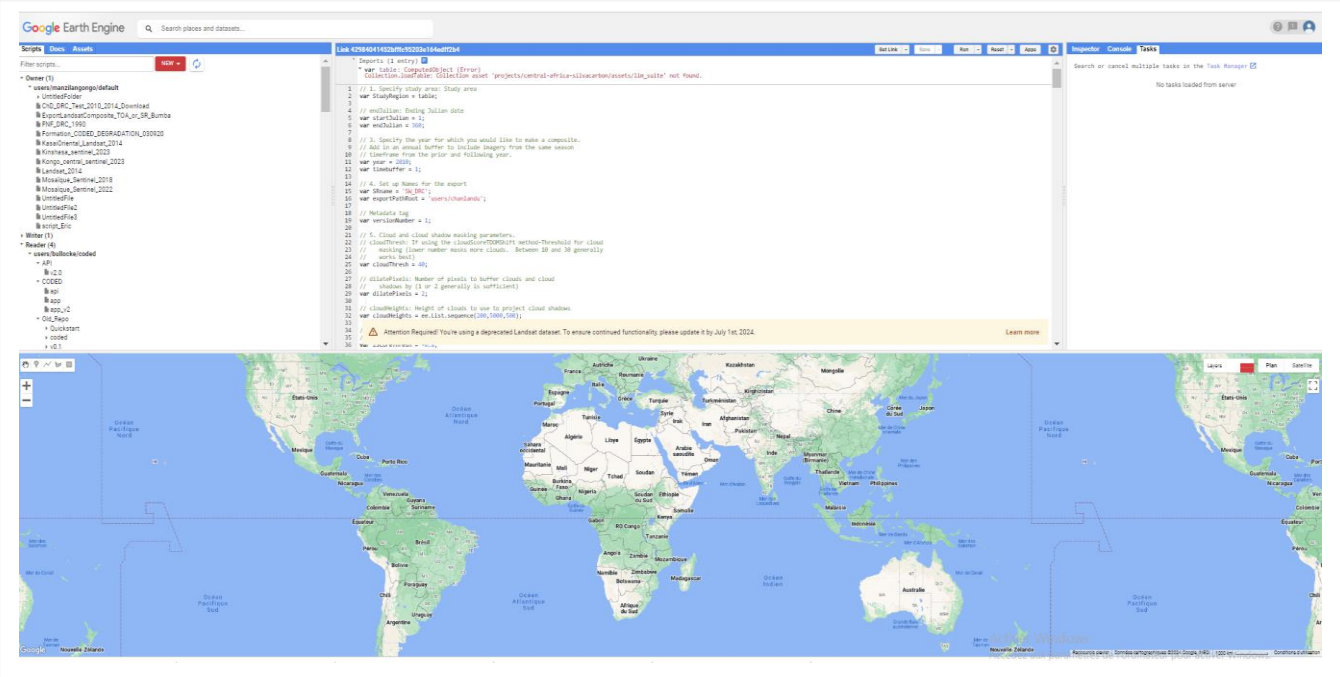
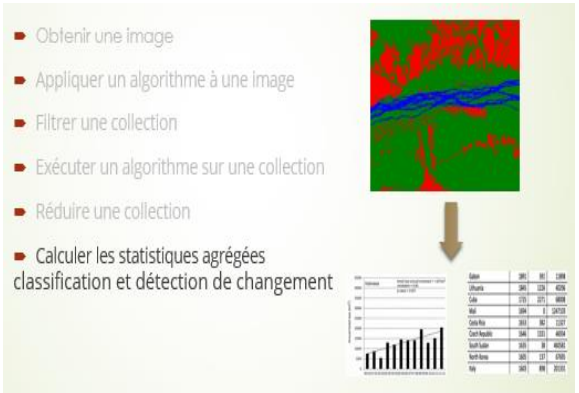


Figure 5 : Interface GEE de téléchargement des mosaïques Landsat et Sentinel

Les images acquises à différentes dates et qui couvrent la même surface peuvent être compilées en une mosaïque unique.



Lien d'accès à la plateforme https://sepal.io/

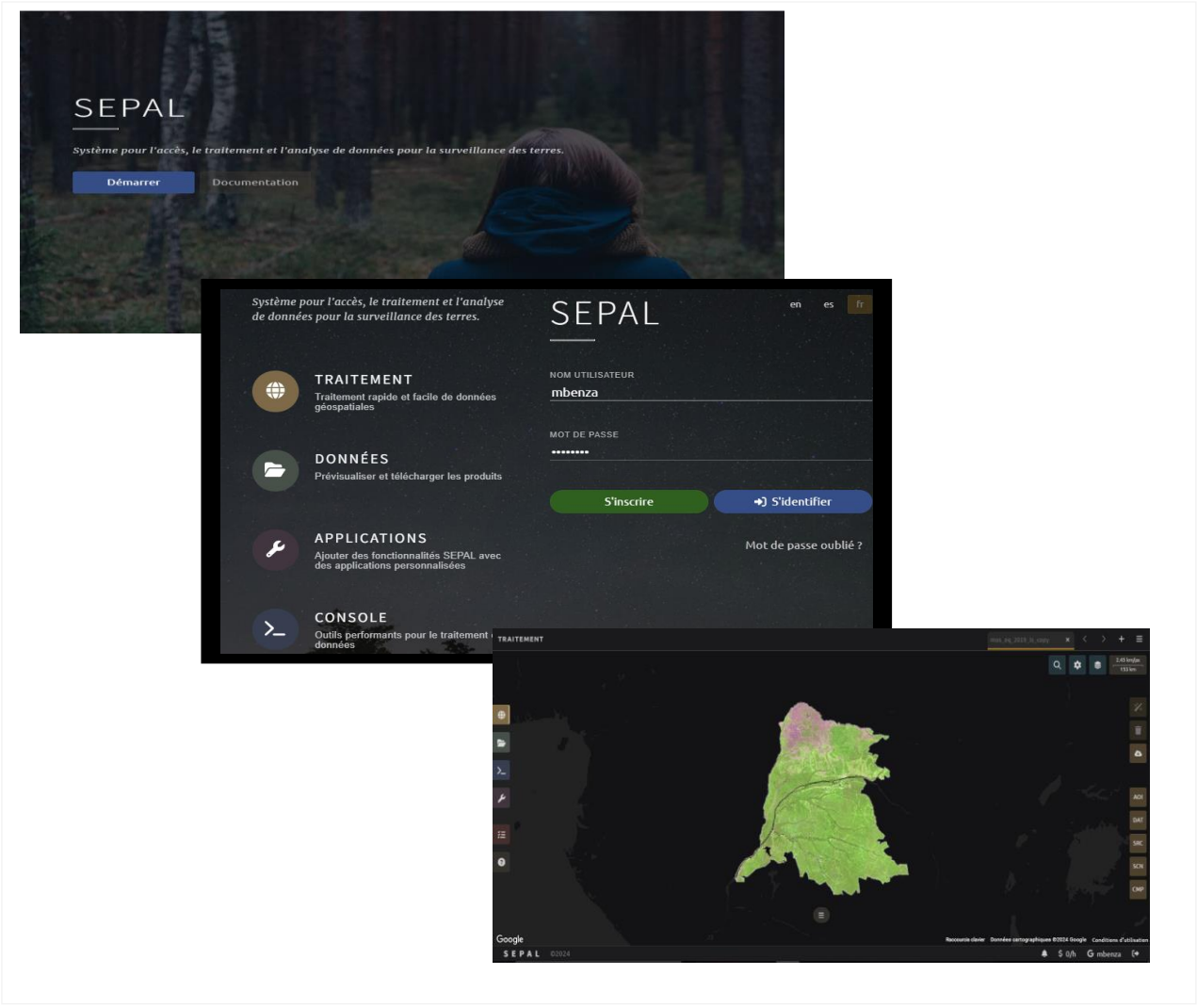


Figure 6 : Plateforme SEPAL de téléchargement des séries temporelles Landsat et Sentinel

3.2 Traitement d'images satellitaires

Les images téléchargées sur une plateforme viennent sous forme des bandes, chaque bande est une image en niveau de gris, composé de pixel avec une valeur de de réflectance pour un intervalle de longueur d'ondes donné. Tout dépend du niveau de téléchargement, mais certain sont soumis à divers corrections telles que : géométrique, atmosphérique et radiométrique.

3.2.1 Traitement des bandes

Les images optiques téléchargées venant sous forme des bandes indépendantes selon des longueurs d'ondes différentes allant des visibles aux infrarouges doivent être interprétées visuellement ou à l'aide des algorithmes spécifique. Sur ce, des procédées préalables sont mis en exergue pour permettre l'interprétation et les analyses sur ces images.

