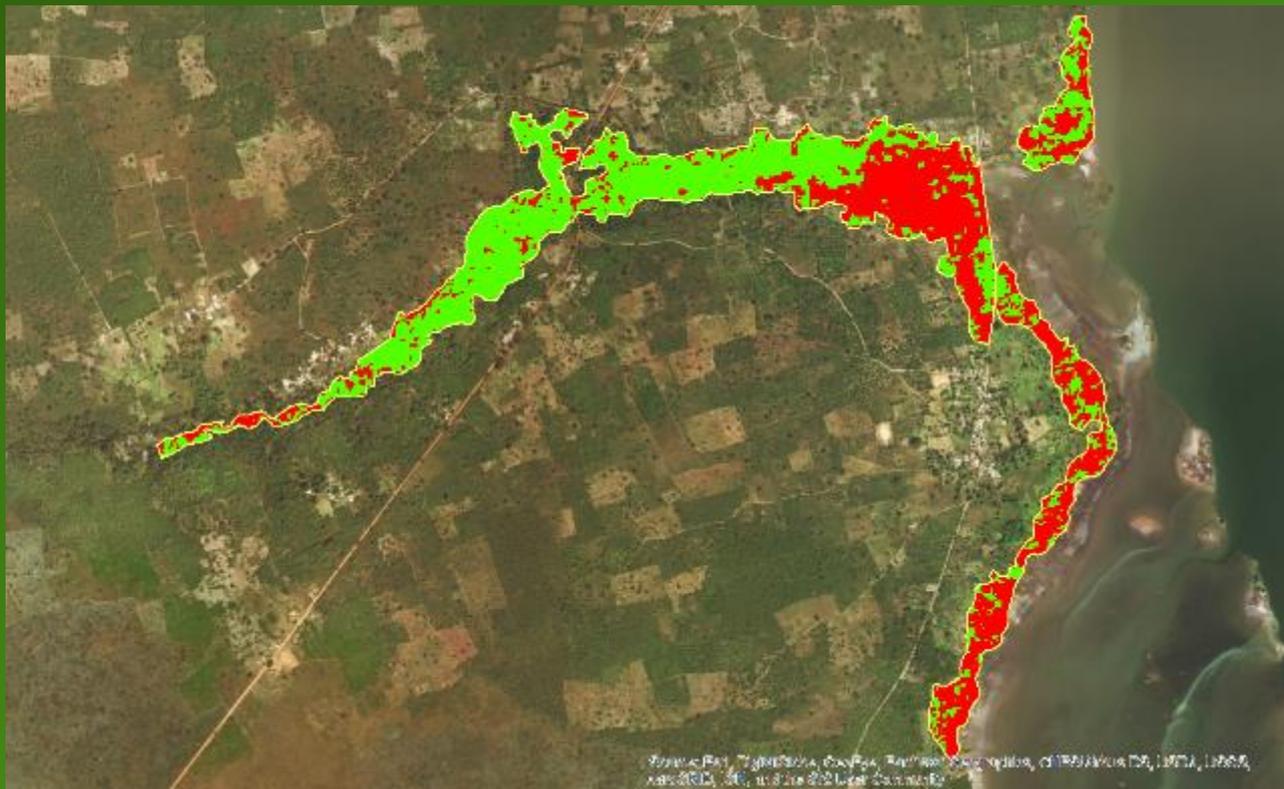


PAIS +

PROGRAMME AGRICOLE ITALIE SENEGAL PLUS

SUIVI DE LA RIZICULTURE PAR TELEDETECTION  
EN CASAMANCE :  
CAMPAGNE D'EXPERIMENTATION 2017



Rapport n° 6  
Septembre  
2018

Edoardo Fiorillo  
Bartosz Mazurkiewicz  
Vieri Tarchiani

Cette étude a été réalisée dans le cadre du Programme PAIS (Programme Agricole Italie Sénégal) par une équipe de l'Institut de Biométéorologie du Conseil National des Recherches d'Italie composée par :

- Edoardo Fiorillo (IBIMET-CNR)
- Bartosz Mazurkiewicz (IBIMET-CNR)
- Vieri Tarchiani (IBIMET-CNR)

L'étude a été cofinancée par le Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural du Sénégal à travers le programme PAIS+.

Les auteurs expriment toute leur gratitude pour la disponibilité et les données mises à disposition à :

- Saliou Djiba, Directeur du Centre de Recherche Rizicole de Djibelor
- Baboucar Bamba du Centre de Recherche Rizicole de Djibelor.



## Sommaire

---

1. Introduction.....	6
2. TEST A - Evaluation de la tendance végétative des variétés de riz de bas-fond et de nappe par NDVI.....	7
2.1 But du test .....	7
2.2 Méthodologie .....	7
2.3 Résultats .....	9
2.3.1 Analyse du cycle productif 2017.....	9
2.3.1 Comparaison des cycles productifs 2016 et 2017 .....	11
3. TEST B - Suivi par NDVI des zones cultivées et non cultivées de bas-fond rizicole .....	13
3.1 But du test .....	13
3.2 Méthodologie .....	13
3.2.1 Méthodologie pour l'échantillonnage des zones rizicoles .....	13
3.2.2 Méthodologie de traitement et classification des images et évaluation du système de classification	16
3.3 Résultats .....	18
3.3.1 Évaluation globale de la précision de la classification.....	18
3.3.2 Estimation des productions rizicoles de bas-fond en 2017 .....	20
3.3.2 Comparaison des estimations des productions rizicoles de bas-fond 2016-2017 .....	22
4. ANALYSE DES RESULTATS DES TESTS ET CONSIDERATIONS .....	24
ANNEXE A .....	26
ANNEXE B.....	34

## Liste des figures

---

Figure 1 - Parcelles du Centre de Recherche Rizicole de Djibelor utilisées dans le test 2017. ....	8
Figure 2 - Tendances NDVI des variétés contrôlées et précipitations (source : NOAA) à Djibelor pendant le cycle culturale 2017.....	10
Figure 3 - Comparaison des valeurs maximales de NDVI et de production par variété relatifs au cycle culturale 2017. ....	10
Figure 4 - Précipitations mensuelles (mm) et nombre de jours de pluie par mois en 2016 et 2017 (source : NOAA). ....	11
Figure 5 - Exemple de parcelle cultivée dans la campagne 2017. La paille et la chaume des plants de riz sont très évidents. ....	14
Figure 6 - Exemple de parcelle non cultivée dans la campagne 2017 et occupée par végétation naturelle. ....	15

Figure 7 - Exemple de zone non productive de vallée pour la présence du sel et occupée par végétation naturelle. .... 15

Figure 8 - Organigramme du model implémenté pour l’identification des surfaces rizicoles cultivés de bas-fond de la Région de Sédhiou (C = surfaces cultivées ; NC = surfaces non cultivées). .... 17

Figure 9 - Classification des zones rizicoles de bas-fond 2017 (SEUIL A = 0,38 ; SEUIL B = 0,19). .... 20

Figure 10 - Classification des zones rizicoles de bas-fond 2016 (SEUIL A = 0,38 ; SEUIL B = 0,19). .... 22

Figure 11 - Points échantillonnées dans la vallée de Djiredji ..... 26

Figure 12 - Points échantillonnées dans la vallée de Kintinkourou. .... 27

Figure 13 - Points échantillonnées dans la vallée de Badiary. .... 28

Figure 14 - Points échantillonnées dans la vallée de Ndiama ..... 29

Figure 15 - Points échantillonnées dans la vallée de Karantaba. .... 30

Figure 16 - Points échantillonnées dans la vallée de Diaring. .... 31

Figure 17 - Points échantillonnées dans la vallée de Bambali. .... 32

Figure 18 - Points échantillonnées dans la vallée de Samiron ..... 32

Figure 19 - Points échantillonnées dans la vallée de Bakoum. .... 33

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Variétés surveillées dans le test et leurs caractéristiques. ....7

Tableau 2 - Dates d'acquisition et identification des images utilisées dans le test A. ....9

Tableau 3 - Données 2017 phénologiques et productives des variétés étudiées dans le test A (source : Centre de Recherche Rizicole de Djibelor). ....9

Tableau 4 - Comparaison de données phenologiques (MAX NDVI = valeur maximal tele detecté de NDVI pendant le cycle productif) et de rendement. .... 12

Tableau 5 - Points de contrôle au sol (GCP) collectés et utilisés per l’évaluation du système de classification des zones cultivés de vallée. .... 14

Tableau 6 - Dates d'acquisition et identification des images utilisées dans le test B. .... 16

Tableau 7 - Exemple de matrice de confusion. .... 17

Tableau 8 - Valeurs de précision globale du système de classification des zones rizicoles cultivés de bas-fond selon les valeurs de seuil testées. .... 19

Tableau 9 - Matrice de confusion de système de classification basé sur la valeurs seuil A =0,38 et valeur seuil B =0,19 ..... 19

Tableau 10 – Surfaces de bas-fond totales et cultivées en 2017. .... 21

Tableau 11 - Classification 2017 des vallées rizicoles de la Région de Sédhiou ciblées par le Programme PAIS+. 21

Tableau 12 - Comparaison des surfaces rizicoles de bas-fond cultivées en 2016 et 2017 par département. .... 23

Tableau 13 - Comparaison des surfaces rizicoles de bas-fond cultivées en 2016 et 2017 par typologie de bas-fond. .... 23

Tableau 14 - Surfaces rizicoles cultivées (**plateau + bas-fond**) selon les données officielles de la Région de Sédhiou (source DRDR). .... 23

Tableau 15 – Données pluviométriques pour les Départements de la Région de Sédhiou en 2016 et 2017. .... 24

Tableau 16 - Classification des zones rizicoles de la Région de Sédhiou en 2017. .... 34

## Acronymes

---

**DRDR** – Directions Régionales de Développement Rural

**ESA** – Agence Spatiale Européenne

**GCP** – Points de contrôle au sol

**NDVI** – Normalized Difference Vegetation Index

**NOAA** – National Oceanic and Atmospheric Administration

**PAIS** – Programme Agricole Italie Sénégal

**PAPSEN** – Programme d'Appui au Programme National d'Investissement dans l'Agriculture au Sénégal

## 1. Introduction

---

Le Programme PAIS (Programme Agricole Italie Sénégal) se propose de soutenir la souveraineté alimentaire du Sénégal en participant à l'augmentation de la production rizicole et l'amélioration des revenus des populations rurales. Le Programme intervient dans les régions de Sédhiou, Kaolack et de Kolda, principalement dans la riziculture et le financement en milieu rural. Le programme prévoit l'aménagement de 2400 ha de vallée pour la riziculture pluviale, la réhabilitation des rizières dégradées et l'aménagement d'ouvrage anti érosion contre l'ensablement des rizières. Un des objectifs du programme est également de contribuer à l'intensification durable de l'agriculture à travers le renforcement des femmes et des jeunes agriculteurs dans la riziculture pluviale, le maraichage, la transformation après-récolte et la commercialisation des produits agricoles.

Cette étude fait partie des activités qu'IBIMET-CNR (Institut de Biométéorologie du Conseil Nationale de Recherches Italien) mène dans le cadre de la convention avec le Programme PAIS visant la caractérisation des productions rizicoles des vallées en raison de sa réhabilitation et amélioration. En 2017, une équipe d'IBIMET avait déjà réalisé une étude de télédétection<sup>1</sup> soutenue par des enquêtes de terrain pour l'utilisation expérimentale des images satellites multispectrales. En particulier, deux tests relatifs à la saison productive 2016 avaient été effectués respectivement sur des parcelles du Centre de Recherche Rizicole de Djibelor et sur deux vallées rizicoles de la région de Sédhiou en utilisant l'indice de végétation NDVI calculé à partir des images multispectrales haute résolution Sentinel 2.

On rappelle ici que la télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information. Pour une introduction aux indices spectraux, leur utilisation pour le suivi des productions rizicoles et les caractéristiques des images Sentinel 2, reportez-vous au rapport précédent<sup>1</sup>.

Ce document teste l'utilisation de techniques de télédétection pour surveiller les productions de riz en Casamance. En particulier, deux tests ont été effectués respectivement sur des parcelles du Centre de Recherche Rizicole de Djibelor et sur parcelles de deux vallées rizicoles de la région de Sédhiou en utilisant l'indice de végétation NDVI calculé à partir des images multispectrales haute résolution Sentinel 2.

Compte tenu des résultats encourageants obtenus lors des tests effectués pendant la saison productive 2016, ceux-ci ont été répétés pour la saison de production 2017 et sont présentés dans ce rapport. L'essai A, celui relatif à la surveillance des parcelles du Centre de Recherche de Djibelor, est sensiblement similaire à celui réalisé pour la saison précédente. L'essai B, visant à identifier les parcelles effectivement cultivées dans les vallées de la Région de Sédhiou, a été profondément modifié et étendu à 9 vallées au total. De plus, sur la base des résultats obtenus, il a été possible de classer les surfaces rizicoles cultivées de la région entière.

---

<sup>1</sup> Edoardo Fiorillo, Piero Toscano, Vieri Tarchiani (2018). Expérimentation de l'utilisation des images satellites multispectrales pour soutenir la production de riz en Casamance.

## 2. TEST A - Evaluation de la tendance végétative des variétés de riz de bas-fond et de nappe par NDVI

### 2.1 But du test

Le test vise à évaluer la capacité de l'indice NDVI à suivre le développement végétatif des différentes variétés de riz couramment utilisées en Casamance pendant la saison productive 2017. L'objectif est de fournir des paramètres utiles pour caractériser la phénologie au moyen d'indices de télédétection. En comparant les données fournies par le Centre de Recherche Rizicole de Djibelor, nous essayons de comprendre si les indices de télédétection peuvent fournir des indications permettant de caractériser la tendance saisonnière du développement végétatif. De plus, une comparaison est faite entre les données des saisons productives 2016 et 2017

### 2.2 Méthodologie

L'essai a été réalisé sur 6 parcelles du Centre de Recherche Rizicole de Djibelor. Les parcelles contiennent (tableau 1) variétés de bas-fond et de nappe qui sont normalement utilisées dans la Région de Sédhiou. Les variétés en 2017 ne sont pas positionnées dans les mêmes parcelles du 2016 car au Centre de recherche de Djibelor on adopte la rotation annuelle dans le positionnement des variétés. Les parcelles du 2017 mesurent entre 2500 m<sup>2</sup> et 3000 m<sup>2</sup> (tableau 1 et figure 4) ; afin d'éliminer l'effet de bordure, un tampon interne de 10 m a été créé et seulement les pixels contenus complètement ou en grande partie à l'intérieur du tampon ont été utilisés pour le calcul du NDVI. Les valeurs de réflectance dans les bandes du rouge et infrarouge proche sont extraites pour chaque parcelle par un nombre de pixels compris entre 10 et 11 et utilisées pour calculer la valeur moyenne NDVI de la parcelle à chaque date.

