



# Space Climate Observatory, Evolution Climatique dans la région du LAc Tchad (ECLAT)

## Rapport Final

**CLS-ENV-RP-22-0142**

**Issue : 2.1**

**Date : 04/07/2022**

**Limited distribution/Diffusion limitée/Distribución limitada**

Etablissement CLS Lille : 61 rue de la Cimaise-Green Park-Bâtiment C - 59650 Villeneuve d'Ascq  
Tel +33 (0)3 20 72 53 64

Siège Social CLS :11 rue Hermès, Parc Technologique du Canal – 31520 Ramonville-Saint-Agne, France  
Tel +33 (0)5 61 39 47 00 Fax +33(0)5 61 75 10 14



## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>METHODOLOGIE GENERALE .....</b>	<b>8</b>
2.1	ZONES D'ETUDE .....	8
2.2	CONSTRUCTION DE LA BASE DE DONNEES DE REFERENCE AU MOYEN D'UN PLAN D'ECHANTILLONNAGE .....	9
2.3	HARMONISATION DES BASES DE DONNEES .....	12
2.4	METHODOLOGIE DE COMPARAISON DES BASES DE DONNEES .....	17
<b>3</b>	<b>COMPARAISON DES BASES DE DONNEES.....</b>	<b>18</b>
3.1	LAC TCHAD.....	18
3.1.1	Tableaux récapitulatifs .....	18
3.1.2	Analyses des résultats statistiques par variable .....	23
3.1.2.1	Zone artificielle.....	23
3.1.2.2	Surface en eau & zone humide.....	24
3.1.2.3	Terre cultivable.....	25
3.1.2.4	Sol nu .....	26
3.1.2.5	Végétation.....	26
3.1.2.6	Forêt.....	27
3.1.3	Classement final pour la zone du Lac Tchad .....	28
3.1.4	Produits CESBIO sur la zone du Lac Tchad .....	35
3.2	ZONE DU PARC W ET DU PARC TOCC TOCC .....	36
3.2.1	Parc W .....	36
3.2.1.1	Tableaux récapitulatifs.....	37
3.2.1.2	Analyse des résultats par variable .....	41
3.2.1.3	Classement final sur la zone du Parc W .....	42
3.2.1.4	Utilisation du produit Copernicus Hot Spot .....	48
3.2.2	Parc Tocc Tocc au Sénégal .....	50
3.2.2.1	Tableaux récapitulatifs.....	50
3.2.2.2	Analyses des résultats par variable .....	56
3.2.2.3	Classement final sur la zone du Parc Tocc Tocc .....	57
3.2.3	Zone Ouest du Parc Tocc Tocc au Sénégal, Tuile S2 28QCD .....	62
<b>4</b>	<b>CARTES D'OCCUPATION DU SOL .....</b>	<b>63</b>
4.1	METHODE .....	63
4.1.1	Préparation de la donnée.....	63
4.1.2	Classification .....	63
4.1.3	Validation.....	64
4.2	CARTES D'OCCUPATION DU SOL .....	65
<b>5</b>	<b>CALCUL DES INDICATEURS .....</b>	<b>75</b>
5.1	INDICATEUR DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE .....	75
5.1.1	Caractérisation de l'agriculture au Sénégal.....	75
5.1.2	Caractérisation de la végétation au Tchad .....	83
5.1.3	Evolution agricole .....	87
5.2	INDICATEUR DE DEVELOPPEMENT SUR LA SAUVEGARDE DES ECOSYSTEMES EN EAU.....	91
5.3	INDICATEUR DE DEVELOPPEMENT SUR LA DYNAMIQUE URBAINE.....	98
<b>6</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>100</b>
	<b>ANNEXE I : RESULTATS DE VALIDATION .....</b>	<b>102</b>

## LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : Zones d'étude et tuiles Sentinel-2 correspondantes .....	8
Tableau 2 : Nombre d'échantillons SSU par classe.....	10
Tableau 3 : Harmonisation des bases de données avec la nomenclature SCO ECLAT.....	13
Tableau 4 : Comparaison des BD avec la BD de référence créée par échantillonnage.....	18
Tableau 5 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Zone artificielle".....	21
Tableau 6 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Surface en eau".....	21
Tableau 7 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Terre cultivable".....	22
Tableau 8 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Zone humide" .....	22
Tableau 9 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Sol nu".....	22
Tableau 10 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Végétation" .....	23
Tableau 11 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Forêt" .....	23
Tableau 12 : F-Score .....	28
Tableau 13 : Répartition des poids .....	28
Tableau 14 : Variable Urbain .....	28
Tableau 15 : Variable Surface en eau .....	29
Tableau 16 : Variable Terre cultivable.....	30
Tableau 17 : Zone humide .....	31
Tableau 18 : Sol nu.....	32
Tableau 19 : Végétation .....	33
Tableau 20 : Forêt .....	34
Tableau 21 : BD retenues sur la zone du Lac Tchad.....	35
Tableau 22 : Matrice de confusion sur la zone du Lac Tchad .....	35
Tableau 23 : Résumé des indicateurs statistiques sur la zone du Lac Tchad.....	35
Tableau 24 : Résultats des bases de données sur la zone du Parc W .....	37
Tableau 25 : Résultats pour la variable Zone artificielle sur la zone du Parc W .....	38
Tableau 26 : Résultats pour la variable Surface en eau sur la zone du Parc W.....	39
Tableau 27 : Résultats pour la variable Terre cultivable sur la zone du Parc W .....	39
Tableau 28 : Résultats pour la variable Zone humide sur la zone du Parc W .....	40
Tableau 29 : Résultats pour la variable Sol nu sur la zone du Parc W.....	40
Tableau 30 : Résultats pour la variable Végétation sur la zone du Parc W .....	40
Tableau 31 : Résultats pour la variable Forêt sur la zone du Parc W .....	41
Tableau 32 : Résultats pour la variable Zone urbaine sur la zone du Parc W.....	42
Tableau 33 : Résultats pour la variable Surface en eau sur la zone du Parc W.....	43
Tableau 34 : Résultats pour la variable Terre cultivable sur la zone du Parc W .....	44
Tableau 35 : Résultats pour la variable Zone humide sur la zone du Parc W .....	45
Tableau 36 : Résultats pour la variable Sol nu sur la zone du Parc W.....	45
Tableau 37 : Résultats pour la variable Végétation sur la zone du Parc W .....	46
Tableau 38: Résultat pour la variable Forêt sur la zone du Parc W .....	46
Tableau 39 : BD Retenues sur la zone du Parc W.....	47
Tableau 40 : Matrice de confusion sur la zone du Parc W.....	48
Tableau 41 : Résumé des indicateurs statistiques sur la zone du Parc W.....	48
Tableau 42: Résultats des bases de données sur la zone du Parc Tocc Tocc .....	50
Tableau 43 : Résultats pour la variable Zone artificielle sur la zone du Parc Tocc Tocc .....	53
Tableau 44 : Résultats pour la variable Surface en eau sur la zone du Parc Tocc Tocc.....	53
Tableau 45 : Résultats pour la variable Terre cultivable sur la zone du Parc Tocc Tocc .....	53
Tableau 46 : Résultats pour la variable Zone humide sur la zone du Parc Tocc Tocc .....	54
Tableau 47 : Résultats pour la variable Sol nu sur la zone du Parc Tocc Tocc .....	54
Tableau 48 : Résultats pour la variable Végétation sur la zone du Parc Tocc Tocc .....	54
Tableau 49 : Résultats pour la variable Zone artificielle sur la zone du Parc Tocc Tocc .....	57
Tableau 50 : Résultats pour la variable Surface en eau sur la zone du Parc Tocc Tocc.....	57
Tableau 51 : Résultats pour la variable Terre cultivable sur la zone du Parc Tocc Tocc .....	58
Tableau 52 : Résultats pour la variable Zone humide sur la zone du Parc Tocc Tocc .....	59
Tableau 53 : Résultats pour la variable "Sol nu" sur la zone du Parc Tocc Tocc.....	60
Tableau 54 : Résultats pour la variable Végétation sur la zone du Parc Tocc Tocc .....	60
Tableau 55 : Sélection des bases de données par thématique sur la zone du Parc Tocc Tocc.....	62

Tableau 56 : BD sélectionnées pour la correction des cartes d'OCS sur la zone du Lac Tchad.....	64
Tableau 57 : BD sélectionnées pour la correction des cartes d'OCS sur la zone du Parc Tocc Tocc.....	64
Tableau 58 : BD sélectionnées pour la correction des cartes d'OCS sur la zone du Parc W.....	64
Tableau 59 : Paramètres des tests de classification Iota-2.....	65
Tableau 60 : Précisions des classifications d'OCS avant et après correction sur les 3 zones d'étude.....	67
Tableau 61 : Statistiques de la tuile Sentinel-2 28QCD.....	79

## LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Carte de localisation des zones d'étude.....	9
Figure 2 : Grille d'échantillonnage.....	11
Figure 3 : Carte des PSU sélectionnés aléatoirement.....	11
Figure 4 : Exemple de SSU.....	12
Figure 5 : Carte de localisation du Bassin du Lac Tchad.....	18
Figure 6 : Illustration du produit World Settlement Footprint (rouge) sur fond Google satellite.....	24
Figure 7 : Illustration de la base de données G3WBM Yamazaki (bleue) sur fond Google satellite.....	25
Figure 8 : Illustration terre cultivable (GFSAD30AFCE 2015) en jaune et zone urbaine (rouge) sur fond Google ...	26
Figure 9 : Illustration Sol nu (MODIS Bare soil, en rouge) sur fond Google Satellite.....	26
Figure 10 : Illustration de la végétation vue par Copernicus Land Cover (vert) sur fond Google Satellite.....	27
Figure 11 : Carte de localisation du Parc W.....	36
Figure 12 : Illustration du produit Hot Spot Land Cover Change.....	49
Figure 13 : Carte de localisation du Parc Tocc Tocc au Sénégal.....	50
Figure 14 : Illustration du sol nu (a) et du bâti (b) au Tchad sur image Google Satellite.....	68
Figure 15 : 33PWP - 2020.....	69
Figure 16 : 33PWP - 2019.....	69
Figure 17 : 33PWP - 2018.....	70
Figure 18 : 33PUP - 2020.....	70
Figure 19 : 33PUP - 2019.....	71
Figure 20 : 33PUP - 2018.....	71
Figure 21 : 33PTP - 2020.....	72
Figure 22 : 33PTP - 2019.....	72
Figure 23 : 33PTP - 2018.....	73
Figure 24: 28QCD - 2018.....	73
Figure 25 : 28QCD - 2019.....	74
Figure 26 : 28QCD - 2020.....	74
Figure 27 : Illustration du DHI (a) et du DHI avec superposition des cultures (b).....	75
Figure 28 : Illustration de différents types de DHI avec valeurs de NDVI correspondantes.....	76
Figure 29 : Illustration du DHI sur 2 saisons en 2018 : (a) Janvier-Juillet et (b) Juillet-Décembre.....	77
Figure 30 : Extraction des zones agricoles sur le DHI 2018.....	78
Figure 31 : Extraction des zones agricoles sur le DHI 2019.....	78
Figure 32 : Extraction des zones agricoles sur le DHI 2020.....	79
Figure 33 : Part d'utilisation des parcelles agricoles par an.....	80
Figure 34 : Indice de productivité par année.....	80
Figure 35 : Courbes de productivité et tendances par année et saisons.....	81
Figure 36 : Diagramme de flux entre 2018 et 2019 sur la tuile 28QCD.....	82
Figure 37 : Diagramme de flux entre 2019 et 2020 sur la tuile 28QCD.....	82
Figure 38 : Diagramme de flux entre 2018 et 2020 sur la tuile 28QCD.....	83
Figure 39 : Illustration de végétation persistante.....	84
Figure 40 : Illustration de végétation éphémère.....	84
Figure 41 : Illustration des résultats de classifications séparant la végétation persistante et éphémère.....	85
Figure 42 : Evolution des surfaces végétalisées au Tchad.....	85
Figure 43 : Illustration de l'augmentation de la quantité d'arbre le long du fleuve entre 2018 (gauche) et 2020 (droite).....	86
Figure 44 : 2020 - 2019 changement de pratique dans les saisons de certaines parcelles.....	88
Figure 45 : 2019 - 2018 changement de pratique dans les saisons de certaines parcelles.....	88
Figure 46 : 2020 - 2018 changement de pratique dans les saisons de certaines parcelles.....	89
Figure 47 : carte gain /perte 2018 - 2019.....	90

Figure 48 : carte gain / perte 2019 – 2020.....	90
Figure 49 : carte gain / perte 2018 - 2020.....	91
Figure 50 : Aire d'étude de N'Djamena.....	92
Figure 51 : Répartition des habitations par type de surface en eau dans un rayon de 500m (a) et dans un rayon de 1000m (b).....	93
Figure 52 : Surfaces en eau permanente près des zones d'habitat.....	94
Figure 53 : Surfaces en eau saisonnière près des zones d'habitat.....	95
Figure 54 : Zone tampon autour des habitats de 2019 et eaux permanentes en 2018, 2019 ou 2020.....	95
Figure 55 : Zone tampon de 500 m autour des habitats de 2019 et eaux temporaires en 2018.....	96
Figure 56 : Zone tampon de 500 m autour des habitats de 2019 et eaux temporaires en 2019.....	96
Figure 57 : Zone tampon de 500 m autour des habitats de 2019 et eaux temporaires en 2020.....	97
Figure 58 : Zone tampon de 1000m autour des habitats de 2019 et eaux temporaires en 2020.....	97
Figure 59 : WSF de 2000 à 2020.....	99
Figure 60 : Population de 2000 à 2020.....	99
Figure 61 : Rapport entre le taux de consommation des terres et le taux de croissance de la population sur la période 2000-2020.....	99



## LISTE DES ABRÉVIATIONS EN FRANÇAIS

BD	Base de données
CESBIO	Centre d'études spatiales de la biosphère
CNES	Centre national d'études spatiales
CSE	Centre de suivi écologique au Sénégal
ECLAT	Évolution climatique dans la région du Lac Tchad
IOTA-2	Infrastructure pour l'occupation des sols par traitement automatique
OCS	Occupation du sol
ONU	Organisation des Nations Unies
PEPS	Plateforme d'Exploitation des Produits Sentinel
RVB	Rouge Vert Bleu
S2	Sentinel-2
TCP	Taux de Croissance de la Population
TCT	Taux de Consommation des Terres
TCTTCP	TCT*/TCP*
UE	Union Européenne

## LISTE DES ABRÉVIATIONS EN ANGLAIS

AOI	Area of Interest
CCI	Climate Change Initiative
DHI	Dynamic Habitat Index
ESA	European Space Agency
FAO	Food and Agriculture Organisation
G3WBM	Global 3 arc-second Water Body Map
GFSAD30AFCE	Global Food Security-support Analysis Data Africa Cropland Extent 30 m
GHSL	Global Human Settlement Layer
GLC	Global Land Cover
GLCNMO	Global Land Cover by National Mapping Organisations
GSF	Global Surface Water
GUF	Global Human Footprint
ISCGM	International Steering Committee for Global Mapping
ISRIC	International Soil Reference and Information Centre
LC	Land Cover
LCCS	Land Cover Classification System
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PSU	Primary Sampling Unit
SCO	Space Climate Observatory
SDG	Sustainable Development Goal
SRTMWB	Shuttle Radar Topography Mission Water Body
SSU	Secondary Sampling unit
UN	United Nations
WSF	World Settlement Footprint

# 1 Introduction

À la suite de l'inventaire des bases de données réalisé dans le Lot 1, une évaluation quantitative a été menée dans ce Lot 2 afin de choisir les bases de données utilisées pour l'entraînement de la chaîne Lota-2 et la production de cartes d'occupation du sol. Cette analyse quantitative complète l'analyse qualitative réalisée dans le premier volet a permis d'adresser une note finale à chaque base de données en combinant les deux volets. Certaines bases de données, en fonction de leurs résultats peuvent également servir de référence pour une variable donnée.

## 2 Méthodologie générale

Afin de réaliser cette étude qualitative, une analyse de la "sensibilité" et de la précision de chaque base de données a été effectuée. La sensibilité représente le nombre d'éléments qui sont présents dans la base de données de référence ainsi que dans la base de données étudiée. La précision se définit comme le nombre d'éléments de la base de données étudiée qui sont bien classés dans la même classe que la base de données de référence. Afin de répondre à notre objectif de prise d'échantillons, nous avons donc privilégié une sélection sur une base de données ayant un plus fort taux de précision que de sensibilité. En effet, il est préférable de sélectionner des échantillons dont il est certain qu'ils appartiennent à la bonne classe que de privilégier un plus grand nombre d'échantillons dont la proportion de "mal classée" est plus importante.

La méthodologie requiert dans un premier temps de réaliser un jeu de référence qui servira à l'analyse des bases de données. La méthode de construction consiste à réaliser un plan d'échantillonnage de la zone. Par la suite, un découpage de l'emprise de la zone d'étude pour chaque base de données a été réalisé et enfin une comparaison a été menée avec la base de données de référence.

### 2.1 Zones d'étude

La Région du bassin du Lac Tchad est bordée par 4 pays : le Tchad, le Cameroun, le Niger et le Nigeria et s'étend sur une surface d'environ 33 km<sup>2</sup>. À la suite de l'intérêt manifesté par d'autres parties prenantes telles que le Centre de Suivi Écologique (CSE) au Sénégal et l'Union Africaine, deux autres sites d'études ont également fait l'objet d'une analyse : le Parc Tocc Tocc au Sénégal d'une surface d'environ 12 km<sup>2</sup> ainsi que le Parc W à cheval entre le Bénin, le Niger et le Burkina Faso, d'une surface d'environ 42 km<sup>2</sup> (cf. Tableau 1 & Figure 1).

Tableau 1 : Zones d'étude et tuiles Sentinel-2 correspondantes

ID	Nom	Tuiles S2 traitées	Zones d'étude élargie pour les tests
AOI01	Lac Tchad	33PWP 33PUP 33PTP	33PTQ 33PTR 33PUQ 33PUR 33PVP 33PVQ 33PVR 33PWQ 33PWR
AOI02	Parc Tocc Tocc Sénégal	28QCD	28QDD
AOI03	Parc W Niger		31PCN 31PCP 31PDN 31PDP

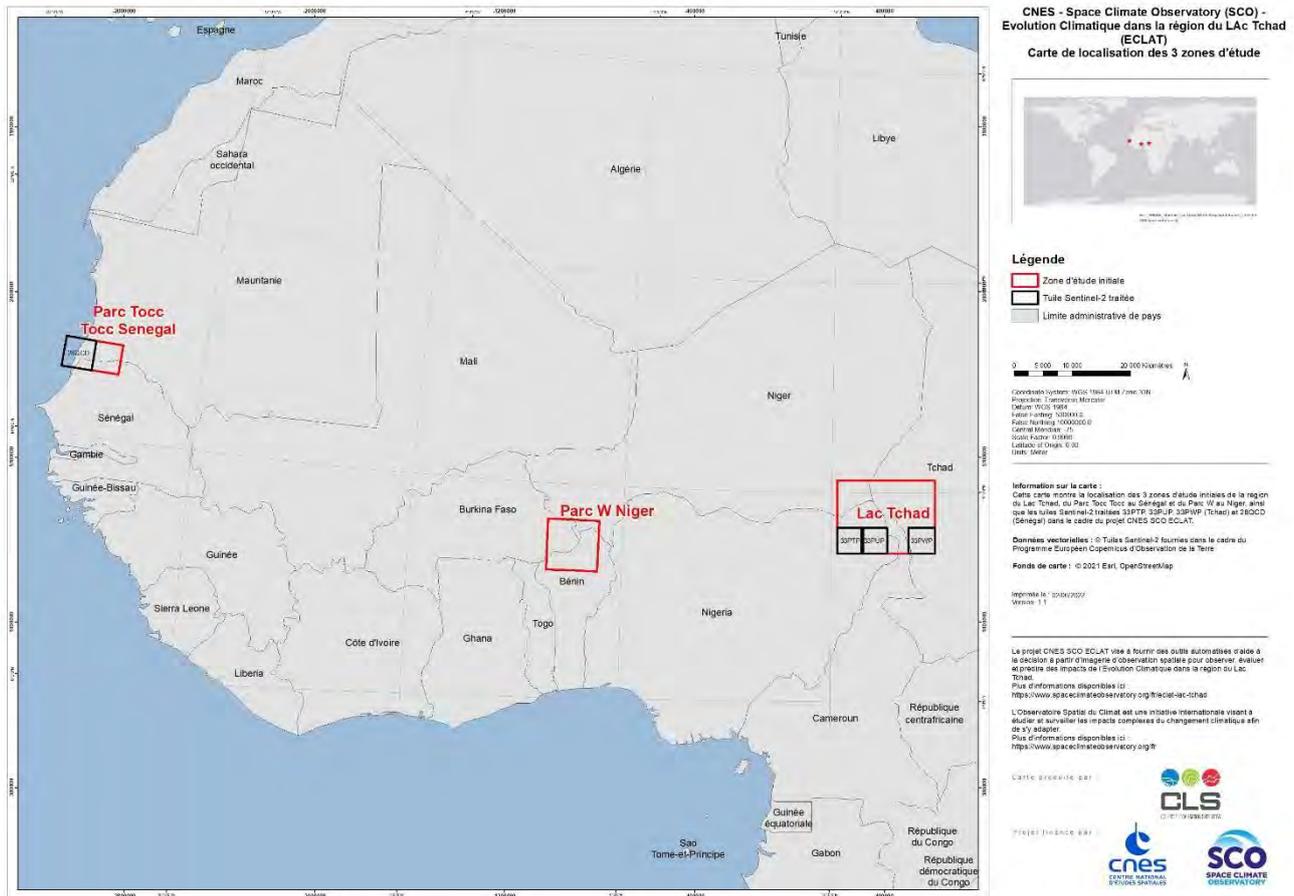


Figure 1 : Carte de localisation des zones d'étude

## 2.2 Construction de la base de données de référence au moyen d'un plan d'échantillonnage

Une base de données de référence a été construite sur la zone d'étude du Lac Tchad au moyen d'une méthode d'échantillonnage. Une sélection aléatoire suivi d'une interprétation visuelle a été réalisée. Dans un premier temps, la zone d'étude a été découpée selon une grille de 325 cellules de 20 km x 20 km. Dans chaque cellule, une unité d'échantillonnage primaire ou PSU (*Primary Sampling Unit*) de 2 km x 2 km a été tirée aléatoirement. Ce plan d'échantillonnage aléatoire assure que toute la région d'étude soit couverte et prise en compte. En outre, afin de s'assurer que les observations de référence soient contiguës spatialement et indépendantes, une sélection aléatoire de 10 points a été réalisée au sein de chaque PSU. Cette sélection prend la forme de pixel unique de la taille d'un pixel Sentinel-2 à 10 m. Ces pixels sont appelés unités d'échantillonnage secondaire ou SSU (*Secondary Sampling Unit*). Les 3250 SSU ont été interprétés visuellement à l'aide de l'outil Collect Earth de Openforis. En complément, l'ensemble de l'imagerie mise à disposition ont été utilisés en support à la photo-interprétation, tels que les fonds de carte Google Earth, Bing Map, des séries temporelles à haute résolution, notamment Sentinel-2, ainsi que Google Earth Engine pour le calcul du NDVI du pixel sur une année à partir de d'images Sentinel-2, Landsat-8 et Modis. Une visualisation des séries temporelles a également été utilisée en particulier pour discerner les eaux permanentes. L'interprétation visuelle a été réalisée en quasi-totalité (2950 SSU) par un photo-interprète indépendant de l'équipe de production du projet SCO ECLAT, ce qui rend la réalisation de la base de référence indépendante des biais pouvant venir de l'équipe ayant déjà travaillé sur les bases de données dans le Lot 1. Cette méthode assure une source de référence solide pour la suite du projet. Des erreurs d'interprétation ne sont cependant pas à exclure. En

effet, les zones de transition, notamment concernant la végétation, sont parfois complexes à interpréter et peuvent être source de classification erronée. En outre, l'interprétation de zone agricole peut se révéler ardue car certaines parcelles peuvent être en jachère ou non utilisées à l'instant T de l'acquisition. Le manque d'information sur les pratiques agricoles dans la zone a été malheureusement un frein à l'interprétation de certains échantillons qui ont pu être classés de façon erronée dans la classe "Terre cultivable".

Néanmoins, les définitions suivantes ont été utilisées par le photo-interprète pour différencier les classes :

- Zone artificielle : zone recouverte de façon anthropique ou transformée par l'homme qui regroupe notamment l'étalement urbain, ainsi que toutes les structures faites par l'homme
- Zone en eau permanente : regroupe toutes les surfaces recouvertes d'eau à la date d'acquisition de l'image. Ces surfaces doivent être visibles, à l'état liquide et en surface sur une durée > 95% de l'année.
- Terre cultivable : Les terres cultivables sont les zones ayant l'apparence d'une parcelle agricole et dont le sol est recouvert temporairement par une culture puis par du sol nu. Nous prenons la décision de classer les points dans cette catégorie si le NDVI montre un ou deux cycles sur l'année avec des valeurs de NDVI > à 0,5 et < à 0,3 sur la phase "sol nu" (suivant la phase de récolte).
- Zone humide : zone en eau non permanente mais recouverte en eau une partie significative de l'année
- Sol nu : zone avec un sol exposé, du sable ou des roches et avec un NDVI jamais > à 0,25
- Végétation : Zone dont les plantes sont persistantes et dont le NDVI est constant sur l'année > à 0,4
- Forêt : Zone avec la présence d'arbre > 66% du pixel

Le Tableau 1 ci-dessous indique le nombre de SSU analysés pour chacune des variables classes d'occupation du sol.

Tableau 2 : Nombre d'échantillons SSU par classe

Classes	Nombre de SSU
Zone artificielle	12
Surface en eau	93
Terre cultivable	441
Zone humide	349
Sol nu	735
Végétation	1418
Forêt	17

Aucune stratification n'a été appliquée en amont de cette phase d'échantillonnage pour des contraintes de temps et de budget.



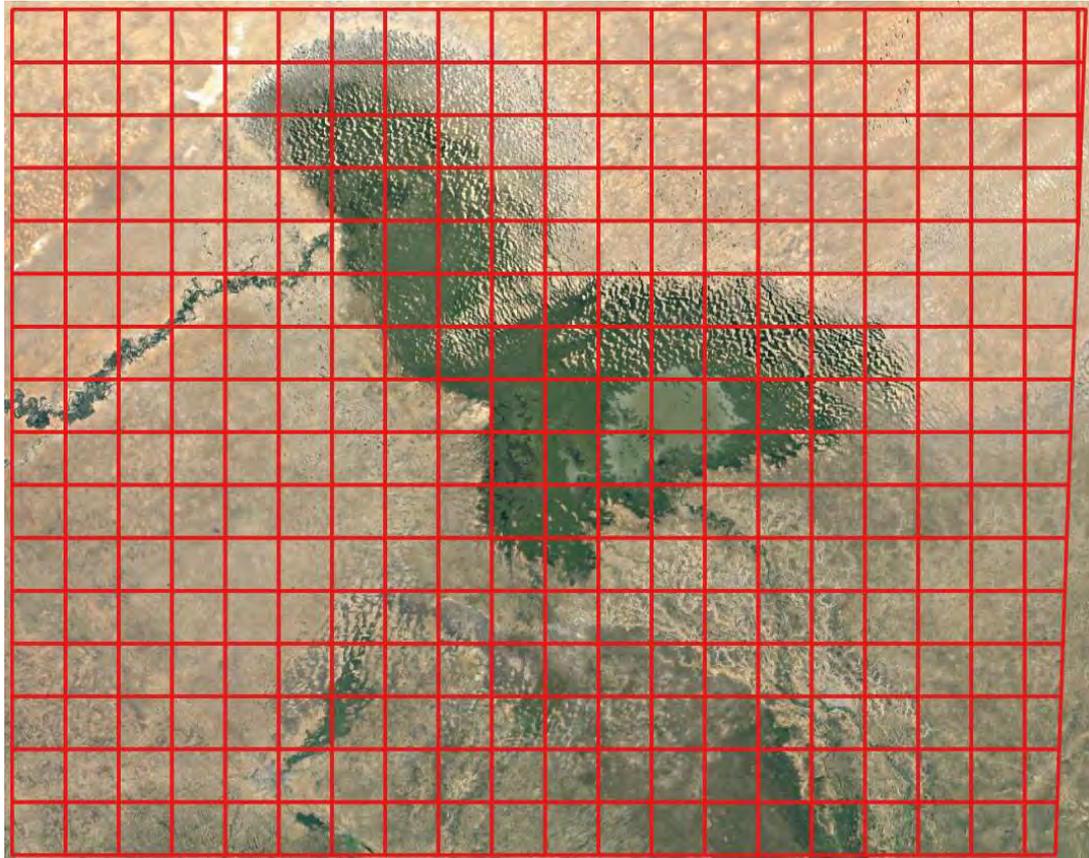


Figure 2 : Grille d'échantillonnage

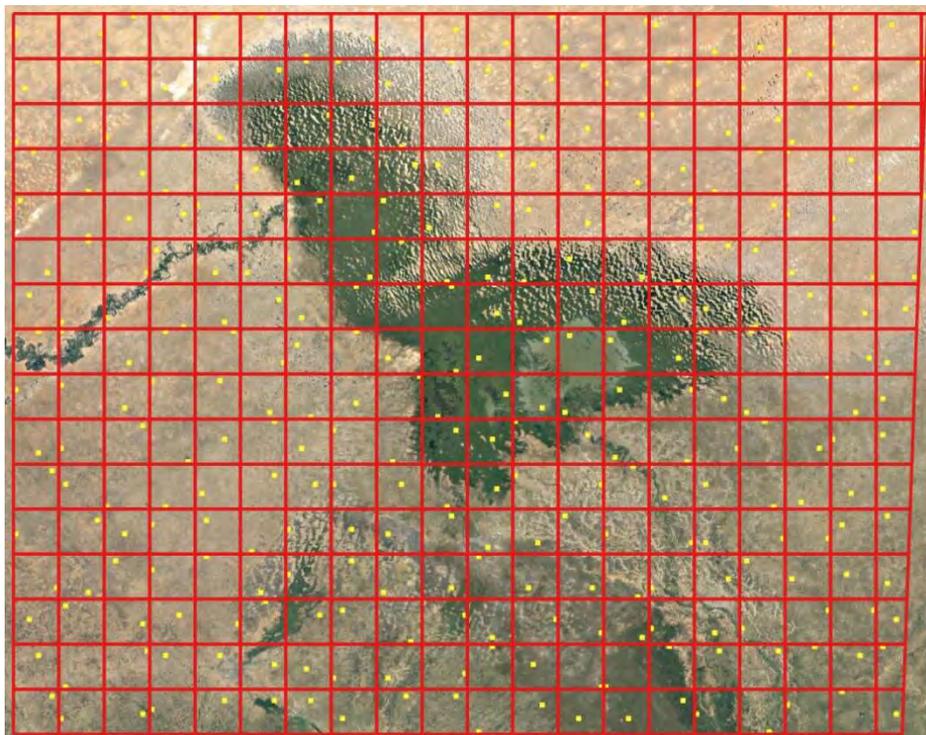


Figure 3 : Carte des PSU sélectionnés aléatoirement

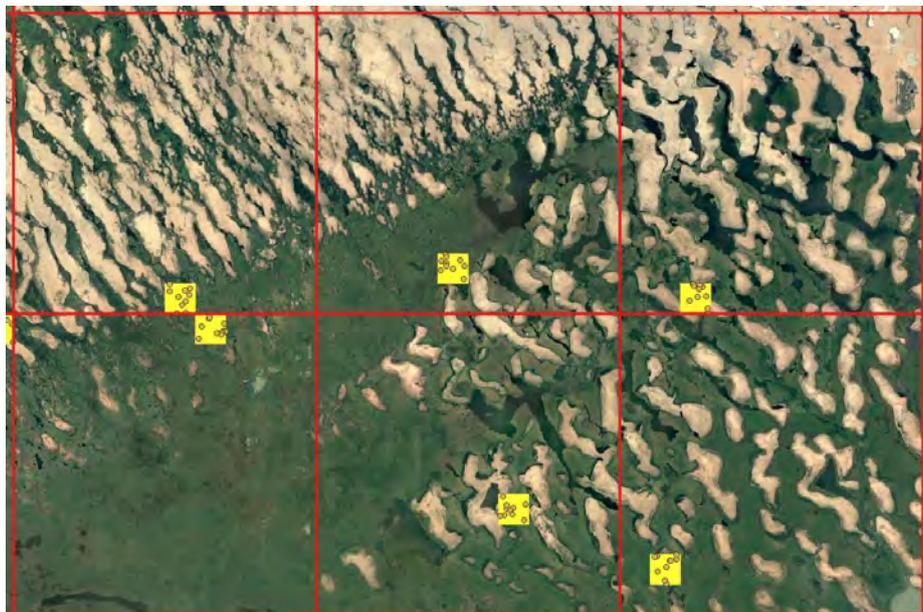


Figure 4 : Exemple de SSU

## 2.3 Harmonisation des bases de données

Le Tableau 2 suivant présente les regroupements de classes qui ont été effectués sur les bases de données afin de coïncider avec la nomenclature du projet SCO ECLAT.

