

Entre désertification et reverdissement du Sahel

Que voient les satellites et les observations terrain ?

Cécile Dardel (GET)

Collaboration :

Laurent Kergoat, Eric Mougin, Pierre Hiernaux, Manuela Grippa

Merci à CJ Tucker (NASA Goddard)

pour la mise à disposition du nouveau jeu de données NDVI GIMMS-3g

Réunion ESCAPE Marseille Février 2013 – WP1



escape

Agence Nationale de la Recherche
ANR

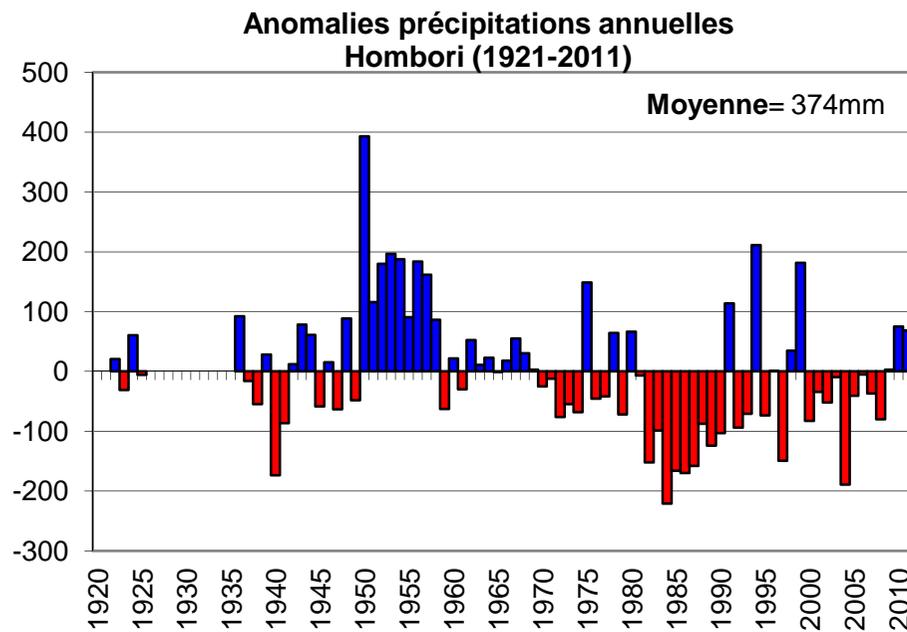
Définition des concepts

Désertification

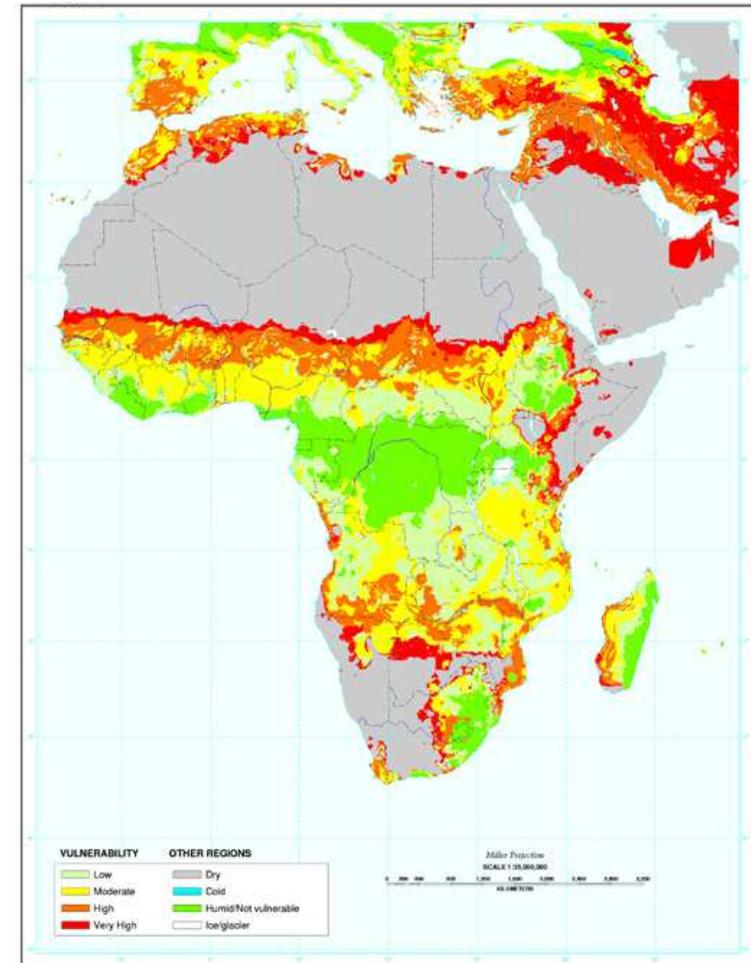
Def. Convention Nations Unies :

“Dégradation des terres dans les zones arides et semi-arides par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines”

Sahel : très forte variabilité interannuelle des précipitations
⇒ Fort impact sur les populations et les ressources
⇒ Nombreuses études sur la « désertification de l’Afrique » depuis le début du siècle



Source : Direction Nationale de la Météorologie (DNM Mali)



Vulnérabilité de l’Afrique à la désertification

Source : GLASOD/UNEP (United Nations Environment Program)- 1991

Définition des concepts

Reverdissement

- Apparition de la **télédétection** (mesures aéroportées, puis satellites) => un **suivi global** de la végétation devient possible.
- Def. « reverdissement » = **augmentation de l'indice de végétation**.
Hypothèse : directement corrélé à une augmentation de la **productivité végétale**
- Nombreux travaux publiés (Tucker, Anyamba, Herrmann, Heumann, Fensholt, Olsson, Prince, Seaquist...) qui montrent des **tendances au reverdissement du Sahel depuis les années 1980**.

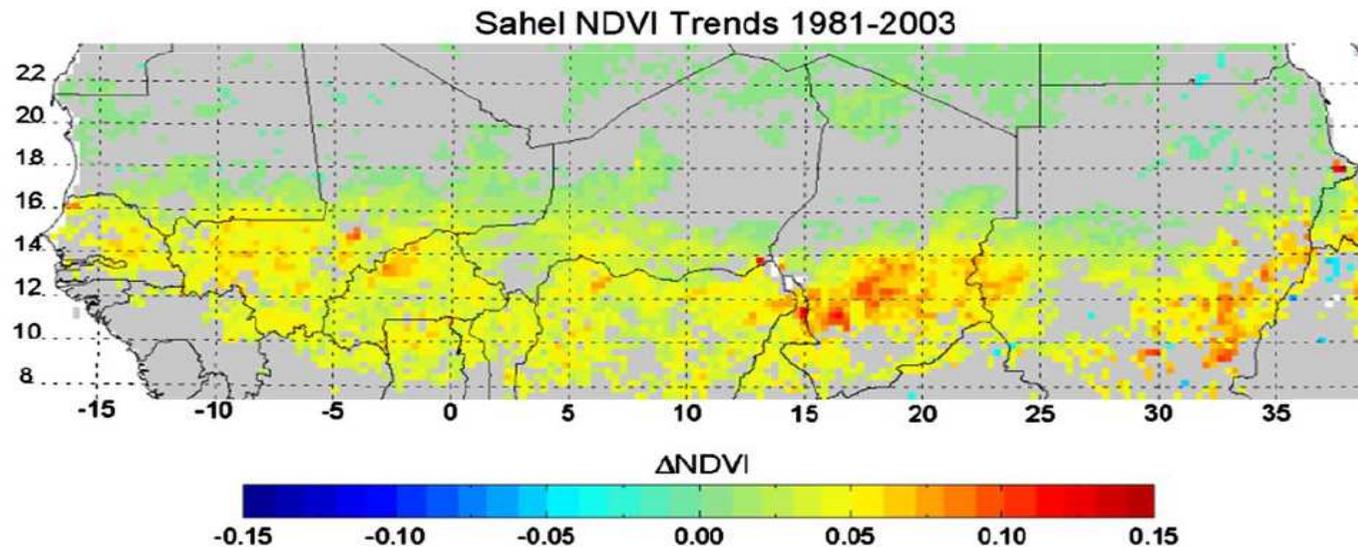


Fig. 6. Summary trend map of changes in Sahel NDVI from 1981–2003. Yellow to red colors indicate areas of significant change at 90% confidence, and grey areas show no significant trend.

Source : Anyamba and Tucker 2005

Objectif de l'étude

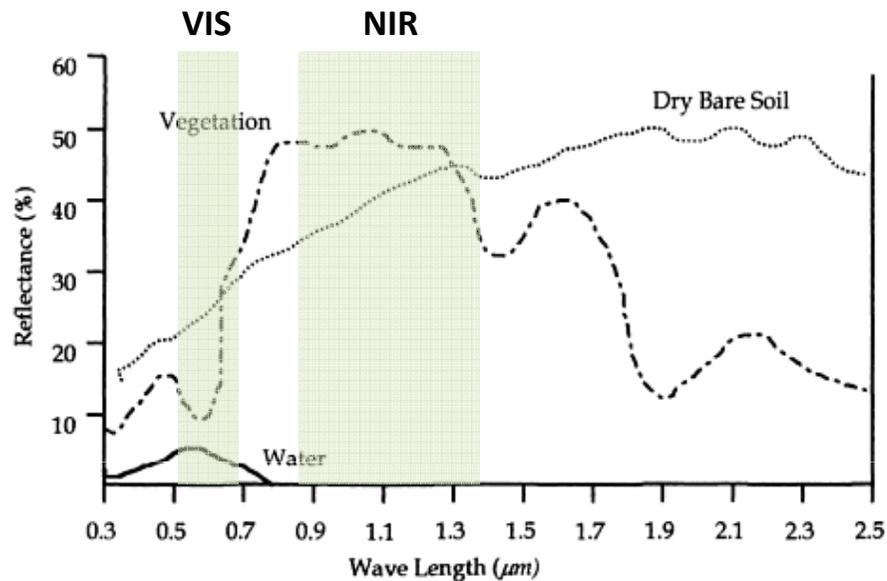
Répondre à la question :

« Y-a-t-il désertification ou reverdissement du Sahel ? »

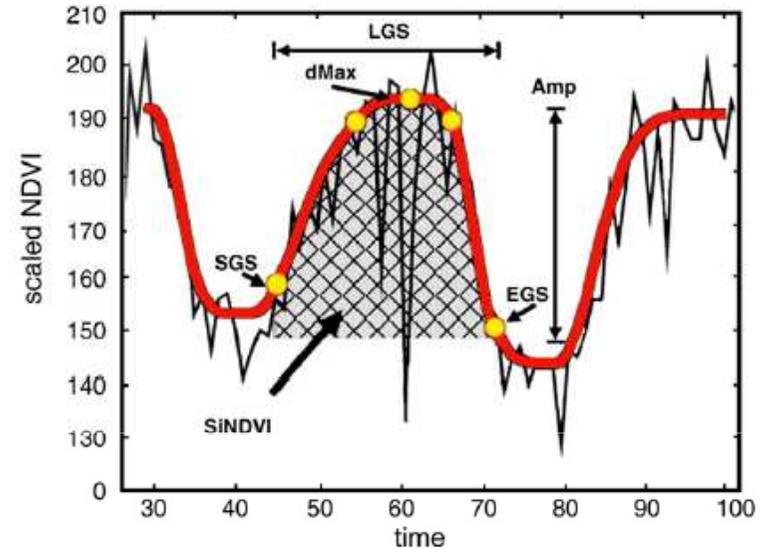
A l'aide de deux jeux de données long-terme indépendants :

**La télédétection et
des observations in-situ de la végétation**

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)



Source : Heumann et al 2006



$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

NDVI = indice de végétation (« greenness index ») lié à l'activité photosynthétique des plantes vertes (forte absorption dans le rouge, forte réflectance dans le proche infra-rouge)

=> Le NDVI intégré pendant la saison de végétation est un bon estimateur de la Production Primaire Nette (NPP)

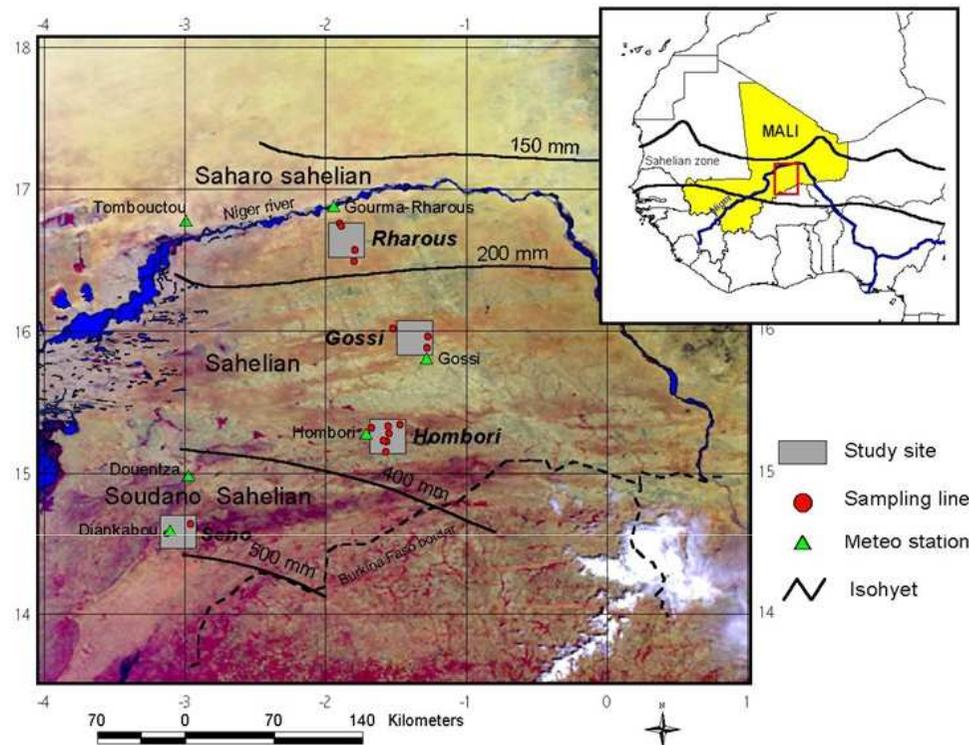
Jeux de NDVI utilisés



capteurs AVHRR
à bord de la série
des NOAA

- **LTDR** : 1981-1999, 5km, journalier
- **GIMMS2006** : 1981-2006, 8km, composites à 15 jours
- **GIMMS NDVI3g** : 1981-2011 - 1/12°, 15 jours (nouveau)
A venir : issue spéciale de la revue *Remote Sensing* (éditeur R. Myneni)
- **MODIS** : MOD13Q1, 2000-2012, 250m, 16 jours

Observations terrain de végétation – Gourma (Mali)



