



## **APPORT DE LA MATRICE DE CONFUSION DANS L'ÉVALUATION DU CHANGEMENT DU PAYSAGE ET DE L'OCCUPATION DU SOL : CAS DE LA ZONE DU GRAND SFAX- TUNISIE**

### **Balkis Chaabane**

Assistant, docteur en études des paysages et développement des territoires,  
Institut Supérieur Agronomiques Chott Mariem, Université de Sousse, B.P  
47, 4042 Chott Meriem Sousse, Tunisie, e-mail: balkischaabane@yahoo.fr

### **Safa Bel fekih Boussema**

Assistant, docteur en études des paysages et développement des territoires,  
Institut Supérieur Agronomiques Chott Mariem, Université de Sousse, Lr  
GREEN TEAM (LR17AGR01) Institut National Agronomique de Tunisie  
université de Carthage, e-mail: belfekihsaifa@gmail.com

### **Faiza khebour Allouche**

Professeur, docteur en géographie et paysage, Institut Supérieur  
Agronomiques Chott Mariem, Université de Sousse, Lr GREEN TEAM  
(LR17AGR01) Institut National Agronomique de Tunisie université de  
Carthage, e-mail: allouchekhebour@yahoo.fr

### **Résumé :**

L'étude de la dynamique de l'occupation du sol est d'une importance primordiale pour le suivi et la gestion d'un territoire. C'est dans ce contexte que cette étude a été menée dans le but d'évaluer l'impact de l'évolution de l'urbain sur la diversité de l'occupation du sol dans le grand Sfax au centre-Est de la Tunisie. L'approche méthodologique adoptée est basée sur le traitement des images satellites. Trois images satellitaires Landsat, téléchargées du site USGS provenant respectivement des capteurs L5 MSS/TM, L7 ETM+ et L8 OLI/TIRS et datant de 1990, 2003 et 2015, ont été utilisées et traitées par la classification supervisée pour la production des cartes multi-dates illustrant la dynamique spatio-temporelle. Huit classes ont été définies : l'urbain, les champs d'olivier, les jardins, les parcelles irriguées, les marais saumâtres saisonniers (sebkha), les salines et le phosphogypse. L'analyse des résultats indiquent une croissance des superficies bâties de 18% et une régression de 20 % de terres agricoles entre 1990 et 2015. Pour chaque année étudiée, une matrice de confusion a été conçue afin d'évaluer la classification. L'indice de succès global 'SG', de 1990 à 2015, il augmente de 78% à 96%, cela est peut-être expliqué par l'amélioration de la qualité de l'image satellitaire liée à l'évolution des capteurs Landsat. La précision des classifications se jugent bonne et acceptable. Elle a été évalué quantitativement à l'aide des indices de kappa qui sont >0,7 à travers la matrice de confusion.

**Mots clés :** matrice de confusion, dynamique, occupation du sol, télédétection, Sfax-Tunisie

## **Introduction :**

Le paysage est un espace géographique constitué par un ensemble des écosystèmes qui sont en interactions entre eux. Il est dynamique dans l'espace et dans le temps (Bogaret et Mahamane, 2005). Selon Schlaepfer (2002), la compréhension de cette dynamique est d'une importance primordiale suite aux interactions avec les activités humaines. Donc, elle nécessite l'utilisation d'une masse de données diversifiée.

La diversité des données offerte par la télédétection présente un potentiel important pour l'étude, la caractérisation et le suivi des écosystèmes constituant le paysage à différentes échelles (Rundquist et al, 2001 ; Bamba et al, 2008). Elle permet le suivi du changement de l'occupation du sol et l'étude des phénomènes dynamiques qui affectent ces écosystèmes (Mas, 2000). En effet, elle offre avec la vision large du paysage, la possibilité de se concentrer sur une zone précise (Bourget, 2011) pour surveiller l'amplification et la régression d'un tel phénomène (Adão et al, 2017 ; Levin et al, 2020) et les images archives permettent de remonter dans le temps pour comprendre les processus de développement du phénomène et les analyser permettant de prévoir ce qu'il va devenir (Gond et Brognoli, 2005 ; Lillesand et al, 2015). L'occupation du sol ainsi que les zones humides ont été étudiés moyennant l'utilisation des images satellitaires dont les images satellitaires provenant des capteurs Landsat sont les plus utilisées (Ozesmi et Bauer, 2002) bien qu'elles présentent l'inconvénient de la production de pixels mixtes à cause de sa grande résolution (30 m) (Ramsey et Jensen, 1996 ; Smith, 1997 ; Davranche, 2008).

L'observation des changements du paysage au cours du temps permet d'estimer la nature des processus naturels et anthropiques et d'en évaluer les enjeux de gestion des ressources naturels et des territoires (Skupinski et al, 2009). D'après Djibel et al (2013), les facteurs climatiques favorisent les variations des sols humides et de la couverture végétale. Alors que, les activités humaines sont les facteurs déclencheur des perturbations des écosystèmes et du changement du paysage. Certes, que l'étude multi-dates présente un moyen pertinent pour analyser et mettre en évidence ces changements de situation causés par la modernisation, l'essor industriel et l'extension urbaine (Skupinski et al, 2009). Ainsi, l'étude de l'occupation du sol et le suivi de l'évolution des structures formant un tel paysage sont indispensables pour la connaissance d'un territoire et pour son aménagement (Kpedenou et al, 2016). Ils aident à avoir une meilleure compréhension des différentes tendances dans les processus de transformation spatiale (Lambin et al, 2001). Le développement des techniques de la télédétection et du système d'information géographique (SIG) permet une approche de plus en plus précise sur la dynamique de l'occupation du sol (Lu et al, 2003; Lunetta et al, 2006; Käyhkö et al, 2011). En effet, ils offrent la possibilité de suivre l'étalement rapide des surfaces urbanisées et visualiser les transformations qu'il engendre (Kpedenou et al, 2016; Dechaicha et Alkama, 2020; Maïga et al, 2020). Aussi, diverses méthodes ont été développées afin d'évaluer la précision de la classification dont certaines sont basées sur l'analyse des pixels obtenus par la classification des images utilisées tels que la matrice de confusion (Diédhiou et al, 2020; Kpedenou et al 2017; Mama et Oloukoi, 2003). À l'aide de cette dernière, l'évaluation est faite par la comparaison entre les données issues du terrain et de la classification des images satellitaires. Elle permet d'afficher les statistiques de précision et d'aberration de la classification des images satellitaires (Mama et Oloukoi, 2003).

