

Projet PAPFor

Evolution de l'occupation du sol dans les paysages prioritaires pour la conservation (PPC)

	<i>nom</i> <i>fonction</i> <i>société</i>	<i>date</i> <i>signature</i>
<i>préparé par</i>	Martial HUOT <i>Ingénieur stagiaire</i> VisioTerra martialhuot@gmail.com	
<i>vérifié par</i>	Zhour NAJOUJ <i>Ingénieure</i> VisioTerra zhour.najoui-nafai@visioterra.fr	
<i>approuvé par</i>	Serge RIAZANOFF <i>Directeur</i> VisioTerra serge.riazanoff@visioterra.fr	11/09/2021 



Projet PAPFor

Evolution de l'occupation du sol dans les paysages
prioritaires pour la conservation (PPC)

référence VT-P355-DOC-001-F

issue 1 révision 0

date 11/09/2021

page 2 de 59

HISTORIQUE DU DOCUMENT

Issue	Date	Commentaires	Auteur
1.0	15/06/2021	Version préliminaire 1 – Création du document	Z. Najoui
1.0	27/08/2021	Version préliminaire 2 – PPC Mt Nimba	M. Huot
1.0	11/09/2021	Revue complète et distribution externe	S. Riazanoff

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	8
1.1	OBJET DU DOCUMENT.....	8
1.2	PLAN DU DOCUMENT.....	8
1.3	DOCUMENTS APPLICABLES.....	8
1.4	DOCUMENTS DE REFERENCE.....	9
1.5	ABBREVIATIONS ET ACRONYMES.....	9
1.6	DEFINITIONS.....	9
2	PAYSAGES PRIORITAIRES POUR LA CONSERVATION.....	13
2.1	PPC1 - OUTAMBA-KILIMI-KURU HILLS-SOYA	13
2.2	PPC2 - GOLA-FOYA	14
2.3	PPC3 - WOLOGIZI-WONEGIZI-ZIAMA	15
2.4	PPC4 - MT NIMBA	16
2.5	PPC5 - TAÏ-GREBO-SAPO.....	17
2.6	PPC6 - CROSS RIVER	18
3	PPC MT NIMBA	19
3.1	IMAGES UTILISEES	19
3.1.1	2002.....	19
3.1.2	2007.....	19
3.1.3	2014.....	20
3.1.4	2020 – Landsat-8.....	21
3.1.5	2020 – Sentinel-2.....	21
3.2	CLASSIFICATION.....	22
3.2.1.1	Pré-traitement.....	22
3.2.1.2	Réalisation des ensembles d'apprentissage	22
3.2.1.3	Classification supervisée	22
3.2.1.4	Qualification des classifications obtenues	22
3.2.1.5	Post-traitement	22
3.2.2	Exemples de parcelles de l'ensemble d'apprentissage.....	22
3.2.3	2002.....	25
3.2.3.1	Classification.....	25
3.2.3.2	Qualification.....	26
	Sur les ensembles d'apprentissage.....	26
	Sur les ensembles de contrôle.....	27
3.2.4	2007.....	28
3.2.4.1	Classification.....	28
3.2.4.2	Qualification.....	29
	Sur les ensembles d'apprentissage.....	29
	Sur les ensembles de contrôle.....	30
3.2.5	2014.....	31
3.2.5.1	Classification.....	31
3.2.5.2	Qualification.....	32
	Sur les ensembles d'apprentissage.....	32
	Sur les ensembles de contrôle.....	33
3.2.6	2020 – Sentinel-2.....	34
3.2.6.1	Classification.....	34
3.2.6.2	Qualification.....	35
	Sur les ensembles d'apprentissage.....	35
	Sur les ensembles de contrôle.....	36
3.2.7	2020 – Landsat-8.....	37
3.2.7.1	Classification.....	37
3.2.7.2	Qualification.....	38
	Sur les ensembles d'apprentissage.....	38
	Sur les ensembles de contrôle.....	39
3.2.8	Conclusion.....	40

3.3	COMPARAISON DES CLASSIFICATIONS ISSUES DE LANDSAT-8 ET DE SENTINEL-2.....	41
3.3.1	<i>Description de l'algorithme</i>	41
3.3.1.1	Script Python.....	41
3.3.1.2	Input	41
3.3.1.3	Code de l'algorithme	42
3.3.1.4	Output.....	42
3.3.2	<i>Etude au niveau de l'ensemble d'apprentissage</i>	43
3.3.2.1	Résolution à 10m.....	43
	Sur les classes majeures.....	44
	Sur les sous-classes	45
3.3.2.2	Résolution à 30m.....	46
	Sur les classes majeures.....	47
	Sur les sous-classes	49
3.3.3	<i>Etude au niveau de l'ensemble du Mont Nimba</i>	51
3.3.3.1	Résolution à 10m.....	51
	Sur les classes majeures.....	52
	Sur les sous-classes	53
3.3.3.2	Résolution à 30m.....	54
	Sur les classes majeures.....	55
	Sur les sous-classes	57
3.3.4	<i>Conclusions</i>	59

LISTE DES FIGURES

fig. 1 – Carte générale des 6 paysages prioritaires pour la conservation.....	8
fig. 2 - Carte du PPC1 - Outamba-Kilimi-Kuru Hills-Soya.....	13
fig. 3 - Carte du PPC2 - Gola-Foya.....	14
fig. 4 - Carte du PPC3 - Wologizi-Wonegizi-Ziama.....	15
fig. 5 - Carte du PPC4 - Mt Nimba.....	16
fig. 6 - Carte du PPC5 - Taï-Grebo-Sapo.....	17
fig. 7 - Carte du PPC6 - Cross River.....	18
fig. 8 – Image Landsat-7 acquise le 2002-01-18 à 10:40:58 en composition colorée 5,4,1 (hyperlook).....	19
fig. 9 – Image Landsat-5 acquise le 2007-01-08 à 10:47:00 en composition colorée 5,4,1 (hyperlook).....	20
fig. 10 – Image Landsat-8 acquise le 2013-12-10 à 10:40:58 en composition colorée 6,5,2 (hyperlook).....	20
fig. 11 – Image Landsat-8 acquise le 2020-01-12 à 10:40:58 en composition colorée 6,5,2 (hyperlook).....	21
fig. 12 – Image Sentinel-2 acquise le 2020-01-11 à 10:54:21 en composition colorée 11,8A,2 (hyperlook).....	21
fig. 13 – Classification de l’image Landsat-7 acquise le 2002-01-18.....	25
fig. 14 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles d’apprentissage.....	26
fig. 15 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles d’apprentissage, en nombre de pixels et en pourcents.....	26
fig. 16 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles de contrôle.....	27
fig. 17 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles de contrôle, en nombre de pixels et en pourcents.....	27
fig. 18 – Classification de l’image Landsat-5 acquise le 2007-01-08.....	28
fig. 19 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles d’apprentissage.....	29
fig. 20 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles d’apprentissage, en nombre de pixels et en pourcents.....	29
fig. 21 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles de contrôle.....	30
fig. 22 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles de contrôle, en nombre de pixels et en pourcents.....	30
fig. 23 – Classification de l’image Landsat-8 acquise le 2013-12-10.....	31
fig. 24 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles d’apprentissage.....	32
fig. 25 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles d’apprentissage, en nombre de pixels et en pourcents.....	32
fig. 26 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles de contrôle.....	33
fig. 27 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles de contrôle, en nombre de pixels et en pourcents.....	33
fig. 28 – Classification de l’image Landsat-8 acquise le 2020-01-11.....	34
fig. 29 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles d’apprentissage.....	35
fig. 30 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles d’apprentissage, en nombre de pixels et en pourcents.....	35
fig. 31 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles de contrôle.....	36
fig. 32 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles de contrôle, en nombre de pixels et en pourcents.....	36
fig. 33 – Classification de l’image Landsat-8 acquise le 2020-01-12.....	37
fig. 34 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles d’apprentissage.....	38
fig. 35 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles d’apprentissage, en nombre de pixels et en pourcents.....	38
fig. 36 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles de contrôle.....	39
fig. 37 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles de contrôle, en nombre de pixels et en pourcents.....	39
fig. 38 – Pixel Landsat-8, pixel Sentinel-2 et voisinage de pixels Sentinel-2.....	41
fig. 39 – Reclassification à la première classe majoritaire, et à la deuxième class majoritaire.....	41
fig. 40 – Schéma des entrées et sorties du script.....	42

fig. 41 – Classifications des images Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 à leur résolution native de 30m x 30m et 10m x 10m, masquées pour ne montrer que les ensembles d'apprentissage.....	43
fig. 42 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 10m sur les ensembles d'apprentissage.....	44
fig. 43 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 10m sur les ensembles d'apprentissage.....	44
fig. 44 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 10m sur les ensembles d'apprentissage.....	45
fig. 45 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 10m sur les ensembles d'apprentissage.....	45
fig. 46 – Classifications des l'image Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 après passage à la résolution 30m x 30m par algorithme de la classe majoritaire, masquées pour ne montrer que les ensembles d'apprentissage.	46
fig. 47 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifié par classe à 30m sur les ensembles de contrôle.	47
fig. 48 –Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 30m sur les ensembles d'apprentissage.....	47
fig. 49 – Carte du pourcentage de présence dans chaque pixel 30m de sa classe majoritaire sur les ensembles d'apprentissage.....	48
fig. 50 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifié par classe à 30m sur les ensembles de contrôle.	49
fig. 51 –Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 30m sur les ensembles d'apprentissage.....	49
fig. 52 – Carte du pourcentage de présence dans chaque pixel 30m de sa classe majoritaire sur les ensembles d'apprentissage.....	50
fig. 53 – Classifications des images Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 à leur résolution native de 30m x 30m et 10m x 10m sur le Mt Nimba.	51
fig. 54 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 10m sur les ensembles d'apprentissage.....	52
fig. 55 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 10m sur les ensembles d'apprentissage.....	52
fig. 56 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 10m sur le Mont Nimba.	53
fig. 57 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 10m sur le Mont Nimba.	53
fig. 58 – Classifications des images Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 après passage à la résolution 30m x 30m par algorithme de la classe majoritaire, sur le Mt Nimba.	54
fig. 59 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 10m sur les ensembles d'apprentissage.....	55
fig. 60 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 10m sur les ensembles d'apprentissage.....	55
fig. 61 – Carte du pourcentage de présence dans chaque pixel 30m de sa classe majoritaire sur les ensembles d'apprentissage.....	56
fig. 62 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 30m sur le Mont Nimba.	57
fig. 63 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 30m sur le Mont Nimba.	57
fig. 64 – Carte du pourcentage de présence dans chaque pixel 30m de sa classe majoritaire sur le Mont Nimba.	58

LISTE DES TABLES

table 1 – Liste des classes utilisées lors des classifications, avec exemples.....	25
table 2 – Liste des statistiques de précision par rapport aux ensembles d'apprentissage.	40
table 3 – Liste des statistiques de précision par rapport aux ensembles de contrôle.....	40
table 4 – Liste des statistiques de ressemblance entre les classifications Landsat-8 et Sentinel-2 sur les ensembles d'apprentissage.....	50



Projet PAPFor

Evolution de l'occupation du sol dans les paysages
prioritaires pour la conservation (PPC)

référence VT-P355-DOC-001-F

issue 1 révision 0

date 11/09/2021

page 7 de 59

table 5 – Liste des statistiques de ressemblance entre les classifications Landsat-8 et Sentinel-2 sur le Mont
Nimba..... 58

1 INTRODUCTION

1.1 Objet du document

Ce document contient les résultats de l'étude sur le suivi de l'occupation du sol dans les Paysages Prioritaires pour la Conservation (PPC) en Afrique de l'Ouest.

Cette première version est consacrée au Mt Nimba exclusivement sur lequel la méthodologie de classification et les tests de qualité ont été appliqués.

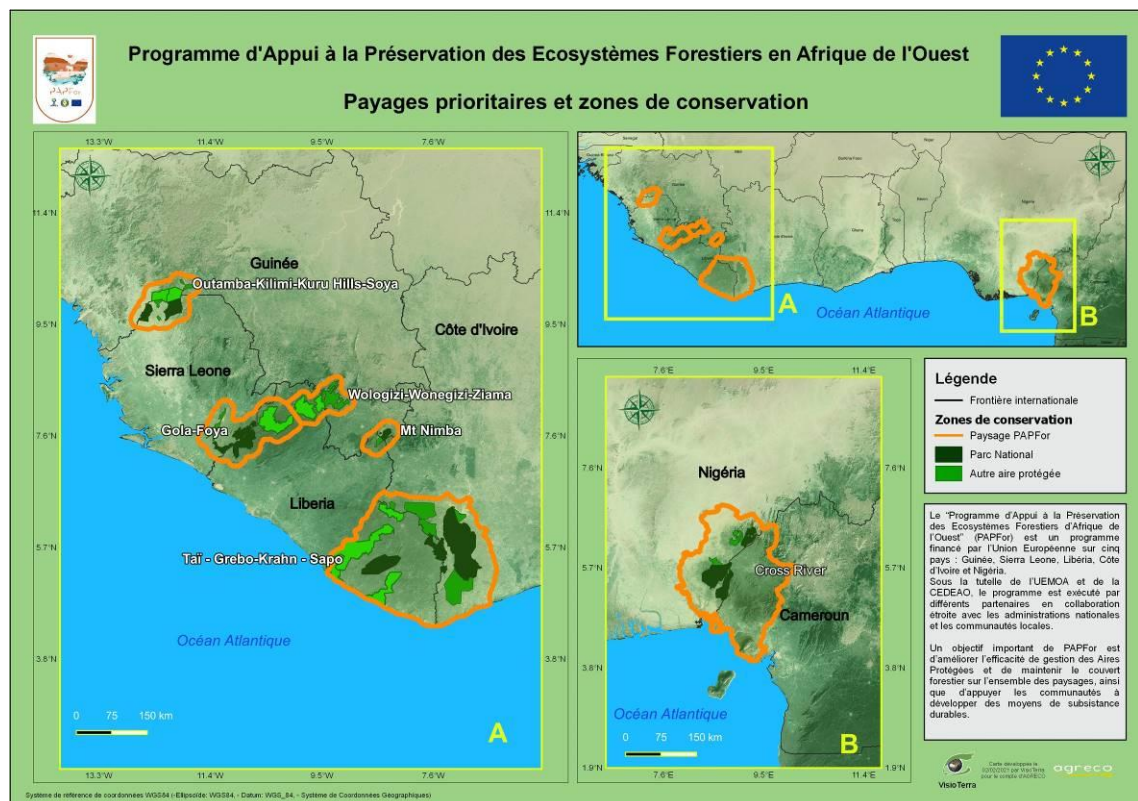


fig. 1 – Carte générale des 6 paysages prioritaires pour la conservation.

1.2 Plan du document

- Chapitre 1 contient la présente introduction ainsi que les références s'appliquant au document.
- Chapitre 2 contient une présentation des 6 Paysages Prioritaires pour la Conservation.
- Chapitre 3 contient l'étude du PPC Mt Nimba.

1.3 Documents applicables

A-1 TdRs

TdR mission SIG PAPFor
AGRECO

1.4 Documents de référence

R-1 Site Web PAPFor

Le projet PAPFor

<https://visioterra.fr/PAPFor/fr/>

1.5 Abréviations et Acronymes

Cette section contrôle les définitions des abréviations et acronymes utilisés dans ce document.

ETM+	Enhanced Thematic Mapper (instrument of Landsat 7)
L1	Level 1 - Top-of-atmosphere (TOA) digital number (DN) products
L1B	Level 1B - L1 products in acquisition geometry
L1C	Level 1C - L1 products in geodetic reference system (geocoded or orthorectified)
L2	Level 2 - Biophysical measurements products
Landsat	Series of Earth observation satellites (NASA)
MIR	Moyen Infra-Rouge
OLI	Optical Land Imager (instrument of Landsat-8)
PAPFor	Programme d'Appui à la Préservation des Ecosystèmes Forestiers en Afrique de l'Ouest
PIR	Proche Infra-Rouge
PPC	Paysage Prioritaire pour la Conservation
RVB	Rouge Vert Bleu
S1	Sentinel-1 (series of ESA satellites for radar imaging)
S2	Sentinel-2 (series of ESA satellites for high-resolution optical imaging)
TM	Thematic Mapper (instrument of Landsat-4 and Landsat-5)
UTM	Universal Transverse Mercator

1.6 Définitions

Cette section contrôle les définitions de tous les termes génériques utilisés dans ce document. Un soin particulier a été apporté pour hériter des termes définis par les organismes de normalisation tels ISO, ANSI ou ECSS.

géocodé

Une image (ou plus généralement toute donnée d'observation de la Terre) est géocodée s'il existe une relation simple donnant les coordonnées géodésiques (λ, φ) ou cartésiennes (X,Y) d'un système de référence particulier à partir des coordonnées (l,p) de tout point de l'image.

Généralement, la position géodésique est fournie par une simple formule linéaire.

Erreur ! Des objets ne peuvent pas être créés à partir des codes de champs de mise en forme.

Où:

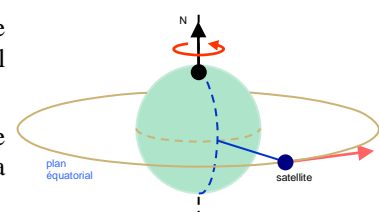
- (X₀,Y₀) sont les coordonnées du coin supérieur gauche de l'image,
- (d_x,d_y) sont respectivement les tailles horizontale et verticale des pixels.

Notons qu'une image géocodée est une image géoréférencée dont la fonction de localisation est la simple formule linéaire fournie ci-dessus.

géostationnaire (orbite)

Une orbite géostationnaire est une orbite géosynchrone placée sur le plan équatorial (inclinaison et excentricité nulles).

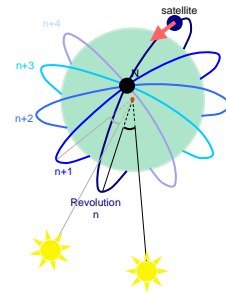
Les satellites placés sur une orbite géostationnaire sont situés à 36000 km de la surface terrestre.



héliosynchrone

Se dit d'une orbite dont le plan conserve une orientation constante vis-à-vis de la direction Terre-Soleil. Ce type d'orbite est en particulier utilisé pour l'observation de la Terre en mesurant le rayonnement à heure locale constante.

Landsat et SPOT sont par exemple des satellites héliosynchrones.



hyperlook

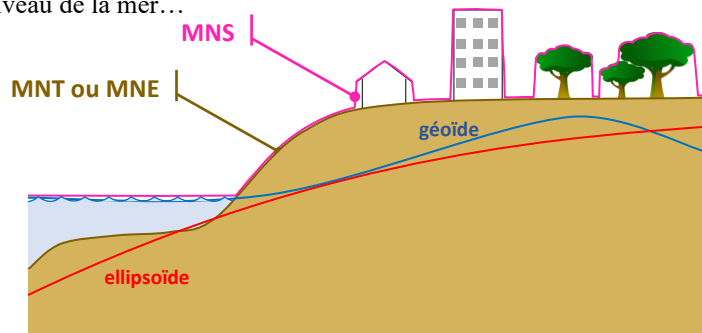
“URL riche” contenant les identifications du serveur / du produit / les paramètres de traitement / la géométrie de la vue et que l'utilisateur peut activer pour obtenir les mêmes vues dans leurs navigateurs usuels (Internet Explorer, Firefox, Chrome, Safari...).

MNT ou MNE ou MNS

- Un « Modèle Numérique de Terrain » (MNT) est parfois nommé « Modèle Numérique d'Élévation » (MNE) ou modèle altimétrique. Le MNT est une donnée raster constituée d'une grille géoréférencée dont chaque cellule fournit une -altitude par rapport à un géoïde (cas le plus fréquent) ou -une élévation par rapport à un ellipsoïde.

Dans les parties maritimes, les altitudes ou élévations mesurent le niveau de la mer (altitude égale à 0 mètres au-dessus du géoïde) ou peuvent mesurer la profondeur du plancher océanique (valeurs négatives qui définissent la bathymétrie).

- Le « Modèle Numérique de Surface » (MNS) donne les altitudes ou les élévations par rapport au sursol : toits des bâtiments, sommet de la canopée, niveau de la mer...



multispectrale

Une image multispectrale (parfois abrégée XS) est composée de plusieurs bandes spectrales, aussi appelés plans ou canaux. Chaque bande spectrale correspond à l'observation réalisée dans une bande de fréquence particulière.

Les bandes spectrales sont choisies en fonction de longueurs d'ondes caractéristiques des objets à observer et des caractéristiques d'absorption de l'atmosphère.

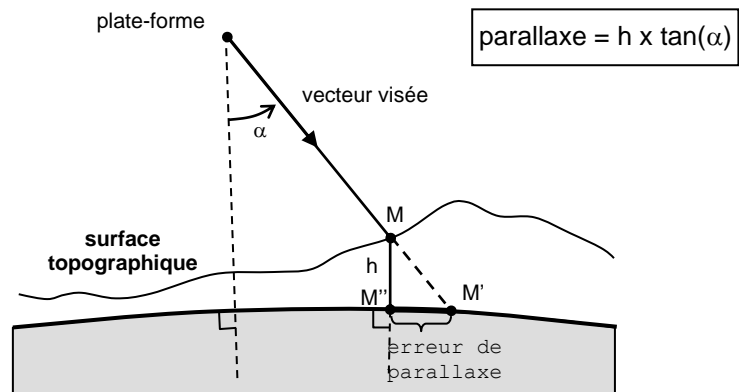
orthorectifié

Une image est orthorectifiée si elle a été corrigée des déformations internes inhérentes au relief et à la géométrie de prise de vue. Une image orthorectifiée ne présente plus le défaut de parallaxe pour l'instrument optique ou de repliement / dilatation pour l'instrument radar.

parallaxe

L'erreur de parallaxe est observée sur une surface de référence (généralement un ellipsoïde) lorsque le vecteur de visée d'un instrument optique n'est pas à la perpendiculaire de cette surface.

Pour un angle de visée α , l'erreur de parallaxe (M', M'') est d'autant grande que l'élévation h du point M imagé au-dessus de la surface de référence est grande.

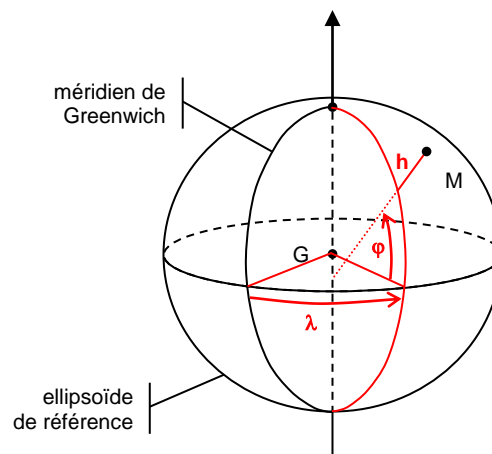


stretching

Méthode de réaffectation des radiométries destinée à améliorer le rendu de l'image. Le terme « stretching » s'applique généralement au « stretching linéaire » consistant à étirer linéairement la dynamique d'une image entre deux bornes a et b.

système de référence de coordonnées (SRC)

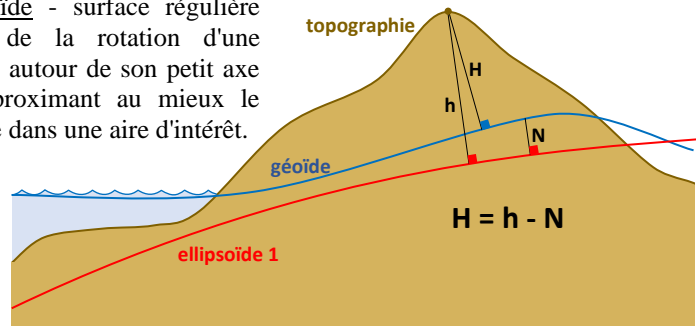
géographique



système de référence de coordonnées verticales

On distingue trois types de surface de référence :

- topographie - étant le lieu de l'interface entre la phase solide et les phases gazeuse et liquide de la matière terrestre ;
- géoïde - surface équipotentielle du champ d'accélération de la pesanteur (gravité + force centrifuge); le géoïde est proche de la surface moyenne de la mer ;
- ellipsoïde - surface régulière issue de la rotation d'une ellipse autour de son petit axe et approximant au mieux le géoïde dans une aire d'intérêt.



