



**THESE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT
EN SCIENCES DE LA MER**

Spécialité : Environnement Marin

Option : Océanographie Spatiale et Observation de la Mer

*Détermination spatio-temporelle de l'expansion urbaine
sur la baie d'Alger et impact environnemental sur la
bande côtière*

Présentée par :

❖ **M. RABEHI Walid**

Soutenue le 29/09/2018 devant le jury suivant :

<i>Membre de jury</i>	<i>Grade</i>	<i>Affiliation</i>	<i>Qualité</i>
Mostefa Boulahdid	Professeur	ENSSMAL	Président
Mokhtar Guerfi	Professeur	USTHB	Promoteur
Habib Mahi	Maitre de recherche B	CTS/ASAL	Co-Promoteur
Gilbert David	Directeur de recherche	IRD/Montpellier	Examineur
Samir Grimes	Maitre de conférences A	ENSSMAL	Examineur
Khoudir Mezouar	Maitre de conférences A	ENSSMAL	Examineur

Promotion : 2014-2015

Avant-Propos

Ce mémoire de doctorat a été inscrit depuis l'année universitaire 2014-2015 à l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL-Alger), il rentre dans le cadre des axes du laboratoire Ecosystèmes Marins et Littoraux (EcosysMarL), notamment l'observation spatiale de l'anthropisation du littoral algérien, un axe qui a été particulièrement abordé par l'équipe « Modélisation-Téledétection » menée par le Professeur Mokhtar Guerfi jusqu'en 2016.

Ce doctorat a été aussi mené conjointement avec le Centre des Techniques Spatiales d'Arzew entité opérationnelle de l'Agence Spatiale Algérienne, la codirection de la thèse a été assurée par le Docteur Habib Mahi, (Directeur du CTS), dans le cadre du projet interne du département Observation de la Terre ; « Suivi spatial des dynamiques du littoral algérois face aux pressions anthropiques », le monitoring spatial de l'espace côtier étant un des axes d'intérêt majeurs de l'Agence Spatiale Algérienne (Programme Spatial National 2006-2020).

Dédicaces

A mon défunt grand-père paternel (Rabehi Kaddour) « étudiant/intellectuel des années 1950 (philosophie/Langue Arabe), résistant FLNist des années de la révolution, et enseignant/proviseur durant la postindépendance », qui était le tremplin de ses enfants (et petits-enfants) vers la science et le savoir.

A ma grand-mère, que dieu la protège pour sa tendresse et ses prières, et à mes défunts grands-parents maternels, sources de sagesse et de générosité.

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour et prières, leur soutien et support tout au long de mes études en Algérie et à l'étranger.

A Mes deux sœurs et mon frère pour leur présence et soutien moral.

A mon épouse pour sa patience, ses encouragements et son support infailible.

A ma famille paternelle (Rabehi), à ma famille maternelle (Chouïref), et la famille de mon épouse (Naamane).

A mon défunt professeur « Larid Mohammed », référence nationale dans son domaine, aillant greffé en nos têtes d'étudiants les bases de « la gestion intégrée du littoral »

A Nadine Dessay (IRD, Montpellier), pour avoir été la première à m'inciter à me lancer dans une carrière de chercheur.

Remerciement

A mon directeur de thèse, "Mokhtar Guerfi" pour son soutien inconditionnel ; moral, scientifique et administratif, et ses précieux conseils de "vie".

A mon co-directeur de thèse, "Habib Mahi" pour tous ses efforts, encouragement et appui durant cette thèse.

A l'ensemble du personnel du département Observation de la Terre du CTS d'Arzew, à leur tête mes responsables hiérarchiques "Moussa Sofiane Karoui" et "Lahsen Wahib Kébir".

Aux Enseignants de l'ENSSMAL et à leur tête le responsable de ma formation doctorale "Pr Boulahdid Mostefa" et aux membres du laboratoire EcosysMarl pour leur soutien moral et technique.

Aux responsables de l'Agence Spatiale Algérienne, pour leur soutien infaillible aux doctorants-chercheurs.

Aux étudiants-ingénieurs encadrés lors du début de cette thèse : « Wassim Guemdani et Bouchenafa Mohamed » .

A la Direction des Services Agricoles de la wilaya d'Alger pour leur aide précieuse, et leur support.

A Mme "Esther Rojas-Garcia" de l'université de Yale (USA) pour son apport scientifique et technique.

Aux membres de jury ayant accepté d'examiner ce manuscrit, M. Boulahdid en qualité de président et les examinateurs ; M. Grimes et M. Mezouar de l'ENSSMAL, M. Chadli de l'USTHB, et M. David et Mme Dessay de l'IRD-Montpellier.

Aux doctorants de l'ENSSMAL pour les encouragements mutuels, la solidarité et les échanges scientifiques (Otmani, Harid, Abbad, Ait Kaci, Keraghel, Zerrouki, Bengoufa, Boumaour, Khelil, Chaib).

Introduction générale

L'impact des grandes métropoles côtières sur les écosystèmes marins et sur le changement du climat n'est plus à démontrer, en particulier en Méditerranée du Sud et de l'Est (Abousamra & M, 2009) qui connaissent une urbanisation accélérée (plus des 3/4 de la population de ces régions sera urbaine en 2030), due à l'accroissement de la population, ce qui crée une pression sur l'occupation/utilisation du sol. Cette pression résulte en un développement urbain incontrôlé provoquant ainsi de sérieux problèmes environnementaux (érosion côtière, pollution, inondation/submersion marine, etc.) ce qui contribue à accroître la vulnérabilité de ces zones côtières. La baie d'Alger où s'implante la plus grande métropole du Maghreb "6 millions d'habitant" (Population Data, 2015), subit ce phénomène d'expansion urbaine, qui affecte l'environnement et les écosystèmes côtiers environnants.

La baie subit de fortes pressions anthropiques dues à l'attrait socioéconomique de la capitale algérienne (Belhai-Benazzouz & Djelal, 2010), qui par son évolution en aire métropolitaine, engendre une plus forte pression socioéconomique se traduisant par des impacts plus conséquents sur le milieu littoral et ses ressources environnementales.

