

**A SPATIO-TEMPORAL CARTOGRAPHY AND LANDSCAPE METRICS OF
URBANIZATION PATTERNS IN ALGERIAN LOW-SAHARA. THE CASE OF
OUARGLA CITY**

A. Dechaicha^{1*}, Dj. Alkama²

¹Laboratory 'LACOMOFA', Department of Architecture, University Mohamed Khider –
Biskra. PB 145 (07000), Algeria

²Department of Architecture, University 8 May 1945 – Guelma. PB 401(24000), Algeria

Received: 15 May 2020 / Accepted: 21 August 2020 / Published online: 01 September 2020

ABSTRACT

Monitoring and assessment of spatial and landscape transformations generated by uncontrolled urbanization is currently a key step in any oasis sustainability project. Through a landscape-metrics based approach using a multi-time series of Landsat images (1985-2000-2015), we have tried to assess the spatial growth of Ouargla City (Algeria) over the last three decades, by highlighting its impact on the oasis ecosystem. The results of the spatio-temporal cartography have shown a significant spatial growth of built-up areas, against an excessive decline and progressive fragmentation of the palm grove, which have negatively influenced the oasis ecosystem functioning. The main aim of this paper is to show the utility of satellite images and landscape metrics for monitoring uncontrolled urbanization and assessing its impacts on oasis landscapes.

Keywords: urbanization; spatial growth; oasis ecosystem; satellite image; landscape metrics.

Author Correspondence, e-mail : assoudech@gmail.com

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v12i3.16>



1. INTRODUCTION

L'urbanisation effrénée constitue actuellement un défi majeur que confrontent les responsables de l'aménagement et de la planification spatiale, compte tenu de son ampleur inédite et des conséquences néfastes qu'elle a engendrées. Depuis 2008, les villes abritaient plus de la moitié de la population mondiale. Vers 2030, l'urbanisation dépassera le taux de 60% selon les prévisions de l'ONU [1]. L'Algérie, quant à elle, n'a pas échappé de ce phénomène universel. La population urbaine est en perpétuelle augmentation avec variation de rythme entre les différentes régions du pays ; le sud algérien enregistre un des taux les plus élevés à l'échelle nationale [2]. L'urbanisation est plus concentrée dans cette région fragile et contrainte par son hyperaridité. La traduction spatiale de cette croissance urbaine est un étalement assez démesuré des périmètres urbains des villes du Sahara algérien. Les zones urbaines ne cessent d'accroître leurs surfaces au détriment du potentiel environnemental, en altérant de ce fait le paysage oasien et mettant en péril son écosystème. L'oasis, fondée depuis son origine sur la trilogie écosystémique eau, habitat et palmeraie, n'a pas pu échapper des bouleversements morphologiques et fonctionnels véhiculés par l'urbanisation incontrôlée [3]. Cette croissance accélérée est cependant moins estimée dans les documents d'aménagement et d'urbanisme. Jusqu'à nos jours, les autorités locales ne disposent pas d'outils bien appropriés pour maîtriser et gérer l'étalement des villes oasiennes [4,5]. L'avènement récent des images satellitaires a suscité les attentes des aménageurs, des urbanistes et des autres acteurs de la ville. Elles permettent l'observation des phénomènes et des objets terrestres, et fournissent des informations spatiales plus fiables et de temporalité régulière [6]. Les images satellitaires présentent actuellement une source assez importante d'information en faveur de la nature et la qualité de données qu'elles véhiculent [7].

La présente étude consiste à cartographier et évaluer la croissance spatiale d'une grande ville oasienne, celle de Ouargla, à travers une approche quantitative basée sur la mobilisation des images satellites multitudes et l'application des métriques paysagères. Notre étude est structurée en quatre sections. Après l'introduction, des éléments conceptuels liés à l'imagerie satellitaire et aux métriques paysagères seront abordés. La deuxième section portera sur la présentation de l'aire d'étude et de la démarche méthodologie suivie. Les résultats obtenus et leurs interprétations seront présentés dans la troisième section. À la fin, cette étude sera

couronnée par des éléments de conclusion et des perspectives.

1.1 Les images satellitaires pour suivre et cartographier l'urbanisation incontrôlée

Une image satellitaire est une représentation numérique de la réalité terrestre, captée et enregistrée au moyen d'un capteur satellite. Le domaine d'acquisition, de traitement et de production des images satellites est celui de la télédétection spatiale [8]. Depuis la mise en orbite des premières générations des capteurs satellites à vocation civile au début des années 70, les images satellitaires ont joué un rôle important dans l'étude des phénomènes terrestres. Plusieurs opportunités sont apportées par les images satellitaires. D'une part, elles offrent des données riches en informations spatiales, couvrant de larges étendues géographiques, en actualisation régulière, aisément accessibles et avec moins de coûts économiques. D'autre part, la nature numérique des images satellites leur donne la faveur d'être intégrées dans les Systèmes d'Information Géographique (SIG). En effet, l'imagerie satellitaire est devenue un outil incontournable pour l'étude des dynamiques spatiotemporelles s'opérant sur les territoires terrestres tels que l'étalement urbain [6,9].

