

Analyse diachronique de la consommation spatiale liée à l'urbanisation par une classification supervisée: Cas de la ville d'Annaba (Nord-Est Algérien)

[Diachronic analysis of spatial consumption linked to urbanization through a supervised classification: Case of the city of Annaba (Algerian North-East)]

Abderraziq Djakjak, Saddek Guerfia, Rabah Zennir, and Saif Eddine Derradji

Land Use Planning Department, Space and Environmental Analysis Laboratory, Badji Mokhtar - Annaba University, Faculty of Earth Sciences, Annaba University, Annaba, Algeria

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this work is to capture the evolution of the urban spot (land use) of the city of Annaba (Algeria), between 2001 and 2019, through the diachronic analysis of satellite images, remote sensing indices and geographic information systems.

The City of Annaba, like Algerian cities, has suffered and continues to suffer the effects of rapid urbanization and high population growth, resulting in uncontrolled spatial expansion. Socio-economic development has raised the agglomeration of Annaba to the rank of a regional metropolis.

The problem of urbanizable land due to physical constraints (the coastline on the one hand, and the plains, forests and mountains on the other), has forced the city to spread out, on its ecologically vulnerable coastal strip, but also to the detriment of fertile agricultural land, in order to meet the high demand for housing and public services. As a result, a phenomenon of conurbation is being produced, which is amplifying an urban situation that is already very difficult to manage.

KEYWORDS: Land use, urbanization, remote sensing and GIS, the city of Annaba, urban sprawl.

RESUME: L'objectif de ce travail consiste à saisir l'évolution de la tache urbaine (occupation des sols) de la ville de Annaba (Algérie), entre 2001 à 2019, et ce, par l'analyse diachronique des images satellites, indices de télédétection et systèmes d'informations géographique.

La Ville d'Annaba, à l'instar des villes algériennes a subi et continue de subir les retombées d'une urbanisation rapide et une croissance démographique élevée, ayant pour conséquences une expansion spatiale incontrôlée. Le développement socio-économique a hissé l'agglomération d'Annaba au rang de métropole régionale.

La problématique du foncier urbanisable due aux contraintes physiques (le littoral d'un côté, les plaines, les forêts et les montagnes de l'autre), a contraint la ville à s'étaler, sur sa bande littorale, écologiquement vulnérable, mais aussi au détriment des terres agricoles fertiles, afin de satisfaire la forte demande en logements et services publics. Par voie de conséquences, un phénomène de conurbation est en cours de production, et qui vient amplifier une situation urbaine déjà bien difficile à gérer.

MOTS-CLEFS: Occupation du sol, urbanisation, télédétection et SIG, la ville d'Annaba, étalement urbain.

1 INTRODUCTION

A l'instar de la plupart des villes des pays en développement, les villes algériennes ont connu une forte croissance de la population urbaine surtout après l'indépendance du pays en 1962. Ainsi, le nombre de villes a considérablement augmenté, il

est passé de 209 villes, en 1977, à 447 villes en 1987, pour atteindre 851 villes au recensement de 2008, tandis que la population urbaine a augmenté d'environ 1,4 à la même période [1]. Selon l'office national des statistiques, la population algérienne vivant dans les villes en 2018 avoisine les 70%.

Ce réseau urbain n'a pas connu les mêmes dynamiques similaires à celles ordinairement relevées dans d'autres pays développés. L'incapacité des outils d'aménagement, en plus en plus de l'inefficacité des systèmes de gouvernance, caractérisent la ville algérienne qui propose à l'observateur une trilogie des formes urbaines. Les tissus hérités de l'histoire ancienne (patrimoine précolonial et colonial), la ville planifiée de l'État socialiste, la ville spontanée produite par les citoyens [2].

Annaba, métropole de l'Est algérien [3], n'échappe pas à cette tripartition, malgré les orientations et les politiques adoptées. À l'image de toutes les villes algériennes, la ville est en pleine croissance, elle est soumise à de fortes et profondes mutations, aussi bien spatiales, économiques que sociales. La situation actuelle de la ville est en grande partie la résultante d'un passé composé de différentes politiques et stratégies de développement, et son processus d'urbanisation est par conséquent extrêmement complexe et problématique [4]. La ville et ses environs connaissent depuis quelques décennies une forte pression due à la croissance démographique alimentée par un exode rural massif provoquant une expansion spatiale et un franchissement des limites de la ville.

En outre, l'étalement de cette dernière sur une bande littorale très sensible, l'urbanisation anarchique, la carence de la gestion urbaine et la non-prise en charge des problèmes environnementaux, sont à l'origine des graves atteintes à l'environnement que connaît la ville et la dégradation des ressources naturelles notamment ses terres agricoles fertiles.

En effets, l'exacerbation de ces problèmes au cours des dernières décennies, a mené à de nouvelles approches pour remédier à ces problèmes et rendre la ville plus durable et plus compacte [5] ont vu le jour. Mais aussi de nouvelles méthodes et techniques ont été mises au point pour surveiller et analyser le phénomène de l'étalement urbain et ses conséquences.

Dans le même contexte et afin de surveiller et d'analyser l'étalement urbain et le grignotage des terres agricoles par l'urbanisation, des chercheurs ont identifié des techniques permettant de mesurer l'étalement urbain à l'aide de leurs propres indicateurs [6], tandis que d'autres ont mis l'accent sur des technologies spatiales et temporelles (telles que les SIG et la télédétection en combinaison avec des techniques statistiques) pour cartographier cet étalement.

Toutefois, la cartographie, le suivi de l'étalement urbain et de la consommation d'espace à l'aide de techniques SIG et de la télédétection ont suscité plus d'intérêt et se sont largement avérés être des outils efficaces et précieux pour le suivi et l'estimation de l'étalement urbain au fil du temps [7].

Cet article vise en particulier à répondre à diverses questions concernant: les transformations de l'occupation du sol sur cette période et leurs caractéristiques, la description du processus d'urbanisation dans la ville d'Annaba, en se basant sur l'analyse diachronique des images Landsat pour les dates 2001, 2010 et 2019.

Il est à signaler que ce travail, s'inscrit dans un projet de pré-détermination d'une thèse de doctorat Es-sciences.