3.2.1.1 Canaux composites

C'est une fonction développée dans plusieurs logiciels de télédétection qui permet de combiner des rasters pour former une image multispectrale

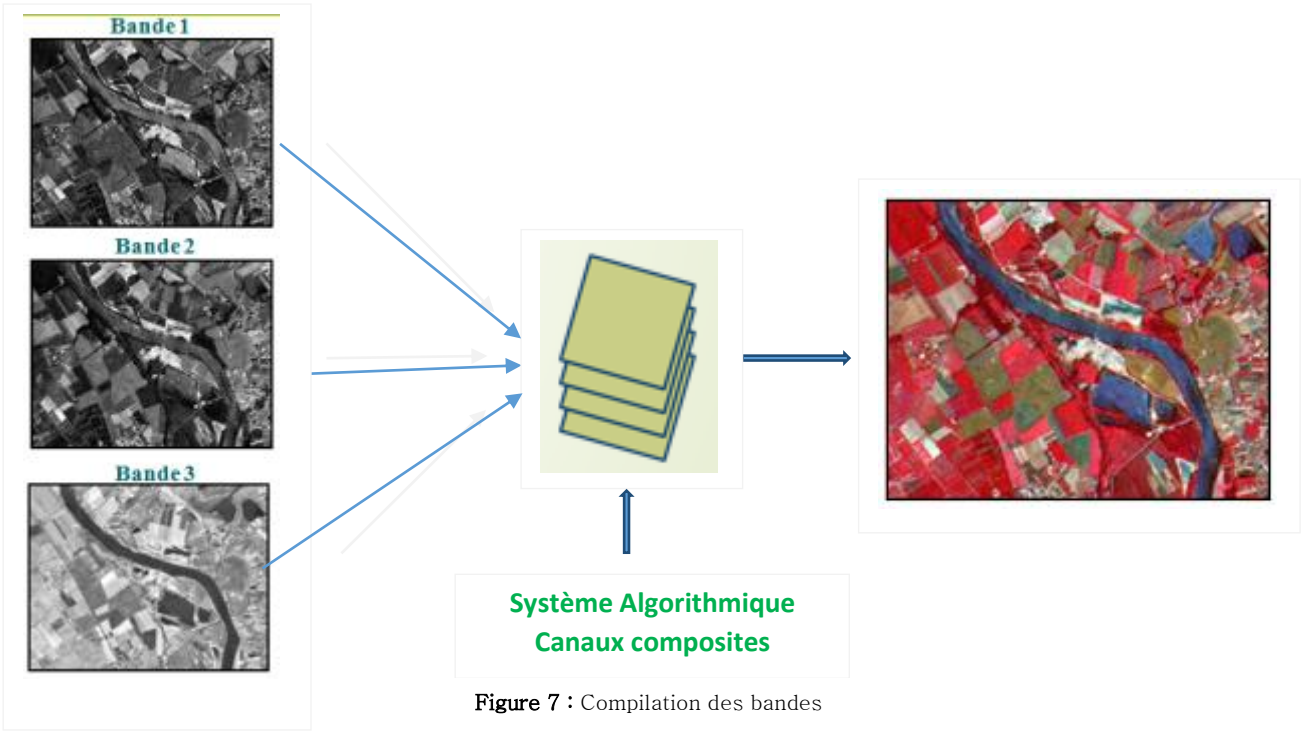


Figure 7 : Compilation des bandes

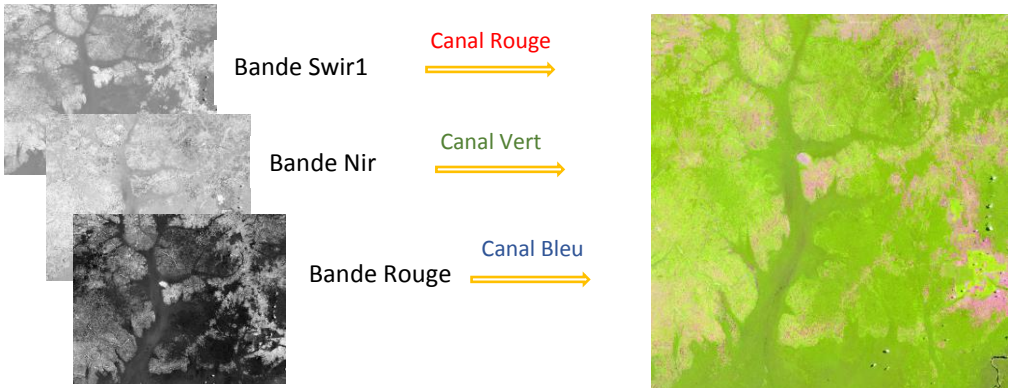
3.2.1.2 Composition colorée

Les logiciels appropriés permettent d'afficher jusqu'à 3 bandes spectrales dans une seule fenêtre de visualisation. Les pixels des trois bandes sont alors superposés et leurs valeurs radiométriques sont additionnées. La démarche consiste à choisir trois bandes spectrales d'une image et à afficher chacune de ces trois bandes dans une couleur dite primaire : le bleu, le vert et le rouge. On obtient alors une composition colorée.

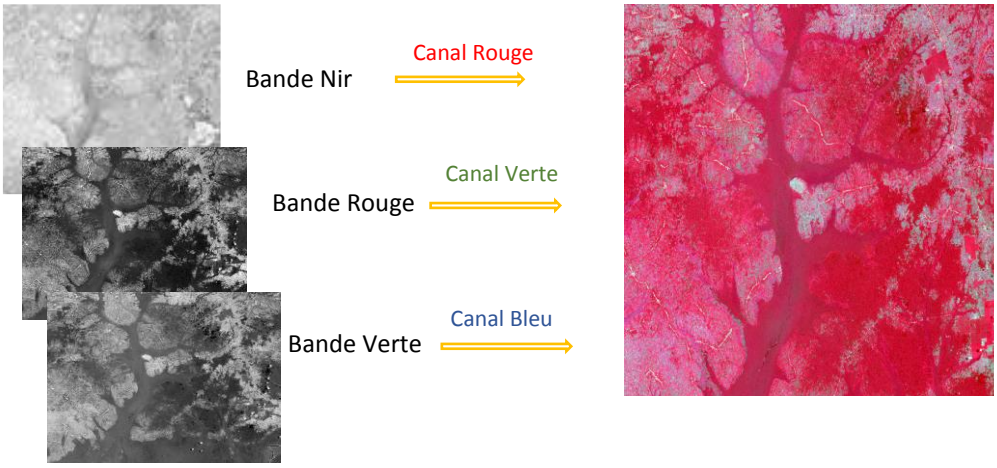
On distingue plusieurs variantes de composition colorée, qui sont fonction du choix des bandes et de la couleur utilisée pour afficher chaque bande.

3.2.1.2.1 Composition Landsat

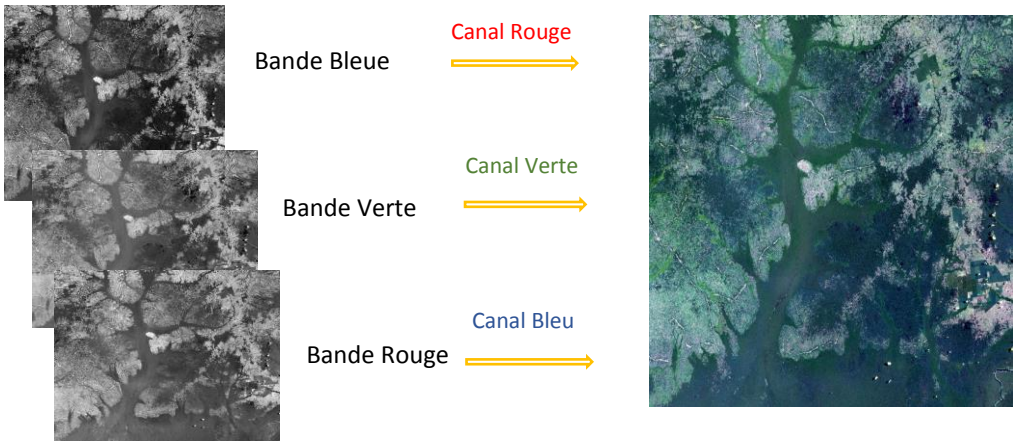
A. Composition colorée en fausses couleurs