1.2 Mesure et évaluation des formes d'urbanisation à travers les métriques paysagères

En écologie du paysage urbain, la ville est spatialement considérée comme un paysage hétérogène constitué d'une mosaïque de fragments interférés selon des logiques anthropiques et naturelles [10]. L'évaluation de l'impact de la croissance spatiale de la ville fait appel aux métriques paysagères, développées au sein de l'écologie du paysage au cours des années 80. Ces métriques, appelées aussi métriques spatiales, servent à qualifier la structure du paysage à travers la mesure de certaines propriétés caractérisant sa composition et sa configuration spatiale. La composition correspond à la diversité et à l'abondance des éléments constituant le paysage; la configuration concerne la forme, la taille et la disposition spatiale de ces éléments de composition [11]. Trois échelles d'étude peuvent être abordées : celle relative aux fragments pris séparément '*patch level*', celle relative aux classes constituant le paysage '*class level*', et celle prenant en compte l'ensemble du paysage '*landscape level*' [11]. De nombreuses études ont montré l'importance de ces métriques pour décrire le processus de croissance des villes et d'évaluer son impact sur l'environnement [9].

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 Aire d'étude

La ville de Ouargla, l'oasis géante du Bas-Sahara algérien, est située à 820 km au sud-est de la capitale Alger. Sur la latitude (31° 58' Nord), la longitude (5° 24' Est) et l'altitude 128 m (fig.1). L'ensemble de l'oasis occupe le fond d'une vaste cuvette sédimentaire dans la basse vallée de l'Oued Mya, qui s'étend du sud-est au nord-est sur une soixantaine de kilomètres avec une largeur relativement modeste, variant de 4.5 à 11 km au niveau l'agglomération. Climatiquement, cette région du Sahara septentrionale appartient au domaine hyperaride. Le climat est assez chaud et sec en été, et froid et plus frais en hiver particulièrement dans la période diurne. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 23.82°C, avec maxima de 44.10°C enregistré en mois de juillet et minima de 12.76°C en mois de décembre. Les précipitations sont très rares et irrégulières avec moyenne annuelle ne dépassant pas les 33.41 mm [12].

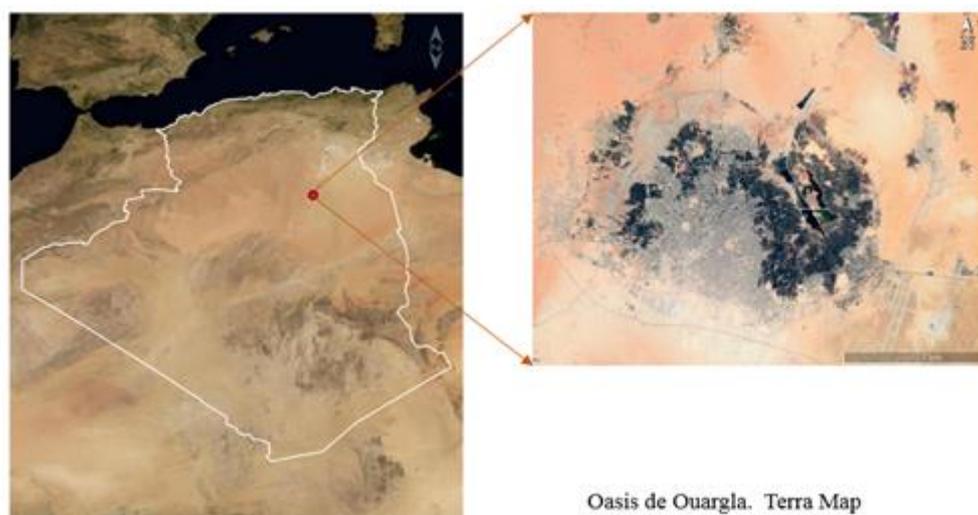


Fig.1. Situation de l'aire d'étude.

(Établie par les auteurs à partir des images Terra Map)

En conséquence de conurbations successives des agglomérations limitrophes, la ville de Ouargla regroupe actuellement quatre communes qui sont : Ouargla, Sidi Khouiled, Rouissat et Ain Beida, avec une population dépassant les 210 175 habitants en 2015 (DPAT). La population s'est multipliée par plus de huit fois depuis 1966 d'où elle ne comptait que 23 266 habitants. Cet essor démographique pose actuellement de multiples problèmes comme la

remontée des eaux souterraines et la consommation des terres agricoles ainsi que d'autres problèmes liés à la gestion urbaine, qui sont principalement dus aux aménagements inadaptés aux spécificités bioclimatiques locales, et qui amènent également à la perte progressive de l'identité oasienne [3,13].

2.2 Données et matériel utilisés

La présente étude consiste à caractériser l'évolution de la tache urbaine de la ville de Ouargla sur une période de 30 ans, entre 1985 et 2015. Pour ce faire, une série séquentielle constituée de trois images multispectrales Landsat a été acquise via l'USGS (United States Geological Survey). Les images acquises correspondent aux dates suivantes : 1985, 2000 et 2015. Ces trois images satellitaires ont été sélectionnées en faveur de leurs similarités temporelles (scènes prises dans les mêmes saisons de l'année et ayant des horaires du jour très proches) afin d'assurer plus de similitude en matière de conditions atmosphériques et phénologiques. Les caractéristiques des images obtenues sont illustrées dans le tableau qui suit (tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques des images Landsat utilisées

Image	Capteur	Date	Bandes	Nébulosité	Rés. spatiale (m)
Image 1	Landsat 5 TM	30-04-1985	1-2-3-4-5-7	0	30
Image 2	Landsat 7 ETM+	14-03-2000	1-2-3-4-5-7	0	30
Image 3	Landsat 8 OLI-TIRS	01-04-2015	2-3-4-5-6-7	0	30

Des cartes auxiliaires sont ainsi utilisées comme des documents de référence. Il s'agit de trois plans parcellaires des années 1986, 2001 et 2014, ainsi que trois images « Geotif » en coloration naturelle fournies par l'USGS, correspondant aux années 1985, 2000 et 2015 respectivement. La chaîne de traitement (classification et post-classification) des images satellitaires est effectuée au moyen du logiciel QGIS ; le calcul des métriques spatiales est établi à travers le logiciel FRAGSTAT [11].