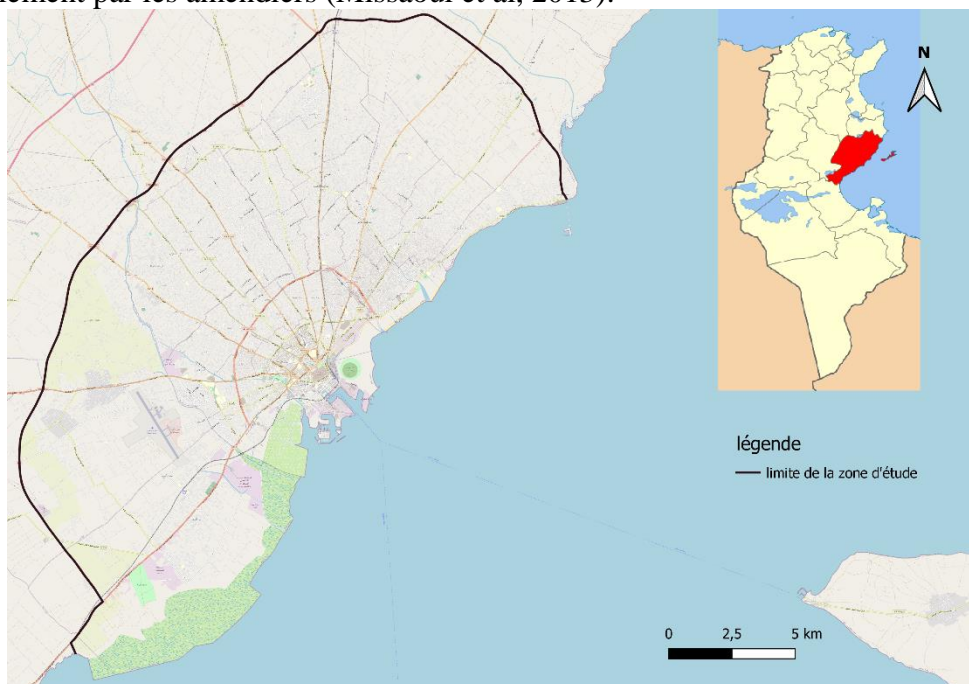
Notre étude a pour objectif d'étudier et quantifier la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la zone du grand Sfax sur la période de 1990 à 2015, à partir de l'utilisation des données satellitaires Landsat et des logiciels SIG.

## Données et démarche méthodologique adoptée :

### Zone d'étude :

Le cadre spatial de cette étude est « le grand Sfax ». Il fait partie du gouvernorat de Sfax situé au Centre-Est de la Tunisie. Il est limité du côté est par la mer méditerranéenne et du côté Ouest par la ceinture du km 11. Il s'étale sur environ 285 km<sup>2</sup> avec 515.000 habitants en 2014 (INS, 2019) (figure 1). Ses coordonnées par rapport à la latitude Nord et la longitude Est sont respectivement 34°48' et 10° 39'.

La zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride avec des températures moyennes qui sont de l'ordre de 19°C et des faibles précipitations annuelles qui ne dépassent pas 238 mm. Elle est occupée par des sols halomorphes dans la bande littorale, des sols iso-humiques et des sols d'apport peu évolués (Missaoui et al, 2013). Aussi, elle est dominée par la culture d'olivier qui, en s'approchant du centre, cèdent la place aux vergers constitués essentiellement par les amendiers (Missaoui et al, 2013).

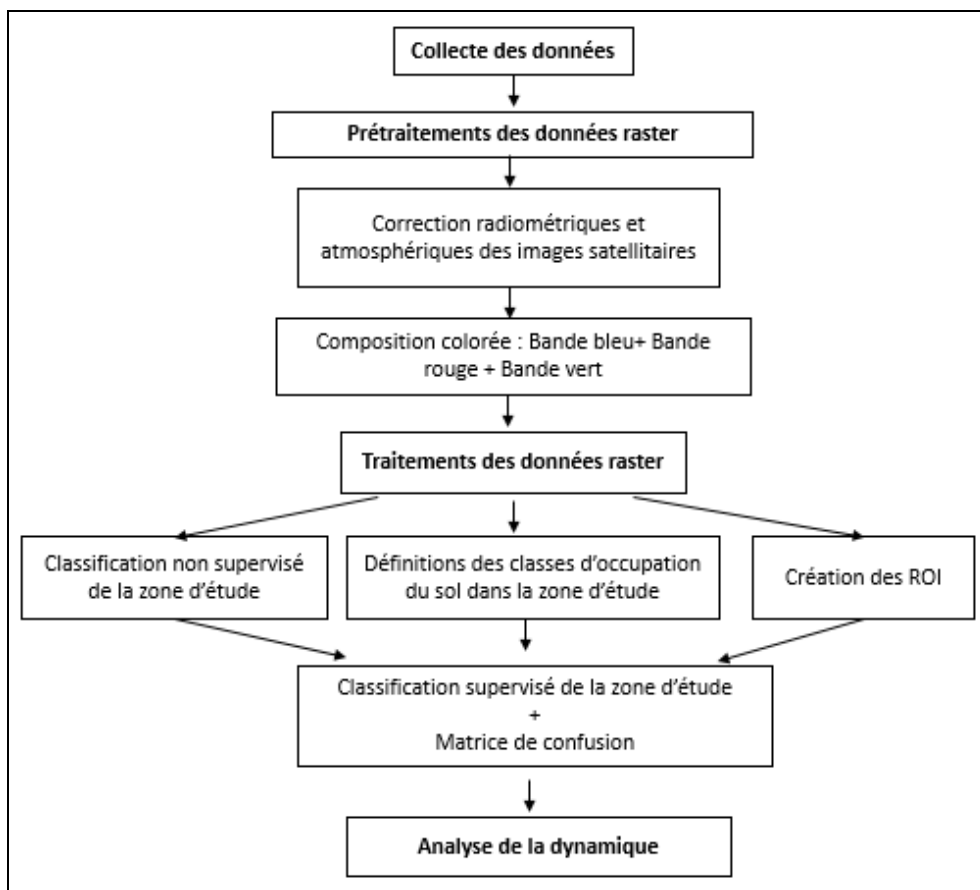


**Fig1. CARTE DE LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

### Méthodologie adoptée :

L'étude est basée sur l'analyse diachronique de la dynamique de l'occupation du sol dans la ville de Sfax de 1990 à 2015. Une étude du terrain, une analyse multivariée et une analyse thématique ont précédé la présente étude dont les résultats ont été exploités. Les analyses multivariées (Chaabane et al, 2021) et thématiques (Chaabane et Khebour, 2020) ont facilité le choix des classes d'occupation du sol. Les données du terrain ont permis la validation des changements dans la zone d'étude (Chaabane et Khebour, 2020 ; Chaabane et al, 2017) et l'évaluation du résultat de la classification dans cette étude.

La fig 2 illustre la méthodologie adoptée au cours de ce travail. En effet, elle est fondée sur les principales étapes qui sont : la collecte des données, le prétraitement des données, le traitement des données et l'analyse des résultats obtenus. Ces données ont été traitées moyennant l'utilisation des logiciels QGIS 2.18 et ENVI 4.6.