2 MATERIELS ET METHODE

2.1 PRÉSENTATION DE L'AIRE D'ÉTUDE

Annaba est une ville côtière du Nord-Est de l'Algérie, qui porte le même nom que sa commune et sa wilaya, cette dernière s'ouvre sur la mer Méditerranée avec un front de mer de plus de 122,5 km. Ainsi, la ville d'Annaba occupe une position géographique stratégique, compte tenu de son rôle d'espace-carrefour dans la région Nord-Est du pays, elle constitue un nœud stratégique reliant plusieurs routes nationales (RN16, RN21, RN44) qui relient le littoral et les régions intérieures du pays. En outre, sa vocation de ville portuaire lui a permis d'accéder aux réseaux des villes méditerranéennes, et ainsi participer aux dynamiques commerciales et sociales entre la rive nord et sud du bassin méditerranéen et internationaux.

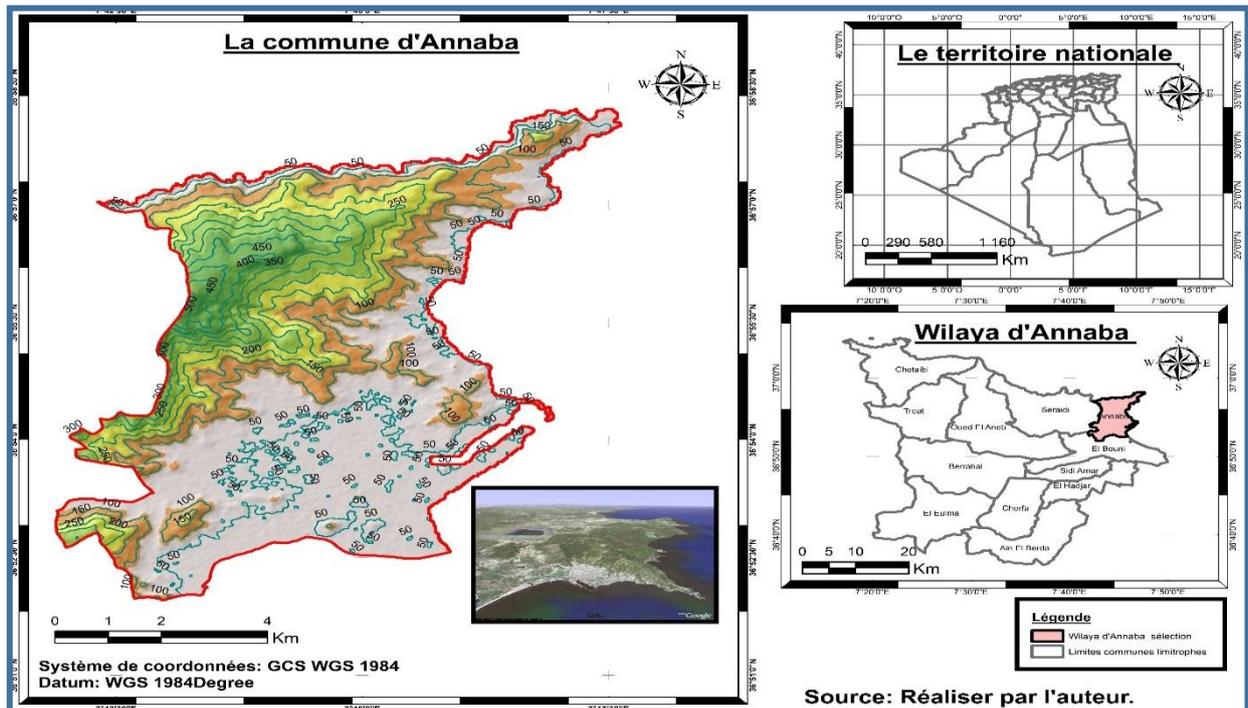
Géographiquement, la ville partage les avantages de son site avec d'importantes villes côtières et portuaires du pays (Oran, Arzew, Alger, Bejaia, Skikda et Al-Qala). La ville de Bejaia par exemple bénéficie d'une bonne protection naturelle, Alger possède de bonnes plaines agricoles, alors qu'Annaba est la seule qui combine ces deux caractéristiques en même temps [8], qui lui servent d'avantages ou d'éléments d'inertie.

L'actuelle commune d'Annaba couvre une superficie de 51,15 km², soit 3,58% du territoire de la wilaya, pour une population estimée à 342703 habitants, selon le RGPH 2008. Elle est insérée entre le 39° et 40° de latitude nord et les 5° et 6° de longitude sud. En ce qui concerne la ville d'Annaba, ses limites évoluent en fonction du rythme de son urbanisation. Le

facteur temps est donc inévitable dans l'identification de ses limites urbaines. Les limites de la ville sont identifiées simultanément par des éléments naturels et artificiels. Ces derniers jouent à la fois le rôle de limites de croissance et d'axes structurants de l'urbanisation. Ainsi, la ville est délimitée (figure 1).

- Au nord et : par le massif d'Edough
- A l'est: par la mer Méditerranée
- Au sud et à l'ouest: par la plaine de Kherza.

Actuellement, la ville est bloquée dans son extension par la montagne à l'ouest et la mer au nord et à l'est, l'urbanisation récente n'a pas eu d'autres possibilités que de gagner vers le sud, sur la plaine: soit dans la dépression du Boudjema, soit sur les terres de la Seybouse.



Carte.1. La ville d'Annaba dans son contexte géographique

2.2 DÉVELOPPEMENTS MÉTHODOLOGIQUE

Il existe de nombreuses méthodes pour la détection de changements, on cite la soustraction et le seuillage d'images [9], l'analyse des modifications de la morphologie urbaine [10], l'analyse de la différence entre images [11], l'usage de filtre de passe-haut [12], la classification spectrale/temporelle [13], la méthode ACP (analyse en composantes principales) [14], la comparaison post-classification [15] ou encore l'approche orientée-objet. Le choix d'une méthode pour discerner des changements d'occupation dépend, entre autres, des types de changements et de la qualité des données à utiliser (résolution spatiale et temporelle).

La comparaison post classification s'avère souvent la plus appropriée. Nous utilisons cette méthode pour notre travail, tout en sachant que l'efficacité de cette méthode est basée sur la qualité de la classification des images.

La méthodologie optée pour ce travail, peut être résumée en deux étapes principales, la première consiste à acquérir et à traiter des images satellites, et la seconde à effectuer des classifications supervisées sur la base des images traitées en première étape. Ainsi on a fait recours aux SIG dans le but d'exploiter les informations extraites des images classifiées sous forme de couches vectorielles, dont l'objectif est de quantifier et analyser le développement dans le temps et dans l'espace du processus de l'artificialisation (l'urbanisation) des sols dans de notre aire d'étude.