Les hauteurs H par rapport au géoïde (aussi appelée "altitude") sont des hauteurs de référence pour l'étude de phénomènes physiques tels que le ruissèlement. L'altitude 0 mètres correspond au niveau moyen de la mer.

Les hauteurs h par rapport à l'ellipsoïde (aussi appelée "élévation") sont utilisées pour la modélisation terrestre et en particulier pour l'orthorectification par rapport à un ellipsoïde de référence (souvent le WGS84).

2 PAYSAGES PRIORITAIRES POUR LA CONSERVATION

Les cartes présentes dans cette section ont été produites dans le cadre d'un projet conduit par Agreco et réalisé par VisioTerra (A-1) pour le compte de l'Union Européenne.

Toutes ces cartes ainsi que la carte générale sont accessibles en langue française et en langue anglaise sur le site du projet PAPFor hébergé par VisioTerra (R-1).

2.1 PPC1 - Outamba-Kilimi-Kuru Hills-Soya

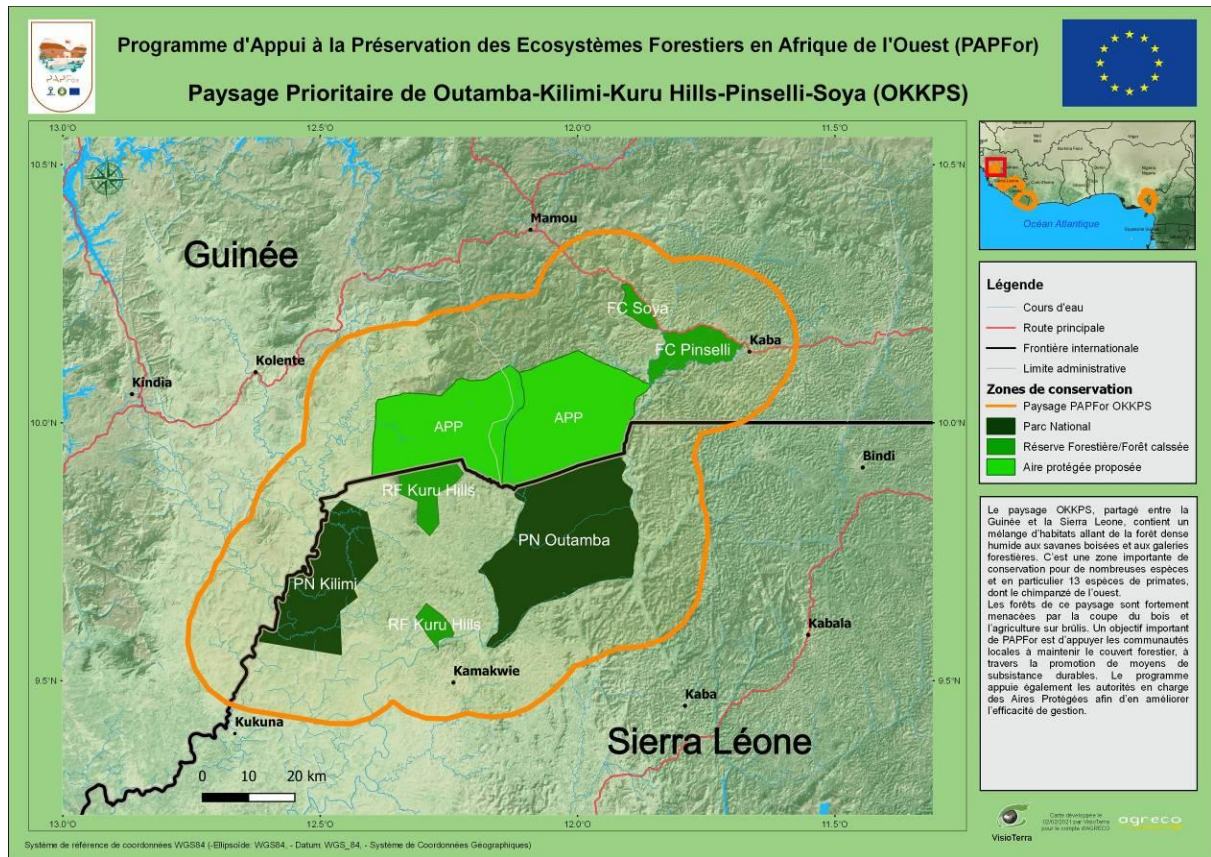


fig. 2 - Carte du PPC1 - Outamba-Kilimi-Kuru Hills-Soya.

2.2 PPC2 - Gola-Foya

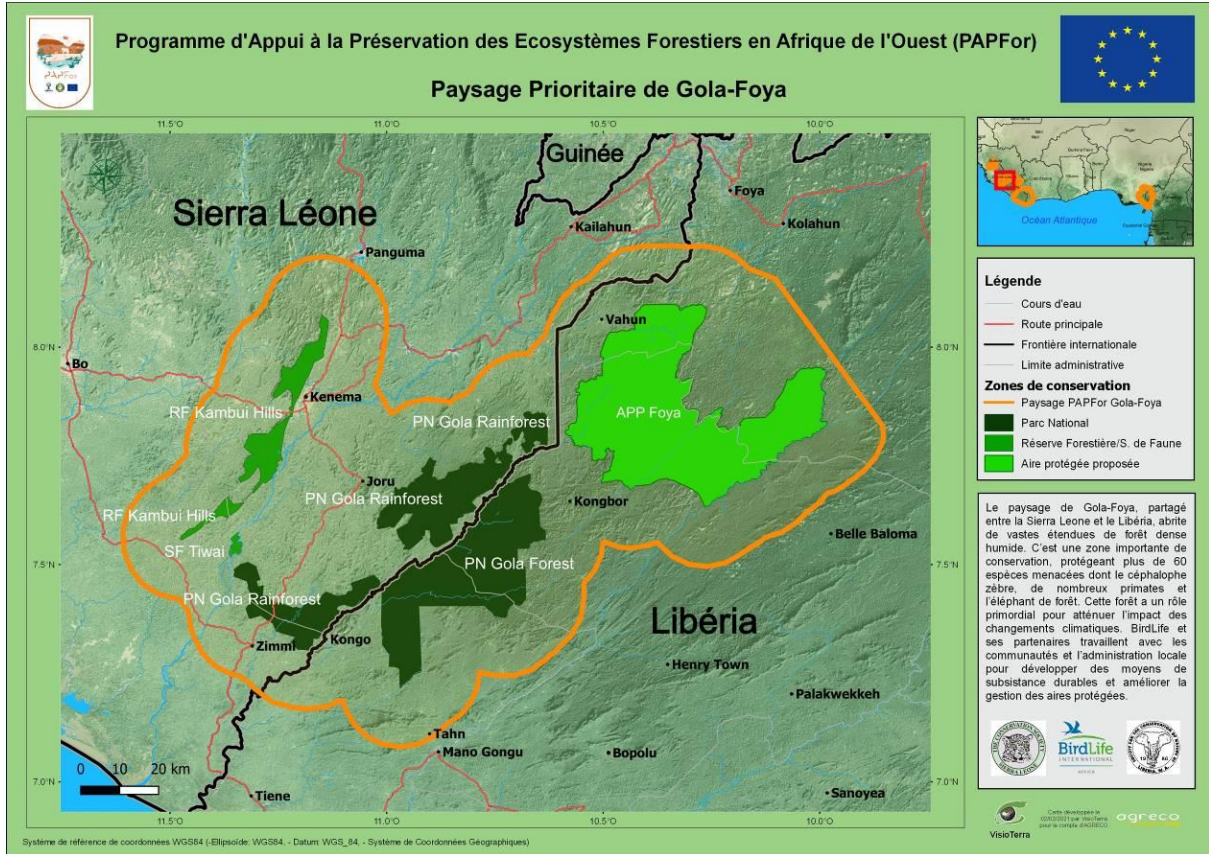


fig. 3 - Carte du PPC2 - Gola-Foya.

2.3 PPC3 - Wologizi-Wonegizi-Ziama

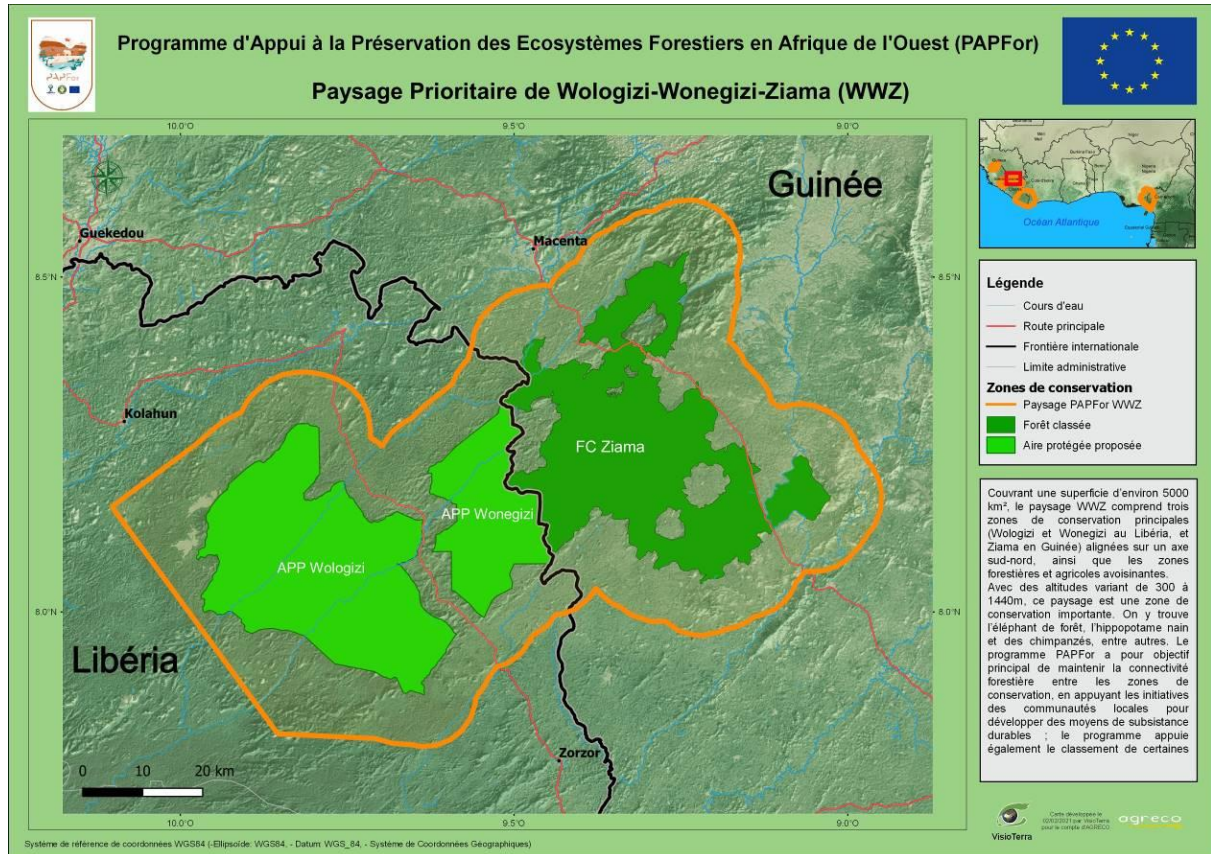


fig. 4 - Carte du PPC3 - Wologizi-Wonegizi-Ziama.

2.4 PPC4 - Mt Nimba

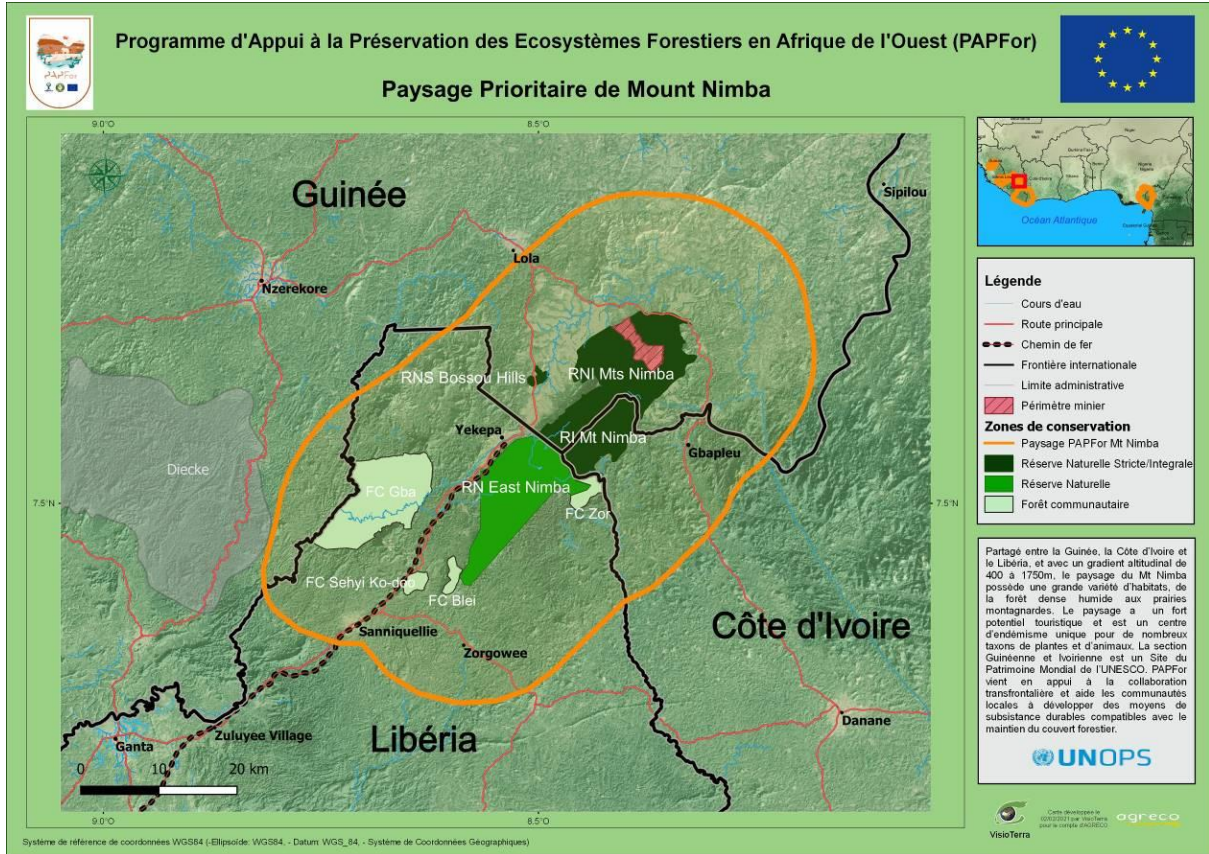


fig. 5 - Carte du PPC4 - Mt Nimba.

2.5 PPC5 - Tai-Grebo-Sapo

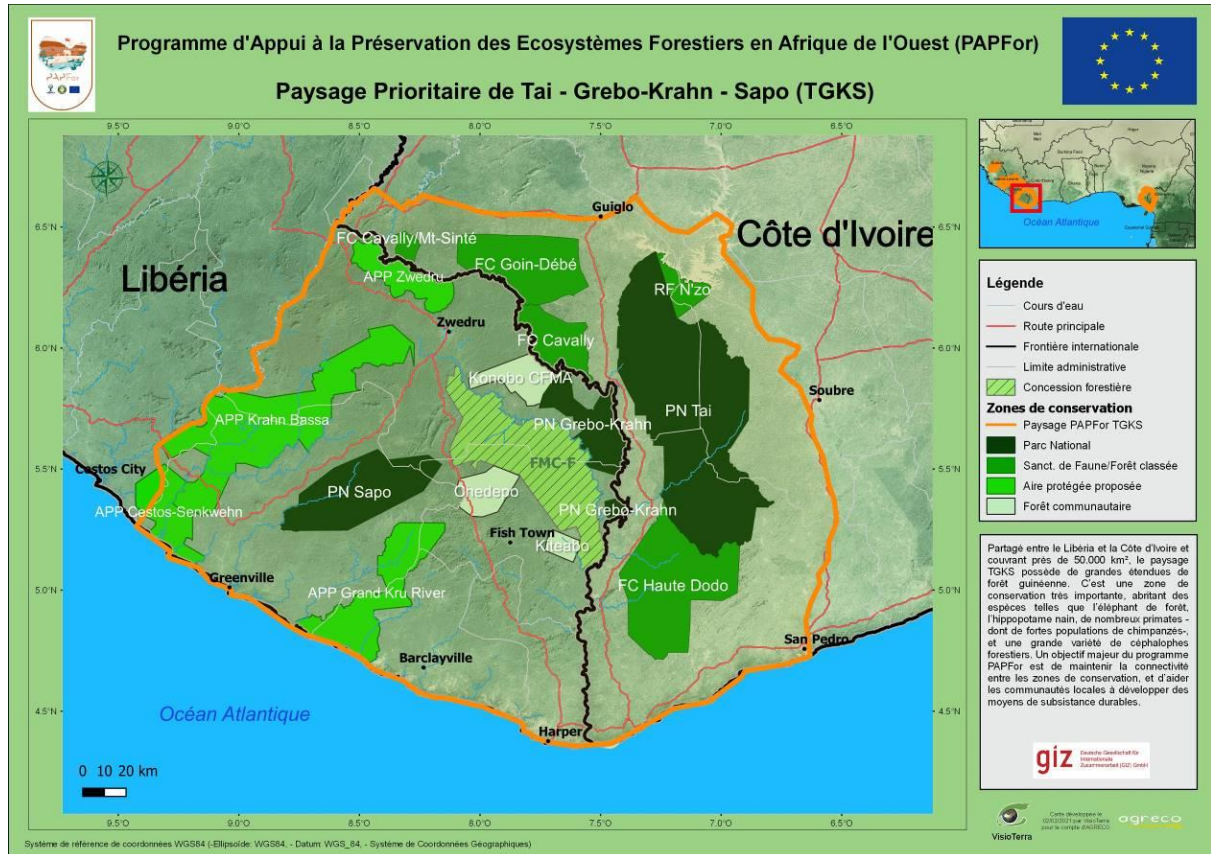


fig. 6 - Carte du PPC5 - Tai-Grebo-Sapo.

2.6 PPC6 - Cross River

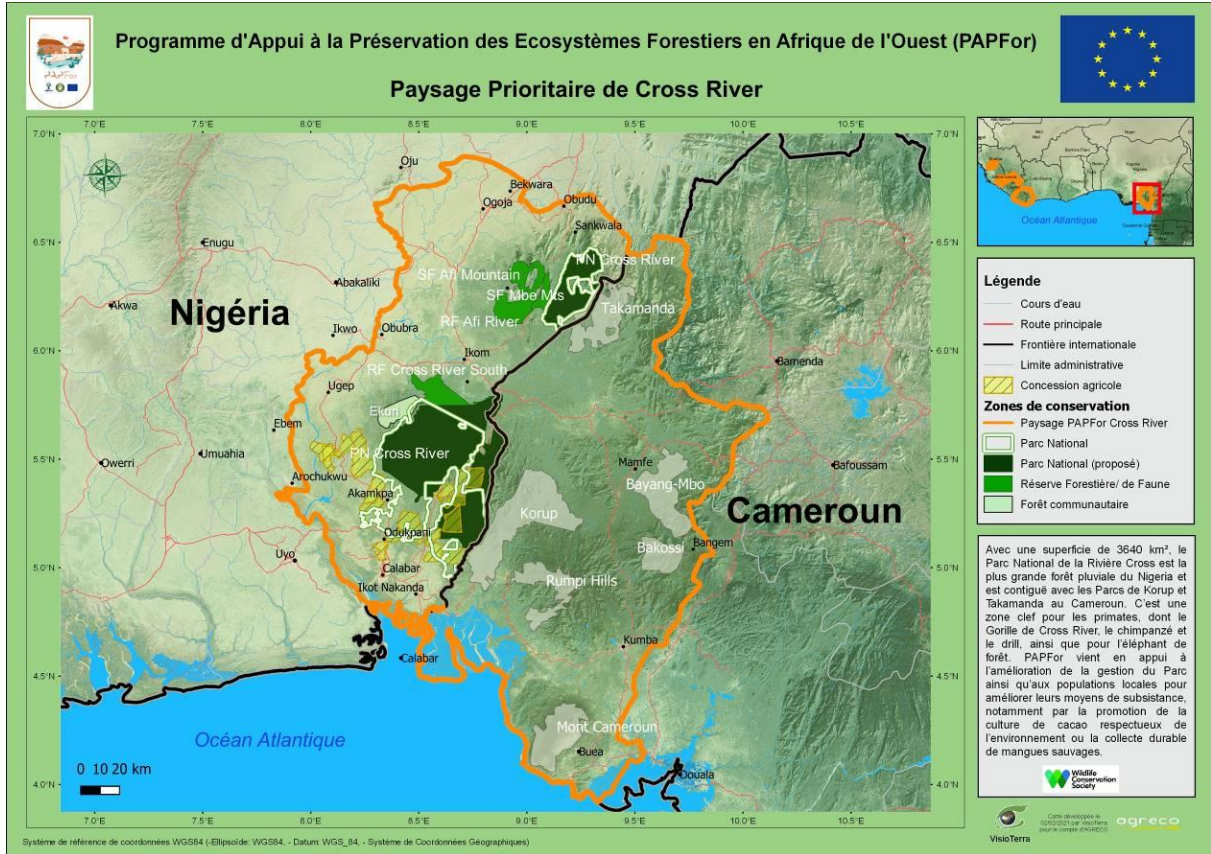


fig. 7 - Carte du PPC6 - Cross River.

3 PPC MT NIMBA

Dans cette section, nous étudions l'évolution de l'occupation du sol dans les réserves naturelles et les forêts communautaires environnant le paysage prioritaire du Mt Nimba à partir des données Landsat-5/7/8 et Sentinel-2 acquises entre 2002 et 2020.

3.1 Images utilisées

Les données utilisées peuvent être visualisées sur VtWeb via le lien hyperlook suivant : <https://visioterra.org/VtWeb/hyperlook/abc2873a7a314b29a731229f1a23d62b>.

L'hyperlook comporte : le fichier PPC_Mt_Nimba_v3.kml délimitant notre aire d'intérêt, ainsi que quatre dossiers correspondant aux quatre périodes que nous étudions (2002, 2007, 2014 et 2020).

Le dossier 2020 comporte en plus des données Sentinel-2 de niveau 1C.

3.1.1 2002

L'image ci-dessous (fig. 8) est une image Landsat-7 acquise le 2002-01-18 à 10:40:58. Elle montre notre zone d'intérêt autour du Mt Nimba dans le polygone orange. Ce paysage prioritaire se situe à l'intersection des frontières entre la Côte d'Ivoire, le Liberia et la Guinée. Cette acquisition a eu lieu en janvier, au milieu de la saison sèche. Seule une partie marginale de notre aire d'intérêt est couverte par les nuages.