Tableau 1 - Variétés surveillées dans le test et leurs caractéristiques.

(Hiv= en hivernage ; CSC= en contre-saison chaude ; Jas= jours après semis) ((Source : Catalogue officiel des espèces et des variétés cultivées au Sénégal).

Variété	Vocation culturale	Cycle maturité	Hauteur tige (panicule non comprise)	Rendement Potentiel (t/ha)	Taille Parcelle (ha)	Nombre de pixel
<b>BG90-2</b>	Bas-fond	Hiv 120 jas / CSC 125 jas	120 cm	Hiv 6 - CSC 8.5	0,284	11
<b>BW-248-1</b>	Bas-fond	Hiv 125 jas / CSC 130 jas	125 cm	Hiv 4.5 - CSC 6	0,285	11
<b>DJ12-519</b>	Nappe	Hiv 105 jas	90 cm	4.5	0,250	10
<b>IR 1529-680-3</b>	Bas-fond	Hiv 125 jas / CSC 130 jas	100 cm	Subm. 5 - Irr. 9	0,302	10
<b>ITA123</b>	Bas-fond	Hiv 120 jas / CSC 130 jas	100 cm	Hiv 6 - CSC 7	0,284	11
<b>TOX728-1</b>	Nappe	Hiv 105 jas	110 cm	4.5 - 6.5	0,298	11

### Programme Agricole Italie Sénégal Plus – PAIS +

Les images Sentinel 2 utilisés pour le test ont été téléchargées par le site Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>) qui offre un accès complet, gratuit et ouvert aux produits Sentinel-1, Sentinel-2 et Sentinel-3. Les images disponibles pour la saison productive 2017 non affectées par le nuage sont indiquées dans le tableau 2. Les images ont été téléchargées au format Niveau-1C. Ces produits sont fournis avec corrections radiométriques et géométriques (y compris l'orthorectification et l'enregistrement spatial). Par la suite, les images ont été élaborées pour la correction atmosphérique (produit de Niveau-2A) via le programme Sentinel Application Platform (SNAP, v. 5.0) distribué par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) sur le site Web: <http://step.esa.int/main/download>. Les images ont ensuite été traitées pour dériver l'indice végétatif NDVI à travers le logiciel QGIS.

Les données télédéteectées ont été analysées et comparées à celles phénologiques et productives collectées sur le terrain dans les parcelles suivies du Centre de Recherche Rizicole de Djibelor (tableau 3).

Figure 1 - Parcelles du Centre de Recherche Rizicole de Djibelor utilisées dans le test 2017.

Les lignes bleues indiquent les limites des parcelles, les lignes jaunes les limites des surfaces effectivement échantillonnées dans le test (image d'arrière-plan source Google Earth).



Tableau 2 - Dates d'acquisition et identification des images utilisées dans le test A.

Date d'acquisition	Sentinel ID
07/10/2017	S2B_MSIL2A_20171007T112059_N0205_R037_T28PCU_20171007T113111
27/10/2017	S2B_MSIL2A_20171027T112139_N0206_R037_T28PCU_20171027T145835
11/11/2017	S2A_MSIL2A_20171111T112311_N0206_R037_T28PCU_20171111T132523
21/11/2017	S2A_MSIL2A_20171121T112351_N0206_R037_T28PCU_20171121T144635
01/12/2017	S2A_MSIL2A_20171201T112431_N0206_R037_T28PCU_20171201T131858
11/12/2017	S2A_MSIL2A_20171211T112451_N0206_R037_T28PCU_20171211T133606
21/12/2017	S2A_MSIL2A_20171221T112501_N0206_R037_T28PCU_20171221T131458

Tableau 3 - Données 2017 phénologiques et productives des variétés étudiées dans le test A (source : Centre de Recherche Rizicole de Djibelor).

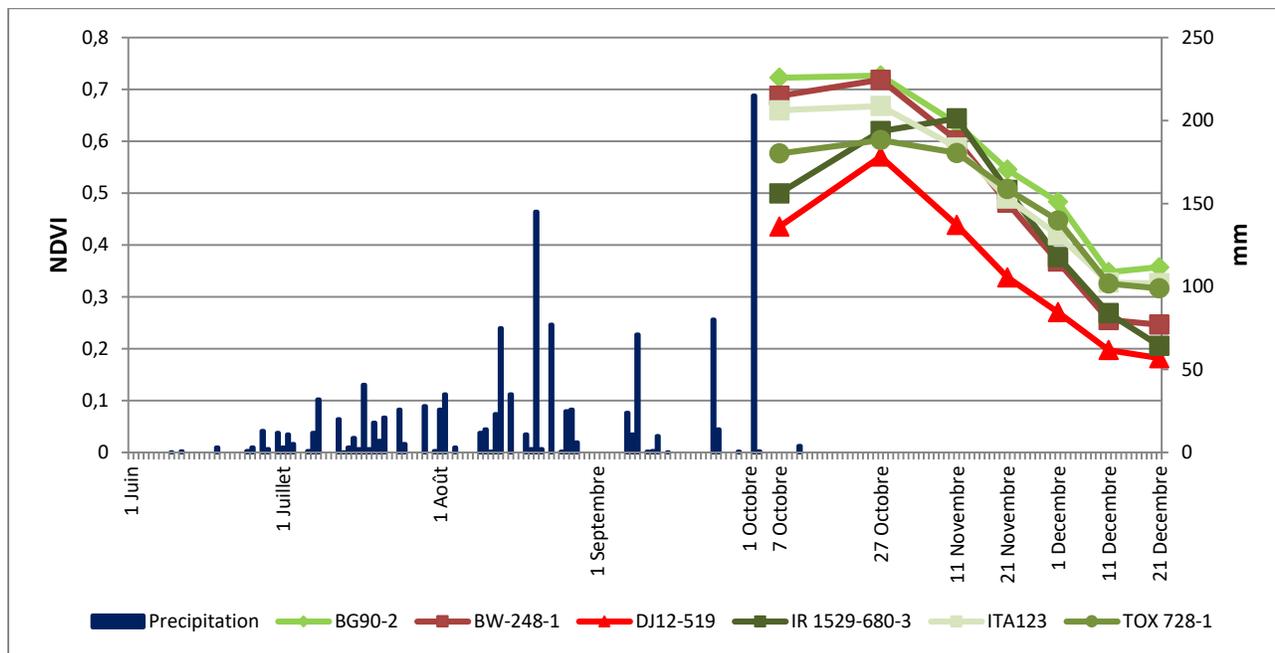
Variétés	Ecologie	Date Semis direct	Date Repiquage	Date de récolte	Rendement (t/ha)
<b>BG 90-2</b>	Bas-fond	10/07		28/11	4,07
<b>BW 248-1</b>	Bas-fond	12/07		08/12	1,85
<b>DJ 12-519</b>	Nappe		28/08	22/11	0,84
<b>IR 1529-680-3</b>	Bas-fond	20/07		15/12	1,69
<b>ITA 123</b>	Bas-fond	14/07		02/12	2,34
<b>Tox 728-1</b>	Nappe	13/07		04/12	2,59

## 2.3 Résultats

### 2.3.1 Analyse du cycle productif 2017

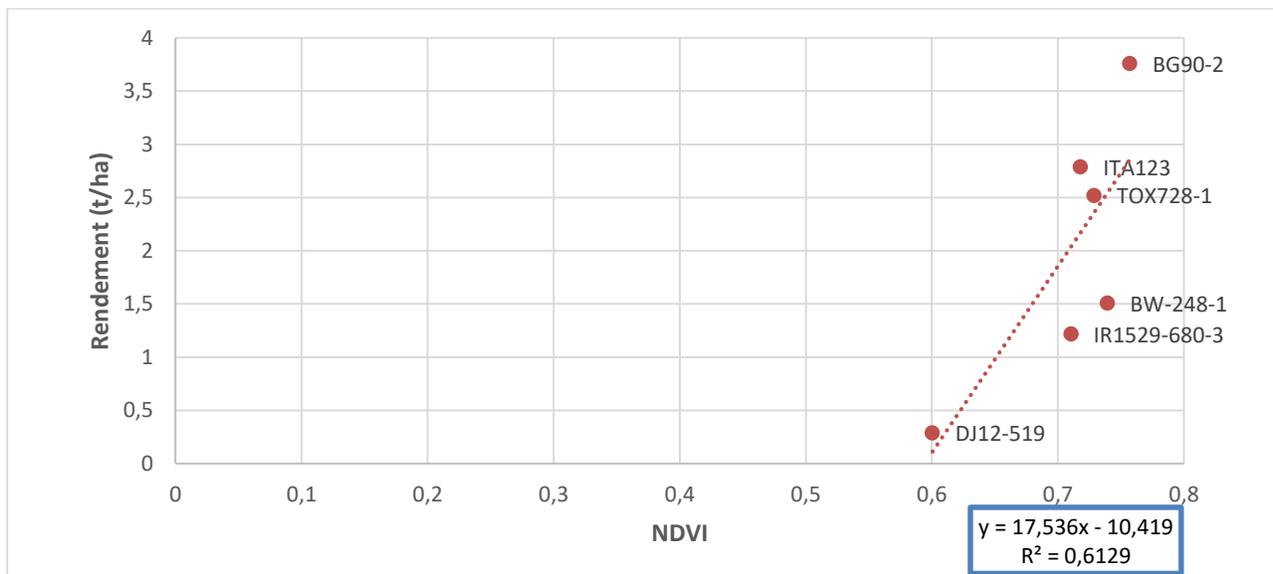
La première considération qui ressort clairement est que pour le cycle phénologique 2017, seul un petit nombre d'images est disponible. Toutes les images avant le 7 octobre n'étaient pas utilisables en raison de la couverture nuageuse. Au total, les images disponibles pour caractériser le cycle phénologique des plantes, du 10 juillet au 15 décembre pour les variétés à cycle long, sont 7 et concernent la phase finale de l'augmentation du NDVI au cours de la phase végétative-reproductive jusqu'à la floraison et sa diminution progressive avec la progression de la maturation. Toutes les variétés montrent une augmentation du NDVI du 7 octobre au 27 octobre, parfois très marquée (DJ 12-519, Tox 728-1) et dans d'autres (ITA 123, BG 90-2) plus faible. La seule variété qui montre une augmentation des valeurs de NDVI jusqu'au 11 novembre est la IR 1529-680-3, conformément au fait qu'est une variété à cycle long et que c'était le dernier à être recueillie (15 Décembre).

Figure 2 - Tendances NDVI des variétés contrôlées et précipitations (source : NOAA) à Djibelo pendant le cycle culturale 2017.



En 2017 également, il existe une relation entre les valeurs maximales de NDVI et les rendements mesurés par le personnel du Centre de Recherche de Djibelo (figure 3) ; Le R<sup>2</sup> de la ligne de tendance a une valeur assez élevée (0,613). Les rendements réels mesurés en 2017 (figure 3 et tableau 4) sont également considérablement inférieurs aux rendements potentiels disponibles dans le tableau 1. D'autre part, il est intéressant de noter comment les deux variétés BG90-2 et BW-248-1 montrent les valeurs les plus élevées de NDVI (environ 0,75), mais des rendements significativement différents (respectivement 4,97 et 1,85).

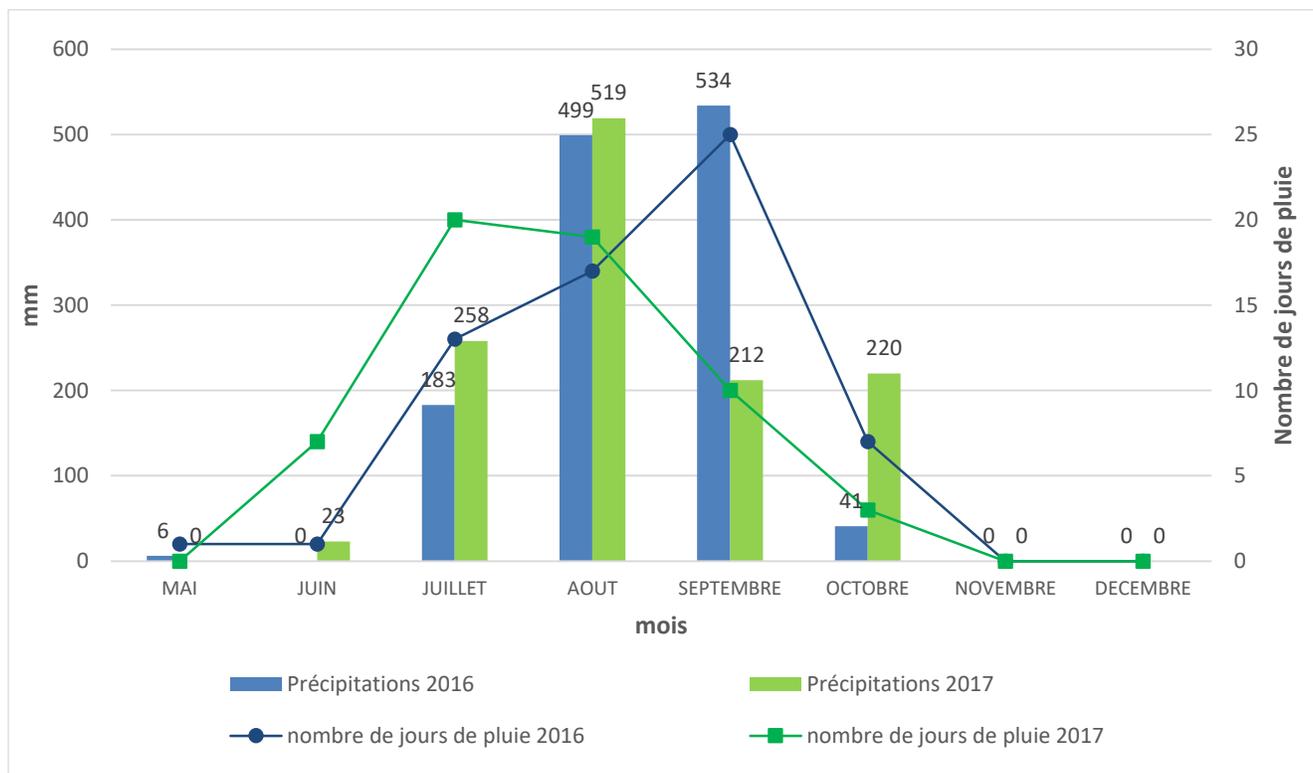
Figure 3 - Comparaison des valeurs maximales de NDVI et de production par variété relatifs au cycle culturale 2017.