B. Composition colorée en fausses couleurs en Infra-Rouge

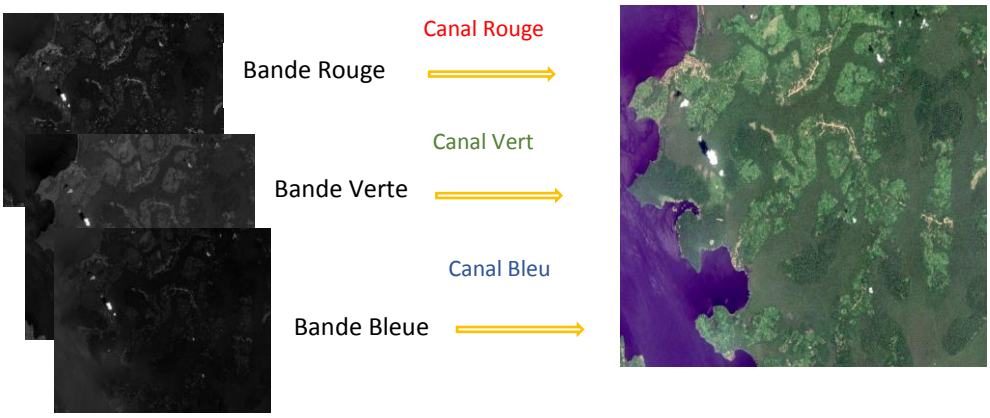


C. Composition colorée en couleurs naturelles

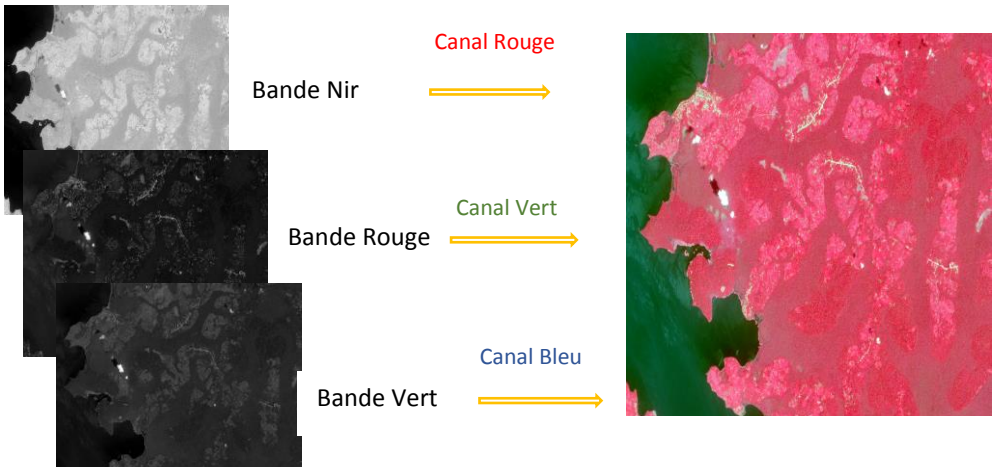


3.2.1.2.1 Composition Sentinel_2

A. Composition colorée en vraies couleurs



B. Composition colorée en fausses couleurs



Références

Richards, J. A. (2013). « Remote Sensing Digital Image Analysis ». Springer.

Anonyme, ESA (2015). « Sentinel-2 User Handbook ». European Space Agency.

Anonyme, USGS (2021). « Landsat 9 Data Users Handbook ». U.S. Geological Survey.

Anonyme, Earth Explorer. USGS. Disponible à : [https://earthexplorer.usgs.gov/] (https://earthexplorer.usgs.gov/).

Anonyme, Copernicus Open Access Hub. ESA. Disponible à : [https://dataspace.copernicus.eu/] (https://dataspace.copernicus.eu/).

Anonyme, Google Earth Engine. Google. Disponible à : [https://earthengine.google.com/] (https://earthengine.google.com/)

Anonyme, SEPAL. FAO. Disponible à : [https://sepal.io/] (https://sepal.io/).

Chapitre 4 : Interprétation des images satellitaires

4.1. Rappel de définition de la forêt et types de couverture terrestre de la RDC

La RDC définit la forêt comme l'ensemble des terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectares, avec des arbres atteignant une hauteur supérieure ou égale à trois mètres, avec un couvert arboré supérieur ou égal à 30%, ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils in situ (Arrêté Ministériel 5094/CAB/MIN/ECN-T/JEB/08 du 22 Octobre 2008).

La couverture terrestre présente tout objet naturel (végétation, cultures, eau, etc.) et des différentes infrastructures humaines sur la surface terrestre. En RDC, cette couverture est subdivisée d'abord en deux grandes catégories notamment : (A) les terres forestières et (B) les terres non forestières, chaque catégorie est ensuite divisée en sous catégories qui sont à leur tour divisées en classes principales puis en sous classe jusqu'à ce que l'on arrive aux classes détaillées. Les différentes classes retenues pour la stratification nationale s'inspirent du Guide opérationnel portant Normes de stratification forestière de la RDC (DIAF, 2016) et du rapport du projet DIAF-JICA Forêts (2015).

A. Catégorie forestière

A.1 Forêt Dense Humide sur Terre Ferme (FDHTF) est une forêt mature (climacique), généralement localisée dans les zones du climat pluvieux (≥ 1200 mm par an). Elle présente une structure verticale complexe (plusieurs strates), une canopée souvent haute (comprise entre 30 - 50m) et fermée (dense). Le pool d'espèce qu'elle contient est riche et hétérogène, à dominance sempervirente ou semi-décidue.

A.2 Forêt Dense Humide sur Sol Hydromorphe (FDHSH), elle correspond à la classe SPIAF (2007) « Forêt sur sol hydromorphe (FM) ». La végétation de cette classe possède des caractéristiques proches de celles de la classe « forêt dense humide sur terre ferme » à l'exception de sa situation sur les sols inondés périodiquement ou en permanence (≥ 4 mois par an) et de sa localisation aux alentours des grandes rivières, des fleuves et des lacs ; d'une canopée généralement moins haute (de 10 à 35 m) et un pool d'espèces caractéristiques des conditions anoxiques du sol.

***A.3 Forêt Secondaire (FS*)**, Cette forêt est issue aussi bien de la perturbation de la classe « Forêt dense humide » ou de l'évolution naturelle de certaines strates, notamment « Régénération des Cultures Abandonnées » et « Savane arborée ». La forêt secondaire présente une hauteur de canopée hétérogène et pouvant atteindre 30 à 40 m selon l'âge du peuplement. Le pool d'espèces présentes en canopée s'approche de celui d'une forêt dense semi-décidue, caractérisé par des espèces héliophiles à croissance moyenne.

***A.4 Forêt Sèche ou Forêt Claire (FSe/FC*)**, Elles sont des forêts adaptées à une alternance de saisons humides et sèches de plus de quatre mois. Au stade climacique, cette forêt présente généralement deux strates verticales, un sous-bois clair et une canopée pouvant atteindre 30 m. On retrouve dans cette forêt des espèces ligneuses caractéristiques des climats secs, souvent caducifoliées et quelques sempervirentes à tempérament héliophile et à feuillage léger. Sous l'effet des perturbations anthropiques (feux répétitifs, exploitation intensive, etc.), la forêt sèche évolue en forêt dite « claire », avec une hauteur de canopée réduite (allant de 7 à 10 m) et un pool floristique variable selon les régions. Au sud du pays (Haut-Katanga et Lualaba, Sud du Kasaï et Sud de Kwango), la forêt claire est une formation forestière typique, dénommée « Miombo »

B. Catégorie non forestière

B.1 Savane (Sa) est une formation herbeuse clairsemée d'arbres et d'arbustes, avec une couverture de canopée < 30 %. Elle ne répond pas à la définition de la forêt de la RDC (couverture de canopée ≥ 30 %, en particulier). La « Savane » peut être issue de perturbations anthropiques des forêts ou être une formation naturelle et stable sous certaines conditions pédoclimatiques. Les zones humides de type prairies aquatiques et prairies marécageuses ont été incluses dans la classe savane.

B.2 Culture et Régénération des Cultures Abandonnées (RCA), cette classe comprend les cultures vivrières en production, en jachère, en phase de recolonisation par la forêt. Cette recolonisation par la forêt comprend une première phase dite « de régénération » où la formation végétale varie entre 3 et 15 m de haut et présente des espèces ligneuses pionnières au tempérament héliophile.

B.3 Eau

Cette classe regroupe les fleuves, rivières et lacs.

B.4 Agglomération

Cette classe regroupe les zones d'occupation humaine (villes et villages, complexes industriels, routes et voies ferrées, etc.).

B.5 Autres terres

Cette classe regroupe les terres qui n'appartiennent à aucune des autres classes nationales. Il s'agit notamment des sols dénudés, les lignes électriques, les voies ferrées, etc.

