

# CARTOGRAPHIE ET SUIVI DE LA DENSITÉ DES ARBRES DE L'ARGANERAIE (SUD-OUEST DU MAROC) À PARTIR D'IMAGES DE TELEDETECTION A HAUTE RESOLUTION SPATIALE

Mbark Aouragh<sup>1</sup>, Bernard Lacaze<sup>2</sup>, Micheline Hotyat<sup>1</sup>, Rachid Ragala<sup>3</sup>, Ahmed El Aboudi<sup>4</sup>

1 : Université Paris Sorbonne, laboratoire Espace, Nature et Cultures (CNRS UMRS 8185) , Paris, France

2 : Pôle de Recherche pour l'Organisation et la Diffusion de l'Information Géographique (CNRS UMR 8586) ; Campus Spatial et Pôle Image, Université Paris Diderot-Paris 7, Paris, France – lacaze.bernard@gmail.fr

3 : Université Paris Sorbonne, laboratoire LATES (CAMS EHSS-CNRS, UMR 8557), Paris, France

4 : Université Mohammed V, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Rabat-Agdal, Maroc

## Résumé

L'étude porte sur la cartographie du couvert arboré de la forêt claire d'arganiers du sud-ouest du Maroc. Les données utilisées sont une image IKONOS de 2003 et une image GeoEye de 2011, extraite de Google Earth ; cette dernière est corrigée géométriquement pour être superposable à l'image IKONOS (résolution spatiale 1m). L'approche de classification orientée objet permet de cartographier de façon assez satisfaisante les couronnes des arbres sur les deux images. Cependant la comparaison des résultats des deux classifications laisse apparaître des artefacts et ne peut servir à une analyse diachronique fiable. La solution alternative proposée repose sur l'analyse interactive de l'histogramme bi-varié de deux canaux provenant respectivement de l'image de 2003 et de celle de 2011. Pour la zone étudiée, le couvert arboré a un faible recouvrement (8% en moyenne) et apparaît stable de 2003 à 2011, avec localement une légère diminution de densité des arbres.

**Mots clés :** Maroc, arganier, forêt claire, densité d'arbres, IKONOS, Google Earth, analyse diachronique.

## Abstract

*The study is focused on surveying and monitoring tree cover in the argan tree sparse forest of South-West Morocco. Remote sensing data are one IKONOS image from 2003 and one GeoEye image from 2011 (obtained through Google Earth) ; the latter image has been registered with the 1m resolution IKONOS image used as reference. An object-oriented classification approach has been used to identify tree crowns on both images. However the multi-temporal comparison of results of the two classifications appears not reliable. An alternative solution is proposed through the interactive analysis of the scattergram of 2 channels, one from IKONOS (panchromatic) and one of GeoEye image (sum of 3 bands). In the studied area, tree cover is very low (about 8%) and there are no drastic changes in tree density from 2003 to 2011, except in restricted disturbed areas.*