2.3 Démarche méthodologique

Le déroulement de l'analyse est structuré en quatre étapes : 1- prétraitement et normalisation des images acquises ; 2- classification et perfectionnement de la classification ; 3- validation

de la classification ; 4- calcul des métriques paysagères [14,15].

2.3.1 Prétraitement et normalisation des images

Les images sélectionnées pour cette étude (collection de niveaux L1TP) sont géométriquement autoremplacées et géocodées préalablement avant leurs diffusions par l'USGS, selon le système de référencement géographique WGS 84, zone 31 Nord. La zone d'étude est extraite à travers une fenêtre de découpe incluant l'actuel périmètre urbain et son environnement immédiat. Elle est incluse entre les longitudes ($5^{\circ}15'6.18''$ et $5^{\circ}24'23''$ Est) et les latitudes ($31^{\circ}54'27.2''$ et $32^{\circ}0'24''$ Nord). Ainsi, un calibrage radiométrique, consistant à convertir les radiances des images en réflectances, est effectué en exécutant une correction atmosphérique de type TOA (Top Of Atmospheric) et une soustraction des objets non attribués en appliquant le modèle DOS1 (Dark Object Subtraction) [16–18].

Par la suite, une opération de rehaussement est appliquée sur les images afin d'améliorer leurs qualités et faciliter leurs interprétations visuelles. Une composition colorée en fausses couleurs a été maintenue (fig. 2), avec la combinaison des bandes (4-3-2) pour les images TM et ETM+ et (5-4-3) pour celle de Landsat OLI-TIRS [16].

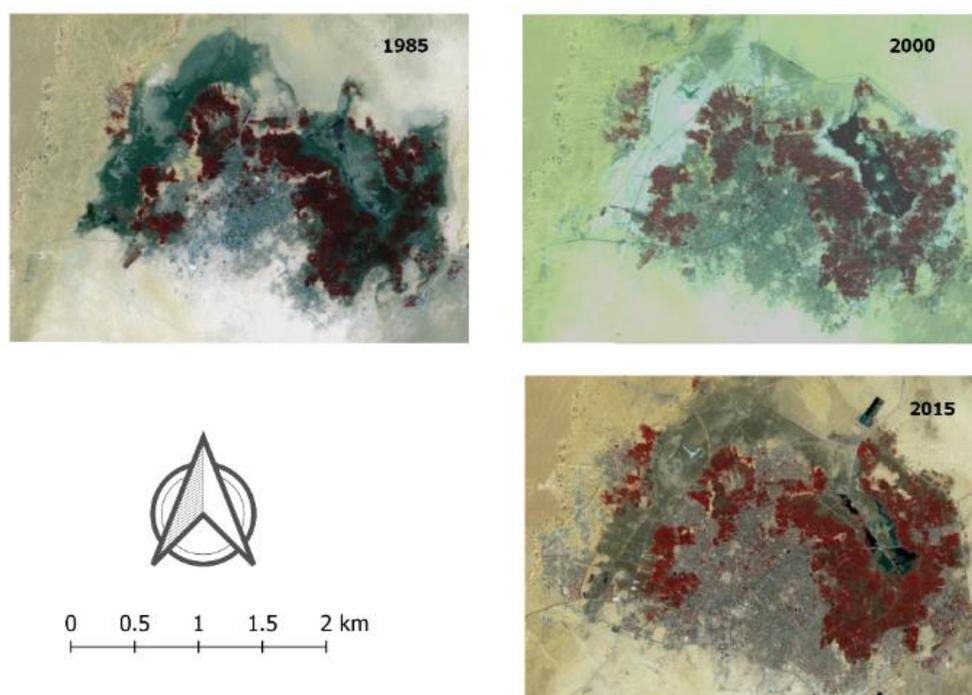


Fig. 2. Compositions en fausses couleurs des images utilisées (1985 – 2000 – 2015)

(Établie par les auteurs à partir des images USGS)

2.3.2 Classification et perfectionnement de la classification

La classification des données satellitales est une méthode largement utilisée pour l'extraction de l'information spatiale. Elle consiste à attribuer à chaque pixel son appartenance en matière d'occupation du sol. La méthode de classification optée pour cette étude est de type supervisé, compte tenu de notre connaissance de terrain et des documents disponibles. Avant de se procéder à la classification des images, nous avons défini quatre classes d'occupation du sol suivant la nomenclature FAO (2016) : 1- Surfaces urbanisées (surfaces bâties et aménagées) ; 2- Palmeraie (phœniciculture) ; 3- Basse végétation (Prairies, maraichages et sols à vocation agricole) ; 4- Sol nu (Sols non bâtis et non cultivés).