2.2.1 CHOIX ET ACQUISITION DES DONNÉES

L'objectif principal de ce travail est de retracer l'évolution de l'urbanisation et de la consommation spatiale dans la zone d'étude au cours de la période 2001 à 2020. Il convient donc de cibler les outils et les données nous permettant d'atteindre cet objectif. Ainsi, les portraits ponctuels sont établis tous les dix ans. Le respect de ce critère implique donc que notre recherche soit nécessairement orientée vers l'utilisation d'images satellites.

L'utilisation de ce type de données doit être basée sur des critères similaires déterminés au préalable lors de la sélection des images (scènes); le premier critère est que la scène doit couvrir toute la surface de la zone d'étude, le second est que la couverture nuageuse doit être minimale afin d'avoir un meilleur contraste entre les zones bâties et les sols nus, la période la plus favorable se situe par conséquent entre les mois de mai et juillet, et enfin, bien sûr, les images doivent être de bonne qualité radiométrique (résolution spatiale et spectrale, capteur utilisé, etc.), le choix dépendra fortement de la disponibilité de ces derniers. Pour ce travail, la meilleure source nous semble être l'utilisation d'images Landsat et le site Earth Explorer de l'USGS nous paraît le plus approprié pour télécharger ces images.

2.2.2 PRÉTRAITEMENTS DES IMAGES

Après avoir téléchargé les images satellites qui répondaient aux critères de sélection, et afin d'utiliser efficacement les données, nous avons procédé à des opérations de prétraitement. Ces opérations nous ont permis non seulement d'opérer dans un environnement géoréférencé, mais aussi d'utiliser des images exemptes de défauts visuels.

Grâce à la multitude de possibilités de traitement des vecteurs et des rasters qui sont les principales données utilisées dans ce travail, nous avons opté pour le logiciel QGIS (version 3.4.15-Madeira); qui est un outil gratuit et libre de droits, avec le support d'un plug-in SCP développé par Luca Congedo, dont le principe permet le traitement et la classification supervisée des images satellitaires.

Afin d'atténuer les effets additionnels causés par la diffusion des particules dans l'atmosphère, des corrections radiométriques et atmosphériques, ont été effectuées avec la soustraction d'objet sombre (DOS1) [16], [17]. Les images géoréférencées et corrigées ont été réduites pour s'adapter à la taille de la zone d'étude. La réduction a été effectuée à l'aide du fichier vectoriel des limites administratives qui est en format Shape (format vectoriel d'ESRI). Le tableau ci-dessous regroupe les données utilisées ainsi que les traitements effectués sur ces dernières.

Tableau 1. Récapitulation des données utilisées et des opérations de prétraitement effectuées

Année	2001	2010	2019
Date	30-06-2001	17-07-2010	23-05-2019
Capteur	Landsat 7 ETM+	Landsat 5 TM	Landsat 8 OLI
Résolution	30m	30m	30m
Projection spatiale	WGS 1984 _UTM zone 32 Nord		
Prétraitement	Correction radiométrique et atmosphérique, Découpage en fonction des dimensions de l'aire d'étude.		

Source: réaliser par l'auteur

2.2.3 TRAITEMENT ET CLASSIFICATION SUPERVISÉE

La recherche sur l'extraction de la surface terrestre à l'aide d'images satellites utilise, dans bien des cas, les méthodes de classifications supervisées basées sur le pixel [18], c'est une technique qui présuppose que nous avons une connaissance du terrain sur lequel on travaille. Ces classifications pixel par pixel utilisent en général des informations radiométriques provenant des différentes bandes spectrales utilisées. Pour bien discerner l'occupation du sol dans l'aire d'étude dans chaque image, nous avons procédé à réaliser des images composites multi-spectrales qui associent les différentes bandes de l'image (ex: composition colorée couleur naturelle par la combinaison des bandes « 3 -2-1 » pour Landsat 5 et 7 et par la combinaison des bandes « 4 -3-2 » pour Landsat 8 (figure 2). Ainsi, la couverture végétale représente une bonne partie de notre aire d'étude,

qui va donc avoir une réponse spectrale très similaire voire identique aux sols nus et de basse végétation. Afin de remédier ce problème, nous avons eu recours à l'indice NDVI¹.

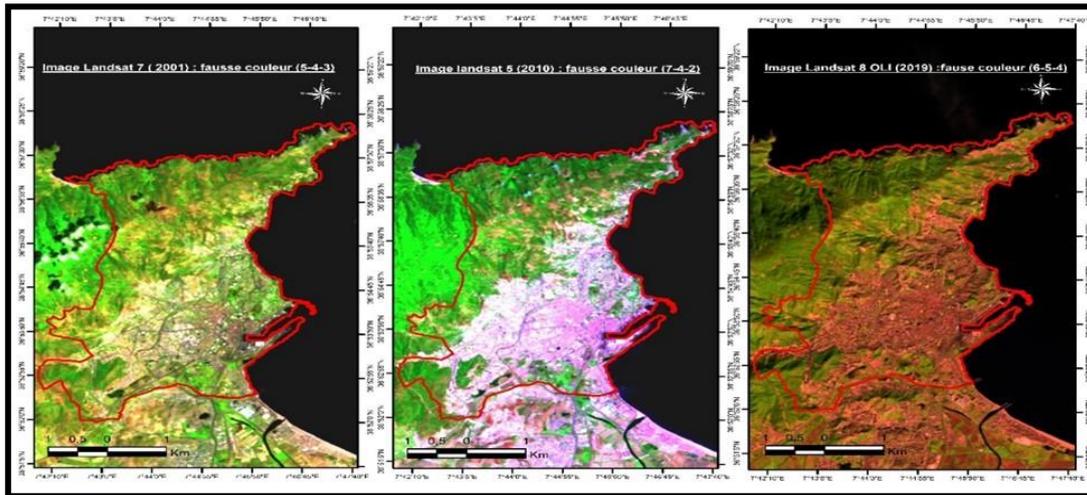


Fig. 1. Composition colorée des images satellites prétraitées

La méthode de la classification consiste à choisir différents échantillons de formations estimées représentatives des classes auxquelles nous voulons les attribuer, puis d'appliquer un algorithme de classification² qui, selon un certain nombre de règles statistiques, affectera chaque pixel de l'image à une classe définie. Dans ce même contexte, nous avons sélectionné quatre classes d'utilisation des terres dans la zone d'étude, qui sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2. Les classes retenues pour la classification

Classes	Désignation
1	Couvert végétale
2	Eaux
3	Sols nus
4	Bâtis

Après avoir défini les classes d'information et leurs localisations, nous avons introduit ces données dans l'extension SCP sous forme des régions d'intérêts (ROIs) afin de définir les classes spectrales qui les représentent, puis appliquer un algorithme pour attribuer chaque pixel a une classe. La méthode assez fréquemment utilisée dans le retracement des évolutions spatiotemporelles des extensions urbaines est décrite par Kieffer E. et Serradj A [19]. Il s'agit du Spectral Angle Mapper (SAM). Cette méthode utilise la différence d'angle entre la réflectance du spectre de référence et celle du spectre des pixels mesurés [20]. Ces deux spectres sont assimilés à des vecteurs dans un espace à n dimensions [21], [22]; avec n valant le nombre de bandes spectrales (donc de canaux).