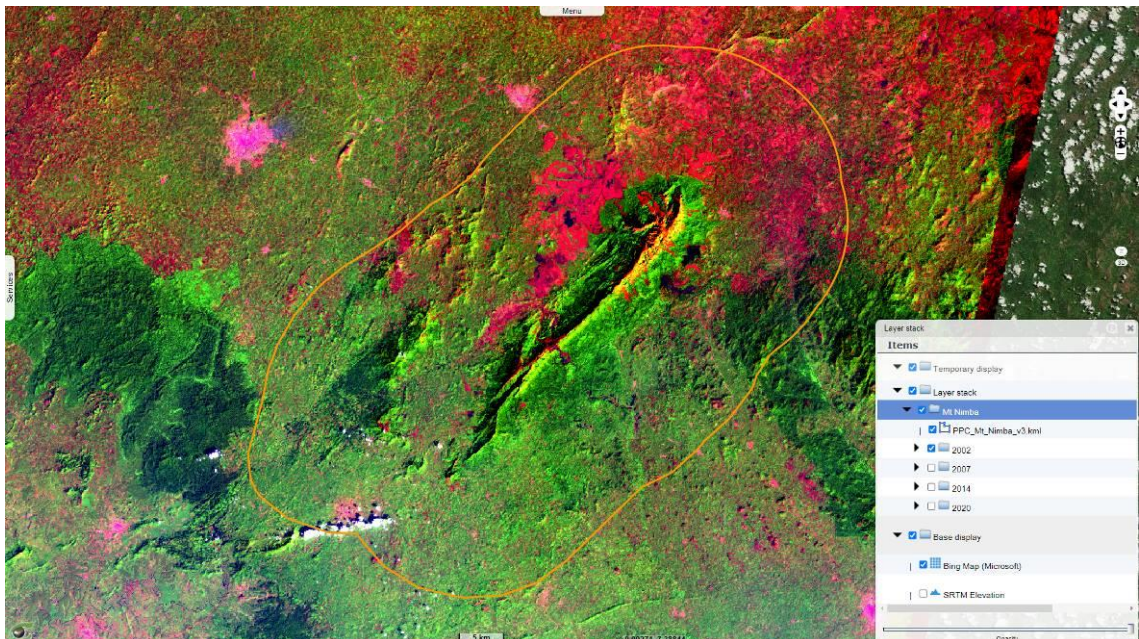


fig. 8 – Image Landsat-7 acquise le 2002-01-18 à 10:40:58 en composition colorée 5,4,1 ([hyperlook](#)).

3.1.2 2007

L'image ci-dessous (fig. 9) est une image Landsat-5 acquise le 2007-01-08 à 10:47:00. Les données visualisées dans cette image ont été acquises en janvier, au milieu de la saison sèche. L'aire d'intérêt est partiellement couverte par des nuages et de la fumée due aux feux dans la région, ce qui a rendu la classification de cette image plus difficile.

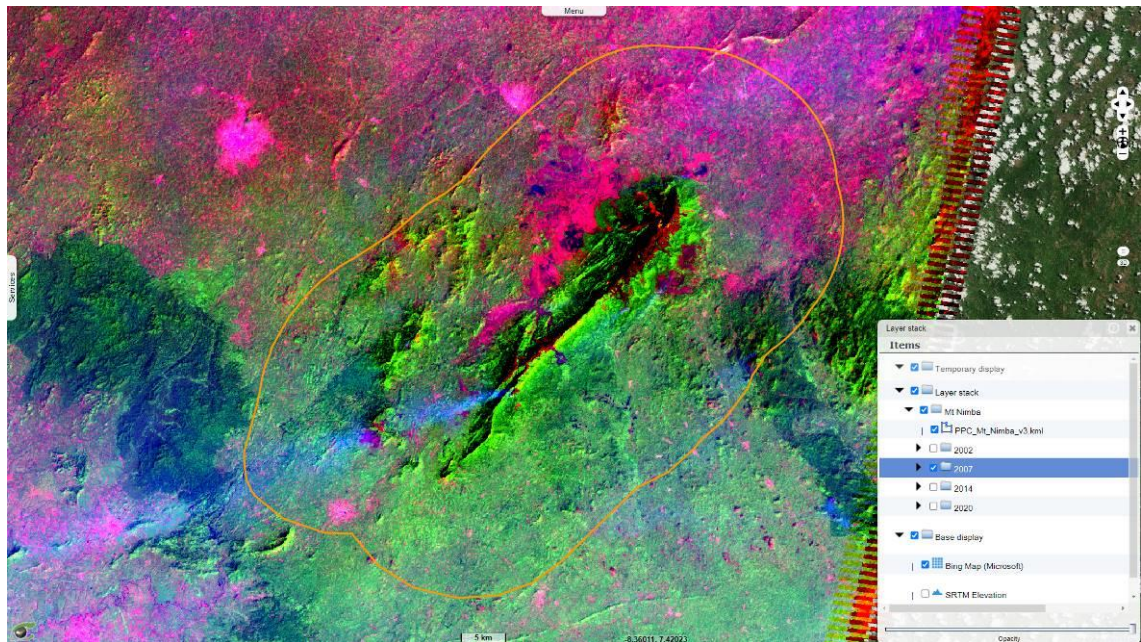


fig. 9 – Image Landsat-5 acquise le 2007-01-08 à 10:47:00 en composition colorée 5,4,1 ([hyperlook](#)).

3.1.3 2014

L'image ci-dessous (fig. 10) est une image Landsat-8 acquise le 2013-12-10 à 10:40:58. Cette acquisition a eu lieu en décembre, contrairement aux autres, mais la date d'acquisition reste aux alentours du milieu de la saison sèche.

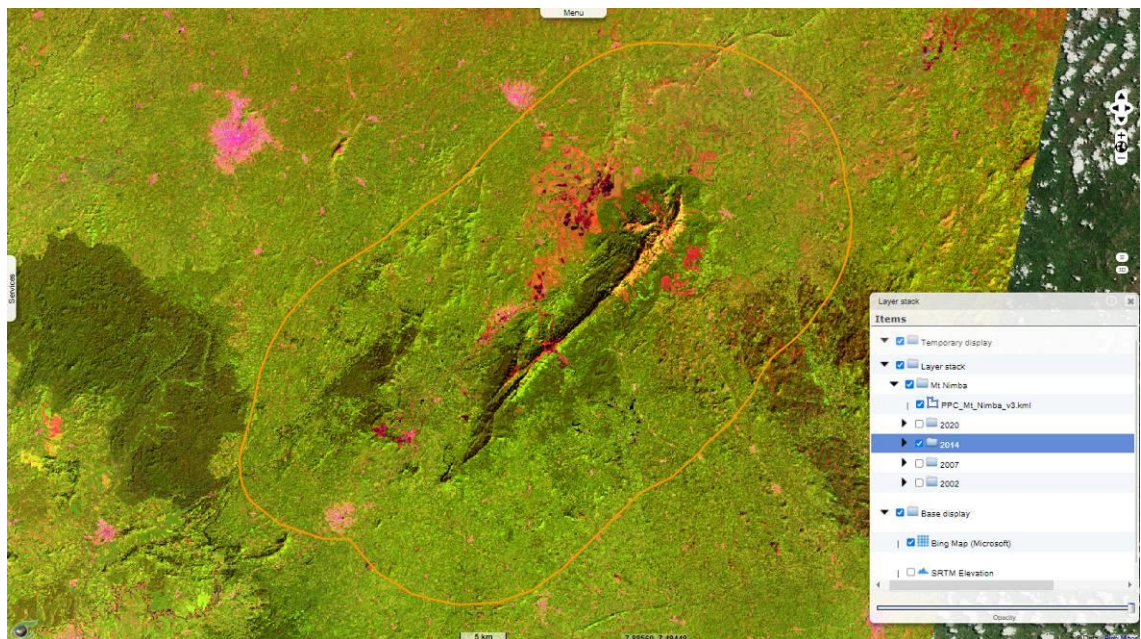


fig. 10 – Image Landsat-8 acquise le 2013-12-10 à 10:40:58 en composition colorée 6,5,2 ([hyperlook](#)).

3.1.4 2020 – Landsat-8

L'image ci-dessous (fig. 11) est une image Landsat-8 acquise le 2020-01-12 à 10:40:58. Cette acquisition a eu lieu en janvier, au milieu de la saison sèche.

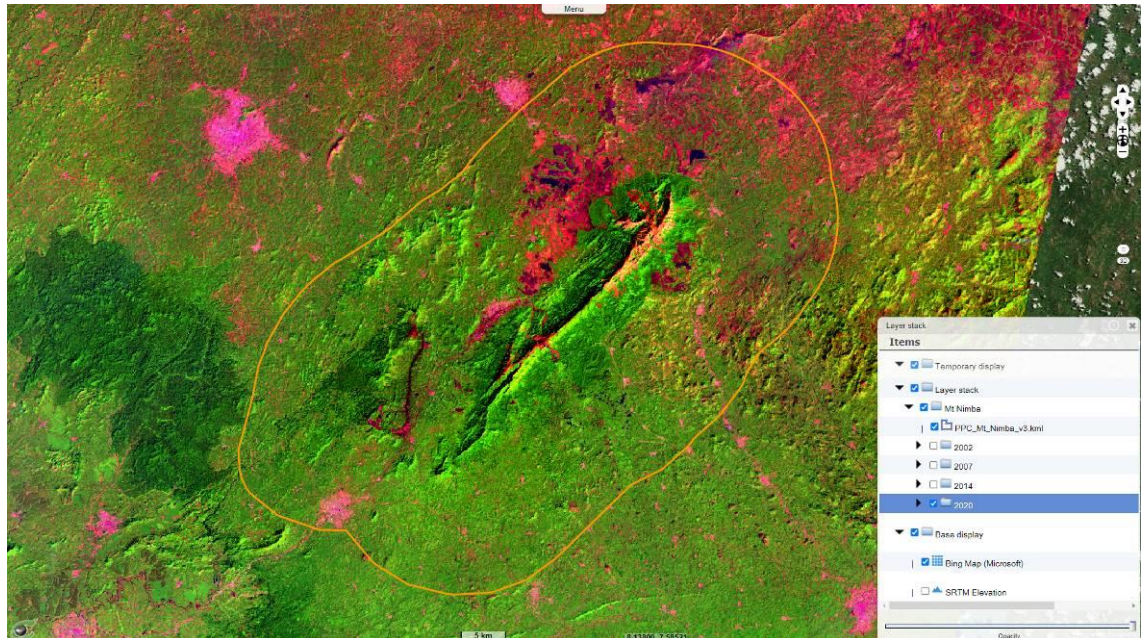


fig. 11 – Image Landsat-8 acquise le 2020-01-12 à 10:40:58 en composition colorée 6,5,2 ([hyperlook](#)).

3.1.5 2020 – Sentinel-2

L'image ci-dessous (fig. 12) est une image Sentinel-2 acquise le 2020-01-11 à 10:54:21. Cette acquisition a eu lieu en janvier, au milieu de la saison sèche, et n'est séparée de l'acquisition Landsat-8 que par un jour, permettant une étude comparative des classifications obtenues sur les deux.

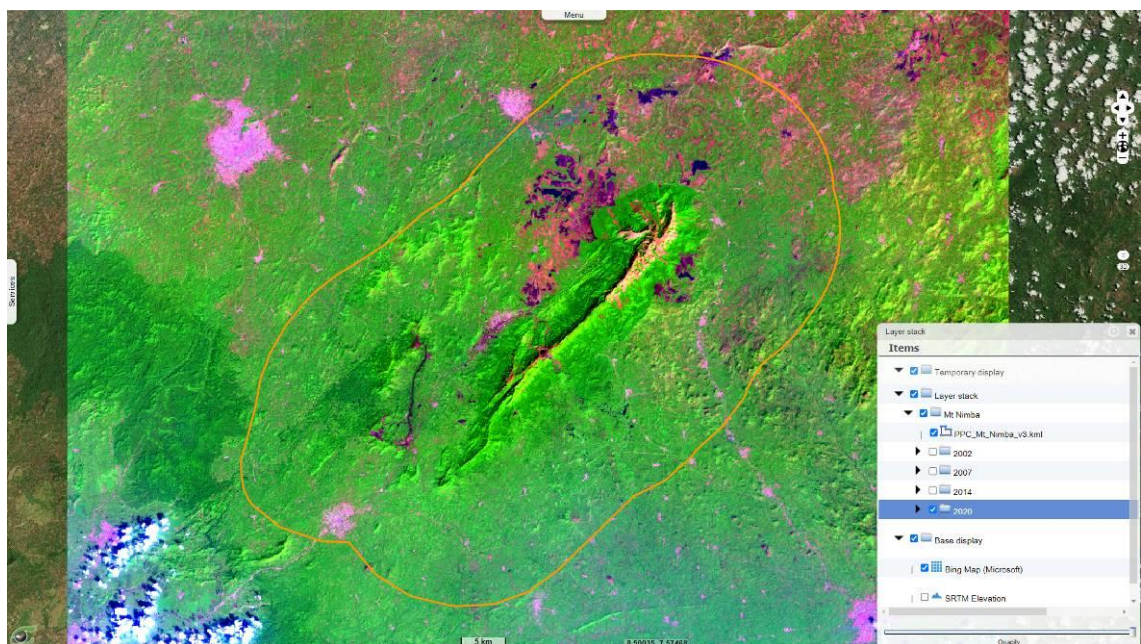


fig. 12 – Image Sentinel-2 acquise le 2020-01-11 à 10:54:21 en composition colorée 11,8A,2 ([hyperlook](#)).

“ Ce document contient des informations pour lesquelles VisioTerra se réserve tous les droits de propriété. Les destinataires de ce document ne sont pas autorisés à dupliquer, utiliser ou diffuser tout ou partie de ce document en dehors de l'accomplissement des tâches pour lesquelles ce document leur a été délivré. ”

3.2 Classification

Les opérations décrites ici ont été effectuées à l'aide du logiciel ENVI. Les étapes suivies ont été les suivantes :

- Pré-traitement
- Réalisation des ensembles d'apprentissage
- Classification supervisée
- Qualification des classifications obtenues
- Post-traitement

3.2.1.1 Pré-traitement

Les données Landsat-5/7/8 étant initialement téléchargées avec des coordonnées dans le système UTM, nous avons reconverti les coordonnées dans le système WGS-84. De plus, pour limiter la taille des données à traiter, nous nous sommes limités à un sous-ensemble de points couvrant une zone de 15 km autour de notre aire d'intérêt.

Afin d'éliminer les sources possibles de décalage entre les données Landsat-8 et Sentinel-2 de 2020, nous les avons laissées dans le système de coordonnées UTM, et nous n'avons effectué le découpage du sous-ensemble que sur les classifications.

3.2.1.2 Réalisation des ensembles d'apprentissage

Pour les compositions colorées, nous avons utilisé les bandes MIR, PIR et Bleu, correspondant aux bandes 5, 4, 1 pour les données Landsat-5 et Landsat-7, aux bandes spectrales 6, 5, 2 pour les données Landsat-8, et aux bandes 11, 8A et 2 pour les données Sentinel-2. Pour chaque période, nous avons désigné des parcelles d'entraînement réparties entre six classes initialement : le sol nu, le bâti, la forêt, la forêt dégradée, les aires brûlées et l'eau.

A cause des reliefs importants dans la zone d'intérêt, la variation de l'angle d'incidence de la lumière et la présence de nuages dans certaines images, il a été jugé préférable de créer des classes supplémentaires pour chaque période parmi lesquelles répartir les parcelles d'entraînement (sol nu – ombre, forêt – ombre, forêt – exposée, forêt dégradée – fumée, aire brûlée – ombre, nuage, ombre – nuage et ombre – colline).

3.2.1.3 Classification supervisée

Les classifications ont été réalisées selon l'algorithme du maximum de vraisemblance, en nous basant sur les bandes correspondant au bleu, vert, rouge, proche infrarouge et infrarouge moyen.

3.2.1.4 Qualification des classifications obtenues

Les classifications obtenues ont ensuite été évaluées visuellement ainsi qu'avec l'aide des matrices de confusion. A partir de cela, les parcelles d'entraînement ont été modifiées pour améliorer la classification. Ce processus a été répété de nombreuses fois jusqu'à obtenir une classification satisfaisante pour chaque période.


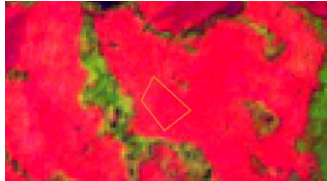

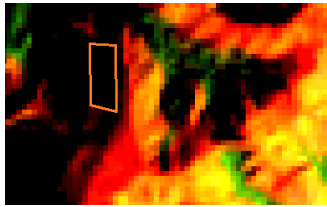

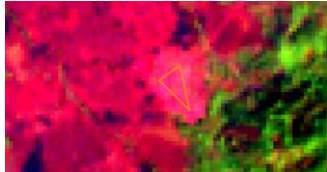

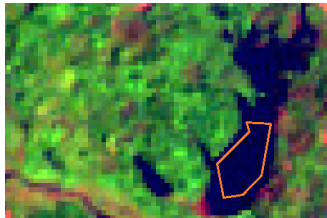

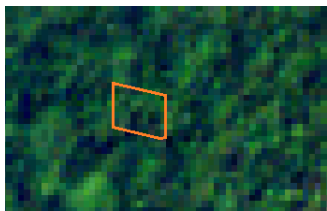

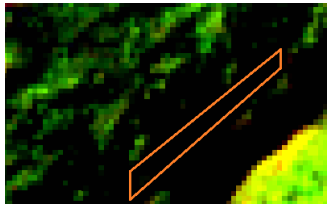
3.2.1.5 Post-traitement

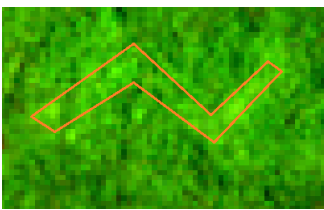

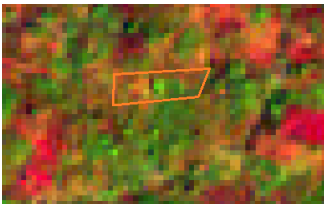
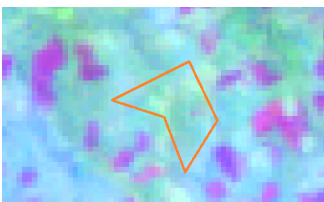

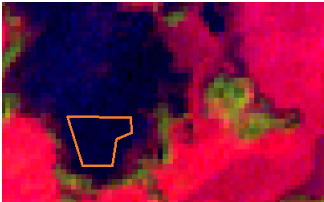


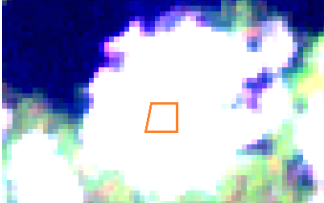
Les classifications finales ont enfin subi un post-traitement pour produire des images plus simples à interpréter visuellement.

3.2.2 **Exemples de parcelles de l'ensemble d'apprentissage**

Avant de pouvoir procéder à la classification par ENVI, il a d'abord fallu réaliser des parcelles d'apprentissage sur chaque période étudiée. Le tableau ci-dessous (table 1) donne le nom des classes

créées, la couleur avec laquelle elles sont représentées dans les classifications, et des exemples de la photo-interprétation qui a eu lieu lors de la désignation des parcelles d'apprentissage.

Couleur	Classe majeure	Sous-classe	Vue THR	Vue MIR-PIR-Bleu	Hyper look
Jaune	Sol nu	Sol nu			lien
		Sol nu - ombre			lien
Rouge	Bâti	Bâti			lien
Bleu	Eau	Eau			lien
Vert3	Forêt	Forêt			lien
		Forêt - ombre			lien

		Forêt - exposée	Absent		lien
Vert	Forêt dégradée	Forêt dégradée			lien
		Forêt dégradée - fumée	Absent		lien
Jaune3	Aire brûlée	Aire brûlée			lien
		Aire brûlée - ombre			lien
Cyan	Nuage	Nuage	Absent		lien

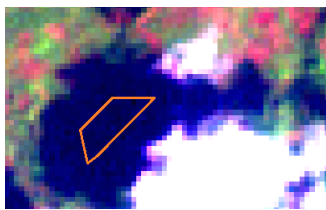

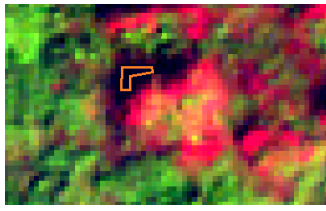
Noir	Ombre	Ombre - nuage	Absent		lien
		Ombre - colline			lien

table 1 – Liste des classes utilisées lors des classifications, avec exemples.

3.2.3 2002

3.2.3.1 Classification

L'image ci-dessous (fig. 13) est la classification par maximum de vraisemblance sur l'image Landsat-7 acquise le 2002-01-18 à 10:40:58.

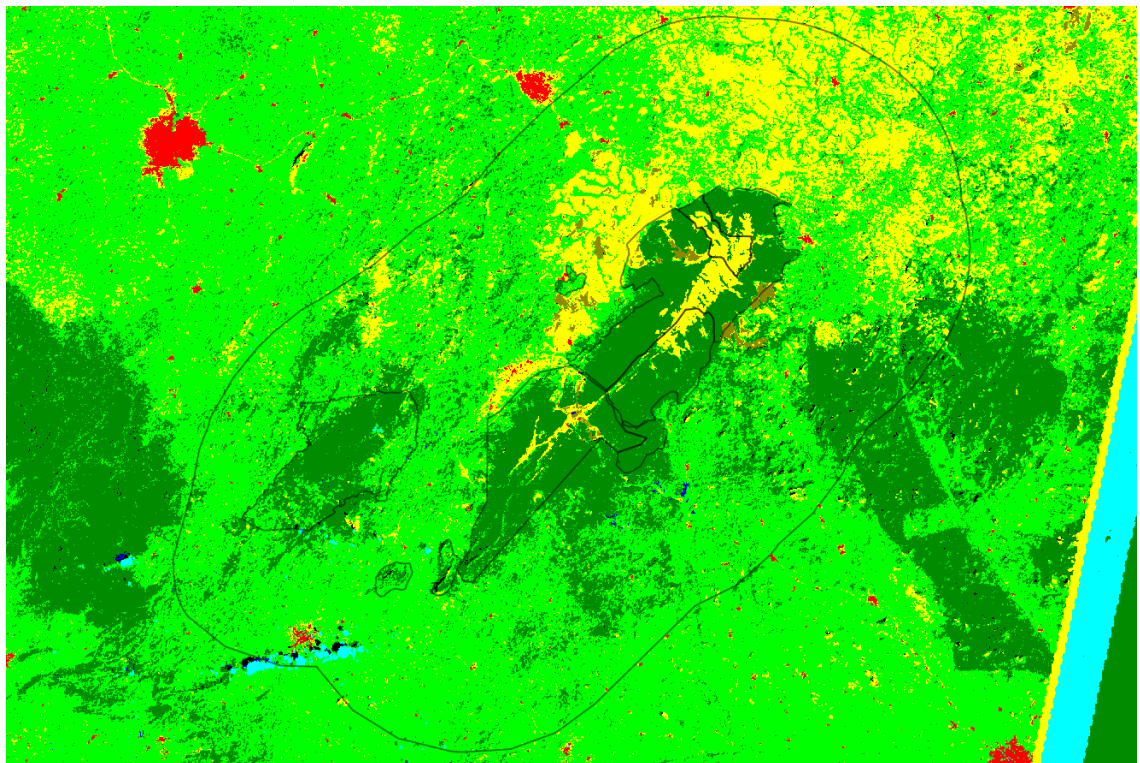


fig. 13 – Classification de l'image Landsat-7 acquise le 2002-01-18.

3.2.3.2 Qualification

Sur les ensembles d'apprentissage

La figure ci-dessous (fig. 14) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes des ensembles d'apprentissage et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification (fig. 15).

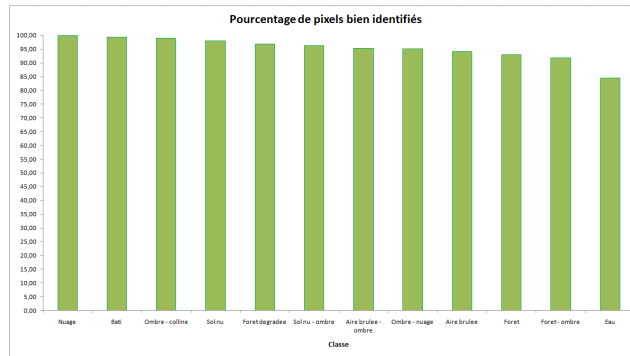


fig. 14 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 15) représente la matrice de confusion entre les classes des ensembles d'apprentissage et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification. Dans le premier tableau, la dernière case de chaque colonne indique le nombre total de pixels de cette classe inclus dans les ensembles d'apprentissage, et est colorée en rouge si ce nombre est inférieur à 30 pixels par classe. Dans le cas présent, le nombre de classes étant 12, le nombre minimum de pixels attendu par classe est 360 pixels.