**Fig 2. HISTOGRAMME DE LA DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE ADOPTÉE**

**Collecte des données :**

Trois images satellitaires datant de 1990, 2003 et 2015 provenant respectivement des capteurs Landsat 5 MSS/TM (Multispectral Scanner System/ Thematic Mapper), 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus) et 8 OLI/TIRS (Operational Land Imager/ Thermal Infrared Sensor) ont été téléchargées à partir du site d'United States Geological Survey USGS/ Global Visualization Viewer sous le type « level 1-GeoTIFF Data Product » et la collection du catégorie « T1 ». Le tableau 1 présente les caractéristiques des images satellitaires utilisées et le tableau 2 présente la classification de leurs bandes. Des données cartographiques avec une cinquantaine des points GPS repartis sur la zone d'étude ont été exploité pour le choix et le repérage des classes d'occupation du sol.

Date d'acquisitions	Images Landsat	Type de capteur	Colonnes/ lignes (Path/row)
18-02-1990	LT05_L1TP_191036_19900218_20180214_01_T1	MSS/TM	191/036
29-01-2003	LE07_L1TP_191036_20030129_20170126_01_T1	ETM+	191/036
06-01-2015	LC08_L1TP_191036_20150106_20170415_01_T1	OLI/TIRS	191/036

**Tableau 1. CARACTERISTIQUES DES IMAGES SATELLITAIRES UTILISEES**

Numéro de la bande	Bande spectral ( $\mu\text{m}$ )	Résolution (m)	Utilisation
<b>Landsat 5 MSS/TM</b>			
1	0.45 – 0.52	30 * 30	Blue/ différenciation sol, végétaux, zones côtières
2	0.52 – 0.60	30 * 30	Vert/ végétation
3	0.63 – 0.69	30 * 30	Rouge/ différenciation des espèces végétales
4	0.76 – 0.90	30 * 30	NIR/ biomasse
5	1.55 – 1.75	30 * 30	SWIR 1/ différenciation neige, nuage
6	1.40 – 12.50	120 * 30	TIR/ thermique
7	2.08 -2.35	30 * 30	SWIR 2/ lithologie
<b>Landsat 7 ETM+</b>			
1	0,441 – 0,514	30 * 30	Blue/ différenciation sol, végétaux, zones côtières
2	0,519 - 0,601	30 * 30	Vert/ végétation
3	0,631 - 0,692	30 * 30	Rouge/ différenciation des espèces végétales
4	0,772 - 0,898	30 * 30	NIR/ biomasse
5	1,547 – 1, 749	30 * 30	SWIR 1/ différenciation neige, nuage
6	10,31 – 12,36	30 * 30	TIR/ thermique
7	2,064 – 2,345	30 * 30	SWIR 2/ lithologie
Panchromatique	0,515 - 0,896	15 * 15	-
<b>Landsat 8 OLI/TIRS</b>			
1	0,435 – 0,451	30 * 30	Aérosol
2	0,452 - 0,512	30 * 30	Blue/différenciation sol, végétaux, zones côtières
3	0,533 - 0,590	30 * 30	Vert/ végétation
4	0,636 - 0,673	30 * 30	Rouge/ différenciation des espèces végétales
5	0,851 - 0,879	30 * 30	NIR/ biomasse
6	1,566 – 1, 651	30 * 30	SWIR 1/ différenciation neige, nuage
7	2,107 – 2,294	30 * 30	TIR/ thermique
Panchromatique	0,503 – 0,676	15 * 15	SWIR 2/ lithologie
Cirrus	1,363 - 1,384	30 * 30	-
10	10,60 – 11,19	30 * 30	TIRS 1
11	11,50 – 12,51	30 * 30	TIRS 2

**Tableau 2. CARACTÉRISTIQUES DES IMAGES SATELLITAIRES LANDSAT 5 MSS/TM, 7 ETM+ ET OLI8**



### **Prétraitement des images satellitaires :**

Les images Landsat sont de type « level 1 ». Elles ont subi une correction radiométrique à l'aide du logiciel QGIS 2.18. Ce logiciel offre une large gamme d'outils d'analyse d'images multi et hyperspectrales et corrige radiométriquement l'image à partir du fichier de métadonnées qui accompagne les images Landsat (Song et al, 2001). Les corrections radiométriques sont appliquées sur l'image pour réaffecter à chaque pixel une valeur radiométrique la plus proche possible de celle mesurée sur le terrain (Emran, 2005). Elles permettent la compensation des erreurs de calibration du capteur, des effets des différences atmosphériques et aussi d'illumination entre les images (Munyemba et Bogaert, 2014). Donc, les contrastes des bandes seront améliorés facilitant l'interprétation visuelle des images (Lillesand et Kiefer, 2015).

La seconde étape du prétraitement consiste à élaborer une composition colorée en combinant les trois bandes spectrales : rouge, vert et bleu (RVB). Selon Munyemba et Bogaert (2014), cette composition va appuyer la distinction des types d'occupation des sols et des zones d'entraînement.

### **Traitement des données :**

#### **Classification :**

La méthode de classification mise en œuvre dans cette étude est la classification supervisée. Dans la phase préparatoire, des classification non supervisées ont été appliquée, afin d'obtenir une première présentation des types d'occupation du sol dans la zone d'étude avec cinq, huit et dix classes. L'intérêt de la classification non supervisée qu'elle permet de préciser la diversité du terrain (Sitayeb et Benabdeli, 2008). Aussi, les indices sont des analyses multivariées. Ils sont considérés comme la meilleure technique permettant la distinction entre les surfaces en eaux, les sols nus et la densité de végétation. L'indice de végétation par différence normalisé 'NDVI', l'indice d'humidité par différence normalisé 'NDWI' et l'indice de brillance 'IB' ont été calculé pour la zone d'étude par Chaabane et al (2021).

Le passage à une analyse plus fine de détection nécessite la bonne connaissance du détail du terrain et la définition des classes d'occupation du sol. Une cinquantaine de points d'échantillonnages sont collectés à l'aide d'un GPS. Elles sont proportionnellement réparties selon la grandeur de variabilités des classes et dispersés sur l'ensemble de la zone d'étude. Tenant compte de la diversité des classes, un minimum de 5 points de contrôle est utilisé pour l'identification des classes contenant certaines variabilités comme la classe « des jardins ». Ils ont constitué les points d'appuis dans le choix des sites d'entraînement « ROI » (Regions Of Interest). L'algorithme du maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood classifiers) a été utilisé pour produire les fichiers matriciels classifiés.

