AJLP & GS
African Journal of Land Policy and Geospatial Sciences

Technologies Géo-Spatiales pour renforcer les dispositifs de gestion des terres agricoles :
Appui à la gestion des surfaces agrumicoles par télédétection dans la Plaine de Triffa-Berkane (Maroc)

[1]Loubna Elmansouri, [2]Rachid Hadria, [3]Imane Lahmer, [1]Moutaib Omar, [1]Oujemaa Abdessadek, [1]Amine ElGorch,

[1]Amine Azzouzi, [2]Tarik Benabdelouahab, [4]Said Lahssini, [5]Abdelghani Boudhar, [2]Hamid Mahyou, [2]Abderrahmane Nazih, [2]Youes Taarabt

[1]Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
[2] Institut National de la Recherche Agronomique
[3] Faculté des Sciences de Rabat-Université Med V
[4] Ecole Nationale des Ingénieurs Forestiers
[5]Université Moulay Slimane, Beni Mellal

Résumé
L'objectif de ce papier est de proposer et implémenter une procédure de classification d'images satellitaires optique et radar pour la cartographie des cultures, notamment la production d'une carte d'agrumes. 7 classes de cultures ont été considérées (les jeunes agrumes, les agrumes adultes, les vieux agrumes, les autres plantations, les céréales, les maraichages et le sol nu au printemps) et 18 images ont été traitées pour extraire les profils temporels des pixels qui seront la base des traitements. 13 schémas de classifications ont été testés où on a comparé les performances et les contributions de l'analyse d'image orientée objet versus l'analyse basée pixel, le classificateur avancé Séparateurs à Vastes Marges (SVM) versus le classificateur classique du Maximum de Vraisemblance (MV) et en fin les bandes de polarisation radar versus le NDVI. La classification optimale en termes d'exactitude est obtenue quand on combine les NDVI et les bandes radar VH dans un processus de traitement orientée objet par les SVMs, avec une valeur du F-mesure de l'ordre de 80 %.

Mots-clés : Cultures, cartographie, Sentinel 1, Sentinel 2, SVM, orientée-objet, agrumes, Maroc.

Abstract
The paper aims to concept and to implement an operational and optimized multi-temporal Sentinel images based tools for management support of citrus area. A time series of optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) Sentinel images covering the period of January - November 2017 were acquired in order to identify 7 thematic categories (Young Citrus, Adult Citrus, Old Citrus, other plantations, cereals, vegetables and spring bare soil). Thirteen automatic supervised classification schemes with two tested classifiers (the classical Maximum Likelihood (ML) versus the advanced Support Vector Machine (SVM)), two used approaches (pixel based versus object based), and different SAR polarizations were investigated. To ensure an unbiased assessment, all schemes are tuned based on the same training and validation independent sets ground collected in April 2017. All classifications are evaluated based on F-score accuracy assessment metric. Overall classification

map accuracy based on Sentinel-2 time series was 72.4%, Sentinel-1A – 63.6%, at the same time, data fusion of Sentinel-1A and Sentinel-2 provides overall accuracy of 80% that was higher by +8.3% and +17.1% for Sentinel-1 and Sentinel-2 based classifications, respectively. The last one was retained for crop and Citrus maps generation.

Keywords : Crops, mapping, Sentinel 1, Sentinel 2, SVM, object-oriented, Citrus, Morocco.

1. INTRODUCTION

L'agriculture présente l'un des piliers principaux de l'économie marocaine à travers sa contribution au produit intérieur brut (autour de 15%), à la création de l'emploi (près de trois quart de la population rurale tirent leurs revenus de l'agriculture) et la sécurité alimentaire du pays (MAPMDREF, 2018). Ce secteur a acquis ses performances suite aux multiples politiques agricoles et soutien qu'il a reçu depuis l'indépendance. La dernière stratégie nationale dont le secteur a bénéficiée est baptisée « Plan Maroc Vert » et dont l'objectif vise à renforcer davantage le rôle moteur de l'agriculture dans l'économie nationale. Cette stratégie est fondée sur deux grands piliers : le premier vise le développement d'une agriculture à forte valeur ajoutée tandis que le second concerne la mise à niveau de l'agriculture solidaire. Parmi les actions privilégiées de l'agrobusiness (premier pilier), l'intensification des superficies irriguées et leur modernisation à l'échelle nationale était hautement promues. Les agrumes, l'une des grandes filières irriguées au Maroc, ont été prioritairement ciblés dans plusieurs programmes agricoles régionaux ((MAPMDREF, 2018). Ce choix est justifié par l'importance socio-économique de la filière (50. 000 emplois, 20 millions de journées de travail) et d'autre part par sa contribution en devises s'élevant à 3 milliards de Dh/an (**AZUD, 2018)**.

Par ailleurs, l'intensification des superficies agrumicoles augmenterait davantage les pressions sur les ressources naturelles déjà menacées du pays, eau et sol, et impacterait la qualité des nappes phréatiques. Une utilisation rationnelle des eaux agricoles et des sols s'impose. Ceci passe nécessairement à travers un suivi spatiotemporel des périmètres irrigués qui fait appel à des méthodes de cartographie robustes et reproductibles.