Tableau 3 : Harmonisation des bases de données avec la nomenclature SCO ECLAT

		ESA CCI LC		Copernicus Land Cover		World Settlement Footprint	
SCO ECLAT	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	
Zone artificielle	190	Urban areas	50	Urban / built up	255	Urban	
Surface en eau	210	Water bodies	80	Permanent water bodies			
Terre cultivable	10	Cropland rainfed	40	Cultivated and managed vegetation/agriculture			
	20	Cropland irrigated					
	30	Mosaic cropland					
Zones humides	160	Tree cover flooded, fresh water	90	Herbaceous wetland			
	170	Tree cover flooded, saline water					
	180	Shrub, herbaceous flooded, fresh / saline / brackish water					
Sol nu	200	Bare areas					
Végétation	40	Mosaic natural vegetation	20	Shrubs			
	110	Mosaic herbaceous > 50% / tree and shrub < 50 %					
	120	Shrubland					
	130	Grassland					
	140	Lichens and mosses					
	150	Sparse vegetation (tree, shrub, herbaceous cover)	30	Herbaceous vegetation			
			100	Moss and lichen			
			60	Bare / sparse vegetation			
Forêt				111	Closed forest, evergreen needle leaf		
				113	Closed forest, deciduous needle leaf		
				112	Closed forest, evergreen, broad leaf		
				114	Closed forest, deciduous broad leaf		
				115	Closed forest, mixed		
				116	Closed forest, unknown		
		50	Tree cover, broadleaved, evergreen, closed to open	121	Open forest, evergreen needle leaf		
		60	Tree cover, broadleaved, deciduous, closed to open	123	Open forest, deciduous needle leaf		
		70	Tree cover, needleleaved, evergreen, closed to open	122	Open forest, evergreen broad leaf		
		80	Tree cover, needleleaved, deciduous, closed to open	124	Open forest, deciduous broad leaf		
		90	Tree cover, mixed leaf type	125	Open forest, mixed		
	100	Mosaic tree and shrub > 50 % / herbaceous cover < 50%	126	Open forest, unknown			



		ISRIC World Soil Information		FROM - GLC		Global Land Cover National Mapping Organization (GLCN)	
SCO ECLAT	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	
Zone artificielle			80	Impervious surface		18	Urban
Surface en eau			60	Water		20	Water bodies
Terre cultivable			10	Cropland		11	Cropland Paddy field
Zones humides			50	Wetland		12	Cropland / other vegetation 13 mosaic
Sol nu		1 Clay 2 Silty Clay 3 Sandy Clay 4 Clay Loam 5 Silty clay loam 6 Sandy clay loam 7 Loam 8 Silty Loam 9 Sandy Loam 10 Silt 11 Loamy sand 12 Sand	90	Bareland		14	Mangrove 15 Wetland
Végétation			30	Grassland		16	Bare area consolidated
Forêt			40	Shrubland		17	Bare area not consolidated
			70	Tundra		7	Shrub
						8	Herbaceous
						9	Herbaceous with sparse shrub
						10	Sparse vegetation
			20	Forêt		1	Broadleaf Evergreen Forest
						2	Broadleaf Deciduous Forest
						3	Needleleaf Evergreen Forest
						4	Needleleaf Deciduous Forest
						5	Mixed Forest
						6	Tree Open

		MODIS Land Cover		Copernicus Water Bodies		Natural Earth water bodies	
SCO ECLAT	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	
Zone artificielle							
			70	Eau			
			71	Très faible occurrence			
			72	Faible occurrence			
			73	Occurrence moyenne			
			74	Haute occurrence			
			75	Très forte occurrence			
Surface en eau			76	Occurrence permanente			2 Corps en eau
Terre cultivable							
Zones humides							
Sol nu							
Végétation							
Forêt	0-100	Percent tree cover					
		Earth Stat - Pasture & Cropland		Global Food Security support analysis Data 30m Africa Cropland Extent (GFSAD30AFCE)			
SCO ECLAT	Code	Nomenclature		Code		Nomenclature	
Zone artificielle							
Surface en eau							
Terre cultivable	0-100%	Cropland > 15%			2	Cropland	
Zones humides							
Sol nu							
Végétation	0-100%	Pasture					
Forêt							

		Natural Earth Urban		Africapolis		Global Tree Cover	
SCO ECLAT	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	
Zone artificielle		1 Urban		1 Urban			
Surface en eau							
Terre cultivable							
Zones humides							
Sol nu							
Végétation							
Forêt					0-100	Tree cover	
		Global Surface Water (Pekel)		Global Lake and wetland database		Global 1 sec Water body Map (G1WBM) Yamazaki	
SCO ECLAT	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	
Zone artificielle							
Surface en eau	0-100%	Water occurrence					Salt Marsh Permanent Water 30 Permanent Water (Added by 50 SWBD) 51 Ocean (Given by external 99 land/sea mask)
Terre cultivable							
Zones humides							Wet Soil / Wet Vegetation / 20 Lava 40 Temporal Flooded Area
Sol nu							
Végétation							
Forêt							
		SRTM Water bodies (SRTMWB)		Global Urban Footprint		Global Human Settlement	
SCO ECLAT	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	Code	Nomenclature	
Zone artificielle				255 Urban	0 - 100 %	Urban	
Surface en eau		255 Eau					
Terre cultivable							
Zones humides							
Sol nu							
Végétation							
Forêt							

## 2.4 Méthodologie de comparaison des bases de données

Les bases de données ont été comparées en utilisant des critères statistiques issus de l'évaluation de chaque base de données avec la référence construite par le plan d'échantillonnage. Ces données statistiques ont pour but d'évaluer 2 critères importants :

- La précision du producteur (*Producer's Accuracy*) encore appelée sensibilité ou rappel (*Recall*), qui mesure le nombre d'éléments bien classé par rapport au nombre total de la base de données de la classe
- La précision de l'utilisateur (*User's Accuracy*), qui mesure la justesse de classification des éléments par rapport à la même classe de la base de référence

Chaque base de données a été au préalable découpée sur l'emprise de la zone et une reclassification de sa nomenclature a été faite pour l'harmoniser avec la nomenclature du projet. Les deux critères décrits plus haut se traduisent statistiquement dans une matrice de confusion qui fera foi dans le classement des bases en reprenant les critères cités plus haut, auxquels s'ajoutent le *F-Score* et la précision globale (*Overall Accuracy*).

Pour résumer les indices statistiques utilisés sont les suivants :

- Rappel  $\frac{\text{Vrai positif}}{(\text{Vrai positif} + \text{Faux positif})}$
- Précision utilisateur =  $\frac{\text{Vrai positif}}{(\text{Vrai positif} + \text{Faux positif})}$
- $F\text{-Score} = 2 * \frac{(\text{Précision} * \text{Sensibilité})}{(\text{Précision} + \text{Sensibilité})}$
- Précision globale =  $\frac{(\text{Vrai positif} + \text{Vrai négatif})}{(\text{Vrai positif} + \text{Faux positif} + \text{Vrai négatif} + \text{Faux négatif})}$

Deux autres indicateurs sont également possibles à calculer :

- Taux d'omission = 1 - Rappel
- Taux de commission = 1 - Précision utilisateur

Ces deux indicateurs sont utilisés plus généralement dans le domaine des SIG afin d'évaluer rapidement la qualité d'une classification.

Il est à noter que les taux et les indices calculés précédemment donne une évaluation de la base de données sur la zone d'étude et ne reflète sans doute pas les taux obtenus par les processus de validation des producteurs de données s'ils existent.



BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score	Précision globale
Copernicus Land cover	Surface en eau	1	0,43	0,6	
Copernicus Land cover	Terre cultivable	0,45	0,42	0,44	
Copernicus Land cover	Zone humide	0,68	0,79	0,73	
Copernicus Land cover	Sol nu	0,87	0,11	0,2	
Copernicus Land cover	Végétation	0,56	0,85	0,68	
Copernicus Land cover	Forêt	0,11	0,31	0,16	
Copernicus Water bodies	Surface en eau	0,68	1	0,8	0,68
Cropland2000	Terre cultivable	0,1	1	0,16	0,1
ESA_CCI_LC	Total				0,4
ESA_CCI_LC	Zone artificielle	1	0,01	0,04	
ESA_CCI_LC	Surface en eau	0,77	0,47	0,59	
ESA_CCI_LC	Terre cultivable	0,25	0,75	0,38	
ESA_CCI_LC	Zones humides	0,63	0,6	0,61	
ESA_CCI_LC	Sol nu	0,97	0,05	0,1	
ESA_CCI_LC	Végétation	0,49	0,54	0,51	
ESA_CCI_LC	Forêt	0	0	0	
From GLC	Total				0,47
From GLC	Zone artificielle	0,75	0,05	0,1	
From GLC	Surface en eau	0,96	0,58	0,73	
From GLC	Terre cultivable	0,29	0,24	0,26	
From GLC	Zone humide	0	0	0	
From GLC	Sol nu	0,96	0,1	0,1	
From GLC	Végétation	0,47	0,89	0,61	
From GLC	Forêt	0	0	0	
G3WBM_Yamazaki	Total				0,84
G3WBM_Yamazaki	Surface en eau	1	0,93	0,97	
G3WBM_Yamazaki	Zone humide	0,73	1	0,85	
GFSAD30AFCE_2015	Total				0,39
GFSAD30AFCE_2015	Terre cultivable	0,39	1	0,56	
GLCNMO	Total				0,45
GLCNMO	Zone artificielle	1	0	0,01	
GLCNMO	Surface en eau	0,86	0,4	0,55	
GLCNMO	Terre cultivable	0,24	0,33	0,28	
GLCNMO	Zone humide	0,57	0,62	0,59	
GLCNMO	Sol nu	0,36	0	0,01	
GLCNMO	Végétation	0,49	0,74	0,59	

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score	Précision globale
GLCNMO	Forêt	0	0	0	
Global Human Settlement	Total				0,92
Global Human Settlement	Zone artificielle	0,92	1	0,96	
Pasture2000	Total				0,39
Pasture2001	Végétation	0,39	1	0,56	
SRTMWB	Total				0,77
SRTMWB	Surface en eau	0,77	1	0,86	
World settlement footprint	Total				0,95
World settlement footprint	Zone artificielle	0,95	1	0,97	
WWF Global lake wetland	Total				0,07
WWF Global lake wetland	Surface en eau	0,07	0,94	0,14	
WWF Global lake wetland	Zone humide	0,01	0,04	0,05	
Natural Earth lake	Surface en eau	0,9	1	0,95	0,9
Natural Earth urban areas	Zone artificielle	TBD	TBD	TBD	TBD
Modis Tree cover	Forêt	0	0	0	0
NOAA Nightlights	Zone artificielle	0,66	1		0,8
MODIS Water mask	Surface en eau	0,81	1	0,89	0,81
Pekel_occurrence ( > 60%)	Surface en eau	0,96	1	0,98	0,96
Pekel_occurrence ( > 95%)	Surface en eau	1	1	1	1
Modis_land_cover_maryland	Total				0,43
Modis_land_cover_maryland	Zone artificielle	1	0,02	0,04	
Modis_land_cover_maryland	Surface en eau	1	0,32	0,48	
Modis_land_cover_maryland	Terre cultivable	0,12	0,24	0,17	
Modis_land_cover_maryland	Zone humide	0,28	0,02	0,04	
Modis_land_cover_maryland	Sol nu	0,86	0,23	0,36	
Modis_land_cover_maryland	Végétation	0,49	0,77	0,6	
Modis_land_cover_maryland	Forêt	0	0	0	
GLC_Share_FAO	Total				0,35
GLC_Share_FAO	Zone artificielle	1	0,004	0,008	
GLC_Share_FAO	Surface en eau	0,57	0,47	0,52	

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score	Précision globale
GLC_Share_FAO	Terre cultivable	0,18	0,74	0,29	
GLC_Share_FAO	Zone humide	0,43	0,03	0,06	
GLC_Share_FAO	Sol nu	0,8	0,19	0,3	
GLC_Share_FAO	Végétation	0,5	0,49	0,5	
GLC_Share_FAO	Forêt	0	0	0	
World_pop	Zone artificielle	0,84	1	0,92	0,84
MODIS_bare_soil	Sol nu	0,66	0,99	0,8	0,67
MODIS_vegetation	Végétation	0,49	0,99	0,65	0,5
Global Tree Cover	Forêt	0	0	0	0
Radiant ML Hub		Interprétation impossible			

La base de données "Radiant ML Hub" n'a pas été évaluée car les données ne sont pas en nombre suffisant sur l'emprise de la zone d'étude.

Les Tableaux suivantes résumant par classe les 3 paramètres Précision utilisateur, Rappel et F1-Score.

Tableau 5 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Zone artificielle"

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Africapolis	Zone artificielle	0,97	1	0,98
World settlement Footprint	Zone artificielle	0,95	1	0,97
Global Human Settlement	Zone artificielle	0,92	1	0,96
World_pop	Zone artificielle	0,84	1	0,92
NOAA Nightlights	Zone artificielle	0,66	1	0,8
GLC_Share_FAO	Zone artificielle	0,57	0,47	0,52
Copernicus Land cover	Zone artificielle	0,9	0,35	0,51
From GLC	Zone artificielle	0,75	0,05	0,1
ESA_CCI_LC	Zone artificielle	1	0,01	0,04
Modis_land_cover_maryland	Zone artificielle	1	0,02	0,04
GLCNMO	Zone artificielle	1	0	0,01

Tableau 6 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Surface en eau"

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Pekel_occurrence ( > 60%)	Surface en eau	0,96	1	0,98
G3WBM_Yamazaki	Surface en eau	1	0,93	0,97

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Natural Earth lake	Surface en eau	0,9	1	0,95
MODIS Water mask	Surface en eau	0,81	1	0,89
SRTMWB	Surface en eau	0,77	1	0,86
Copernicus Water bodies	Surface en eau	0,68	1	0,8
From GLC	Surface en eau	0,96	0,58	0,73
Copernicus Land cover	Surface en eau	1	0,43	0,6
ESA_CCI_LC	Surface en eau	0,77	0,47	0,59
GLCNMO	Surface en eau	0,86	0,4	0,55
GLC_Share_FAO	Surface en eau	0,57	0,47	0,52
Modis_land_cover_maryland	Surface en eau	1	0,32	0,48
WWF Global lake wetland	Surface en eau	0,07	0,94	0,14

Tableau 7 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Terre cultivable"

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
GFSAD30AFCE_2015	Terre cultivable	0,39	1	0,56
Copernicus Land cover	Terre cultivable	0,45	0,42	0,44
ESA_CCI_LC	Terre cultivable	0,25	0,75	0,38
GLC_Share_FAO	Terre cultivable	0,18	0,74	0,29
GLCNMO	Terre cultivable	0,24	0,33	0,28
From GLC	Terre cultivable	0,29	0,24	0,26
Modis_land_cover_maryland	Terre cultivable	0,12	0,24	0,17
Cropland2000	Terre cultivable	0,1	1	0,16

Tableau 8 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Zone humide"

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
G3WBM_Yamazaki	Zone humide	0,73	1	0,85
Copernicus Land cover	Zone humide	0,68	0,79	0,73
ESA_CCI_LC	Zone humide	0,63	0,6	0,61
GLCNMO	Zone humide	0,57	0,62	0,59
GLC_Share_FAO	Zone humide	0,43	0,03	0,06
WWF Global lake wetland	Zone humide	0,01	0,04	0,05
Modis_land_cover_maryland	Zone humide	0,28	0,02	0,04
From GLC	Zone humide	0	0	0

Tableau 9 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Sol nu"

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
MODIS_bare_soil	Sol nu	0,66	0,99	0,8
Modis_land_cover_maryland	Sol nu	0,86	0,23	0,36
GLC_Share_FAO	Sol nu	0,8	0,19	0,3
Copernicus Land cover	Sol nu	0,87	0,11	0,2
ESA_CCI_LC	Sol nu	0,97	0,05	0,1
From GLC	Sol nu	0,96	0,1	0,1
GLCNMO	Sol nu	0,36	0	0,01

Tableau 10 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Végétation"

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Copernicus Land cover	Végétation	0,56	0,85	0,68
MODIS_vegetation	Végétation	0,49	0,99	0,65
From GLC	Végétation	0,47	0,89	0,61
Modis_land_cover_maryland	Végétation	0,49	0,77	0,6
GLCNMO	Végétation	0,49	0,74	0,59
Pasture2001	Végétation	0,39	1	0,56
ESA_CCI_LC	Végétation	0,49	0,54	0,51
GLC_Share_FAO	Végétation	0,5	0,49	0,5

Tableau 11 : Résumé des résultats des BD pour la variable "Forêt"

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Copernicus Land cover	Forêt	0,11	0,31	0,16
ESA_CCI_LC	Forêt	0	0	0
From GLC	Forêt	0	0	0
GLCNMO	Forêt	0	0	0
Modis Tree cover	Forêt	0	0	0
Modis_land_cover_maryland	Forêt	0	0	0
GLC_Share_FAO	Forêt	0	0	0
Global Tree Cover	Forêt	0	0	0

## 3.1.2 Analyses des résultats statistiques par variable

### 3.1.2.1 Zone artificielle

Les résultats obtenus pour les zones artificielles sont en accord avec ceux attendus en amont des tests. Les bases de données obtenant les meilleurs résultats sont des bases de données ayant été développées dans cet objectif d'extraire précisément les zones urbanisées sur la surface du globe ou dans le cas de "Africapolis" pour le continent africain. Ainsi pour "Africapolis", le "World Settlement Footprint" et "Global

Human Settlement", la précision utilisateur et la sensibilité sont très hautes et pourront sans doute être utilisées en fonction de leur classement final.

Une approche envisagée par la suite est de "fixer" les zones artificielles qui intersectent les bases de données les plus pertinentes afin de ne pas avoir à recalculer ces zones dans les produits SCO ECLAT. Ceci garantit également une justesse de classification plus haute en connaissant a priori la classe d'un groupe de pixels. Ceci peut être réalisé en particulier pour les grandes agglomérations. Concernant les petits villages ou petites villes, un suivi sera toujours réalisé par la suite.

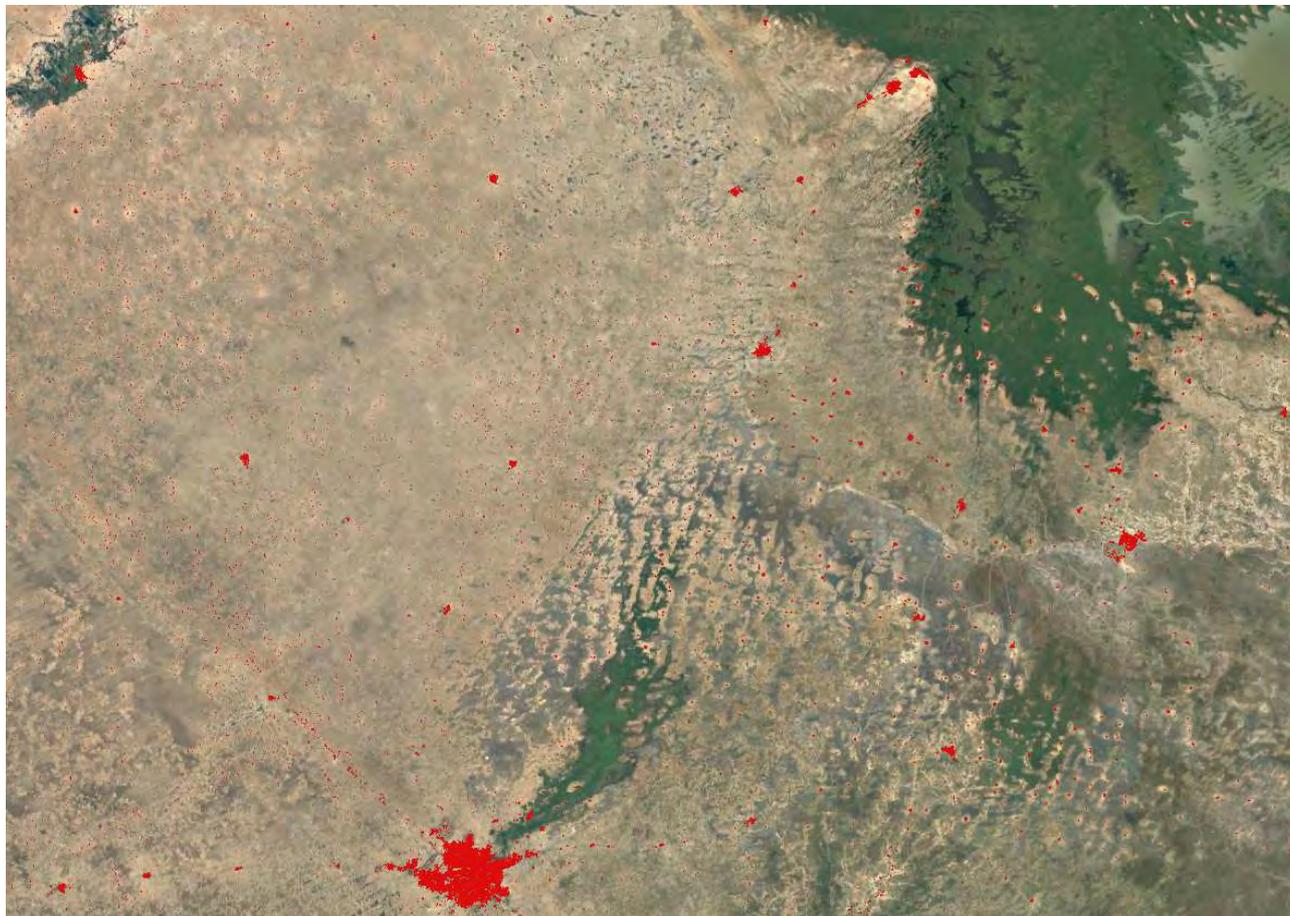


Figure 6 : Illustration du produit World Settlement Footprint (rouge) sur fond Google satellite

### 3.1.2.2 Surface en eau & zone humide

Le nombre de bases de données pertinentes sur la variable surface en eau sont nombreuses, tant la thématique a été le sujet d'un très grand nombre d'études. Les meilleures bases de données sont "Global Surface Water - Pekel" et "G3WBM - Yamazaki". Pour la base de données GSW - Pekel, la comparaison a été faite pour une occurrence supérieure ou égale à 95%. En effet, cette occurrence est considérée comme la seule pour l'eau permanente<sup>1</sup>. La délimitation des eaux libres permanentes se situe majoritairement sur la partie centrale du Lac Tchad où l'eau est bien visible. La quasi-totalité des tirages aléatoires de points ont été effectués sur cette étendue d'eau, ce qui explique également les bons résultats de bases à faible résolution spatiale comme "Natural Earth" ou encore "SRTMWB". Une étude sur de longues séries de données sur des plus petites surfaces sera sans doute indispensable pour délimiter les autres surfaces en eaux permanentes. Le cas de "Copernicus Water Bodies" est plus

<sup>1</sup> Pekel, J., Vancutsem, C., Bastin, L., Clerici, M., Vanbogaert, E., B. E., & Defourny, P. (2014). A near real-time water surface detection method based on HSV transformation of MODIS multi-spectral time series data. Remote Sensing of Environment, 704-716

questionnable. Certains pixels de la base de données ont été affectés de manière erronée à la classe "Zone humide" (erreur de commission).

La BD de Yamazaki contient dans sa nomenclature une classe "Zone humide". Sa pertinence est d'ailleurs bonne sur cette variable. D'autres base de données comme "GSW-Pekel" et "Copernicus Water Bodies" ont des couches d'occurrence en eau qui peuvent indiquer la localisation des zones humides. Leurs résultats sont inférieurs à celle de Yamazaki, cependant elles pourraient être utilisées comme base de recoupement des zones humides.

La détectabilité des zones humides peut également se faire avec la végétation aquatique flottante. En effet, sur le Lac Tchad, une grande partie des zones humides sont recouvertes de végétation et la connaissance a priori d'une zone humide (pour le plan d'échantillonnage) s'est faite par interprétation visuelle d'une série d'images. Cependant la classification automatique d'images ne permettra pas de classer certaines zones complètement couvertes de végétation sur de longues périodes si l'eau n'est pas détectable à quelques dates. Ceci peut expliquer que certaines bases de données n'aient pas classé des pixels en zone humide car certains plans d'eau ne sont jamais libres. Pourtant la végétation peut être un indicateur indirect de l'hydrodynamique. Sa caractérisation difficile peut néanmoins être un frein dans la détection de ces zones.

Pour la variable "Zone humide", une meilleure évaluation sera menée lors de la production des cartes d'occupation du sol avec Iota-2 où les étendues de zones humides seront mieux caractérisées pour ces études annuelles.



Figure 7 : Illustration de la base de données G3WBM Yamazaki (bleue) sur fond Google satellite

### 3.1.2.3 Terre cultivable

Les bases de données concernant les terres cultivables ont des résultats statistiques relativement faibles en termes de précision. En effet, les valeurs ne dépassent pas le seuil des 45% ce qui sera un problème potentiel pour les futures étapes de sélection d'échantillons. Les valeurs de sensibilité quant à elle sont meilleures : une base de données atteignant 100% (GFSAD30AFCE\_2015) et d'autres évoluant dans des valeurs autour de 75%. Ces faibles valeurs en termes de précision peuvent a priori s'expliquer par une dichotomie entre la date de production de la base de données et la date des images sur lesquelles a été réalisé le plan échantillonnage. Dans l'hypothèse où certaines parcelles agricoles peuvent être abandonnées ou d'autres apparaître entre ces différentes dates, ceci ferait baisser le taux de précision

drastiquement dans certains cas. Lors des activités d'élaboration du plan d'échantillonnage et de caractérisation des échantillons, des questions ont été soulevées sur ce problème.

La confusion dans la zone entre terres cultivables, zones humides (en cas de présence d'eau) et sol nu (en cas de temps sec et / ou sécheresse) peut également expliquer les potentiels écarts entre les bases de données et le plan d'échantillonnage.

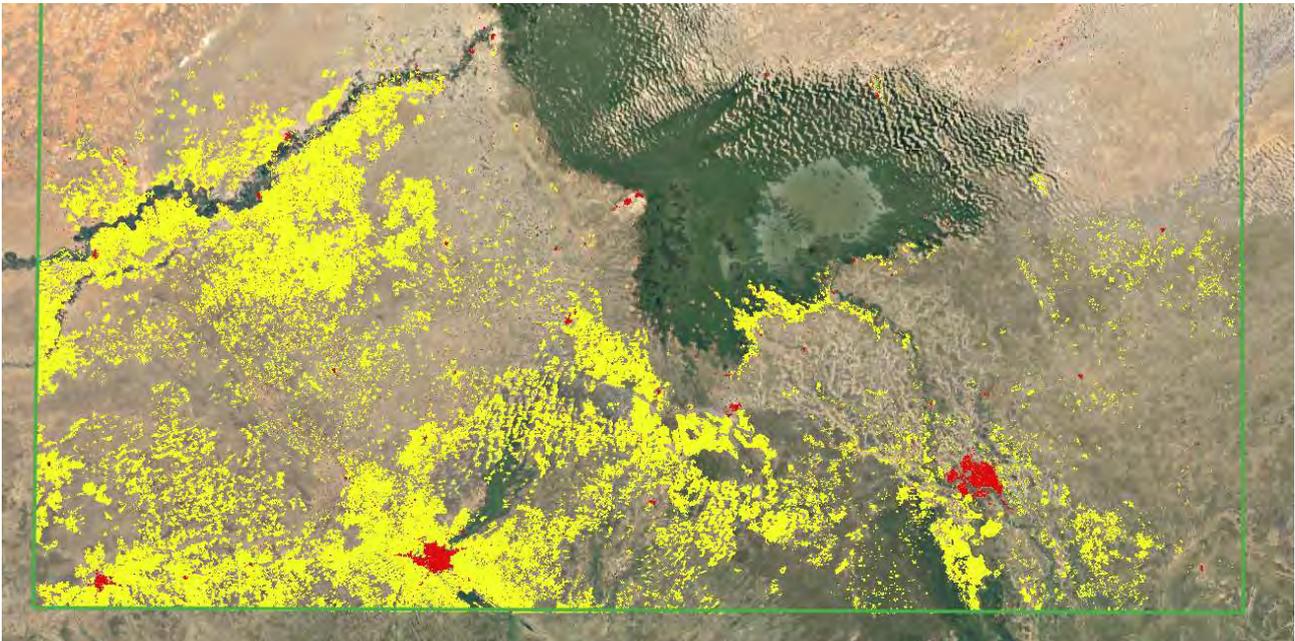


Figure 8 : Illustration terre cultivable (GFSAD30AFCE 2015) en jaune et zone urbaine (rouge) sur fond Google

#### 3.1.2.4 Sol nu

Les résultats des bases de données pour la variable sol nu sont bonnes en précision mais faibles en sensibilité. Seule la base données MODIS Bare soil donne de meilleurs résultats que les autres. Paradoxalement, son taux de précision est inférieur aux autres bases de données et sa sensibilité bien supérieure. Dans une optique de sélection d'échantillons, l'inverse est souhaitable. Néanmoins, les deux bases de données en tête sont de source MODIS, et pourront potentiellement être croisées afin de réaliser un tirage bénéficiant des résultats de chacune d'elle. Les autres bases de données ont des taux de sensibilité extrêmement bas malgré une bonne précision statistique.

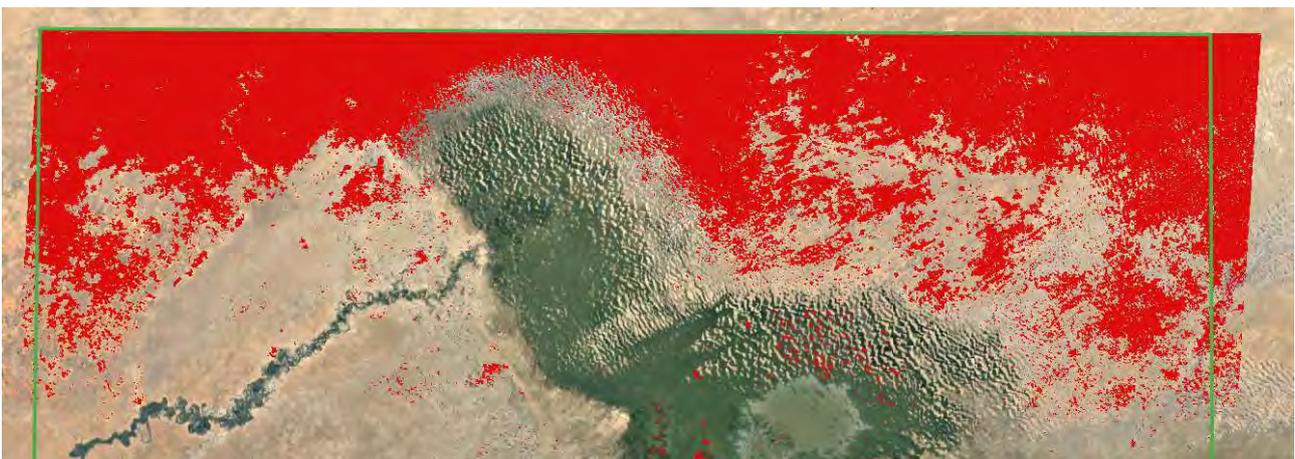


Figure 9 : Illustration Sol nu (MODIS Bare soil, en rouge) sur fond Google Satellite

#### 3.1.2.5 Végétation

Concernant la variable végétation, les résultats sont moyens et ne permettront pas d'utiliser un certain nombre de base de données, notamment en raison du fait que les valeurs de précision ne sont pas très bonnes. En effet, il est préférable d'avoir une base de données dont la sensibilité est moyenne et la précision très bonne dans l'optique d'un tirage d'échantillons. Les commissions étant faibles, il est hautement probable de tirer des échantillons appartenant à la classe visée.

Par ailleurs il est à noter que la végétation ici ne comprend pas la végétation flottante qui fait partie des zones humides. En effet, le terme végétation englobe dans ce cas la végétation basse, la végétation haute, les pâturages et la végétation erratique. Les zones humides du lac étant pratiquement couverte en totalité de végétation, nous avons pris le parti de placer ces zones en zones humides car la présence d'eau favorise le développement de la végétation qui disparaît lors des périodes où l'eau n'est plus présente.



Figure 10 : Illustration de la végétation vue par Copernicus Land Cover (vert) sur fond Google Satellite

### 3.1.2.6 Forêt

La variable forêt n'a pas de base de données pouvant être utilisée pour sélectionner des échantillons dans cette classe. La présence de forêt étant extrêmement faible voire inexistante, la pertinence de garder cette variable sur cette zone d'étude se pose. Le nombre de points forêt dans le plan d'échantillonnage est faible et la majorité des bases de données n'ont pas de pixels classés en forêt dans cette zone, alors que d'autres en ont quelques-uns mais qui n'intersectent pas ceux du plan d'échantillonnage. Ces raisons expliquent les statistiques nuls et quasi-nuls (pour une base de données) concernant cette variable.

### 3.1.3 Classement final pour la zone du Lac Tchad

Les classements réalisés lors du Lot 1 ont été repris dans les tableaux suivants. Ceux-ci ont été complétés par un critère supplémentaire F-Score :

Tableau 12 : F-Score

Critère 5 : Performance statistique – F-Score	Points
F-Score > 20 %	Points ∈ [3 :1] $\frac{1}{40} * (i - 40) + 1.5$
F-Score < 20 %	1

Afin de donner plus de sens aux résultats statistiques, il a été choisi d'attribuer un F-Score compris entre 1 et 3 aux bases de données selon une fonction affine. Cela permet de différencier les bases de données qui ont obtenu un meilleur résultat en termes de précision et de sensibilité. Toutes les BD en dessous de 20% en F-Score reçoivent automatiquement 1 point.