**Keywords :** Morocco, argan tree, sparse forest, tree density, IKONOS, Google Earth, multitemporal analysis.

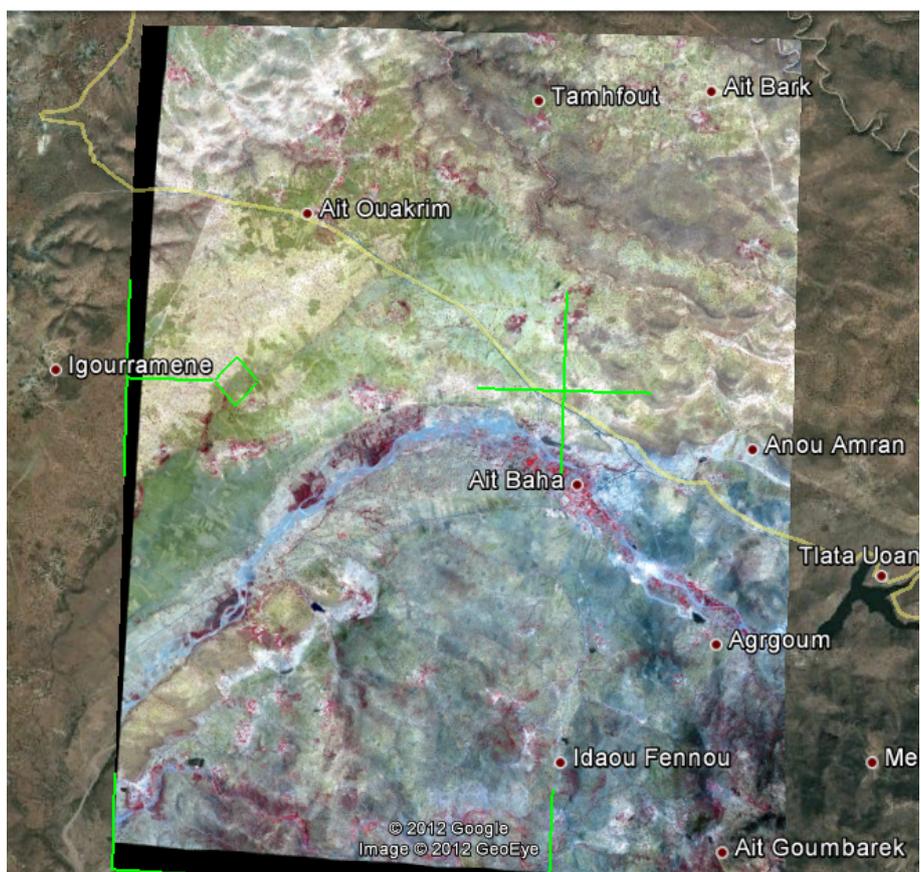
## 1. Introduction

L'arganier [*Argania spinosa* (L.) Skeels] est un arbre endémique du sud-ouest du Maroc, en particulier de la vallée du Souss (région administrative Souss-Massa-Drâa). C'est un arbre multi-usages, qui constitue une ressource primordiale pour les populations de cette zone aride du Maroc, et il est la clé de voûte de l'agro-écosystème traditionnel de l'arganeraie, qui repose sur l'exploitation des arbres, la céréaliculture pluviale et l'élevage.

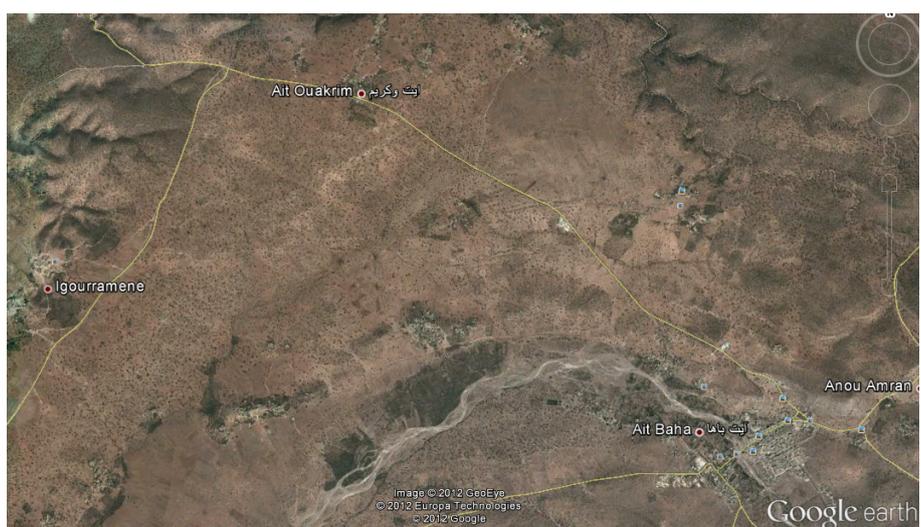
La pression humaine sur ce milieu se manifeste par les récoltes des fruits de l'arbre (utilisés pour obtenir l'huile d'argan), l'utilisation excessive du bois de feu, le surpâturage par les caprins ou camelins, et, pour la

zone de plaine, par l'extension de l'agriculture intensive irriguée et des zones urbaines (Aouragh, 2012). En conséquence, on assiste depuis plusieurs décennies à une diminution du couvert arboré, à la fois en surface occupée et en densité d'arbres. Il convient de préserver ce patrimoine, classé réserve de biosphère par l'UNESCO en 1998.

