

**Approche multi-échelles de la cartographie et  
du suivi de la production végétale en région sahélienne**



Images PROBA-V (S10TOC- 300 m) du 21 avril 2015

Mémoire présenté par Natacha Volto en vue de l'obtention du diplôme du Master  
Télédétection et géomatique appliquées à l'environnement (TGAE)

**CONFIDENTIEL**

Maitre de stage : M. Bernard Lacaze  
Tuteur enseignant : M. Nicolas Delbart  
Rapporteur : Mme Catherine Mering

## Résumé

---

Dans le cadre du projet CERISE dont la thématique est l'étude de scénarios d'invasion de rongeurs au Sahel en réponse aux changements climatiques attendus, l'exploitation de séries temporelles d'images satellites à différentes résolutions spatiales pour le suivi de la végétation a été requise. Une étude multicapteurs de l'évolution du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a été réalisée à partir des données provenant des capteurs NOAA-AVHRR, SPOT-VEGETATION et MODIS de résolution spatiale respective 8 km, 1 km et 250 m.

Ces plus ou moins longues séries de données (la plus longue couvrant 32 ans) présentent des différences de format de fichiers, de résolution spatiale et de résolution temporelle. Les données NDVI ont fait l'objet de plusieurs traitements dans le but de correspondre aux données d'entrée d'un outil de modélisation de l'invasion des rongeurs. Plus de 7600 images ont été fournies dans le cadre de ce projet, ce qui a requis l'utilisation d'outils performants en mode « batch » : CROP\_VGT, WinDisp, ENVI et ArcGIS.

Les courbes temporelles NDVI ont également été comparées et étudiées sur plusieurs emprises en Afrique de l'ouest (la plus grande emprise étant de 10° à 21° N et de 18° W à 20° E) pour étudier la corrélation avec les données de la dynamique des populations de rongeurs. Ensuite, l'extraction de la production primaire nette de la végétation sur ces différentes emprises a été effectuée, elle a demandé la prise en main du logiciel TIMESAT.

Enfin, la comparaison de produits d'occupation du sol a été réalisée afin de trouver le produit le plus adapté pour la modélisation de l'invasion des rongeurs. Des produits plus ou moins récents ont été comparés à l'échelle de la grande emprise et à une échelle locale pour plus de simplicité, il s'agit du Senegal Land cover 2005, du Climate Change Initiative - Land Cover project (CCI-ESA), du Global Land Cover SHARE (GLC-SHARE), du Synergetic Land Cover Product (SYNMAP) et du Global 1km consensus Land Cover map CONSENSUS.

## Remerciements

---

Mes remerciements vont tout d'abord à Jérôme Lombart pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser mon stage au sein de l'unité PRODIG, à Bernard Lacaze qui m'a confié le sujet du stage et a répondu à toutes mes interrogations et à Nicolas Delbart pour son écoute.

Un remerciement particulier à mes collègues de master qui m'ont beaucoup stimulé, notamment Malvina Dupays. Je remercie Sosefo Sao pour ses précieux conseils et la transmission de sa méthodologie de travail rigoureuse et organisée.

Je remercie Jose Luis San Emeterio et Clélia Bilodeau pour leur accueil, leur disponibilité et leurs conseils au Pôle image de l'Université Paris-Diderot. Un merci aussi pour Stéphanie Horion et Daniel Brunstein pour leurs échanges.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance envers Yves Fenech et Janine Wybier, mes responsables au CNRS, je les remercie pour leur soutien et les efforts entrepris pour rendre mon projet professionnel réalisable. Je remercie également Catherine Mering pour m'avoir permis d'intégrer le Master Télédétection et géomatique appliquées à l'environnement.

Enfin, parce qu'elle m'a accompagnée dans cette épreuve, je remercie sincèrement ma famille, surtout ma fille pour son énergie et sa compréhension vis-à-vis d'une maman souvent derrière un livre ou un ordinateur.

## Liste des acronymes

---

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BIL	Band Interleaved by Line
CCI	Climate Change Initiative
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CN	Compte numérique
CRC	Centre de Recherche en Climatologie
CRU	Climate Research Unit
EC-JRC	Centre de recherche de la Commission européenne
ESA	European Space Agency
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GE	Grande Emprise
GeoTIFF	Geographic Tagged Image File Format
GLC	Global Land Cover
GLCC	Global Land Cover Characterization Database
GLCN	Global Alliance for Standard Multi-Purpose Land cover Data Production
HDF	Hierarchical Data Format
IGBP	International Geosphere-Biosphere Programme
IRD	Institut de recherche pour le développement
NDVI	Indice de végétation par différence normalisée
LCCS	Système de classification de la couverture terrestre
ME	Moyenne Emprise
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MVC	Maximum Value Composite
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PIR	Proche Infrarouge
PROBA-V	Project for On-Board Autonomy – Vegetation
ROI	Region Of Interest
S10	10-day Synthesis Products
SCEE	Système de comptabilité économique et environnementale
SMIAR	Système mondial d'information et d'alerte précoce
SPIRITS	Software for the Processing and Interpretation of Remotely sensed Image Time Series
SPOT-VGT	Satellite Pour l'Observation de la Terre - Végétation
SYNMAP	Synergetic Land Cover Product
TIFF	Tagged Image File Format
UNEP	United Nations Environment Programme
URL	Uniform Resource Locator
USGS	United States Geological Survey
WGS84	World Geodetic System 1984

# Sommaire

---

Résumé.....	2
Remerciements .....	3
Liste des acronymes .....	4
Sommaire .....	5
Introduction .....	6
<b>1. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE.....</b>	<b>6</b>
<b>2. DONNEES.....</b>	<b>8</b>
2.1.    PRESENTATION DES ZONES D'ETUDE .....	8
2.1.1. <i>Le cadre géographique.....</i>	8
2.1.1.1.  Pluviométrie.....	9
2.1.1.2.  Températures .....	10
2.1.1.3.  Végétation .....	11
2.1.2. <i>Approche locale : les sept zones d'étude.....</i>	11
2.1.2.1.  Localisation.....	11
2.1.2.2.  Aperçu pédologique.....	12
2.2.    IMAGES NDVI DES CAPTEURS SATELLITES .....	12
2.2.1. <i>Indice de végétation par différence normalisée (NDVI) .....</i>	12
2.2.2. <i>Images NDVI - SPOT-VGT.....</i>	13
2.2.3. <i>Images NDVI - NOAA-AVHRR GIMMS 3g.....</i>	13
2.2.4. <i>Images NDVI - MODIS.....</i>	13
2.3.    CARTES D'OCCUPATION DU SOL.....	14
2.3.1. <i>Cartes d'occupation du sol régionales.....</i>	14
2.3.1.1.  Travaux de la Global Alliance for Standard Multi-Purpose Land Cover Data Production (GLCN).....	14
2.3.1.2.  Travaux de l'Agence Spatiale Européenne (ESA).....	16
2.3.2. <i>Cartes d'occupation du sol globales.....</i>	17
2.3.2.1.  Synergetic Land Cover Product (SYNMAP).....	18
2.3.2.2.  Global Land Cover SHARE (GLC-SHARE) .....	19
2.3.2.3.  Global 1km consensus Land Cover map (CONSENSUS).....	19
2.3.2.4.  Comparaison des trois produits.....	19
<b>3. PREPARATION DES DONNEES.....</b>	<b>23</b>
<b>4. ETUDE MULTI CAPTEURS DE L'EVOLUTION DU NDVI.....</b>	<b>25</b>
4.1.    AVEC LE SENEGAL LAND COVER PRODUCT 2005 AGREGE EN DIX CLASSES .....	25
4.1.1. <i>Méthode.....</i>	25
4.1.2. <i>Résultat .....</i>	26
4.1.3. <i>Analyse.....</i>	28
4.2.    AVEC LE SYNERGETIC LAND COVER PRODUCT (SYNMAP) SUR LA MOYENNE EMPRISE .....	28
4.2.1. <i>Méthode.....</i>	28
4.2.2. <i>Résultat .....</i>	30
4.2.3. <i>Analyse.....</i>	32
<b>5. EVOLUTION DU NDVI PAR ZONE ET OCCUPATION DU SOL.....</b>	<b>34</b>
5.1.    EVOLUTION DU NDVI PAR ZONE .....	34
5.1.1. <i>Méthode.....</i>	34
5.1.2. <i>Résultat .....</i>	36
5.1.3. <i>Analyse.....</i>	38
5.2.    OCCUPATION DU SOL.....	39
5.2.1. <i>Méthode.....</i>	39
5.2.2. <i>Résultat .....</i>	41
5.2.3. <i>Analyse.....</i>	42
<b>6. DISCUSSION ET CONCLUSION.....</b>	<b>43</b>
Bibliographie .....	44
Liste des illustrations.....	46
Liste des tableaux.....	47
Annexes.....	47

# Introduction

---

En préambule, prenons un exemple extrait du Guide illustré de l'écologie : 27 lapins importés de Grande-Bretagne et relâchés par un agriculteur (Thomas Austin) du sud de l'Australie qui avait la nostalgie de son pays d'origine. Il a relâché dans la nature australienne 27 individus qui 6 ans après, ont engendré une population de 22 millions. « A la vitesse moyenne de 110 km par an, les rongeurs ont colonisé les deux tiers du continent australien contribuant à l'érosion des sols et mettant en péril toute l'économie de l'élevage (7 lapins consommant autant qu'un mouton). » Le gouvernement a entrepris d'utiliser des renards mais ceux-ci s'attaquaient aussi à la faune marsupiale locale, puis ils ont utilisé en 1950, la myxomatose, un virus qui tua 90 % de la population. Les 10 % restants ont développé un système immunitaire et se reproduisant activement, ils ont atteint les 400 millions d'individus en 1980...

## 1. Contexte et problématique

Ce stage s'inscrit dans le cadre de la contribution du laboratoire UMR PRODIG au projet CERISE financé par la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité. Il a pour thème les « Scénarios d'invasion de rongeurs au Sahel : Impact des changements globaux sur l'expansion de la gerbille nigérienne et la souris domestique au Sénégal ».

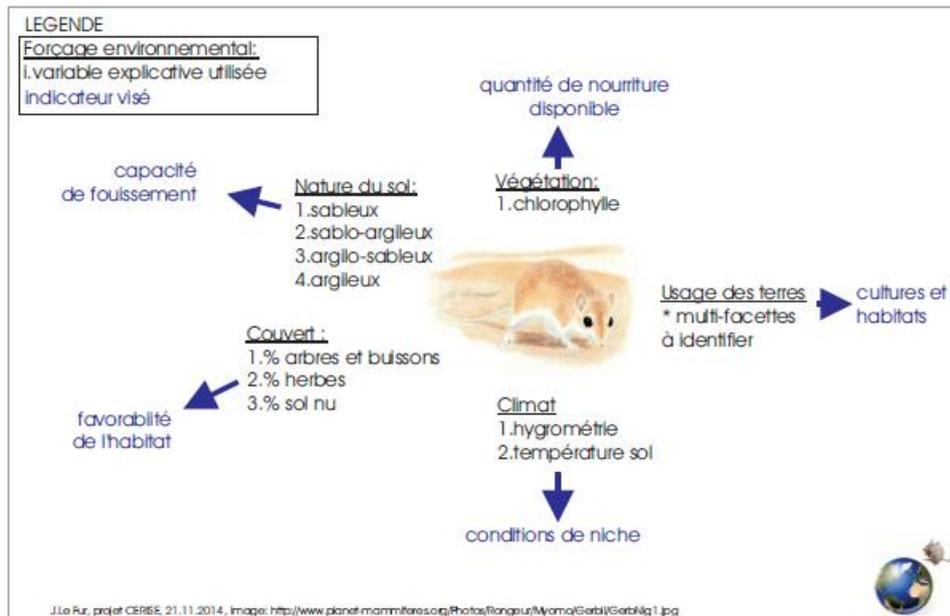


© Yves Papillon - Jean-Jacques Lemasson

Le projet est focalisé sur le nord du Sénégal, mais nécessite une étude de la répartition des rongeurs et de la cartographie de l'occupation du sol et de la productivité végétale sur une zone beaucoup plus vaste.

La souris domestique (*Mus musculus*) et la gerbille nigérienne (*Gerbillus nigeriae*) sont deux espèces de rongeurs invasives au Sénégal. La première, commensale, a progressé récemment d'Ouest en Est en suivant le réseau des agglomérations, infrastructures et transports en développement. La seconde, espèce non commensale apparue au nord du pays dans les années 90, progresse en nappe vers le sud avec l'aridification du climat, devenant l'espèce dominante des communautés de rongeurs locales. Ces espèces sont nuisibles en tant que vecteurs potentiels de pathogènes, prédateurs des denrées stockées et des cultures.

La modélisation de l'invasion des rongeurs est un projet multidisciplinaire qui nécessite des connaissances écologiques (caractéristiques des espèces et dynamique des populations de rongeurs), socio-anthropologiques (développement urbain et des moyens de communication, structure de l'habitat humain), environnementales (climat, végétation) et agronomiques (utilisation des terres) dans les facteurs potentiellement explicatifs de l'expansion des espèces-cibles. Les données nécessaires à la modélisation sont récapitulées dans l'illustration 1.



**Illustration 1.**  
 Récapitulatif des attendus en termes de forçage environnemental, Jean Le Fur, projet CERISE

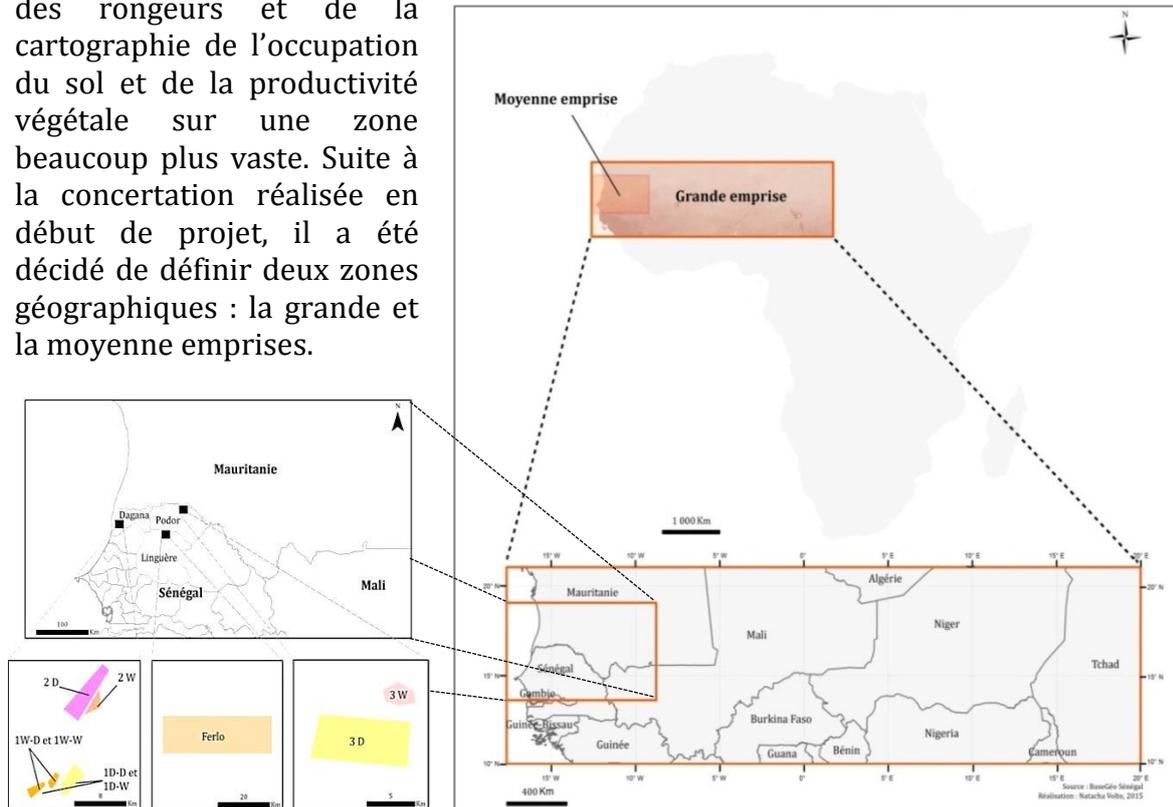
Les résultats obtenus permettront aux chercheurs de l'équipe pluridisciplinaire du projet CERISE de mettre en œuvre des modèles de simulation pour analyser les modalités d'invasion des deux espèces de rongeurs. Des scénarios d'évolution de la diversité de petits mammifères (natifs et invasifs) en relation avec les facteurs humains et environnementaux seront élaborés. La validité des scénarios et modèles sera testée sur le terrain puis un retour d'information visera à sensibiliser les acteurs concernés à l'identification des espèces, au contrôle de leurs populations et à l'atténuation de leurs dégâts.

## 2. Données

### 2.1. Présentation des zones d'étude

#### 2.1.1. Le cadre géographique

Le projet est focalisé sur le nord du Sénégal, mais nécessite une étude de la répartition des rongeurs et de la cartographie de l'occupation du sol et de la productivité végétale sur une zone beaucoup plus vaste. Suite à la concertation réalisée en début de projet, il a été décidé de définir deux zones géographiques : la grande et la moyenne emprises.



**Illustration 2. Zones grande emprise (de 10° à 21° N et de 18° W à 20° E) et moyenne emprise (de 13,5° à 19° N et de 18° à 9° W) et sept zones au nord du Sénégal**

Les grande et moyenne emprises sont localisées dans le Sahel. Le terme « Sahel » désigne les confins méridionaux du Sahara où le climat conditionne les possibilités de vie et modèle les paysages. Il est caractérisé par le retour saisonnier d'épisodes alternativement pluvieux et secs et une très forte tendance à l'aridité qui s'exprime dans la longueur d'une saison sèche ininterrompue de neuf mois et la faiblesse chronique des pluies irrégulières réparties sur les trois mois restants (Alain R. Poulet 1981 [1]).

Le Sahel est une entité biogéographique définie en première instance par son climat tropical aride à semi-aride, contrôlé par la mousson du golfe de Guinée et l'Harmattan (alizé) saharien (Hiernaux, Le Houérou, 2006 [2]). Le Sahel marque la transition entre le domaine saharien au nord, et le domaine soudanien au sud. La région s'étend sur près de 6 000 km des côtes Atlantiques de la Mauritanie et du Sénégal, à l'ouest, à celles de la mer Rouge au Soudan, à l'est, et sur une largeur de 400 à 600 km des confins sud du Sahara aux savanes, forêts claires et parcs agraires de la zone soudanienne (Hiernaux, Le Houérou, 2006 [2]).

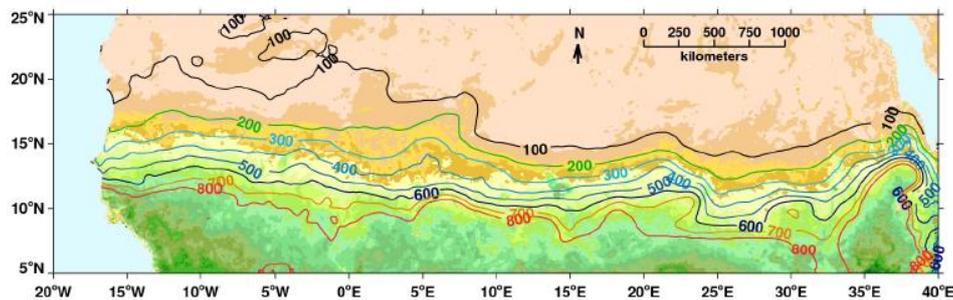
### 2.1.1.1. Pluviométrie

Dans le livre de Pierre de Félice « *La pluie au sahel* » aux éditions Harmattan, un poème de J.B. Seid fait allusion à la pluie : « Quand reviennent les pluies, la nature reverdit et se transforme comme sous l'effet d'une baguette magique. La brousse est inondée de verdure, l'herbe envahit la terre et la couvre d'un manteau d'émeraude émaillé de fleurs sauvages. Tout le pays devient un vaste paradis. Les oiseaux revêtent toutes les couleurs, l'atmosphère vibre de leur mélodieux ramage. Cette exubérance de vie rappelle à l'homme qu'il faut, une fois par an, se consacrer aux travaux des champs. [...]. Furieuse, la nature gronde, souffle [...]. La saison sèche qui succède a, elle aussi, ses côtés pittoresques. Il fait lourd. Le soleil brille avec éclat dans un ciel très bleu et très pur. La terre, lentement se meurt. L'herbe jaunit. [...]. La joie des récoltes fait oublier le souci de la sécheresse. Dans chaque case, le grenier se remplit de mil, de maïs, d'arachide... ».



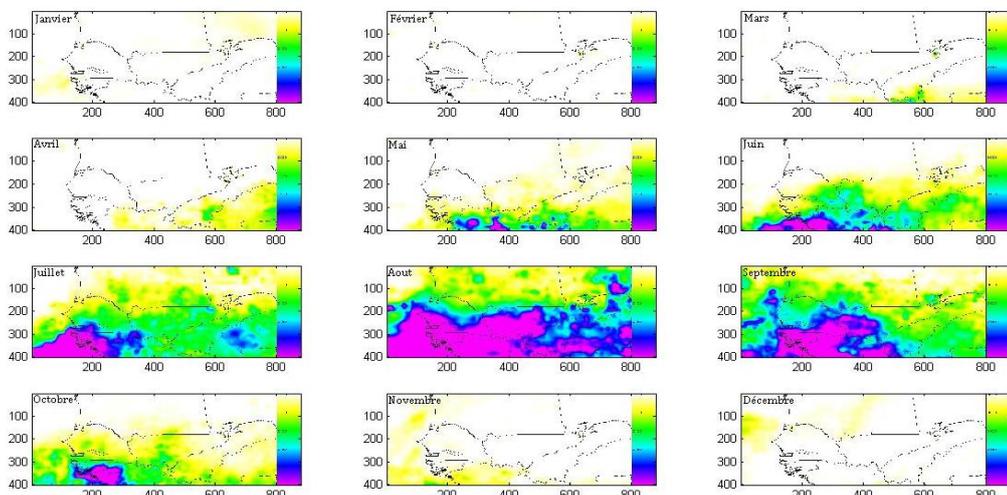
**Illustration 3. Comparaison du paysage en saison sèche à gauche et saison humide à droite (Budde et al,2004 [3])**

Les isohyètes 100 à 250 et 400 à 500 mm sont représentatifs des limites nord et sud de la bande sahéenne (Dasylya, 2014 [4]).



**Illustration 4. Carte des Isohyètes (Anyamba, 2014 [5])**

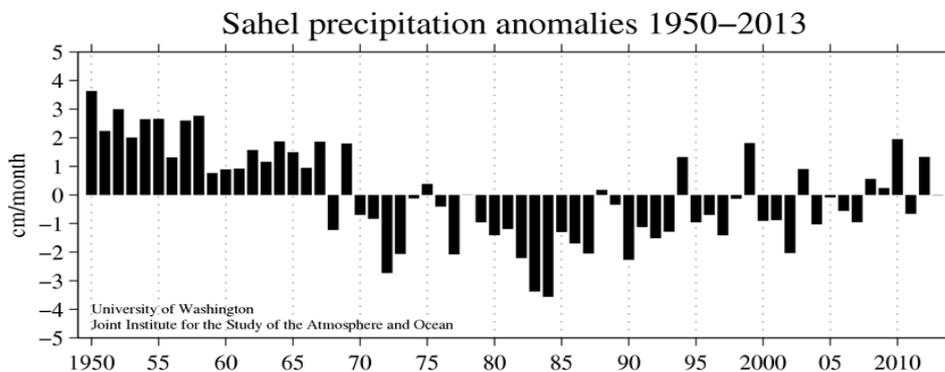
Les pluies interviennent au cours de l'été boréal, elles débutent entre mai et juillet pour se terminer entre septembre et octobre avec un maximum en août.



**Illustration 5. Pluviométrie de l'année 2013 sur la grande emprise**

En Afrique de l'ouest, la période d'après 1990 est marquée par une augmentation de l'intensité des pluies, les plus fortes et cela à des niveaux jamais atteints depuis 1950 (Panthou, 2013 [6]). Une pluviométrie aléatoire est constatée depuis plus de deux décennies (Dasyuva, 2014 [4]).

Le Sahel est nettement confronté à une manifestation accrue d'épisodes très sévères de sécheresse (1970 et 1984). « Chaque année, avec une intensité variable, des terres agricoles sont perdues, et un nombre important de troupeaux décimés ; ce qui fragilise davantage les conditions de vie des populations. A partir des années 1900, il est observé une progression de 250 km du Sahara vers le sud ; une évolution ayant provoqué localement une dégradation irréversible des ressources naturelles productives. En 2012 selon la Banque mondiale, plus de 17 millions de personnes ont été menacées de famine dans la région sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Parmi les facteurs explicatifs, le déficit des précipitations lors de l'année 2011 fut principalement indexé. Les inondations sont devenues ces dernières années un risque majeur au Sahel, de par l'ampleur des dégâts occasionnés et la récurrence des évènements » (Dasyuva, 2014 [4]).

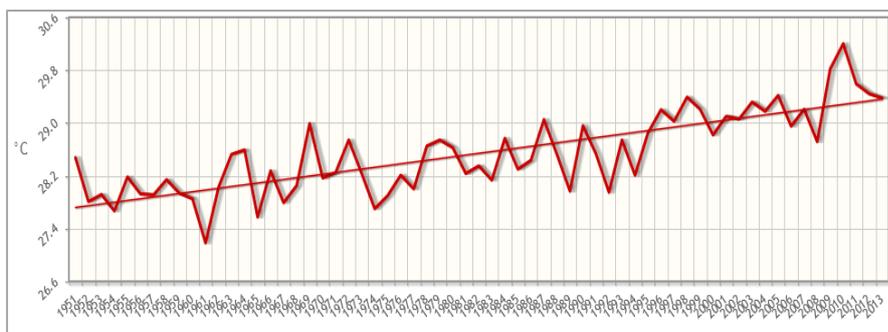


**Illustration 6. Données climatologiques issues de NOAA NCDC Global Historical Climatology Network data, moyennes de juin à octobre de 1950 à 2013 de 10 ° à 20° N et de 20° W à 10° E**

### 2.1.1.2. Températures

Les températures annuelles moyennes sont comprises entre 26 et 29° C dans les zones adjacentes au Sahara, deviennent plus faibles dans les régions de haute altitude, mais peuvent aussi dépasser 40° C pendant la journée (Dasyuva, 2014 [4]).

Le régime des températures de l'air est déterminé par la position en latitude et par le rayonnement, mais il est aussi influencé par la circulation atmosphérique générale, l'altitude, la proximité de courants marins ou au contraire la continentalité du site (Hiernaux, Le Houérou, 2006 [2]).



**Illustration 7. Moyenne des températures de janvier à décembre pour 44 points situés entre les latitudes 13° et 20° N et 3,75 W à 17° E. Données issues de l'East Anglia Climate Research Unit (CRU) téléchargées sur l'application Appli-Clim**

### 2.1.1.3. Végétation

En Afrique de l'ouest, la végétation s'organise schématiquement en une série de bandes grossièrement parallèles (cf. illustration ci-dessous). Depuis la côte atlantique, bordée par la forêt dense humide et aujourd'hui largement dégradée se succèdent la savane dite « guinéenne » caractérisée par de fréquentes imbrications forestières puis la savane soudanienne plus sèche, relayée au nord par la savane ou la steppe sahélienne jusqu'aux marges du désert saharien (Gond, 1995 [7]).

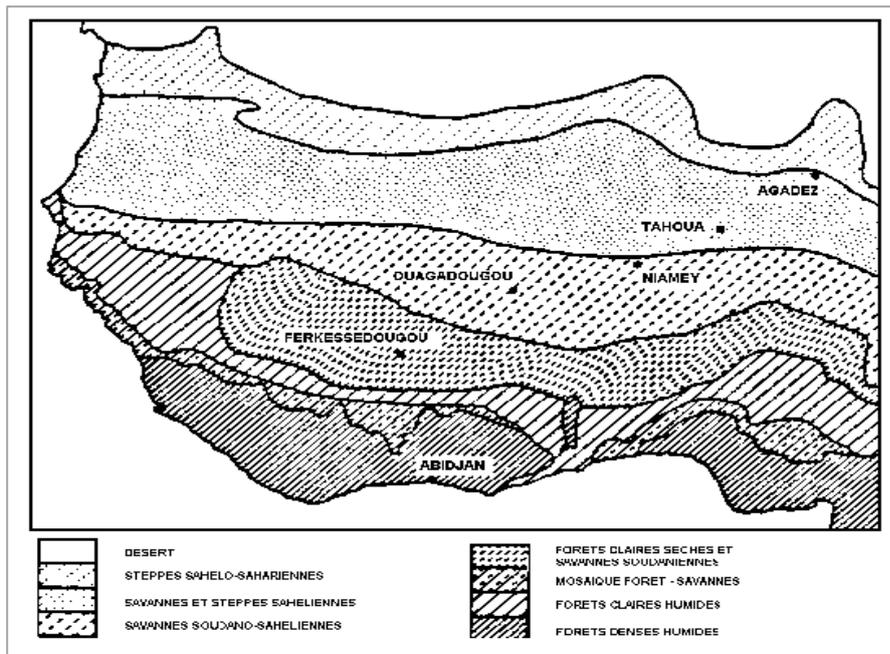


Illustration 8. Source : FAO. Données agroclimatologiques, Rome, 1987

La végétation du Sahel se compose majoritairement d'une strate herbacée dominée par des plantes annuelles, principalement des graminées, et un peuplement de plantes ligneuses éparses, de hauteur et de phénologie variées (Hiernaux, Le Houérou, 2006 [2]).

## 2.1.2. Approche locale : les sept zones d'étude

### 2.1.2.1. Localisation

Les sept zones d'étude sont situées au nord du Sénégal dans les départements Dagana, Podor et Linguère entre 15,8° et 16,52° N et entre 16,4° et 14,43° W, ce qui correspond au Sahel sénégalais. Ces zones contiennent des points d'échantillonnage de rongeurs.

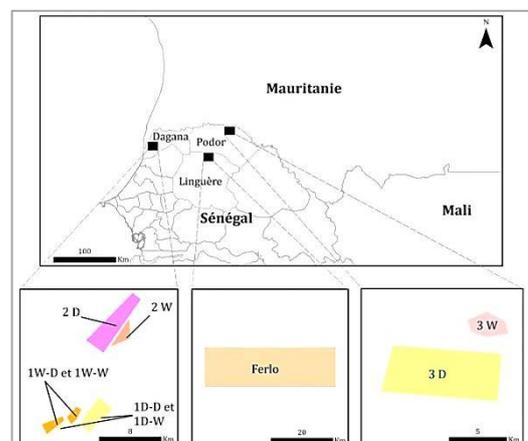


Illustration 9. Localisation des sept sites d'étude (Sénégal)

### 2.1.2.2. Aperçu pédologique

Le Sénégal septentrional fait partie du bassin sédimentaire Sénégal-Mauritanien. La mer s'est retirée de cette région laissant une accumulation de grés argileux. L'évolution géomorphologique explique que tout le nord du Sénégal soit occupé par un substrat sablonneux au modelé très faible sans réel relief notable (cuirassement, action éolienne prolongée, pédogénèse...).

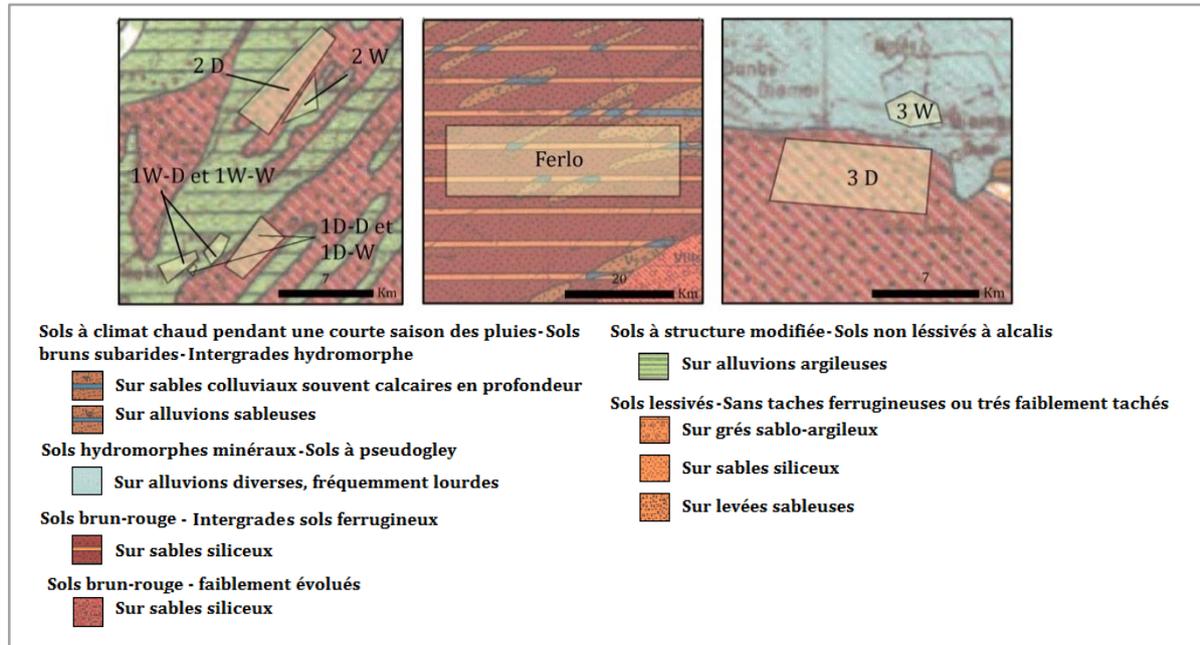


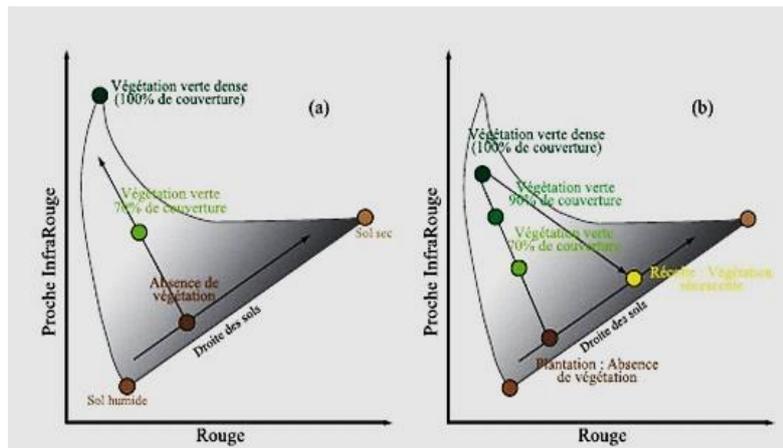
Illustration 10. Extrait de la carte pédologique du Sénégal publiée en 1965. IRD. Project NumericSud SPHAERA-GEO. Bondy, France

## 2.2. Images NDVI des capteurs satellites

### 2.2.1. Indice de végétation par différence normalisée (NDVI)

Les indices de végétation sont principalement basés sur le comportement spectral de la végétation dans les canaux du Rouge (R) et du Proche InfraRouge (PIR) (Dusseux, 2014 [8], Viña *et al.*, 2011 [9], Tucker, 1979 [10]). Le NDVI est l'indice de végétation par différence normalisée ou indice de Tucker (Tucker, 1979 [10]). Son expression est la suivante :  $NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$

La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclaircissement. Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondent aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales ont des valeurs de NDVI comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondent aux couverts les plus denses. Bien que le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) soit sensible aux effets du sol sous-jacent et à l'atmosphère (Montandon et Small, 2008 [11]), il est encore très majoritairement utilisé dans la communauté scientifique en télédétection car il est facile à calculer et à interpréter (Dusseux, 2014 [8], Fontana *et al.*, 2008 [12]).



**Illustration 11. Jensen 2000**

« (a) plus la couverture végétale est dense, plus les valeurs de réflectance augmentent dans le proche Infrarouge et plus elles diminuent dans la bande rouge. La droite des sols, dépourvue de végétation présente des réflectances qui varient en fonction de leur teneur en eau. (b) exemple du déplacement d'un pixel 'agricole' dans l'espace multispectral rouge / proche infrarouge au cours d'une saison de croissance. Après la germination, la réflectance du pixel s'éloigne de la ligne des sols pour atteindre le sommet du chapeau. Après la récolte, le pixel retrouve une valeur de réflectance correspondant à un sol nu, éventuellement plus sec. » ENVCAL - Suivi de l'environnement par télédétection

### 2.2.2. Images NDVI - SPOT-VGT

Ces données proviennent du capteur Vegetation du Système pour l'observation de la Terre (SPOT) et couvrent la période 1998 à 2013. Les produits S10 NDVI 1 km du capteur SPOT-VEGETATION (SPOT-VGT) sont disponibles sur le portail VITO via l'URL suivante : <http://www.vito-eodata.be>. Ce sont des synthèses décennales basées sur la comparaison pixel par pixel de dix valeurs journalières de réflectance pour en garder les meilleures estimations dans les canaux rouge et proche infra-rouge, à partir desquelles l'indice NDVI est calculé. Cette valeur est la valeur maximale observée dans la période (MVC pour Maximum Value Compositing). Les images sont au format 8 bit, les valeurs valides s'échelonnent de 3 et 255. 540 images décennales couvrent une période de 15 ans de 1999 à 2013.

### 2.2.3. Images NDVI - NOAA-AVHRR GIMMS 3g

Ces données proviennent des radiomètres Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) des satellites météorologiques NOAA pour la série GiMMS 3g (Global Inventory Modeling and Mapping Studies). Les données NOAA-AVHRR GIMMS 3g sont accessibles sur le site internet de la NASA via l'URL :

<http://ecocast.arc.nasa.gov/data/pub/gimms/3g/>. La série utilisée comprend deux images mensuelles sur 32 ans de 1982 à 2013, soient 768 images. Cette base provient de la transformation des données originales de 1,1 km x 1,1 km de résolution en des valeurs composites (maximum de NDVI tous les 15 jours) avec une résolution de 8 x 8 km. La correction de la dégradation du capteur, des différences d'inter calibration, des différents angles de vue, de l'angle solaire zénithal..., permettent une haute qualité de ces données (San Emeterion *et al.*, 2009 [13]).

### 2.2.4. Images NDVI - MODIS

Ces données sont issues du Moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) à bord de Terra et couvre 13 ans de 2000 à 2012. Les images MOD13Q1 sont téléchargeables à l'adresse suivante : <http://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD13Q1.005/>. Cette base de données NDVI est composée d'images tous les 16 jours de résolution spatiale 250 m.

Les caractéristiques des images utilisées sont récapitulées ci-après.

Capteurs	NOAA-AVHRR	SPOT-VGT	MODIS
Projection	Geographic Lat/Lon	Geographic Lat/Lon	Geographic Lat/Lon
Résolution spatiale	8 km 0.083333°	1 km 0.0089285714°	250 m 0.002157°
Temps d'acquisition	1981 à 2013	1999 à 2013	2000 à 2012
Taille de l'image initiale	4320 colonnes 2160 lignes	9633 colonnes 8177 lignes	19736 colonnes 4637 lignes
Format	ENVI Standard	HDF4	GEOTIFF
Synthèse temporelle	15 jours	10 jours	16 jours
Conversion CN en NDVI réel	$NDVI = CN / 10000.00$	$NDVI = (CN * 0,004) - 0,1$	$NDVI = CN / 10000.00$

Tableau 1. Caractéristiques des images utilisées

## 2.3. Cartes d'occupation du sol

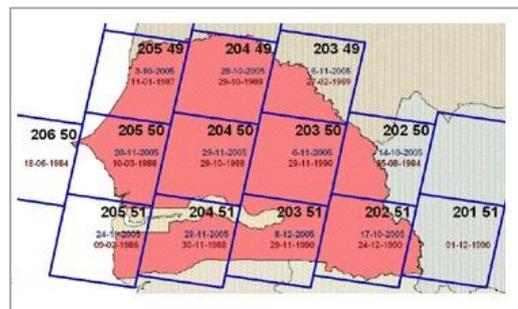
### 2.3.1. Cartes d'occupation du sol régionales

#### 2.3.1.1. Travaux de la Global Alliance for Standard Multi-Purpose Land Cover Data Production (GLCN)

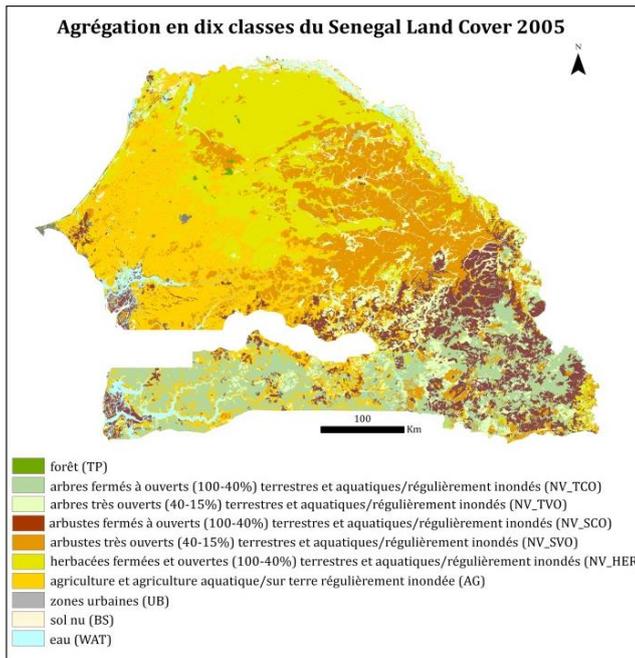
La Global Alliance for Standard Multi-Purpose Land Cover Data Production (GLCN) est dirigée par l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture des Nations Unies (FAO) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Ces deux organismes ont pour objectif d'améliorer la disponibilité de l'information mondiale sur la couverture terrestre, l'harmonisation de la cartographie de la couverture terrestre et son suivi aux niveaux national, régional et mondial.

En 2005, dans le cadre du programme de l'Afrique de l'ouest, une carte d'occupation du sol a été réalisée pour le Sénégal basée sur l'interprétation des images Landsat ETM 2005.

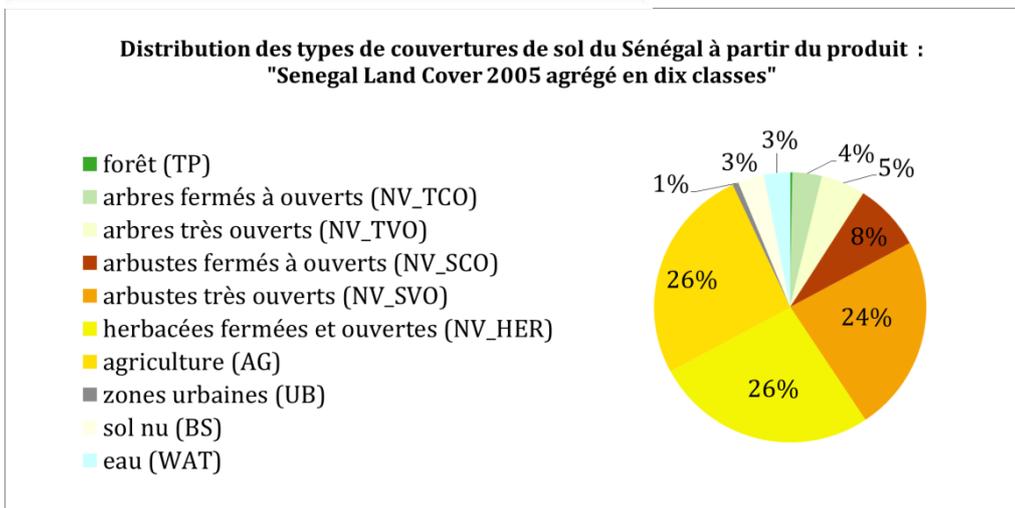
Illustration 12. Images Landsat utilisées pour l'étude des changements entre 1990 et 2005



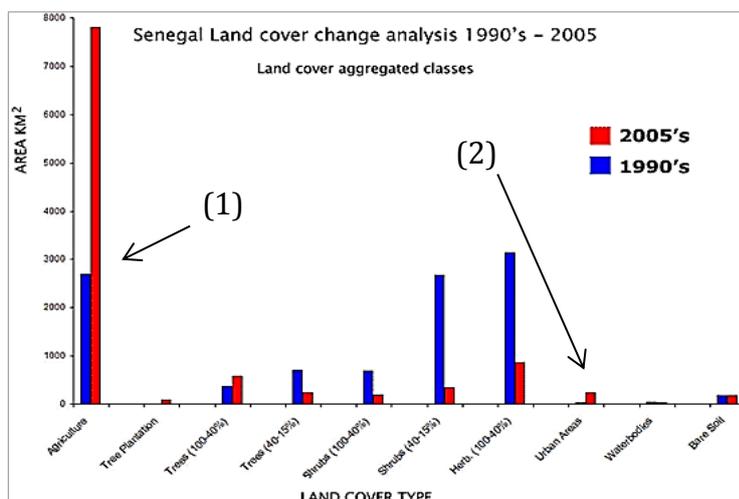
La carte établie comprend 55 classes et 23922 polygones sur 196190 km<sup>2</sup>. Une agrégation spatiale a ensuite été réalisée, ce qui a abouti à 21238 polygones. En 2009, le GLCN a étudié les changements d'occupation du sol au Sénégal entre 1990 et 2005. Pour ces travaux, ils ont agrégé le Senegal Land Cover en dix classes illustrées ci-dessous.



**Illustration 13. Senegal Land Cover 2005 agrégé en dix classes à gauche et distributions des types de couvertures de sol du Sénégal en bas. Données issues du GLCN**



L'analyse a porté sur les 55 classes de la légende du produit Senegal Land Cover 2005. 22000 polygones ont été analysés et les résultats sont présentés ci-dessous.



Une augmentation des zones agricoles (1), urbaines (2) ainsi qu'une diminution générale de la végétation naturelle apparaissent, sauf pour les arbres (100-40 %).

**Illustration 14. Résultats de l'analyse des changements au Sénégal, entre 1990 et 2005**

### 2.3.1.2. Travaux de l'Agence Spatiale Européenne (ESA)

L'Agence Spatiale Européenne, dans le cadre des changements climatiques, souhaite apporter une réponse adéquate à l'ensemble des exigences en matière de produits satellitaires sur le long terme pour le climat. Le projet « Climate Change Initiative – Land Cover project 2014 » vise à revisiter tous les algorithmes nécessaires à la génération de produits globaux d'occupation des sols stables et constants dans le temps. (Bontemps *et al.*, 2015[14]). Les archives Envisat MERIS (2003-2012) ont été utilisées comme principal ensemble de données d'observation de la Terre complétées par SPOT-Végétation avec la série 1998 à 2012 et par les archives 2005-2010 de l'imagerie SAR d'ENVISAT.

Dans le cadre de cette partie, c'est le produit sur le Sénégal au format TIF à 300 m de résolution pour les années 2010 (2008-2012), 2005 (2003-2007) et 2000 (1998-2002) qui nous intéresse. Les images sont téléchargeables via l'URL suivante : [http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download\\_Senegal.php](http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download_Senegal.php).

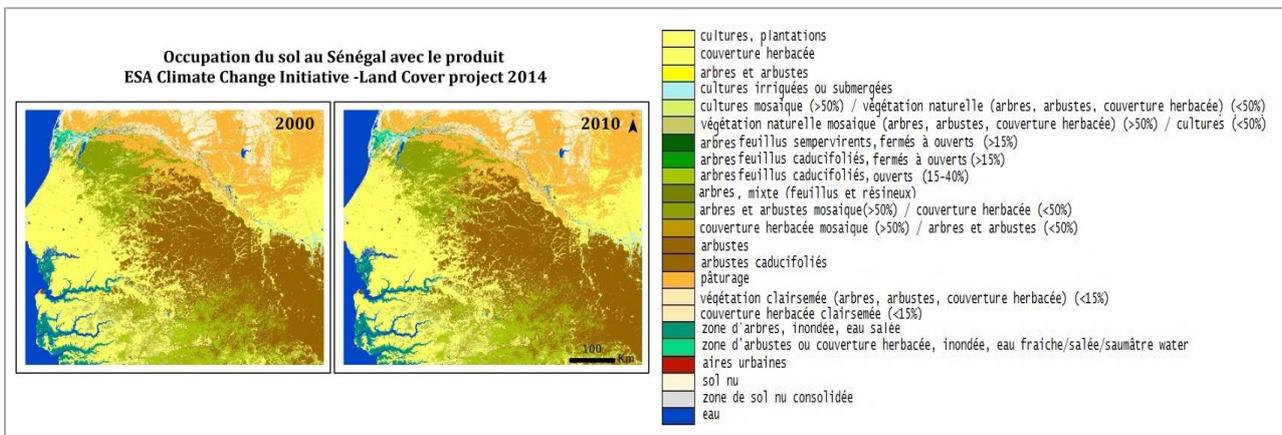


Illustration 15. Images issues du ESA Climate Change Initiative-Land Cover project 2014

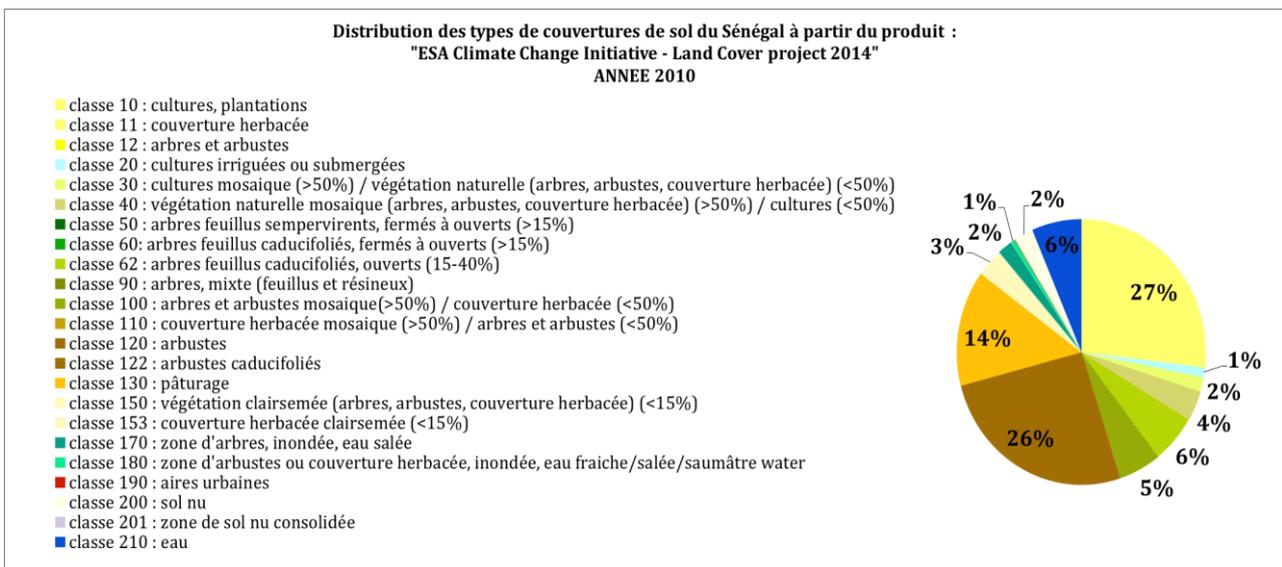
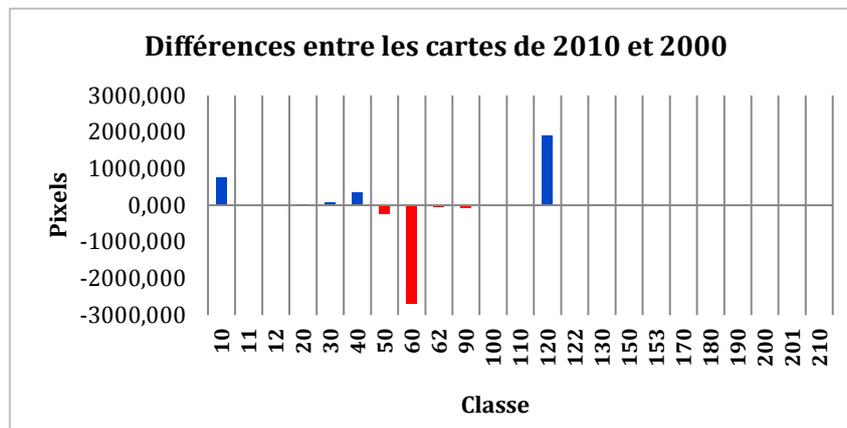


Illustration 16. Distribution des types de couvertures de sol du Sénégal. Données issues de l'ESA

Le tableau ci-dessous présente les différences entre les images de 2000 et 2010 du produit ESA. La classe 60 (arbres feuillus caducifoliés, fermés à ouverts (>15%)) a été isolée de l'image 2000 car elle n'est plus présente dans les images de 2005 et 2010. Ces pixels sont répartis dans les classes « arbustes » et « cultures » dans les images de 2005 et 2010. Une étude sur TIMESAT de l'évolution du NDVI pour ces pixels et pour certains à proximité immédiate montre un signal d'une corrélation parfaite laissant penser à une erreur de classement



Avec classe 10 : cultures, plantations ; classe 40 : végétation naturelle mosaïque (arbres, arbustes, couverture herbacée) (>50%) / cultures (<50%) ; classe 50 : arbres feuillus sempervirents, fermés à ouverts (>15%) ; classe 60: arbres feuillus caducifoliés, fermés à ouverts (>15%) ; classe 62 : arbres feuillus caducifoliés, ouverts (15-40%) ; classe 90 : arbres, mixte (feuillus et résineux) et classe 120 : arbustes.

Illustration 17. Différences entre les cartes de 2010 et 2000

Ces travaux à l'échelle régionale sur le Sénégal sont utilisés par la suite pour déterminer l'occupation du sol des zones d'intérêt dans le Sahel Sénégalais. Il est également intéressant de faire un état des lieux des produits à l'échelle du globe pour proposer une carte pour la grande emprise.

### 2.3.2. Cartes d'occupation du sol globales

Plusieurs cartes à l'échelle du globe sont disponibles : DISCover (1992-1993, plusieurs légendes dont IGBP en 17 classes), GLC2000, MODIS land cover product, GlobCover (2005-2006 et 2009). Leur comparaison n'est pas simple car les nomenclatures ne sont pas toujours concordantes, les dates de réalisation et la résolution spatiale ne sont pas les mêmes. Toutefois, le constat que l'on peut faire est celui de la discordance entre les résultats, au moins pour les classes « zones cultivées » et « forêts » jusqu'à 893 Mha pour GlobCover versus MODIS v.5 (Fritz *et al.*, 2011[15]).

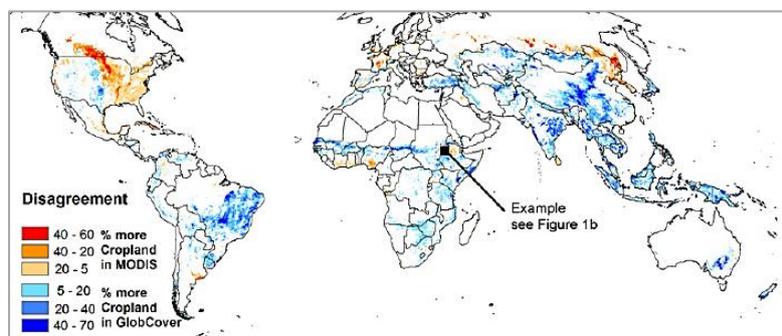


Illustration 18. Discordance entre les produits MODIS v.5 et GlobCover 2005 pour les zones cultivées. (Fritz *et al.*, 2011 [15])

Trois tentatives de synthèse existent dans la littérature : le SYNMAP (Jung *et al.*, 2006 [16]) en 48 classes, le Global 1 km Consensus Land Cover map en 12 classes (Tuanmu et Jetz, 2014 [17]) et le GLC-SHARE qui est une nouvelle base de données publiée par le FAO en 2014 en 11 classes. Les deux derniers produits utilisent une « classification

douce », l'objectif n'étant pas de dresser une seule carte de végétation mais une carte par type de végétation. Dans ce type de produit, le pixel prend une valeur de 0 à 100. Les valeurs 0 et 100 indiquent respectivement que le type de végétation n'apparaît pas dans le pixel ou le recouvre intégralement.

### 2.3.2.1. Synergetic Land Cover Product (SYNMAP)

Le SYNMAP est un produit d'occupation du sol global en 48 classes à 1 km de résolution spatiale, reflétant la couverture terrestre autour de l'an 2000. Il fusionne différents produits de couverture globale du territoire, le Global Land Cover Characterization Database (GLCC), le Global Land Cover 2000 (GLC2000) et le produit de la couverture terrestre MODIS (Jung *et al.*, 2006 [16]). Le SYNMAP résulte donc de la compilation de cartes établies en 1992-93, 2000 et 2001. Ce produit est disponible sur le site de la NASA. Les images sont distribuées au format TIFF sur la région d'intérêt et avec la résolution spatiale désirée.

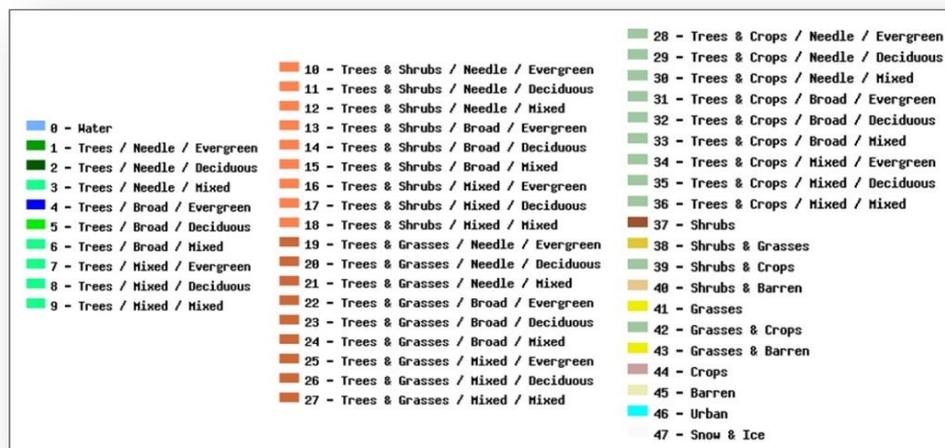


Illustration 19. Légende du SYNMAP

Les membres du projet CERISE ont choisi le SYNMAP pour l'occupation du sol de la moyenne emprise cependant ils l'ont reclassifié en 16 classes (tableau ci-après).