2.2.4 EVALUATION DE L'EXACTITUDE DE LA CLASSIFICATION ET LA VALIDATION

Des recherches considérables ont été menées sur les différentes composantes du processus de cartographie, y compris l'évaluation de la précision [23]. L'objectif principal de cette étape est d'obtenir une description quantitative de la précision de

¹ NDVI= (PIR-R)/PIR+R) [Proche Infra-Rouge » (PIR) et « Rouge »], Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1

² Ces algorithmes fonctionnent de façon semblable à l'application d'un filtre spatial ; des calculs sont effectués sur les données d'une image se retrouvant sous une « fenêtre » qui se déplace ensuite jusqu'à ce que l'image entière soit traitée. Ces calculs servent à estimer la « texture » de l'image en fonction de la variabilité des valeurs numériques des pixels sous la fenêtre.

la carte de l'occupation des sols [24]. La validation de la classification a été faite à l'aide d'une matrice de confusion qui nous a permis de confronter les résultats de la classification à un jeu de données de référence, Cette matrice nous a permis d'évaluer la précision de la classification (globale et par classe), et de détecter les confusions entre les classes.

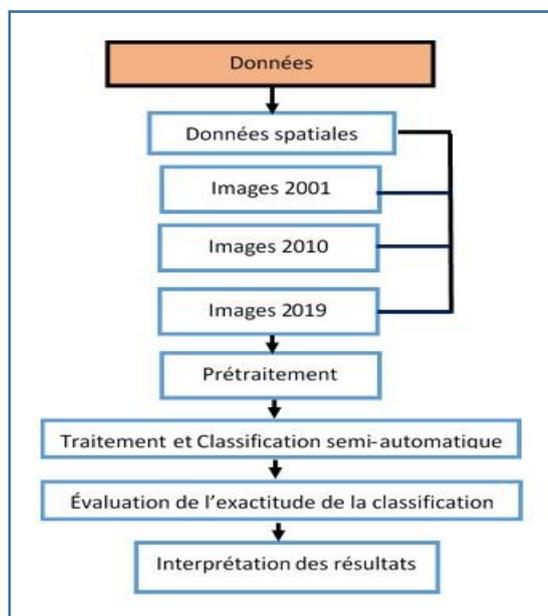


Fig. 2. Méthodes et outils d'investigation

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 LA CLASSIFICATION SUPERVISEE, UN OUTIL PERFORMANT ?

La phase de traitement des données fût longue et semée de difficultés. Néanmoins, nous sommes parvenus à produire des classifications supervisées. Il sera intéressant au cours de cette partie de discuter à la fois les résultats obtenus mais aussi des changements observés sur l'occupation du sol.

L'étude réalisée est une étude diachronique, outre le décalage temporel, la résolution des images utilisées, est une autre limite dans l'application de la classification supervisée. En effet, grâce à la fusion pancharging, nous sommes parvenus à acquérir des données avec une résolution spatiale de 15 mètres. Nous avons réalisé un maximum de ROI pour chaque classe, en moyenne 4. Malgré cela, on a pu constater quelques anomalies sur les classifications obtenues (fig. 3), qui nous ont limités dans le travail.

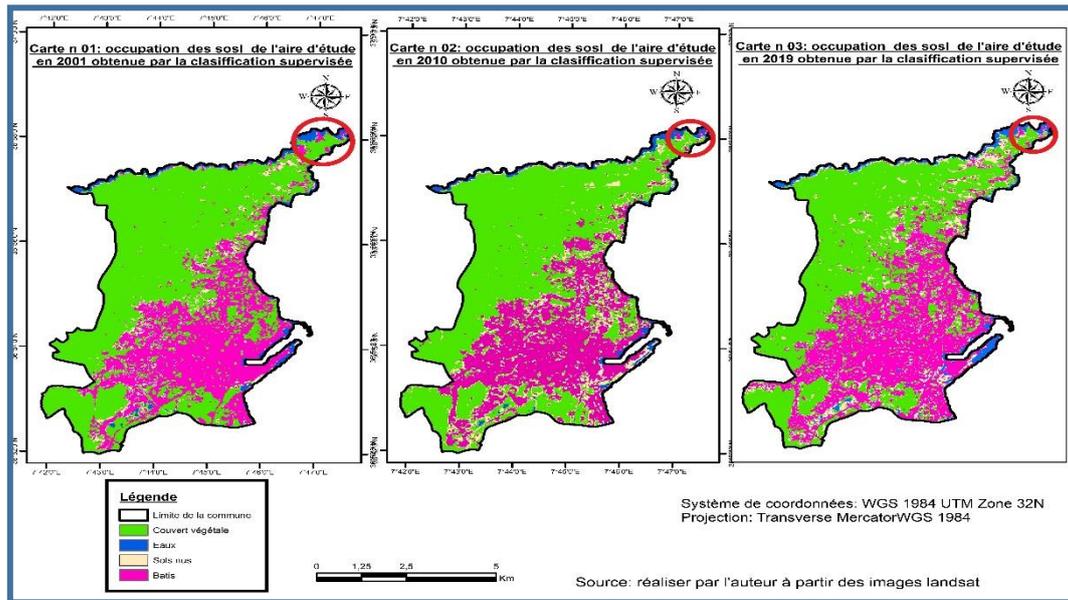


Fig. 3. Résultat de la classification supervisée des images satellites

Il est important de rappeler les limites de la télédétection. En effet, les signatures spectrales sont propres à une classe mais la lecture de cette dernière n'est pas la même, par exemple les routes et les sols nus, peuvent présenter un spectre proche. Ainsi, le modèle statistique rencontre des problèmes dans l'interprétation de la donnée. De plus, les conditions environnementales ne sont jamais les mêmes.