L'échantillonnage des zones d'entraînement (zones de test) est établi par photo-interprétation des images en compositions colorées (fig. 2), en correspondance avec les cartes de référence [20]. Des polygones représentatifs de différentes classes sont générés à travers l'algorithme « Region Growing ». Cette étape d'échantillonnage sert à mesurer pour chaque classe d'occupation du sol ses propriétés spectrales, à partir desquelles sera effectuée la classification spectrale de l'ensemble des images utilisées [16,21].

Afin d'exécuter la classification supervisée, l'algorithme « Maximum de vraisemblance » est utilisé [22–24]. Par la suite, une amélioration post-traitement des cartes générées par la classification est entamée. Elle consiste à corriger les confusions induites par la classification et l'élimination des pixels isolés en appliquant un filtre de 3x3 pixels. À la fin de cette étape, un traitement de reclassification est appliqué sur les trois cartes en vue de les rendre homogènes et comparables [23]. Concernant la végétation, on a de nouveau distingué deux classes : végétation urbaine localisée à l'intérieur de l'actuel périmètre urbain, qui correspond à la palmeraie, et végétation périurbaine au-delà du périmètre bâti. Cette dernière classe représente les nouvelles exploitations agricoles implantées dans la périphérie de la ville. Cette reclassification permettra la visualisation de l'évolution spatiotemporelle de la palmeraie à l'intérieur du permettre urbain, séparément de celle s'opérant en périphérie.

2.3.3 Validation de la classification

L'évaluation de la classification est cruciale pour pouvoir passer à l'analyse thématique. Elle renseigne sur le niveau de précision des cartes produites par la classification. Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la classification. La plus courante est la matrice de

confusion [25]. Un indice synthétique dérivé de la matrice de confusion est également utilisé dans l'évaluation de la précision. Il s'agit de l'indice Kappa (K_{hat}). C'est un indicateur de qualité servant à mesurer la performance d'une classification multiclassée. Pour une valeur de K_{hat} supérieur ou égale à 0,8, la classification est statistiquement assez considérable ; K_{hat} varie entre 0,4 et 0,8, la classification est de moyenne considération [26,27]. Dans cette étude, l'évaluation de la précision est effectuée en se procédant à la digitalisation de 200 points de vérification, créés et répartis aléatoirement sur toute la zone d'étude. La matrice de confusion est générée après calcul matriciel de comparaison (SIG).

2.3.4 Calcul des métriques paysagères

Puisqu'il s'agit d'une évaluation de l'évolution des classes d'occupation et d'utilisation du sol, les métriques paysagères sélectionnées pour la mesure des changements spatiotemporels correspondent toutes au niveau des classes '*class metrics level*'. Cinq métriques ont été maintenues pour cette étude [9,11]:

- **La portion occupée dans le paysage (PLAND)** : cet indice se rapporte à la part surfacique occupée par une classe d'occupation du sol. C'est un indice pouvant indiquer la dominance dans la composition du paysage.
- **Le nombre de taches (NP)** : le calcul du nombre de fragments constituant une classe donnée permet de se rendre compte de l'abondance ou la rareté des éléments de composition. Le suivi de cet indice permet de constater s'il y a apparition ou disparition de certains fragments, ce qui amène à révéler la tendance spatiotemporelle (croissance ou décroissance).
- **La taille moyenne des taches (AREA_MN)** : la surface moyenne des tâches appartenant à la même classe, mesurée en hectare (ha). La combinaison de cet indice avec l'indice NP permet de décrire l'évolution paysagère entre agrégation et/ou morcellement. Pour les surfaces bâties, elle permet de révéler le mode de croissance spatiale (par densification ou par fragmentation).
- **L'indice du plus grand fragment (LPI)** : pour une classe donnée, cet indice de forme représente la portion occupée par le plus grand fragment. Le calcul de cette métrique permet de se rendre compte sur le niveau de dominance des plus larges fragments des différentes classes. LPI se rapprochant à la valeur 0, cela signifie que le fragment le plus large de la classe concernée est minime dans la constitution du paysage. Par contre, LPI = 100, ce

fragment occupe la totalité du paysage. L'augmentation de la valeur de cet indice signifie que la classe concernée tend à dominer le paysage.

- **L'indice d'agrégation (AI)** : c'est un indice synthétique de configuration décrivant l'organisation et la disposition des fragments d'une classe d'occupation du sol donnée. La mesure de cet indice permet de révéler le niveau de compacité (agrégation) ou d'isolement des fragments composant une classe paysagère. La valeur de (AI) varie entre 0 et 100%. AI tend vers l'augmentation, la classe concernée tend vers la compacité et inversement.

Le mode de calcul de ces métriques ainsi que la description de leurs plages de variation sont illustrés dans le tableau 2.