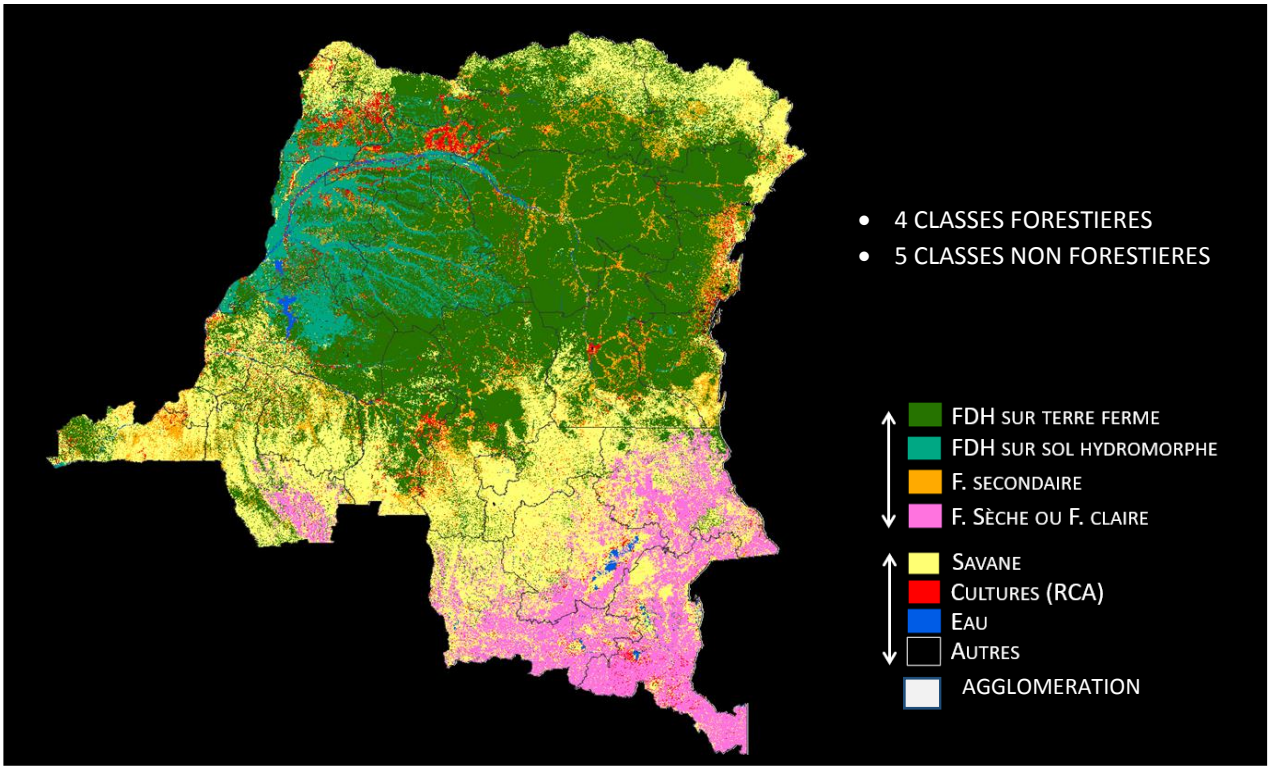


Figure 8 : Stratification nationale 2015 produite par la DIAF/Géomatique

4.2 Définition de l'interprétation d'une image satellitaire

L'interprétation des images satellites est l'opération qui consiste à identifier les différents types de caractéristique de l'image et de pouvoir expliquer l'objet étudié. Cette interprétation se fait sur deux niveaux : l'interprétation visuelle sur la base des caractéristiques visibles puis celle due à une application des algorithmes mathématiques pour approfondir les analyses des objets étudiés afin de ressortir les caractéristiques.

L'analyse d'imagerie de télédétection nécessite l'identification de différentes cibles sur une image.

Ces cibles peuvent être des structures naturelles ou artificielles, faites des divers points, lignes ou surface. Parmi les structures naturelles, on peut citer des rivières (lignes), le foret (surface), Quant aux structures artificielles, on cite le cas des routes (lignes), le stade (surface), etc**.**

4.3 Critères de l'interprétation visuelle d'une image satellitaire

L'observation des différences entre les cibles et leurs arrière-plans implique la comparaison entre différentes cibles en se basant sur une combinaison des caractéristiques ou critères suivants :

Ton, forme, taille, patron, texture, ombre et association. L'identification des cibles en télédétection basée sur les 7 caractéristiques visuelles évoquées ci-haut permet de mieux interpréter et analyser l'image satellite.

4.3.1 Le ton : réfère à la clarté relative ou la couleur (teinte) des objets dans une image. Généralement, la nuance d'un ton est l'élément fondamental pour différencier les cibles et les structures. Les variations de ton permettent aussi la différentiation des formes, textures, et patrons des objets.

4.3.2 La forme : réfère à l'allure générale, la structure ou le contour des objets pris individuellement. La forme peut être un indice très important pour l'interprétation. Les formes aux bordures rectilignes se retrouvent généralement dans les régions urbaines ou sont des champs agricoles alors que les structures naturelles telles que les bordures des forêts, sont généralement plus irrégulières, sauf dans les endroits où l'homme a construit une route ou effectué une coupe à blanc. Les fermes où les champs de culture irrigués par des systèmes d'arrosage automatique.

4.3.3 La taille : La taille d'un objet sur image est fonction de l'échelle. Il est important d'évaluer la taille d'une cible par rapport aux autres objets dans une scène (taille relative), ainsi que la taille absolue afin d'aider l'interprétation de cette cible. Une évaluation rapide de la taille approximative d'une cible facilite souvent l'interprétation. Par exemple, dans une image où l'on aurait à distinguer différentes zones d'utilisation du sol et à identifier une aire comportant les bâtiments, les grosses structures telles que les usines où les entrepôts suggéreraient des propriétés commerciales, tandis que de plus petits éléments suggéreraient des lieux résidentiels.

4.3.4 Le patron : réfère à l'agencement spatial des objets visiblement discernables. Une répétition ordonnée de tons similaires et de la texture produit un patron distinctif et facilement reconnaissable. Les vergers avec leurs arbres régulièrement disposés, où les rues régulièrement bordées des maisons sont des bons exemples de patron.

4.3.5 La texture : fait allusion à l'arrangement et à la fréquence des variations de teintes dans les régions particulières d'une image. Des textures rugueuses consisteraient à des tons ou rayures où les niveaux de gris changent brusquement dans une petite région. Alors que les textures lisses auraient peu ou pas de variation des tons. Les textures lisses sont souvent le résultat des surfaces uniformes telles que les des champs, du pavement ou des terrains gazonnés. Une cible avec une surface rugueuse et une surface irrégulière, telle qu'une forêt, résulte en une texture d'apparence rugueuse.

4.3.6 Les ombres *:* sont aussi utiles pour l'interprétation puisqu'elles donnent une idée du profil et de la hauteur relative des cibles pouvant être identifiées facilement. Les ombres peuvent cependant réduire, voire éliminer

l'interprétation dans leur entourage, puisque les cibles situées dans les ombres sont moins, ou, pas du tout discernables. En imagerie radar, les ombres sont particulièrement utiles pour rehausser où identifier la topographie et les formes géologiques particulièrement en imagerie radar.

4.3.7 L'Association *:* tient compte de la relation entre la cible d'internet et d'autres objets des structures reconnaissables qui sont à proximité. L'identification d'élément qu'on s'attend normalement à retrouver à proximité d'autres structures peut donner l'information facilitant l'identification. Dans l'exemple ci-dessous, les propriétés commerciales peuvent être associées avec les routes à proximité, alors que les aires résidentielles seraient associées avec les écoles, les terrains de jeux et de sports. Dans un autre exemple, un lac est associé à des bateaux, à une marina et à un parc récréatif tout près.

4.4. Interprétation visuelle des images satellites Landsat 8 et Sentinel_2

De manière générale voici les caractéristiques des classes sur l'image :

- **Forêt Dense Humide sur Terre Ferme (FDHTF)** se caractérise par une teinte verte foncée en composition colorée vraie couleur avec une texture assez homogène et rugueuse du fait de la présence de grands arbres *et* par une teinte rouge en composition colorée fausse couleur infrarouge en fonction des espèces et de l'environnement (annexe).

- **Forêt Dense Humide sur Sol Hydromorphe (FDHSH)**, elle se caractérise par une couleur verte sombre en composition colorée vraie couleur que celle de FDHTF du fait de la quantité importante d'eau dans le sol et en sous-bois et par une couleur rouge sombre en composition colorée fausse couleur infrarouge.

- **Forêt secondaire (FS)** se caractérise par une teinte verte claire en composition colorée vraie couleur et en couleur rouge claire en composition colorée fausse couleur infrarouge avec une texture hétérogène et irrégulière (annexe 3), elle est de fois difficile à séparer de celle des régénérations et cultures abandonnées.

- **Forêt Claire/Forêt sèche,** elle se caractérise par une texture relativement régulière au niveau de la canopée avec un nombre d'arbres moins important qu'une FDHTF avec une canopée ouverte. Elle une teinte de couleur verte claire en composition colorée vraie couleur et en couleur rouge claire en composition colorée fausse couleur infrarouge, localisée dans la province du Kwango (au sud vers Kahemba), dans les provinces de Haut-Katanga, Haut-Lomami, Lualaba et Tanganyika.

- **Régénérations et Cultures Abandonnées (RCA)**, elles se caractérisent par une teinte de couleur verte pale en composition colorée vraie couleur et couleur rouge pale en composition colorée fausse couleur infrarouge, elles apparaissent sous forme de mosaïques aux formes géométriques caractéristiques de l'intervention humaine (annexe).

- **Savane (Sa)**, sa réponse spectrale se traduit par une teinte de couleur verte grisée en composition colorée vraie couleur et en couleur rose en composition colorée fausse couleur infra rouge.

- **Eau**, se présente avec une teinte bleu foncé en composition colorée vraie couleur et sombre en composition colorée fausse couleur.

