

APPORT DES SIG À L'ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE L'AGROSYSTÈME D'UNE GRANDE EXPLOITATION CONDUITE EN MILIEU SEMI-ARIDE (TUNISIE)

KHEBOUR-ALLOUCHE Faiza^{1*}, ROMDHANE Ahmed², SLIM Slim²,
M'SADAK Youssef^{1*}

⁽¹⁾Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, Tunisie

⁽²⁾Université de Carthage, École Supérieure d'Agriculture de Mateur, Tunisie

E-mail: allouchekhebour@yahoo.fr / msadak.youssef@yahoo.fr

(Received 28 August 2017– Accepted 21 November 2017)

Résumé.- *L'étude de l'organisation spatiale et temporelle des cultures au sein d'un paysage agricole a divers impacts environnementaux, et l'organisation de la mosaïque des cultures peut constituer un levier d'action au niveau du paysage pour gérer différentes questions environnementales. Toutefois, l'utilisation des nouvelles technologies à savoir les SIG constituent un outil efficace de traitement des données et de leur analyse spatiale. C'est dans cet objectif que ce travail est proposé, en vue de caractériser l'organisation spatiale du système de production agricole et sa dynamique temporelle entre 2011 et 2017 d'une grande exploitation conduite dans la Tunisie littorale semi-aride. La cartographie de l'occupation du sol de la zone d'étude a permis de localiser les deux grandes orientations de production : grandes cultures ; polyculture-élevage bovin-ovin et de déterminer la diversité de la distribution spatiale des différents types d'occupation du sol. 843,93 ha situés côté nord sont occupés par l'olivier, l'amandier et des parcours avec 51,67 ha des cultures sous serre. Les cultures situées côté sud sont marquées par une variation dans la répartition spatiale des cultures plus importante. Par ailleurs, l'analyse spatiale de quelques critères d'évaluation du système de culture adopté a souligné la présence d'un risque de salinité de l'eau d'irrigation qui peut nuire au rendement des cultures. Quant au système d'élevage, le résultat de l'analyse montre que malgré que cette exploitation assure une sécurité alimentaire, le rendement du système d'élevage demeure insuffisant et ceci revient aux défaillances de la conduite suite, entre autres, à une hygiène non conforme aux normes.*

Mots clés : *Système de production, SIG, analyse spatiale, dynamique temporelle, cartographie, littoral semi-aride.*

CONTRIBUTION OF GIS IN THE STUDY OF THE SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF AGROSYSTEM OF A LARGE FARM IN A SEMI-ARID ENVIRONMENT (TUNISIA)

Abstract.- *The study of the spatial and temporal organization of cultures within an agricultural landscape has various environmental impacts, and the organization of the mosaic of cultures can be a lever of action at the landscape level to manage different environmental issues. However, the use of new technologies, namely GIS, is an effective tool for data processing and spatial analysis. It is for this purpose that this work has been proposed, in order to characterize the spatial organization of the agricultural production system and its temporal dynamics between 2011 and 2017 of a large exploitation conducted in semi-arid coastal Tunisia. The mapping of land use in the study area made it possible to locate the two major production orientations: field crops; multi-crop-cattle-sheep farming and to determine the diversity of the spatial distribution of different types of land use. 843.93 ha located on the north side are occupied by olive, almond and rangelands with 51.67 ha of greenhouse crops. The crops on the south side are marked by a larger variation in the spatial distribution of crops. In addition, the spatial analysis of some evaluation criteria of the cropping system adopted has highlighted the presence of a risk of salinity of the irrigation water which can affect crop yields. As for the farming system, the result of the analysis showed that, despite the fact that this farm ensures food security, the performance of the breeding system remains insufficient and this amounts to the failure of the operation, following, among other things, hygiene not in accordance with standards.*

Key words: *Production system, GIS, spatial analysis, temporal dynamics, cartography, semi-arid coastal.*

Introduction

L'occupation des terres est une variable fondamentale pour la planification régionale ainsi que pour l'étude et la compréhension de l'environnement [1]. Cette thématique est devenue incontournable dans la plupart des inventaires cartographiques et de suivi des phénomènes environnementaux [2]. Le suivi des espaces cultivés dans les zones semi-arides et les Périmètres Publics Irrigués (PPI) du territoire Tunisien s'est imposé comme une priorité pour les décideurs politiques comme pour les scientifiques, suite aux changements climatiques. Dans ce cadre, le recours aux Systèmes d'Information Géographiques (SIG) et aux images offertes par *Google Earth*© s'avère indispensable.

Les techniques de la télédétection et des SIG ont été utilisées depuis les années «90», pour cartographier les dynamiques et fournir un outil d'aide à la décision surtout en matière d'aménagement du territoire et de gestion des terres agricoles. La télédétection offre une méthode sûre et efficace de collecte d'informations dans le but de cartographier le type et de chiffrer la superficie des cultures. En plus d'offrir une vue synoptique, la télédétection peut fournir de l'information sur la structure et la santé de la végétation. La réflectance spectrale d'un champ varie selon le stade phénologique (stade de croissance), le type de plantes et leur état de santé. Les micro-ondes sont sensibles à l'alignement, la structure et la quantité d'eau présente dans les plantes et dans le sol, et peuvent fournir de l'information complémentaire aux données optiques. L'intégration de ces deux types de données augmente l'information disponible pour distinguer la signature spectrale de chaque classe et permet donc une classification plus juste [3]. Les résultats de l'interprétation des données de télédétection peuvent être intégrés dans un SIG et dans un système de gestion des cultures, et peuvent aussi être combinés à des données auxiliaires pour fournir de l'information sur les droits de propriété, les pratiques de gestion, Néanmoins, de nombreuses études utilisent la télédétection pour la cartographie et le suivi des systèmes agricoles à l'échelle régionale ou globale. Dans ce cas, les images sont de résolution spatiale moyenne à basse, offrant une haute répétitivité temporelle, et donc la possibilité d'un suivi précis dans le temps [4].

Les SIG regroupent différentes méthodes et techniques informatiques, permettant de modéliser, de saisir sous forme numérique, de stocker, de gérer, de consulter, d'analyser, de représenter des objets ou des collections d'objets géographiques, avec la particularité essentielle de prendre en compte les caractéristiques spatiales de ces objets au même titre que les attributs descriptifs qui y sont attachés [5,6]. Un SIG est un outil qui permet de rassembler diverses données « relatives à la fois à la terre et à l'homme, à leurs interactions et leurs évolutions respectives » [7]. Cet outil permet de faire le lien entre des thématiques différentes, à condition d'avoir un point commun d'ordre spatial [8]. Le SIG est conçu pour répondre à des besoins précis « qui déterminent une modélisation finalisée du monde réel » [9]. Il permet de saisir, gérer, analyser des données de référence spatiale et d'en faire une présentation sur des cartes plus ou moins réalistes de l'environnement spatial, en se basant sur des objets géographiques, comme les polygones, les lignes et les points, auxquels sont associées des données qualitatives, telles que les caractéristiques naturelles. De même, le SIG facilite l'intégration de diverses données hétérogènes. Il admet ainsi de stocker, visualiser, manipuler et afficher toute une gamme d'informations basées sur la géographie [10].