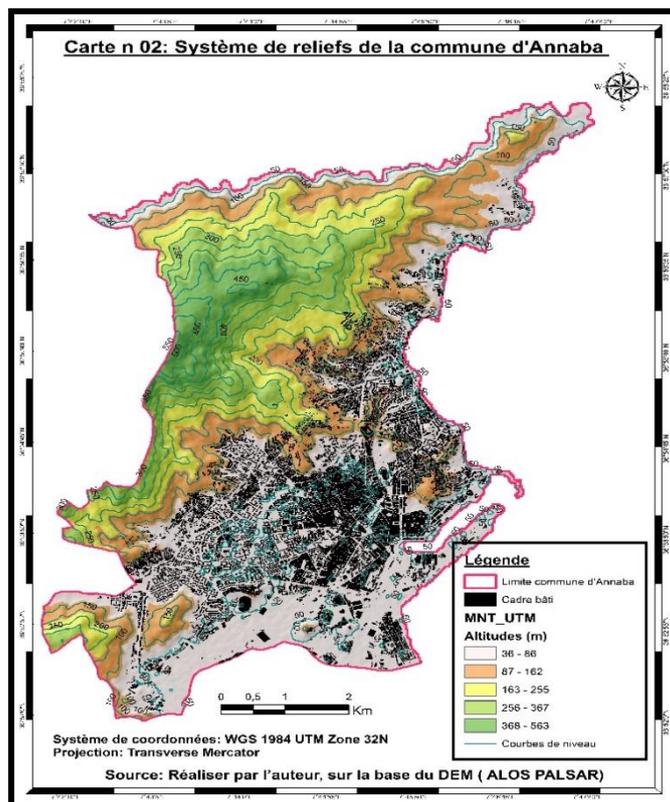
3.2 LA SITUATION URBAINE ACTUELLE DE LA VILLE

La ville d'Annaba fait l'objet d'un processus d'urbanisation rapide ayant pour effet immédiat une expansion urbaine qui progresse par saut (fig 4). Malgré que le développement de la ville ait été fortement planifié, une large partie du tissu urbain s'est façonnée d'une manière spontanée. Cette forme d'urbanisation, fragmentée et tentaculaire échappe à tout contrôle [25].

Depuis 2000, les programmes de développement socio-économique ne pouvaient se concrétiser en raison d'une incapacité à mobiliser d'autres assiettes foncières (terrains privés et litigieux, terrains accidentés et non viabilisés, etc.). Pour remédier cet état de fait, La révision du PDAU a été entamée en 2003 dans le but de dégager des réserves foncières et surtout à développer un projet d'agglomération. Ce projet préconise la conquête de nouveaux espaces jusqu'ici agricoles, la régularisation des dynamiques informelles en cours et surtout l'ouverture de nouveaux espaces économiques à l'investissement en privilégiant les formes contemporaines d'aménagement économique (technopole, pôles, grappes...). Cependant, cet effort local d'aménagement et de développement de l'agglomération s'est heurté à l'absence d'une réelle représentation de la mission de maîtrise d'ouvrage urbaine à l'échelle wilayale susceptible de mettre en œuvre le projet véhiculé par le PDAU intercommunal, encore moins d'assurer un portage foncier selon un calendrier précis et de cadrer la maîtrise d'ouvrage opérationnelle [26].

En ce qui concerne les couloirs de l'extension urbaine, nous pouvons remarquer que cette dernière est fortement liée aux infrastructures routières (surtout au niveau des RN 44 Ouest et RN 16): celles-ci en se développant, ont permis à la population de s'éloigner du centre-ville, et cela a fortement contribué au développement de l'urbanisation.

En outre, la ville se trouve actuellement bloquée dans son extension par la montagne au nord et la mer à l'est, l'urbanisation récente n'a pas eu d'autres possibilités que de gagner vers le sud, sur la plaine: soit dans la dépression du Boudjema, soit sur les terres de la Seybouse. Mais l'urbanisation anarchique sur ces terrains marécageux ne va pas sans difficultés (engorgements lors de chaque forte pluie, inondations graves de 1982). Actuellement la ville a occupé tous les espaces plats, et gagné les versants alentours (carte ci-dessous). Annaba manque d'espace pour s'étendre, et doit déborder de toutes parts dans les milieux particulièrement fragiles.