Il n'existe cependant que très peu d'études ayant permis de quantifier les changements de couvert arboré de l'arganeraie. El Yousfi et Bencheikroun (1992) ont montré une nette dégradation entre 1969 et 1986 dans la forêt d'Admine située en zone de plaine, tandis qu'El Aboudi (2000) constate une grande stabilité de la densité des arganiers dans une zone de montagne, à partir de l'analyse diachronique d'images SPOT.



**FIGURE 1 :** Image IKONOS (20/07/2003) sur fond d'image Google Earth.



**FIGURE 2 :** La région d'Aït Baha d'après Google Earth (image GeoEye du 30/10/2011).

Le problème posé dans ce travail est celui de la cartographie du couvert arboré à grande échelle, à partir de diverses données de télédétection à haute résolution spatiale : images IKONOS et images issues de Google Earth. La cartographie des couronnes d'arbre n'est pas une tâche triviale, même à partir d'images à haute résolution spatiale. Il faut noter en effet que l'arganier se présente sur le terrain avec des morphologies de couronnes et des structures horizontale et verticale variables.

Nous nous intéressons principalement à l'analyse diachronique de ces images, pour réaliser un suivi de la densité des arbres.

## 2. Zone d'étude, données de télédétection, méthodes

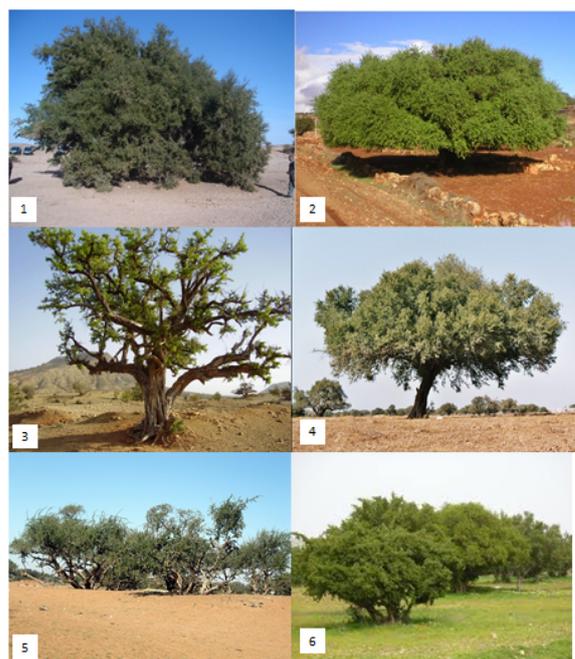
L'aire de l'arganier occupe environ 800 000 hectares au sud-ouest du Maroc ; l'arganeraie se présente sous la forme d'une "forêt" très claire, mais aussi sous forme d'arbres dispersés dans les parcelles cultivées. Il est donc difficile de définir l'aire d'extension totale de l'arganeraie, et plus encore de cartographier la répartition des arbres. L'inventaire forestier national permet d'avoir des statistiques par communes, en considérant 4 classes de densité (dont une classe "sans densité" c'est-à-dire arbres épars), mais ne propose pas de cartographie détaillée.

Nous avons sélectionné une zone d'étude dans la province de Chtouka Aït Baha. Cette province, avec une population totale de 431 000 habitants, possède 90 175 ha de forêts, dont 83 830 ha d'arganiers. L'économie repose essentiellement sur l'agriculture intensive de la plaine (19 200 ha irrigués). Cependant le site d'étude est localisé dans la partie montagneuse de la région, avec une utilisation du sol typique de l'arganeraie traditionnelle. Le choix de ce site est motivé par la disponibilité d'une image IKONOS, acquise le 20 juillet 2003, déjà utilisée dans le cadre d'un projet de recherche antérieur (Lacaze et al., 2010). La figure 1 présente l'image IKONOS en composition colorée, superposée à un fond d'images Google Earth.

