

Qualification des produits phénologiques MODIS par modélisation agro-climatique et données de terrain

N° PNTS-2012-01

UMR TETIS (Irstea-CIRAD-AgroParisTech-EMBRAPA, Montpellier) :

A. Bégué, E. Vintrou, M. Simoes, C. Baron

UMR ESPACE-DEV (IRD-Un. Mpl II – UAG, Univ. Réunion, Montpellier) :

D. Arvor

UMR GET (CNRS – IRD – CNES – Université de Toulouse, Toulouse) :

P. Hiernaux, L. Kergoat, C. Dardel

1. Rappel des objectifs et des livrables :

L'objectif est d'explorer les potentialités des variables phénologiques issues des séries temporelles d'images à basse résolution spatiale (produit MODIS MCD12Q2), à des fins d'analyse des changements terrestres globaux. Pour cela, nous proposons :

1. de comparer les variables phénologiques des écosystèmes et des agrosystèmes ; d'analyser et d'interpréter ces résultats en fonction des conditions environnementales (zonage climatique, variabilité climatique inter-annuelle...) et des pratiques agricoles ;
2. de valider ces produits à l'aide d'observation de terrain ;
3. de comparer les variables phénologiques issues des produits satellitaires aux dates de transition phénologique observées au sol ou simulées par un modèle de culture ; les simulations seront faites à partir de mesures climatiques acquises sur stations synoptiques et à partir d'estimations pluviométriques satellitaires.

Cette étude est menée sur deux sites d'étude tropicaux, aux systèmes agricoles très contrastés : 1. l'ensemble de la zone agricole du Mali et 2. la région du Mato Grosso au Brésil.

Les principaux résultats, directs ou indirects, attendus dans cette étude concernent :

- la prise en main des produits MCD12Q2 et un bilan de leur qualité (nombre de données manquantes, codage des simple et double cultures...);
- l'évaluation de ces produits à l'aide de données terrain haute-fréquence ;
- une analyse des différences phénologiques entre agrosystèmes et écosystèmes au Mali et au Brésil, avec une interprétation agronomique et écologique des résultats ;
- une comparaison de la phénologie estimée par satellite et de celle simulée par modélisation agro-météorologique sur des stations synoptiques.

2. Principaux résultats :

Sont présentés ci-dessous, groupés par thème, les principaux résultats obtenus au cours de cette étude correspondant aux attendus du projet.

Lien entre le démarrage de la saison des pluies, pratiques agricoles et rendement au **Mato Grosso, Brésil** (Arvor et al., 2013 ; Maatoug et al., 2013)

Une première étude a consisté à étudier le potentiel des séries temporelles d'images MODIS pour détecter la dynamique de la végétation sur les terres agricoles du Mato Grosso (Brésil), en mettant l'accent sur l'estimation des dates de semis des cultures de soja.

Tout d'abord, le produit MODIS MCD12Q2, composée de dates de transition phénologique, a été testé, mais contrairement aux résultats obtenus en Afrique de l'Ouest (Mali), il s'est avéré inutilisable en raison d'un grand nombre de données manquantes sur la région, lié à la forte nébulosité.

Une autre méthode, basée sur le produit MOD13Q1 composé de l'indice de végétation EVI (Enhanced Vegetation Index) a été développée. Nous avons appliqué un filtre de Savitzky-Golay sur une fenêtre 3x3 aux séries temporelles d'images, et extrait la période de croissance de 2006 à 2007. Nous avons ensuite calculé les dates auxquelles différentes valeurs d'EVI ont été atteintes (seuils de 0.1 à 0.9, par pas de 0.1), et corrélé ces dates avec des dates de semis observées au sol sur la même période sur plus de 300 parcelles de soja. Les résultats montrent que l'on obtient de bonnes corrélations entre les dates de semis du soja et les dates de seuil de EVI, et que cette corrélation atteint son maximum ($R = 0.8$), pour des seuils de EVI de 0.6 (cf Figure 1). Ainsi, l'information phénologique contenue dans les séries temporelles d'images à basse résolution de type MODIS, peut être utilisée à l'échelle parcellaire pour déterminer les dates de semis du soja. Cette information « agronomique » peut être utilisée pour des prévisions de rendement, soit directement, soit indirectement par l'intermédiaire d'un modèle de culture.