De plus en plus fragilisée du fait principalement du développement de l'artificialisation, la perturbation de l'équilibre sédimentaire et de la santé des écosystèmes accroît le niveau de risque sur le littoral (LEM, 1998), notamment dans les zones fortement peuplées et peu protégées par les processus naturels de sédimentation telles que les lagunes ou les deltas .

L'artificialisation de la zone littorale perturbe les phénomènes naturels tel le rechargement périodique des plages, l'éradication d'écosystème côtier...etc (Mihoubi, et al., 2014). Le suivi de ce processus d'artificialisation intensive, par les méthodes spatiales, apportera sans doute une forte contribution au diagnostic et à la prise de décision en matière de gouvernance territoriale.

En outre des phénomènes d'haliotropismes, l'urbanisation de la baie d'Alger a été aussi intensifiée par d'autres facteurs locaux tel l'exode des populations rurales de l'intérieur du pays (de 1990 à 2000) suite au climat d'insécurité ayant régné durant cette période (Haffad, 2004).

La planification spatiale, pour l'atteinte des objectifs de développement durable, ou dans le cadre d'une approche de gestion intégrée GIZC (PNUE, 2005), puisqu'il s'agit d'une grande ville côtière, (le processus étant inscrit dans la convention de Barcelone) (PNUE/PAM, 2007), nécessite l'accès à des données précises, à jour sur le changement de la couverture terrestre (du sol). Or, l'étude de la croissance urbaine dans les pays en voie de développement est limitée par de nombreux facteurs dont le plus important est l'absence de grandes bases de données (Boukerch, et al., 2014), ce qui rend difficile le suivi et l'analyse de ce processus.

L'urbanisation est la transformation anthropique la plus radicale de la couverture/occupation et utilisation des terres (de forêt, zone agricole, zone humide, etc. en zone urbanisée), c'est aussi un phénomène socio-économique important et universel, puisqu'il touche tous les pays du monde (Achankeng, 2003). Ce phénomène s'est accéléré depuis le début du 20^e siècle ; notamment avec l'augmentation significative de la population urbaine. La population urbaine mondiale ne représentait que près de 3% de la population mondiale dans les années 1800, mais elle est passée à environ 30% en 1950 (Bairoch, 1976). Actuellement, plus de la moitié de la

population mondiale vit dans des zones urbaines et ce chiffre devrait atteindre 67,1% (6,25 milliards) d'ici 2050 (ONU, 2014). Bien que l'urbanisation favorise le développement socioéconomique et améliore la qualité de vie, elle demeure une action de l'homme provoquant le changement radical de la couverture naturelle du sol à artificielle dans les villes (Clarke & Gaydos, 1998). Avec l'urbanisation, les terres constituant la base des ressources naturelles telles que l'agriculture, les forêts et les zones humides, ont été substituées par des terres artificialisées. La dynamique de la couverture terrestre constitue une composante importante de la dimension humaine du changement global (Turner II, et al., 1990). Bien que les zones urbaines couvrent globalement un faible pourcentage de la superficie terrestre par rapport aux autres types de couverture terrestre, leur expansion rapide a des effets marqués sur l'environnement, sur la société et sur l'économie, comme la perte de végétation naturelle et des terres agricoles (Irwin & Geoghegan, 2001), le changement climatique local et régional (Sahani, 2011), le déclin de la biodiversité (Zimmermann, et al., 2010), l'alternance du cycle hydrologique (Barron et al., 2013), ...etc. Sans planification efficace, il ne fait aucun doute que la nécessité et le besoin en développement durable continuera d'augmenter (Dewan & Yamaguchi, 2009), (Lambin, et al., 2001), la croissance urbaine due aux activités humaines progresse plus rapidement dans les pays en voie de développement que dans les pays développés (Achankeng, 2003), elle est encore plus importante dans le pourtour méditerranéen (tourisme, haliotropisme... etc.), elle s'accompagne d'un phénomène de littoralisation.

L'urbanisation en Algérie est passée par trois périodes (Milton, 1971) l'urbanisation coloniale, l'urbanisation nationale démographique et l'urbanisation nationale économique, le pourcentage de la population urbaine en Algérie est passé de 30,51% en 1960 (la veille de l'indépendance) à 71,30% en 2016 (Perspective-Monde, 2016). Il y a eu une augmentation de 134% en 56 ans. À l'instar d'autres pays en développement, le processus d'urbanisation rapide s'est traduit par une ampleur et un taux de croissance urbaine sans précédent au cours des deux dernières décennies (nouvelle politique de construction de grands ensembles urbains) (Hafiane, 2007) (Hadjiedj, et al., 2003). Les zones urbaines devraient connaître une expansion très rapide car 73,81% de la population vivra dans les zones urbaines d'ici 2020. Cette prévision présente un niveau de fiabilité très élevé puisque les variations des cinq dernières valeurs disponibles ont une structure très linéaire « coefficient de corrélation = 0.99 » (Perspective-Monde, 2016). Cette croissance urbaine rapide pose d'énormes problèmes environnementaux et de développement durable (gestion des déchets, pollution, rejets eau usées en mer), etc.), qui ont des effets à long terme sur les ressources naturelles et la biodiversité (EEA, 2010). Il est donc crucial de surveiller et d'analyser le processus de croissance urbaine, afin d'adopter des plans appropriés pour l'utilisation durable des ressources et en particulier la ressource sol.

La forte hétérogénéité et la grande complexité des systèmes urbains a par le passé constitué un véritable obstacle, particulièrement dans les villes en développement où de nombreux facteurs augmentent l'imprévisibilité du système (Barredo, et al., 2004). Par conséquent, l'analyse de la croissance urbaine souffre d'un manque de connaissance et de compréhension du processus de croissance urbaine, ainsi que des facteurs physiques et socio-économiques. En outre, la performance des modèles de croissance urbaine est influencée par leur dimensionnement, la conception et la validation de scénarios, auxquels une attention moindre a été accordée (Yikang, 2013). Compte tenu de ces défis et limitations dans les études précédentes, il est

nécessaire d'adopter des méthodes hybrides, améliorées afin de mieux comprendre le processus de croissance urbaine.