Carte 2. Système de reliefs de l'aire d'étude

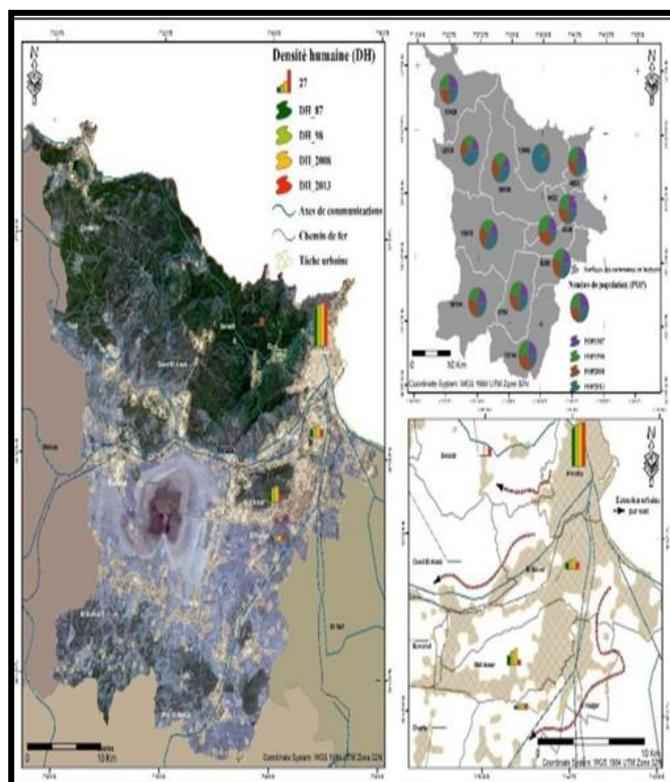


Fig. 4. Urbanisation en tâche d'huile

Source: R. A. Saouli N. Benhassine et A. Oularbi

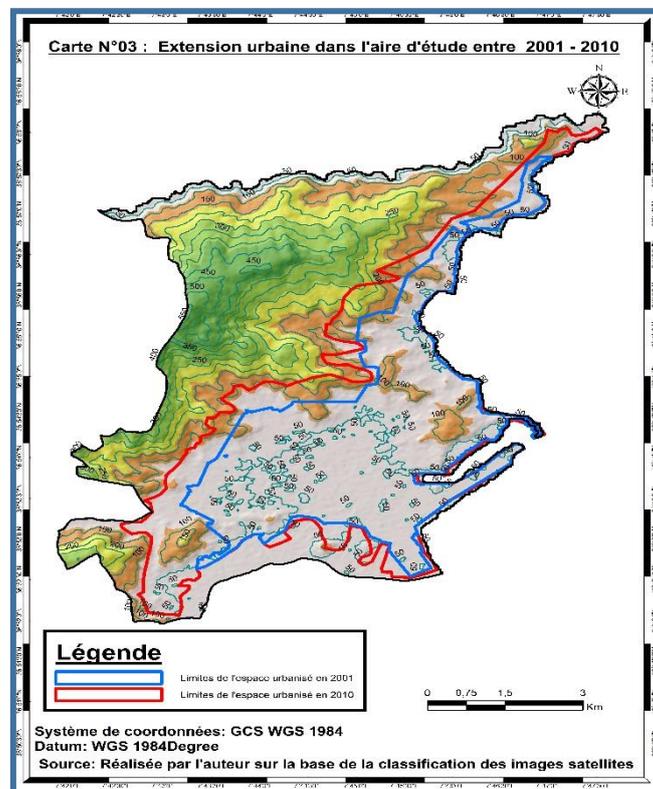
3.3 RETRACEMENT, QUANTIFICATION DE L'URBANISATION ET DETERMINATION DES COULOIRS D'URBANISATION

Le retracement du processus de l'urbanisation et du changement de l'occupation du sol à travers une présentation multitemps de notre aire d'étude, nous a permis de suivre l'ordre chronologique de la consommation des terres par l'extension urbaine, et par conséquent de faire la liaison entre les mécanismes qui ont abouti à ces choix et les mutations qu'a subi l'espace.

Après avoir convertis en format vectoriel en se basant sur les techniques SIG, Les images obtenues de la classification, ont été interprétées en cartes. Dans un premier temps, une analyse statistique a été réalisée pour définir les changements au sein des classes, en utilisant les paires des images de 2001 - 2010, 2010 – 2019. Les résultats illustrent une progression du tissu urbain, qui reflète la dynamique urbaine de la ville au détriment des terres agricoles et couvert végétale

3.3.1 PÉRIODE 2001 - 2010

La superposition de la carte de 2001 avec celle de 2010, nous a permis de quantifier et déterminer les nouvelles surfaces qui ont été affectées par l'extension urbaine durant cette période. On a pu constater que, la partie Sud et Sud-Ouest de la commune, faisait l'objet des nouvelles assiettes de l'urbanisation, cette zone de nature plaine représentait la zone la plus favorable et facile à l'urbanisation par rapport aux autres parties de la ville, à savoir l'Ouest et le Nord qui reste freinés par le massif de l'Edough et la partie Est limitée par la mer méditerranéenne. (Voir carte système de reliefs)



Carte 3. Extension urbaine de l'aire d'étude entre 2010 et 2019

On a trouvé nécessaire d'appuyer notre travail par une approche statistique qui montre l'importance du phénomène étudié par des chiffres et des pourcentages, et cela pour mieux répondre à notre problématique et préciser nos analyses sur l'ensemble des cartes réalisées afin d'aboutir à notre objectif. Le tableau ci-dessous représente les superficies consommées par l'urbanisation durant cette période.

Tableau 3. Quantification de chaque type d'occupation du sol dans l'aire d'étude 2001-2010

Année	2001 (Nbre de pixel)	2001 (%) de chaques classes	2001 (superficie ha)	2010 (Nbre de pixel)	2010 (%) de chaques classes	2010 (superficie ha)
Couvert végétale	32542	60,06	2928,78	30102	55,56	2709,18
Eaux	2425	4,48	218,25	2418	4,46	217,62
Sols nues	2623	4,84	236,07	3226	5,95	290,34
Bâtis	16593	30,62	1493,37	18437	34,03	1659,33
Totale	32542	100,00	4876,47	30102	100,00	4876,47

Source: par l'auteur après traitement des images satellitaires. 2020

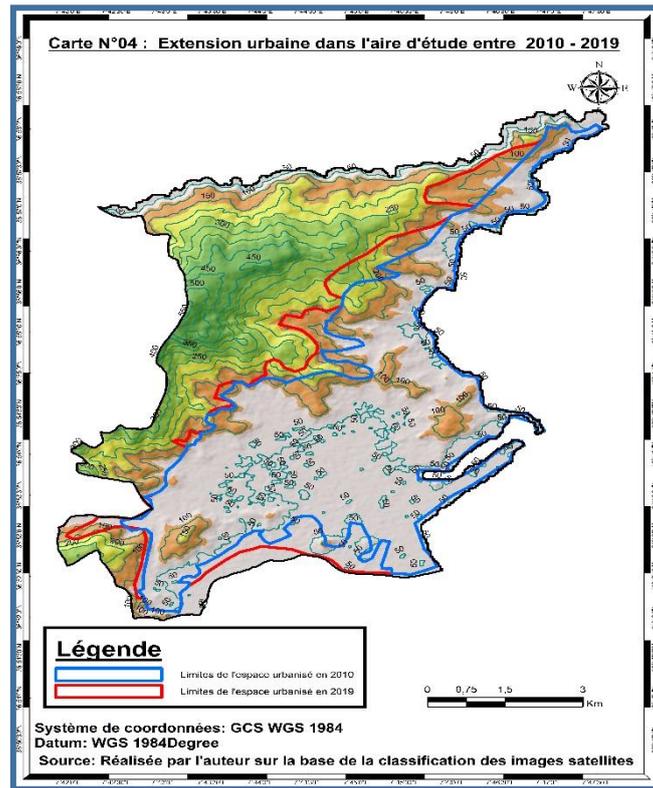
En lisant les données du tableau, nous constatons que la croissance du cadre bâti pendant cette période a été lente, on a enregistré la consommation de 165,96 hectares, avec un taux de 18,44 hectares par an, cette croissance s'est faite au détriment du couvert végétale qu'a connu une baisse de 219,6 hectares. Cela peut s'expliquer par l'échec du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme à trouver des solutions réelles aux problèmes de la ville, en particulier les nouvelles perspectives de l'extension de la ville.

3.3.2 PÉRIODE 2010 - 2019

La carte ci-dessus représente l'occupation des sols de la commune d'Annaba durant la période 2010-2019, D'une manière générale, la direction principale des extensions est restée la même, puisqu'elle se fait selon un axe Sud et Sud-Ouest, parallèlement aux grandes masses de reliefs.