La télédétection, bénéficie actuellement d'un double progrès réalisé tant sur l'acquisition des images (résolutions spatiales, spectrales et temporelles plus adéquates au suivi de la végétation, prix abordables ou gratuité des images) que des performances des procédures de classification, est considérée comme une alternative de plus en plus accessible et fiable pour parvenir à une cartographie remise à jour en parfaite adéquation avec le dynamisme végétal.

La majorité des études de cartographie des cultures utilisent une série multi temporelle d'images optiques sous l'hypothèse que le cycle phénologique d'une culture, identité de l'espèce, est parfaitement ressorti sur les profils temporels des bandes NDVI couvrant une saison agricole (Elmansouri et al., 2018 ; Benabdelouahab et al., 2018). Or ces images optiques sont parfois incomplètes dû à la présence des nuages ou encore inexistantes pour une tranche temporel donnée du cycle de vie de la culture (Hadria et 2018). La combinaison Radar/optique permet de combler les vides où les images optiques manquent surtout avec l'insensibilité des images Radar aux nuages et la haute corrélation entre les bandes de polarisation y dérivées et les bandes NDVI (Hadria et al., 2009, 2010).

Outre l'intensification du signal dans les traitements d'images pour la cartographie des cultures, la tendance est aussi vers l'exploitation des méthodes de classification non paramétriques qui ne supposent aucune

distribution statistique sur les données. Les méthodes d'ensembles d'arbres, les réseaux de neurones et les Séparateurs à Vaste Marges (SVM) sont des exemples. L'approche orientée-objet est aussi prometteuse quand il s'agit de la distinction entre les espèces de cultures. En plus de sa capacité d'intégrer différents attributs de diverses sources, elle a l'avantage de produire un parcellaire agricole homogène avec des limites bien identifiées facilitant par la suite l'exploitation et l'extraction de l'information à l'échelle de la parcelle.

C'est dans ce contexte que s'est mise en place cette étude dont l'objectif est d'établir une méthode de classification des surfaces agrumicoles de la plaine de Trifa dans la région de l'oriental du Maroc, en optimisant la procédure de la classification d'image. Nous présentons ici les résultats de la recherche d'une méthodologie efficace et reproductible de cartographie en vue d'assister les acteurs agricoles de la région dans la gestion de la filière. Nous proposons un protocole méthodologique fondé sur l'analyse d'image orientée-objet et comparons les performances des bandes optiques et Radar. Cette étude est le résultat d'un partenariat tripartite entre le Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, Développement Rural et des eaux et Forêts (MAPMDREF), l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) et l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV H2)..

2. SITE D'ÉTUDE

La figure 1 résume les caractéristiques de la plaine de Trifa qui est le site de cette étude. Il s'agit d'une plaine irriguée de 36.000 ha environ, occupée principalement par les agrumes. Cette filière ne représente que 3% de la surface agricole utile (SAU) régionale, équivalent à 0.3% de la SAU nationale et contribue pourtant de plus de 88% des agrumes de la région et de 15% des agrumes nationales avec plus de 18% de valeur ajoutée. Ces chiffres et d'autres mentionnées dans la figure 1 justifient sa bénéfication de 48% des projets PMV pilier I destinés à la région. (ORMVAM, 2017 ; ORMVA-Moulouya, USAID, 2012).