#### **Analyse post classification :**

L'opération de post classification moyennant la matrice de confusion permet de s'assurer de la précision des classifications de l'occupation du sol (Godard, 2005). En effet, d'après Munyemba et Bogaert (2014), elle mesure la qualité des classifications en tenant compte des erreurs de diverses natures qui peuvent altérer les résultats (Campbell et Wynne, 2011). Lorsque le coefficient de Kappa est compris entre 61 et 80 %, le résultat de la classification est jugé bon (Landis et Koch, 1977). Tandis que, si le coefficient de Kappa <61%, il faut révéifier les sites d'entraînement choisis.

## Résultats et discussions :

### Typologie retenue pour cartographier l'occupation du sol dans le grand Sfax :

La typologie des classes d'occupation du sol a été déterminée après l'examen des données cartographiques antérieures disponibles comme les cartes d'occupation du sol, les cartes topographiques et l'étude du terrain. Selon, Dahech et al (2011) et Dahech (2012), qui ont utilisé deux images satellitaires Landsat TM, la zone d'étude est occupée principalement par l'urbain présenté par le bâtiment qui peut être dense ou discontinu, la végétation dense imbriquée avec l'urbain et les champs d'olivier en s'éloignant de l'urbain. Alors que, Missaoui et al (2013) ont distingué les classes suivantes l'urbain, les champs d'olivier, les sols nus, les chotts, les salines et les zones humide.

Le reclassement de la zone d'étude a été exécuté en huit classes présenté dans le tableau 3.

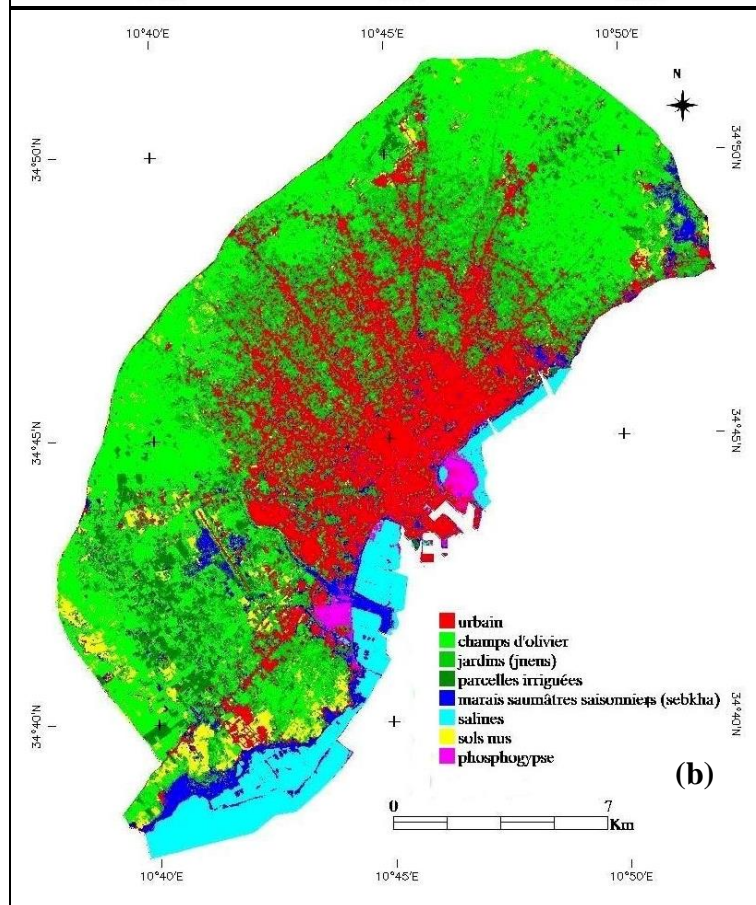
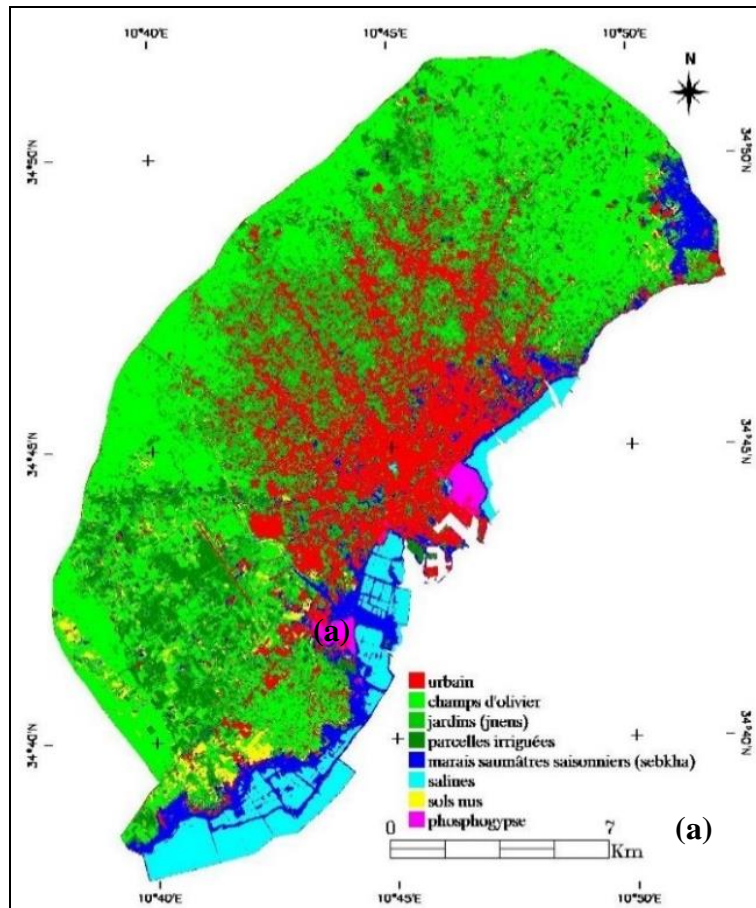
Type d'occupation du sol	Caractéristiques
Urbain	Présence de bâtiment continue ou discontinu
Champs d'olivier	Terrains agricoles occupés ou dominés par les oliviers
Jardins (jnens)	Divers arbres fruitiers (amandiers, les figuiers, les pêches...) localisés dans les limitrophes et au sein de la zone urbaine
Marais saumâtres saisonniers (sebkha)	Sols halomorphes, végétation type halophyte, trace d'hyromorphie, croûte de sel
Sols nus	Absence de végétation ou de construction
Cultures irriguées	Périmètres irrigués, parcelles agricoles intensive
Phosphogypse	Résidus de l'activité industrielle polluante