- **Long historique des données terrain dans le Gourma :**

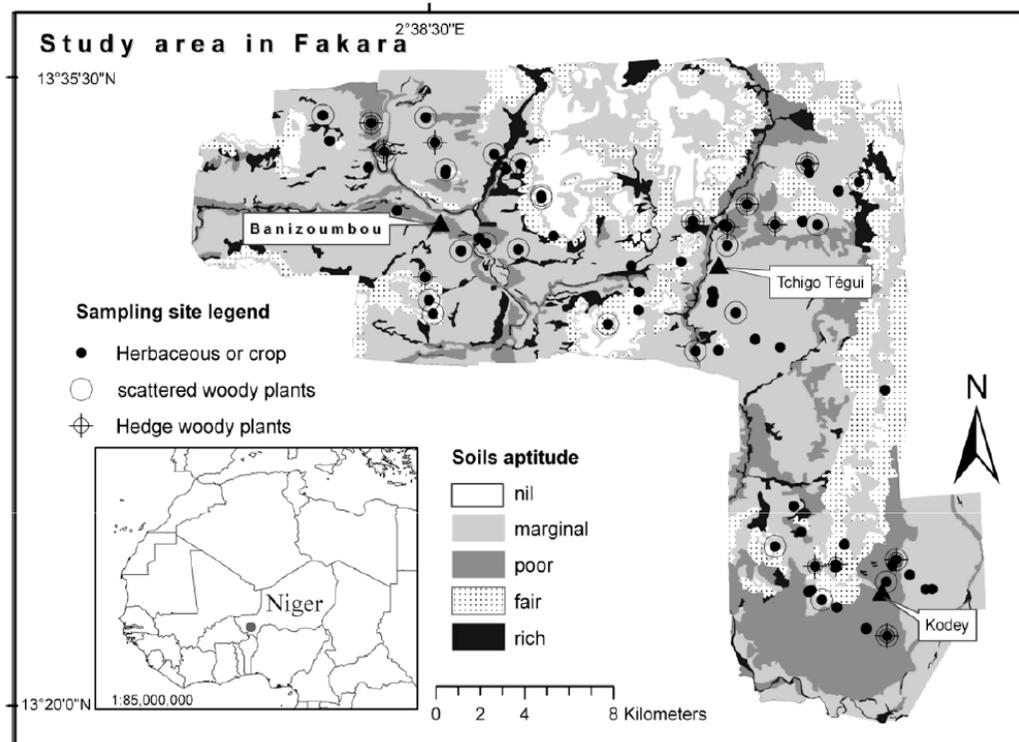
Boudet (1970-1980) – Hiernaux et Diarra (ILRI, 1984-1999) – Mougin *et al.* (AMMA-CATCH, 1999-aujourd'hui)

- **40 sites (1x1km)** répartis le long du gradient bioclimatique. Méthode d'échantillonnage pensée pour **représenter l'hétérogénéité du paysage.**

- Végétation principalement constituée **d'herbacées annuelles** (couvert ligneux < 3% ; cultures < 5%).
Variable étudiée: masse de la strate herbacée aérienne (kg MS/ha), de **1984 à aujourd'hui.**

=> Observations de la végétation du Gourma disponibles sur 27 ans.

Observations terrain de végétation – Fakara (Niger)



Un paysage plus **complexe** :

- près de la **moitié** des surfaces sont **cultivées** (couvert ligneux <5%)
- **occupation du sol très dynamique** (augmentation des surfaces cultivées, diminution des surfaces en jachère depuis les années 50)
- paysage très « morcellé » (=> transects de 100m sur les champs, 200m pour les jachères)

Observations de la strate herbacée effectuées sur plus de 70 sites, **de 1994 à aujourd'hui**.

=> 17 années d'observation terrain disponibles dans le Fakara

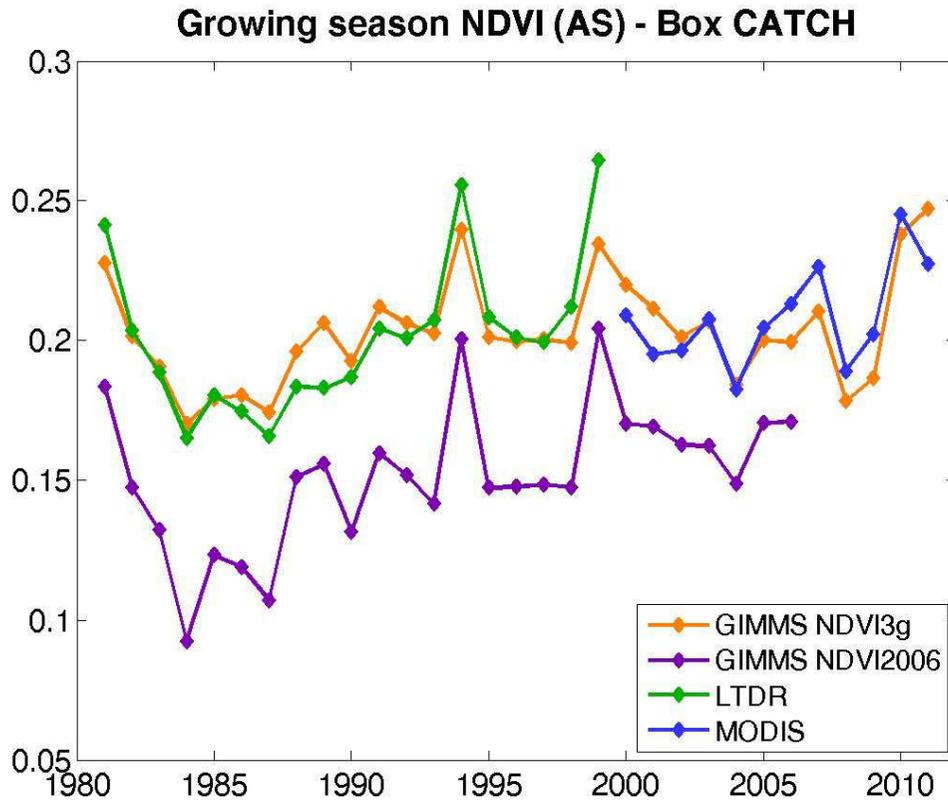
Questions

1- Les différents jeux de NDVI utilisés dans cette étude sont-ils en accord ?

2- Quelles sont les tendances du NDVI ? Y-a-t-il désertification ou reverdissement du Sahel ?

3- Que disent les observations de terrain ? Sont-elles en accord avec les données de télédétection ?

Comparaison produits NDVI



- **Décalage** du NDVI GIMMS2006 dû aux différences de **corrections atmosphériques**
 - **Bon accord** entre les 4 jeux de NDVI (variabilité interannuelle et tendances)
- ⇒ **Pour la suite de cette étude, utilisation du NDVI GIMMS3g uniquement (30 ans de données disponibles)**

Questions

1- Les différents jeux de NDVI utilisés dans cette étude sont-ils en accord ?

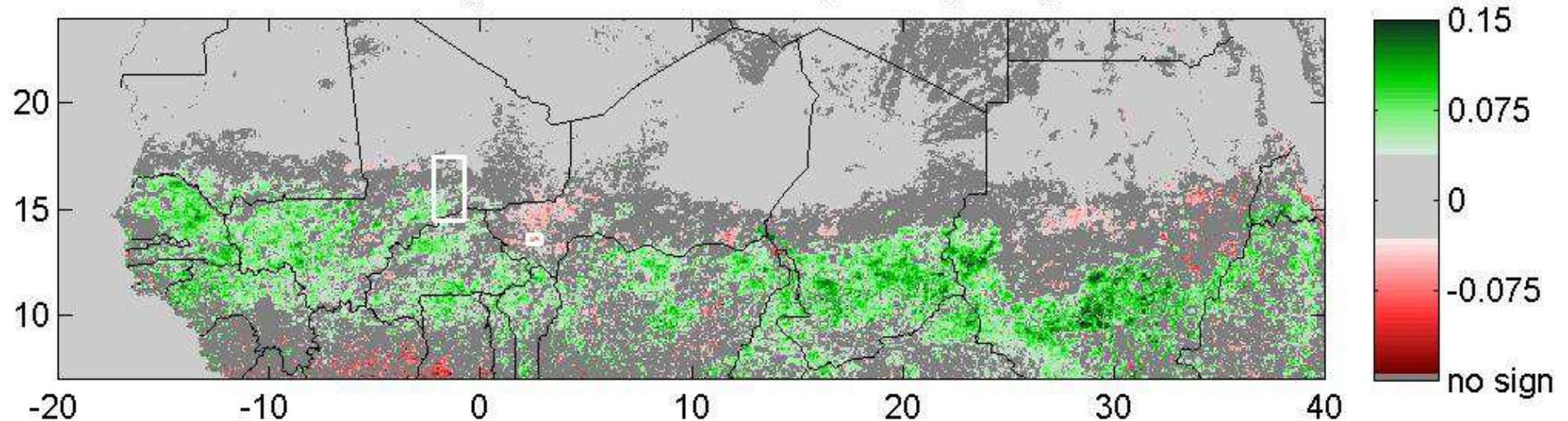
2- Quelles sont les tendances du NDVI ?

Y-a-t-il désertification ou reverdissement du Sahel ?

3- Que disent les observations de terrain ? Sont-elles en accord avec les données de télédétection ?

Tendances du NDVI au Sahel

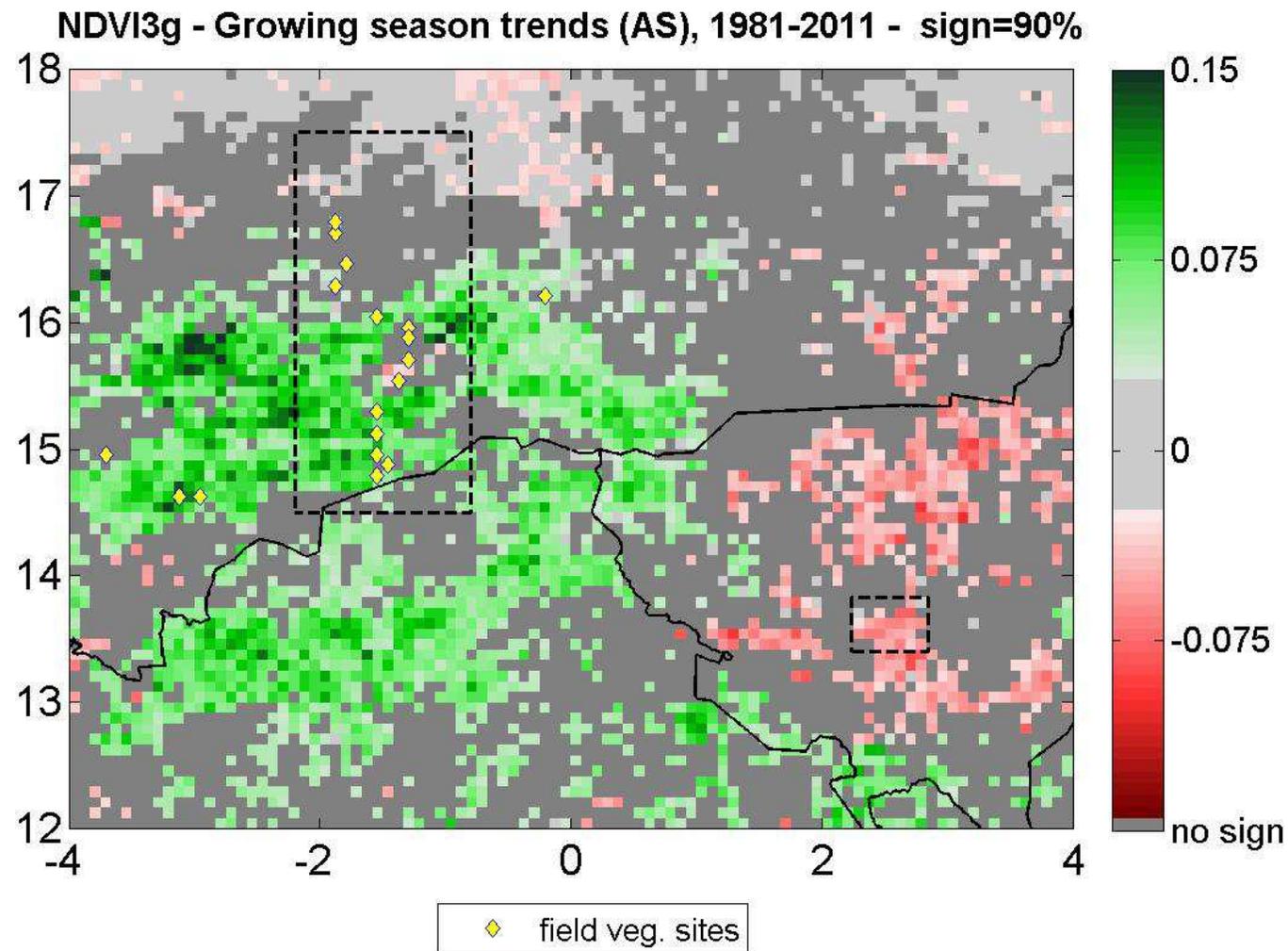
GIMMS NDVI3g trends 1981-2011 (JASO) - sign=90%



Des tendances au reverdissement sont observées sur la quasi-totalité de la bande sahélienne, à l'exception du sud-ouest du **Niger** et du centre du **Soudan**, où des tendances **négligentes** sont observées.

Ces tendances sont **significatives** sur la période 1981-2011.