Plus précisément, nous avons sélectionné une zone test au nord d'Aït Baha, au voisinage d'Aït Ouakrim (coordonnées 30°06'11"N et 9°12'01"O, altitude environ 500m). La figure 2 présente cette zone test ; l'image prise en compte ici est la plus récente disponible dans Google Earth (image GeoEye du 30 octobre 2011).

Dans des études antérieures, la cartographie des couronnes d'arbre avait été entreprise à partir d'images SPOT panchromatiques à résolution 10 m ou 5 m. L'approche utilisée alors était celle de l'application d'un filtre de type laplacien, suivie d'un seuillage (Joffre et Lacaze, 1993). Cette approche a permis d'obtenir des résultats

relativement probants et a pu être utilisée en conjonction avec une cartographie de l'occupation du sol (El Aboudi, 2000 ; Smiej et al., 2010). Cependant la méthode repose sur l'hypothèse que la taille moyenne des couronnes (diamètre environ 8 m en plaine et un peu moins en montagne) est à peu près égale à celle d'un pixel. De plus, la définition de la valeur de seuillage reste délicate et doit être adaptée localement. L'avènement des images à haute résolution spatiale, de l'ordre d'un mètre, permet d'envisager l'application de nouvelles méthodes de cartographie, plus précises, et permettant de mieux identifier les couronnes d'arbre, dont la variabilité de forme est illustrée sur la figure 3.



**FIGURE 3** : Exemples de la morphologie des arganiers (photos M. Aouragh).

Le but de l'étude est une analyse diachronique à partir du traitement d'images numériques de télédétection. De nombreuses méthodes de détection des changements ont été proposées (Nielsen et al., 1998 ; Caloz et Collet, 2002 ; Canty, 2010).

La première méthode utilisée ici est celle de la comparaison des résultats de la classification objet appliquée aux deux images.

Cette méthode repose sur une première étape de segmentation de l'image, c'est-à-dire une définition des frontières des objets par algorithme du type "bassin versant" (Baatz and Shape, 2000), suivie par un classement des objets par une approche supervisée, utilisant soit l'identification préalable d'un certain nombre d'objets (ici en l'occurrence les couronnes des arbres), soit la définition de règles de caractérisation des objets d'après leurs propriétés spectrales, texturales ou morfo-structurales.

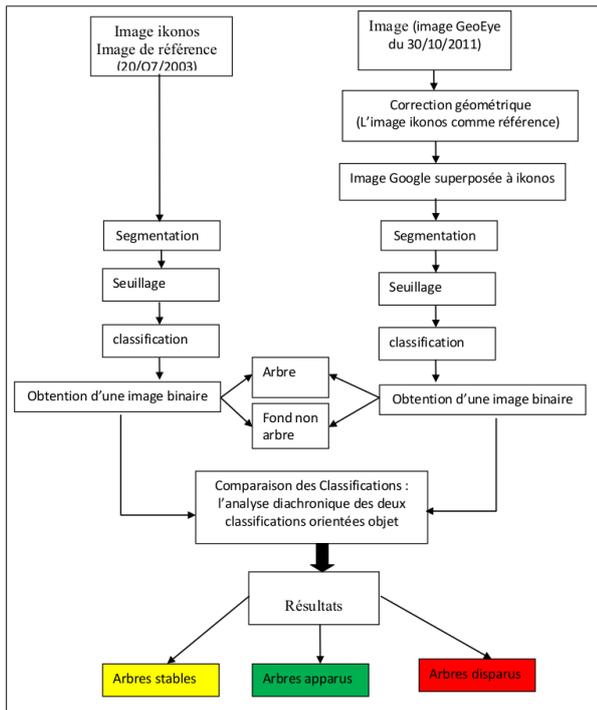


FIGURE 4 : Présentation de la première méthode proposée.