Overall accuracy	=	22470 / 23562	=	95,3654 %
Mean accuracy	=	11,4343162 / 12	=	95,2860 %
Kappa coefficient	=	0,9423		

Cij	Référence (pixel)												C.j
Classe j (classifié)	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Nuage	Sol nu - ombre	Aire brûlée - ombre	Ombre - colline	Ombre - nuage	
Sol nu	6957	6	0	0	4	12	0	0	0	0	0	0	6979
Bati	120	1001	0	0	0	71	0	0	0	0	0	0	1192
Eau	0	0	428	1	0	0	0	0	0	0	0	1	445
Forêt	1	0	1	4734	39	1	64	0	6	0	0	0	4846
Forêt dégradée	8	0	0	199	1313	1	0	0	0	0	0	0	1521
Aire brûlée	0	0	0	0	0	5250	0	0	0	19	0	0	5269
Forêt - ombre	0	0	0	143	0	0	873	0	21	0	0	0	1037
Nuage	9	0	0	0	0	0	367	0	0	0	0	0	376
Sol nu - ombre	0	0	0	9	0	0	6	0	680	2	0	0	697
Aire brûlée - ombre	0	0	4	0	0	201	0	0	0	453	0	0	658
Ombre - colline	0	0	13	9	0	36	7	0	0	1	103	1	170
Ombre - nuage	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	311	372
Cl.	7095	1007	507	5095	1356	5572	950	367	707	475	104	327	23562

Cij/n	Référence (pourcent)												C.j/n
Classe j (classifié)	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Nuage	Sol nu - ombre	Aire brûlée - ombre	Ombre - colline	Ombre - nuage	
Sol nu	98,05	0,60	0,00	0,00	0,29	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,62
Bati	1,69	99,40	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,06
Eau	0,00	0,00	84,42	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,00	1,89
Forêt	0,01	0,00	0,20	92,91	2,88	0,02	6,74	0,00	0,85	0,00	0,00	0,00	20,57
Forêt dégradée	0,11	0,00	0,00	3,91	96,83	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,46
Aire brûlée	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,22	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	22,36
Forêt - ombre	0,00	0,00	0,00	2,81	0,00	0,00	91,89	0,00	2,97	0,00	0,00	0,00	4,40
Nuage	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,42	0,00	0,00	1,60
Sol nu - ombre	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,63	0,00	96,18	0,00	0,00	0,00	2,96
Aire brûlée - ombre	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00	3,61	0,00	0,00	0,00	95,37	0,00	0,00	2,79
Ombre - colline	0,00	0,00	2,56	0,18	0,00	0,65	0,74	0,00	0,00	0,21	99,04	0,31	0,72
Ombre - nuage	0,00	0,00	12,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,11	1,58
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cl./n	30,11%	4,27%	2,15%	21,62%	5,76%	23,65%	4,03%	1,56%	3,00%	2,02%	0,44%	1,39%	100%

fig. 15 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles d'apprentissage, en nombre de pixels et en pourcents.

Sur les ensembles de contrôle

La figure ci-dessous (fig. 16) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes des ensembles de contrôle et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification (fig. 17).

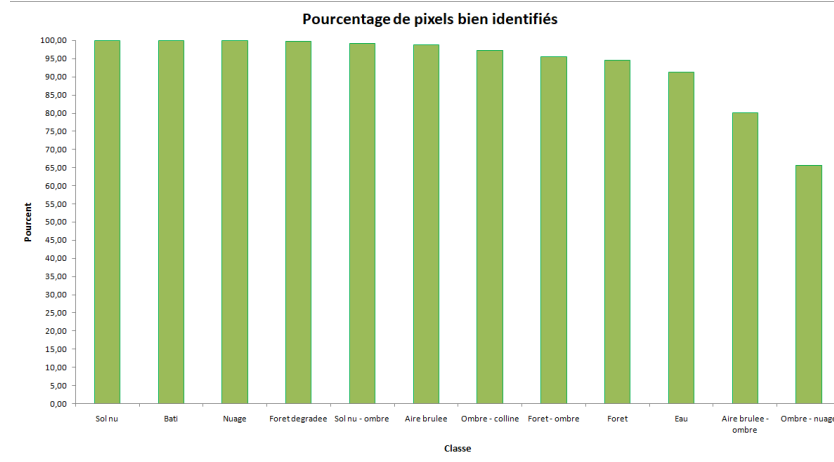


fig. 16 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles de contrôle.

La figure ci-dessous (fig. 17) représente la matrice de confusion entre les classes des ensembles de contrôle et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification. Dans le premier tableau, la dernière case de chaque colonne indique le nombre total de pixels de cette classe inclus dans les ensembles de contrôle, et est colorée en rouge si ce nombre est inférieur à 30 pixels par classe. Dans le cas présent, le nombre de classes étant 12, le nombre minimum de pixels attendu par classe est 360 pixels.

Overall accuracy	=	7013 /	7221	=	97,1195 %
Mean accuracy	=	11,2167983 /	12	=	93,4733 %
Kappa coefficient	=	0,9649			

Cij	Référence (pixel)												C.j
Classe j (classifié)	Sol nu	Bati	Eau	Foret	foret dégradé	Aire brûlée	Foret - ombre	Nuage	sol nu - ombre	brûlée - ombre	ombre - colline	ombre - nuage	
Sol nu	2136	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2137
Bati	0	362	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	362
Eau	0	0	124	0	2	1	0	0	0	0	0	0	145
Foret	0	0	0	1258	2	1	16	0	0	0	0	0	1277
Foret dégradée	0	0	0	1	545	0	0	0	0	0	0	0	546
Aire brûlée	0	0	0	0	0	1472	0	0	0	25	0	0	1497
Foret - ombre	0	0	0	72	0	0	468	0	2	13	1	0	556
Nuage	0	0	0	0	0	0	0	106	0	0	0	0	106
Sol nu - ombre	0	0	0	0	0	0	6	0	262	1	0	0	269
Aire brûlée - ombre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	184	0	0	184
Ombre - colline	0	0	0	1	0	15	0	0	0	7	35	11	69
Ombre - nuage	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	61	73
Cl.	2136	362	136	1332	547	1489	490	106	264	230	36	93	7221

Cij/n	Référence (pourcent)												C.j/n
Classe j (classifié)	Sol nu	Bati	Eau	Foret	foret dégradé	Aire brûlée	Foret - ombre	Nuage	sol nu - ombre	brûlée - ombre	ombre - colline	ombre - nuage	
Sol nu	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,59
Bati	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,01
Eau	0,00	0,00	91,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,01
Foret	0,00	0,00	0,00	94,44	0,37	0,07	3,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,68
Foret dégradée	0,00	0,00	0,00	0,08	99,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,56
Aire brûlée	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,86	0,00	0,00	0,00	10,87	0,00	0,00	20,73
Foret - ombre	0,00	0,00	0,00	5,41	0,00	0,00	95,51	0,00	0,76	5,65	2,78	0,00	7,70
Nuage	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,47
Sol nu - ombre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22	0,00	99,24	0,43	0,00	0,00	3,73
Aire brûlée - ombre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	80,00	0,00	0,00	2,55
Ombre - colline	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	1,01	0,00	0,00	0,00	3,04	97,22	11,83	0,96
Ombre - nuage	0,00	0,00	8,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,59	1,01
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cl./n	29,58%	5,01%	1,88%	18,45%	7,58%	20,62%	6,79%	1,47%	3,66%	3,19%	0,50%	1,29%	100%

fig. 17 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles de contrôle, en nombre de pixels et en pourcents.

Les confusions notables sont entre les classes :

- (Forêt) et (Forêt – ombre)
- (Aire brûlée – ombre) et (Aire brûlée) et (Forêt – ombre) et (Ombre – colline)
- (Ombre – nuage) et (Eau) et (Ombre – colline)

3.2.4 2007

3.2.4.1 Classification

L'image ci-dessous (fig. 18) est une mosaïque de deux classifications par maximum de vraisemblance sur l'image Landsat-5 acquise le 2007-01-08 à 10:47:00.

Une première classification a été réalisée pour créer un masque sur les aires couvertes par la fumée. Une deuxième classification, concentrée sur ces aires, a permis d'identifier les classes à travers la couverture de fumée. Dans l'image ci-dessous, les pixels non-identifiables de la première classification à cause de la fumée ont été remplacés par les pixels de la deuxième classification.

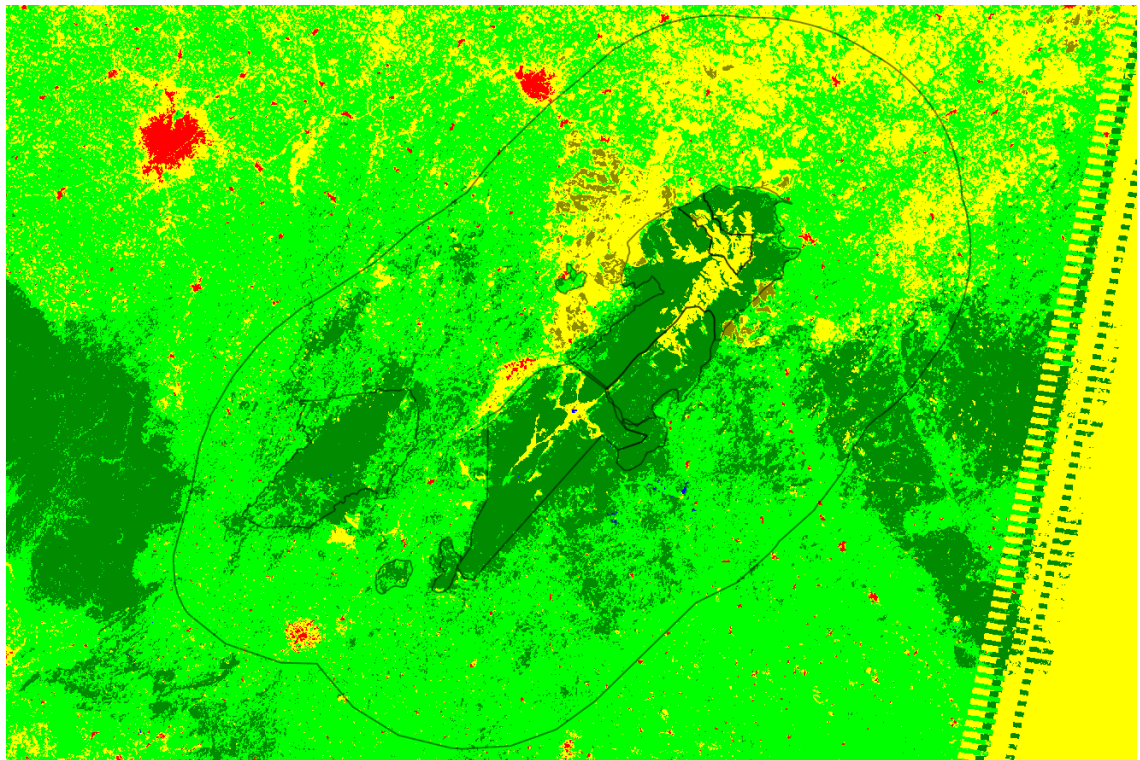


fig. 18 – Classification de l'image Landsat-5 acquise le 2007-01-08.

3.2.4.2 Qualification

Sur les ensembles d'apprentissage

La figure ci-dessous (fig. 19) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes des ensembles d'apprentissage et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification (fig. 20).

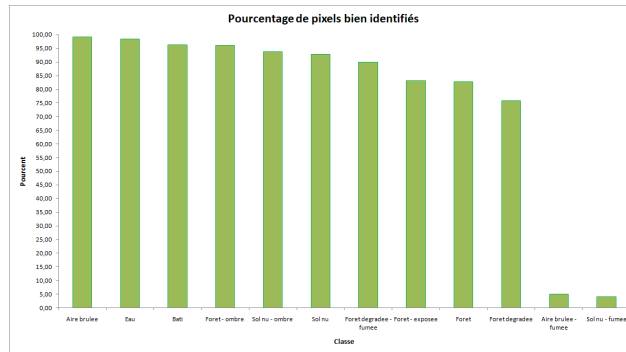


fig. 19 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 17) représente la matrice de confusion entre les classes des ensembles d'apprentissage de la deuxième classification et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification. Dans le premier tableau, la dernière case de chaque colonne indique le nombre total de pixels de cette classe inclus dans les ensembles d'apprentissage, et est colorée en rouge si ce nombre est inférieur à 30 pixels par classe. Dans le cas présent, le nombre de classes étant 12, le nombre minimum de pixels attendu par classe est 360 pixels.

Overall accuracy	=	19421 / 22956	=	84,6010 %
Mean accuracy	=	9,17209424 / 12	=	76,4341 %
Kappa coefficient	=	0,8136		

Cij	Référence (pixel)												C.j
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brulée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Dégradée	Forêt - exposée	Sol nu - fumée	Brulée - fumée	
Sol nu	5055	46	1	0	8	12	0	20	1	1	301	350	5795
Bati	286	1179	0	0	1	5	0	0	0	0	48	0	1519
Eau	0	0	357	2	0	0	1	0	0	0	0	0	360
Forêt	0	0	5	5122	407	0	0	0	23	32	0	5	5594
Forêt dégradée	15	0	0	696	3034	0	0	0	94	117	1	0	3957
Aire brûlée	4	0	0	0	0	2014	0	0	0	0	0	4	2022
Forêt - ombre	0	0	0	27	15	0	348	4	0	10	0	0	404
Sol nu - ombre	37	0	0	0	0	0	12	366	0	0	0	0	415
Forêt dégradée - fumée	41	0	0	26	284	0	0	0	1123	0	0	0	1474
Forêt - exposée	1	0	0	321	254	0	1	0	8	789	0	0	1374
Sol nu - fumée	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	15	0	23
Aire brûlée - fumée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	19
Cl.	5446	1225	363	6194	4004	2031	362	390	1249	949	365	378	22956

Cij/n	Référence (pourcent)												C.j/n
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brulée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Dégradée	Forêt - exposée	Sol nu - fumée	Brulée - fumée	
Sol nu	92,82	3,76	0,28	0,00	0,20	0,59	0,00	5,13	0,08	0,11	82,47	92,59	25,24
Bati	5,25	96,24	0,00	0,00	0,02	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	13,15	0,00	6,62
Eau	0,00	0,00	98,35	0,03	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,57
Forêt	0,00	0,00	1,38	82,69	10,16	0,00	0,00	0,00	1,84	3,37	0,00	1,32	24,37
Forêt dégradée	0,28	0,00	0,00	11,24	75,77	0,00	0,00	0,00	7,53	12,33	0,27	0,00	17,24
Aire brûlée	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	99,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06	8,81
Forêt - ombre	0,00	0,00	0,00	0,44	0,37	0,00	96,13	1,03	0,00	1,05	0,00	0,00	1,76
Sol nu - ombre	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,31	93,85	0,00	0,00	0,00	0,00	1,81
Forêt dégradée - fumée	0,75	0,00	0,00	0,42	7,09	0,00	0,00	0,00	89,91	0,00	0,00	0,00	6,42
Forêt - exposée	0,02	0,00	0,00	5,18	6,34	0,00	0,28	0,00	0,64	83,14	0,00	0,00	5,99
Sol nu - fumée	0,13	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	4,11	0,00	0,00	0,10
Aire brûlée - fumée	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,03	0,08
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cl./n	23,72%	5,34%	1,58%	26,98%	17,44%	8,85%	1,58%	1,70%	5,44%	4,13%	1,59%	1,65%	100%

fig. 20 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles d'apprentissage, en nombre de pixels et en pourcents.

Sur les ensembles de contrôle

La figure ci-dessous (fig. 21) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes des ensembles de contrôle et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification (fig. 22).

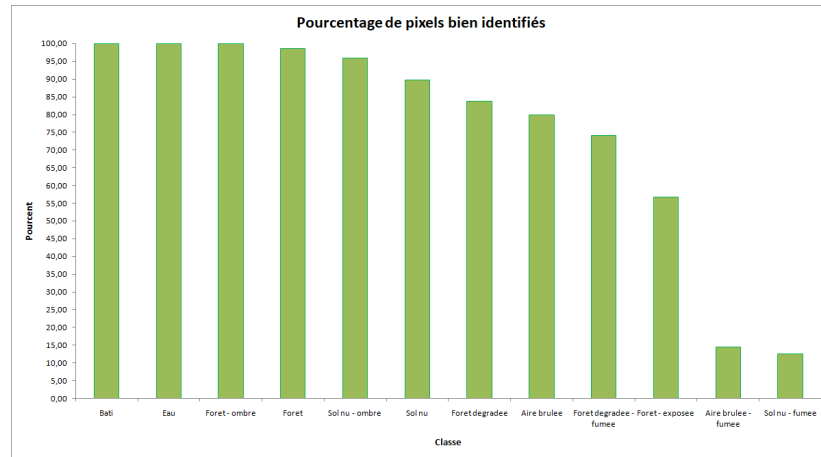


fig. 21 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles de contrôle.

La figure ci-dessous (fig. 22) représente la matrice de confusion entre les classes des ensembles de contrôle et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification. Dans le premier tableau, la dernière case de chaque colonne indique le nombre total de pixels de cette classe inclus dans les ensembles de contrôle, et est colorée en rouge si ce nombre est inférieur à 30 pixels par classe. Dans le cas présent, le nombre de classes étant 12, le nombre minimum de pixels attendu par classe est 360 pixels.

Overall accuracy	=	6320 / 7313	=	86,4214 %
Mean accuracy	=	9,05523154 / 12	=	75,4603 %
Kappa coefficient	=	0,8339		

Cij	Référence (pixel)												C.j
	Sol nu	Bati	Eau	Foret	foret degrad	Aire brulee	Foret - ombre	sol nu - ombre	degradee - fumee	foret - exposee	sol nu - fumee	brulee - fumee	
Sol nu	817	0	0	0	48	207	0	3	0	1	44	86	1206
Bati	0	431	0	0	2	0	0	0	0	0	38	0	471
Eau	0	0	127	2	0	0	0	0	0	0	0	0	129
Foret	0	0	0	2058	33	0	0	0	23	67	0	3	2184
Foret degradee	8	0	0	6	1460	0	0	0	69	42	0	0	1585
Aire brulee	36	0	0	0	0	820	0	0	0	0	0	0	856
Foret - ombre	0	0	0	12	0	0	79	1	0	0	0	0	92
Sol nu - ombre	11	0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	0	106
Foret degradee - fumee	39	0	0	10	140	0	0	0	262	0	1	0	452
Foret - exposee	0	0	0	0	58	0	0	0	0	144	0	0	202
Sol nu - fumee	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	12	0	15
Aire brulee - fumee	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15
Ci.	911	431	127	2088	1744	1027	79	99	354	254	95	104	7313

Cij/n	Référence (pourcent)												C.j/n
	Sol nu	Bati	Eau	Foret	foret degrad	Aire brulee	Foret - ombre	sol nu - ombre	degradee - fumee	foret - exposee	sol nu - fumee	brulee - fumee	
Sol nu	89,68	0,00	0,00	0,00	2,75	20,16	0,00	3,03	0,00	0,39	46,32	82,69	16,49
Bati	0,00	100,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,00	0,00	6,44
Eau	0,00	0,00	100,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,76
Foret	0,00	0,00	0,00	98,56	1,89	0,00	0,00	0,00	6,50	26,38	0,00	2,88	29,86
Foret degradee	0,88	0,00	0,00	0,29	83,72	0,00	0,00	0,00	19,49	16,54	0,00	0,00	21,67
Aire brulee	3,95	0,00	0,00	0,00	0,00	79,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,71
Foret - ombre	0,00	0,00	0,00	0,57	0,00	0,00	100,00	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,26
Sol nu - ombre	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,96	0,00	0,00	0,00	0,00	1,45
Foret degradee - fumee	4,28	0,00	0,00	0,48	8,03	0,00	0,00	0,00	74,01	0,00	1,05	0,00	6,18
Foret - exposee	0,00	0,00	0,00	0,00	3,33	0,00	0,00	0,00	0,00	56,69	0,00	0,00	2,76
Sol nu - fumee	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,63	0,00	0,21
Aire brulee - fumee	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,42	0,21
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	12,46%	5,89%	1,74%	28,55%	23,85%	14,04%	1,08%	1,35%	4,84%	3,47%	1,30%	1,42%	100%

fig. 22 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles de contrôle, en nombre de pixels et en pourcents.

“ Ce document contient des informations pour lesquelles VisioTerra se réserve tous les droits de propriété. Les destinataires de ce document ne sont pas autorisés à dupliquer, utiliser ou diffuser tout ou partie de ce document en dehors de l’accomplissement des tâches pour lesquelles ce document leur a été délivré. ”

Les confusions notables sont entre les classes :

- (Sol nu) et (Forêt dégradée – fumée)
- (Aire brûlée et Sol nu)
- (Forêt dégradée – fumée) et (Forêt) et (Forêt dégradée)
- (Forêt – exposée) et (Forêt) et (Forêt dégradée)
- (Sol nu – fumée) et (Sol nu) et (Bâti)
- (Aire brûlée – fumée) et (Sol nu)

3.2.5 2014

3.2.5.1 Classification

L'image ci-dessous (fig. 23) est la classification par maximum de vraisemblance sur l'image Landsat-8 acquise le 2013-12-10 à 10:40:58.

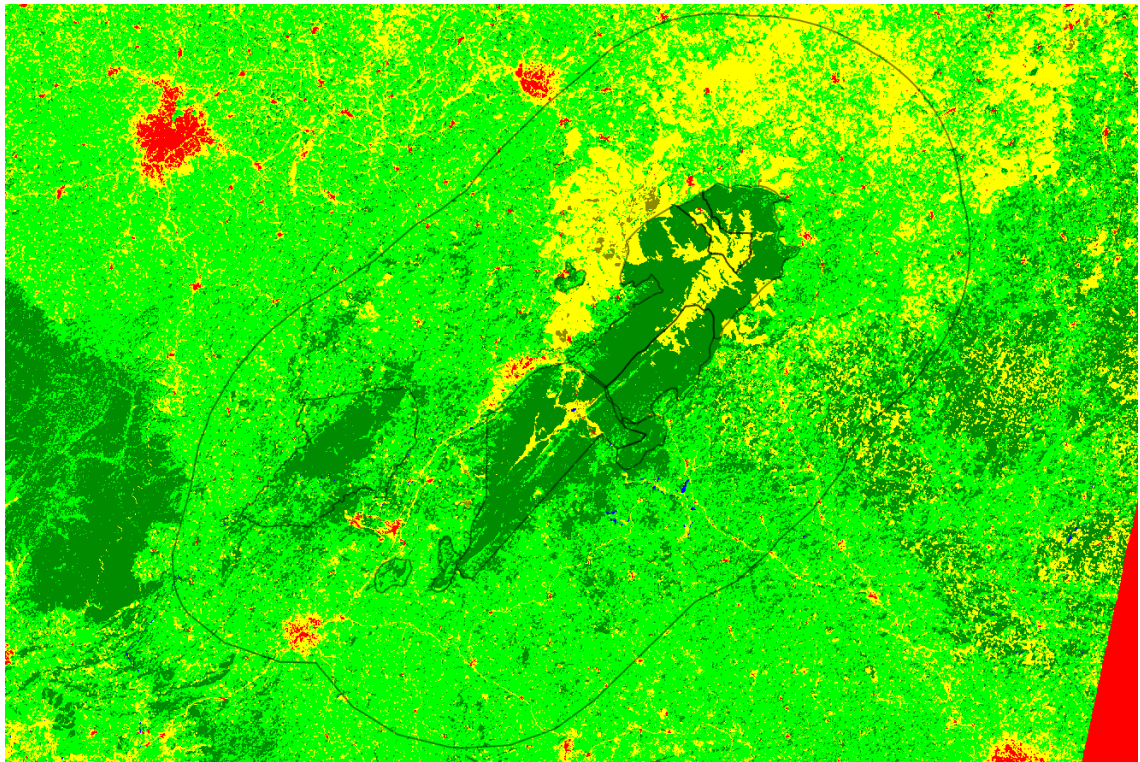


fig. 23 – Classification de l'image Landsat-8 acquise le 2013-12-10.