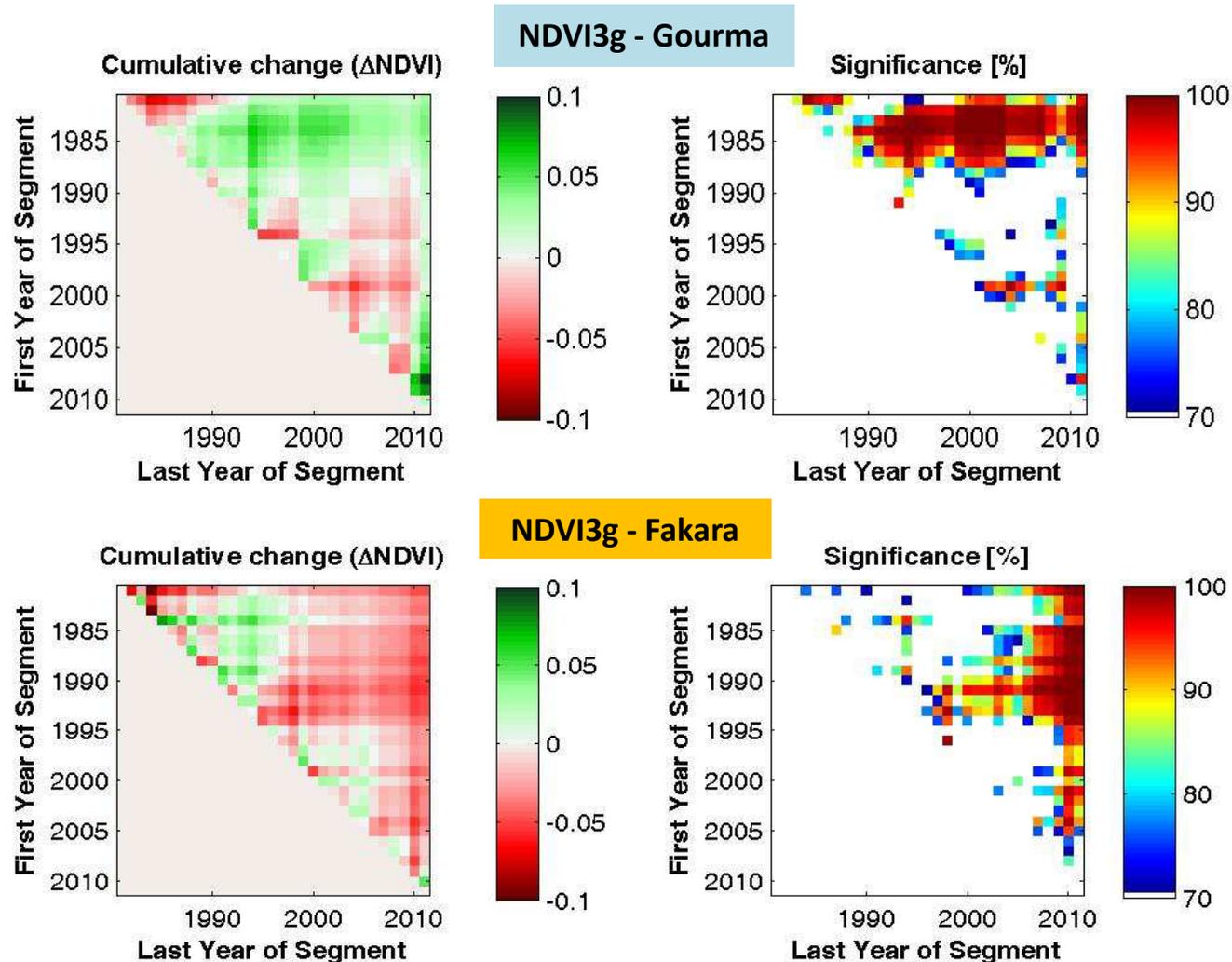
Zoom sur le Gourma et le Fakara



Gourma => tendances positives (« reverdissement »)

Fakara => tendances négatives

Sensibilité des tendances de NDVI à la période considérée



⇒ Les tendances sur le Gourma et sur le Fakara sont **robustes**.

⇒ Un comportement identique de **régénération de la végétation** est observé sur les 2 régions juste **après la sécheresse** de 1983-84, puis **les histoires diffèrent**.

Questions

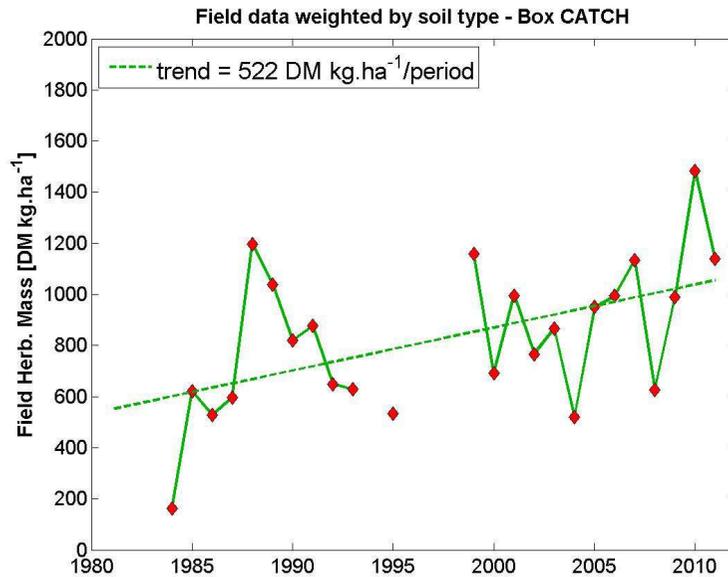
1- Les différents jeux de NDVI utilisés dans cette étude sont-ils en accord ?

2- Quelles sont les tendances du NDVI ? Y-a-t-il désertification ou reverdissement du Sahel ?

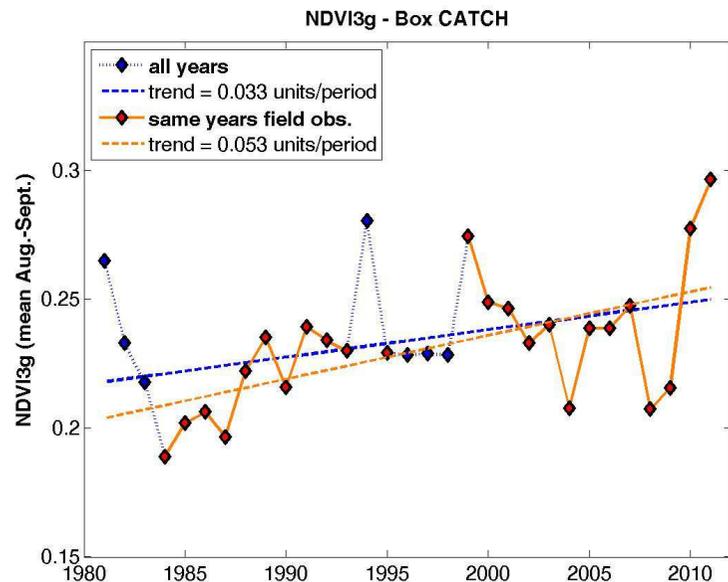
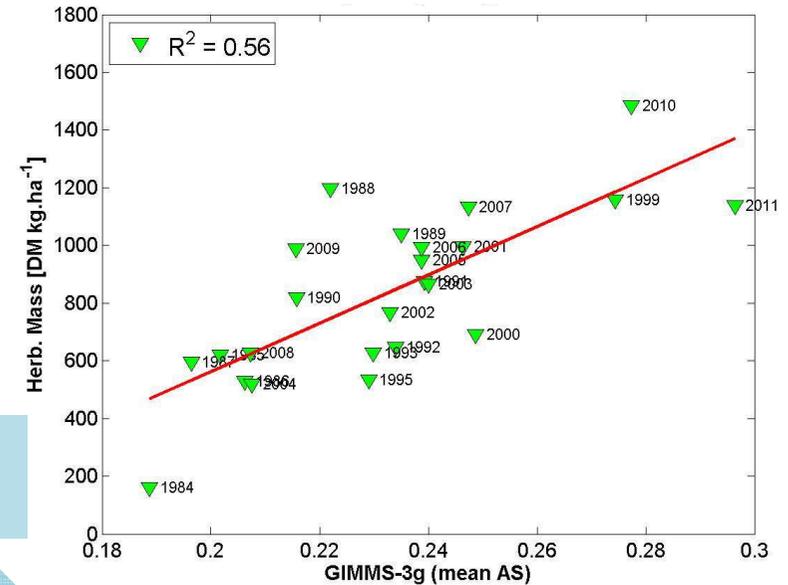
3- Que disent les observations de terrain ?

Sont-elles en accord avec les données de télédétection ?

Gourma (Mali)



Régression
Terrain/NDVI

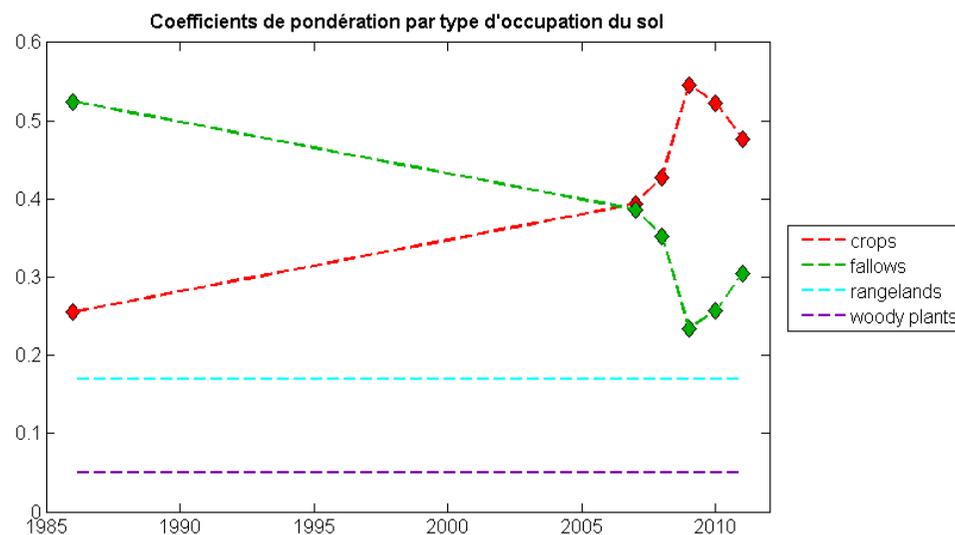
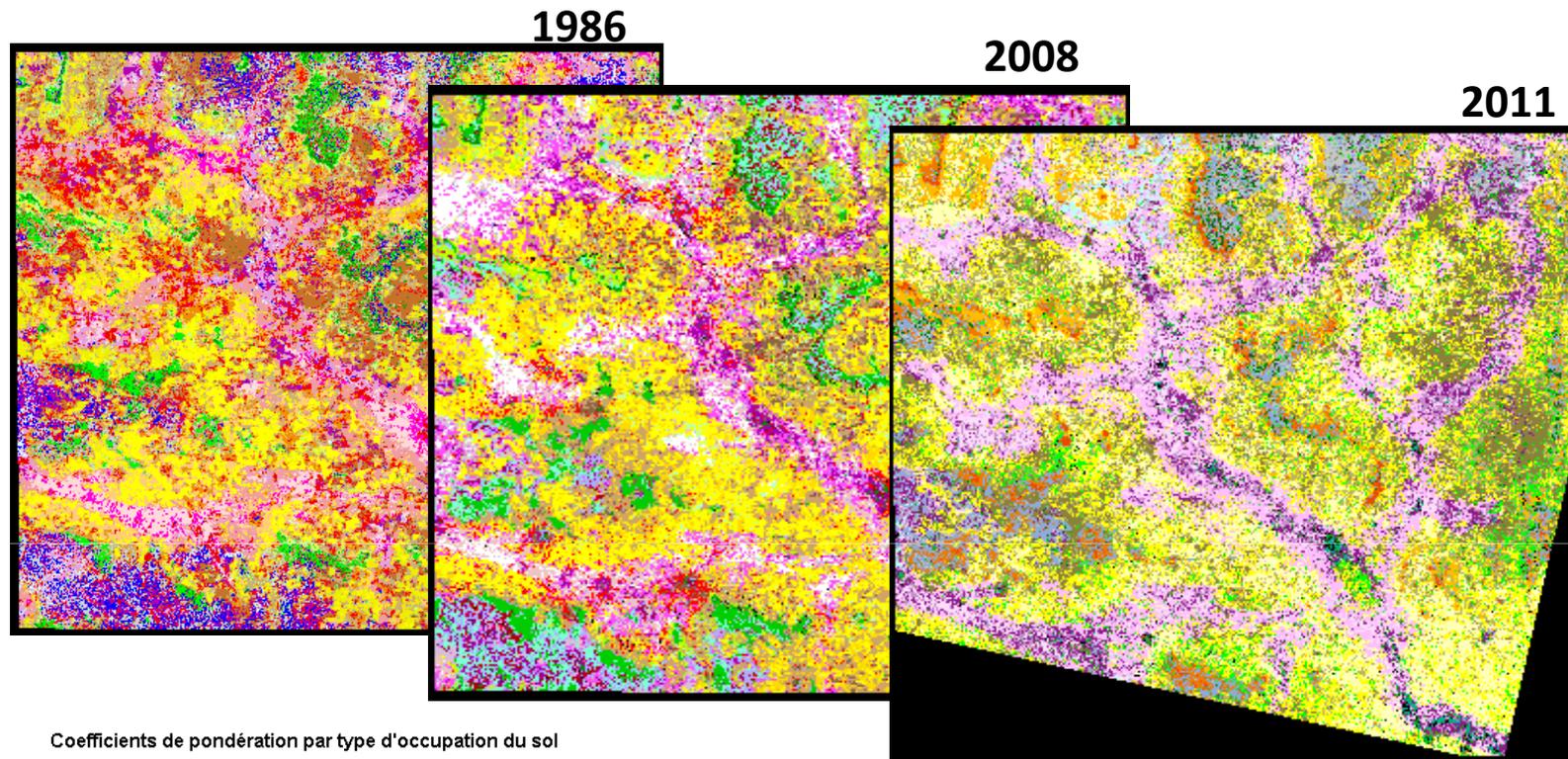


• **Bon accord** entre les données de télédétection et les données terrain sur le Gourma ($R^2=0.56$).

⇒ Validation des tendances au **reverdissement** observées.

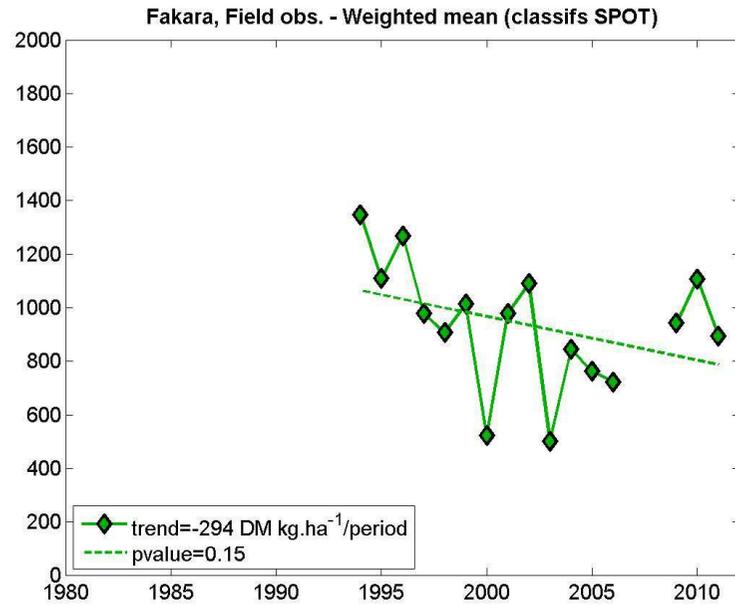
• Démontre la **résilience des écosystèmes sahéliens** à des événements climatiques extrêmes comme la sécheresse des années 1983-84.