Nous utilisons ici le progiciel ENVI-ZOOM, module "feature extraction", et l'algorithme de classement dirigé pourra être du type k-plus-proches-voisins ou bien SVM, séparateurs à vaste marge (Cristianini and Shawe-Taylor, 2000 ; Perumal and Bhaskharan, 2009).

La possibilité d'une analyse diachronique repose sur une mise en coïncidence des images prises à des dates différentes : nous avons donc réalisé les corrections géométriques nécessaires (correction image à image) pour superposer l'image extraite de Google Earth avec l'image IKONOS. Ensuite nous avons comparé les résultats des classifications réalisées sur les deux images : image 1 (IKONOS, 2003) et image 2 (GeoEye, 2011). Cette comparaison nous a permis de mettre en évidence les limites de la méthode.

Nous avons alors utilisé une deuxième approche, celle de la comparaison directe de deux canaux sélectionnés respectivement dans l'image 1 et l'image 2 ; la segmentation manuelle de l'histogramme bi-varié permet alors de mettre en évidence les changements survenus entre les deux dates (Calloz and Collet, 2002).

### 3. Résultats et discussions

#### 3.1. Corrections image à image

Après la correction image à image, nous obtenons deux imagerie superposables (Figure 4).

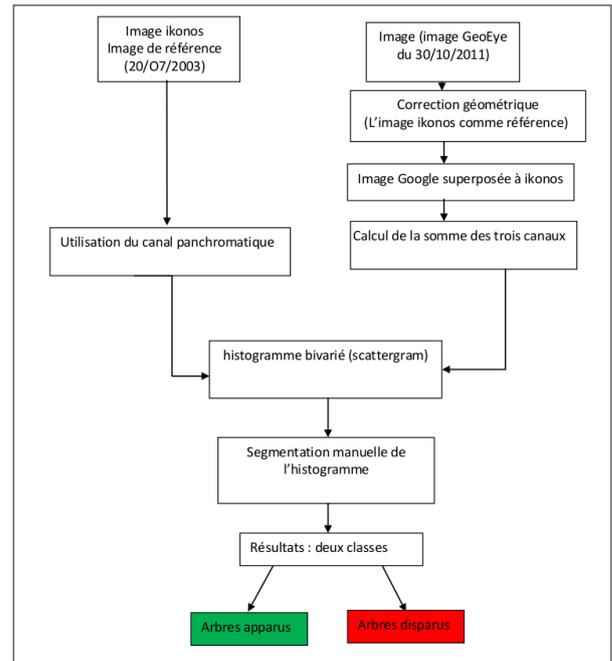


FIGURE 5 : Présentation de la seconde méthode proposée.

Il faut noter que l'image de référence est ici l'image IKONOS ; cette image a été obtenue par fusion de l'image multibandes (résolution spatiale 4 m) et de l'image panchromatique (résolution spatiale 1m). La technique utilisée est celle de "Gram-Schmidt Spectral Sharpening" disponible dans le logiciel ENVI (Canty, 2010), et la résolution de l'image fusionnée est de 1 m. En conséquence l'image Google Earth corrigée a été ré-échantillonnée à la résolution spatiale de 1 m.

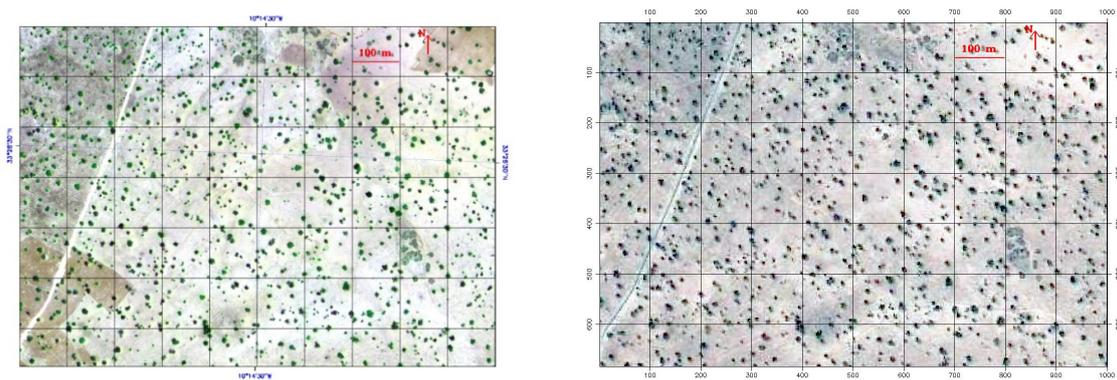
#### 3.2. Cartographie du couvert arboré par classification orientée objet