3.2.5.2 Qualification

Sur les ensembles d'apprentissage

La figure ci-dessous (fig. 24) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes des ensembles d'apprentissage et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification (fig. 25).

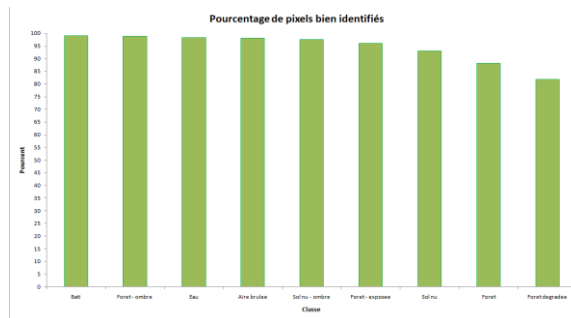


fig. 24 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 25) représente la matrice de confusion entre les classes des ensembles d'apprentissage et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification. Dans le premier tableau, la dernière case de chaque colonne indique le nombre total de pixels de cette classe inclus dans les ensembles d'apprentissage, et est colorée en rouge si ce nombre est inférieur à 30 pixels par classe. Dans le cas présent, le nombre de classes étant 9, le nombre minimum de pixels attendu par classe est 270 pixels.

Overall accuracy	=	15461 / 17132	=	90,2463 %
Mean accuracy	=	8,50536581 / 9	=	94,5041 %
Kappa coefficient	=	0,8727		

Cij	Référence (pixel)									C.j
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt ombre	Sol nu - ombre	Forêt - exposé	
Sol nu	4403	10	1	14	94	24	0	0	0	4546
Bati	75	1041	0	0	0	4	0	0	0	1120
Eau	0	0	393	0	0	0	0	0	0	393
Forêt	0	0	1	3754	414	0	3	0	8	4180
Forêt dégradée	257	0	0	289	3404	0	0	0	10	3960
Aire brûlée	0	0	5	0	0	1423	0	0	0	1428
Forêt - ombre	0	0	0	28	0	0	418	5	0	451
Sol nu - ombre	0	0	0	0	0	0	2	197	0	199
Forêt - exposée	0	0	0	173	254	0	0	0	428	855
Ci.	4735	1051	400	4258	4166	1451	423	202	446	17132

Cij/n	Référence (pourcent)									C.j/n
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt ombre	Sol nu - ombre	Forêt - exposé	
Sol nu	92,99	0,95	0,25	0,33	2,26	1,65	0,00	0,00	0,00	26,54
Bati	1,58	99,05	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	6,54
Eau	0,00	0,00	98,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29
Forêt	0,00	0,00	0,25	88,16	9,94	0,00	0,71	0,00	1,79	24,40
Forêt dégradée	5,43	0,00	0,00	6,79	81,71	0,00	0,00	0,00	2,24	23,11
Aire brûlée	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	98,07	0,00	0,00	0,00	8,34
Forêt - ombre	0,00	0,00	0,00	0,66	0,00	0,00	98,82	2,48	0,00	2,63
Sol nu - ombre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	97,52	0,00	1,16
Forêt - exposée	0,00	0,00	0,00	4,06	6,10	0,00	0,00	0,00	95,96	4,99
Total colonne	100	100	100	100	100,01	100	100	100	99,99	100,00
Ci./n	27,64%	6,13%	2,33%	24,85%	24,32%	8,47%	2,47%	1,18%	2,60%	100%

fig. 25 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles d'apprentissage, en nombre de pixels et en pourcents.

Sur les ensembles de contrôle

La figure ci-dessous (fig. 26) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes des ensembles de contrôle et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification (fig. 27).

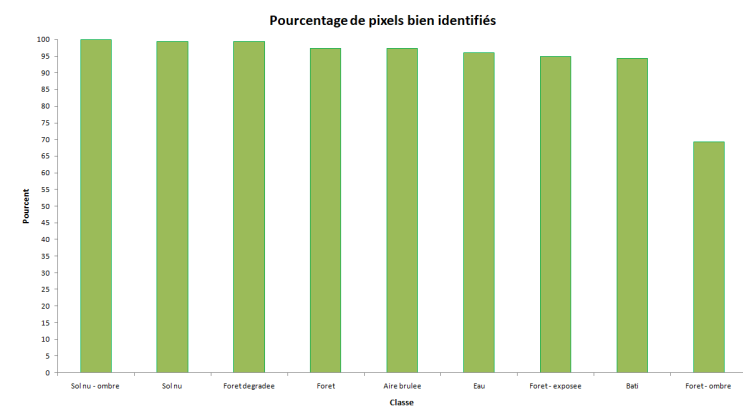


fig. 26 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles de contrôle.

La figure ci-dessous (fig. 27) représente la matrice de confusion entre les classes des ensembles de contrôle et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification. Dans le premier tableau, la dernière case de chaque colonne indique le nombre total de pixels de cette classe inclus dans les ensembles de contrôle, et est colorée en rouge si ce nombre est inférieur à 30 pixels par classe. Dans le cas présent, le nombre de classes étant 9, le nombre minimum de pixels attendu par classe est 270 pixels.

Overall accuracy	=	7513 / 7713	=	97,4070 %
Mean accuracy	=	8,47823995 / 9	=	94,2027 %
Kappa coefficient	=	0,9636		

Cij	Référence (pixel)									C.j
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégrad	Aire brûlée	Forêt ombre	Sol nu - ombre	Forêt - exposée	
Sol nu	3002	35	0	4	4	14	0	0	0	3059
Bati	12	589	6	0	0	0	0	0	0	607
Eau	0	0	146	0	0	0	0	0	0	146
Forêt	1	0	0	1584	5	0	66	0	3	1659
Forêt dégradée	6	0	0	37	1332	0	0	0	5	1380
Aire brûlée	0	0	0	0	0	491	0	0	0	491
Forêt - ombre	0	0	0	1	0	0	148	0	0	149
Sol nu - ombre	0	0	0	0	0	0	0	71	0	71
Forêt - exposée	0	0	0	1	0	0	0	0	150	151
Ci.	3021	624	152	1627	1341	505	214	71	158	7713

Cij/n	Référence (pourcent)									C.j/n
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégrad	Aire brûlée	Forêt ombre	Sol nu - ombre	Forêt - exposée	
Sol nu	99,37	5,61	0,00	0,25	0,30	2,77	0,00	0,00	0,00	39,66
Bati	0,40	94,39	3,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,87
Eau	0,00	0,00	96,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,89
Forêt	0,03	0,00	0,00	97,36	0,37	0,00	30,84	0,00	1,90	21,51
Forêt dégradée	0,20	0,00	0,00	2,27	99,33	0,00	0,00	0,00	3,16	17,89
Aire brûlée	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	97,23	0,00	0,00	0,00	6,37
Forêt - ombre	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	69,16	0,00	0,00	1,93
Sol nu - ombre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,92
Forêt - exposée	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	94,94	1,96
Total colonne	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00
Ci./n	39,17%	8,09%	1,97%	21,09%	17,39%	6,55%	2,77%	0,92%	2,05%	100%

fig. 27 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles de contrôle, en nombre de pixels et en pourcents.

Les confusions notables sont entre les classes :

- (Bâti) et (Sol nu)
- (Eau) et (Bâti)
- (Forêt – ombre) et (Forêt)
- (Forêt – exposée) et (Forêt dégradée)

3.2.6 2020 – Sentinel-2

3.2.6.1 Classification

L'image ci-dessous (fig. 28) est la classification par maximum de vraisemblance sur l'image Sentinel-2 acquise le 2020-01-11 à 10:54:21.

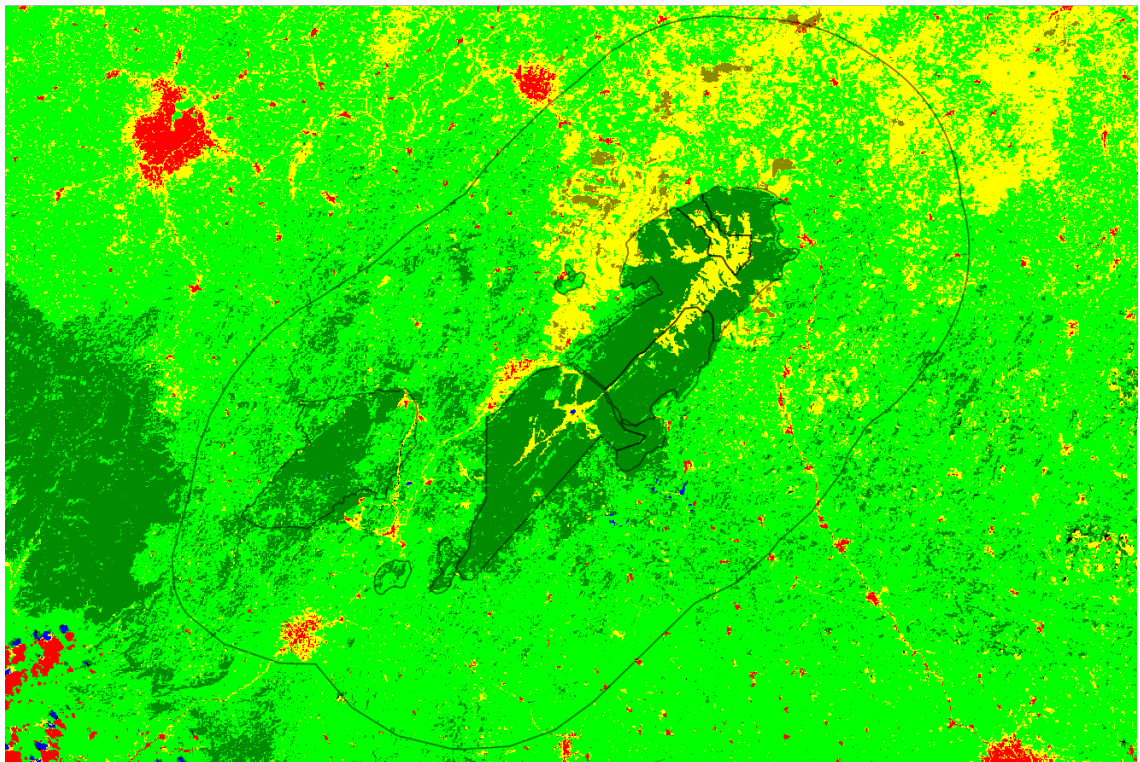


fig. 28 – Classification de l'image Landsat-8 acquise le 2020-01-11.

3.2.6.2 Qualification

Sur les ensembles d'apprentissage

La figure ci-dessous (fig. 29) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes des ensembles d'apprentissage et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification (fig. 30).

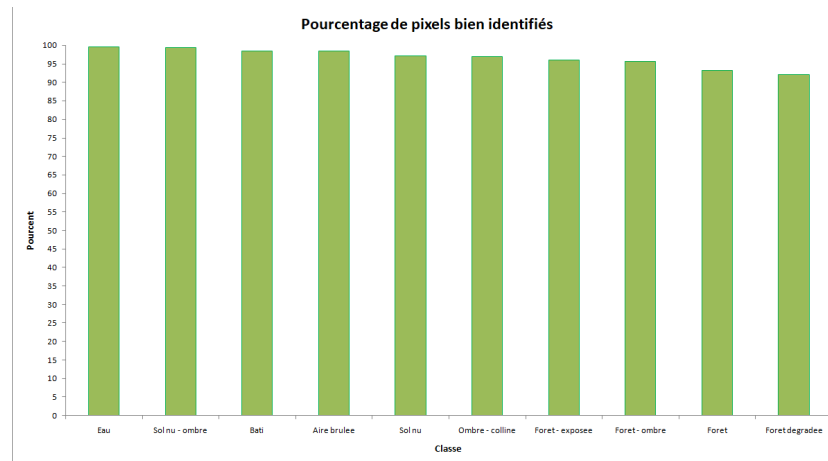


fig. 29 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 30) représente la matrice de confusion entre les classes des ensembles d'apprentissage et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification.

Overall accuracy	=	195138 / 203867	=	95,7183 %
Mean accuracy	=	9,66704459 / 10	=	96,6704 %
Kappa coefficient	=	0,9471		

Cij	Référence (pixel)										C.j
Classe j (classifié)	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Ombre - colline	Forêt - exposée	
Sol nu	52922	154	0	1	78	440	2	25	4	0	53626
Bati	1406	9692	0	0	0	217	0	1	0	0	11316
Eau	0	0	2946	0	0	0	0	0	4	0	2950
Forêt	0	0	2	39971	1007	0	136	0	3	47	41166
Forêt dégradée	6	0	0	962	35401	0	0	0	0	65	36434
Aire brûlée	0	0	0	0	0	40127	0	0	2	0	40129
Forêt - ombre	0	0	0	1409	2	0	5891	2	30	2	7336
Sol nu - ombre	132	0	0	0	0	0	23	4009	3	0	4167
Ombre - colline	0	0	13	0	0	0	111	0	1436	0	1560
Forêt - exposée	1	0	0	509	1930	0	0	0	0	2743	5183
Ci.	54467	9846	2961	42852	38418	40784	6163	4037	1482	2857	203867

Cij/n	Référence (pourcent)										C.j/n
Classe j (classifié)	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Ombre - colline	Forêt - exposée	
Sol nu	97,16	1,56	0,00	0,00	0,20	1,08	0,03	0,62	0,27	0,00	26,30
Bati	2,58	98,44	0,00	0,00	0,00	0,53	0,00	0,02	0,00	0,00	5,55
Eau	0,00	0,00	99,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	1,45
Forêt	0,00	0,00	0,07	93,28	2,62	0,00	2,21	0,00	0,20	1,65	20,19
Forêt dégradée	0,01	0,00	0,00	2,24	92,15	0,00	0,00	0,00	0,00	2,28	17,87
Aire brûlée	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,39	0,00	0,00	0,13	0,00	19,68
Forêt - ombre	0,00	0,00	0,00	3,29	0,01	0,00	95,59	0,05	2,02	0,07	3,60
Sol nu - ombre	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	99,31	0,20	0,00	2,04
Ombre - colline	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	96,90	0,00	0,77
Forêt - exposée	0,00	0,00	0,00	1,19	5,02	0,00	0,00	0,00	0,00	96,01	2,54
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	26,72%	4,83%	1,45%	21,02%	18,84%	20,01%	3,02%	1,98%	0,73%	1,40%	100%

fig. 30 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles d'apprentissage, en nombre de pixels et en pourcents.

Sur les ensembles de contrôle

La figure ci-dessous (fig. 31) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes des ensembles de contrôle et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification (fig. 32).

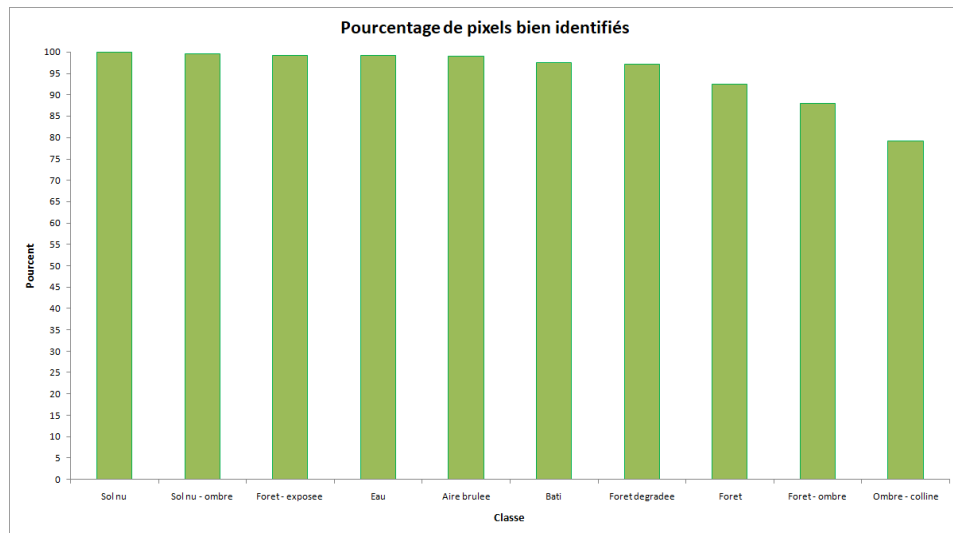


fig. 31 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles de contrôle.

La figure ci-dessous (fig. 32) représente la matrice de confusion entre les classes des ensembles de contrôle et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification.

Overall accuracy	=	69207 / 71572	=	96,6956 %
Mean accuracy	=	9,51236504 / 10	=	95,1237 %
Kappa coefficient	=	0,9595		

Cij	Référence (pixel)										
Classe j (classifié)	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Ombre - colline	Forêt - exposé	C.j
Sol nu	17956	123	1	0	5	125	1	0	16	0	18227
Bati	0	4755	0	0	1	1	0	0	0	0	4757
Eau	0	0	1005	0	0	0	0	0	3	0	1008
Forêt	0	0	6	16262	309	0	41	0	3	7	16628
Forêt dégradée	0	0	0	672	10520	0	0	0	0	5	11197
Aire brûlée	0	0	0	0	0	12899	0	0	0	0	12899
Forêt - ombre	0	0	0	392	0	0	2453	5	92	0	2942
Sol nu - ombre	3	0	0	0	0	0	213	1324	6	0	1546
Ombre - colline	0	0	2	0	0	0	81	0	457	0	540
Forêt - exposée	0	0	0	252	0	0	0	0	0	1576	1828
Ci.	17959	4878	1014	17578	10835	13025	2789	1329	577	1588	71572

Cij/n	Référence (pourcent)										
Classe j (classifié)	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Ombre - colline	Forêt - exposé	C.j/n
Sol nu	99,98	2,52	0,10	0,00	0,05	0,96	0,04	0,00	2,77	0,00	25,47
Bati	0,00	97,48	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	6,65
Eau	0,00	0,00	99,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	1,41
Forêt	0,00	0,00	0,59	92,51	2,85	0,00	1,47	0,00	0,52	0,44	23,23
Forêt dégradée	0,00	0,00	0,00	3,82	97,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	15,64
Aire brûlée	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,03	0,00	0,00	0,00	0,00	18,02
Forêt - ombre	0,00	0,00	0,00	2,23	0,00	0,00	87,95	0,38	15,94	0,00	4,11
Sol nu - ombre	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,64	99,62	1,04	0,00	2,16
Ombre - colline	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	2,90	0,00	79,20	0,00	0,75
Forêt - exposée	0,00	0,00	0,00	1,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,24	2,55
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	25,09%	6,82%	1,42%	24,56%	15,14%	18,20%	3,90%	1,86%	0,81%	2,22%	100%

fig. 32 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles de contrôle, en nombre de pixels et en pourcents.

Les confusions notables sont entre les classes :

- (Forêt) et (Forêt dégradée)
- (Forêt – ombre) et (Sol nu – ombre)
- (Ombre – colline) et (Sol nu – ombre)

3.2.7 2020 – Landsat-8

3.2.7.1 Classification

L'image ci-dessous (fig. 33) est la classification par maximum de vraisemblance sur l'image Landsat-8 acquise le 2020-01-12 à 10:40:58. Les ensembles d'apprentissage de la classification Sentinel-2 ci-dessus ont été importés pour servir d'ensembles d'apprentissage à cette classification pour faciliter la comparaison entre les deux classifications.

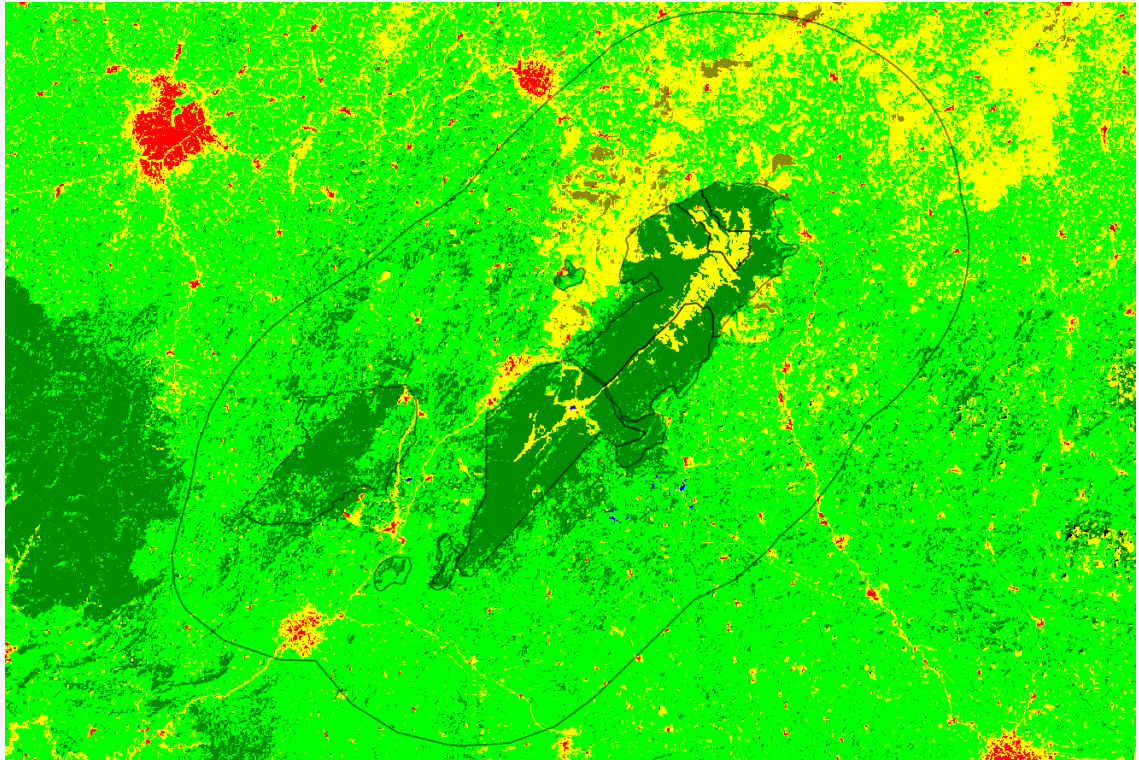


fig. 33 – Classification de l'image Landsat-8 acquise le 2020-01-12.

3.2.7.2 Qualification

Sur les ensembles d'apprentissage

La figure ci-dessous (fig. 34) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes des ensembles d'apprentissage et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification (fig. 35).

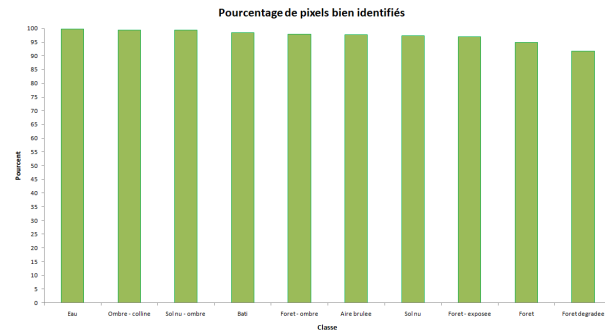


fig. 34 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 35) représente la matrice de confusion entre les classes des ensembles d'apprentissage et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification. Dans le premier tableau, la dernière case de chaque colonne indique le nombre total de pixels de cette classe inclus dans les ensembles d'apprentissage, et est colorée en rouge si ce nombre est inférieur à 30 pixels par classe. Dans le cas présent, le nombre de classes étant 10, le nombre minimum de pixels attendu par classe est 300 pixels.