### 2.3.1 Comparaison des cycles productifs 2016 et 2017

En général, les résultats du test 2017 confirment que les images Sentinel 2 sont capables de fournir des informations pour caractériser la tendance NDVI même de petites parcelles comme celles de ce test. Par contre, ils mettent en évidence que, en fonction de la couverture nuageuse au moment du passage des satellites, pas seulement la période centrale de l’hivernage ne peut pas être monitoré (comme en 2016), mais aussi la partie initiale. En fait, pour le 2017, 7 images sont disponibles, mais couvrent seulement la période à partir du 7 octobre. Aucune information sur l’état végétatif n’est donc disponible pour la période antérieure. En 2016, 8 images étaient disponibles couvrant la période du 7 juillet au 26 décembre ; deux de ces images (du 7 juillet et 8 août) avaient fourni des informations pour caractériser la première partie du cycle culturel des plantes. En 2017, il n’est pas possible de caractériser en aucune manière la partie initiale et centrale du cycle. Ce résultat est à certains égards surprenant. En fait, contrairement à la 2016, en 2017 ils sont disponibles non seulement les images du satellite Sentinel A, mais aussi celles de son jumeau Sentinel B, réduisant de moitié les temps de retour qui sont passés de 10 à 5 jours. Il était donc raisonnable de s’attendre à un plus grand nombre d’images disponibles et donc à un contrôle plus efficace de l’état végétatif des parcelles. De plus, en comparant les précipitations des deux années (figure 4) on aurait pu s’attendre à fortiori à un plus grand nombre d’images disponibles pour 2017, compte tenu du cumul annuel (1262 en 2016, 1232 en 2017) et du nombre total de jours pluvieux (64 en 2016, 59 en 2017). De toute évidence, la couverture nuageuse, qui limite le nombre d’images disponibles, n’est pas strictement liée aux précipitations réelles.

Figure 4 - Précipitations mensuelles (mm) et nombre de jours de pluie par mois en 2016 et 2017 (source : NOAA).



### Programme Agricole Italie Sénégal Plus – PAIS +

En ce qui concerne la relation entre les valeurs maximales de NDVI et les rendements productifs annuels, il est intéressant de noter qu'en 2017 cette relation est plus forte puisque le  $R^2$  passe de 0,27 en 2016 à 0,61 en 2017 (figure 3). En comparant les valeurs de ces deux paramètres au cours des années suivies (tableau 4), il ressort qu'en 2016 les valeurs maximales sont plus élevées, tandis qu'en 2017 les rendements sont plus élevés. Les valeurs maximales les plus élevées pour le 2016 (enregistrées le 6 novembre pour toutes les variétés sauf pour la BW-248-1) sont probablement dues à une calibration non correcte de l'image, ce qui a entraîné une augmentation irréaliste des valeurs de NDVI ; ceci est suggéré par la forte augmentation du 29 octobre au 6 novembre 2016.

En tout état de cause, la forte relation entre les valeurs maximales de NDVI et les rendements enregistrés est un résultat très prometteur pour des futurs développements de procédures visant à estimer les productions potentielles à l'aide d'outils de télédétection.

Tableau 4 - Comparaison de données phenologiques (MAX NDVI = valeur maximal tele detecté de NDVI pendant le cycle productif) et de rendement.

Variété	2016		2017	
	MAX NDVI	Rendement (t/ha)	MAX NDVI	Rendement (t/ha)
BG90-2	0,88	3,76	0,76	4,07
BW-248-1	0,82	1,51	0,74	1,85
DJ12-519	0,72	0,29	0,60	0,84
IR1529-680-3	0,79	1,22	0,71	1,69
ITA123	0,83	2,79	0,72	2,34
TOX728-1	0,68	2,52	0,73	2,59

## 3. TEST B - Suivi par NDVI des zones cultivées et non cultivées de bas-fond rizicole

---

### 3.1 But du test

Le test vise à évaluer la qualité du système de classification des zones rizicoles cultivées qui a été développée sur la base des résultats de l'expérimentation effectuée sur le cycle productif du 2016. Il avait été constaté que les zones de bas-fond cultivées avec du riz ont une tendance du NDVI sensiblement différente de celle des zones non cultivées. Cela est dû au cycle végétatif caractéristique du riz qui voit tout d'abord une augmentation progressive des valeurs de NDVI jusqu'à la floraison suivie par une diminution marquée pendant la phase de maturation du riz. Le système développé est donc basé sur la classification des images collectées dans la phase finale du cycle de production du riz (novembre-décembre). En mai 2018, une mission de terrain a été effectuée dans 9 vallées de la région de Sédhiou visant à collecter points de contrôle au sol (GCP) afin de pouvoir procéder à l'évaluation de la classification par une technique appelée matrice de confusion. De plus, étant donné que la classification des surfaces cultivées est basée sur l'utilisation de valeurs seuils, dans le test un ensemble de valeurs seuil sont testées pour identifier ceux qui conduisent à une classification statistiquement meilleure. Enfin, sur la base de la classification élaborée, un 'évaluation des productions 2017 et une comparaison entre les années productives 2016 et 2017 sont effectuées.

### 3.2 Méthodologie

#### 3.2.1 Méthodologie pour l'échantillonnage des zones rizicoles

L'échantillonnage des zones rizicoles a été réalisé en effectuant des transects qui ont croisé les types d'occupation du sol qui on trouve dans les vallées :

- zones productives de vallée (RV) et riveraines (RF) ;
- zones non productives de vallée (VNP) ;
- zones inondables salinisées non productives de vallée (ZI).

Les parcelles cultivées en 2017 ont été identifiées pour la présence de pailles et de tiges de riz (figure 5) ; les zones qui ne sont normalement pas cultivées et les parcelles non emblavées en 2017 sont reconnaissables pour la présence de diffèrent typologies de végétation naturelle (figures 6 et 7).

La collecte des coordonnées géographiques des points échantillonnés a été réalisée en May 2018 utilisant l'outil GPS GARMIN GPSMAP 62.

Les vallées echantillonées sont : a) Samiron, b) Badiary, c) Bakoum, d) Ndiama, e) Diaring, f) Karantaba, g) Bambali, h) Kintinkourou, i) Djiredji. Les échantillons ont également été axés sur des zones d'intérêt particulier qui avaient été précédemment identifiées dans la phase de la préparation de la mission.

Programme Agricole Italie Sénégal Plus – PAIS +

Au cours de la mission, environ 700 points ont été collectés (tableau 5). Les points collectés ont ensuite été sélectionnés et seuls 510 (disponibles dans le cartes de l'ANNEXE A) ont été utilisés pour évaluer la qualité du système de classification en utilisant la matrice de confusion.

Tableau 5 - Points de contrôle au sol (GCP) collectés et utilisés per l'évaluation du système de classification des zones cultivés de vallée.

(C = surfaces cultivées ; NC = surfaces non cultivées).

Vallée	GCP collectés	GCP utilisés		
		NC	C	TOTAL
Samiron	127	18	33	51
Badiary	59	25	45	70
Bakoum	82	27	34	61
Ndiama	64	25	45	70
Diaring	87	26	26	52
Karantaba	99	8	23	31
Kintinkourou	83	17	39	56
Bambali	78	11	34	45
Djiredji	79	32	42	74
<b>TOTAL</b>	<b>758</b>	<b>189</b>	<b>321</b>	<b>510</b>

Figure 5 - Exemple de parcelle cultivée dans la campagne 2017. La paille et la chaume des plants de riz sont très évidents.



Figure 6 - Exemple de parcelle non cultivée dans la campagne 2017 et occupée par végétation naturelle.



Figure 7 - Exemple de zone non productive de vallée pour la présence du sel et occupée par végétation naturelle.



### 3.2.2 Méthodologie de traitement et classification des images et évaluation du système de classification

En ce qui concerne le téléchargement d'images, le prétraitement et le calcul du NDVI, les procédures effectuées sont analogues à celles décrites précédemment pour le test A. Les images utilisées pour le test sont indiquées dans le **tableau 6**. Pour chaque date, trois images ont été utilisées, nécessaires pour couvrir toute la région de Sédhiou.

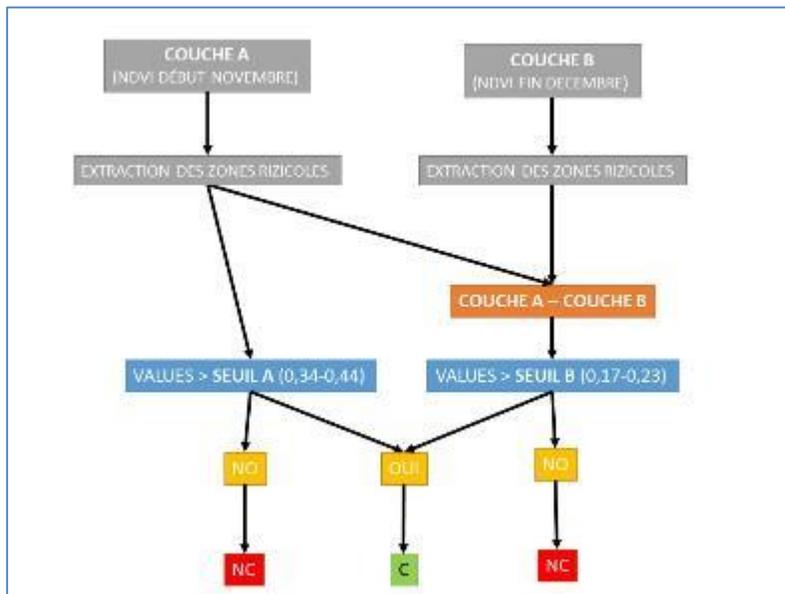
Tableau 6 - Dates d'acquisition et identification des images utilisées dans le test B.

Date d'acquisition	Sentinel ID
11/01/2017	L2A_T28PDU_20171101T112221
	L2A_T28PCV_20171101T112221
	L2A_T28PCU_20171101T112221
31/12/2017	L2A_T28PDU_20171231T112451
	L2A_T28PCV_20171231T112451
	L2A_T28PCU_20171231T112451

Par rapport au système de classification, le modèle implémenté dans ce test (**figure 8**) est similaire à celui développé pour le test des productions 2016. La seule différence est qu'une étape préliminaire a été ajoutée pour extraire les zones rizicoles de bas-fond. A cette fin, on a utilisé une couche d'information spécifique des zones rizicoles de la région dérivée par photo-interprétation d'images haute résolution de Google Earth. Le modèle fournit une première identification des zones potentiellement cultivées en sélectionnant uniquement les pixels collectés en Novembre avec des valeurs NDVI supérieures à la valeur seuil A. De cette manière, toutes les zones avec des valeurs inférieures, par exemple les zones de sol nu ou occupées par l'eau, sont automatiquement exclues (doc classifiées come NC = non cultivées). Pour les zones non exclues, la différence entre les valeurs NDVI de Novembre et celles de Décembre est alors calculée. Dans le cas où la différence est supérieure à la valeur seuil B, la zone est classée comme cultivée (C = cultivée). En 2016, les valeurs seuil A et B étaient respectivement de 0,4 et 0,2. Afin d'optimiser le système de classification, plusieurs valeurs seuil et leurs combinaisons ont été testées lors du test 2017. La valeur seuil A a été testée pour des valeurs comprises entre 0,34 et 0,44 tandis que la valeur seuil B pour des valeurs comprises entre 0,17 et 0,23.

Programme Agricole Italie Sénégal Plus – PAIS +

Figure 8 - Organigramme du model implémenté pour l'identification des surfaces rizicoles cultivés de bas-fond de la Région de Sédhiou (C = surfaces cultivées ; NC = surfaces non cultivées).



L'évaluation du système de classification a été effectuée à l'aide des matrices de confusion (tableau 7). La matrice de confusion est un outil servant à mesurer la qualité d'un système de classification. Un des avantages de la matrice de confusion est qu'elle montre rapidement si le système parvient à classifier correctement. Chaque colonne de la matrice représente le nombre d'occurrences d'une classe estimée, tandis que chaque ligne représente le nombre d'occurrences d'une classe réelle (ou de référence). Les données utilisées pour chacun de ces groupes doivent être différentes.

Tableau 7 - Exemple de matrice de confusion.

Les éléments diagonaux représentent les zones correctement classées.

		Classe estimé (GCP)				Total	Précision des utilisateurs	Précision Globale	Indice Kappa
		c_1	c_2	c_3					
Classe réelle	c_1	49	4	4	57	0,86			
	c_2	2	40	2	44	0,90			
	c_3	3	3	59	65	0,91			
Total		54	47	65	166	0			
Précision des producteurs		0,91	0,85	0,91	0				
Précision Globale							0,89		
Indice Kappa								0,84	

La précision des utilisateurs montre les faux positifs, où les pixels sont incorrectement classés comme une classe connue alors qu'ils devraient être classés autrement. Cela est le cas par exemple lorsque l'image classée identifie un pixel comme cultivée (C), mais que la référence (GCP) l'identifie comme non cultivée (NC) La classe cultivée (C) comporte des pixels supplémentaires qui ne devraient pas être présents d'après les données de référence. La précision de l'utilisateur est également désignée sous le nom d'erreurs de commission ou d'erreur de type 1.

### Programme Agricole Italie Sénégal Plus – PAIS +

Les données qui permettent de calculer ce taux d'erreur sont lues à partir des lignes de la table. La ligne Total montre le nombre de points qui devraient être identifiés comme une classe donnée d'après les données de référence.