Classes SYNMAP	Contenu	Classes ME
0	eau	1
1 à 9	arbres	2
10 à 18	arbres / arbustes	3
19 à 24	arbres / herbe (broad)	4
25 à 27	arbres / herbe (broad et needle)	5
28 à 36	arbres / cultures	6
37	arbustes	7
38	arbustes / herbe	8
39	arbustes / cultures	9
40	arbustes / sable	10
41	herbe	11
42	herbe / cultures	12
43	herbe / sable	13
44	culture	14
45	sable	15
46	bâti	16

Tableau 2. Reclassification du SYNMAP en 16 classes

### 2.3.2.2. Global Land Cover SHARE (GLC-SHARE)

Le GLC-SHARE est une nouvelle base de données publiée par le FAO en 2014. Elle comprend 11 classes de couverture du sol qui combinent les produits disponibles de couverture du sol à haute résolution nationaux et régionaux. La base de données est produite avec une résolution de 1 km. Le Système de classification de la couverture terrestre (LCCS) et le Système de comptabilité économique et environnementale (SCEE) ont été utilisés pour harmoniser les légendes. Une campagne de validation a été effectuée avec 1000 points au hasard statistiquement distribués dans les 11 classes. Ces classes sont distribuées sous forme de raster ou format GeoTIFF, la valeur du pixel représente la densité couverte par le type de couverture du sol sur ce même pixel. Un fichier avec la classe dominante est également disponible.

### 2.3.2.3. Global 1km consensus Land Cover map (CONSENSUS)

Le Global 1km consensus résulte de la compilation de quatre cartes globales : DISCover (IGBP), GLC2000, MODIS land cover product, GlobCover (2005-06) et se présente sous forme d'une série de 12 cartes, chacune représentant une classe d'occupation du sol. Chaque classe fournit des informations sur la prévalence d'une classe de couverture du sol (Tuanmu et Jetz, 2014 [17]).

	DISCover	GLC2000	MODIS2005	GlobCover
Sensor	AVHRR	VEGETATION	MODIS	MERIS
Satellite	NOAA	SPOT	Aqua, Terra	ENVISAT
Image acquisition time	April 1992–March 1993	November 1999–December 2000	2005	December 2004–June 2006
Input data	Monthly NDVI composites	Diverse composites of reflectance in four spectral bands, NDVI and/or derived metrics	32-day composites and annual metrics of nadir BRDF-adjusted reflectance in bands 1–7, EVI and LST	Bi-monthly surface reflectance composites of 13 spectral bands
Classification technique	Unsupervised classification	Flexible classification depending on the responsible institutions	Supervised classification decision tree	Per-pixel supervised and unsupervised classification; per-cluster unsupervised classification
Processing sequence	Continent-by-continent	Region-by-region	Global	Region-by-region
Classification scheme	IGBP, 17 classes	LCCS-based, 22 classes	IGBP, 17 classes	LCCS-based, 22 classes
Spatial resolution	1 km	1 km	500 m	300 m
Overall accuracy	66.9% (Scepan, 1999)	68.8% (Mayaux <i>et al.</i> , 2006)	75% (Friedl <i>et al.</i> , 2010)	73.1% (Bicheron <i>et al.</i> , 2008)

**Illustration 20. Caractéristiques des quatre produits d'occupation du sol utilisés pour le Global 1km consensus (Mao-Ning Tuanmu et Walter Jetz, 2014 [17])**

### 2.3.2.4. Comparaison des trois produits

La cartographie de l'occupation des terres représente une information indispensable dans le cadre du projet CERISE. Afin de choisir une carte d'occupation du sol sur la grande emprise, les produits SYNMAP simplifié, CONSENSUS et GLC-SHARE ont fait l'objet d'une comparaison. Dans un premier temps, la méthodologie issue de l'article de C. Ottlé *et al.*, 2013 [18], a été suivie pour comparer ces produits. Une fois les images téléchargées, elles ont été projetées à la projection de la plaque carrée WGS84 avec une

taille de pixel carré 1/112° soit 0,00892857° avec l'application ArcGis (Clic droit sur l'image/Data/Export Data).

Une première difficulté a concerné le regroupement des classes afin d'uniformiser les légendes car le SYNMAP (reclassifié) propose de nombreuses classes mixtes.

	Classes SYNMAP	Classes du SYNMAP reclassifié	Classes Global 1km Consensus Land-cover map	Classes Carte globale GLCSHARE
eau	0	1	12	11
arbres	1 à 9	2	1 à 4	4
arbres / arbustes	10 à 18	3	-	-
arbres / herbe (broad)	19 à 24	4	-	-
arbres / herbe (broad et needle)	25 à 27	5	-	-
arbres / cultures	28 à 36	6	-	-
arbustes	37	7	5	5
arbustes / herbe	38	8	-	-
arbustes / cultures	39	9	-	-
arbustes / sable	40	10	-	-
herbe	41	11	6	3
herbe / cultures	42	12	-	-
herbe / sable	43	13	-	-
cultures	44	14	7	2
végétation submergée	-	-	8	6
végétation épars	-	-	-	8
mangroves	-	-	-	7
sable	45	15	11	9
bâti	46	16	9	1

**Illustration 21. Tentative d'harmonisation des légendes des différents produits**

Une autre difficulté a concerné la valeur des pixels variant de 0 à 100. Un pixel peut être recouvert par plusieurs couvertures de sol dans le cas de GLC-SHARE et CONSENSUS.

Pour contourner ce problème, l'image contenant la classe dominante a été utilisée pour le GLC-SHARE. Les classes de chaque produit ont été converties en ROI puis des statistiques ont été extraites sous ENVI. Le tableau ci-après permet de visualiser la répartition des pixels en pourcentage entre les produits GLC-SHARE et SYNMAP sur la grande emprise.

Les tableaux de répartition des pixels SYNMAP/CONSENSUS et CONSENSUS/GLC-SHARE sont présentés en annexe 2.

Répartition, en pourcentage, des pixels de chaque classe du SYNMAP dans chaque classe du GLC-SHARE		GLC-SHARE									
		bâti	cultures	pâturage	arbres	arbustes	végétation herbacée, aquatique ou régulièrement submergée	mangroves	végétation clairsemée	sol nu	eau
SYNMAP reclassifié (pixels)	Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11
eau (267469)	1	0,04	2,60	1,01	0,53	0,15	0,22	0,28	0,55	1,11	93,88
arbres (24526)	2	0,18	16,66	2,68	42,60	10,43	0,84	16,03	0,36	2,46	7,70
arbres / arbustes (498990)	3	0,08	23,60	10,45	38,10	26,45	0,30	0,09	0,60	0,24	0,09
arbres / herbe (broad) (419732)	4	0,04	54,55	8,12	18,56	17,55	0,75	0,04	0,21	0,09	0,07
arbres / herbe (broad et needle) (110546)	5	0,04	52,20	31,82	5,01	2,56	0,06	0,01	8,02	0,24	0,06
arbres / cultures (52146)	6	0,14	51,03	13,60	27,36	4,07	0,46	0,58	2,09	0,37	0,28
arbustes (28654)	7	0,13	24,19	4,32	24,42	43,72	0,92	0,59	0,17	0,87	0,65
arbustes / herbe (140832)	8	0,06	18,23	40,81	9,18	10,85	0,69	0,03	3,98	15,29	0,88
arbustes / cultures (30032)	9	0,31	45,58	15,72	11,02	22,45	0,52	0,51	2,58	0,77	0,49
arbustes / sable (278219)	10	0,01	1,68	43,30	1,10	0,09	0,07	0,00	3,64	49,93	0,19
herbe (945190)	11	0,04	24,55	57,46	3,93	3,29	0,21	0,00	5,14	5,28	0,09
herbe / cultures (110624)	12	0,05	65,85	14,35	6,87	10,19	0,61	0,04	1,45	0,29	0,29
herbe / sable (50184)	13	0,01	3,25	43,94	0,74	0,23	0,08	0,00	2,91	48,59	0,25
cultures (134663)	14	0,25	74,30	12,02	2,96	5,00	3,42	0,19	0,95	0,65	0,26
sable (2153231)	15	0,00	0,06	3,40	0,09	0,00	0,01	0,00	0,67	95,74	0,02
bâti (1526)	16	59,90	24,18	5,83	1,18	0,13	0,00	0,07	2,62	4,46	1,64

Tableau 3. Répartition des pixels des classes du SYNMAP dans les classes du GLC-SHARE

Exemple pour la lecture : parmi les 1526 pixels de la classe 16 « bâti » du SYNMAP, 59,9% sont des pixels classés dans la classe « bâti » du GLC-SHARE, 24,18 % sont des pixels classés dans la classe « cultures » et les autres sont répartis dans d'autres classes du GLC-SHARE.

Ce tableau et ceux présentés en annexe 2, permettent d'observer les différences de classement des pixels entre les produits.

Une remarque importante concerne CONSENSUS où les pixels peuvent être classés dans plusieurs classes : il est normal que la somme des pourcentages des pixels classés ne soit pas égale à 100 %. Par exemple, pour les 28654 pixels de la classe « arbustes » du SYNMAP, 91,02 % sont classés dans la classe « mixte, autres arbres » de CONSENSUS, soient 26081 pixels et 90,23 % de ces mêmes 28654 sont aussi classés dans la classe « arbustes » de CONSENSUS, ce qui fait 25855.

Pour synthétiser les cohérences par classe entre les produits, un tableau est créé ci-après. Dans ce tableau ne figure que les classes non mixtes.

	SYNMAP reclassifié / GLC-SHARE	SYNMAP reclassifié / CONSENSUS	CONSENSUS / GLC- SHARE
eau	93,88 %	96,97 %	88,67 %
herbe	57,46 %	87,27 %	51,03 %
arbustes	43,72 %	90,23 %	23,95 %
arbres	42,60 %	87,07 %	52,63 %
cultures	74,30 %	99,82 %	45,48 %
sable / sol nu	95,74 %	99,96 %	79,21 %
bâti	59,90 %	91,28 %	23,71 %

Tableau 4. Pourcentage de pixels rangés dans la même classe

Ce tableau reflète des discordances importantes entre le produit GLC-SHARE et les deux autres. Le résultat pour le bâti, par exemple, est surprenant entre CONSENSUS et GLC-SHARE. Si l'on regarde de plus près les 7415 pixels du « bâti » dans CONSENSUS (cf. annexe 2), on constate que 47,59 % des pixels soit 3529 sont rangés dans « cultures » dans le GLC-SHARE.

Classe « Cultures » GLC-SHARE

Classe « bâti » de CONSENSUS (7415 pixels)	9	23,71	47,59	13,58	2,28	1,96	0,31	0,23	3,56	4,76	2,01
---	---	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------

Illustration 22. Extraction de la ligne 9 du tableau CONSENSUS / GLC-SHARE page 5 de l'annexe 2

Par contre, une très forte cohérence apparaît entre les produits CONSENSUS et SYNMAP.

La cartographie de l'occupation des terres sur la grande emprise avec ces trois produits est représentée ci-contre.

Pour CONSENSUS, un pixel étant parfois recouvert par plusieurs couvertures du sol, la carte affichée dépendra de la position de la couche ou shapefile (dans le cas de cette cartographie, la couche « forêt de feuillus caducifoliés » est placée au-dessus de la couche « arbustes » et « végétation gérée et cultivée »).

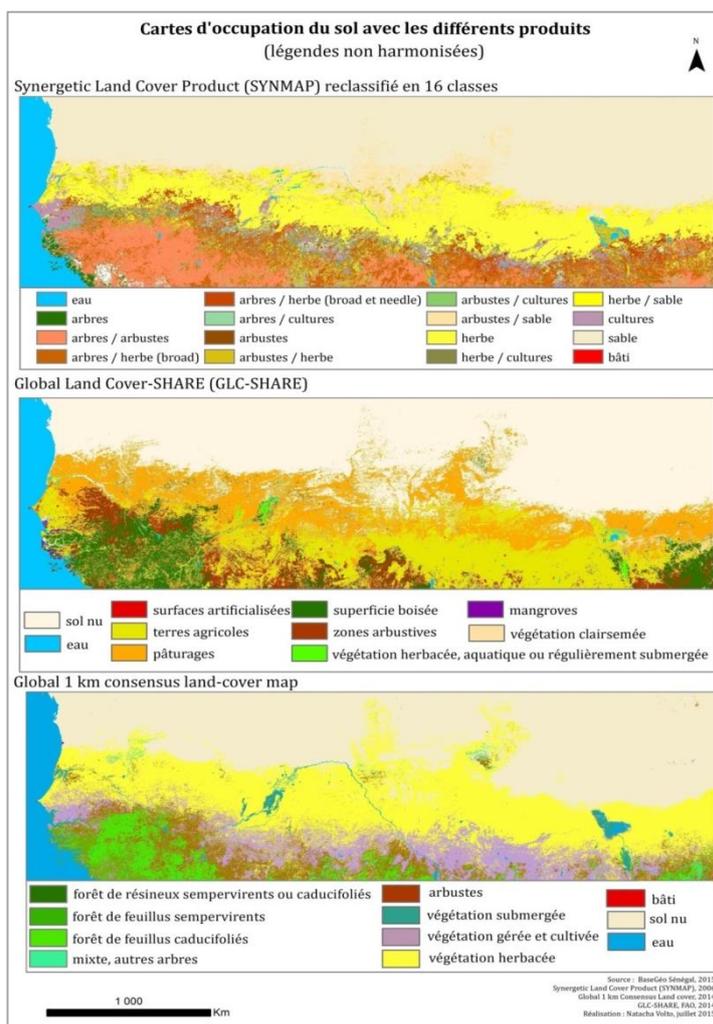


Illustration 23. Cartes d'occupation du sol avec les produits SYNMAP reclassifié, GLC-SHARE et CONSENSUS

### 3. Préparation des données

La principale partie du stage a consisté à rechercher les différentes séries temporelles de NDVI intéressantes pour la modélisation de l'invasion des rongeurs, à les comprendre et à les exploiter. 7694 images ont été fournies aux membres du projet CERISE sous différents formats (HDF, GeoTIFF, .IMG, .BIL et format ASCII, en comptes numériques ou en NDVI réel, cf. annexe 3) et découpées sur la moyenne et grande emprises. Des calculs de  $NDVI_{moy}$ , de  $NDVI_{max}$  et de  $NDVI_{min}$ , par décade et par année, pour les zones grande et moyenne emprises, ont été requis sur les images SPOT-VGT.

Des traitements automatiques ont été recherchés et plusieurs outils en libre accès sur internet ont été testés comme l'application CROP\_VGT, développée par le défunt Silvio Griguolo de l'Université IUAV de Venise en Italie et WinDisp (Gommes *et al.*, 2004 [19]) développée par le Système mondial d'information et d'alerte précoce (SMIAR) de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

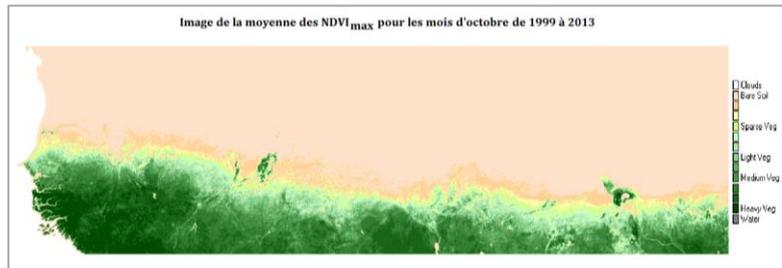


Illustration 24. Exemple d'image générée par WinDisp

La méthodologie suivie pour rendre automatiques les opérations sur les images du NDVI de SPOT-VGT est indiquée ci-dessous et est explicitée en détail en annexe 4.

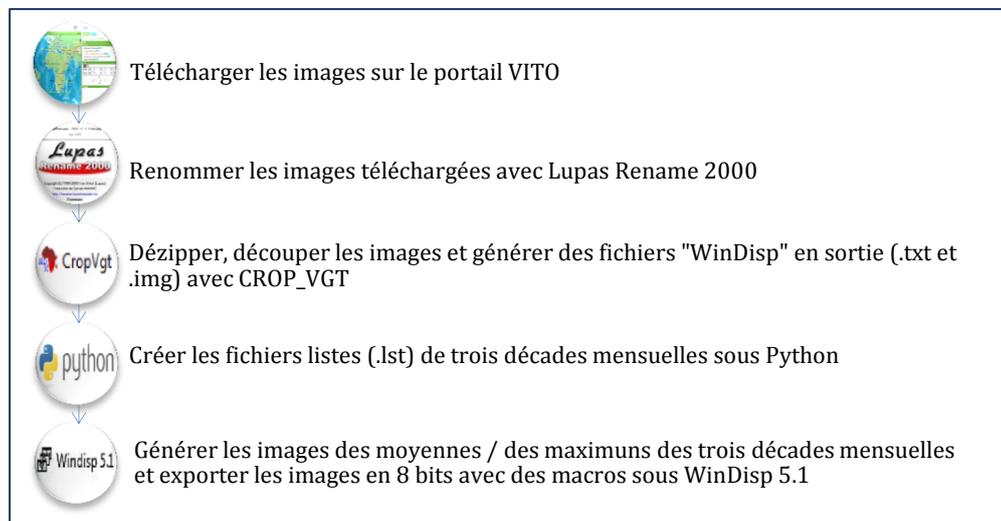


Illustration 25. Etapes pour la préparation des images SPOT-VGT

Dans le cas des 768 images de la série NOAA-AVHRR GIMMS qui se sont avérées assez compliquées à exploiter, l'annexe 1 explicite la méthode pour les lire avec des logiciels de traitement d'images. Cette annexe présente notamment les codes Python développés pour télécharger les 768 images (utilisation du module « urllib ») et pour créer des fichiers HDR automatiques. Des codes développés sous IDL sont aussi proposés dans cette annexe pour effectuer la transposition des images et la découpe automatique sur les zones d'intérêt. Une partie de cette annexe est consacrée aux images du capteur PROBA-V car elles ont été préparées sur les zones d'emprise mais non exploitées.

Les images des différents capteurs ont également été préparées pour plusieurs études. La première a consisté à extraire les statistiques concernant l'évolution diachronique du NDVI pour plusieurs zones d'intérêt.

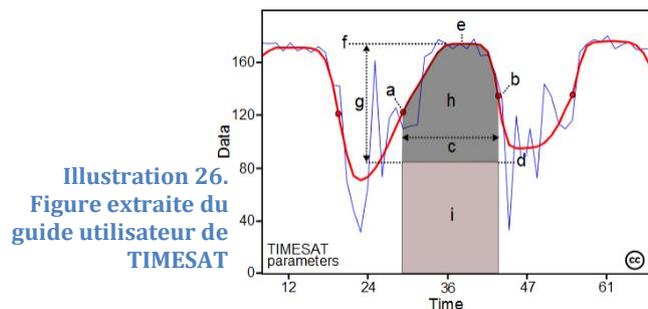
La seconde étude a été d'ordonner les images, de les renommer, de rechercher les pixels de chaque zone d'intérêt et de calculer la production primaire nette de la végétation (petite intégrale) avec l'application TIMESAT. Cet outil, développé par Per Jönsson du Centre pour les études technologiques de l'Université de Malmö en Suède et par Lars Eklundh du Département de la Terre et des sciences des écosystèmes à l'Université de Lund en Suède, est téléchargeable via l'URL :

<http://www.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp?cat=4>.

TIMESAT permet de visualiser la série temporelle et produit la courbe de l'évolution temporelle du signal pour chaque pixel. Les courbes sont lissées contrairement à l'application WinDisp.

TIMESAT permet d'extraire les paramètres phénologiques suivants (Jönsson et Lars Eklundh (2002), [20]) :

- a : début de la saison
- b : fin de saison
- e : point avec la valeur maximum
- f : amplitude
- g : longueur de la saison
- h : petite intégrale
- i : grande intégrale



Les petites et grandes intégrales correspondent à l'effet cumulé de la végétation durant la saison, l'aire correspond ainsi à la production primaire nette.

Pour des données de NDVI peu affectées par le bruit, la méthode de filtrage Savitzky-Golay fonctionne correctement car elle est capable de suivre des comportements complexes tels que la rapide augmentation suivie d'un plateau décroissant. Par contre, pour les séries temporelles affectées par le bruit, les données issues du filtre Savitzky-Golay sont difficiles à interpréter. Dans ce cas, il est préférable d'utiliser la seconde méthode c'est-à-dire cocher la case « Gaussian » dans TIMESAT (Per Jonsson et Lars Eklundh, 2004 [21]).

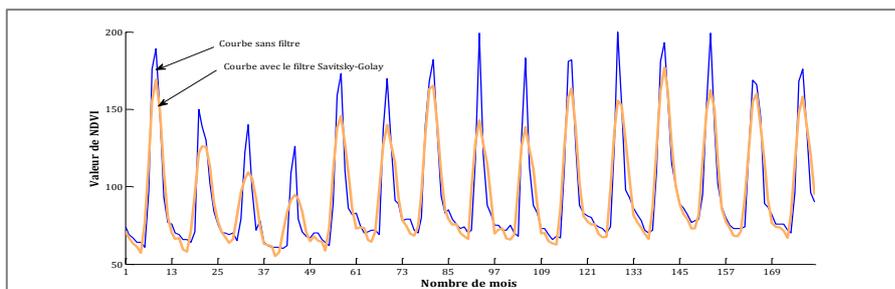


Illustration 27. Courbe de l'évolution du NDVI d'un pixel avec le filtre Savitsky-Golay (courbe orange)

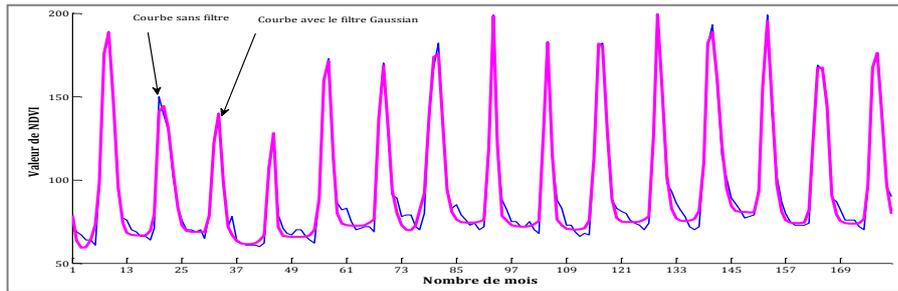


Illustration 28. Courbe de l'évolution du NDVI d'un pixel avec le filtre Gaussien (courbe rose)

L'annexe 4 explicite en détail l'utilisation des applications CROP\_VGT, WinDisp et l'analyse des séries temporelles avec l'application TIMESAT.

Ensuite, la dernière étape de préparation des données a consisté à inverser toutes les données suivant la formule  $NDVI_{opposé} = (b1) * - 1$  avec un batch sous ENVI afin d'appliquer la méthodologie explicitée dans l'article (Horion, 2014 [22]). Cet article indique que les tendances de la densité de la couverture boisée peuvent être déduites du  $NDVI_{min}$ . Par contre, assez tardivement, le 22 juillet 2015, un post est paru sur le site internet « Sahel studies » pour informer d'une erreur grave affectant l'ensemble des données NOAA-AVHRR GIMMS dans les zones semi-arides comme le Sahel pour la saison sèche. Ces images n'ont donc pas été exploitées pour la saison sèche.

## 4. Etude multi capteurs de l'évolution du NDVI

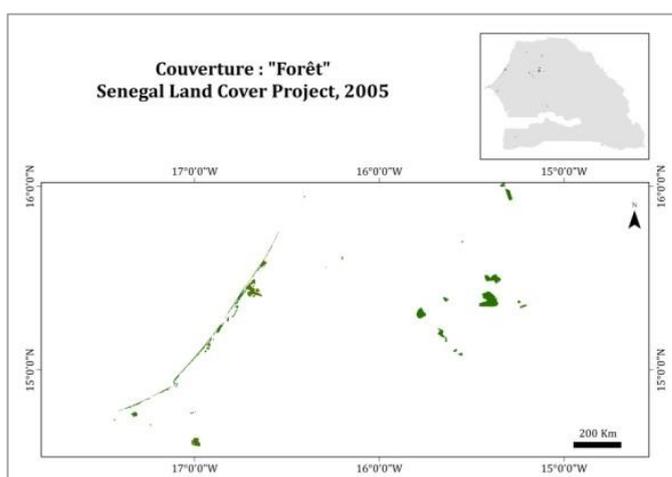
### 4.1. Avec le Senegal Land Cover Product 2005 agrégé en dix classes

#### 4.1.1. Méthode

Pour cette étude, les 21238 polygones du Senegal Land Cover Product 2005 ont été agrégés en dix classes - celles utilisées pour l'étude des changements entre 1990 et 2005 par le GLCN. Pour ce faire, dans la table attributaire, les polygones ont été sélectionnés et sauvegardés dans une même couche suivant les instructions fournies dans les documents téléchargés sur le site du GLCN.

Les polygones avec plusieurs couvertures du sol (mixtes) ont été regroupés dans la classe majoritaire. La classe 7S « extraction de sel » n'est pas exploitée dans cette étude.

Chacune des dix classes a été extraite, convertie en vecteur (extension evf.) puis en ROI.



Ensuite, des images classées ont été créées à partir de ces ROI et ont été appliquées en masque à l'image standard. Les bandes de cette image standard correspondant aux images des  $NDVI_{max}$  des mois de novembre de 1982 à 2013 pour les images NOAA-AVHRR GIMMS, de 1999 à 2013 pour les images SPOT-VGT S10 NDVI et de 2000 à 2012 pour les images MODIS.

Illustration 29. Extraction de la classe « forêt » du Senegal Land Cover Product 2005 agrégé en dix classes

Les statistiques sont générées, exportées au format texte et exploitées sous Excel.

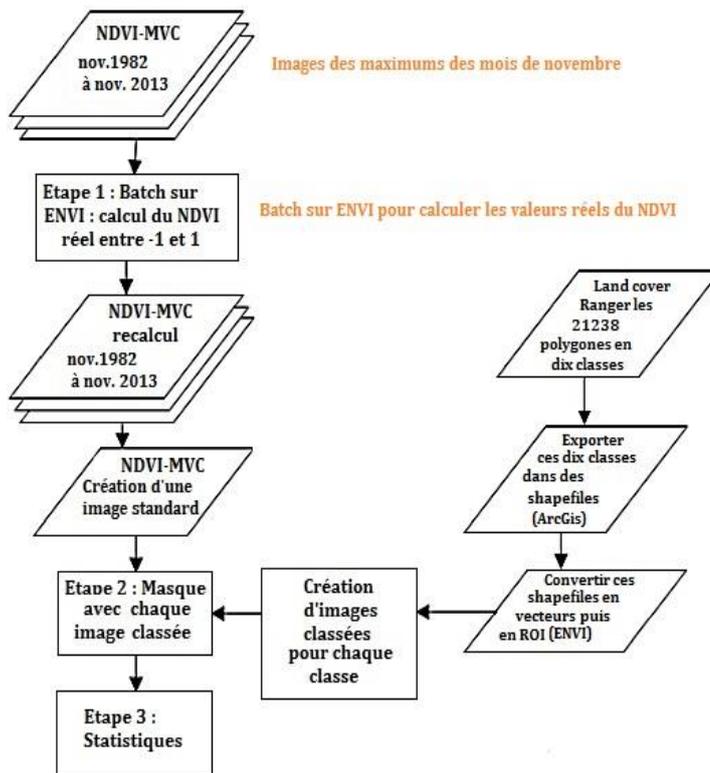
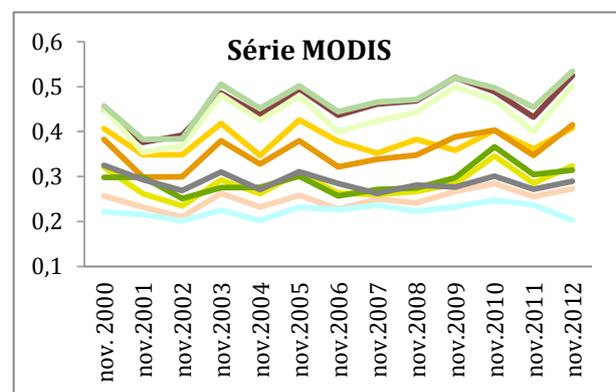
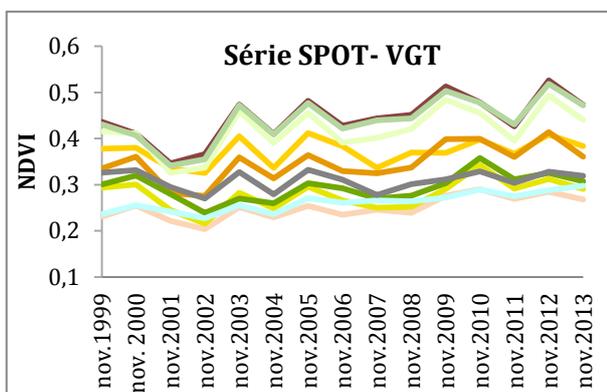
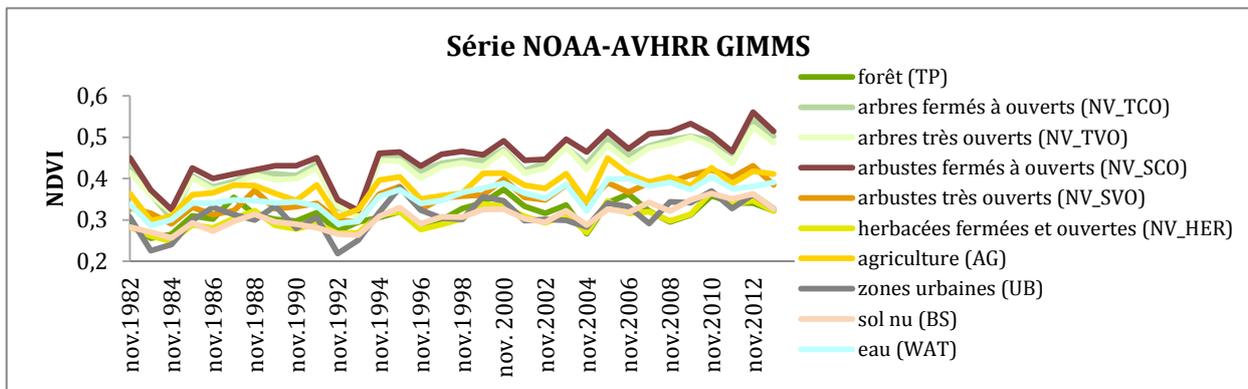
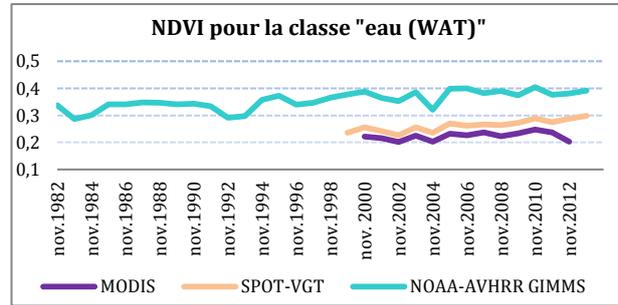
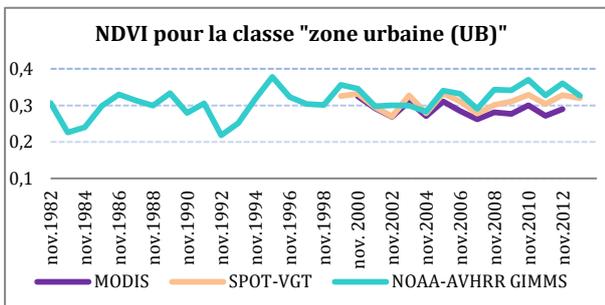
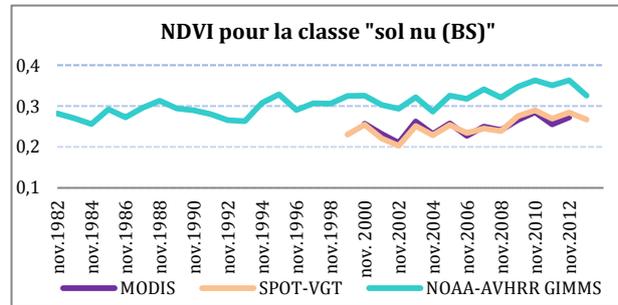
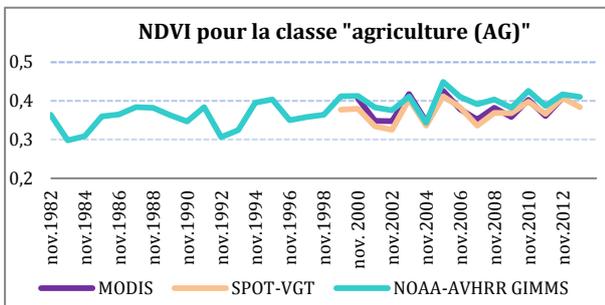
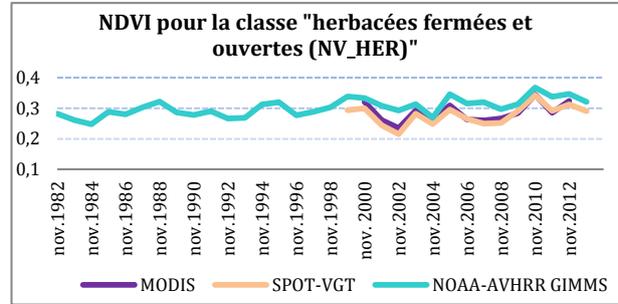
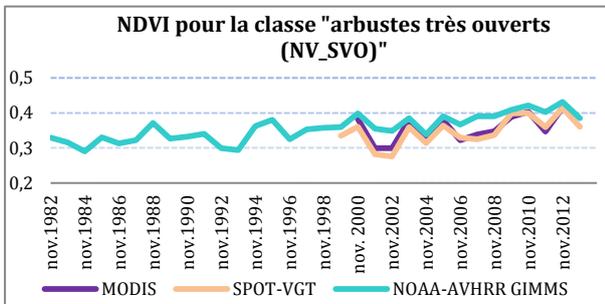
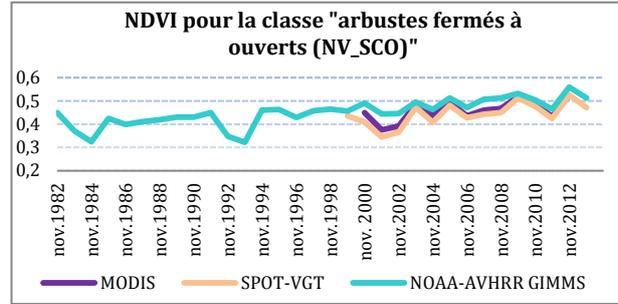
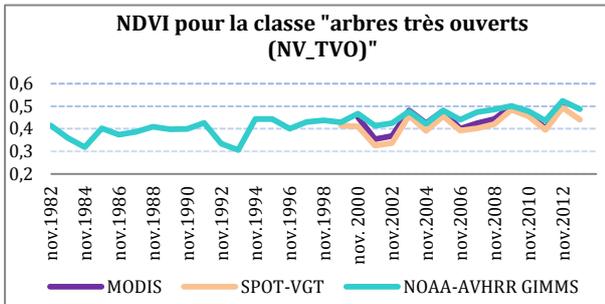
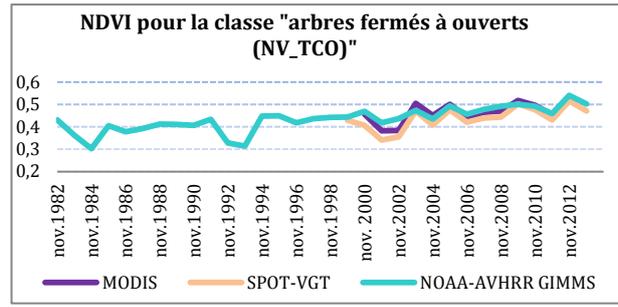
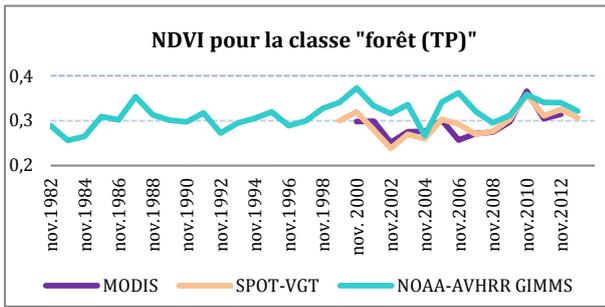


Illustration 30.  
Méthodologie pour  
extraire l'évolution  
diachronique du NDVI  
pour chaque classe du  
Senegal Land Cover  
2005 agrégé

#### 4.1.2. Résultat





L'étude de la corrélation à partir du coefficient de détermination ( $R^2$ ) entre les différentes séries de données est analysée comme dans l'article de M. Adama Sarr *et al.*, 2008 [23].

		NOAA-AVHRR GIMMS et MODIS	NOAA-AVHRR GIMMS et SPOT- VGT	SPOT-VGT et MODIS
Classe 1	forêt (TP)	0,14	0,66	0,77
Classe 2	arbres fermés à ouverts (NV_TCO)	0,79	0,83	0,97
Classe 3	arbres très ouverts (NV_TVO)	0,80	0,83	0,96
Classe 4	arbustes fermés à ouverts (NV_SCO)	0,88	0,85	0,97
Classe 5	arbustes très ouverts (NV_SVO)	0,76	0,82	0,92
Classe 6	herbacées fermées et ouvertes (NV_HER)	0,70	0,72	0,93
Classe 7	agriculture (AG)	0,76	0,70	0,86
Classe 8	zones urbaines (UB)	0,18	0,54	0,69
Classe 9	sol nu (BS)	0,73	0,85	0,91
Classe 10	eau (WAT)	0,46	0,47	0,39

#### 4.1.3. Analyse

Les résultats mettent en évidence des taux de corrélation très significatifs dans les évolutions temporelles du NDVI pour SPOT-VGT et MODIS malgré la résolution spatiale différente des images, respectivement de 250 m et 1 km. Le coefficient de détermination est supérieur à 0,86 pour 70 % des classes. Les résultats observés ne sont pas en accord avec l'article "Comparison of AVHRR, MODIS and VEGETATION for land cover mapping and drought monitoring at 1 km spatial resolution" de Toukiloglou, 2007 [24]. En effet, d'après les valeurs de réflectance dans le rouge et le proche infrarouge de MODIS, il devrait avoir les valeurs de NDVI les plus élevées des trois or c'est AVHRR qui les présente. De ce fait, l'évolution temporelle des NDVI est réalisée sur une emprise plus grande avec les classes du SYNMAP simplifié.

## 4.2. Avec le Synergetic Land Cover Product (SYNMAP) sur la moyenne emprise

### 4.2.1. Méthode

Les images en TIFF issue du Synergetic Land Cover Product (SYNMAP) de la zone moyenne emprise sont téléchargées sur le site de la NASA via l'URL : [http://webmap.ornl.gov/wcsdown/dataset.jsp?ds\\_id=10024](http://webmap.ornl.gov/wcsdown/dataset.jsp?ds_id=10024)

La résolution en x et y est modifiée pour s'adapter aux images SPOT-VGT, NOAA-AVHRR GIMMS et MODIS.

Dans le cas des images MODIS qui ont une résolution spatiale de 250 m et 0.00215683 degrés, il est impossible de télécharger une seule image TIFF du fait de la taille importante. Par contre, il est possible de télécharger plusieurs images et construire ensuite une mosaïque avec le logiciel ENVI.

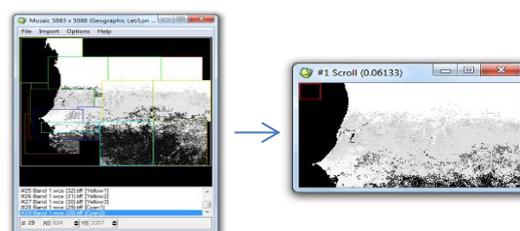


Illustration 31. Création d'une mosaïque d'images du SYNMAP et découpage suivant la taille de l'image MODIS de la moyenne emprise

Les images issues du SYNMAP sont téléchargées en nuances de gris puis colorisées avec les 47 valeurs des comptes numériques en gardant le code couleur du SYNMAP. Les étapes suivantes sont résumées dans le logigramme ci-dessous.

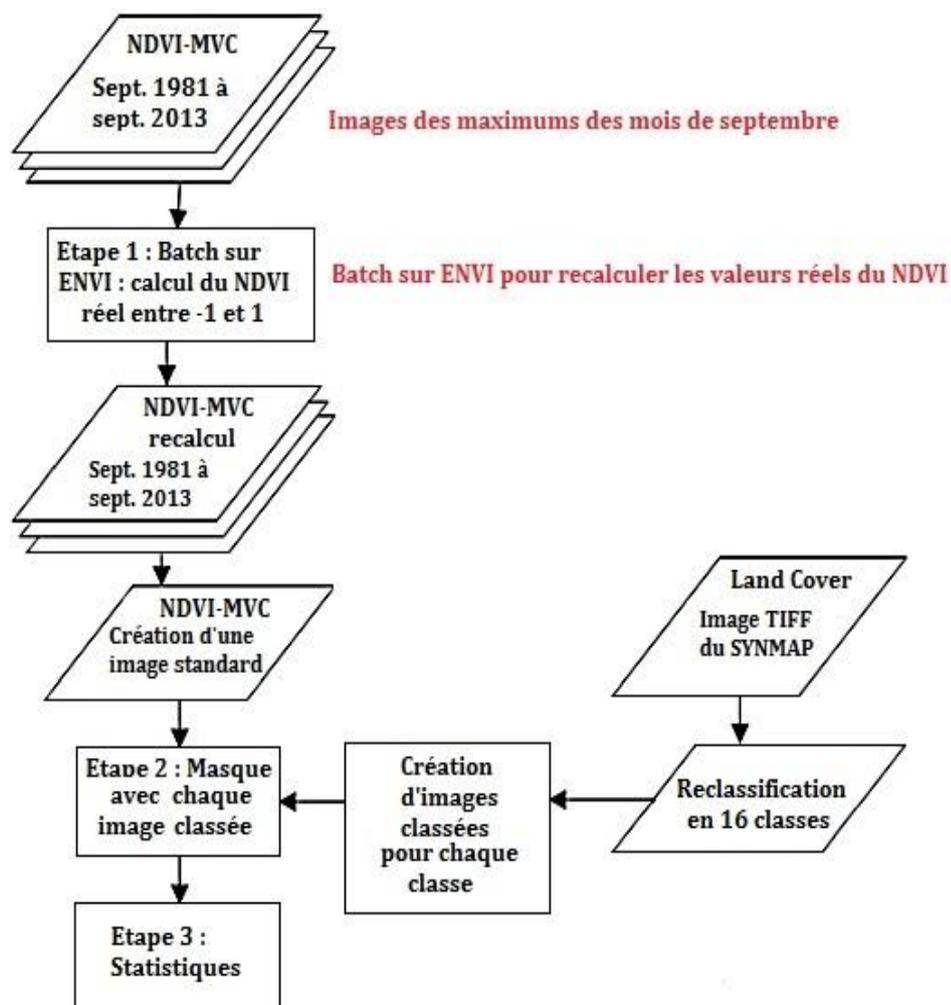


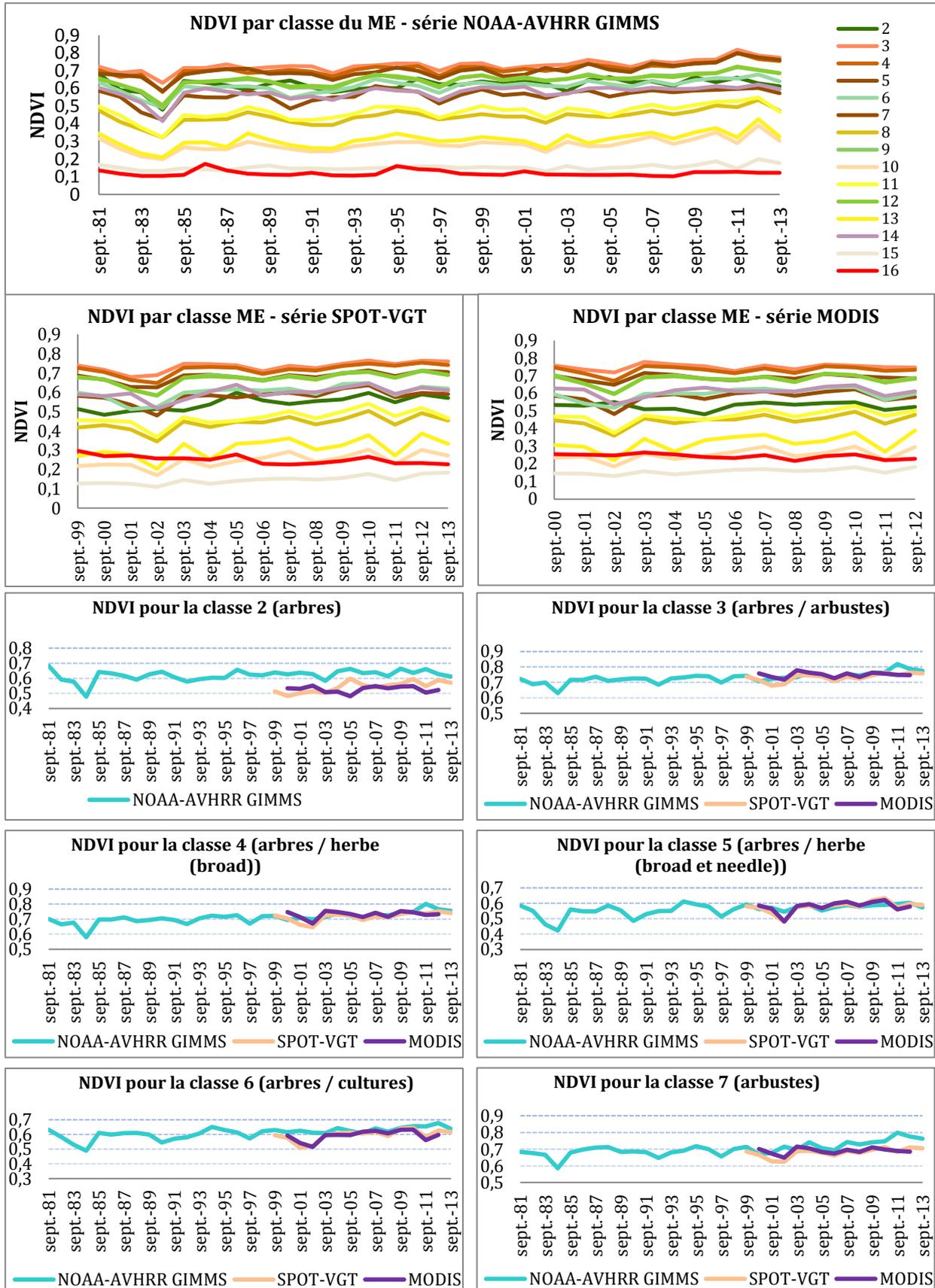
Illustration 32. Logigramme avec les étapes pour aboutir aux statistiques avec des images NOAA-AVHRR GIMMS de 1981 à 2013

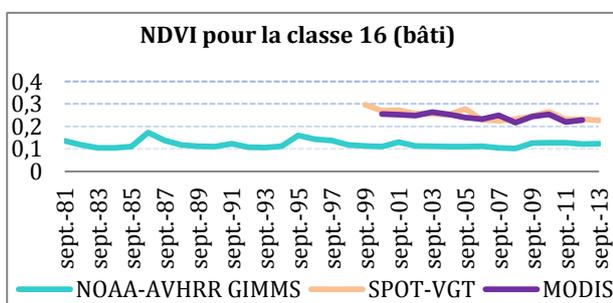
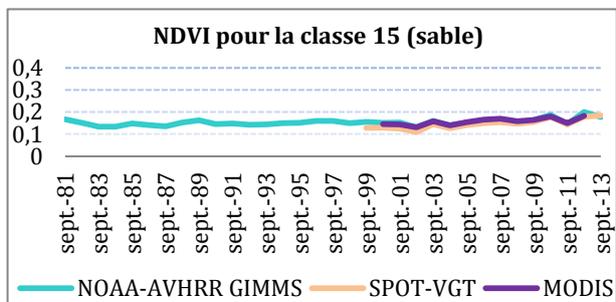
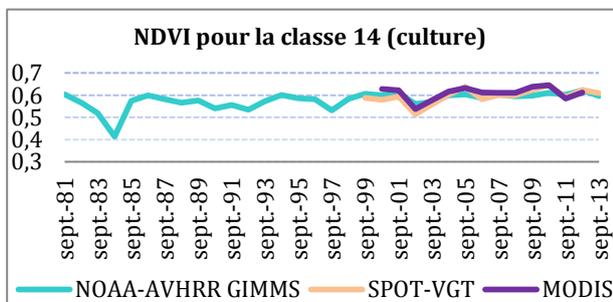
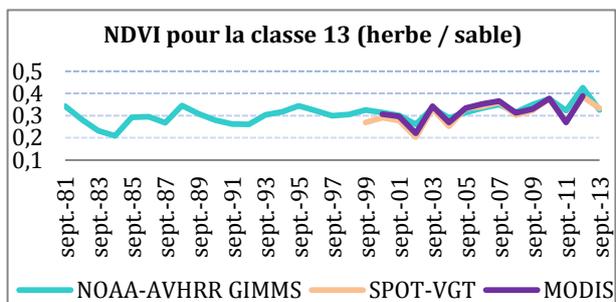
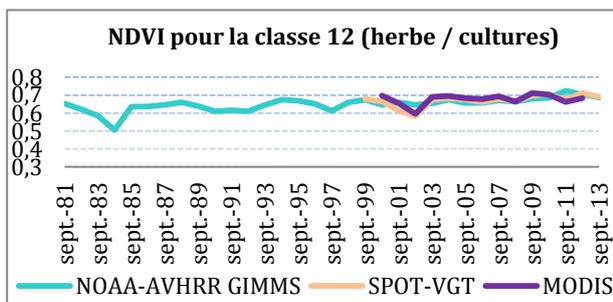
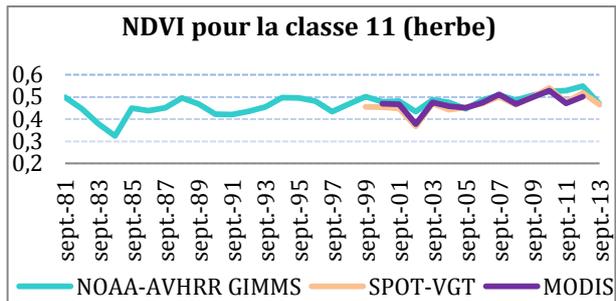
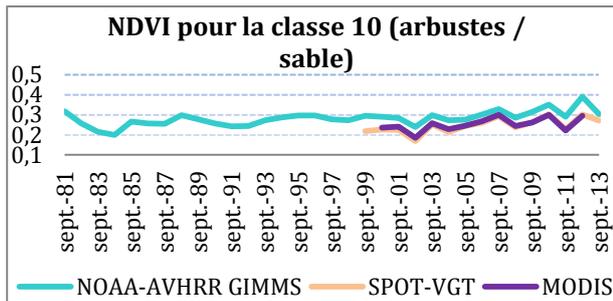
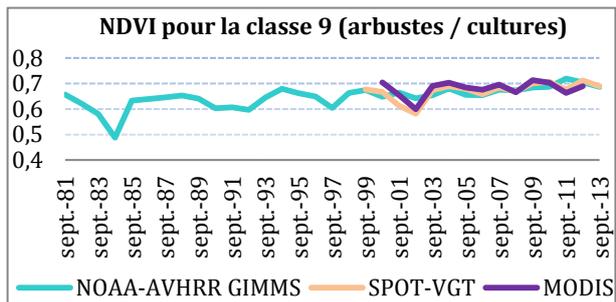
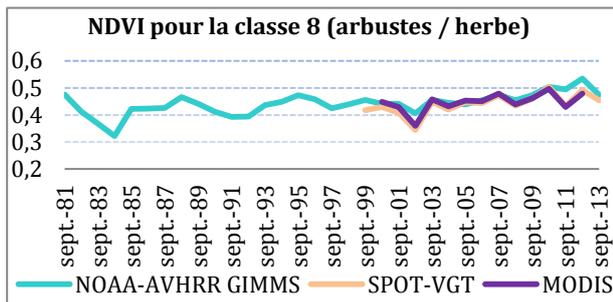
Une reclassification du SYNMAP est effectuée en 16 classes puis les classes de la « density color » sont importées en vecteur (extension .evf) et convertis ensuite en ROI.

Des images classées de chaque classe sont créées à partir de ces ROI et ces images sont appliquées à l'image standard constituée des bandes correspondant aux images des  $NDVI_{max}$  des mois de septembre de 1981 à 2013 pour les images NOAA-AVHRR GIMMS, de 1999 à 2013 pour les images SPOT-VGT S10 NDVI et de 2000 à 2012 pour les images MODIS. Les statistiques sont générées, exportées au format texte et exploitées sous Excel.

## 4.2.2. Résultat

Les résultats obtenus pour les classes du SYNMAP simplifié sur la moyenne emprise avec chaque série temporelle sont présentés ci-après.



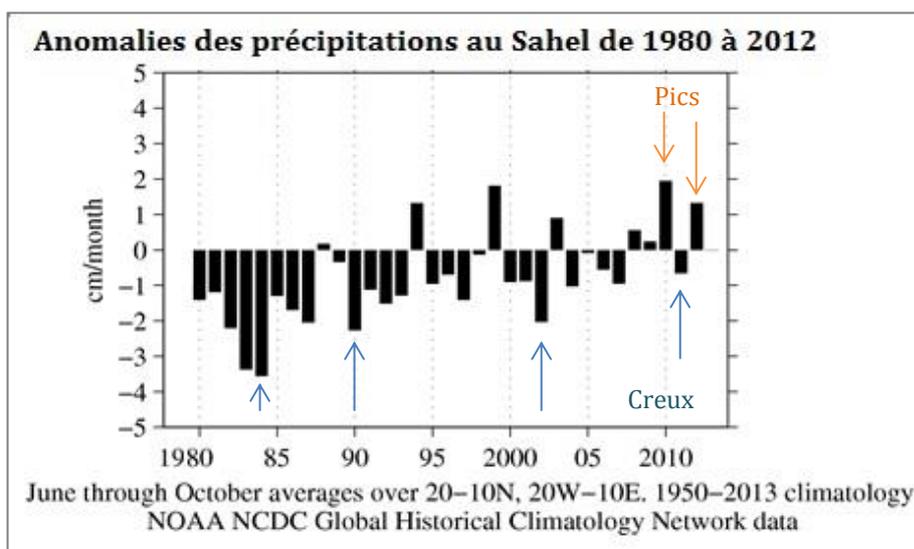


		NOAA-AVHRR GIMMS et MODIS	NOAA-AVHRR GIMMS et SPOT-VGT	SPOT-VGT et MODIS
Classe 2	arbres	0,03	0,19	0,03
Classe 3	arbres / arbustes	0,04	0,44	0,46
Classe 4	arbres / herbe (broad)	0,08	0,47	0,62
Classe 5	arbres / herbe (broad et needle)	0,37	0,48	0,87
Classe 6	arbres / cultures	0,06	0,25	0,81
Classe 7	arbustes	0,01	0,36	0,49
Classe 8	arbustes / herbe	0,53	0,68	0,96
Classe 9	arbustes / cultures	0,08	0,35	0,76
Classe 10	arbustes / sable	0,78	0,84	0,97
Classe 11	herbe	0,66	0,74	0,95
Classe 12	herbe / cultures	0,04	0,31	0,74
Classe 13	herbe / sable	0,76	0,79	0,99
Classe 14	culture	0,57	0,70	0,76
Classe 15	sable	0,85	0,85	0,95
Classe 16	bâti	0,00	0,03	0,35

**Tableau 5. Coefficient de détermination R<sup>2</sup> entre les données NDVI issues des trois séries de 2000 à 2012 pour chaque classe du SYNMAP**

#### 4.2.3. Analyse

On remarque que les courbes fluctuent légèrement avec toutefois des irrégularités en 1984, en 1990, en 1997, en 2002 et 2011 où l'on observe des creux et en 2010 et 2012 où l'on observe des pics. Ces creux et ces pics coïncident avec les anomalies des précipitations au Sahel. Le NDVI et les précipitations sont très bien corrélés pour l'ensemble du Sahel (Anyamba *et al.*, 2014[5], Fensholt *et al.*, 2013[25], San Emeterio *et al.*, 2009[13]).



**Illustration 33. Graphique créé à partir des données climatologiques « NOAA NCDC Global Historical Climatology data »**

Pour certaines classes, l'évolution temporelle des NDVI montre une légère augmentation des valeurs, notamment pour la classe 8 (arbustes/herbe), la classe 10 (arbustes/sable), la classe 11 (herbe) et la classe 13 (herbe/sable).

Les valeurs de NDVI de MODIS sont bien les plus élevées sur la plupart des classes. Pour la majorité des classes, une forte corrélation entre l'évolution diachronique des NDVI issus de MODIS et SPOT-VGT est constatée. Seule l'évolution du NDVI de la classe 2 du SYNMAP reclassifié, correspondant aux arbres, ne présente aucune corrélation pour ces deux séries.