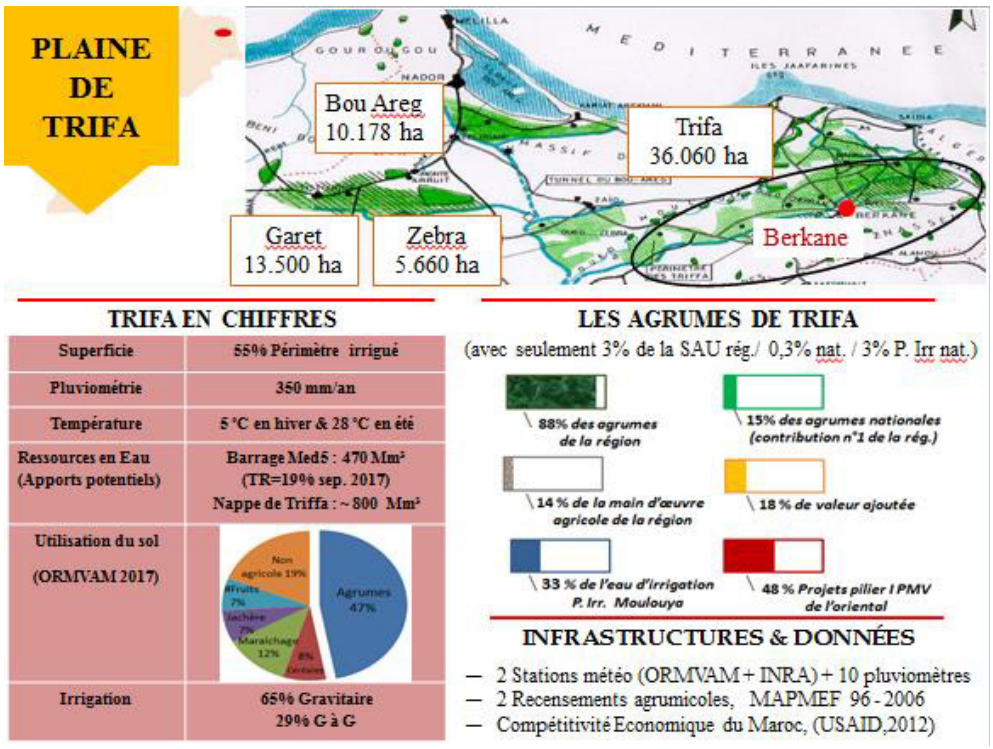

Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude et principales informations sur son système de culture

3. DONNEES MOBILISÉES

3.1 Images satellitaires

18 images Sentinel à 10 m de résolution spatiale couvrant la période du janvier à novembre 2017 ont été téléchargées à partir du site (https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/self-registration) et utilisées pour la classification. 13 d'entre elles sont des Sentinel 2 optiques et proche infrarouge et 5 sont des images Radar issues du Sentinel 1. Les dates des images optiques considérées sont principalement conditionnées par la couverture nuageuse de la zone. Les dates des images Radar ont été choisies pour combler les intervalles de temps dépourvus en imagerie Sentinel 2. La figure 2 illustre le calendrier des images mobilisées.

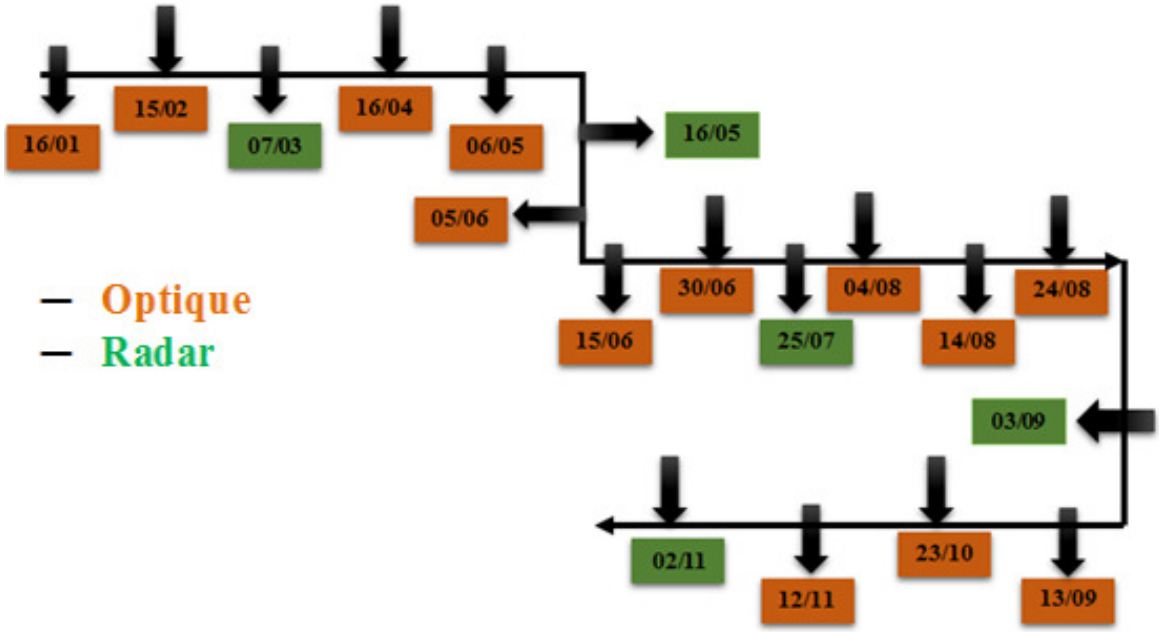

Figure 2. *Types et dates des images utilisées dans l'étude*

3.2 Parcelles et classes d'occupation du sol collectées sur le terrain

Les classes d'occupation du sol considérées sont en nombre de sept. Les agrumes en 3 classes : vieux – adultes et jeunes, les autres plantations (olivier – amandier - grenadier), les céréales, les maraichages et le sol nu en printemps. Principalement selon la proportionnalité de leur couverture au sol, le nombre de parcelles à lever par classe a été arrêté. 1544 parcelles en tout ont été inventoriées en Avril – Mai 2017. Pour chaque parcelle, une fiche d'informations liées aux cultures présentes, au sol, au mode d'irrigation et aux pratiques culturales a été renseignée