Par ailleurs, un poids différent a été attribué à chaque critère en fonction de l'importance de chacun versus les autres. Par exemple, le critère 5 étant plus important que tous les autres, il remporte le maximum de points et se classe donc premier avec le poids le plus important. Nous avons donc une répartition des poids comme suit :

Tableau 13 : Répartition des poids

	Critère 1	Critère 2	Critère 3	Critère 4	Critère 5
	1 > 2	2 > 3	3 > 4	-	5 > 1
	1 > 3	2 > 4			5 > 2
	1 > 4				5 > 3
					5 > 4
Poids + 1	4	3	2	1	5

Les tableaux suivants présentent le classement final en fonction des différentes variables :

Tableau 14 : Variable Urbain

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 – Résolution	Critère d'évaluation 2 – Fiabilité	Critère d'évaluation 3 – Mise à jour	Critère d'évaluation 4 – Généalogie	Critère d'évaluation n°5 – F-Score	Total
Poids		4	3	2	1	5	-
Global Human Settlement	Globale / 10m	3	2	3	3	2,9	41,5
World Settlement footprint	Globale / 10m	3	3	2	1	2,925	40,62
WorldPop	Global / 100m	2	2	3	3	2,8	37

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Global Urban Footprint	Globale / 12m ou 84m	3	3	1	1	2,5	36,5
Africapolis	Continentale	3	2	1	1	2,95	35,75
FROM - GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	1	33
CCI Land Cover Africa 2016	Continentale / 20m	3	3	3	1	0,5	30,5
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	2	1	30
NOAA Nightlights	Global / 1 km	1	2	1	1	2,5	25,5
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	0,6	25
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1,8	22
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	0,525	17,62
Natural Earth	Globale / 1km	1	1	1	1	1	15

Tableau 15 : Variable Surface en eau

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Poids		4	3	2	1	5	-
GSW (Pekel)	Globale / 30m	3	3	3	3	3	45
Yamazaki	Global / 100 & 30m	3	2	3	3	2,92	41,62
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	2,32	39,62
SRTMWB	Globale / 30m	3	3	2	1	2,65	39,25

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
MODIS Surface en eau	Globale / 250m	1	3	3	3	2,72	35,62
Copernicus Global Land Service Water Bodies	Globale / 30m	3	3	3	3	1	35
Natural Earth	Globale / 10m	3	1	1	1	2,87	32,37
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1,97	31,87
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1	31
CCI Land Cover Africa 2016	Continentale / 20m	3	3	3	1	0,5	30,5
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1,87	24,37
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1,8	22
Global Lake and Wetlands database	Globale / 100m	2	1	1	3	0,85	20,25

Tableau 16 : Variable Terre cultivable

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Poids		4	3	2	1	5	-

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	1,15	33,75
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1,45	33,25
GFSAD30AFCE	Globale / 30m	3	3	2	1	1,2	32
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1,9	31,5
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	0,9	26,5
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1,22	21,12
EarthStat - Pasture and Cropland area	Globale / 10km	1	3	1	1	1	21
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1,22	19,12

Tableau 17 : Zone humide

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Yamazaki	Global / 100 & 30m	3	2	3	3	2,625	40,12
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	2,325	37,62
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	2,025	32,12
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	0,5	30,5

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 – Résolution	Critère d'évaluation 2 – Fiabilité	Critère d'évaluation 3 – Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1	27
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1,975	24,87
Global Lake and Wetlands database	Globale / 100m	2	1	1	3	1	21
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1	18

Tableau 18 : Sol nu

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 – Résolution	Critère d'évaluation 2 – Fiabilité	Critère d'évaluation 3 – Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Poids		4	3	2	1	5	-
MODIS Bare soil layer	Global / 250m	1	3	3	3	2,5	34,5
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1	31
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1,4	29
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1	27
ISRIC World Soil information	Globale / 250m	1	3	3	2	0,75	24,75
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1	20

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1	18
HARMONIZED WORLD SOIL DATABASE	Globale / 100m	2	2	1	1	0	17

Tableau 19 : Végétation

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	2,02	38,12
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	2,2	37
MODIS Végétation	Global / 250m	1	3	3	3	2,12	32,62
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	2	32
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1,77	30,87
CCI Land Cover Africa 2016	Continentale / 20m	3	3	3	1		28
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1,97	24,87
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1,75	21,75
EarthStat - Pasture and	Globale / 10km	1	3	1	1	1	21

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 – Résolution	Critère d'évaluation 2 – Fiabilité	Critère d'évaluation 3 – Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Cropland area							

Tableau 20 : Forêt

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 – Résolution	Critère d'évaluation 2 – Fiabilité	Critère d'évaluation 3 – Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	2,02	38,12
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	2,2	37
MODIS Végétation	Global / 250m	1	3	3	3	2,12	32,62
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	2	32
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1,77	30,87
CCI Land Cover Africa 2016	Continentale / 20m	3	3	3	1		28
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1,97	24,87
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1,75	21,75
EarthStat – Pasture and Cropland area	Globale / 10km	1	3	1	1	1	21

Nous retenons donc les bases de données suivantes pour le tirage des échantillons :

Tableau 21 : BD retenues sur la zone du Lac Tchad

BD	Thématique
Global Human Settlement	Zone artificielle
GSW (Pekel)	Surface en eau
G3WBM Yamazaki	Surface en eau & Zone humide
FROM-GLC	Terre cultivable & végétation
MODIS Bare soil layer	Sol nu

### 3.1.4 Produits CESBIO sur la zone du Lac Tchad

Les tableaux 22 et 23 présentent les résultats des classifications sous forme de matrice de confusion et d'indicateurs statistiques (i.e. précision globale, précision utilisateur, rappel et F-Score) sur la zone du Bassin du Lac Tchad. Les classifications ont été produites avec la chaîne Iota-2 développée par le CESBIO et sont basées uniquement sur les données Copernicus Land Cover (LC) à 100m de résolution spatiale et sur la série temporelle annuelle Sentinel-2 pour l'année de référence 2019.

Tableau 22 : Matrice de confusion sur la zone du Lac Tchad

Classe	Zone artificielle	Surface en eau	Terre cultivable	Zone humide	Sol nu	Végétation	Forêt	Total classes	Précision utilisateur
Zone artificielle	27	0	0	1	0	28	0	56	48,21
Surface en eau	0	45	0	44	0	4	0	93	48,38
Terre cultivable	0	0	169	2	2	254	0	427	39,57
Zone humide	0	0	22	274	0	49	1	346	79,19
Sol nu	0	0	20	1	51	332	2	406	12,56
Végétation	0	0	190	57	6	1104	3	1360	81,17
Forêt	0	0	0	3	0	11	3	17	17,64
Total référence	27	45	401	382	59	1782	9	2705	
Précision producteur	100	100	42,14	71,72	86,44	61,95	33,33		

Tableau 23 : Résumé des indicateurs statistiques sur la zone du Lac Tchad

Classe	n Vérité	n Classé	Précision globale	Précision utilisateur	Rappel	F Score
Zone artificielle	27	56	98,93	0,48	1	0,65
Surface en eau	45	93	98,23	0,48	1	0,65
Terre cultivable	401	427	81,89	0,4	0,42	0,41
Zone humide	382	346	93,35	0,79	0,72	0,75
Sol nu	59	406	86,58	0,13	0,86	0,22
Végétation	1782	1360	65,47	0,81	0,62	0,7
Forêt	9	17	99,26	0,18	0,33	0,23
Précision globale		61,85%				

## 3.2 Zone du Parc W et du Parc Tocc Tocc

Dans cette partie, nous présentons les études sur le parc W et la zone de Tocc Tocc au Sénégal auxquelles nous avons appliqué le même protocole d'évaluation des bases de données que sur la zone du Lac Tchad. Nous présentons donc directement les résultats des études menées.

### 3.2.1 Parc W

Le Parc W est une zone protégée à cheval entre le Bénin, le Niger et le Burkina Faso qui s'étend sur une surface d'environ 42 km<sup>2</sup>. La majeure partie du Parc est recouvert de végétation mais celle-ci tend à se réduire par les activités agricoles entreprises (illégales ou non). La zone du Parc a été élargie afin de couvrir les différentes classes d'occupation du sol analysées (cf. Figure 11 : Carte de localisation du Parc W).

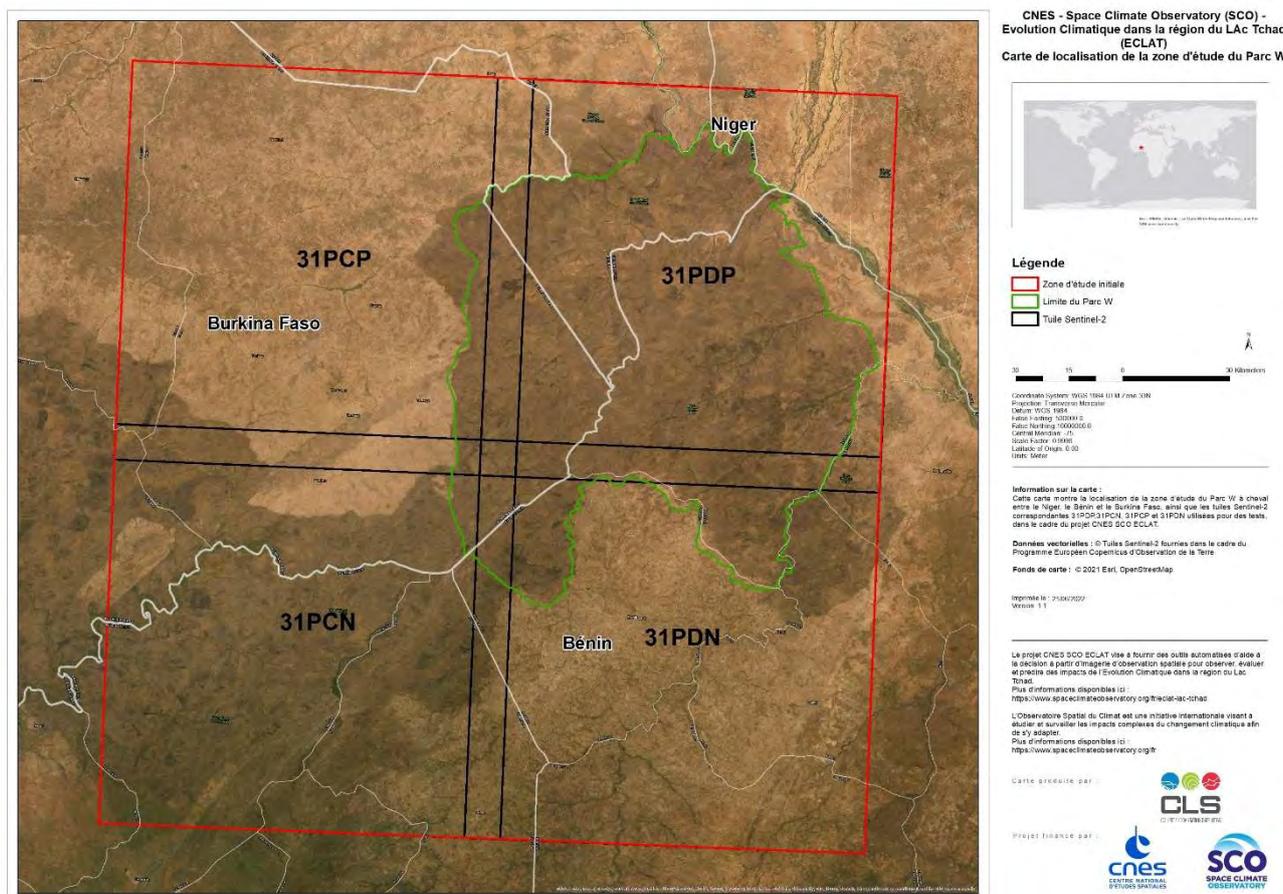


Figure 11 : Carte de localisation du Parc W

### 3.2.1.1 Tableaux récapitulatifs

Tableau 24 : Résultats des bases de données sur la zone du Parc W

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score	Précision globale
Africapolis	Zone artificielle				
Copernicus Land cover	Total				0,75
Copernicus Land cover	Zone artificielle	1	0,67	0,8	
Copernicus Land cover	Surface en eau	1	0,56	0,72	
Copernicus Land cover	Terre cultivable	0,64	0,72	0,68	
Copernicus Land cover	Zone humide	0,5	0,625	0,56	
Copernicus Land cover	Sol nu	0	0	0	
Copernicus Land cover	Végétation	0,82	0,87	0,84	
Copernicus Land cover	Forêt	0,22	0,3	0,26	
Copernicus Water bodies	Surface en eau	1	1	1	
Cropland2000	Terre cultivable	0	0	0	
ESA_CCI_LC	Total				0,62
ESA_CCI_LC	Zone artificielle	1	0,1	0,17	
ESA_CCI_LC	Surface en eau	1	0,69	0,81	
ESA_CCI_LC	Terre cultivable	0,31	1	0,48	
ESA_CCI_LC	Zone humide	0	0	0	
ESA_CCI_LC	Sol nu	0	0	0	
ESA_CCI_LC	Végétation	0,88	0,7	0,78	
ESA_CCI_LC	Forêt	0,13	0,06	0,08	
From GLC	Total				0,64
From GLC	Zone artificielle	1	0,33	0,5	
From GLC	Surface en eau	1	0,75	0,86	
From GLC	Terre cultivable	0,31	0,71	0,43	
From GLC	Zone humide	0	0	0	
From GLC	Sol nu	0	0	0	
From GLC	Végétation	0,78	0,78	0,79	
From GLC	Forêt	0	0	0	
G3WBM_Yamazaki	Total				0,86
G3WBM_Yamazaki	Surface en eau	1	0,92	0,96	
G3WBM_Yamazaki	Zone humide	0,33	1	0,5	
GFSAD30AFCE_2015	Total				0,68
GFSAD30AFCE_2015	Terre cultivable	0,65	1	0,78	
GLC_Share_FAO	Total				
GLC_Share_FAO	Zone artificielle				
GLC_Share_FAO	Surface en eau				
GLC_Share_FAO	Terre cultivable				
GLC_Share_FAO	Zone humide				
GLC_Share_FAO	Sol nu				
GLC_Share_FAO	Végétation				
GLC_Share_FAO	Forêt				
GLCNMO	Total				0,32

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score	Précision globale
GLCNMO	Zone artificielle	0	0	0	
GLCNMO	Surface en eau	0	0	0	
GLCNMO	Terre cultivable	0,31	0,6	0,41	
GLCNMO	Zone humide	0	0	0	
GLCNMO	Sol nu	0	0	0	
GLCNMO	Végétation	0,64	0,3	0,41	
GLCNMO	Forêt	0,1	0,66	0,17	
Global Human Settlement	Total				1
Global Human Settlement	Zone artificielle	1	1	1	
Global Tree Cover	Forêt				
Modis Tree cover	Forêt				
MODIS Water mask	Surface en eau				
MODIS_bare_soil	Sol nu	0,13	1	0,24	
Modis_land_cover_maryland	Total				0,68
Modis_land_cover_maryland	Zone artificielle	1	0,1	0,17	
Modis_land_cover_maryland	Surface en eau	0	0	0	
Modis_land_cover_maryland	Terre cultivable	0,41	0,63	0,5	
Modis_land_cover_maryland	Zone humide	0	0	0	
Modis_land_cover_maryland	Sol nu	0	0	0	
Modis_land_cover_maryland	Végétation	0,76	0,91	0,82	
Modis_land_cover_maryland	Forêt	0	0	0	
MODIS_vegetation	Végétation	0,68	1	0,81	
Pekel_occurence	Surface en eau	1	0,86	0,92	
Pekel_occurence	Zone humide	0,5	1	0,67	
SRTMWB	Total				
SRTMWB	Surface en eau				
World settlement footprint	Total				1
World settlement footprint	Zone artificielle	1	1	1	
World_pop	Zone artificielle	0,85	0,95	0,92	
WWF Global lake wetland	Total				0,35
WWF Global lake wetland	Surface en eau	0,4	0,86	0,55	
WWF Global lake wetland	Zone humide	0	0	0	
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Total				0,5
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Zone artificielle	1	0,43	0,6	
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Surface en eau	1	0,69	0,82	
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Terre cultivable	0,47	0,6	0,53	
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Zone humide	0	0	0	
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Sol nu	0	0	0	
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Végétation	0,79	0,51	0,62	
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Forêt	0,11	0,66	0,19	

Les Tableaux suivants résumant par classe les 3 paramètres Précision utilisateur, Rappel et F1-Score.

Tableau 25 : Résultats pour la variable Zone artificielle sur la zone du Parc W

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
World settlement footprint	Zone artificielle	1	1	1
Global Human Settlement	Zone artificielle	1	1	1
World_pop	Zone artificielle	0,8	1	0,89
Copernicus Land cover	Zone artificielle	1	0,67	0,8
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Zone artificielle	1	0,43	0,6
From GLC	Zone artificielle	1	0,33	0,5
ESA_CCI_LC	Zone artificielle	1	0,1	0,17
Modis_land_cover_maryland	Zone artificielle	1	0,1	0,17
GLCNMO	Zone artificielle	0	0	0
GLC_Share_FAO	Zone artificielle	0	0	0
Africapolis	Zone artificielle			

Tableau 26 : Résultats pour la variable Surface en eau sur la zone du Parc W

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Copernicus Water bodies	Surface en eau	1	1	1.0
MODIS Water mask	Surface en eau	1	1	1.0
G3WBM_Yamazaki	Surface en eau	1	0,92	0,96
Pekel	Surface en eau	1	0,86	0,92
From GLC	Surface en eau	1	0,75	0,86
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Surface en eau	1	0,69	0,82
ESA_CCI_LC	Surface en eau	1	0,69	0,81
Copernicus Land cover	Surface en eau	1	0,56	0,72
WWF Global lake wetland	Surface en eau	0,4	0,86	0,55
GLC_Share_FAO	Surface en eau	0,04	0,81	0,1
Natural Earth lake	Surface en eau	0	0	0
GLCNMO	Surface en eau	0	0	0
Modis_land_cover_maryland	Surface en eau	0	0	0
SRTMWB	Surface en eau			

Tableau 27 : Résultats pour la variable Terre cultivable sur la zone du Parc W

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
GFSAD30AFCE_2015	Terre cultivable	0,65	1	0,78
Copernicus Land cover	Terre cultivable	0,64	0,72	0,68
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Terre cultivable	0,47	0,6	0,53
ESA_CCI_LC	Terre cultivable	0,31	1	0,48
From GLC	Terre cultivable	0,31	0,71	0,43
GLCNMO	Terre cultivable	0,31	0,6	0,41

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Modis_land_cover_maryland	Terre cultivable	0,41	0,63	0,5
GLC_Share_FAO	Terre cultivable	0,13	0,02	0,03
Cropland2000	Terre cultivable	0	0	0

Tableau 28 : Résultats pour la variable Zone humide sur la zone du Parc W

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Copernicus Land cover	Zone humide	0,5	0,63	0,56
G3WBM_Yamazaki	Zone humide	0,33	1	0,5
ESA_CCI_LC	Zone humide	0	0	0
GLCNMO	Zone humide	0	0	0
WWF Global lake wetland	Zone humide	0	0	0
Modis_land_cover_maryland	Zone humide	0	0	0
From GLC	Zone humide	0	0	0
GLC_Share_FAO	Zone humide	0	0	0
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Zone humide	0	0	0

Tableau 29 : Résultats pour la variable Sol nu sur la zone du Parc W

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
MODIS_bare_soil	Sol nu	0,13	1	0,24
Modis_land_cover_maryland	Sol nu	0	0	0
GLC_Share_FAO	Sol nu	0	0	0
Copernicus Land cover	Sol nu	0	0	0
ESA_CCI_LC	Sol nu	0	0	0
From GLC	Sol nu	0	0	0
GLCNMO	Sol nu	0	0	0
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Sol nu	0	0	0

Tableau 30 : Résultats pour la variable Végétation sur la zone du Parc W

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Copernicus Land cover	Végétation	0,82	0,87	0,84
Modis_land_cover_maryland	Végétation	0,76	0,91	0,82
MODIS_vegetation	Végétation	0,68	1	0,81
From GLC	Végétation	0,78	0,78	0,79
ESA_CCI_LC	Végétation	0,88	0,7	0,78
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Végétation	0,79	0,51	0,62
GLCNMO	Végétation	0,64	0,3	0,41
Pasture2001	Végétation	0	0	0

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
GLC_Share_FAO	Végétation	0	0	0

Tableau 31 : Résultats pour la variable Forêt sur la zone du Parc W

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Copernicus Land cover	Forêt	0,22	0,3	0,26
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Forêt	0,11	0,66	0,19
GLCNMO	Forêt	0,1	0,66	0,17
ESA_CCI_LC	Forêt	0,13	0,06	0,08
From GLC	Forêt	0	0	0
Modis Tree cover	Forêt	0	0	0
Modis_land_cover_maryland	Forêt	0	0	0
GLC_Share_FAO	Forêt	0	0	0
Global Tree Cover	Forêt	0	0	0

### 3.2.1.2 Analyse des résultats par variable

#### 3.2.1.2.1 Zone artificielle

Les zones artificielles dans cette zone d'étude sont moins présentes mais sont toujours une variable où les résultats des bases de données sont bons. Comme dans le cas de la zone du Lac Tchad, nous pourrions fixer ces zones à partir du World Settlement Footprint ou du Global Human Settlement layer par exemple afin de s'en servir comme masque dans la classification pour ne pas recalculer ces valeurs.

#### 3.2.1.2.2 Surface en eau & zone humide

Les zones en eaux sont également peu présentes sur la zone à part le fleuve Niger sur la partie Nord-Est de la zone et un de ses affluents, le Mekrou, qui traverse le parc. Les bases de données qui obtiennent les meilleurs résultats sur la zone sont moins nombreuses que sur celle du Lac Tchad mais les principales restent néanmoins en haut du classement. Cependant nous pouvons remarquer que ce sont les bases de données à plus haute résolution qui se démarquent des bases qui le sont moins. En effet, sur cette zone, à la différence du Lac Tchad, les zones en eaux sont associées à un fleuve et une rivière, donc à des objets plus étroits et moins aisés à extraire en termes de résolution.

Concernant les zones humides, nous notons une régression de la base de données de Yamazaki qui révèle ici une pertinence beaucoup moindre. Les zones humides sont plus compliquées à extraire que sur le Lac Tchad et moins présentes. Ceci peut expliquer cette disparité entre les résultats obtenus sur la première zone d'étude et la deuxième. Notons que la base de données avec les meilleurs résultats sur cette zone est la base Copernicus Land Cover.

#### 3.2.1.2.3 Terre cultivable

Sur cette zone d'étude, la base de données la plus pertinente est toujours "GFSAD30AFCE" (Global Food Security-support Analysis Data (GFSAD) Cropland Extent Africa 30m). Elle obtient de meilleurs résultats que sur le Lac Tchad avec un précision remontant à 65% et un F-Score bien plus élevé à 0,78. Copernicus Land Cover obtient également de meilleurs résultats. Ces deux bases de données seront bien plus utiles que sur le Lac Tchad pour extraire les terres cultivables. En termes de classification, une meilleure précision permet de sélectionner des échantillons dont la vérité terrain est bien une parcelle agricole.

Nous pensons que certaines confusions résident toujours dans le mélange entre les parcelles agricoles et le sol nu pour certaines et d'une confusion avec la végétation pour d'autres. Le problème des parcelles abandonnées comme sur le Lac Tchad a également été de nouveau soulevé lors de l'élaboration du plan d'échantillonnage et de la confusion qui pourrait être entraînée au niveau de la classification sur ces zones parcellaires.

#### 3.2.1.2.4 Sol nu

Cette classe présente des résultats pauvres par sa quasi-absence de la zone. La confusion subjective entre du sol nu et de la végétation basse peut également être à l'origine de cette confusion. Néanmoins, on note également que cette classe est peu présente dans les différentes bases de données étudiées. La sélection même d'échantillons sur cette zone est questionable, comme pour la classe forêt sur le Lac Tchad, afin de ne pas introduire d'erreurs de classification.

#### 3.2.1.2.5 Forêt

Dans cette zone d'étude comme pour le Tchad, la variable forêt est quasi inexistante et produit donc de mauvais résultats pour toutes les bases de données. Comme pour la zone d'étude précédente, une exclusion de cette classe est à envisager lors de la production de carte d'occupation du sol.

### 3.2.1.3 Classement final sur la zone du Parc W

Comme pour le Lac Tchad, nous utilisons la méthode avec le critère statistique supplémentaire du F1-Score. Les tableaux suivants résument les différents résultats des bases de données analysées en fonction des variables :

Tableau 32 : Résultats pour la variable Zone urbaine sur la zone du Parc W

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation 5 - F-Score	Total
Poids		4	3	2	1	5	-
Global Human Settlement	Globale / 10m	3	2	3	3	3	42
World Settlement footprint	Globale / 10m	3	3	2	1	3	41
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	2	2,2	36
WorldPop	Global / 100m	2	2	3	3	2,56	35,8
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Continental e / 20m	3	3	3	1	1,4	35
FROM - GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	1	33
CCI Land Cover Africa 2016	Continental e / 20m	3	3	3	1	1	33
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1	27
ISCGM - GLOBAL MAP	Globale / 500m	1	2	1	3	1	20

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation 5 - F-Score	Total
GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)							
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1	18
Africapolis	Continental e	3	2	1	1	-1	16
Global Urban Footprint	Globale / 12m ou 84m	3	3	1	1	NA	NA
NOAA Nightlights	Global / 1 km	1	2	1	1	NA	NA
Natural Earth	Globale / 1km	1	1	1	1	NA	NA

Tableau 33 : Résultats pour la variable Surface en eau sur la zone du Parc W

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Poids		4	3	2	1	5	-
GSW (Pekel)	Globale / 30m	3	3	3	3	2,68	43,4
Yamazaki	Global / 100 & 30m	3	2	3	3	2,84	41,2
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	2,44	40,2
CCI Land Cover Africa 2016	Continental e / 20m	3	3	3	1	2,28	39,4
MODIS Surface en eau	Globale / 250m	1	3	3	3	3	37
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1,88	35,4
Copernicus Global Land Service Water Bodies	Globale / 30m	3	3	3	3	1	35
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	2,24	33,2
Global Lake and Wetlands database	Globale / 100m	2	1	1	3	1,2	22

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 – Résolution	Critère d'évaluation 2 – Fiabilité	Critère d'évaluation 3 – Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1	20
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	-0,6	10
SRTMWB	Globale / 30m	3	3	2	1	NA	NA
Natural Earth	Globale / 10m	3	1	1	1	NA	NA

Tableau 34 : Résultats pour la variable Terre cultivable sur la zone du Parc W

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 – Résolution	Critère d'évaluation 2 – Fiabilité	Critère d'évaluation 3 – Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Poids		4	3	2	1	5	-
GFSAD30AF CE	Globale / 30m	3	3	2	1	2,12	36,6
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1,72	34,6
CCI Land Cover Africa 2016	Continental e / 20m	3	3	3	1	1,12	33,6
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	0,72	31,6
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1	27
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	0,92	26,6
EarthStat – Pasture and Cropland area	Globale / 10km	1	3	1	1	1	21
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	0,64	18,2
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	-0,88	8,6

Tableau 35 : Résultats pour la variable Zone humide sur la zone du Parc W

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
G1WBM	Global / 100 & 30m	3	2	3	3	1.88	36.4
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	1	33
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1,24	32,2
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1	27
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1	27
Global Lake and Wetlands database	Globale / 100m	2	1	1	3	1	21
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1	20
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1	18

Tableau 36 : Résultats pour la variable Sol nu sur la zone du Parc W

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Poids		4	3	2	1	5	-
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1	31
MODIS Bare soil layer	Global / 250m	1	3	3	3	1	27
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1	27
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1	27
ISRIC World Soil information	Globale / 250m	1	3	3	2	1	26

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
HARMONIZED WORLD SOIL DATABASE	Globale / 100m	2	2	1	1	1	22
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1	20
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1	18

Tableau 37 : Résultats pour la variable Végétation sur la zone du Parc W

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	2,16	38,8
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	2,36	37,8
CCI Land Cover Africa 2016	Continentale / 20m	3	3	3	1	1,48	35,4
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	2,28	33,4
MODIS Végétation	Global / 250m	1	3	3	3	2,24	33,2
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	2,12	32,6
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	0,64	18,2
EarthStat - Pasture and Cropland area	Globale / 10km	1	3	1	1	-1	11
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	-1	8

Tableau 38 : Résultat pour la variable Forêt sur la zone du Parc W

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	1	33

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
CCI Land Cover Africa 2016	Continentale / 20m	3	3	3	1	1	33
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1	31
MODIS Tree Cover	Global / 250m	1	3	3	3	1	27
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1	27
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1	27
EarthStat - Pasture and Cropland area	Globale / 10km	1	3	1	1	1	21
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1	20
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1	18

Les bases de données retenues sont les suivantes :

Tableau 39 : BD Retenues sur la zone du Parc W

BD	Thématique
Global Human Settlement	Zone artificielle
Global Surface Water	Surface en eau
G1WBM	Zone humide
FROM-GLC	Végétation & Forêt
GFSAD30AFCE	Terre cultivable
Copernicus Global Land Service Land Cover	Sol nu

Néanmoins, à part pour les surfaces en eaux et les zones artificielles, la base de données Copernicus Land cover arrive en deuxième position pour les autres variables et avec un écart de maximum 2 points dans la classification. Nous envisageons d'utiliser cette base comme base de tirage des échantillons afin de faciliter les différentes étapes de sélection, mais aussi car sa précision sur les classes où elle se positionne au deuxième rang dans le classement sont proches des premières.

### 3.2.1.4 Utilisation du produit Copernicus Hot Spot

Le Hot Spot Land Cover Change Explorer est un système d'information basé sur le Web fournissant des informations détaillées sur la couverture et les changements de couverture terrestre sur des zones d'intérêt spécifiques. Ce service Copernicus soutient des projets de terrain et des politiques internationales développées par l'UE.

Les données et les produits sont basés sur des images satellitaires de moyenne à haute et très haute résolution (d'environ 1 à 30 m de résolution spatiale) avec une fréquence d'évaluation des changements comprise entre 1 et 20 ans.

Le système de classification suit le Land Cover Classification System (LCCS) développé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

Les cartes et statistiques de couverture et de changement de couverture terrestre produites et validées de manière indépendante sont disponibles pour les utilisateurs du monde entier.

Nous avons validé ce produit à l'aide des points obtenus lors de la sélection des points de validation effectués sur la zone. Les résultats sont les suivants :

Tableau 40 : Matrice de confusion sur la zone du Parc W

Classe	Zone artificielle	Surface en eau	Terre cultivable	Zone humide	Sol nu	Végétation	Forêt	Total Classes	Précision utilisateur
Zone artificielle	14	0	2	0	0	2	0	18	77,8
Surface en eau	0	12	0	4	0	0	0	16	75
Terre cultivable	0	0	57	1	1	4	0	63	90,5
Zone humide	0	1	2	3	0	2	0	8	37,5
Sol nu	0	0	7	0	0	14	0	21	0
Végétation	0	0	13	2	0	303	0	318	95,3
Forêt	0	0	0	3	0	27	0	30	0
Total Référence	14	13	81	13	1	352	0		
Précision producteur	100	92,3	70,4	23,1	0	86,1	-		

Tableau 41 : Résumé des indicateurs statistiques sur la zone du Parc W

Classe	n Vérité	n Classé	Précision utilisateur	Rappel	F Score
Zone artificielle	14	18	1	0,78	0,88
Surface en eau	13	16	0,92	0,75	0,83
Terre cultivable	81	63	0,7	0,9	0,79
Zones humide	13	8	0,23	0,38	0,29
Sol nu	1	21	0	0	0
Végétation	352	318	0,86	0,95	0,9
Forêt	0	30	0	0	0
Précision globale	82%				

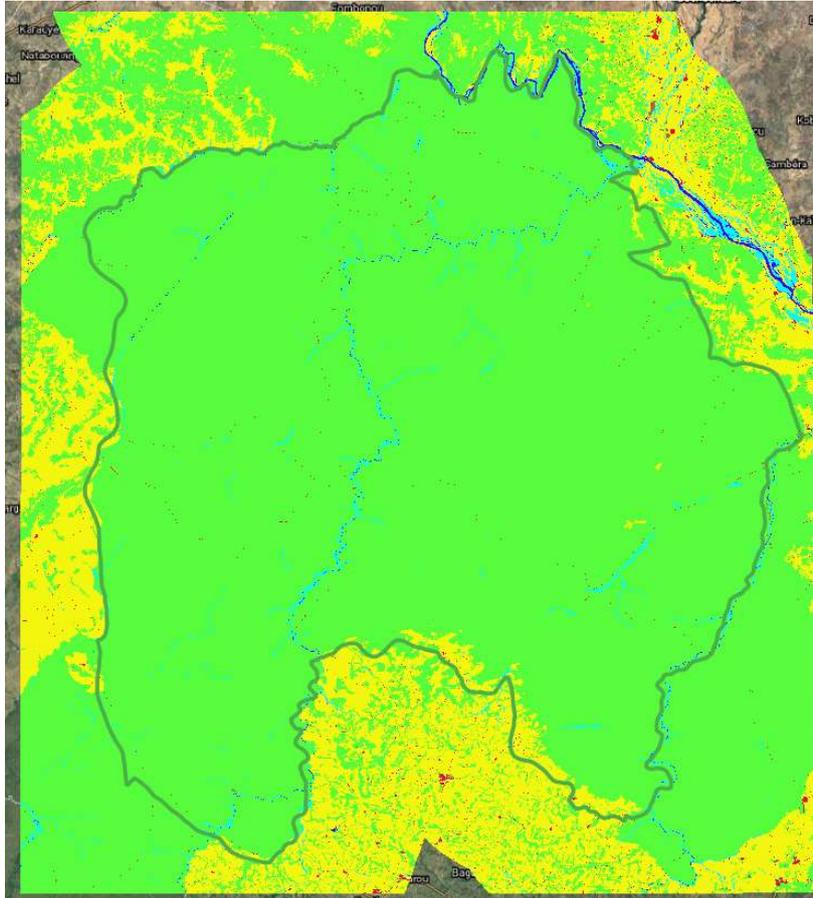


Figure 12 : Illustration du produit Hot Spot Land Cover Change

## 3.2.2 Parc Tocc Tocc au Sénégal

À la suite de l'intérêt manifesté par le Centre de Suivi Écologique (CSE) au Sénégal, le Parc Tocc Tocc au Sénégal d'une surface d'environ 12 km<sup>2</sup> a également fait l'objet d'une analyse (cf. Figure 13 : Carte de localisation de la zone d'étude du Parc Tocc Tocc au Sénégal). La Réserve Naturelle Communautaire de Tocc Tocc est classée Réserve de biosphère de l'UNESCO, Il s'agit d'un site Ramsar correspondant à une zone humide d'importance internationale. Le bassin de la rivière Sénégal est un véritable réservoir de biodiversité abritant plusieurs espèces vulnérables de poissons et d'oiseaux d'eau.