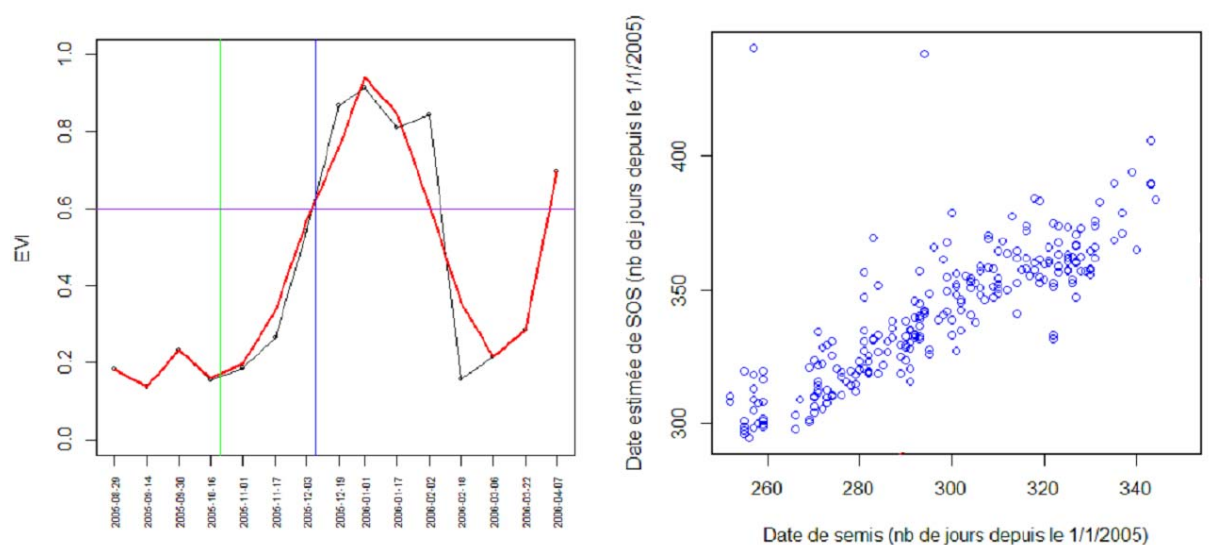


Figure 1 (Maatoug et al., 2013).

La deuxième étude repose sur le fait que l'augmentation de la résolution spatiale des estimations des précipitations par télédétection permet aujourd'hui d'évaluer la variabilité spatio-temporelle des régimes pluviométriques à des échelles régionales et locales, permettant ainsi une analyse fine des interactions avec les activités humaines. Nous avons utilisé le produit de pluviométrie journalière TRMM 3B42 (Tropical Rainfall Measuring Mission) sur l'état du Mato Grosso (sud de l'Amazonie brésilienne) pour la période 1998-2012, et calculé différents métriques, telles que la durée et la

quantité des précipitations annuelles, le début et la fin de la saison des pluies à la résolution spatiale de 0.25°.

Nous avons ensuite croisé ces métriques avec des cartes de cultures produites à une résolution spatiale de 250 m, et montré que l'adoption des pratiques agricoles intensives, telles que le système de double culture, est en partie le résultat d'une stratégie visant à adapter les pratiques aux conditions climatiques locales (Figure 2). Ces résultats soulèvent d'importantes questions quant à la durabilité du modèle de développement agricole en Amazonie du Sud.