L'information combine des données géométriques et thématiques, dont chaque thème est représenté par une couche, qui rassemble un ensemble d'objets homogènes (parcelles,

routes, population, ...), associant la représentation cartographique des objets spatiaux et la table d'informations statistiques. Par ailleurs, l'information géographique peut être représentée dans le logiciel sous forme de couches d'informations différentes superposables et reliées les unes aux autres par leurs coordonnées géographiques. Ainsi, cette information géographique est géo-référée possédant une référence spatiale numérique (X, Y, Z). Elle est thématique puisqu'elle nous renseigne sur un domaine thématique particulier (environnement, répartition territoriale, occupation du sol, parcelles agricoles, ...) et visualisable sur une carte. Enfin, ce système n'est pas uniquement utile à la cartographie, il s'agit d'un outil capable de structurer l'information géographique, qui peut être repris par plusieurs chercheurs en fonction de leurs propres recherches. D'après LAARIBI (2000), l'analyse spatiale est une analyse qui touche aux attributs descriptifs des objets, à leur localisation et leur forme (attributs géométriques), ainsi qu'à leur topologie (connectivité) [11]. Toutes ces opérations tirent parti de la distribution spatiale des objets ou des phénomènes sur le territoire, soit pour de simples analyses géométriques et arithmétiques, soit pour des opérations relativement plus sophistiquées relatives à des calculs d'optimisation ou de simulation. Plus récemment, CALOZ (2012) a souligné que le concept d'analyse spatiale représente les méthodes et les opérateurs, associés aux SIG, exploités pour modéliser l'espace géographique en base de données, pour extraire des informations, pour dériver des informations synthétiques et pour identifier les relations fonctionnelles entre entités ou phénomènes [12]. Les SIG offraient ainsi l'outil informatique adéquat pour effectuer d'importants calculs, tandis que l'analyse spatiale renferme un ensemble de méthodes susceptibles de mettre en valeur les bases de données géographiques. Il existe plusieurs méthodes d'analyse spatiale telles que celles rapportées par LEROUX (2016), à savoir : l'Interpolation par Triangulation Irrégulière (TIN) et la Pondération Inverse à la Distance (IDW) [13].

Les informations concernant l'évolution de l'occupation ou utilisation des sols intégrant la dimension temporelle présentent un intérêt majeur pour les politiciens (qui évaluent les décisions touchant à la terre) et pour la communauté scientifique (qui découvre les causes sous-jacentes et les conséquences). Ces informations prennent une dimension beaucoup plus intéressante à travers l'analyse, l'identification et la description du processus en cours. Dans cette intention, l'occupation du sol dans les différentes régions a été cartographiée et caractérisée à plusieurs reprises et de nombreux pays ont mis en place une sorte de système de surveillance des terres [14]. Les SIG facilitent le suivi des changements d'occupation et d'utilisation du sol. Par exemple, l'intégration des résultats issus de traitements des images satellitaires donne la possibilité de faire des interprétations et des synthèses avec d'autres sources de données. Le SIG sera alors utilisé comme outil de synthèse et d'analyse [15]. La cartographie est l'un des moyens de restitution des résultats issus des différents traitements sous SIG. Qu'elles soient simples ou complexes, les cartes relèvent d'une démarche scientifique spécifique. Cette démarche, doit être efficace et la plus objective possible; elle exige l'application d'un certain nombre de principes et l'apprentissage du langage de la sémiologie graphique [16,17].

L'objet de ce travail de recherche, est de montrer l'utilité des images issues de Google Earth© pour produire des cartes d'occupation du sol en irrigué (PPI) de l'Agro-combinat Enfidha relevant de l'Office des Terres Domaniales (OTD). L'analyse des variations spatio-temporelles des changements d'états des paysages agraires grâce à l'outil SIG nous permettra de caractériser le système de production du PPI et son organisation spatiale. De plus, le résultat de l'interpolation de quelques critères physiques nous aidera, d'une part, à interpréter les changements, et d'autre part, à mieux gérer les questions

environnementales locales.

1.- Matériels et méthode

1.1.- Zone d'étude

Le gouvernorat de Sousse, relevant du Sahel tunisien (littoral semi-aride), est localisé au centre-est de la Tunisie et s'étend sur 2669 km² soit environ 1,7% de la superficie totale de la Tunisie. Il est situé à 143 km de la capitale Tunis et limité par cinq gouvernorats: Nabeul et Zaghouan côtés nord et nord-ouest, Kairouan à l'ouest, Monastir et Mahdia au sud et au sud-est. La mer méditerranée délimite cette région côté est sur une longueur de 75 km. Le gouvernorat de Sousse comprend 16 délégations, 16 communes et 8 conseils ruraux [18]. La figure 8 montre que la délégation d'Enfidha occupe la plus grande superficie et détient 14,6% de la superficie totale du gouvernorat de Sousse suivie par celle de Sidi El Hani avec 13,8% et M'Saken 12,7%. La zone d'étude est relative à l'agro-combinat Enfidha (appartenant à l'OTD) étendue dans la délégation d'Enfidha. Cette dernière se localise à environ 35 km de Hammamet, 43 km de Sousse et 99 km de Tunis et s'étend sur 389 km² constituant un important centre de commercialisation des produits agricoles.

