

## ZONAGE DU BRÉSIL A PARTIR D'UNE SÉRIE TEMPORELLE D'IMAGES MODIS

JOLIVOT A. <sup>(1)</sup>, BEGUE A. <sup>(1)</sup>, BISQUERT M. <sup>(2)</sup>, TONNEAU JP. <sup>(1)</sup>, SIMOES M. <sup>(3)</sup>

(1) CIRAD, UMR TETIS, Maison de la Télédétection, 500 Rue Jean François Breton, F- 34093 Montpellier, France

(2) IRSTEA, UMR TETIS, Maison de la Télédétection, 500 Rue Jean François Breton, F- 34093 Montpellier, France

(3) EMBRAPA Solos, Rua Jardim Botânico, #1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, Brésil

**Résumé** – La cartographie des paysages passe généralement par la combinaison d'informations environnementales et d'informations sur les activités humaines. La qualité de la carte paysagère résultante dépend fortement de l'expertise et de la méthode utilisée, ainsi que de la qualité des données qui ont servi à son élaboration. Les séries temporelles d'images satellites apportent quant à elles une vision objective des territoires dans leur ensemble, à différentes dates. Ces images peuvent être segmentées pour stratifier l'espace en zones radiométriquement homogènes. L'objectif est ici de tester cette méthode de stratification à différentes échelles spatiales, au Brésil et dans la région du Maranhão, et d'évaluer les stratifications de façon non supervisée. Pour cela, une segmentation orientée objet est réalisée avec le logiciel eCognition à partir des valeurs de EVI (Enhanced Vegetation Index) et des indices de texture issus d'une série temporelle d'images MODIS à 250m de résolution. Différentes variables radiométriques et différentes échelles de segmentation sont testées et évaluées avec deux indicateurs statistiques. La segmentation obtenue est ainsi comparée visuellement à des zonages existants (GAEZ de la FAO ; zonage agro-écologique de l'EMBRAPA).

**Mots clés** : Segmentation d'images, paysage, MODIS, EVI

**Resumo** – *Zoneamento do Brasil a partir de uma série temporal de imagens MODIS*. A cartografia das paisagens envolvem geralmente a combinação de informações ambientais e informações sobre as atividades humanas. A qualidade da carta de paisagem resultante depende fortemente da expertise e do método utilizado, assim como da qualidade dos dados que foram usados na sua elaboração. As séries temporais das imagens de satélite aportam uma visão objetiva do território a diferentes datas. Estas imagens podem ser segmentadas para estratificar o espaço em zonas radiometricamente homogêneas. O objetivo deste trabalho é testar este método de estratificação a diferentes escalas espaciais, no Brasil e na região do estado do Maranhão e avaliar as estratificações de forma não supervisionada. Para tanto, uma segmentação orientada à objeto foi realizada utilizando-se o software eCognition a partir de valores dos índices de vegetação EVI (Enhanced Vegetation Index) e de índices de textura advindos de uma série temporal de imagens MODIS com resolução espacial de 250m. Diferentes variáveis radiométricas e diferentes escalas de segmentação foram testadas e avaliadas através de dois indicadores estatísticos. A segmentação obtida foi, então, comparada visualmente aos zoneamentos existentes (GAEZ da FAO e zoneamento agroecológico da Embrapa).

**Palavras-chave** : Segmentação de imagens, paisagem, MODIS, EVI

**Abstract** – *Zoning of Brazil from a time series of MODIS images*. Mapping landscapes use generally the combination of environmental informations and information about human activities. The quality of resulting landscape map depends strongly of the expertise and of the method used, but also of the quality of data used for its preparation. Time series of satellite images provide an objective view of the territories as a whole, on different dates. These images can be segmented to stratify the space in radiometrically homogeneous areas. The aim is to test this method of stratification at different scales, in Brazil and in the region of Maranhão, and evaluate this stratification by unsupervised ways. An object-oriented segmentation is performed with eCognition software with the values of EVI (Enhanced Vegetation Index) and texture index from MODIS slabs at 250m of resolution. Different variables radiometric and different scales of segmentation are tested and evaluated with two statistical indicators. The segmentation is compared visually with existing zoning (GAEZ from FAO ; agro-ecological zoning from EMBRAPA).