Fakara (Niger) – Dynamique occupation des sols (Méthode)

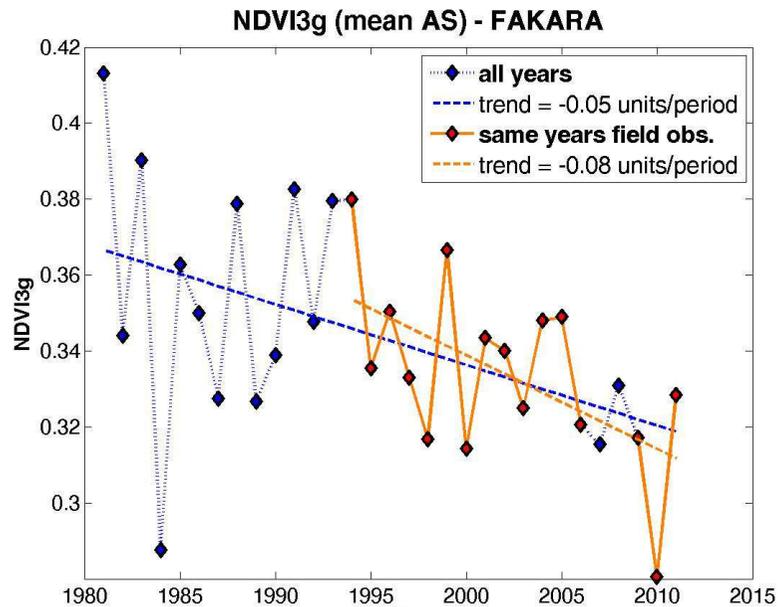
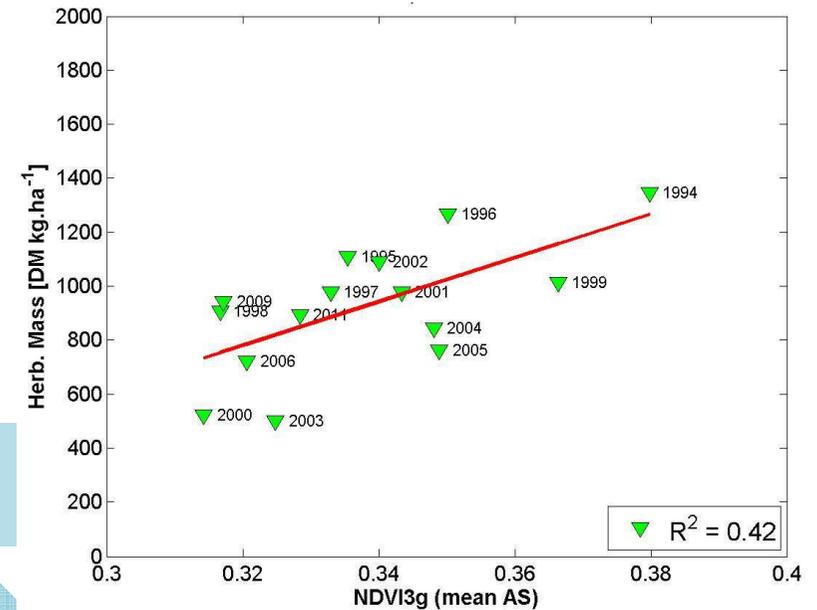


Classifications SPOT pour prendre en compte l'évolution des types d'occupation du sol (augmentation surfaces cultivées, diminution surfaces en jachère...)
 => **Pondération** des données terrain en fonction des proportions identifiées.

Fakara (Niger) – Régression NDVI/terrain

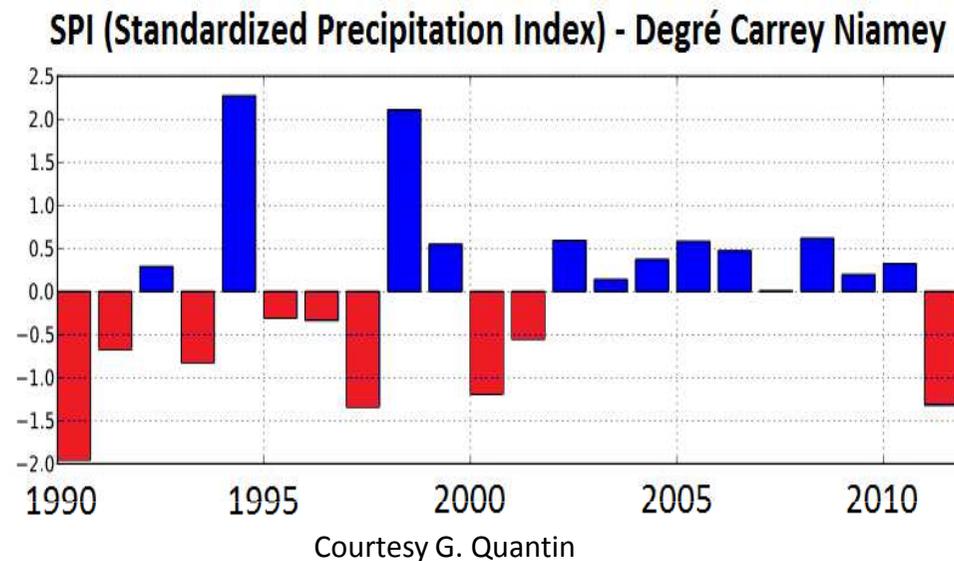


Régression
Terrain/NDVI



- Bon accord entre les deux jeux de données ($R^2=0.42$)
- Et les satellites, et les observations terrain de la strate herbacée aérienne montrent une **diminution du couvert végétal** sur la période.

Fakara (Niger) - Bilan

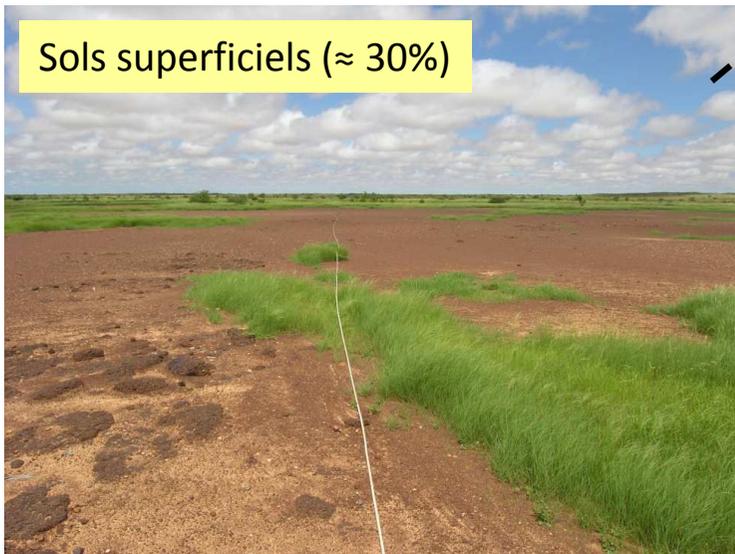
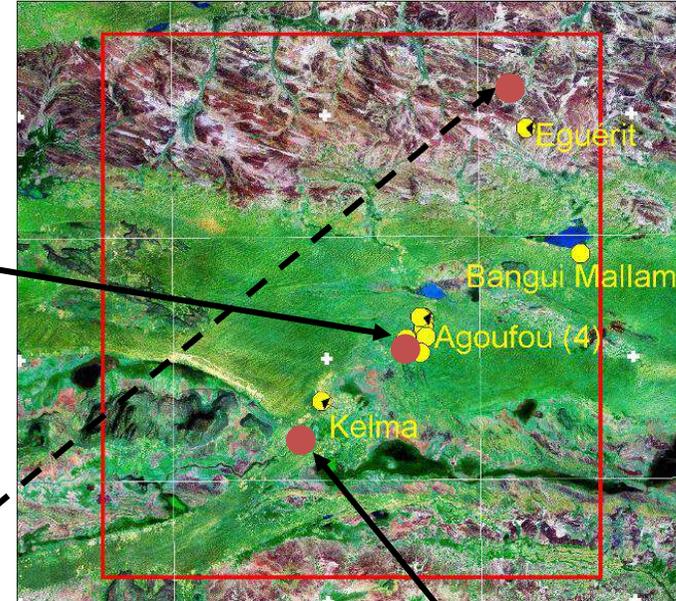
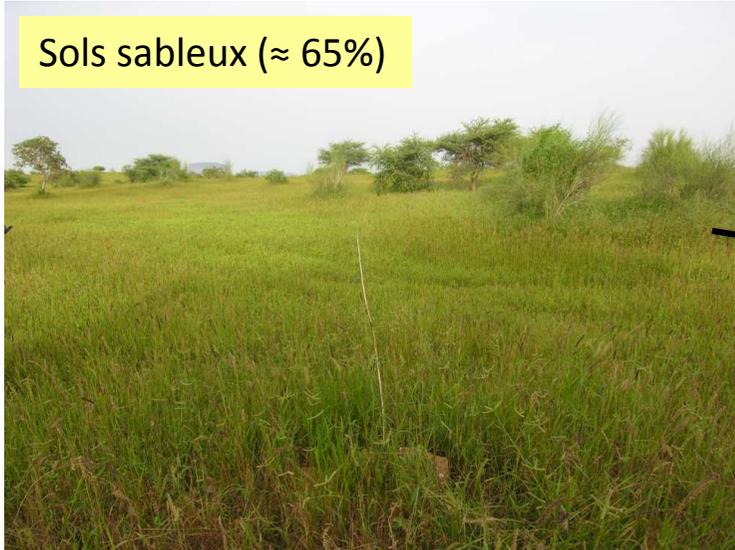


Cette diminution de la production de la végétation :

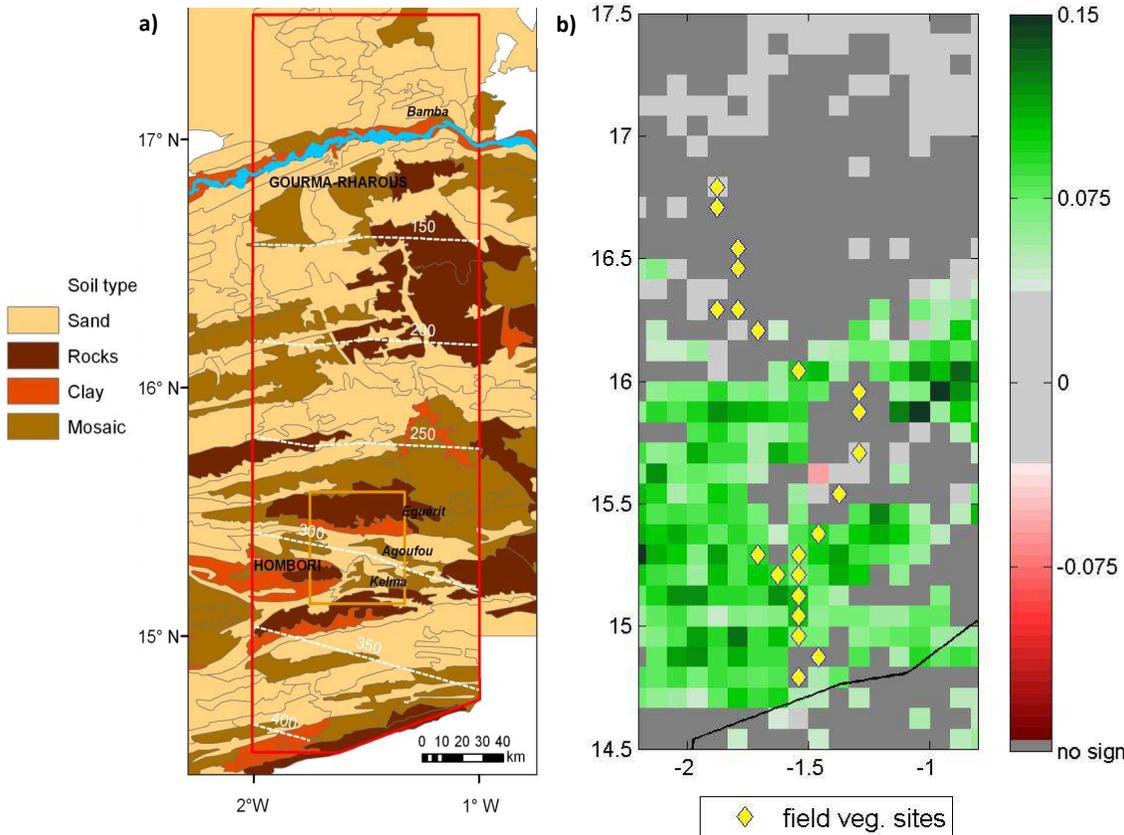
- n'est pas expliquée par les **précipitations**
- est observée sur tous les types d'occupation des sols (surfaces cultivées, jachères, parcours)
- plusieurs causes possibles : **changements dans l'occupation des sols** (augmentation des surfaces cultivées, raccourcissement des périodes de jachère), diminution de la **fertilité** des sols, augmentation de la pression de **pâturage** en saison de croissance...

=> Cf presentation P. Hiernaux

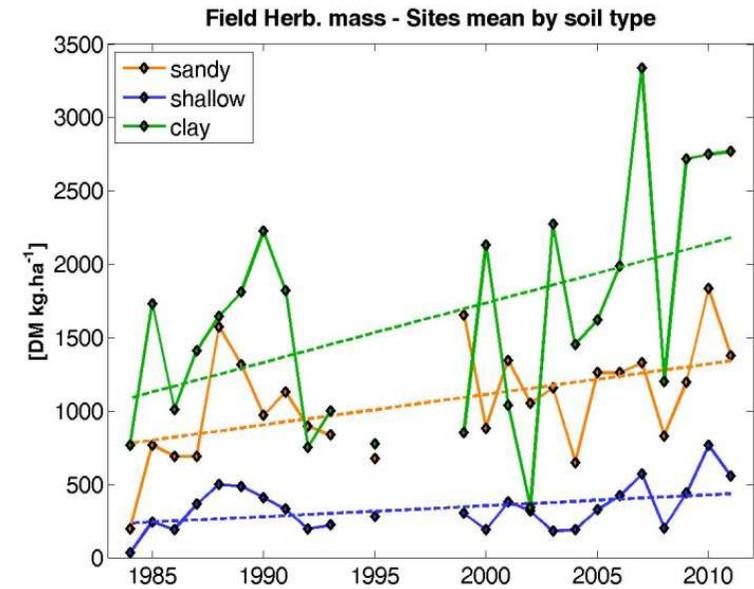
Gourma : une histoire différente



Influence du type de sol



a) Soil type map and b) NDVI3g trends (Aug.-Sept.)