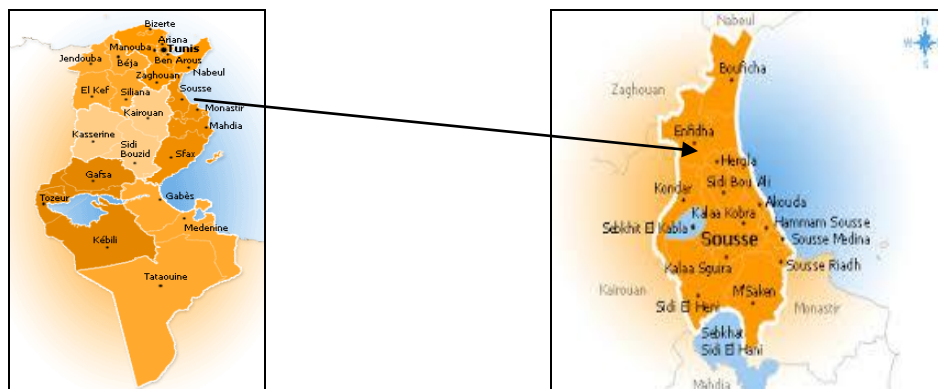


Figure 1.- Localisation géographique du gouvernorat de Sousse (Tunisie littorale semi-aride)

La région du Sahel tunisien est soumise à un climat méditerranéen littoral caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. La région d'Enfidha appartient, en grande partie, à l'étage bioclimatique semi-aride. La topographie est marquée par une altitude croissante du côté est vers l'ouest ne dépassant pas les 400 m d'altitude. C'est une zone basse largement ouverte vers la mer. Sa structure géologique se caractérise par une succession d'ondulations synclinales qui donne de larges plaines. Ces zones sont à forte activité humaine dans le domaine agricole et particulièrement la céréaliculture et l'arboriculture. Les parcours se limitent aux montagnes et aux dépressions salées. La région d'Enfidha constitue un espace composé de plaines et de collines interrompues par de nombreuses dépressions «Sebkhas» collectant les eaux de ruissellement qui n'aboutissent pas à la mer, dont l'écoulement endoréique par des oueds, à cause de l'évaporation et de l'infiltration. Toutes les eaux provenant des zones voisines à l'ouest sont partiellement emmagasinées dans ces dépressions et le reste est infiltré pour alimenter les nombreuses nappes souterraines qui sont à l'origine du développement d'une agriculture irriguée [18].

Les oliviers et les céréales (blé/orge) prédominent dans toute la région et occupent presque l'ensemble des superficies agricoles chaque année, suivis par les cultures de

légumineuses. L'assolement usuellement pratiqué dans la zone est bisannuel avec jachère pâturée. Les principales cultures maraîchères sont la fève, la blette, la courge, le fenouil, tomate, Les places réservées aux légumineuses sont négligeables. Elles sont surtout rencontrées sous les oliviers (en intercalaire). Les agriculteurs de cette région n'utilisent pas de variétés céréalières à haut rendement, mais ils utilisent surtout les variétés locales qui sont moins exigeantes et assurent un maximum de sécurité pour l'alimentation de la population locale et régionale [19, 20].

1.2.- Méthodologie

Les bases de données relatives annuelles sur les systèmes de culture et d'élevage ont été récupérées du service Bureau de Gestion de l'OTD Enfidha sur une période de cinq années, de la campagne 2011-2012 à la campagne 2015-2016. L'élaboration des cartes thématiques est basée sur les couches vecteurs de la carte agricole du gouvernorat de Sousse [21]. La démarche méthodologique est basée sur le découpage des différentes couches vectorielles du gouvernorat, à savoir: courbe de niveau, pédologie, réseau hydrographique et usage du sol de l'OTD Enfidha, en utilisant l'outil de géotraitement. Le logiciel utilisé, est Quantum GIS (1.8.0) qui est un logiciel open-source spécialisé dans le traitement de l'information géographique qui consiste à la numérisation des cartes d'occupation du sol sur trois années 2011, 2017 et 2020, en utilisant un fond de carte Google Earth©. Quatre visites de terrain sont réalisées, à savoir le 22/03/2017, le 23/03/2017, le 27/03/2017 et le 29/03/2017 pour des prises de points GPS, utilisées pour la géolocalisation et la description du type d'occupation de toutes les parcelles de l'OTD. Un entretien auprès de l'ingénieur agronome du service Bureau de Gestion est réalisé à plusieurs reprises pour collecter des données relatives au système de culture adopté et à propos du système d'élevage pratiqué, et plus précisément, aux techniques culturales optées à l'OTD. Ces données sont correspondantes aux résultats enregistrés sur les cinq dernières campagnes agricoles. Deux phases de traitement et d'analyse sont réalisées. La première, sous *Excel*, représentée par les graphiques des données récupérées par l'OTD sur les systèmes de culture et d'élevage, et dans la seconde, on a eu recours aux fonctionnalités du logiciel *Quantum GIS 1.8*. Les SIG offrent plusieurs fonctionnalités [22]. Une première fonctionnalité consiste à améliorer l'accès aux données géographiques dans la base, ce qui consiste à organiser des indexes spatiaux et à traiter les requêtes dans ces indexes. Ainsi, différentes étapes sont réalisées à savoir : *i*) la numérisation des parcelles et des différents types d'occupation du sol, qui est basée sur l'analyse visuelle des couleurs, tons et texture de l'image satellite ; *ii*) fusion des entités ayant le même type d'occupation ; *iii*) utilisation de la requête de calcul pour calculer la superficie des différents polygones numérisés ; *iv*) utilisation de la requête d'analyse spatiale d'interpolation, en utilisant les méthodes d'interpolation de données spatiales rapportées par LEROUX (2016) [13], et mentionnées ci-après.

- La méthode dite de « pondération inverse de la distance » (Inverse Distance Weighting, IDW) est une des méthodes d'interpolation, dites déterministes, fondées sur des fonctions mathématiques qui expriment un facteur de pondération des valeurs d'entraînement (pondération inverse de la distance). Elle calcule, pour chaque point à estimer, la moyenne des valeurs expérimentales de ses voisins, en privilégiant les points les plus proches ; les facteurs de pondération sont donc calculés proportionnellement à l'inverse de la distance: $1 \div d$. Cette méthode permet d'obtenir des grilles très rapidement, mais crée des zones circulaires autour des valeurs observées (effet « œil de bœuf »).

- La méthode d'interpolation TIN, usagée pour produire le Modèle Numérique de Terrain (MNT). Elle tente de créer une surface de triangles formés par des points voisins les plus proches. Pour ce faire, les cercles circonscrits autour des points d'échantillon sélectionnés

sont créés et leurs intersections sont connectées à un réseau de triangles non superposés et aussi compacts que possible.

L'emploi des fonds d'images satellites extraites de Google Earth© sous QGIS a permis de numériser les différents types d'occupation du sol du PPI de l'OTD Enfidha et l'utilisation des différentes requêtes spatiales pour chaque image montre l'importance des outils SIG, en termes d'apport de connaissances par des traitements automatiques.

2.- Résultats

2.1.- Caractérisation du système de production de l'OTD Enfidha

La figure 2 montre qu'au cours de ces cinq dernières années, la surface de l'arboriculture est presque la même. Il est noté juste une légère diminution de la superficie des parcelles d'oliviers de table (23,93 ha) livrées pour des privés en 2015/2016. Par contre, il est remarqué une augmentation des superficies des cultures fourragères, tout en réduisant les superficies céréalières et maraîchères.