La méthode de cartographie orientée objet décrite plus haut a été appliquée aux deux imagerie. Les objets cartographiés sont ici de plusieurs types : arbres, sols nus, parcelles cultivées, mais par regroupement on obtient finalement une carte binaire arbre / non arbre (cf. Figure 5).

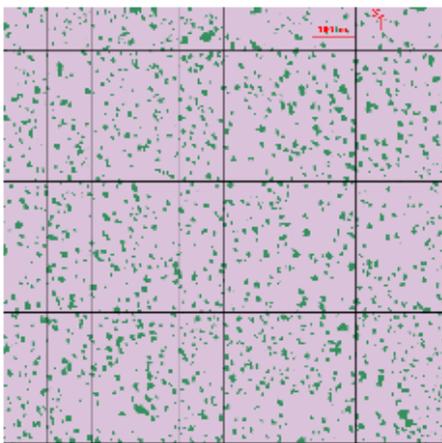
#### 3.3. Analyse diachronique des résultats de classification orientée objet

Nous discutons ici des résultats de la comparaison des deux images binaires arbre/non-arbre obtenues respectivement à partir des imagerie IKONOS de 2003 et Google Earth de 2011.

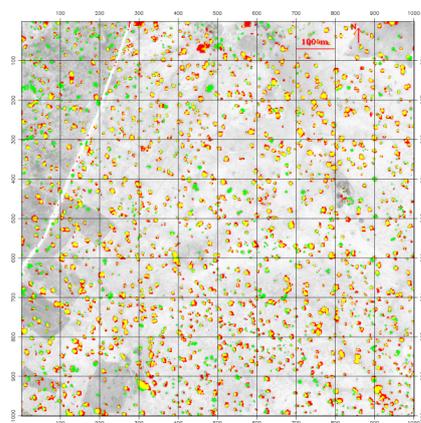
D'après ce résultat, on constate la présence de pixels arbres disparus en 2011 ; ces pixels (en rouge sur la figure 6) sont localisés au pourtour des pixels stables (en jaune). Ceci indique simplement que la forme des objets arbres restés stables n'est pas la même sur l'image IKONOS et sur l'image Google Earth, et peut s'expliquer par les différences de conditions de prises de vues et de



**FIGURE 6** : Imagettes IKONOS (à gauche) et Google Earth (à droite) après corrections géométriques, avec superposition d'un quadrillage de 100 m×100 m.



**FIGURE 7** : Résultat de classification orientée objet de l'image IKONOS (pixels arbres en vert).



**FIGURE 8** : Résultat de l'analyse diachronique des deux classifications orientées objet du couvert arboré obtenues à partir de IKONOS (2003) et Google Earth (2011).

résolution initiale des deux images. D'autre part, on note également la présence d'assez nombreux pixels arbres qui seraient apparus en 2011, ce qui ne correspond pas à la réalité, et souligne que le résultat de la classification réalisée à partir de l'image IKONOS a fourni une carte incomplète du couvert arboré.

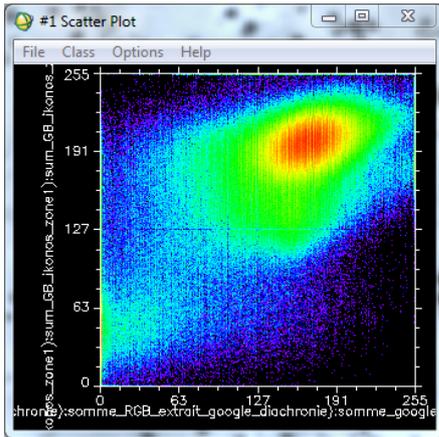
En conséquence, il apparaît délicat de procéder à une comparaison des résultats de classifications pour réaliser une analyse diachronique. Nous avons alors opté pour une approche basée sur l'analyse de l'histogramme bi-varié de deux canaux issus respectivement des images de 2003 et 2011.