Les images de télédétection constituent dans ce contexte une importante source de données pour les études d'évolution du milieu urbain. Depuis l'avènement des premiers capteurs satellitaires d'observation de la terre (MSS) jusqu'au satellite à très haute résolution spatiale (OrbView, QuickBird, Alsat...etc.), les données issues de ces capteurs ont été largement employées pour la cartographie de l'occupation/utilisation de la terre (du sol, LULC) (Chen, et al., 2012). Les importantes archives et les progrès réalisés dans l'amélioration de la résolution spatiale et spectrale des images satellites sont les plus importantes raisons de leur utilisation (Gong, et al., 2013).

La disponibilité des données sur ces changements d'occupation/utilisation du sol (LULC) peut être d'une importance capitale pour la prise de décision dans la gestion et la planification spatiale et environnementale (Dronova, et al., 2011). Le suivi spatio-temporel, la cartographie des changements d'occupation/ d'utilisation du sol jouent un rôle majeur dans la compréhension de cet impact. La télédétection, les SIG sont des outils puissants et flexibles permettant d'extraire une information exacte, à jour et au moment opportun sur les changements affectant les modes d'occupation/utilisation du sol, sur de vastes zones (Fournier, 2008).

En effet l'utilisation des outils de suivi du changement d'occupation du sol (LULC) offre une connaissance pertinente pour l'aide à la décision (Bauer, et al., 2003), la télédétection et grâce aux imageries d'archives permet d'extraire et observer (Feranec J, 2007), le changement et l'évolution des zones urbaines.

Le but de ce travail est donc de cartographier et d'observer la dynamique urbaine et paysagère de la capitale toute en ayant la baie d'Alger comme point focal durant les 30 dernières années, mais aussi de comprendre les liens sous-jacents entre les facteurs historiques, socioéconomiques et naturels ayant influencé l'étalement urbain. L'analyse rétrospective permettra de quantifier les impacts sur le milieu côtier en matière de pollution thermique des eaux de la baie (rejets d'eaux usées), de disparitions de composantes littorales (telles les dunes cotières) mais aussi le niveau de vulnérabilité des communes côtières face à l'érosion induite par l'artificialisation, l'apprentissage rétrospectif permettras de prédire à la fin la trajectoire de l'urbanisation à l'horizon 2030, ces cartes une fois partagées dans une vision de gestion participative, permettrons de soutenir les politiques d'aide à la décision et de gouvernance, et quantifier la vulnérabilité côtière en vue de prioriser les politiques de planification et d'aménagement.

1. La revue de littérature nationale

Les études académiques traitant l'urbanisation algéroise sont bien présentes (principalement à partir des années 2000), mais pas très nombreuses (à comparer avec certaines villes nord-méditerranéennes), chacune présentant une vision différente de ce phénomène.

Les premières analyses de l'urbanisation en Algérie ont été produites une décennie après l'indépendance, en vue d'offrir les premières visions l'étalement urbain (Milton, 1971), ensuite d'autres études plus locales ont eu lieu, notamment sur l'historique de la croissance urbaine dans la plaine Metidja ou se situe la capitale, une plaine agricole très fertile, en nette dégradation face à l'attrait démographique de la capitale (Mutin, 1977).

Ensuite avec l'urbanisation continue, que ce soit de source étatique (grands projets de logements collectifs) ou bien via des habitations de particuliers (l'avènement de la privatisation foncière), ainsi que à cause phénomènes sociodémographiques comme l'exode rural (expropriation anarchique des terres), (Brahiti, 2008), l'urbanisation est devenue ainsi une problématique d'un grand intérêt, diverses contributions académiques ont vu le jour décrivant notamment la morphologie de l'urbanisation (Hadjiedj, et al., 2003), (Hafiane, 2007), mais aussi les facteurs stimulant cette urbanisation notamment la démographique (Haffad, 2004), le foncier libre (Belhai-Benazzouz & Djelal, 2010), et les réseaux de transports (Baouni, 2009).

Face à l'haliotropisme grandissant du littoral, certaines études se sont portées vers l'analyse de l'efficacité des instruments législatifs à maîtriser l'urbanisation (Kacemi, 2004) (Kacemi, 2011), à de la planification urbaine (Safar Zitoun, 2009) et de l'observation des impacts de cette artificialisation intense sur le littoral (Ghodhani & Semmoud, 2010).

Ensuite l'émergence des notions telles que la durabilité, la gestion et protection écosystémiques, certaines études ont vu le jour sur les axes de durabilité de l'urbanisation algéroise (Djellal, 2005), (Serir, 2012), jusqu'à la simulation statistiques des taux d'urbanisation et de peuplement futur (Touati, et al., 2004).

L'expansion de l'utilisation des outils SIG et télédétection a permis, aussi la production de certains travaux sur le monitoring de l'urbanisation, notamment via des approches diachroniques à Alger (Saadi, 2008) (Medjadj, 2008), et multitudes dans l'Oranie (Bendraoua, et al., 2011).

Un état de l'art plus étendu des travaux académiques internationaux est réalisé pour chacune des méthodologies appliquées respectivement dans les chapitres de ce manuscrit.

2. Objectifs de la recherche

Le principal objectif de ce travail de thèse est de proposer une méthodologie renouvelée pour le suivi et l'analyse du processus de croissance urbaine d'une métropole de la rive sud du bassin méditerranéen, afin de mieux les comprendre et de supporter une planification urbaine efficace visant le développement urbain durable. L'accent est mis sur l'étude de la dynamique spatio-temporelle du modèle de changement de la couverture terrestre à partir d'images de télédétection ; l'évaluation des relations sous-jacentes de cause à effet entre le processus de croissance urbaine et le littoral ; et à la fin une simulation prédictive de la trajectoire de la croissance urbaine.