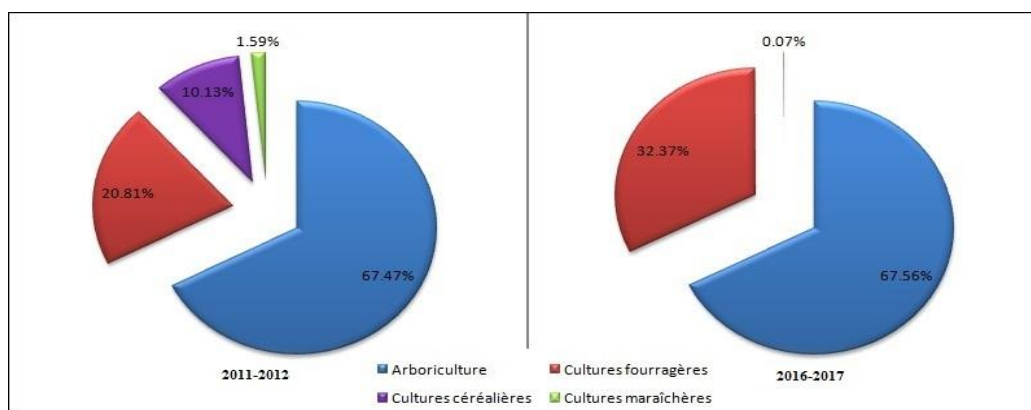


Figure 2.- Variation des pourcentages des types de culture en fonction de la SAU à l'OTD Enfidha entre les campagnes 2011-2012 (à gauche) et 2016-2017 (à droite)

Plus exactement, le tableau I montre que la culture d'orge est la plus dominante pour les deux dernières années, en raison de sa facilité de conduite et de sa souplesse d'utilisation occupant plus de 40% de la Surface Fourragère Totale (SFT) en 2016-2017. De plus, les superficies en orge, avoine, bersim et triticale ont augmenté, tandis que celles du ray-grass et de la luzerne ont diminué.

Tableau I.- Répartition des surfaces fourragères selon les espèces à l'OTD Enfidha entre les campagnes 2011-2012 et 2016-2017

Cultures fourragères	2011-2012		2016-2017	
	Surface (ha)	% de la SFT	Surface (ha)	% de la SFT
Orge	68,6308319	28,78	177,352959	49,40
Avoine	57,3742806	24,06	83,1960609	23,18
Bersim	26,4854354	11,1	28,8538917	8,03
Luzerne	29,8868575	12,53	28,8470555	8,03
Ray-grass	41,7455275	17,5	20,8418562	5,81
Triticale	14,4013702	6,03	19,9362137	5,55
Total	238,524303	100	359,028037	100

Le tableau II révèle que la superficie des graminées a presque doublé, passant de 182 ha en 2011 à 300 ha en 2016 et celles des légumineuses est à peu près constante (57 ha). D'où, on note qu'une faible superficie est consacrée aux cultures nettoyantes. Le pourcentage des légumineuses dans l'assolement est insuffisant, ce qui se répercute négativement sur la richesse du sol en élément azote, ainsi que son épuisement. Pour le cheptel vif, la ration de base est déséquilibrée (Énergie/Azote), d'où l'emploi occasionnellement excessif du concentré, ce qui engendre une augmentation du coût de production.

Tableau II.- Répartition des surfaces fourragères selon les familles à l'OTD Enfidha entre les campagnes 2011-2012 et 2016-2017

Familles	2011-2012		2016-2017	
	Surface (ha)	% de la SFT	Surface (ha)	% de la SFT
Graminées	182,15	76,5	301,32	84
Légumineuses	56,37	23,5	57,70	16
Total	238,52	100	359,02	100

Le tableau III montre que la superficie irriguée a augmenté presque de 20 ha entre 2011 et 2016, alors que la proportion en SFT a diminué pendant cette époque énormément. Malgré ce résultat, il faut noter que le système fourrager englobe au moins 20% de la surface irriguée. Ce système est relativement indépendant des conditions climatiques, de ce fait, la sécurité alimentaire du cheptel vif est bien assurée.

Tableau III.- Répartition des surfaces fourragères selon le mode de conduite à l'OTD Enfidha entre les campagnes 2011-2012 et 2016-2017

Mode de culture	2011-2012		2016-2017	
	Surface (ha)	% de la SFT	Surface (ha)	% de la SFT
Irrigué	169,89	71,3	181,67	50,6
Sec	68,63	28,7	177,35	49,4
Total	238,52	100	359,02	100

Le tableau IV dévoile que la superficie des cultures annuelles a augmenté lors de la campagne 2011-2012, passant de 200 ha à 330 ha en 2016-2017. Les espèces pérennes occupent, par contre, de faibles superficies et ne représentent que 13% et 8% de SFT respectivement pour les deux campagnes agricoles étudiées.

Tableau IV.- Répartition des surfaces fourragères selon la pérennité à l'OTD Enfidha entre les campagnes 2011-2012 et 2016-2017

Pérennité	2011-2012		2016-2017	
	Surface (ha)	% de la SFT	Surface (ha)	% de la SFT
Cultures annuelles	208,637446	87,47	330,18	91,97
Cultures pérennes	29,8868575	12,53	28,84	8,03
Total	238,524303	100	359,028037	100

2.2.- Caractérisation du rendement des cultures de l'OTD Enfidha

La figure 3 montre que le rendement du bersim lors de la campagne 2011-2012 (36,65 T/ha) est supérieur à celui de la campagne 2015-2016 (22,55 T/ha). De même, le rendement de l'avoine lors de la campagne 2011-2012 (27,89 T/ha) est supérieur à celui de la campagne 2015-2016 (13,65 T/ha), alors que le rendement de la luzerne pendant la

campagne 2011-2012 est presque le même. Pour les cultures maraîchères, le rendement du piment durant la campagne 2011-2012 (40,22 T/ha), est supérieur à celui de la campagne 2015-2016 (21,91 T/ha), tandis que le rendement de tomate lors de la campagne 2011-2012 (47,27 T/ha) est inférieur à celui de 2015-2016 (56,28 T/ha). Cependant, le rendement de ray-grass en 2011-2012 (11,82 T/ha) est inférieur à celui relevé en 2015-2016 (21,95 T/ha).