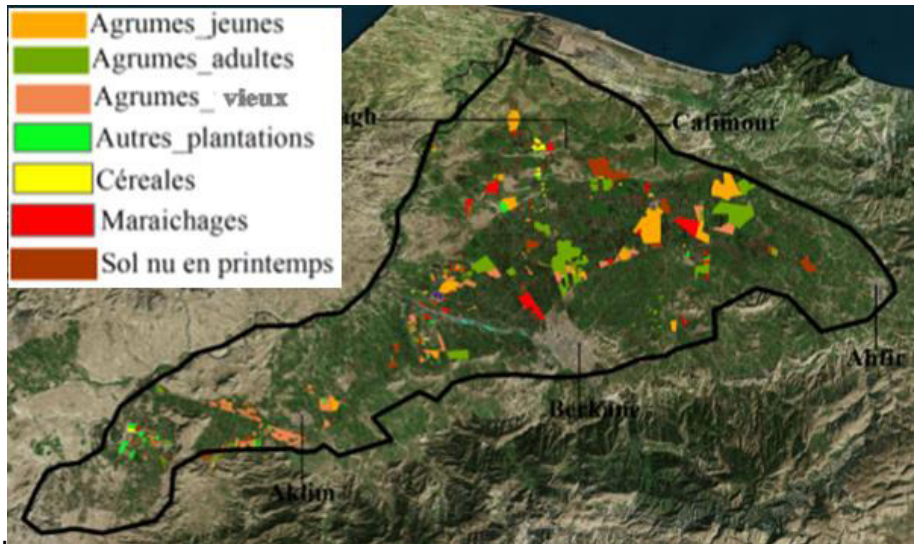

Figure 3. *Répartition spatiale des parcelles enquêtées et leurs classes d'occupation du sol. Le trait noir délimite la Plaine de Trifa, zone de la présente étude. La couche géographique présentant cette limite a été utilisée pour extraire la zone d'étude des images satellitaires.*

4. MÉTHODE

La figure 4 explique la chaine de traitements développée pour obtenir les cartes d'occupation du sol et des agrumes de référence. Après prétraitement des données, 13 configurations de classification ont été implémentées. La justification et le détail de chacune d'entre elles sont fournis ici-bas. Les cartes finales sont obtenues après avoir post-traité le résultat de classification optimal en termes d'exactitude et d'exhaustivité de la classification, mesurée par la f-meure (Elmansouri, 2014).

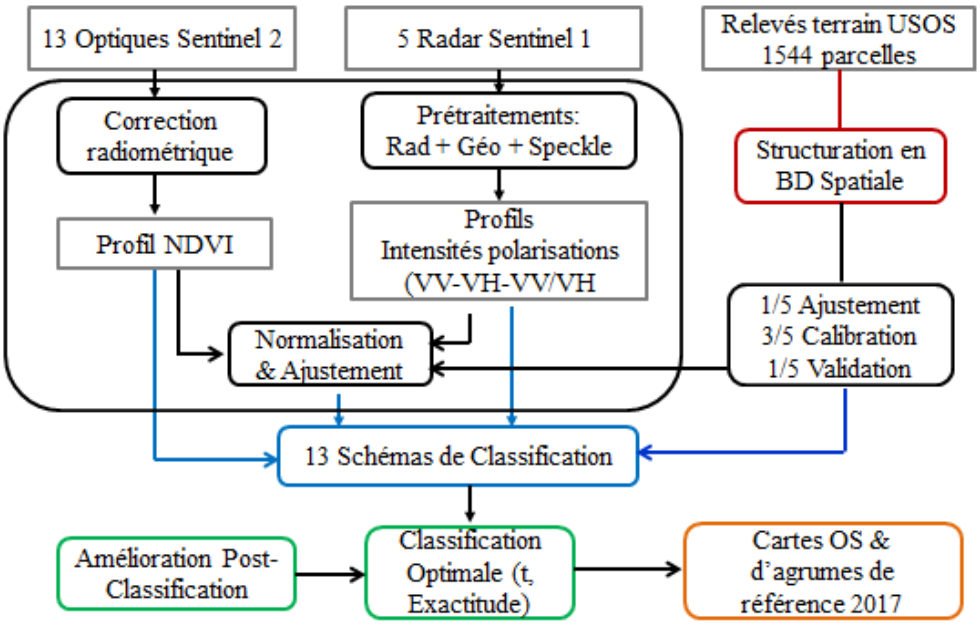

Figure 4. Chaine de traitements développée pour obtenir les cartes d'occupation du sol et des agrumes de référence

4.1 Prétraitement des données

Les 13 images Sentinel 2 (10m de résolution spatiale) sont de deux niveaux de traitement. Les 2 A et les 1 C. Les premières qui sont orthorectifiées ont été directement injectées dans les calculs. Les secondes (20m de résolution spatiale) ont nécessité une correction atmosphérique. Les prétraitements appliqués aux images radar consistent en 4 opérations : (1) application d'un fichier d'orbite pour raffiner , (2) étalonnage radiométrique des comptes numériques des pixels en les transformant en valeurs de coefficient de rétrodiffusion, (3) réduction du chatoiement (effet poivre et sel) par filtrage de Lee et (4) correction géométrique basée sur un modèle numérique du terrain à 30m de résolution spatiale. Les images initialement projetées en UTM WGS 84 ont été re-projetées dans le système Marocain Merchich Nord. L'implémentation de l'ensemble de ces corrections est faite sous l'outil SNAP (ESA, 2018).