**Key words** : Image segmentation, landscape, MODIS, EVI

### Introduction

Les paysages sont le résultat d'interactions entre le milieu abiotique, le monde vivant et les activités humaines. Ils constituent des formes reconnaissables de la surface terrestre, souvent hétérogènes, montrant un arrangement caractéristique des éléments (Mücher et al., 2010). Pour les cartographier, des informations environnementales, telles que l'occupation du sol, le climat, la topographie et des informations sur les activités humaines (utilisation des sols) sont combinées à l'aide d'outils d'analyse spatiale. La représentation des paysages ainsi cartographiés est fortement liée à l'expert et à la méthode utilisée (informations sélectionnées et poids attribués), et à la qualité des données qui sont utilisées pour sa production.

Les séries temporelles d'images satellite permettent quant à elles d'identifier l'occupation et l'utilisation des sols, et leur dynamique, notamment au travers de l'analyse des indices de végétation. Les indices de textures issus de ces mêmes données nous informent sur l'arrangement des composants paysagers, et donc sur les conditions environnementales et humaines. Les images satellite apportent ainsi une vision objective des territoires dans leur ensemble, à différentes dates.

En 2014, Bisquert et al. ont montré la potentialité de séries temporelles d'images à basse résolution pour stratifier l'espace en zones radiométriquement homogènes : les limites des segments ainsi identifiés avaient un sens « paysager » sur le territoire français.

L'objectif du travail présenté est de tester cette démarche de stratification sur le territoire brésilien, à l'échelle nationale et à l'échelle d'une région, le Maranhão, et de comparer les résultats à des zonages agro-écologiques existants. Pour cela, nous utilisons une série temporelle d'images MODIS (produit MOD13Q1) que nous segmentons avec le logiciel eCognition. Différentes variables radiométriques et différentes échelles de segmentation sont testées et évaluées de façon non supervisée à partir d'indicateurs statistiques. Les segmentations obtenues sont comparées au zonage réalisé par la FAO au niveau national, et au zonage agro-écologique réalisé par l'EMBRAPA au Nordeste et en Amazonie au niveau régional.

## 1. Données et méthode

### 1.1 La zone d'étude

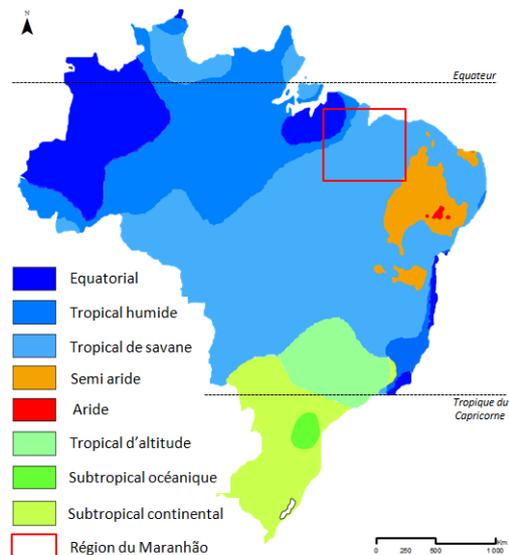
Le Brésil est le plus vaste pays d'Amérique du sud avec une superficie de 8.5 millions de km<sup>2</sup> (soit treize fois la France). Il s'étend de l'équateur jusqu'au tropique du Capricorne, ce qui représente une grande diversité en terme de végétation, de climat, d'occupation du sol et donc de paysages. D'après la FAO, le Brésil est caractérisé par 47 zones agro-écologiques (GAEZ), et 8 types de climats (Figure 1). La zone tropicale représente 90% du territoire.

En sus de l'échelle nationale, un site en zone tropicale dans le Nordeste, le Maranhão (Figure 1), a été sélectionné pour étudier l'effet de l'échelle sur la mise en œuvre et sur les résultats de la méthode de segmentation.