Les résultats sont plus nuancés avec les données NOAA-AVHRR GIMMS. L'évolution diachronique du NDVI montre de faibles corrélations avec les données MODIS (pour 60 % des classes, le coefficient de détermination est inférieure à 0,53) mais de meilleures corrélations s'observent avec les données SPOT-VGT.

La faiblesse des corrélations pour la classe 2 pour les trois séries rend nécessaire d'approfondir l'étude de la zone correspondant à la classe 2. Les pixels de cette classe sont, pour la majorité, localisés dans l'ouest du Sénégal. Les coordonnées du pixel central sont utilisées dans Google Earth pour visualiser la zone.

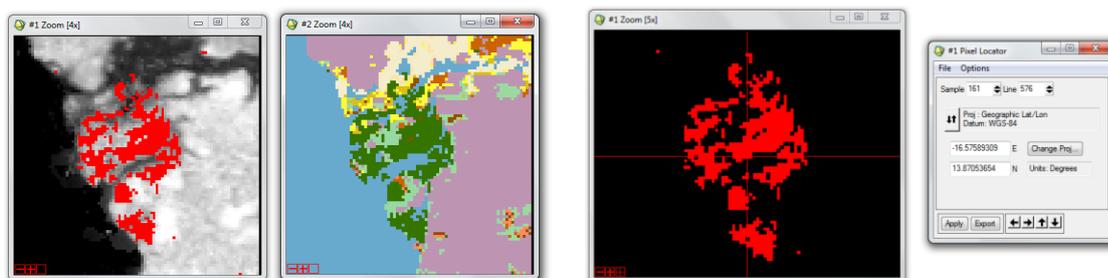


Illustration 34. ROI correspondant à la classe 2 du SYNMAP reclassifié

Il s'avère que cette zone côtière au nord de la Gambie et qui occupe une partie significative du delta du Sine-Saloum soit le Parc National du Delta du Saloum, un labyrinthe marécageux de mangroves et de bolongs. Les images extraites avec le logiciel Google Earth® nous présentent donc une zone non homogène, ce qui pourrait expliquer la faible corrélation des données NDVI pour la classe 2.

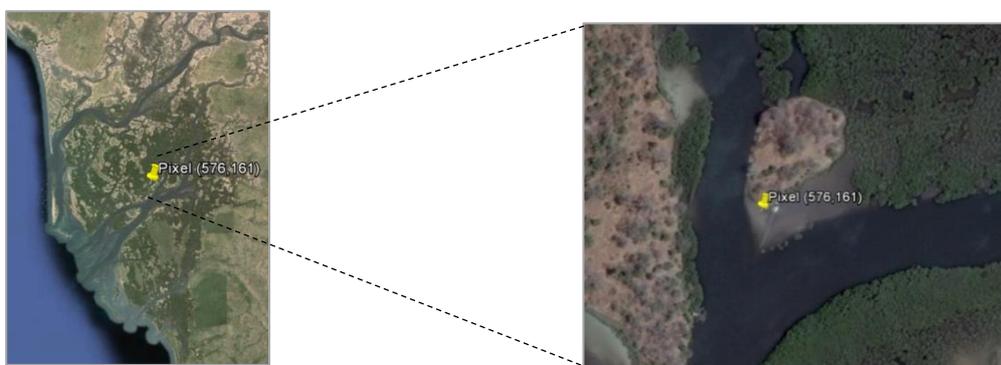


Image 1. Images extraites de Google Earth, juin 2015

## 5. Evolution du NDVI par zone et occupation du sol

### 5.1. Evolution du NDVI par zone

Les membres du projet CERISE ont proposé sept zones d'étude au nord du Sénégal occupées par les rongeurs où se trouvent des points de capture. Ainsi, ils souhaitent observer si une corrélation existe entre rongeurs et NDVI. Pour les sept zones, la même méthode est utilisée à la fois pour l'évolution du NDVI mais aussi pour extraire la production primaire nette de la zone. L'étude de la zone 3D est présentée ci-après et celles des autres zones sont en annexe 6.

#### 5.1.1. Méthode

La méthodologie pour connaître l'évolution temporelle des NDVI sur les différentes zones est résumée dans le logigramme ci-dessous. Des polygones sont créés à partir des coordonnées des zones. Ces polygones sont convertis en vecteurs puis en ROI. Des images classées sont ensuite créées avec ces ROI et elles sont utilisées en masque sur une image standard, comme pour les classes d'occupation du sol en partie 2.3.

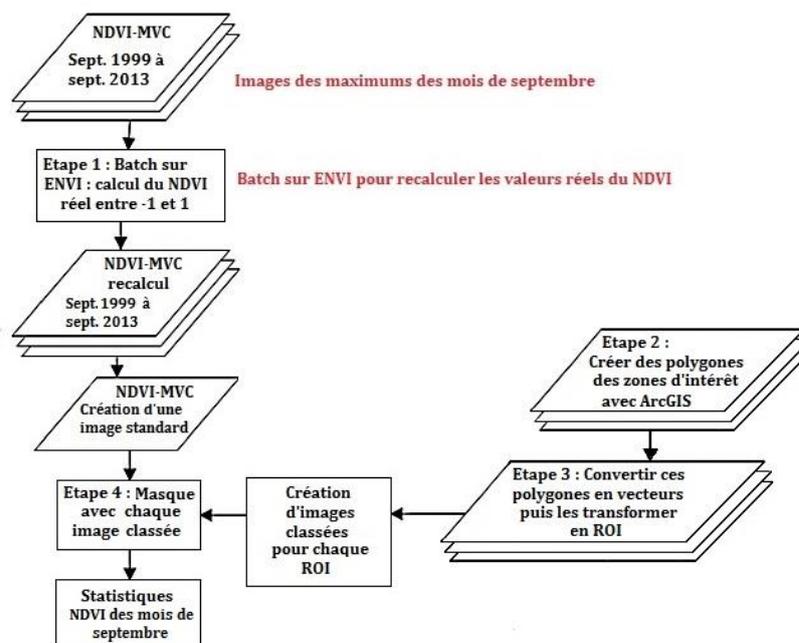


Illustration 35. Méthodologie suivie pour chacune des sept zones avec les images de septembre 1999 à septembre 2013 de SPOT-VGT

Les coordonnées de la zone 3D sont les suivantes :

- 16,496414°N, 14,523983°W
- 16,489750°N, 14,438399°W
- 16,451089°N, 14,441705°W
- 16,459192°N, 14,533281°W



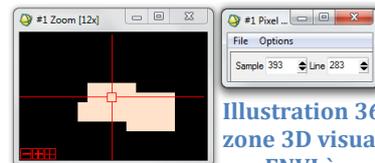
Pour cette zone, l'étude est réalisée avec deux logiciels de traitements d'images différents. Le premier, la version 4.7 d'ENVI, un logiciel de traitement d'images commercialisé par la société EXELIS, est utilisé pour regarder l'évolution temporelle des NDVI sur 15 ans puis comparer, pour les années 1999 à 2013, les cinétiques annuelle et mensuelle de la couverture végétale chlorophyllienne en appliquant la méthodologie de l'illustration 35 avec la série de données de SPOT-VGT.

Le second, TIMESAT, présenté dans la partie 3 est utilisé pour extraire les paramètres phénologiques des pixels de chaque zone (Jönsson et Lars Eklundh (2002), [20]). Son utilisation demande un long investissement. Une partie de l'annexe 4 explicite son utilisation en français et simplifié sous forme d'une note. L'étude avec cet outil est réalisée à différentes résolutions, 250 m avec la série MODIS, 1 km avec la série SPOT-VGT et 8 km avec la série NOAA-AVHRR GIMMS.

La première étape est de rechercher les pixels dans chaque image. Pour ce faire rapidement, un script Python a été développé, il transcrit fidèlement le script de Nicolas Delbart développé sous MATLAB. Il est proposé en page 8 de l'annexe 4, il permet de dimensionner et délimiter très rapidement, en colonnes et en lignes, une zone d'étude dans une image en renseignant les coordonnées géographiques de la zone et de l'image.

**Etude avec la série SPOT-VGT - 39 pixels**

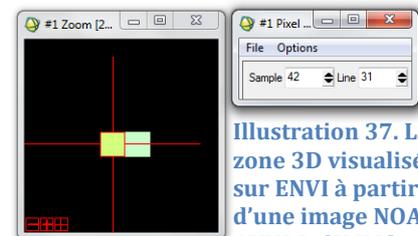
ligne 282, colonnes 391 à 395 ; ligne 283, colonnes 391 à 399 ; ligne 284, colonnes 390 à 399 ; ligne 285, colonnes 390 à 399 ; ligne 286, colonnes 395 à 399



**Illustration 36. La zone 3D visualisée sur ENVI à partir d'une image SPOT-VGT**

**Etude avec la série NOAA-AVHRR GIMMS - 2 pixels : (31,42), (31,43)**

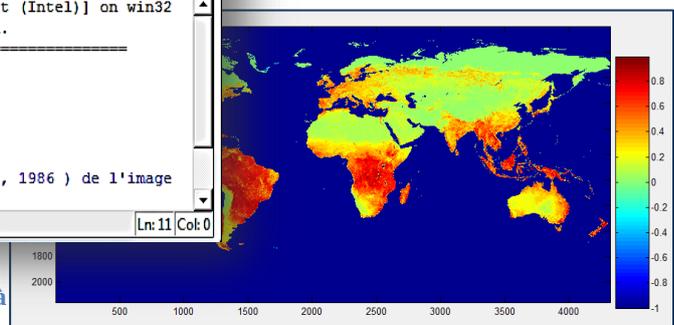
Les coordonnées respectives des deux pixels sont -14.56483347° E, 16.52840010° N et -14.48150014° E, 16.52840010° N. Pour l'étude sur TIMESAT, la série d'images NDVI NOAA-AVHRR GIMMS est retournée et pivotée mais non découpée, chaque image contient 4320 colonnes et 2160 lignes. Ainsi, il est nécessaire de retrouver les deux pixels dans l'image initiale. Un script Python effectue cette recherche, soit la ligne 883 et les colonnes 1986 et 1987.



**Illustration 37. La zone 3D visualisée sur ENVI à partir d'une image NOAA-AVHRR GIMMS**

```

Python 2.7.9 Shell
File Edit Shell Debug Options Windows Help
Python 2.7.9 (default, Dec 10 2014, 12:24:55) [MSC v.1500 32 bit (Intel)] on win32
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>> ===== RESTART =====
>>>
colonne depart = 1986
colonne fin = 1987
ligne depart = 883
ligne fin = 883
le pixel( 1 , 1 ) de la zone extraite correspond au pixel( 883 , 1986 ) de l'image
NOAA-AVHRR GIMMS initiale
Ln: 11 Col: 0
  
```



**Illustration 38. A gauche, script Python développé pour dimensionner et délimiter une zone d'étude et à droite, image NOAA-AVHRR GIMMS non découpée**

### Etude avec la série MODIS - 608 pixels

La zone 3 D contient 748 pixels sur l'image MODIS. Avec TIMESAT, nous allons étudier une zone rectangulaire pour plus de commodité, elle s'étend du pixel (1163,1612) au pixel (1178,1649). Les coordonnées du rectangle sont -14.52620885°E, 16.49299496°N et -14.44640614°E, 16.46064251°N. D'après le script Python ci-dessous, le rectangle extrait comporte 38 colonnes et 16 lignes soit 608 pixels.

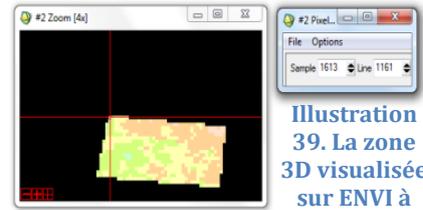


Illustration 39. La zone 3D visualisée sur ENVI à partir d'une image MODIS

Une fois les pixels repérés dans chacune des images, la seconde étape consiste à lancer les algorithmes pour extraire la « small integral » ou petite intégrale en français, l'un des paramètres phénologiques. Il correspond à l'activité de la végétation saisonnière.

### 5.1.2. Résultat

Les résultats de l'étude avec le logiciel ENVI à partir des images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (une image mensuelle pendant 15 ans correspondant au maximum mensuel de NDVI) sont présentés ci-dessous.

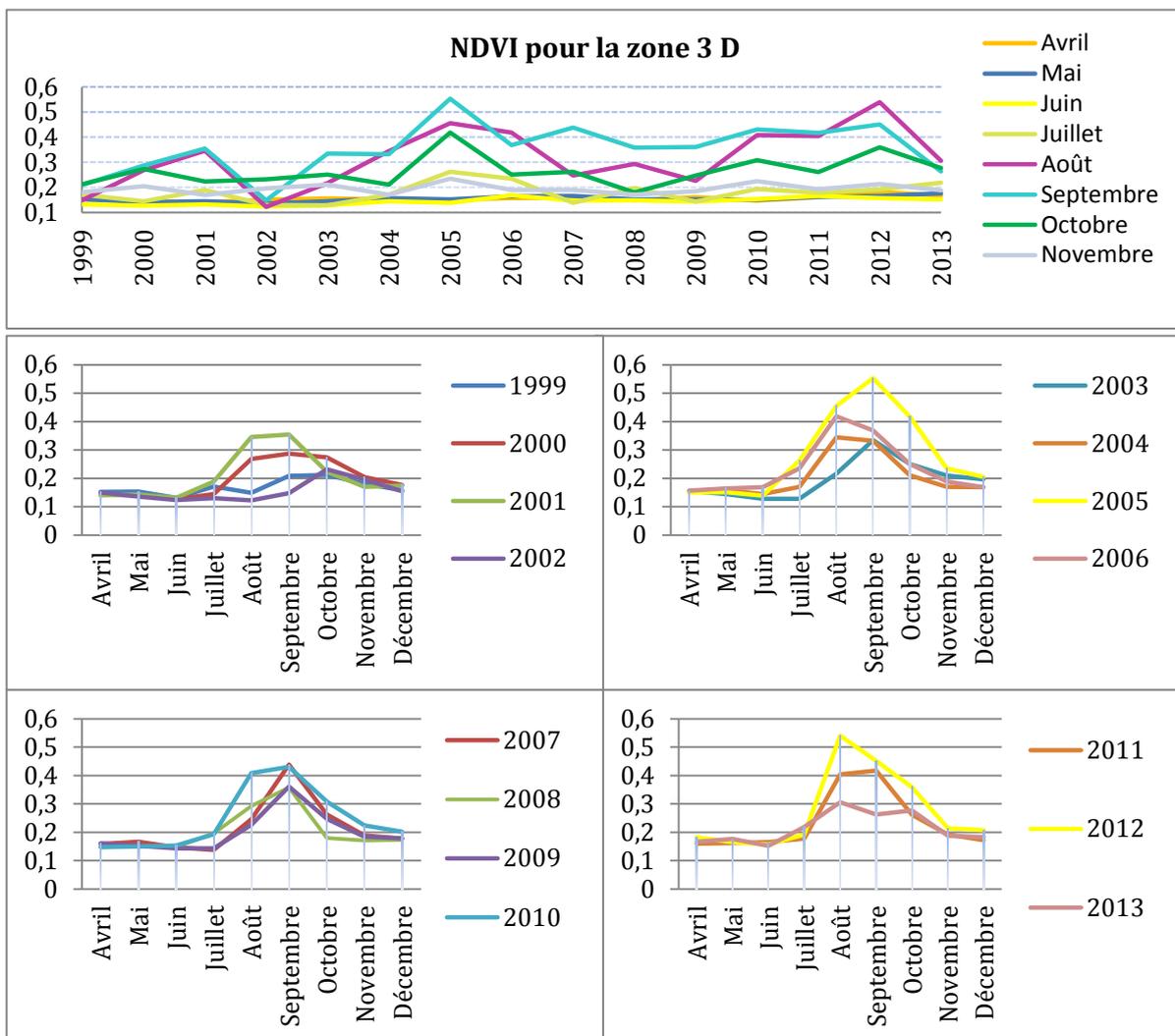


Illustration 40. Evolution temporelle de la moyenne des NDV<sub>max</sub> de la zone 3D

Les résultats de l'étude avec le logiciel TIMESAT à partir des moyennes mensuelles du NDVI de six pixels de la zone 3D de janvier 2001 à décembre 2011 (11 ans) avec 396 images SPOT-VGT, 253 images MODIS et 264 images NOAA-AVHRR GIMMS sont présentés ci-après.

Pour les images MODIS, la moyenne des images deux par deux ne correspond pas forcément au mois désiré. La résolution temporelle étant de 16 jours, on observe un décalage (exemple : pour la période 10 du 25 mai au 9 juin, l'image couvre la fin mai et le début juin).

MODIS Période	Julian Day Range	Calendar Day (regular) '01,'02,'03,'05,'06,'07,'09,'10	Calendar Day (leap) '00,'04,'08,'12
1	1- 16	Jan 01 - 16	Jan 01 - 16
2	17 - 32	Jan 17 - 01 Feb	Jan 17 - 01 Feb
3	33 - 48	Feb 02 - Feb 17	Feb 02 - Feb 17
4	49 - 64	Feb 18 - 05 Mar	Feb 18 - 04 Mar
5	65 - 80	Mar 06 - 21	Mar 05 - 20
6	81 - 96	Mar 22 - 06 Apr	Mar 21 - 05 Apr
7	97 - 112	Apr 07 - 22	Apr 6 - 21
8	113 - 128	Apr 23 - 08 May	Apr 22 - 07 May
9	129 - 144	May 09 - 24	May 08 - 23
10	145 - 160	May 25 - 09 Jun	May 24 - 08 Jun
...etc	...etc	...etc	...etc

Tableau 6. Calendrier des images MODIS

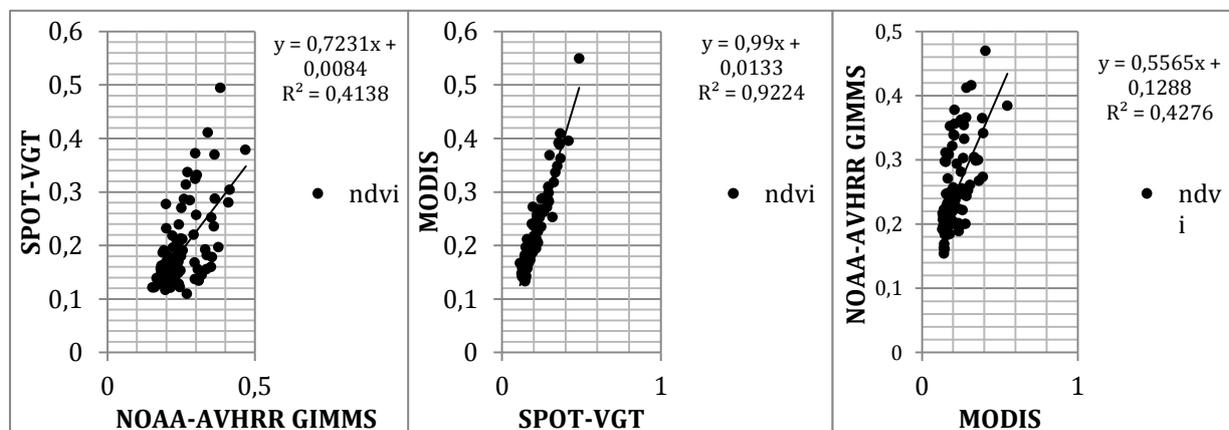
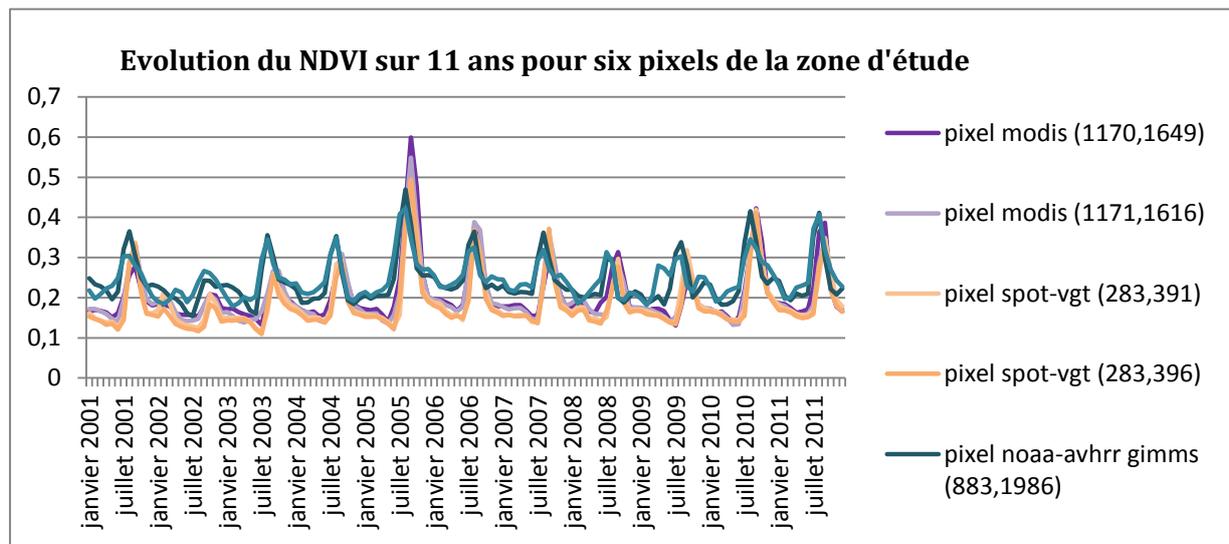


Illustration 41. Courbes lissées de l'évolution temporelle du signal pour six pixels de la zone 3D, en haut et corrélation entre les données NDVI des différents capteurs, en bas

La petite intégrale est calculée automatiquement avec TIMESAT à partir des 292 images MODIS, des 540 images SPOT-VGT et des 792 images NOAA-AVHRR GIMMS (sans effectuer de moyenne). Les résultats sont présentés sur 21 ans avec les images SPOT-VGT et NOAA AVHRR GIMMS et 11 ans avec les images MODIS.

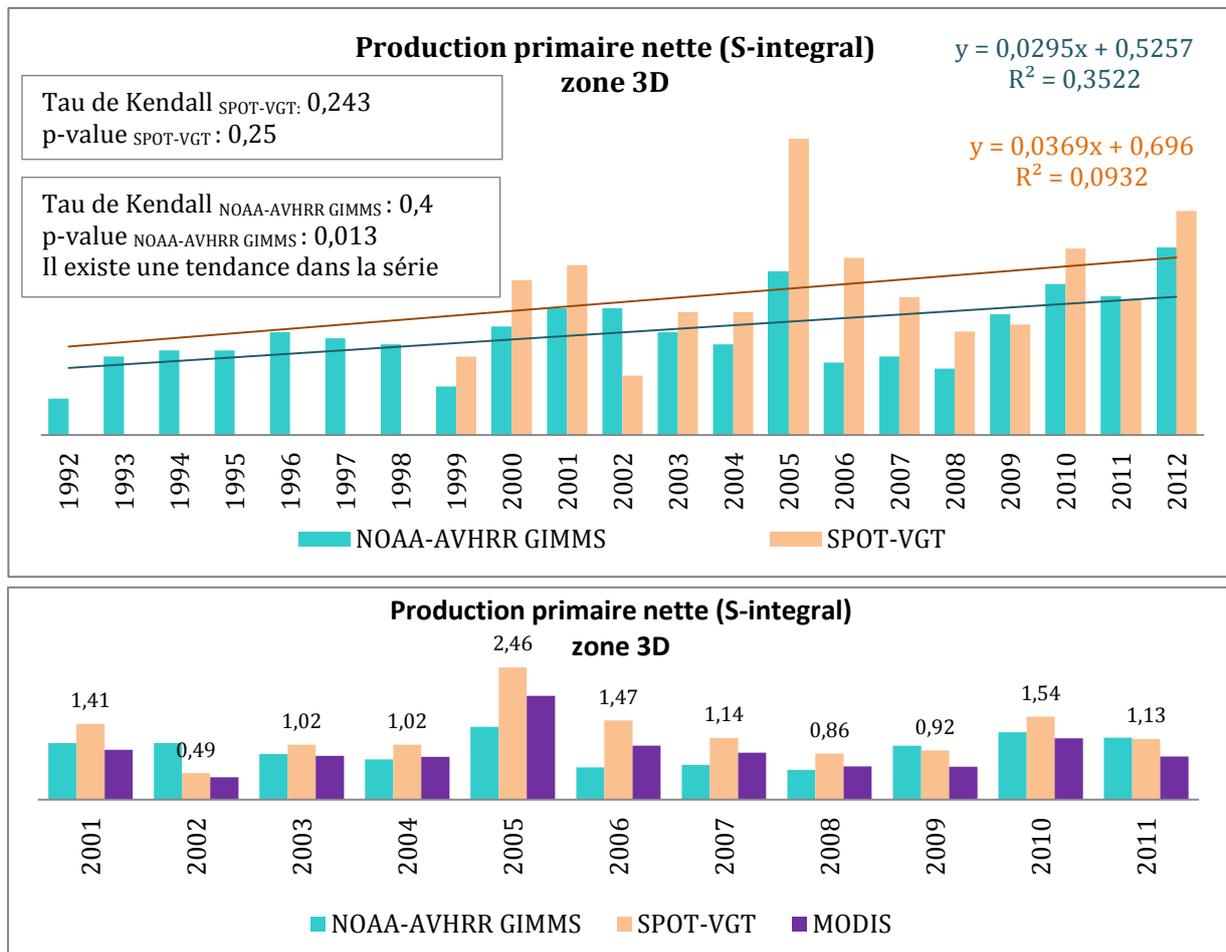


Illustration 42. Small integral extraite de TIMESAT de 1992 à 2012 avec les données SPOT-VGT et NOAA-AVHRR GIMMS et de 2001 à 2011 en intégrant les données de MODIS

### 5.1.3. Analyse

Les courbes de l'illustration 40 décrivent les principaux stades phénologiques : la croissance, la maturité et la sénescence. Elles permettent de comparer pour les années 1999 à 2013, la cinétique mensuelle de la couverture végétale chlorophyllienne, un pic de végétation est observé en août ou en septembre sauf en 2002 où ce pic s'est produit en octobre.

Une fois les données NDVI acquises, une comparaison avec les données sur la capture de rongeurs pour les années 2008 à 2011 en saison sèche a été effectuée, il s'avère qu'il en ressort une absence de corrélation avec le NDVI quelle que soit la zone d'étude. Ci-contre, les courbes de la capture de rongeurs en violet et le NDVI de la saison sèche en orange.

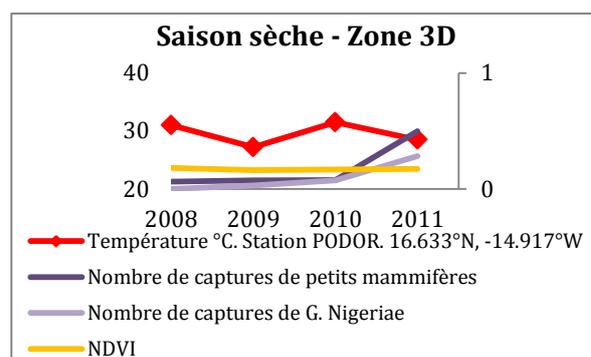
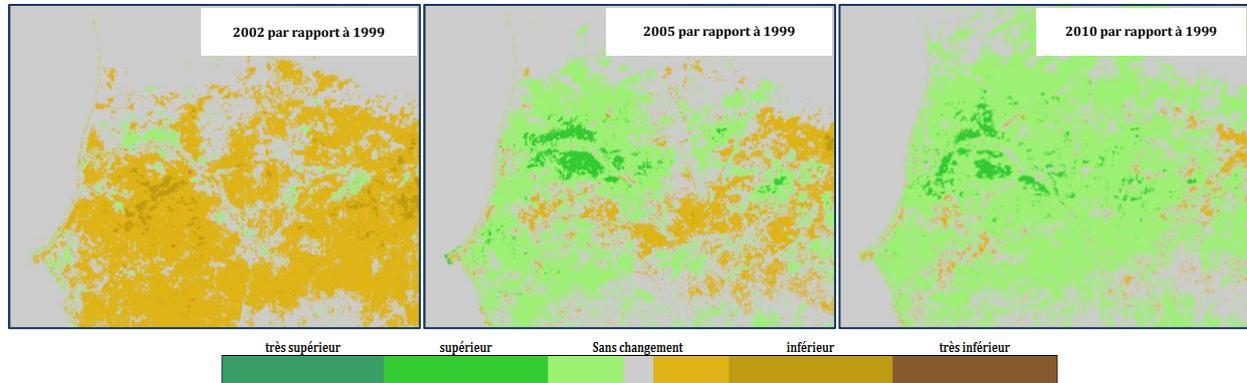


Illustration 43. Evolution temporelle du NDVI et captures de rongeurs entre 2008 et 2011 durant la saison sèche

On peut constater que la production primaire nette (small integral) a été importante en 2005 et 2010 sur la zone 3D. Les cartes des changements présentées ci-après corroborent ce fait. Ces cartes sont issues du logiciel WinDisp, elle représente la différence entre les images des NDVI de 2002, puis 2005 et enfin 2010 par rapport à l'année 1999. Elles sont présentées en annexe 7.



## 5.2. Occupation du sol

### 5.2.1. Méthode

L'utilisation de la couverture terrestre est importante pour la modélisation de scénarios. Les différents produits d'occupation du sol, présentés partie 2.3., étant difficiles à comparer sur la grande emprise, une comparaison est effectuée sur les sept zones d'étude située au nord du Sénégal.

Dans le cadre de cette étude, les images TIFF de chaque produit sont projetées à la projection de la plaque carrée WGS84 avec une taille de pixel carré  $1/112^\circ$  soit  $0,00892857^\circ$  avec l'application ArcGIS afin de comparer les mêmes pixels. Ensuite, les zones sont extraites avec le menu « Extract by mask » de cette application afin de récupérer la distribution des pixels dans les différentes classes d'occupation du sol.

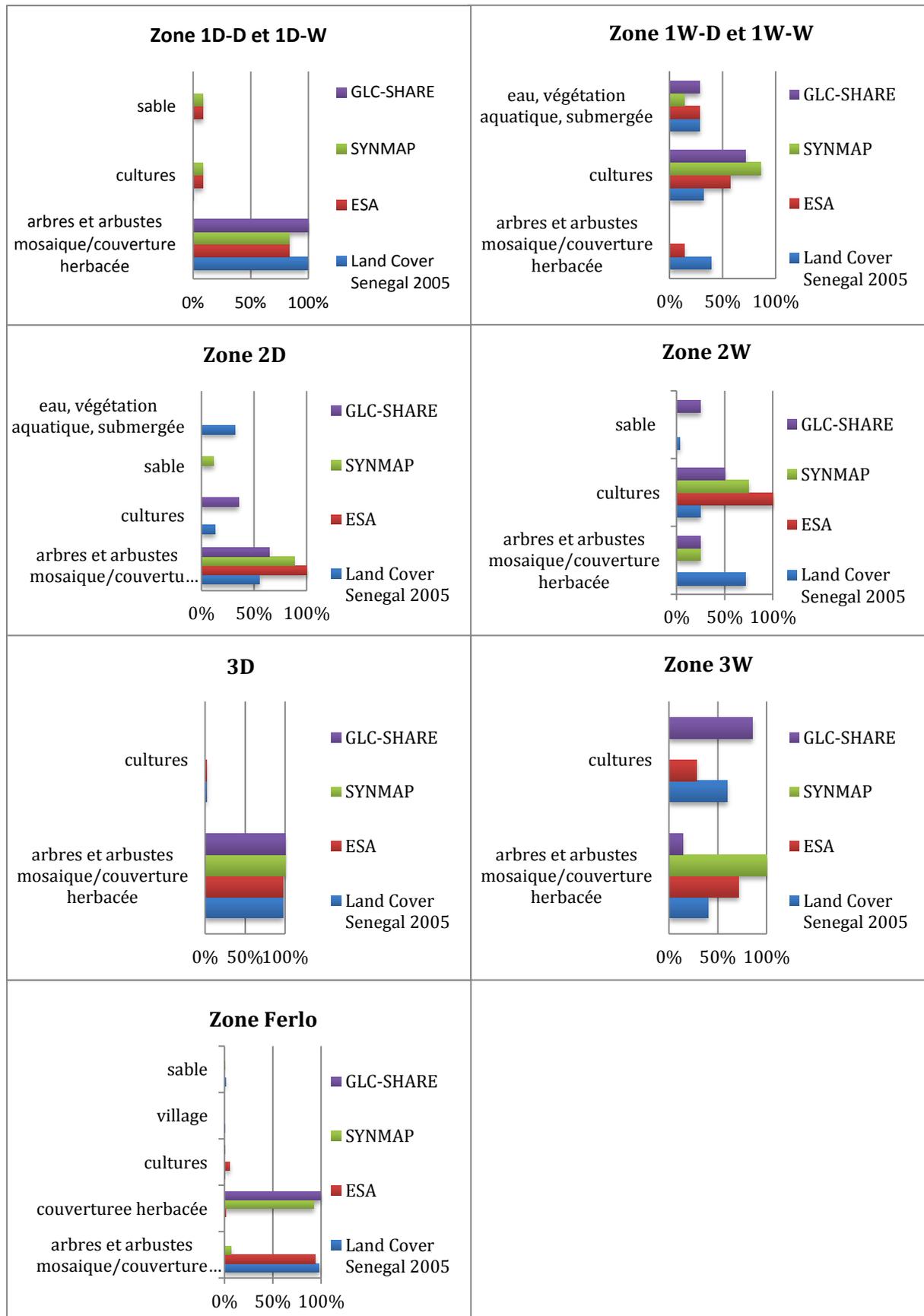
La cartographie avec les différents produits est présentée ci-après. Le produit CONSENSUS n'est que visuellement comparé, les cartes sont dans un nuancé de bleu pour les prévalences faibles à rouge pour celles élevées.

La distribution des types de couverture du sol, à partir du Land Cover 2005 agrégé en 21238 polygones pour chacune des zones, est présentée en annexe 5. Le Senegal Land Cover 2005 n'a volontairement pas été agrégé en dix classes pour garder les détails exactes de la couverture du sol.

Pour les classes du CONSENSUS, seules les classes présentant des valeurs de pixels supérieures à 0 dans au moins une des zones ont été conservées. Il s'agit de la classe 4 : mixtes, autres arbres ; de la classe 5 : arbustes ; de la classe 6 : végétation herbacée, de la classe 7 : végétation gérée et cultivée et de la classe 11 : sol nu.



## 5.2.2. Résultat



### 5.2.3. Analyse

Hormis les zones 1D-D / 1D-W et 3D, les résultats montrent des divergences.

Pour le Ferlo, par exemple, la plus grande des zones (587607 hectares), couverte en majorité par un tapis herbacée avec des arbres et arbustes épars, deux produits ne repèrent qu'une couverture herbacée, il s'agit du GLC-SHARE et du SYNMAP (seulement 7,33 % d'arbustes). CONSENSUS y indique de la végétation gérée et cultivée. En effet sur la carte de la classe 7 page 41, de nombreux pixels colorés en rouge, dont la prévalence est supérieure à 75, sont présents dans le polygone correspondant au Ferlo.

Par contre, on peut constater qu'un des produits à tendance à se rapprocher de celui du Senegal Land Cover 2005, c'est le produit de l'Agence Spatiale Européenne, le CCI-ESA.

Le SYNMAP est le seul produit à ne pas classer de pixels dans « cultures » pour la zone 3W pourtant les pourcentages de pixels dans cette classe pour les autres produits sont élevés.

En zone 2D, le Senegal Land Cover 2005 repère des pixels avec de la végétation aquatique submergée contrairement aux autres produits.

Cette étude nous présente donc de fortes divergences entre les produits.

## 6. Discussion et conclusion

La partie importante du stage a concerné l'exploitation de séries temporelles longues. L'utilisation de plusieurs logiciels en mode automatique tels que CROP-VGT, WinDisp, ENVI et ArcGIS a été nécessaire ainsi que la prise en main de TIMESAT. Des pré-formatages des fichiers en amont puis des traitements par lot (en batch ou macro) ainsi que des scripts en langages Python et IDL ont donc été réalisés grâce aux bases acquises durant les cours théoriques de programmation du master. Ces scripts sont annexés à ce mémoire. Le langage Python m'a été d'une aide précieuse pour télécharger les fichiers, pour créer des listes, des centaines de fichiers HDR et pour repérer des pixels dans des images aux nombreuses lignes et colonnes.

Ce stage m'a donc donné l'occasion d'approfondir mes bases sur l'application ENVI, notamment en découvrant son fonctionnement en mode « batch » et il m'a permis de découvrir des logiciels performants de traitements d'images.

Plus de 7600 images ont été transmises dans le cadre de la modélisation, les traitements sur les images ont été réalisés sur SPOT-VGT (maximum, minimum et moyenne) car les images de ce capteur ont montré de très bonne corrélation avec les images MODIS.

La corrélation n'a pas été observée entre la dynamique des populations de rongeurs et l'évolution du NDVI dans les différentes régions d'intérêt.

Une autre partie du stage a concerné l'étude de l'occupation du sol sur les régions d'intérêt à partir des produits existants. S'il faut choisir entre le Synergetic Land Cover Product (SYNMAP), le Global Land Cover SHARE (GLC-SHARE) et le Global 1km consensus Land Cover map (CONSENSUS) pour la grande emprise, c'est le SYNMAP qui est choisi. En effet, même s'il présente une divergence avec les autres produits sur la zone 3W, la comparaison avec CONSENSUS s'est montrée très positive. Le produit de l'Agence Spatiale Européenne, le CCI-ESA, serait à tester sur la grande emprise car sur les petites zones d'emprise, les résultats ont tendance à se rapprocher de ceux du Senegal Land Cover 2005. Ce produit a cependant montré des différences curieuses entre la carte de 2000 et 2005 sur le Sénégal.

L'étude multicapteurs de l'évolution du NDVI nous a permis de constater une tendance à l'augmentation de l'indice de végétation depuis les années 1990 sur la moyenne et grande emprises. Ce verdissement, constaté dans la plupart des études menées en Afrique de l'Ouest, ne s'accompagne pas d'une augmentation significative de la pluviométrie. D'après une équipe du CIRAD, elle pourrait résulter de la dynamique de la végétation naturelle et non d'un changement dans l'utilisation des sols comme cela est souvent mis en avant.

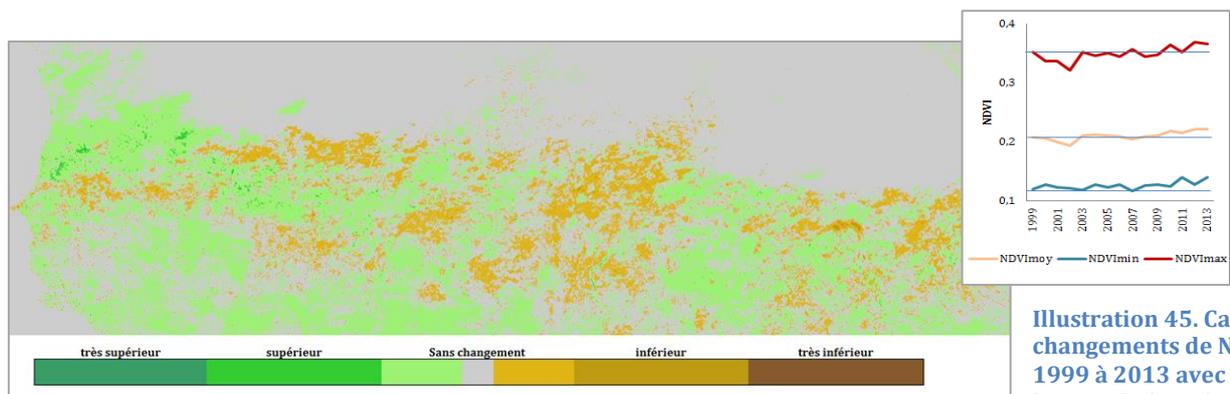


Illustration 45. Carte des changements de NDVI de 1999 à 2013 avec des images SPOT-VGT et évolution des NDVI sur la grande emprise (à droite)

## Bibliographie

---

- [1]Alain R. Poulet (1981). "Pullulation de rongeurs dans le Sahel". Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Naturelles, Université de Paris VI.
- [2]Pierre Hiernaux, Henry Noël Le Houérou (2006). "Les parcours du Sahel". *Sécheresse* 2006 ; 17 (1-2) : 51-71.
- [3]Budde *et al.* (2004). "Assessing land cover performance in Senegal, West Africa using 1-km integrated NDVI and local variance analysis".
- [4]Sylvestre Dasylyva (2014). "Gestion durable des eaux pluviales dans les villes africaines". Editions Harmattan.
- [5]Assaf Anyamba, Jennifer L. Small, Compton J. Tucker and Edwin W (2014). "Thirty-two Years of Sahelian Zone Growing Season Non-Stationary NDVI3g Patterns and Trends". *Remote sensing*, ISSN 2072-4292.
- [6]Panthou G. (2013). "Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'ouest et de leur évolution au cours des 60 dernières années". Thèse de doctorat de l'Université de Grenoble, p282.
- [7]Valéry Gond (1995). "Contribution des données NOAA-AVHRR à la caractérisation des savanes africaines". Thèse de Doctorat d'Etat en Géographie et Aménagement, Université de Toulouse.
- [8]Pauline Dusseux (2014). "Exploitation de séries temporelles d'images satellites à haute résolution spatiale pour le suivi des prairies en milieu agricole. Thèse. Université de Rennes 2.
- [9]A. Viña *et al.* (2011). "Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote Sens. Environ.* 115(12), 3468–3478.
- [10]C.J. Tucker (1979). "Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring vegetation". *Remote Sensing of Environment*, vol. 8, no. 2, pages 127–150, 1979.
- [11]L. M. Montandon et E. E. Small (2008). "The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI". *Remote Sens. Environ.* 112(4), 1835–1845.
- [12]Fontana, F., Rixen, C., Jonas, T., Aberegg, G., & Wunderle, S. (2008). "Alpine grassland phenology as seen in AVHRR, VEGETATION, and MODIS NDVI time series—a comparison with in situ measurements. *Sensors*", 8(4), 2833–2853.
- [13]José Luis San Emeterion, Bernard Lacaze et Catherine Mering (2009). "Détection des changements de la couverture végétale au Sahel à partir des données NDVI et précipitation". *Téledétection*, 2012, Editions des archives contemporaines, Paris, 9 pages.
- [14]S. Bontemps, M. Boettcher, C. Brockmann, G. Kirches, C. Lamarche, J. Radoux, M. Santoro, E. Van Bogaert, U.Wegmüller, M. Herold, F. Achard, F. Ramoino, O. Arino, P. Defourny (2015). "Multi-year global land cover mapping at 300 m and Characterization for climate modelling: achievements of the Land cover component of the ESA Climate Change Initiative". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-7/W3, 2015. 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 11–15 May 2015, Berlin, Germany.
- [15]Steffen Fritz *et al.*, (2011). "Highlighting continued uncertainty in global land cover maps for the user community". *Environmental Research Letters* Volume 6 Number 4.
- [16]Martin Jung, Kathrin Henkel, Martin Herold, Galina Churkina (2006). "Exploiting synergies of global land cover products for carbon cycle modeling".

- [17]Mao-Ning Tuanmu et Walter Jetz (2014). "A global 1-km consensus land-cover product for biodiversity and ecosystem modelling". *Global Ecology and Biogeography* (2014) 23, 1031-1045.
- [18] C. Ottlé, J. Lescure, F. Maignan, B. Poulter, T. Wang et N. Delbart (2013). "Use of various remote sensing land cover products for plant functional type mapping over Siberia".
- [19]René Gommès, Jürgen Grieser, Michele Bernardi (2004). "FAO agroclimatic databases and mapping tools.
- [20]Per Jönsson et Lars Eklundh (2002). "Seasonality Extraction by Function Fitting to Time-Series of Satellite Sensor Data Using earth observation-based dry season NDVI trends for assessment of changes in tree cover in the Sahel".
- [21]Per Jönsson et Lars Eklundhc (2004). "TIMESAT—a program for analyzing time-series of satellite sensor data".
- [22]Stéphanie Horion, Rasmus Fensholt, Torbern Tagesson et Andrea Ehammer (2014). "Using earth observation-based dry season NDVI trends for assessment of changes in tree cover in the Sahel".
- [23]Mamadou Adama Sarr, Bernard Lacaze (2008). "Caractérisation de la dynamique de la végétation en Afrique de l'Ouest : comparaison des indices NDVI de MSG-SEVIRI, SPOT-VEGETATION et NOAA-AVHRR (exemple du Ferlo, Sénégal)". Texte issu d'une communication au colloque « Météosat Seconde Génération : un nouvel outil de suiv.. 2008. <halshs-00260971>.
- [24]Pericles Toukiloglou (2007). "Comparison of AVHRR, MODIS and VEGETATION for land cover mapping and drought monitoring at 1 km spatial resolution".
- [25]Fensholt, R., Rasmussen, K., Kaspersen, P. S., Huber, S., Horion, S. M. A. F et Swinnen, E. (2013). "Assessing land degradation/recovery in the African Sahel from long-term earth observation based primary productivity and precipitation relationships". *Remote Sensing*, 5(2), 664-686, 10.3390/rs5020664.

## Liste des illustrations

---

Illustration 1. Récapitulatif des attendus en termes de forçage environnemental, Jean Le Fur, projet CERISE .....	7
Illustration 2. Zones grande emprise (de 10° à 21° N et de 18° W à 20° E) et moyenne emprise (de 13,5° à 19° N et de 18° à 9° W) et sept zones au nord du Sénégal.....	8
Illustration 3. Comparaison du paysage en saison sèche à gauche et saison humide à droite (Budde <i>et al.</i> ,2004 [3]).....	9
Illustration 4. Carte des Isoyètes (Anyamba, 2014 [5]).....	9
Illustration 5. Pluviométrie de l'année 2013 sur la grande emprise .....	9
Illustration 6. Données climatiques issues de NOAA NCDC Global Historical Climatology Network data, moyennes de juin à octobre de 1950 à 2013 de 10 ° à 20° N et de 20° W à 10° E.....	10
Illustration 7. Moyenne des températures de janvier à décembre pour 44 points situés entre les latitudes 13° et 20° N et 3,75 W à 17° E. Données issues de l'East Anglia Climate Research Unit (CRU) téléchargées sur l'application Appli-Clim .....	10
Illustration 8. Source : FAO. Données agroclimatologiques, Rome, 1987 .....	11
Illustration 9. Localisation des sept sites d'étude (Sénégal) .....	11
Illustration 10. Extrait de la carte pédologique du Sénégal publiée en 1965. IRD. ....	12
Illustration 11. Jensen 2000 .....	13
Illustration 12. Images Landsat utilisées.....	14
Illustration 13. Senegal Land .....	15
Illustration 14. Résultats de l'analyse des changements au Sénégal, entre 1990 et 2005.....	15
Illustration 15. Images issues du ESA Climate Change Initiative-Land Cover project 2014.....	16
Illustration 16. Distribution des types de couvertures de sol du Sénégal. Données issues de l'ESA .....	16
Illustration 17. Différences entre les cartes de 2010 et 2000.....	17
Illustration 18. Discordance entre les produits MODIS v.5 et GlobCover 2005 pour les zones cultivées. (Fritz <i>et al.</i> , 2011 [15]).....	17
Illustration 19. Légende du SYNMAP .....	18
Illustration 20. Caractéristiques des quatre produits d'occupation du sol utilisés pour le Global 1km consensus (Mao-Ning Tuanmu et Walter Jetz, 2014 [17]).....	19
Illustration 21. Tentative d'harmonisation des légendes des différents produits .....	20
Illustration 22. Extraction de la ligne 9 du tableau CONSENSUS / GLC-SHARE page 5 de l'annexe 2 .....	22
Illustration 23. Cartes d'occupation du sol avec les produits SYNMAP reclassifié, GLC-SHARE et CONSENSUS.....	22
Illustration 24. Exemple d'image générée par WinDisp.....	23
Illustration 25. Etapes pour la préparation des images SPOT-VGT .....	23
Illustration 26. Figure extraite du guide utilisateur de TIMESAT.....	24
Illustration 27. Courbe de l'évolution du NDVI d'un pixel avec le filtre Savitsky-Golay .....	24
Illustration 28. Courbe de l'évolution du NDVI d'un .....	25
Illustration 29. Extraction de la classe « forêt » du Senegal Land Cover Product 2005 agrégé en dix classes .....	25
Illustration 30. Méthodologie pour extraire l'évolution diachronique du NDVI pour chaque classe du Senegal Land Cover 2005 agrégé .....	26
Illustration 31. Création d'une mosaïque d'images du SYNMAP et découpage suivant la taille de l'image MODIS de la moyenne emprise.....	28
Illustration 32. Logigramme avec les étapes pour aboutir aux statistiques avec des images NOAA-AVHRR GIMMS de 1981 à 2013 .....	29
Illustration 33. Graphique créé à partir des données climatiques « NOAA NCDC Global Historical Climatology data » .....	32
Illustration 34. ROI correspondant à la classe 2 du SYNMAP reclassifié.....	33
Illustration 35. Méthodologie suivie pour chacune des sept zones avec les images de septembre 1999 à septembre 2013 de SPOT-VGT .....	34
Illustration 36. La zone 3D visualisée sur ENVI à partir d'une image SPOT-VGT .....	35
Illustration 37. La zone 3D visualisée sur ENVI à partir d'une image NOAA-AVHRR GIMMS.....	35
Illustration 38. A gauche, script Python développé pour dimensionner et délimiter une zone d'étude et à droite, image NOAA-AVHRR GIMMS non découpée .....	35
Illustration 39. La zone 3D visualisée sur ENVI à partir d'une image MODIS.....	36
Mémoire de Natacha Volto - 2015 .....	46

Illustration 40. Evolution temporelle de la moyenne des NDV <sub>max</sub> de la zone 3D.....	36
Illustration 41. Courbes lissées de l'évolution temporelle du signal pour six pixels de la zone 3D, en haut et corrélation entre les données NDVI des différents capteurs, en bas .....	37
Illustration 42. Small integral extraite de TIMESAT de 1992 à 2012 avec les données SPOT-VGT et NOAA-AVHRR GIMMS et de 2001 à 2011 en intégrant les données de MODIS.....	38
Illustration 43. Evolution temporelle du NDVI et captures de rongeurs entre 2008 et 2011 durant la saison sèche .....	38
Illustration 44. Cartographie des sept zones dans les différents produits d'occupation du sol .....	40
Illustration 45. Carte des changements de NDVI de 1999 à 2013 avec des images SPOT-VGT et évolution des NDVI sur la grande emprise (à droite) .....	43

## Liste des tableaux

---

Tableau 1. Caractéristiques des images utilisées.....	14
Tableau 2. Reclassification du SYNMAP en 16 classes .....	18
Tableau 3. Répartition des pixels des classes du SYNMAP dans les classes du GLC-SHARE .....	21
Tableau 4. Pourcentage de pixels rangés dans la même classe .....	22
Tableau 5. Coefficient de détermination R <sup>2</sup> entre les données NDVI issues des trois séries de 2000 à 2012 pour chaque classe du SYNMAP .....	32
Tableau 6. Calendrier des images MODIS.....	37

## Annexes

---

ANNEXE 1 : Lecture des images NOAA-AVHRR GIMMS 3g et PROBA-V sous ENVI

ANNEXE 2 : Comparaison des produits GLC-SHARE 2014, Consensus Land-cover map 2014 et SYNMAP 2006 reclassifié en 16 classes sur la grande emprise

ANNEXE 3 : Images de capteurs satellites et images d'occupation du sol fournies pour la modélisation

ANNEXE 4 : Notes sur l'utilisation des applications CROP\_VGT, WinDisp et TIMESAT

ANNEXE 5 : Distribution des types de couverture du sol sur les sept zones d'étude avec le produit Senegal Land Cover 2005 agrégé en 21238 polygones – (ha; %)

ANNEXE 6 : Etude diachronique sur sept zones au Sénégal

ANNEXE 7 : Cartes des changements (NDVI de 2000 à 2013 versus 1999) avec l'application WinDisp sur la moyenne emprise.

## **ANNEXE 1 : Lecture des images NOAA-AVHRR GIMMS 3g et PROBA-V sous ENVI**

### **SOMMAIRE**

<b>1) Logiciel de traitement d'images ENVI .....</b>	<b>2</b>
<b>2) Lecture des images NOAA-AVHRR GIMMS 3G sous ENVI .....</b>	<b>2</b>
<b>3) Lecture des images PROBA-V sous ENVI .....</b>	<b>6</b>

## 1) Logiciel de traitement d'images ENVI

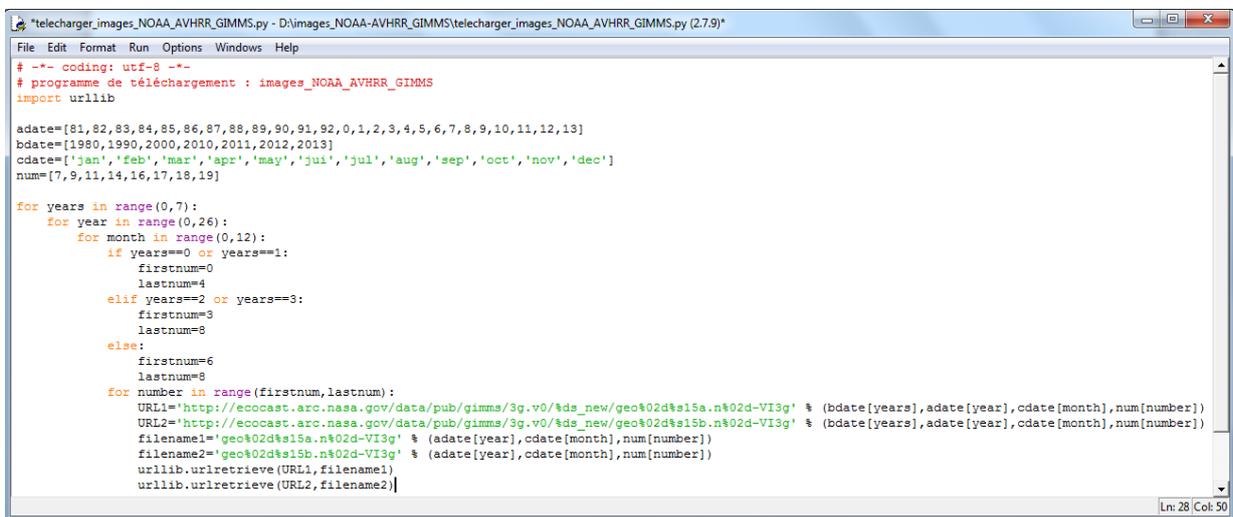
ENVI est un logiciel de traitement d'images commercialisé par la société EXELIS Visual Information Solutions (cf. l'URL suivante : [www.exelisvis.fr/Accueil.aspx](http://www.exelisvis.fr/Accueil.aspx)). La version 4.7 est utilisée dans le cadre de ce document.

## 2) Lecture des images NOAA-AVHRR GIMMS 3g sous ENVI

Les images NDVI de NOAA-AVHRR GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) sont accessibles sur le site internet de la NASA via l'URL <http://ecocast.arc.nasa.gov/data/pub/gimms/>. Ces archives proposent deux images mensuelles sur 32 ans, de 1982 à 2013 soit 768 images. Cette base provient de la transformation des données originales de 1,1 km x 1,1 km de résolution en des valeurs composites (maximum de NDVI tous les 15 jours) avec une résolution de 8 x 8 km.

Le nom de chaque fichier se présente sous la forme geo[annee][mois][période].n[sat][VI][version]g avec « année » qui correspond aux deux chiffres de l'année, « mois » aux trois premières lettres du mois en langue anglaise, « période » à la première ou seconde quinzaine (15a ou 15b), « sat » correspond au numéro du satellite et la terminaison à la version des images fournies. Par exemple : « geo09jan15a.n17-VI3g » correspond à la 3<sup>ème</sup> version de l'image de la première quinzaine de janvier 2009 avec le satellite numéro 17.