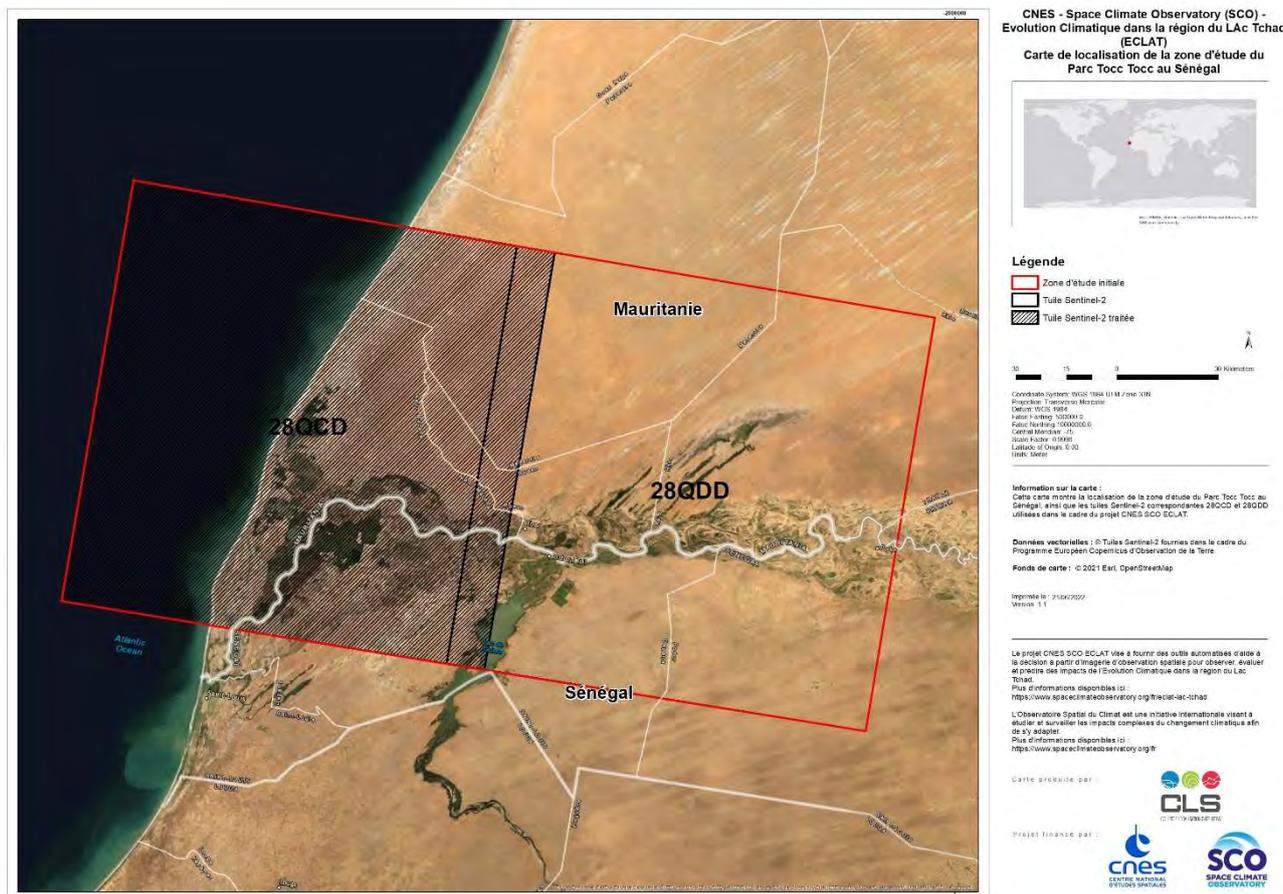


Figure 13 : Carte de localisation du Parc Tocc Tocc au Sénégal

### 3.2.2.1 Tableaux récapitulatifs

Tableau 42: Résultats des bases de données sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score	Précision globale
Africapolis	Zone artificielle				
Copernicus Land cover	Total				0,42
Copernicus Land cover	Zone artificielle	1	0,87	0,93	
Copernicus Land cover	Surface en eau	0,93	0,84	0,89	
Copernicus Land cover	Terre cultivable	0,56	0,74	0,64	
Copernicus Land cover	Zone humide	0,85	0,61	0,71	
Copernicus Land cover	Sol nu	0,33	0,02	0,04	

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score	Précision globale
Copernicus Land cover	Végétation	0,21	0,73	0,32	
Copernicus Land cover	Forêt	0	0	0	
Copernicus Water bodies	Surface en eau	0,48	1	0,65	
Cropland2000	Terre cultivable	0	0	0	
ESA_CCI_LC_Africa	Total				0,34
ESA_CCI_LC_Africa	Zone artificielle	1	0,82	0,9	
ESA_CCI_LC_Africa	Surface en eau	0,63	0,81	0,71	
ESA_CCI_LC_Africa	Terre cultivable	0,23	0,63	0,34	
ESA_CCI_LC_Africa	Zone humide	0,71	0,19	0,3	
ESA_CCI_LC_Africa	Sol nu	0,31	0,04	0,1	
ESA_CCI_LC_Africa	Végétation	0,22	0,57	0,32	
ESA_CCI_LC_Africa	Forêt	0	0	0	
ESA_CCI_LC	Total				0,33
ESA_CCI_LC	Zone artificielle	1	0,35	0,52	
ESA_CCI_LC	Surface en eau	0,7	0,53	0,6	
ESA_CCI_LC	Terre cultivable	0,26	0,38	0,31	
ESA_CCI_LC	Zone humide	0,38	0,44	0,41	
ESA_CCI_LC	Sol nu	0,75	0,03	0,05	
ESA_CCI_LC	Végétation	0,24	0,75	0,36	
ESA_CCI_LC	Forêt	0	0	0	
From GLC	Total				0,34
From GLC	Zone artificielle	0,41	0,65	0,5	
From GLC	Surface en eau	0,68	0,94	0,79	
From GLC	Terre cultivable	0,37	0,49	0,42	
From GLC	Zone humide	1	0,05	0,1	
From GLC	Sol nu	0,59	0,08	0,14	
From GLC	Végétation	0,2	0,75	0,32	
From GLC	Forêt	0	0	0	
G3WBM_Yamazaki	Total				0,81
G3WBM_Yamazaki	Surface en eau	1	0,81	0,89	
G3WBM_Yamazaki	Zone humide	0,68	1	0,81	
GFSAD30AFCE_2015	Total				0,78
GFSAD30AFCE_2015	Terre cultivable	0,88	1	0,94	
GLC_Share_FAO	Total				0,33
GLC_Share_FAO	Zone artificielle	0,89	0,73	0,8	
GLC_Share_FAO	Surface en eau	0,68	0,52	0,59	

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score	Précision globale
GLC_Share_FAO	Terre cultivable	0,35	0,42	0,39	
GLC_Share_FAO	Zone humide	0,71	0,28	0,4	
GLC_Share_FAO	Sol nu	0,63	0,1	0,16	
GLC_Share_FAO	Végétation	0,19	0,77	0,31	
GLC_Share_FAO	Forêt	0	0	0	
GLCNMO	Total				0,28
GLCNMO	Zone artificielle	1	0,69	0,82	
GLCNMO	Surface en eau	0,89	0,31	0,46	
GLCNMO	Terre cultivable	0,31	0,57	0,4	
GLCNMO	Zone humide	1	0,1	0,1	
GLCNMO	Sol nu	0	0	0	
GLCNMO	Végétation	0,2	0,86	0,33	
GLCNMO	Forêt	0	0	0	
Global Human Settlement	Total				0,9
Global Human Settlement	Zone artificielle	0,91	1	0,95	
Global Tree Cover (> 30%)	Forêt				
Modis Tree cover (> 30%)	Forêt				
MODIS Water mask	Surface en eau	0,84	1	0,91	
MODIS_bare_soil	Sol nu	0,39	1	0,56	
Modis_land_cover_maryland	Total				0,28
Modis_land_cover_maryland	Zone artificielle	0,73	0,62	0,67	
Modis_land_cover_maryland	Surface en eau	0,75	0,43	0,55	
Modis_land_cover_maryland	Terre cultivable	0	0	0	
Modis_land_cover_maryland	Zone humide	0,8	0,11	0,19	
Modis_land_cover_maryland	Sol nu	1	0,1	0,13	
Modis_land_cover_maryland	Végétation	0,19	1	0,32	
Modis_land_cover_maryland	Forêt	0	0	0	
MODIS_vegetation	Végétation	0,19	1	0,32	
Pekel_occurence	Total				0,91
Pekel_occurence	Surface en eau	1	0,83	0,91	
Pekel_occurence	Zone humide	0,83	1	0,91	
SRTMWB	Total				0,71
SRTMWB	Surface en eau	0,71	1	0,83	
World settlement footprint	Total				0,93
World settlement footprint	Zone artificielle	0,93	1	0,96	
World_pop	Zone artificielle				
WWF Global lake wetland	Total				0,28

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score	Précision globale
WWF Global lake wetland	Surface en eau	0,65	0,46	0,54	
WWF Global lake wetland	Zone humide	0,2	0,94	0,33	

Tableau 43 : Résultats pour la variable Zone artificielle sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
World settlement footprint	Zone artificielle	0,93	1	0,96
Global Human Settlement	Zone artificielle	0,91	1	0,95
Copernicus Land cover	Zone artificielle	1	0,87	0,93
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Zone artificielle	1	0,82	0,9
GLCNMO	Zone artificielle	1	0,69	0,82
GLC_Share_FAO	Zone artificielle	0,89	0,73	0,8
Modis_land_cover_maryland	Zone artificielle	0,73	0,62	0,67
ESA_CCI_LC	Zone artificielle	1	0,35	0,52
From GLC	Zone artificielle	0,41	0,65	0,5
World_pop	Zone artificielle			
Africapolis	Zone artificielle			

Tableau 44 : Résultats pour la variable Surface en eau sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
MODIS Water mask	Surface en eau	0,84	1	0,91
Pekel	Surface en eau	1	0,83	0,91
G3WBM_Yamazaki	Surface en eau	1	0,81	0,89
Copernicus Land cover	Surface en eau	0,93	0,84	0,89
SRTMWB	Surface en eau	0,71	1	0,83
From GLC	Surface en eau	0,68	0,94	0,79
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Surface en eau	0,63	0,81	0,71
Copernicus Water bodies	Surface en eau	0,48	1	0,65
ESA_CCI_LC	Surface en eau	0,7	0,53	0,6
GLC_Share_FAO	Surface en eau	0,68	0,52	0,59
Modis_land_cover_maryland	Surface en eau	0,75	0,43	0,55
WWF Global lake wetland	Surface en eau	0,65	0,46	0,54
GLCNMO	Surface en eau	0,89	0,31	0,46

Tableau 45 : Résultats pour la variable Terre cultivable sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
GFSAD30AFCE_2015	Terre cultivable	0,88	1	0,94

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Copernicus Land cover	Terre cultivable	0,56	0,74	0,64
From GLC	Terre cultivable	0,37	0,49	0,42
GLCNMO	Terre cultivable	0,31	0,57	0,4
GLC_Share_FAO	Terre cultivable	0,35	0,42	0,39
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Terre cultivable	0,23	0,63	0,34
ESA_CCI_LC	Terre cultivable	0,26	0,38	0,31
Modis_land_cover_maryland	Terre cultivable	0	0	0
Cropland2000	Terre cultivable	0	0	0

Tableau 46 : Résultats pour la variable Zone humide sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
G3WBM_Yamazaki	Zone humide	0,68	1	0,81
Copernicus Land cover	Zone humide	0,85	0,61	0,71
ESA_CCI_LC	Zone humide	0,38	0,44	0,41
GLC_Share_FAO	Zone humide	0,71	0,28	0,4
WWF Global lake wetland	Zone humide	0,2	0,94	0,33
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Zone humide	0,71	0,19	0,3
Modis_land_cover_maryland	Zone humide	0,8	0,11	0,19
GLCNMO	Zone humide	1	0,1	0,1
From GLC	Zone humide	1	0,05	0,1

Tableau 47 : Résultats pour la variable Sol nu sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
MODIS_bare_soil	Sol nu	0,39	1	0,56
GLC_Share_FAO	Sol nu	0,63	0,1	0,16
From GLC	Sol nu	0,59	0,08	0,14
Modis_land_cover_maryland	Sol nu	1	0,1	0,13
ESA_CCI_LC	Sol nu	0,75	0,03	0,05
Copernicus Land cover	Sol nu	0,33	0,02	0,04
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Sol nu	0,31	0,04	0,1
GLCNMO	Sol nu	0	0	0

Tableau 48 : Résultats pour la variable Végétation sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
ESA_CCI_LC	Végétation	0,24	0,75	0,36
GLCNMO	Végétation	0,2	0,86	0,33
Copernicus Land cover	Végétation	0,21	0,73	0,32

BD	Variable	Précision utilisateur	Rappel	F1-Score
Modis_land_cover_maryland	Végétation	0,19	1	0,32
From GLC	Végétation	0,2	0,75	0,32
ESA_CCI_LC_Africa_20m	Végétation	0,22	0,57	0,32
MODIS_vegetation	Végétation	0,19	1	0,32
GLC_Share_FAO	Végétation	0,19	0,77	0,31



## 3.2.2.2 Analyses des résultats par variable

### 3.2.2.2.1 Surface en eau

Les surfaces en eau sont les parties du site du Parc Tocc Tocc appartenant au lac. Les points de validation sont donc bien regroupés et il n'est pas étonnant de remarquer que l'on obtient des résultats plus performants avec des bases de données à plus faible résolution spatiale (SRTMWB) sur ce site. En effet, les points de validation se trouvant très regroupés dans une zone étroite du site, un pixel à faible résolution spatiale pourrait tous les englober et donc entraîner un biais dans la validation. Il est plus intéressant de regarder les bases de données à plus faible résolution spatiale où l'on peut également identifier des petites zones arborées présentes au milieu du plan d'eau de la zone. Les points de validation se trouvant à l'interface entre les zones humides et le plan d'eau, il n'est pas surprenant également de voir les résultats un peu plus faibles de certaines bases de données comme celle de Pekel. Nous pouvons imaginer que si le niveau de l'eau n'est pas constant, il pourrait y avoir confusion pour certaines bases de données en fonction du moment de l'observation.

### 3.2.2.2.2 Zone humide

Etrangement, c'est également avec une base de données à faible résolution spatiale que l'on obtient les meilleurs résultats sur cette variable dans la zone du Parc Tocc Tocc. Ceci peut également s'expliquer par le regroupement des points dans une zone minimale et inégalement réparties sur la totalité de la zone. La base de données de Yamazaki fonctionne également toujours bien sur cette variable et pourrait donc rester comme base de données de référence malgré une précision plus faible que GLC\_Share ou GLCNMO. Cependant, ceci peut s'expliquer par la différence de résolution entre les bases de données. La BD ESA\_CCI\_LC à 300m obtient également de bons résultats, avec les mêmes points que Yamazaki. Quant aux autres, elles sont bien en-dessous en termes de résultats avec des précisions et des sensibilités qui baissent fortement.

### 3.2.2.2.3 Sol nu

Cette variable est très peu représentée dans l'ensemble des points de validation, et comme sur la zone du Lac Tchad ou du Parc W, il est difficile de faire la différence par moment entre du sol nu et un sol très peu arbustif. Certaines bases de données auront pu confondre ces deux variables et donc baisser en pertinence sur cette zone. Les deux seules bases de données qui n'ont pas de résultats à 0 sont FROM\_GLC et MODIS\_Bare soil avec cependant une bien meilleure justesse de FROM\_GLC.

### 3.2.2.2.4 Végétation

Les bases de données sont un peu plus pertinentes avec la variable végétation malgré les possibles confusions avec le sol nu. Cependant les résultats restent très faibles avec un F-Score de 0,42 pour la base de données Copernicus Land Cover qui se trouve au premier rang. La petite taille de la zone et la confusion possible avec le sol nu peuvent expliquer ces métriques faibles sur la variable végétation. De plus, la végétation étant plus faiblement présente que les zones humides, ce facteur, ajouté aux autres, pourrait également expliquer les mauvais résultats des bases de données de moindre résolution et les confusions pour celles à plus haute résolution.

### 3.2.2.3 Classement final sur la zone du Parc Tocc Tocc

Tableau 49 : Résultats pour la variable Zone artificielle sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Global Human Settlement	Globale / 10m	3	2	3	3	2,8	41
CCI Land Cover Africa 2016	Continental e / 20m	3	3	3	1	2,6	41
World Settlement footprint	Globale / 10m	3	3	2	1	2,84	40,2
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	2	2,72	38,6
FROM - GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	1	33
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1,68	30,4
Global Urban Footprint	Globale / 12m ou 84m	3	3	1	1	1	29
WorldPop	Global / 100m	2	2	3	3	1	28
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	2,28	26,4
Africapolis	Continental e	3	2	1	1	1	26
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	2,2	24
NOAA Nightlights	Global / 1 km	1	2	1	1	1	18
Natural Earth	Globale / 1km	1	1	1	1	1	15
Poids		4	3	2	1	5	-

Tableau 50 : Résultats pour la variable Surface en eau sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
GSW (Pekel)	Globale / 30m	3	3	3	3	2,64	43,2
Yamazaki	Global / 100 & 30m	3	2	3	3	2,56	39,8
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	2,16	38,8

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	2,56	38,8
Copernicus Global Land Service Water Bodies	Globale / 30m	3	3	3	3	1,6	38
SRTMWB	Globale / 30m	3	3	2	1	2,32	37,6
CCI Land Cover Africa 2016	Continental e / 20m	3	3	3	1	1,84	37,2
MODIS Surface en eau	Globale / 250m	1	3	3	3	2,64	35,2
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1,4	29
Natural Earth	Globale / 10m	3	1	1	1	1	23
Global Lake and Wetlands database	Globale / 100m	2	1	1	3	1,16	21,8
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1	20
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1,36	19,8
Poids		4	3	2	1	5	-

Tableau 51 : Résultats pour la variable Terre cultivable sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
GFSAD30AFCE	Globale / 30m	3	3	2	1	2,76	39,8
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1,56	33,8
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	1	33

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
CCI Land Cover Africa 2016	Continental e / 20m	3	3	3	1	1	33
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1	27
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1	27
EarthStat - Pasture and Cropland area	Globale / 10km	1	3	1	1	1	21
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1	20
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1	18
Poids		4	3	2	1	5	-

Tableau 52 : Résultats pour la variable Zone humide sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
G1WBM	Global / 100 & 30m	3	2	3	3	2,24	38,2
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1,84	35,2
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	1	33
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1	27
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1	27
Global Lake and Wetlands database	Globale / 100m	2	1	1	3	1	21

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1	20
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1	18

Tableau 53 : Résultats pour la variable "Sol nu" sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1	31
MODIS Bare soil layer	Global / 250m	1	3	3	3	1,24	28,2
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1	27
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1	27
ISRIC World Soil information	Globale / 250m	1	3	3	2	1	26
HARMONIZED WORLD SOIL DATABASE	Globale / 100m	2	2	1	1	1	22
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1	20
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1	18
Poids		4	3	2	1	5	-

Tableau 54 : Résultats pour la variable Végétation sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Echelle et résolution	Critère d'évaluation 1 - Résolution	Critère d'évaluation 2 - Fiabilité	Critère d'évaluation 3 - Mise à jour	Critère d'évaluation 4 - Généalogie	Critère d'évaluation n°5 - F-Score	Total
FROM-GLC	Globale / 30m	3	3	2	3	1	33
CCI Land Cover Africa 2016	Continental e / 20m	3	3	3	1	1	33
Copernicus Global Land Service Land Cover	Globale / 100m	2	3	3	3	1	31
MODIS Végétation	Global / 250m	1	3	3	3	1	27
MODIS Land Cover	Global / 500m	1	3	3	3	1	27
ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain (2017)	Globale / 300m	1	3	3	3	1	27
EarthStat - Pasture and Cropland area	Globale / 10km	1	3	1	1	1	21
ISCGM - GLOBAL MAP GLOBAL LAND COVER (GLCNMO)	Globale / 500m	1	2	1	3	1	20
GLC - Share FAO	Global / 1km	1	2	1	1	1	18

### 3.2.3 Zone Ouest du Parc Tocc Tocc au Sénégal, Tuile S2 28QCD

À la suite de l'implication dans le projet du Centre de Suivi Ecologique au Sénégal, il a été décidé que la zone située à l'Ouest du Parc Tocc Tocc étudiée précédemment serait d'intérêt pour une étude. Cette décision intervenant dans une période avancée du projet, il a été décidé que les résultats obtenus sur le Parc Tocc Tocc au Sénégal seraient appliqués uniquement sur la partie Ouest correspondant à la tuile Sentinel-2 28QCD. Nous reprenons donc les résultats précédents afin de réaliser les tirages d'échantillons pour la production de l'occupation du sol.

Les bases de données retenues sont les suivantes :

Tableau 55 : Sélection des bases de données par thématique sur la zone du Parc Tocc Tocc

BD	Thématique	
Global Human Settlement	Zone artificielle	
Global Surface Water	Surface en eau	
GFSAD30AFCE	Terre cultivable	
G1WBM (Global 1sec Water Body Map)	Zone humide	
Copernicus Global Land Service Land Cover	Sol nu	
FROM GLC & ESA CCI Land Cover Africa 20m	Végétation	

## 4 Cartes d'occupation du sol

### 4.1 Méthode

Afin de réaliser l'occupation du sol sur les différentes zones du projet et de tirer parti de l'étude précédemment réalisée sur les bases de données, il est proposé de générer des cartes d'occupation (OCS) du sol à partir de la chaîne lota-2.

L'utilisation des bases de données se fera donc de deux façons :

- Pour un tirage d'échantillons d'entraînement à fournir en entrée de lota-2
- Pour une correction de la sortie de la chaîne afin d'optimiser la précision globale de l'OCS

La méthode de création des produits d'occupation du sol suit 3 grandes étapes :

- Préparation de la donnée :
  - Téléchargement de la base de données sur la zone d'intérêt
  - Découpage en fonction du nombre de tuiles Sentinel-2 traitées
  - Harmonisation de la base à la nomenclature ECLAT
  - Sélection des échantillons
- Classification lota-2
- Validation

#### 4.1.1 Préparation de la donnée

L'harmonisation avec la nomenclature ECLAT se fait via un code python afin de réaliser les opérations de reclassification de la valeur du pixel.

La sélection des échantillons se fait sur les bases de données les mieux notées dans l'étape précédente. Un fichier python a été écrit afin de sélectionner aléatoirement un nombre d'échantillons sur chaque base de données associée à chacune des thématiques. Le nombre d'échantillons sélectionnés est le même pour chaque thématique. Aucune stratification pour chaque zone n'a été réalisée au préalable afin d'évaluer le nombre et la proportion de chaque classe sur les différentes zones. Le rééquilibrage du nombre d'échantillons se fait plus tard dans lota-2 lors de l'étape "Sample Selection". Cette partie sera explicité plus tard dans ce document.

Le fichier de vérité terrain est maintenant prêt pour être utilisé dans lota-2.

#### 4.1.2 Classification

La chaîne lota-2 est lancée pour générer l'occupation du sol. Dans un deuxième temps en post-classification une correction est appliquée à l'occupation du sol. Afin de sélectionner les bases de données qui seront utilisées comme source de correction, il a été décidé de choisir les bases de données uniquement si elle dépasse une note de 2,5 sur le paramètre de notation "F-Score", en dessous de laquelle la base de données ne pourra pas être sélectionnée pour réaliser des corrections sur les OCS. En complément nous fixons également un critère supplémentaire pour la correction des OCS. En effet les bases de données ont des dates de production et de mises à jour différentes. Les corrections ne doivent être réalisées uniquement quand la date de production ou de mise à jour est assez proche de l'année de production de l'OCS avec lota-2. Le critère impose donc 2 années au maximum d'écart entre la base de données de correction et l'OCS (exemple : production pour l'année 2020, correction avec WSF de 2019 ou GHSL de 2018 autorisé, mais interdit avec GUF de 2015).

En tenant compte de cette règle, nous pouvons sélectionner les bases de données suivantes pour les corrections des OCS pour chaque région :

Tableau 56 : BD sélectionnées pour la correction des cartes d'OCS sur la zone du Lac Tchad

Base de données dont le F-Score > 2.5	Thématique
Global Human Settlement	Urbain
Global Surface Water	Surface en eau
G1BMW	Zone humide
MODIS bare soil	Sol nu

Tableau 57 : BD sélectionnées pour la correction des cartes d'OCS sur la zone du Parc Tocc Tocc

Base de données dont le F-Score > 2.5	Thématique
Global Human Settlement	Urbain
Global Surface Water	Surface en eau
GFSAD30AFCE	Terre cultivable

Tableau 58 : BD sélectionnées pour la correction des cartes d'OCS sur la zone du Parc W

Base de données dont le F-Score > 2.5	Thématique
Global Human Settlement	Urbain
Global Surface Water	Surface en eau

### 4.1.3 Validation

A l'issue de la classification Iota-2 et de l'application des corrections, une validation est réalisée à l'aide des points de validation constitués lors du plan d'échantillonnage réalisé en amont dans le projet. Les résultats sont présentés dans la section suivante et les matrices de confusion détaillées par zone de production sont disponibles en Annexe I.



## 4.2 Cartes d'occupation du sol

La génération des cartes d'occupation du sol se fait à l'aide de l'outil Iota-2, chaîne de traitement développée au CESBIO pour la production de classifications d'occupation du sol à partir de séries temporelles longues Sentinel-2.

Les données Sentinel-2 utilisées sont de niveau L2A et commandées sur le PEPS du CNES via un fichier python. Sur l'ensemble des sites produits (3 tuiles Sentinel-2 dans la région du Lac Tchad et une tuile dans la zone de la réserve Tocc Tocc), 3 années ont été téléchargées : 2020 ; 2019 ; 2018. Le niveau L3A qui a été testé en entrée de Iota-2 a été produit à l'aide de l'outil WASP pour 2020 sur le Tchad.

La configuration de Iota-2 a été faite suite à plusieurs tests de paramétrage prenant en compte la précision de classification de chaque thématique ainsi que le temps de calcul. Les thématiques ne pouvant pas être fusionnées avec les bases de données ont été évaluées plus particulièrement et privilégiées dans les configurations leur donnant de meilleurs taux de précisions.

Les différentes configurations avec les précisions des produits en sortie sont résumées dans la Tableau 598 ci-dessous.

Tableau 59 : Paramètres des tests de classification Iota-2

Numéro test	Niveau Sentinel-2 utilisé	Classifieur	Sampling strategy	Ratio	Paramètres additionnelles	Précision globale
1	L3A	Random Forest Paramètres : Min : 25 ; Max : 5 nbtrees : 150	Smallest	0,5	Non	49%
2	L3A	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 5 nbtrees : 150	Smallest	0,5	Non	52%
3	L3A	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 20 nbtrees : 150	Smallest	0,5	Non	52%
4	L3A	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 5 ; nbtrees : 150	Total	0,5	Non	59%
5	L3A	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 5 ; nbtrees : 150	Percent (0,8)	0,5	Non	59%
6	L3A	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 5 ; nbtrees : 150	Total	0,5	Smote : actif	59%

Numéro test	Niveau Sentinel-2 utilisé	Classifieur	Sampling strategy	Ratio	Paramètres additionnelles	Précision globale
7	L3A	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 5 ; nbtrees : 150	Smallest	0,5	Smote : actif Features : NDVI, NDWI, brightness	56%
8	L2A (3 dates)	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 5 ; nbtrees : 150	Smallest	0,5	Non	60%
9	L2A (3 dates)	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 5 ; nbtrees : 150	Total	0,5	Non	62%
10	L2A (3 dates)	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 5 ; nbtrees : 150	Total	0,5	Features : NDVI, NDWI, brightness	63%
11	L2A (12 dates)	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 5 ; nbtrees : 150	Total	0,5	Features : NDVI, NDWI, brightness	62%
11	L2A (full series)	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 5 ; nbtrees : 150	Total	0,5	Features : NDVI, NDWI, brightness	64%
12	L2A (full series)	Random Forest Paramètres : Min : 10 ; Max : 5 ; nbtrees : 150	Percent (0,8)	0,5	Features : NDVI, NDWI, brightness	65%
13	L2A (full series)	Random Forest Paramètres : Min : 5 ; Max : 25 ; nbtrees : 150	Percent (0,8)	0,5	Features : NDVI, NDWI, brightness	63%

Les tests de configuration ont été menés sur le Tchad. Les différents paramètres testés dans Lota-2 ont été d'abord menés sur une tuile (33PWP) avant d'être déployés sur d'autres tuiles. Le paramètre "d'autocontext" aurait pu être testé mais les temps de calcul étant trop long et les difficultés à obtenir une classification en sortie de Lota-2 avec ce paramètre ont conduit à ne pas approfondir les tests le concernant. Les paramètres retenus dans le "benchmarking" sont :

- Le classifieur : *shark random forest* ou *random forest OTB*
- La stratégie de sélection des échantillons *Percent (80 %)*
- La nature des images Sentinel-2 en entrée

- Le rajout de paramètres additionnels tels que le *sample augmentation* ou les *features* additionnels

Concernant les classifieurs, peu de différences ont été vues dans le fonctionnement de la chaîne et au niveau des résultats en sortie. La décision a été prise de rapidement se concentrer sur l'algorithme *Random Forest*, classifieur qui est largement utilisé dans les opérations de classifications et dont les preuves ne sont plus à faire concernant sa robustesse et sa précision de classification.

La stratégie de *sampling* sur les échantillons en entrée a quant à elle eu un réel impact sur les sorties d'occupation du sol. Effectivement, il a été rapidement vu que la stratégie de la plus petite classe *smallest*, même si elle était la plus souhaitable pour assurer un équilibrage entre les classes, était biaisée par des classes dont le nombre d'échantillons était trop faible. C'est le cas pour la classe forêt ou zone artificielle sur certaines tuiles. Il a été décidé de retirer la classe " forêt ", absente exceptées quelques tuiles, pour les futurs tests afin de constater la pertinence de cette stratégie. Malgré le retrait de la classe forêt, les résultats de cette stratégie restent en deçà des autres disponibles. Les tests se sont orientés également sur les stratégies *Total* ou *Percent* qui consistent à prendre le total des échantillons ou un certain pourcentage. L'application de la stratégie *Total* montre un gain significatif de précision (5% à 6%) notamment sur le passage de Sentinel-2 L3A au Sentinel-L2A. L'application de la stratégie *Percent* permet encore un gain de précision (1% à 2%) et sera la stratégie retenue pour la suite de la génération des cartes d'occupation du sol.

Dans le cadre de cette étude, les tests des jeux de données en entrée se sont avérés rapidement concluants. Les images Sentinel-2 au niveau de prétraitement 3A est moins robuste que L2A pour la génération d'occupation du sol sur le Tchad. Le gain de précision avec la série temporelle de donnée L2A est conséquent et cette dernière sera donc appliquée pour les productions futures.

Le rajout de paramètres supplémentaires a aussi été testé mais de façon limitée par rapport à toutes les possibilités qu'offre Lota-2. Le but du projet n'étant pas de tester la chaîne, seuls deux paramètres additionnels ont été testés : le *sample augmentation smote* et le rajout de *features* : NDVI, NDWI, *brightness*. Aucun impact n'a été constaté avec l'application du *Smote* et ce paramètre a été rapidement écarté. Néanmoins de nouvelles investigations mériteraient sans doute d'être menées sur ce paramètre fort utile à plusieurs égards. L'autre paramètre concernant les *features* a clairement permis un gain de précision sur les résultats en sortie et sera donc conservé pour les productions futures.

La configuration de Lota-2 étant prête, le lancement des productions de l'occupation du sol peut se faire. Dans un premier temps, la région du Tchad devait être traitée dans son entièreté. Par la suite, la zone du Sénégal 28QDD de même que la zone du Parc W devaient elles aussi être traitée. Cependant, lors de la réorganisation des zones de productions du projet, notamment à la suite des discussions avec le CSE au Sénégal, la zone 28QCD au Sénégal ainsi que les tuiles 33PWP, 33PUP et 33PTP au Tchad ont été finalement entérinées comme zones de production des produits d'occupation du sol.

Les résultats des précisions des différentes classes d'occupation du sol brutes puis corrigées sont présentées dans le Tableau 59 ci-dessous.

Tableau 60 : Précisions des classifications d'OCS avant et après correction sur les 3 zones d'étude

Zone	Précision brute	Précision après correction
Tchad 33PWP 2018	61%	68%
Tchad 33PWP 2019	64%	67%
Tchad 33PWP 2020	63%	69%
Tchad 33PUP 2018	55%	60%
Tchad 33PUP 2019	57%	66%
Tchad 33PUP 2020	60%	63%



Zone	Précision brute	Précision après correction
Tchad 33PTP 2018	65%	66%
Tchad 33PTP 2019	63%	65%
Tchad 33PTP 2020	65%	68%
Sénégal 28QCD 2018		82%
Sénégal 28QCD 2019		77%
Sénégal 28QCD 2020		77%

Les résultats de la cartographie de l'occupation du sol sur les 3 tuiles Sentinel-2 du Tchad ont été obtenus avec une précision globale brute comprise entre 55 et 65 % sur l'année 2020, Des commissions sont importantes dans la classe urbaine qui se confond en partie avec le sol nu.

En effet, de nombreux échantillons dans le tirage aléatoire de la classe zone artificielle se révèlent être des pixels hétérogènes entre zone artificielle et sol nu.

Ceci s'explique par l'environnement des zones urbaines au Tchad où les bâtis sont séparés par du sol nu et où peu de sol artificialisé existe. La Figure ci-dessous montre des exemples du problème rencontré :

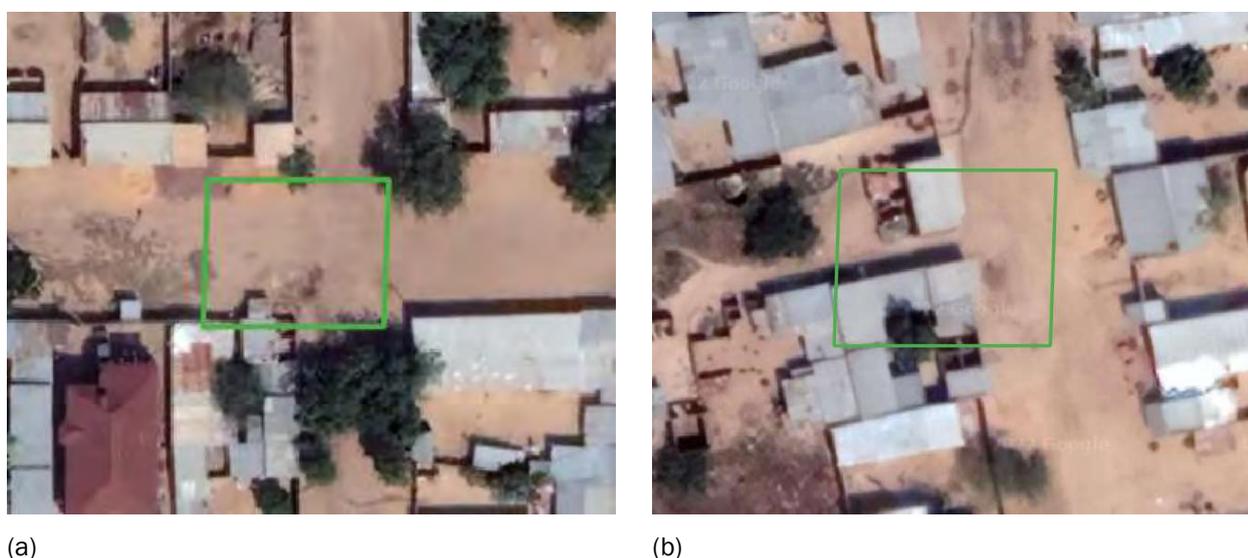


Figure 14 : Illustration du sol nu (a) et du bâti (b) au Tchad sur image Google Satellite

Les autres confusions existantes se situent entre les classes de sol nu / végétation / terre cultivable. En effet certaines cultures semblent à l'abandon et se rapprochent d'un sol nu alors que la végétation basse arbustive très présente dans la région entraîne la confusion entre les classes précitées.

Pour pallier aux confusions existantes entre les classes de bâti et de sol nu, les tuiles ont fait l'objet d'une classification sans la classe zone artificielle en entrée et sont corrigées par la suite avec l'application d'une correction venant du World Settlement Footprint 2019. Cette approche permet aux tuiles du Tchad d'obtenir des précisions globales après correction entre 60 et 69%.