### 1.2. Les données

#### 1.2.1. Données satellites

Le choix des images s'est porté vers le produit MOD13Q1 dont les spécificités semblent bien adaptées à l'étude. Ce produit est constitué d'images composites de deux indices de végétation, le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et le EVI (Enhanced Vegetation Index), fournis à une résolution spatiale de 250 m, et composés sur une période de 16 jours. En sus des indices de végétation, le produit comporte un indicateur de la qualité du pixel (présence de nuages, de neige, d'ombres...). Les produits sont livrés par dalle de 10° x 10°, soit quinze dalles pour couvrir l'ensemble du Brésil. Afin d'éviter les effets d'une année particulière en terme de climat, l'étude est réalisée sur quatre ans, entre janvier 2008 et



**Figure 1 :** Les climats au Brésil selon la classification de Köppen (Peel et al., 2007). Le carré rouge est le site régional.

décembre 2011. Pour chaque année, 23 images sont disponibles (deux images par mois, une seule pour le mois de juin). Au total, 1380 dalles MODIS MOD13Q1 ont été téléchargées et traitées. La zone du Maranhão correspond à une dalle MODIS, soit environ 700 000 km<sup>2</sup>.

### *1.2.2 Cartes de zonages*

À l'échelle nationale, nous avons utilisé la carte des zones agro-écologiques (Global Agro-Ecological Zones, GAEZ, 2014) de la FAO. Cette carte prend en compte les données climatiques, combinées aux données de sol, terrain et ressources terrestres. La version utilisée dans cette étude date de 2012.

À l'échelle régionale, nous avons utilisé un zonage agro-écologique de la région du Nordeste et de l'Amazonie réalisé par l'EMBRAPA à partir d'une carte de végétation et des paysages (Barreto et al., 1993).

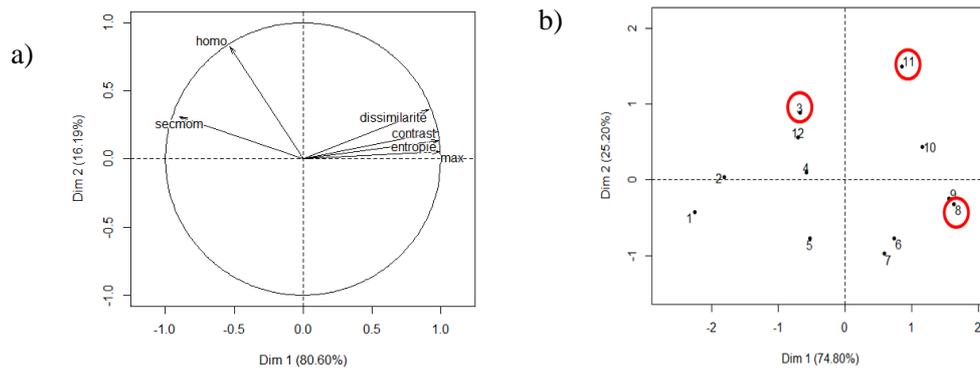
### *1.3. Calcul des indices*

La méthode mise au point par Bisquert et al. (2014), testée sur la France, utilise la moyenne mensuelle de EVI calculée après l'élimination des valeurs aberrantes, en particulier celles des pixels contaminés par des nuages ou leur ombre (faisant chuter la valeur du EVI). Dans la partie équatoriale du Brésil, où le climat est caractérisé par des pluies abondantes toute l'année, l'élimination des pixels « ennuagés » conduit à une perte de 60% des pixels sur certaines dalles. Pour limiter la perte d'information, la série temporelle sur le Brésil a été construite à partir des valeurs maximales mensuelles d'indices de végétation, et non pas des moyennes mensuelles. Une fois la maximale mensuelle calculée pour chacune des quinze dalles, la mosaïque est réalisée. Les textures sont calculées à partir des mosaïques afin d'éviter les effets de bordure. Cinq textures sont calculées via le logiciel ENVI : l'homogénéité, le contraste, la dissimilarité, l'entropie et le second moment. La taille de la fenêtre de calcul est choisie à partir d'un semi-variogramme qui indique la distance à laquelle les pixels ne sont plus corrélés. Dans notre cas, la fenêtre adéquate est de 9 pixels (soit 2250 m).