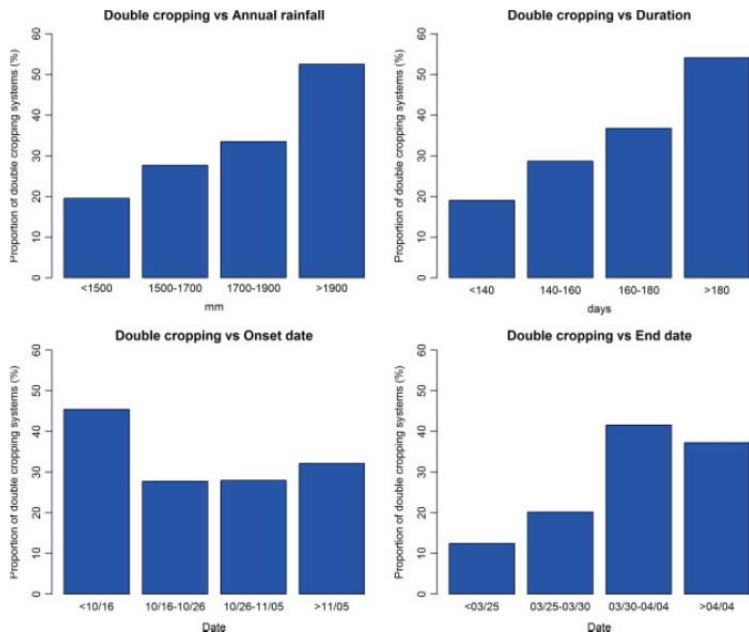


Figure 2. (Arvor et al., 2013)

Etude comparée des phénologies des cultures en **Afrique de l'Ouest** par télédétection et modélisation de croissance des plantes (Vintrou et al., 2012 ; Vintrou et al., 2013)

La phénologie des cultures est une information essentielle pour l'évaluation de la production agricole dans les régions d'insécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest. En l'absence de réseau d'observations phénologiques ou de pratiques agricoles (date de semis) de terrain à grande échelle dans cette région, la phénologie des cultures obtenue par télédétection pourrait être utilisée.

Dans un premier temps, l'analyse du produit phénologique de MODIS (MCD12Q2) sur le Mali a montré que peu de pixels présentaient des valeurs pour l'ensemble des phénométriques (SOS, SMAX, EMAX et EOS), et que le produit présentait notamment des incohérences concernant le démarrage de la végétation (SOS) en raison de la forte nébulosité pendant la saison des pluies. Nous avons proposé une méthode permettant de détecter et d'éliminer les SOS aberrants.

Dans un deuxième temps, afin d'étudier l'utilisation agronomique des variables phénologiques provenant du produit MODIS MCD12Q2, nous les avons comparées aux simulations faites par le modèle de culture SARRA-H qui est un modèle éprouvé pour les céréales dans cette région Ouest africaine. Les dates de transition phénologique (démarrage, début et fin du maximum, fin de saison) ont été extraites des images sur des zones préalablement identifiées comme des cultures, et comparées aux dates calculées à partir de profils temporels de LAI simulés par le modèle de culture SARRA-H en tenant compte des principales pratiques culturales.

La comparaison spatiale (8 sites répartis sur le sud du Mali, pour l'année 2007) et temporelle (2002-2008 ans pour deux sites) des phénométriques mesurées par satellite et simulées par le modèle

montrent que i) le démarrage de la croissance (SOS) mesuré par satellite est détecté environ 30 jours avant le SOS issu du modèle, et ii) que la fin de la saison (EOS) est détectée par télédétection généralement 40 jours après l'EOS issu du modèle (Figure 3). Les différences inter-annuelles pour deux sites pendant sept saisons successives, montrent que l'écart moyen entre phénométries reste stable dans des conditions climatiques différentes. Les comparaisons spatiales et temporelles suggèrent que la phénologie issue du produit MCD12Q2 reproduit la variabilité spatiale et temporelle du début et de la fin de la saison de différentes espèces cultivées.

Ainsi, nous concluons que la phénologie estimée par satellite pourrait être utilisée comme donnée d'entrée des modèles de prévision des rendements, en complément des données climatiques qui sont incomplètes spatialement et temporellement, de manière à fournir une proche estimation de la phénologie des surfaces qui intègre à la fois la variabilité des précipitations, la diversité des couverts végétaux et les principales pratiques des agriculteurs.