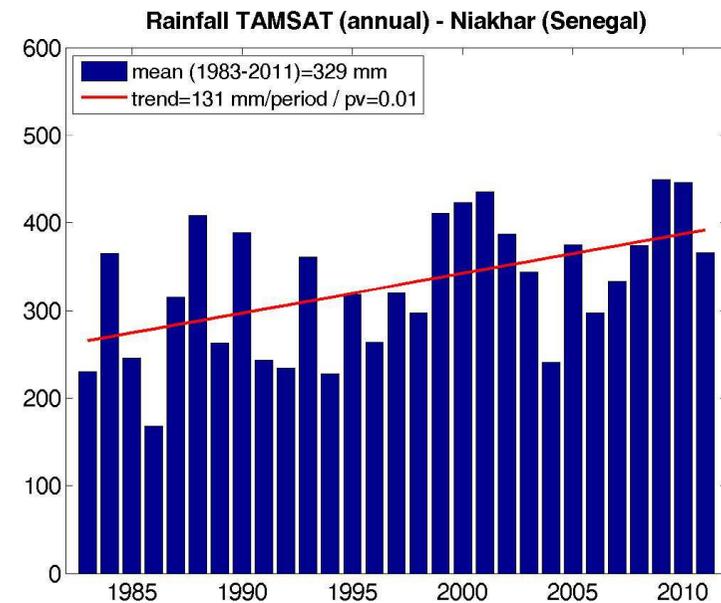
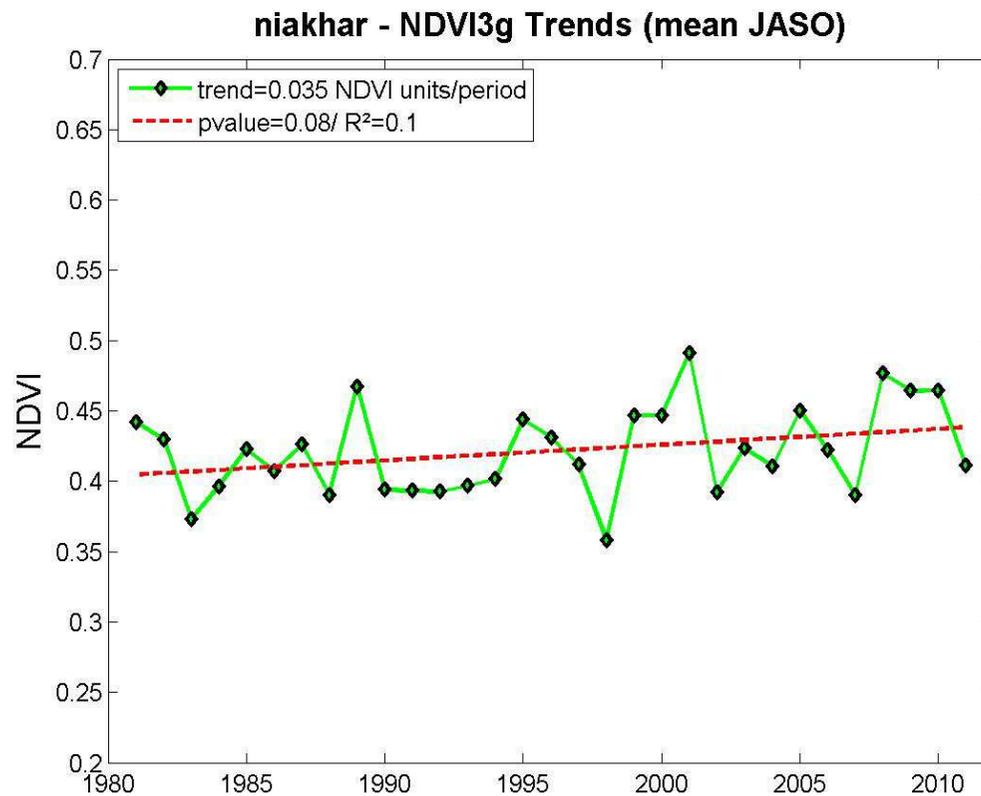


- **Sol sableux** : reverdissement sign.
- **Sols peu profonds** : tendances non sign.
- **Sols argileux** : résolution satellite trop grossière

- **Rétablissement très rapide** de la végétation sur les **sols sableux** après la sécheresse (forte efficacité des précipitations)
- **Dynamiques différentes pour les sols superficiels et les dépression argileuses** : augmentation de l'**érosion** et du **ruissellement** sur les sols superficiels, ce qui induit en retour plus d'eau dans les dépressions et donc dans les mares (cf Gardelle et al. 2010)

Bonus

Spécialement pour ESCAPE : Les tendances du NDVI sur Niakhar, Sénégal.
=> **Désertification ? Reverdissement ?...**





Conclusions

1- Oui, les différents jeux de NDVI sont en bon accord entre eux.

2- Les tendances du NDVI pendant la saison de croissance au Sahel sur les 30 dernières années montrent une **claire tendance de « reverdissement »**.

Seuls l'ouest du Niger et le centre du Soudan montrent des tendances négatives.

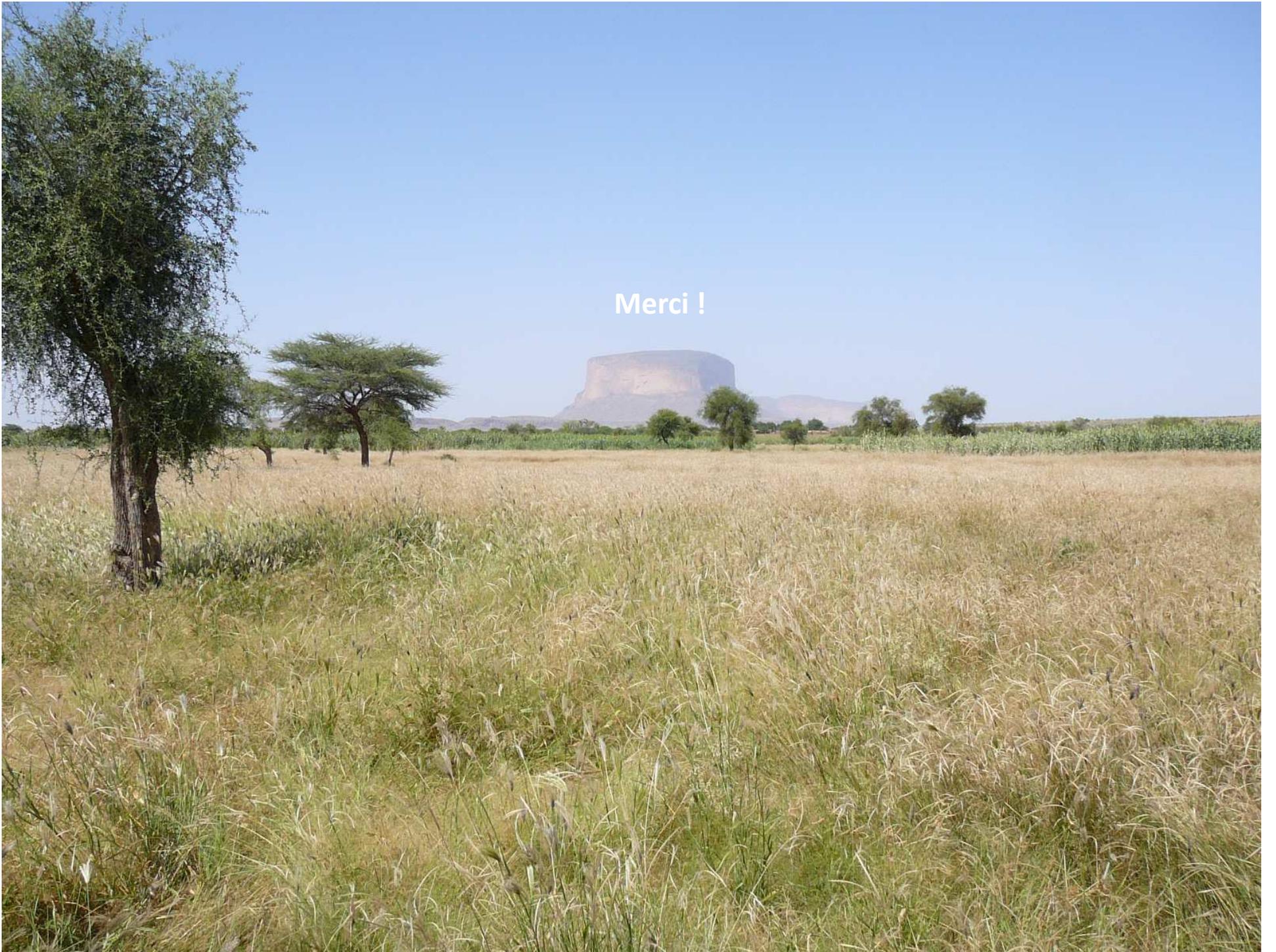
3- Les **observations terrain sont en bon accord avec les tendances de NDVI**, et pour le Gourma (tendances positives) et sur le Fakara (tendances négatives).

4- Dans le **Gourma**, le **rétablissement** de la végétation sur les **sols sableux** a été très rapide, démontrant la **résilience** des écosystèmes sahéliens. Cependant, des **mécanismes différents** ont lieu sur les **sols peu profonds et les dépressions argileuses** (plus **d'érosion** et de **ruissellement** sur les sols superficiels, plus d'eau et de végétation sur les sols argileux)

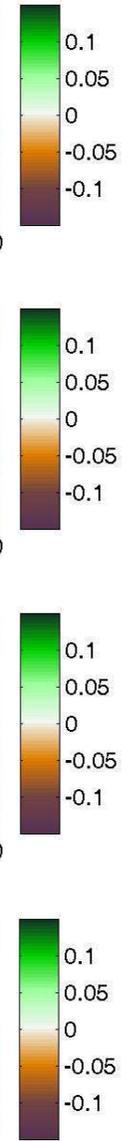
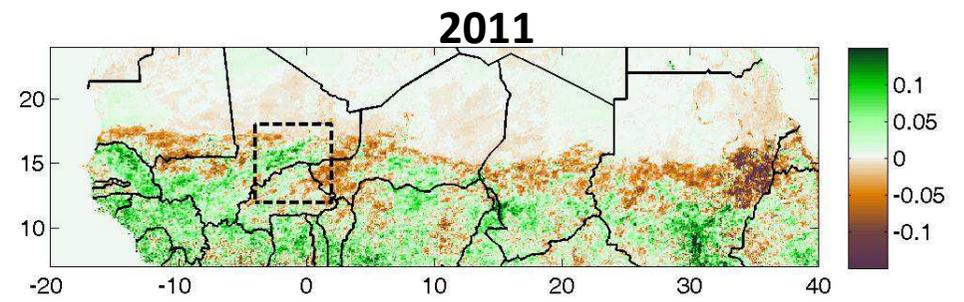
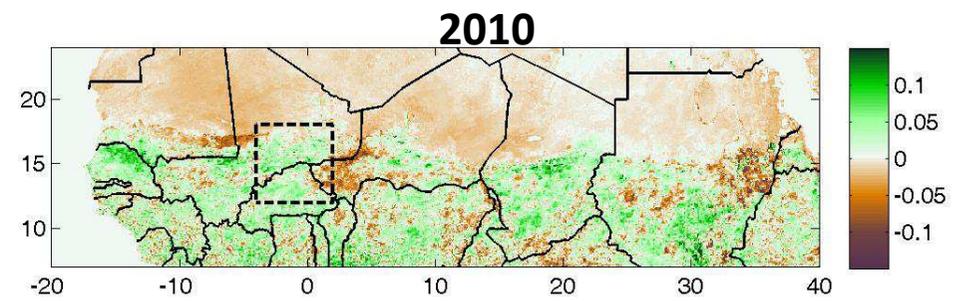
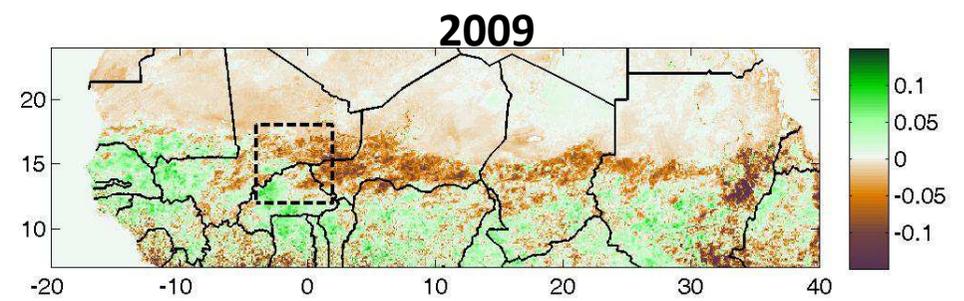
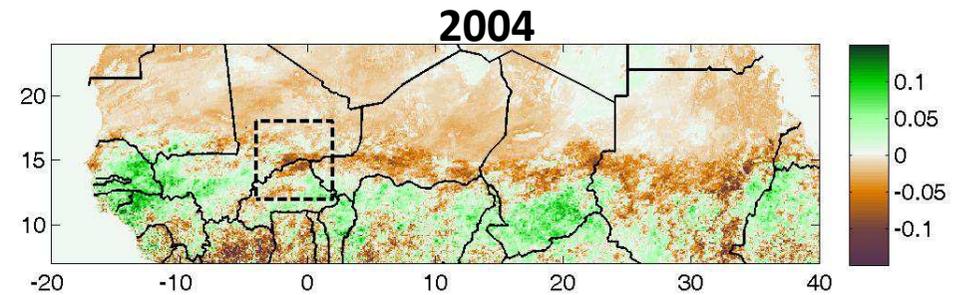
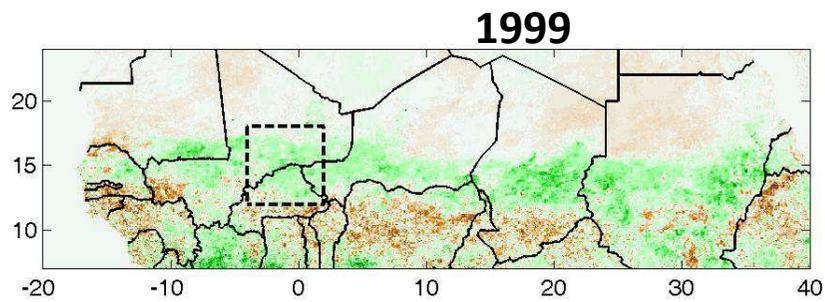
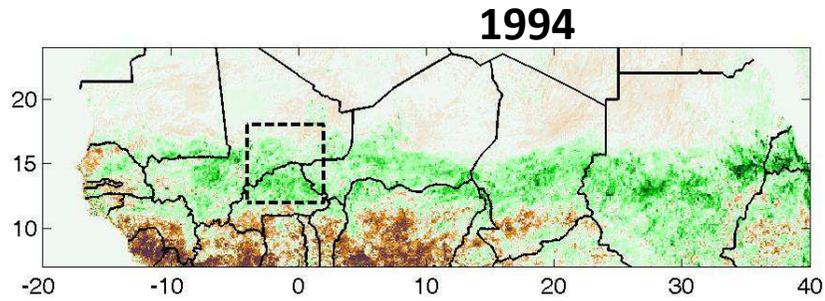
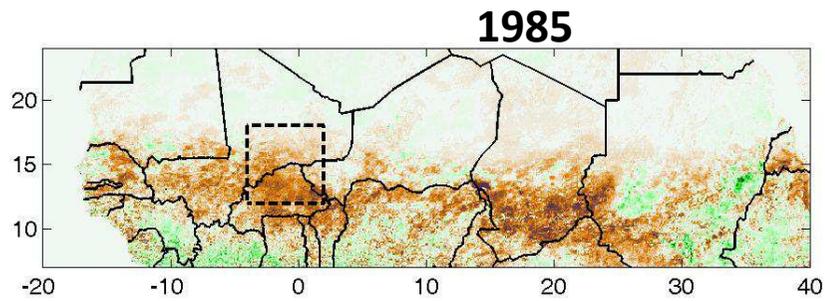
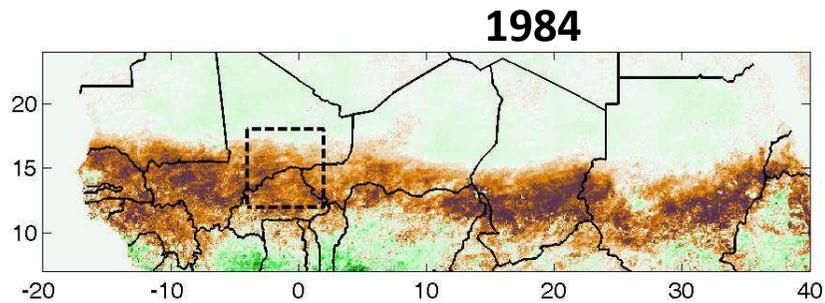
5- Au **Fakara**, la **diminution** de la production végétale depuis 1994 n'est **pas expliquée par les pluies**. Plusieurs facteurs peuvent être responsables (**changements de l'occupation des sols**, diminution de la **fertilité** des sols, augmentation de la **pression de pâture...**)

Pour résumer, des tendances au reverdissement sont observées sur la quasi-totalité du Sahel, même si localement, des tendances à la dégradation peuvent aussi être observées.