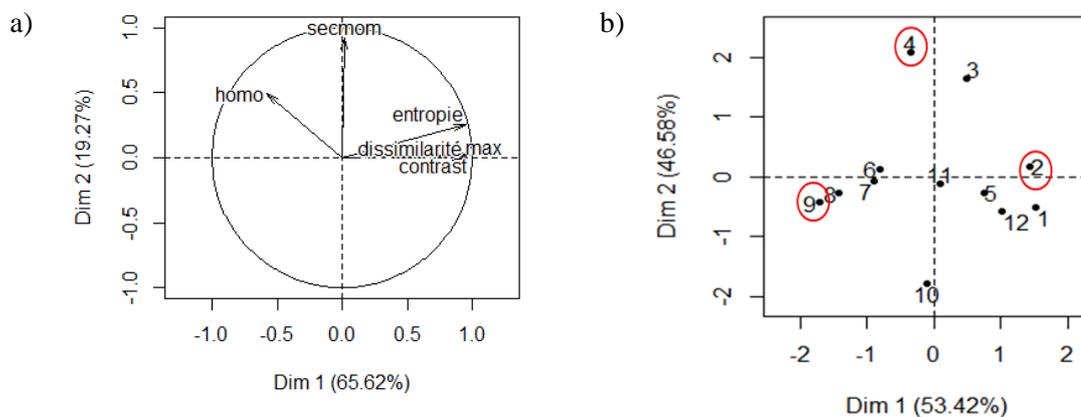
### *1.4. Sélection des variables*

Étant donné la taille de la zone d'étude et le nombre de données (valeurs mensuelles maximales de EVI et valeurs mensuelles de chaque texture, soient 72 variables), une segmentation incluant toutes ces données est difficilement réalisable. Il est donc nécessaire de sélectionner au mieux les variables les plus représentatives du territoire. Pour cela, une ACP (Analyse en Composantes Principales) a été réalisée à partir de la moyenne de chaque variable (1) sur l'ensemble du Brésil et (2) sur la région du Maranhão. Sur l'ensemble du Brésil, la Figure 2a montre que le EVI max, le contraste, l'entropie et la dissimilarité sont fortement corrélés. Le second moment montre une faible corrélation négative avec le EVI max. En revanche l'homogénéité semble apporter une information complémentaire au EVI max. Cinq autres ACP (non montrées) sont réalisées avec pour chacune le EVI max et une des textures. La Figure 2b montre le résultat pour le couple EVI max / homogénéité. On observe que globalement l'axe 1 correspond aux saisons, en opposant les mois d'hiver (1, 2, 3, 4, 11, 12) aux mois d'été (5, 6, 7, 8, 9, 10). Les mois de mars, août et novembre, non corrélés entre eux, sont choisis pour réaliser l'étude. Ces résultats permettent de sélectionner le scénario le plus efficace dans la segmentation des paysages avec seulement six variables : trois mois (mars, août et novembre) pour EVI max et l'indice de texture homogénéité.

En utilisant la même approche dans la région du Maranhão (Figure 3), le scénario choisi est de trois mois (février, avril et septembre) pour le EVI max et l'indice de texture second moment.



**Figure 2.** a) Résultat de l'ACP, graphique des variables, réalisée avec les moyennes des variables sur l'ensemble du Brésil ; b) Résultats de l'ACP, graphiques des individus, pour le couple EVI max / homogénéité.



**Figure 3.** a) Résultat de l'ACP, graphique des variables, réalisée avec les moyennes des variables sur la zone du Maranhão ; b) Résultats de l'ACP, graphiques des individus pour le couple EVI max / second moment.

### 1.5. Segmentation

La segmentation est réalisée par le logiciel eCognition (Definiens Imaging, München, Germany). La méthode utilisée est l'algorithme de *multiresolution segmentation*, il nécessite quatre paramètres : le poids des différentes variables utilisées pour la segmentation, le paramètre d'échelle, le paramètre de forme qui détermine le degré d'influence de la radiométrie par rapport à la forme de l'objet et la compacité qui détermine si l'on souhaite des objets compacts ou non (si le paramètre de forme est différent de 0). Dans notre étude, le paramètre d'échelle varie entre 2 000 et 20 000 avec un pas de 1 000 pour le Brésil et entre 500 et 7 000 avec un pas de 500 pour la zone du Nordeste. Dans les deux cas, le paramètre de forme est égal à 0 pour ne prendre en compte que la radiométrie.

### 1.6. Evaluation non supervisée de la segmentation

Afin de déterminer la meilleure échelle de segmentation, deux indices sont calculés : l'indice de Johnson et l'indice de Zhang, qui mesurent l'homogénéité intra-région et la disparité inter-région.