**La précision des producteurs** est un faux négatif, où les pixels d'une classe connue sont classés ailleurs que dans cette classe. Cela est le cas par exemple lorsque l'image classée identifie un pixel comme non cultivée (NC), mais qu'il doit en réalité être cultivée (C). Dans ce cas, la classe cultivée (C) ne comporte pas les pixels qui devraient être présents d'après les données de référence. La précision des producteurs est également désignée sous le nom d'erreurs d'omission ou d'erreur de type 2. Les données qui permettent de calculer ce taux d'erreur sont lues dans les colonnes de la table. La colonne Total montre le nombre de points qui ont été identifiés comme une classe donnée d'après la carte classée.

**La précision globale** nous indique essentiellement, parmi tous les GCP, quelle proportion a été cartographiée correctement. La précision globale est généralement exprimée en pourcentage, la précision à 100% étant une classification parfaite lorsque tous les sites de référence ont été classés correctement. La précision globale est la plus facile à calculer et à comprendre, mais ne fournit que des informations de précision de base.

**L'indice Kappa** offre une évaluation globale de la précision de la classification. Il évalue essentiellement la qualité de la classification par rapport à la simple attribution aléatoire de valeurs, c'est-à-dire évalue si la classification est meilleure que l'aléatoire. Le coefficient Kappa peut aller de -1 à 1. Une valeur de 0 indique que la classification n'est pas meilleure qu'une classification aléatoire. Un nombre négatif indique que la classification est nettement pire que l'aléatoire. Une valeur proche de 1 indique que la classification est nettement meilleure que l'aléatoire.

## 3.3 Résultats

### 3.3.1 Évaluation globale de la précision de la classification

Le modèle élaboré à partir des résultats du test du 2016 a été évalué pour la saison productive 2017 en utilisant les points de contrôle au sol collectés lors de la mission de mai 2018. Le modèle a été évalué pour les combinaisons de valeurs seuil indiquées dans le **tableau 8**. Les valeurs de précision globales les plus élevées ont été enregistrées pour la combinaison de la valeur seuil A = 0,34-0,38 et de la valeur seuil B = 0,19 ; pour ces combinaisons, une précision globale de 76,5% a été obtenue. Il est intéressant de noter que, cependant, les valeurs de précision globales avec les différentes combinaisons varient très peu avec une gamme de 0,708 à 0,765. Par conséquent, il apparaît que le choix des valeurs seuil, dans certaines limites, a un impact modeste sur l'efficacité du modèle. Cela suggère donc qu'il ne serait donc pas nécessaire d'identifier chaque année des valeurs seuils optimales.

Tableau 8 - Valeurs de précision globale du système de classification des zones rizicoles cultivés de bas-fond selon les valeurs de seuil testées.

		VALEUR SEUIL B						
VALEUR SEUIL A		0,17	0,18	0,19	0,2	0,21	0,22	0,23
	0,34	0,755	0,755	0,765	0,759	0,742	0,738	0,714
	0,36	0,755	0,755	0,765	0,759	0,742	0,738	0,714
	0,38	0,753	0,755	0,765	0,759	0,742	0,738	0,714
	0,4	0,749	0,751	0,761	0,757	0,742	0,738	0,714
	0,42	0,749	0,751	0,761	0,757	0,742	0,738	0,714
	0,44	0,74	0,74	0,749	0,749	0,734	0,729	0,708

Sur la base de ces résultats, il a donc été décidé de réaliser toutes les analyses ultérieures avec la combinaison des valeurs de seuil 0,38-0,19. Le tableau 9 montre la matrice de confusion pour la classification basée sur cette combinaison. En l'analysant, il apparaît que la précision des utilisateurs et la précision des producteurs sont plus grandes pour la classe C. Par contre, pour la classe NC, il y a des valeurs plus faibles. Cela pourrait être dû au fait que la végétation naturelle (classe NC) montre dans certains cas une diminution des valeurs de NDVI de novembre à décembre similaire à celles des plants de riz et est par conséquent classée par erreur comme zone cultivée. Cette diminution pourrait être due à une tendance des valeurs NDVI de certains types particuliers de végétation naturelle qui est similaire à celle des plants de riz ; par contre, cela pourrait être dû à des zones avec une disponibilité hydrique modeste pour laquelle la végétation naturelle déjà en décembre a une diminution des valeurs de NDVI causé par stress hydrique. Globalement, la valeur de précision globale de 0,765 et la valeur kappa de 0,5 sont modérément bonnes.. D'autre part, il convient de considérer que le modèle est évalué sur la base de points de contrôle au sol (GCP) collectés environ 6 mois après la récolte du riz ; par conséquent, même si les GCP doivent être considérés comme largement fiables, il existe une certaine indétermination dans la précision de certains d'entre eux. Par conséquent, il est présumé que dans le test de 2018, qui devrait être basé sur une collection de GCP effectuée peu après la récolte du riz, il y aura une plus grande précision dans les points collectés avec des valeurs meilleures aussi pour la précision globale de la classification des zones cultivées.

Tableau 9 - Matrice de confusion de système de classification basé sur la valeurs seuil A =0,38 et valeur seuil B =0,19 .

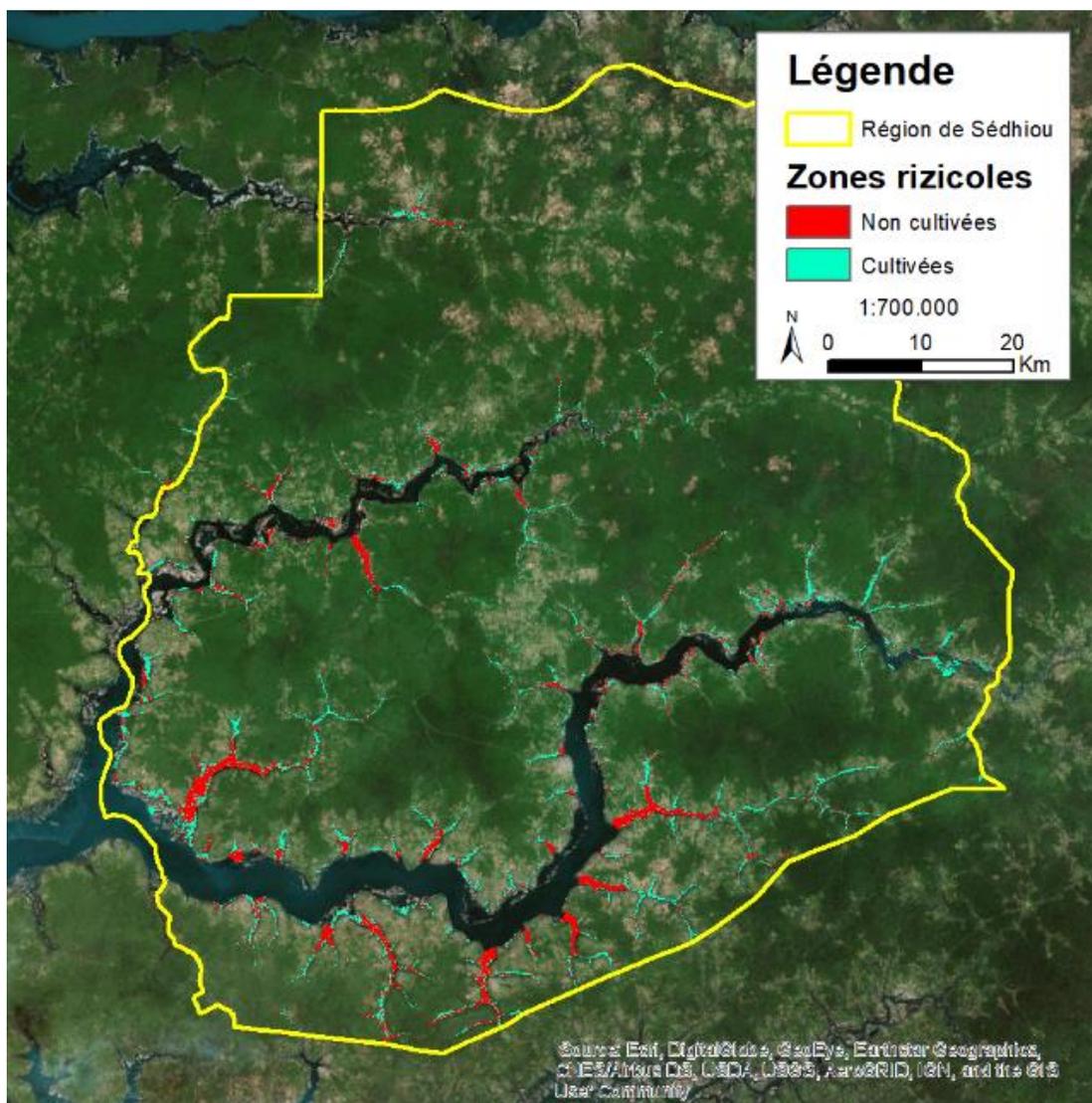
(C = surfaces cultivées ; NC = surfaces non cultivées).

		Classe estimé (GCP)			Précision des utilisateurs	Précision Globale	Indice Kappa
Classe réelle		NC	C	Total			
	NC	132	62	194	0,680		
C	58	259	317	0,817			
Total	190	321	511				
Précision des producteurs	0,695	0,807					
Précision Globale					0,765		
Indice Kappa						0,50	

### 3.3.2 Estimation des productions rizicoles de bas-fond en 2017

La classification des zones rizicoles cultivées en 2017 est montrée en **figure 9**. Selon les résultats de la classification (tableau 10), 12063 ha de bas-fond ont été cultivées, correspondant au 49% des surfaces de bas-fond et donc potentiellement exploitables pour la riziculture. Il faut rappeler que dans l'estimation des surfaces de bas-fond<sup>2</sup> toutes les typologies de couverture de sol et de typologie de sol présentes dans les bas-fonds y sont comprises ; c'est-à-dire que dans ce total sont comprises aussi des zones qui ne sont pas actuellement utilisables pour la riziculture, comme par exemple les zones inondables de vallée salinisées (ZIS) ou les zones de vallée occupée par les marigots (ZI). Donc cette valeur de 49% ne représente pas le pourcentage de parcelles emblavées sur le total des parcelles, si non le pourcentage de surfaces de bas-fond emblavées sur le total des zones de bas-fond.

Figure 9 - Classification des zones rizicoles de bas-fond 2017 (SEUIL A = 0,38 ; SEUIL B = 0,19).



<sup>2</sup> Edoardo Fiorillo, Marya Rabelo, Vieri Tarchiani (2017). Occupation des sols des vallées de la Région De Sédhiou et Kolda. <http://www.papsen.org/content.php?module=documentation&fnc=view&id=162>

Tableau 10 – Surfaces de bas-fond totales et cultivées en 2017.

Département	Surfaces de bas-fond	Surfaces cultivées	
	ha	ha	%
Boukiling	3715	2024	54
Sédhiou	10863	5433	50
Goudomp	9831	4606	47
<b>Total régionale</b>	<b>24409</b>	<b>12063</b>	<b>49</b>

Les résultats de la classification relatives à chaque vallée ou zone rizicole riveraine sont indiquées dans le **tableau 16** de l'annexe B. Par contre, les données relatives aux seules vallées objet d'assistance technique du Programme PAIS + sont présentées en **tableau 11**. Les résultats sont conformes à ce que l'on pourrait attendre selon la caractérisation d'occupation des sols des vallées réalisée précédemment dans le cadre des activités du programme PAIS<sup>3</sup>. Le seul résultat qui semble peu fiable est celui lié à la vallée Boumouda 1 pour laquelle seule une petite partie est cultivée en 2017 (6,5%). La vallée n'a pas été échantillonnée lors de la mission de mai 2018, donc il n'y a pas de points de vérification objectifs pour évaluer le résultat de la classification, mais il est étonnant qu'il y a un pourcentage d'utilisation aussi faible. Il faut considérer aussi que dans cette vallée, la gestion productive du riz est réalisée d'une manière particulière par rapport aux autres vallées et par exemple il n'y a pas les caractéristiques diguettes (balanghon) qui délimitent les parcelles et facilitent la rétention d'eau. Ainsi, en raison d'une gestion particulière des pratiques culturales dans cette vallée, le modèle développé pourrait ne fonctionner pas très efficacement. La vallée fera l'objet d'une attention particulière lors de la prochaine campagne d'échantillonnage pour le cycle culturale 2018.

Tableau 11 - Classification 2017 des vallées rizicoles de la Région de Sédhiou ciblées par le Programme PAIS+.

ST = surface totale évaluée ; SC = surface cultivée en 2017.

