

DETECTION DE SITUATIONS À RISQUES POUR LA CULTURE DU SOJA A PARTIR DE DONNÉES SATELLITAIRES TRMM ET MODIS

ARVOR Damien (1), DUBREUIL Vincent (1)(2), MEIRELLES Margareth, SIMÕES Penello (3)(4)

(1) **COSTEL UMR 6554 CNRS – LETG**

Université Rennes 2

Place du Recteur H. Le Moal

35043 RENNES CEDEX, France

damien.arvor@uhb.fr, vincent.dubreuil@uhb.fr

(2) Universidade de Brasilia (Professor Visitante, bourse CAPES)

Centro de Desenvolvimento Sustentavel

SAS Quadra 05 Bloco H Edf. Superintendência do IBAMA,

Brasilia,DF, Brésil

(3) Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação – Pos Graduação em Geomatica

(4) Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024 – Rio de Janeiro, RJ

maggie.meirelles@gmail.com

Résumé : La culture du soja s'est imposée depuis dix ans comme la première activité économique dans l'Etat du Mato Grosso, en Amazonie brésilienne. Cependant, la forte variabilité spatio-temporelle des précipitations influe directement sur le calendrier agricole et peut engendrer de fortes chutes de rendement. Par exemple, une anticipation des semis par rapport aux dates de début des pluies peut affecter les rendements finaux. L'objectif de cette étude est de détecter ces situations de vulnérabilité à partir de données satellitaires adéquates. D'une part, les données multi-temporelles d'indices de végétation fournies par le satellite MODIS-TERRA (avec une résolution temporelle de 16 jours et une résolution spatiale de 250 m) permettent de réaliser un suivi des cycles phénologiques. Il est alors possible d'estimer les dates de semis à partir d'une méthode par seuil. D'autre part, les estimations de précipitations TRMM (produit 3B42) à une résolution spatiale de 0,25° fournissent des estimations de la date de début des pluies.

Les données TRMM et MODIS sont croisées afin de détecter des situations où le semis a été anticipé par rapport au début de la saison des pluies. Il apparaît que 20% du semis de soja de l'année 2005-2006 a été anticipé par rapport au début de la saison des pluies. Cela représente 1 400 000 ha de soja bien répartis sur le territoire du Mato Grosso.

Mots-clés : TRMM, MODIS, soja, Mato Grosso

Astract: The soybean cultivation has proven for 10 years to be the first economical activity in the Brazilian state of Mato Grosso. The strong spatio-temporal variability of rainfalls acts upon the agricultural calendar and then can cause important yield losses. For instance, the planting dates that occur before the wet season onset can be linked to potential yield losses. The aim of this study is to detect those situations using satellite data. On one hand, multi-temporal data of vegetation index proposed by the MODIS-TERRA satellite (16-days of temporal resolution and 250 metres of spatial resolution) allow analysing phenological cycles. Then, planting dates are estimated through a threshold-based method. On the other hand, rainfall estimates from TRMM at a 0, 25° spatial resolution allow detecting the wet season onset.

The TRMM and MODIS data are then crossed in order to detect situations where the planting dates were anticipated as compared to the wet season onset. It appears than 20% of the soybean planted during the year 2005-2006 corresponded to such a situation. It represented 1 400 000 ha over the entire state of Mato Grosso

Key words: TRMM, MODIS, soybean, Mato Grosso

Introduction

L'Etat du Mato Grosso, au sud de l'Amazonie brésilienne, connaît une forte croissance économique depuis plus de 30 ans. Cet essor est en partie lié au fort développement de l'agriculture mécanisée et notamment de la culture du soja. Les superficies cultivées sont passées de 1,5 million d'hectares en 1990 à plus de 6 millions d'hectares en 2005 (IBGE, 2007). Cette forte expansion a été favorisée par le haut niveau des cours internationaux du soja et les efforts de la recherche brésilienne qui ont amélioré le potentiel des variétés de soja semées dans la région (Bertrand, 2004). Les rendements ont ainsi connu une amélioration constante depuis 16 ans à l'échelle du Mato Grosso (passant de 38 sacs à 51 sacs par hectare pour 1 sac = 60 kg) (IBGE, 2007). Cependant, à une échelle plus fine (commune, exploitation agricole ou parcelle), il existe une forte variabilité spatio-temporelle des rendements. Par exemple, les rendements enregistrés dans la commune de Lucas do Rio Verde (fig. 1) laissent entrevoir une forte variabilité interannuelle : 40 sacs/ha à Lucas do Rio Verde en 2004 contre 58 et 56 sacs/ha en 2003 et 2005 (IBGE, 2007).