Johnson and Xie (2011) combinent la variance  $V$  (Eq. 1), mesure de l'homogénéité intra-région, et l'indice de Moran  $M$  (Eq. 2), mesure de la disparité inter-région, en un indice  $J$  (Eq. 3).

$$V = \sum_{i=1}^n a_i v_i / \sum_{i=1}^n v_i \quad (1)$$

$$M = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\left( \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right) \left( \sum_{i \neq j} w_{ij} \right)} \quad (2)$$

$$J = V_{norm} + M_{norm} \quad (3)$$

Où  $n$  est le nombre total de régions,  $a_i$  et  $v_i$  l'aire et la variance de la région  $i$ ,  $w_{ij}$  la mesure de la proximité spatiale (1 si les régions sont voisines, 0 sinon),  $y_i$  la valeur moyenne de la zone,  $\bar{y}$  la valeur moyenne de l'image,  $V_{norm}$  et  $M_{norm}$  la valeur normalisée de  $V$  et  $M$  et  $J$  l'indice de Johnson.

Zhang et al. (2012) calculent l'homogénéité intra-région  $T$  d'après une version modifiée de l'équation de Borsotti (Eq. 4). La disparité inter-région est calculée d'après la variance normalisée  $D$  d'un vecteur moyen de toutes les régions qui analyse la différence entre la valeur moyenne d'une région et la moyenne des valeurs de toutes les régions (Eq. 5). Enfin, l'indice de Zhang  $Z$  est l'indice intégré (Eq. 6).

$$T = \frac{1}{10S} \sqrt{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{e_i}{1 + \log a_i} \right) \quad (4)$$

$$D = \left( \sum_{b=1}^n \sum_{i=1}^n (m_{ib} - mm_b) / n \right) / \sqrt{n} \quad (5)$$

$$Z = T + \lambda D$$

$$\lambda = (T_{\max} - T_{\min}) / (D_{\max} - D_{\min}) \quad (6)$$

Où  $S$  est la taille de l'image,  $n$  le nombre de régions,  $e_i$  la distance Euclidienne entre la valeur de chaque pixel de la région  $i$  et la moyenne de la région,  $m_{ib}$  la valeur moyenne de la bande  $b$  de la région  $i$ ,  $mm_b$  la valeur moyenne de toutes les régions de la bande  $b$  et  $Z$  l'indice de Zhang.  $\lambda$  est le facteur de normalisation.

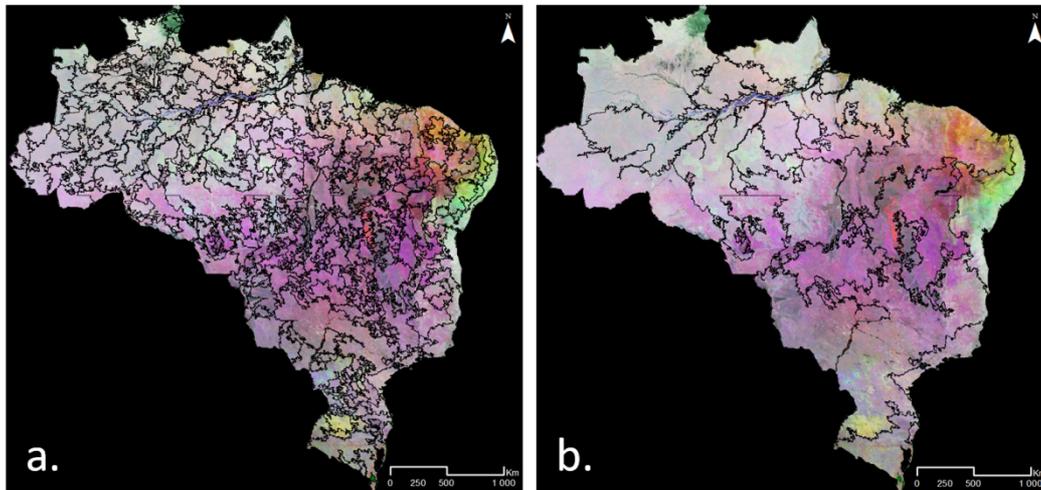
La meilleure combinaison correspond à l'échelle ayant l'indice de Johnson et l'indice de Zhang le plus petit afin d'obtenir des polygones homogènes et significativement différents des polygones voisins.