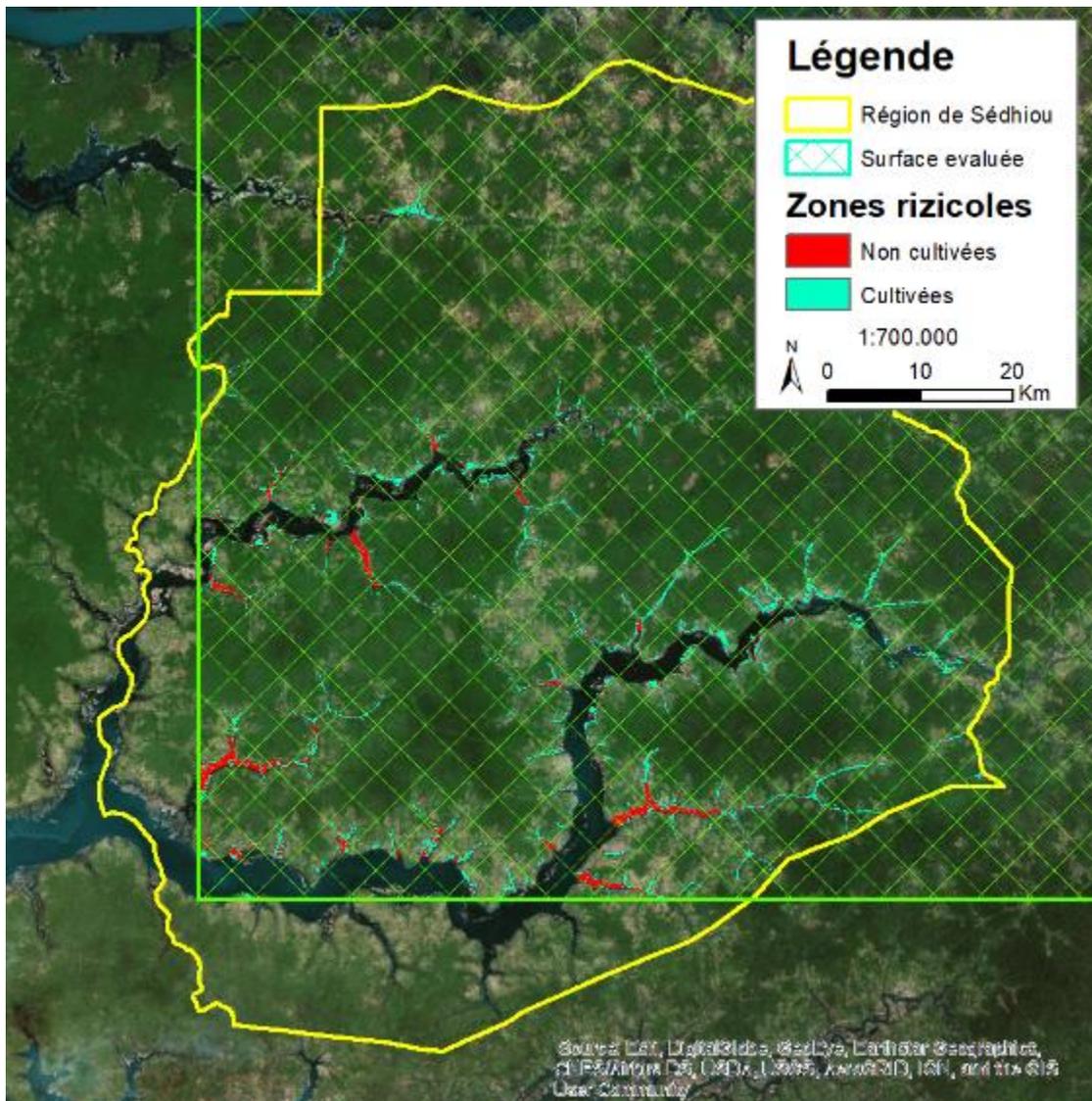
Vallée	Departement	Communes	ST	SC	
			ha	ha	%
Badiary	Sedhiou	Bambali	126,8	42,2	33,3
Balmadou	Sedhiou	Djiredji	63,6	32,2	50,6
Bambali	Sedhiou	Bambali	146,7	97,8	66,7
Bona	Boukiling	Bona	292,8	122,4	41,8
Boumouda 1	Sedhiou	Djiredji	58,2	3,8	6,5
Boumouda 2	Sedhiou	Djiredji	959,7	228,1	23,8
Briou	Boukiling	Bona	21,8	19,0	87,2
Diacounda	Boukiling	Diacounda	540,5	276,9	51,2
Djimbana	Goudomp	Simbanding Balante	117,62	53,72	45,7
Djiredji	Sedhiou	Djiredji	272,3	133,3	48,9
Kamoghone	Boukiling	Bona	19,3	15,7	81,1
Kandion Mangana	Boukiling	Kandion Mangana	155,1	113,6	73,2
Kinthinkourou	Sedhiou	Djiredji	92,0	39,1	42,5
Same	Sedhiou	Djiredji	196,5	47,5	24,2
Samiron	Sedhiou	Bambali	92,1	59,7	64,7
Sare Halal	Goudomp	Kolibatang	299,5	259,5	86,6
Simbandi Balante	Goudomp	Simbanding Balante	1163,7	452,07	38,4
Sindina	Sedhiou	Djiredji	184,3	98,7	53,6

<sup>3</sup> Edoardo Fiorillo, Marya Rabelo, Vieri Tarchiani (2017). Occupation des sols des vallées de la Région De Sédhiou et Kolda. <http://www.papsen.org/content.php?module=documentation&fnc=view&id=162>

### 3.3.2 Comparaison des estimations des productions rizicoles de bas-fond 2016-2017

Il n'est pas possible de faire une comparaison complète entre l'estimation des surfaces rizicoles de bas-fond cultivées en 2017 et celles du 2016. Ceci est dû au fait que trois images satellitales sont nécessaires pour couvrir toute la région de Sédhiou et pour novembre 2016 une seule est disponible car les autres ne sont pas utilisables en raison de la couverture nuageuse. Heureusement, l'image disponible couvre la majeure partie de la région et la plupart des surfaces rizicoles de bas-fond. Par conséquent, la comparaison entre 2016 et 2017 n'a été effectuée que sur cette partie de la région de Sédhiou couvrant le 67% des surfaces rizicoles de bas-fond de la région. La classification 2016 est montrée dans la **figure 10**.

Figure 10 - Classification des zones rizicoles de bas-fond 2016 (SEUIL A = 0,38 ; SEUIL B = 0,19).



Le **tableau 12** présente les données de 2016 et 2017 sur les zones cultivées selon la classification à niveau régionale et départementale. Par rapport à 2016, la superficie cultivée au niveau régional a diminué de 2388 ha, soit -22,3% ; au niveau départemental, les baisses sont plus prononcées au nord (Boukiling) que au sud (Goudomp). Il faut cependant considérer que pour la Département de Goudomp, la totalité de la partie occidentale, correspondant à plus de la moitié des surfaces rizicoles, n'est pas évaluée. Compte tenu du type de

Programme Agricole Italie Sénégal Plus – PAIS +

surface rizicole (tableau 13), c'est-à-dire surfaces de vallée ou riveraines, la diminution affecte principalement ces dernières (-32,9%), tandis que la diminution est plus contenue sur les premières (-16,8%).

Tableau 12 - Comparaison des surfaces rizicoles de bas-fond cultivées en 2016 et 2017 par département.

SBFE = Surfaces de bas fond évaluées ; SBFC = Surfaces de bas fond cultivées.

DEPARTEMENT	Surface de bas fond évaluée sur le total du département	2016			2017			Changement 2016-2017	
		SBFE	SBFC		SBFE	SBFC		SBFC	
		%	ha	ha	%	ha	ha	%	ha
BOUNKILING	82	3014	2358	78,2	3014	1635	54,2	-723	-30,7
SEDHIOU	78	8738	5463	62,5	8738	4353	49,8	-1110	-20,3
GOUDOMP	48	4778	2989	62,6	4778	2427	50,8	-562	-18,8
<b>TOTAL REGIONALE</b>	<b>67</b>	<b>16529</b>	<b>10810</b>	<b>65,4</b>	<b>16529</b>	<b>8415</b>	<b>50,9</b>	<b>-2395</b>	<b>-22,2</b>

Tableau 13 - Comparaison des surfaces rizicoles de bas-fond cultivées en 2016 et 2017 par typologie de bas-fond.

SBFE = Surfaces de bas fond évaluées ; SBFC = Surfaces de bas fond cultivées.

DEPARTEMENT	Surface de bas fond évaluée sur le total du département	2016			2017			Changement 2016-2017	
		SBFE	SBFC		SBFE	SBFC		SBFC	
		%	ha	ha	%	ha	ha	%	ha
Bas-fond riveraine	64,9	4356	3610	82,9	4356	2421	55,6	-1189	-32,9
Bas-fond de vallée	67,3	12173	7200	59,2	12173	5994	49,2	-1206	-16,8
<b>TOTAL REGIONALE</b>	<b>66,7</b>	<b>16529</b>	<b>10810</b>	<b>65,4</b>	<b>16529</b>	<b>8415</b>	<b>50,9</b>	<b>-2395</b>	<b>-22,2</b>

Malheureusement, nous ne disposons pas de données officielles de surface emblavée de bas-fond pour vérifier les résultats obtenus par la classification des données télédétections. Les seules données disponibles, fournies par le DRDR, concernent tous les zones rizicoles au niveau départemental tant pour les zones de bas-fond que pour les zones de plateau ; par conséquent, une comparaison des données a une valeur très limitée. Cependant, il est intéressant de noter que les données de la DRDR montrent une contraction de 2016 à 2017 des superficies cultivées en riz (-18,1%) ; par contre, au niveau départemental selon la DRDR, la contraction montre une tendance opposée en ce qui concerne les données de télédétection, avec une diminution qui concerne principalement le département de Goudomp.

Tableau 14 - Surfaces rizicoles cultivées (plateau + bas-fond) selon les données officielles de la Région de Sédhiou (source DRDR).

DEPARTEMENT	PRODUCTIONS		DIFFERENCE	
	2016 (ha)	2017 (ha)	(ha)	(%)
BOUNKILING	15600	14572	-1028	-6,6
SEDHIOU	32500	29609	-2891	-8,9
GOUDOMP	18600	10444	-8156	-43,8
<b>TOTAL REGION</b>	<b>66700</b>	<b>54625</b>	<b>-12075</b>	<b>-18,1</b>

## 4. ANALYSE DES RESULTATS DES TESTS ET CONSIDERATIONS

Les tests effectués pour le cycle productif 2017 ont fourni des données et des informations utiles pour intégrer les données collectées pour le cycle 2016. La première considération importante à prendre en compte concerne la disponibilité des images pour la caractérisation NDVI du cycle. Tant pour la région de Sédhiou que pour la Région de Ziguinchor, les images disponibles en 2017 ne couvrent que la dernière partie du cycle, de la floraison à la maturation du riz. Et tout cela bien que les images d'un nouveau satellite (Sentinelle 2B) soient disponibles et que pour les deux régions soit les valeurs de cumul annuel soit la somme des jours de pluie soient plus faibles en 2017 qu'en 2016 (les données pluviométriques relatives aux Départements de Sédhiou sont disponibles dans le [tableau 15](#)).

Ces aspects ont des implications à la fois dans l'évaluation du cycle productif 2017 et dans le cadre du développement de méthodologies pour l'identification des parcelles cultivées à l'aide de techniques de télédétection. En ce qui concerne le premier aspect, il est clair pour le test A qu'en 2017 il est possible seulement de surveiller la dernière partie du cycle, en perdant des informations importantes sur la partie initiale et centrale du cycle. En ce qui concerne le deuxième aspect, la disponibilité des images uniquement dans la dernière partie du cycle est un aspect fondamental qui influence le développement de méthodologies de classification. Dans la bibliographie scientifique, il existe de nombreuses méthodes de cartographie des zones cultivées ; ils ont été développés pour d'autres parties du monde et, dans la plupart des cas, classifient les zones de riz en identifiant la courbe classique de développement du riz en le distinguant des tendances typiques des autres cultures ou de la végétation naturelle. Ceci prévoit donc que tout le cycle est surveillé et que, par conséquent, il est possible de caractériser une courbe complète de développement du riz, ce qui, les deux années de tests l'ont montré, ne peut pas être réalisé pour les rizières de la région de Sédhiou. À cette fin, ces méthodes impliquent généralement l'utilisation d'images NDVI acquises à partir de satellites fournissant des produits avec une cadence d'environ deux semaines et qui, pour chaque pixel, fournissent la valeur NDVI la plus élevée enregistrée pendant la période suivie. De cette manière, le problème de la couverture nuageuse est dépassé. Ces produits d'autre part ont une résolution spatiale modeste (MODIS au plus 250 m, puis pas indiqué pour les petites parcelles telles que celles qu'on trouve dans la région de Sédhiou) et pour être efficacement classifiée il faut avoir une gestion agronomique des parcelles beaucoup plus homogène et intensive que celle presque de subsistance qui est effectuée par les agricultrices de Casamance.

Tableau 15 – Données pluviométriques pour les Départements de la Région de Sédhiou en 2016 et 2017.

Departement	Année		Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	TOT
SEDHIOU	2016	Nbre de j.	1	2	15	16	21	4	0	59
		Total mm	5	72	300	345	330	17	0	1068,5
	2017	Nbre de j.	1	4	14	19	7	2	0	47
		Total H m/m	8	59	303	433	154	58	0	1014,2
BOUNKILING	2016	Nbre de j.	1	2	7	6	7	1	0	24
		Total H m/m	5	90	245	402	350	4	0	1094,5
	2017	Nbre de j.	1	4	13	20	3	1	0	42
		Total H m/m	35	68	159	444	61	7	0	774
GOUDOMP	2016	Nbre de j.	1	4	7	6	6	1	0	25
		Total H m/m	8	38	315	428	377	109	0	1274,6
	2017	Nbre de j.	0	6	15	19	9	2	0	51
		Total H m/m	0	62	304	501	196	40	0	1103,2

### Programme Agricole Italie Sénégal Plus – PAIS +

En ce qui concerne le test B, il convient de noter que les données relatives aux classifications des cycles de production 2016 et 2017 doivent être considérées comme purement indicatives et préliminaires. En fait, la méthodologie développée pourrait encore être modifiée ou améliorée en fonction des résultats de la campagne 2018. Comme cela a déjà été écrit précédemment, le fait que la campagne de collecte GCP ait été réalisée 6 mois après la récolte du riz a conduit à une certaine indétermination des résultats des matrices de confusion.

De plus, la diminution marquée des superficies estimées cultivées de 2016 à 2017 est à certains égards surprenante et soulève le doute que les résultats des classifications peuvent être influencés par calibrations atmosphériques des images utilisées non parfaites. Enfin, il est souhaitable pour le 2018 de réaliser la classification non seulement avec la méthode développée ici mais aussi avec d'autres méthodes présentes dans la littérature scientifique et qui devront nécessairement être réadaptées à la réalité de la production en Casamance. Cela permettrait des comparaisons entre différentes méthodologies et d'avoir une idée plus précise de la valeur de la méthode développée.