- **Agglomérations** se caractérisent par une teinte grise pale en composition colorée vraie couleur et en composition colorée fausse couleur, elles sont hétérogènes et facilement identifiables du fait des éléments marquants par exemple : habitation (annexe).

- **Autre** (**route)** se présente avec une teinte grisâtre en composition colorée vraie couleur et aussi en composition colorée fausse couleur. Elle se confond avec l'agglomération mais se différencie par sa forme.

Références

Anonyme, DIAF (2016). « Guide opérationnel portant Normes de stratification forestière de la RDC ». Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers.

Anonyme, Ministère de l'Environnement et Développement Durable(MEDD), janvier 2018 Niveau d'Emission de Référence des Forêts pour la Réduction des Emissions dues à la Déforestation en République Démocratique du Congo.

Anonyme, JAFTA/JICA (2012). « Cours théorique télédétection » (Programme de Préservation des Forêts en République Démocratique du Congo)

4.4.1 Images Landsat 8

Les figures ci-dessous illustrent les différentes teintes associées aux classes de la couverture terrestre de la RDC en utilisant : (1) composition colorée en vraie couleur càd Bleu, Rouge, Vert soit (4, 3,2) ; (2) composition colorée en fausse couleur càd SWIR1, NIR, Rouge soit (6, 5, 4) et (3) composition colorée en infrarouge càd NIR, Rouge et Vert soit (5, 4,3).

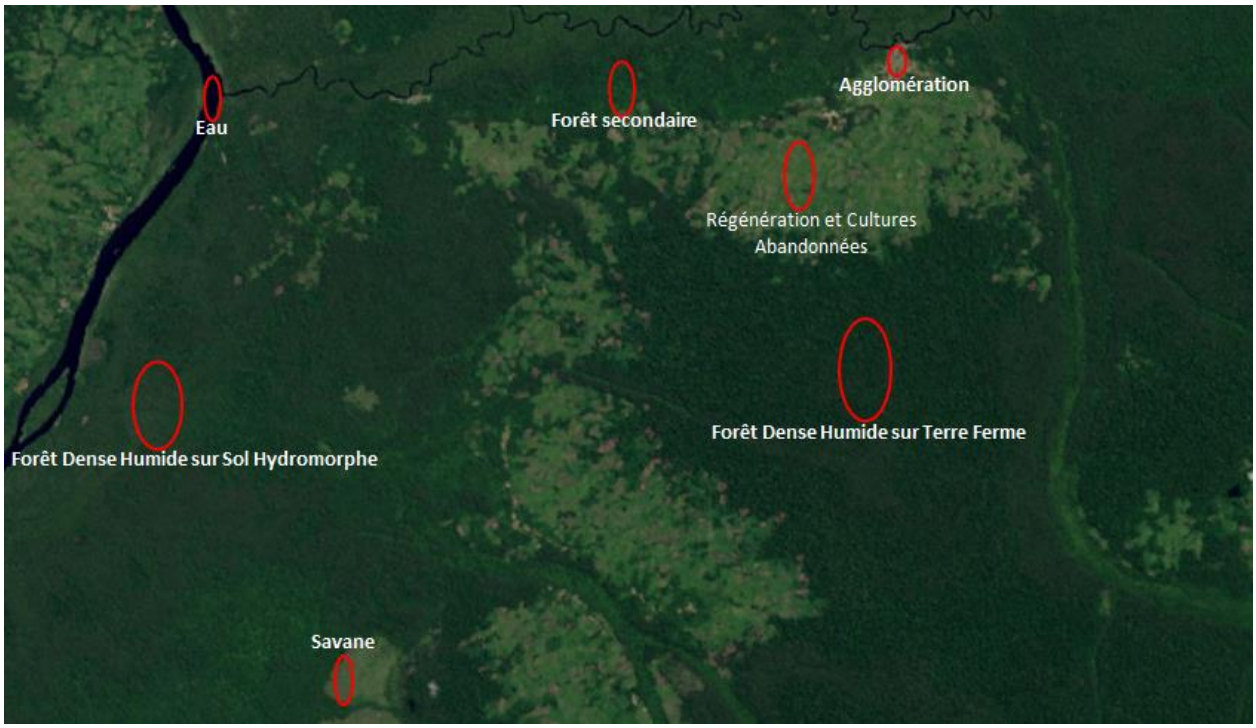


Figure 9 Composition en vraie couleur (bande 4, 3, 2)