**Tableau 3.** TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL DANS LE GRAND SFAIX

### Classification de l'occupation du sol dans le grand Sfax en 1990, 2003 et 2015 :

Trois cartes d'occupations du sol datant de 1990, 2003 et 2015 ont été produites (figure 3). Selon ces cartes, la zone d'étude est dominée par l'urbain, les jardins et les champs d'olivier mais avec des ratios différenciés. Ainsi, la tâche urbaine est concentrée au centre de la zone d'étude principalement autour de la médina arabe et le long des principaux axes routiers. Elle s'élargit d'une façon progressive de 1990 à 2015. L'extension urbaine dans la ville est radiale à partir de la médina arabe en direction de la zone des jardins (les vergers) qui s'est transformé en zone de résidence permanente (Bouزيد, 2006). Ce noyau urbain qui en se développant devient empiété avec la zone des jardins. Ces derniers sont suivis par une ceinture formée par les champs d'olivier. Les salines de Thyna, construites depuis les vingtaines d'années du siècle précédent (Amdouni, 1990), occupent 1700 hectares dans la côte Sud de la zone d'étude et limité du côté Ouest par les terrains humides les 'marais saumâtres saisonniers' (sbekha). En effet, la classe 'salines' n'occupe que la bande littorale Sud en 2015. Tandis qu'en 1990 et en 2003, elle s'étend même au niveau de la côte Nord sur la zone des marais maritimes avant la réalisation du projet Taparura. Alors que les marais saumâtres saisonniers se longent presque sur la longueur de la bande littorale, le Nord-Est et le Sud-Ouest de la zone d'étude pour les années 2003 et 2015. Pendant l'année 2015, certains compartiments de ce type sont transformés sous la force de l'extension urbaine et industrielle.

Alors que les sols nus sont plus visibles en 2015 sous la forme de quelques tâches jaunes au Sud de la zone d'étude et au niveau de sa bande littorale Nord suite à la réalisation du projet Taparura. Les dépôts de phosphogypse résidus de l'activité industrielle polluante sont visibles et plus important en 1990 et 2003 avant la dépollution de la côte Nord.



Creative Commons Attribution-Non Commercial-No Derivatives 4.0 International License (CC BY-NC-ND)



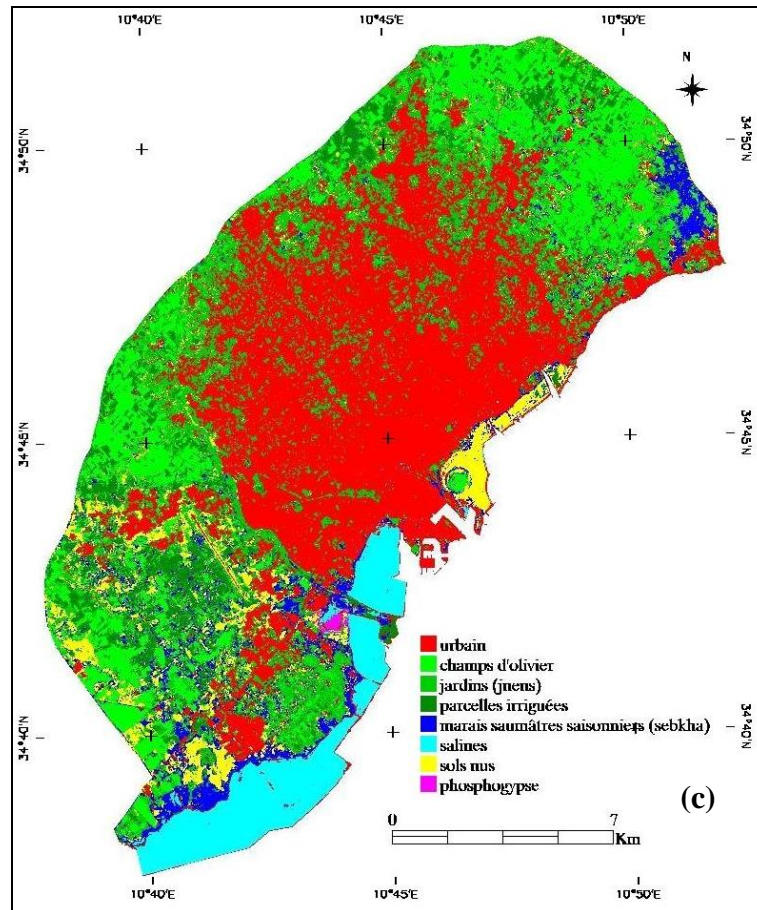


Fig 3 CARTES D'OCCUPATION DU SOL DU GRAND SFAX EN 1990 (a), 2003 (b) ET 2015 (c)

### Mise en évidence de la dynamique de l'occupation du sol dans le grand Sfax entre 1990 et 2015 :

Les pourcentages de la variation temporelle des classes d'occupation du sol pour les années 1990, 2003 et 2015 sont présentés dans le tableau 4. Il ressort de ce tableau que la classe urbaine est devenue la classe dominante après avoir bénéficié des surfaces supplémentaires entre 1990 et 2015. Tandis que les classes jardins et champs d'olivier ont subi des régressions.

Types des Classes	1990	2003	2015
Urbain	20,80	24,62	38,36
Champ d'olivier	30,08	30,24	20,43
Marais saumâtres saisonniers (sebkha)	7,4	7,11	5,77
Sol nu	2,7	3,97	6,31
Salines	5,66	6,86	6
phosphogypse	0,89	1,26	0,65
Jardins	24,25	22,22	14,60
Cultures irriguées	8,16	5,66	7,88

Tableau 4. VARIATION TEMPORELLE DES POURCENTAGES DES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL DU GRAND SFAX EN 1990, 2003 ET 2015

La classe urbaine, en 1990, occupe environ 21 % de la superficie totale de la zone d'étude et évolue pour dépasser 24% en 2003. Les jardins se caractérisent par la diversification des cultures et s'étalent sur presque le ¼ de la superficie totale de la zone d'étude. Alors qu'en 2015, la classe urbaine augmente par 14 % et la classe des jardins régresse par 10%. La diminution de la superficie de cette classe est expliquée par l'action du morcellement. Elle a conduit à l'accélération de l'expansion urbaine par la diffusion des résidences de type « villas » et par l'essaimage de constructions improvisées en remplissant les espaces interstitielles entre les routes (Bouزيد, 2006). Aussi, l'urbain est devenu de plus en plus dense le long de la bande littorale Nord au-delà de la zone Taparura et au Sud Est et Ouest de la zone d'étude par l'élargissement des localités préexistantes.