La figure 4 révèle que le rendement des oliviers d'huile en 2011-2012 (0,834 T/ha) est supérieur à celui enregistré durant 2015-2016 (0,004 T/ha). De même, le rendement des oliviers de table en 2011-2012 (0,979 T/ha) est supérieur à celui de 2015-2016 (0,358 T/ha), alors que le rendement de l'amandier lors de la campagne 2011-2012 (0,301 T/ha) est inférieur à celui de la campagne 2015-2016 (0,385 T/ha).

La figure 5 dévoile que le rendement du blé dur lors de la campagne 2011-2012 (36,85 Qx/ha) est supérieur à celui de la campagne 2015-2016 (26,71 Qx/ha) et pendant ces deux périodes, le rendement en orge a diminué.

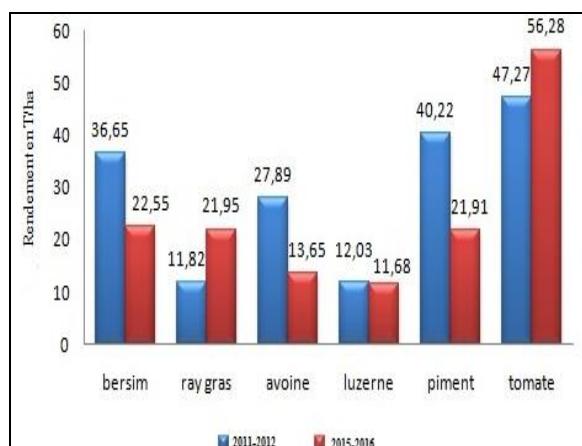


Figure 3.- Variations des rendements fourragers et maraîchers à l'OTD Enfidha entre les campagnes 2011-2012 et 2016-2017

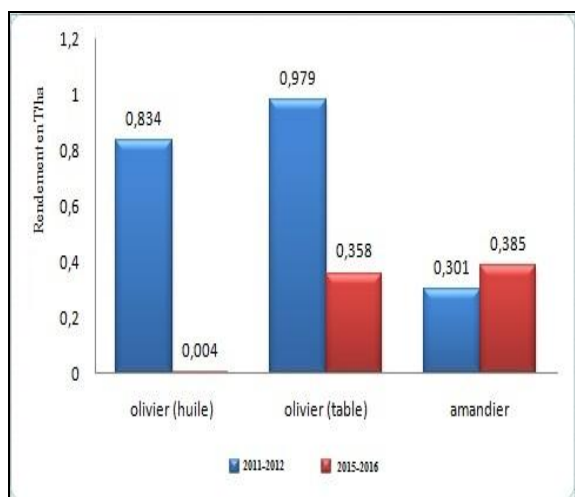


Figure 4.- Variations des rendements des cultures arboricoles à l'OTD Enfidha entre les campagnes 2011-2012 et 2016-2017

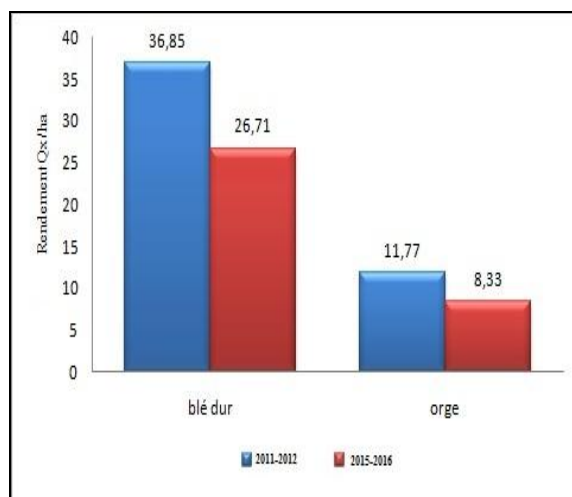


Figure 5.- Variations des rendements céréaliers à l'OTD Enfidha entre les campagnes 2011-2012 et 2016-2017

2.3.- Cartographie des changements de l'occupation du sol à l'OTD Enfidha entre 2011 et 2016

La figure 6 révèle l'organisation spatiale de l'occupation du sol de l'OTD Enfidha en 2011-2012. La distribution spatiale des différents types d'occupation du sol montre une diversité d'occupation, où l'on trouve des cultures arboricoles, maraîchères, céréalières et fourragères; des constructions et des parcours. Toutefois, la carte se subdivise en deux grandes parties: *i*) une partie nord-est qui présente une nette condensation de l'arboriculture, plus précisément, l'olivier en sec (628,15 ha) et l'olivier en irrigué côté est (125,41 ha). Ces parcelles sont interceptées ou entourées par des parcelles d'amandier côté est (19,61 ha) et par des parcours côté nord-ouest et sud-est (70,76 ha). Cette partie est aussi marquée par la présence des serres côté de 51,67 ha. *ii*) Plus au sud, se trouve la deuxième partie, qui commence par l'emplacement des zones industrielles et privées surtout côté de 97,63 ha. Au niveau de ces zones se placent quelques parcelles cultivées en blé et cultures fourragères. Plus au sud-ouest, se trouve une grande superficie de parcours naturels (504,51 ha) centrée par des cultures variées, des jachères et des bergeries.

La figure 7 montre la répartition spatiale du système de culture de l'OTD Enfidha en 2016-2017 qui se subdivise en deux parties séparées par une zone urbaine. Côté nord, on note les mêmes superficies en olivier et amandier et même celle des parcours cités précédemment (843,93 ha). Les cultures sous serre occupent (51,67 ha). De même, dans la partie sud, le bâti et les parcours occupent les mêmes superficies que celle enregistrées en 2011-2012, mais on note une variation dans la répartition spatiale des cultures.

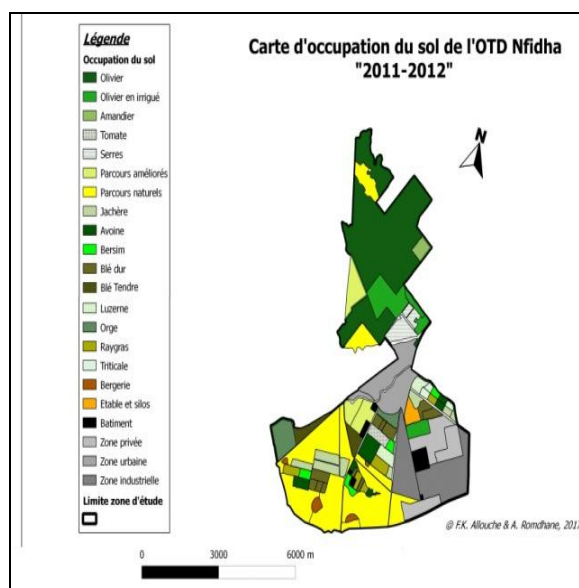


Figure 6.- Cartographie de l'occupation du sol à l'OTD Enfidha, campagne 2011-2012