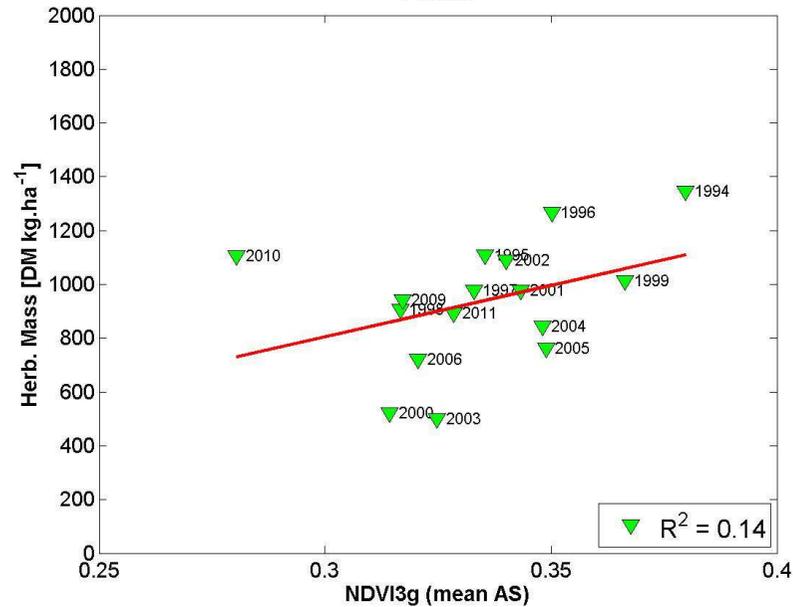
Merci !



Variabilité spatiale et temporelle – Anomalies NDVI GIMMS-3g (1981-2011)

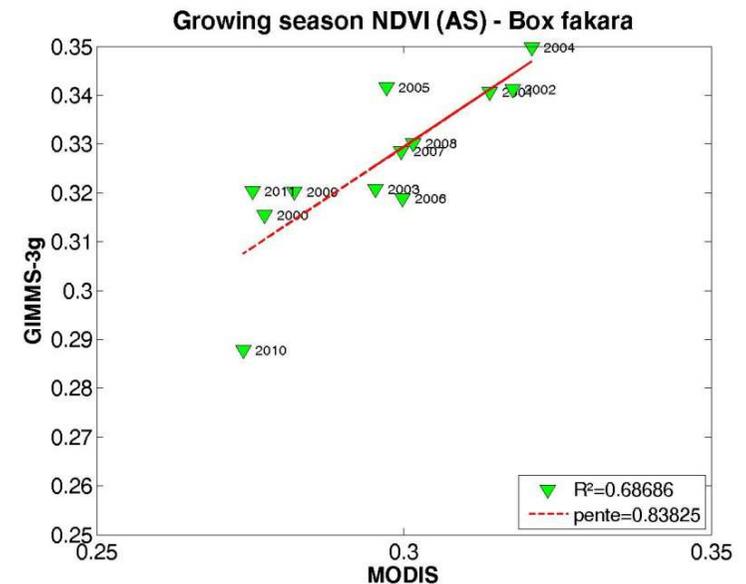
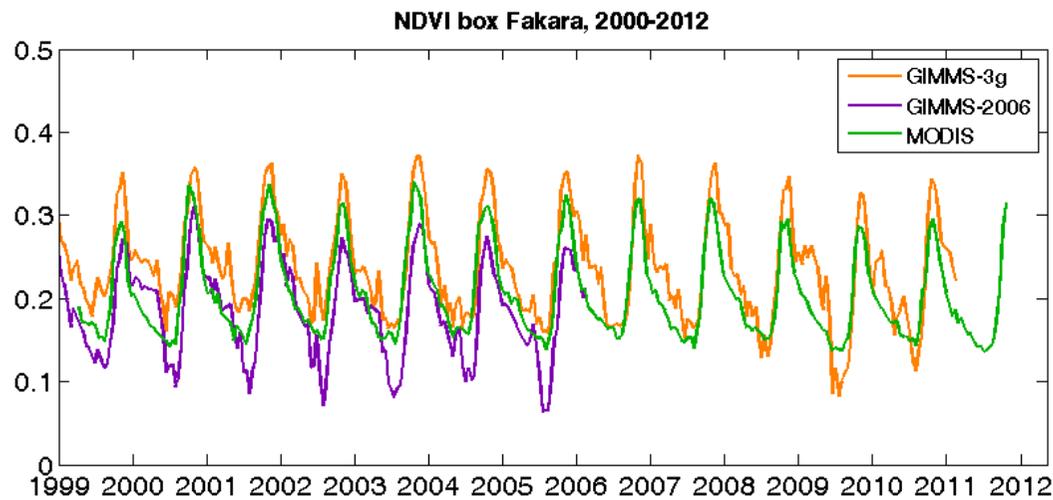


Fakara (Niger) – pourquoi on a enlevé 2010

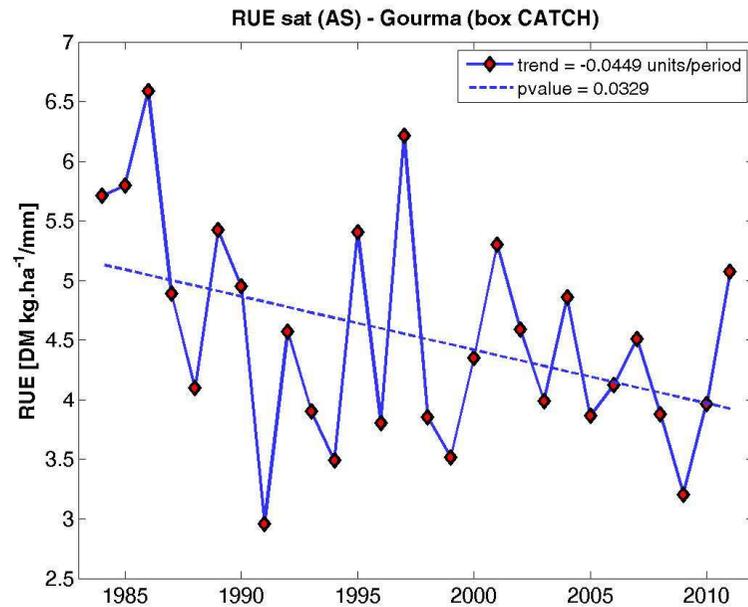


Pourquoi enlever 2010 ?

=> Valeurs anormalement basses du NDVI GIMMS-3g pendant la saison sèche



Rain Use Efficiency - Gourma



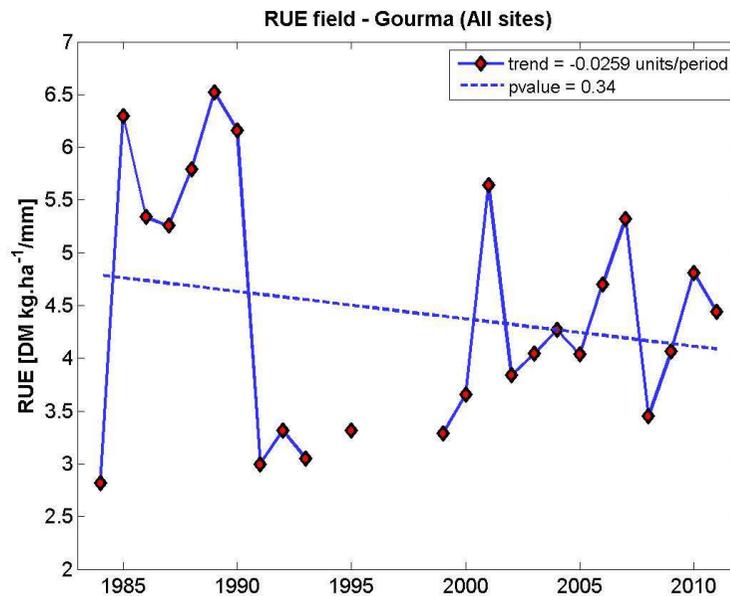
$$RUE_{NDVI} = NPP/Rainfall$$

Avec:

$$- NPP = a * NDVI_{AS} + b$$

(a et b étant déterminés par régression linéaire avec les données terrain dans le Gourma)

- Et Rainfall = moyenne des précipitations pluvios sur Hombori et Rharous

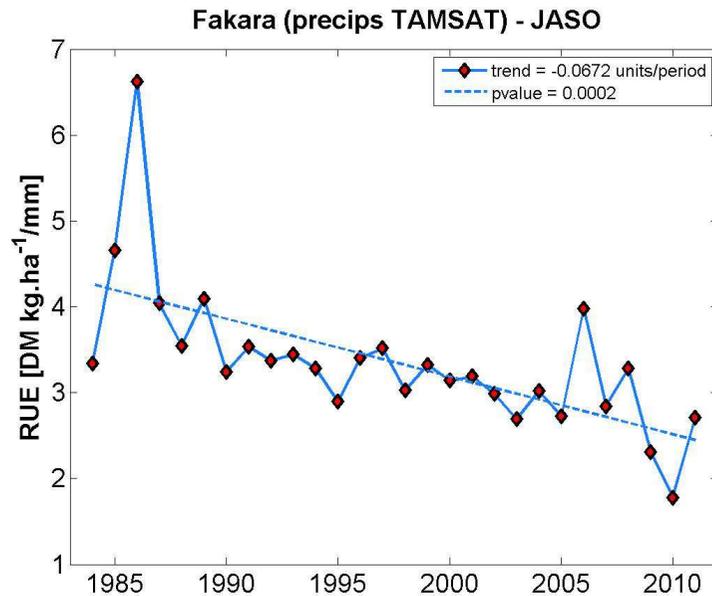


$$RUE_{field} = mbios/Rainfall$$

=> Des tendances plutôt négatives (valeurs fortes dans la période post-sécheresse; effets composition floristique ?)

Travail à approfondir

Rain Use Efficiency - Fakara



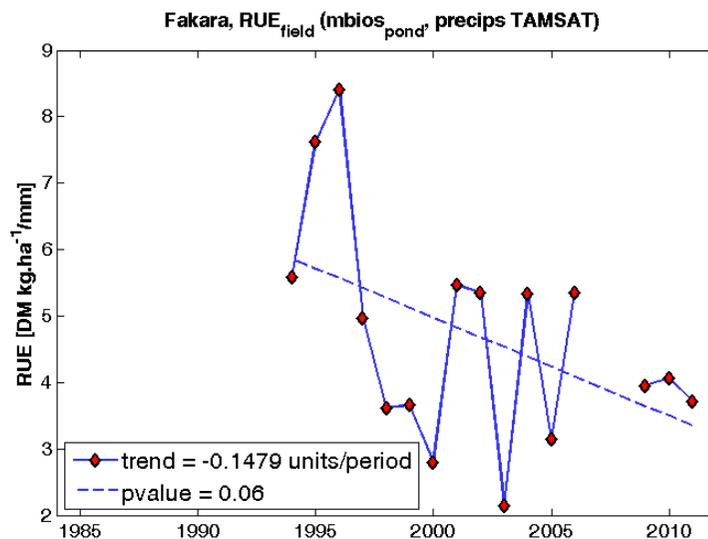
$$RUE_{NDVI} = NPP/Rainfall$$

Avec:

$$- NPP = a * NDVI_{JASO} + b$$

(a et b étant déterminés par régression linéaire avec les données terrain dans le Gourma)

- Rainfall = cumul annuel précipitations TAMSAT



$$RUE_{field} = mbios/Rainfall$$

=> Tendances négatives également, qui contredisent certains papiers (cf Fensholt 2013)

Woody plants dynamics

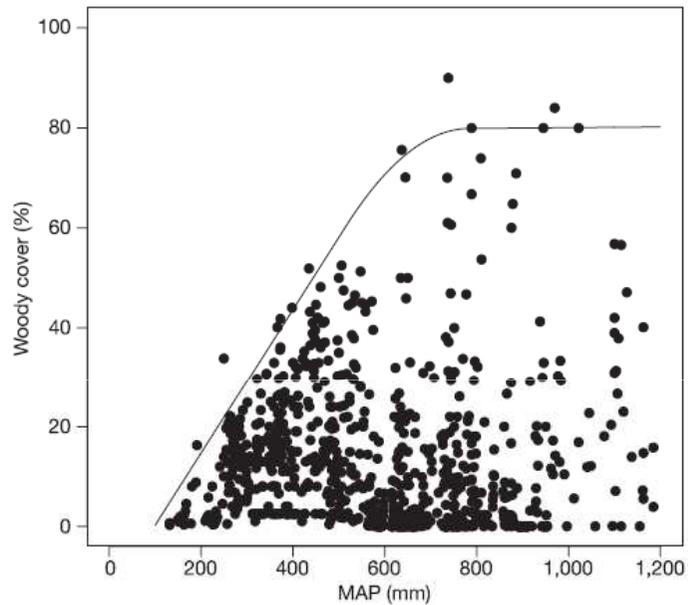
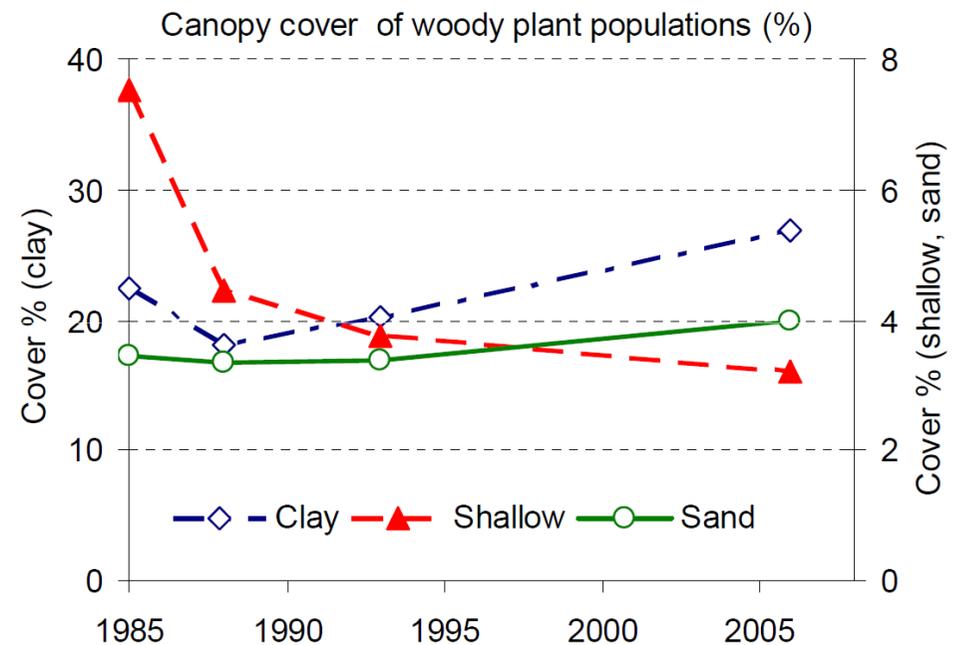


Figure 1 | Change in woody cover of African savannas as a function of MAP. Maximum tree cover is represented by using a 99th quantile piecewise linear regression. The regression analysis identifies the breakpoint (the rainfall at which maximum tree cover is attained) in the interval 650 ± 134 mm MAP (between 516 and 784 mm; see Methods). Trees are typically absent below 101 mm MAP. The equation for the line quantifying the upper bound on tree cover between 101 and 650 mm MAP is $\text{Cover}(\%) = 0.14(\text{MAP}) - 14.2$. Data are from 854 sites across Africa.