Tableau 2. Mode de calcul des métriques sélectionnées [9,11]

Métrique	Formule	Intervalle
PLAND (%)	$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$ P_i : la proportion occupée dans le paysage par la classe i a_{ij} : l'aire (m^2) des fragments ij A : la surface totale (m^2)	$0 \leq PLAND \leq 100$
NP (unités)	$NP = n_i$ n_i : nombre de fragments composant la classe i	$NP \geq 1$
AREA_MN (ha)	$AREA_MN = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i}$ x_{ij} : surface totale des fragments constituant la même classe i n_i : nombre de taches composant la classe i	$AREA_MN > 0$
LPI (%)	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$ a_{ij} : aire d'un fragment ij (m^2) A : aire totale du paysage (m^2)	$0 \leq LPI \leq 100$
AI (%)	$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max_{i \rightarrow j} g_{ij}} \right] (100)$ g_{ij} : nombre de d'arêtes adjacentes des fragments de la classe i $\max_{i \rightarrow j} g_{ij}$: nombre maximum d'arêtes adjacentes des fragments de la classe i	$0 \leq AI \leq 100$

En se basant sur les cartes thématiques issues de la classification des images satellites comme source d'entrée, le calcul de ces métriques est effectué au moyen du logiciel libre FRAGSTAT. Quant à l'évaluation des résultats, et compte tenu de la complexité des paysages étudiés, il est important de se procéder à une corrélation de ces métriques afin de pouvoir développer une interprétation synthétique prenant en considération l'ensemble des comportements des différentes métriques mises en examen.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Validation de la classification

Trois cartes thématiques sont générées à l'issue de la classification (fig. 3). Ces cartes correspondent aux années 1985, 2000 et 2015 respectivement. Le calcul des matrices de confusion a montré un niveau de précision assez satisfaisant, aussi bien pour la précision globale (92.10, 89.64 et 93.22 respectivement) que pour l'indice K_{hat} dont les valeurs de précision obtenues sont 0.86, 0.82 et 0.91 respectivement (tableau 3).

Tableau 3. Précision de la classification des trois images 1985, 2000 et 2015

Type d'évaluation	1985	2000	2015
Précision globale (%)	92,10	89,64	93,22
Précision classe « surface urbanisée » (%)	91,00	92,20	94,36
Précision classe « palmeraie » (%)	94,20	90,60	94,20
Indice K_{hat}	0,86	0,82	0,91

3.2 La cartographie du changement : un net étalement des surfaces bâties contre un recul excessif de la palmeraie

La classification supervisée a permis l'obtention de trois cartes thématiques, qui sont illustrées dans la figure qui suit (fig. 3). La lecture diachronique de ces cartes révèle une nette croissance des surfaces bâties le long de la période d'étude, contre un important recul de la palmeraie.

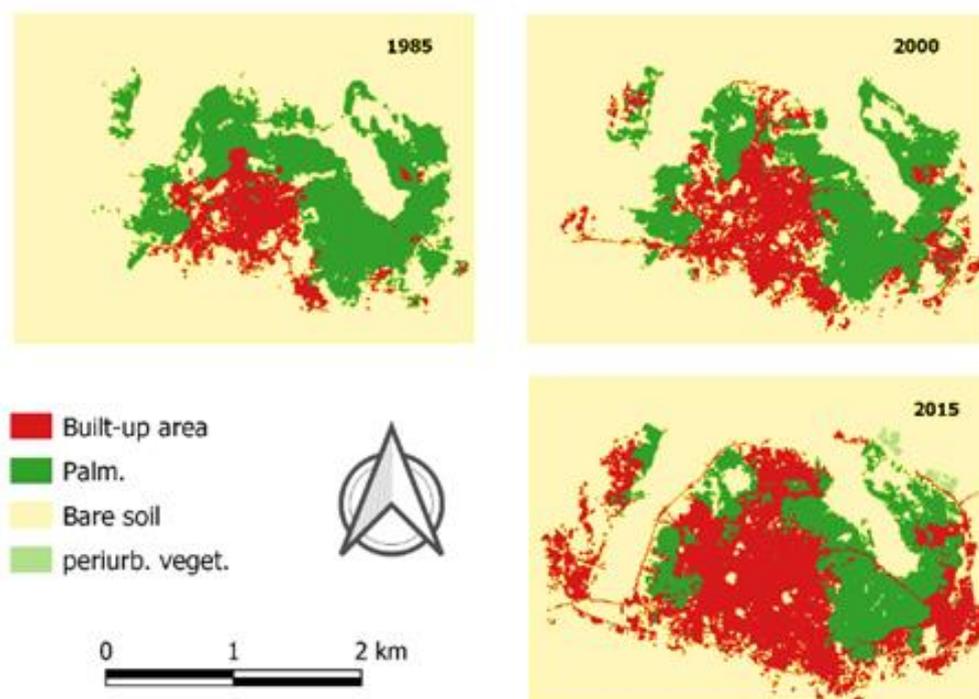


Fig. 3. Évolution spatiotemporelle de la ville de Ouargla entre 1985 et 2015
(Établie par les auteurs)

Au cours de la première période, la croissance spatiale de la ville de Ouargla s'est caractérisée par deux tendances. D'une part, des extensions en continu qui se propagent vers le sud et vers le nord en traversant la palmeraie et en lui provoquant de ce fait un processus de fragmentation, qui s'aggrave plus dans la deuxième période (2000 -2015). D'autre part, des extensions qui s'opèrent au-delà des limites physiques de la ville (*Sebkha* et palmeraie), pour débiter une urbanisation en discontinue suivant deux directions : à l'ouest, sur le plateau de Bamendil d'où l'installation de la nouvelle ville (Hai En-Nasr) ; à l'est, en intégrant les quartiers d'Ain Beida.