Les objectifs spécifiques de la thèse sont dictés par l'utilisation des données multi-temporelles du satellite Landsat (40ans d'image), d'images récentes (Sentinel/Alsar) ainsi que des données socio-économiques, et cartographie historique ; ces objectifs spécifiques sont :

1. Extraire et comparer les données historiques sur la couverture de la terre (LULC) pour la zone d'étude à travers le traitement et l'interprétation des images de télédétection et l'utilisation de mesures quantitatives. En raison de la résolution spatiale relativement grossière des images Landsat et de la nature hétérogène des environnements urbains, la classification précise des images Landsat reste un grand défi.
2. Examiner les relations sous-jacentes qui régissent le processus de croissance urbaine en vue de fournir un aperçu de la façon dont les facteurs moteurs contribuent à

l'anthropisation côtière, mais aussi observer les liens sous-jacents « homme-environnement » en quantifiant notamment les aspects de la dégradation de l'environnement littoral.

3. Générer des scénarios futurs (à l'aide du modèle SpaCelle) en tenant compte de la stratégie de développement urbain adoptée par les autorités. La création des scénarios est fortement liée aux préoccupations actuelles des décideurs politiques de la région qui traitent des questions clés (développement durable, GIZC, respect des accords et conventions internationales (Barcelone, etc.)). La simulation basée sur un scénario fournit un environnement pour prendre en charge les expériences «et si». En outre, il est important d'examiner les impacts de la stratégie de développement urbain sur la croissance urbaine en se basant sur l'évaluation et la comparaison des scénarios futurs.

3. Problématique et questions de recherche

Dans ce contexte, le principal défi de cette recherche est de fournir une meilleure compréhension du processus de croissance urbaine à Alger et de soutenir la planification urbaine visant le développement durable. Sous ce défi, les questions suivantes sont soulevées (générales en gras et spécifiques en sous-titre) :

1. La télédétection et la cartographie des zones urbanisées, quel état de l'art ?

- Comment s'est développé historiquement la télédétection ainsi que les techniques du suivi des zones urbanisées ? Quelles sont les approches du suivi spatial de l'urbanisation et de l'occupation du sol ?
- Quelles sont les données satellitaires existantes (à différentes résolutions spatiales) couvrant la région pour une cartographie multitemporelle de l'urbanisation ?

2. Comment se positionne la baie d'Alger dans la capitale, et quel sont les efforts étatiques de gouvernance ?

- Comment est structurée la capitale géographiquement et économiquement face à la démographie croissante ? Quelle position tient la baie dans la capitale ? Et comment est la morphologie de ses littoraux fortement prisés ?
- Quels sont les outils législatifs de gouvernance dans l'espace côtier ? La planification territoriale, à travers les plans d'aménagements multi-échelles, comment procède t'elle pour maîtriser l'urbanisation et la littoralisation ? Y a t'il des projets locaux écoresponsables pour une meilleure durabilité de l'urbanisation et une préservation du littoral dans la baie d'Alger ?

3. Suivi rétrospectif de l'urbanisation, comment cartographier la dynamique de l'artificialisation ?

- Quelle est la méthode de cartographie multidates fournissant la meilleure qualité (minimum de confusion radiométrique) afin de fournir des informations sur la couverture terrestre de haute qualité pour l'analyse ultérieure ?
- Comment s'est étalée l'urbanisation entre 1985 et 2015 ? Quels indicateurs peuvent être utilisés pour quantifier la croissance urbaine et analyser sa morphologie et sa trajectoire ?

4. Comment quantifier spatialement les impacts négatifs sur l'espace côtier et les transgressions des instruments de gouvernance ?

- À travers les cartographies de l'urbanisation antérieures, peut-on identifier les zones urbaines en transgression des bandes de servitude de la loi littorale ?, Les zones prévues pour l'urbanisation par le PDAU (réalisés par les collectivités locales) sont-elles conformes aux engagements de la non-artificialisation de la côte et de la déviation de la trajectoire de l'urbanisation ?.

- Parmi les principaux effets néfastes de l'urbanisation côtière est le rejet d'eaux usées, (souvent non-épurées), et l'épuisement de ressources environnementale (sable, dune littorale) comment quantifier spatialement la pollution thermique, et le taux de dégradation des dunes côtières ?

- Quelle approche retenir pour cartographier la vulnérabilité côtière face à l'artificialisation humaine ?, quelles sont les zones de la baie d'Alger les plus fragilisés ?

5. Comment évoluera l'urbanisation à l'horizon 2030 ?

- Quels sont les outils de modélisations prédictifs de la dynamique urbaine et quel est le modèle le plus compatible avec la réalité de l'espace côtier algérien (forte dynamique, manque de couches d'information de base, absence de planification à long terme, manque de technicité des gouverneurs locaux...etc) ? .

- Quels scénarios d'évolution de l'occupation du sol pour la baie choisir ? tendanciel (reproduisant la dynamique actuelle), ou prédéfini (via une planification par expertise) ? .

- Comment calibrer les paramètres du modèle prédictif retenu afin de reproduire fidèlement l'historique de la croissance urbaine ?.

- Comment s'étalera l'urbanisation à l'horizon 2030 ?, y a-t-il des possibilités de conservation des zones naturelles de l'espace côtier algérois au futur ?.

Ce manuscrit de thèse est ainsi structuré de manière à répondre aux problématiques précédentes via trois parties sous cinq chapitres proposés, voir schéma ci-dessous.