Pour faciliter le téléchargement des images, un script Python est développé. Il utilise le module « urllib » et la fonction « urllib.urlretrieve(url[,filename[,reporthook[,data]]]) ». Pour plus d'information, se référer au site <https://docs.python.org/2/library/urllib.html>.



```
File Edit Format Run Options Windows Help
# -*- coding: utf-8 -*-
# programme de téléchargement : images_NOAA_AVHRR_GIMMS
import urllib

adate=[81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]
bdate=[1980,1990,2000,2010,2011,2012,2013]
cdate=['jan','feb','mar','apr','may','jun','jul','aug','sep','oct','nov','dec']
num=[7,9,11,14,16,17,18,19]

for years in range(0,7):
    for year in range(0,26):
        for month in range(0,12):
            if years==0 or years==1:
                firstnum=0
                lastnum=4
            elif years==2 or years==3:
                firstnum=3
                lastnum=8
            else:
                firstnum=6
                lastnum=8
        for number in range(firstnum,lastnum):
            URL1='http://ecocast.arc.nasa.gov/data/pub/gimms/3g.v0/%ds_new/geo%02d%15a.n%02d-VI3g' % (bdate[years],adate[year],cdate[month],num[number])
            URL2='http://ecocast.arc.nasa.gov/data/pub/gimms/3g.v0/%ds_new/geo%02d%15b.n%02d-VI3g' % (bdate[years],adate[year],cdate[month],num[number])
            filename1='geo%02d%15a.n%02d-VI3g' % (adate[year],cdate[month],num[number])
            filename2='geo%02d%15b.n%02d-VI3g' % (adate[year],cdate[month],num[number])
            urllib.urlretrieve(URL1,filename1)
            urllib.urlretrieve(URL2,filename2)
```

Illustration 1. Script Python qui télécharge les images NOAA-AVHRR GIMMS sur le site de la NASA

Pour l'ouverture sous ENVI, il est nécessaire de créer des fichiers HDR accompagnant chaque image. Pour ce faire, la description des données (paramètres de la grille, taille du pixel en degré, coordonnées des points en haut à gauche et en bas à droite) ainsi que les discussions sur le site de téléchargement ont été analysées et retranscrites dans le script Python.

```

ENVI
description = {
  AVHRR_GIMMS 8km global NDVI x1000}
samples = 2160
lines = 4320
bands = 1
header offset = 0
file type = ENVI Standard
data type = 2
interleave = bsq
sensor type = AVHRR
byte order = 1

```

Illustration 2. Contenu minimum du fichier HDR pour une ouverture sous ENVI (<https://nex.nasa.gov/nex/projects/1349/>)

Un script Python, ci-après, génère les fichiers HDR pour chacune des 768 images. Il est certes un peu massif mais il fonctionne très bien.

```

# -*- coding: utf-8 -*-
# programme de création des fichiers HDR des images NOAA-AVHRR GIMMS 3g téléchargées

adate=[81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]
bdate=['jan','feb','mar','apr','may','jun','jul','aug','sep','oct','nov','dec']
num=['15a','15b']

for year in range(0,33):
    for month in range (0,12):
        for number in range (0,2):
            ligne1='ENVI'
            ligne2='description = {File Imported into ENVI.}'
            ligne3='samples = 2160'
            ligne4='lines = 4320'
            ligne5='bands = 1'
            ligne6='header offset = 0'
            ligne7='file type = ENVI Standard'
            ligne8='data type = 2'
            ligne9='interleave = bsq'
            ligne10='sensor type = Unknown'
            ligne11='byte order = 1'
            ligne12='wavelength units = Unknown'
            ficout='.\geo%02d%s%02s.hdr' % (adate[year],bdate[month],num[number])
            f=open(ficout, 'a')
            f.write(ligne1+"\n")
            f.write(ligne2+"\n")
            f.write(ligne3+"\n")
            f.write(ligne4+"\n")
            f.write(ligne5+"\n")
            f.write(ligne6+"\n")
            f.write(ligne7+"\n")
            f.write(ligne8+"\n")
            f.write(ligne9+"\n")
            f.write(ligne10+"\n")
            f.write(ligne11+"\n")
            f.write(ligne12+"\n")
            f.close()

```

Illustration 3. Script Python pour générer les fichiers HDR des images téléchargées

Les images téléchargées sont à retourner et pivoter de 90° sous ENVI en sélectionnant dans le menu « Basic Tools / Rotate / Flip Data option ». Cette manipulation est à effectuer pour chaque image, un script en IDL est développé pour automatiser ces deux tâches.

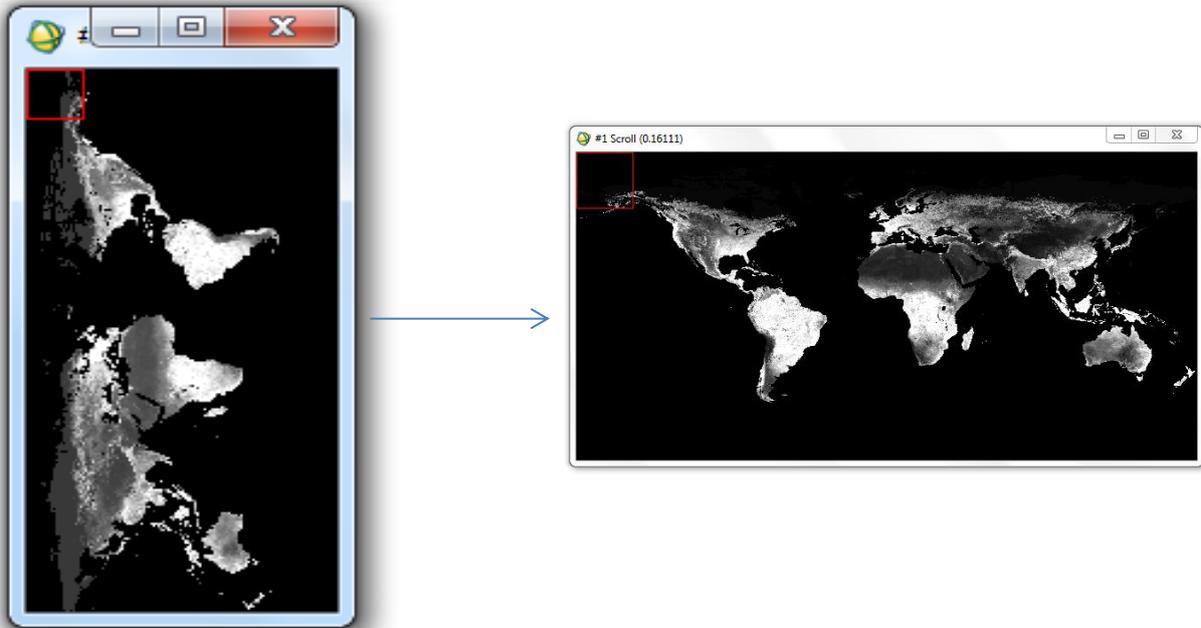


Illustration 4. Une image NOAA-AVHRR GIMMS 3g avant et après transposition

```

; commencer la boucle pour tourner les images
FOR i=0, available_img-1 DO BEGIN  ;
list_single=list[i]
ENVI_OPEN_DATA_FILE, list_single, /ENVI, R_FID = fid_img
IF (fid_img EQ -1) THEN RETURN
ENVI_FILE_QUERY, fid_img, dims=dims, nb=nb
img = ENVI_GET_DATA(dims=dims, fid = fid_img, POS = 0)
img_reversed= REVERSE(img,2)
img_rotate=ROTATE(img_reversed,1)

```

Illustration 5. Extrait du script IDL pour transposer les images

Une fois les images transposées avec un batch sous ENVI et renommées avec le logiciel LUPAS RENAME pour lecture sous TIMESAT (voir ANNEXE 1), les fichiers HDR précédents sont supprimés et remplacés par 768 nouveaux fichiers intégrant la modification des colonnes et des lignes ainsi que deux lignes supplémentaires : « map info » et « coordinate system string ».

```

# -*- coding: utf-8 -*-
# programme de création des fichiers HDR des images NOAA-AVHRR GIMMS 3g

nombre=0
for i in range(0,768):
    nombre=nombre+1
    ligne1='ENVI'
    ligne2='description = {File Imported into ENVI.}'
    ligne3='samples = 4320'
    ligne4='lines = 2160'
    ligne5='bands = 1'
    ligne6='header offset = 0'
    ligne7='file type = ENVI Standard'
    ligne8='data type = 2'
    ligne9='interleave = bsq'
    ligne10='sensor type = Unknown'
    ligne11='byte order = 1'
    ligne12='map info = {Geographic Lat/Lon, 1.0000, 1.0000, -180.00000000,
90.00000000, 8.3300000000e-002, 8.3300000000e-002, WGS-84, units=Degrees}'
    ligne13='coordinate system string =
{GEOGCS["GCS_WGS_1984",DATUM["D_WGS_1984",SPHEROID["WGS_1984",6378137.0,298.257223563
]],PRIMEM["Greenwich",0.0],UNIT["Degree",0.0174532925199433]]}'
    ligne14='wavelength units = Unknown'
    ficout='%d_NOAA_AVHRR_GIMMS_1981_2013.hdr' % (nombre)
    f=open(ficout, 'a')
    f.write(ligne1+"\n")
    f.write(ligne2+"\n")
    f.write(ligne3+"\n")
    f.write(ligne4+"\n")
    f.write(ligne5+"\n")
    f.write(ligne6+"\n")
    f.write(ligne7+"\n")
    f.write(ligne8+"\n")
    f.write(ligne9+"\n")
    f.write(ligne10+"\n")
    f.write(ligne11+"\n")
    f.write(ligne12+"\n")
    f.write(ligne13+"\n")
    f.write(ligne14+"\n")
    f.close()

```

**Illustration 6. Script Python pour générer les fichiers HDR des images transposées**

Ensuite, un script IDL découpe les 768 images et garde uniquement la zone d'intérêt.

```

; commencer la boucle pour sauver qu'une partie de l'image
FOR i=0, available_img-1 DO BEGIN ;
list_single=list[i]
ENVI_OPEN_DATA_FILE, list_single, /ENVI, R_FID = fid_img
IF (fid_img EQ -1) THEN RETURN
ENVI_FILE_QUERY, fid_img, dims=dims, nb=nb
img = ENVI_GET_DATA(dims=dims, fid = fid_img, POS = 0)
img_subset=img[1945:2053,853:919];avec [Xmin:Xmax,Ymin:Ymax]

```

**Illustration 7. Extrait du script IDL pour sauvegarder une partie des images**

Ensuite, un script IDL calcule le NDVI réel pour chacune des images.

```

; commencer la boucle pour calculer le NDVI réel
FOR i=0, available_img-1 DO BEGIN ;
list_single=list[i]
ENVI_OPEN_DATA_FILE, list_single, /ENVI, R_FID = fid_img
IF (fid_img EQ -1) THEN RETURN
ENVI_FILE_QUERY, fid_img, dims=dims, nb=nb
img = ENVI_GET_DATA(dims=dims, fid = fid_img, POS = 0)
img_calcul= img /10000.0

```

**Illustration 8. Extrait du script IDL pour calculer le NDVI réel**

### 3) Lecture des images PROBA-V sous ENVI

Le capteur PROBA-V a succédé en 2013 à VEGETATION, et dispose d'une résolution spatiale de 300 m au lieu de 1 km. Les fichiers NDVI issus de PROBA-V sont au format HDF5 qui améliore le HDF4 (format des images du capteur VEGETATION).

Les fichiers HDF5 PROBA-V sont téléchargeables sur le portail VITO à l'URL suivante : [www.vito-eodata.be](http://www.vito-eodata.be).

Après la sélection de la zone d'étude et la sélection des fichiers suivant la date, l'option « Prepare custom order... » est à sélectionner puis « Stitching » afin d'obtenir un seul fichier et non plusieurs fichiers image de dimension 10° \* 10°. Ainsi le fichier téléchargé aura la géométrie exacte de la zone d'étude.

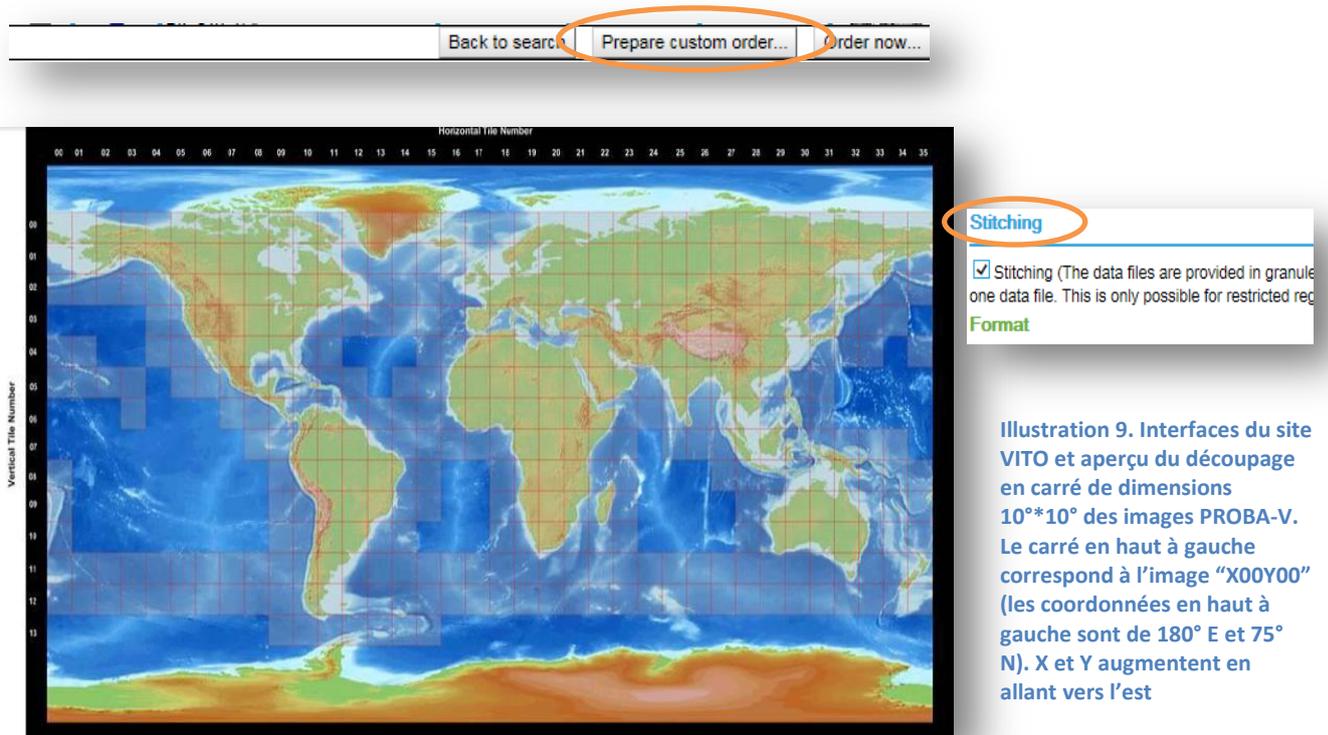


Illustration 9. Interfaces du site VITO et aperçu du découpage en carré de dimensions 10°\*10° des images PROBA-V. Le carré en haut à gauche correspond à l'image "X00Y00" (les coordonnées en haut à gauche sont de 180° E et 75° N). X et Y augmentent en allant vers l'est

La page WEB de téléchargement de chaque image présente trois types de fichiers (cf. illustration 10). Le fichier HDF5 est à télécharger pour chacune des images.

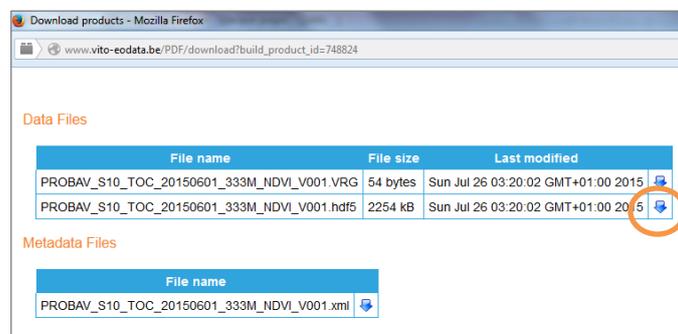


Illustration 10. Page WEB de téléchargement d'une image PROBA-V

Un logiciel gratuit lit ce type de fichiers, il s'agit de HDFView (cf. Illustration 11).

Les HDF5 ne sont pas lisibles en l'état sur les versions antérieures d'ENVI, seule la nouvelle version 5.2 rend la lecture possible.

Pour remédier à ce problème, un logiciel gratuit, SPIRITS, permet la conversion en format lisible sous ENVI quelle que soit la version. SPIRITS a été développé par l'unité de télédétection de VITO au nom du (et parrainé par) Centre de recherche de la Commission européenne (EC-JRC) d'Ispra, en Italie.

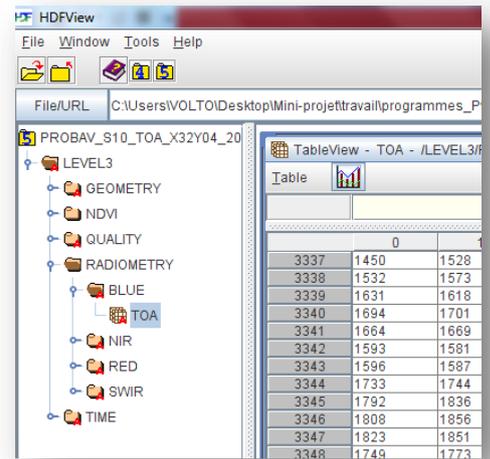


Illustration 11. Interface de HDFView

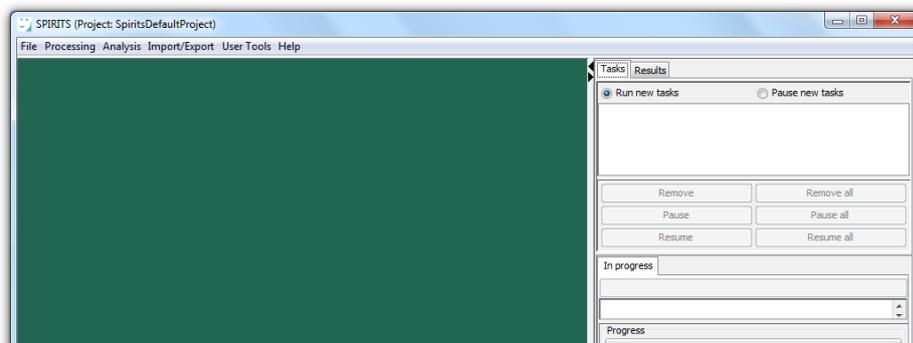


Illustration 12. Interface de SPIRITS

Les images peuvent être converties une par une ou en batch en créant un scénario. (cf. pages 182 à 184 du manuel utilisateur).

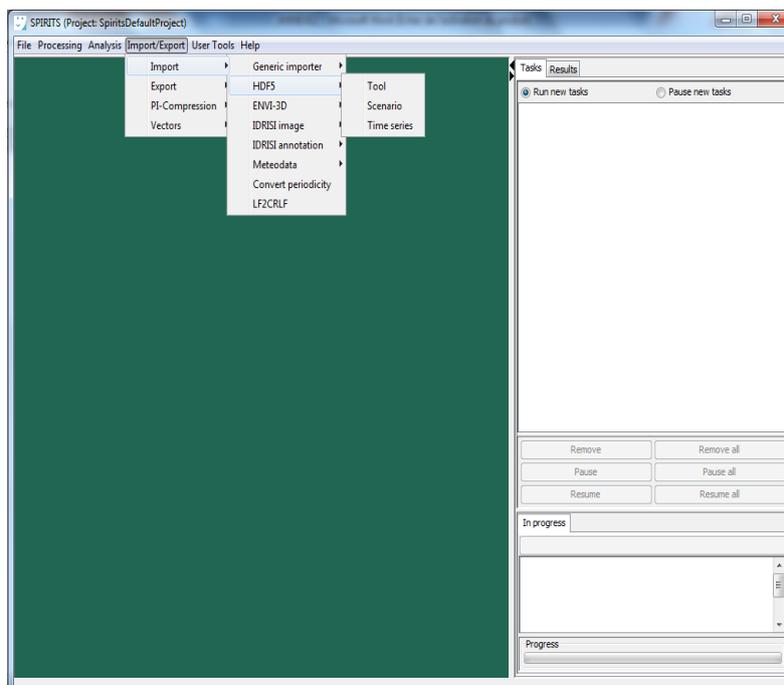


Illustration 13. Sélection dans le menu pour convertir les fichiers HDF5 en fichier image (extension .IMG)

## ANNEXE 2 : Comparaison des produits GLC-SHARE 2014, Consensus Land-cover map 2014 et SYNMAP 2006 reclassifié en 16 classes sur la grande emprise

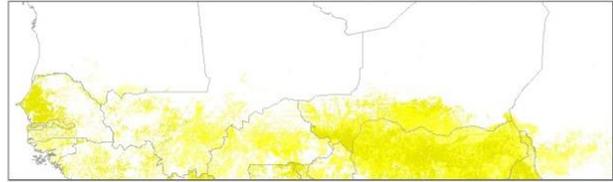
### Classes d'occupation du sol de la grande emprise d'après le Global Land Cover SHARE (GLC-SHARE), FAO 2014



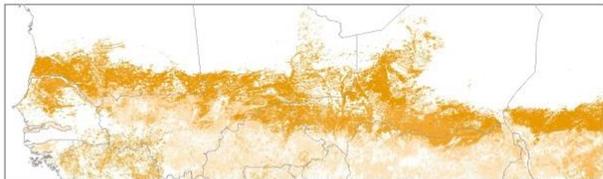
Classe 1 - GLCSHARE - Surfaces artificielles



Classe 2 - GLCSHARE - Cultures



Classe 3 - GLCSHARE - Prairies



Classe 4 - GLCSHARE - Aire couverte d'arbres



Classe 5 - GLCSHARE - Arbustes



Classe 6 - GLCSHARE - Végétation herbacée,  
aquatique ou régulièrement submergée



Classe 7 - GLCSHARE - Mangroves



Classe 8 - GLCSHARE - Végétation éparse



Classe 9 - GLCSHARE - Sol nu



Classe 11 - GLCSHARE - Eau

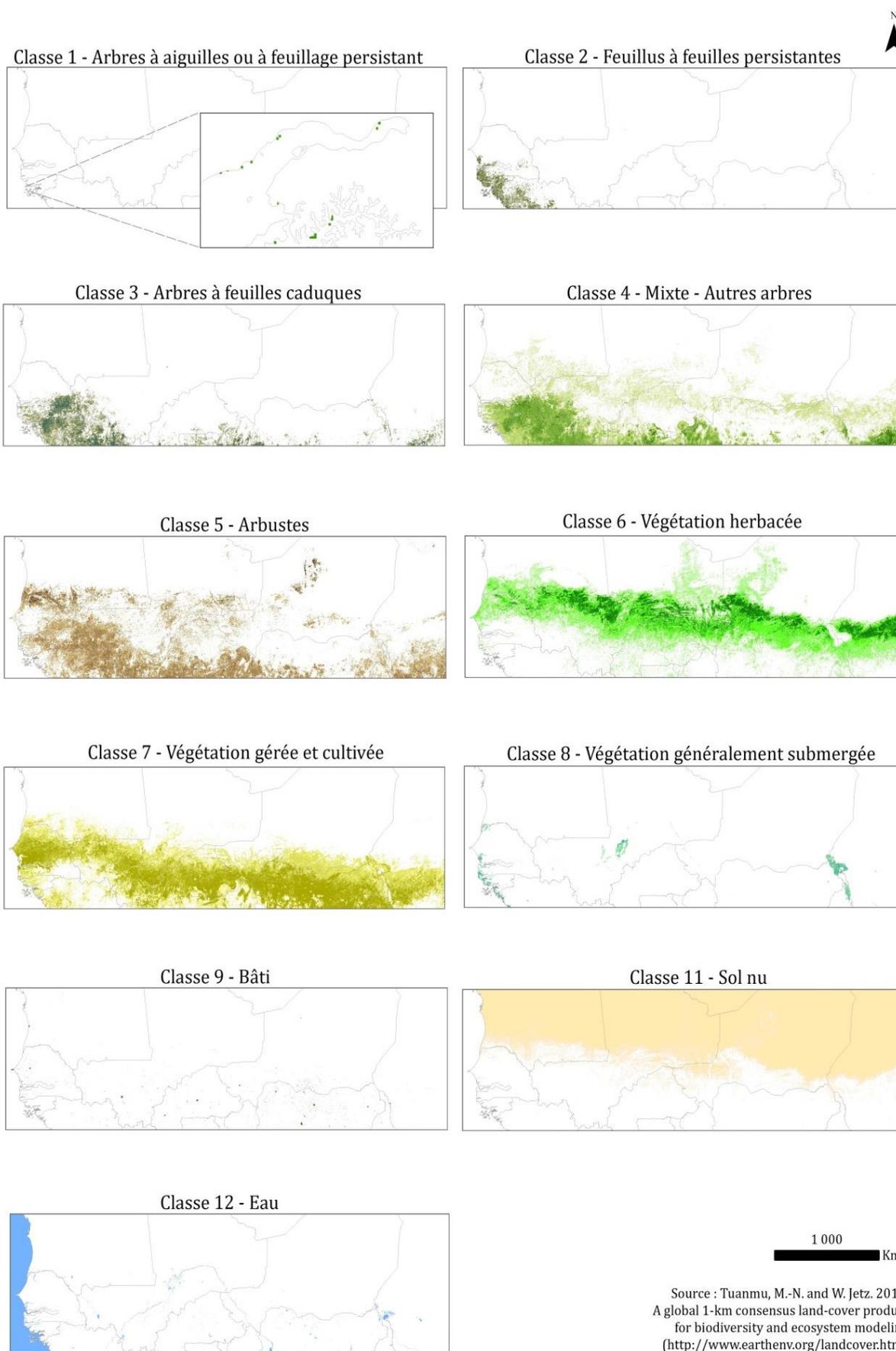


1 000

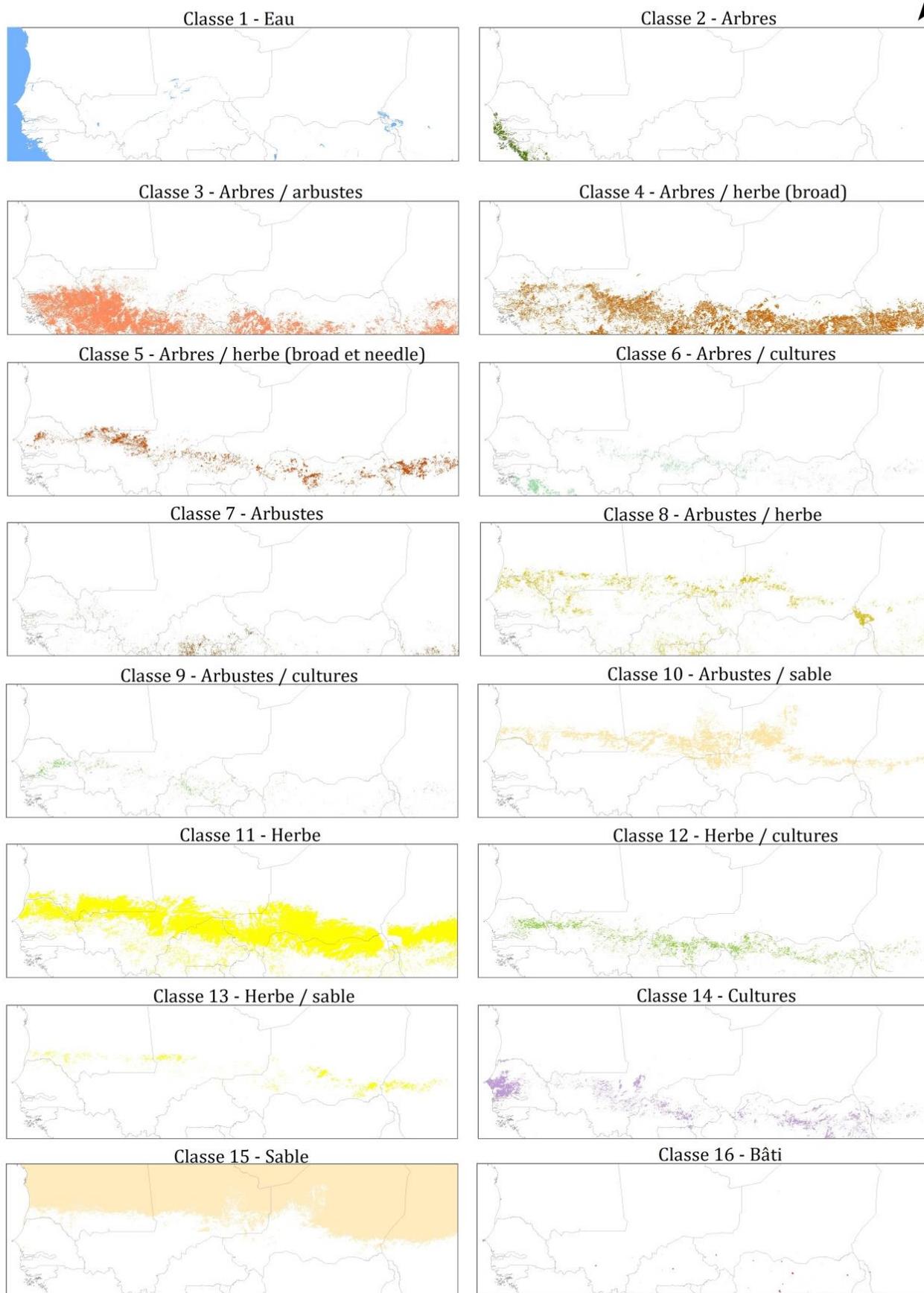
Km

1

## Classes d'occupation du sol de la grande emprise d'après le Global 1 km consensus Land-cover map, 2014



## Classes d'occupation du sol de la grande emprise d'après le Synergetic Land Cover Product (SYNMAP), 2006, reclassifié en 16 classes



500  
Km

Source : BaseGéo Sénégal, 2015

Synergetic Land Cover Product (SYNMAP), "Exploiting synergies of global land cover products for carbon cycle modeling", Martin Jung, Kathrin Henkel, Martin Herold, Galina Churkina

Les résultats sont exprimés en %

		GLC-SHARE										
		bâti	cultures	pâturage	arbres	arbustes	végétation herbacée, aquatique ou régulièrement submergée	mangroves	végétation clairsemée	sol nu	eau	
SYNMAP reclassifié (pixels)	Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	
eau (267469)	1	0,04	2,60	1,01	0,53	0,15	0,22	0,28	0,55	1,11	93,88	
arbres (24526)	2	0,18	16,66	2,68	42,60	10,43	0,84	16,03	0,36	2,46	7,70	
arbres / arbustes (498990)	3	0,08	23,60	10,45	38,10	26,45	0,30	0,09	0,60	0,24	0,09	
arbres / herbe (broad) (419732)	4	0,04	54,55	8,12	18,56	17,55	0,75	0,04	0,21	0,09	0,07	
arbres / herbe (broad et needle) (110546)	5	0,04	52,20	31,82	5,01	2,56	0,06	0,01	8,02	0,24	0,06	
arbres / cultures (52146)	6	0,14	51,03	13,60	27,36	4,07	0,46	0,58	2,09	0,37	0,28	
arbustes (28654)	7	0,13	24,19	4,32	24,42	43,72	0,92	0,59	0,17	0,87	0,65	
arbustes / herbe (140832)	8	0,06	18,23	40,81	9,18	10,85	0,69	0,03	3,98	15,29	0,88	
arbustes / cultures (30032)	9	0,31	45,58	15,72	11,02	22,45	0,52	0,51	2,58	0,77	0,49	
arbustes / sable (278219)	10	0,01	1,68	43,30	1,10	0,09	0,07	0,00	3,64	49,93	0,19	
herbe (945190)	11	0,04	24,55	57,46	3,93	3,29	0,21	0,00	5,14	5,28	0,09	
herbe / cultures (110624)	12	0,05	65,85	14,35	6,87	10,19	0,61	0,04	1,45	0,29	0,29	
herbe / sable (50184)	13	0,01	3,25	43,94	0,74	0,23	0,08	0,00	2,91	48,59	0,25	
cultures (134663)	14	0,25	74,30	12,02	2,96	5,00	3,42	0,19	0,95	0,65	0,26	
sable (2153231)	15	0,00	0,06	3,40	0,09	0,00	0,01	0,00	0,67	95,74	0,02	
bâti (1526)	16	59,90	24,18	5,83	1,18	0,13	0,00	0,07	2,62	4,46	1,64	

		GLC-SHARE									
		bâti	cultures	pâturages	arbres	arbustes	végétation herbacée, aquatique ou régulièrement submergée	mangroves	végétation clairsemée	sol nu	eau
CONSENSUS (pixels)	Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11
arbres résineux sempervirents ou caducifoliés (180)	1	0,00	4,44	1,11	8,33	3,33	1,11	17,22	1,11	2,78	60,56
arbres feuillus sempervirents (84221)	2	0,16	15,60	5,04	52,89	10,62	0,47	7,35	0,48	2,38	4,92
arbres feuillus caducifoliés (299319)	3	0,05	10,93	9,82	52,58	24,72	0,63	0,41	0,01	0,39	0,45
mixte, autres arbres (1278146 pixels)	4	0,09	19,31	28,38	26,40	17,93	0,57	0,18	3,92	2,81	0,43
arbustes (1096976)	5	0,09	21,89	20,56	24,79	23,95	0,44	0,14	2,63	4,98	0,52
végétation herbacée (1096976)	6	0,07	19,78	51,03	4,17	3,01	0,44	0,05	4,83	16,21	0,42
végétation gérée et cultivée (1895712)	7	0,11	45,48	26,68	10,81	11,75	0,61	0,19	2,87	1,03	0,47
végétation submergée (53081)	8	0,12	30,66	5,59	8,77	4,61	23,39	9,04	1,93	4,30	11,53
bâti (7415)	9	23,71	47,59	13,58	2,28	1,96	0,31	0,23	3,56	4,76	2,01
sol nu (2886047)	11	0,02	2,16	14,81	0,77	0,10	0,07	0,01	2,54	79,21	0,31
eau (290135)	12	0,07	4,17	1,62	1,29	0,45	0,49	0,84	0,46	1,95	88,67

		CONSENSUS										
		arbres résineux sempervirents ou caducifoliés	arbres feuillus sempervirents	arbres feuillus caducifoliés	mixte, autres arbres	arbustes	végétation herbacée	végétation gérée et cultivée	végétation submergée	bâti	sol nu	eau
SYNMAP reclassifié	Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12
eau (267469)	1	0,05	1,49	0,75	3,54	3,61	4,43	6,57	2,87	0,10	5,62	96,97
arbres (24526)	2	0,12	87,07	45,62	70,55	30,82	5,00	79,68	33,14	0,12	4,74	19,53
arbres / arbustes (498990)	3	0,00	6,46	37,47	88,42	82,07	7,83	60,37	0,28	0,07	0,98	0,38
arbres / herbe (broad) (419732)	4	0,00	1,87	16,21	44,79	50,24	16,73	84,71	1,14	0,12	0,60	0,40
arbres / herbe (broad et needle) (110546)	5	0,00	0,03	0,06	39,24	11,16	63,19	99,90	0,20	0,26	11,15	0,38
arbres / cultures (52146)	6	0,00	25,78	18,99	45,20	22,68	34,82	93,93	1,34	0,54	5,11	1,72
arbustes (28654)	7	0,01	3,44	20,63	91,02	90,23	14,65	71,87	2,94	0,17	2,61	3,07
arbustes / herbe (140832)	8	0,00	0,52	4,98	41,51	50,13	66,93	51,41	8,24	0,12	52,07	3,47
arbustes / cultures (30032)	9	0,00	2,41	1,48	26,64	47,36	36,98	99,78	1,46	0,65	5,82	2,04
arbustes / sable (278219)	10	0,00	0,04	0,07	13,49	27,22	71,19	5,90	0,42	0,04	98,17	0,99
herbe (945190)	11	0,00	0,03	0,44	37,33	17,53	87,27	67,72	0,61	0,22	30,51	0,53
herbe / cultures (110624)	12	0,00	0,23	0,85	17,81	25,96	38,95	99,89	1,00	0,36	3,97	1,32
herbe / sable (50184)	13	0,00	0,01	0,00	9,81	11,16	64,10	15,42	0,33	0,04	95,02	0,87
cultures (134663)	14	0,00	1,27	0,41	13,65	15,30	37,64	99,82	5,91	0,75	4,09	1,87
sable (2153231)	15	0,00	0,01	0,00	1,23	1,07	7,89	0,40	0,05	0,01	99,96	0,09
bâti (1526)	16	0,07	0,52	0,13	28,05	12,19	37,22	62,45	0,39	91,28	20,64	6,16

### ANNEXE 3 : Images de capteurs satellites et images d'occupation du sol fournies pour la modélisation

ME : moyenne emprise ; GE : grande emprise ; CN : compte numérique ; IMG : image

Capteurs	Images de capteurs fournies pour la modélisation	Nombre d'images
SPOT-VGT de 1999 à 2013	* images du NDVI de chaque décade pour la ME en CN au format IMG	540
	* images du NDVI de chaque décade pour la GE en CN au format IMG	540
	* images des maximums des trois décades pour les mois d'avril en CN pour la ME au format IMG	15
	* images des maximums des trois décades pour les mois d'avril en CN pour la GE au format IMG	15
	* images des maximums des trois décades pour les mois d'octobre en CN pour la ME au format IMG	15
	* images des maximums des trois décades pour les mois d'octobre en CN pour la GE au format IMG	15
	* image de la moyenne des NDVI avril <sub>max</sub> sur la Me en CN au format IMG	1
	* image de la moyenne des NDVI avril <sub>max</sub> sur la GE en CN au format IMG	1
	* image de la moyenne des NDVI octobre <sub>max</sub> sur la ME en CN au format IMG	1
	* image de la moyenne des NDVI octobre <sub>max</sub> sur la GE en CN au format IMG	1
	* images des maximums des trois décades sur la ME en CN au format IMG	180
	* images des maximums des trois décades sur la ME en NDVI réel au format IMG	180
	* images des maximums des trois décades sur la ME en NDVI réel au format ASCII	180
	* images des maximums des trois décades sur la GE en CN au format IMG	180
	* images des maximums des trois décades sur la GE en NDVI réel au format IMG	180
	* images des maximums des trois décades sur la GE en NDVI réel au format ASCII	180
	* images des minimums des trois décades sur la ME en CN au format IMG	180
	* images des minimums des trois décades sur la ME en NDVI réel au format IMG	180
	* images des minimums des trois décades sur la ME en NDVI réel au format ASCII	180
	* images des minimums des trois décades sur la GE en CN au format IMG	180
	* images des minimums des trois décades sur la GE en NDVI réel au format IMG	180
	* images des minimums des trois décades sur la GE en NDVI réel au format ASCII	180
	* images des moyennes des trois décades sur la ME en CN au format IMG	180
	* images des moyennes des trois décades sur la ME en NDVI réel au format IMG	180
	* images des moyennes des trois décades sur la ME en NDVI réel au format ASCII	180
	* images des moyennes des trois décades sur la GE en CN au format IMG	180
	* images des moyennes des trois décades sur la GE en NDVI réel au format IMG	180
	* images des moyennes des trois décades sur la GE en NDVI réel au format ASCII	180
	* images des maximums annuels des NDVI <sub>max</sub> en CN au format IMG	15
	* images des maximums annuels des NDVI <sub>max</sub> en NDVI réel au format IMG	15
	* images des maximums annuels des NDVI <sub>max</sub> en NDVI réel au format ASCII	15
	* images des minimums annuels des NDVI <sub>min</sub> en CN au format IMG	15
	* images des minimums annuels des NDVI <sub>min</sub> en NDVI réel au format IMG	15
	* images des minimums annuels des NDVI <sub>min</sub> en NDVI réel au format ASCII	15
* images des moyennes annuels des NDVI <sub>moj</sub> en CN au format IMG	15	
* images des moyennes annuels des NDVI <sub>moj</sub> en NDVI réel au format IMG	15	
* images des moyennes annuels des NDVI <sub>moj</sub> en NDVI réel au format ASCII	15	
NOAA-AVHRR GIMMS 8 Km de 1981 à 2013	* images du NDVI de chaque quinzaine au format non déterminé (format lors du téléchargement)	768
	* images du NDVI de chaque quinzaine sur la ME en CN au format IMG	768
	* images du NDVI de chaque quinzaine pour la ME en NDVI réel au format IMG	768
MODIS de février 2000 à novembre 2012	* images du NDVI tous les 16 jours découpées sur la ME en CN au format IMG	292
	* images du NDVI sur la ME en NDVI réel au format IMG	292
NOAA-AVHRR 1 Km de septembre 1992 à décembre 1995	* images du NDVI de chaque décade pour la ME	87
	* images des maximums des trois décades pour les mois d'avril	3
	* images des maximums des trois décades pour les mois d'octobre	2
PROBA-V de novembre 2013 à décembre 2015	* images du NDVI de chaque décade pour la ME en CN au format HDF	60
	* images du NDVI de chaque décade pour la ME en CN au format IMG	60
Produits d'occupation du sol	Images d'occupation du sol fournies pour la modélisation	Nombre d'images
Synergetic Land Cover Product (SYNMAP)	* image découpée sur la ME au format TIFF superposable aux images SPOT-VGT	1
	* image (mosaïque d'images TIFF) pour la ME au format ENVI Standard superposable aux images MODIS	1
	* image découpée sur la ME au format TIFF superposable aux images NOAA-AVHRR-GIMMS	1
Global Land Cover-ACTION (GLC-SHARE)	* images initiales au format TIFF de chaque classe	11
	* images reprojctées pour être superposables aux images SPOT-VGT au format dat	11
	* images découpées sur la GE pour être superposables aux images SPOT-VGT au format dat	11
Global 1km consensus Land Cover map (CONSENSUS)	* images initiales au format TIFF de chaque classe	12
	* images reprojctées pour être superposables aux images SPOT-VGT au format dat	12
	* images découpées sur la GE pour être superposables aux images SPOT-VGT au format dat	12
ESA Climate Change Initiative-Land Cover project	* images initiales au format TIFF sur le Sénégal pour les années 2000, 2005 et 2010	3
<b>TOTAL</b>		<b>7694</b>

## **ANNEXE 4 : Notes sur l'utilisation des applications CROP\_VGT, WinDisp et TIMESAT**

### **SOMMAIRE**

<b>PARTIE I : DELIMITATION ET DIMENSION DE LA ZONE D'ETUDE .....</b>	<b>2</b>
<b>PARTIE II : DONNEES NECESSAIRES .....</b>	<b>3</b>
<b>PARTIE III : METHODOLOGIE .....</b>	<b>4</b>
1. DEZIPPAGE ET DECOUPAGE DES IMAGES SPOT-VGT AVEC CROP_VGT.....	5
2. VERIFICATION A L'AIDE D'UN PROGRAMME PYTHON .....	8
3. CREATION DE LISTES DES TROIS DECADES MENSUELLES AVEC PYTHON.....	10
4. MOYENNE DES TROIS DECADES MENSUELLES AVEC WINDISP .....	11
5. MAXIMUM DES TROIS DECADES MENSUELLES AVEC WINDISP.....	17
6. CONVERSION DES IMAGES EN 8 BITS AVEC WINDISP.....	20
7. VERIFICATION DE QUELQUES IMAGES CREEES AVEC WINDISP.....	23
8. ANALYSE DES SERIES TEMPORELLES AVEC TIMESAT .....	26

## PARTIE I : Délimitation et dimension de la zone d'étude

Dans un premier temps, il est nécessaire de délimiter et de dimensionner la zone d'étude. Dans notre cas, deux zones géographiques sont définies avec les coordonnées suivantes :

- grande emprise : de 21° nord à 10° nord et de 18° ouest à 20° est
- moyenne emprise : de 19° nord à 13,5° nord et de 18° ouest à 9° ouest



Illustration 1. Portail Vito : zone géographique « grande emprise »



Illustration 2. Portail Vito : zone géographique « moyenne emprise »

## PARTIE II : Données nécessaires

Dans le cadre de notre étude, ce sont les données « S10 NDVI - continental extracts - 1000 m » qui nous intéressent. Les images de la zone Afrique du capteur SPOT-VEGETATION sont téléchargées sur le portail VITO à l'URL suivante : <http://www.vito-eodata.be>.

The top screenshot shows the VITO portal interface. The search results are for 'SPOT-VEGETATION - S10 NDVI - continental extracts'. The 'Basic' section shows the following filters:

- Start date: Dekad 2
- End date: Dekad 3
- Year: 1998
- ROI: 19
- Global S10 (582 products)

The bottom screenshot shows the search results table with the following columns:

D	Start Date	Stop Date	Size	Thumbnail	Quicklook
RINS10_20140521_NDVI_Africa	21/05/2014	31/05/2014	29.3 MB		
RINS10_20140511_NDVI_Africa					
RINS10_20140501_NDVI_Africa					
RINS10_20140421_NDVI_Africa					
RINS10_20140411_NDVI_Africa					
RINS10_20140401_NDVI_Africa					
RINS10_20140321_NDVI_Africa					
RINS10_20140311_NDVI_Africa					
RINS10_20140301_NDVI_Africa					
RINS10_20140221_NDVI_Africa					
RINS10_20140211_NDVI_Africa	11/02/2014	20/02/2014	30.4 MB		
RINS10_20140201_NDVI_Africa	01/02/2014	10/02/2014	30.9 MB		
RINS10_20140121_NDVI_Africa	21/01/2014	31/01/2014	31.1 MB		
RINS10_20140111_NDVI_Africa	11/01/2014	20/01/2014	30.8 MB		
RINS10_20131221_NDVI_Africa	21/12/2013	31/12/2013	31.2 MB		
RINS10_20131211_NDVI_Africa	11/12/2013	20/12/2013	31.3 MB		
RINS10_20131201_NDVI_Africa	01/12/2013	10/12/2013	31.5 MB		

Illustration 3. Aperçu de l'image téléchargée sous format ZIP

La résolution de ces images est de 1km (à l'équateur). Ces données sont disponibles en synthèses décadaires (3 images par mois) depuis mai 1998, en projection Plate carrée, résolution 0,008929°.

Les images téléchargées au format ZIP ne sont pas découpées suivant la région d'intérêt définie mais suivant le continent auquel appartient cette région.

## PARTIE III : Méthodologie



Télécharger les images sur le portail VITO



Renommer les images téléchargées avec Lupas Rename 2000



Dézipper, découper les images et générer des fichiers "WinDisp" en sortie (.txt et .img) avec CROP\_VGT



Créer les fichiers listes (.lst) de trois décades mensuelles sous Python



Générer les images des moyennes / des maximums des trois décades mensuelles et exporter les images en 8 bits avec des macros sous WinDisp 5.1

## 1. Dézippage et découpage des images SPOT-VGT avec CROP\_VGT

Pour extraire la région d'intérêt de l'image zippée, la version 2.1 de l'application CROP\_VGT, développée par Silvio Griguolo de l'Université IUAV de Venise en Italie, a été utilisée.

Cet outil permet notamment de dézipper les images SPOT-VEGETATION et de sélectionner la région d'intérêt à extraire. L'utilisateur peut choisir le format des fichiers en sortie (BIL, IMG...).

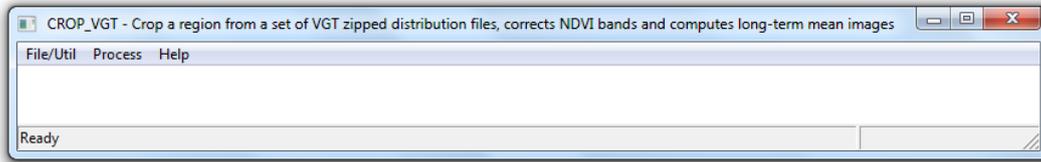


Illustration 4. Interface de CROP\_VGT

Avant d'utiliser CROP\_VGT, il est nécessaire de renommer l'ensemble des images téléchargées sous la forme :

V1KRNS10\_19980401\_NDVI\_Africa ou  
V2KRNS10\_20030101\_NDVI\_Africa

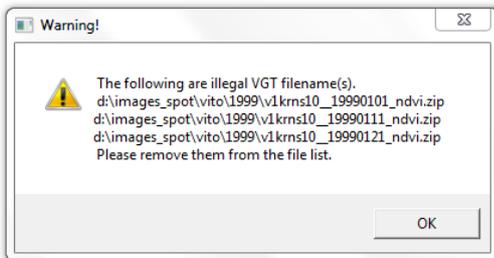


Illustration 5. Message d'erreur généré par CROP\_VGT si le nom du fichier ne correspond pas à la chaîne de caractères attendue

Les noms des fichiers diffèrent suivant le jour des synthèses (01, 11 ou 21), suivant le mois et suivant l'année. Avant 2003, la synthèse comportait la chaîne de caractères V1KRNS10 et à partir de 2003, V2KRNS10. Ceci est dû à l'arrêt des captures par l'instrument VEGETATION 1 le 1<sup>er</sup> février 2003. Cet instrument était passager de SPOT 4 lancé le 24 mars 1998. VEGETATION 2, passager de SPOT 5, lancé le 3 mai 2002, a pris la suite des captures.

L'application « LupasRename » a permis de renommer l'ensemble des images.

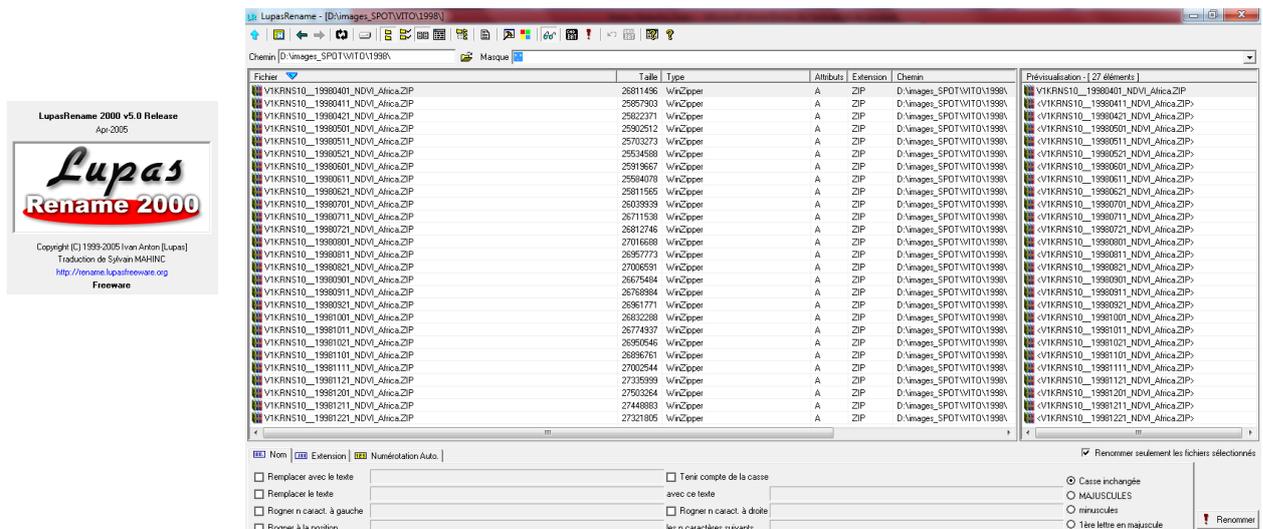
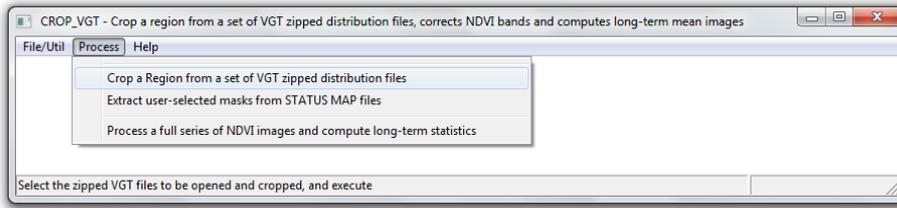
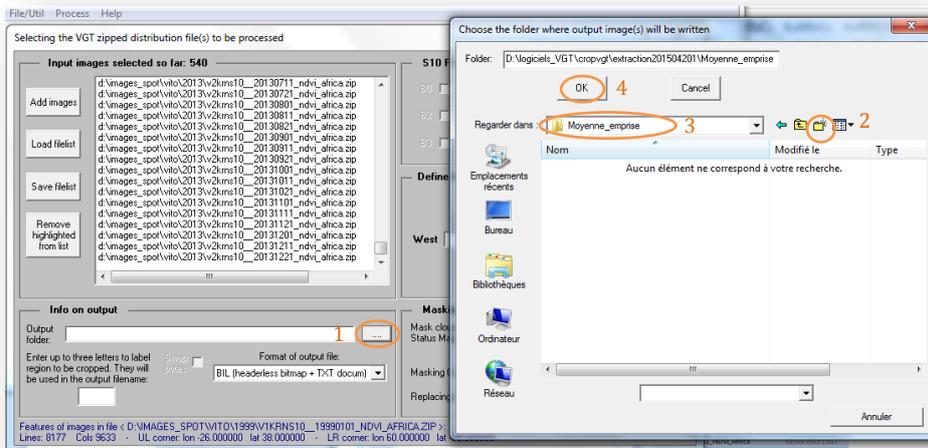


Illustration 6. Interface de LupasRename

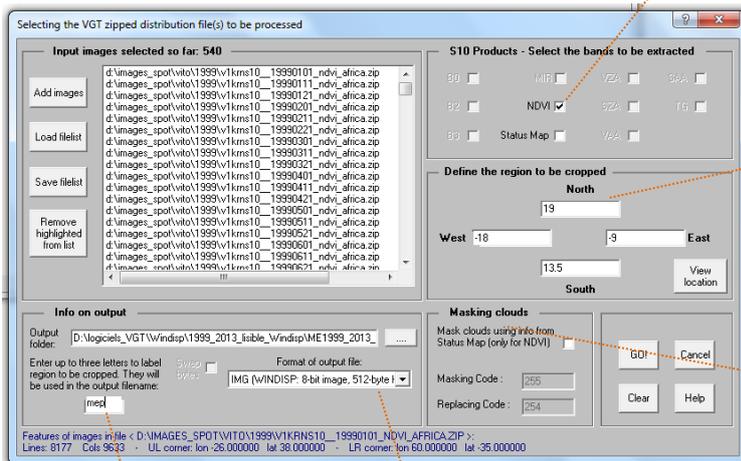
Sur CROP-VGT, le découpage s'effectue en cliquant sur « Process » puis sur « Crop a Region [...] files ».



Ensuite, cliquer sur « Add images » puis sélectionner les images zippées de chaque décade de chaque mois de 1999 à 2013. Sélectionner « Output folder » en cliquant [...] (1), créer un nouveau dossier (2), le sélectionner (3) puis cliquer « OK » (4). Dans notre cas, le dossier est nommé « Moyenne\_emprise » car il contiendra les images dézippées et découpées des images de cette région d'intérêt.

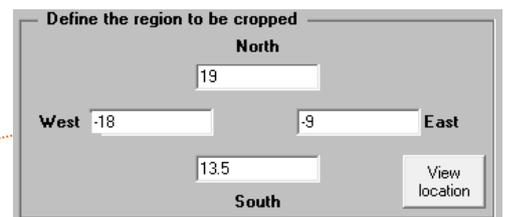


Renseigner les champs ci-dessous :



Cocher « NDVI »

Saisir les coordonnées de la zone d'intérêt

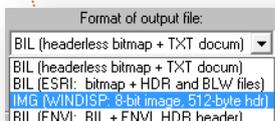


Dans notre cas, le masque des nuages n'est pas coché

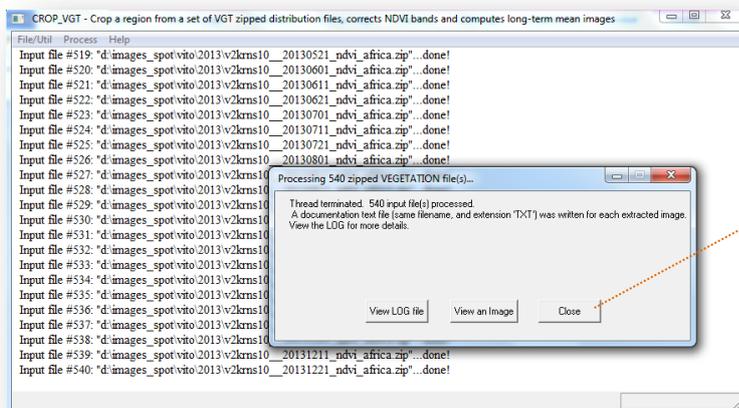
Enter up to three letters to label region to be cropped. They will be used in the output filename:

mep

Renseigner trois caractères au choix, par exemple « mep » pour moyenne emprise.



Sélectionner le type de format de fichiers en sortie. Dans cette méthode, les images créées seront lues sous WinDisp, le format « IMG » est donc sélectionné.



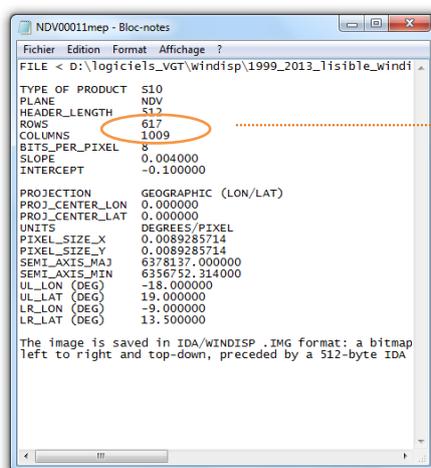
Pour chaque fichier ZIP d'image SPOT-VGT, deux fichiers sont générés : un fichier image (extension .IMG) contenant l'image et un fichier texte (extension .txt). L'image en sortie est nommée « NDVaammmdmep.img », où « NDV » est la bande, « aa » sont les deux chiffres de l'année (99 jusqu'à 13), « mm » pour les mois (01 jusqu'à 12) et « d » pour la décade (de 1 à 3).