Pendant la seconde période (2000-2015), la tache urbaine est aussi marquée par une importante croissance spatiale. La fragmentation de la palmeraie s'est continuée par empiétement de ses surfaces, notamment vers le nord d'où les extensions urbaines ont pu atteindre l'agglomération de Said Otba pour former une seule entité bâtie, et vers l'ouest en rejoignant le quartier de Bouamar. La palmeraie est également grignotée en conséquence des extensions des quartiers avoisinants, comme c'est le cas des quartiers de Chott et d'Ain Beida à l'est. L'extension des surfaces bâties a ainsi marqué les agglomérations périphériques,

notamment la ville nouvelle à l'ouest et l'agglomération d'Ain Beida à l'est. Un processus de densification de ces zones périphériques est à mentionner pendant cette période.

Sur le plan quantitatif, les résultats obtenus via la cartographie spatiotemporelle sont illustrés dans le tableau qui suit (tableau 4). La lecture de ce tableau révèle une variation de rythme de croissance entre les deux périodes (1985 – 2000) et (2000 – 2015).

Tableau 4. Évolution surfacique des classes d'occupation et d'utilisation du sol

Classe	Surface (ha)			1985 - 2000		2000-2015	
	1985	2000	2015	+/- (ha)	Év/an	+/- (ha)	Év/an
Surface bâtie	986.22	1821.87	3538.08	+835.65	+55.71	+1716.21	+114.41
Palmeraie	2782.62	2401.74	2042.37	-380.88	-25.39	-359.37	-23.96
Vég. Périurb.	-	-	59.85	-	-	+59.85	-
Sol nu	11178.36	10723.59	10723.59	-454.77	-30.32	-1416.69	-94.45

Sur toute la période d'étude, la classe du bâti a enregistré une augmentation importante de sa surface. Elle est passée de 986.22 ha en 1985 à 1821.87 ha en 2000 pour atteindre 3538.08 ha en 2015. Une croissance plus amplifiée est constatée pendant la seconde période (2000 – 2015) avec un gain de surface estimé à 1716.21 ha, contre 835.65 ha de surface acquise pendant la première période (1985 – 2000). En revanche, la palmeraie a subi un processus inverse. Sa surface s'est diminuée de 2782.62 ha en 1985 à 2401.74 en 2000 pour enregistrer 2042.37ha de surface en 2015. Ce processus de perte de surfaces a presque suivi le même rythme avec une perte de 380.88 ha de surface durant la première période et 359.37 ha pendant la deuxième période. Il convient de noter également que de nouvelles exploitations agricoles sont également remarquées en dehors du périmètre urbain avec la plantation de 59.85 ha entre 2000 et 2015.

3.3 Évaluation des transformations paysagères : deux tendances spatiales opposées

Sur le plan paysager, les résultats des métriques paysagères sont illustrés dans la figure 4.

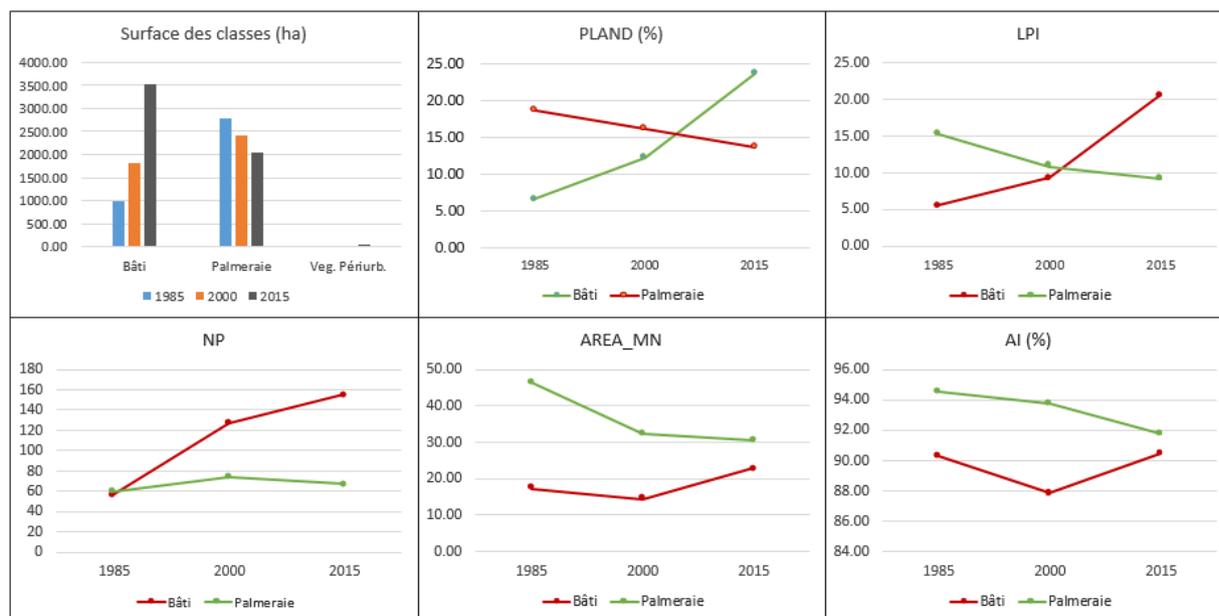


Fig. 4. Évolution des métriques paysagères caractérisant la ville de Ouargla
(Établie par les auteurs)