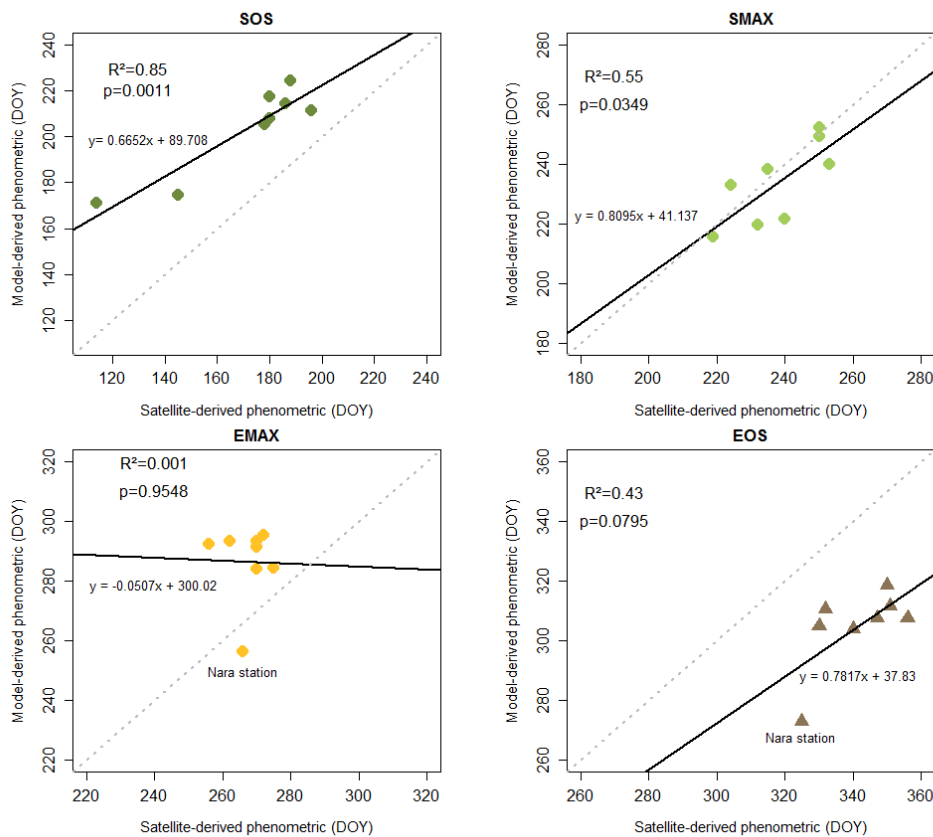


Figure 3. (Vintrou *et al.*, 2013)

Différence entre la date de démarrage des surfaces agricoles et des surfaces de végétation naturelle au **Mali** mesurées par MODIS (Bégué *et al.*, 2013).

Les dates de démarrage de la croissance végétale (SOS) sont de plus en plus utilisés pour qualifier les tendances de la phénologie de la surface de la terre par rapport à la variabilité climatique et, plus rarement, de la gestion des terres par l'homme. Nous avons comparé la phénologie des parcours vs terres cultivées au Mali issues du produit MODIS MCD12Q2, après élimination des données aberrantes, et un masque de culture. Les différences en termes de début de saison végétale sont spatialement (zones climatiques ; Figure 3), et temporellement (10 ans, de 2001 à 2009 ; Figure 4) analysées et interprétées en termes écologiques et bioclimatiques. Nos résultats montrent que, globalement, les SOS des terres cultivées et de la végétation naturelle diffèrent, et que ces différences

dépendent de la zone bioclimatique. Dans les régions sahéniennes et guinéennes, la végétation « agricole » commence à se développer plus tôt que la végétation naturelle (8 jours et l'avance de 4 jour, respectivement). Dans les régions soudaniennes et soudano-sahélienne du Mali, la végétation naturelle démarre environ une semaine plus tôt que les terres cultivées. Ces résultats pourraient aider à interpréter les tendances phénologiques dans l'analyse du changement climatique.

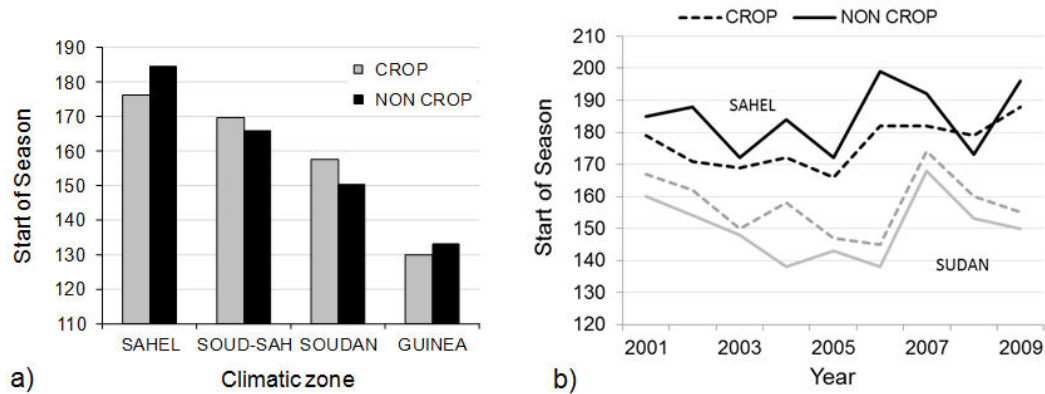


Figure 4. (Bégué et al., 2013)