Nom	Modifié le	Type	Taille
V1KRNS10_20000101_NDVL_Africa	02/03/2015 15:20	WinZipper	27 924 Ko
V1KRNS10_20000111_NDVL_Africa	02/03/2015 15:20	WinZipper	27 697 Ko
V1KRNS10_20000121_NDVL_Africa	02/03/2015 15:20	WinZipper	27 297 Ko
V1KRNS10_20000201_NDVL_Africa	02/03/2015 15:21	WinZipper	27 455 Ko
V1KRNS10_20000211_NDVL_Africa	02/03/2015 15:21	WinZipper	27 463 Ko
V1KRNS10_20000221_NDVL_Africa	02/03/2015 15:21	WinZipper	26 817 Ko
V1KRNS10_20000301_NDVL_Africa	02/03/2015 15:21	WinZipper	26 898 Ko
V1KRNS10_20000311_NDVL_Africa	02/03/2015 15:21	WinZipper	26 776 Ko
V1KRNS10_20000321_NDVL_Africa	02/03/2015 15:21	WinZipper	26 649 Ko
V1KRNS10_20000401_NDVL_Africa	02/03/2015 15:22	WinZipper	26 586 Ko
V1KRNS10_20000411_NDVL_Africa	02/03/2015 15:22	WinZipper	26 730 Ko
V1KRNS10_20000421_NDVL_Africa	02/03/2015 15:23	WinZipper	26 951 Ko

Illustration 7. Fichiers ZIP des images de SPOT-VGT des trois décades de janvier à avril 2000

Nom	Modifié le	Type	Taille
NDV00011mep	24/04/2015 15:09	Fichier d'image disque	1 824 Ko
NDV00011mep	24/04/2015 15:09	Document texte	1 Ko
NDV00012mep	24/04/2015 15:09	Fichier d'image disque	1 824 Ko
NDV00012mep	24/04/2015 15:09	Document texte	1 Ko
NDV00013mep	24/04/2015 15:09	Fichier d'image disque	1 824 Ko
NDV00013mep	24/04/2015 15:09	Document texte	1 Ko
NDV00021mep	24/04/2015 15:09	Fichier d'image disque	1 824 Ko
NDV00021mep	24/04/2015 15:09	Document texte	1 Ko
NDV00022mep	24/04/2015 15:09	Fichier d'image disque	1 824 Ko
NDV00022mep	24/04/2015 15:09	Document texte	1 Ko
NDV00023mep	24/04/2015 15:09	Fichier d'image disque	1 824 Ko
NDV00023mep	24/04/2015 15:09	Document texte	1 Ko
NDV00031mep	24/04/2015 15:09	Fichier d'image disque	1 824 Ko
NDV00031mep	24/04/2015 15:09	Document texte	1 Ko
NDV00032mep	24/04/2015 15:09	Fichier d'image disque	1 824 Ko
NDV00032mep	24/04/2015 15:09	Document texte	1 Ko
NDV00033mep	24/04/2015 15:09	Fichier d'image disque	1 824 Ko
NDV00033mep	24/04/2015 15:09	Document texte	1 Ko
NDV00041mep	24/04/2015 15:10	Fichier d'image disque	1 824 Ko
NDV00041mep	24/04/2015 15:10	Document texte	1 Ko
NDV00042mep	24/04/2015 15:10	Fichier d'image disque	1 824 Ko
NDV00042mep	24/04/2015 15:10	Document texte	1 Ko
NDV00043mep	24/04/2015 15:10	Fichier d'image disque	1 824 Ko

Illustration 8. Fichiers en sortie avec les extensions .img et .txt



Nombre de lignes et de colonnes pour la moyenne emprise

Illustration 9. Contenu du fichier texte associé à l'image

## 2. Vérification à l'aide d'un programme PYTHON

Afin de vérifier les pixels de la région d'intérêt, un script consiste à lister les lignes et les colonnes de pixels de l'image du capteur SPOT-VGT (en orange) et de l'image de la zone d'étude (en rouge) avec un pas correspondant à la résolution de l'image, soit  $0.0089285714^\circ$ . Ensuite, il détermine l'index des colonnes et des lignes de début et de fin de la zone d'étude puis calcule le nombre de colonnes et de lignes de cette zone.



Illustration 10. Délimitation en orange de l'image SPOT-VGT et en rouge de la zone d'étude

```
# -*- coding: utf-8 -*-
#prog de lecture des fichiers VGT

# Zone moyenne emprise
latdepdep=13,5;
latdepfin=19;
londepdep=-18;
londepfin=-9;
nomfic_loc='Lat135_19Lon18_9_Africa'

#Image SPOT-VGT téléchargée
CARTO_UPPER_LEFT_X=-26;
CARTO_UPPER_LEFT_Y=38.000000;
CARTO_LOWER_RIGHT_X=60;
CARTO_LOWER_RIGHT_Y=-35.000000;
MAP_PROJ_RESOLUTION=0.0089285714;

"""création de listes pour déterminer les index de la zone d'étude """

lat=[]
i=0
while CARTO_LOWER_RIGHT_Y<(CARTO_UPPER_LEFT_Y-MAP_PROJ_RESOLUTION):
    CARTO_UPPER_LEFT_Y=CARTO_UPPER_LEFT_Y-MAP_PROJ_RESOLUTION if i>0 else CARTO_UPPER_LEFT_Y
    lat.append(CARTO_UPPER_LEFT_Y)
    i+=1

lon=[]
i=0
while CARTO_UPPER_LEFT_X<(CARTO_LOWER_RIGHT_X-MAP_PROJ_RESOLUTION):
    CARTO_UPPER_LEFT_X=CARTO_UPPER_LEFT_X+MAP_PROJ_RESOLUTION if i>0 else CARTO_UPPER_LEFT_X
    lon.append(CARTO_UPPER_LEFT_X)
    i+=1

lat2=[]
idl=-1
while idl<len(lat):
    valeur=(abs(lat[idl]-latdepdep))
    idl+=1
    lat2.append(valeur)
    id2=lat2.index(min(lat2))

lon2=[]
id3=-1
while id3<len(lon):
    valeur=(abs(lon[id3]-londepdep))
    id3+=1
    lon2.append(valeur)
    id4=lon2.index(min(lon2))
```

Renseigner les coordonnées de la région d'intérêt

Renseigner les coordonnées de l'image SPOT-VGT téléchargée

```

lat3=[]
id5=-1
while id5<len(lat):
    valeur=(abs(lat[id5]-latdepfin))
    id5+=1
    lat3.append(valeur)
    id6=lat3.index(min(lat3))

lon3=[]
id7=-1
while id7<len(lon):
    valeur=(abs(lon[id7]-londepfin))
    id7+=1
    lon3.append(valeur)
    id8=lon3.index(min(lon3))

""" Dimension de la zone d'étude """

J=id4 #valeur de la première colonne
Jfin=id8 #valeur de la dernière colonne
I=id2 #valeur de la dernière ligne
Ifin=id6 #valeur de la première ligne

nbcot=Jfin-J+1 #nombre de colonnes
nblig=I-Ifin+1 #nombre de lignes

print "colonne depart =",J
print "colonne fin =",Jfin
print "ligne depart =",Ifin

print "ligne fin =",I
print "le pixel( 1 , 1 ) de la zone extraite correspond au pixel(",Ifin,",",J,") de l'image
telechargee sur VITO"
print "la zone d'etude comporte",nbcot,"colonnes et",nblig,"lignes"

```

Illustration 11. Script de vérification des pixels de la zone "moyenne emprise" découpée par CROP-VGT

Les résultats du script sont présentés ci-dessous. Ainsi, les régions d'intérêt sont correctement délimitées.

```

#Zone moyenne emprise
latdepdep=13.5;
latdepfin=19;
londepdep=-18;
londepfin=-9;
nomfic_loc='Lat135_19Lon18_9_Africa'

#Image SPOT-VGT téléchargée
CARTO_UPPER_LEFT_X=-26;
CARTO_UPPER_LEFT_Y=38.000000;
CARTO_LOWER_RIGHT_X=60;
CARTO_LOWER_RIGHT_Y=-35.000000;
MAP_PROJ_RESOLUTION=0.0089285714;

```

Nombre de lignes et de colonnes pour la moyenne emprise

Illustration 12. Résultat du script Python pour vérifier les pixels de la zone « moyenne emprise »

```

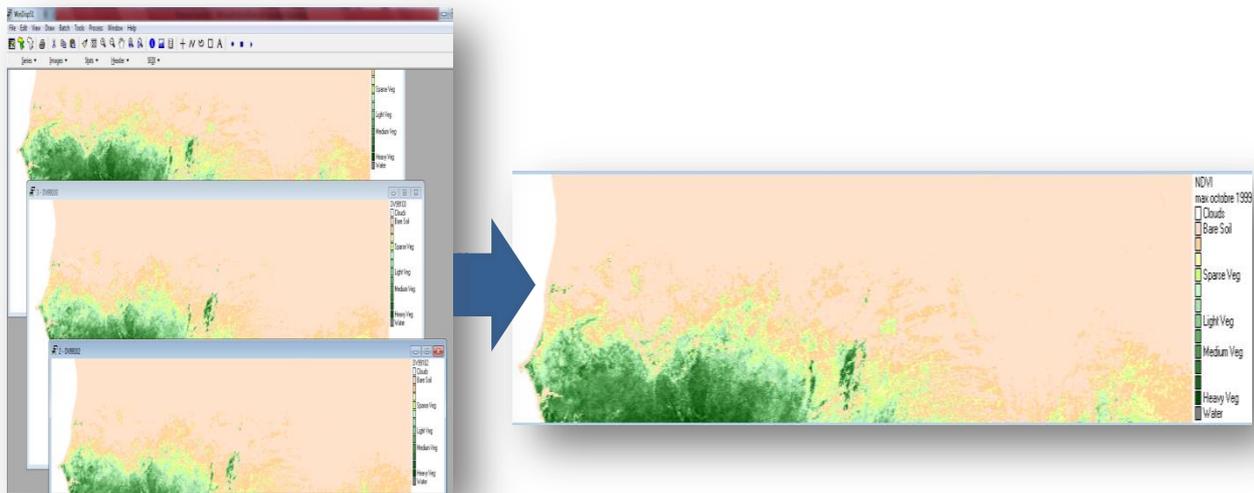
# Zone grande emprise
latdepdep=10;
latdepfin=21;
londepdep=-18;
londepfin=20;
nomfic_loc='Lat10_21Lon18_20_Africa'

#Image SPOT-VGT téléchargée
CARTO_UPPER_LEFT_X=-26;
CARTO_UPPER_LEFT_Y=38.000000;
CARTO_LOWER_RIGHT_X=60;
CARTO_LOWER_RIGHT_Y=-35.000000;
MAP_PROJ_RESOLUTION=0.0089285714;

```

Illustration 13. Résultat du Script Python pour vérifier les pixels de la zone « grande emprise »

CROP-VGT permet de découper les images de chaque décade des images SPOT-VGT de 1999 à 2013. Cependant, nous cherchons à obtenir une seule image mensuelle pour trois décades.



Pour ce faire, il est nécessaire de créer des listes des images des trois décades de chaque mois.

### 3. Création de listes des trois décades mensuelles avec Python

Un script Python est créé pour automatiser la création des listes. Ce programme peut être copié-collé, cependant, le chemin d'accès aux images issues de CROP\_VGT (surligné en bleu ci-dessous) doit être modifié.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# programme de création des listes

adate=[99,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]
bdate=range(0,13)
cdate=[1,2,3]
ddate=['decembre', 'janvier', 'fevrier', 'mars', 'avril', 'mai', 'juin', 'juillet', 'aout', 'septembre',
        'octobre', 'novembre', 'decembre', 'janvier']
edate=[1999,2000,2001,2002,2003,2004,2005,2006,2007,2008,2009,2010,2011,2012,2013]

for year in range(0,15):
    for month in range(1,13):
        entete='Files, A'
        ficout='.\%s%dME.lst' % (ddate[month],edate[year])
        f=open(ficout, 'a')
        f.write(entete+"\n")
        for week in range(1,4):
            text='%d,
D:\\logiciels_VGT\\Windisp\\1999_2013_lisible_Windisp\\ME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\\1
999_2013_ME\\images\\NDV%02d%02d%dmep.img' % (week,adate[year],bdate[month],week)
            f.write(text+"\n")
        f.close()
```

Modifier le chemin d'accès aux images

Illustration 14. Script pour créer des listes des trois décades mensuelles de 1999 à 2013 pour la zone "moyenne emprise"

Ainsi, le script Python permet de créer chaque liste des trois décades mensuelles. Le nom de la liste contient le mois, l'année et la zone d'étude (ME pour Moyenne Emprise). Les listes sont créées au même emplacement que le fichier contenant le programme Python.

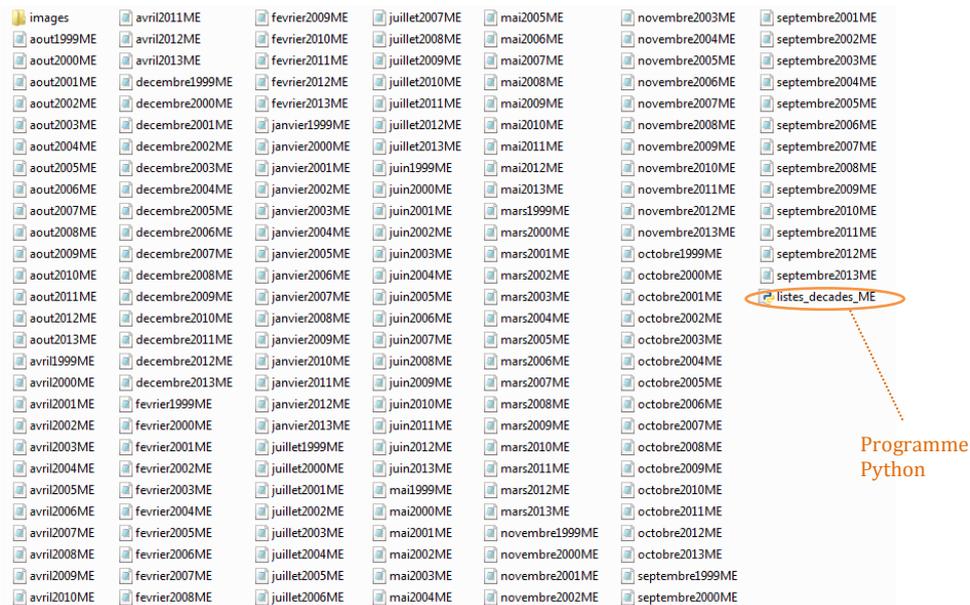


Illustration 15. Listes générées par le programme Python « listes\_decades\_ME »

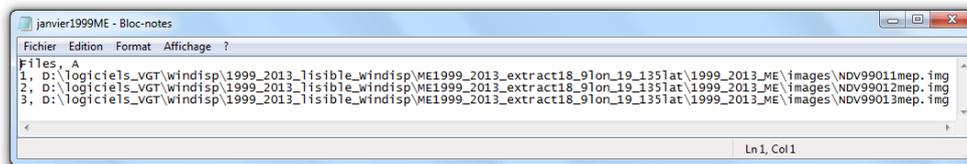


Illustration 16. Exemple du contenu d'une des listes générées : la liste « janvier1999ME » contient la liste des trois images des trois décades du mois de janvier 1999

Une fois les listes créées, des traitements automatiques peuvent être effectués sur les trois décades mensuelles. Dans un premier temps, nous recherchons la moyenne des trois décades mensuelles et dans un second temps, leur maximum.

#### 4. Moyenne des trois décades mensuelles avec WinDisp

Pour obtenir la moyenne des trois décades mensuelles de façon automatique, la version 5.1 de l'application WinDisp, développée par le Système mondial d'information et d'alerte précoce (SMIAR) de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, est utilisée. Elle est téléchargeable via l'URL suivante : <http://www.fao.org/gIEWS/english/windisp/dl.htm>.

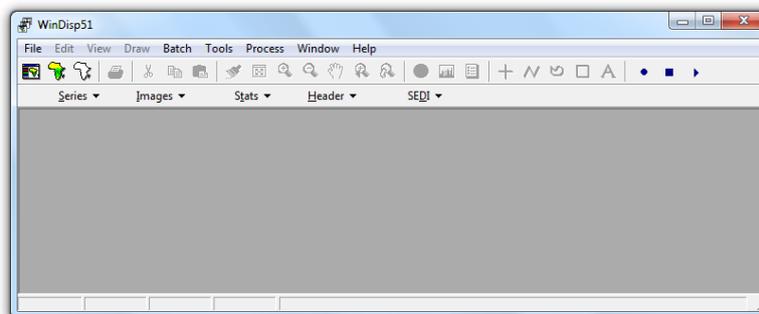
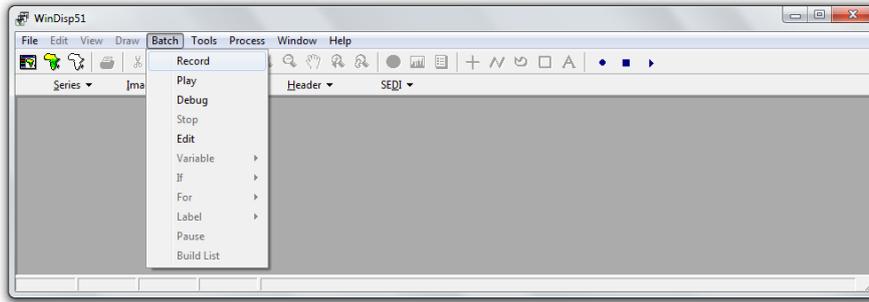


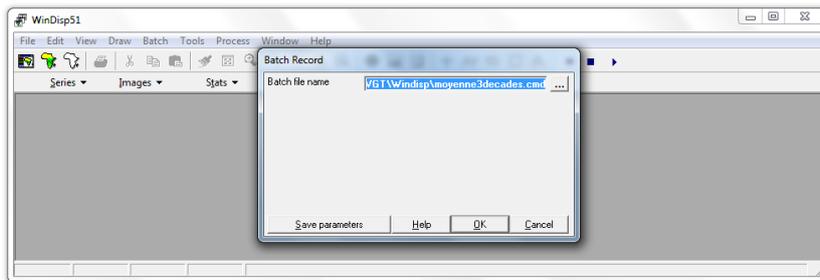
Illustration 17. Interface de l'application WinDisp 5.1

Une macro est réalisée pour automatiser cette tâche. Pour ce faire, cliquer sur « Batch » puis sur « Record ».

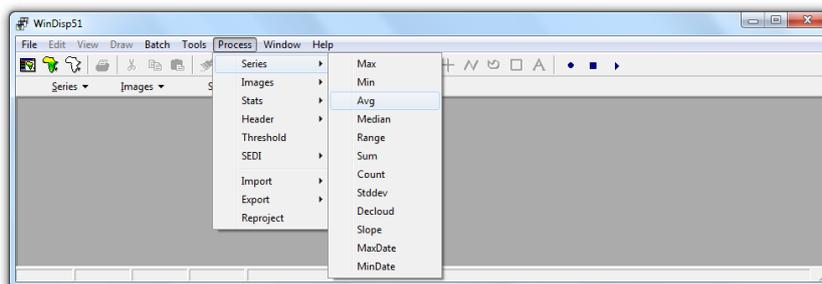


Attribuer un nom à la macro, par exemple « moyenne3decades », garder l'extension « .cmd » et sélectionner son emplacement en cliquant sur [...] puis cliquer OK. A partir de ce clic, toutes les manipulations effectuées sont enregistrées dans le fichier « moyenne3decades.cmd ».

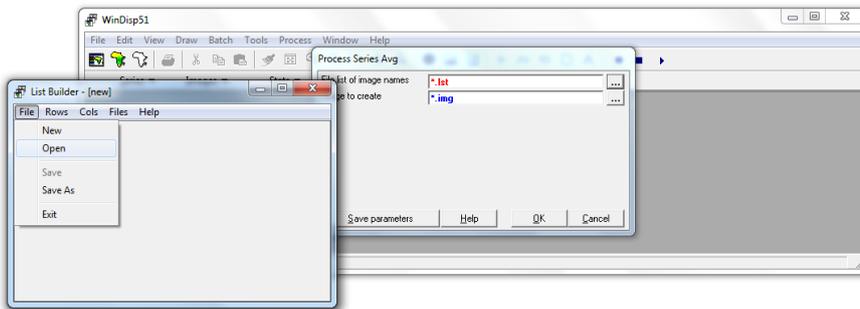
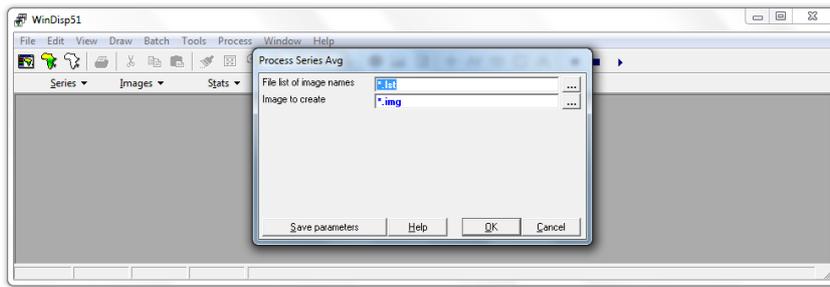
Les manipulations consistent à effectuer la moyenne de la première liste, c'est-à-dire la liste « janvier1999ME.lst ».



Sélectionner « Process », puis « Series » et « Avg » pour obtenir l'image de la moyenne (Average en anglais) de la série des trois images des trois décades.

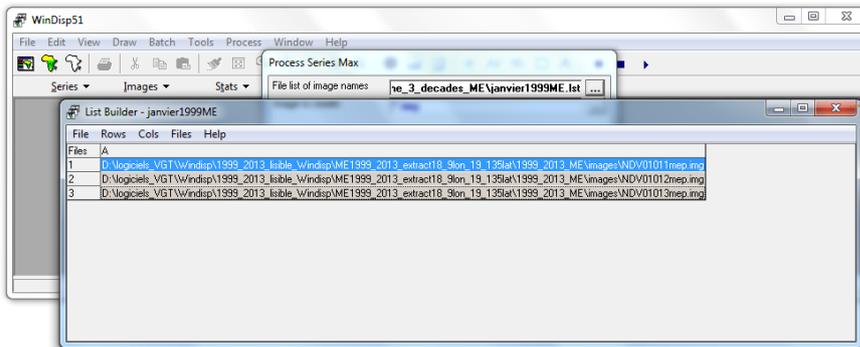


Cliquer [...] puis sélectionner « File » et « Open ».



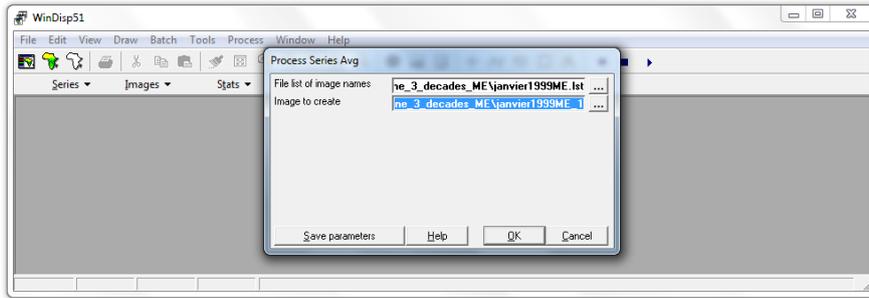
Sélectionner la première liste soit la liste « janvier1999ME » dans notre cas. Elle contient la liste des trois images des trois décades du mois de janvier 1999 : NDV99011mep.img, NDV99012mep.img et NDV99013mep.img

- janvier1999ME
- janvier2000ME
- janvier2001ME
- janvier2002ME
- janvier2003ME
- janvier2004ME
- janvier2005ME
- janvier2006ME
- janvier2007ME
- janvier2008ME
- janvier2009ME
- janvier2010ME
- janvier2011ME
- janvier2012ME
- janvier2013ME

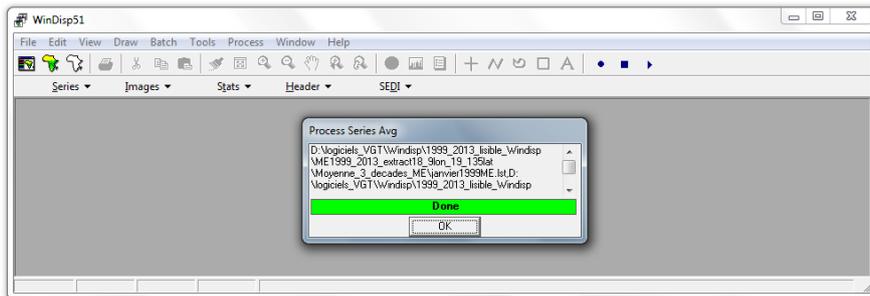


Cliquer pour fermer

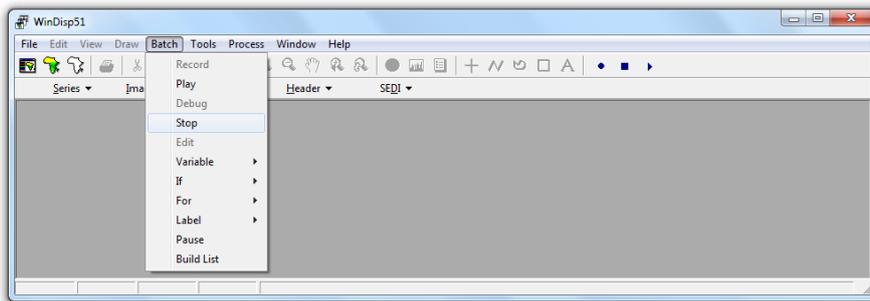
Saisir le nom de la première image à créer dans le champ « Image to create ». Dans notre cas, la première image est nommée janvier1999ME\_1 et la dernière image est decembre2013ME\_180.



Cliquer « OK ».



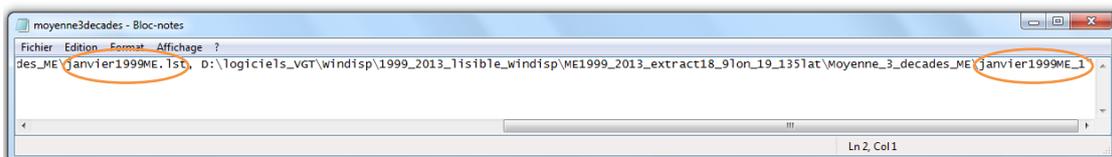
Arrêter l'enregistrement de la macro en cliquant sur « Stop » dans le menu « Batch ».



Ensuite, se positionner sur le fichier commande créé « moyenne3decades.cmd » puis cliquer droit « Modifier ».



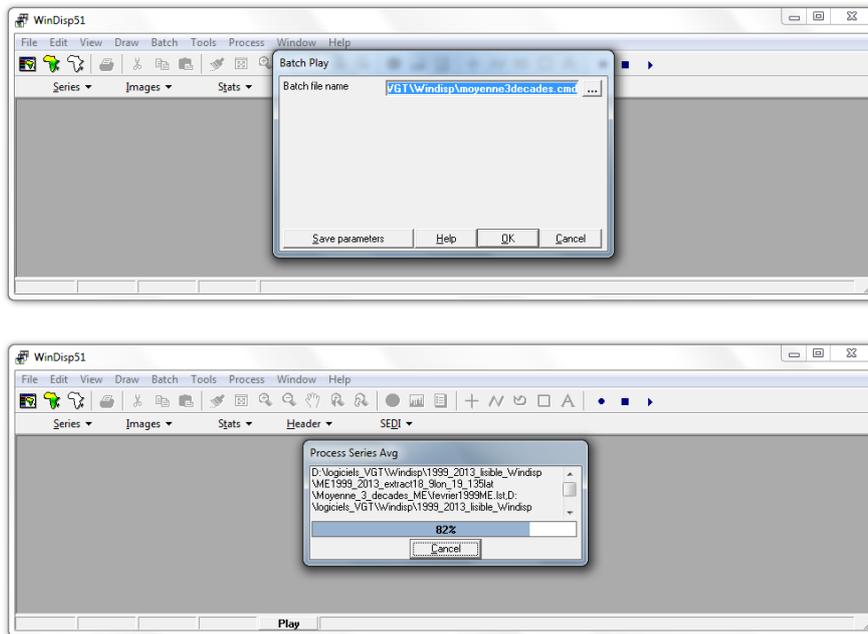
Ainsi, la ligne de commande est visible, elle consiste à effectuer la moyenne « Process Series Avg » des images de la liste « janvier1999ME.lst » et à ranger l'image générée, nommée « janvier1999ME\_1 », dans le dossier choisi.



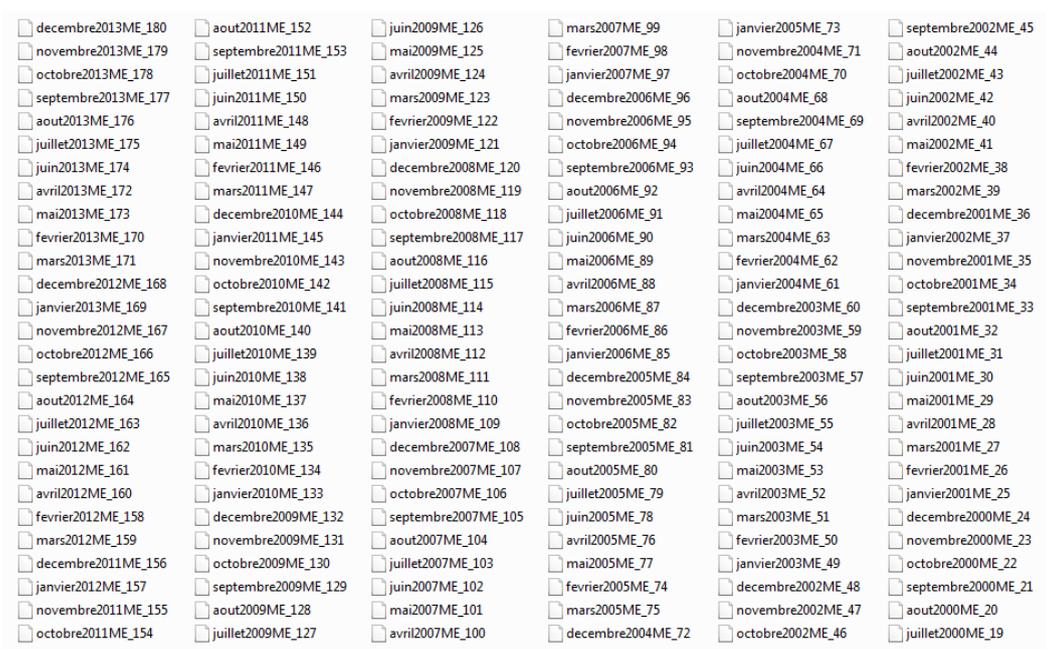
Excel est utilisé pour reproduire cette ligne pour chaque image.



Sélectionner le fichier commande « moyenne3decades.cmd » puis cliquer « OK ».

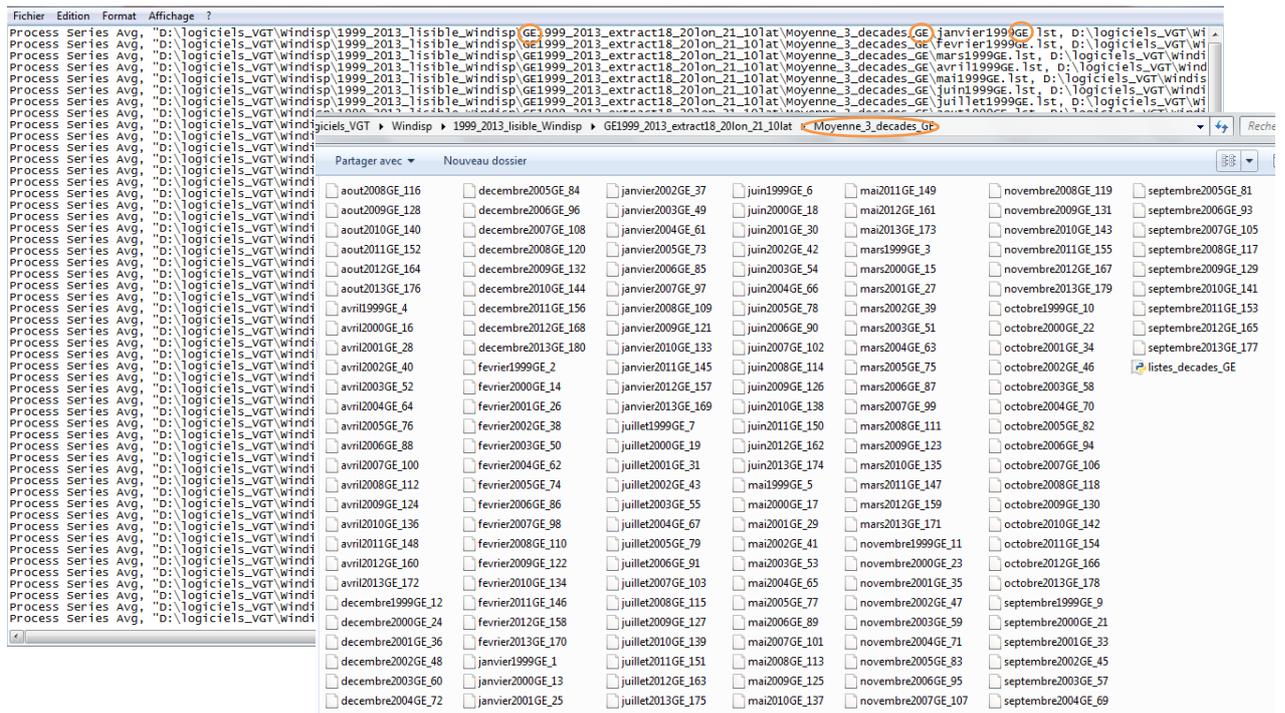


Les images des moyennes mensuelles sont générées pour la moyenne emprise.



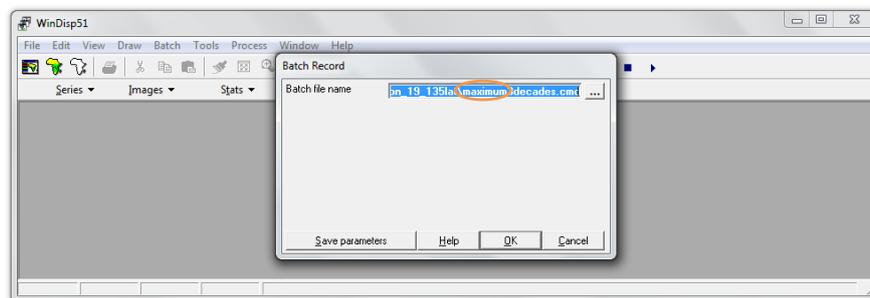
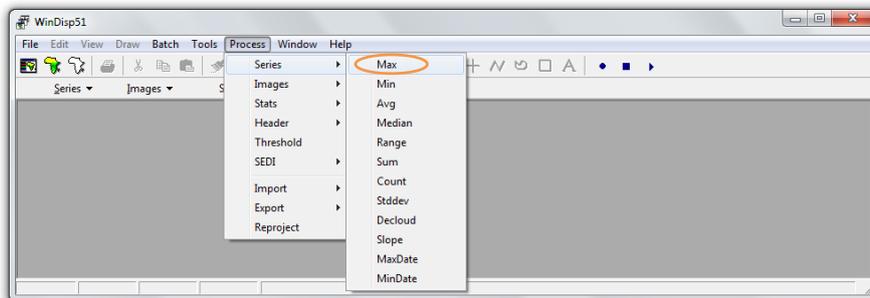
Les images des moyennes pour la grande emprise sont générées de façon similaire. Elles sont coupées avec CROP\_VGT sur la zone d'emprise : de 21° nord à 10° nord et de 18° ouest à 20° est.

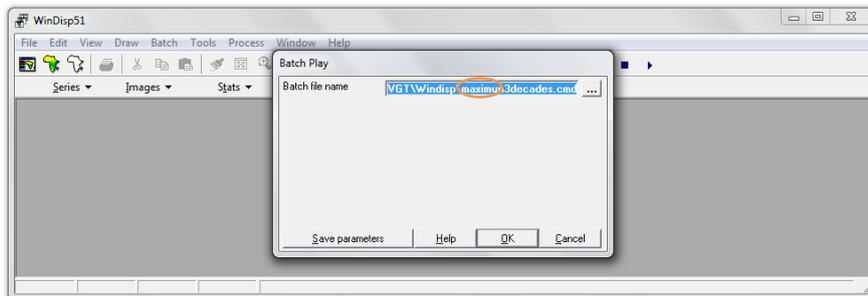
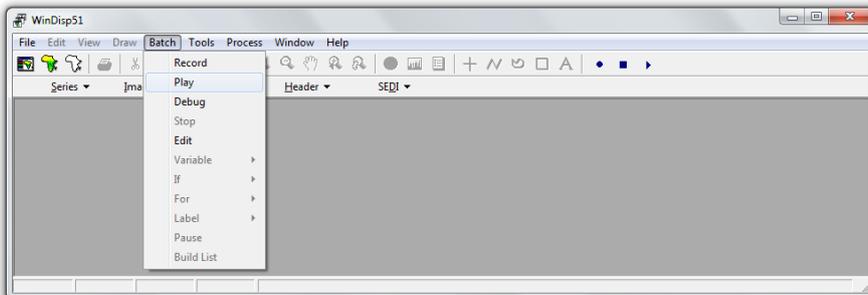
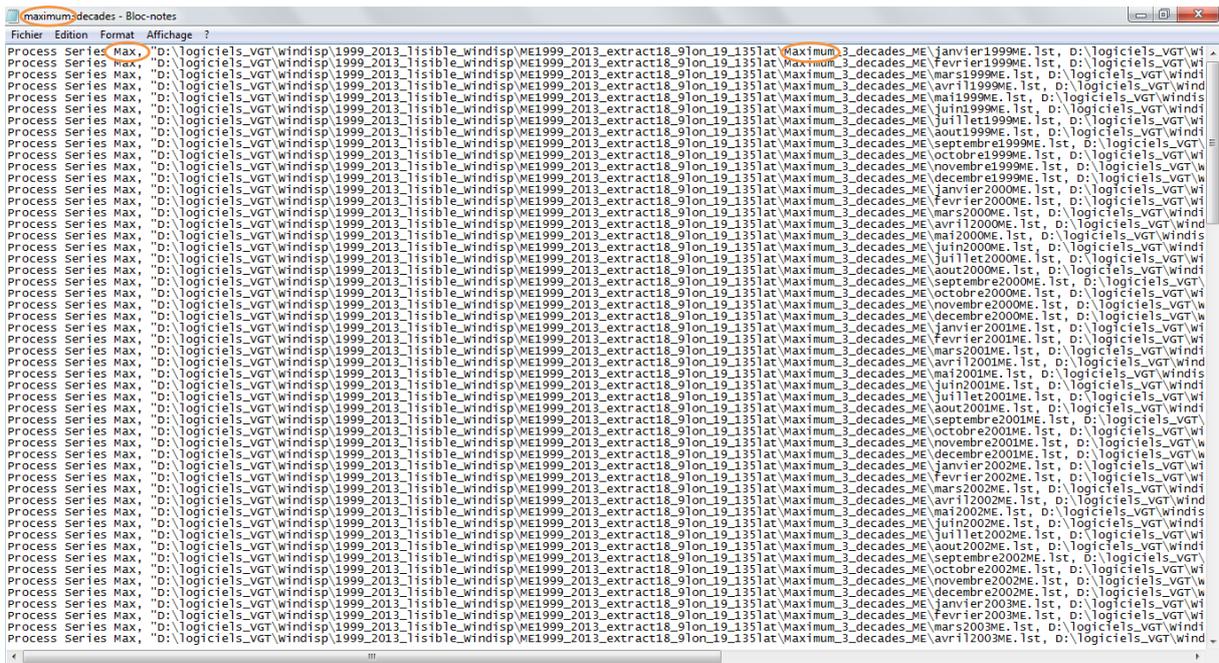
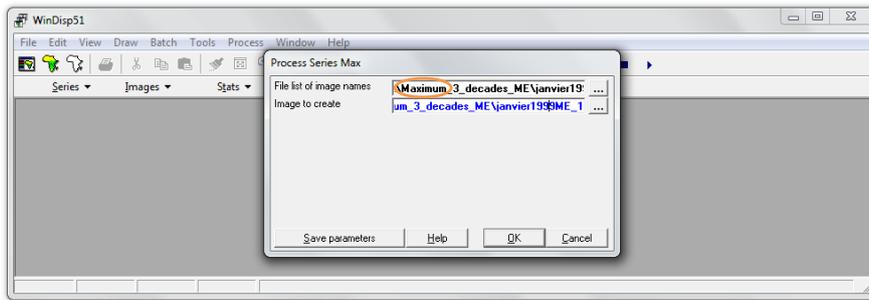
Ensuite, elles sont traitées sous WinDisp en remplaçant dans les traitements « ME » par « GE » pour « Grande Emprise » et en modifiant les noms des dossiers en entrée et sortie.

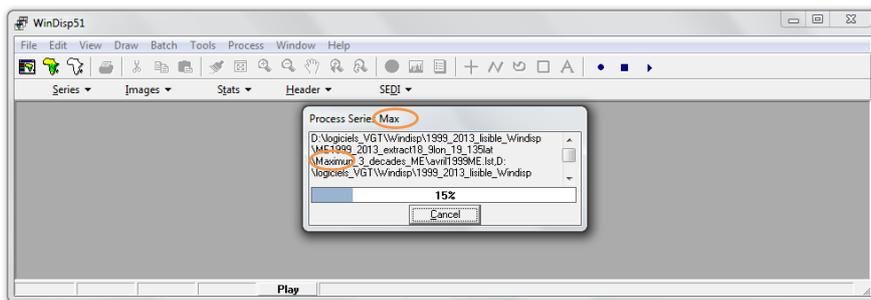


## 5. Maximum des trois décades mensuelles avec WinDisp

Les images des maximums mensuels sont générées comme les moyennes.  
 Les différentes étapes sont présentées ci-dessous, « Avg » est remplacé par « Max ».

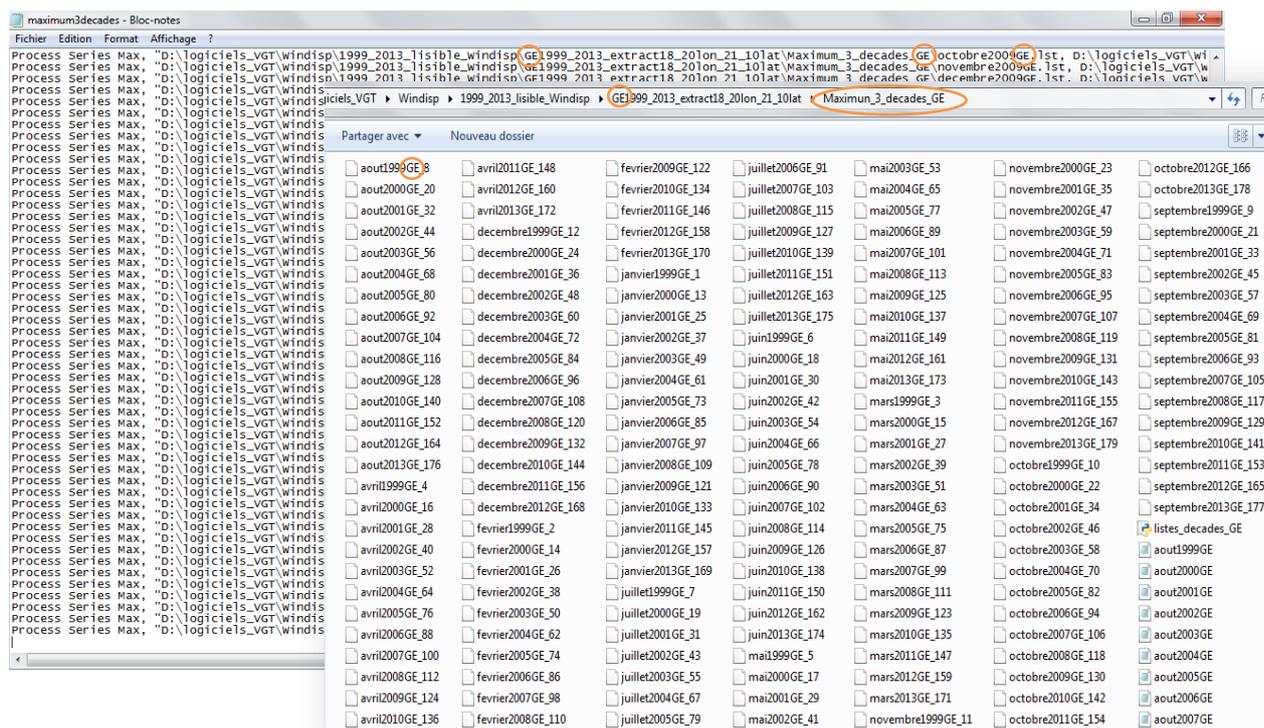






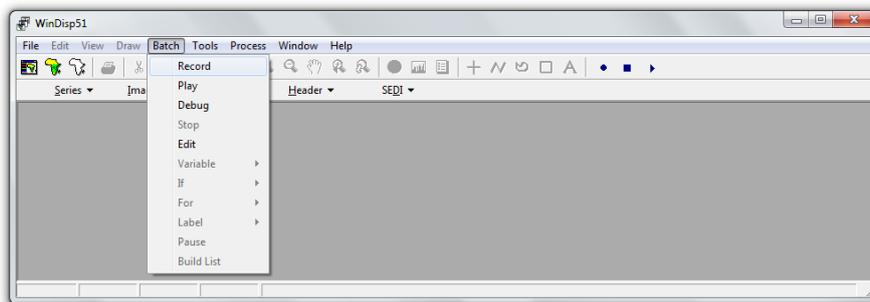
Les images des maximums pour la grande emprise sont générées de façon similaire. Elles sont coupées avec CROP\_VGT sur la zone d'emprise : de 21° nord à 10° nord et de 18° ouest à 20° est.

Ensuite, elles sont traitées sous WinDisp en remplaçant dans les traitements « ME » par « GE » pour « Grande Emprise » et en modifiant les noms des dossiers en entrée et sortie.



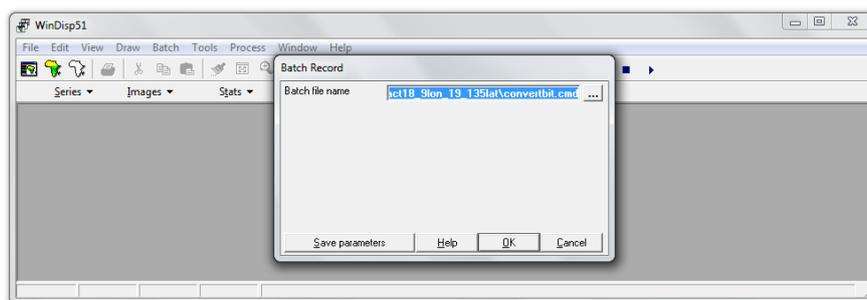
## 6. Conversion des images en 8 bits avec WinDisp

Une macro est réalisée pour automatiser cette tâche. Pour ce faire, cliquer sur « Batch » puis sur « Record ».

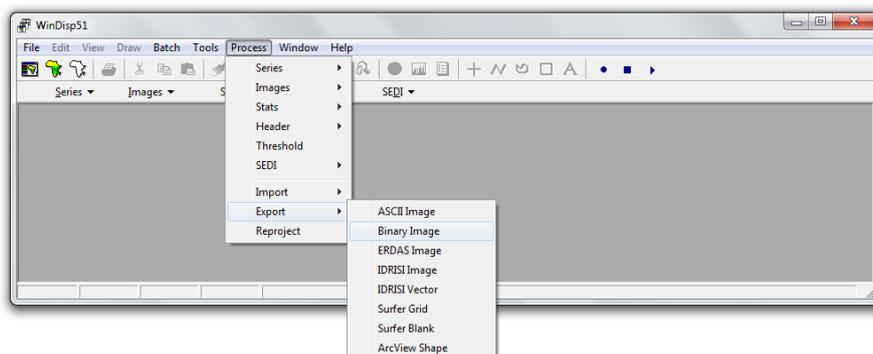


Attribuer un nom à la macro, par exemple « convertbit », garder l'extension « .cmd » et sélectionner son emplacement en cliquant sur [...] puis cliquer OK. A partir de ce clic, toutes les manipulations effectuées sont enregistrées dans le fichier « convertbit.cmd ».

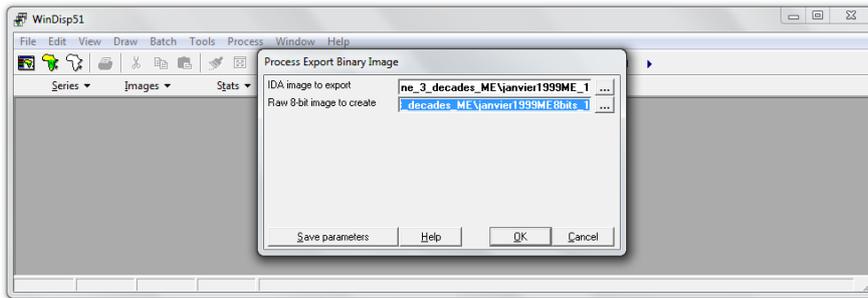
Les manipulations consistent à convertir en 8 bits les images mensuelles des moyennes des trois décades de chaque zone d'étude.



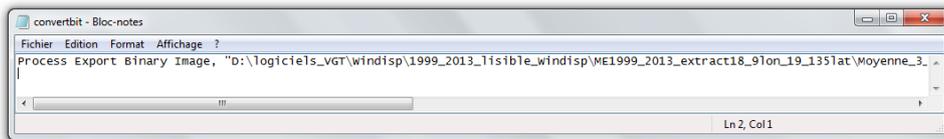
Sélectionner « Process », puis « Export » et « Binary Image ».



Sélectionner la première image soit l'image « janvier1999ME\_1 » dans « IDA image to convert » et renseigner le nom de l'image 8 bits à créer dans le champ « Raw 8-bit image to create ».



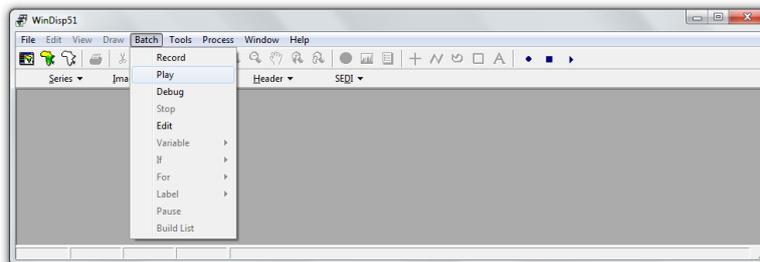
La commande enregistrée est affichée ci-dessous.

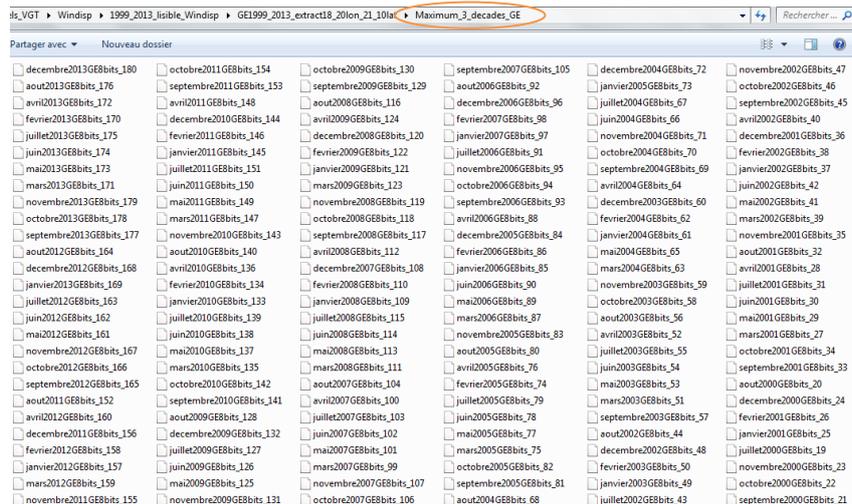
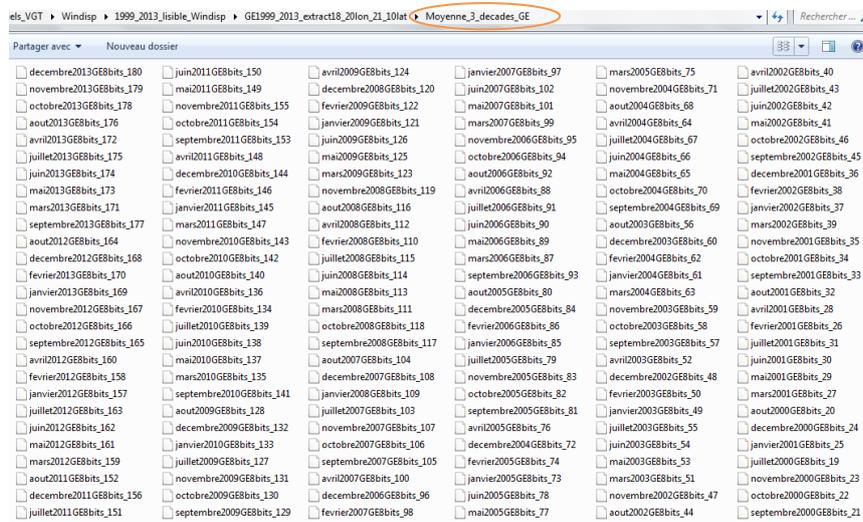
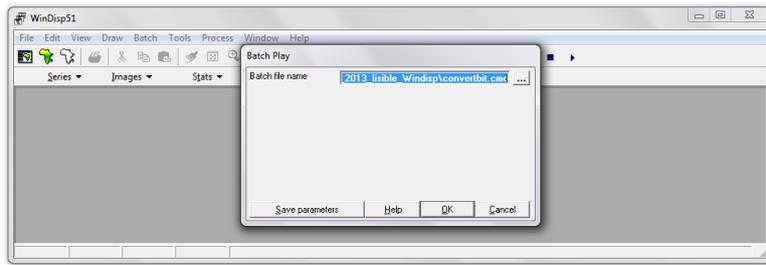


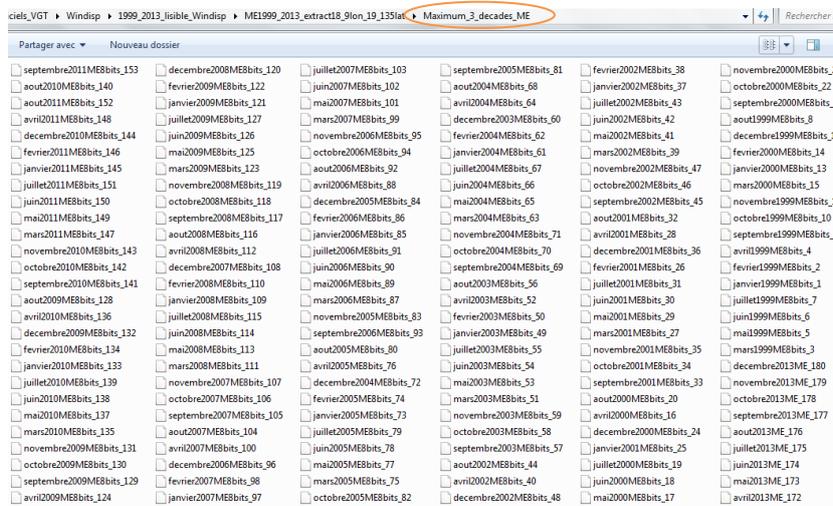
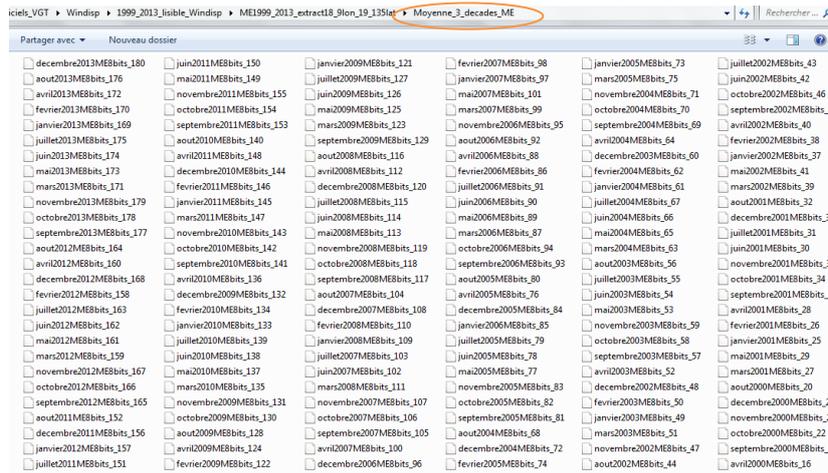
Comme précédemment, le fichier de commandes est modifié pour appliquer le traitement sur les 180 images des moyennes mensuelles et les 180 images des maximums mensuels de chaque région d'intérêt. Il est possible de tout réunir dans le même fichier pour qu'un seul « Batch » effectue la conversion des 720 images cependant, il est nécessaire d'être très rigoureux sur le nom des fichiers en entrée et sortie.