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Segmentation du Brésil

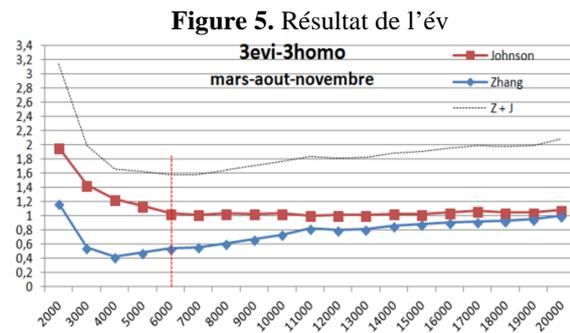
La Figure 4 présente les segmentations pour les échelles 6 000 (Figure 4a) et 20 000 (Figure 4b). Les différentes échelles de segmentations sont évaluées via les indices de Zhang et de Johnson (Figure 5). L'indice de Zhang augmente avec le paramètre d'échelle. En effet, plus les polygones sont grands, plus on observe de l'hétérogénéité à l'intérieur de chacun d'eux. L'indice de Johnson se stabilise avant de légèrement ré-augmenter. D'après l'indice de Zhang, l'échelle 4 000 serait la plus intéressante car elle minimise l'hétérogénéité au sein des polygones. Cependant l'échelle 6 000 apporte un bon compromis entre l'homogénéité intra-

segment et l'hétérogénéité inter-segment (combinaison des valeurs des plus faibles pour Zhang et Johnson).

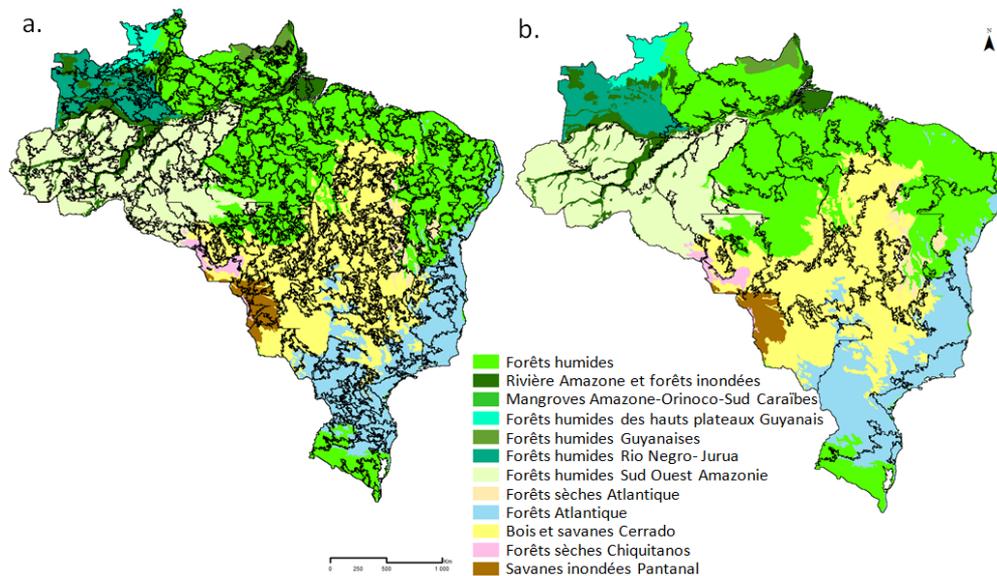


**Figure 4 :** Segmentations réalisée avec EVI max et l'homogénéité pour les mois de mars, août et novembre, pour les paramètres d'échelle (a) 6 000 et (b) 20 000, superposées à une composition colorée (rouge : EVI max mars - Vert : EVI max aout - Bleu : EVI max novembre).

Les segmentations obtenues sont comparées à la segmentation agro-écologique de la FAO. D'un point de vue statistique, l'échelle 6 000 est la meilleure ; cependant afin de comparer les deux cartes, l'échelle 20 000 semble être la plus appropriée par rapport à la taille des régions du zonage de la FAO. La comparaison visuelle des deux segmentations fait apparaître des similitudes dans certaines zones (Figure 6).