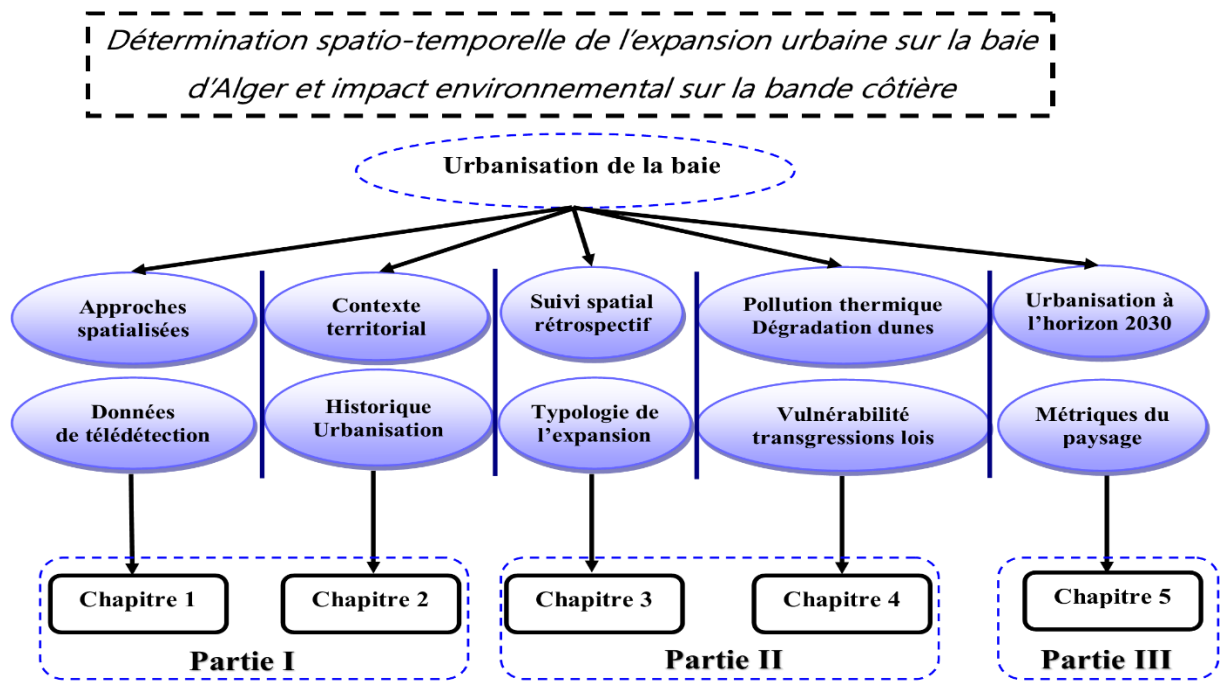


Figure 1: répartition des problématiques dans les chapitres du manuscrit

Le plan général de ces parties/chapitres est décrit dans la page suivante, les sommaires détaillés étant placés individuellement au début chaque chapitre.

SOMMAIRE GENERAL

Introduction générale

1. La revue de littérature nationale.....6
2. Objectifs de la recherche.....7
3. Problématique et questions de recherche8

Partie I : Approche spatialisée et contexte territorial

Chapitre 1 : La télédétection pour le suivi de l'urbanisation

1. Télédétection des zones urbanisées.....17
2. Les données multitemporelles.....31

Chapitre 2 : La baie d'Alger et cadre législatif

1. Le littoral algérois.....46
2. La démographie.....56
3. Historique de l'urbanisation littorale.....62
4. Urbanisation et littoralisation.....64
5. Le cadre législatif de la gestion du littoral.....69
6. Durabilité de l'urbanisation algéroise.....78

Partie II : Analyse spatiale et évaluation quantitative

Chapitre 3 : Cartographie et suivi spatial de l'urbanisation à Alger

1. Extraction des zones urbaines à Alger.....94
2. Évaluation de la dynamique urbaine et l'évolution du paysage.....106

Chapitre 4 : Transgression des instruments de gouvernance et fragilisation de la baie

1. L'occupation du sol sur la baie d'Alger.....124
2. L'urbanisation de la baie et les instruments législatifs.....126
3. Les impacts de l'urbanisation sur l'environnement131
 - 3.1 Cartographie de la pollution thermique de la baie d'Alger.....132
 - 3.2 Cartographie de la dégradation des dunes littorales sur la baie.....135
 - 3.3 La vulnérabilité du littoral face à l'urbanisation.....140

Partie III : Projection prospective du paysage de la baie

Chapitre 5 : L'urbanisation de la baie d'Alger à l'horizon 2030

1. Zone d'étude161
2. Rappel des plans de gestion locale.....161

3. Les modèles prédictifs de l'étalement urbain.....	163
4. Choix du modèle.....	164
5. Méthodologie globale.....	166
6. Résultats de la modélisation.....	171

Conclusion générale

Annexes

Partie I

Approche spatialisée et contexte territorial

Chapitre 1

La télédétection pour le suivi de l'urbanisation

SOMMAIRE

Introduction	15
1. Télédétection des zones urbanisées.....	16
1.1 État de l'Art.....	16
1.2 Domaines d'utilisation	19
1.3 La détection du changement d'occupation du sol « LUCC »	20
1.4 Prétraitement des images multitemporelles.....	21
1.4.1 Correction radiométrique	21
1.4.2 Correction géométrique.....	21
1.5 Les algorithmes de détection du changement	21
1.5.1 Approche multidates	22
1.5.1.1 Différenciation Univariée de l'image.....	23
1.5.1.2 Régression d'image	23
1.5.1.3 Ratio d'image	24
1.5.1.4 La différenciation d'indices spectraux	24
1.5.1.5 Les indices de texture, matrice de co-occurrence.....	25
1.5.1.6 Comparaison via une Postclassification.....	25
1.5.1.6.1 Comparaison après une classification Orientée-Pixel.....	25
1.5.1.6.2 Extraction par classification non supervisée K-means.....	26
1.5.1.6.3 Extraction par classification non supervisée Iso-Data	26
1.5.1.6.4 Extraction par classification supervisée / Maximum de vraisemblance	26
1.5.1.6.5 Extraction par classification « Arbre de décision ».....	27
1.5.1.7 Comparaison après une classification orientée-objet.....	27
1.5.2 Approche de séries temporelles, dite « analyse de trajectoire ».....	28