```
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\Moyenne_3_decades_MEJanvier1999ME8bits_1"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\Moyenne_3_decades_MEJanvier1999ME8bits_2"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\Moyenne_3_decades_MEFevrier1999ME8bits_3"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\Moyenne_3_decades_MEMars1999ME8bits_4"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\Moyenne_3_decades_MEMai1999ME8bits_5"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\Moyenne_3_decades_MEJuin1999ME8bits_6"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\Moyenne_3_decades_MEJuillet1999ME8bits_7"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\Moyenne_3_decades_MEAout1999ME8bits_8"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\Moyenne_3_decades_MESeptembre1999ME8bits_9"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\Moyenne_3_decades_MEOctobre1999ME8bits_10"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispME1999_2013_extract18_9lon_19_135lat\Moyenne_3_decades_MENovembre1999ME8bits_11"
[...]
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEAout2012GE8bits_164"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GESeptembre2012GE8bits_165"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEOctobre2012GE8bits_166"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GENovembre2012GE8bits_167"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEDecembre2012GE8bits_168"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEJanvier2013GE8bits_169"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEFevrier2013GE8bits_170"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEMars2013GE8bits_171"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEAout2013GE8bits_172"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEMai2013GE8bits_173"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEJuin2013GE8bits_174"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEJuillet2013GE8bits_175"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEAout2013GE8bits_176"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GESeptembre2013GE8bits_177"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEOctobre2013GE8bits_178"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GENovembre2013GE8bits_179"
Process Export Binary Image, "D:\logiciels_VGT\windisp\1999_2013_1isible_WindispGE1999_2013_extract18_20lon_21_10lat\Maximum_3_decades_GEDecembre2013GE8bits_180"
```

Le batch peut être ensuite lancé en sélectionnant le fichier « convertbit.cmd » modifié.







## 7. Vérification de quelques images créées avec WinDisp

L'application WinDisp est utilisée pour vérifier quelques images générées. Les images des maximums et des moyennes sont correctes.

Zoom avant sur l'image du maximum des trois décades

Zoom avant sur l'image de la première decade

Zoom avant sur l'image de la seconde decade

Zoom avant sur l'image de la troisième decade

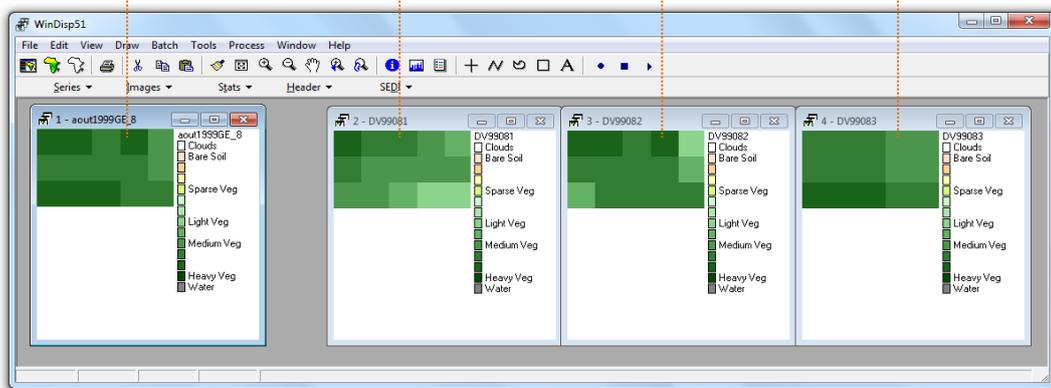


Illustration 18. Zoom avant sur l'image du maximum des trois décades d'août 1999 à gauche et sur les trois images des décades d'août 1999 à droite (Grande emprise)

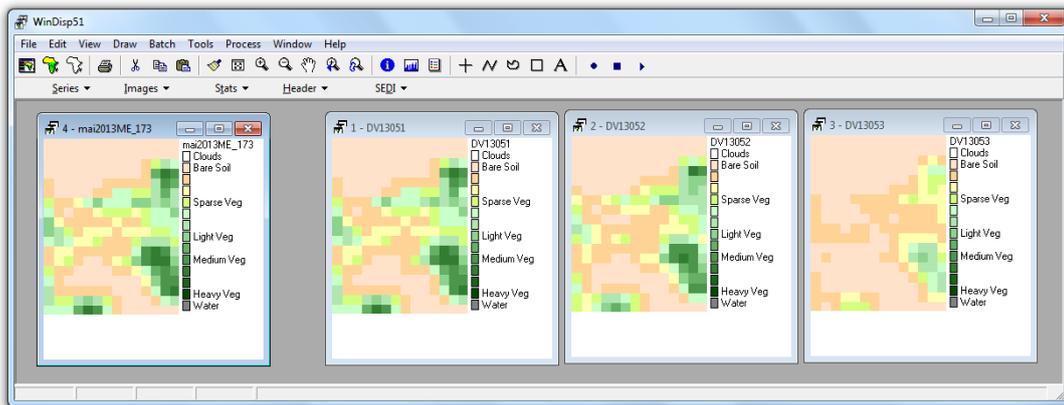


Illustration 19. Zoom avant sur l'image du maximum des trois décades de mai 2013 à gauche et sur les trois images des décades de mai 2013 à droite (Moyenne emprise)

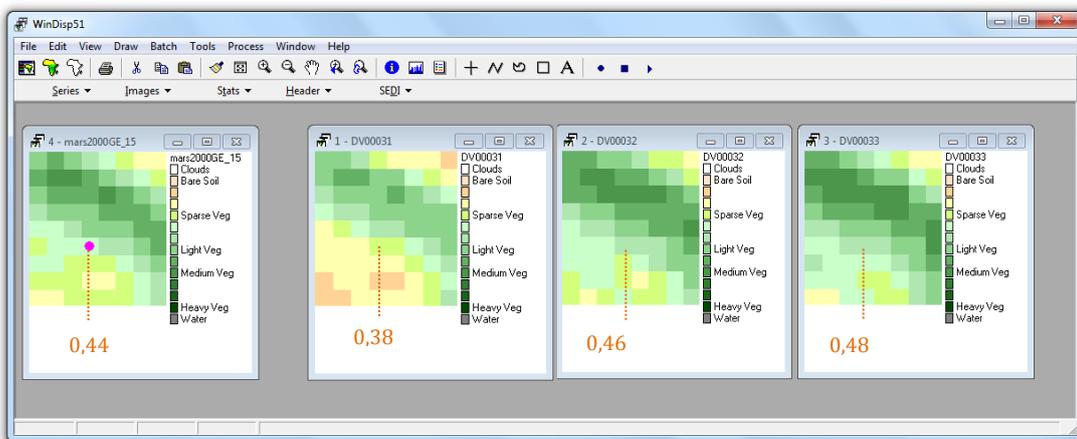


Illustration 20. Zoom avant sur l'image de la moyenne des trois décades de mars 2000 à gauche et sur les trois images des décades de mars 2000 à droite (Grande emprise)

-0,1	-0,08	Clouds
-0,08	0,27	Bare Soil
0,27	0,34	
0,34	0,37	
0,38	0,41	Sparse Veg
0,41	0,45	
0,45	0,49	
0,49	0,53	Light Veg
0,54	0,57	
0,58	0,62	Medium Veg
0,63	0,68	
0,68	0,74	
0,74	0,92	Heavy Veg
0,92	0,92	Water

From	To	Red	Green	Blue	Files
0	5	255	255	255	Clouds
6	92	255	226	201	Bare Soil
93	110	255	211	150	
111	118	255	255	176	
119	127	211	255	125	Sparse Veg
128	137	201	255	201	
138	147	176	230	176	
148	158	140	211	140	Light Veg
159	168	100	176	100	
169	181	75	150	75	Medium Veg
182	195	50	125	50	
196	210	25	100	25	
211	254	0	75	0	Heavy Veg
255	255	128	128	128	Water

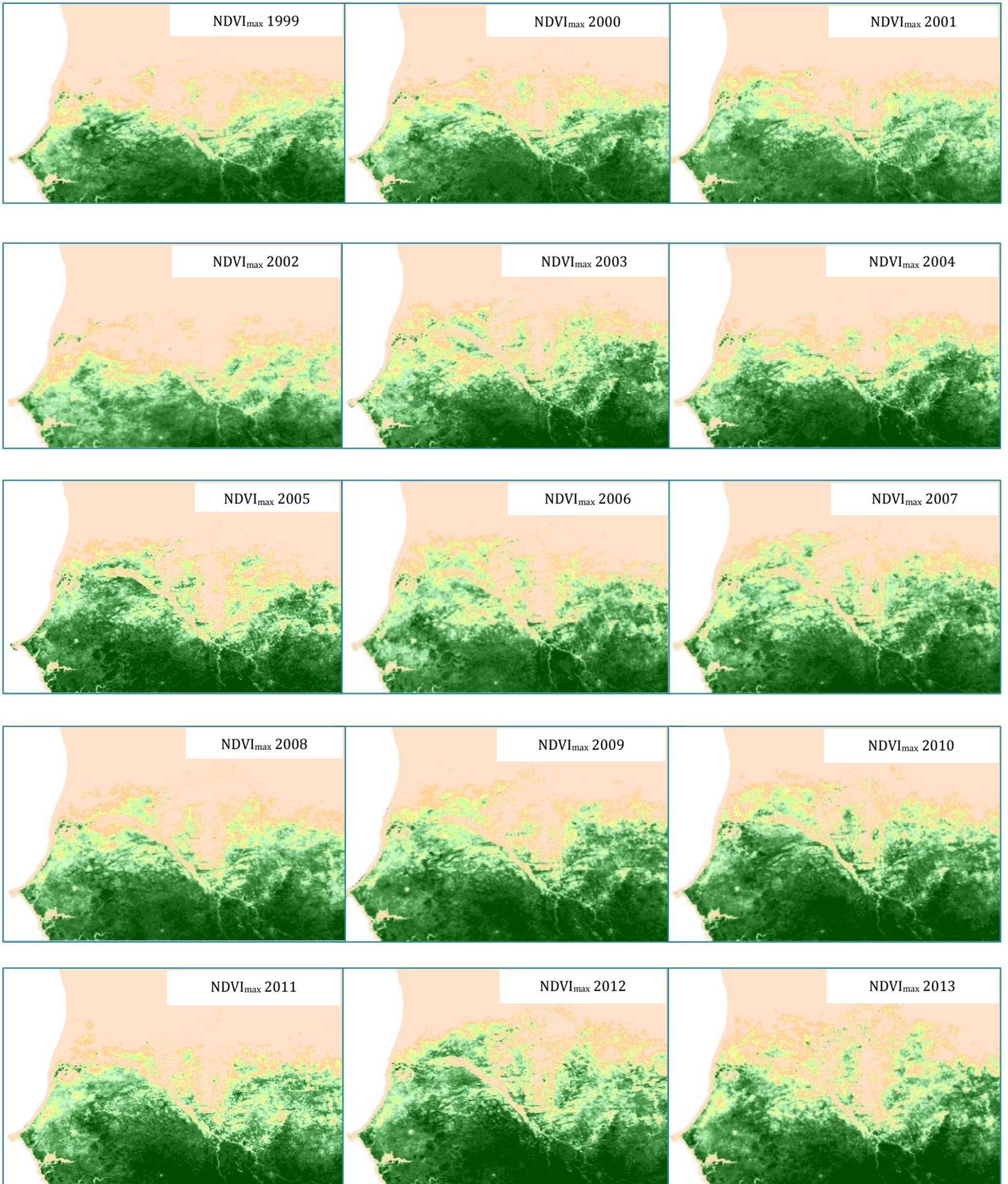
Illustration 21. Table de couleur pour le NDVI fournie dans le package WinDisp pour les valeurs de NDVI

La formule pour calculer le NDVI réel des images SPOT-VGT est la suivante :

$$\text{NDVI}_{\text{réel}} = 0,004 * \text{CN} + b$$

Remarque : cette formule diffère pour d'autres capteurs, par exemple, il convient de diviser par 10 000.00 pour les images MODIS et NOAA-AVHRR GIMMS pour calculer le NDVI réel.

Exemples : images de l'évolution du NDVI<sub>max</sub> de 1999 à 2013 - Moyenne emprise



## 8. Analyse des séries temporelles avec TIMESAT

TIMESAT est une application développée par Per Jönsson du Centre pour les études technologiques de l'Université de Malmö en Suède et par Lars Eklundh du Département de la Terre et des sciences des écosystèmes à l'Université de Lund en Suède. Elle est téléchargeable via l'URL : <http://www.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp?cat=4>.

TIMESAT permet de visualiser la série temporelle et produit la courbe de l'évolution temporelle du signal pour chaque pixel. Les courbes sont lissées contrairement à l'application WinDisp.

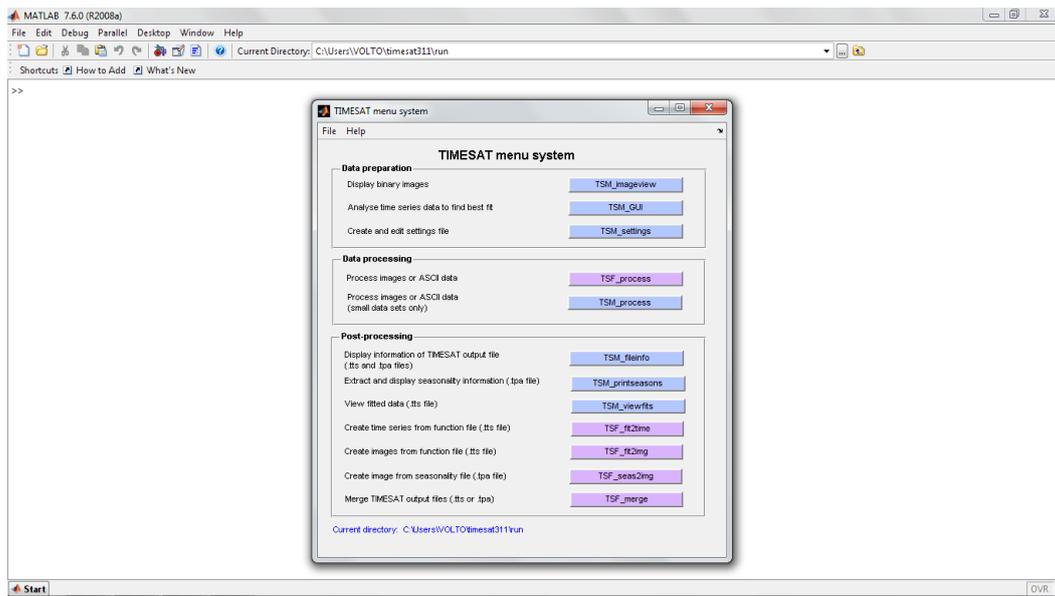


Illustration 23. Interface TIMESAT

D'après le manuel utilisateur de TIMESAT, pour lire une liste de fichiers d'images, il est nécessaire de créer un fichier txt. contenant le nombre total d'images ainsi que le nom et le chemin pour accéder à chaque image. Le fichier doit se présenter sous la forme :

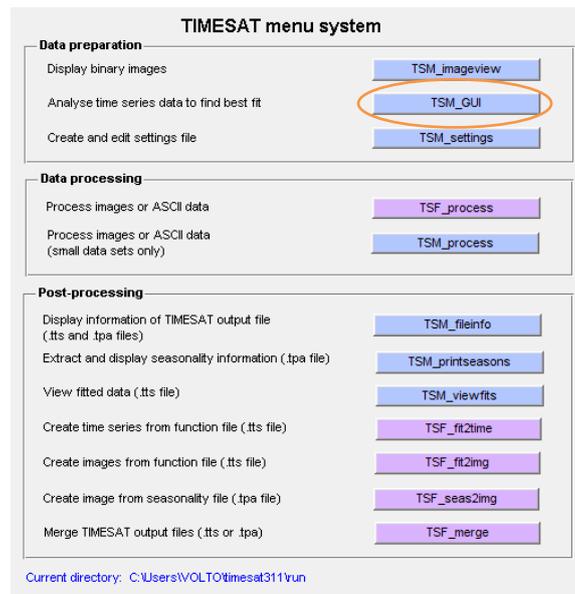
```
N
path\imagename_1
path\imagename_2
[...]
path\imagename_N
```

La première ligne précise le nombre d'images et chaque ligne indique le chemin et le nom de chaque image. Les deux points au début de chaque ligne indiquent qu'il s'agit d'un chemin relatif.

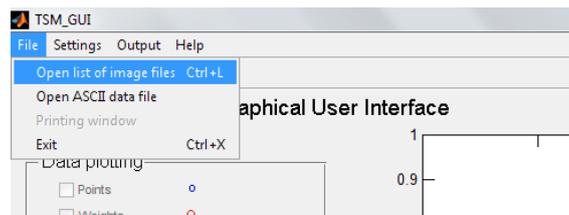
Pour visualiser les images de la moyenne des trois décades mensuelles durant 15 ans sur la moyenne emprise, les images en 8 bits issues de WinDisp sont copiées-collées dans un sous-dossier « ME » du dossier « data » appartenant au package de l'application TIMESAT par commodité.

```
180
../data/ME/janvier1999ME8bits_1
../data/ME/fevrier1999ME8bits_2
[...]
../data/ME/novembre2013ME8bits_179
../data/ME/decembre2013ME8bits_180
```

Cliquer sur « TSM\_GUI ».



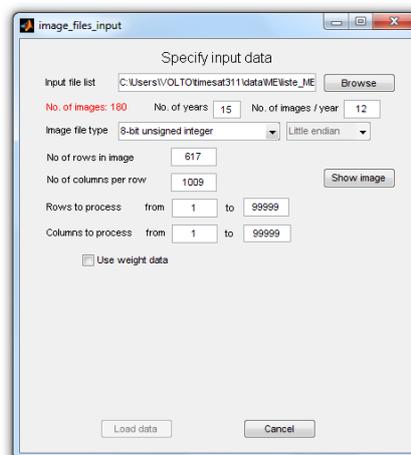
Cliquer sur « File » puis sur « Open list of images files ».



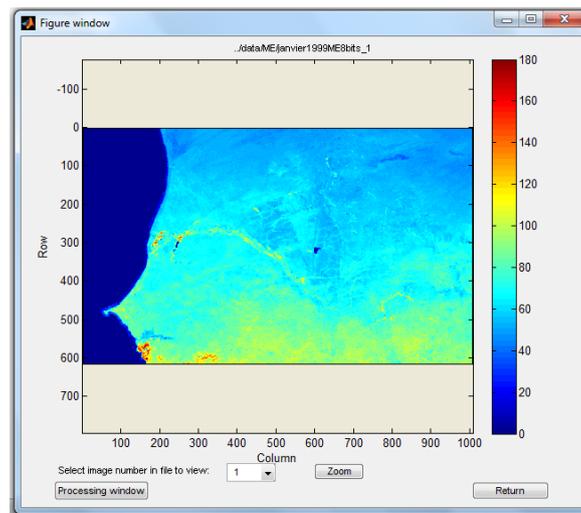
Dans « Input file list », sélectionner le fichier texte contenant la liste des images.

Dans « N°. of years », saisir le nombre d'années. Dans notre cas, de 1999 à 2013, « 15 » est saisi. Le chiffre « 12 » est renseigné automatiquement par l'application.

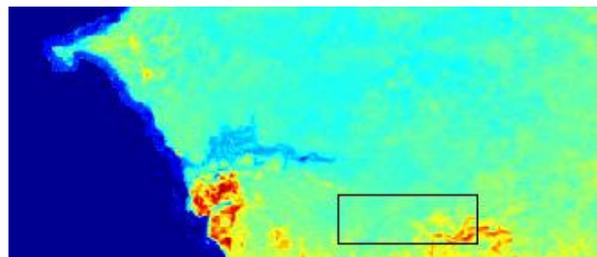
Ensuite, renseigner le nombre de colonnes et de lignes des images.



Cliquer « Show image » pour visualiser la première image et sélectionner une région d'intérêt dans l'image.



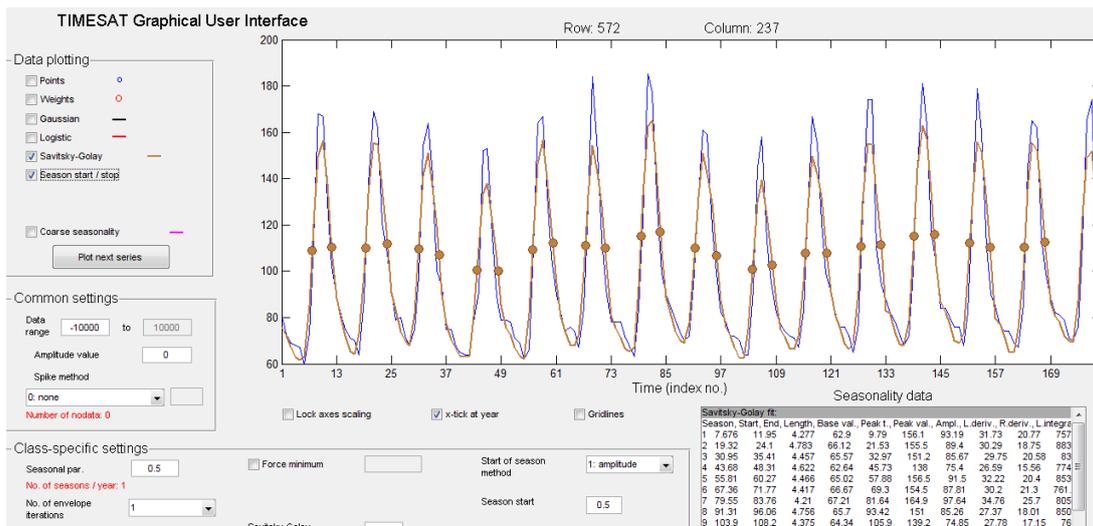
Cliquer sur « Processing window » puis sélectionner la région d'intérêt (rectangle noir ci-contre) puis cliquer sur « Return ».



Les colonnes et les lignes des pixels analysés sont indiquées par l'application. Il est possible de les renseigner ou les modifier manuellement.

No of rows in image	617	
No of columns per row	1009	Show image
Rows to process	from 572 to 604	
Columns to process	from 237 to 327	

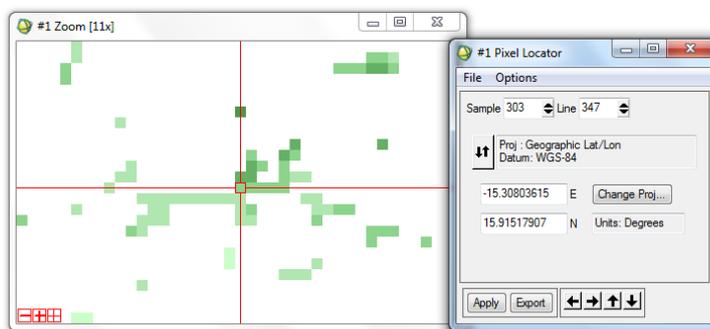
Ensuite, cliquer sur « Load data ».



**Illustration 24. Visualisation de l'évolution temporelle du signal NDVI pour 1 pixel, de son lissage et des paramètres phénologiques**

### Exemple d'étude avec TIMESAT

Cette étude consiste, dans un premier temps, à la visualisation des paramètres phénologiques de quelques pixels d'une classe d'occupation du sol « herbe / sable » durant la saison de l'année 2000 puis à l'observation des intégrales du NDVI sur les 15 ans d'acquisition des images pour les images SPOT-VGT. Dans un second temps, quelques paramètres phénologiques sont observés sur l'ensemble de la moyenne emprise.



**Illustration 25. Pixel 1 visualisé sous ENVI**

L'étude est réalisée avec la série de données NDVI du capteur Végétation de SPOT de 1999 à 2013 : 540 images, décadaires sur quinze ans, téléchargées sur le site internet VITO comme expliqué plus haut dans ce document.

Toutes les images sont renommées avec l'application LUPAS Rename pour correspondre au format des données en entrée sous TIMESAT.

La zone d'étude (cf. échantillon ci-contre) correspond à 4 pixels sur les images SPOT-VGT soit 400 hectares dans la réserve sylvo-pastorale des Six Forages, c'est-à-dire en région sablonneuse :

- Pixel 1 : 347, 303
- Pixel 2 : 347, 304
- Pixel 3 : 347, 305
- Pixel 4 : 347, 306

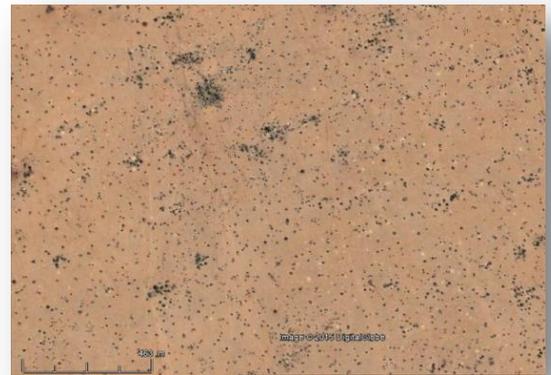


Image 1. Echantillon de la zone - Google Earth

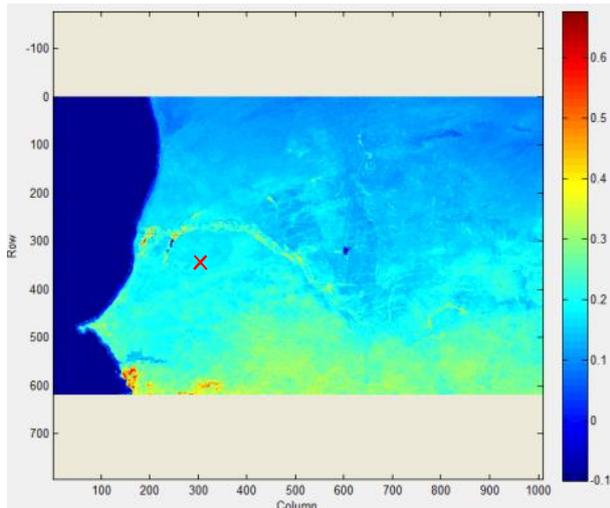


Illustration 26. Zone d'étude sur 4 pixels (croix rouge)

TIMESAT permet d'extraire les paramètres phénologiques suivants :

- a : début de la saison
- b : fin de saison
- e : point avec la valeur maximum
- f : amplitude
- g : longueur de la saison
- h : petite intégrale
- i : grande intégrale

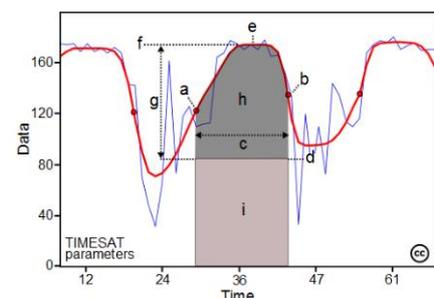


Illustration 27. Figure extraite du guide utilisateur de TIMESAT

Les petites et grandes intégrales correspondent à l'effet cumulé de la végétation durant la saison, l'aire correspond ainsi à la production primaire nette.

TIMESAT permet la visualisation de l'évolution temporelle du signal NDVI pour 1 pixel et de ses paramètres phénologiques. Ci-dessous, sont présentées les courbes de l'évolution sur quinze ans du signal pour chacun des quatre pixels. Pour des données de NDVI peu affectées par le bruit, la méthode de filtrage Savitzky-Golay fonctionne correctement car elle est capable de suivre des comportements complexes tels que la rapide augmentation suivie d'un plateau décroissant. Par contre, pour les séries temporelles affectées par le bruit, les données issues du filtre Savitzky-Golay sont difficiles à interpréter. Dans ce cas, il est préférable d'utiliser la seconde méthode c'est-à-dire cocher la case « Gaussian » dans TIMESAT (Per Jonsson et Lars Eklundh, 2004).

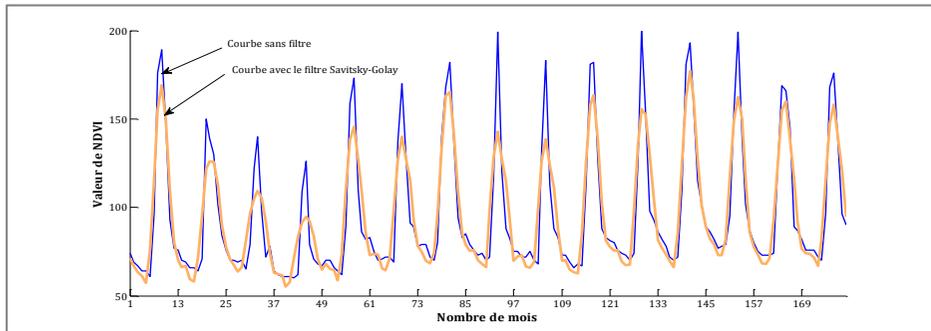


Illustration 28. Courbe de l'évolution du NDVI d'un pixel de la zone d'intérêt avec le filtre Savitsky-Golay

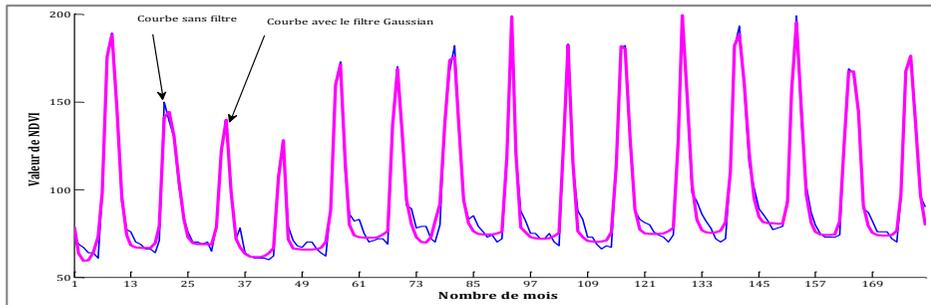
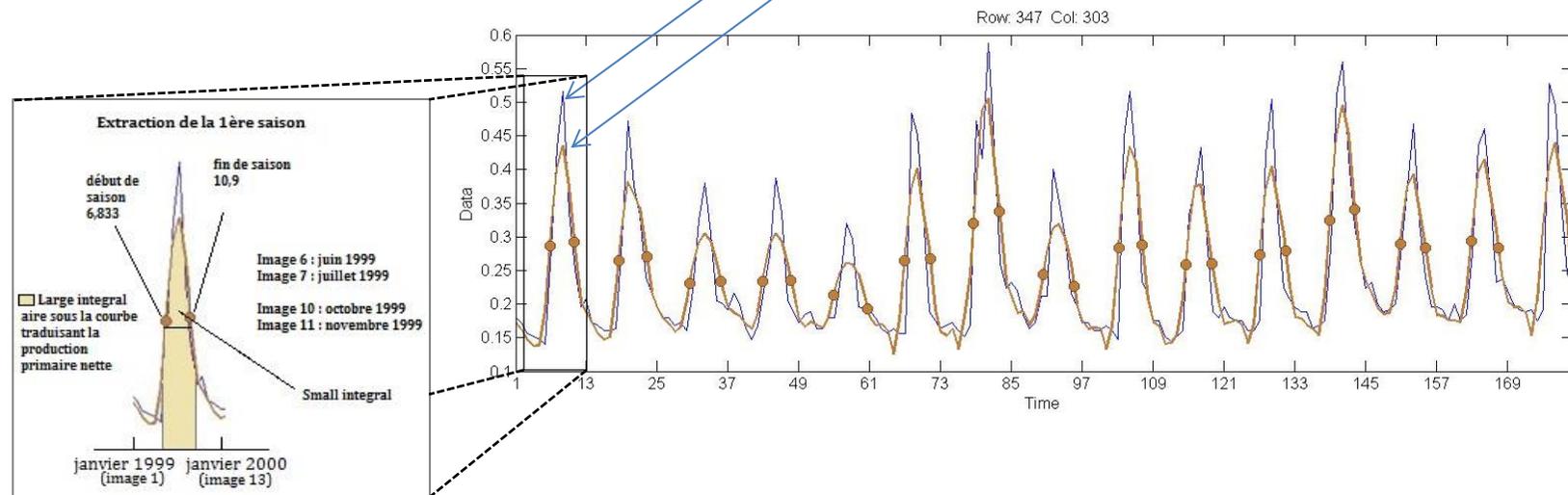


Illustration 29. Courbe de l'évolution du NDVI d'un pixel de la zone d'intérêt avec le filtre Gaussian à gauche et détail concernant la première saison visualisée sur la figure ci-après

Valeur maximum du NDVI avant lissage : 0,516

Valeur maximum du NDVI après lissage : 0,436



L'explication qui suit n'est pas exhaustive, un guide utilisateur très complet (82 pages) et des fichiers de travaux pratiques sont fournis avec l'application.

TIMESAT s'utilise de haut en bas.

1

Dans l'étape 1, le premier bouton permet de visualiser une image unique et ainsi vérifier que le format correspond.

Le second bouton de l'étape 1 a été présenté plus haut, c'est celui qui permet de visualiser la série. Il permet de sauvegarder la zone d'étude dans un fichier settings avec un clic sur « Load settings file ».

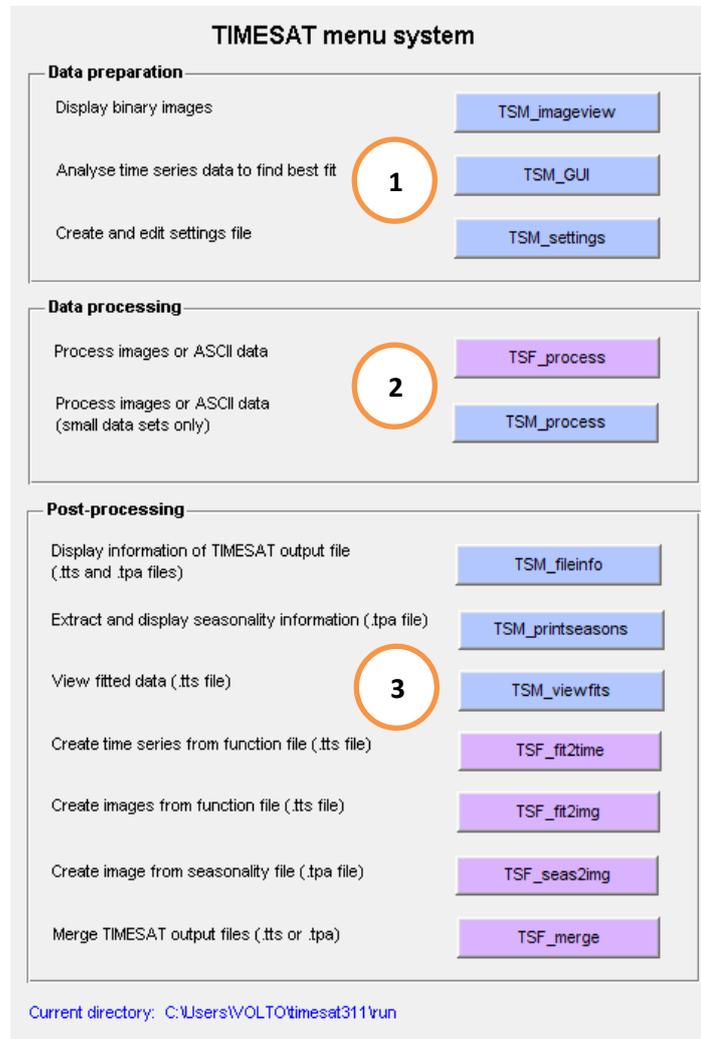
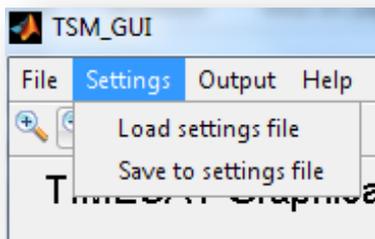
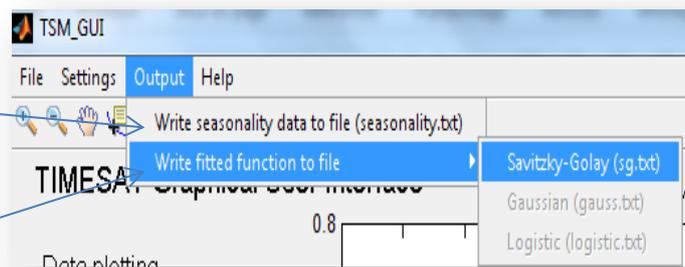


Illustration 30. Interface TIMESAT

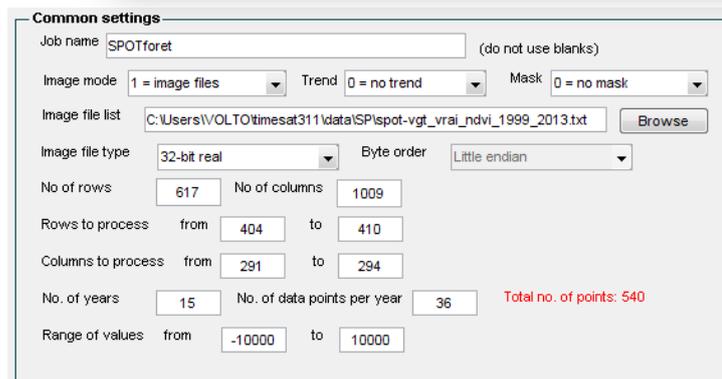
TSM\_GUI permet d'extraire, « Output », les paramètres phénologiques exploitables sous Excel. Deux types de données sous forme de fichiers texte (.txt) sont disponibles :

Le 1<sup>er</sup> nommé « seasonality.txt » contient les paramètres phénologiques du pixel visualisé.

Le 2<sup>ème</sup> « sg.txt » contient les valeurs de NDVI du pixel visualisé pour chaque année et permet ainsi de refaire la courbe lissée visualisée.



Toujours dans l'étape 1, le bouton « TSM\_settings » permet notamment de changer la zone d'intérêt dans la série d'images et de l'enregistrer sous un autre nom.



2

Le bouton violet de la seconde étape est important, il permet de lancer l'algorithme sur les données enregistrées avec « Load settings file » vu précédemment.

3

Dans la partie « Post-processing », le bouton « TSM-printseasons » extrait la saisonnalité sur une zone d'étude et non plus d'un seul pixel comme vu précédemment. Les lignes et les colonnes de la zone à extraire sont à renseigner (cf. ci-dessous)

Extract and display seasonality information (.tpa file) **TSM\_printseasons**

```
TINESAT version 3.1.1
Copyright Per Jonsson and Lars Eklundh
per.jonsson@mah.se, lars.eklundh@nateko.lu.se
Nov 2012
-----
Data window in file
-----
Rows   : 404 - 410
Columns: 291 - 294

Now enter the window you wish to display data for
First row: 404
Last row: 410
First column: 291
Last column: 294

Name of output text file (hit Enter to print to screen): forest
```

Illustration 31. Interface visualisée lorsque le bouton « TSM\_printseasons » est sélectionné

Enfin, le bouton « TSF\_seas2img » permet de créer une image à partir d'un paramètre phénologique et d'une saison.

Create image from seasonality file (.tpa file) **TSF\_seas2img**

Le paramètre est à choisir parmi la liste ci-contre puis la saison et enfin des codes à saisir en cas d'erreurs. Il convient de saisir « 0 », « 0 » et « begin » puis « 3 » pour 32 bits.

```
per.jonsson@mah.se, lars.eklundh@nate
Nov 2012
-----
Start of season _____ 1
End of season _____ 2
Length of season _____ 3
Base value _____ 4
Position of middle of season _____ 5
Maximum of fitted data _____ 6
Amplitude _____ 7
Left derivative _____ 8
Right derivative _____ 9
Large integral _____ 10
Small integral _____ 11