## ANNEXE A

Figure 11 - Points échantillonnés dans la vallée de Djiredji

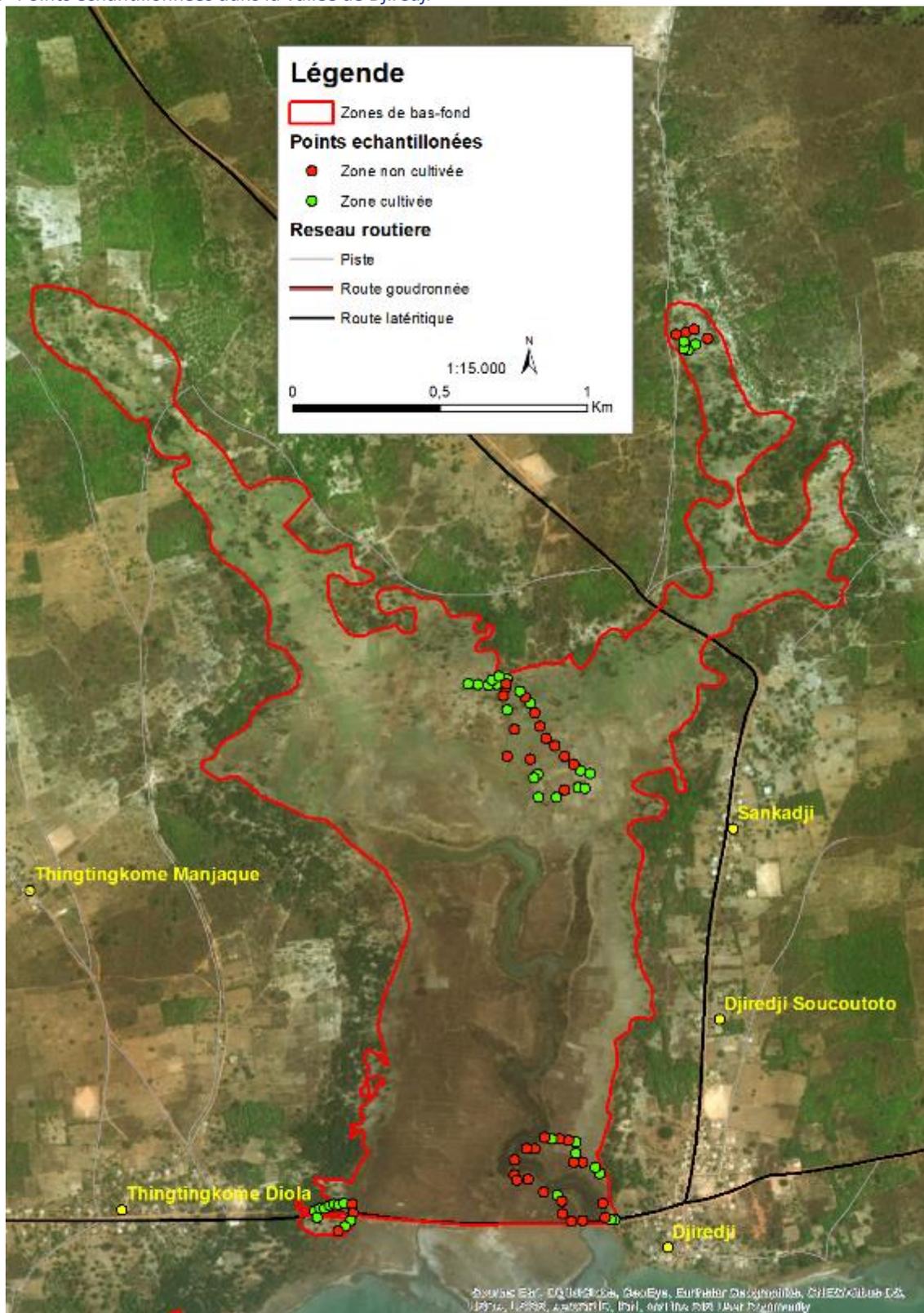




Figure 13 - Points échantillonnés dans la vallée de Badiary.

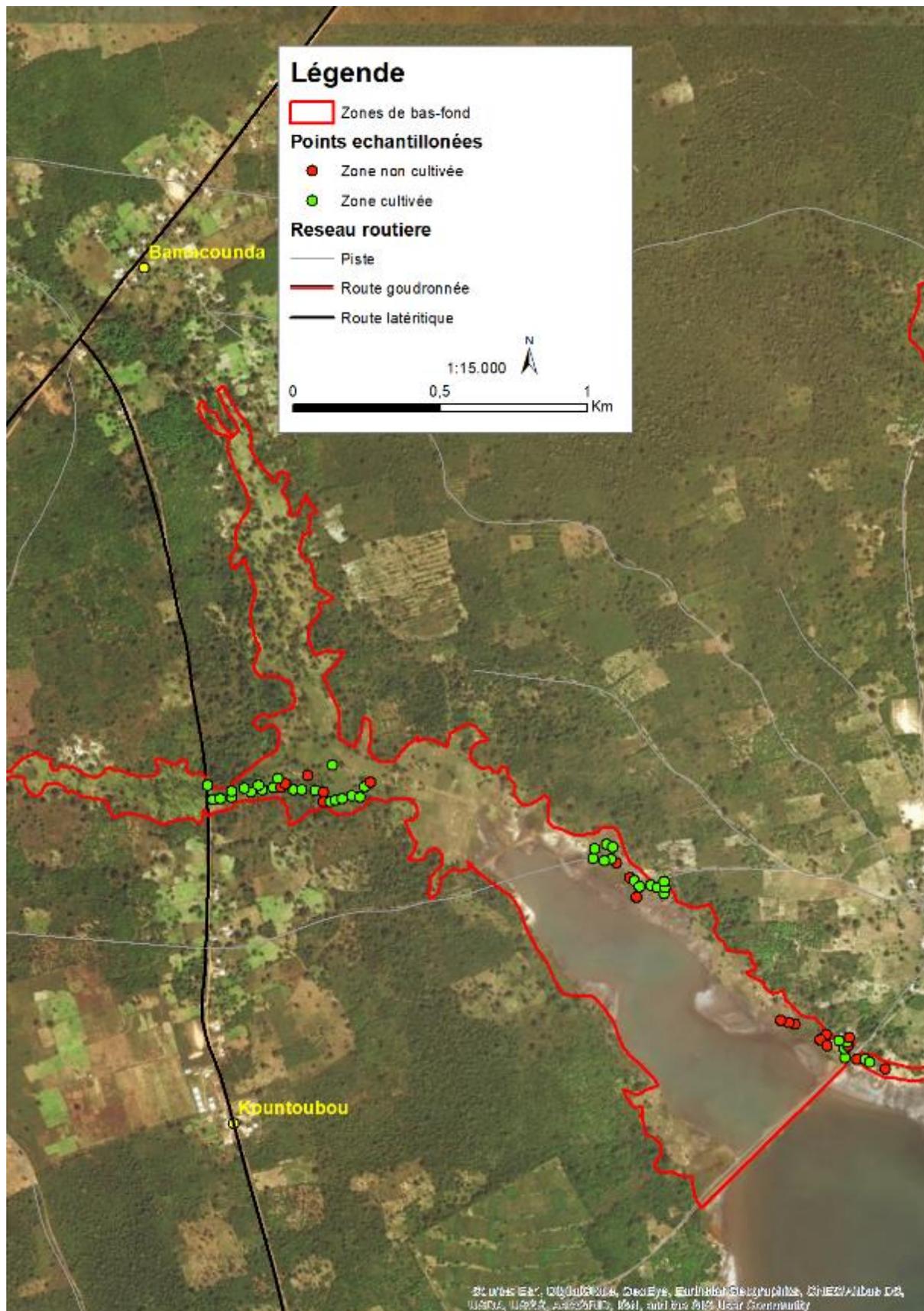


Figure 14 - Points échantillonnés dans la vallée de Ndiama

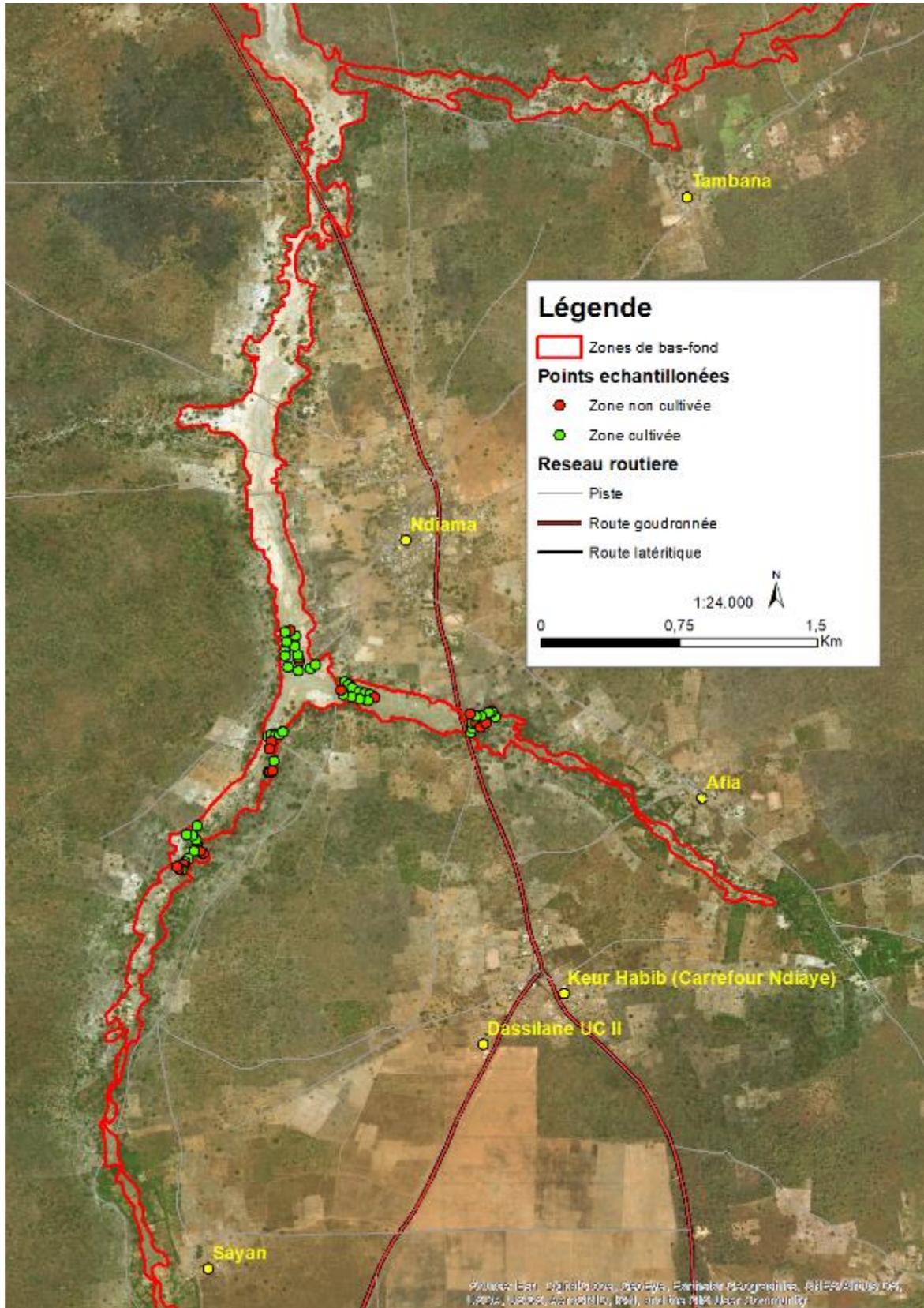


Figure 15 - Points échantillonnés dans la vallée de Karantaba.

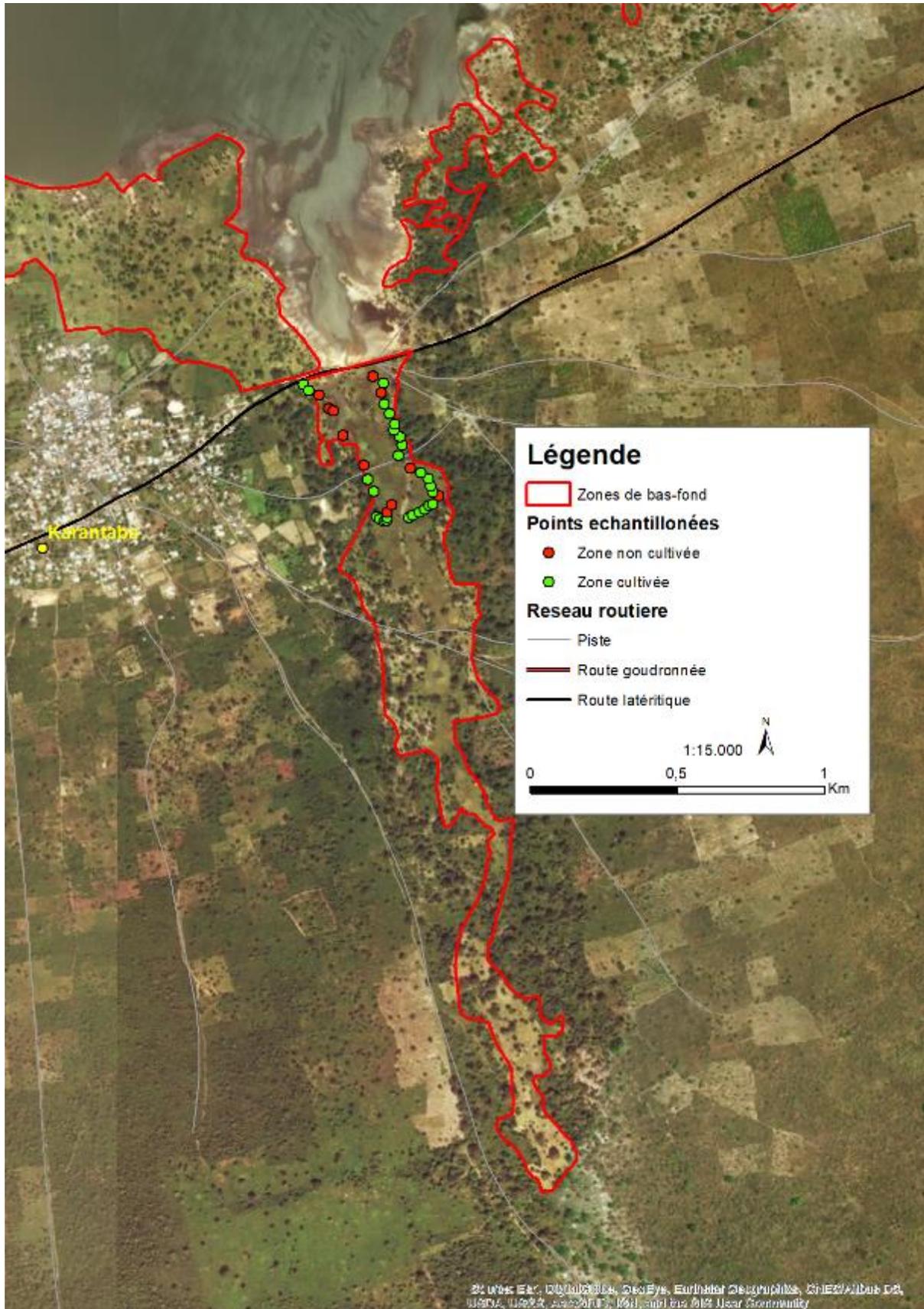


Figure 16 - Points échantillonnés dans la vallée de Diaring.