Overall accuracy	=	21986 / 22907	=	95,9794 %
Mean accuracy	=	9,73104417 / 10	=	97,3104 %
Kappa coefficient	=	0,9503		

Cij	Référence (pixel)										C.j
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brulée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	ombre - colline	Forêt - exposée	
Sol nu	5969	18	1	0	12	78	2	3	0	0	6083
Bati	138	1064	0	0	0	29	0	0	0	0	1231
Eau	0	0	326	0	0	0	0	0	0	0	326
Forêt	0	0	0	4584	168	0	9	0	1	1	4763
Forêt dégradée	1	0	0	109	3864	0	0	0	0	9	3983
Aire brulée	0	0	0	0	0	4501	0	0	0	0	4501
Forêt - ombre	0	0	0	115	0	0	708	0	0	0	823
Sol nu - ombre	24	0	0	0	0	0	0	470	0	0	494
Ombre - colline	0	0	0	0	0	0	5	0	179	0	184
Forêt - exposée	0	0	0	24	174	0	0	0	0	321	519
Ci.	6132	1082	327	4832	4218	4608	724	473	180	331	22907

Cij/n	Référence (pourcent)										C.j/n
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brulée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	ombre - colline	Forêt - exposée	
Sol nu	97,34	1,66	0,31	0,00	0,28	1,69	0,28	0,63	0,00	0,00	26,56
Bati	2,25	98,34	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	5,37
Eau	0,00	0,00	99,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,42
Forêt	0,00	0,00	0,00	94,87	3,98	0,00	1,24	0,00	0,56	0,30	20,79
Forêt dégradée	0,02	0,00	0,00	2,26	91,61	0,00	0,00	0,00	0,00	2,72	17,39
Aire brulée	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	97,68	0,00	0,00	0,00	0,00	19,65
Forêt - ombre	0,00	0,00	0,00	2,38	0,00	0,00	97,79	0,00	0,00	0,00	3,59
Sol nu - ombre	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,37	0,00	0,00	2,16
Ombre - colline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	99,44	0,00	0,80
Forêt - exposée	0,00	0,00	0,00	0,50	4,13	0,00	0,00	0,00	0,00	96,98	2,27
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	26,77%	4,72%	1,43%	21,09%	18,41%	20,12%	3,16%	2,06%	0,79%	1,44%	100%

fig. 35 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles d'apprentissage, en nombre de pixels et en pourcents.

Sur les ensembles de contrôle

La figure ci-dessous (fig. 36) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes des ensembles de contrôle et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification (fig. 37).

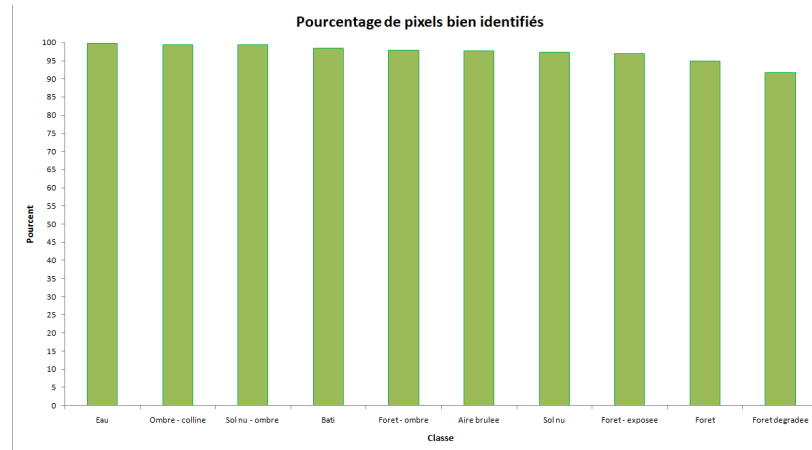


fig. 36 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe sur les ensembles de contrôle.

La figure ci-dessous (fig. 37) représente la matrice de confusion entre les classes des ensembles de contrôle et les classes assignés aux pixels dans ces ensembles par la classification. Dans le premier tableau, la dernière case de chaque colonne indique le nombre total de pixels de cette classe inclus dans les ensembles de contrôle, et est colorée en rouge si ce nombre est inférieur à 30 pixels par classe. Dans le cas présent, le nombre de classes étant 10, le nombre minimum de pixels attendu par classe est 300 pixels.

Overall accuracy	=	7764 / 8016	=	96,8563 %
Mean accuracy	=	9,55945204 / 10	=	95,5945 %
Kappa coefficient	=	0,9614		

Cij	Référence (pixel)										C.j
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Ombre - colline	Forêt - exposée	
Sol nu	2009	20	9	0	1	8	0	1	2	0	2050
Bati	0	527	0	0	0	0	0	0	0	0	527
Eau	0	0	112	0	0	0	0	0	0	0	112
Forêt	0	0	0	1815	45	0	11	0	0	1	1872
Forêt dégradée	0	0	0	74	1169	0	0	0	0	0	1243
Aire brûlée	0	0	0	0	0	1470	0	0	0	0	1470
Forêt - ombre	0	0	0	27	0	0	273	0	3	0	303
Sol nu - ombre	7	0	0	0	0	0	31	146	0	0	184
Ombre - colline	0	0	1	0	0	0	0	0	65	0	66
Forêt - exposée	0	0	0	11	0	0	0	0	0	178	189
Ci.	2016	547	122	1927	1215	1478	315	147	70	179	8016

Cij/n	Référence (pourcent)										C.j/n
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Ombre - colline	Forêt - exposée	
Sol nu	99,65	3,66	7,38	0,00	0,08	0,54	0,00	0,68	2,86	0,00	25,57
Bati	0,00	96,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,57
Eau	0,00	0,00	91,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40
Forêt	0,00	0,00	0,00	94,19	3,70	0,00	3,49	0,00	0,00	0,56	23,35
Forêt dégradée	0,00	0,00	0,00	3,84	96,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,51
Aire brûlée	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,46	0,00	0,00	0,00	0,00	18,34
Forêt - ombre	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	86,67	0,00	4,29	0,00	3,78
Sol nu - ombre	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,84	99,32	0,00	0,00	2,30
Ombre - colline	0,00	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,86	0,00	0,82
Forêt - exposée	0,00	0,00	0,00	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,44	2,36
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	25,15%	6,82%	1,52%	24,04%	15,16%	18,44%	3,93%	1,83%	0,87%	2,23%	100%

fig. 37 – Matrice de confusion et statistiques de précision sur les ensembles de contrôle, en nombre de pixels et en pourcents.

Les confusions notables sont entre les classes :

- (Bâti) et (Sol nu)
- (Eau) et (Sol nu)
- (Forêt) et (Forêt dégradée)
- (Forêt – ombre) et (Forêt) et (Sol nu – ombre)
- (Ombre – colline) et (Sol nu – ombre)

3.2.8 Conclusion

Les diminutions des forêts denses sont très remarquables en dehors des forêts communautaires et parcs naturels, avec la disparition complète de la zone de forêt dense à l'est de notre aire d'intérêt.

Les tableaux ci-dessous (table 2, table 3) listent les différentes grandeurs que l'on a calculées pour évaluer les classifications par rapport aux ensembles d'apprentissage et de contrôle.

	2002-01-18	2007-01-08	2013-12-10	2020-01-11	2020-01-12
Précision globale	95,37 %	84,60 %	90,25%	95,72 %	95,98 %
Précision moyenne	95,29 %	76,43 %	94,50 %	96,67 %	97,31 %
Coefficient kappa	0,9423	0,8136	0,8727	0,9471	0,9503

table 2 – Liste des statistiques de précision par rapport aux ensembles d'apprentissage.

	2002-01-18	2007-01-08	2013-12-10	2020-01-11	2020-01-12
Précision globale	97,12 %	86,42%	97,41 %	96,70 %	96,86 %
Précision moyenne	93,47 %	75,46%	94,20 %	95,12 %	95,59 %
Coefficient kappa	0,9649	0,8339	0,9636	0,9595	0,9614

table 3 – Liste des statistiques de précision par rapport aux ensembles de contrôle.

Les confusions que l'on retrouve le plus souvent sont entre :

- Les classes (Sol nu) et (Bâti)
- Les classes (Forêt) et (Forêt dégradée)
- Les diverses classes utilisées pour gérer les zones d'ombre

On remarque que la précision moyenne diminue alors que les autres statistiques augmentent, lors du passage des ensembles d'apprentissage aux ensembles de contrôle. Il est à noter que le nombre de pixels dans les ensembles de contrôle est environs le tiers du nombre de pixels dans les ensembles d'apprentissage et donc que les classes les plus rares dans notre aire d'intérêt sont potentiellement sous-représentées.

La classification sur ce paysage a présenté des difficultés parce qu'il se situe dans un environnement tropical et est donc sensible à la présence de nuages ou de fumée due aux feux. L'important relief a aussi imposé la création de nouvelles classes qui ont parfois introduit davantage de confusion entre les classes.

3.3 Comparaison des classifications issues de Landsat-8 et de Sentinel-2

Les images Landsat ont une résolution spatiale de 30 m alors que celles de Sentinel-2 est de 10 m (visible et proche infrarouge) ou 20 m (moyen infrarouge). La classification Sentinel-2 est à 10 m contre la classification Landsat à 30 m. On cherche dans cette section à évaluer les différences entre ces deux classifications afin d'évaluer la pertinence d'utiliser de manière indifférenciée aussi bien des données Landsat que des données Sentinel-2 dans des classifications sur de longues périodes.

3.3.1 Description de l'algorithme

L'objectif est de calculer une matrice de confusion Landsat-8 / Sentinel-2 en comparant pour chaque pixel de la classification Landsat-8 le pixel homologue dans l'image de la classification Sentinel-2.

On adoptera deux stratégies :

- **Résolution 30m** – en comparant la classe du pixel Landsat à la classe majoritaire dans une matrice 3x3 centrée sur le pixel homologue dans l'image de classification Sentinel-2.
- **Résolution 10m** – en comparant 9 fois la classe du même pixel Landsat à chacun des 9 pixels homologues dans l'image de la classification Sentinel-2.

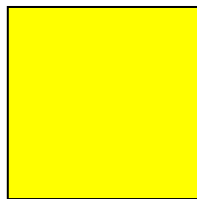
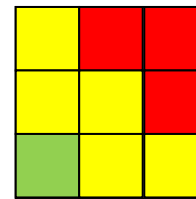


fig. 38 – Pixel Landsat-8,



pixel Sentinel-2



et voisinage de pixels Sentinel-2.

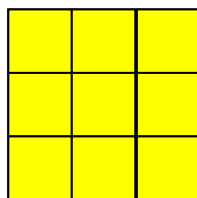
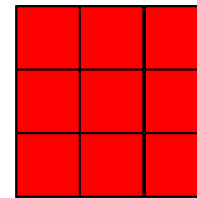


fig. 39 – Reclassification à la première classe majoritaire, et à la deuxième class majoritaire.



3.3.1.1 Script Python

Les classifications réalisées sur les acquisitions Landsat-8 et Sentinel-2 du 11 et 12 janvier 2020 sont traitées par un algorithme programmé en Python afin de les comparer. L'environnement de développement utilisé ici est PyCharm.

3.3.1.2 Input

L'algorithme prend en entrée deux classifications : -une classification à résolution 30m x 30m, basée sur l'image Landsat-8 et -une classification à résolution 10m x 10m, basée sur l'image Sentinel-2.

3.3.1.3 Code de l'algorithme

L'algorithme suit les étapes suivantes :

- Parcourir chaque pixel de la classification 30m par une double boucle sur les lignes et les colonnes.
- Pour chaque pixel 30m, l'algorithme retrouve le pixel homologue dans la classification à 10m.
 - Il parcourt ensuite le pixel 10m et ses 8 voisins, dans un voisinage 3 pixels x 3 pixels.
 - Si aucun des pixels de ce voisinage ne fait partie du background, alors il note la classe du pixel 30m et la classe du pixel 10m qu'il parcourt actuellement et incrémente le coefficient de la matrice de confusion correspondant à l'intersection de ces deux classes. Ainsi, chaque pixel 30m est apparié à 9 pixels à 10m, ce qui crée 9 entrées dans la matrice de confusion.
- On cherche la classe majoritaire dans ce voisinage de ce voisinage 3 pixels x 3 pixels et on applique à la classification à 30m la classe majoritaire de la classification à 10m.
- L'algorithme calcule aussi la matrice de confusion entre la classification d'origine à 30m d'entrée et la nouvelle classification à 30m obtenue à partir de la classification 10m d'entrée.

3.3.1.4 Output

A la fin du traitement, l'algorithme enregistre les deux matrices de confusion aux résolutions 10m et 30m en format .csv. Ensuite, pour chaque classe de la classification, il enregistre deux fichiers .tif :

- l'un contenant la n-ième classe majoritaire pour chaque pixel 30m
- l'autre contenant le pourcentage de présence de cette classe dans le pixel 30m respectif.

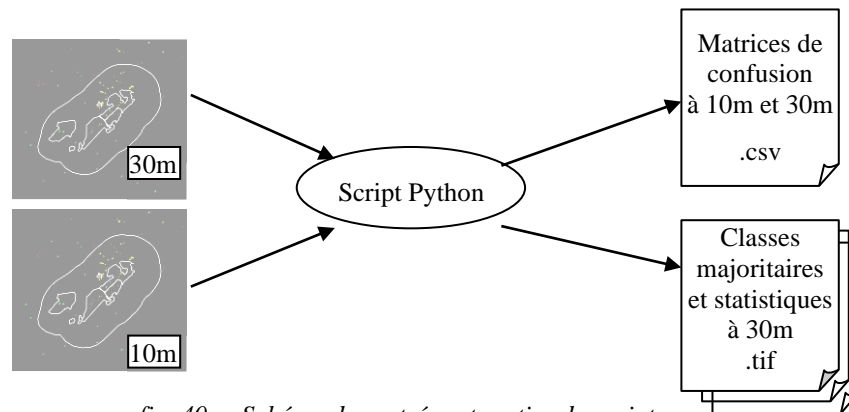


fig. 40 – Schéma des entrées et sorties du script.

3.3.2 Etude au niveau de l'ensemble d'apprentissage

3.3.2.1 Résolution à 10m

Les figures ci-dessous (fig. 41) montrent les classifications des images Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 à leur résolution native respective, masquées pour ne montrer que les ensembles d'apprentissage.

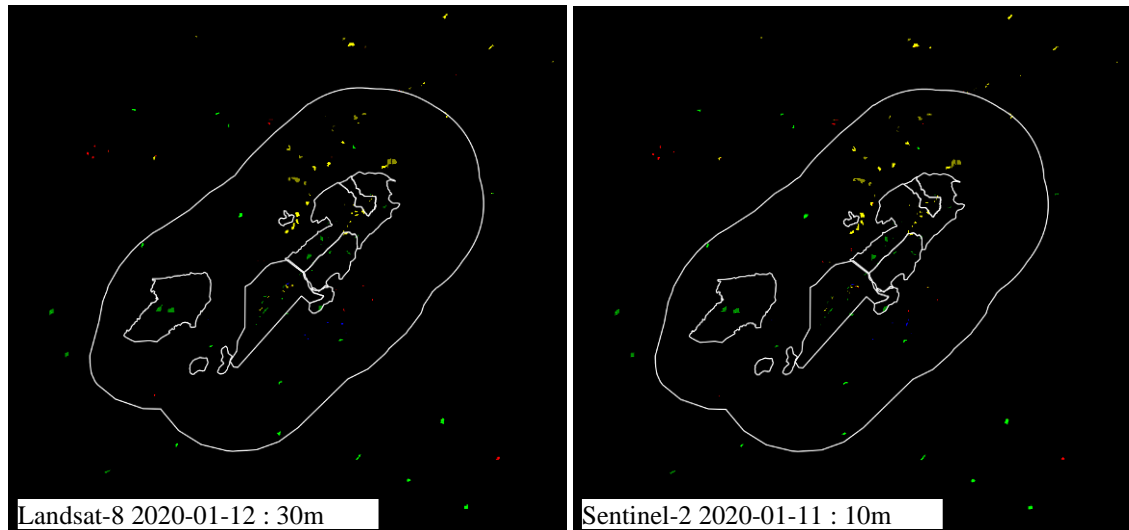


fig. 41 – Classifications des images Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 à leur résolution native de 30m x 30m et 10m x 10m, masquées pour ne montrer que les ensembles d'apprentissage.

Dans ce qui suit, la comparaison entre les deux classifications (voir la liste des classes en table 1) est opérée :

- sur les **classes majeures** – comprenant (Eau), (Aire brûlée), (Sol nu), (Ombre – colline), (Forêt), (Forêt dégradée) et (Eau)
- sur les **sous-classes** – comprenant les classes précédentes et les variantes (Sol nu – ombre), (Forêt – exposée) et (Forêt – ombre).

Sur les classes majeures

La figure ci-dessous (fig. 42) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 avant le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 10m (fig. 43).

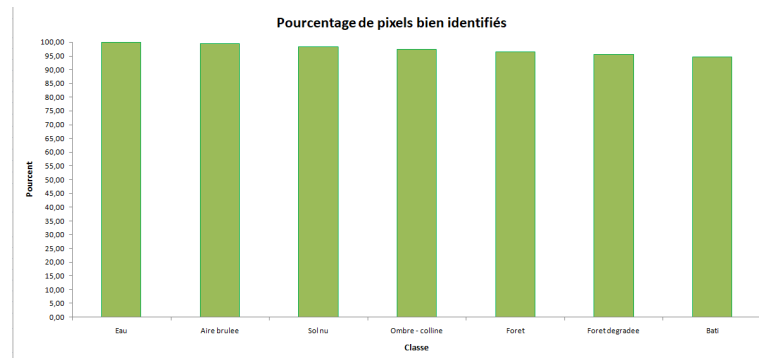


fig. 42 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 10m sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 43) représente la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 avant le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 10m.

Overall accuracy	=	169894 / 174456	=	97,3850 %
Mean accuracy	=	6,81936971 / 7	=	97,4196 %
Kappa coefficient	=	0,9661		

Cij	Référence (pixel)							C.j
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégrad	Aire brûlée	mbre - collin	
Sol nu	47862	426	0	1	44	134	1	48468
Bati	552	8130	0	0	0	35	0	8717
Eau	9	0	1952	0	0	0	1	1962
Forêt	10	0	0	45448	1341	0	17	46816
Forêt dégradée	51	0	0	1581	30151	0	0	31783
Aire brûlée	250	30	0	0	0	35579	1	35860
Ombre - colline	1	0	1	76	0	0	772	850
Ci.	48735	8586	1953	47106	31536	35748	792	174456

Cij/n	Référence (pourcent)							C.j/n
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégrad	Aire brûlée	mbre - collin	
Sol nu	98,21	4,96	0,00	0,00	0,14	0,37	0,13	27,78
Bati	1,13	94,69	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	5,00
Eau	0,02	0,00	99,95	0,00	0,00	0,00	0,13	1,12
Forêt	0,02	0,00	0,00	96,48	4,25	0,00	2,15	26,84
Forêt dégradée	0,10	0,00	0,00	3,36	95,61	0,00	0,00	18,22
Aire brûlée	0,51	0,35	0,00	0,00	0,00	99,53	0,13	20,56
Ombre - colline	0,00	0,00	0,05	0,16	0,00	0,00	97,47	0,49
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	27,94%	4,92%	1,12%	27,00%	18,08%	20,49%	0,45%	100%

fig. 43 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 10m sur les ensembles d'apprentissage.

Sur les sous-classes

La figure ci-dessous (fig. 44) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 avant le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 10m (fig. 45).

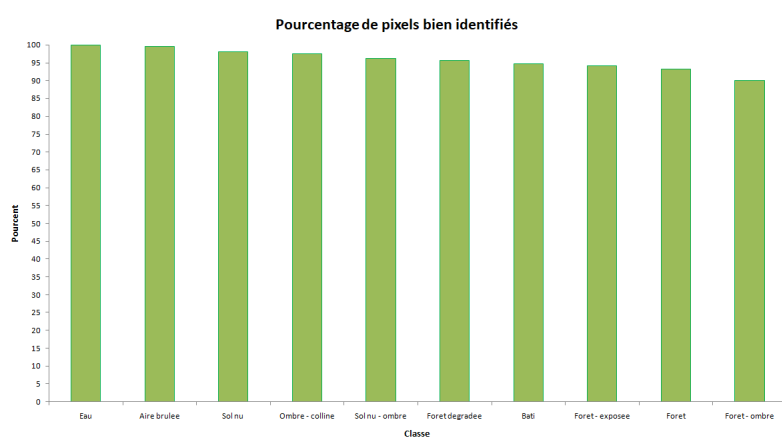


fig. 44 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 10m sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 45) représente la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 avant le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 10m.

Overall accuracy	=	168085 / 174456	=	96,3481 %
Mean accuracy	=	9,58829409 / 10	=	95,8829 %
Kappa coefficient	=	0,9546		

Cij	Référence (pixel)										C.j
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Ombre - colline	Forêt - exposée	
Sol nu	45090	426	0	1	44	134	0	103	0	0	45798
Bati	552	8130	0	0	0	35	0	0	0	0	8717
Eau	9	0	1772	0	0	0	0	0	1	0	1782
Forêt	0	0	0	36034	1069	0	412	0	0	139	37654
Forêt dégradée	51	0	0	1512	30151	0	2	0	0	67	31783
Aire brûlée	250	30	0	0	0	35579	0	0	1	0	35860
Forêt - ombre	10	0	0	782	3	0	4415	0	17	2	5229
Sol nu - ombre	27	0	0	0	0	0	0	2642	1	0	2670
Ombre - colline	1	0	1	0	0	0	76	0	772	0	850
Forêt - exposée	0	0	0	344	269	0	0	0	0	3320	3933
Ci.	45990	8586	1773	38673	31536	35748	4905	2745	792	3528	174276

Cij/n	Référence (pourcent)										C.j/n
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Ombre - colline	Forêt - exposée	
Sol nu	98,04	4,96	0,00	0,00	0,14	0,37	0,00	3,75	0,00	0,00	26,25
Bati	1,20	94,69	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
Eau	0,02	0,00	99,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	1,12
Forêt	0,00	0,00	0,00	93,18	3,39	0,00	8,40	0,00	0,00	3,94	21,58
Forêt dégradée	0,11	0,00	0,00	3,91	95,61	0,00	0,04	0,00	0,00	1,90	18,22
Aire brûlée	0,54	0,35	0,00	0,00	0,00	99,53	0,00	0,00	0,13	0,00	20,56
Forêt - ombre	0,02	0,00	0,00	2,02	0,01	0,00	90,01	0,00	2,15	0,06	3,00
Sol nu - ombre	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,25	0,13	0,00	1,53
Ombre - colline	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	1,55	0,00	97,47	0,00	0,49
Forêt - exposée	0,00	0,00	0,00	0,89	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	94,10	2,25
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	26,36%	4,92%	1,12%	22,17%	18,08%	20,49%	2,81%	1,57%	0,45%	2,02%	100%

fig. 45 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 10m sur les ensembles d'apprentissage.

3.3.2.2 Résolution à 30m

Les figures ci-dessous (fig. 46) montrent les classifications des images Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 après traitement pour passer à la résolution 30m x 30m, masquées pour ne montrer que les ensembles d'apprentissage.