Les 1544 parcelles collectées sur le terrain ont été structurées en couche d'information géographique. Des problèmes liés au calage géométrique entre la couche et les images, la présence de polygones mixtes (culture + bâti + sol nu), la variation intra-parcelle et les chevauchements inter-objets ont été résolus manuellement.

Le NDVI a été dérivé à partir de chaque image optique. Les indices de rétrodiffusion σ°_{VH} et σ°_{VV} et $\frac{\sigma^{\circ}_{VH}}{\sigma^{\circ}_{VV}}$ ont été calculés à partir des images Sentinel-1.

4.2 Méthode de classification retenue

Les images à haute résolution couvrant des scènes agricoles à haute texture se caractérisent par une variance locale élevée, rendant peu efficace les classificateurs conventionnels et les approches basées pixel. Les classificateurs dits avancées basés sur l'apprentissage inductif paraissant mieux adaptés au traitement de ce type d'images, surtout une fois combinés à une analyse d'image orientée objet (Elmansouri, 2013 ; 2014). Une évaluation des SVMs (Vapnick, 95) avec ou sans analyse par objet a été privilégiée dans cette étude (Figure 5).

Le protocole méthodologique intègre un design de 13 classifications supervisées dont une est prise pour la référence. Elle s'opère, à chaque pixel, sur le profil temporel du NDVI par l'algorithme classique du MV. Dans les 12 autres scénarii de classification, on a intégré à tour de rôle, les SVMs, l'orientée objet et les bandes de polarisation Radar. La littérature nous a permis de cibler les indices les plus favorables à la discrimination des différents types de classes d'occupation du sol considérées. Au-delà d'un objectif de recherche s'attelant à évaluer l'apport et la contribution de chaque intervenant dans la classification ; à savoir : l'approche, le classificateur et les attributs, et la mise en évidence de l'inefficacité des méthodes classiques dans le contexte végétal, notre objectif opérationnel ici est d'optimiser le résultat de la classification en termes d'exactitude mais aussi d'assurer une reproductibilité des traitements. Pour la mise en œuvre des procédures de traitements, une démarche ascendante a été appliquée. Elle consiste à évaluer l'algorithme de classification en premier temps, suivi de l'approche et finalement des bandes utilisées. Le tableau 1 explique le schéma de chaque classification. Le schéma classificatoire adopté est celui qui maximise la F-mesure (Elmansouri, 2014) sur l'échantillon de validation.

Tableau 1. Les 13 schémas de classification testés dans cette étude. L'Astérix indique le schéma utilisé comme référence (schéma numéro 1).

Schéma / Number	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Classification ML	+												
Classification SVM		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Basée pixel	+	+											
Orientée Objet			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Optique (NDVI)	+	+	+										
Radar (VV)				+									
Radar (VH)					+								
Radar (VV/VH)						+							
NDVI + VV							+						
NDVI + VH								+					
NDVI + VV/VH									+				
NDVI + VV+VH										+			
NDVI + VV+VV/VH											+		
NDVI + VH+VV/VH												+	
NDVI + VV+VH+VV/VH													+

5. RESULTATS ET DISCUSSIONS

5.1 Comparaison des 13 schémas de classification

La figure 5 compare la F-mesure en (%) des 13 schémas de classification testés dans cette étude. Le schéma de référence où on classifie le profil temporel NDVI en approche basée pixel et moyennant le MV réalise une exactitude de 51%. En utilisant les SVMs à la place du MV, l'exactitude s'améliore de 12%. En intégrant davantage l'orienté objet dans le processus, l'exactitude avoisine les 72%, soit une contribution de 9%. En tout une amélioration de 20% est atteinte due à l'analyse de l'image en orientée objet et par SVMs. Dans le cas où on classifie les bandes radar seules en orientée objet et par SVMs, l'exactitude maximale obtenue ne dépasse pas les 62%. Il est à noter aussi que ce sont les bandes VH qui sont les plus appropriées à discriminer les types de plantations. Sur les 13 processus, l'exactitude maximale est de 80%. Elle est réalisée quand le processus s'opère par objet sur un profil temporel composé des NDVI et des bandes VH et en utilisant les SVMs. C'est cette configuration de classification qui sera retenue pour la génération des cartes d'occupation du sol et des agrumes de référence pour l'année 2017.