### 3.4. Analyse diachronique à partir d'un histogramme bi-varié

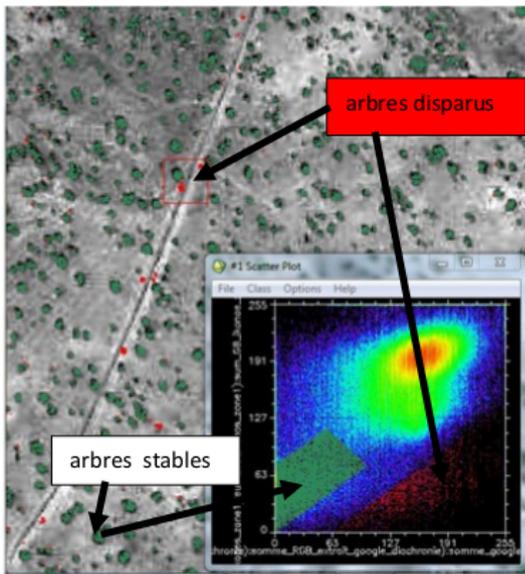
Cette méthode est basée sur l'analyse de l'histogramme bivarié (scattergram) obtenu à partir des images IKONOS 2003 (panchromatique) et Google GeoEye (somme des 3 canaux). La figure 7 montre un exemple d'histogramme bi-varié.

Les valeurs des pixels arbres sont faibles par rapport à celles des pixels voisins (les arbres apparaissent en sombre sur les images panchromatiques). A partir de l'image de l'histogramme, on peut alors définir deux classes : arbres stables (valeurs faibles similaires aux deux dates) et arbres disparus (valeurs faibles en 2003, valeurs fortes en 2011). La figure 8 illustre la définition de ces deux classes par segmentation de l'histogramme bi-varié.

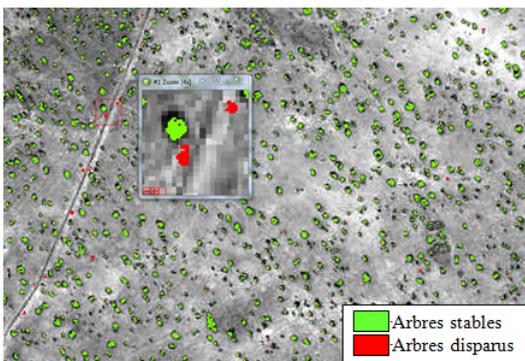
L'analyse des résultats permet de mettre en évidence une faible proportion d'arbres qui ont disparu entre 2003 et 2011. Dans le cas étudié, la disparition d'arbres s'est produite localement, en particulier par la création d'une route goudronnée en remplacement d'une piste (cf. Figure 9).



**FIGURE 9 :** Exemple d'histogramme bi-varié entre canaux des deux images ; la gamme de couleurs correspond à des nombres de pixels croissants depuis les valeurs faibles (violet) jusqu'aux fortes valeurs (rouge).



**FIGURE 10 :** Définition des classes arbres stables (en vert) et arbres disparus (en rouge).



**FIGURE 11 :** Résultats de l'analyse diachronique à partir de l'histogramme bi-varié.

## 4. Conclusions

Dans cette étude nous avons montré la faisabilité de la cartographie d'un couvert arboré à faible densité à partir d'images à haute résolution spatiale. L'approche orientée objet permet généralement une bonne identification des couronnes d'arbre, par une classification dirigée incluant des paramètres spectraux, texturaux et structuraux. A partir des résultats obtenus, nous pouvons estimer le recouvrement du couvert arboré dans la zone d'étude à environ 8% (moyenne des valeurs estimées par images IKONOS et Google Earth).