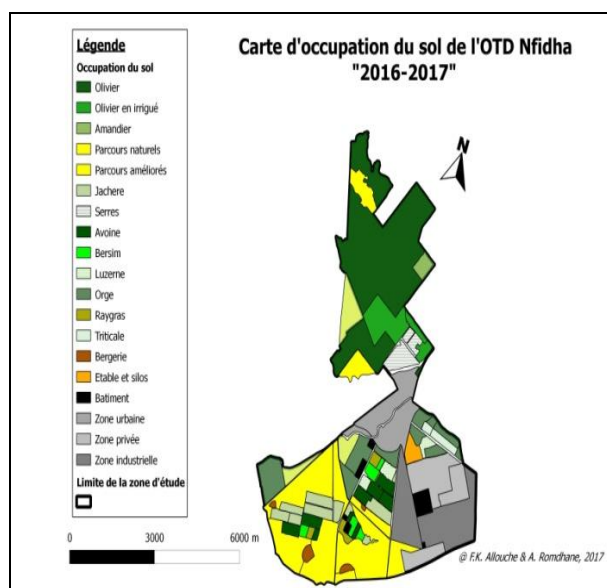


Figure 7.- Cartographie de l'occupation du sol à l'OTD Enfidha, campagne 2016-2017

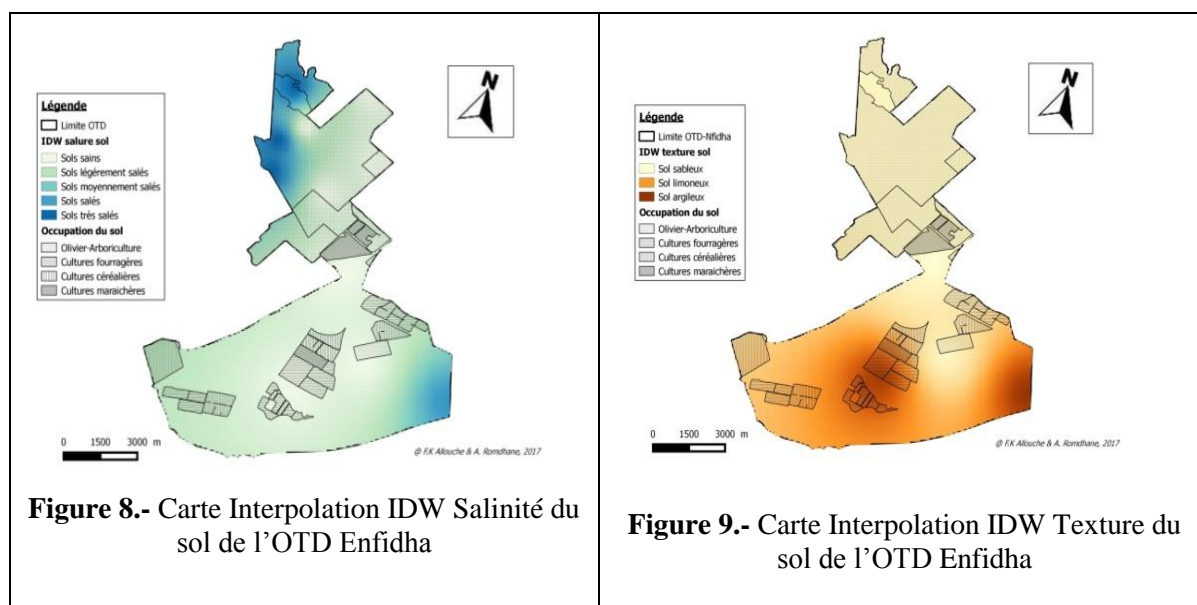
2.4.- Cartographie thématique de certains critères d'évaluation du système de culture adopté

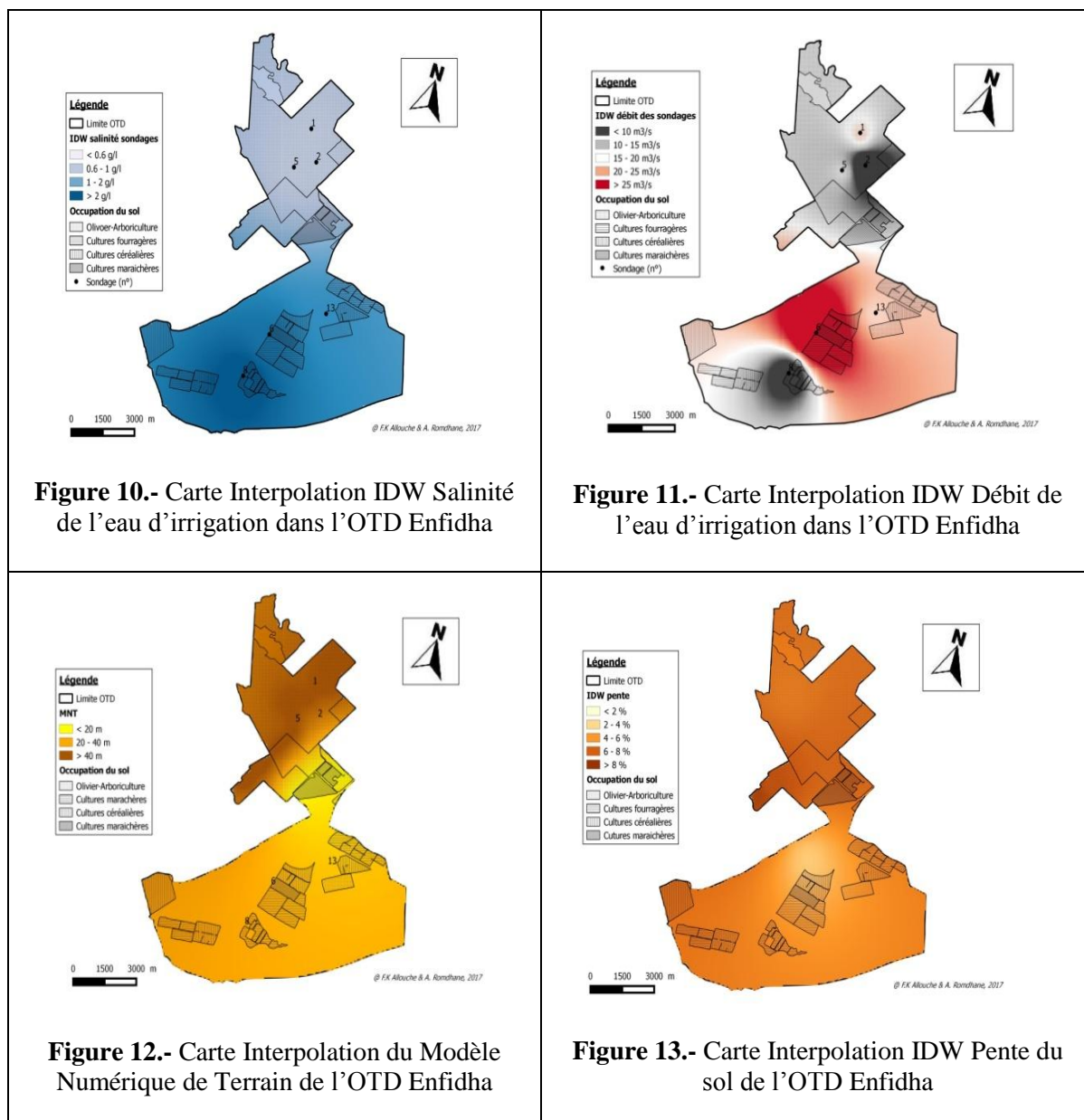
Plus de 80% du site d'étude renferme des sols sains à légèrement sains. Quelques portions situées côté nord-ouest et ouest renferment des sols salés en profondeur (figure 8). Le côté nord de l'OTD est marqué par un sol sableux à sablo-limoneux où s'installent les parcelles arboricoles, par contre, du côté opposé marqué par la diversité des cultures, le sol