En conclusion, le produit « phénologique » MODIS MCD12Q2 présente des incohérences qui rendent son utilisation difficilement opérationnelle. Ces incohérences proviennent pour l'essentiel de l'automatisation du calcul des dates de transition phénologique sur des séries temporelles d'indices de végétation incomplètes en raison de la nébulosité (notamment en Amazonie).

Cependant, des observations de terrain (Brésil) ou des simulations « expertes » (Mali) montrent que les dates de transition phénologique dérivées de séries temporelles d'images peuvent être reliées de façon claire à des pratiques agricoles (dates de semis). Cette correspondance « agronomique » permet d'envisager l'utilisation de la date de démarrage de la végétation agricole issues de données de télédétection pour des estimations de rendement de façon directe ou indirecte à travers un modèle de culture, dans des environnements où les données pluviométriques sont peu nombreuses, difficiles d'accès et trop imprécises pour être utilisées dans un modèle de croissance. De même, les différences observées entre la date de démarrage de la végétation naturelle et celle des cultures en Afrique de l'Ouest, qui varient en fonction de la zone climatique, pourraient aider à mieux interpréter les tendances d'indice de végétation à l'échelle de l'Afrique sub-saharienne, en donnant des clés sur l'impact des changements d'occupation des terres dans ces tendances.

3. Valorisation des résultats :

Publications faisant référence, dans les remerciements, du soutien du PNTS (*Programme National de Télédétection Spatiale (PNTS, <http://www.insu.cnrs.fr/actions-sur-projets/pntsprogramme-national-de-teledetection-spatiale>), grant no PNTS-2012-01*).

Dans des revues à facteur d'impact :

1. **Arvor D.**, Dubreuil V., Ronchail J., **Simoès M.**, and B.M. Funatsu, 2013. Spatial patterns of rainfall regimes related to levels of double cropping agriculture systems in Mato Grosso (Brazil). *International Journal of Climatology*, Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.3863.
2. **Vinrou E., Bégué A., Baron C., Saad A., Lo Seen D.**, Traoré S., 2013. A comparative study of satellite and model-based crop phenology in West Africa. *Remote Sensing* (en révision).
3. **Bégué A., Vinrou E., Baron C., Lo Seen D., Saad A., Hiernaux P.**, 2013. Impact of land use on land surface phenology - Analysis of MODIS data in West Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (soumis).

Dans des colloques internationaux:

1. **Vinrou E., Bégué A., Baron C. Lo Seen D., Saad A., Traoré, S.**, 2012. Analysing MODIS phenometrics quality on cropped land in West Africa. *Sentinel-2 Preparatory Symposium*, Frascati (IT), 23-27 April 2012, 7p.
2. **Maatoug L., Simoès M., Bégué A., Arvor D.**, 2013. Monitoramento da fenologia de culturas através de Sensoriamento Remoto. *XVI Brazilian Remote Sensing Symposium (SBSR)*, For do Iguaçu (Brazil), Apr 13-18, 2013, 7 p.

Rapport de stage:

1. Maatoug, Lena (2012). "Suivi par télédétection de la phénologie des surfaces agricoles au Mato Grosso (Brésil)". M2 Télédétection et Géomatique Appliquées à l'Environnement, Univ. Paris Diderot, Paris, 41 p.

4. Eléments financiers :

Le financement du PNTS (15.4 k€ pour 2012 et 2013) a été utilisé pour :

- un stage de M2 pendant 6 mois + mission à Paris pour soutenance
- la participation à deux colloques de télédétection (Italie en 2012, Brésil en 2013)
- la relecture de l'anglais des publications
- un ordinateur portable
- du fonctionnement général (participation aux frais de maintenance des logiciels, disque dur externe ...)