Les résultats pour la tuile 33PWP sont présentés dans les Figure à 15 :

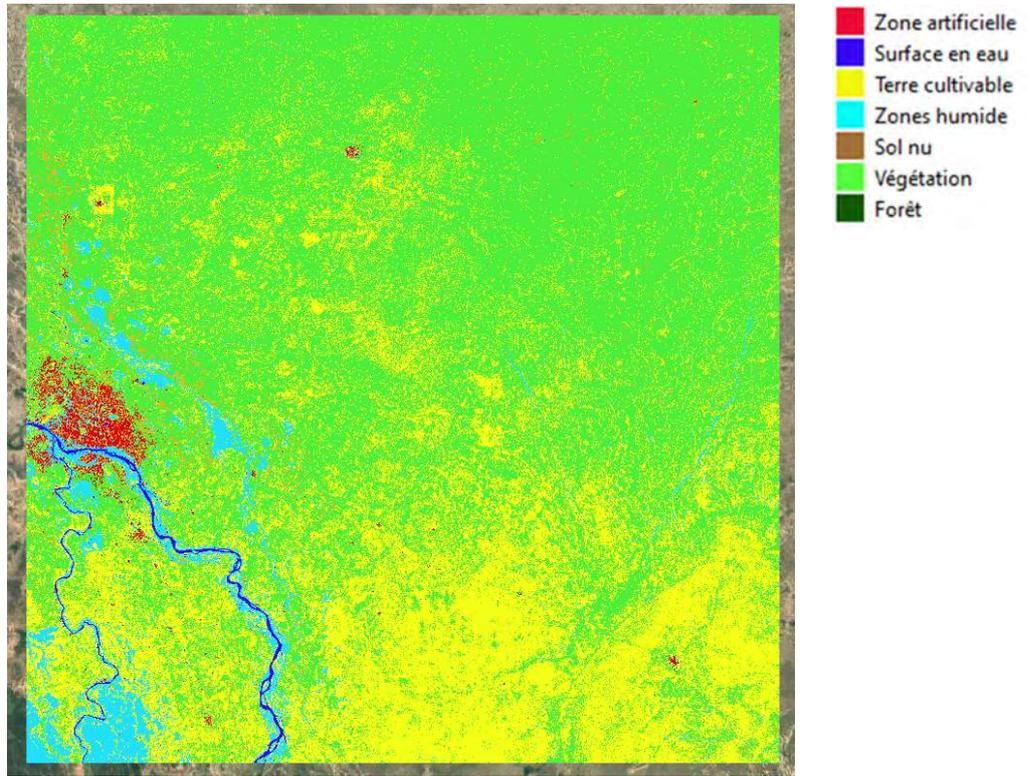


Figure 15 : 33PWP - 2020

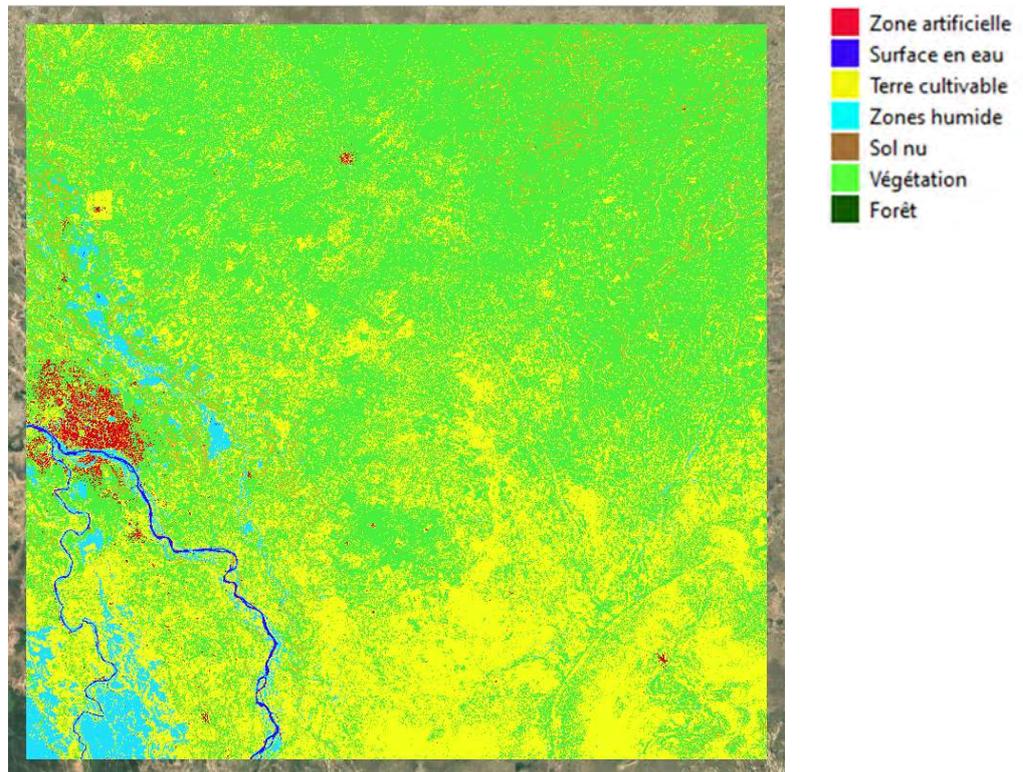


Figure 16 : 33PWP - 2019

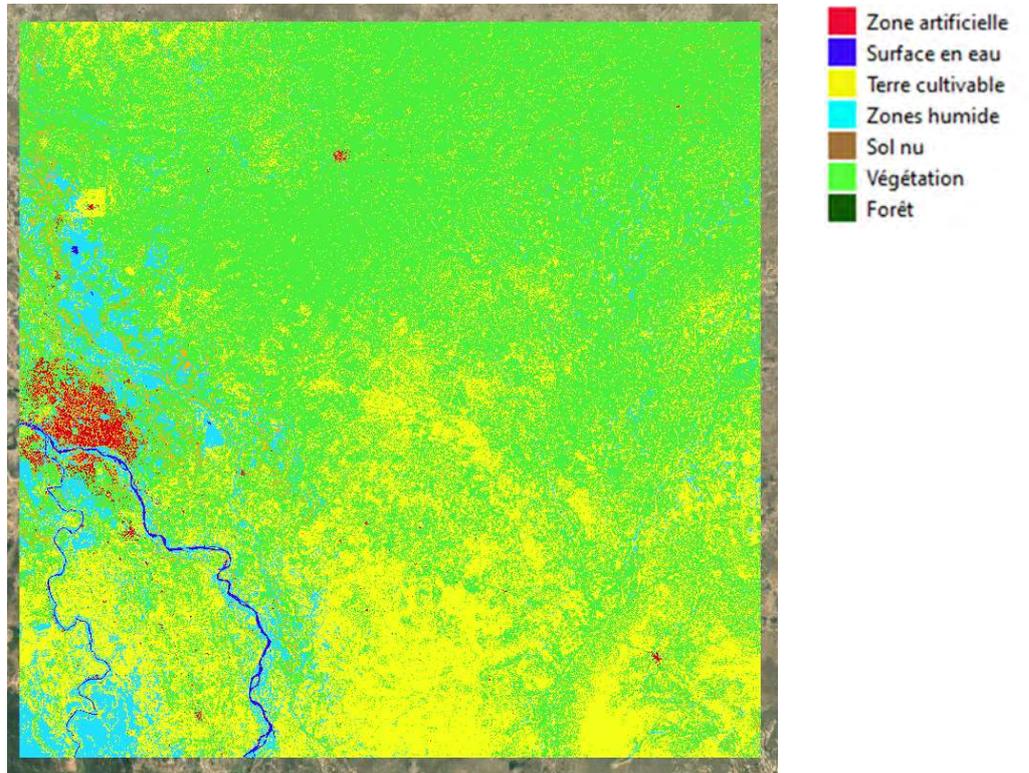


Figure 17 : 33PWP - 2018

Des confusions existent encore notamment entre les classes terre cultivable et végétation.

Les résultats pour la tuile 33PUP sont visibles dans les Figure à 18 :

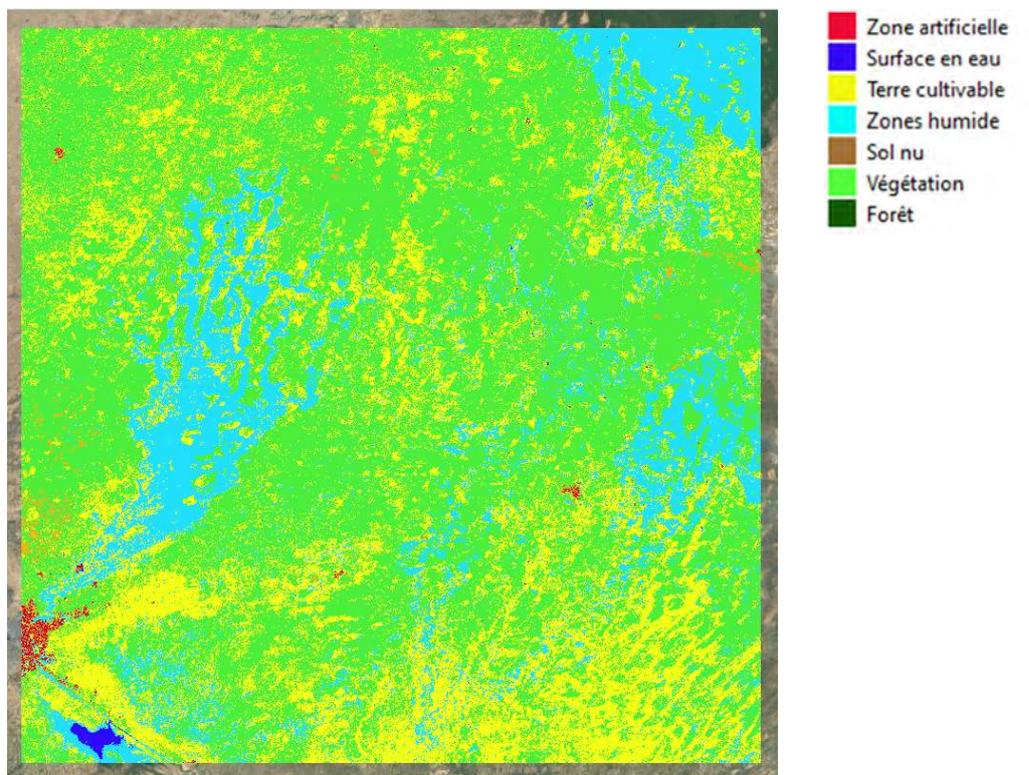


Figure 18 : 33PUP - 2020

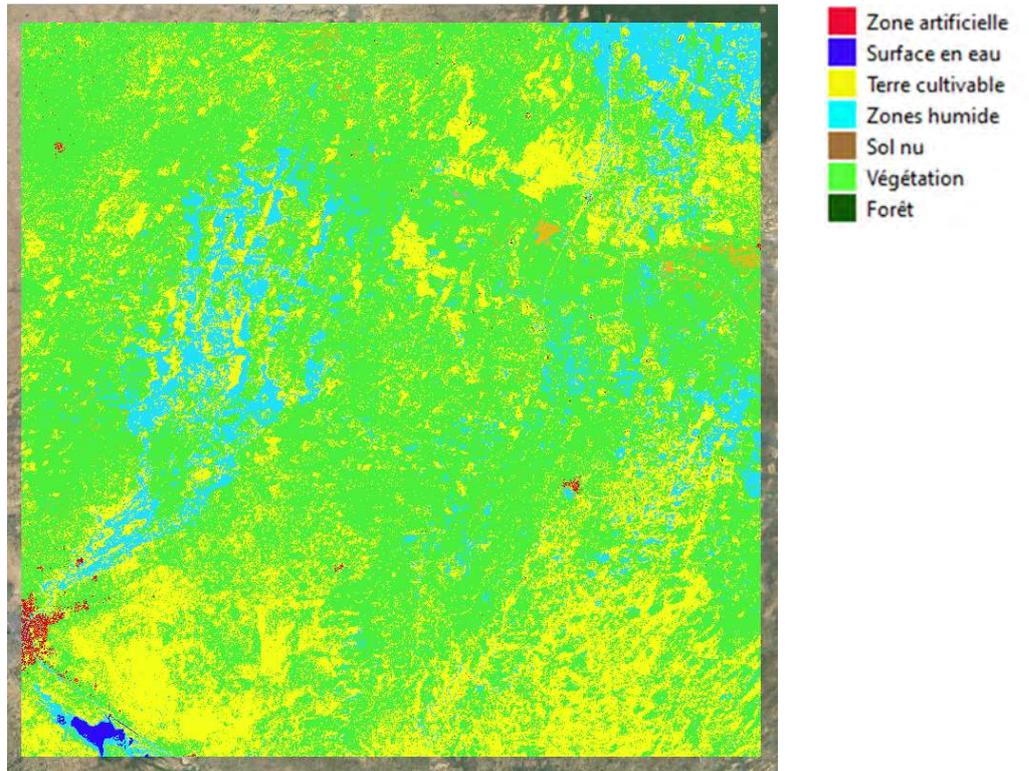


Figure 19 : 33PUP – 2019

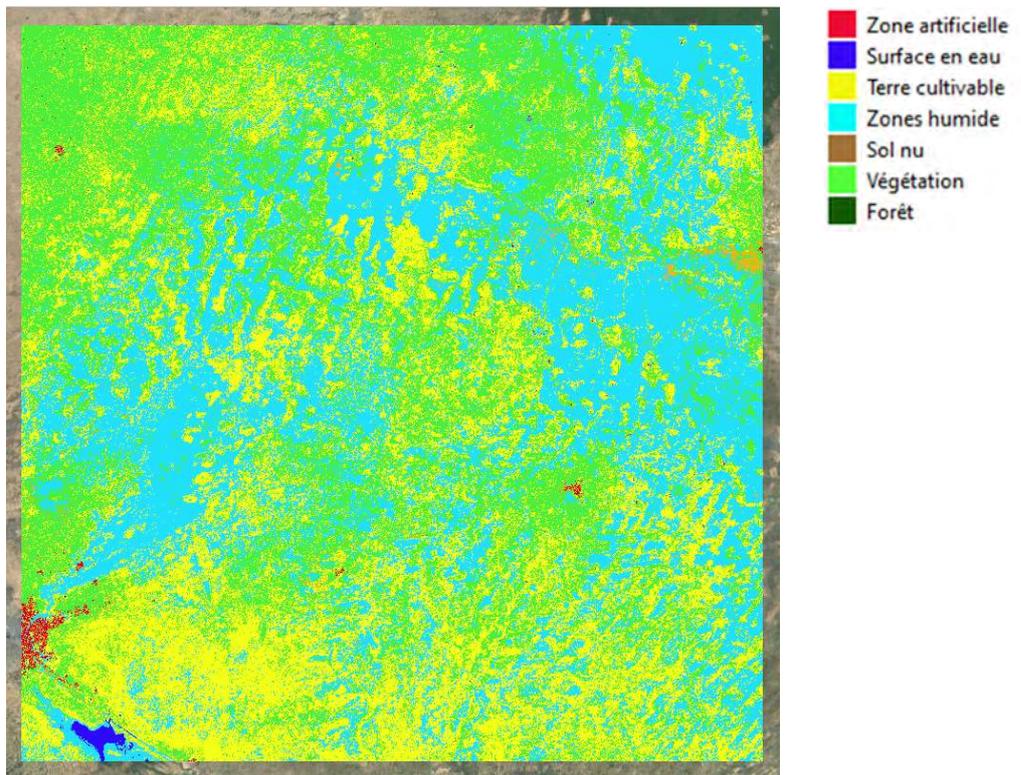
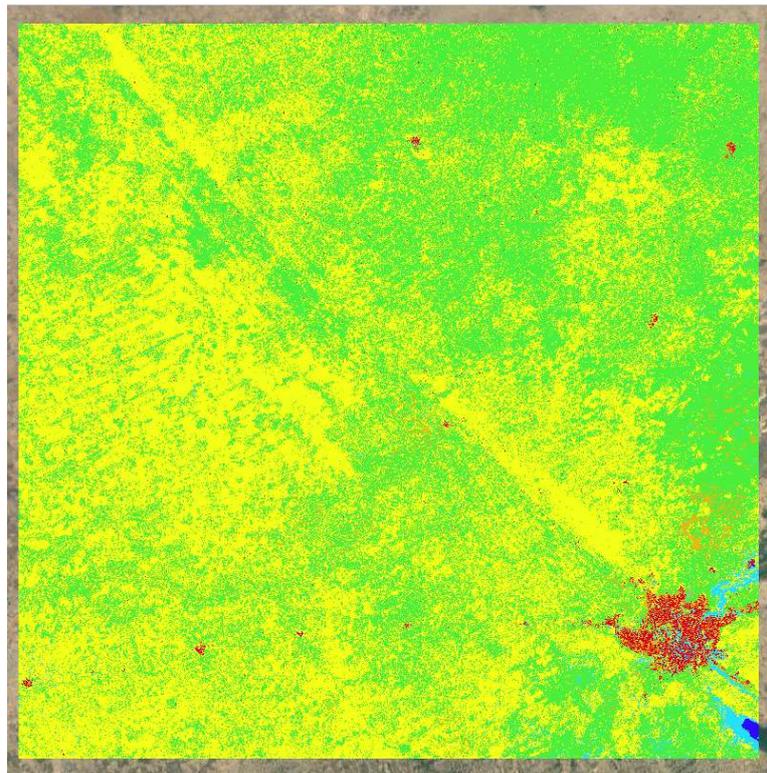


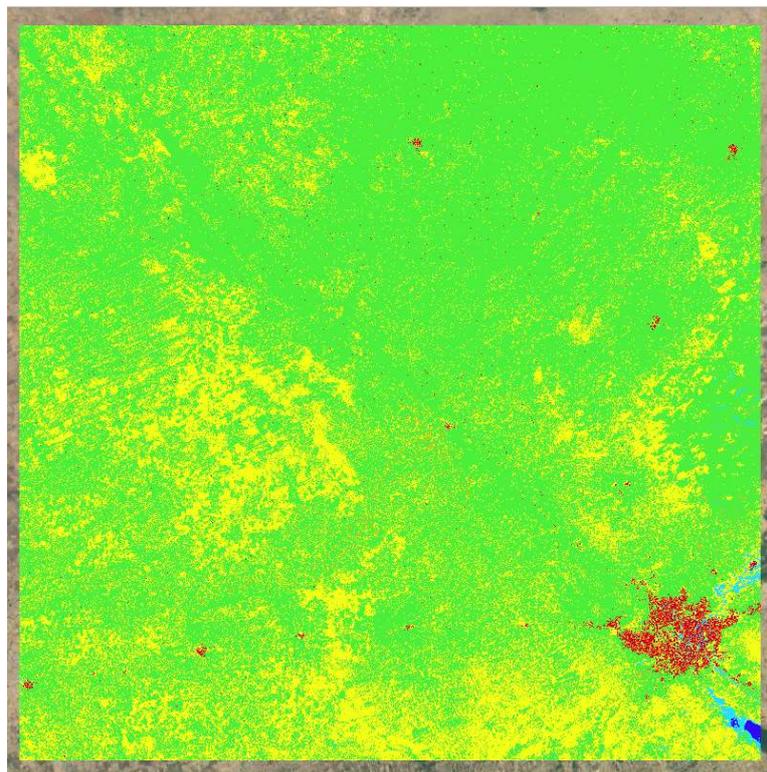
Figure 20 : 33PUP – 2018

Les résultats pour la tuile 33PTP sont visibles dans les Figure à 21:



- Zone artificielle
- Surface en eau
- Terre cultivable
- Zones humide
- Sol nu
- Végétation
- Forêt

Figure 21 : 33PTP – 2020



- Zone artificielle
- Surface en eau
- Terre cultivable
- Zones humide
- Sol nu
- Végétation
- Forêt

Figure 22 : 33PTP – 2019

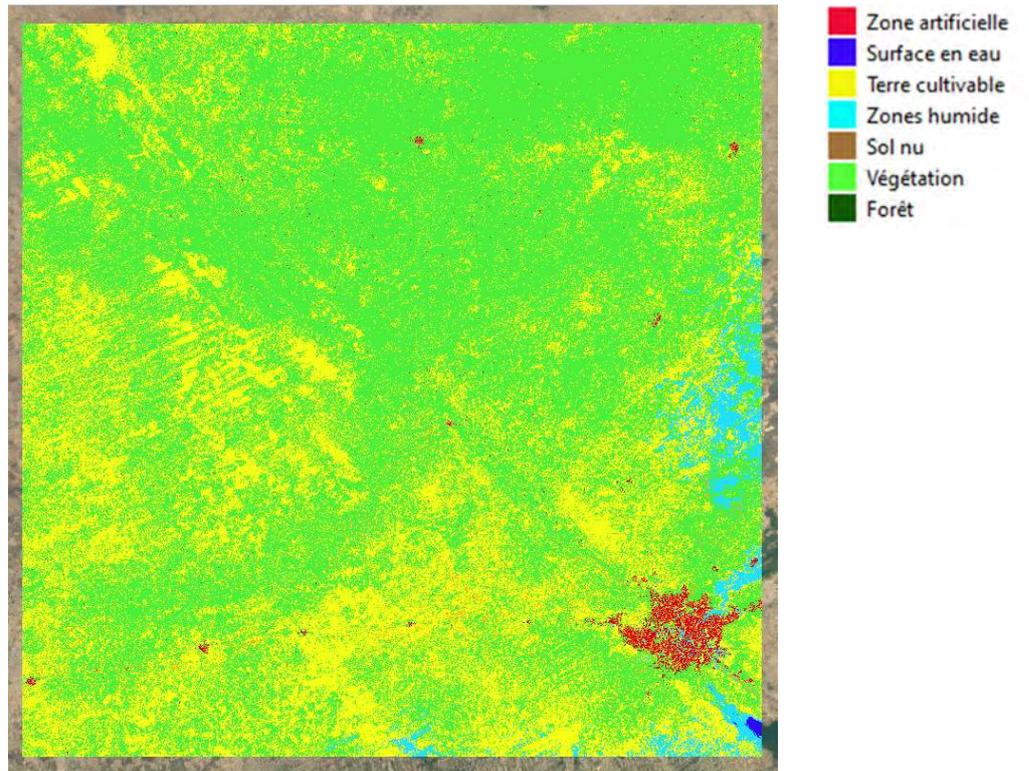


Figure 23 : 33PTP - 2018

Pour la tuile 33PTP, des confusions importantes étaient initialement à noter dans la classe zone artificielle qui se confond avec du sol nu mais également avec des terres agricoles. L'application des corrections via le World Settlement Footprint 2019 permet de corriger une part significative de ces erreurs.

Pour toutes les zones de production, la classe terre cultivable ou végétation pourra être en partie corrigée avec l'indicateur présenté plus bas, le DHI. Cette correction mineure n'augmentera pas de façon drastique la précision totale de classification.

Les résultats obtenus sur le Sénégal sont présentés dans les Figure à 24.

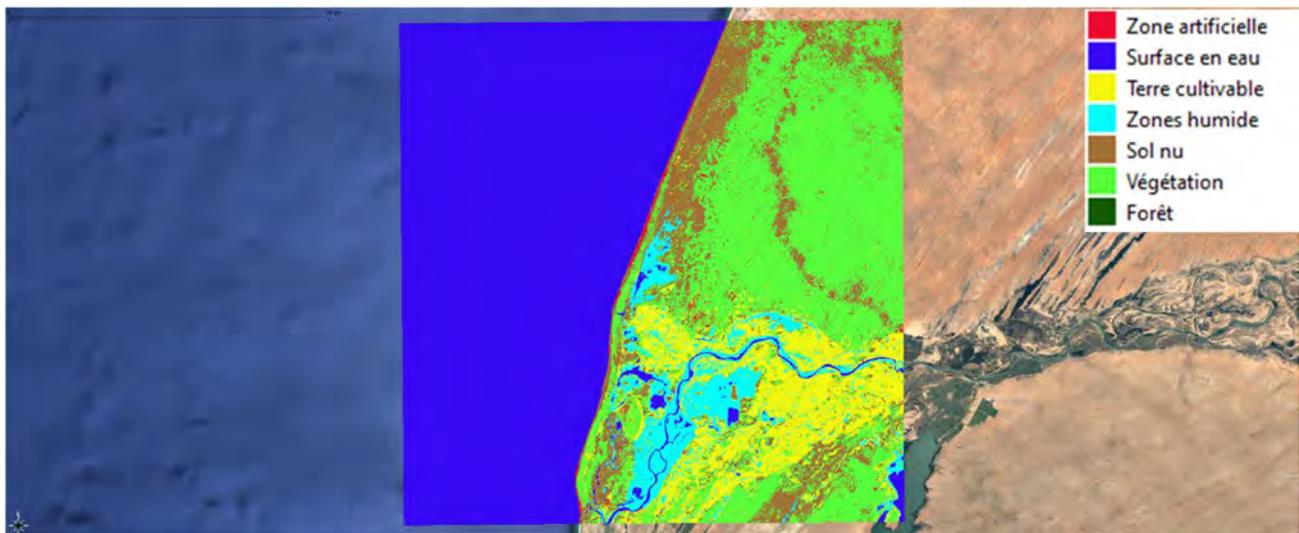


Figure 24: 28QCD - 2018

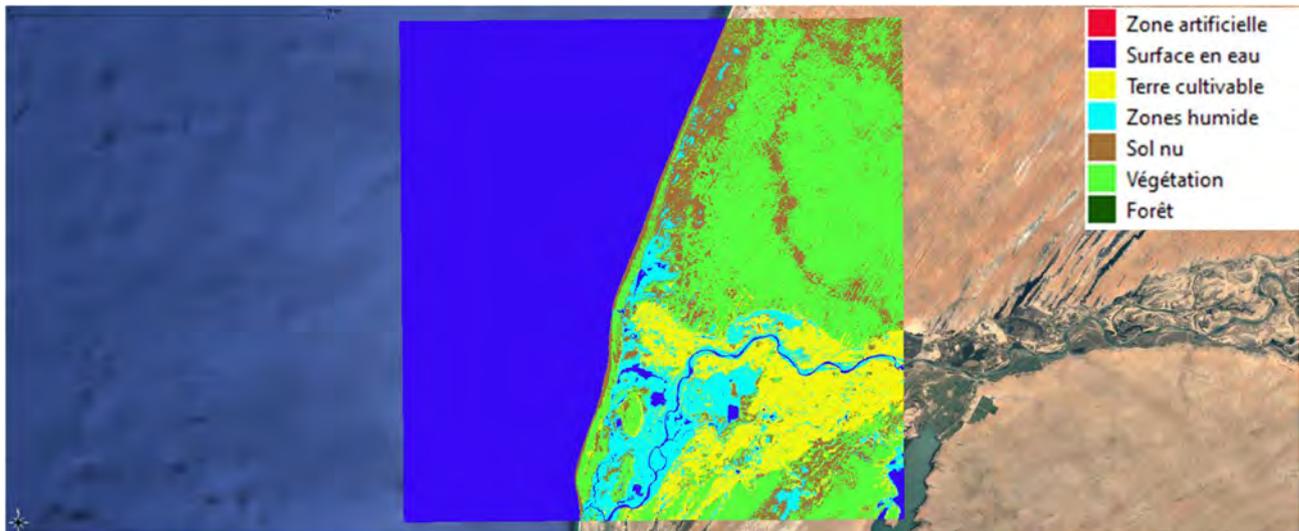


Figure 25 : 28QCD – 2019

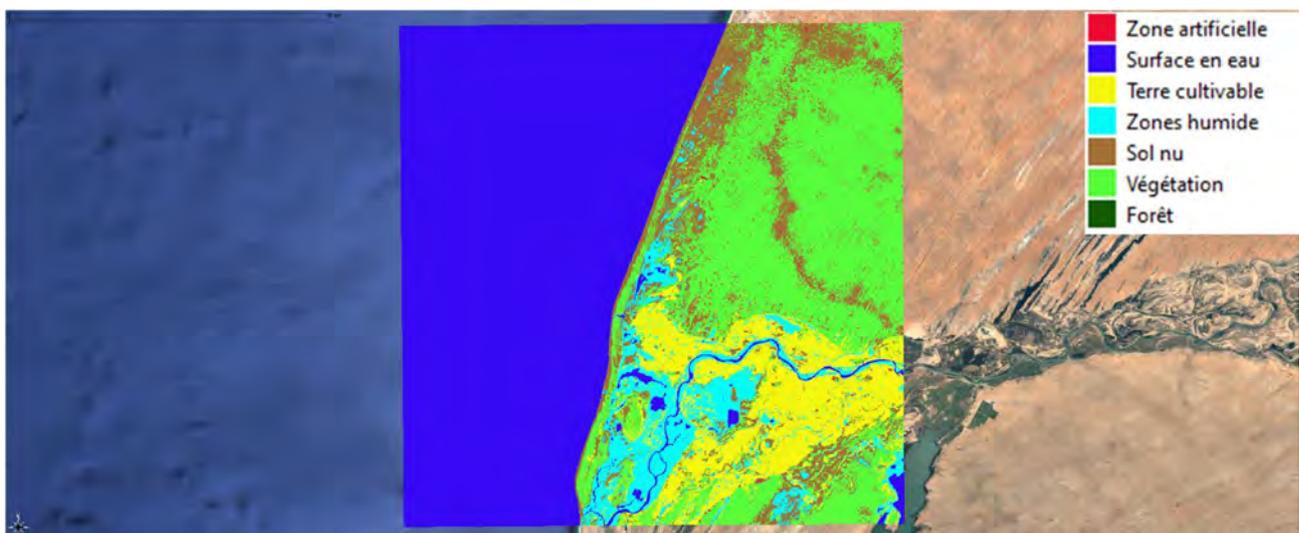


Figure 26 : 28QCD – 2020

De façon générale, les résultats bruts de l'occupation du sol ont une précision globale avoisinant les 60-65%. Malgré les corrections apportées, le gain en précision globale n'augmente pas de façon nette et améliore plus ou moins de quelques pourcents les différentes classes d'occupation du sol. Ceci provient notamment du fait que les corrections des uns sont les erreurs des autres. En d'autres termes, la correction du sol nu en zone artificielle peut induire d'autres erreurs de commissions qui vont détériorer le F-Score de la classe. Ceci va avoir un impact sur le calcul de la précision globale qui dans le meilleur des cas augmentera de 1 à 2 % mais stagnera dans la plupart des cas.

La volonté initiale de créer des cartes d'occupation du sol à partir de la fusion de données nécessiterait plus d'approfondissement, notamment lors de l'ajout à cette fusion d'une occupation du sol venant d'une chaîne de classification comme Iota-2. Ce projet n'y répond que superficiellement mais il serait intéressant de creuser la piste de la fusion avec les bases de données gratuites utilisées pour générer des cartes d'occupation du sol, afin de réduire les confusions sur certaines classes comme le bâti et les sols nus en utilisant des bases plus précises.

## 5 Calcul des indicateurs

### 5.1 Indicateur de développement agricole

En ce qui concerne les indicateurs de développement agricole, ils ont été fortement appuyés par l'étude de l'indice d'habitat dynamique ou DHI (*Dynamic Habitat Index*). Cet indice correspond à une analyse statistique de l'indice de végétation par différence normalisée appelé NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) sur une période donnée. On y retrouve son minimum constaté, le cumul et la variation standard des valeurs sur la période. Cet indice est le plus souvent représenté en fausses couleurs avec ces 3 valeurs respectivement sur les bandes Rouge Vert Bleu (RVB).

Le NDVI calculé à partir d'observations satellites dans les canaux rouges et infrarouge permet de discriminer la présence de la végétation dans une zone et ses variations nous informent donc sur son évolution. Ainsi le DHI nous informe sur la présence de végétation stable et persistante via un cumul important et une faible variation de NDVI sur l'année, mais aussi sur les espaces où la végétation est épisodique si on constate une grande variation standard du NDVI. Ces zones correspondent alors aux pousses naturelles progressives et modérées qui suivent les saisons des pluies mais aussi les apparitions fortes et rapides de végétation des exploitations agricoles.

La difficulté de l'analyse de cet indice réside cependant dans la séparation de la végétation naturelle et agricole, difficulté d'autant plus forte lorsqu'on ne connaît pas bien le type de cultures /climats/territoires que l'on étudie.

#### 5.1.1 Caractérisation de l'agriculture au Sénégal

Sur cette zone du Sénégal, la présence notable de zones agricoles a accentué la demande d'indicateurs de suivi de cette activité en particulier. Que ce soit pour le suivi de jachères, des périodes de lessivage des terres, ou l'identification des zones éventuellement surexploitées, la recherche d'informations statistiques globale ou spatiales, annuelles ou saisonnières étaient au cœur du projet.

Avec l'utilisation du DHI, il est vite apparu que l'extraction des zones agricoles serait faisable avec un bon niveau de fiabilité, notamment grâce aux bases de données précises sur les délimitations des zones de culture et à la netteté de l'activité sur chaque parcelle.

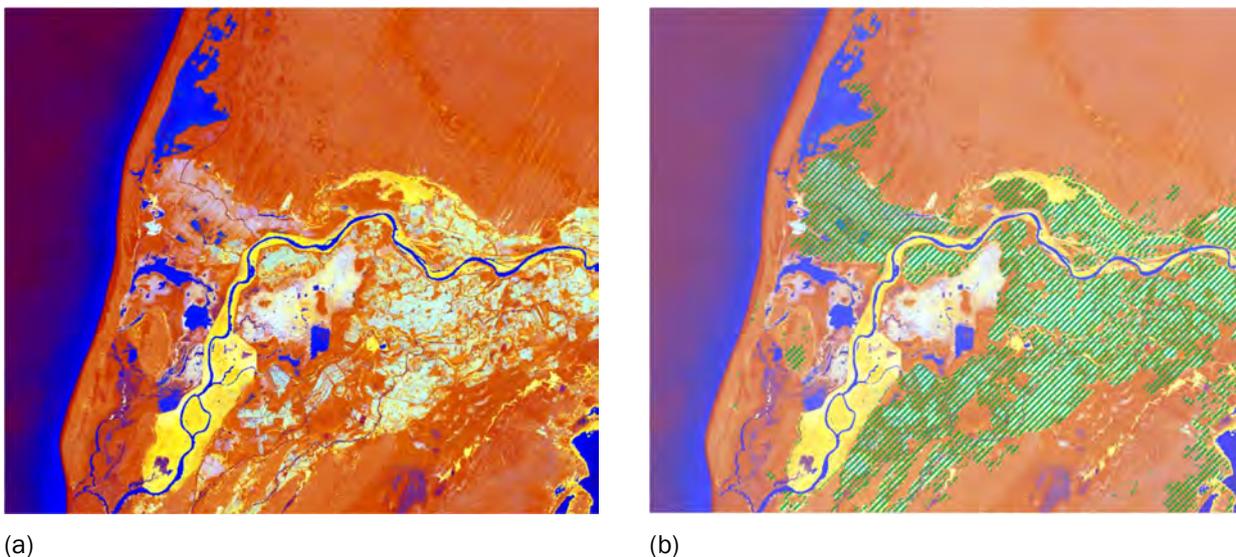


Figure 27 : Illustration du DHI (a) et du DHI avec superposition des cultures (b)

On voit en effet sur la représentation fausse couleur (Figure a) du DHI que les cultures ressortent immédiatement et que la base agricole est suffisamment fiable pour servir de pré-masque et faciliter leur extraction (Figure b).

On peut alors identifier différentes valeurs de DHI typiques.