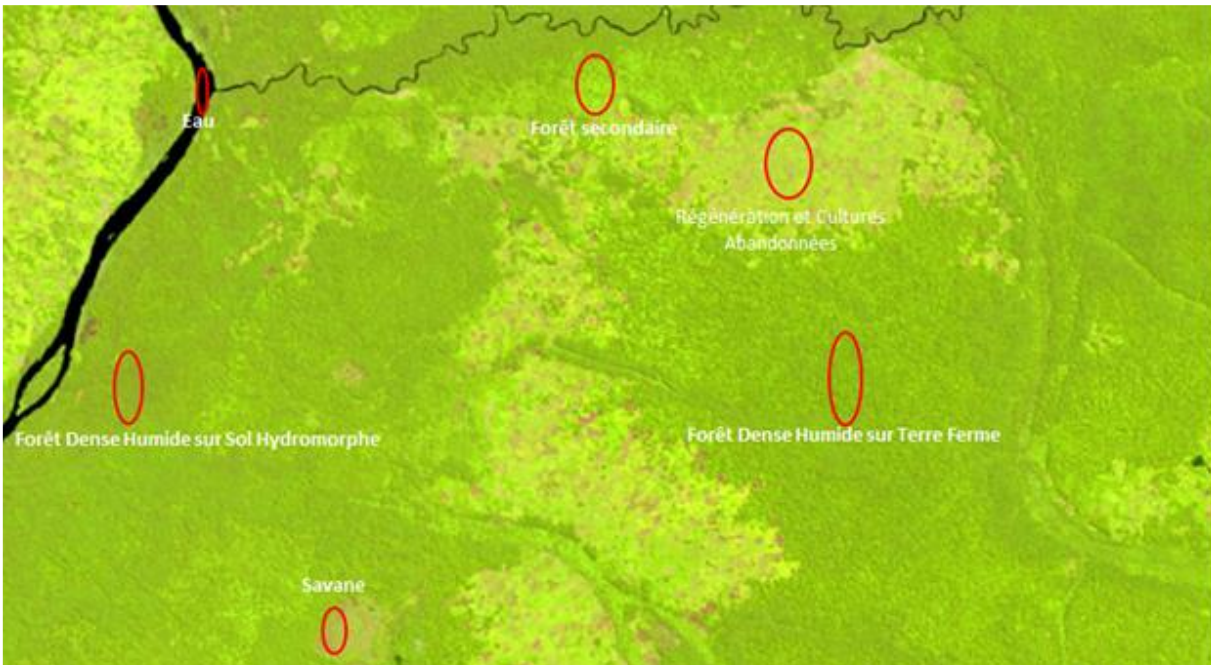


Figure 10: Composition en fausse Couleur (bande 6, 5, 4) Landsat 8

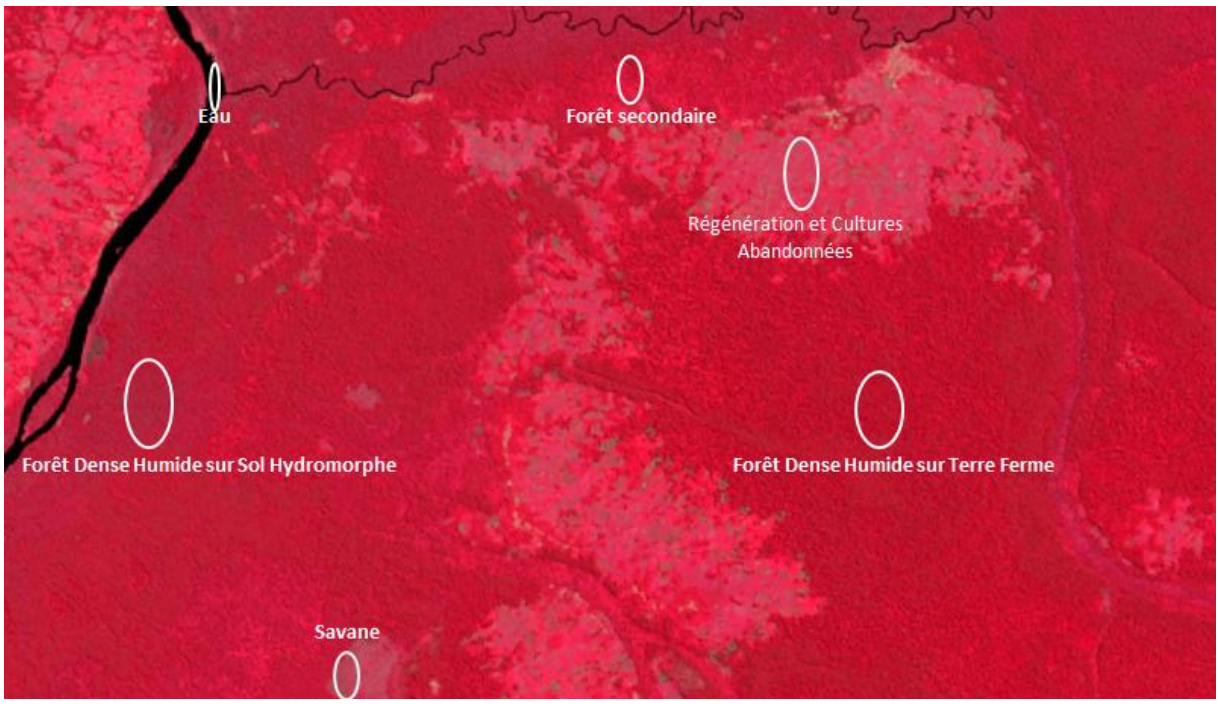


Figure 11 : Composition en infrarouge Couleur (bande 5, 4, 3) Landsat 8

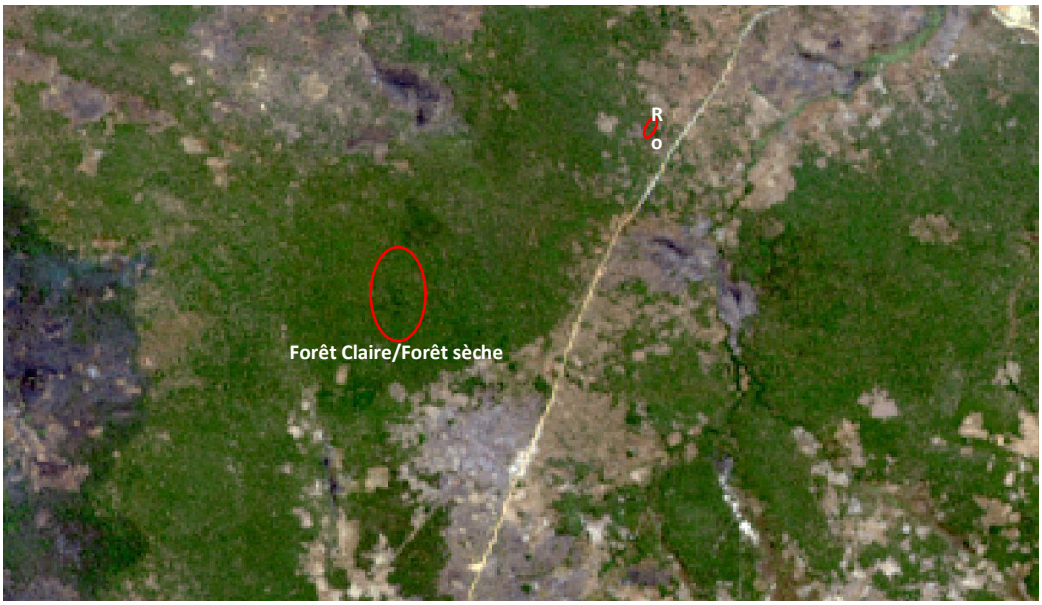


Figure 12: Composition en Vraie Couleur (bande 4, 3,2) Landsat 8

Figure 13: Composition en fausse Couleur (bande 6, 5, 4) Landsat 8

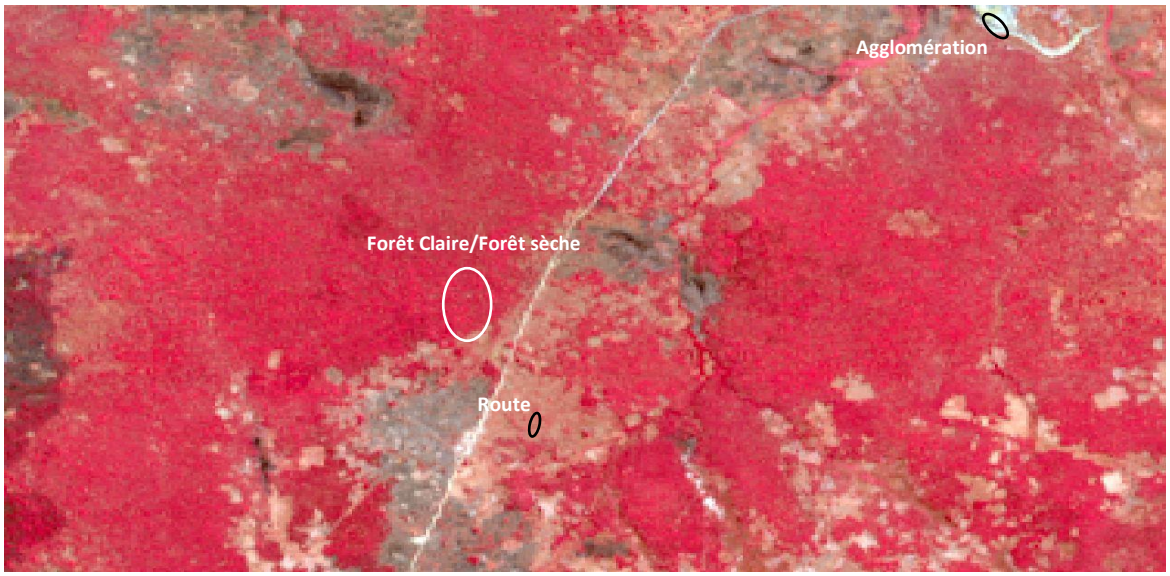


Figure 14: Composition en infrarouge Couleur (bande 5, 4, 3) Landsat 8

4.4.2 Images Sentinel 2

Les figures ci-dessous illustrent les différentes teintes associées aux classes de la couverture terrestre de la RDC en utilisant : (1) composition *colorée en vraie couleur càd Bleu, Rouge, Vert soit (4, 3,2) ; (2) composition colorée en infrarouge càd Nir, Rouge et Vert soit (8, 4,3)*

Figure 15 : Composition en Vraie Couleur (bande 4, 3,2) Sentinel 2

Figure 16 : Composition en infrarouge couleur (bandes 8, 4, 3) Sentinel 2

Figure 17: Composition en Vraie Couleur (bande 4, 3,2) Sentinel 2

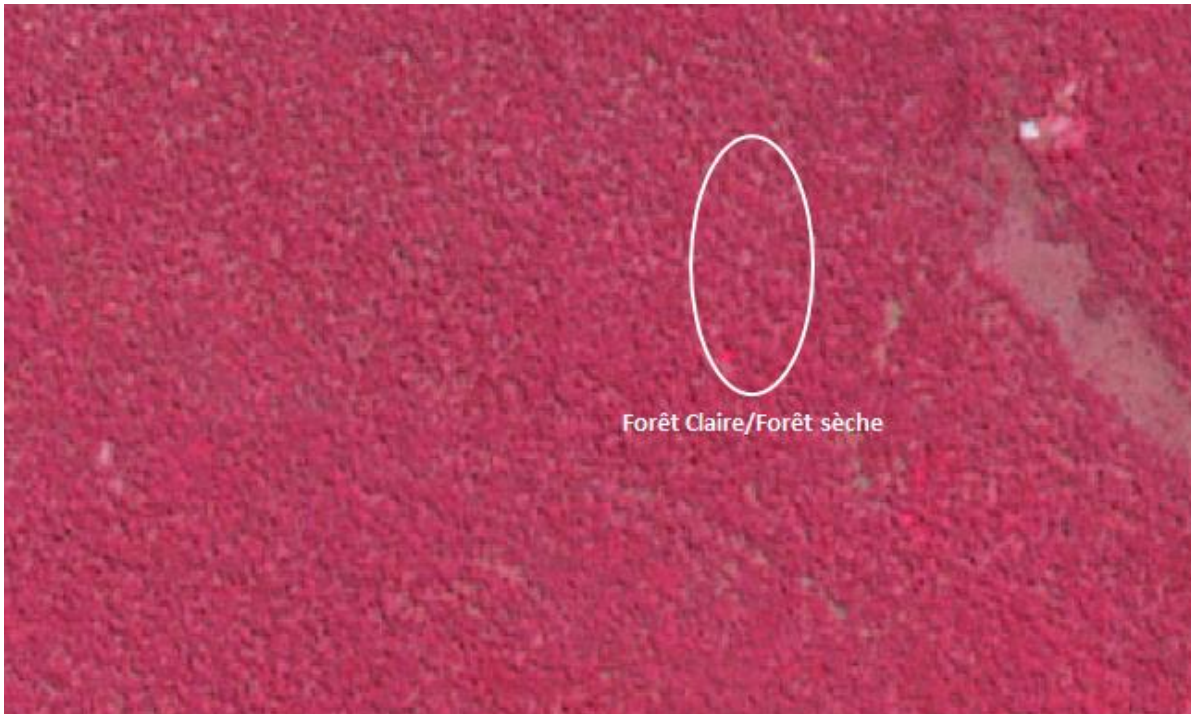


Figure 18 : Composition en fausse Couleur (bande 8, 4,3) Sentinel 2

Conclusion

Ce guide d'interprétation des images satellitaires pour la classification de la couverture terrestre de la République Démocratique du Congo offre une ressource essentielle pour les professionnels engagés dans la gestion et la préservation des écosystèmes forestiers en mettant l'accent sur l'utilisation des images satellites Landsat et Sentinel-2, ce document fournit des directives claires et des clés d'interprétation pour maximiser l'efficacité de l'analyse des données et réduire les erreurs d'interprétation.