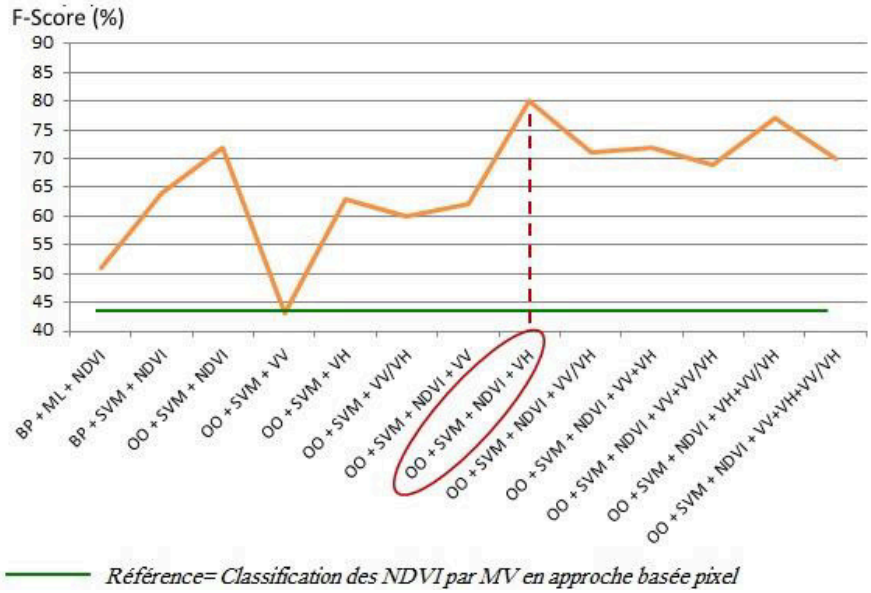

Figure 5. *Comparaison des 13 schémas de classification en termes de l'indicateur F-mesure .*

5.2 Analyse de la carte d'occupation du sol de référence

La figure 6 montre le résultat de la carte d'occupation du sol obtenue à partir du schéma classificatoire retenu. Une première analyse visuelle de cette carte montre une distinction claire entre les zones agricole et les zones urbaines. Ces dernières (en noir sur la carte) correspondent aux villes de Berkane et Ahfir ainsi qu'aux centres des communes de Cafimour, Madagh et Aklim. On note également que les routes qui lient les différents centres urbains de la zone étudiée sont très bien détectées par la méthode sélectionnée (voir le zoom en haut à gauche de la carte).

En ce qui concerne les zones agricoles, on constate que les différentes cultures sont très bien classées : Les agrumes et les maraichages sont concentrés dans le périmètre irrigué limité grossièrement au sud par la ville de Berkane, à l'Est, par la commune de Cafimour, au nord, par la commune de Madagh, et qui s'étend vers le sud-ouset de la commune de Aklim. Les céréales sont détectées dans les zones hors du périmètre irrigué, principalement dans le triangle entre les villes de Berkane, Ahfir et la commune de Cafimour. Certains bassins d'accumulation d'eau d'irrigation dont la taille est suffisamment grande sont également bien repérés par la méthode de classification choisie.

Si on se concentre sur les agrumes, on remarque qu'ils sont concentrés à l'intérieur des limites du périmètre irrigué de la plaine de Trifa, délimité grossièrement dans la section précédente. Leur superficie obtenue est de 18900 ha contre les 19800 ha déclarés officiellement par l'ORMVAM en 2017. Cette sous-estimation, d'environ 5%, est due à la confusion des agrumes, notamment les très jeunes avec les autres types de cultures maraichages, puis que les agriculteurs de la région adoptent souvent la pratique des cultures entre les lignes des nouvelles plantations d'agrumes pour rentabiliser au maximum leurs terrains.