Source : Hiernaux et al 2009

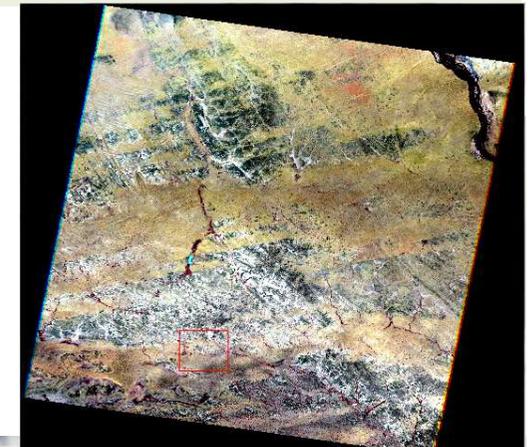
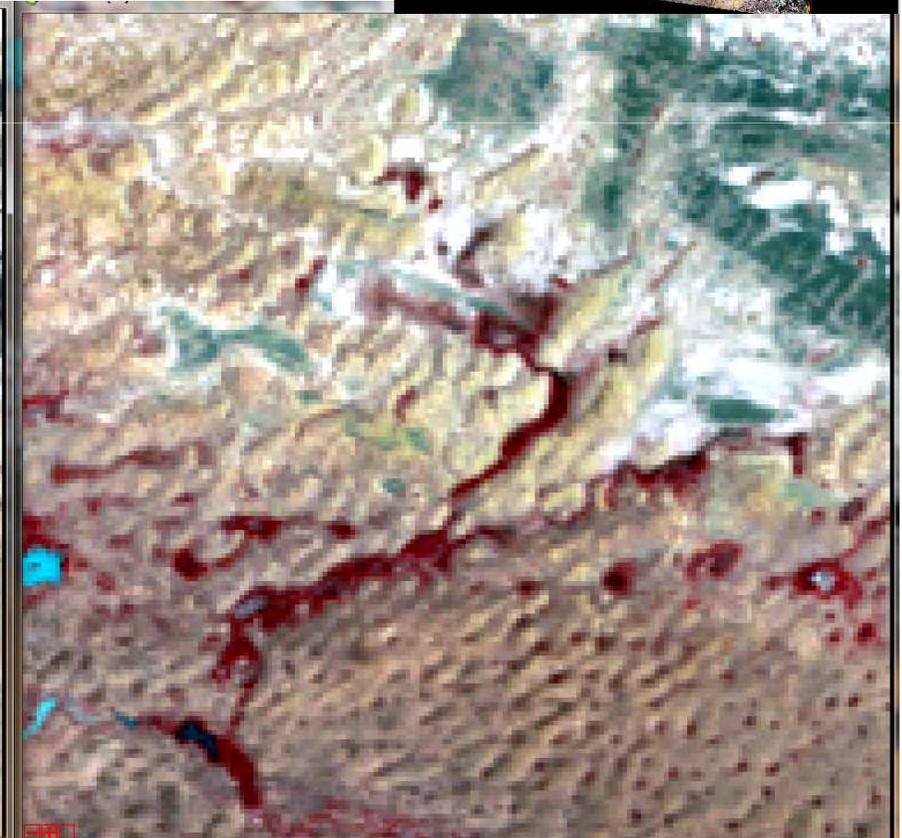
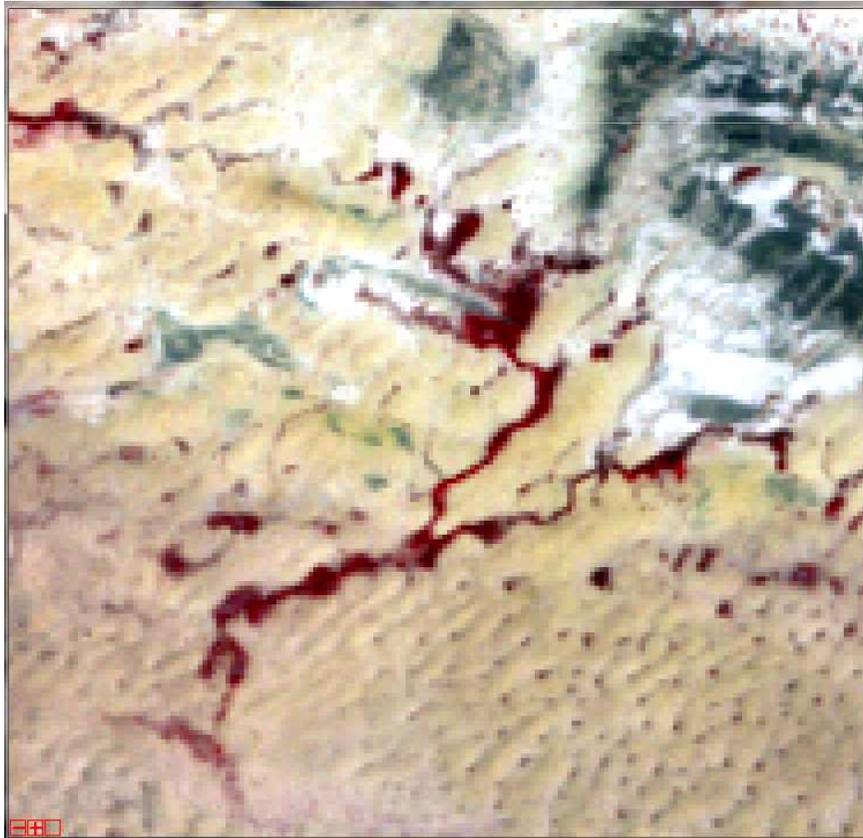
Source : Sankaran et al 2005

Landscape changes – Gourma

Illustration with LANDSAT imagery , from December 1986 to December 2010.

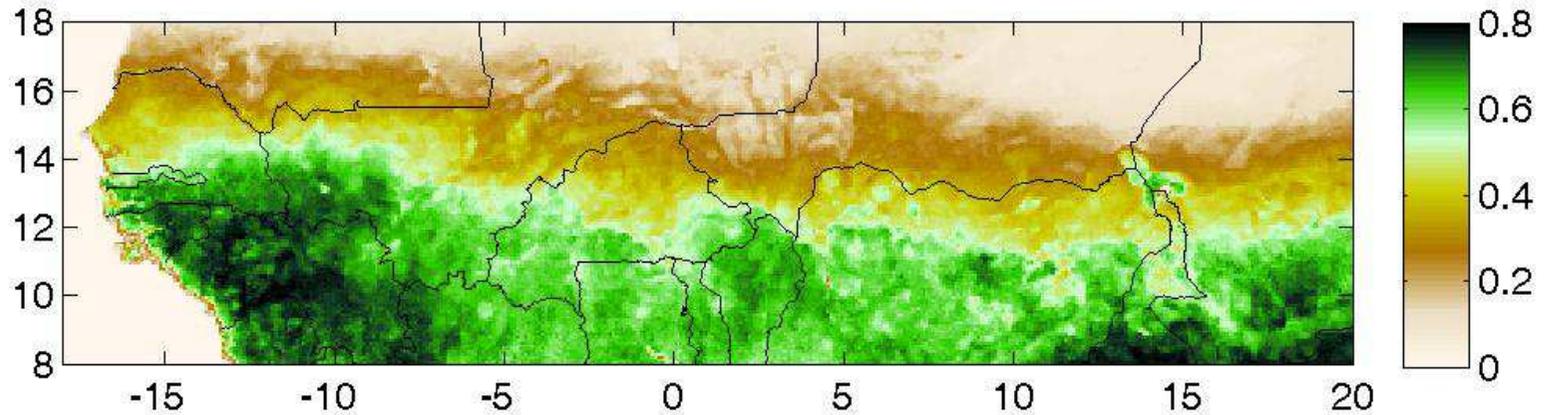
Dec. 1986

Dec. 2010



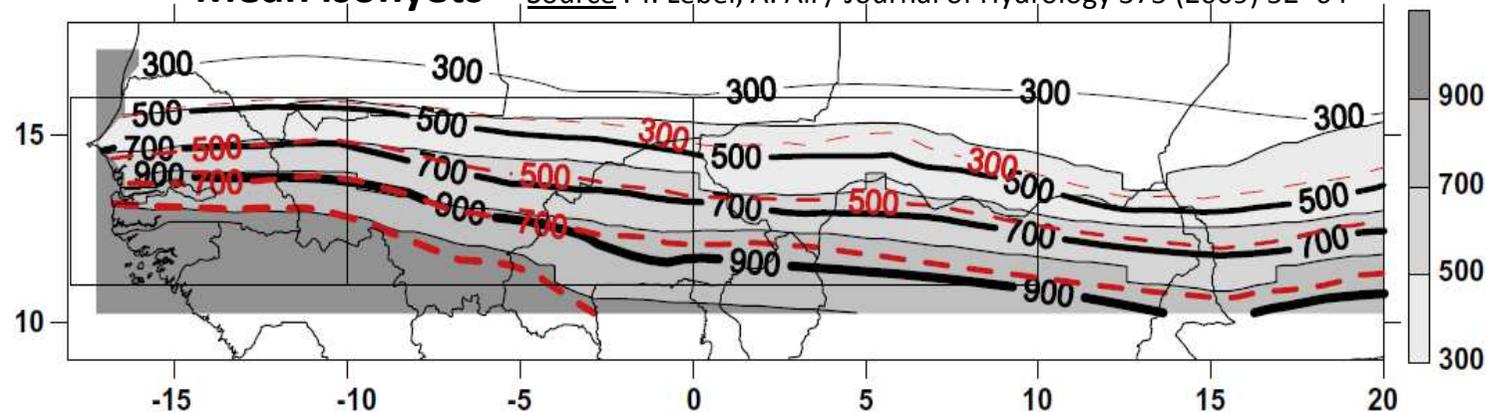
NDVI mean and rainfall isohyets

NDVI3g, Growing season mean (JASO), 1981-2011



Mean isohyets

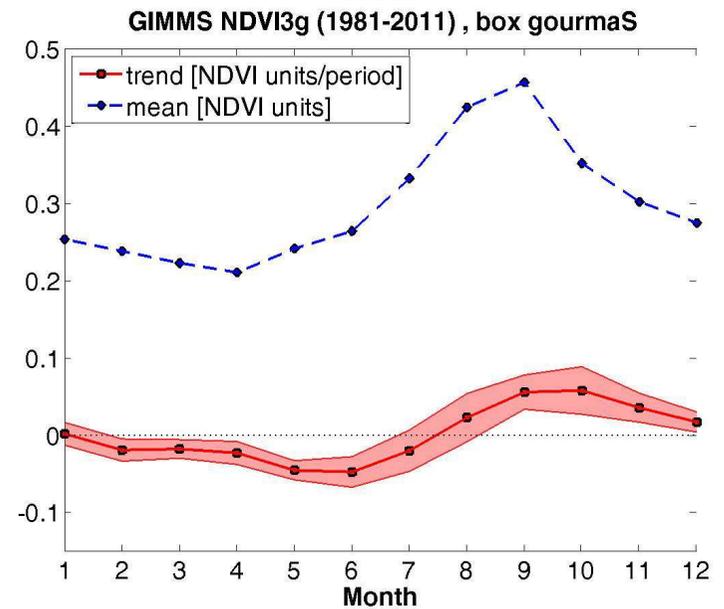
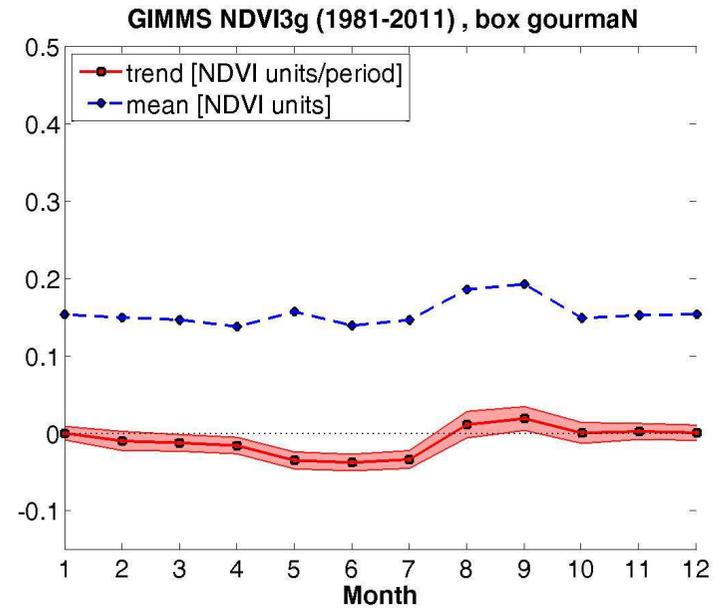
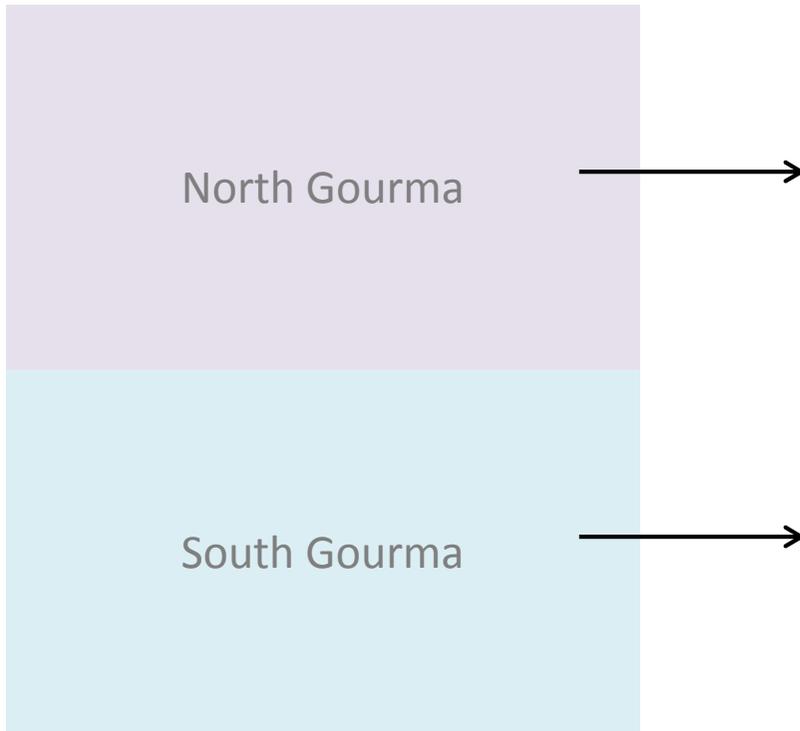
Source : T. Lebel, A. Ali / Journal of Hydrology 375 (2009) 52-64



=> Vegetation production correlated to precipitation...