Cependant il est apparu difficile de comparer les classifications obtenues à partir de deux images de sources différentes, malgré une correction image à image qui a permis de les superposer géométriquement avec une bonne précision. La méthode alternative proposée pour l'analyse diachronique est basée sur l'analyse interactive de deux canaux issus respectivement des images de 2003 et 2011.

Le couvert d'arganiers apparaît globalement stable entre 2003 et 2011 dans la zone étudiée ; cependant on peut estimer qu'environ 2 à 3% des arbres présents en 2003 ont disparu en 2011. Cette stabilité relative confirme que, pour la zone montagneuse, on ne peut pas conclure à une dégradation significative de la densité des arbres durant cette courte période. Cependant, on constate sur le terrain une absence quasi-généralisée de régénération, et il n'y a que très peu de rajeunissement des arbres par coupe. Cette situation pose le problème du déclin prévisible de ces peuplements à moyen terme, si l'on ne procède pas à des replantations sur des surfaces importantes. La télédétection spatiale à haute résolution, notamment grâce aux images facilement accessibles de Google Earth, permet une cartographie détaillée et un suivi temporel de la densité d'arbres à l'échelle locale. Ceci peut aider à la prise de conscience nécessaire pour prendre les décisions d'aménagement qui s'imposent pour assurer un développement durable de l'arganeraie, conformément à son statut de réserve de biosphère.

## Références

Aouragh M., 2012. Dynamique du "paysage-arganeraie" dans le Sud-ouest marocain. Apport des données de télédétection et perspectives de les intégrer dans un SIG. PhD Thesis, University Paris IV Sorbonne, Paris, France, 381 p.

Baatz M. and Schape A., 2000. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In : Strobl, J., Blaschke, T. & Griesebner, G. (Ed.), Proceedings of Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beitrage Zum AGIT – Symposium Salzburg, Austria, pp. 12–23.

Caloz R. and Collet C., 2002. Traitement numérique d'images de télédétection. Précis de Télédétection,

volume 3. Presses de l'Université du Québec/AUF, 403p.

Canty M.J., 2010. Image analysis, classification and change detection in remote sensing, with algorithms for IDL/ENVI. Second revised edition. Taylor & Francis, CRC press, 471p.

Cristianini N. and Shawe-Taylor J., 2000. An introduction to Support Vector Machines and other kernel based learning methods. Cambridge University Press, London, UK, 204p.

El Aboudi A., 2000. Application de la télédétection spatiale à la cartographie de la végétation de l'arganeraie (Sud Maroc). PhD thesis, University Mohammed V, Rabat, Morocco.

El Yousfi S.M. and Bencheikroun F., 1992. La dégradation forestière dans le Sud marocain. Exemple de l'arganeraie d'Admine (Souss) entre 1969 et 1986. Annales de la Recherche Forestière (Maroc) 26 :43–49.

Joffre R. and Lacaze B., 1993. Estimating tree density in oak savanna like "dehesa" of Southern Spain from SPOT data. International Journal of Remote Sensing 14(4) : 685–697.

Lacaze B., Peltier J. P., El Aboudi A., Msanda F., Smiej M. F., Gana A., 2010. Etude intégrée du milieu naturel et humain de l'Arganeraie pour une aide à la décision en matière de préservation et de développement durable. Technical Report of the "programme recherche dans le cadre du projet Arganier", European Commission, 119p.

Nielsen A.A., Conradsen K., Simpson J.J., 1998. Multivariate Alteration Detection (MAD) and MAF Post-processing in Multispectral Bitemporal Image Data : New Approaches to Change Detection Studies. Remote Sensing of Environment 64(1) :1-19.

Perumal K. and Bhaskaran R., 2009. SVM-based effective land-use classification system for multispectral remote sensing images. International Journal of Computer Science and Information Security 6(2) : 97–105.

Smiej M.F., Lacaze B., El Aboudi A., Layelmam M , 2010. Etude du milieu naturel de l'arganeraie de la région de Tamanar : cartographie et estimation de la densité de l'arganier par télédétection spatiale. GeoObservateur 18 : 1–15.