Le Ministère de l'Environnement et Développement Durable à travers sa Direction des Inventaires et Aménagement Forestiers démontre par cet outil, l'engagement continu du Gouvernement congolais dans la surveillance et la gestion durable des ressources naturelles en utilisant les technologies de télédétection les plus avancées, telles que les imageries satellitaires, la RD Congo peut mieux connaitre et surveiller l'évolution de son couvert forestier, ainsi que les pressions exercées sur ses écosystèmes.

Ce document vise à renforcer les capacités des photo-interprètes et des professionnels impliqués dans la cartographie, tout en sensibilisant un public plus large à l'importance de l'interprétation précise des images satellites pour une gestion efficace des ressources naturelles.

En appliquant les connaissances et les techniques présentées dans ce document, nous contribuons collectivement à la préservation de la biodiversité, à la protection des écosystèmes forestiers et au développement durable de la République Démocratique du Congo.

Annexes

Illustrations des quelques tables de description des différentes classes échantillonnées et visitées sur terrain

1. FDHTF

Type de couverture terrestre : Forêt Dense sur Terre Ferme
Localisation : Tshopo, Bafwasende,
GPS localisation : WP03 00°33'06,8" N 025°52'48" E
Alt : 458m
Date : 15/10/2020

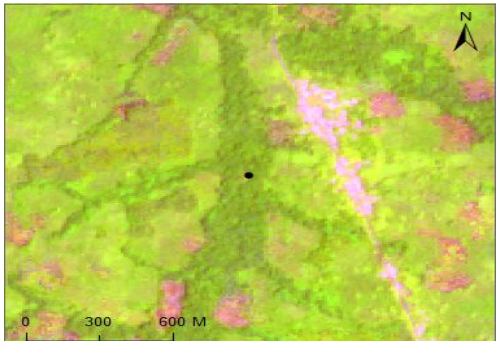


Image Sentinel 2

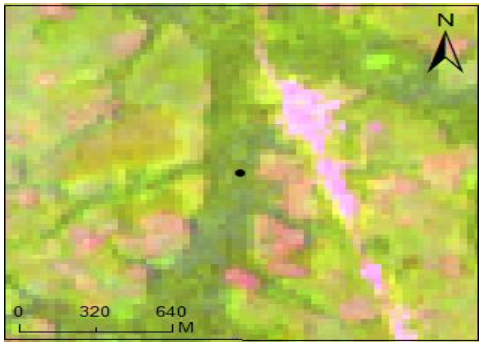
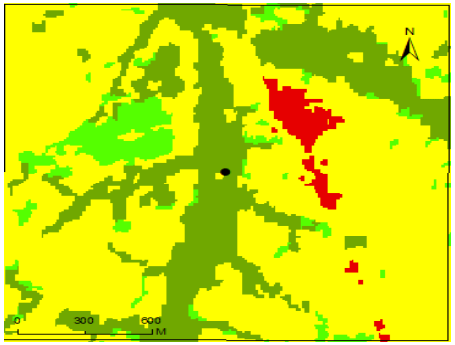


Image Landsat 8



Classification

Photo terrain

Dans l'imagerie satellitaire Landsat 8, la forêt dense humide sur terre ferme est relativement simple à identifier, elle a une couleur verte foncée lorsqu'on utilise la combinaison des bandes en composition colorée en fausse couleur (6, 5,4). Cette forêt est distinguée principalement des autres types de forêts de par sa texture.
Sa texture apparaît " brute" c'est à dire vive à l'œil comparativement à la végétation basse comme les savanes, elle se différencie de la forêt secondaire par sa cohérence (au niveau de la canopée).
Ce point se localise sur une plaine, avec un sol humifère, des arbres de hauteur, de diamètre et de densité élevée. Ce site contient aussi des essences d'Hévéa, etc. et des sous-bois.

2. FD HSH

Type de couverture terrestre: <u>Forêt Dense Humide sur Sol Hydromorphe</u>
Localisation: <u>Equateur, Bikoro</u>
GPS localisation : <u>WP23 N 0,088626 E 18,264484</u>
Alt : 310m
Date : 21/10/2020

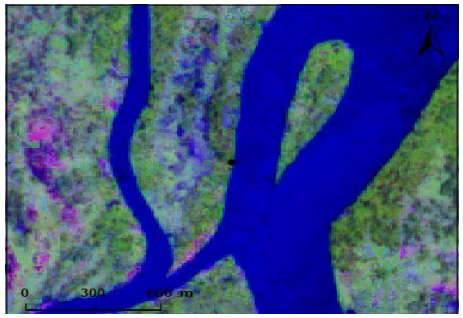


Image Sentinel 2

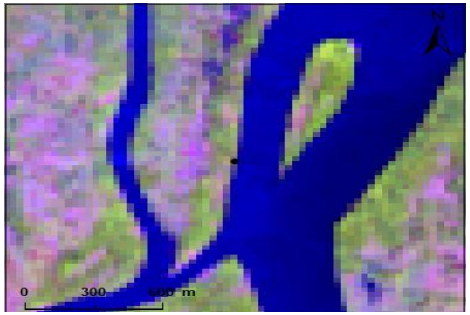
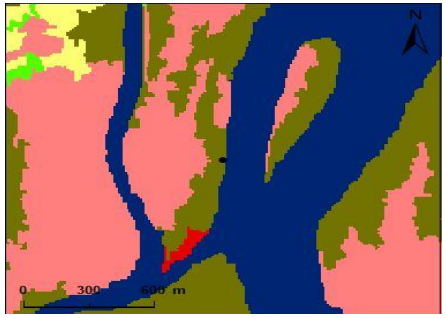


Image Landsat 8



Classification

Photo terrain

Sur l'imagerie satellitaire Landsat 8, la forêt dense humide sur sol hydromorphe se caractérise par une couleur verte sombre que celle de FDHTF du fait de la quantité importante d'eau dans le sol et en sous-bois lorsqu'on utilise la combinaison des bandes en composition colorée en fausse couleur (6, 5,4), sa canopée présente une texture souvent plus fine et plus homogène que celle des FDH sur terre ferme.
Ce type de forêt est souvent localisé aux environs des fleuves, grandes rivières et des lacs.

3. FS

Type de couverture terrestre : <u>Forêt secondaire</u>
Localisation : <u>Tshopo, Banalia, Bayanguma mabanga</u>
GPS localisation : <u>WP04 00°43’47,5’’N 025°13’12,3’’E</u>
Alt : 412m
Date : 15/10/2020

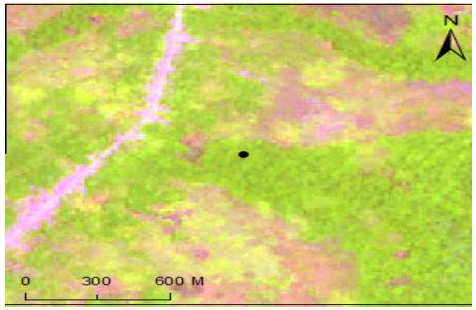


Image Sentinel 2

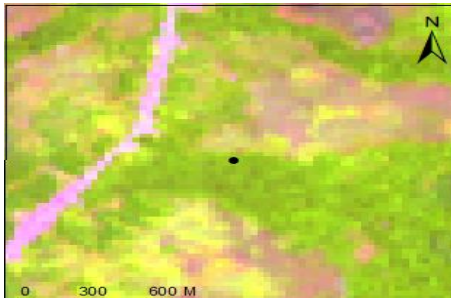
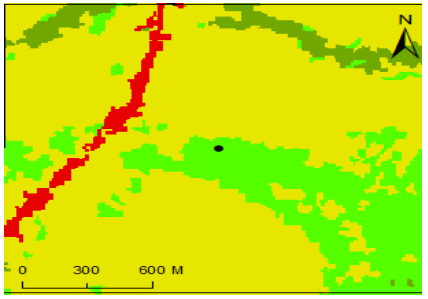


Image Landsat 8



Classification

Photo terrain

Cette forêt est représentée avec une couleur claire par rapport à celle de la forêt dense sur terre ferme et de la forêt dense sur sol hydromorphe. Lorsqu'elle est affichée en composition colorée en fausse couleur (6, 5,4), elle a tendance à apparaître plus<< légère>> en couleur que la forêt dense sur terre ferme (avec des tâches vert pâle entourées de vertes foncées). De fois elle apparaît aussi à quelques endroits d'un vert pâle tendant vers jaune après l’égalisation d'histogramme lorsqu'il s'agit d'une forêt fortement dégradée. Sa texture paraît plus irrégulière ou inégale en cas de forêt secondaire fortement dégradée.
Situé sur une plaine, avec un sol du type sablonneux, des arbres de hauteur mince, de diamètre et de densité faible. Présence des herbes