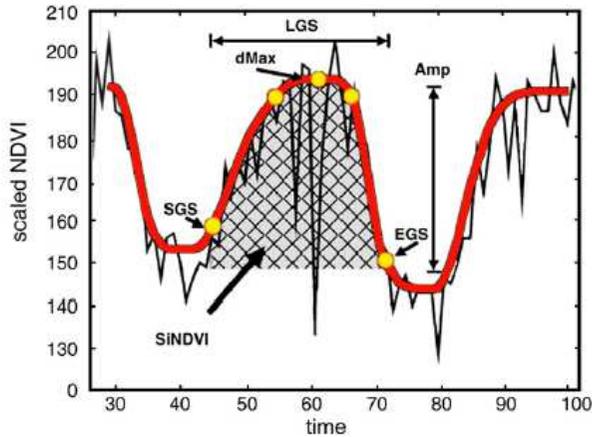
Phenology

Latitudinal differences

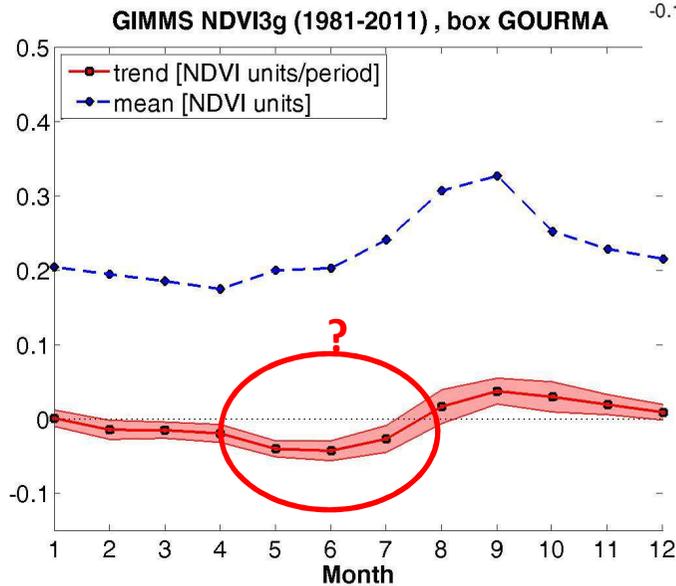
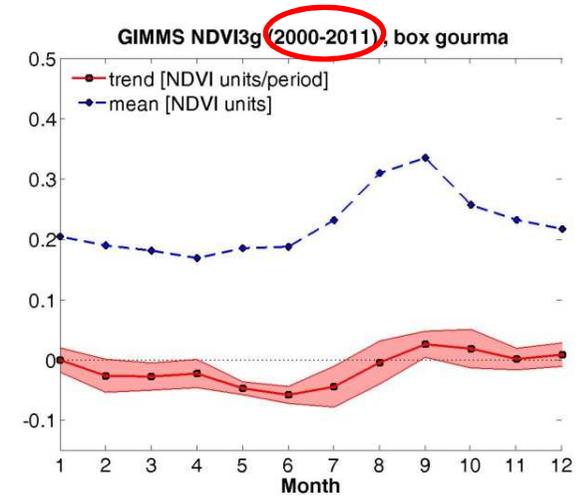
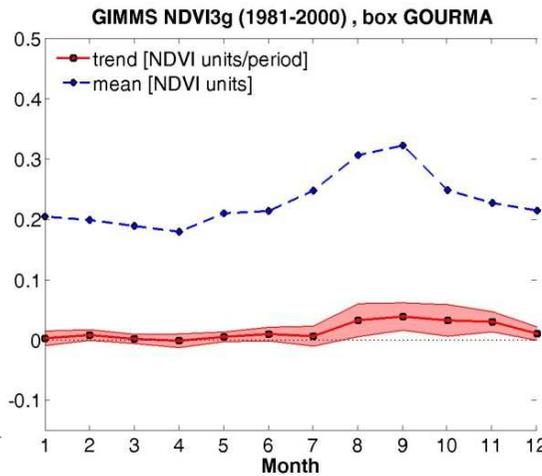


Phenology

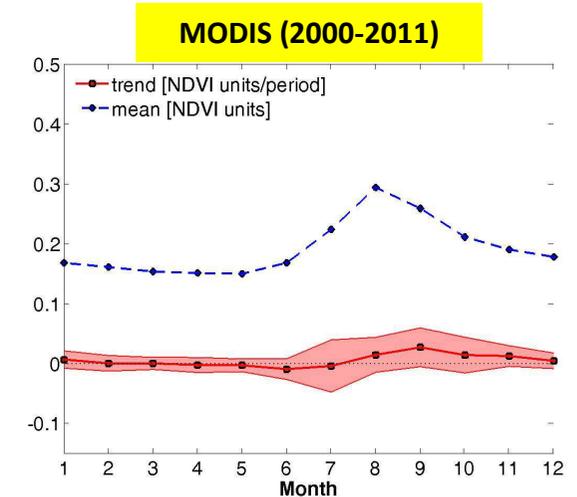
NDVI3g



Literature > 2 types of greening :
 1- increase of NDVI maximum
 2- increase of length of season (later end of season)

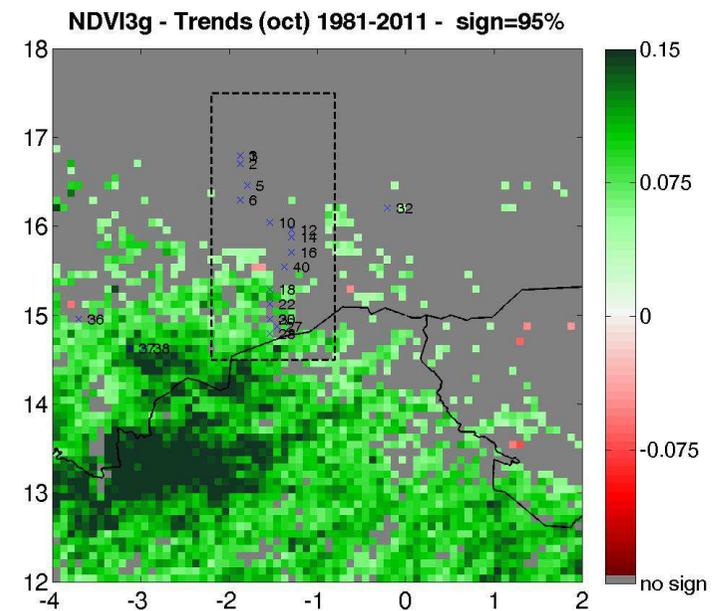
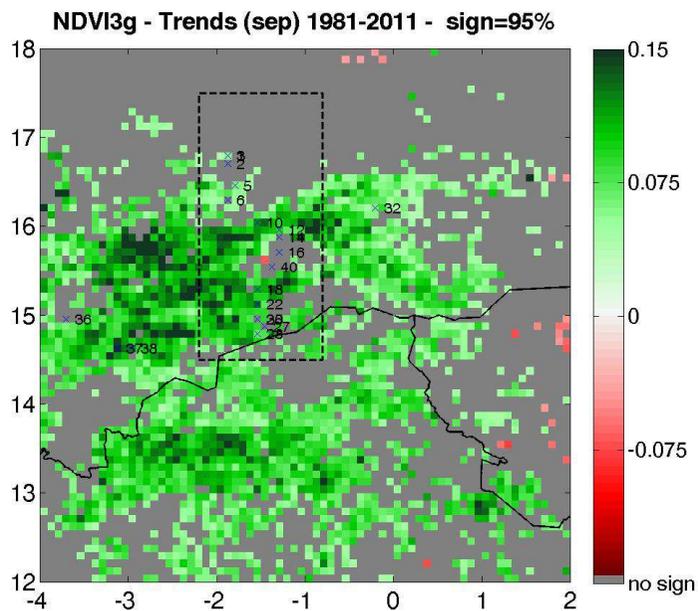
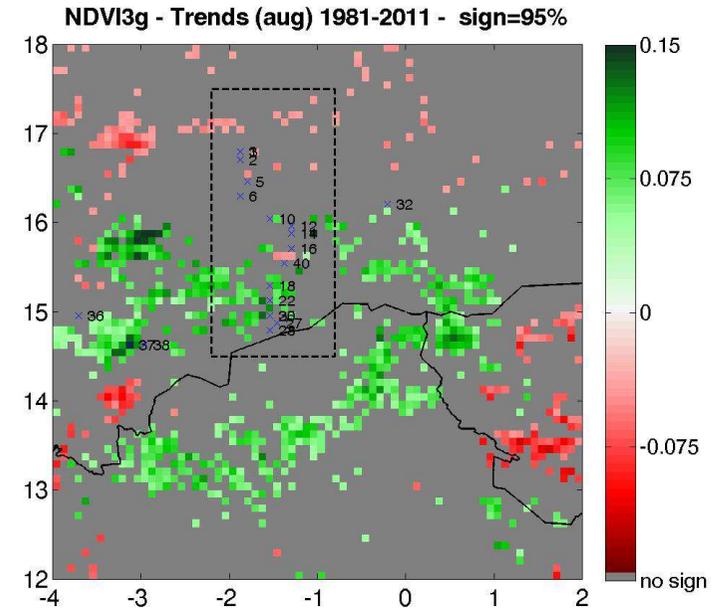
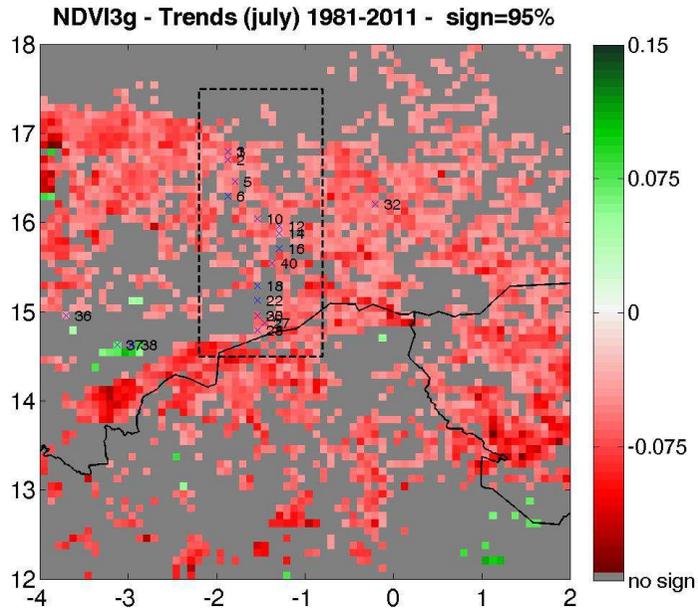


Comparison with MODIS
 on the 2000-2011
 period : no such
 negative significant
 trends.
 => Satellite artefact



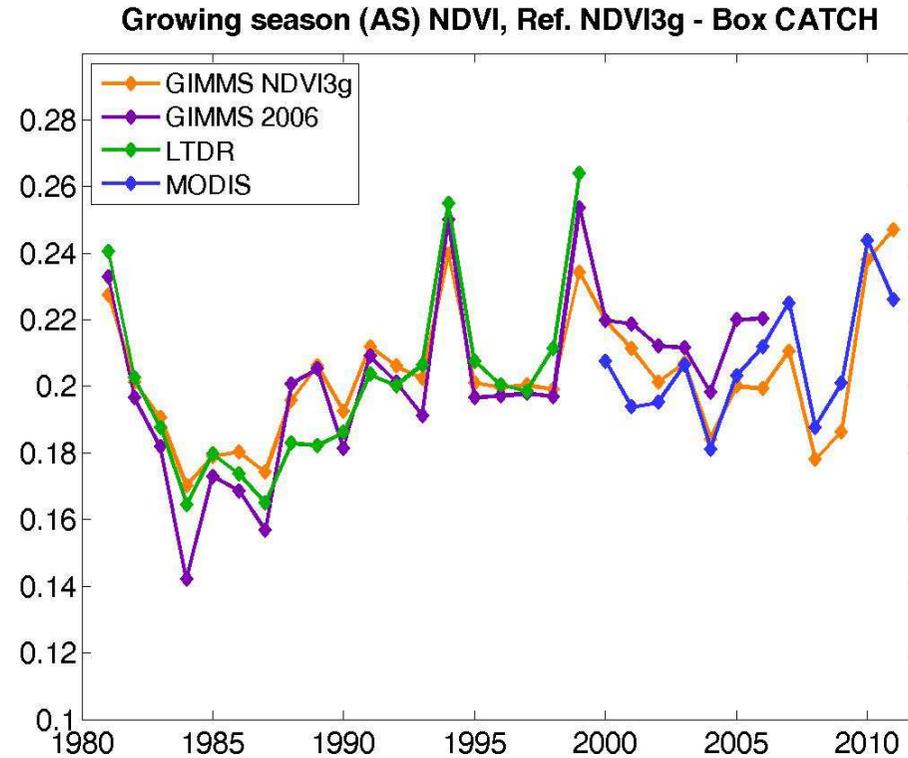
Phenology

Trends maps from July to October



NDVI products intercomparison

Comparison to the « reference » NDVI3g



Comparison to the « reference » GIMMS NDVI3g
($NDVI = NDVI - \text{mean_NDVI3g}$)
=> Very consistent datasets



Fakara

Trends by land use, 1994-2011 – Work P. Hiernaux (JoH 2009)