1.5.3 Modèle hybride	28
1.5.4 Matrice de confusion de la détection des changements	28
1.6 Autres méthodes de détection des changements	29
1.6.1 Classement direct multirate	29
1.6.2 L'analyse du vecteur de changement	29
1.6.3 Analyse de composantes principales (ACP)	29
2. Les données multitemporelles	30
2.1 Les Programmes USGS-Landsat.....	30
2.1.1 Analyse multitemporelle et disponibilité des scènes Landsat	32
2.2 Le programme COPERNICUS-Sentinel 2.....	33
2.3 Les archives Alsat	34
Conclusion.....	35
Bibliographie.....	37

Liste des figures

Figure 2: Domaines d'application de la télédétection urbaine.....	19
Figure 3: Spectre de la bande bleue sur une zone urbanisée (A : Landsat, B : Alsat, C : Sentinel)	20
Figure 4 : Méthodes de cartographie des zones urbaines	22
Figure 5: Périodes temporelles des satellites Landsat	31
Figure 6: Coordonnées Path/Raw de la wilaya d'Alger.....	32

Liste des tableaux

Tableau 1: les archives d'images satellitales	30
Tableau 2: Disponibilité des scènes Landsat sur la zone algéroise	32
Tableau 3: Caractéristiques des scènes Sentinel	34
Tableau 4: Caractéristiques des scènes Alsat	35

Liste des équations

(1) : Différenciation univariée.....	23
(2) : Régression d'image	23
(3) : Ratio d'image	24
(4) : Indice de végétation normalisé.....	24
(5) : Indice de brillance	24
(6) : Ration de végétation	24
(7) : K-means.....	26
(8) : Maximum de vraisemblance.....	27

Introduction

L'avènement de la photographie aérienne et des techniques de télédétection, a permis la mise en œuvre d'un monitoring continue des territoires et des ressources naturelles. Mono-sectoriel ou organisé sous forme d'observatoire, c'est un axe d'intérêt majeur en vue d'analyser et cartographier les milieux naturels et anthropisés sous leur forme la plus directement perceptible et mesurable, c'est à dire les paysages (Lefebvre, 2011).

Les progrès techniques réalisés ces dernières années en télédétection laissent entrevoir des pistes prometteuses dans le domaine de la gestion des zones urbaines. Les capteurs ont en effet une meilleure résolution permettant d'étudier désormais non-seulement la croissance urbaine dans sa globalité mais aussi la structure interne de l'urbanisation (type d'habitation, nature du toit, forme architecturale...etc). Les vecteurs se diversifient et la répétitivité des acquisitions connaît également une évolution importante permettant de suivre des changements qui peuvent se manifester sur des pas de temps intra-mensuels. Les données satellitaires sont par ailleurs complétées par diverses sources de validation, comme des cartes topographiques, où des acquisitions aéroportées ou à défaut une expertise d'utilisateurs confirmés. L'émergence de nouvelles techniques de télédétection, a permis ainsi d'apporter une approche plus quantitative des milieux et des processus d'origine humaine (Lejot, 2011) .

Il s'agit donc, dans ce troisième millénaire de cartographier non-seulement les espaces sensibles (littoraux, zones humides...etc), mais d'observer leurs transformations et mutation géographique et d'extraire des liens sous-jacents de cause-à-effet (Dusseux, 2014) notamment les liens homme-environnement, ou encore apercevoir les effets des changements climatiques sur ces milieux.

Ce premier chapitre a comme objectif de dresser un état de l'art des techniques de télédétection pour l'extraction des zones urbaines, en mode monodate ainsi qu'en analyse multitemporelle. Un aperçu des archives d'images satellitaires disponibles sera établi également tant pour les images à libre-accès utilisées (Landsat, Sentinel) ainsi que pour les images propriétaires à notre disposition (Alsat 2A, Alsat 2B) un comparatif est ensuite réalisé entre les approches d'extraction des zones urbaines en vue de retenir l'approche avec le moins de confusion radiométrique, l'approche retenue sera utilisée pour réaliser la carte d'occupation du sol en mode multitemporelle des années 1985 ,2000, et 2015.

1. Télédétection des zones urbanisées

1.1 État de l'Art

L'histoire de la télédétection commence par le développement de la photographie au début de XIXe siècle, suivi par celui des plateformes aériennes d'acquisition des photographies, telles que les montgolfières. Ainsi, les premières photographies aériennes datent de 1858. Mais c'est en 1908 que des photographies sont prises à partir d'un avion, ce qui offre une vue plus globale des milieux. Des programmes de cartographie à l'aide de photographies aériennes sont mis en place. Un développement important va se produire à partir des années 1930 avec l'utilisation de la photogrammétrie et de la photointerprétation. La cartographie thématique du territoire débute au milieu des années 1960 dans la plupart des pays développés. À partir de 1960, on assiste à l'apparition des photographies obtenues de plateformes orbitales comme les capsules Mercury, Gemini et Apollo. Dans la décennie suivante, la télédétection prend une nouvelle dimension avec le lancement, par la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), du satellite ERTS (devenu Landsat). Mis en service en 1972, ce satellite est muni d'un capteur MSS (*Multi Spectral Scanner*) qui produit des images avec une résolution spatiale de 80 m en quatre bandes spectrales. Il sera suivi par le satellite Landsat-4 et son capteur TM (*Thematic Mapper*) en 1982, et par le satellite français SPOT et son capteur HRV (Haute résolution visible) en 1986 (Sebari, 2010).