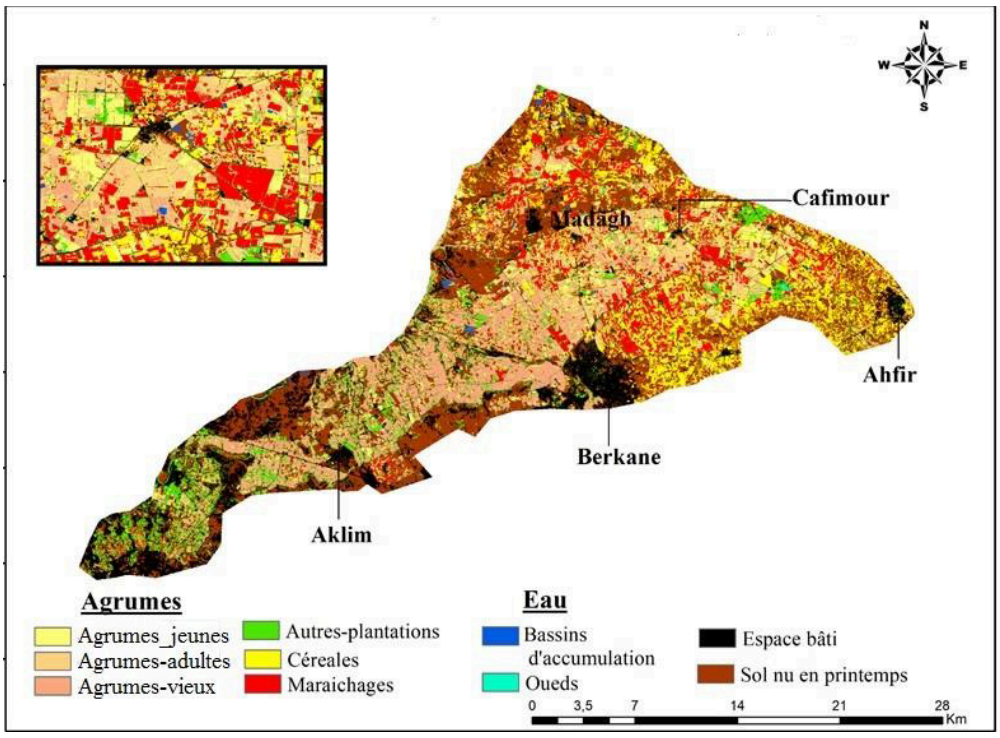

Figure 6. *Carte d'occupation de la plaine de Trifa en 2017.*

5.3 Carte d'agrumes dans la plaine de Trifa

Un autre résultat probant de ce travail concerne l'âge des vergers d'agrumes dans la plaine de Trifa (figure 6). L'analyse des résultats relatifs à l'âge des arbres fait ressortir deux chiffres importants : le premier est que presque 9500ha des plantations d'agrumes (50%) sont âgées de plus de 35 ans tandis que le deuxième informe sur le fait que 6000ha des plantations d'agrumes (31.7%) sont âgées de moins de 11 ans. La première information tire la sonnette d'alarme sur le vieillissement des plantations agrumicoles dans la zone d'étude, déjà confirmée par les statistiques de l'ORMVAM, tandis que la deuxième information renseigne sur la vitesse de l'extension et du renouvèlement du patrimoine agrumicole dans la zone d'étude.

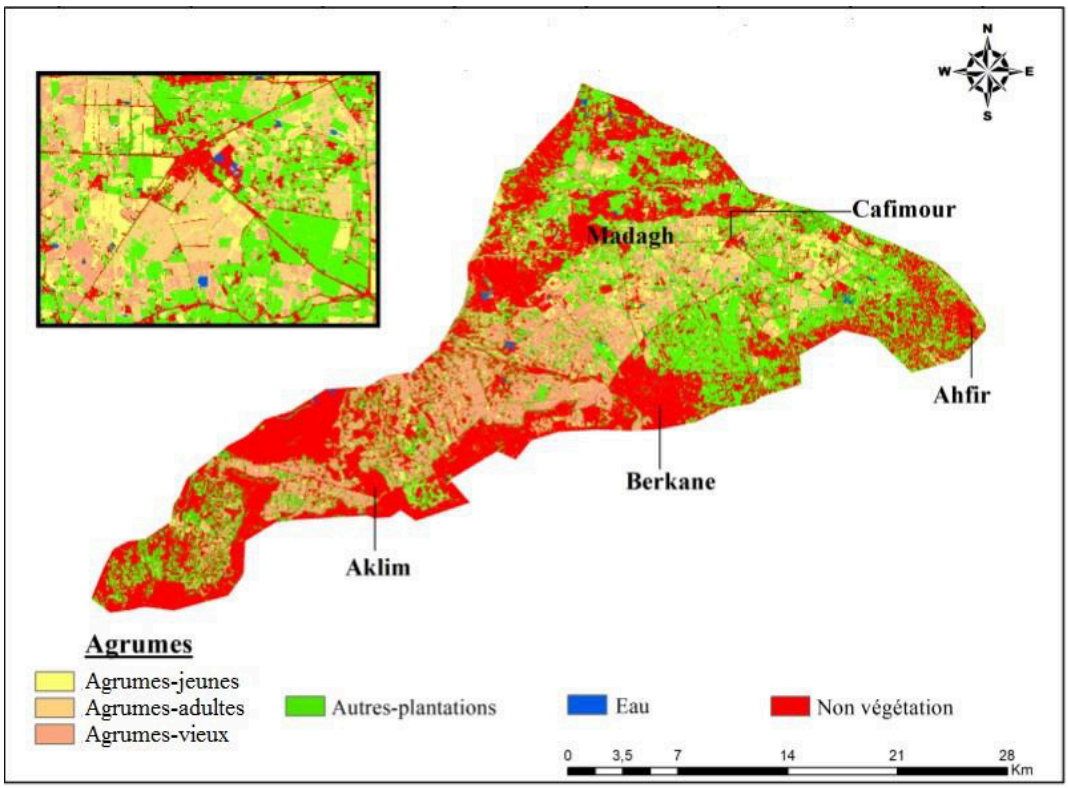

Figure 7. *Carte des agrumes stratifiée selon l'âge des plantations dans la plaine de Trifa en 2017.*

5.4 Conclusion et perspectives

Une procédure optimisée de cartographie des cultures à partir d'une combinaison d'images gratuites radar et optique est mise en place. Le processus de classification développé assure des cartes à une fiabilité de 80%. Le processus est objectif et indépendant. Il peut être transférable à d'autres contextes avec minimum d'actions d'adaptation. Une limitation liée à la détection des très jeunes plantations est ressortie. Ce point peut être amélioré avec une intensification de la donnée image par de la très haute résolution spatiale. Par ailleurs, les premières cartes dérivées de ce processus : l'occupation du sol, la carte d'agrumes et la carte d'agrumes stratifiés selon l'âge des plantations concernent l'année 2017. Une remise à jour de ces cartes est à prévoir à une fréquence adéquate aux besoins du suivi spatio-temporel de la filière des agrumes dans la région. L'application de la méthode développée dans les autres périmètres irrigués du Maroc permettrait un bon suivi de ces périmètres et pourrait aider significativement dans leur gestion.

6. REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet de recherche développement MCRDV_2016-2019 (Mécanisme Compétitif de Recherche Développement et Vulgarisation au Maroc), financé par le Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, Développement Rural et des eaux et Forêts (MAPMDREF), et cordonné conjointement par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) et l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV H2). Nous remercions l'ensemble de l'équipe associée au projet ainsi que nos partenaires régionaux, principalement l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Moulouya (ORMVAM) et l'Office National du Conseil Agricole (ONCA) de la région de l'Oriental).

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

ORMVAM, (2017). Potentialités agricoles de la

région de l'Oriental, monographie.

ORMVA-Moulouya, USAID, (2012). Compétitivité économique du Maroc : enquête sur les superficies cultivées dans le périmètre irrigué de la Moulouya.

MAPMDREF, 2018. Agriclture en chiffre au Maroc. Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, Développement Rural et des eaux et Forêts. 72p.

Hadria R., Elmansouri L., Benabdelouahab T., Ceccato P., (2018). Geospatial technics, modelling, meteorological and ground data for crop management in semi-arid zones of Morocco. Chapter in the book : Geospatial Technologies for Effective Land Governance. (pages 107-123). DOI: 10.4018/978-1-5225-5939-9.ch007.

Hadria R., Duchemin B., Jarlan L., Bouvet A., Dedieu G., Baup F., Khabba S., Olioso A. (2010). Potentiality of optical and radar satellite data at high spatio-temporal resolutions for the monitoring of irrigated wheat crops in Morocco. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 12S, S32–S37: (DOI : 10.1016/j.jag.2009.09.003).

Hadria R., Duchemin B., Baup F., Le Toan T., Bouvet A., Dedieu G., Le Page M., (2009). Combined use of optical and radar satellite data for the detection of tillage and irrigation operations: Case study in Central Morocco. Agricultural Water Management, 96, 1120–1127.

El Mansouri L., Lahssini S., Hadria R., Eddaif N., Benabdelouahab T., Dakir A. (2018) Time Series Multispectral Images Processing for Crops and Forest Mapping: Two Moroccan Cases. Chapter in the book : Geospatial Technologies for Effective Land Governance. (pages 83-106). DOI: 10.4018/978-1-5225-5939-9.ch006.

Benabdelouahab T., Benabdelouahab T., Lionboui H., Hadria R., Balaghi R., Boudhar A. Tychon B., (2018). Support Irrigation Water Management of Cereals Using Optical Remote Sensing and Modeling in a Semi-Arid Region. Chapter in the book : Geospatial Technologies for Effective Land Governance. (pages 124-245). DOI: DOI: 10.4018/978-1-5225-5939-9.ch008.

El Mansouri L(2013). Object-based approach and Tree-based ensemble classifications for mapping Building changes. IARIA, Nice, France, Mars (2013).

El Mansouri L(2014). Une approche basée objet combinée avec les classificateurs avancés (SVM, RF, Extra Trees) pour la détection des changements des bâtiments. La revue internationale de Géomatique, Février 2014.

Vapnik V. N. (1995). The nature of statistical learning theory, Springer-Verlag New York, Inc.

AZUD, (2018). http://www.azud.com/fr/irrigation/cultures/agrumes.aspx

ENSG, (2018). Jean-Paul Rudant. http://cours-

fad-public.ensg.eu/course/view.php?id=116

ESA, (2018). Guide d'utilisateurs. https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides

GDTA, (1991). Groupement pour le développement de la Télédétection. Note de cours: http://ceos.cnes.fr:8100/cdrom-00/ceos1/science/baphygb/conclu_f.htm

Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts (2014). http://www.agriculture.gov.ma/pages/lirrigation-au-maroc.

7. TERMES CLES ET DEFINITIONS

Télédétection : est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur une surface imagée (y compris la terre, l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci

Radar : (de l'anglais radio detection and ranging) est un système qui utilise les ondes électromagnétiques pour détecter la présence et déterminer la position ainsi que la vitesse d'objets. Les ondes envoyées par l'émetteur sont réfléchies par la cible, et les signaux de retour (appelés *écho radar* ou *écho-radar*) sont captés et analysés par le récepteur.

Télédétection Optique: c'est l'observation par radiomètre ou caméra dans le domaine du visible du spectre électromagnétique (Bleu – Vert – Rouge).

View publication stats