La confrontation de l'évolution du paysage oasien aux métriques paysagères a révélé deux processus opposés : un étalement surfacique de la tache urbaine avec tendance vers la compaction (agrégation), contre un morcellement progressif et, donc, fragmentation de la palmeraie. Le tissu bâti s'est caractérisé par deux modes de croissances. Entre 1985 et 2000, le nombre de fragments (NP) s'est augmenté de 57 unités à 127, avec diminution de leur surface moyenne (de 17.3 ha à 14.35ha) et de leur indice d'agrégation (AI) qui s'est diminué de 90.31% en 1985 à 87.83% en 2000. L'indice du plus grand fragment (LSI) a aussi marqué une augmentation de sa valeur. Il est passé de 5.53 en 1985 à 9.28 en 2000 indiquant donc une croissance en continu de la ville-centre. La lecture combinée des métriques spatiales révèle deux modes de croissance des surfaces bâties : en continuité avec la ville-centre, puis en éclatement au-delà du périmètre urbain et des limites naturelles.

Pendant la deuxième période, le nombre de fragments (NP) a atteint les 155 taches, mais cette fois-ci l'augmentation du nombre NP s'est accompagnée en même temps d'une augmentation de la surface moyenne (22.83ha) et de l'indice (AI) qui s'est remonté vers la valeur 90.48%. L'indice (LPI) a également continué sa croissance pour atteindre la valeur de 20.63 en 2015. L'augmentation simultanée des valeurs de la surface moyenne, de l'indice d'agrégation, et

celle de l'indice (LPI) montre que la croissance de la classe du bâti a suivi un mode continu d'extension par densification autour des pôles existants. Par contre, les métriques relatives à la palmeraie ont révélé un processus différent. Le nombre de fragments (NP) a enregistré une légère augmentation pendant la première période (de 60 à 74 unités), puis un retour vers le nombre de 67 unités en 2015. Ces résultats indiquent qu'un morcellement de la palmeraie a été effectué au cours de la première période, suivi par une disparition de certains fragments pendant la deuxième période, qui est traduite par la diminution du nombre des fragments (de 74 à 67 fragments entre 2000 et 2015). Cette perte signifie que les fragments disparus sont soit convertis par l'urbanisation, ou qu'ils ont subi une dégradation affectant leur nature agricole. La diminution continue des valeurs des indices AREA_MN (46.38 ha, 32.46 ha, 30.48 ha), LPI (15.21, 10.86, 9.18) et AI (94.54, 93.72, 91.76) pour les années 1985, 2000 et 2015 respectivement confirment cette tendance.

4. CONCLUSION

L'application de la télédétection spatiale et des métriques paysagères a permis la visualisation et la mesure des transformations spatiotemporelles accompagnant l'évolution urbaine de la ville de Ouargla. Il ressort que durant ces trois dernières décennies, la ville de Ouargla a enregistré une importante croissance de son tissu urbain au détriment de la palmeraie en franchissant en même temps les limites physiques et naturelles définies par la palmeraie et la *Sebkha*. La portion occupée dans le paysage oasien par les surfaces urbanisées est nettement évoluée avec un pourcentage passé de 6.60% à 23.67% entre 1985 et 2015, soit une multiplication par 3.6 fois dans un intervalle temporel de 30 ans. En somme, la cartographie du changement spatiotemporelle a montré un étalement spatial de la tâche urbaine nettement marqué sur toute la période d'étude avec plus d'ampleur constatée entre 2000 et 2015, contre un recul successif des surfaces boisées. Cet étalement se caractérise par deux traits majeurs : d'une part, une densification en continu de la ville-centre jusqu'au remplissage de sa cuvette, puis, et d'autre part, des extensions en discontinue, opérées en franchissant la *sebkha* à l'ouest et au nord-ouest et la palmeraie à l'est de la ville. En revanche, la palmeraie a subi un recul progressif de sa surface au profit des surfaces bâties, ce qui a conséquemment engendré une forme fragmentée à cette composante oasienne. Les métriques paysagères ont permis

également la description des formes spatiales caractérisant le paysage oasien à chaque période d'évolution.

Dans une optique de mieux maîtriser l'urbanisation rapide et incontrôlée que connaissent actuellement les villes oasiennes, ainsi que la réduction de ses effets néfastes sur les palmeraies, il est donc important d'adopter des démarches basées sur la télédétection spatiale et les métriques paysagères. En effet, la télédétection spatiale et les métriques paysagères peuvent constituer des outils d'aide à l'évaluation des choix d'aménagement oasien et également à l'élaboration des meilleures décisions. Ces outils offrent donc l'opportunité de formaliser les meilleures solutions et alternatives qui s'accommodent aux nécessités de protection et de promotion des milieux oasiens.

Ainsi, la présente étude nous a montré l'importance des images satellitales issues de la télédétection spatiale pour le suivi et la compréhension de l'étalement rapide et non maîtrisé des territoires urbains et périurbains, ainsi que l'évaluation de ces impacts sur les écosystèmes avoisinants. Dans une perspective plus large, cette démarche peut être reproduite pour étudier le phénomène dans les autres villes oasiennes et d'évaluer leurs modèles de développement urbain. À une échelle plus fine, au niveau des quartiers, cette approche peut amener à mesurer et à qualifier la végétation urbaine, une composante bioclimatique vitale à mettre en avant pour une durabilité de la ville saharienne.