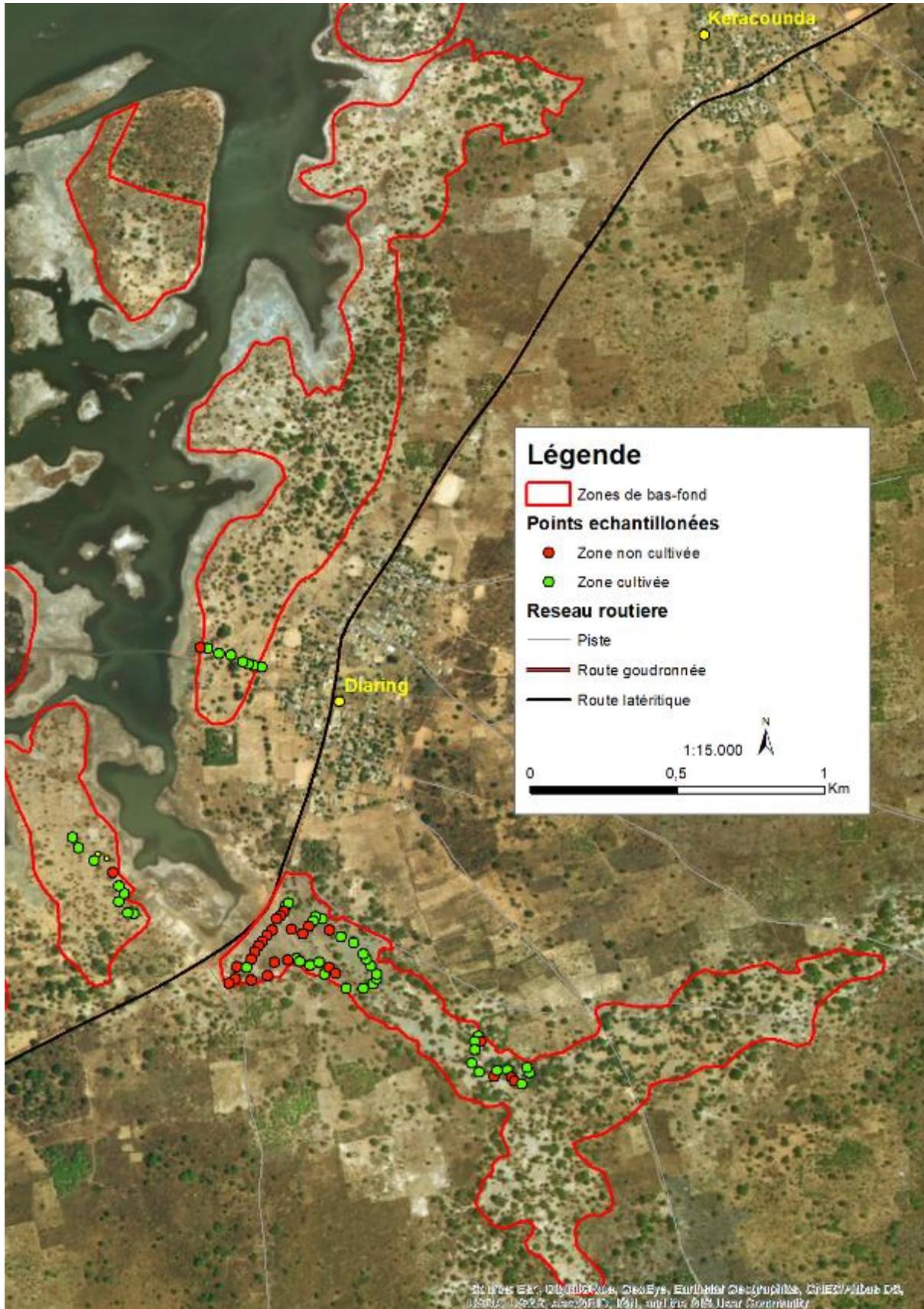


Figure 17 - Points échantillonnés dans la vallée de Bambali.

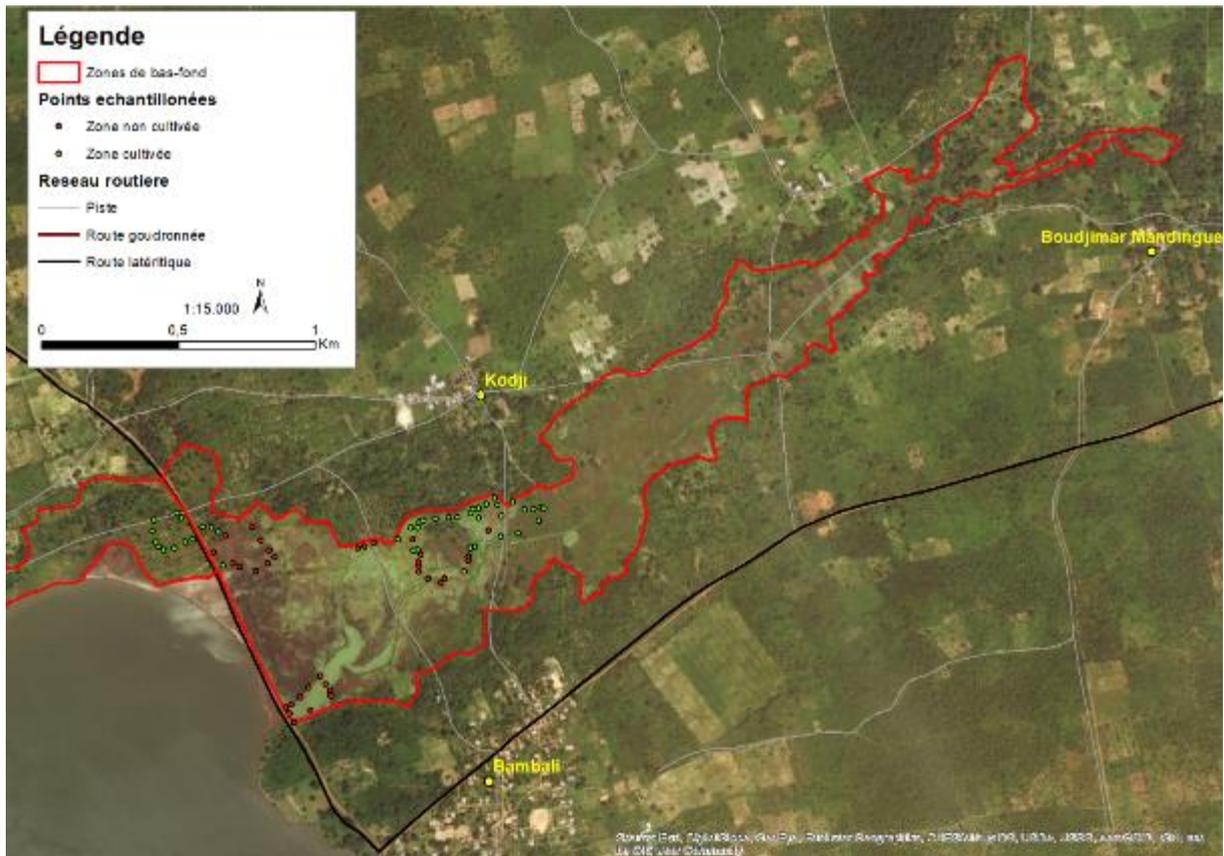


Figure 18 - Points échantillonnés dans la vallée de Samiron

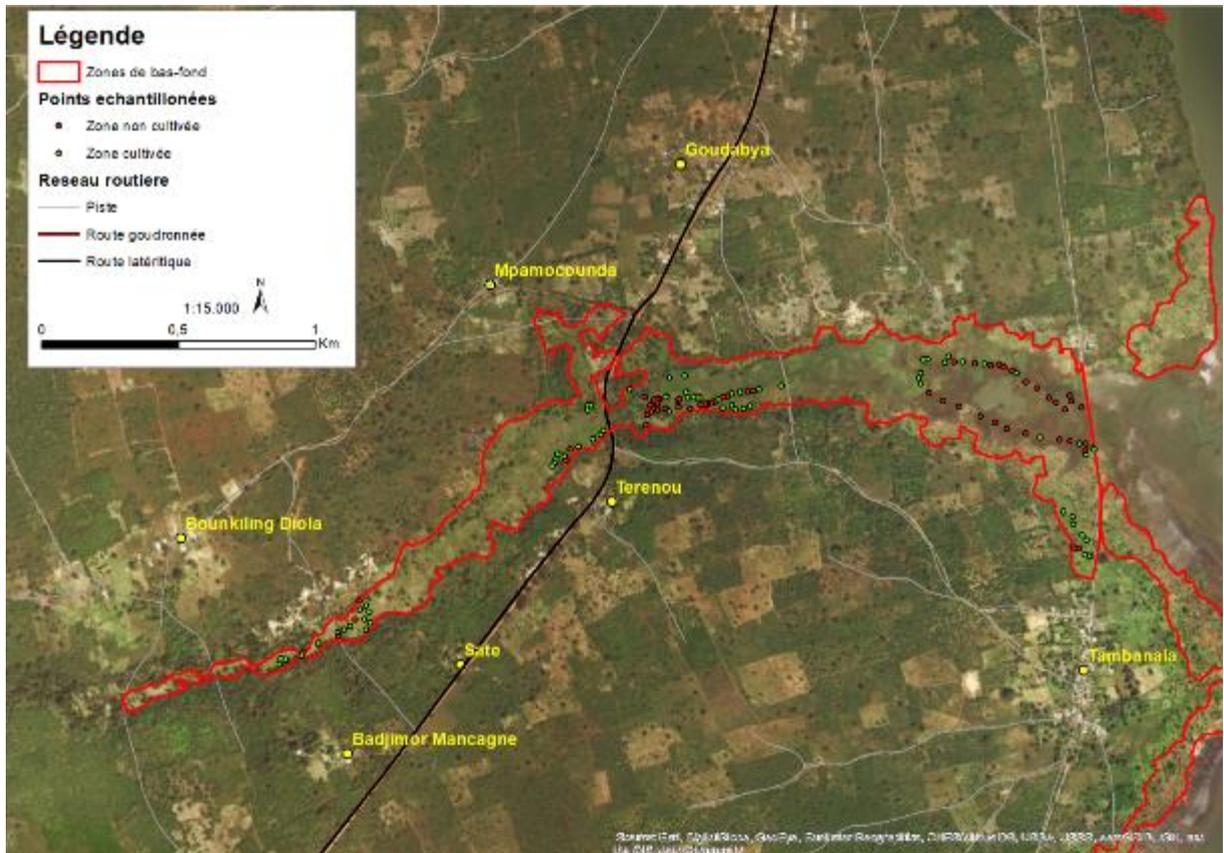
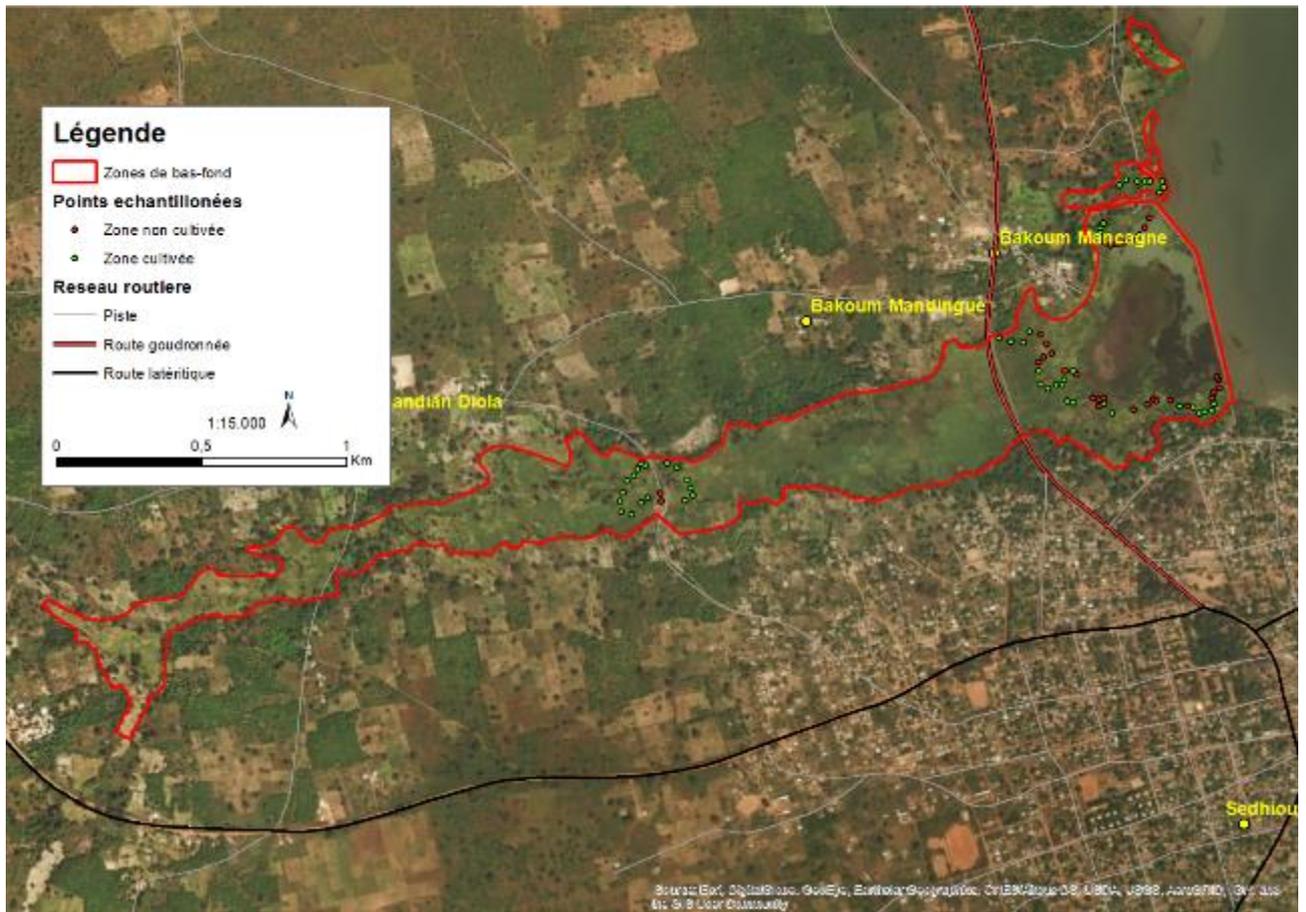


Figure 19 - Points échantillonnés dans la vallée de Bakoum.