En 2010 on observe des prémices d'une extension urbaine encore restreinte aux Nord et Nord-Ouest de la commune, sous formes des projets de promotion immobilières ou des projets touristiques dans le cadre de la zone d'expansion touristique, qui vont jouer le rôle de pôle de croissance urbaine, et d'incitateurs à l'urbanisation.

Durant les cinq dernières années, l'extension A gagné toutes les directions, ou s'est faite dans toutes les directions, pour grignoter les terres de la plaine malgré le caractère marécageux et les terrains inondables et à faible pente de cette zone (Sud et Sud-Ouest), ce qui témoigne également le détachement progressif des extensions par rapport au vieux centre. La trame d'extension semble ainsi très ancrée, encadrée par les aspects topographiques et socio-économiques.



Carte 4. Extension urbaine de l'aire d'étude entre 2010 et 2019

Le tableau ci-dessous montre les superficies consommées par l'urbanisation durant cette période.

Tableau 4. Quantification de chaque type d'occupation du sol dans l'aire d'étude 2010-2019

Année	2010 (Nbre de pixel)	2010 (%) de chaque classes	2010 (superficie h)	2019 (Nbre de pixel)	2019 (%) de chaque classes	2019 (superficie h)
Couvert végétale	35116	55,56	2709,18	26815	49,49	2413,35
Eaux	1153	4,46	217,62	2343	4,32	210,87
Sols nues	3883	5,95	290,34	1645	3,04	148,05
Bâtis	14031	34,03	1659,33	23380	43,15	2104,20
Totale	35116	100,00	4876,47	26815	100,00	4876,47

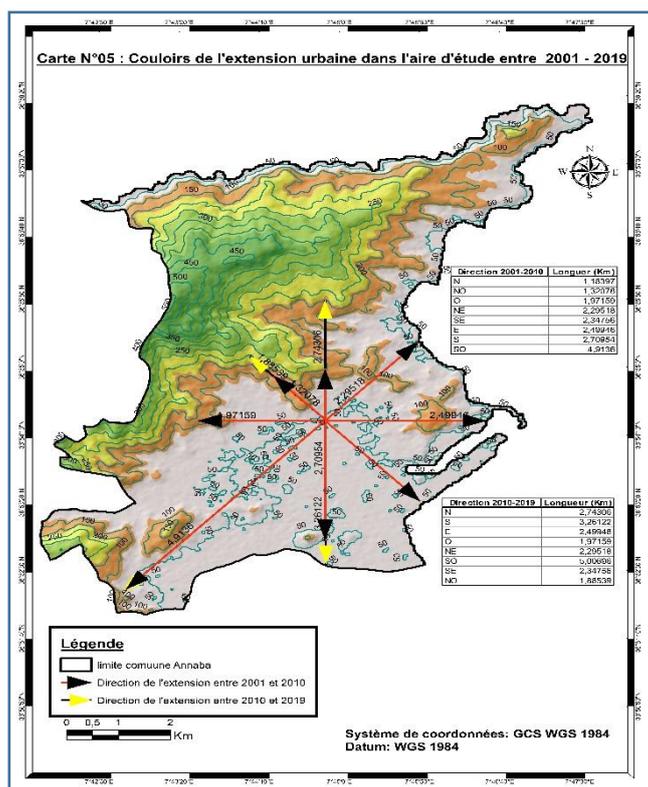
Source: par l'auteur après traitement des images satellitaires. 2020

Grace au potentiel foncier dégagé par la révision du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme intercommunale, la ville a pu reprendre sa dynamique urbaine, on constate une augmentation considérable de la superficie du cadre bâtis, cette augmentation est estimée à 444,87 hectares, avec une moyenne annuelle qui avoisine 50 hectare par ans. Cette augmentation s'est faite toujours au détriment du couvert végétal et les terres agricoles.

3.4 DETERMINATIONS DES COULOIRS D'URBANISATION À L'AIDE DES DONNEES SATELLITAIRES MULTIDATES

A travers cette illustration ci-dessus, nous avons tenté de transcrire la traduction spatiale de l'extension urbaine au sein de notre aire d'étude, il semble évident de déterminer les couloirs de cette extension.

Grace à l'outil QGIS, on a pu réaliser une carte synthèse de l'extension urbaine de la ville d'Annaba durant la période 2001 à 2019, ainsi que les couloirs porteurs de cette extension. La carte ci-dessous résume les couloirs d'extension de la ville



Carte 5. Couloirs d'extension urbaine de l'aire d'étude entre 2001 et 2019

L'effet marquant du phénomène urbain au sein de notre aire d'étude, est que l'extension urbaine se fait en sauts de grenouilles, cette forme d'extension est identifiée en référence à une urbanisation discontinue, corrélative d'une forte artificialisation des surfaces agricoles, le front d'urbanisation désarticulé qui met en relation la ville de Annaba et son agglomération par une artificialisation systématique du sol sur un rayon de plus de 15.5 Km orientant de manière discontinue l'urbanisation sur un fond de terrains vacants.

Les grandes orientations de l'urbanisation dans la plaine sont bien visibles, et elles semblent suivre les axes routiers qui traversent la plaine (Route nationale N 44 Ouest). La forme des reliefs joue un rôle considérable dans la configuration de l'extension urbaine de la ville [27], dont le massif de l'Edough qui semble bloquer cette extension vers le nord. L'analyse de cette dernière a mis en avant une certaine dynamique directionnelle de l'étalement urbain, qui reste la même entre les deux périodes, avec parfois quelques légers changements de direction.

4 CONCLUSION

Cette étude a pour objectif de retracer, d'identifier, et de quantifier les changements de l'occupation du sol engendrés par l'avancée du front d'urbanisation à la ville d'Annaba entre 2001 et 2019 à partir des images satellites provenant de capteurs Landsat de différentes générations.

Le traitement des images satellitaires (classification) reste une étape primordiale dans l'étude et l'interprétation des données brutes obtenues par les systèmes de télédétection, néanmoins cette démarche demeure complexe et incertaine du fait qu'elle repose sur des lois purement statistiques ou l'utilisateur doit faire tout un travail mathématique approfondi pour pouvoir aboutir aux résultats relativement raisonnables et fiables.

Ainsi, les résultats obtenus de la classification des images nous ont permis d'analyser et de quantifier les taux d'artificialisation dans l'aire d'étude. La qualité des résultats est fortement influencée par les caractéristiques des images originales. Il s'agit surtout de la résolution spatiale (30 m).