Pour expliquer cette variabilité, de nombreux facteurs peuvent être mis en avant (sols, variétés semées, maladies...). Cependant, la pluviométrie est considérée comme étant le facteur prépondérant. En effet, dans cette région au climat tropical continental marqué par une saison humide s'étendant en moyenne du mois d'octobre au mois d'avril, il existe une forte variabilité spatio-temporelle des précipitations liée à la dynamique des cellules convectives pluvieuses. Ainsi, le début de la saison des pluies peut intervenir à des dates très différentes selon les années et les régions, entre mi-septembre et mi-novembre à Sorriso par exemple (Arvor *et al.*, 2007b). De même, les précipitations annuelles qui sont en moyenne de 1900 mm dans cette même commune peuvent en fait osciller entre 1600 et 2200 mm.

Le calendrier agricole suivi par les producteurs de soja est largement basé sur le régime pluviométrique. Par exemple, les dates de semis conseillées par la Fundação-MT (organisme de recherche en agronomie au Mato Grosso) sont déterminées à partir des besoins en eau de la plante : 2,1 mm/jour en phase d'émergence et 5,1 mm/jour au premier stade de la phase végétative (Rosolem, 2006). Les dates optimales préconisées sont comprises entre le 8 octobre et le 15 novembre (Rosolem, 2006). Cependant, les producteurs commencent régulièrement à semer plus tôt que les dates recommandées. Ce semis anticipé leur permet ainsi de réaliser une deuxième culture (maïs ou coton) à partir de février ; mais il peut également affecter négativement la croissance du soja et ainsi entraîner des pertes de rendements.

L'objectif de cette étude est de déterminer s'il est possible de détecter ces situations de risque liées à un semis anticipé par rapport au début des pluies à partir de données de télédétection. Pour cela, il s'agit d'utiliser conjointement les données MODIS (MOD13) pour le suivi de la végétation et les données TRMM (3B42) pour le suivi des précipitations.

1. Présentation des données utilisées

1.1. Les données de terrain

	2005-2006	2006-2007
Une information	327	318
Deux informations	291	260
Trois informations	329	242

Tableau 1. Nombre de parcelles renseignées pour au moins une information (rendement, date de semis ou date de récolte) entre 2005 et 2007.

La validation de ce travail nécessite la collecte de données de terrain. De nombreux entretiens ont été réalisés avec des producteurs dans les deux principales régions de production de soja au Mato Grosso : au centre (région de Sorriso) et à l'ouest (région de Sapezal) (fig. 1). 75 fazendas ont été visitées et trois types d'informations ont été récoltés à l'échelle parcellaire : le rendement en sacs/ha, la date de semis et la date de récolte. Les données ont été recueillies pour 2 récoltes (2005-2006 et 2006-2007). Au total, 1767 parcelles d'une superficie moyenne de 177 ha ont été renseignées au moins une fois (tab. 1).

1.2. Les données MODIS

Le produit MOD13 issu du capteur américain MODIS-TERRA (MODIS : MODERate Resolution Imaging Spectroradiometer) a été conçu pour l'étude de la végétation à une résolution spatiale de 250 m et une résolution temporelle de 16 jours. Le suivi des cycles phénologiques est établi à travers le calcul de l'indice de végétation EVI (Enhanced Vegetation Index). Cet indice est défini par la formule suivante :

$$EVI = \frac{2(NIR - R)}{(L + NIR + C1.R + C2.B)} \quad (\text{éq. 1})$$

où R , NIR et B correspondent respectivement aux bandes Rouge, Proche Infra-Rouge et Bleu. L , $C1$ et $C2$ sont des termes d'ajustement pour minimiser l'effet des aérosols (Huete *et al.*, 1999). Le EVI a été choisi car il dispose d'une meilleure sensibilité dans les régions à forte activité végétative et sature donc plus tardivement que le NDVI (Huete *et al.*, 1999). Par ailleurs, les données de EVI fournies tous les 16 jours ont été retraitées. Un algorithme de lissage basé sur le filtre de Savitzky-Golay a été appliqué pour éliminer les bruits liés à la forte nébulosité présente au Mato Grosso (Chen *et al.*, 2004).