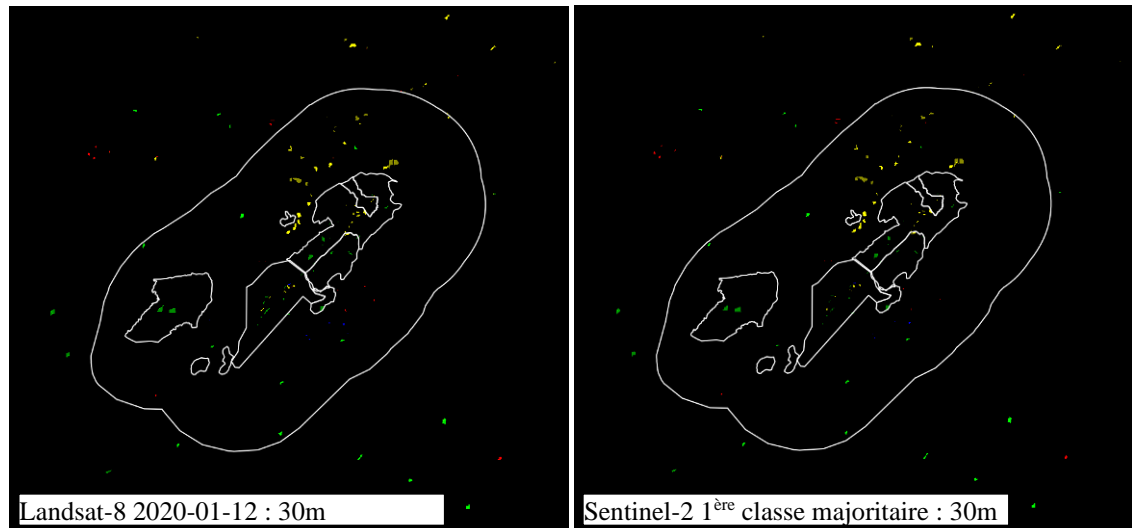


fig. 46 – Classifications des l'image Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 après passage à la résolution 30m x 30m par algorithme de la classe majoritaire, masquées pour ne montrer que les ensembles d'apprentissage.

Dans ce qui suit, la comparaison entre les deux classifications (voir la liste des classes en table 1) est opérée :

- sur les **classes majeures** – comprenant (Eau), (Aire brûlée), (Sol nu), (Ombre – colline), (Forêt), (Forêt dégradée) et (Eau)
- sur les **sous-classes** – comprenant les classes précédentes et les variantes (Sol nu – ombre), (Forêt – exposée) et (Forêt – ombre).

Sur les classes majeures

La figure ci-dessous (fig. 47) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 après le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 30m (fig. 48).

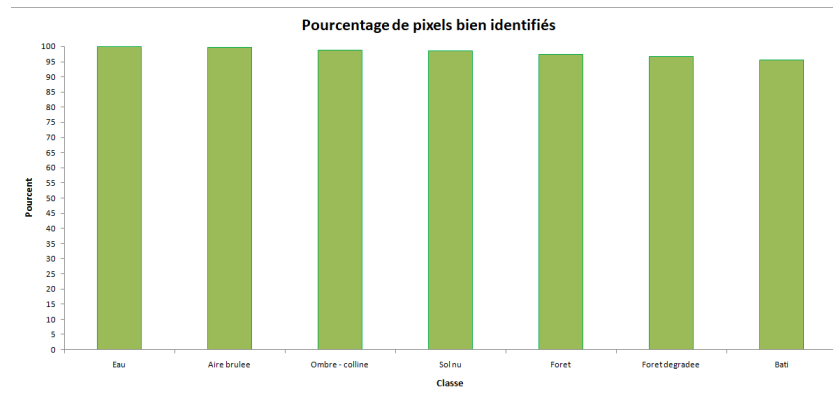


fig. 47 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifié par classe à 30m sur les ensembles de contrôle.

La figure ci-dessous (fig. 51) représente la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 après calcul de la première classe majoritaire sur chaque voisinage, soit à une résolution de 30m.

Overall accuracy	=	18992 / 19384	=	97,9777 %
Mean accuracy	=	6,86654181 / 7	=	98,0935 %
Kappa coefficient	=	0,9738		

Cij	Référence (pixel)							C.j
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégrad	Aire brulée	mbre - collin	
Sol nu	5332	39	0	0	2	9	0	5382
Bati	47	912	0	0	0	4	0	963
Eau	1	0	217	0	0	0	0	218
Forêt	1	0	0	5099	116	0	1	5217
Forêt dégradée	6	0	0	130	3386	0	0	3522
Aire brulée	28	3	0	0	0	3959	0	3990
Ombre - colline	0	0	0	5	0	0	87	92
Ci.	5415	954	217	5234	3504	3972	88	19384

Cij/n	Référence (pourcent)							C.j/n
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégrad	Aire brulée	mbre - collin	
Sol nu	98,47	4,09	0,00	0,00	0,06	0,23	0,00	27,77
Bati	0,87	95,60	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	4,97
Eau	0,02	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12
Forêt	0,02	0,00	0,00	97,42	3,31	0,00	1,14	26,91
Forêt dégradée	0,11	0,00	0,00	2,48	96,63	0,00	0,00	18,17
Aire brulée	0,52	0,31	0,00	0,00	0,00	99,67	0,00	20,58
Ombre - colline	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	98,86	0,47
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	27,94%	4,92%	1,12%	27,00%	18,08%	20,49%	0,45%	100%

fig. 48 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 30m sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 49) montre le pourcentage de présence dans chaque pixel de sa classe majoritaire. Plus un pixel est sombre, plus il est homogène.

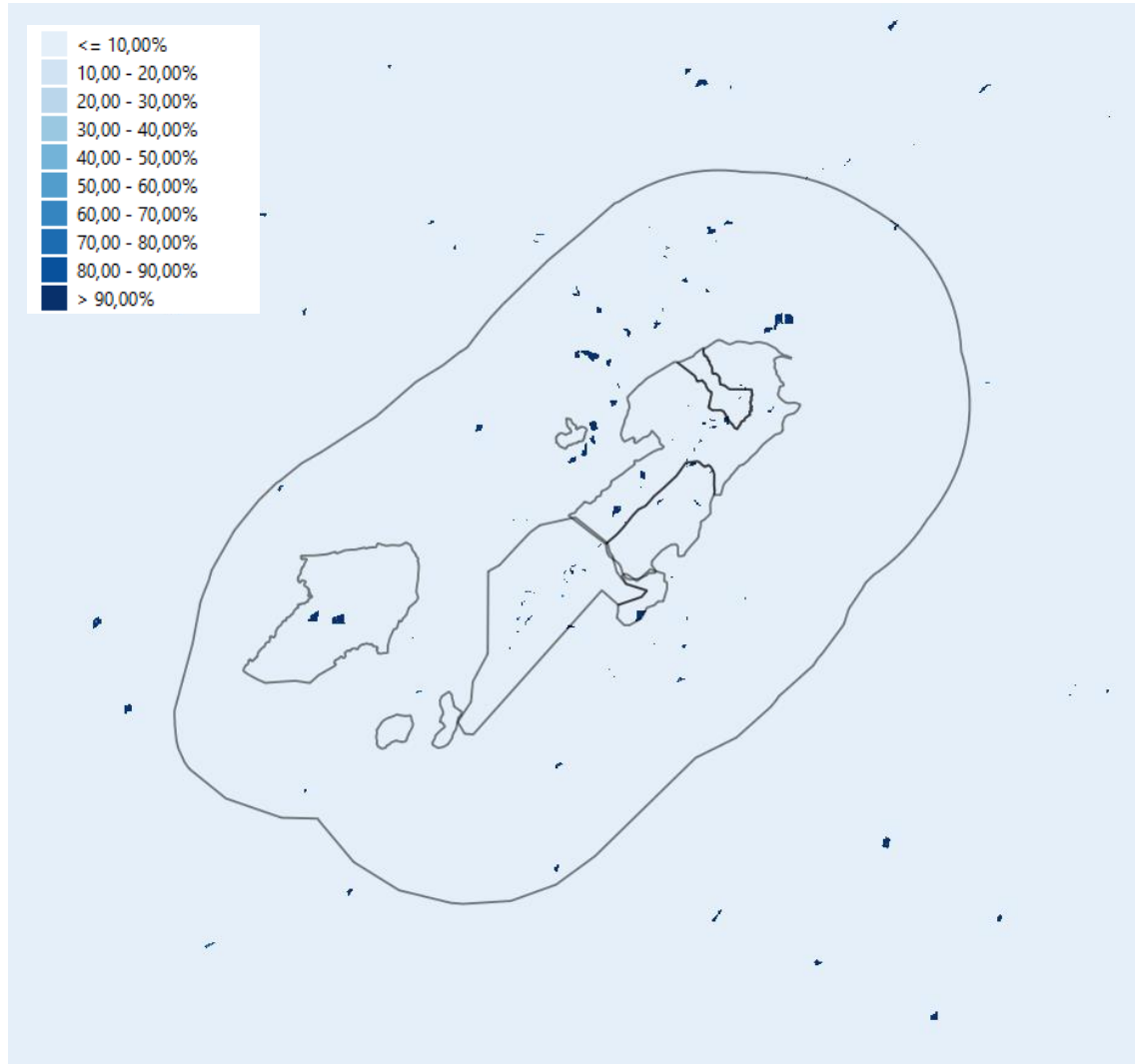


fig. 49 – Carte du pourcentage de présence dans chaque pixel 30m de sa classe majoritaire sur les ensembles d'apprentissage.

Sur les sous-classes

La figure ci-dessous (fig. 50) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 après le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 30m (fig. 51).

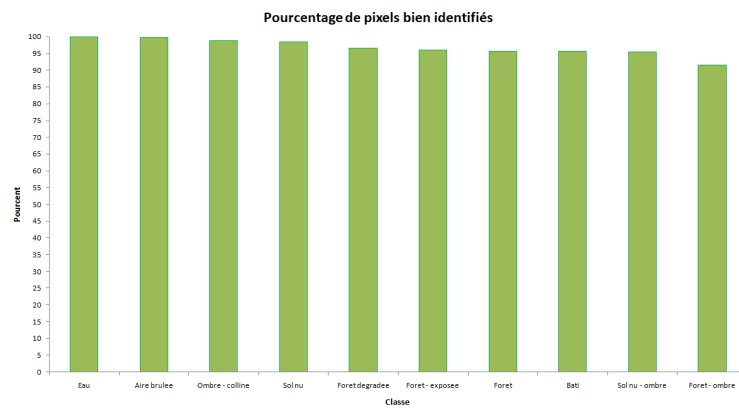


fig. 50 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifié par classe à 30m sur les ensembles de contrôle.

La figure ci-dessous (fig. 51) représente la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 après calcul de la première classe majoritaire sur chaque voisinage, soit à une résolution de 30m.

Overall accuracy	=	18862 / 19384	=	97,3071 %
Mean accuracy	=	9,67638808 / 10	=	96,7639 %
Kappa coefficient	=	0,9665		

Cij	Landsat (pixel)										C.j	
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brulée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	ombre - colline	Forêt - exposée		
Sentinel												
Sol nu	5025	39	0	0	2	9	0	14	0	0	0	5089
Bati	47	912	0	0	0	4	0	0	0	0	0	963
Eau	1	0	197	0	0	0	0	0	0	0	0	198
Forêt	0	0	0	4110	99	0	41	0	0	0	15	4265
Forêt dégradée	6	0	0	129	3386	0	0	0	0	0	1	3522
Aire brulée	28	3	0	0	0	3959	0	0	0	0	0	3990
Forêt - ombre	1	0	0	51	0	0	499	0	1	0	0	552
Sol nu - ombre	2	0	0	0	0	0	0	291	0	0	0	293
Ombre - colline	0	0	0	0	0	0	5	0	87	0	0	92
Forêt - exposée	0	0	0	7	17	0	0	0	0	0	376	400
Ci.	5110	954	197	4297	3504	3972	545	305	88	392		19364

Cij/n	Référence (pourcent)										C.j/n	
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brulée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	ombre - colline	Forêt - exposée		
Classe j (classifié)												
Sol nu	98,34	4,09	0,00	0,00	0,06	0,23	0,00	4,59	0,00	0,00	0,00	26,25
Bati	0,92	95,60	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,97
Eau	0,02	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12
Forêt	0,00	0,00	0,00	95,65	2,83	0,00	7,52	0,00	0,00	0,00	3,83	22,00
Forêt dégradée	0,12	0,00	0,00	3,00	96,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	18,17
Aire brulée	0,55	0,31	0,00	0,00	0,00	99,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,58
Forêt - ombre	0,02	0,00	0,00	1,19	0,00	0,00	91,56	0,00	1,14	0,00	0,00	2,85
Sol nu - ombre	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,41	0,00	0,00	0,00	1,51
Ombre - colline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	98,86	0,00	0,00	0,47
Forêt - exposée	0,00	0,00	0,00	0,16	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	95,92	0,00	2,06
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	26,36%	4,92%	1,12%	22,17%	18,08%	20,49%	2,81%	1,57%	0,45%	2,02%		100%

fig. 51 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 30m sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 52) montre le pourcentage de présence dans chaque pixel de sa classe majoritaire. Plus un pixel est sombre, plus il est homogène.

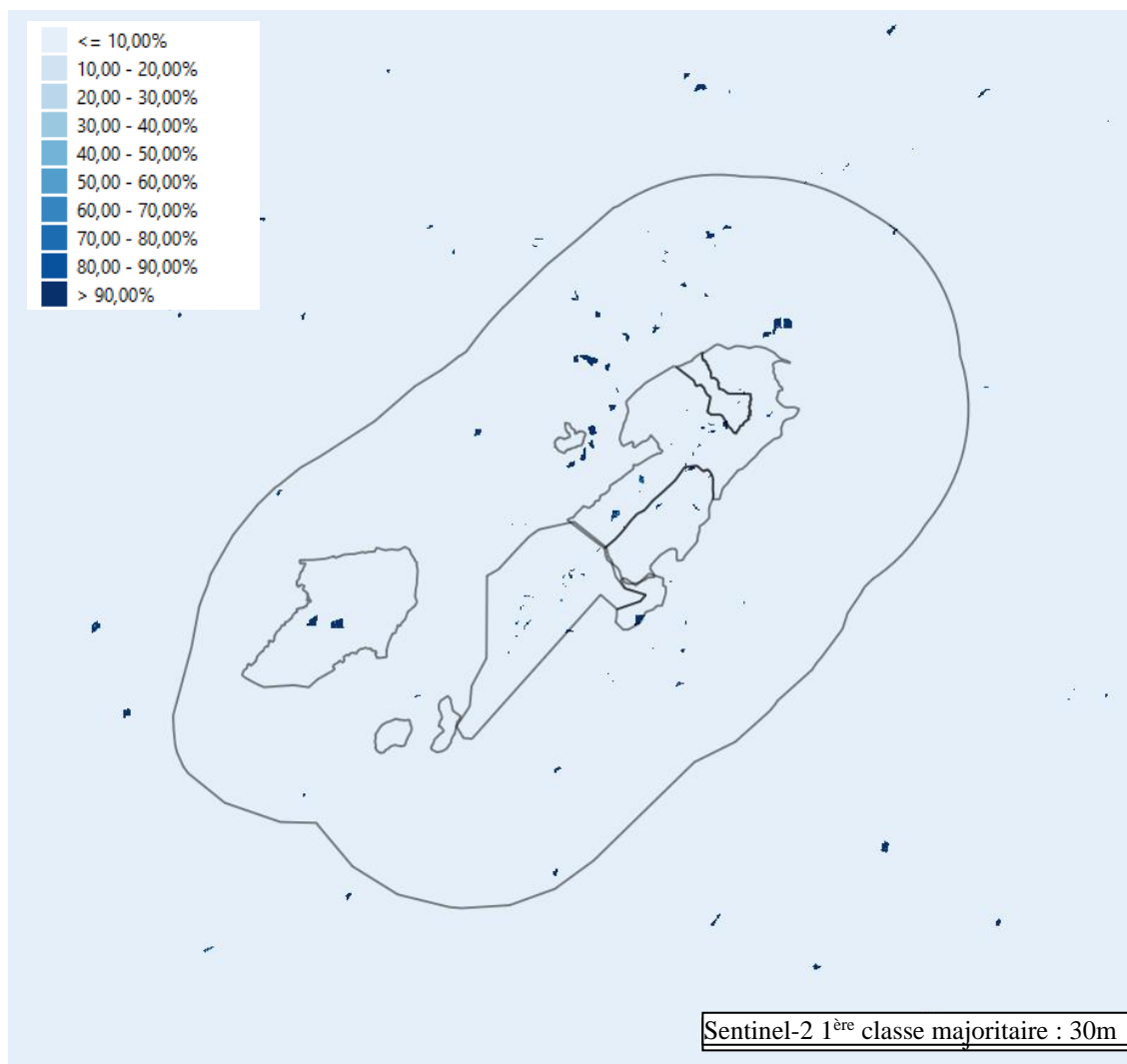


fig. 52 – Carte du pourcentage de présence dans chaque pixel 30m de sa classe majoritaire sur les ensembles d'apprentissage.

Le tableau ci-dessous (table 4) donne les statistiques de précision calculées à partir des matrices de confusion à 10m et 30m.

	Résolution native de S2 (10m) – Classes majeures	Résolution native de S2 (10m) – Sous-classes	Traitement classe majoritaire (30m) – Classes majeures	Traitement classe majoritaire (30m) – Sous-classes
Précision globale	97,39 %	96,35 %	97,98 %	97,31 %
Précision moyenne	97,42 %	95,88 %	98,09 %	96,76 %
Coefficient kappa	0,9661	0,9546	0,9738	0,9665

table 4 – Liste des statistiques de ressemblance entre les classifications Landsat-8 et Sentinel-2 sur les ensembles d'apprentissage.

3.3.3 Etude au niveau de l'ensemble du Mont Nimba

3.3.3.1 Résolution à 10m

Les figures ci-dessous (fig. 53) montrent les classifications des images Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 à leur résolution native respective.

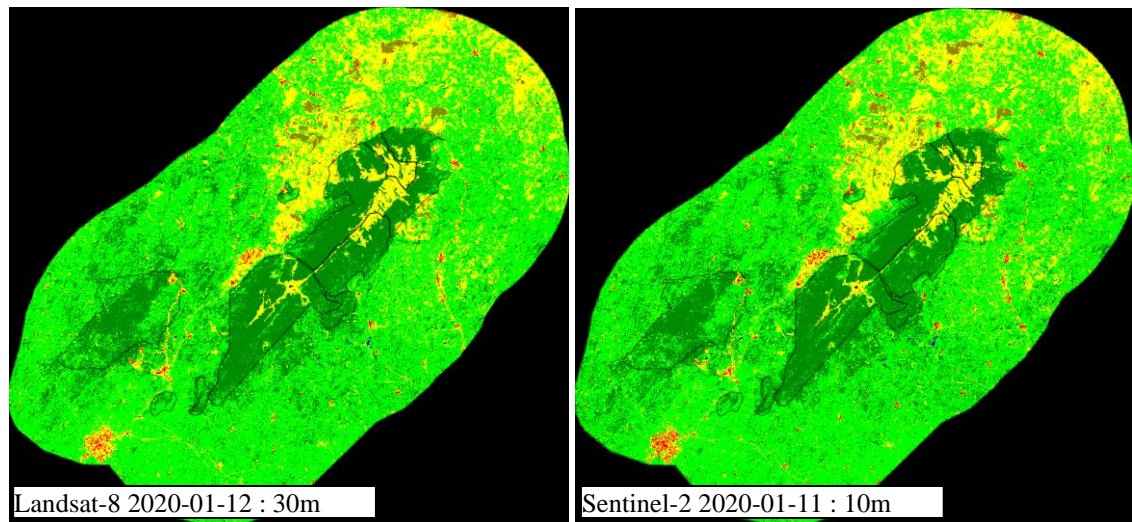


fig. 53 – Classifications des images Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 à leur résolution native de 30m x 30m et 10m x 10m sur le Mt Nimba.

Dans ce qui suit, la comparaison entre les deux classifications (voir la liste des classes en table 1) est opérée :

- sur les **classes majeures** – comprenant (Eau), (Aire brûlée), (Sol nu), (Ombre – colline), (Forêt), (Forêt dégradée) et (Eau)
- sur les **sous-classes** – comprenant les classes précédentes et les variantes (Sol nu – ombre), (Forêt – exposée) et (Forêt – ombre).

Sur les classes majeures

La figure ci-dessous (fig. 54) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 avant le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 10m (fig. 55).

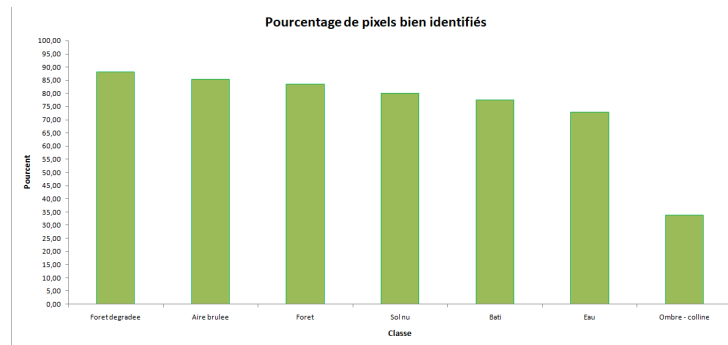


fig. 54 –Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 10m sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 55) représente la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 avant le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 10m.

Overall accuracy	=	23946128 / 28040553	=	85,3982 %
Mean accuracy	=	5,20966433 / 7	=	74,4238 %
Kappa coefficient	=	0,7503		

Cij	Référence (pixel)							C.j
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Ombre - colline	
Sol nu	4113649	31794	512	16490	669237	37047	3524	4872253
Bati	106312	121836	3	161	5112	1320	3	234747
Eau	1718	0	8056	633	156	0	126	10689
Forêt	42989	8	1429	5221212	1264222	7	5667	6535534
Forêt dégradée	814244	1154	108	1013298	14250447	32	1138	16080421
Aire brûlée	57833	2375	2	4	50	225574	19	285857
Ombre - colline	7817	0	960	5209	1650	62	5354	21052
Ci.	5144562	157167	11070	6257007	16190874	264042	15831	28040553

Cij/n	Référence (pourcent)							C.j/n
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Ombre - colline	
Sol nu	79,96	20,23	4,63	0,26	4,13	14,03	22,26	17,38
Bati	2,07	77,52	0,03	0,00	0,03	0,50	0,02	0,84
Eau	0,03	0,00	72,77	0,01	0,00	0,00	0,80	0,04
Forêt	0,84	0,01	12,91	83,45	7,81	0,00	35,80	23,31
Forêt dégradée	15,83	0,73	0,98	16,19	88,02	0,01	7,19	57,35
Aire brûlée	1,12	1,51	0,02	0,00	0,00	85,43	0,12	1,02
Ombre - colline	0,15	0,00	8,67	0,08	0,01	0,02	33,82	0,08
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	18,35%	0,56%	0,04%	22,31%	57,74%	0,94%	0,06%	100%

fig. 55 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 10m sur les ensembles d'apprentissage.

Sur les sous-classes

La figure ci-dessous (fig. 56) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 avant le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 10m (fig. 57).

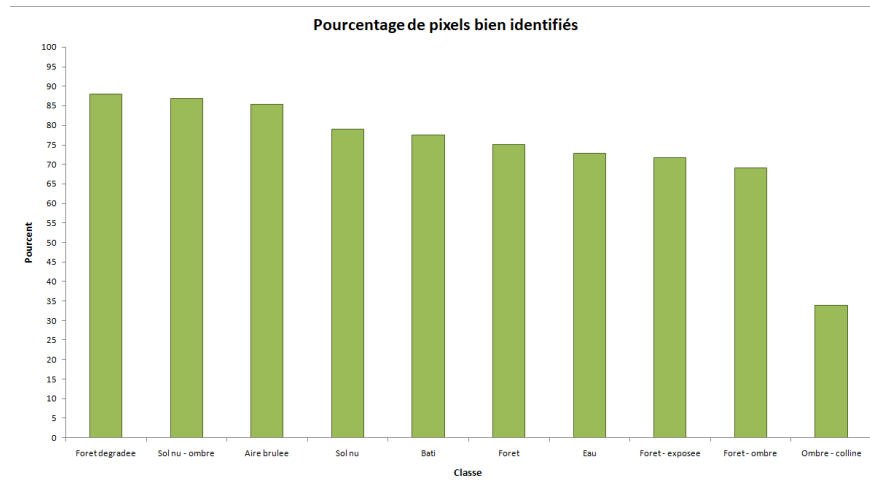


fig. 56 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 10m sur le Mont Nimba.