Seasonal parameter to output
```

Illustration 32. Interface visualisée lorsque le bouton « TSM\_printseasons » est sélectionné

Les moyennes mensuelles des données NDVI du capteur SPOT-VGT ont été utilisées pour la visualisation ci-dessous, soit une image par mois durant 15 ans. Les paramètres phénologiques sont extraits pour l'année 2000.

### Début de la saison (a)

Début de saison	
Pixel 1	18,47
Pixel 2	18,38
Pixel 3	18,29
Pixel 4	18,22

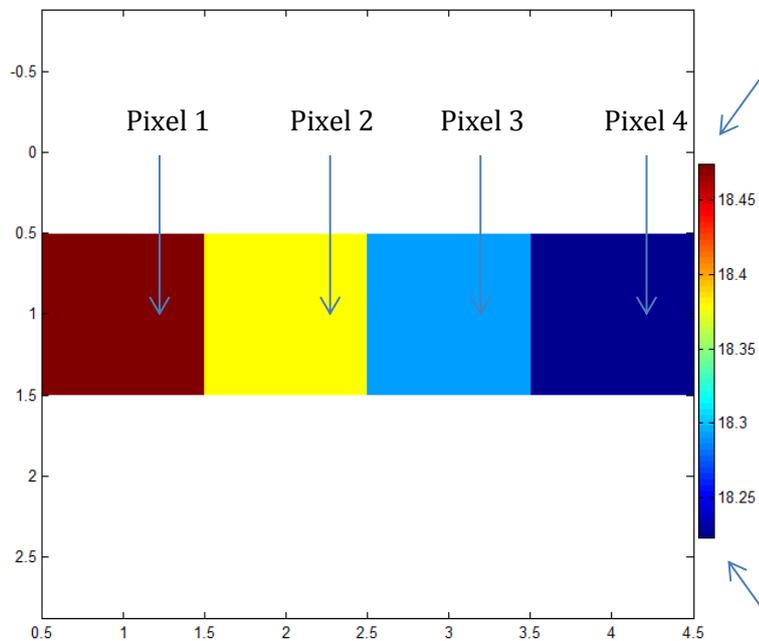


Illustration 33. Interface TIMESAT pour le début de saison

19<sup>ème</sup> image correspond à l'image de juillet 2000

18<sup>ème</sup> image correspond à l'image de juin 2000

### Fin de la saison (b)

Fin de saison	
Pixel 1	23,19
Pixel 2	23,04
Pixel 3	22,55
Pixel 4	22,55

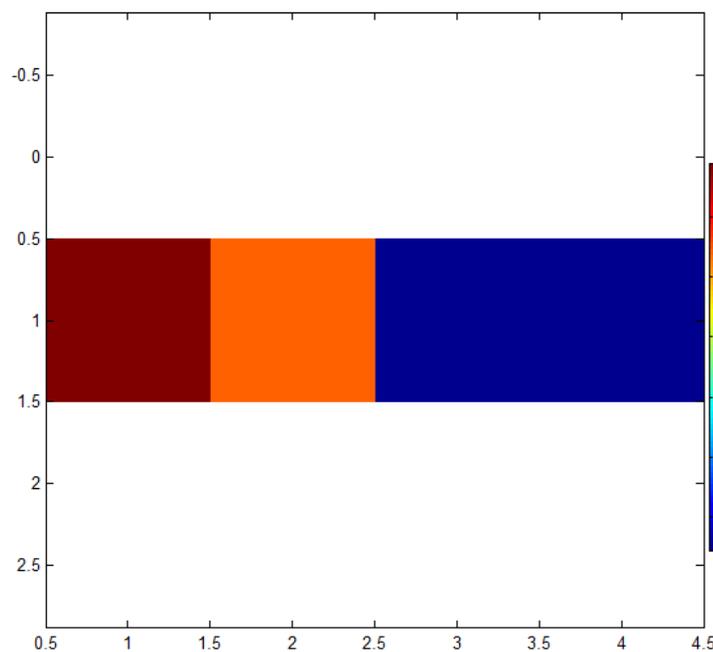


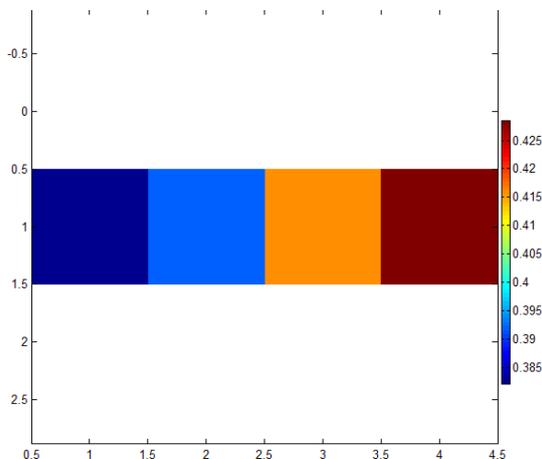
Illustration 34. Interface TIMESAT pour la fin de saison

23<sup>ème</sup> image correspond à novembre 2000

22<sup>ème</sup> image correspond à octobre 2000

- **Point avec la valeur maximum (c)**

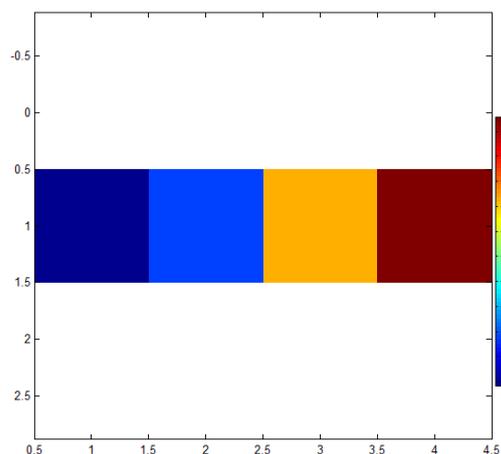
NDVI maximum	
<b>Pixel 1</b>	0,3821
<b>Pixel 2</b>	0,3916
<b>Pixel 3</b>	0,4156
<b>Pixel 4</b>	0,4286



**Illustration 35. Interface TIMESAT pour le maximum**

- **Amplitude (f)**

Valeur	
<b>Pixel 1</b>	0,2292
<b>Pixel 2</b>	0,2387
<b>Pixel 3</b>	0,2661
<b>Pixel 4</b>	0,2827

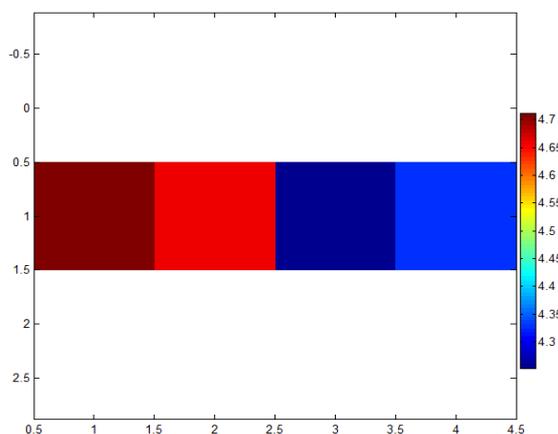


**Illustration 36. Interface TIMESAT pour l'amplitude**

- **Longueur de la saison (g)**

4 correspond à 4 images soit 4 mois puisque nous avons ici une image par mois et 5 correspond donc à 5 mois.

Valeur	
<b>Pixel 1</b>	4,712
<b>Pixel 2</b>	4,659
<b>Pixel 3</b>	4,253
<b>Pixel 4</b>	4,328



**Illustration 37. Interface TIMESAT pour la longueur de la saison**

▪ **Petite intégrale ou small integral (h)**

D'après Per Jönsson et Lars Eklundh, 2004, le NDVI intégré annuellement est souvent utilisé pour mesurer la production nette de la végétation (Running and Nemani, 1988 ; Goward et Dye, 1987 ; Ruimy et al., 1994). Ils précisent que pour une bonne estimation de la production de la végétation dominante durant la saison, il est aussi intéressant de calculer l'intégration du NDVI pendant la saison de croissance c'est-à-dire entre le début et la fin de saison.

Dans TIMESAT, la petite intégrale représente l'activité de la végétation saisonnière qui peut être très petite pour des zones toujours vertes.

	Valeur
Pixel 1	1,055
Pixel 2	1,088
Pixel 3	1,111
Pixel 4	1,186

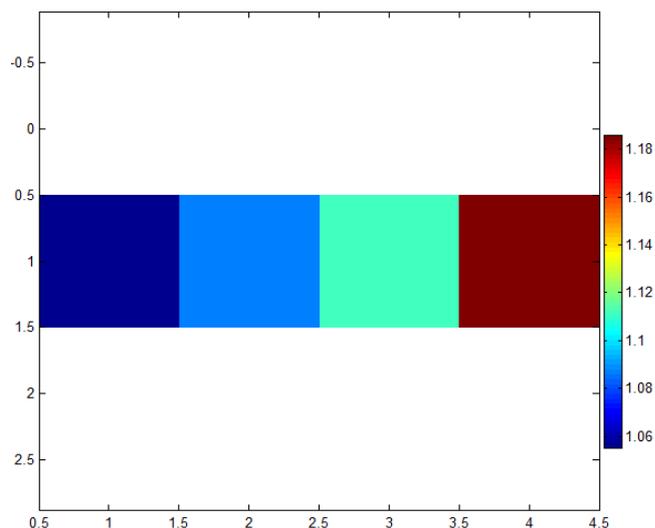


Illustration 38. Interface TIMESAT pour la petite intégrale

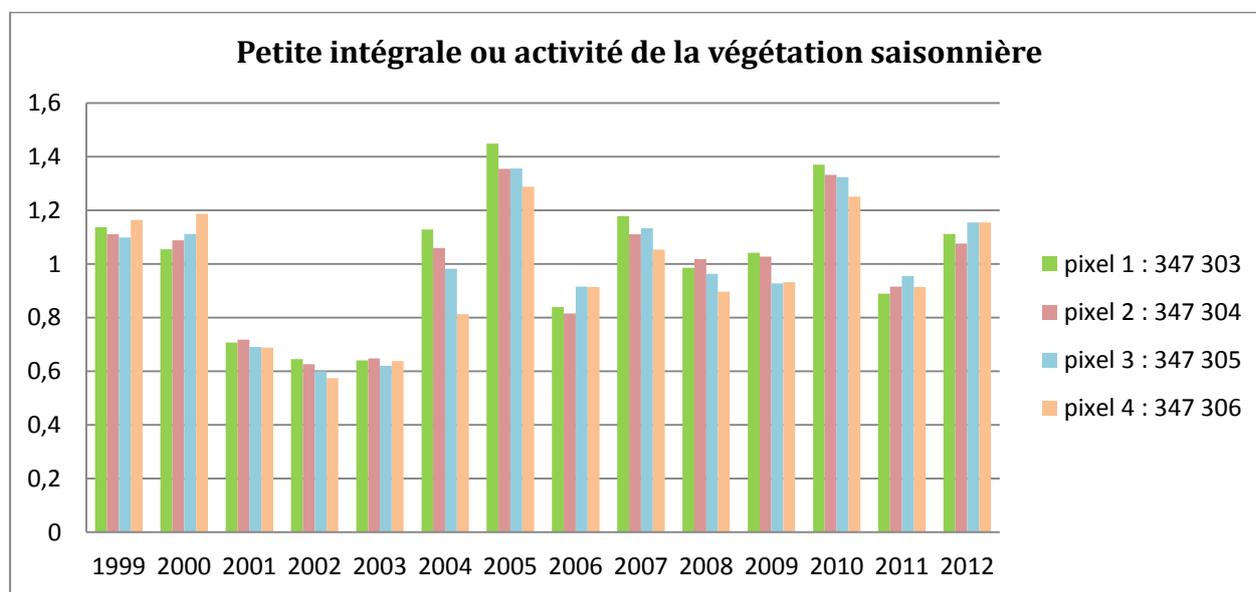


Illustration 39. Histogrammes réalisés sous Excel à partir du paramètre « Small integral »

▪ **Grande intégrale ou large integral (i)**

Cette aire représente la production totale de la végétation. Dans les régions toujours vertes, l'aire de la petite intégrale peut être petite même si l'aire de la grande intégrale est importante (Per Jönsson et Lars Eklundh, 2004).

	Valeur
<b>Pixel 1</b>	2,126
<b>Pixel 2</b>	2,158
<b>Pixel 3</b>	2,008
<b>Pixel 4</b>	2,061

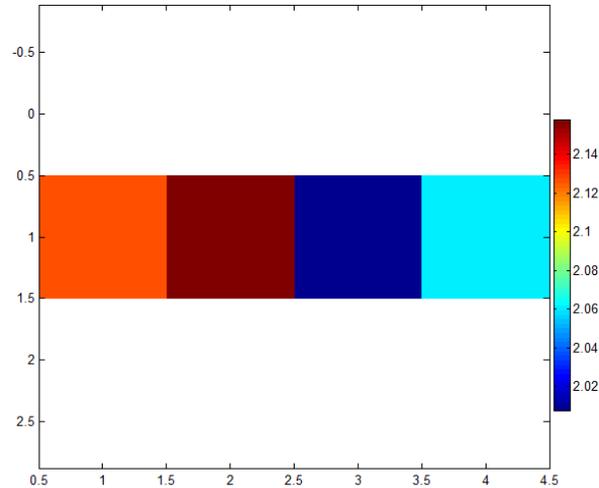


Illustration 40. Interface TIMESAT pour la grande intégrale

**Visualisation sous TIMESAT puis sous Excel des valeurs de la large intégrale sur 12 ans**

Pour comparer les années, l'échelle a été ajustée pour être identique à chaque visualisation.

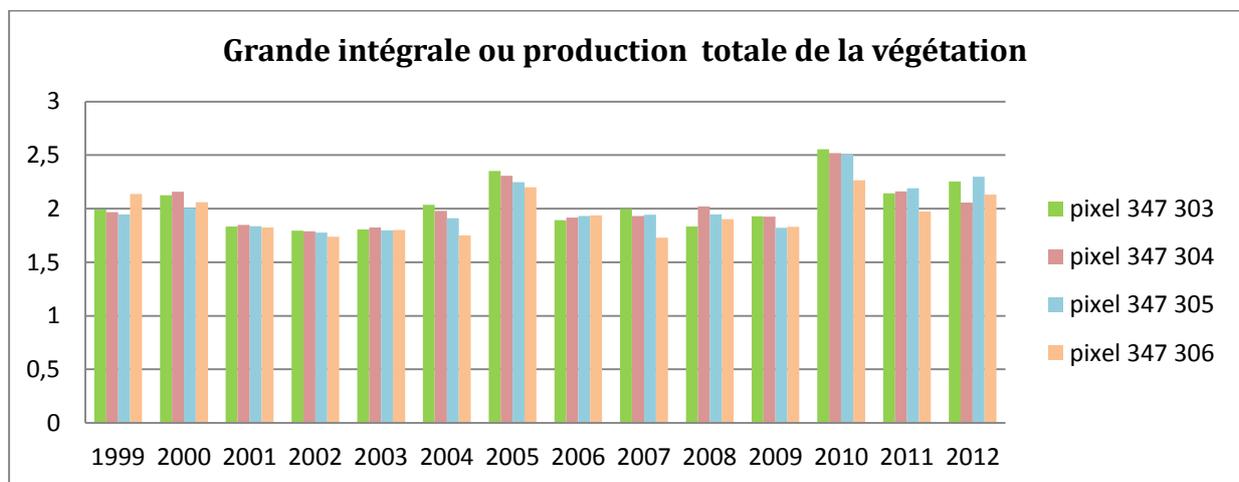
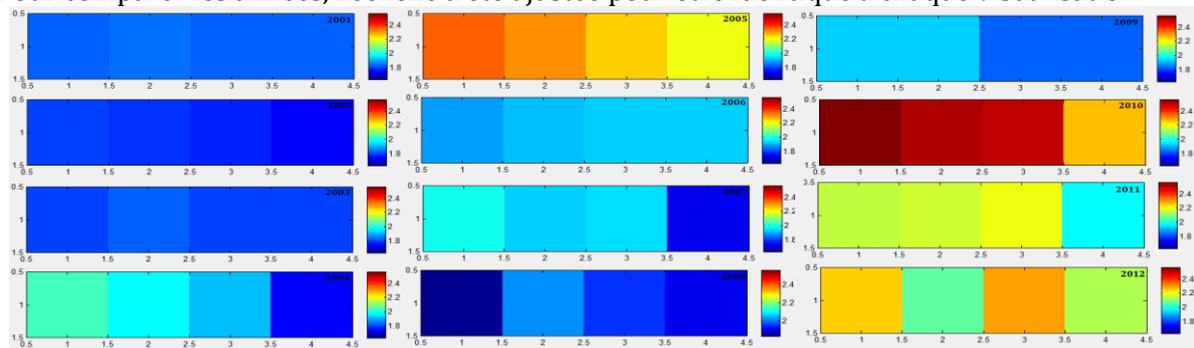
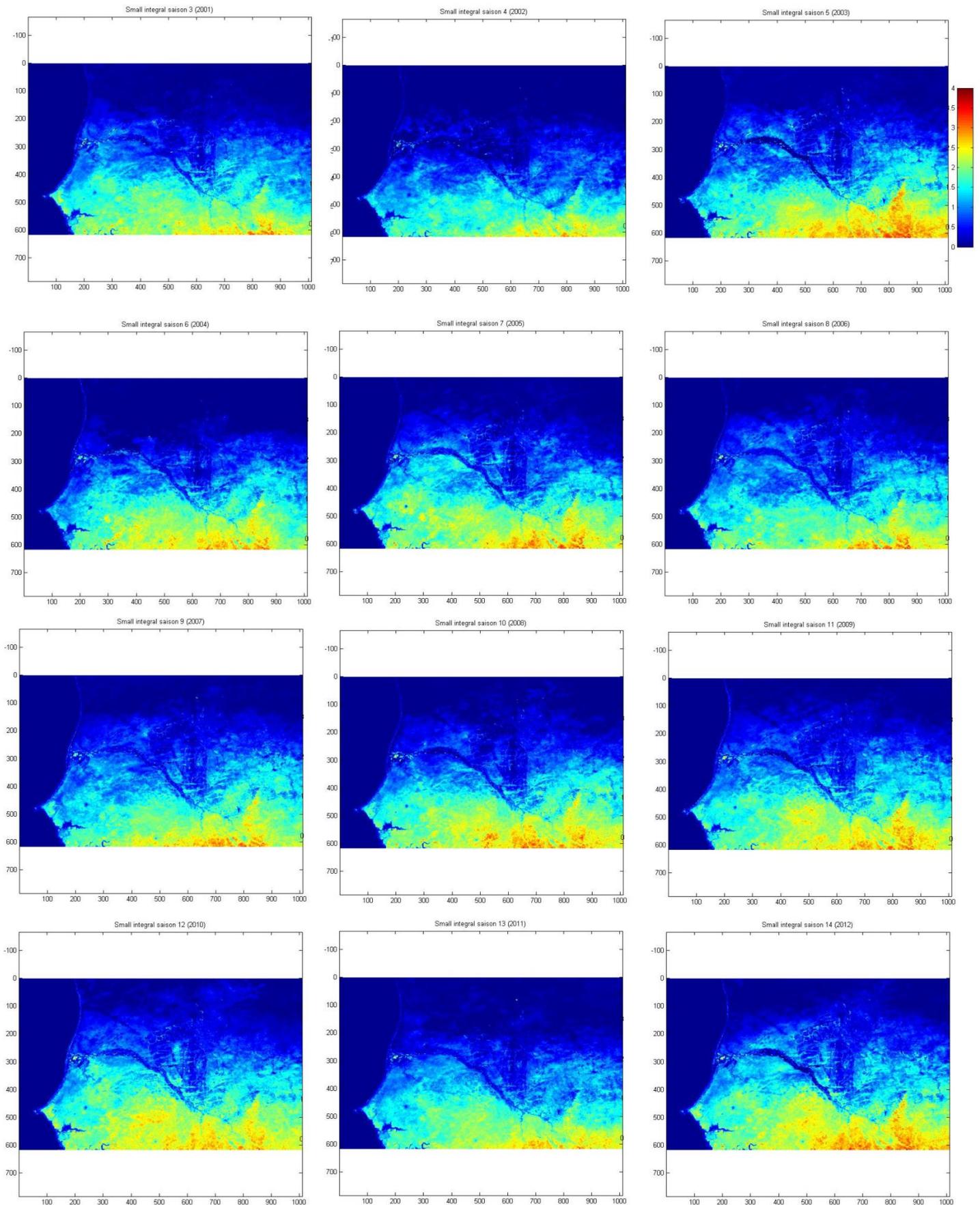
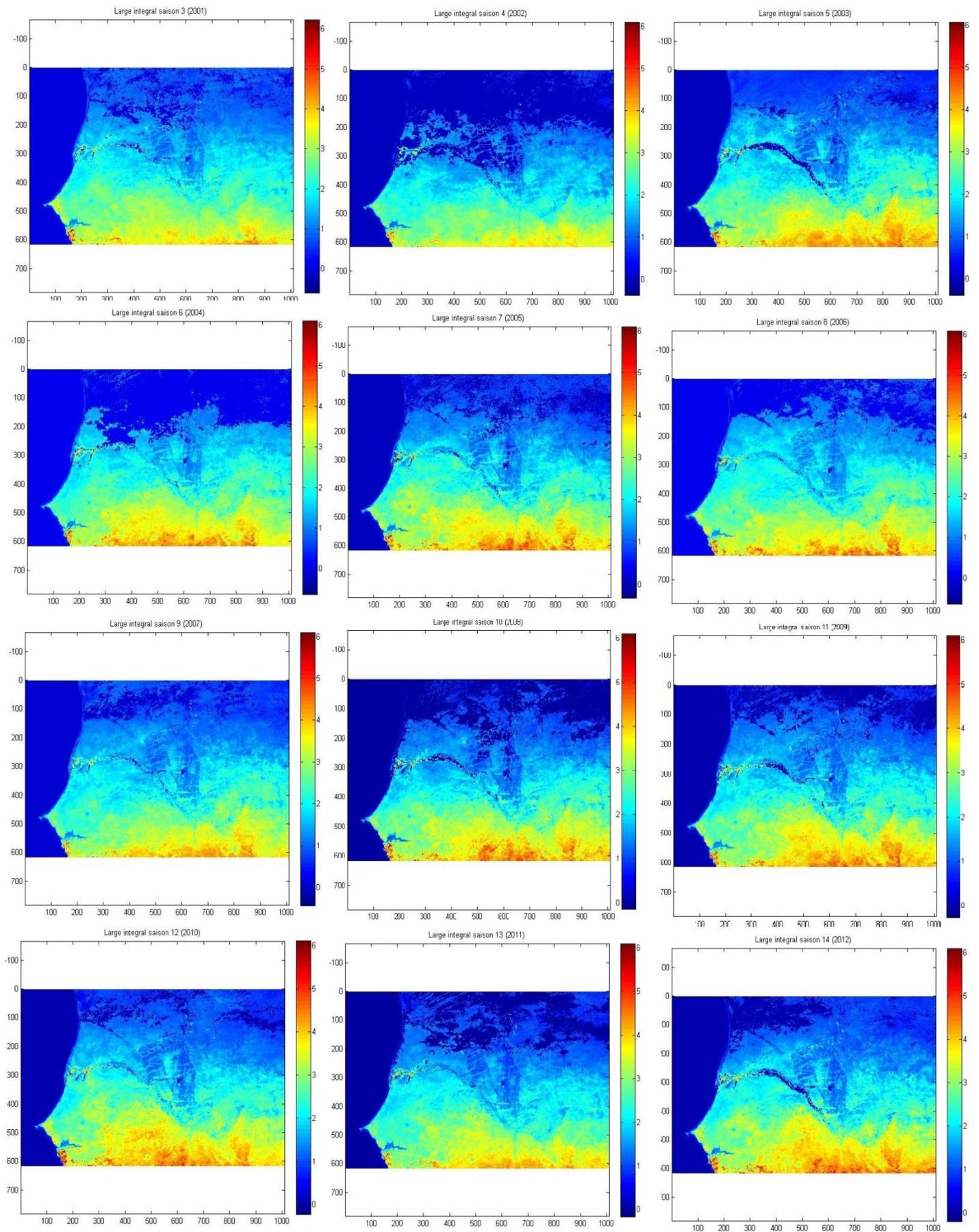


Illustration 41. Histogrammes réalisés sous Excel à partir du paramètre « Large integral »

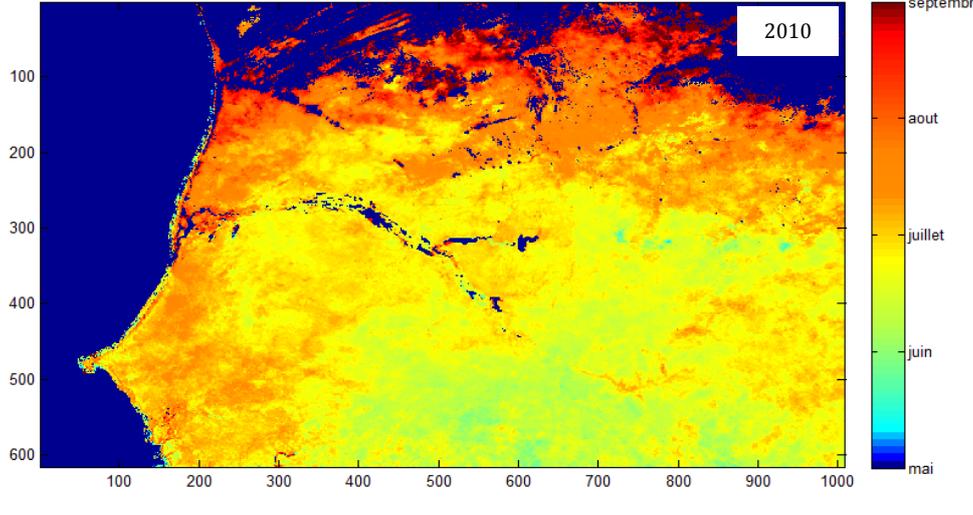
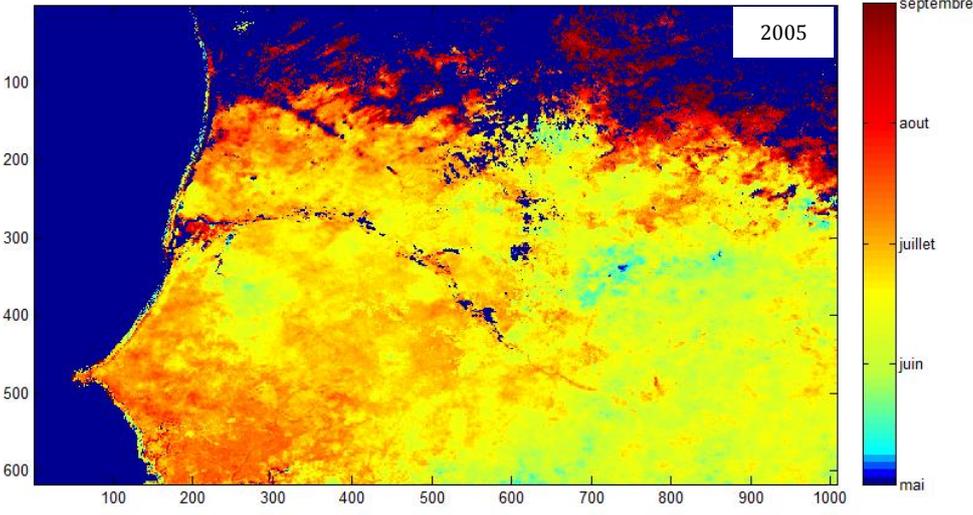
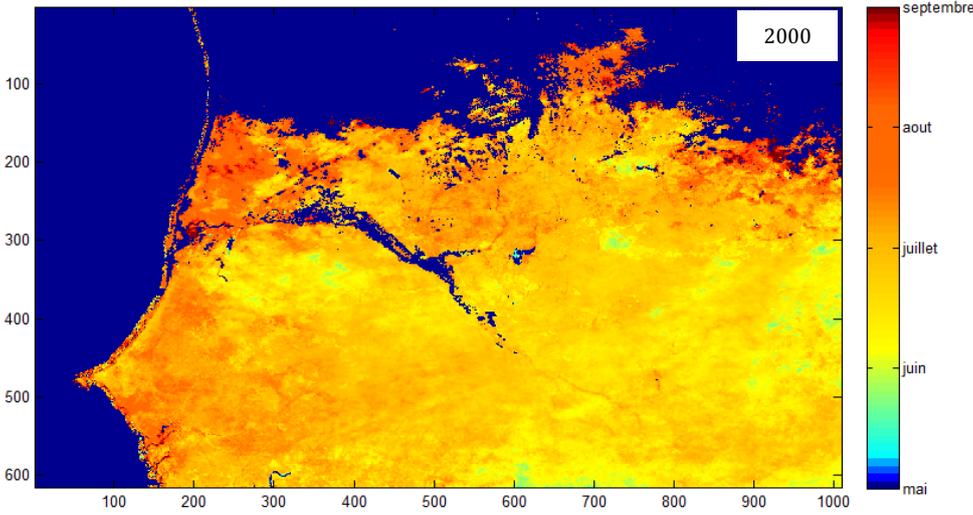
## Visualisation de la petite intégrale sur la moyenne emprise de 2001 à 2012



## Visualisation de la grande intégrale sur la moyenne emprise de 2001 à 2012



Représentation du début de saison des années 2000, 2005 et 2010



## ANNEXE 6 : Etude diachronique sur sept zones au Sénégal

Sept zones au Sénégal ont été sélectionnées pour les données qui y sont acquises sur les rongeurs. Les sept zones sont situées au nord du Sénégal dans les départements Dagana, Podor et Linguère.

Les coordonnées des sept zones sont indiquées ci-dessous :

### 1 Site "1D-D"

Mbarigo, côté Diéry spatialement loin du Walo

16,124742°N, 16,329570°W  
 16,110664°N, 16,313867°W  
 16,091369°N, 16,353164°W  
 16,082858°N, 16,341423°W

### Site "1D-W"

Mbarigo, côté Diéry spatialement proche du Walo

16,092847°N, 16,373469°W  
 16,088877°N, 16,377971°W  
 16,085048°N, 16,374063°W  
 16,090784°N, 16,371910°W

NB: les sites "1D-D" et "1D-W" sont regroupés

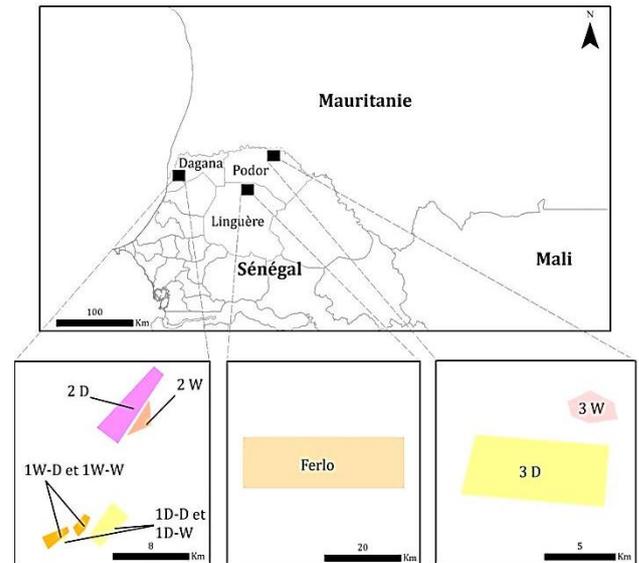


Illustration 1. Les sept zones d'étude au nord du Sénégal

### 2 Site "1W-D"

Mbarigo, côté Walo spatialement proche du Diéry

16,101897°N, 16,372347°W  
 16,092147°N, 16,396788°W  
 16,080350°N, 16,390915°W  
 16,096428°N, 16,370656°W

NB: les sites "1W-D" et "1W-W" sont regroupés.

### Site "1W-W"

Mbarigo, côté Walo spatialement loin du Diéry

16,113508°N, 16,356027°W  
 16,100857°N, 16,367251°W  
 16,092250°N, 16,362287°W  
 16,099381°N, 16,354990°W  
 16,110294°N, 16,350431°W

### 3 Site "2D"

Savoigne, coté Diéry

16,251117°N, 16,289808°W  
 16,243412°N, 16,280694°W  
 16,179101°N, 16,324454°W  
 16,194080°N, 16,344511°W

### 4 Site "2W"

Savoigne, coté Walo

16,220312°N, 16,294053°W  
 16,186226°N, 16,316083°W  
 16,196316°N, 16,292195°W

### 5 Site "3D" (cf. partie 5.1.2. du mémoire)

MO6Bis, côté Diéry

16,496414°N, 14,523983°W  
 16,489750°N, 14,438399°W  
 16,451089°N, 14,441705°W  
 16,459192°N, 14,533281°W

### 6 Site "3W"

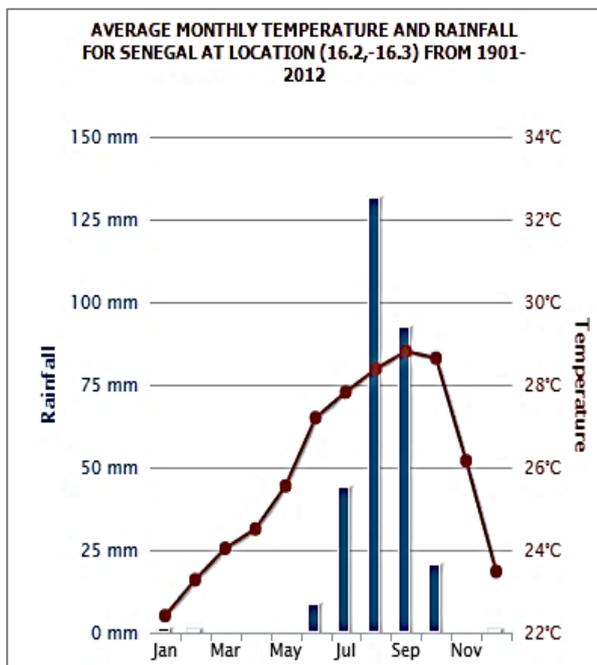
MO6Bis, côté Walo

16,524590°N, 14,450361°W  
 16,516920°N, 14,465464°W  
 16,507720°N, 14,462763°W  
 16,503099°N, 14,450914°W  
 16,505956°N, 14,432528°W  
 16,516453°N, 14,435166°W

### 7 Site au milieu du Ferlo

15,916666°N, 15,16666°W  
 15,8° N, -14,78333°W

**1 Zones 1D-D et 1D-W**



Site "1D-D"  
 Mbarigo, côté Diéry spatialement loin du Walo  
 16,124742°N, 16,329570°W  
 16,110664°N, 16,313867°W  
 16,091369°N, 16,353164°W  
 16,082858°N, 16,341423°W

Site "1D-W"  
 Mbarigo, côté Diéry spatialement proche du Walo  
 16,092847°N, 16,373469°W  
 16,088877°N, 16,377971°W  
 16,085048°N, 16,374063°W  
 16,090784°N, 16,371910°W

NB: les sites "1D-D" et "1D-W" sont regroupés

Illustration 4. Températures et précipitations extraites du Climate Change Knowledge Portal (CCKP) : <http://sdwebx.worldbank.org>.



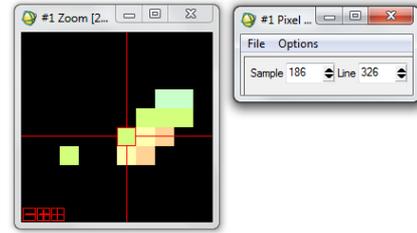
Image 1. Site 1D-D : Mbarigo côté Diéry spatialement loin du Walo



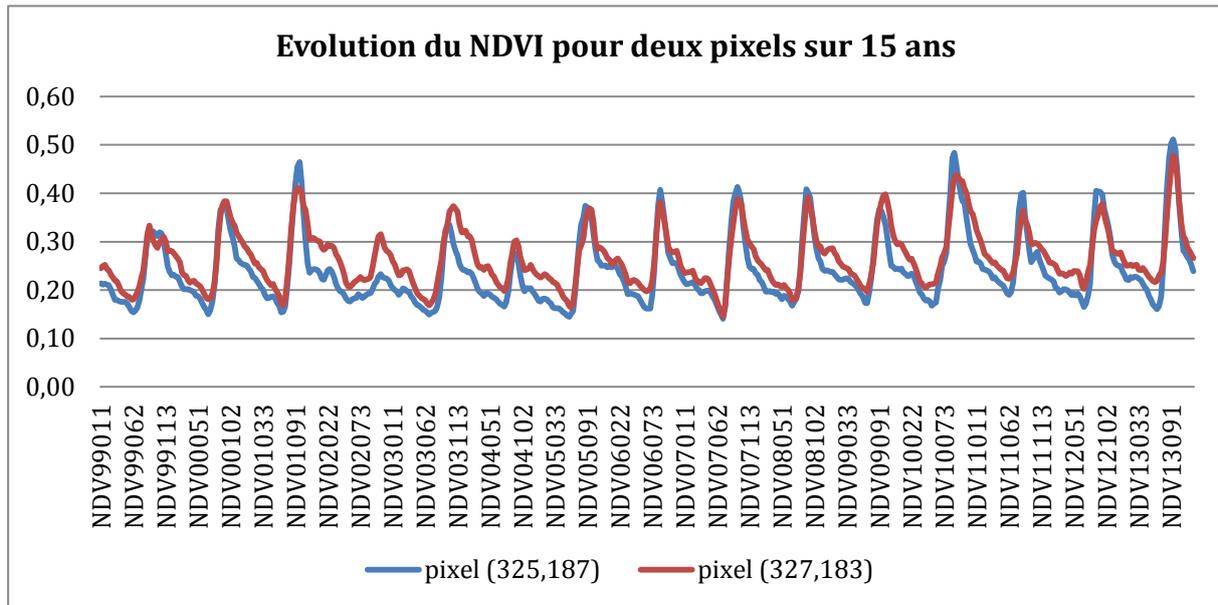
Image 2. Site 1D-W : Mbarigo, côté Diéry spatialement proche du Walo

Les deux zones sont regroupées pour l'analyse diachronique de la végétation.

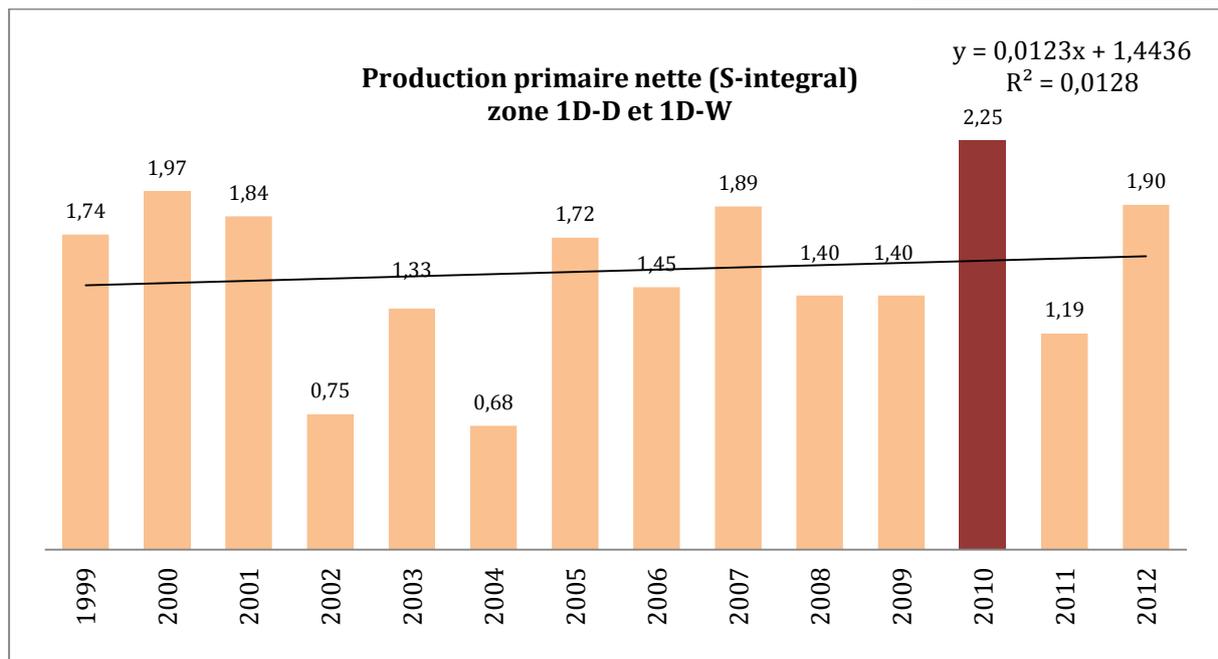
**Étude avec la série SPOT-VGT - 11 pixels :**  
 (324, 188), (324,189), (325,187), (325,188),  
 (325, 189), (326,186), (326,187), (326,188),  
 (327,183), (327,186), (327,187)



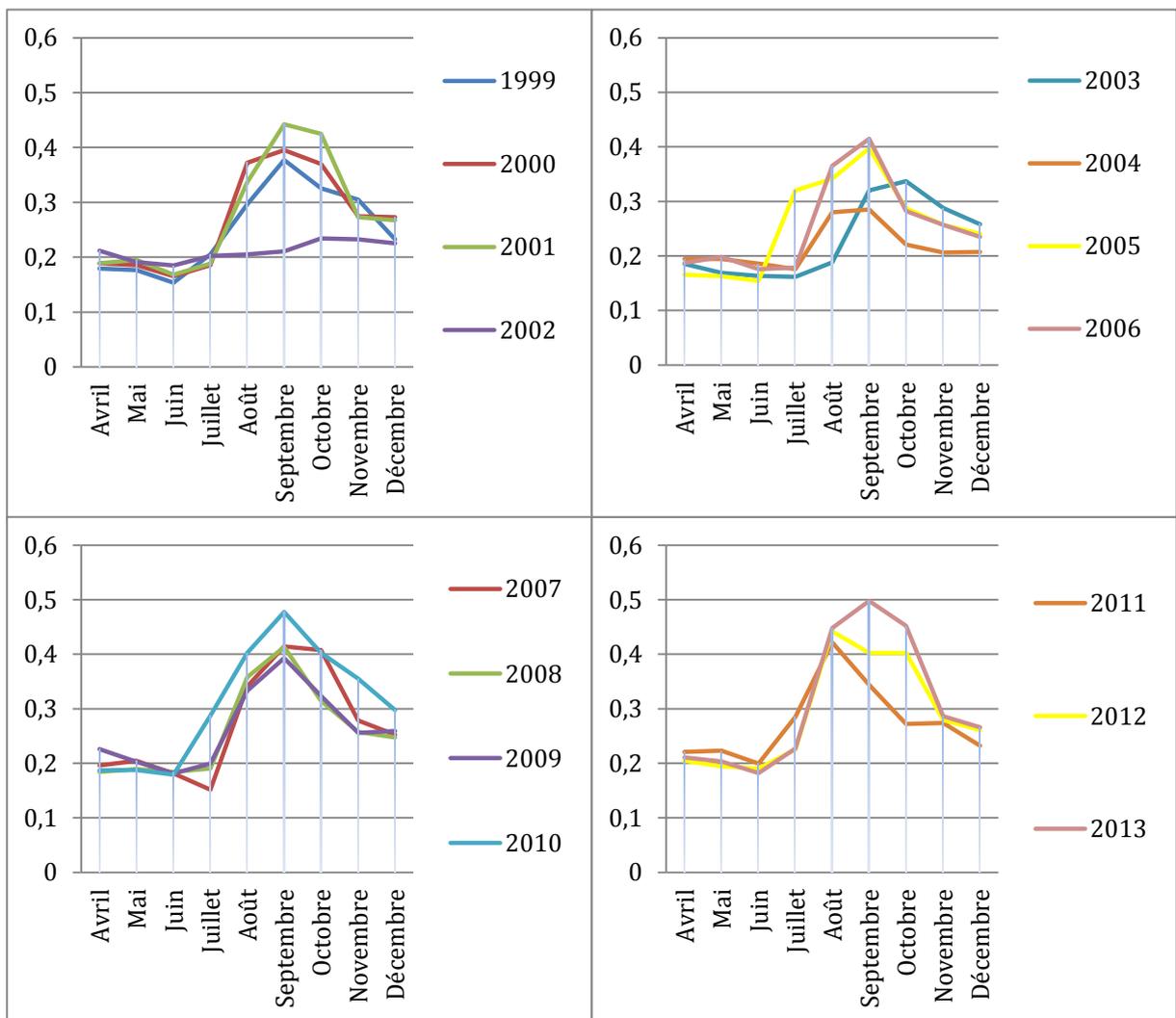
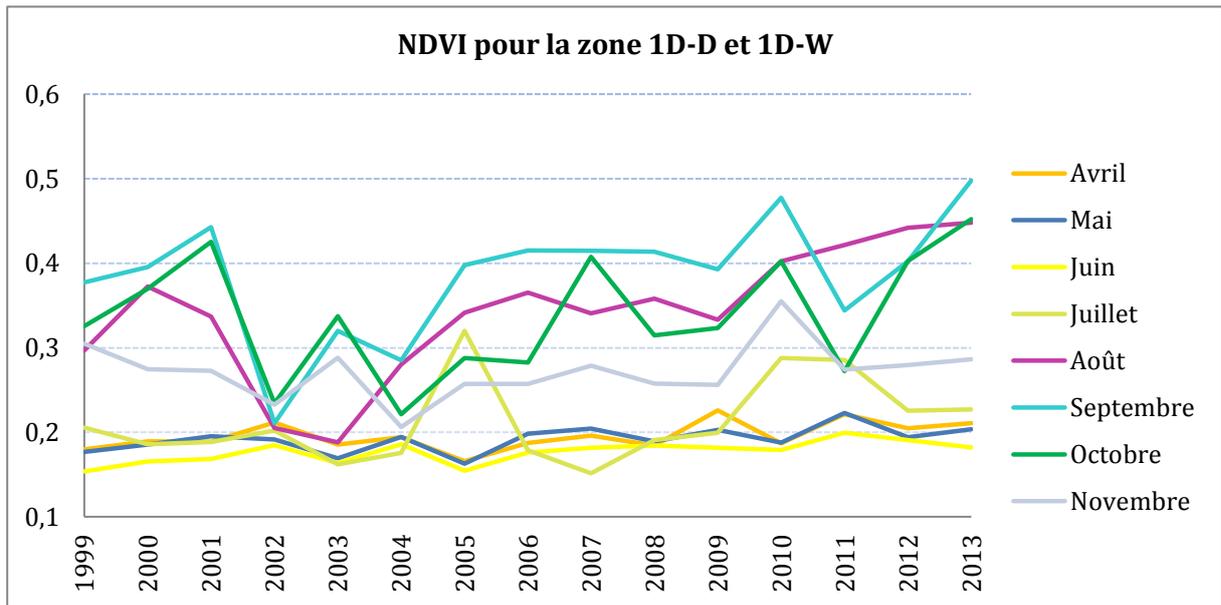
**Résultats de l'étude avec le logiciel TIMESAT** à partir des 540 images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (données NDVI par décade pendant 15 ans)



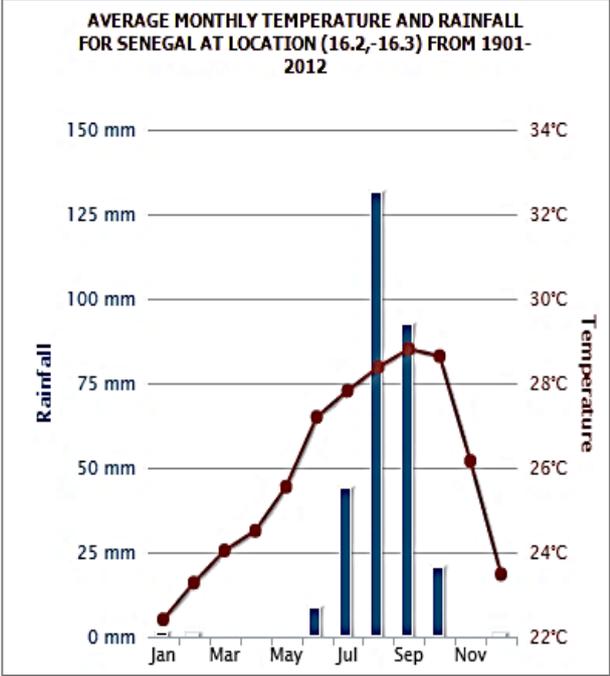
Tau de Kendall : 0,022  
 p-value : 0,956  
 Ecart-type : 0,455



**Résultats de l'étude avec le logiciel ENVI à partir des images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (une image mensuelle pendant 15 ans correspondant au maximum mensuel de NDVI)**



**2 Zone 1W-D et 1W-W**



Site "1W-D"  
 Mbarigo, côté Walo spatialement proche du Diéry  
 16,101897°N, 16,372347°W  
 16,092147°N, 16,396788°W  
 16,080350°N, 16,390915°W  
 16,096428°N, 16,370656°W

Site "1W-W"  