**Figure 5.** Résultat de l'évaluation non supervisée des segmentations du Brésil, courbes de Zhang et Johnson.



**Figure 6.** Segmentations à l'échelle a. 6 000 et b. 20 000 superposées au zonage agro-écologique (FAO).

## 2.2.Segmentation de la région du Maranhão

D'après une analyse similaire, on observe que l'échelle 3 000 est statistiquement la plus efficace sur la région du Maranhão (Figure 7). La Figure 8a<sub>1</sub> présente la segmentation à l'échelle 3 000 et la figure 8a<sub>2</sub> l'échelle 7 000, superposée à une composition colorée multi-temporelle. La superposition de la segmentation (échelle 7 000) avec le zonage réalisé par l'EMBRAPA (Figure 8b) montre une cohérence avec certains polygones.

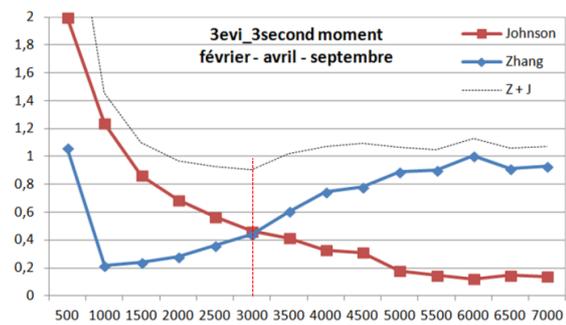


Figure 7 : Résultats de l'évaluation non supervisée des segmentations de la région du Maranhão.