Les dates de semis ont été estimées à partir de ces profils temporels de EVI en appliquant une méthode par seuil (Fischer, 1994). Cette technique consiste à déterminer les dates de semis lorsque le profil temporel de EVI devient supérieur à un niveau donné. Le seuil ici déterminé comme étant optimal est $EVI = 0,4$ ($R = 0,72$; biais = 24 jours et RMSE sans biais = 15,72 jours). Ce seuil a été calculé à partir des données de terrain de l'année 2005-2006 et validé à partir des données de 2006-2007.

1.3. Les données TRMM

Les données du satellite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) fournissent des estimations de précipitations aux latitudes tropicales à une résolution spatiale de $0,25^\circ$. Un des avantages de ces données réside dans le fait qu'elles combinent différentes sources d'information. En effet, la plateforme dispose d'un capteur micro-ondes (TMI), d'un radar (PR) et d'un capteur visible/infrarouge (Simpson *et al.*, 1996 ; Jobard, 2001). Le produit 3B42 utilisé ici fournit des estimations de précipitations tri-horaires. Celles-ci sont recomposées en données pentadaires dont la qualité a été validée lors de travaux antérieurs (Arvor *et al.*, 2007b). Ces données sont par la suite retraitées pour déterminer 4 paramètres caractérisant la saison des pluies au Mato Grosso : début, fin et durée de la saison des pluies et total de précipitations annuelles. Ces paramètres ont été calculés à partir de la méthode de « Anomalous Accumulation » proposée par Liebmann (2006).

2. Méthodologie

Les dates de semis estimées par MODIS sont au pas de temps journalier. Pour s'affranchir des incertitudes liées à cette échelle, les données sont reclassées en 6 classes de 15 jours à 3 semaines basées sur les dates optimales de semis proposées par la Fundação MT (8 octobre-15 novembre) (Rosolem, 2006). Ainsi, deux classes (semis < 15/09 et 15/09 < semis < 7/10)

représentent un semis anticipé par rapport aux dates recommandées. Deux classes ($8/10 < \text{semis} < 31/10$ et $01/11 < \text{semis} < 15/11$) correspondent aux dates de semis optimales. Enfin, deux classes ($16/11 < \text{semis} < 30/11$ et $\text{semis} > 1/12$) indiquent un semis tardif.

Les dates de début des pluies déterminées à partir des données TRMM-3B42 sont calculées au pas de temps pentadaire. Ces données sont reclassées selon les 6 mêmes classes déjà utilisées pour représenter les dates de semis. Par ailleurs, les données TRMM ont une résolution spatiale originale de $0,25^\circ$. Elles ont donc été ré-échantillonnées pour être comparables avec les données MODIS. Cette opération a été effectuée par un traitement bilinéaire afin de s'affranchir de l'aspect « damier » lié à la grande résolution spatiale des données TRMM.

Les données MODIS et TRMM ont ensuite été croisées pour repérer les régions où le semis est intervenu trop tôt par rapport à la date de début des pluies. Une carte réalisée lors de travaux antérieurs (Arvor *et al.*, 2007a) représentant les terres cultivées au Mato Grosso en 2005-2006 est reprise pour concentrer l'étude uniquement sur ces espaces agricoles.

3. Résultats

Le croisement des dates de semis issues du produit MOD13 avec les dates de début des pluies fournies par TRMM-3B42 permet de détecter des situations dans lesquelles la date de semis précède la date de début des pluies (fig. 1). Ces situations peuvent être considérées comme des situations à risque dans la mesure où cela signifie que ces parcelles ont pu subir un épisode sec après le semis.

Cette situation représente 20% des semis (soit 1 400 000 ha) au Mato Grosso pour l'année 2005-2006. Elle touche aussi bien la région de production de la Chapada dos Parecis (par exemple Sapezal) que celle de la BR163, et ce malgré le fait que les pluies débutent environ 15 jours plus tard sur la Chapada dos Parecis (Arvor *et al.*, 2007b). Ceci s'explique par le fait que les producteurs se sont adaptés au régime pluviométrique de leur région en semant plus ou moins tôt. Ainsi, à Lucas do Rio Verde et Sorriso (figure 1), 34 % du soja est semé avant le 8 octobre, 97 % avant le 15 novembre et seulement 3% après cette date. Par contre, dans les communes de Campo Novo do Parecis et Sapezal (fig. 1), il n'y a que 9% du soja qui est semé avant le 8 octobre et 21% est semé après le 15 novembre.