 Mbarigo, côté Walo spatialement loin du Diéry  
 16,113508°N, 16,356027°W  
 16,100857°N, 16,367251°W  
 16,092250°N, 16,362287°W  
 16,099381°N, 16,354990°W  
 16,110294°N, 16,350431°W

NB : les sites "1W-D" et "1W-W" sont regroupés.

Illustration 5. Températures et précipitations extraites du Climate Change Knowledge Portal (CCKP) : <http://sdwebx.worldbank.org>.



Image 3. Site 1W-D : Mbarigo, côté Walo spatialement proche du Diéry



Image 4. Site 1W-W : Mbarigo, côté Walo spatialement loin du Diéry

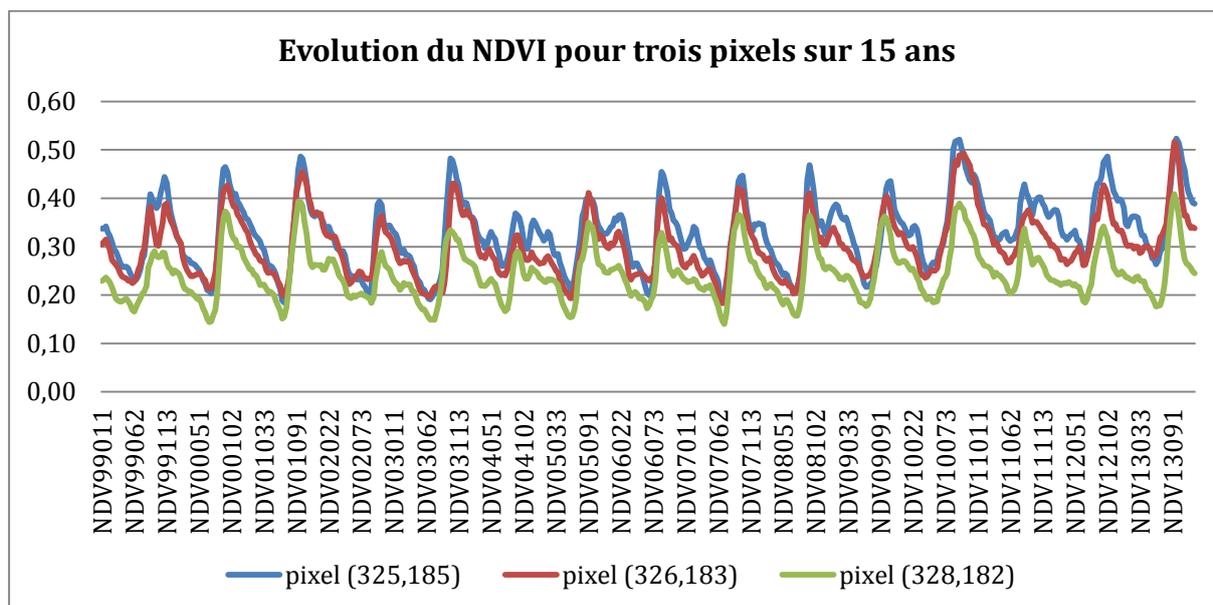
Les deux zones sont regroupées pour l'analyse diachronique de la végétation.

**Etude avec la série SPOT-VGT - 9 pixels :**

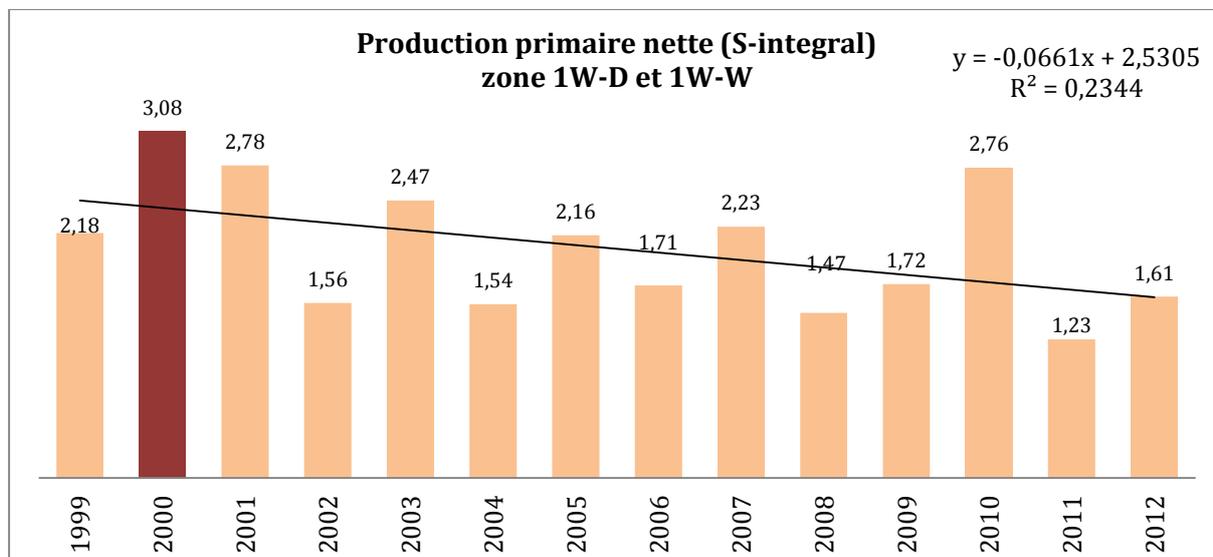
(325,185), (326,182), (326,183),  
 (326,184), (326,185), (327,181),  
 (327,182), (327,183), (328,182)



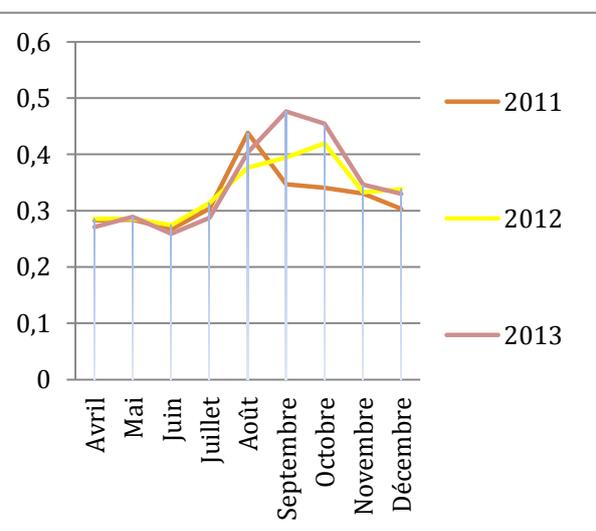
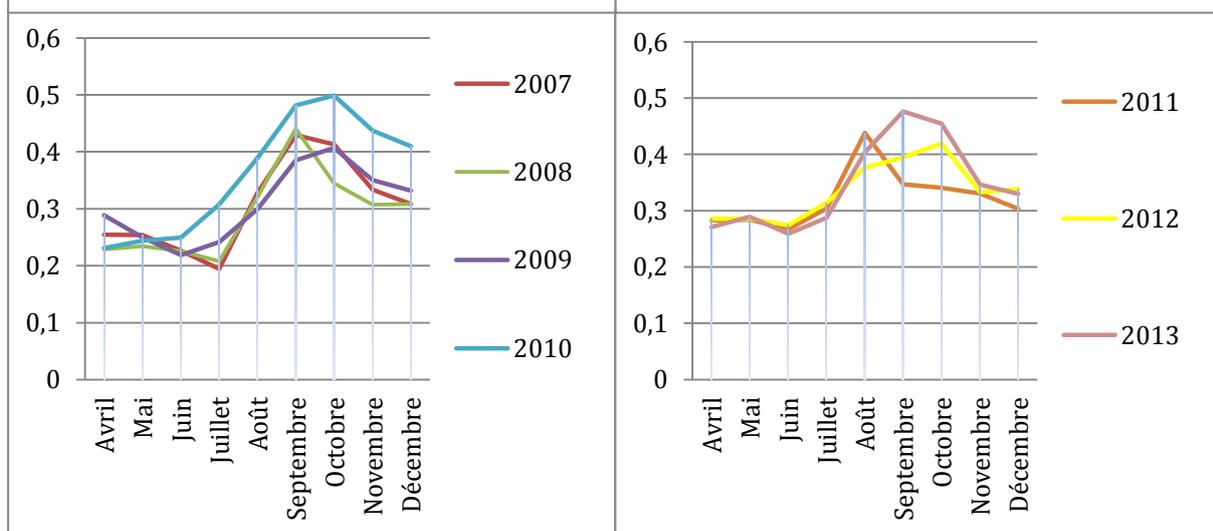
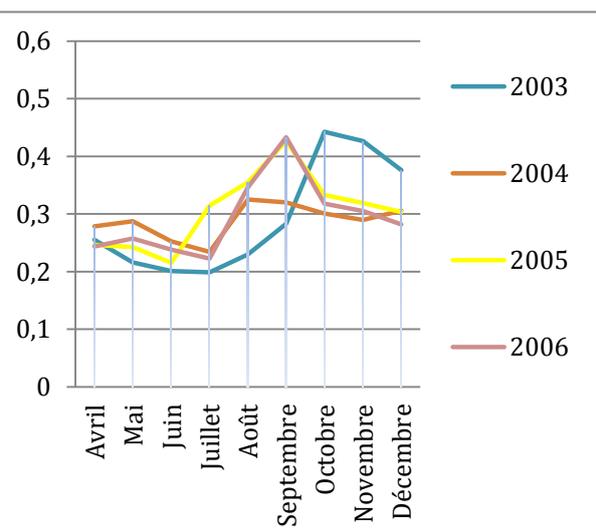
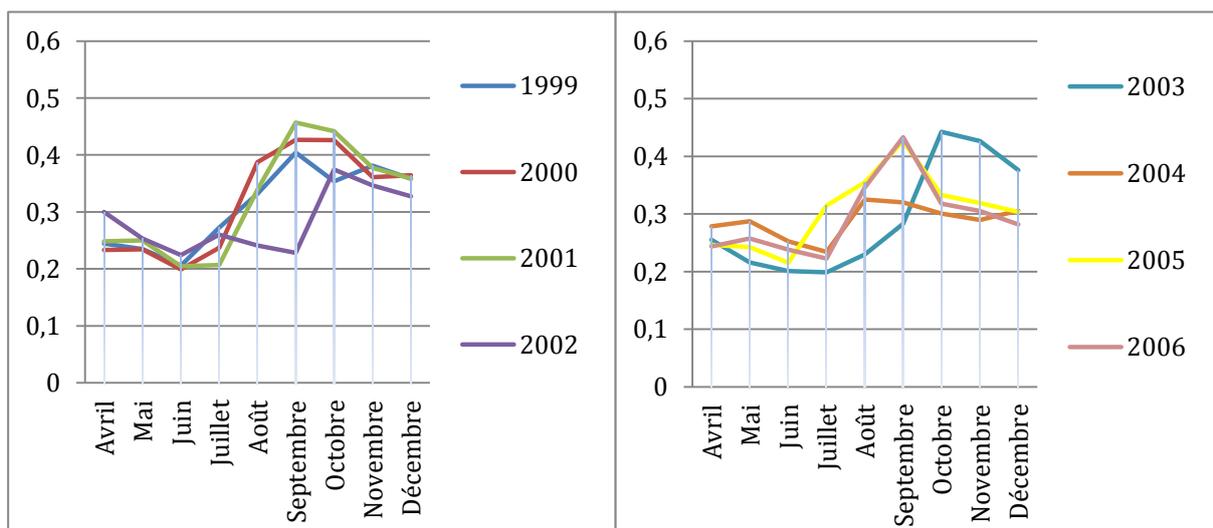
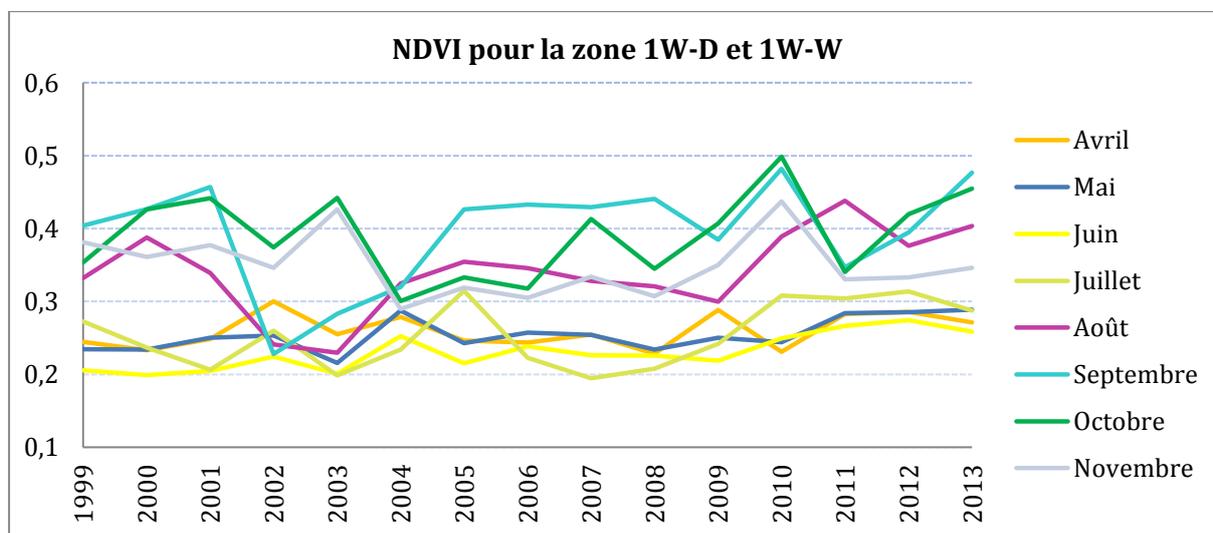
**Résultats de l'étude avec le logiciel TIMESAT** à partir des 540 images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (données NDVI par décennie pendant 15 ans)



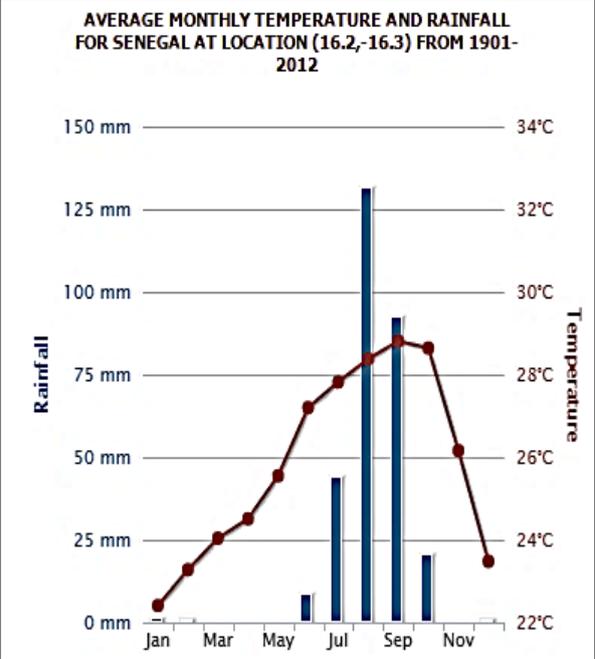
Tau de Kendall : -0,341  
 p-value : 0,101  
 Ecart-type : 0,571



**Résultats de l'étude avec le logiciel ENVI à partir des images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (une image mensuelle pendant 15 ans correspondant au maximum mensuel de NDVI).**



**3 Zone 2D**



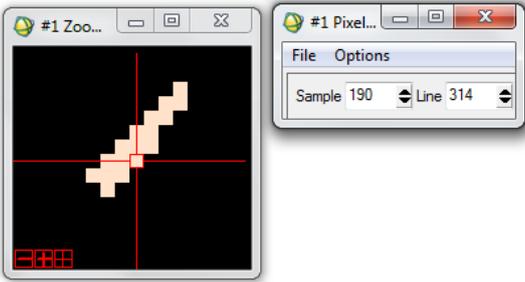
Site "2D"  
 Savoigne, coté Diéry  
 16,251117°N, 16,289808°W  
 16,243412°N, 16,280694°W  
 16,179101°N, 16,324454°W  
 16,194080°N, 16,344511°W

Illustration 6. Températures et précipitations extraites du Climate Change Knowledge Portal (CCKP) : <http://sdwebx.worldbank.org>.

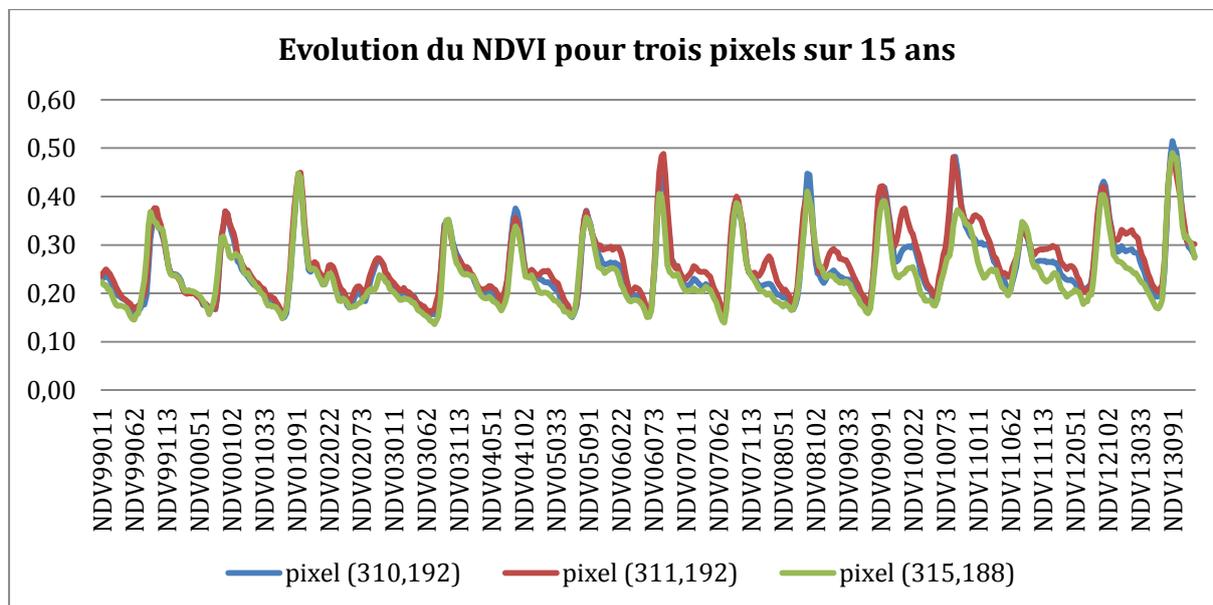


Image 5. Site 2D : Savoigne, coté Diéry

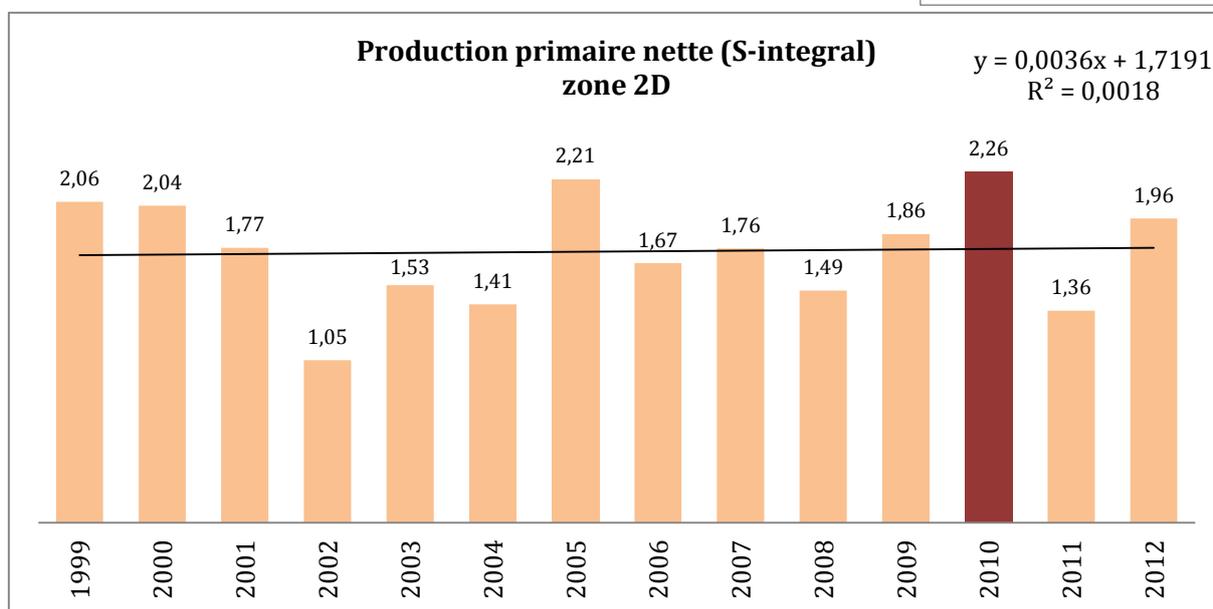
**Etude avec la série SPOT-VGT - 17 pixels :** (309, 193), (310, 192), (310,193), (311,191), (311,192), (312,190), (312,191), (313,189), (313,190), (313,191), (314,188), (314,189), (314,190), (315, 187), (315, 188), (315,189), (316, 188)



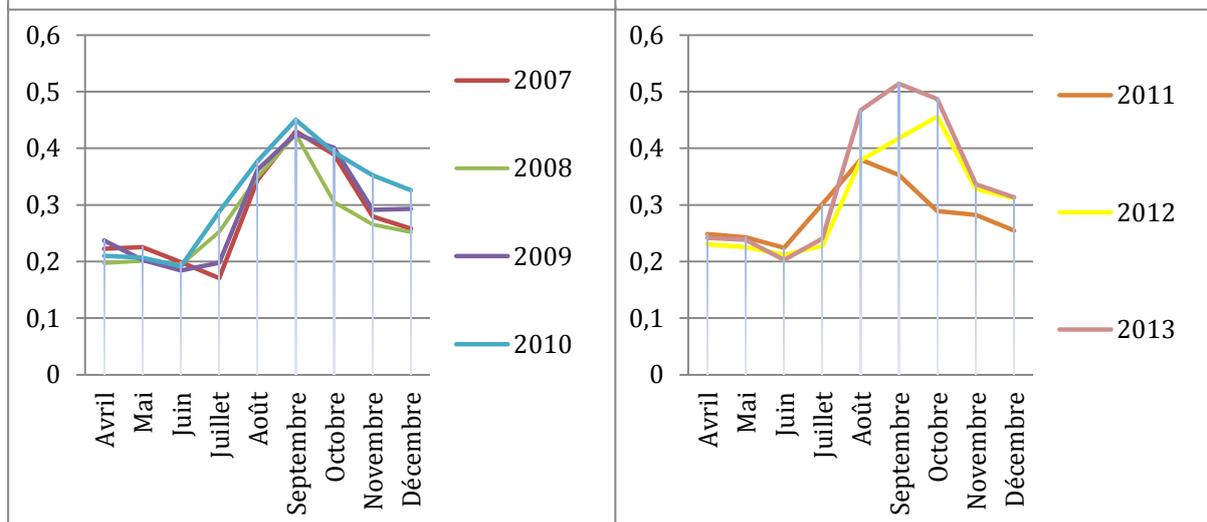
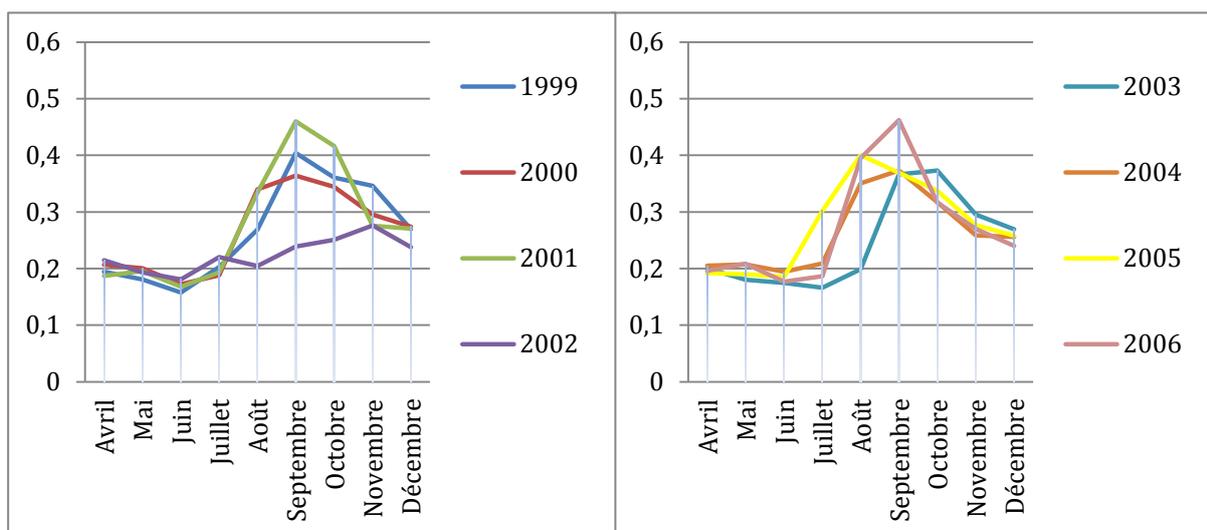
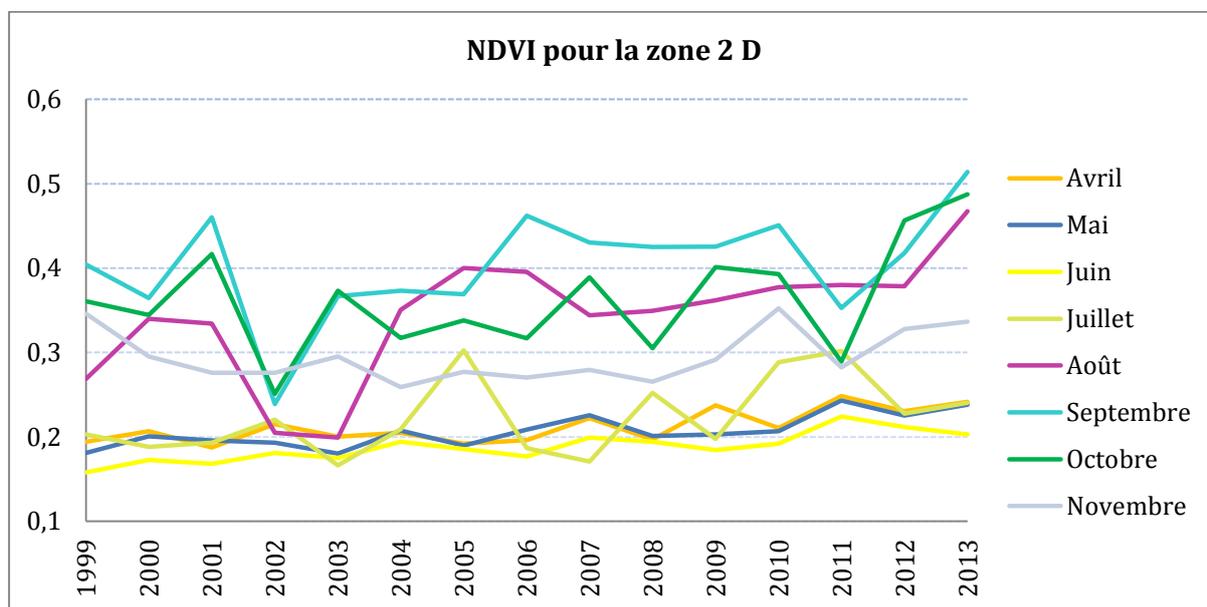
**Résultats de l'étude avec le logiciel TIMESAT** à partir des 540 images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (données NDVI par décennie pendant 15 ans)



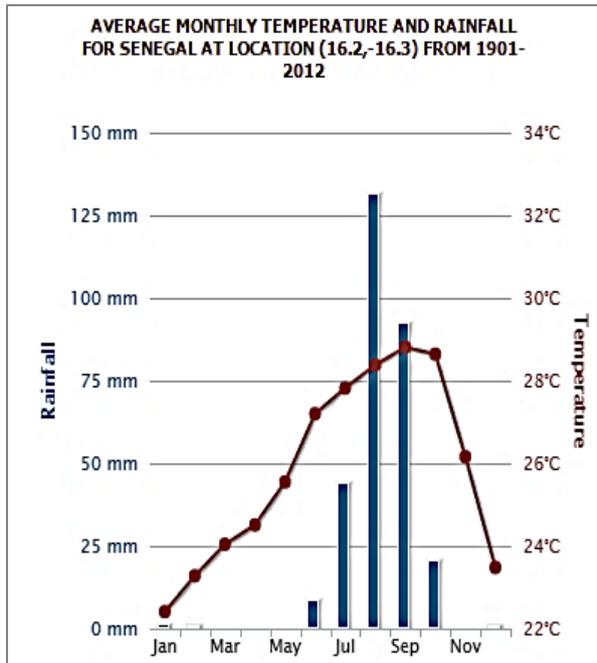
Tau de Kendall : -0,011  
 p-value : 1,0  
 Ecart-type : 0,350



**Résultats de l'étude avec le logiciel ENVI à partir des images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (une image mensuelle pendant 15 ans correspondant au maximum mensuel de NDVI).**



4 **Zone 2W**



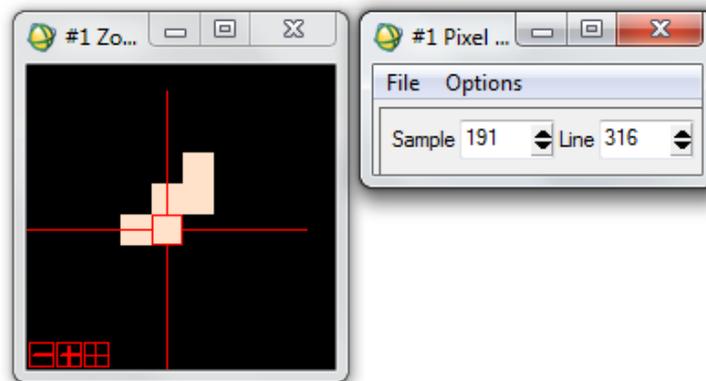
Site "2W"  
 Savoigne, coté Walo  
 16,220312°N, 16,294053°W  
 16,186226°N, 16,316083°W  
 16,196316°N, 16,292195°W

Illustration 7. Températures et précipitations extraites du Climate Change Knowledge Portal (CCKP) : <http://sdwebx.worldbank.org>.

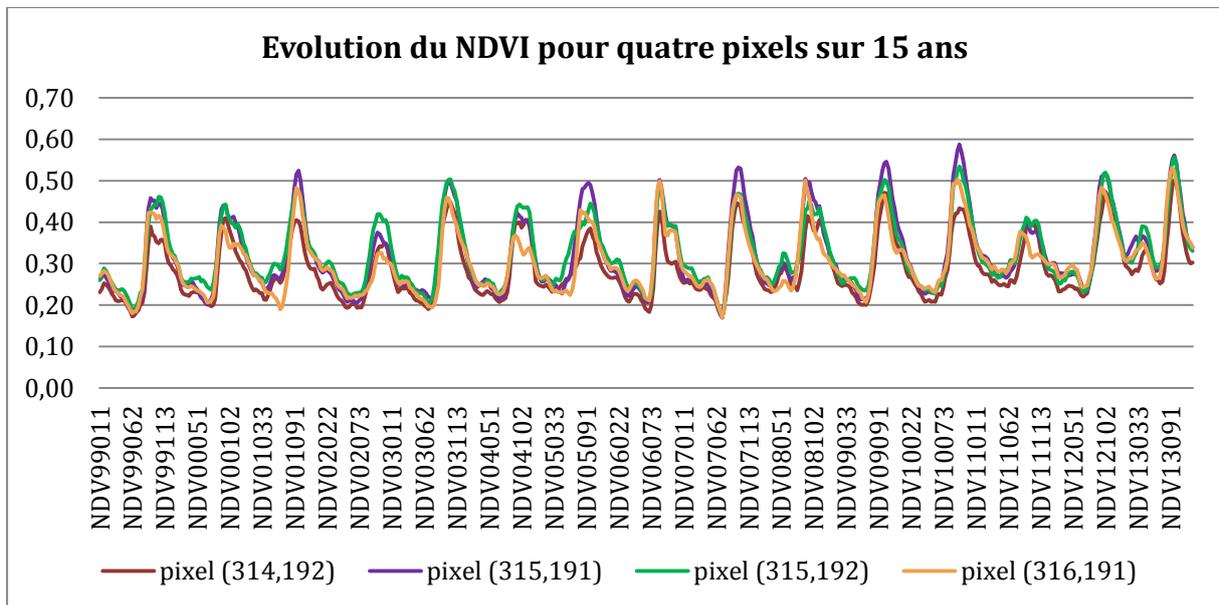


Image 6. Site 2W : Savoigne, coté Walo

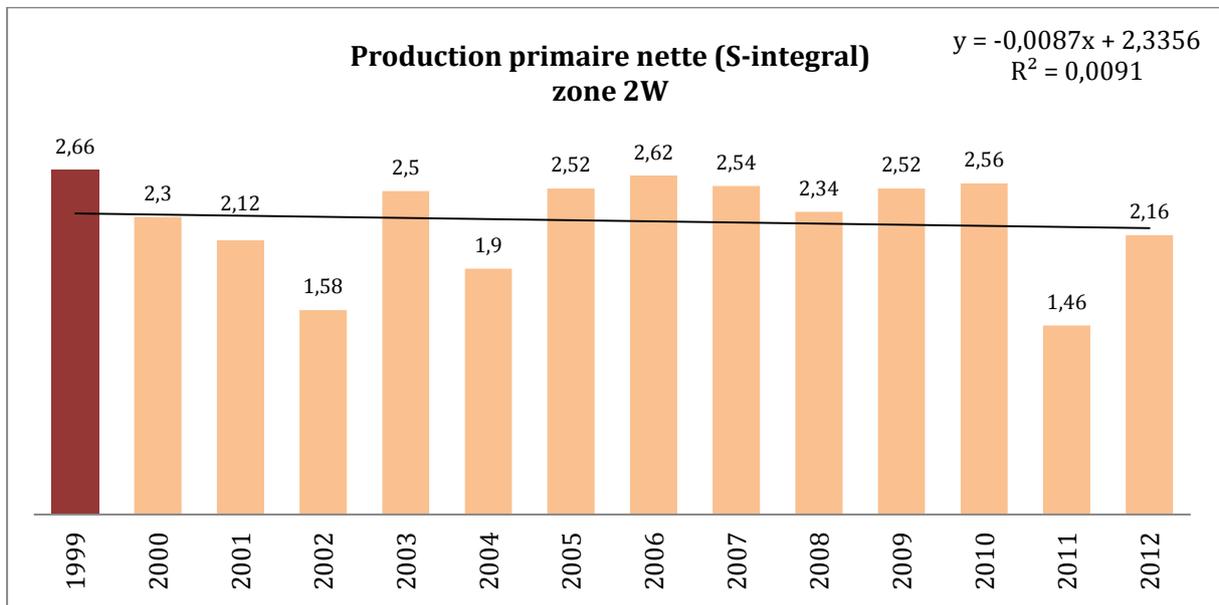
Etude avec la série SPOT-VGT - 5 pixels : (314,192), (315,191), (315,192), (316,190), (316,191)



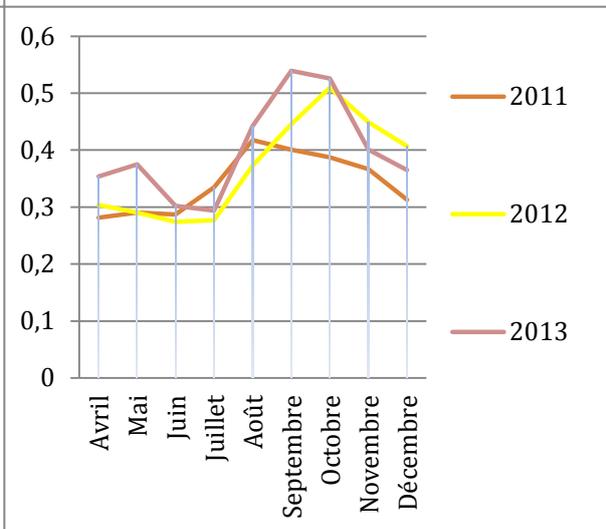
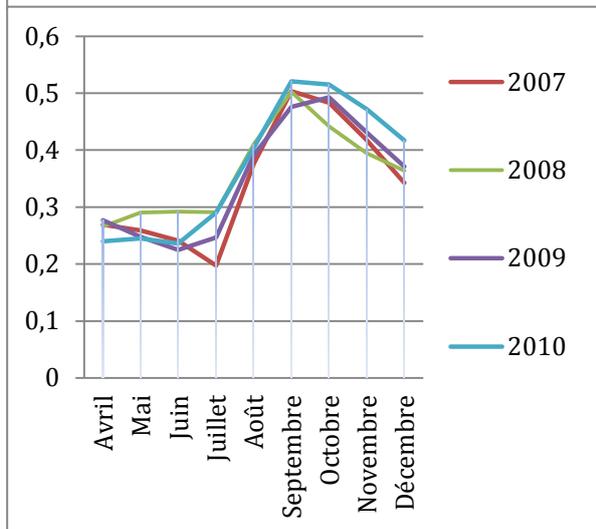
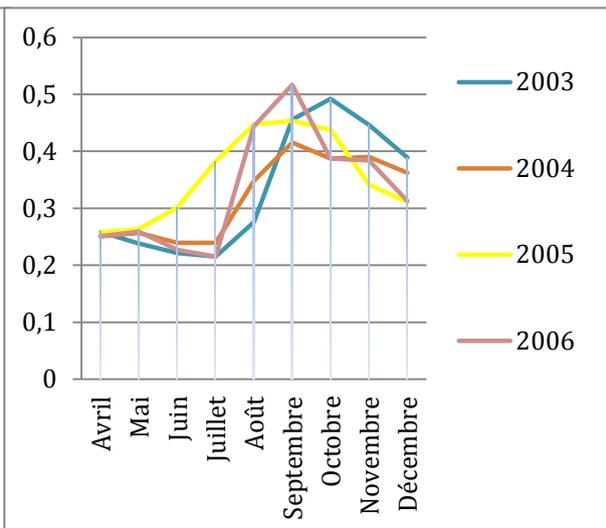
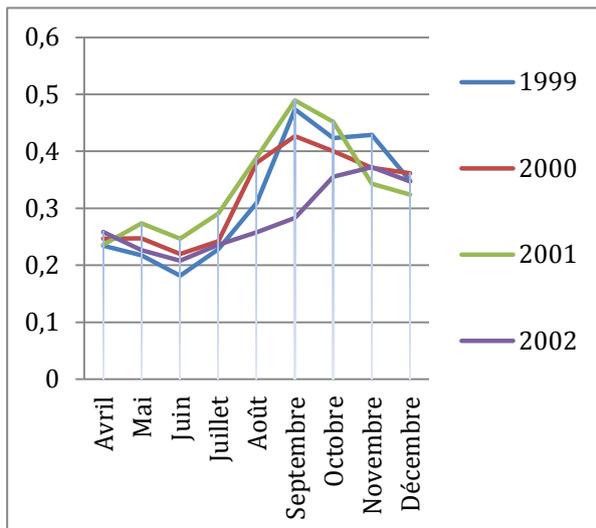
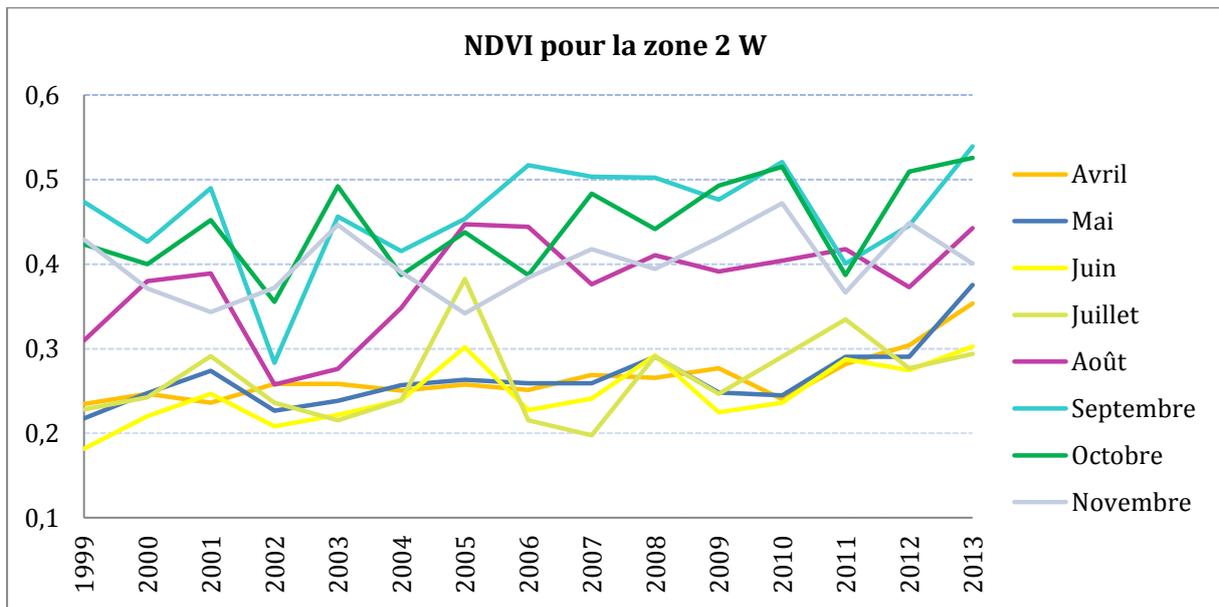
**Résultats de l'étude avec le logiciel TIMESAT à partir des 540 images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (données NDVI par décennie pendant 15 ans)**



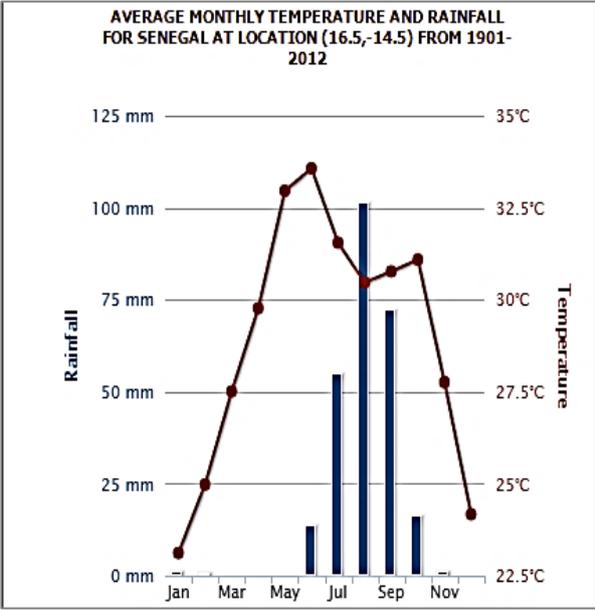
Tau de Kendall : -0,011  
 p-value : 1,0  
 Ecart-type : 0,384



**Résultats de l'étude avec le logiciel ENVI à partir des images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (une image mensuelle pendant 15 ans correspondant au maximum mensuel de NDVI)**



**6 Zone 3W**



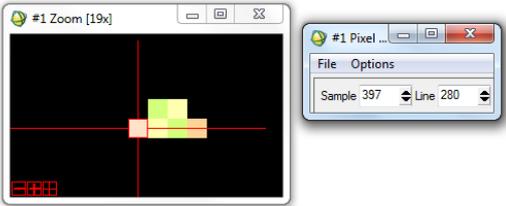
Site "3W"  
 MO6Bis, côté Walo  
 16,524590°N, 14,450361°W  
 16,516920°N, 14,465464°W  
 16,507720°N, 14,462763°W  
 16,503099°N, 14,450914°W  
 16,505956°N, 14,432528°W  
 16,516453°N, 14,435166°W

Illustration 9. Températures et précipitations extraites du Climate Change Knowledge Portal (CCKP) : <http://sdwebx.worldbank.org>.

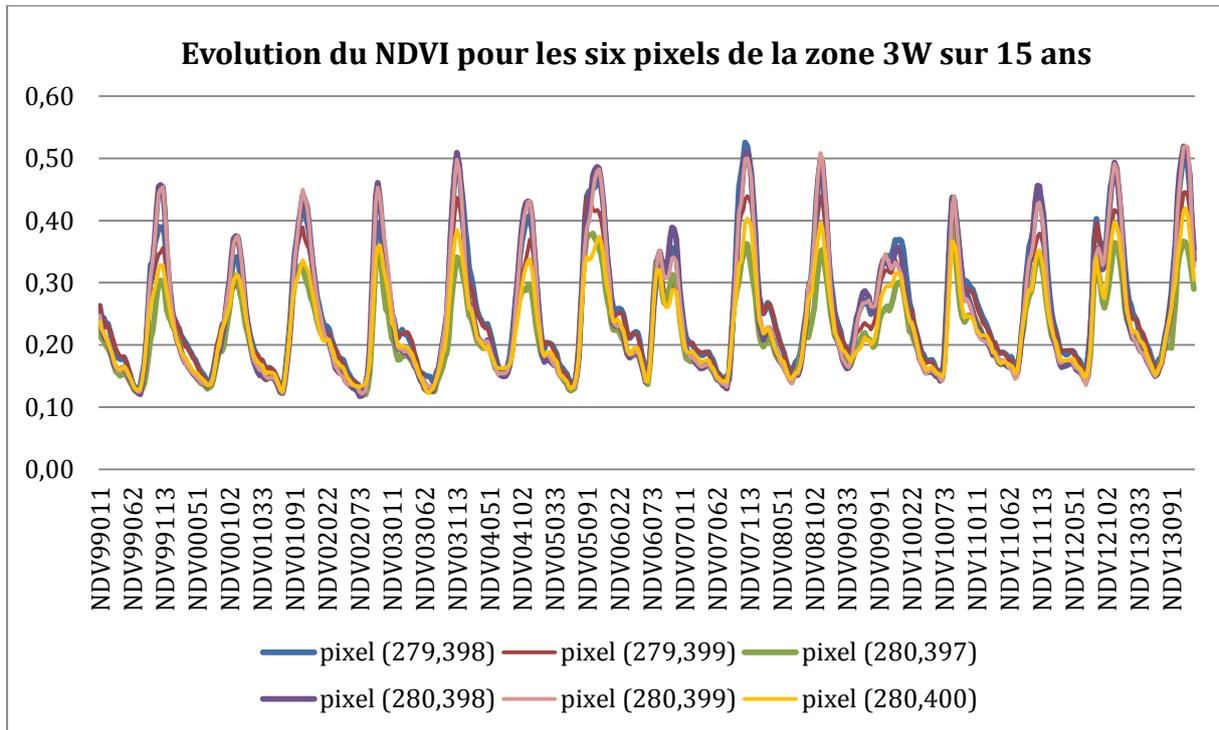


Image 8. Site 3W : MO6Bis, côté Walo

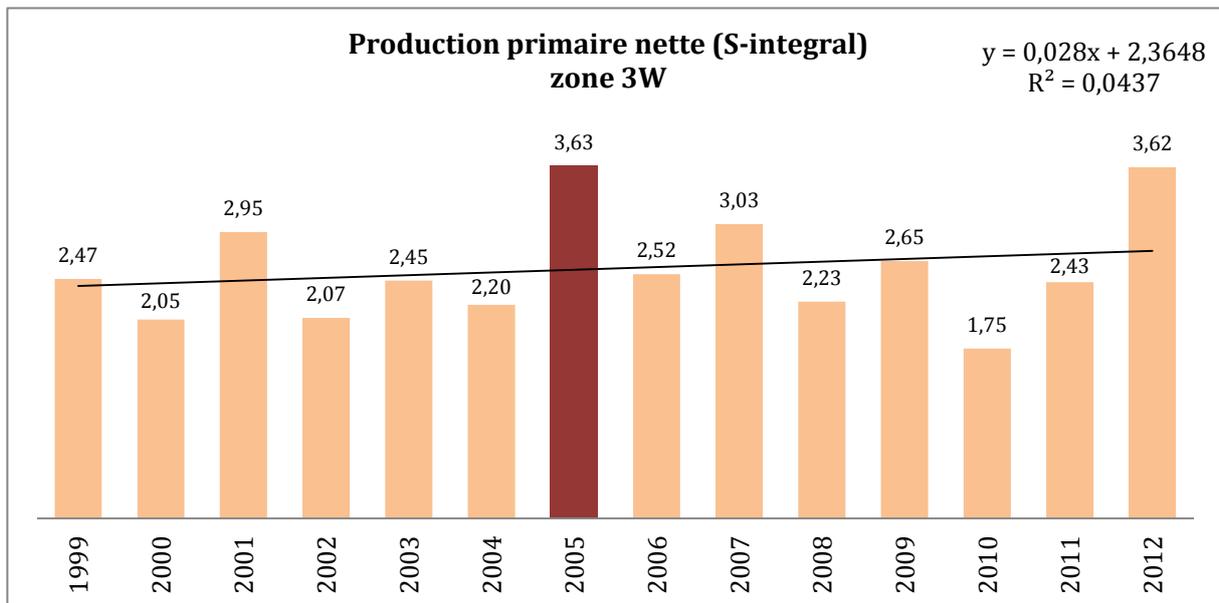
Etude avec la série SPOT-VGT - 6 pixels : (279,398), (279,399), (280,397), (280,398), (280,399), (280,400)



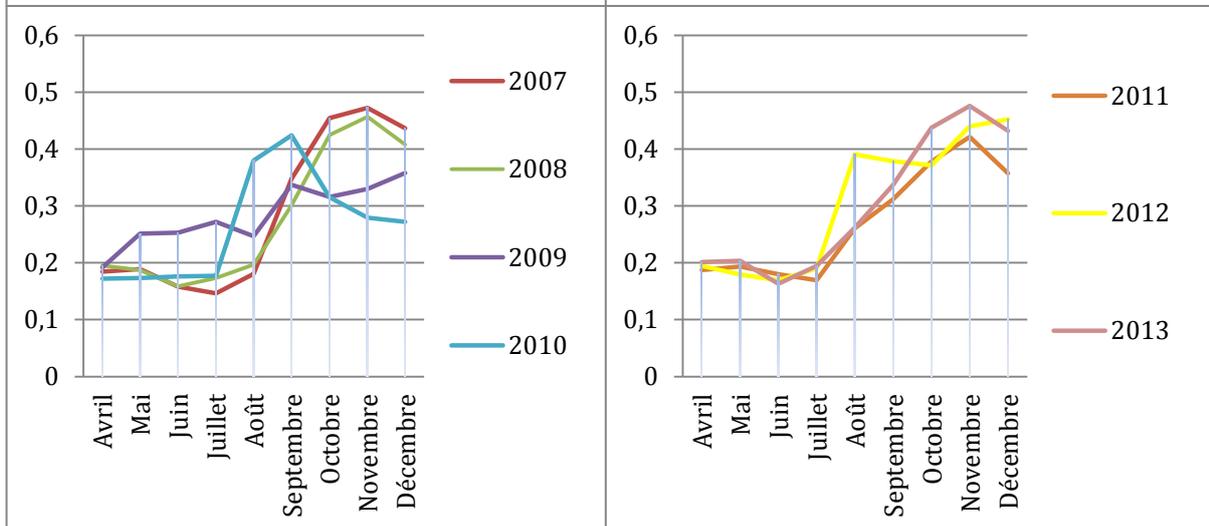
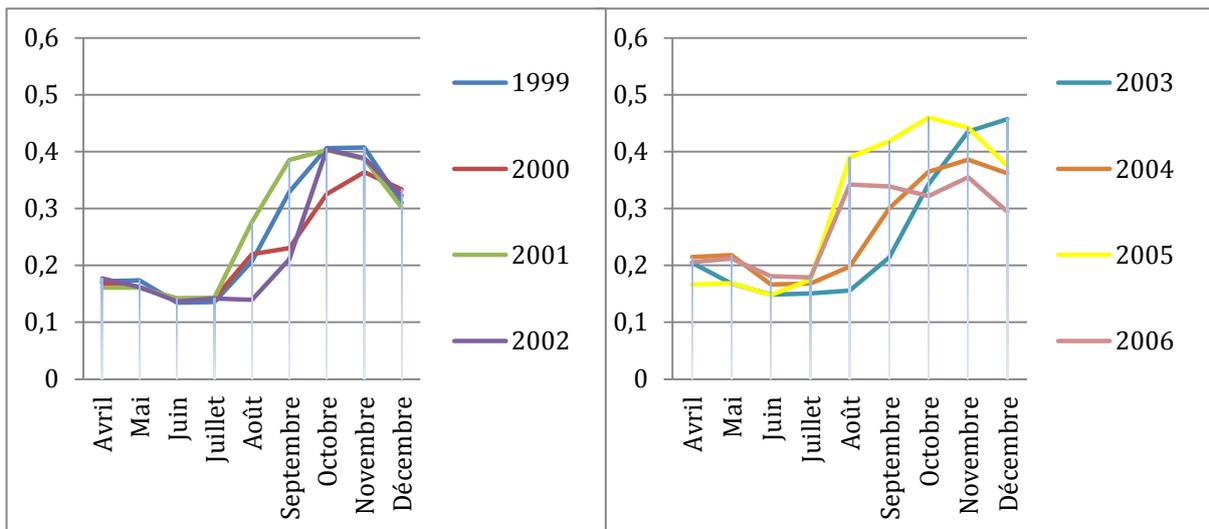
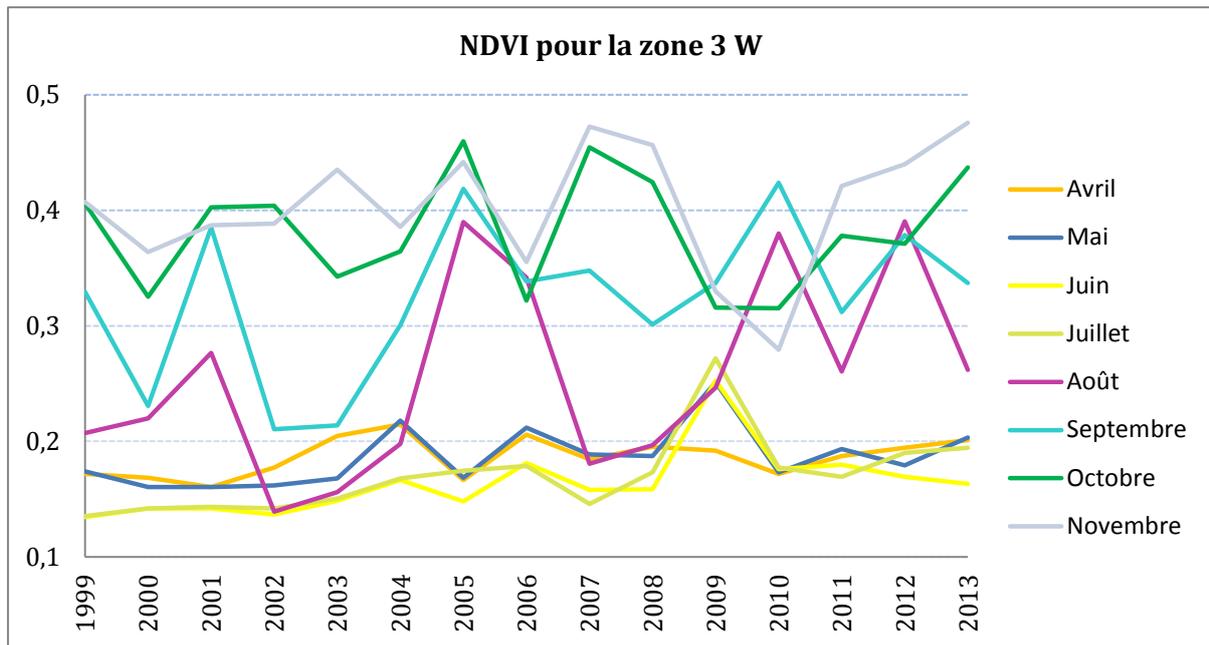
**Résultats de l'étude avec le logiciel TIMESAT** à partir des 540 images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (données NDVI par décennie pendant 15 ans)



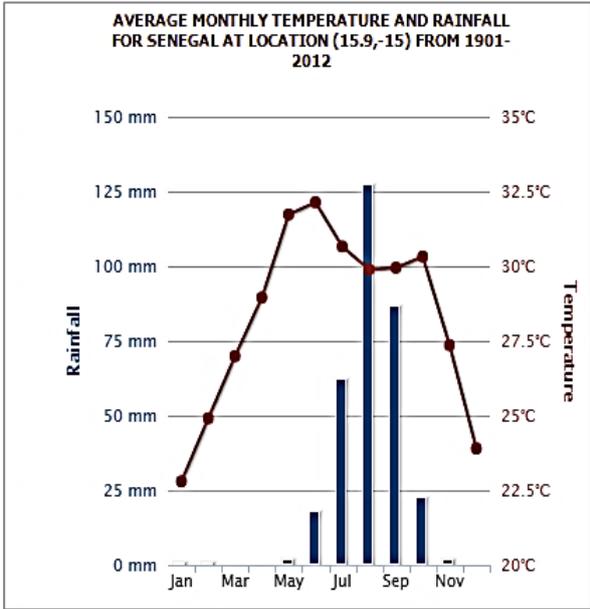
Tau de Kendall : 0,143  
 p-value : 0,518  
 Ecart-type : 0,561



**Résultats de l'étude avec le logiciel ENVI à partir des images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (une image mensuelle pendant 15 ans correspondant au maximum mensuel de NDVI)**



**7 Zone Ferlo**



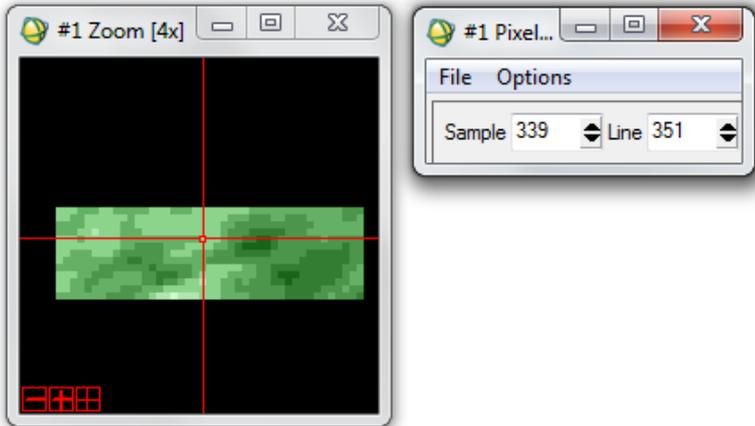
Site au milieu du Ferlo  
 15,916666°N, 15,16666°W  
 15,8° N, 14.78333°W

Illustration 9. Températures et précipitations extraites du Climate Change Knowledge Portal (CCKP): <http://sdwebx.worldbank.org>.

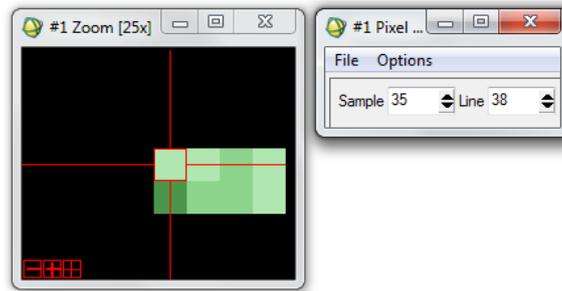


Image 9. Image extraite du Ferlo - Google Earth

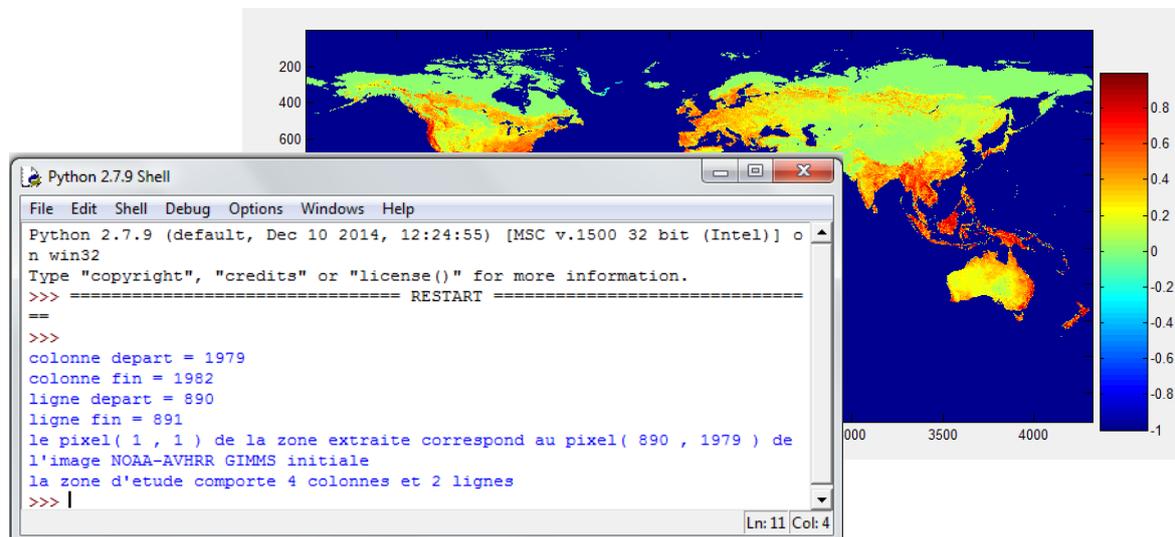
**Etude avec la série SPOT-VGT - 559 pixels de la ligne 347 à 359 et de la colonne 319 à 361**



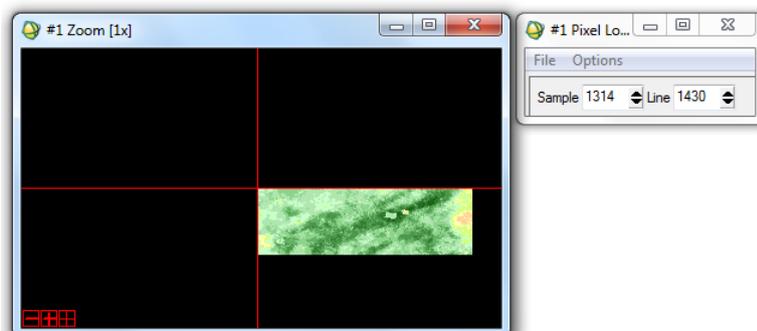
**Etude avec la série NOAA-AVHRR GIMMS** - 8 pixels (38,35), (38,36), (38,37), (38,38), (39,35), (39,36), (39,37), (39,38)



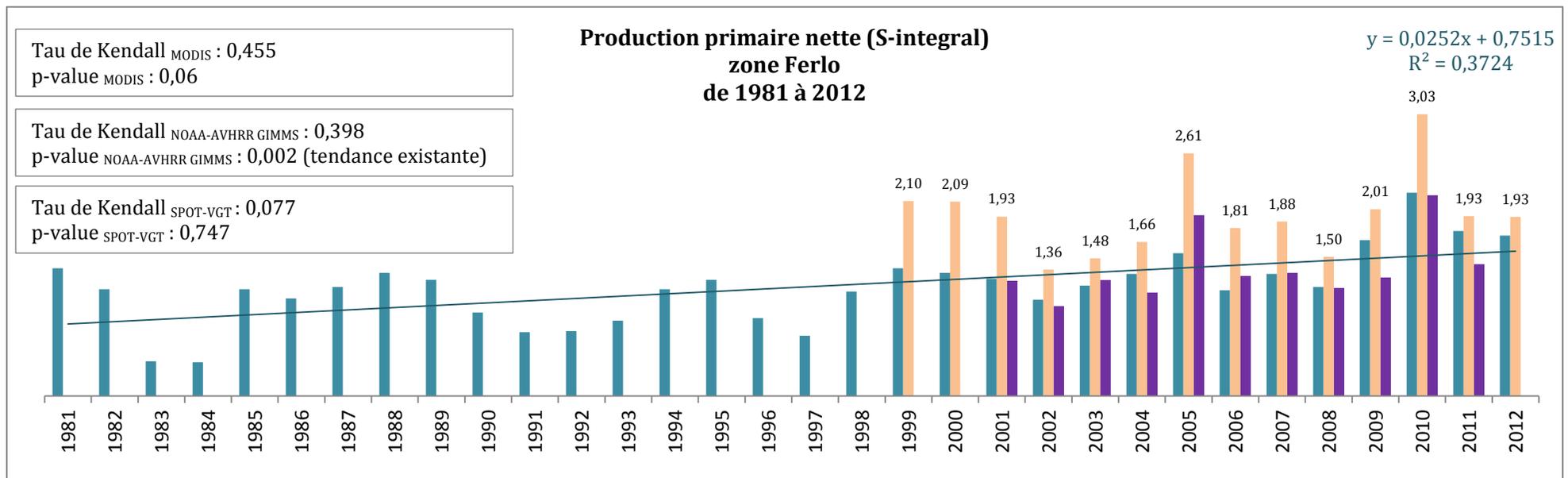
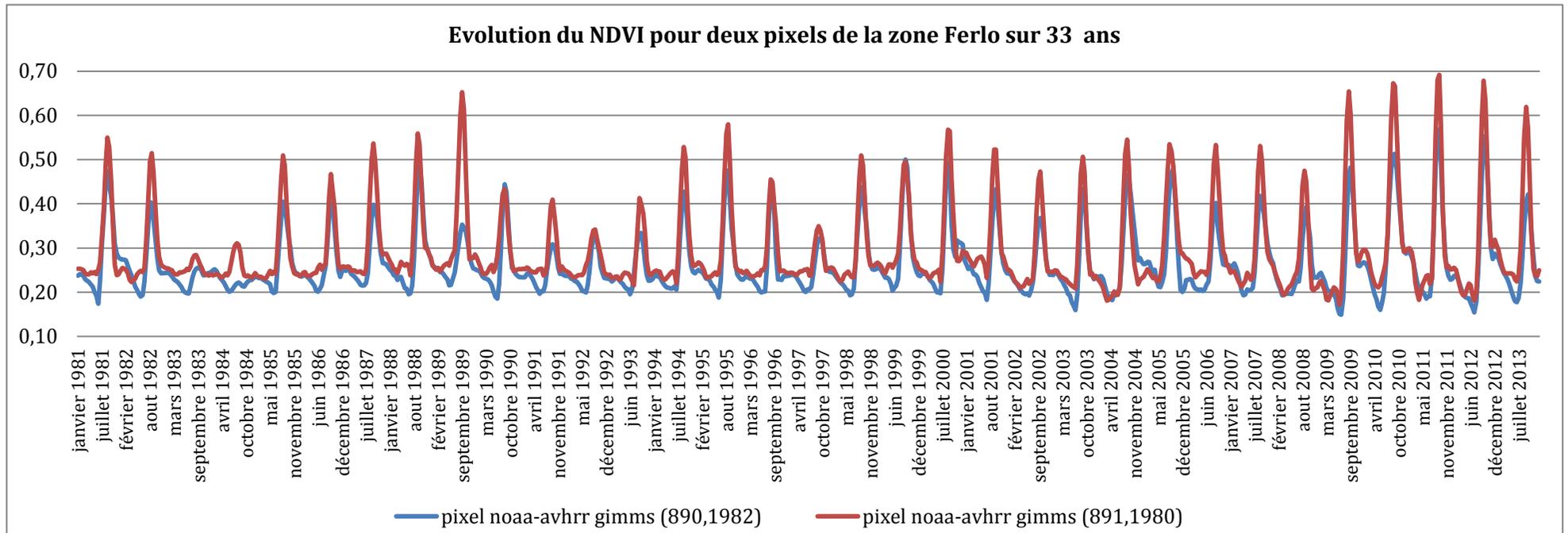
Les coordonnées de la zone rectangulaire sont -15.14816678° E, 15.94506679° N et -14.89816679° E, 15.86173346° N. Pour l'étude sur TIMESAT, la série d'images NDVI NOAA-AVHRR GIMMS est retournée et pivotée mais non découpée, elle contient 4320 colonnes et 2160 lignes. Ainsi, il est nécessaire de retrouver les huit pixels dans l'image initiale. Un script Python effectue cette recherche, soit de la ligne 890 à 891 et de la colonne 1979 à 1982.



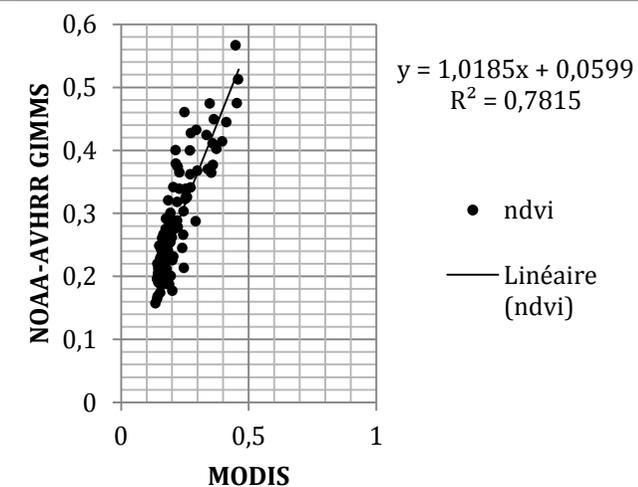
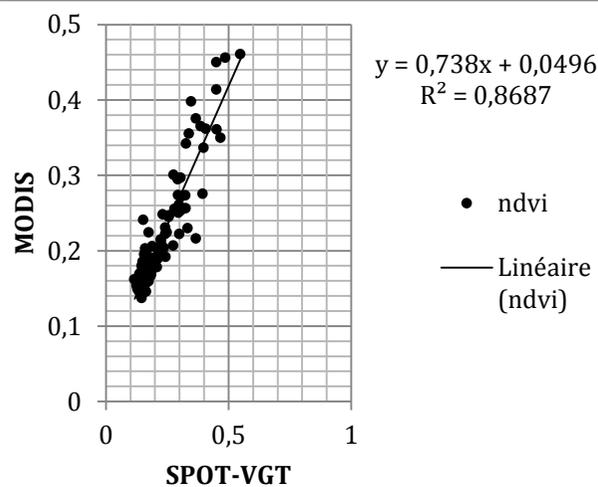
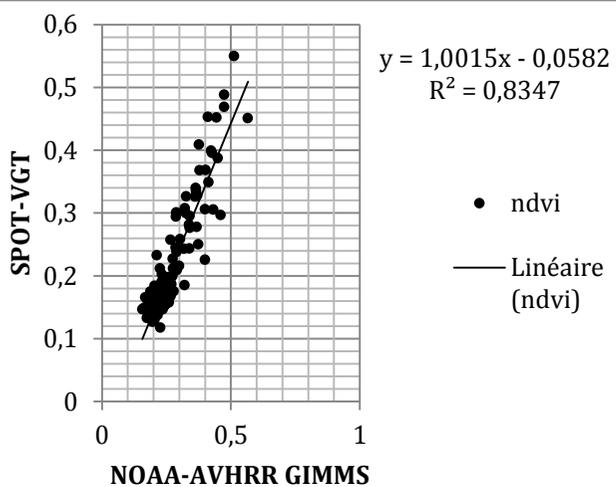
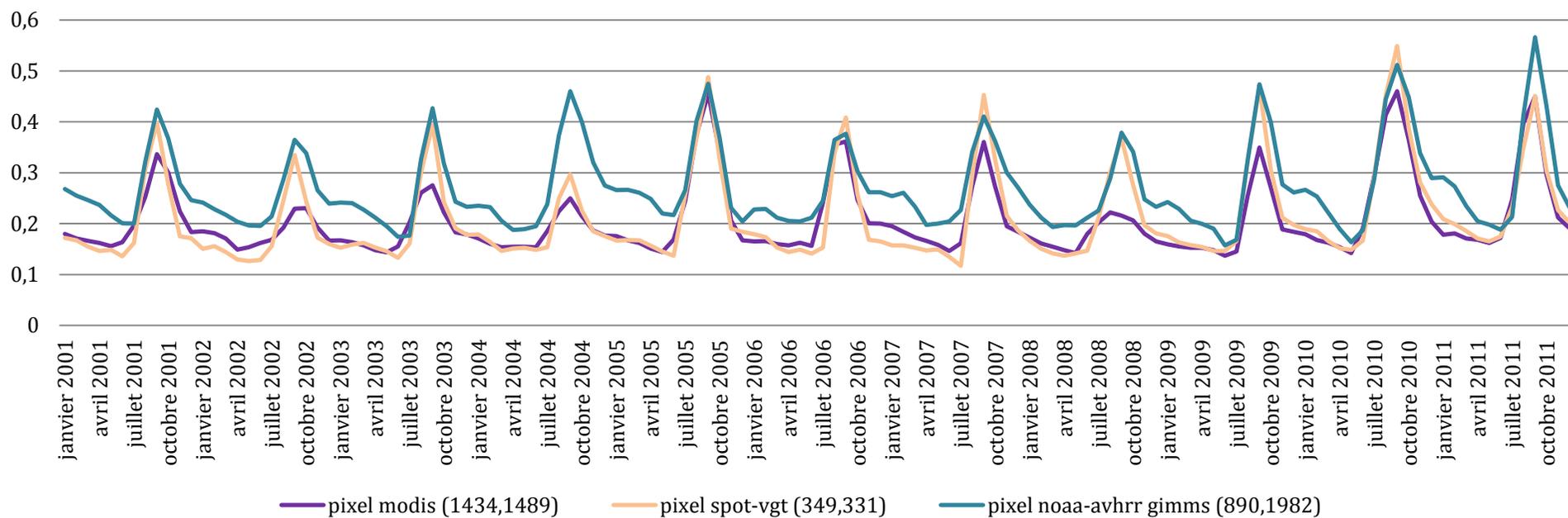
**Etude avec la série MODIS** - 10024 pixels de la ligne 1430 à 1485 et de la colonne 1314 à 1492



**Résultats de l'étude avec le logiciel TIMESAT** à partir des 792 images NOAA-AVHRR GIMMS pour l'évolution du NDVI de deux pixels sur 33 ans puis à partir des moyennes mensuelles du NDVI de trois pixels de la zone Ferlo de janvier 2001 à décembre 2011 (11 ans) avec 396 images SPOT-VGT, 253 images MODIS et 264 images NOAA-AVHRR GIMMS.

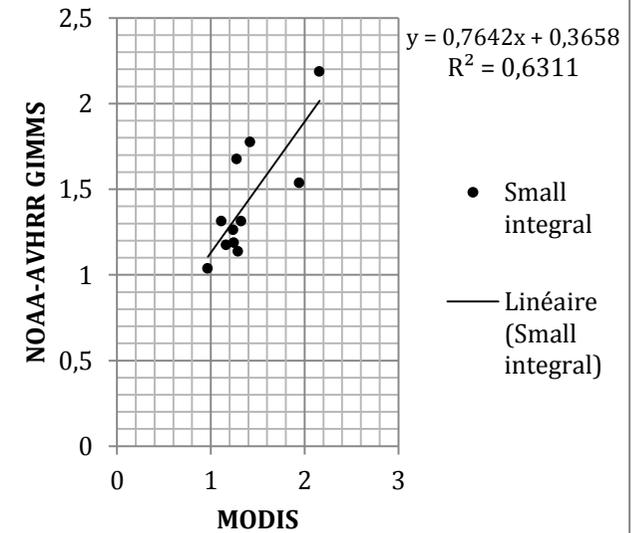
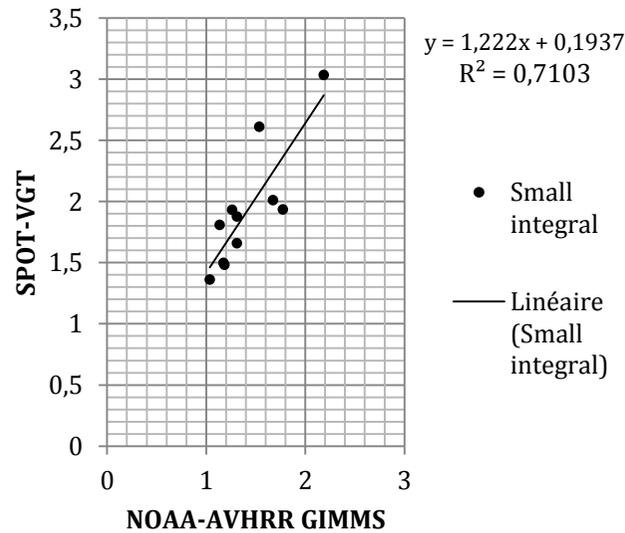
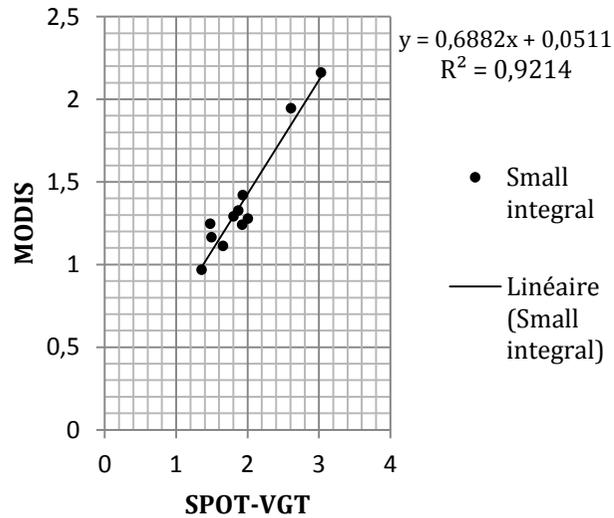
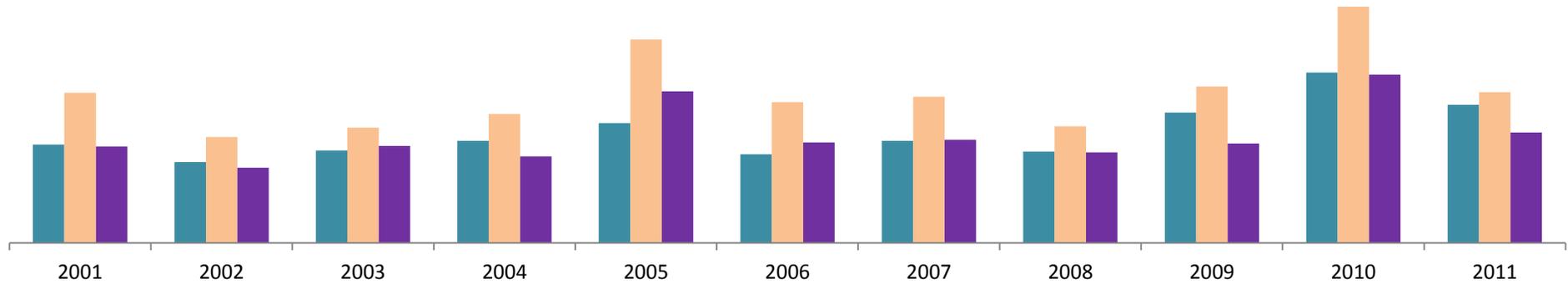


### Evolution du NDVI sur 11 ans pour trois pixels de la zone d'étude

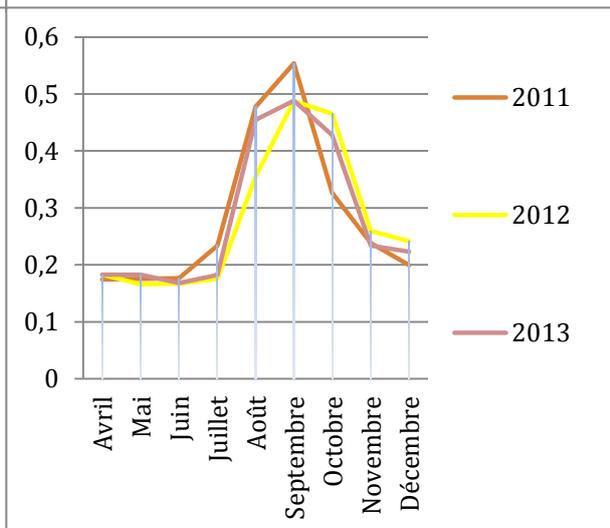
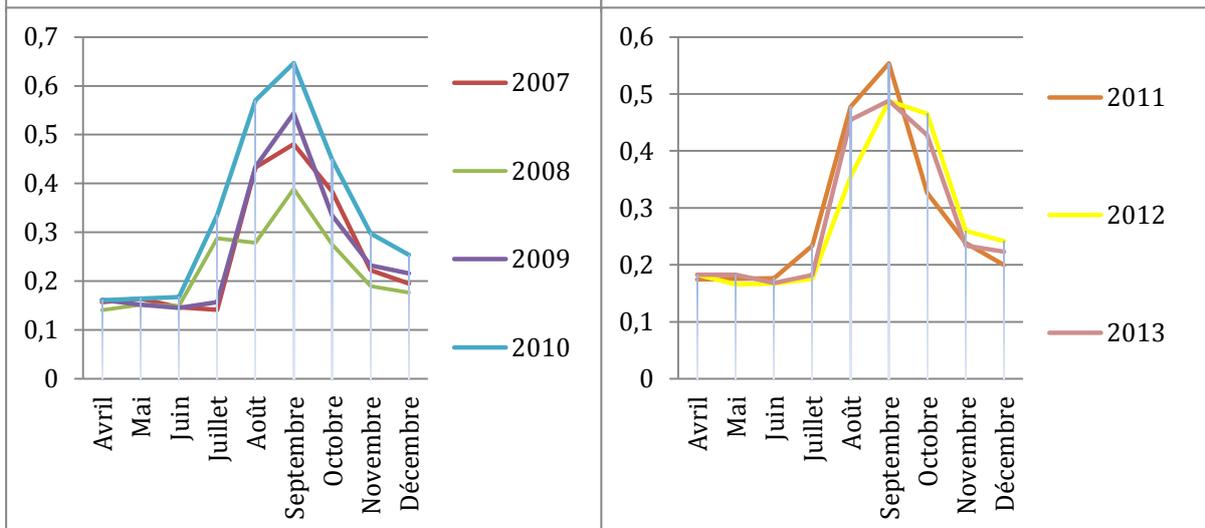
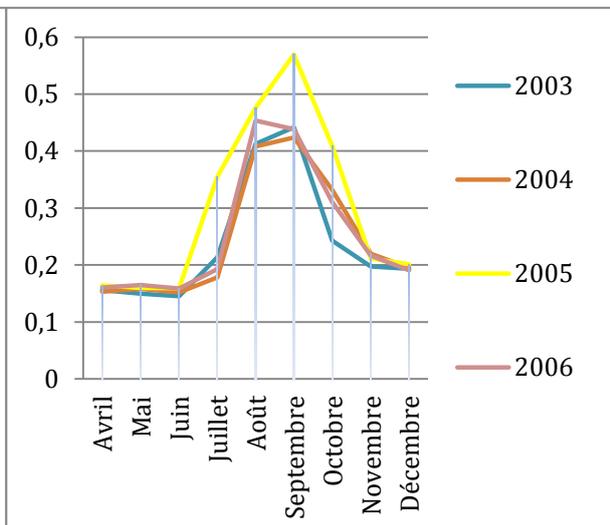
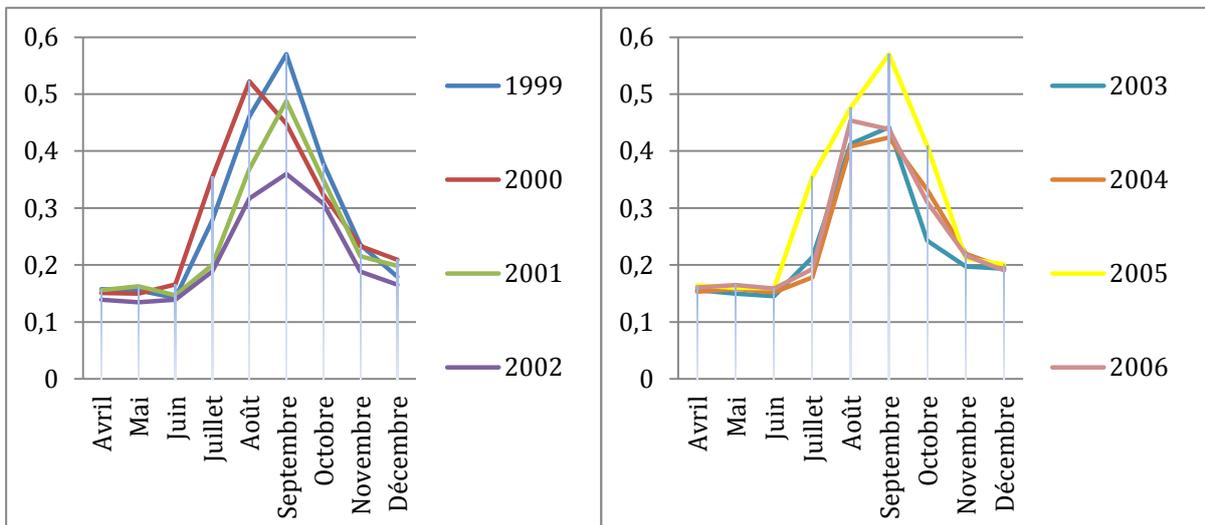
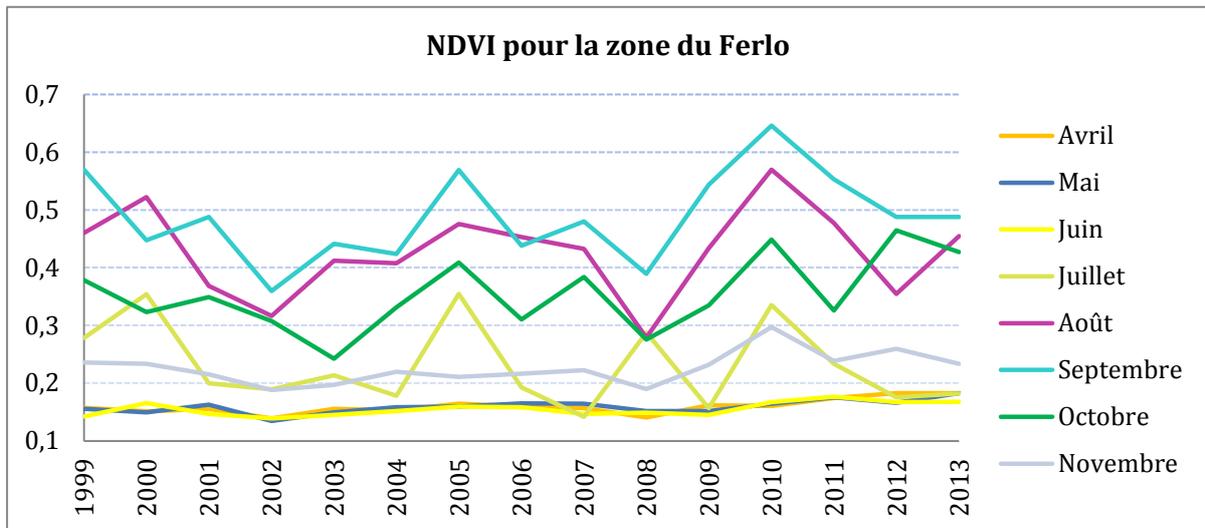


**Production primaire nette (S-integral)  
zone Ferlo  
de 2001 à 2011**

■ NOAA-AVHRR GIMMS    ■ SPOT-VGT    ■ MODIS



**Résultats de l'étude avec le logiciel ENVI à partir des images SPOT-VGT de 1999 à 2013 (une image mensuelle pendant 15 ans correspondant au maximum mensuel de NDVI)**



## ANNEXE 7 : Cartes des changements (NDVI de 2000 à 2013 versus 1999) avec l'application WinDisp sur la moyenne emprise