## ANNEXE B

Tableau 16 - Classification des zones rizicoles de la Région de Sédhiou en 2017.

ST = surface totale évaluée ; SC = surface cultivée en 2017.

Zone rizicole	Riveraine			Vallée			Total		
	ST	SC		ST	SC		ST	SC	
	ha	ha	%	ha	ha	%	ha	ha	%
Alloute Mandingue	70,9	52,1	73,6				70,9	52,1	73,6
Anice	48,2	36,9	76,6				48,2	36,9	76,6
Badiary	3,7	1,4	37,0	126,8	42,2	33,3	130,4	43,5	33,4
Badobar				948,2	485,5	51,2	948,2	485,5	51,2
Badougha	44,9	12,9	28,7				44,9	12,9	28,7
Bafata				46,9	26,9	57,4	46,9	26,9	57,4
Bagadadji	23,6	12,6	53,3				23,6	12,6	53,3
Bakoum	4,7	2,3	49,6	130,6	89,4	68,4	135,4	91,8	67,8
Balmadou	10,3	5,2	50,5	63,6	32,2	50,6	73,9	37,4	50,6
Bambadion	69,2	19,5	28,2				69,2	19,5	28,2
Bambali	134,8	101,3	75,1	146,7	97,8	66,7	281,5	199,1	70,7
Banana	47,7	32,0	67,1				47,7	32,0	67,1
Bani	55,6	35,7	64,2				55,6	35,7	64,2
Bantandiang	30	233,6	77,9				30	233,6	77,9
Bantanto	50,5	25,1	49,7				50,5	25,1	49,7
Bassada				50,7	23,6	46,5	50,7	23,6	46,5
Baya				5,6	2,8	50,3	5,6	2,8	50,3
Bayamba				113,4	69,7	61,5	113,4	69,7	61,5
Bemet	297,2	207,7	69,9				297,2	207,7	69,9
Berota	34,4	25,8	75,1				34,4	25,8	75,1
Birkama	27,6	24,4	88,7	265,0	137,5	51,9	292,5	162,0	55,4
Bona	30,1	16,8	55,8	292,8	122,4	41,8	322,8	139,2	43,1
Boudouck				504,5	283,7	56,2	504,5	283,7	56,2
Bougnadou	76,5	21,5	28,1	481,8	218,8	45,4	558,3	240,3	43,0
Boumouda	346,8	235,7	68,0				346,8	235,7	68,0
Boumouda 1				58,2	3,8	6,5	58,2	3,8	6,5
Boumouda 2				959,7	228,1	23,8	959,7	228,1	23,8
Boukiling	2,9	1,9	66,2	223,1	74,0	33,2	226,0	75,9	33,6
Bouno	12,9	4,5	35,3	15,0	12,2	80,8	27,9	16,7	59,8
Boussinki				65,6	35,9	54,7	65,6	35,9	54,7
Briou	3,0	2,2	72,9	21,8	19,0	87,2	24,8	21,2	85,4
Broghone	19,8	4,3	21,6	21,9	12,4	56,5	41,7	16,7	4
Dakabantang	14,1	7,0	49,5				14,1	7,0	49,5
Diacounda	14,7	8,2	55,6	540,5	276,9	51,2	555,2	285,1	51,3
Diafar Douma	11,9	6,6	55,6	121,3	71,9	59,3	133,2	78,5	58,9
Diafilon	149,1	44,1	29,6	25,9	16,7	64,7	174,9	60,8	34,8
Diambancounda				49,4	42,1	85,1	49,4	42,1	85,1
Diambati	29,6	19,4	65,7				29,6	19,4	65,7
Diannah Ba	110,7	71,0	64,1				110,7	71,0	64,1

<b>Diannah Malary</b>	10,5	5,9	55,8				10,5	5,9	55,8
<b>Diannah Malary 1</b>				114,4	91,1	79,6	114,4	91,1	79,6
<b>Diannah Malary 2</b>				222,6	193,1	86,8	222,6	193,1	86,8
<b>Diao Ba</b>	105,7	53,1	50,2				105,7	53,1	50,2
<b>Diao Simacounda</b>	337,7	259,6	76,9				337,7	259,6	76,9
<b>Diaring</b>	144,6	55,7	38,5	71,7	39,7	55,3	216,3	95,3	44,1
<b>Diaroume</b>	43,4	30,1	69,4				43,4	30,1	69,4
<b>Diattacounda</b>	59,0	35,5	60,3				59,0	35,5	60,3
<b>Diende</b>	17,7	1	56,2	297,1	157,4	53,0	314,8	167,4	53,2
<b>Diendieme</b>				39,6	19,4	48,9	39,6	19,4	48,9
<b>Dioghere</b>	78,1	67,5	86,5				78,1	67,5	86,5
<b>Djibabouya</b>	250,9	145,2	57,9				250,9	145,2	57,9
<b>Djibanar</b>	27,3	24,2	88,6	420,1	149,2	35,5	447,4	173,4	38,8
<b>Djidinky</b>	109,9	44,5	40,5				109,9	44,5	40,5
<b>Djidinky 1</b>				8,8	5,5	62,7	8,8	5,5	62,7
<b>Djidinky 2</b>				37,8	22,4	59,1	37,8	22,4	59,1
<b>Djignahoule</b>	74,7	54,9	73,6				74,7	54,9	73,6
<b>Djimban</b>				117,62	53,72	45,7	117,62	53,72	45,7
<b>Djiragone</b>	27,8	14,8	53,4	36,9	20,4	55,4	64,6	35,3	54,5
<b>Djiredji</b>	1,0	0,3	27,2	272,3	133,3	48,9	273,4	133,6	48,9
<b>Francounda</b>				819,4	160,6	19,6	819,4	160,6	19,6
<b>Goudomp</b>				192,4	91,7	47,7	192,4	91,7	47,7
<b>Hamdallaye Balante</b>	35,5	28,8	81,0				35,5	28,8	81,0
<b>Inor</b>	62,8	36,9	58,7				62,8	36,9	58,7
<b>Kamounda</b>				71,7	21,7	30,2	71,7	21,7	30,2
<b>Kamoghone</b>				19,3	15,7	81,1	19,3	15,7	81,1
<b>Kandiadiou</b>	74,3	38,1	51,3				74,3	38,1	51,3
<b>Kandion Mangana</b>				155,1	113,6	73,2	155,1	113,6	73,2
<b>Kandiounkou</b>	128,9	77,8	60,4				128,9	77,8	60,4
<b>Kanema Manjaque</b>	4,9	4,6	93,3				4,9	4,6	93,3
<b>Kaour</b>	89,7	47,8	53,3				89,7	47,8	53,3
<b>Karantaba</b>	9	53,8	59,7	60,3	31,4	52,2	150,3	85,2	56,7
<b>Karantaba (B)</b>	39,0	20,9	53,7				39,0	20,9	53,7
<b>Karantaba Nani Manjaque</b>	31,2	11,2	35,9				31,2	11,2	35,9
<b>Karcia</b>				77,7	72,5	93,3	77,7	72,5	93,3
<b>Kataba</b>	88,2	51,8	58,7				88,2	51,8	58,7
<b>Katabina</b>	65,8	41,8	63,5				65,8	41,8	63,5
<b>Kimbouto</b>	23,6	17,9	75,7				23,6	17,9	75,7
<b>Kinthinkourou</b>	0,5			92,0	39,1	42,5	92,4	39,1	42,3
<b>Koubony</b>	34,3	18,6	54,3	19,9	13,1	65,7	54,2	31,7	58,5
<b>Kougnara Douma</b>	10,8	2,8	25,6				10,8	2,8	25,6
<b>Kounayan Mancagne</b>	59,5	41,6	7				59,5	41,6	7
<b>Kounounding Dioe 1</b>				318,7	138,0	43,3	318,7	138,0	43,3
<b>Kounounding Dioe 2</b>				31,2	11,3	36,1	31,2	11,3	36,1
<b>Koussaor 1</b>				17,5	11,6	66,3	17,5	11,6	66,3
<b>Koussaor 2</b>				5,8	2,1	36,4	5,8	2,1	36,4
<b>Macka</b>	100,6	59,8	59,5				100,6	59,8	59,5

<b>Madina El Souane</b>				667,5	452,7	67,8	667,5	452,7	67,8
<b>Madina Findife</b>	88,7	36,6	41,3	166,7	102,1	61,2	255,3	138,7	54,3
<b>Malandiancounda</b>	9,6	3,5	36,7	21,6	9,2	42,5	31,3	12,7	40,7
<b>Malifara</b>	14,0	7,8	55,5				14,0	7,8	55,5
<b>Manconding</b>				7,7	3,1	40,3	7,7	3,1	40,3
<b>Manconiding</b>	97,0	38,9	40,1				97,0	38,9	40,1
<b>Manconomba</b>	176,9	90,2	51,0				176,9	90,2	51,0
<b>Manconomba 1</b>				83,3	62,6	75,1	83,3	62,6	75,1
<b>Manconomba 2</b>				59,7	37,8	63,3	59,7	37,8	63,3
<b>Mancononding</b>	86,8	4	46,1				86,8	4	46,1
<b>Mancontong</b>	68,3	39,8	58,3				68,3	39,8	58,3
<b>Mandina Balante</b>	5,2	2,5	47,6				5,2	2,5	47,6
<b>Manecounda</b>	26,5	19,2	72,7				26,5	19,2	72,7
<b>Mangacounda</b>	30,2	14,6	48,4				30,2	14,6	48,4
<b>Mangaroungou</b>	4,3	0,1	2,3	154,3	39,5	25,6	158,6	39,6	25,0
<b>Mangir</b>				19,0	15,9	83,9	19,0	15,9	83,9
<b>Marakissa</b>	137,7	98,4	71,4				137,7	98,4	71,4
<b>Maroncounda</b>	34,5	18,4	53,4				34,5	18,4	53,4
<b>Marsassoum</b>	60,7	26,8	44,1				60,7	26,8	44,1
<b>Mayor</b>	155,1	89,4	57,6	26,9	17,7	66,0	182,0	107,1	58,9
<b>Missira Karantaba Nani</b>	91,5	53,4	58,4				91,5	53,4	58,4
<b>Missira Soncodou</b>	36,2	21,4	59,3				36,2	21,4	59,3
<b>Moyafara</b>				54,7	40,8	74,6	54,7	40,8	74,6
<b>Ndiama</b>				305,9	183,1	59,9	305,9	183,1	59,9
<b>Nema Diassor</b>	64,8	40,6	62,7				64,8	40,6	62,7
<b>Nguindir</b>	9,9	3,3	33,4	476,1	203,6	42,8	486,0	206,9	42,6
<b>Niafor Douma</b>	14,4	9,1	62,8				14,4	9,1	62,8
<b>Niandanky</b>				26,6	13,3	50,1	26,6	13,3	50,1
<b>Niassene</b>				231,8	127,7	55,1	231,8	127,7	55,1
<b>Nioroki</b>	37,2	19,3	51,9				37,2	19,3	51,9
<b>Oudoucar</b>	217,0	140,2	64,6	194,1	154,9	79,8	411,1	295,1	71,8
<b>Sakar</b>	33,4	15,4	46,1	22,9	14,1	61,6	56,3	29,5	52,5
<b>Salabenor</b>	53,6	37,0	68,9				53,6	37,0	68,9
<b>Same</b>				196,5	47,5	24,2	196,5	47,5	24,2
<b>Samine Escale</b>				1299,4	464,8	35,8	1299,4	464,8	35,8
<b>Samiron</b>	10,4	5,7	54,9	92,1	59,7	64,7	102,5	65,4	63,8
<b>Sandiniery</b>	76,2	41,0	53,8				76,2	41,0	53,8
<b>Sandiniery 1</b>				19,6	12,7	64,9	19,6	12,7	64,9
<b>Sandiniery 2</b>				12,4	9,4	75,4	12,4	9,4	75,4
<b>Sare Halal</b>				299,5	259,5	86,6	299,5	259,5	86,6
<b>Sedeck</b>	8,7	4,6	52,9				8,7	4,6	52,9
<b>Sedhiou</b>	7,5	6,2	83,0				7,5	6,2	83,0
<b>Segafoula</b>	17,7	4,4	24,8	628,8	235,2	37,4	646,5	239,6	37,1
<b>Simbandi Balante</b>	154,9	104,7	67,6	1163,7	452,07	38,4	1318,6	556,8	42,2
<b>Simbandi Brassou</b>				90,8	53,0	58,4	90,8	53,0	58,4
<b>Sina</b>	45,7	20,2	44,3				45,7	20,2	44,3
<b>Sindina</b>	6,0	4,4	74,3	184,3	98,7	53,6	190,2	103,1	54,2

<b>Souki</b>	43,5	18,2	41,7				43,5	18,2	41,7
<b>Souboundou Fogny</b>	130,7	44,3	33,9				130,7	44,3	33,9
<b>Souboundou Pakao</b>	192,9	96,5	5				192,9	96,5	5
<b>Tabaly</b>	3,1	1,8	58,3				3,1	1,8	58,3
<b>Talito</b>				588,0	148,2	25,2	588,0	148,2	25,2
<b>Tambanadiang</b>				2	7,0	34,9	2	7,0	34,9
<b>Tambanala</b>	27,3	8,2	30,1				27,3	8,2	30,1
<b>Tanaff</b>				1974,7	808,1	40,9	1974,7	808,1	40,9
<b>Thiar</b>	89,9	63,6	70,7	29,5	23,7	80,1	119,4	87,2	73,1
<b>Thingtingkome</b>	2,9	1,2	40,6				2,9	1,2	40,6
<b>Toniataba</b>				171,0	121,3	70,9	171,0	121,3	70,9
<b>Touba Manjaque</b>	14,1	6,3	44,6				14,1	6,3	44,6
<b>Velingara</b>	26,6	17,8	66,8				26,6	17,8	66,8
<b>Yacko Peulh</b>	23,2	16,8	72,7				23,2	16,8	72,7
<b>Total</b>	6707	3959	59	18090	8313	46	24797	12272	49,5