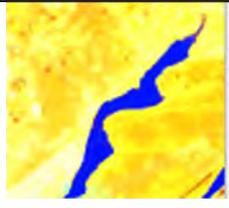
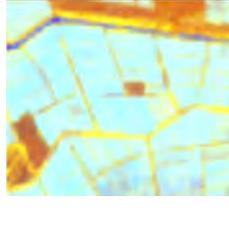
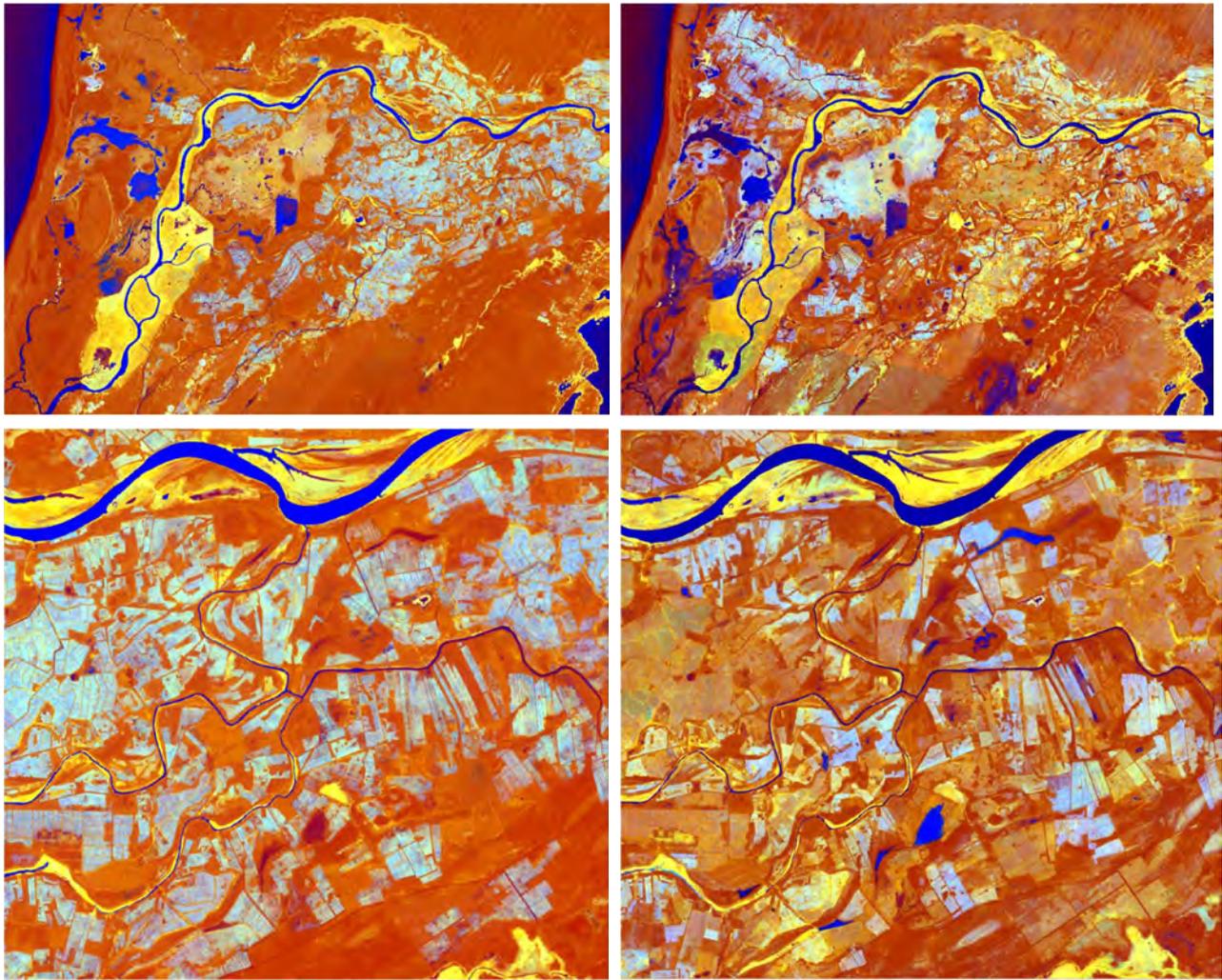
<p>Les Zones de végétation persistantes proches de points humides qui maintiennent une certaine verdure tout au long de l'année ont un cumul plutôt élevé (bande 2) et une variation faible (bande 3)</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Entité</th> <th>Valeur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▼ DHI2018</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>▼ DHI2018</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bande 1</td> <td>0.219971</td> </tr> <tr> <td>Bande 2</td> <td>100.12278</td> </tr> <tr> <td>Bande 3</td> <td>0.0354684</td> </tr> </tbody> </table>	Entité	Valeur	▼ DHI2018	0	▼ DHI2018		Bande 1	0.219971	Bande 2	100.12278	Bande 3	0.0354684
Entité	Valeur													
▼ DHI2018	0													
▼ DHI2018														
Bande 1	0.219971													
Bande 2	100.12278													
Bande 3	0.0354684													
<p>On peut observer des zones avec un cumul (bande 2) et une variation (bande 3) élevée, qui correspondent à des zones de culture ou la verdure n'est présente qu'une partie de l'année.</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Entité</th> <th>Valeur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▼ DHI2018</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>▼ DHI2018</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bande 1</td> <td>0.0362091</td> </tr> <tr> <td>Bande 2</td> <td>132.37659</td> </tr> <tr> <td>Bande 3</td> <td>0.205857</td> </tr> </tbody> </table>	Entité	Valeur	▼ DHI2018	0	▼ DHI2018		Bande 1	0.0362091	Bande 2	132.37659	Bande 3	0.205857
Entité	Valeur													
▼ DHI2018	0													
▼ DHI2018														
Bande 1	0.0362091													
Bande 2	132.37659													
Bande 3	0.205857													
<p>On constate également des zones où l'agriculture est présente mais avec un cumul (bande 2) significativement et homogènement plus faible.</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Entité</th> <th>Valeur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▼ DHI2018</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>▼ DHI2018</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bande 1</td> <td>0.110107</td> </tr> <tr> <td>Bande 2</td> <td>90.99314</td> </tr> <tr> <td>Bande 3</td> <td>0.18884</td> </tr> </tbody> </table>	Entité	Valeur	▼ DHI2018	0	▼ DHI2018		Bande 1	0.110107	Bande 2	90.99314	Bande 3	0.18884
Entité	Valeur													
▼ DHI2018	0													
▼ DHI2018														
Bande 1	0.110107													
Bande 2	90.99314													
Bande 3	0.18884													
<p>Enfin les terres nues où la végétation n'est jamais présente ont un cumul (bande 2) faible et une variation (faible)</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Entité</th> <th>Valeur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▼ DHI2018</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>▼ DHI2018</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bande 1</td> <td>0.0780029</td> </tr> <tr> <td>Bande 2</td> <td>29.266548</td> </tr> <tr> <td>Bande 3</td> <td>0.00903139</td> </tr> </tbody> </table>	Entité	Valeur	▼ DHI2018	0	▼ DHI2018		Bande 1	0.0780029	Bande 2	29.266548	Bande 3	0.00903139
Entité	Valeur													
▼ DHI2018	0													
▼ DHI2018														
Bande 1	0.0780029													
Bande 2	29.266548													
Bande 3	0.00903139													

Figure 28 : Illustration de différents types de DHI avec valeurs de NDVI correspondantes

Le fait que 2 types de valeurs DHI semblaient apparaître pour diverses zones agricoles nous a fait étudier de plus près l'évolution du NDVI à ces endroits. On a alors constaté que ces différences étaient dues à l'utilisation avant et/ou après la saison des pluies. Il a alors été décidé de calculer le DHI non plus sur toute l'année mais sur chacune de ces deux saisons pour tenter d'identifier quelles parcelles étaient utilisées sur chaque saison.

Le résultat a été très concluant et nous avons en effet pu séparer les 2 saisons comme observé ci-dessous :



(a)

(b)

Figure 29 : Illustration du DHI sur 2 saisons en 2018 : (a) Janvier-Juillet et (b) Juillet-Décembre

Sur cet exemple de l'année 2018 séparée de janvier à juillet (à gauche) et de juillet à décembre (droite), on observe les parcelles qui sont utilisées ou non selon les saisons.

On peut alors extraire par seuillage les zones concernées pour chaque saison et chaque année et établir des indicateurs d'exploitation et des statistiques d'intérêt pour les utilisateurs.

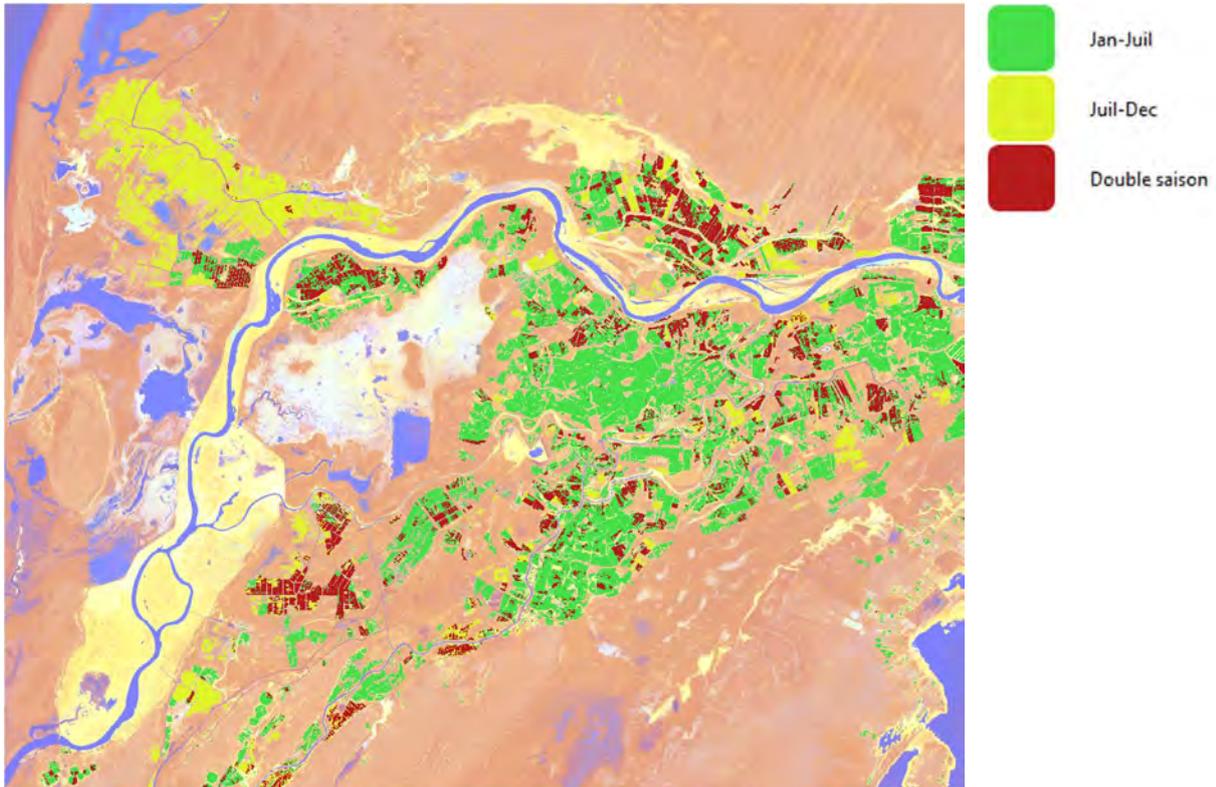


Figure 30 : Extraction des zones agricoles sur le DHI 2018

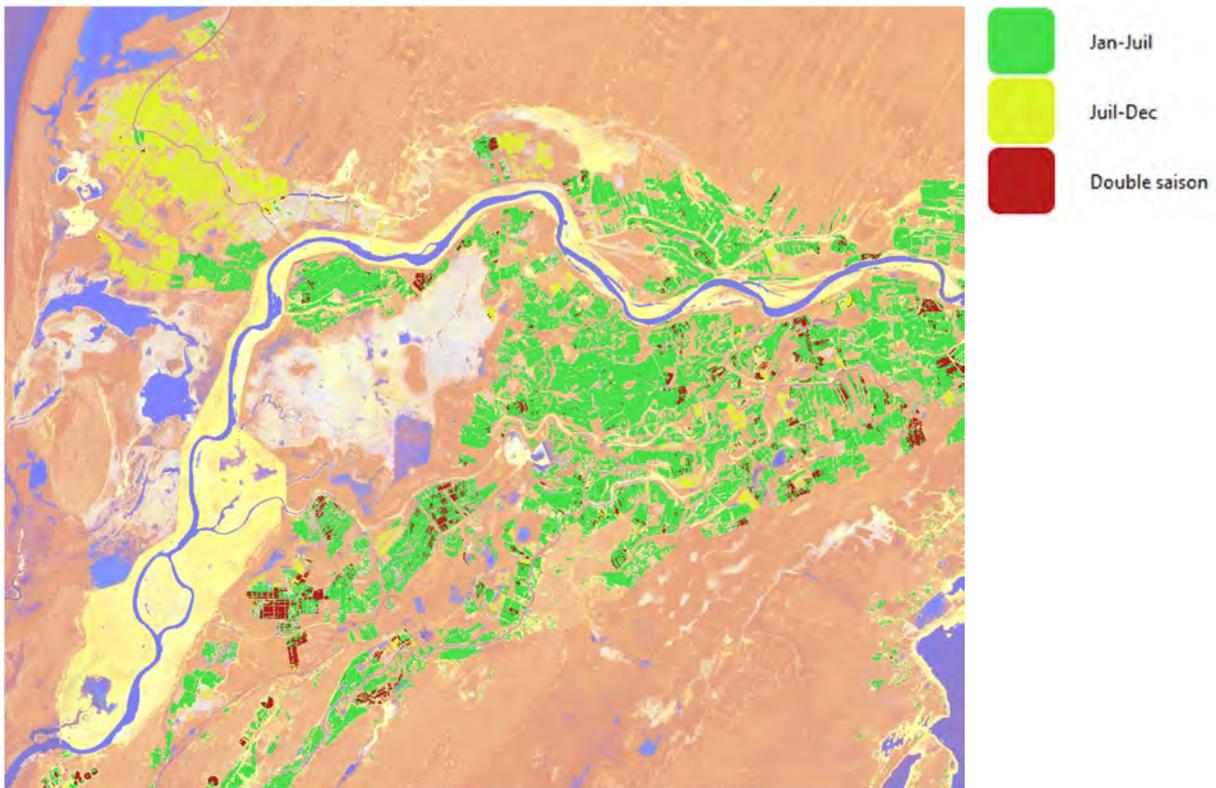


Figure 31 : Extraction des zones agricoles sur le DHI 2019

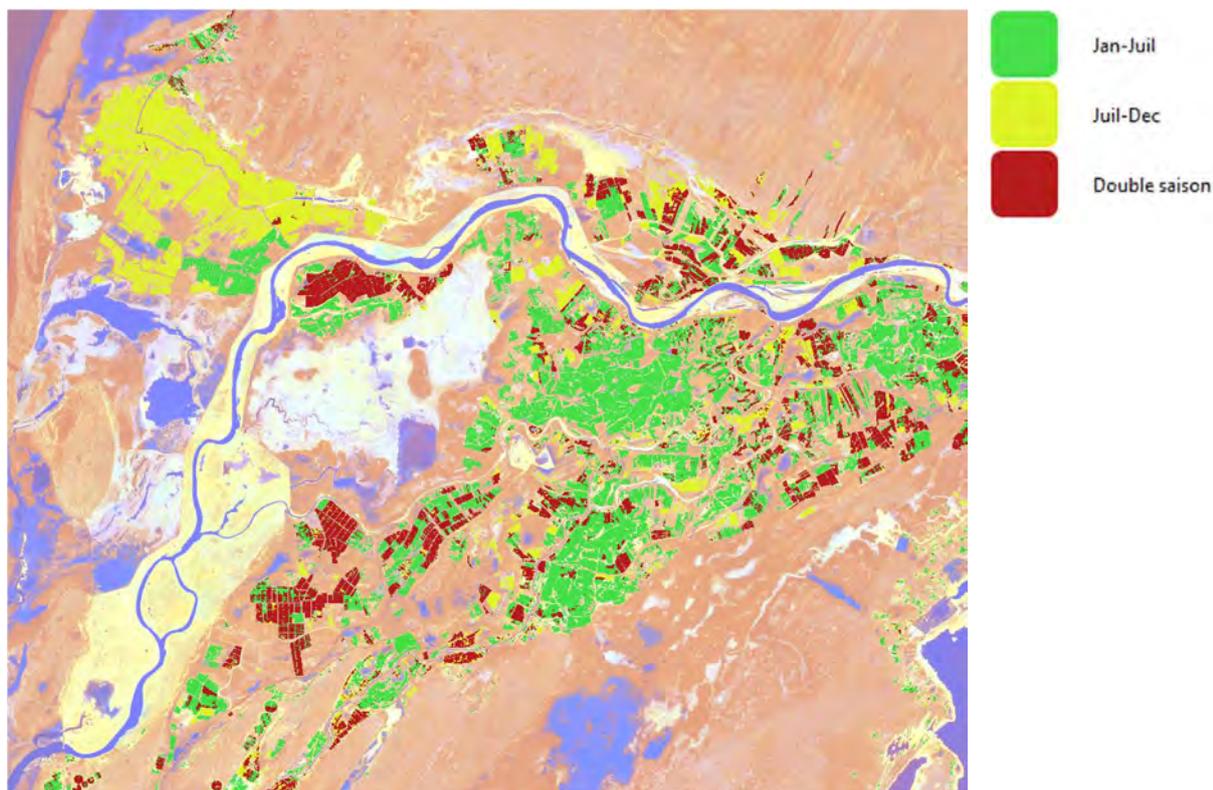


Figure 32 : Extraction des zones agricoles sur le DHI 2020

Ces masques bien qu'imparfaits sont assez précis pour établir des statistiques robustes. Visuellement, on peut constater sur l'année 2019 un effondrement des doubles cultures et des cultures de juillet à décembre, conséquence directe de la sécheresse qui a touché l'Afrique de l'Ouest cette année-là.

Sur toute la tuile Sentinel-2 28QCD on peut donc établir les statistiques suivantes :

Tableau 61 : Statistiques de la tuile Sentinel-2 28QCD

28QCD	2018	2019	2020
<b>Saison 1 totale</b>			
Surface(km <sup>2</sup> )	393,18	389,63	385,65
Surface (% base agri)	0,334	0,33	0,328
Productivité(sum(cumul)/Surface)	10,49	11,43	9,65
<b>Saison2 totale</b>			
Surface(km <sup>2</sup> )	216,26	109,56	270,62
Surface (% base agri)	0,18	0,093	0,23
Productivité(sum(cumul)/Surface)	12,46	12,98	14,43
<b>Saisons 1 exclusive</b>			
Surface(km <sup>2</sup> )	292,3	359,44	259,67
Surface (% base agri)	0,24	0,3	0,22
Productivité(sum(cumul)/Surface)	10,12	11,31	8,96
<b>Saison 2 exclusive</b>			
Surface(km <sup>2</sup> )	115,38	79,36	144,63
Surface (% base agri)	0,098	0,067	0,123
Productivité(sum(cumul)/Surface)	12,67	13,39	14,83

Double saisons			
Surface(km <sup>2</sup> )	100,87	30,19	125,98
Surface (% base agri)	0,08	0,025	0,107
Productivité(sum(cumul)/Surface)	23,78	24,81	25,05
Libre			
Surface(km <sup>2</sup> )	665,36	704,93	643,64
Surface (% base agri)	0,56	0,6	0,548

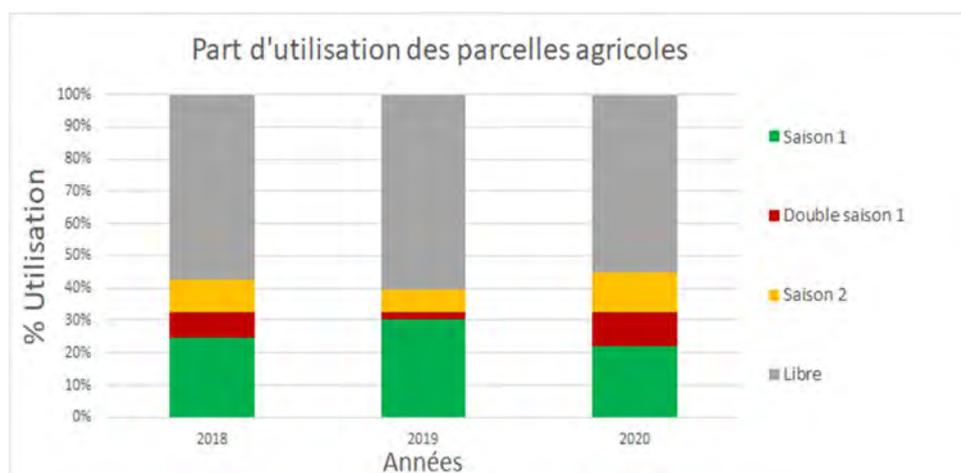


Figure 33 : Part d'utilisation des parcelles agricoles par an

Comme pressentie visuellement, les statistiques confirment que l'année 2019 a été particulièrement difficile en 2ème saison de juillet à décembre. Beaucoup de parcelles supposément prévues en double utilisations ne l'ont pas été et sont passés en saison 1 exclusive. Les surfaces de saisons 2 montrent un recul de 30% par rapport à 2018.

On note enfin que la part libre affichée est calculée sur la base de données agricoles utilisées pour l'extraction, son caractère englobant peut entraîner une surestimation de la surface libre réellement disponible mais son intégration aux graphiques nous permet une mise en valeur plus explicite des statistiques calculées.

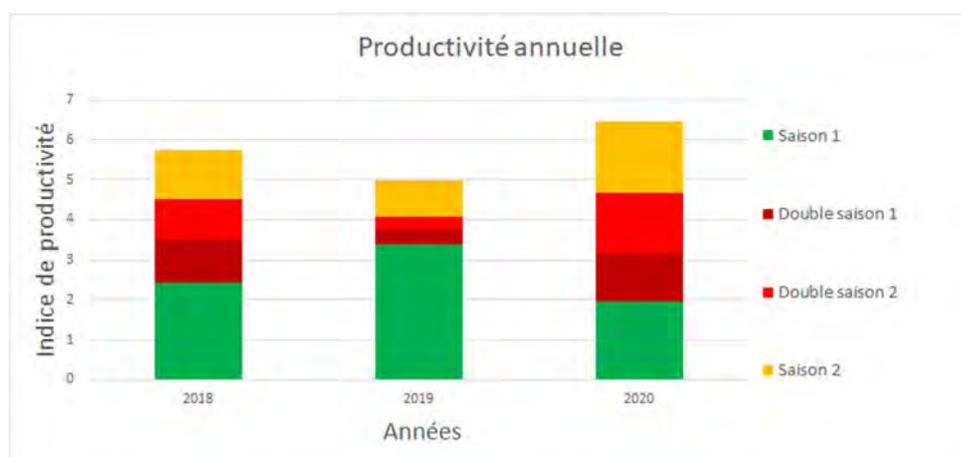
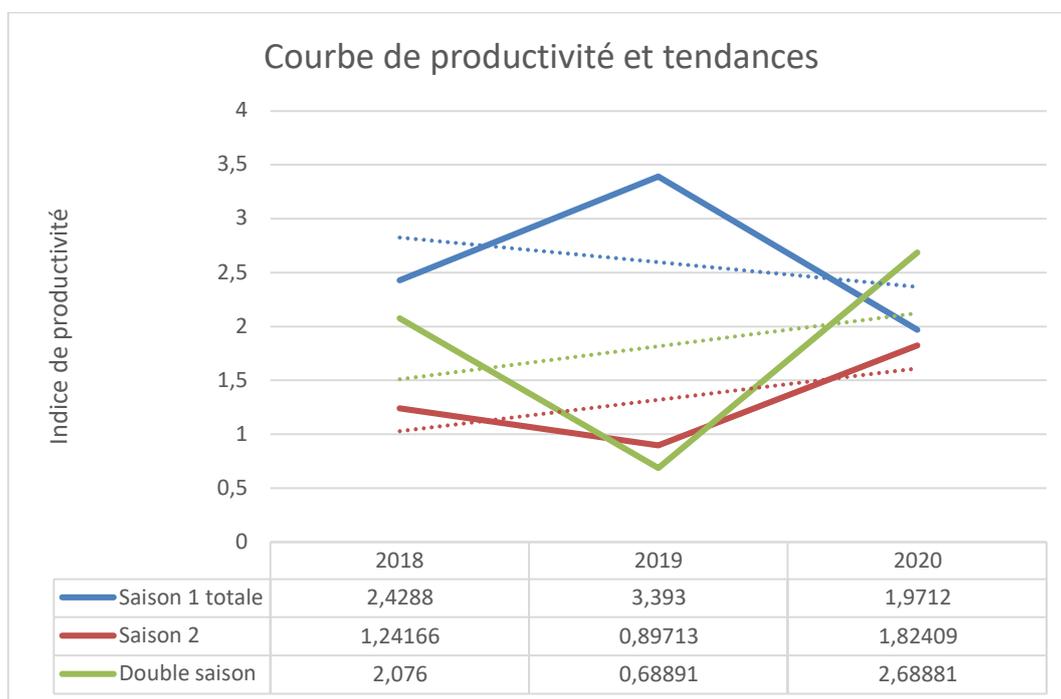


Figure 34 : Indice de productivité par année

Pour estimer la santé voire la productivité des exploitations nous avons étudié le cumul du DHI par année sur les parcelles actives, en discriminant l'apport de chaque saison y compris pour les doubles utilisations.

Le cumul NDVI que l'on pense lié à la productivité peut également se voir sur les courbes ci-dessous ou sont tracées les tendances pour chaque saison :



*Figure 35 : Courbes de productivité et tendances par année et saisons*

En 2019, la sécheresse de juillet à septembre marque un fort impact sur l'utilisation des parcelles notamment sur celles qui devaient produire sur deux saisons consécutives. Alternativement, l'analyse des flux de couverture terrestre peut également être visualisée efficacement à l'aide de graphiques Sankey (voir Figure a/b/c). L'ampleur des flux individuels peut être mise en évidence, offrant aux utilisateurs une perception de leur importance ou de leur gravité au cours d'une période ou entre plusieurs périodes de changement.



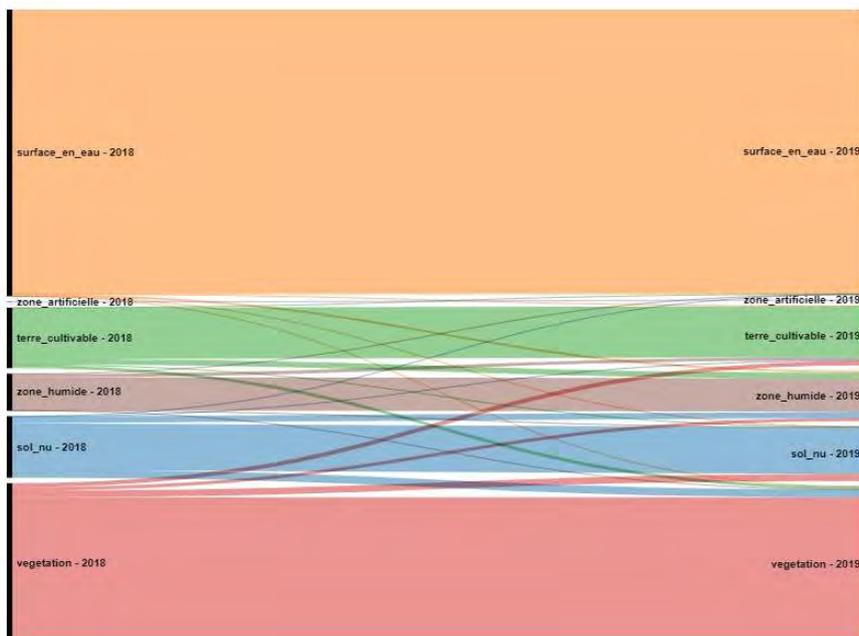


Figure 36 : Diagramme de flux entre 2018 et 2019 sur la tuile 28QCD

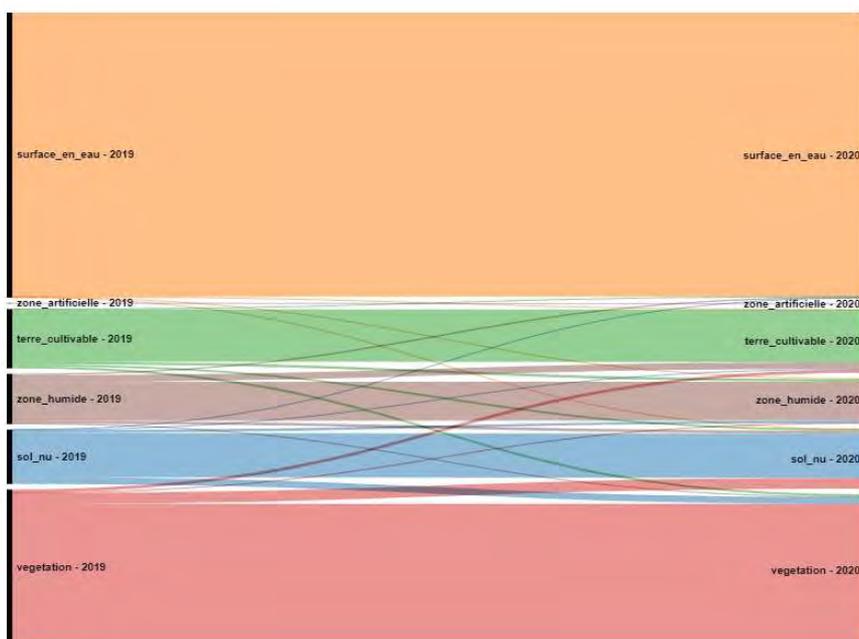


Figure 37 : Diagramme de flux entre 2019 et 2020 sur la tuile 28QCD

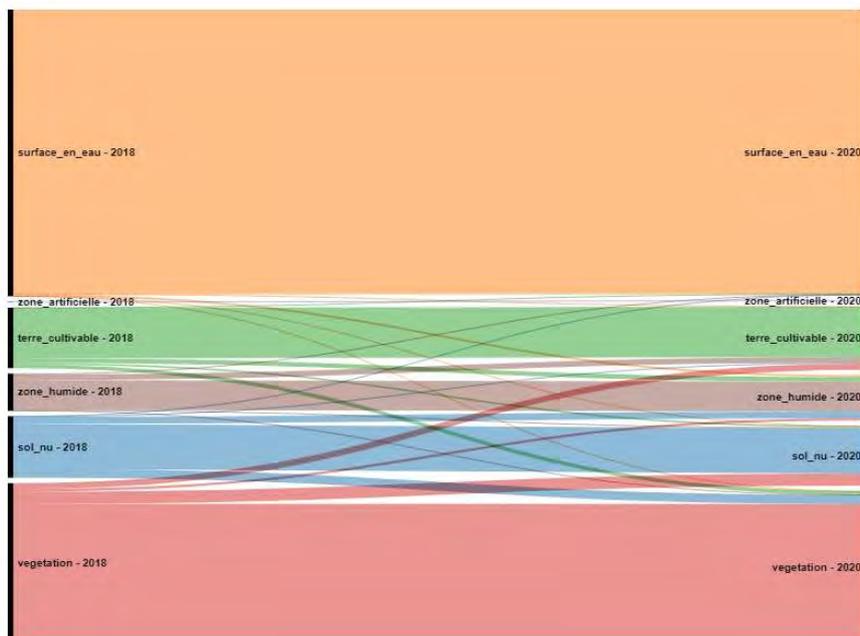


Figure 38 : Diagramme de flux entre 2018 et 2020 sur la tuile 28QCD

Ces diagrammes montrent comme par exemple entre 2018 et 2020 qu'il n'y a pas de gain ou de perte nette significative d'un type d'occupation du sol. Les éventuels flux d'un poste vers un autre se compensent. Par exemple la disparition de la végétation entre 2018 et 2020 au profit principalement du sol nu et des terres cultivables est compensée par la reconversion de sol nu et de terres cultivables vers de la végétation entre 2018 et 2020.

Ainsi, ces transferts croisés de surfaces suggèrent une réorganisation spatiale du territoire sans variation marquante des surfaces totales des postes d'occupation du sol.

## 5.1.2 Caractérisation de la végétation au Tchad

Au Tchad, malgré la volonté d'analyser les espaces agricoles, nous avons constaté que ces espaces étaient beaucoup moins nets et facile à identifier qu'au Sénégal. De plus nous n'avons pas eu l'opportunité de discuter avec des partenaires implantés sur place qui puissent nous aider à y voir plus clair sur les cultures de la zone. En conséquence nous avons réorienté nos analyses sur la végétation de façon générale plus que sur l'agriculture.

L'analyse de séries temporelles annuelles Sentinel-2 a permis d'observer que la flore locale peut être divisée en au moins 2 catégories la végétation persistante vs. éphémère. Cette distinction entre la végétation persistante et la végétation éphémère a été réalisée au moyen d'un seuillage sur le DHI et par interprétation visuelle de séries temporelles sur plusieurs années, afin de déterminer le seuil optimal.

- Une végétation persistante, plutôt rare et donc d'autant plus importante à suivre avec attention puisqu'elle peut potentiellement servir de refuge pour certaines espèces lors des périodes sèches



Figure 39 : Illustration de végétation persistante

- Une végétation éphémère qui apparait de juillet a novembre, qui englobe une partie de l'agriculture et les environnements naturels, qu'il convient donc également de suivre attentivement pour détecter des détériorations au fil du temps

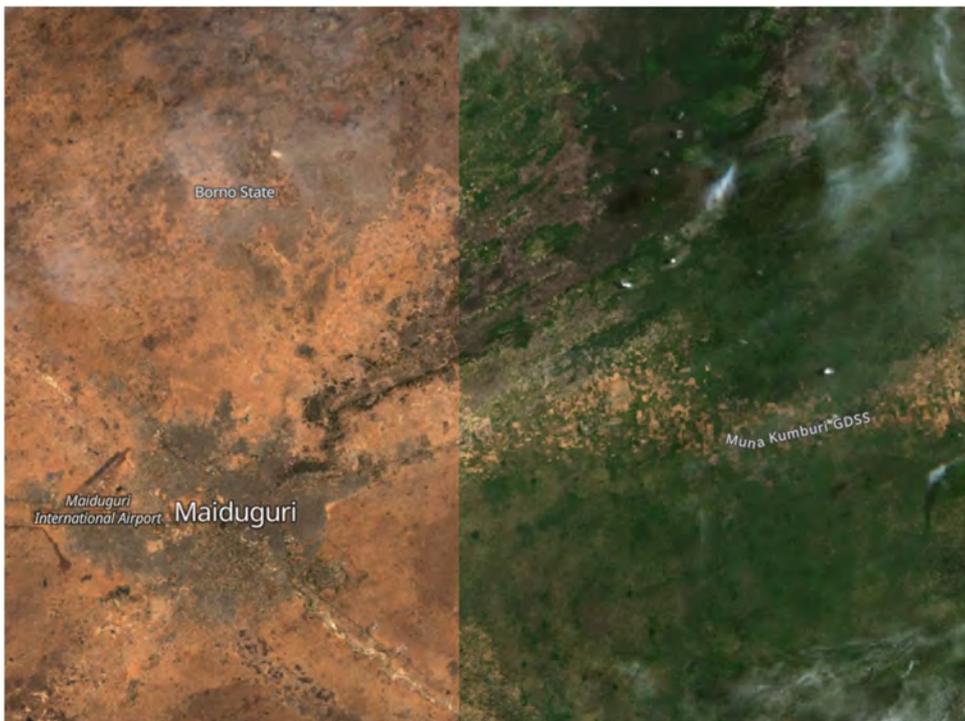


Figure 40 : Illustration de végétation éphémère

De la même façon que sur le Sénégal nous avons donc trouvé les différentes valeurs typiques de DHI à identifier pour extraire ces deux types de végétation.