5. RÉFÉRENCES

- [1] UN (United Nations). The World's Cities in 2018. Data Booklet. 2018, 29p. URL: https://www.un.org/en/events/citiesday/assets/pdf/the_worlds_cities_in_2018_data_booklet.pdf
- [2] Kouzmine Y, Fontaine J. Démographie et urbanisation au Sahara algérien à l'aube du XXI^e siècle. Les Cahiers d'EMAM, 2018, (30). <https://doi.org/10.4000/emam.1426>.
- [3] Kouzmine Y. Le Sahara algérien. Intégration nationale et développement régional. Paris : L'Harmattan, 2012, 344p.
- [4] Hammache S. Retour sur une expérience de terrain : les nouveaux pôles urbains à Ouargla. Les mutations de la ville saharienne—Approches croisées sur le changement social et les pratiques urbaines, Conf. Procced. Univ. Ouargla, 2015.

- [5] CNES (Conseil National Economique et Social). L'urbanisation et les risques naturels et industriels en Algérie : Inquiétudes actuelles et futures. Rapport. 2002, 112p. URL: <http://www.cnes.dz/cnes/wp-content/uploads/Rapport-sur-l'urba>.
- [6] Weber C. Images satellitaires et milieu urbain. Paris : Hemès, 1995, 185p.
- [7] Ban Y. Multitemporal Remote Sensing: Current Status, Trends and Challenges. In: Ban Y (Ed.). Multitemporal Remote Sensing Methods and Applications, Cham: Springer International Publishing, 2016, pp 1–18. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47037-5_1.
- [8] Kerle N, Janssen LLF, Huurneman GC. Principles of remote sensing. vol. 2. ITC, 2004, 250p.
- [9] Aguejdad R, Hubert-Moy L. Suivi de l'artificialisation du territoire en milieu urbain par télédétection et à l'aide de métriques paysagères. Application à une agglomération de taille moyenne, Rennes Métropole. Cybergeogeo, 2016. <https://doi.org/10.4000/cybergeogeo.27465>.
- [10] Wu J, He C, Huang G, Yu D. Urban Landscape Ecology: Past, Present, and Future. In: Fu B, Jones KB (Eds.). Landscape ecology for sustainable environment and culture, Dordrecht: Springer Netherlands, 2013, pp 37–53. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6530-6_3.
- [11] McGarigal K, Cushman SA, Ene E. FRAGSTATS v4: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. UMass, 2012. URL: <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- [12] Idder T, Idder A, Mensous M. Chapitre 15. Les conséquences écologiques d'une gestion non raisonnée des eaux agricoles dans les oasis du Sahara algérien. In : Aspe C (Ed.). De l'eau agricole à l'eau environnementale, Versailles : Editions Quæ, 2012, pp 209. <https://doi.org/10.3917/quae.aspe.2012.01.0209>.
- [13] Chaba M. Une vieille cité devenue métropole : Ouargla (Note). Méditerranée, 2002, 99 (3), 103–106. <https://doi.org/10.3406/medit.2002.3269>.
- [14] Ban Y, Yousif O. Change Detection Techniques : A Review. In: Ban Y (Ed.). Multitemporal Remote Sensing Methods and Applications, Cham: Springer International Publishing, 2016, pp 19–43. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47037-5_2.
- [15] Herold M, Couclelis H, Clarke KC. The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. Computers, Environment and Urban Systems, 2005, 29 (4), 369–399. <https://doi.org/10.1016/J.COMPENVURBSYS.2003.12.001>.

- [16] Congedo L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. Release 6.0.1.1. 2016. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>.
- [17] Tucker CJ, Grant DM, Dykstra JD. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2004, 70 (3), 313–322. <https://doi.org/10.14358/PERS.70.3.313>.
- [18] NASA. Science Data Users Handbook. 2011, 186p. URL: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Han
- [19] FAO. Land Cover Classification System - Classification concepts. 2016, 40p. URL: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/93c7a130-2f>
- [20] Munafò M, Congedo L. Measuring and monitoring land cover. In: Gardi C (Ed.). *Urban Expansion, Land Cover and Soil Ecosystem Services*; Routledge: Abingdon, UK, London: Routledge, 2017, pp 19–32.
- [21] Rajendran P, Mani K. Quantifying the Dynamics of Landscape Patterns in Thiruvananthapuram Corporation Using Open Source GIS Tools. *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, 2015, 5 (10), 77–87. URL: <http://euroasiapub.org/wp-content/uploads/2016/09/10EASOct-2751-1.pdf>.
- [22] Mather P, Tso B. *Classification methods for remotely sensed data*. 2nd ed. Boca Raton: CRC press, 2016, 376p.
- [23] Lu D, Weng Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28 (5), 823–870. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>.
- [24] Phiri D, Morgenroth J. Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review. *Remote Sensing*, 2017, 9 (9), 967. <https://doi.org/10.3390/rs9090967>.
- [25] Congalton RG. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 1991, 37 (1), 35–46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B).
- [26] Congalton RG, Green K. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. 2nd ed. Boca Raton: CRC press, 2008, 200p.
- [27] Landis JR, Koch GG. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 1977, 33 (1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>.

How to cite this article:

Dechaicha A, Alkama Dj. A spatio-temporal cartography and landscape metrics of urbanization patterns in algerian low-sahara. the case of Ouargla City. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 2020, *12(3)*, 1235-1252.