La figure ci-dessous (fig. 57) représente la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 avant le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 10m.

Overall accuracy	=	23325632 / 28040553	=	83,1853 %
Mean accuracy	=	7,39254123 / 10	=	73,9254 %
Kappa coefficient	=	0,7218		

Cij	Lansat (pixel)										C.j	
	Sol nu	Bati	Eau	Foret	Foret degrad	Aire brulee	Foret - ombre	Sol nu - ombre	ombre - colline	Foret - exposee		
Sentinel												
Sol nu	4006461	31758	471	9363	669115	37039	580	6776	3184	2786		4767533
Bati	106274	121836	3	19	5112	1320	1	38	3	141		234747
Eau	2294	0	7575	644	162	0	38	5	126	0		10844
Foret	16687	3	1472	3738386	1086231	1	78552	13	3947	112450		5037742
Foret degradee	814226	1154	113	862632	14250447	32	2406	9	1139	148263		16080421
Aire brulee	57819	2375	2	4	50	225574	0	14	19	0		285857
Foret - ombre	7158	0	15	91861	4859	4	218230	2197	1728	7446		333498
Sol nu - ombre	36376	36	49	660	119	8	2923	63987	333	168		104659
Ombre - colline	7229	0	907	4137	1648	62	1104	513	5373	0		20973
Foret - exposee	16769	5	4	274667	173131	2	12363	59	6	687273		1164279
Ci.	5071293	157167	10611	4982373	16190874	264042	316197	73611	15858	958527		28040553

Cij/n	Lansat (pourcent)										C.j/n	
	Sol nu	Bati	Eau	Foret	Foret degrad	Aire brulee	Foret - ombre	Sol nu - ombre	ombre - colline	Foret - exposee		
Sentinel												
Sol nu	79,01	20,21	4,44	0,19	4,13	14,03	0,18	9,20	20,10	0,29		17,00
Bati	2,10	77,52	0,03	0,00	0,03	0,50	0,00	0,05	0,02	0,01		0,84
Eau	0,03	0,00	72,77	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,80	0,00		0,04
Foret	0,33	0,00	12,65	75,03	6,71	0,00	24,85	0,02	24,85	11,73		17,97
Foret degradee	16,06	0,73	0,98	17,31	88,02	0,01	0,76	0,01	7,19	15,47		57,35
Aire brulee	1,14	1,51	0,02	0,00	0,00	85,43	0,00	0,02	0,12	0,00		1,02
Foret - ombre	0,14	0,00	0,21	1,84	0,03	0,00	69,03	2,99	10,91	0,78		1,19
Sol nu - ombre	0,72	0,02	0,18	0,01	0,00	0,00	0,92	86,92	2,16	0,02		0,37
Ombre - colline	0,14	0,00	8,67	0,08	0,01	0,02	0,34	0,70	33,82	0,00		0,08
Foret - exposee	0,33	0,00	0,05	5,51	1,07	0,00	3,91	0,08	0,04	71,70		4,15
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		100,00
Ci./n	18,08%	0,56%	0,04%	17,77%	57,74%	0,94%	1,13%	0,26%	0,06%	3,42%		100%

fig. 57 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 10m sur le Mont Nimba.

3.3.3.2 Résolution à 30m

Les figures ci-dessous (fig. 58) montrent les classifications des images Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 après traitement pour passer à la résolution 30m x 30m.

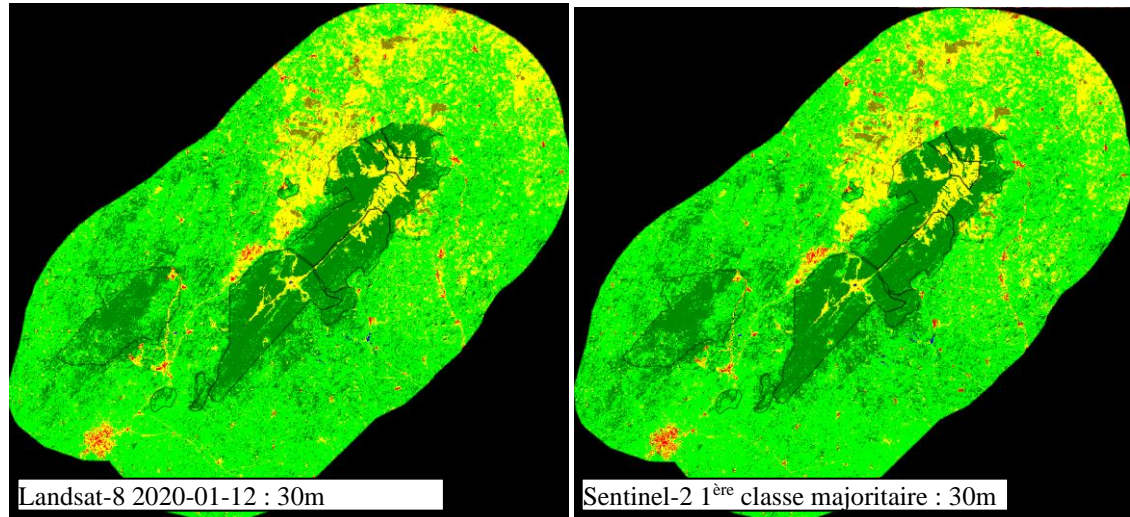


fig. 58 – Classifications des images Landsat-8 et Sentinel-2 acquises le 2020-01-12 et 2020-01-11 après passage à la résolution 30m x 30m par algorithme de la classe majoritaire, sur le Mt Nimba.

Dans ce qui suit, la comparaison entre les deux classifications (voir la liste des classes en table 1) est opérée :

- sur les **classes majeures** – comprenant (Eau), (Aire brûlée), (Sol nu), (Ombre – colline), (Forêt), (Forêt dégradée) et (Eau)
- sur les **sous-classes** – comprenant les classes précédentes et les variantes (Sol nu – ombre), (Forêt – exposée) et (Forêt – ombre).

Sur les classes majeures

La figure ci-dessous (fig. 59) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 avant le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 10m (fig. 60).

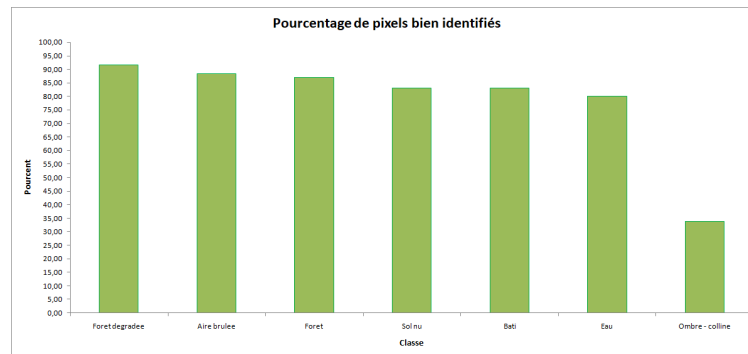


fig. 59 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 10m sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 60) représente la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 avant le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 10m.

Overall accuracy	=	2769227 / 3115617	=	88,8821 %
Mean accuracy	=	5,46878797 / 7	=	78,1255 %
Kappa coefficient	=	0,8086		

Cij	Référence (pixel)							C.j
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégrad	Aire brûlée	mbre - collin	
Sol nu	475105	2696	37	911	50378	3336	405	532868
Bati	8370	14496	0	1	71	97	0	23035
Eau	175	0	985	33	1	0	11	1205
Forêt	3660	0	123	603966	100324	0	654	708727
Forêt dégradée	78543	42	2	90088	1648174	0	93	1816942
Aire brûlée	5213	229	0	0	1	25905	0	31348
Ombre - colline	552	0	83	224	37	0	596	1492
Ci.	571618	17463	1230	695223	1798986	29338	1759	3115617

Cij/n	Référence (pourcent)							C.j/n
	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégrad	Aire brûlée	mbre - collin	
Sol nu	83,12	15,44	3,01	0,13	2,80	11,37	23,02	17,10
Bati	1,46	83,01	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,74
Eau	0,03	0,00	80,08	0,00	0,00	0,00	0,63	0,04
Forêt	0,64	0,00	10,00	86,87	5,58	0,00	37,18	22,75
Forêt dégradée	13,74	0,24	0,16	12,96	91,62	0,00	5,29	58,32
Aire brûlée	0,91	1,31	0,00	0,00	0,00	88,30	0,00	1,01
Ombre - colline	0,10	0,00	6,75	0,03	0,00	0,00	33,88	0,05
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	18,35%	0,56%	0,04%	22,31%	57,74%	0,94%	0,06%	100%

fig. 60 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 10m sur les ensembles d'apprentissage.

La figure ci-dessous (fig. 61) montre le pourcentage de présence dans chaque pixel de sa classe majoritaire. Plus un pixel est sombre, plus il est homogène.

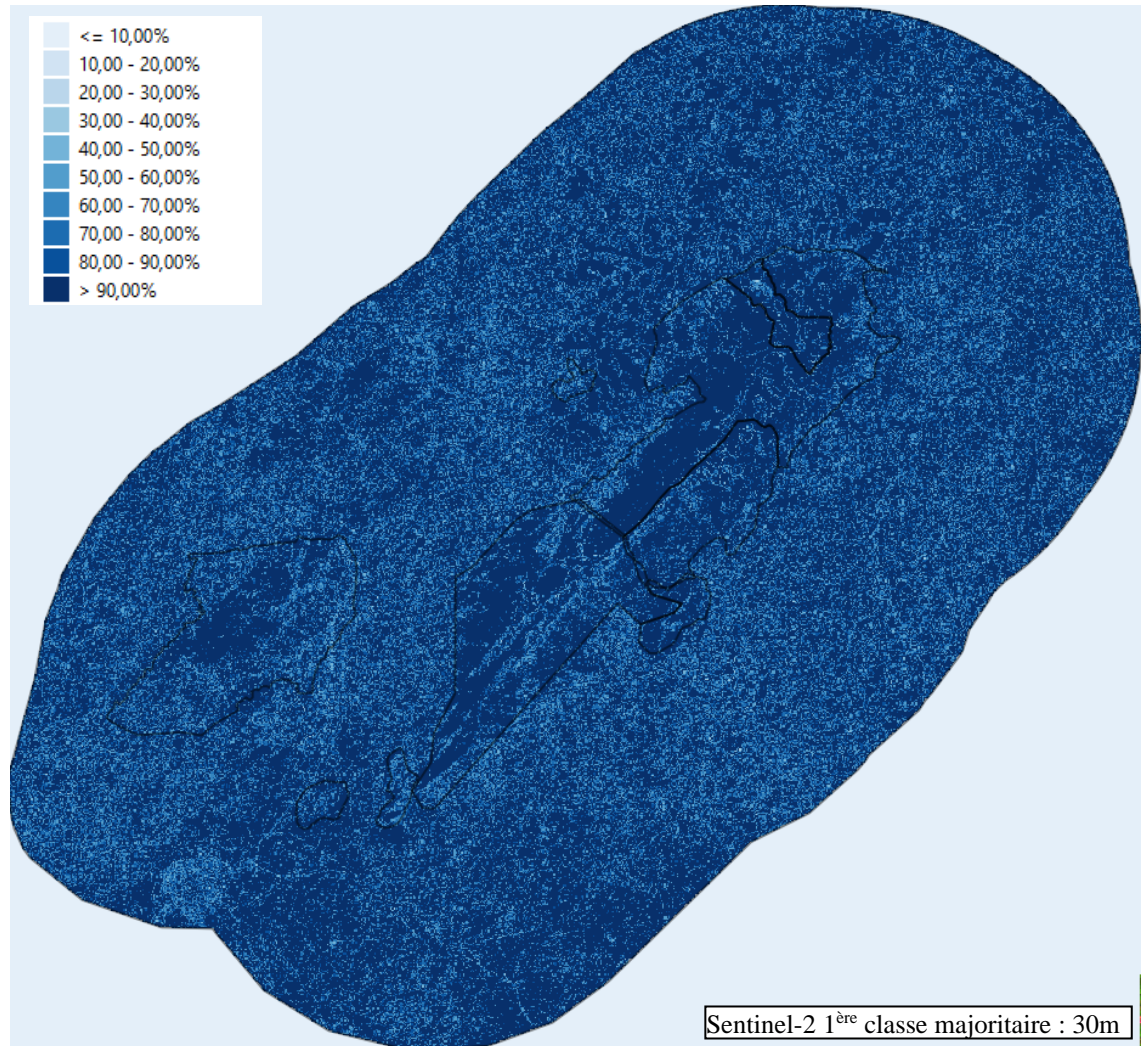


fig. 61 – Carte du pourcentage de présence dans chaque pixel 30m de sa classe majoritaire sur les ensembles d'apprentissage.

Sur les sous-classes

La figure ci-dessous (fig. 62) montre les pourcentages de pixels bien identifiés pour chaque classe. Cet histogramme a été calculé à partir de la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 avant le calcul des classes majoritaires, soit à une résolution de 10m (fig. 63).

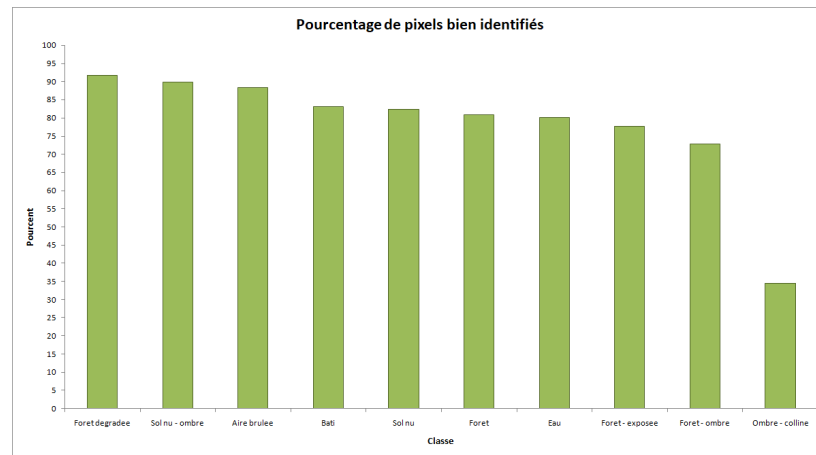


fig. 62 – Histogramme des pourcentages de pixels bien identifiés par classe à 30m sur le Mont Nimba.

La figure ci-dessous (fig. 63) représente la matrice de confusion entre les classes de la classification Landsat-8 et celles de la classification Sentinel-2 après calcul de la première classe majoritaire sur chaque voisinage, soit à une résolution de 30m.

Overall accuracy	=	2719163 / 3115617	=	87,2753 %
Mean accuracy	=	7,81095057 / 10	=	78,1095 %
Kappa coefficient	=	0,7876		

Cij	Landsat (pixel)										C.j
Sentinel	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Ombre - colline	Forêt - exposé	
Sol nu	463763	2695	40	456	50416	3336	32	608	363	197	521906
Bati	8386	14497	0	0	71	97	0	0	0	1	23052
Eau	253	0	918	35	2	0	3	0	10	0	1221
Forêt	1238	0	137	447065	84966	0	8094	0	445	9618	551563
Forêt dégradée	78756	42	1	79102	1650641	0	166	0	93	13540	1822341
Aire brûlée	5218	229	0	0	1	25905	0	0	0	0	31353
Forêt - ombre	677	0	0	6452	252	0	25565	198	201	362	33707
Sol nu - ombre	3306	0	6	47	0	0	206	7343	40	4	10952
Ombre - colline	531	0	77	172	37	0	61	29	610	0	1517
Forêt - exposée	1349	0	0	20268	12600	0	1006	1	0	82781	118005
Ci.	563477	17463	1179	553597	1798986	29338	35133	8179	1762	106503	3115617

Cij/n	Lansat (pourcent)										C.j/n
Sentinel	Sol nu	Bati	Eau	Forêt	Forêt dégradé	Aire brûlée	Forêt - ombre	Sol nu - ombre	Ombre - colline	Forêt - exposé	
Sol nu	82,31	15,43	2,85	0,08	2,80	11,37	0,09	7,43	20,64	0,18	16,75
Bati	1,49	83,02	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74
Eau	0,03	0,00	80,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,04
Forêt	0,22	0,00	9,84	80,76	4,72	0,00	23,04	0,00	25,18	9,03	17,70
Forêt dégradée	13,98	0,24	0,16	14,29	91,75	0,00	0,47	0,00	5,29	12,71	58,49
Aire brûlée	0,93	1,31	0,00	0,00	0,00	88,30	0,00	0,00	0,00	0,00	1,01
Forêt - ombre	0,12	0,00	0,00	1,17	0,01	0,00	72,78	2,42	11,43	0,34	1,08
Sol nu - ombre	0,59	0,00	0,16	0,01	0,00	0,00	0,59	89,78	2,33	0,00	0,35
Ombre - colline	0,10	0,00	6,83	0,03	0,00	0,00	0,16	0,35	34,51	0,00	0,05
Forêt - exposée	0,24	0,00	0,00	3,66	0,70	0,00	2,86	0,01	0,00	77,73	3,79
Total colonne	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ci./n	18,08%	0,56%	0,04%	17,77%	57,74%	0,94%	1,13%	0,26%	0,06%	3,42%	100%

fig. 63 – Matrice de confusion Landsat-8/Sentinel-2 et statistiques de précision à 30m sur le Mont Nimba.

La figure ci-dessous (fig. 64) montre le pourcentage de présence dans chaque pixel de sa classe majoritaire. Plus un pixel est sombre, plus il est homogène.

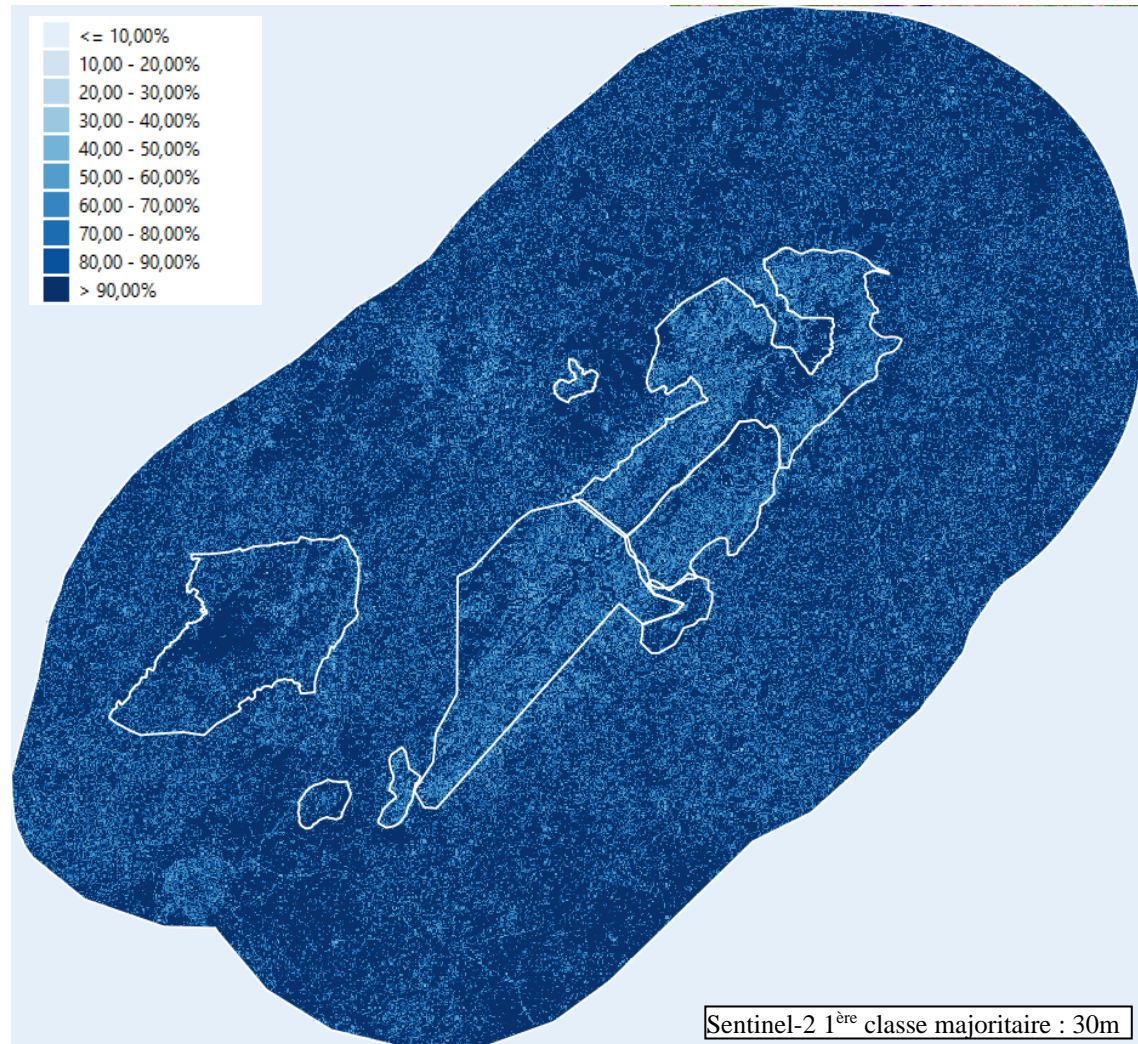


fig. 64 – Carte du pourcentage de présence dans chaque pixel 30m de sa classe majoritaire sur le Mont Nimba.

Le tableau ci-dessous (table 5) donne les statistiques de précision calculées à partir des matrices de confusion à 10m et 30m.

	Résolution native de S2 (10m) – Classes majeures	Résolution native de S2 (10m) – Sous-classes	Traitement classe majoritaire (30m) – Classes majeures	Traitement classe majoritaire (30m) – Sous-classes
Précision globale	85,40 %	83,19 %	88,88 %	87,28 %
Précision moyenne	74,42 %	73,93 %	78,13 %	78,11 %
Coefficient kappa	0,7503	0,7218	0,8086	0,7876

table 5 – Liste des statistiques de ressemblance entre les classifications Landsat-8 et Sentinel-2 sur le Mont Nimba.

3.3.4 Conclusions

Les confusions notables sont entre les classes :

- (Sol nu) et (Forêt dégradée)
- (Bâti) et (Sol nu)
- (Eau) et (Sol nu) et (Forêt) et (Ombre – colline)
- (Aire brûlée) et (Sol nu)
- (Forêt – ombre) et (Forêt)
- (Sol nu – ombre) et (Sol nu)
- (Ombre – colline) et (Sol nu) et (Forêt) et (Forêt dégradée) et (Forêt – ombre)
- (Forêt – exposée) et (Forêt) et (Forêt – ombre)

La plupart de ces classes sont déjà l'objet de confusions par rapport aux ensembles d'apprentissage et donc les confusions observées ici ne peuvent pas être clairement attribuées à des différences entre les images Landsat-8 et Sentinel-2. Les deux acquisitions ont eu lieu à seulement 1 jour, 13 minutes et 31 secondes d'écart, donc la différence d'angle d'incidence solaire devrait être assez faible pour ne pas être la cause principale de ces confusions. Il serait intéressant de déterminer les angles de vue des différents satellites pour établir si la différence des angles de vue pourrait participer à ces confusions et dans quelle magnitude.

Pour un ensemble d'apprentissage adapté à la résolution des acquisitions Sentinel, on remarque que les classifications obtenues sont similaires et que le rapprochement est d'autant plus marqué après passage à la résolution 30m par classe majoritaire.

La ressemblance entre les classifications Landsat-8 et Sentinel-2 diminue de manière sensible lorsque l'on considère l'ensemble du Mont Nimba par rapport à une analyse restreinte aux seuls ensembles d'apprentissage et/ou contrôle. Cette différence s'explique par le fait que ce sont les mêmes ensembles d'apprentissage ont été utilisés sur les deux images.