Malgré ces contraintes, les résultats obtenus dans cette étude mettent en évidence certaines tendances globales d'une urbanisation rapide et consommatrice de l'espace, et la croissance du cadre bâti fait apparaître un fort développement urbain

de la ville. La pression foncière s'exerçant fortement selon un gradient centre-périphérie, et les grands axes de communication font le support d'une urbanisation axiale, diffuse et tentaculaire. L'urbanisation, dans sa progression vers le sud et sud-ouest, a consommé plus de 3 000 hectares de terres agricoles fertiles.

REFERENCE

- [1] Office National des Statistiques "Armature urbaine, Collections Statistiques N° 163/2011", Septembre 2011.
- [2] B. Kebir et A. Zeghiche, "Le renouvellement de la ville algérienne par la démolition-reconstruction du vieux bâti. De la sanction à la recherche de légitimité, Cas de la ville d'Annaba " European Journal of Geography Aménagement, Urbanisme, 2014.
- [3] B.Benlakhlef, "L'aire métropolitaine, un nouveau champ d'analyse de la ville algérienne. L'exemple d'Annaba", halshs.archives-ouvertes.fr/halshs- 2009.
- [4] D. Laouar, S. Mazouz et J. Teller, "L'accessibilité spatiale comme indice de fragmentation urbaine dans les villes coloniales. Le cas de la ville d'Annaba", Cybergeog: European Journal of Geography Aménagement, Urbanisme, 2019.
- [5] M. Jenks and N. Dempsey: *Future Forms and Design for Sustainable Cities*, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, 2005.
- [6] R. Ewing, R. Pendall, and D.Chen, "Measuring Sprawl and Its Transportation Impacts", *Transportation Research Record* 1831, Paper No. 03-4195.
- [7] M. Dadras, H. Z.M. Shafri, N Ahmad, B. Pradhan and S. Safarpour, "Spatio-temporal analysis of urban growth from remote sensing data in Bandar Abbas city, Iran", *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, Volume 18, Issue 1,, pp. 35-52, 2015.
- [8] M. Cote et G. Camps, "Annaba (Hippone-Bône)", *Encyclopédie berbère* 5 | Anacutas – Anti-Atlas, 1988.
- [9] T. Fung, "An assessment of TM imagery for land cover change detection", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.28, No.4, pp. 681-684, 1990.
- [10] P. Terretaz, "Délimitation des agglomérations et segmentation urbaine à l'aide d'images satellites Spot HRV", Thèse de doctorat, Université de Fribourg, Suisse, 1998.
- [11] A. Ballut et J. P Nguyen, "Les besoins d'information pour l'aménagement urbain et régional: apport de la télédétection spatiale à la satisfaction de ces besoins", *Société Française de photogrammétrie et Télédétection*, Vol.93, pp. 21-32, 1984.
- [12] A.Y. Kwarteng and P. S. Chavez, "Change detection study of Kuwait City and environs using multi-temporal Landsat Thematic Mapper data", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.19, No.9, pp.1651-1662, 1998.
- [13] J.Xiao, Y.Shen, J.Ge, R.Tateishi, C.Tang, Y.Liang, Z.Huang, "Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China by using GIS and remote sensing", *Landscape and Urban Planning*, Volume 75, Issues 1–2, pp. 69-80, 2006.
- [14] X.Chen, X.Li, J.Ma, "Urban change detection based on self-organizing feature map neural network". In *Geosciences and Remote Sensing Symposium*, Vol.5, IEEE International, 2004.
- [15] X.Yang et C.P.Lo, "Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.23, pp.1775-1798, 2002.
- [16] S. Pat and Jr Chavez, "Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 62, No. 9, pp. 1025-1036, 1996.
- [17] B.R. Zouhaier, "Demixage spectral d'images hyperspectrales et fusion possibiliste des connaissances: application à l'érosion hydrique", Thèse de Doctorat, l'Université de Rennes 1 Co-tutelle avec l'Ecole Nationale des Sciences Informatiques –Tunisie-, 2011.
- [18] N. Baghdadi, C. Mallet et M. Zribi, "QGIS et applications en agriculture et forêt", *Série Utilisation de QGIS en télédétection coordonnée par André Mariotti*, volume 2, 2018.
- [19] E. Kieffer et A. Serradj, "La télédétection au service des études urbaines: expansion de la ville de Pondichéry entre 1973 et 2009", *Géomatique Expert*, n°95. pp.68-79, 2013.
- [20] F. Laoufi, A.H. Belbachir, N. Benabadi et A. Zanoun, "Une nouvelle méthode de cartographie de la région d'Oran (Algérie) à l'aide de la télédétection multi spectrale", *Comptes Rendus Géoscience*, pp. 653-663, 2011.
- [21] G.Girouard, A.Bannari, A. El Harti and A. Desrochers, "Validated Spectral Angle Mapper Algorithm for Geological Mapping: Comparative Study between Quickbird and Landsat-TM ". <https://www.researchgate.net/publication/228799788> (January 2004).
- [22] George P. Petropoulos, Krishna P. Vadrevu, G. Xanthopoulos, G. Karantounias et M. Scholze, "A Comparison of Spectral Angle Mapper and Artificial Neural Network Classifiers Combined with Landsat TM Imagery Analysis for Obtaining Burnt Area Mapping», *Sensors*, pp.1967-1985, 2010.
- [23] Giles M. Foody, "Status of land cover classification accuracy assessment", *Remote Sensing of Environment* 80, pp. 185–201, 2002.

- [24] Alan H. Strahler, L. Boschetti, Giles M. Foody and A. Mark, "Global Land Cover Validation: Recommendations for Evaluation and Accuracy Assessment of Global Land Cover Maps". <https://www.researchgate.net/publication/238580124> (July 2008).
- [25] R.A Saouli, N. Benhassine et A. Oularbi "A Spatio-temporal retrospective of the urban sprawl of Annaba (Algeria). J. Fundam. Appl. Sci., 12 (2), pp.825-844, 2020.
- [26] L. Boulbir, K. Boukhemis et A. Zeghiche, "Crise de l'offre foncière économique en Algérie: du blocage à l'investissement informel. Le cas de la ville d'Annaba", Revue d'Économie Régionale & Urbaine, pp. 353-377, 2012.
- [27] R. ZENNIR, S. E. DERRADJI, D. E. GUESSOUM, A. Djakjak et A. LEKOU, "Identification du phénomène de l'étalement urbain dans l'espace bipolaire des communes d'Annaba et d'El Bouni (Nord-Est Algérien) à travers le rapport entre les reliefs et l'occupation des sols", International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 28, pp. 860-868, 2020.