L'imagerie aérienne était la première donnée spatiale utilisée pour le monitoring des zones urbaines, une surveillance motivée à l'origine pour des besoins de reconnaissance militaire, puis généralisée à d'autres domaines en raison des fortes pressions économiques et démographiques sur le foncier « début des fortes vagues d'urbanisation, notamment aux Etats Unis d'Amérique » (Carnahan, et al., 1974). Depuis 1972 une nouvelle génération de capteur est mise en œuvre : le satellite d'observation de la terre, beaucoup d'améliorations techniques ont eu lieu durant les dernières décennies en passant des premiers Landsat MSS, TM de basse et moyenne résolution à de la très haute résolution (Ikonos, Pléiades QuickBird 1-2 ; Alsat 2A-2B, SPOT 5-6-7...etc.) (Maktav, et al., 2005). Ces améliorations ont permis en parallèle le développement transversal d'applications thématiques à une plus large échelle, mais aussi une qualité très fine de détection des objets urbains. Ces progrès au niveau de la résolution des satellites sont également suivis d'un progrès de la qualité des images aériennes, ces deux produits sont désormais complémentaires (Lefebvre, 2011).

Un paysage urbain est composé d'une multitude d'objets, un même objet urbain peut être composé de plusieurs matériaux, l'image est ainsi composée d'un grand nombre de pixels hétérogènes, ce défi technique montre donc que les applications de télédétection doivent non

seulement considérer une résolution spatiale adéquate, mais aussi une résolution spectrale convenable, voir une résolution temporelle en cas d'étude multidate, selon la problématique en question. (Congalton, 1998).

Ces applications opèrent à différentes échelles, le niveau d'information le plus bas est le niveau des blocs d'immeubles individuels et nécessite les plus grandes échelles (1: 1000 - 1: 5000) puisque les entités d'habitat, les routes, doivent être détectées dans le détail. Les échelles moyennes permettent d'observer une ville entière tout en déduisant les découpages des ilots ou le parcellement urbain, ces échelles moyennes sont comprises entre (1:10 000 - 1: 25 000). Le niveau d'information le plus haut est dédié à l'observation régionale, les agglomérations urbaines ne sont donc dans ce cas pas différencié en intra (au sein de la ville), mais plutôt dans la forme de la tache urbaine en général, nécessitant seulement de petites échelles (1:50 000 à 1: 200 000) (Weber, et al., 2010) (Sportouche, 2010).

En plus des améliorations techniques, les outils d'analyse d'images (méthodes et logiciels) se sont également améliorés. De nouvelles stratégies sont développées pour une extraction efficace de l'information. Par exemple, la classification classique par pixel n'est plus la meilleure méthode appliquée si l'on utilise des images à très haute résolution spatiale de troisième génération. Là, les approches orientées-objet se sont avérées meilleures dans de nombreux cas (Hussain, et al., 2013).

Ces cartographies des zones d'habitat sont devenues plus rapides et plus efficaces vu la disponibilité de couverture exhaustive, mais aussi d'archive permettant le suivi du changement et la mise à jour des cartes primordiales au domaine du cadastre urbain par exemple, ainsi que pour l'appui aux outils de planification et de gouvernance territoriale (Lambin, et al., 1999).

La croissance urbaine est un phénomène dynamique, souvent complexe et parfois avec des tendances imprévisibles, certaines villes se développent à base d'un noyau intérieur source de dynamique économique, d'autre ville au contraire renonce à leurs parties intérieures, est donc le noyau de motricité se déplace. Cette croissance urbaine peut également avoir des effets néfastes sur l'environnement en urbanisant intensément les zones côtières ou en scellant les sols à vocation de drainage des nappes phréatiques. La télédétection peut aider à quantifier non seulement ces dynamiques urbaines, mais aussi la proportion de surface scellée, qui peut ensuite être utilisée comme couche d'information dans des modèles hydrologiques par exemple (Sahani, 2011).

La télédétection permet non seulement de suivre l'urbanisation comme cible d'intérêt, mais aussi en l'incluant dans son environnement hétérogène en l'occurrence « l'occupation du sol », en

effet la prise en compte de toutes les classes d'occupation du sol (agriculture, forêt, Lac, prairie, dunes...) permet de voir la corrélation de chacune de ces classes avec la classe « urbain » et comprendre ainsi la nature des territoires urbanisés pour dresser des bilans du type de foncier le plus convoité par exemple, ou à défaut les terres naturelles urbanisées et quantifier, voir limiter ce phénomène néfaste (Hertig, 2006).

Plus les villes deviennent grandes, plus elles modifient ou influencent le climat local. Pour les enquêtes microclimatologiques, il est nécessaire de disposer d'informations détaillées sur les matériaux utilisés pour les habitations et infrastructures. La télédétection peut fournir des informations détaillées sur les matériaux de toiture par exemple, à l'aide des images hyperspectrales (Xia, 2014), et apportera également divers informations additionnelles comme la chaleur urbaine par exemple.

La disponibilité des données sur ces changements d'occupation/utilisation du sol (LULC) peut être d'une importance capitale pour la prise de décision en matière de gestion et de planification spatiale et environnementale (Dronova, et al., 2011). Le suivi spatio-temporel, la cartographie des changements d'occupation/ d'utilisation du sol jouent un rôle majeur dans la compréhension de cet impact. La télédétection, les SIG sont des outils puissants et flexibles permettant d'extraire une information exacte, à jour et au moment opportun sur les changements affectant les modes d'occupation/utilisation du sol, sur de vastes zones (Fournier, 2008).

Différents capteurs plus développés ont vu le jour durant la dernière décennie (caméras HRSC-A, Satellite stéréoscopique, LIDAR, Radar...) permettent d'acquérir des informations sur la surface 3D par exemple à une haute résolution et permettent non seulement une identification de l'objet urbain, mais aussi la hauteur du bâti, ce qui ouvre des perspectives prometteuses comme l'identification du type d'habitat (villa, building) ou encore la reproduction très rapide des cartes 3D des villes (processus autrefois réalisé par relevé terrain et exorbitant en coût et en temps) (Sportouche, 2010).

À l'instar des villes des pays développés, qui ont lancé le mouvement dans les années 1970, les villes des pays en voie de développement affichent le besoin de l'utilisation de la télédétection et des SIG pour mettre en place un système d'information urbain (ISU). Un tel ISU intégrera des mesures au sol, des données traditionnelles (cartes anciennes, inventaires, statistiques ...) et des données numériques (images satellites, données vecteur, MNT...). Cette intégration de diverses sources de données permet une analyse efficace des stratégies pour une meilleure planification et gestion des zones urbaines (Billen, et al., 2008).