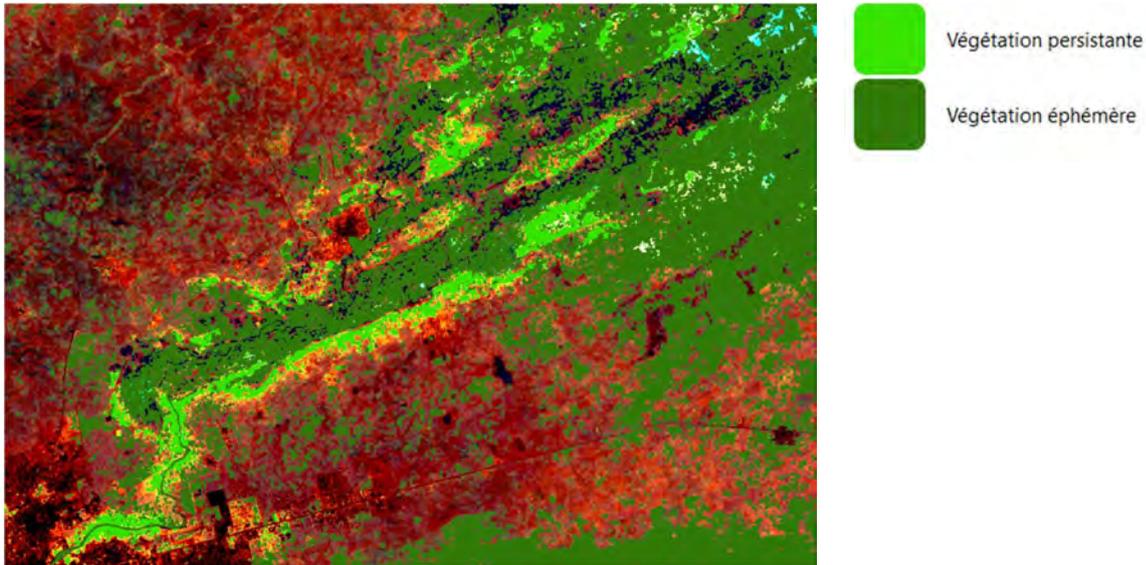


Figure 41 : Illustration des résultats de classifications séparant la végétation persistante et éphémère

On peut donc estimer la surface couverte par les deux types de végétation, étudier son évolution dans le temps et observer deux tendances différentes ci-dessous.

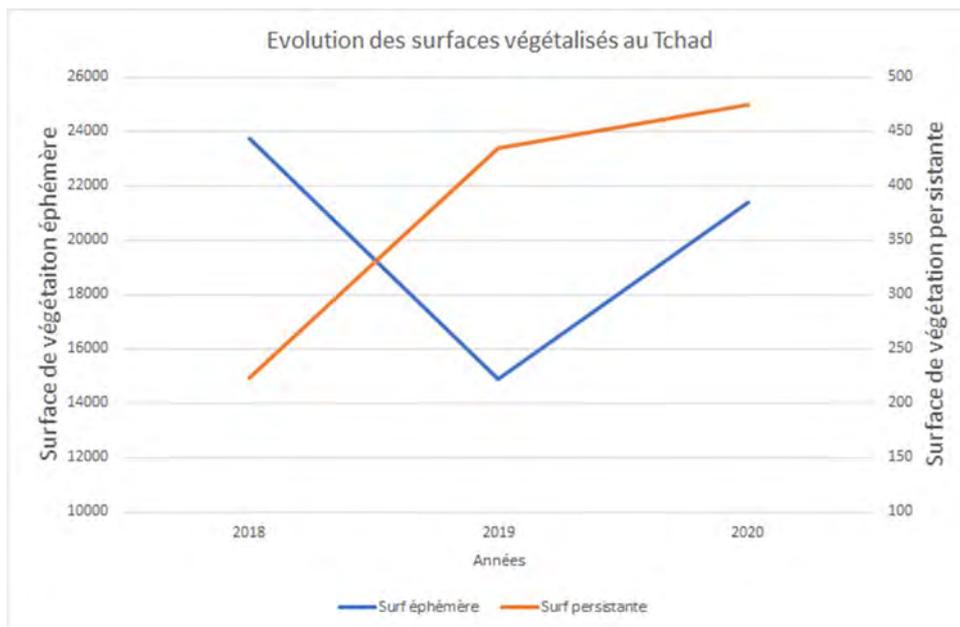


Figure 42 : Evolution des surfaces végétalisées au Tchad

Sur l'évolution de la végétation persistante, on peut se pencher sur la zone au Nord-Est de Maiduguri qui est une réserve de végétation persistante et il apparaît en effet qu'entre 2018 (gauche) et 2020 (droite), la végétation bordant le fleuve a nettement augmenté.

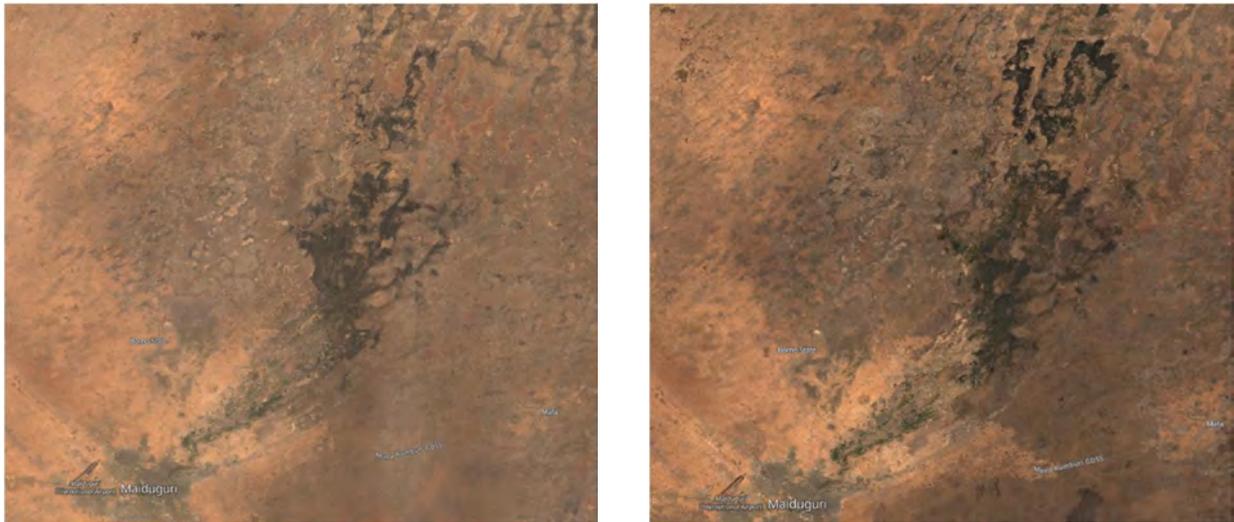


Figure 43 : Illustration de l'augmentation de la quantité d'arbre le long du fleuve entre 2018 (gauche) et 2020 (droite)

### 5.1.3 Evolution agricole

La construction des DHI sur plusieurs années a permis de mettre en évidence les pratiques agricoles, notamment au Sénégal en discriminant les cultures des différentes saisons. Cela permet également de faire une estimation des productions agricoles sur la zone et d'estimer sur la saison en cours les productions des différentes zones agricoles.

De plus, le suivi des évolutions agricoles sur plusieurs années permet de répondre à plusieurs problématiques spécifiques sur le Sénégal :

La première concerne le **lessivage**, nécessaire pour évacuer la salinisation des sols. Avec l'indicateur du projet ECLAT il serait relativement facile de constater le nombre d'utilisation de chaque parcelle et ainsi optimiser la rotation des parcelles pour les lessiver au meilleur moment.

La seconde est de répondre aux impératifs de production. Le suivi des parcelles permet d'anticiper les rotations et donc d'optimiser les rendements. Une carte de gain / perte peut ainsi être produite entre chaque année afin de constater rapidement si la saison sera meilleure que la précédente et de planifier pour optimiser la prochaine.

Ces cartes de suivi ont été réalisées avec les DHI produits précédemment. Ainsi, il est possible de constater les différents passages d'une saison à une autre des parcelles agricoles comme le montre les images suivantes :

Voici la légende de couleur à suivre pour chaque changement :

■	Pas de culture 2018 à culture saison 1 2019
■	Pas de culture 2018 à culture saison 2 2019
■	Pas de culture 2018 à culture double saison 2019
■	double saison 2018 à culture saison 1 2019
■	double saison 2018 à culture saison 2 2019
■	culture saison 2 2018 à culture saison 1 2019
■	culture saison 1 2018 à culture saison 2 2019
■	culture saison 2 2018 à double saison 2019
■	culture saison 1 2018 à double saison 2019
■	double saison 2018 à pas de culture 2019
■	culture saison 2 2018 à pas de culture 2019
■	culture saison 1 2018 à pas de culture 2019

Les couleurs ont été regroupées pour 3 changements (ici l'exemple est pris pour 2018 et 2019 représentants l'année 1 et l'année 2 respectivement) :

- Rouge = passage d'une quelconque activité en année 1 à saison 1 en année 2
- Bleu = passage d'une quelconque activité en année 1 à une double saison en année 2
- Noir = passage d'une quelconque activité à aucune activité en année 2
- Jaune = passage d'une quelconque activité à saison 2 en année 2

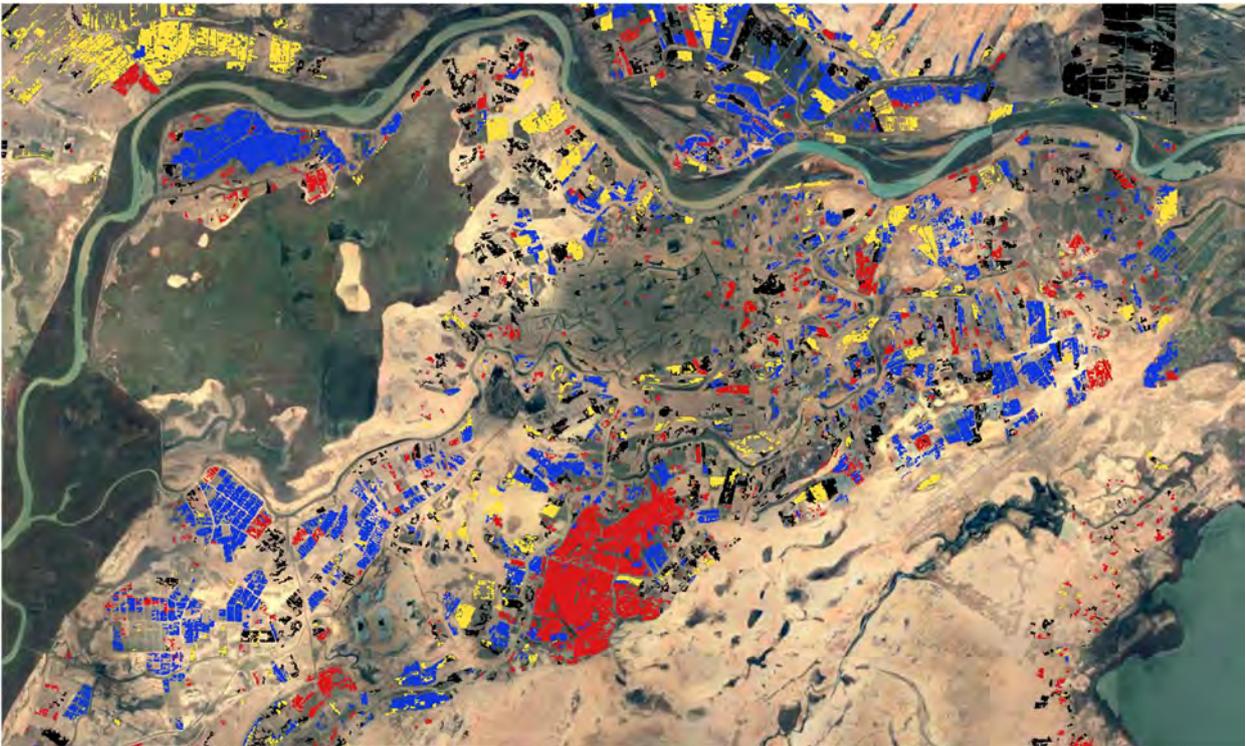


Figure 44 : 2020 - 2019 changement de pratique dans les saisons de certaines parcelles

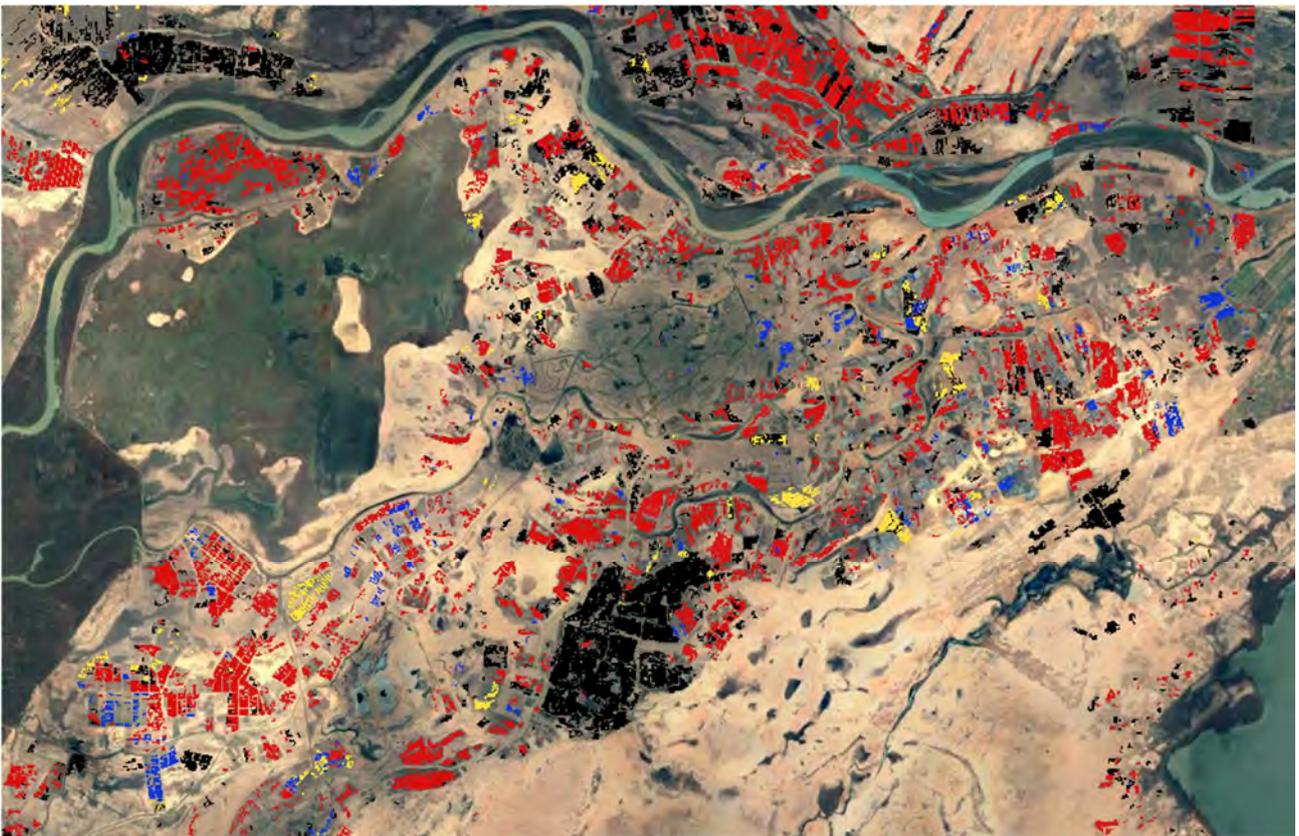


Figure 45 : 2019 - 2018 changement de pratique dans les saisons de certaines parcelles

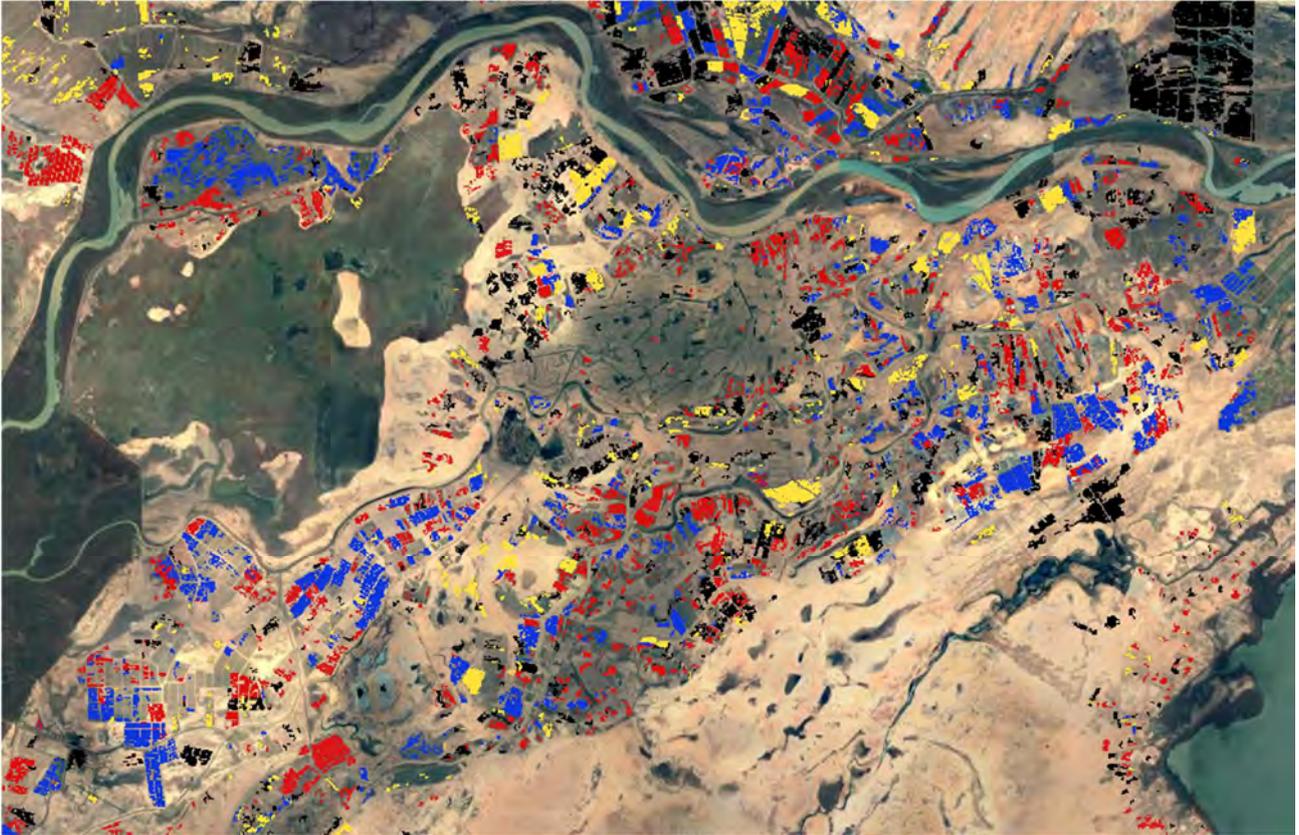


Figure 46 : 2020 - 2018 changement de pratique dans les saisons de certaines parcelles

Pour rendre l'interprétation plus aisée, il a été décidé de regrouper ces changements en gain et perte potentiel de productivité.

En rouge les pertes :

- Double saison en année 1 saison 1 en année 2
- Double saison en année 1 saison 2 en année 2
- Saison 1 en année 1 à saison 2 en année 2 : l'explication réside ici sur une description faite par des acteurs locaux qui ont confirmé que la saison 2 (irriguée) est moins productive que la saison 1 (pluviale)
- Activité en année 1 à aucune activité en année 2

En vert les gains :

- Aucune activité en année 1 à activité en année 2
- Saison 2 en année 1 à saison 1 en année 2
- Saison 1 ou 2 en année 1 à double saison en année 2

Les images suivantes présentes les cartes de gain / perte pour les passages de 2018 à 2019 ; 2019 à 2020 et une évaluation de 2018 à 2020 respectivement :

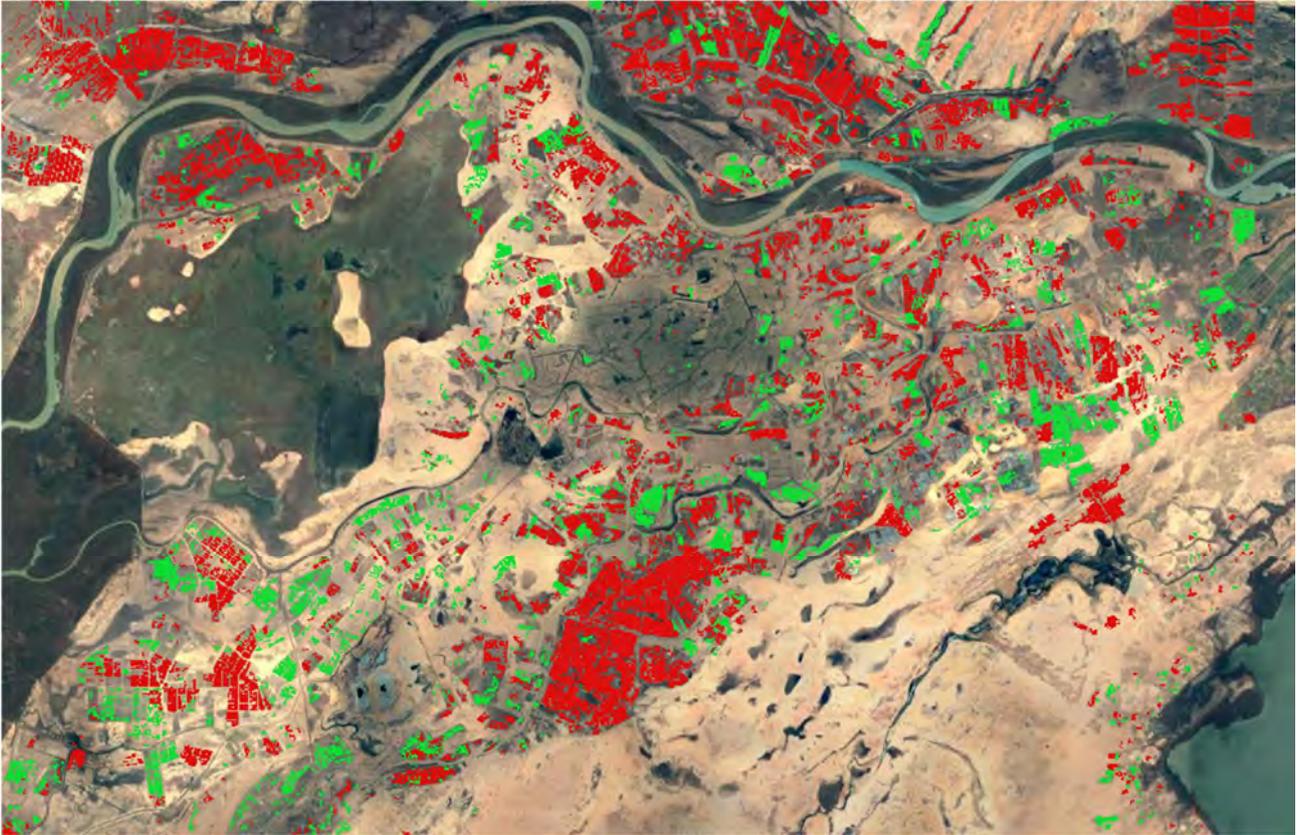


Figure 47 : carte gain /perte 2018 – 2019

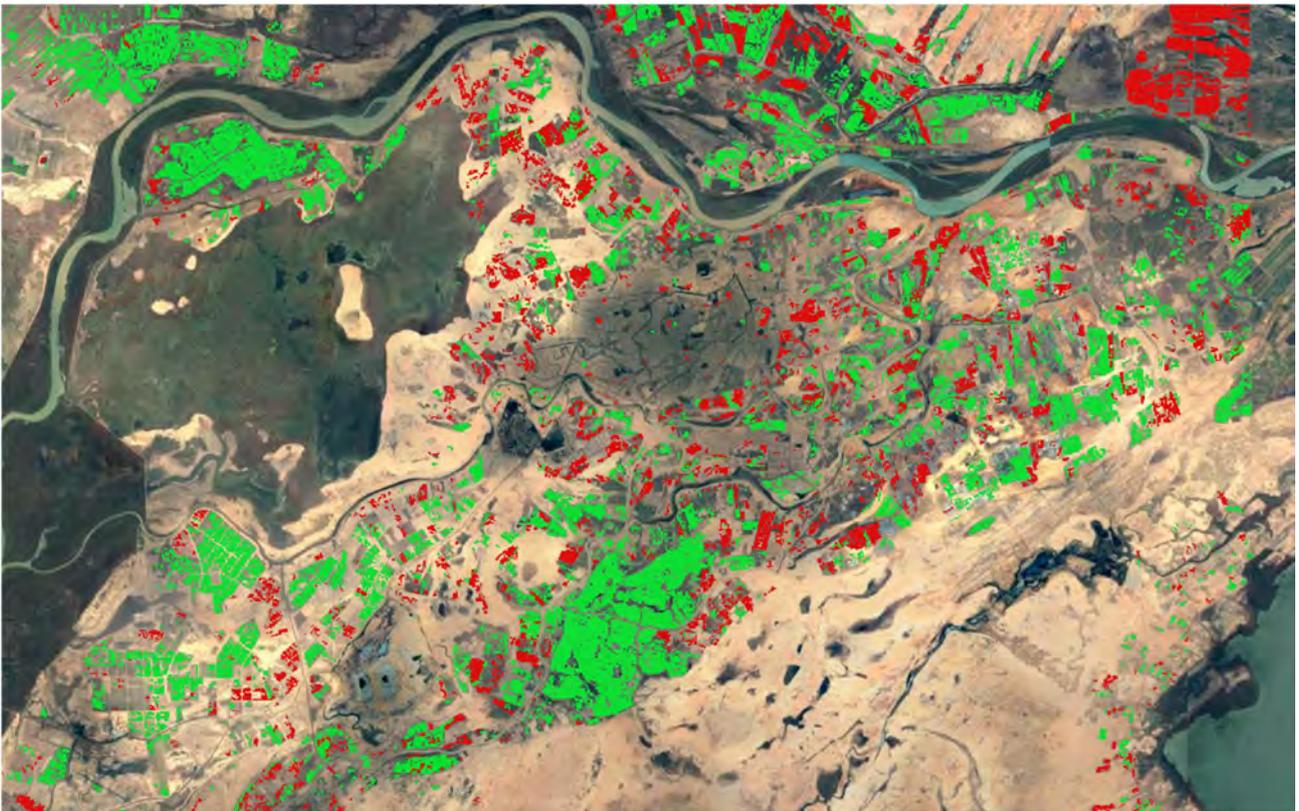


Figure 48 : carte gain / perte 2019 – 2020



Figure 49 : carte gain / perte 2018 - 2020

On constate assez facilement visuellement que la sécheresse de 2019 a eu un impact sur les pertes et les gains que ce soit entre 2018 ou 2020 alors que la comparaison entre 2018 et 2020 montre des changements mais moins radicaux. Ainsi ces cartes permettent d'évaluer d'une année sur l'autre les potentiels retombés sur la productivité mais permettent également une anticipation sur l'année 2021 par exemple afin de cibler les parcelles dont l'exploitation doit changer, s'arrêter (pour lessivage par exemple) ou se réorienter. Des données en hectare peuvent être dérivées de ces cartes afin d'avoir un aperçu plus précis du nombre de surface en gain ou en perte.

## 5.2 Indicateur de développement sur la sauvegarde des écosystèmes en eau

La mise en place d'indicateur sur la sauvegarde des systèmes en eaux vise à quantifier les surfaces en eau permanente et saisonnière et à sauvegarder la qualité de cette ressource stratégique en essayant de minimiser les impacts de pollution potentiels dans ces surfaces en eau et particulièrement ceux venant des zones urbaines. Les pollutions les plus importantes viennent des eaux souillées (SDG 6.3) venant des habitations, commerces et industries qui sont rejetées et non-traitées et peuvent poser de graves perturbations dans la qualité des écosystèmes en eau. Par ailleurs, le ruissellement des eaux à partir des zones artificielles et des parcelles agricoles peut également être une source grave de pollution. C'est pourquoi cet indicateur dans le projet éclat tente de mesurer, à partir des données disponibles dans ce projet, les sources potentiels de pollutions provenant des zones artificielles.

Dans ce but, nous utilisons les données des bases évaluées au long du projet ainsi que les cartes d'occupation du sol générées par la chaîne Iota-2 pour mettre en place cet indicateur. Celui-ci ne représente qu'un échantillon et une vue globalisée de la situation de proximité entre les écosystèmes en eau et les zones artificielles. Une limitation connue de cet indicateur est la spécification des pollutions (noms des polluants et origines) pouvant intervenir sur les surfaces en eau. L'indicateur ne vise pas à définir les polluants, déchets ou eaux de décharges qui contaminent les eaux mais à mettre en lumière



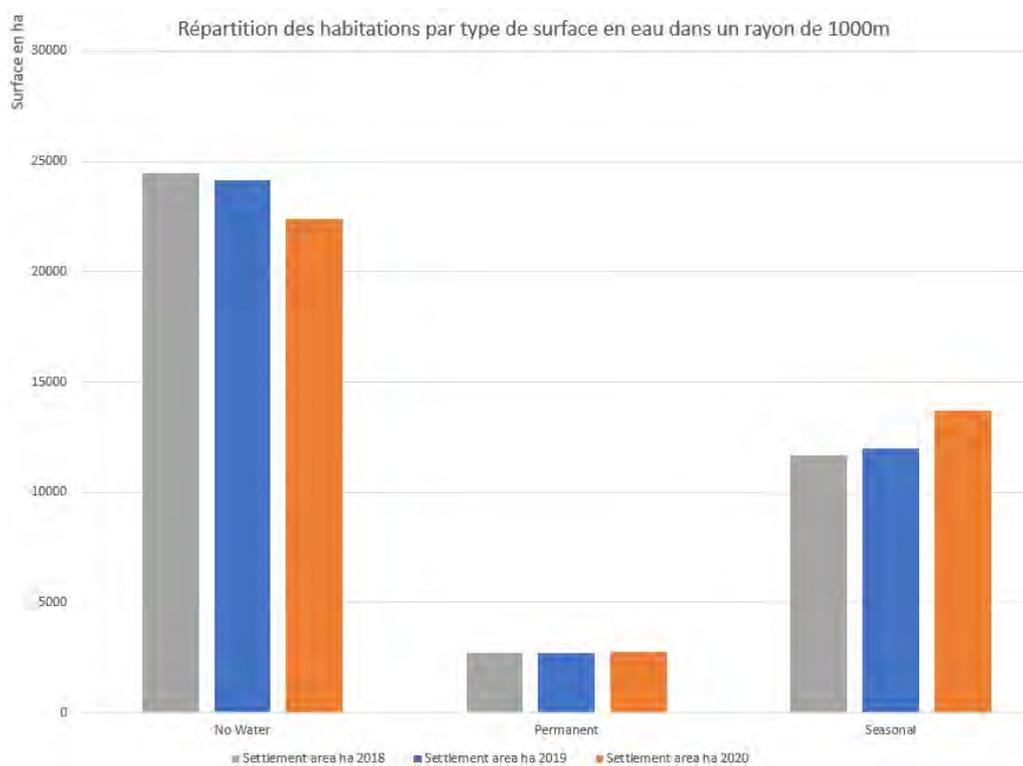
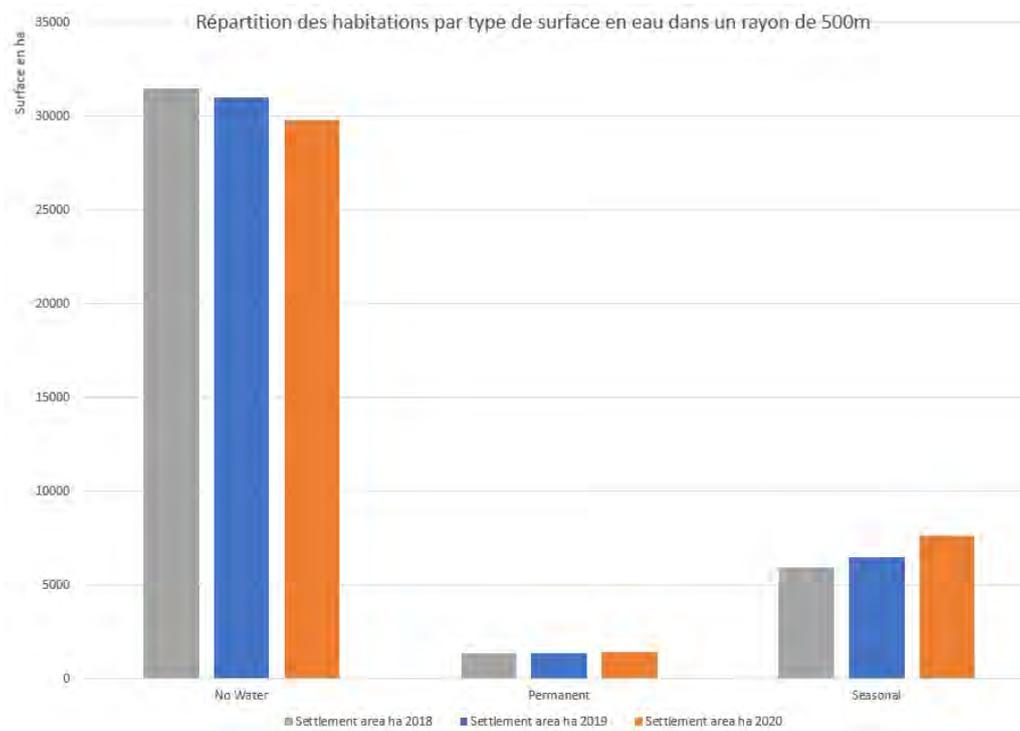


Figure 51 : Répartition des habitations par type de surface en eau dans un rayon de 500m (a) et dans un rayon de 1000m (b)

On constate la part importante d'habitations à plus de 500 m d'une zone en eau mais en diminution entre 2018 et 2020, A 1000 m, la proportion d'habitations en regard des zones en eau est importante et augmente surtout pour les eaux saisonnières.