4. RCA

Type de couverture terrestre : <u>Régénération des cultures et Cultures Abandonnées</u>

Localisation : <u>Tshopo, Banalia, Bugupwa, Kole</u>

GPS localisation : <u>WP10 02°11'17,5" N 25°14'53,5" E</u>

Alt : 467m

Date : 15/10/2020

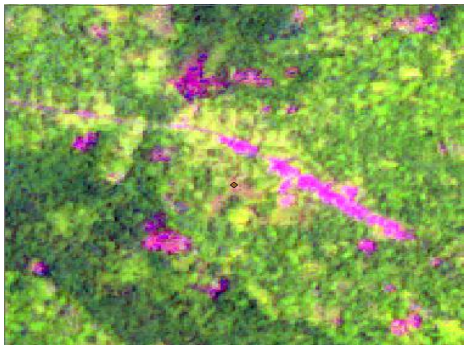


Image Sentinel 2

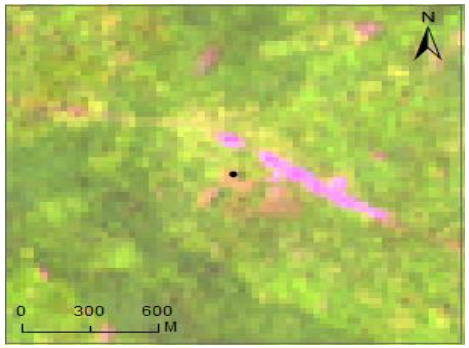
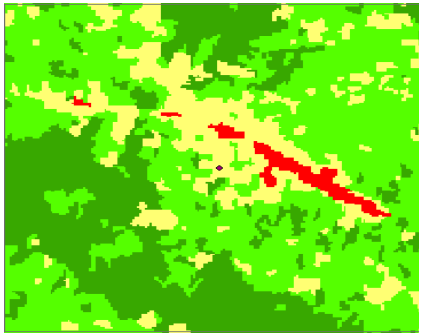


Image Landsat 8



Classification

Photo terrain

Cette occupation terrestre dans une imagerie satellitaire Landsat 8 et à haute résolution, elle apparaît sous forme des mosaïques de cultures ou des terrains en jachères (abandonné) présentant d'une manière inégale sous forme de mosaïques aux formes géométriques caractéristiques de l'intervention humaine. Avec une couleur verte vive dans des endroits où il y'a une végétation et verte pâle à tendance jaune et même violette dans des endroits où il y'a végétation en stress hydrique. Elle est souvent localisée aux alentours des habitations humaines et le long des axes routiers.

Elle a texture granuleuse ou aplatie. En utilisant une combinaison des bandes en composition colorée en fausse couleur (6, 5,4).

Ce point est localisé sur une plaine, avec un sol du type sablonneux.

5. Agglomération

Type de couverture terrestre : <u>Agglomération</u>
Localisation : <u>Tshopo, Banalia</u>
GPS localisation : <u>WP12 01°00'04,9"N 025°14'32,9"E</u>
Alt : 439m
Date : 18/10/2020

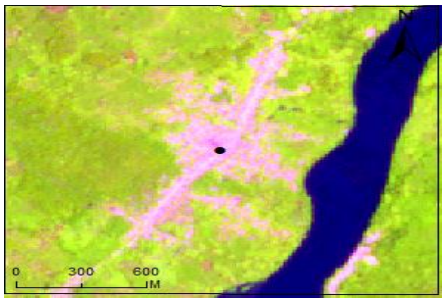


Image Sentinel 2

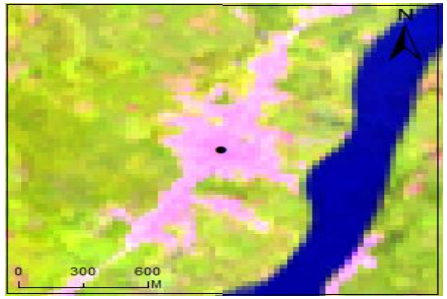
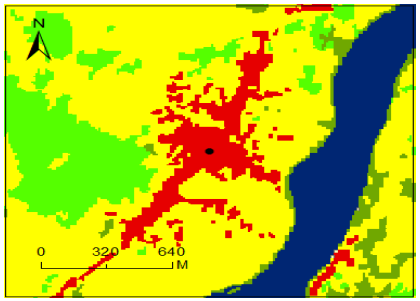


Image Landsat 8



Classification

Photo terrain

Cette occupation terrestre sur l'imagerie satellitaire Landsat 8 en composition colorée en fausse couleur (6, 5,4) se présente en couleur rose pâle.
La reconnaissance de cette zone est aisée à cause de la présence d'éléments marquants tels que : habitation, routes, etc. Elle présente une texture hétérogène (inégale).
Ce point se localise sur une plaine occupée par des habitations et autres infrastructures.

6. Savane

Type de couverture terrestre : <u>Savane</u>
Localisation : <u>Equateur, Bikoro,</u>
GPS localisation : <u>WP05 0,69465 **S** ; 18,21418 **E**</u>
Alt : 318m
Date : 16/10/2020

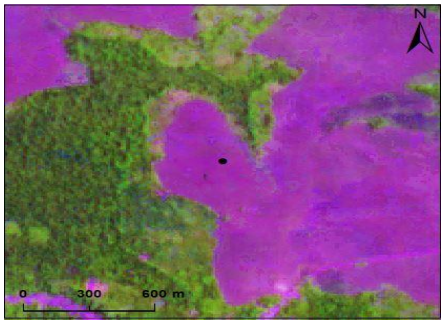


Image Sentinel 2

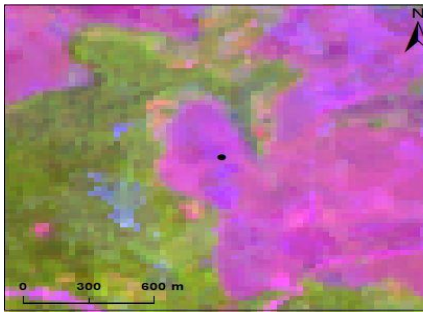
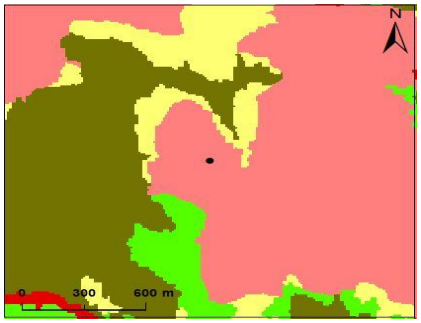


Image Landsat 8



Classification

Photo terrain

Sur l'image Landsat 8, en composition colorée en fausse couleur (6, 5,4), la réponse spectrale de la savane se traduit par une couleur rose foncée avec une texture lisse et homogène.

7. Eau

Type de couverture terrestre : Eau
Localisation : Equateur, Bikoro
GPS localisation : WP 13 00°4914,8"N 025°13'38,2"E
Alt : 308m
Date : 16/10/2020

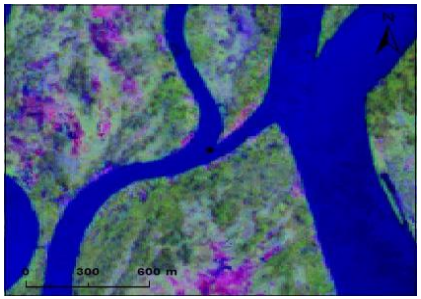


Image Sentinel 2

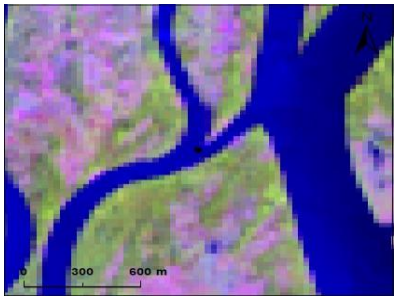
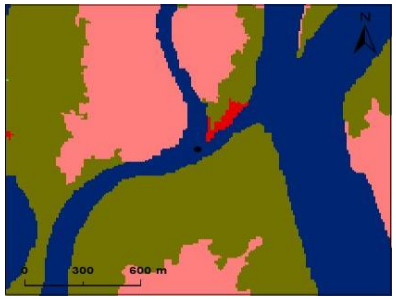


Image Landsat 8



Classification

Photo terrain

Cette occupation terrestre est présentée sur l'imagerie satellitaire Landsat 8 et sur une imagerie à haute résolution avec une couleur bleue (claire ou sombre) lorsqu'on utilise une combinaison des bandes d'onde à court Infrarouge1(SWIR1), proche infrarouge(Nir) et le Rouge(R), c'est à dire 6, 5,4). Elle a une texture aplatie lisse.
Eau est de couleur légèrement noirâtre (couleur relative à l'accumulation de la matière organique).