D'après les données récoltées sur le terrain, seules 20% des parcelles ayant des rendements inférieurs à la moyenne de l'année 2005-2006 (51 sacs/ha) se trouvent dans ces zones repérées comme étant « à risque ». Ceci indique donc qu'un semis anticipé n'est pas forcément synonyme de faible rendement. Les rendements les plus faibles peuvent également être liés à des maladies, à des semis tardifs ou à des conditions climatiques inadéquates durant la croissance du soja. Ceci rejoint en partie les conclusions de Ortiz-Monasteiro et Lobell (2007) tirées à partir d'une étude sur la culture du blé au Mexique. Selon ces auteurs, il existe effectivement un lien entre les rendements et les dates de semis à une échelle pluriannuelle. Mais, sur certaines années, il se peut que ce lien ne se vérifie pas. L'application de la méthode à d'autres années s'avère donc nécessaire pour tirer des conclusions plus robustes.

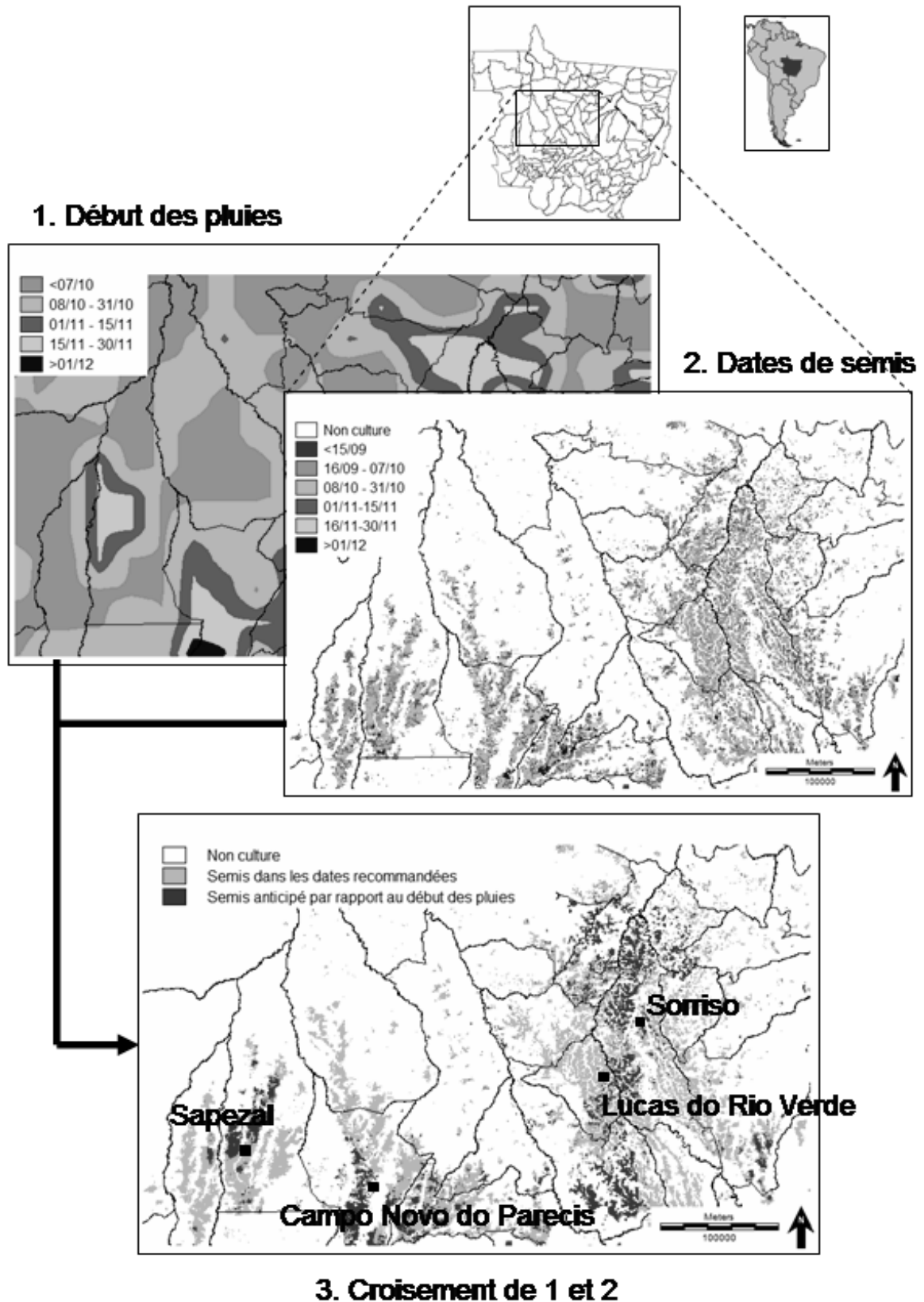


Figure 1. Méthodologie appliquée pour déterminer les situations de semis anticipé par rapport au début des pluies (3) à partir des dates de semis estimées par MODIS (2) et des dates de début des pluies estimées par TRMM (1) pour l'année 2005-2006.

Conclusion

Les données satellitaires fournies par les capteurs MODIS et TRMM permettent le suivi de la végétation et des précipitations respectivement. Ces données sont utilisées pour estimer les dates de semis du soja et les dates de début des précipitations au Mato Grosso, en Amazonie brésilienne. Le croisement de ces deux types de données permet de détecter les situations dans lesquelles le semis a été anticipé par rapport au début des précipitations. Ces situations sont importantes à détecter car elles correspondent à des situations à risque pouvant affecter les rendements finaux et même forcer les producteurs à re-semer le soja.

Les résultats montrent que 20% (soit 1 400 000 ha) du soja semé au Mato Grosso en 2005-2006 a été anticipé sur le début de la saison pluvieuse. Cependant, cela ne se traduit pas forcément par des faibles rendements et il convient d'analyser d'autres années pour tirer des conclusions plus robustes sur le lien entre rendements et dates de semis.

Références bibliographiques