est de type limono-argileux à argileux (fig. 9). La figure 10 révèle que la salinité de l'eau d'irrigation des parcelles de l'OTD Enfidha varie entre 0,6 et 3 g/l et on note un gradient croissant orienté côté nord-sud. Les parcelles arboricoles situées côté nord sont moins exposées au risque de salinité de l'eau d'irrigation, tandis que les parcelles variées du côté opposé sont plus sujettes à la salinité. Le débit des points d'eau est généralement moins faible côté nord que sud. Toutefois, on note que côté sud, le sondage N°6 possède le plus haut débit dépassant 20 m³/s, et par contre, le sondage N°8 referme le débit le plus faible. Ce débit est plus faible au niveau des parcelles d'oliveraies et plus important au niveau des cultures annuelles (fig. 11).

Concernant les critères topographiques, la figure 12 illustre que la topographie du site est faible, dépassant guère les 50 m côté nord au niveau des oliveraies. En deuxième position, les altitudes se placent au sud du site au niveau des cultures variées et des parcours. Entre ces deux zones, au centre l'altitude est la plus faible, où se placent les serres. La pente de l'OTD Enfidha varie entre 2 et 8%, les valeurs les plus importantes sont marquées au nord, au niveau des oliveraies et plus au sud, cette pente devient plus faible, d'où la présence d'un gradient décroissant nord-sud (fig. 13).

Pour le critère assolement pratiqué et d'après le service Bureau de Gestion de l'OTD, la succession des cultures et leur répartition sur le territoire de l'exploitation de l'OTD sont repérées par un découpage spatial en différentes zones redevables d'un même type de succession. Deux types de successions sont présents, d'où la conduite des cultures en deux soles: *i*) Sole 1 : assolement biennal à légumineuses à graines/ bersim/luzerne ou jachère et *ii*) Sole 2: assolement biennal à céréales/cultures fourragères.





3.- Discussion

La cartographie de l'occupation du sol à l'OTD Enfidha nous a permis de localiser les grandes orientations de production : grandes cultures ; polyculture-élevage bovin et polyculture-élevage ovin. Il est constaté que la majorité des surfaces sont consacrées à des oliveraies et des cultures fourragères. Les critères pédologiques ont montré l'adaptation des besoins de culture en type de sol, à savoir: sa texture, où les cultures annuelles cultivées sont plus tolérantes en sol argileux et les cultures arboricoles sont tolérantes en sols sablo-limoneux. De même, les critères topographiques, à savoir: l'altitude et la pente ne présentent pas un effet important sur le système agricole adopté à l'OTD, vu leur faible variabilité spatiale. Néanmoins, le critère hydrique présenté par la salinité et le débit des points d'eau d'irrigation du PPI, dévoile la présence d'un risque qui peut nuire au rendement, particulièrement, à la culture du bersim située au niveau des sondages N°6 et N°8. Presque toutes les cultures utilisées tolèrent la salinité des sondages : la luzerne peut tolérer 3,7g/l en eau, l'avoine 3 g/l, alors que le bersim ne tolère que 2g/l. Ainsi, le critère d'assolement adopté à l'OTD mérite d'être vérifié suite à la contrainte saline.

L'OTD Enfidha est un territoire où la mosaïque des cultures impacte des enjeux environnementaux localement importants liés essentiellement à:

- la quantité d'eau: il s'agit de gérer une ressource en eau pour l'irrigation de plus en plus militante dans la région;
- la qualité de l'eau : il s'agit de bien gérer la salinité des points d'eau d'irrigation ;
- la réduction des cultures semi-pérennes ou pérennes, telles que la luzerne dans un paysage dominé par les grandes cultures dégrade les milieux.

En conséquence, il faut bien veiller à préserver cette mosaïque des cultures et globalement l'organisation spatiale du paysage comprenant des constituantes végétales pérennes ou semi-pérennes qui apparaissent comme des leviers d'action privilégiés pour gérer les questions environnementales locales. Par ailleurs, il est noté que malgré que l'OTD assure une sécurité alimentaire, le rendement du système d'élevage demeure insuffisant, et ceci revient aux défaillances de la conduite, suite essentiellement à une hygiène non conforme aux normes d'élevage des bovins laitiers. Aussi, il convient de signaler l'absence de l'application de la technique de Creep Feeding pour les ovins, cette ignorance constitue une contrainte pour le développement de l'élevage ovin dans l'OTD, d'où, l'importance de la construction d'une Base de Données SIG renfermant toutes les composantes, qui aidera à mieux gérer le PPI étudié. Toutefois, d'après la stratégie 2020 prévue par l'OTD, les responsables prévoient l'augmentation des superficies en olivier et l'effectif du système d'élevage (ovin et bovin), d'où, l'augmentation des superficies fourragères au détriment des cultures céréalières. Une telle prévision non étudiée avec des supports d'analyse bien avancée risquerait d'avoir de mauvais résultats.

En définitive, signalons, à titre indicatif, que dans ce cadre thématique relatif à l'approche méthodologique basée sur la télédétection, il a été démontré que les traitements numériques d'images satellitaires multidates constituent un outil efficace pour la caractérisation, la compréhension et l'analyse des changements des faciès environnementaux intervenus entre 1986 et 2015 dans le Sud-Est du Togo [23].