Le gouvernorat de Sfax est connu par ces champs d'olivier. De ce fait, en 1990, elles prédominent la classification et occupent 30 % de la superficie de la zone d'étude. Le développement de l'agriculture irriguée et de l'urbain ont été les principales causes de la disparition d'environ 10 % de cette classe durant la période d'étude. Les parcelles irriguées, en 1990, couvrent 8,16 % de la superficie de la zone d'étude. Alors que, en 2003, elles diminuent et deviennent 5,66 %. Elles se localisent au Sud-Ouest de la zone d'étude au niveau de la zone du périmètre 'El Hajeb' qui est irrigué à partir des eaux usées traitées provenant de la station d'épuration des eaux usées Sfax Sud. Tandis qu'en 2015, elles passent à presque 8%. Cette augmentation peut être expliquée par la transformation de certains champs d'olivier pluviale en olivier intensif et irrigué au Nord-Ouest de la zone d'étude. De même, une légère augmentation des sols nus pendant la période d'étude est remarquée qui peut être due à l'abandon des terrains agricoles. Aussi, elle est expliquée par l'apparition de la zone Taparura.

La répartition de la classe phosphogypse est caractérisée par un gradient décroissant pendant la période de 2003 à 2015. Cette classe identifie le phosphogypse déposé en terril pour la SIAPE et en plaque pour la NPK. Ce gradient décroissant est lié à l'exécution de la dépollution de la côte Nord de la ville de Sfax par l'excavation et le remblaiement de la plaque de phosphogypse du NPK. Quant aux classes des zones humides, elles ont connu un léger déclin de 1,3 % pour le type 'marais saumâtres saisonniers' (sebkha) et de 1,8 % pour le type 'salines'.

### **Evaluation de la classification de l'occupation du sol de 1990 à 2015 : analyse de la matrice confusion :**

Pour chaque année étudiée, une matrice de confusion a été conçue afin d'évaluer la classification. En effet, elle permet de comparer les composantes géographiques connus par l'utilisateur avec les classes thématiques en indiquant le nombre et le pourcentage de pixels qui ont été correctement classés (Mama et Oloukoi, 2003). Les tableaux 5, 6 et 7 présentent respectivement les matrices de confusion des classifications des années 1990, 2003 et 2015.

L'indice de succès global 'SG' présente le pourcentage des pixels qui ont été bien classés par rapport aux données de vérité-terrain (Mama et Oloukoi, 2003). De 1990 à 2015, il augmente de 78% à 96%, cela est peut-être expliqué par l'amélioration de la qualité de l'image satellitaire liée à l'évolution des capteurs Landsat. D'après ces tableaux, la superposition des mêmes classes (cases en jaunes) est considérée comme admissible. D'une manière détaillée, la classe phosphogypse (PH.) présente le pourcentage de superposition des classes le plus élevé 100% pour les années 1990 et 2015. Tandis que, la classe jardins (J.) possède le pourcentage de superposition le plus faible des trois classifications. Il varie de 55% en 1990 à 87% en 2015.

La 'Précision réalisateur' indique le pourcentage des pixels correctement classés pour une classe (Guy et al, 2015). Alors, la classe phosphogypse (PH.) semble être la mieux classée en 1990 et 2015. Tandis qu'en 2003, c'est la classe des sols nus (S.N) qui possède une

précision réalisateur de 100%. Donc ces classes sont moins affectées par les échantillons des autres classes. Par contre, les valeurs les plus faibles sont rencontrées dans les classes culture irriguée (C.I) pour les années 1990 et 2003 et jardins (J.) en 2015. Les valeurs de 'Précision utilisateur' de 1990 à 2015 varient 48% à 100. En effet, en 1990, avec la valeur de 48 % de précision utilisateur, la classe sols nus (S.N) semble être pas mieux classé. Cette précision donne le pourcentage des pixels correctement classée d'une classe issue de la classification par rapport aux données de vérité-terrain (Guy et al, 2015).

Les tableaux rendent compte sur l'erreur d'omission (Eo) et l'erreur de commission (Ec) qui indiquent le pourcentage des pixels non attribués à la bonne classe de destination (Villes et al, 2018). L'erreur d'omission varie de 0 à 44% et l'erreur de commission varie de 6 à 51 %. Ces erreurs sont moins importantes pour la classification de l'année 2015 et ne dépassent pas 13%. Les classes champs d'olivier (CH.O), jardins (J.) et cultures irriguées (C.I) sont des classes voisines et cela rend la tâche de démarcation difficile. Chacun d'eux peuvent être contaminées par des échantillons provenant des classes proches.

En conclusion, l'indice de Kappa (Kp) est de l'ordre de 0,74, 0,79 et 0,9 respectivement pour les années 1990, 2003 et 2015. Ces indices sont supérieurs à 0,6. Selon Landis et Koch (1977) et Pointus (2000) les classifications effectuées se jugent bonne et acceptable.

		Données classifiées								Pr (%)	Eo (%)	EC (%)
		U.	CH.O	M.s	S.N	S.	PH.	J.	C.I			
Données de références	U.	91.96	1.49	0.89	0.60	0.00	1.19	3.27	0.60	91.96	8.04	6.93
	CH.O	0.44	84.44	0.00	7.11	0.00	0.00	4.89	3.11	84.44	15.56	37.50
	M.S	2.92	0.00	79.56	2.19	3.65	0.00	11.68	0.00	79.56	20.44	19.26
	S.N	0.00	6.06	0.00	93.94	0.00	0.00	0.00	0.00	93.94	6.06	51.56
	S.	0.00	0.00	1.98	0.00	98.02	0.00	0.00	0.00	98.02	1.98	4.81
	PH.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100	0.00	8.93
	J.	5.02	17.73	3.68	1.34	0.00	0.00	55.52	16.72	88	44.48	28.76
	C.I	0.85	15.25	2.82	2.26	0.00	0.28	8.19	70.34	70.34	29.66	19.16
Pu (%)	98	62.50	80.74	48.44	95.19	100	71.24	80.84				
SG	78.3854%											
Kp	0.7407											

**Tableau 5.** MATRICE DE CONFUSION DE LA CLASSIFICATION DE L'IMAGE LANDSAT POUR L'ANNÉE 1990, U. : urbain ; CH.O : champs d'olivier ; M.S : marais saumâtres saisonniers ; S.N : sol nu ; S. : salines ; PH. : phosphogypse ; J. : jardins ; C.I : cultures irriguées ; Pr : Précision réalisateur ; Pu : Précision utilisateur ; EC : erreur de commission ; EO : erreur d'omission ; SG : indice de succès global (overall Accuracy) ; Kp : indice de Kappa

		Données classifiées								Pr (%)	Eo (%)	EC (%)
		U.	CH.O	M.s	S.N	S.	PH.	J.	C.I			
Données de références	U.	97.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	2.14	0.00	97.33	2.67	12.5
	CH.O	0.00	85.90	1.31	0.00	0.00	0.00	4.70	8.09	85.90	14.10	21.10
	M.S	7.14	0.00	85.71	0.00	2.04	1.02	4.08	0.00	85.71	14.29	35.88
	S.N	0.00	0.00	0.00	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	0.00	4.92
	S.	1.12	0.37	0.75	1.12	95.15	1.12	0.37	0.00	95.15	4.85	0.78
	PH.	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	98.59	0.00	0.00	98.59	1.41	6.67
	J.	4.56	9.82	7.72	0.00	0.00	0.00	68.42	9.47	88	31.58	34.12
	C.I	0.30	8.95	2.73	2.26	0.00	0.28	11.23	76.78	76.78	23.22	10.28
Pu (%)	87.50	78.90	64.12	95.08	99.22	93.33	65.88	89.72				
SG	83.5739%											
Kp	0.7985											