L'analyse suivante vise à déterminer la proportion des surfaces en eau éloignées ou non des zones urbaines.

Le graphique suivant montre que les eaux permanentes sont majoritairement à moins de 500 m d'habitats et presque complètement à moins de 1000 m quelle que soit l'année.

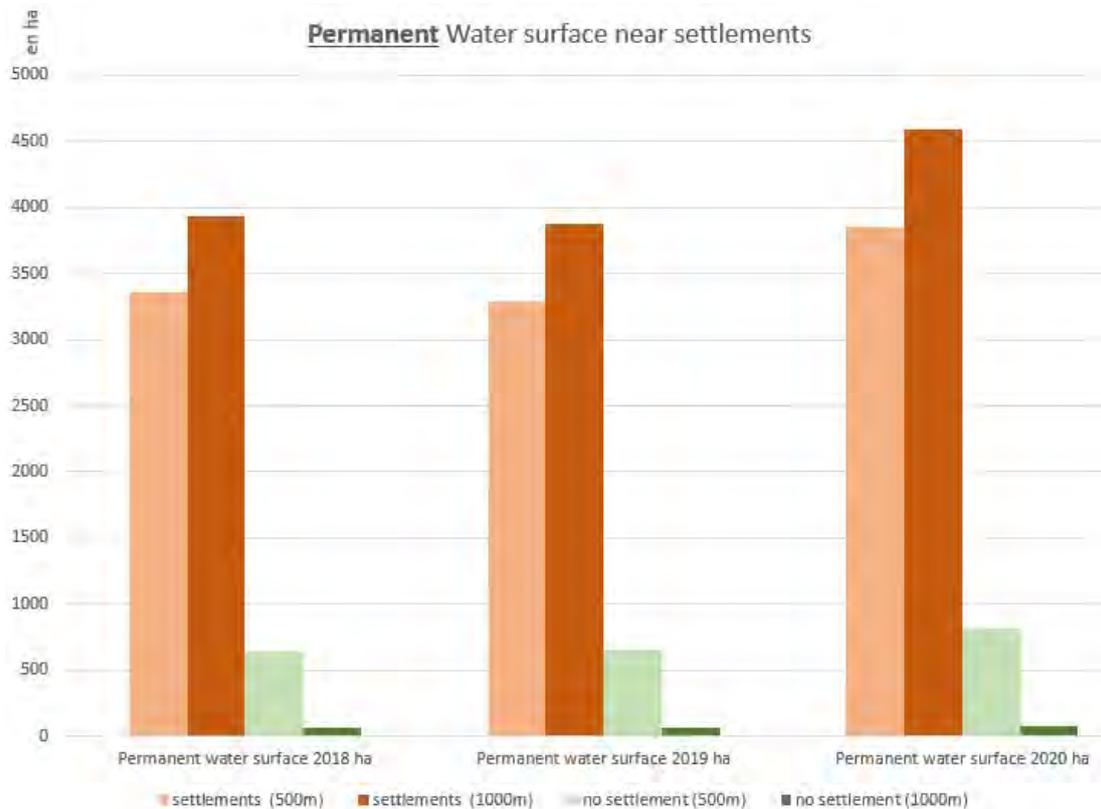


Figure 52 : Surfaces en eau permanente près des zones d'habitat

Pour les surfaces en eaux saisonnière la distribution est plus homogène, du même ordre de grandeur en 2018 à 500 m et majoritaire à 1000 m. La configuration s'inverse en 2019 et 2020 dû à une nette augmentation des surfaces en eau dans la partie ouest. Un tiers des surfaces en eaux saisonnières sont à moins de 500 m d'une habitation. Un tiers des surfaces est entre 500 et 1000 m et le dernier tiers est à plus de 1000 m des habitations. L'analyse est similaire en 2020.



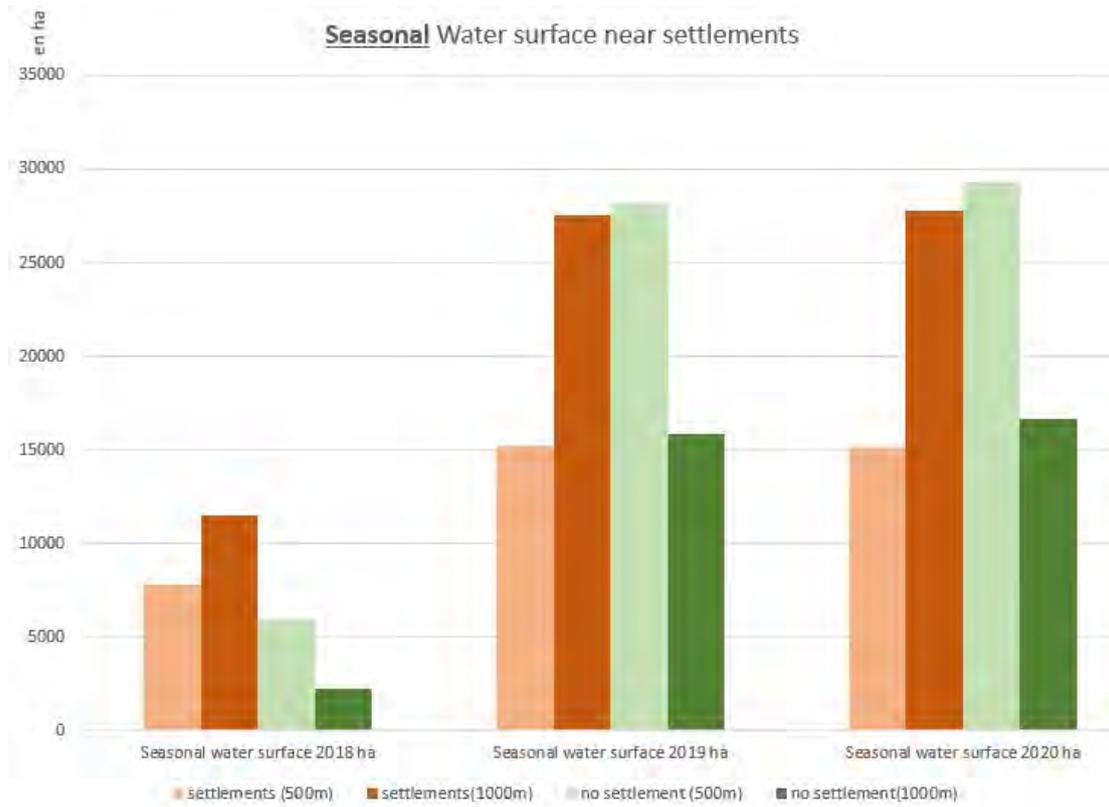


Figure 53 : Surfaces en eau saisonnière près des zones d'habitat

Les cartes suivantes illustrent l'analyse et les résultats statistiques :

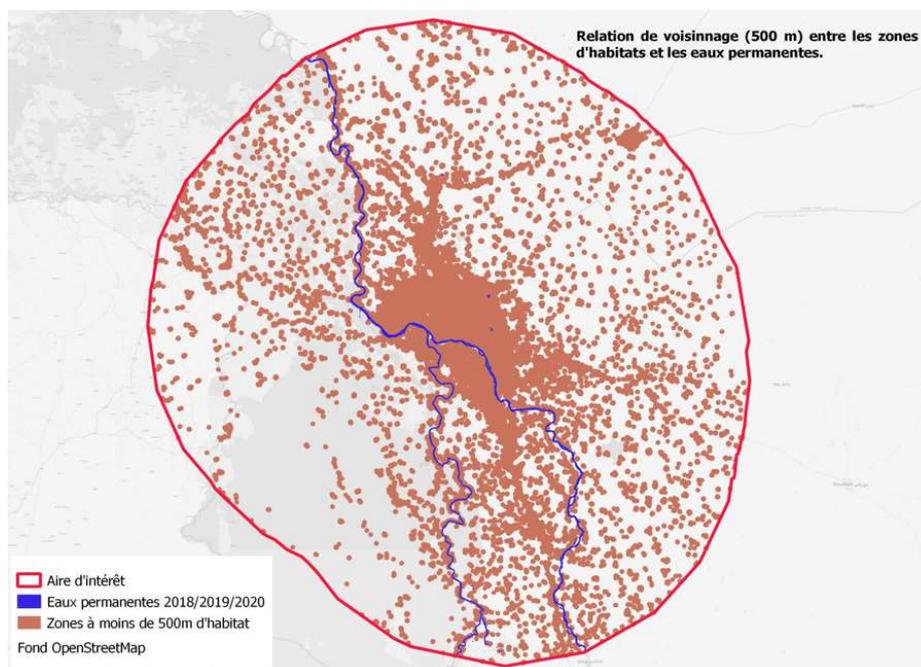


Figure 54 : Zone tampon autour des habitats de 2019 et eaux permanentes en 2018, 2019 ou 2020

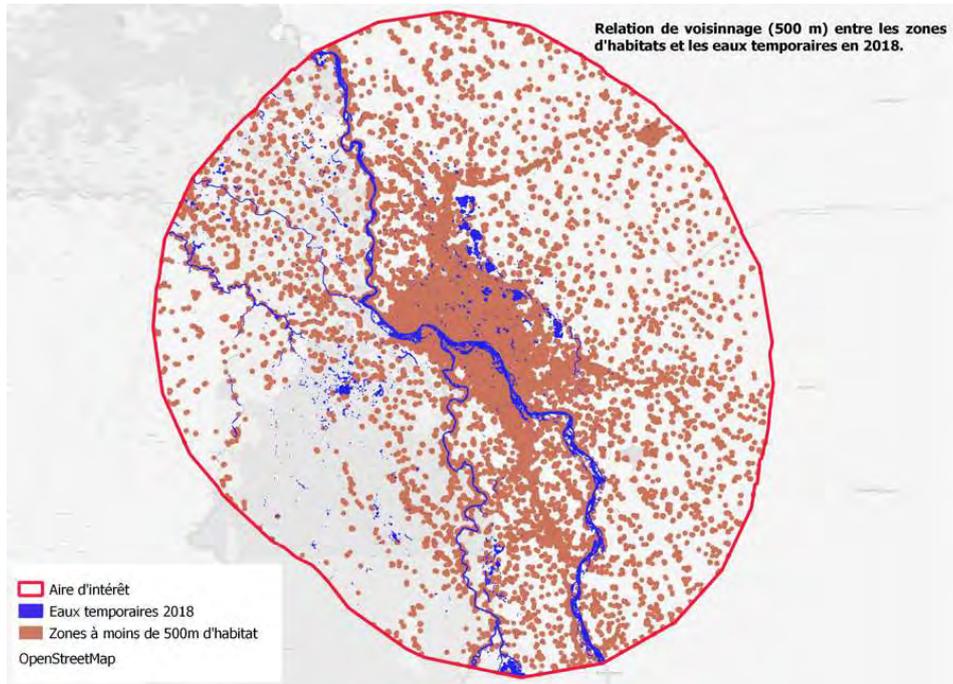


Figure 55 : Zone tampon de 500 m autour des habitats de 2019 et eaux temporaires en 2018

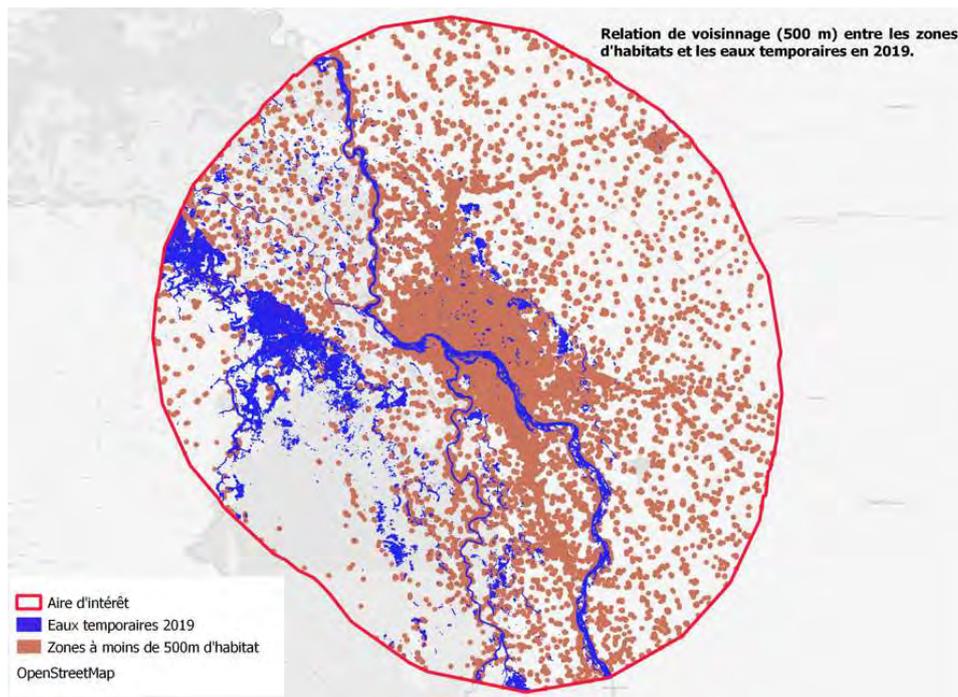


Figure 56 : Zone tampon de 500 m autour des habitats de 2019 et eaux temporaires en 2019

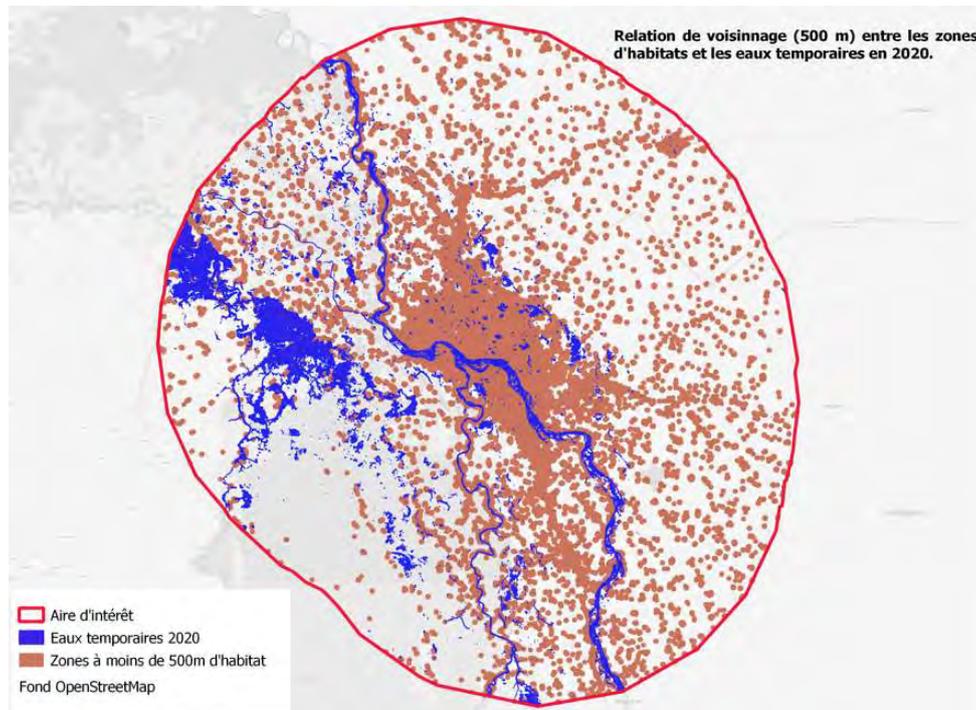


Figure 57 : Zone tampon de 500 m autour des habitats de 2019 et eaux temporaires en 2020

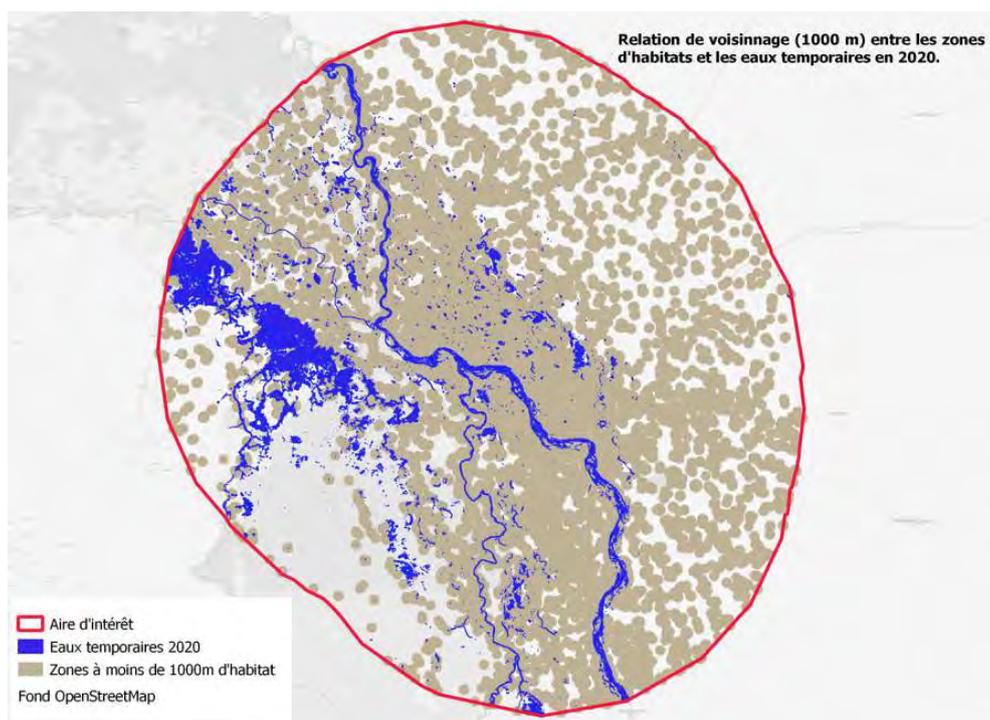


Figure 58 : Zone tampon de 1000m autour des habitats de 2019 et eaux temporaires en 2020

Pour aller plus loin sur cet indicateur, des informations venant de stations in-situ et étudiant la qualité de l'eau ou des études sur la turbidité et la couleur de l'eau serait les prochains maillons de la chaîne. Les données d'observation de la Terre permettent de détecter certains constituants qui ont des effets sur la couleur de l'eau par exemple ou encore sur la température et la salinité. De plus, des informations sur les eaux souterraines et la dérivation des volumes d'eau présents pourraient être la prochaine étape de développement de cet indicateur afin de spécifier les potentiels dégâts de pollution environnementale.

## 5.3 Indicateur de développement sur la dynamique urbaine

Cet indicateur spatial consiste à comparer deux composantes qui sont la croissance démographique et la consommation foncière. Selon le document d'orientation méthodologique d'ONU-Habitat<sup>2</sup>, le taux de croissance de la population (TCP) est l'évolution (augmentation généralement) de la population d'un pays pendant une période spécifique, généralement un an. Le TCP est exprimé en pourcentage du gain ou de la perte de population par rapport à la population au début de la période.

De même, le taux de consommation de terre vise à informer sur le gain ou la perte de surfaces utilisées pour les activités humaines sur une période donnée. La consommation de terres comprend les zones bâties qui peuvent être directement mesurées.

L'indicateur est calculé à l'aide de la formule suivante :

Rapport entre le Taux de Consommation des Terres et le Taux de Croissance de la Population :

$$(TCTTCP) = \frac{\text{taux de consommation des terres}}{\text{taux de croissance de la population}}$$

Cet indicateur soutient l'évaluation des dynamiques urbaines, c'est-à-dire des phénomènes d'étalement urbain et de densification principalement. En vue d'atteindre les objectifs de développement durable, il est très important de limiter l'étalement urbain et de densifier les zones existantes car toutes les infrastructures sont déjà en place. Cette densification sera efficace et considérée comme durable si une ville a une croissance démographique supérieure à la croissance de sa superficie.

Les données d'entrée utilisées sont :

- Etendue urbaine :
  - World Settlement Footprint 2019 : est un masque binaire d'une résolution de 10 m décrivant l'étendue du bâti dans le monde, obtenu à l'aide des séries multi-temporelles Sentinel-1 et Sentinel-2 de 2019
  - World Settlement Footprint Evolution (1985-2015): est une couche de 30 m de résolution décrivant l'étendue du bâti mondial sur une base annuelle de 1985 à 2015, dérivée au moyen de séries multi-temporelles Landsat-5 et Landsat-7.
  - Données de recensement de la population : WorldPop 2000-2020 comprend des surfaces de population par pays à des pas de temps annuels entre 2000 et 2020, avec une résolution spatiale de 3 secondes d'arc (environ 100 m à l'équateur).

La méthodologie utilisée est : Calcul du taux d'évolution de l'étendue urbaine ainsi que du nombre d'habitants sur la période de 20 ans, avant d'appliquer la formule donnée dans la définition de l'indicateur. La couche de WSF Evolution permet d'évaluer la surface bâtie entre 2000 et 2015. Il en ressort une tendance à l'augmentation constante qui permet aisément d'interpoler pour les années 2015 à 2020, En comparant la valeur interpolée de la surface obtenue en 2019 et la valeur calculée issue de WSF 2019, on constate un léger écart. La couche WSF 2019 ayant un niveau de fiabilité plus élevée, cet écart est répercuté pour toutes les années afin d'obtenir une courbe corrigée de la surface des habitats entre 2000 et 2020 (courbe en rouge sur les Figures 57-58).

---

<sup>2</sup> UN-Habitat (2017): A Guide to Assist National and Local Governments to Monitor and Report on SDG Goal 11+ Indicators. Monitoring Framework - Definitions - Metadata - UN-Habitat Technical Support

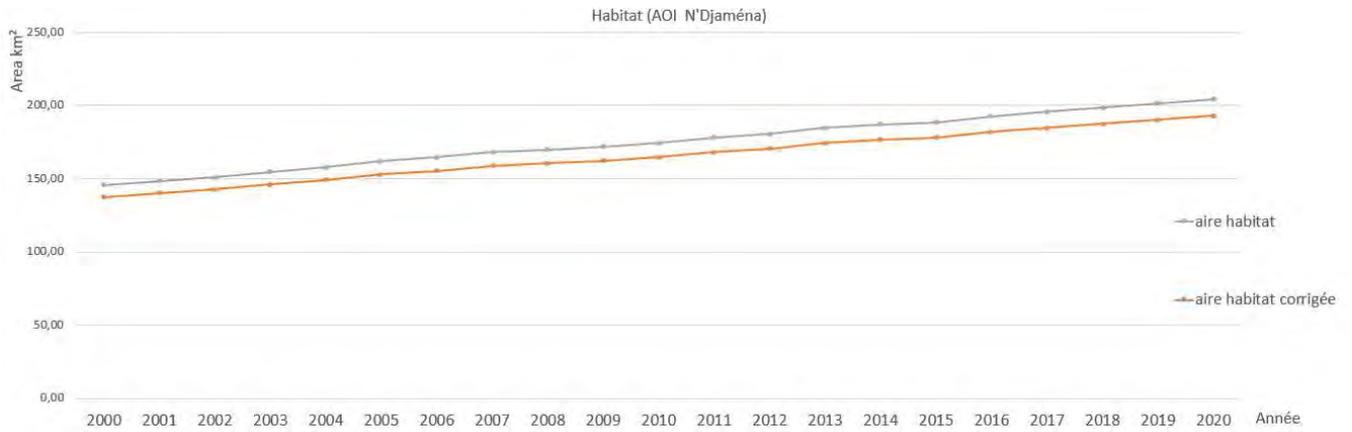


Figure 59 : WSF de 2000 à 2020

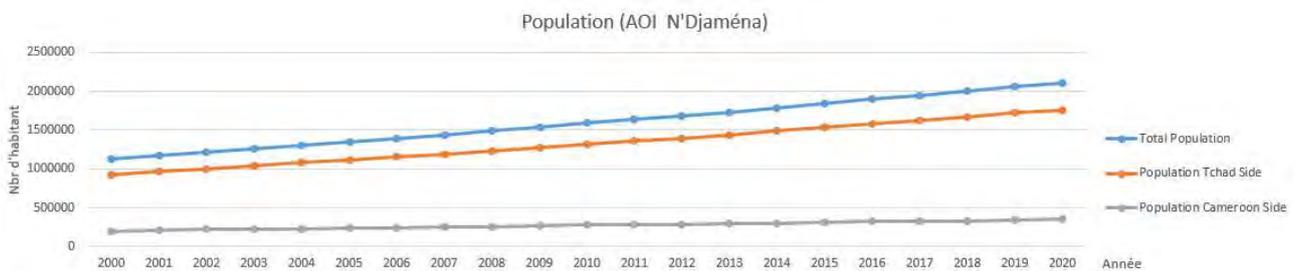


Figure 60 : Population de 2000 à 2020

L'indicateur permet d'évaluer l'évolution de la zone urbaine par rapport à celle du nombre d'habitants. Si des valeurs négatives sont obtenues, cela signifie que l'un des phénomènes a diminué au cours de la période. Des valeurs absolues inférieures à 1 signifient que la consommation foncière évolue moins vite que la population en proportion relative, ce qui indique une densification plus importante que l'étalement urbain.

### Ratio of Land Consumption Rate to Population Growth Rate



Figure 61 : Rapport entre le taux de consommation des terres et le taux de croissance de la population sur la période 2000-2020

Le ratio a été calculé pour la période 2000-2020, La Figure révèle une augmentation de la population plus rapide que l'expansion urbaine en proportions relatives. Avec un indice global sur la période 2000-2020 de 0,5 on peut considérer que la tendance est à la densification.



## 6 Conclusion

Le projet ECLAT a permis de mener une étude sur les données mises à disposition gratuitement dans le milieu de la télédétection, couvrant plusieurs thématiques, les capacités de la chaîne Iona-2 à produire des cartes d'occupation du sol dans des milieux extrêmes et complexes à classer et surtout à produire des indicateurs de développement durable à partir de données générales et d'indices de télédétection.

Ainsi le projet SCO ECLAT a permis de dresser un inventaire complet dans un premiers temps des bases de données gratuites globales et continentales africaines disponibles pour réaliser des cartes d'occupation du sol. Cet inventaire de plus de 25 bases de données a permis d'évaluer les bases de données les plus récentes en regard des thématiques du projet à savoir l'urbain, les surfaces en eau, l'agriculture, les zones humides, les sols nus et la végétation. L'inventaire permet de dégager des tendances plus précises sur les thématiques les plus étudiées, notamment la végétation, l'urbain ou les surfaces en eau et montre que ces thématiques englobent les bases de données les plus récentes et à plus haute résolution spatiale. L'étude des forêts, des sols nus ou encore des terres agricoles qui sont beaucoup plus complexes à cartographier en Afrique se révèle être plus difficile et présente donc moins de bases de données récentes, à très haute résolution ou précises sur ces sujets.

Le projet SCO ECLAT a proposé de créer des bases de validation par méthode de *random sampling* sur la région du Lac Tchad, du Parc Tocc au Sénégal et du Parc W au Niger, grâce auxquelles une validation et une notation de toutes les bases de données citées précédemment a été effectuée. Pour chaque base de données, les données sur les thématiques du projet ont donc été extraites, mises en forme et validées au regard de la base de validation correspondante réalisée par photo-interprétation de points. Des critères d'évaluations ont été mis en place pour compléter cette évaluation et ont permis de donner une note globale à chaque base de données et des notes par thématique.

Une fois cette notation réalisée, les meilleures bases de données ont été utilisées pour créer des vérités terrains à fournir à une chaîne de classification et pour faire de la fusion de données afin de créer des cartes d'occupation du sol. Ces cartes d'occupation du sol ont été réalisées à partir du traitement de séries temporelles annuelles Sentinel-2 et ce sur plusieurs tuiles. C'est la chaîne Iona-2 du CESBIO qui a permis de réaliser ces cartes d'occupation du sol.

Les biais inhérents aux bases de données ont été un obstacle important pour la création des cartes d'occupation du sol dont la précision globale a culminé à 77%, dépassant de quelques pourcentages les produits existants sur les zones d'intérêt. La majorité des classes d'occupation du sol ont des précisions globales oscillant entre 60% et 65%. Malgré des efforts importants entrepris dans la configuration de la chaîne Iona-2 pour la production des cartes d'occupation du sol, la précision globale fut difficile à améliorer. L'environnement complexe du Lac Tchad rend ardue la séparation de certaines classes (urbain vs. sol nu ; sol nu vs. végétation ; zone humide vs. végétation) et l'obtention de cartes d'occupation du sol précises.

Néanmoins, ces cartes d'occupations du sol et le traitement des séries temporelles Sentinel-2 ont été utilisés pour créer des indicateurs de développement durable. Ces indicateurs sont découpés en trois thématiques, agricole, urbaine et gestion de l'eau. Le premier *Dynamic Habitat Index* (DHI) a permis de réaliser un indicateur de suivi agricole prometteur et dont l'utilité intéresse fortement un des interlocuteurs du projet, le Centre de Suivi Ecologique au Sénégal. Cet indicateur permet de suivre les évolutions agricoles et serait utile pour les décideurs au Sénégal dans le cadre de problèmes inhérents aux pratiques agricoles dans la région. Le deuxième indicateur sur le suivi des écosystèmes en eau permet lui une évaluation des risques inhérent à la proximité des zones urbaines en termes de pollution et inversement sur le risque de submersion de certaines zones urbaines en cas d'inondation. Enfin, un dernier indicateur de suivi de la dynamique urbaine a été mis en place. Cet indicateur permet de suivre

le rapport entre consommation des terres et densification de la population et serait utile dans le suivi de la planification urbaine.

Les travaux du projet SCO ECLAT ont permis d'établir une base pour des prochains travaux sur les thématiques choisies. Au regard des difficultés rencontrées et de l'absence d'interlocuteur locaux et donc de données ou évaluation des produits intermédiaires, nous avons pu, avec des efforts importants, établir une relation avec le CSE au Sénégal et proposer des produits qui pourraient servir également de base à des projets futurs

# Annexe I : Resultats de Validation

		Zone artificielle	Surface en eau	Terre Cultivable	Zones humides	Sol nu	Végétation	
Tchad-33PTP	2018	Precision	0.770	0.771	0.684	0.667	0.333	0.595
		Recall	0.534	0.875	0.650	0.571	0.344	0.780
		Commission	0.230	0.229	0.316	0.333	0.667	0.405
		Omission	0.466	0.125	0.350	0.429	0.656	0.220
		F-Score	0.631	0.820	0.667	0.615	0.338	0.675
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.665</b>					
	2019	Precision	0.774	0.722	0.602	0.787	0.423	0.542
		Recall	0.545	0.948	0.530	0.527	0.344	0.780
		Commission	0.226	0.278	0.398	0.213	0.577	0.458
		Omission	0.455	0.052	0.470	0.473	0.656	0.220
		F-Score	0.640	0.820	0.564	0.632	0.379	0.639
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.649</b>					
	2020	Precision	0.770	0.699	0.638	0.807	0.314	0.692
		Recall	0.534	0.990	0.810	0.505	0.344	0.630
		Commission	0.230	0.301	0.362	0.193	0.686	0.308
		Omission	0.466	0.010	0.190	0.495	0.656	0.370
		F-Score	0.631	0.819	0.714	0.622	0.328	0.660
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.677</b>					
Tchad-33PUP	2018	Precision	0.667	0.931	0.504	0.476	0.579	0.594
		Recall	0.315	0.960	0.590	0.827	0.468	0.380
		Commission	0.333	0.069	0.496	0.524	0.421	0.406
		Omission	0.685	0.040	0.410	0.173	0.532	0.620
		F-Score	0.427	0.945	0.544	0.604	0.518	0.463
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.606</b>					
	2019	Precision	0.667	0.912	0.534	0.617	0.625	0.632
		Recall	0.315	0.939	0.630	0.837	0.319	0.720
		Commission	0.333	0.088	0.466	0.383	0.375	0.368
		Omission	0.685	0.061	0.370	0.163	0.681	0.280
		F-Score	0.427	0.925	0.578	0.710	0.423	0.673
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.662</b>					
	2020	Precision	0.667	0.904	0.542	0.524	0.563	0.621
		Recall	0.315	0.949	0.520	0.878	0.383	0.590
		Commission	0.333	0.096	0.458	0.476	0.438	0.379
		Omission	0.685	0.051	0.480	0.122	0.617	0.410
		F-Score	0.427	0.926	0.531	0.656	0.456	0.605
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.632</b>					

			Zone artificielle	Surface en eau	Terre Cultivable	Zones humides	Sol nu	Végétation
Tchad-33PWP	2018	Precision	0.586	0.880	0.611	0.626	0.549	0.762
		Recall	0.494	0.950	0.800	0.691	0.394	0.640
		Commission	0.414	0.120	0.389	0.374	0.451	0.238
		Omission	0.506	0.050	0.200	0.309	0.606	0.360
		F-Score	0.536	0.913	0.693	0.657	0.459	0.696
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.681</b>					
	2019	Precision	0.586	0.851	0.552	0.702	0.575	0.734
		Recall	0.494	0.970	0.850	0.680	0.324	0.580
		Commission	0.414	0.149	0.448	0.298	0.425	0.266
		Omission	0.506	0.030	0.150	0.320	0.676	0.420
		F-Score	0.536	0.907	0.669	0.691	0.414	0.648
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.672</b>					
	2020	Precision	0.594	0.803	0.601	0.694	0.636	0.758
		Recall	0.494	0.980	0.830	0.701	0.296	0.690
		Commission	0.406	0.197	0.399	0.306	0.364	0.242
		Omission	0.506	0.020	0.170	0.299	0.704	0.310
		F-Score	0.539	0.883	0.697	0.697	0.404	0.723
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.690</b>					
Sénégal - 28QCD	2018	Precision	0.818	0.953	0.757	0.875	0.779	0.784
		Recall	0.375	0.990	0.875	0.770	0.822	0.791
		Commission	0.182	0.047	0.243	0.125	0.221	0.216
		Omission	0.625	0.010	0.125	0.230	0.178	0.209
		F-Score	0.510	0.970	0.810	0.820	0.800	0.790
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.828</b>					
	2019	Precision	1.000	0.990	0.669	0.710	0.713	0.748
		Recall	0.273	0.971	0.844	0.710	0.744	0.727
		Commission	0.000	0.010	0.331	0.290	0.287	0.252
		Omission	0.727	0.029	0.156	0.290	0.256	0.273
		F-Score	0.430	0.980	0.750	0.710	0.730	0.740
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.767</b>					
	2020	Precision	1.000	0.990	0.683	0.742	0.650	0.794
		Recall	0.375	0.971	0.896	0.690	0.700	0.700
		Commission	0.000	0.010	0.318	0.258	0.351	0.206
		Omission	0.625	0.029	0.104	0.310	0.300	0.300
		F-Score	0.550	0.980	0.770	0.720	0.670	0.740
		<b>Overall accuracy</b>	<b>0.772</b>					