Conclusion

L'objectif essentiel de cette étude relative à la dynamique spatio-temporelle des agrosystèmes était d'évaluer l'apport des outils SIG pour la caractérisation du système de production de l'OTD Enfidha (grande exploitation agricole), conduit en milieu littoral semi-aride (Tunisie). Une approche méthodologique en deux étapes a été mise en place : la première, a pour but de cartographier les types d'occupation du sol et leurs changements en 2011-2012 et 2016-2017 et la seconde, utilise l'outil d'analyse spatiale SIG, basée sur les méthodes d'interpolation, pour mieux visualiser la répartition spatiale de quelques critères d'évaluation physique (texture du sol), chimique (salinité du sol et de l'eau d'irrigation) et hydrique (débit d'eau d'irrigation) du site d'étude, à partir de l'interprétation des cartes thématiques produites.

La fusion des résultats acquis a permis de mieux expliquer le système de production de l'OTD Enfidha. Auparavant, une caractérisation technique de ce système, a admis de ressortir les principales spéculations pratiquées, tout en analysant la polyvalence (système mixte polyculture-élevage) et l'évolution des rendements obtenus.

Dans l'ensemble, ce travail pourrait servir comme document de base pour la caractérisation du système de production et le suivi de son extension spatiale, afin d'assurer un développement durable de cet agrosystème, si original.

Références bibliographiques

- [1].- Foody G. M., 2002.- Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, vol. 80: 185-201.
- [2].- Ouattara T., Dubois J. M., Gwyn J., 2006.- Méthodes de cartographie de l'occupation des terres en milieu aride à l'aide de données multi-sources et de l'indice de végétation TSAVI. *Téledétection*, vol. 6, N° 4 : 291-304.
- [3].- Centre Canadien de Télédétection., 2015.- Cartographie des types de cultures. http://www.rmcan.gc.ca/sciences-terre/geomatique/imagerie-satellitaire-photos-aeriennes/imagerie-satellitaire-produits/ressources-educatives/14650_2015-11-25
- [4].- Vintrou E., 2012.- Cartographie et caractérisation des systèmes agricoles au Mali par télédétection à moyenne résolution spatiale. Doctorat Paris Tech., 204 p.
- [5].- Laurini R., Thompson D., 1992.- *Fundamentals of spatial information systems*. The APIC Series, Academic Press, Etats-Unis, 680 p.
- [6].- Kholadi M. K., 2006.- GIS for the Desertification Detection and Follow-up in the Biskra Region , CSIT'2006: The 4th International Multiconference on Computer Science and Information Technology. Applied Science Private University, Amman, Jordan, vol. 2: 401-411.
- [7].- Denègre J., Salgé F., 1996.- *Les systèmes d'information géographique*, Paris, 1996 1^{re} éd., 2001 2^e éd. (Que-sais-je ? 3122).
- [8].- Noizet H., 2006. « Méthodologie des SIG appliqués à l'histoire urbaine », *Le Médiéviste et l'ordinateur*, 44, (Les Systèmes d'Information Géographique). <http://lemo.irht.cnrs.fr/44/histoire-urbaine.html>
- [9].- Joliveau, T., 1996.- Gérer l'environnement avec des SIG. Mais qu'est-ce qu'un SIG ? / *Managing environment with GIS But what is a GIS ?* *Revue de Géographie de Lyon*, 71 (2) : 101-110.
- [10].- Joliveau T., 2004.- *Géomatique et gestion environnementale du territoire. Recherches sur un usage géographique des SIG*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches en Sciences Humaines, Rouen, Université de Rouen; 2 vol. 504 p. + non pag. Habert E., (2000). *Qu'est-ce qu'un système d'information géographique ?*, Laboratoire de Cartographie Appliquée, IRD, France, 3 p.
- [11].- Laaribi A., 2000.- *S.I.G. et Analyse Multicritère*, Hermès Sciences, Paris, 192 p.
- [12].- Caloz R., 2012.- *SIG et Méthodes d'Analyse Spatiale*. Presses polytechniques et universitaires romandes. <http://www.ppur.org/produit/436/9782880749026/Analyse%20spatiale%20de%20lin>

[formation%20geographique%20](#)

- [13].- Michel A et Xavier E., 1999.- Estimation et interpolation de données spatiales. Méthodes déterministes et méthodes géostatistiques. Montpellier : CIRAD-TERA, 227 p.
- [14].- Observatoire du Sahara et du Sahel, 2015.- Amélioration de la résilience des populations sahéliennes aux mutations environnementales. Ed : OSS, 9 p.
- [15].- Bonn F., 1996.- Précis de télédétection ; vol. 2, applications thématiques, chapitre 13: utilisation du sol urbain et périurbain, Sainte-Foy, 478-532.
- [16].- Zanin C., Tremelo M. L., 2003.- Savoir-faire une carte : aide à la conception et à la réalisation d'une carte thématique univariée. Imp. CHIRAT, France, 199 p.
- [17].- Zanin C., 2006.- La cartographie thématique CNRS, Paris, Pp 1-3.
- [18].- Mohamed M., 2009.- Le climat agricole au Sahel Tunisien et les changements climatiques. Mémoire de Maîtrise en Géographie, Université du Québec à Montréal, 162 p. www.archipel.uqam.ca/2466/1/M10930.pdf
- [19].- OTD, 2009.- Rapport d'Activités de l'Office des Terres Domaniales (OTD). Ed : OTD; Tunisie, 25 p.
- [20].- CRDA Sousse, 2009.- Rapport Annuel du Commissariat Régional au Développement Agricole (CRDA), Sousse, 25 p.
- [21].- Horizon Consulting, 2011.- Schéma Directeur d'Aménagement de la Région Économique du Centre-Est / ATLAS CARTOGRAPHIQUE / DGAT. Ministère de l'Équipement, de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire, Tunisie, 48 p. www.equipement.tn/fileadmin/user1/doc/Contenus/DGAT/AtlasSDARECEfr.pdf
- [22].- Openshaw S., 1991.- Developing Appropriate Spatial Analysis Methods for G.I.S., In Maguire D. J., Goodchild M.F., Rhind D.W., Geographical Information Systems, Principles and Applications, Tome 1, 389-402.
- [23].- Kpedenou K. D., Ahe P., Boukpepsi T., 2016.- Dynamique spatio-temporelle de l'occupation/utilisation des terres dans le Sud-Est Togo : essai de cartographie à l'aide de la télédétection spatiale. Revue de Géographie de Lomé, N°16: 131-143. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01422929>