**Tableau 6.** MATRICE DE CONFUSION DE LA CLASSIFICATION DE L'IMAGE LANDSAT POUR L'ANNÉE 2003

		Données classifiées								Pr (%)	Eo (%)	EC (%)
		U.	CH.O	M.s	S.N	S.	PH.	J.	C.I			
Données de références	U.	99.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	99.27	0.73	7.17
	CH.O	0.00	97.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	1.90	97.94	2.06	0.64
	M.S	0.00	0.00	95.90	2.46	0.00	0.00	1.64	0.00	95.90	4.10	0.85
	S.N	0.00	0.00	0.00	97.50	0.00	0.00	2.50	0.00	97.50	2.50	4.88
	S.	1.75	0.00	0.00	0.00	98.25	0.00	0.00	0.00	98.25	1.75	0.00
	PH.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	0.00	0.00	100.0	0.00	0.00
	J.	9.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.50	2.63	87.50	12.50	11.33
	C.I	0.00	1.19	0.30	0.30	0.00	0.00	2.99	95.22	95.22	4.78	4.78
Pu (%)	92.83	99.36	99.15	95.12	100.0	100.0	88.67	95.22				
SG	96.7923%											
Kp	0.9602											

**Tableau 7.** MATRICE DE CONFUSION DE LA CLASSIFICATION DE L'IMAGE LANDSAT POUR L'ANNÉE 2015

## Conclusion :

L'occupation du sol dans le grand Sfax est caractérisée par sa diversité. En effet, huit types de classe d'occupation du sol ont été détectés à savoir : l'urbain, les champs d'olivier, les cultures irriguées, les marais saumâtres saisonniers (sebkha), les salines, les sols nus et le phosphogypse. Les valeurs des indices de validation de la classification, l'indice de succès globale sont 78%, 83% 96% et de Kappa sont 0,74, 0,79 et 0,96 respectivement pour les années 1990, 2003 et 2015, se jugent bons et acceptables. Les classifications supervisées des images satellitaires Landsat pour les années 1990, 2003 et 2015 appuyés par le calcul des matrices de confusion ont permis de se rendre compte sur l'évolution de l'occupation du sol dans le grand. En effet, l'évolution de la croissance démographique par 18% a été accompagnée par la disparition de 20% des classes champs d'olivier et jardins. En fait, l'analyse du changement d'occupation du sol représente une étude essentielle pour toute proposition d'aménagement territorial guide pour la conservation, l'amélioration et la protection des paysages. Il fournit des informations précises sur les menaces locales, les coûts des actions à entreprendre et guidera les décideurs dans leurs stratégies de planification durable (Boussema et al, 2023).

## References:

- Adão T., Hruška J., Pádua L., Bessa J., Peres E., Morais R., Sousa J.J.; (2017) Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry. *Remote Sens.* 2017, 9, 1110. <https://doi.org/10.3390/rs9111110>
- Amdouni R. (1990) Etude géochimiques des saumures libres, des sédiments et des sels dans la saline de Sfax (Tunisie). Thèse de l'université de Paris VII. Spécialité géochimie fondamentale. 249 p.
- Bamba I., Mama A., Neuba D., Koffi K. J., Traoré D., Visser M., Sinsin B., Lejoly J., et BOGAERT J. (2008) Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R.D. Congo), *Sciences & Nature* Vol. 5 N°1 : 49 - 60 (2008)
- Bogaret J. et Mahamane A., (2005) Ecologie du paysage : cibler la configuration et l'échelle spatiale. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin* (7) 1 : 39-68.
- Bourget E., (2011) Télédétection et atlas de paysage : Approche multiscalaire des paysages en Bretagne, Thèse université Rennes 2, 374 pages
- Bouزيد J., (2006) Projet SMAP III - Tunisie (2006-2008). Stratégie de gestion intégrée de la zone côtière Sud du grand Sfax. Collecte des données. Rapport préliminaire. 116 p.
- Campbell James B. et Wynne Randolph H., (2011) Introduction to remote sensing, 621 pages, 5th edition the Guilford Press, ISBN 978-1-60918-176-5
- Chaabane B. et Khebour Allouche F. (2020) A historical look at the spatiotemporal dynamics of Tunisian wetlands by Earth observation; chapter book in Environmental Remote Sensing and GIS in Tunisia, Springer Water <https://www.springerprofessional.de/en/a-historical-look-at-the-spatiotemporal-dynamics-of-tunisian-wet/18959930>
- Chaabane B., Bel Fekih Boussema S. et Khebour Allouche F., (2021) Mapping and monitoring of large-Sfax wetlands (center-east of Tunisia) using radiometric indexes and GIS tools, *Algerian journal of engineering and technology* ISSN: 2716-9227 n° 5, pp 064-071



Chaabane B., Khebour Allouche F., Bouzid I. et Boujelben A.; (2017) Cartographie des zones humides du Grand Sfax (Centre-Est de la Tunisie): outil d'aide à la décision; LARHYSS Journal ISSN 1112-3680, n° 31, pp 41-49. <http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/view/528/538>

Dahech S. (2012) Evolution de la répartition spatiale des températures de l'air et de surface dans l'agglomération de Sfax entre 1987 et 2010. Impact sur la consommation d'énergie en été. Climatologie, numéro spécial « climats et changement climatique dans les villes » pp 11-32.

Dahech S. Daoud A. Beltrando G. (2011) Les inégalités spatiales de la qualité de l'air dans l'agglomération de Sfax et ses environs : le cas des températures, de la brise du CO et SO<sub>2</sub>. cybergeog : european journal of geography (online), environnement, nature, landscape. Document 557.

Davranche A. (2008) Suivi de la gestion des zones humides Camarguaises par télédétection en référence à leur intérêt avifaunistique. Thèse en sciences géographiques et de l'aménagement de l'université de Provence-Aix Marseille 1. 257 p.

Dechaicha A., Alkama D. (2020) Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection n° 222- Novembre 2020/43 détection du changement de l'étalement urbain au bas-sahara algérien : apport de la télédétection spatiale et des SIG. Cas de la ville de Biskra (Algérie)

Diédhiou I., Catherine Mering, Oumar Sy et Tidiane Sané, (2020) « Cartographier par télédétection l'occupation du sol et ses changements », EchoGéo, 54 | 2020, URL : <http://journals.openedition.org/echogeo/20510> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/echogeo.20510>

Djibel M. Labar S. Medjani F. Boufia I. (2013) Étude des changements écologiques des zones humides en milieux désertiques en utilisant l'imagerie Landsat et le SIG. International Journal of Environment and Water, ISSN 2052-3408, vol 2, Issue 5, pp 81-87.