- Arvor D., Neto J. L. S., Dubreuil V., Almeida, I. V., Meirelles, M. S. P., 2007. Análise dos perfis temporais de EVI/MODIS para o monitoramento da cultura da soja no Estado de Mato Grosso, Brasil, *Anais do XIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Florianópolis*, 51-58.
- Arvor D., Dubreuil V., Meirelles M. S. P., 2007. Variabilité spatio-temporelle du début de la saison des pluies au Mato Grosso (Brésil), *Actes du XX^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Tunis, Septembre 2007, 87-92.
- Bertrand J.P., 2004. L'avancée fulgurante du complexe soja dans le Mato Grosso : facteurs clés et limites prévisibles, *Revue Tiers Monde*, 567-594.
- Chen J., Jönsson P., Tamura M., Gu Z., Matsushita B., Eklundh L., 2004. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series based on the Savitzky-Golay filter, *Remote Sensing of Environment*, **91**, 332-344.
- Fischer A., 1994. A model for the Seasonal Variations of vegetation indices in Coarse Resolution Data and Its Inversion to Extract Crop parameters, *Remote Sensing of Environment*, **48**, 220-230.
- Huete A., Justice C., Van Leeuwen W., 1999, *Modis vegetation index (MOD13) Algorithm theoretical basis document, version 3*, University of Arizona, 129 p.
- IBGE. 2007. Produção agrícola municipal. Culturas temporárias e permanentes. 1990-2006. <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Accès le 10/10/2007.
- Jobard I., 2001, Status of satellite retrieval of rainfall at different scales using multi-source data, *MEGHA-TROPiques 2nd Scientific Workshop*, 10 p.
- Liebmann B., 2006. A definition for onset and end of the rainy season. Site internet: www.eol.ucar.edu/projects/cppa/meetings/200608/posters/brant.pdf. Accédé le 12/02/2007.
- Ortiz-Monasterio J. I., Lobell D. B., 2007. Remote sensing assessment of regional yield losses due to sub-optimal planting dates and fallow period weed management, *Field Crops Research*, **101**, 80-87.
- Rosolem C. A., 2006. Ecofisiologia da soja, *Boletim de pesquisa de soja 2006*, Fundação MT, 41-51.
- Simpson J., Kummerow C., Tao W., Adler R., 1996. On the tropical rainfall measuring mission (TRMM), *Meteorology and Atmospheric Physics*, **60**, 19-36.