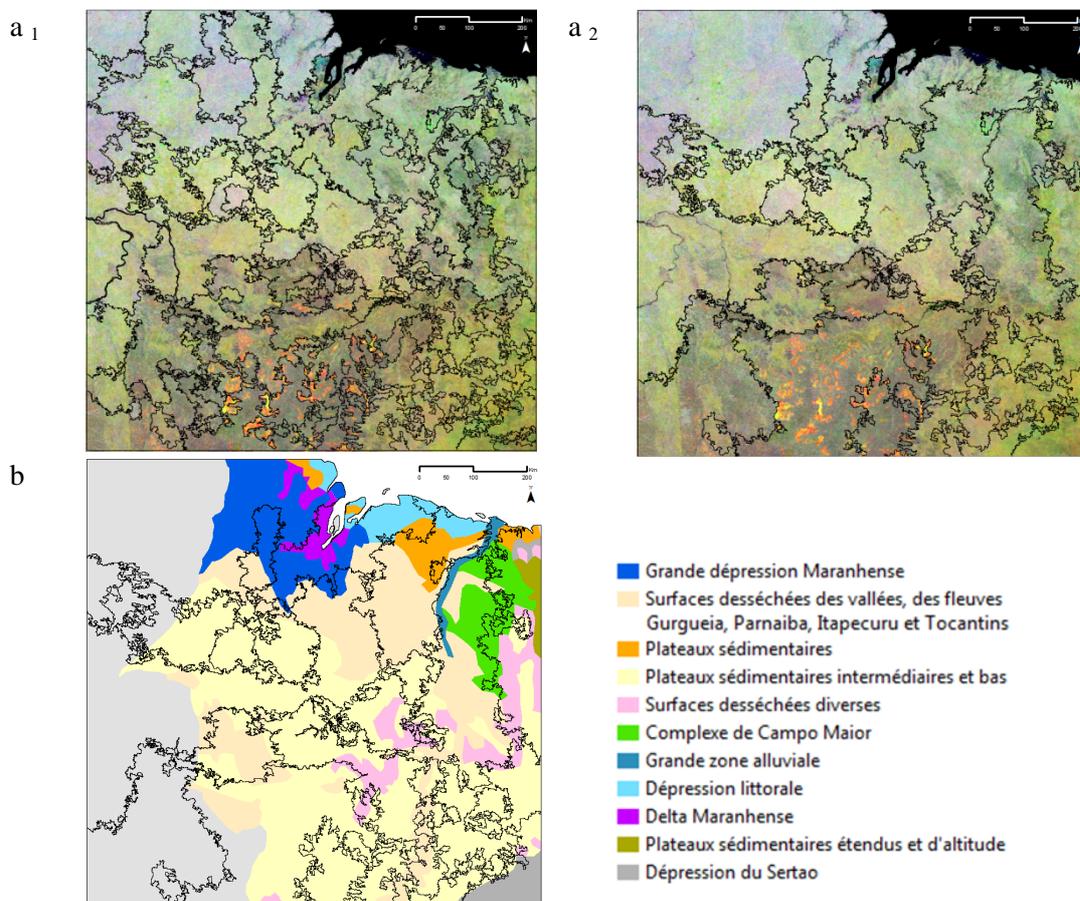


Figure 8 a) Segmentations réalisées avec le EVI max et le second moment pour les mois de février, avril et septembre, a<sub>1</sub> : à l'échelle 3 000 et a<sub>2</sub> : à l'échelle 7 000, superposée à une composition colorée (Rouge : EVI max février - Vert : EVI max avril - Bleu : EVI max septembre) ; b) Segmentation à l'échelle 7 000 superposée au zonage agro-écologique réalisé par l'EMBRAPA (en gris : zone non traitée par l'EMBRAPA).

## Discussion et conclusion

L'adaptation de la méthode mise au point par Bisquert et al. (2014) a permis la segmentation à différentes échelles, du Brésil et d'une région dans le Maranhão, en polygones radiométriquement homogènes. Les indices de Zhang et Johnson permettent de sélectionner l'échelle minimisant l'hétérogénéité intra-région tout en maximisant l'hétérogénéité inter-région. Cette méthode est robuste, objective et reproductible en tout point du globe.

Le travail réalisé ici a montré l'intérêt de traiter les zones à caractéristiques différentes (dans notre cas le climat) séparément. En effet l'hétérogénéité de la zone à couvrir ne permet pas de trouver des règles communes pour segmenter l'ensemble du territoire. Il a été nécessaire d'utiliser des variables différentes (texture et mois) pour les deux zones d'étude (Brésil, région du Maranhão). Les indices de Zhang et Johnson permettent de déterminer la meilleure échelle du point de vue statistique. Cependant l'échelle la plus adaptée dépend du besoin de l'utilisateur et de ce l'on cherche à faire ressortir.

Les segmentations obtenues sont difficilement comparables aux zonages agro-écologiques existants, même si l'interprétation visuelle montre de fortes similitudes dans certaines régions telles que l'Amazonie. Pour aller au-delà en terme de comparaison et d'interprétation des segments obtenus, il est prévu (1) d'analyser la nomenclature des cartes et (2) de caractériser les polygones obtenus par segmentation en termes de variables environnementales et d'occupation du sol pour essayer de comprendre les ressemblances et divergences entre les zonages.

### Références bibliographiques

- Barreto Rodriguez e Silva F., Riché G.R., Tonneau J.-P., ... et al., 1993. *Zoneamento agroecológico do Nordeste. Diagnostico do quadro natural e agrossocioeconomico*. Vol.1. Caracterizacao das grandes unidades de paisagem. Distribuicao das grandes unidades de paisagem e das unidades geoambientais. Vol.2. Caracterizacao das unidades geoambientais. Petrolina : EMBRAPA-CPATSA, 476 p. - Documentos.
- Bisquert M., Bégué A., Deshayes M., 2014. Object-based delineation of homogeneous landscape units at regional scale based on MODIS time series. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (en revision).
- Johnson B., Xie Z., 2011. Unsupervised image segmentation evaluation and refinement using a multi-scale approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **66**, 473–483.
- Mücher C.A., Klijn J.A., Wascher D.M., Schaminée J.H.J., 2010. A new European Landscape Classification (LANMAP): A transparent, flexible and user-oriented methodology to distinguish landscapes. *Ecological Indicators*, **10**, 87–103.
- Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *HEESD* **4**, 439-473.
- Zhang X., Xiao P., Feng X., 2012. An Unsupervised Evaluation Method for Remotely Sensed Imagery Segmentation. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, IEEE **9**, 156–160.

### Ressources en ligne :

- Embrapa, 1993. Zoneamento agroecológico do Nordeste. Available : <http://www.uep.cnps.embrapa.br/zane/ZANE.pdf> [janvier 2014].
- FAO, 2014. GAEZ - Global Agro-Ecological Zones. Available : <http://www.fao.org/nr/gaez/fr/> [janvier 2014].