Emran A. (2005) Données Landsat mises à disposition pour le développement durable en Afrique. Institut Scientifique UMVA Rabat- Maroc. 52p.

Gond V., et Brognoli. C. (2005) Télédétection et aménagement du territoire : localisation et identification des sites d'orpaillage en Guyane française. Bois et Forêts des Tropiques 286, 5-13

Guy B., Brou Y. T., Mohamed I., (2015) Changements de la couverture forestière dans l'île d'Anjouan entre 1995 et 2014. Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015, Nov 2015, Hammamet, Tunisie. fahal-01478236f <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.5749971>

INS, Institut National de Statistique Tunisien, consulté le 18/05/2019, <http://www.ins.nat.tn>.

Kayhko N., Fagerholm N., Asseid B. S. & Mzee A. J. (2011) Dynamic land use and land cover changes and their effect on forest resources in a coastal village of Matemwe, Zanzibar, Tanzania. Land Use Policy, 28(1) : 26-37.

Kpedenou K. D., Boukpepsi T. & Tchamie T. T. K. (2016) Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (SudEst Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat ; Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo), 2016, n° 13

Kpedenou K. D., Drabo O., Ouoba A. P., Dapola E. Da, Tanzidani T., Tchamie K., (2017) Analyse de l'occupation du sol pour le suivi de l'évolution du paysage du territoire ouatchi au Sud-Est togo entre 1958 et 2015. Cahiers du cerleshs, 2017, xxxi (55), pp.203-228. fahal-01701176f

Lambin E. F., Turner B. L., Geist H., Agbola S. B., Angelsen A., Bruce J. W., Coomes O., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P. S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E. F., Mortimore M., Ramakrishnan P. S., Richards J. F., Skanes H., Stefan W., Stone G. D., Svedin U.,

Velkamp T., Vogel C. & Xu J. (2001) The causes of land-use land cover change : moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4) : 261- 169.

Landis J. Richard et Koch Gary G., (1977) An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers, *Biometrics* Vol. 33, No. 2 (Jun., 1977), pp. 363-374 (12 pages)

Levin Lisa A., Chih-Lin Wei, Daniel C. Dunn, Diva J. Amon, Oliver S. Ashford, William W. L. Cheung, Ana Colaço, Carlos Dominguez-Carrió, Elva G. Escobar, Harriet R. Harden-Davies, Jeffrey C. Drazen, Khaira Ismail, Daniel O. B. Jones, David E. Johnson, Jennifer T. Le, Franck Lejzerowicz, Satoshi Mitarai, Telmo Morato, Sandor Mulsow, Paul V. R. Snelgrove, Andrew K. Sweetman, Moriaki Yasuhara; (2020) Climate change considerations are fundamental to management of deep-sea resource extraction; *Global Change Biology* published by John Wiley & Sons Ltd [https://doi.org/10.1111/gcb.15223open\\_in\\_new](https://doi.org/10.1111/gcb.15223open_in_new)

Lillesand M.T. and Kiefer RW. (2015) Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, Inc. 7th Edition. 724 p.

Lu D., Mausel P., Brondizio E. & Moran E. (2003) Change detection techniques. *International Journal of remote sensing*, 25(12) : 2365- 2407.

Lunetta R. S., Knight J. F., Ediriwickrema J., Lyon J. G. & Worthy L. D. (2006) Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, 105 (2) : 142-154.

Maïga B. A., kouadio K. E. et soumaré O. (2020) Évaluation de la dynamique de l'occupation du sol engendrée par l'orpaillage dans le bassin de Banankoro, Région de Koulikoro, Sud-Ouest du Mali, *Afrique SCIENCE* 17(3) (2020) 28 – 39

Mama V. J. et Oloukoi J. (2003) Evaluation de la précision des traitements analogiques des images satellitaires dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol, *Téledétection*, 2003, vol. 3, n° 5, p. 429–441

Mas J. F. (2000) Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 26 (4). pp 349-362.

Missaoui M. Zerai K. Fridhia A. Baroudi M. et Baroudi J. (2013) Atlas du gouvernorat de Sfax. Ministère de l'équipement et de l'environnement. Direction générale de l'aménagement du territoire. 105 p.

Munyemba K.F. et Bogaert J. (2014). Anthropisation et dynamique spatiotemporelle de l'occupation du sol dans la région de Lubumbashi entre 1956 et 2009, *E-Revue UNILU* (1) 3-23.

Ozesmi S.L. Bauer M.E. (2002) Satellite remote sensing of wetlands. In *Wetlands Ecology and Management*. 10(5). pp 381–402.

Pointus R. Gill, (2000) Quantification error versus location error in comparison of categorical maps, *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, vol 66 N°8, pp 1011-1016

Ramsey E.W. and Jensen J.R. (1996). Remote sensing of mangrove wetlands: relating canopy spectra to site-specific data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(8):939-948.

Rundquist D.C. Narumalani S. Narayanan R.M. (2001) A review of wetlands remote sensing and defining new considerations. *Remote Sensing Reviews*. 20(3), pp 207– 226.

Safa Bel Fekih Boussema, Faiza Khebour Allouche, Rania Ajmi, Balkis Chaabane, Abd-Alla Gad (2023) Assessing and monitoring the effects of land cover changes in biodiversity. Case study: Mediterranean coastal region, Sousse, Tunisia. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, Volume 26, Issue 1, 185-196 p. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.01.002>

Schlaepfer R. (2002) Analyse de la dynamique du paysage. Fiche d'enseignement 4.2, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse. 10 pp.

Sitayeb T. et Benabdeli Kh. (2008) Contribution à l'étude de la dynamique de l'occupation des sols de la plaine de la Macta (Algérie) à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique. *Comptes Rendues Biologies* 331 (2008) 466-474.

Skupinski G. Tran D. B. Weber Ch. (2009) Les images sont multi-dates et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et sub-urbain, le cas de la basse vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France). *Revue européenne de géographie*.

Smith L. C. (1997) Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: A review. *Hydrological Processes*, 11 : 1427–1439.

Song C, Woodcock CE, Seto KC, Lenney MP and Macomber SA. (2001) Classification and change detection using Landsat TM data: When and how the correct atmospheric effect? *Remote Sensing of Environment*, 75: 230-244.

Villes A., Candigliota E., Immordino F., (2018) Apports possibles des techniques géospatiales à l'analyse urbaine et territoriale en Italie à travers l'étude de cas de la ville métropolitaine de Bologne, *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*