En Algérie, les premières approches spatiales de la surveillance de l'urbanisation ont été possibles avec la disponibilité des archives Landsat (2004), mais aussi avec la production des images Alsat1A, Alsat2A (premiers satellites algériens d'observation de la terre, 2004, 2010), (Kébir, 2004). Plusieurs analyses multitemporelles de l'étalement urbain ont été réalisées, principalement dans les plus grandes villes du pays (Alger, Oran, Constantine), avec l'utilisation de méthodes classiques de détection des changements (Bendraoua, et al., 2011), (Medjadj, 2008), (Saadi, 2008), (Nedjai, et al., 2016).

1.2 Domaines d'utilisation

Les domaines d'utilisation de la télédétection pour l'analyse de l'urbanisation sont très variés cependant d'après la synthèse de M-T. Demaze d'une multitude d'articles académiques sur cette thématique (Demaze, 2010), la majorité dans cas d'applications scientifiques antérieures se divisent en 3 axes (dans l'ordre de priorité) :

- L'étalement urbain avec une approche spatiale (but structure interne, et type de l'habitat).
- Une approche temporelle (le but et la quantification de l'extension de la ville).
- Une approche d'actualisation (le but étant de mettre à jour des supports cartographiques, pour la planification territoriale), figure 2.

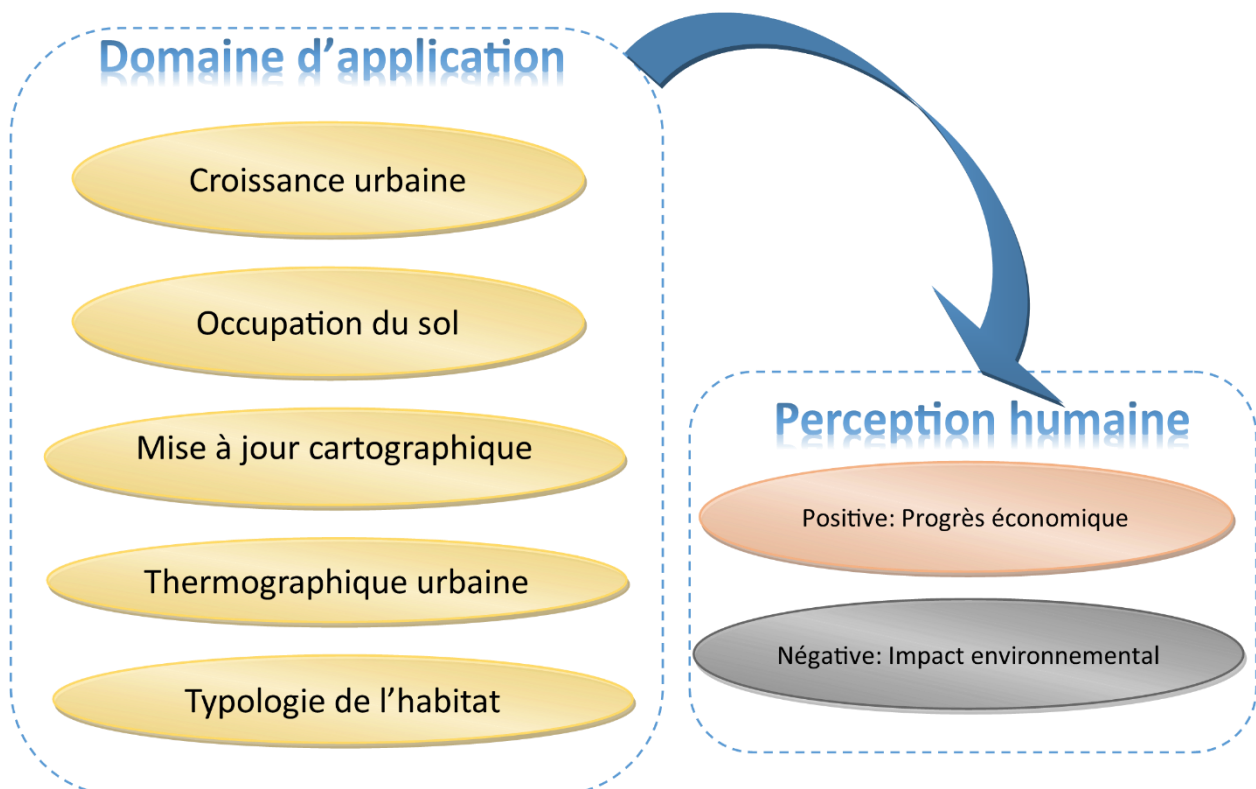


Figure 2: Domaines d'application de la télédétection urbaine

Pour les villes des pays en développement cette thématique était traitée avec un certain apriori positif (la croissance urbaine perçue comme un facteur de progrès socio-économique, mis à part le phénomène des bidonvilles), s'agissant des villes des pays développés et des pays émergents, on a l'impression que l'étalement urbain est traité avec un certain apriori négatif (la croissance urbaine est perçue comme un phénomène nocif qui entraîne la pollution et la dégradation de l'environnement). (Demaze, 2010).

Dans cette présente étude le suivi de l'urbanisation sera réalisé via les imageries optiques (Landsat, Sentinel, Alsat), pour divers raisons, dont les plus importantes sont ; l'étendue de leur archive temporel (Landsat), la qualité/ surface de couverture (Sentinel), et la finesse de l'échelle d'analyse (Alsat) et la simplicité /reproductibilité des données optiques par rapport au données radar plus abstraite dans l'analyse (Trouvé, 2011).

Ces images optiques offre divers possibilités d'analyse thématique notamment grâce à leur longueur d'onde (0.43 – 2.3 μm pour Landsat 8, 0.44 - 2.2 μm pour Sentinel 2A et de 0.45- 0.89 μm pour Alsat), elles sont en effet comparables une fois transformées en valeur de réflectance (figure 3).

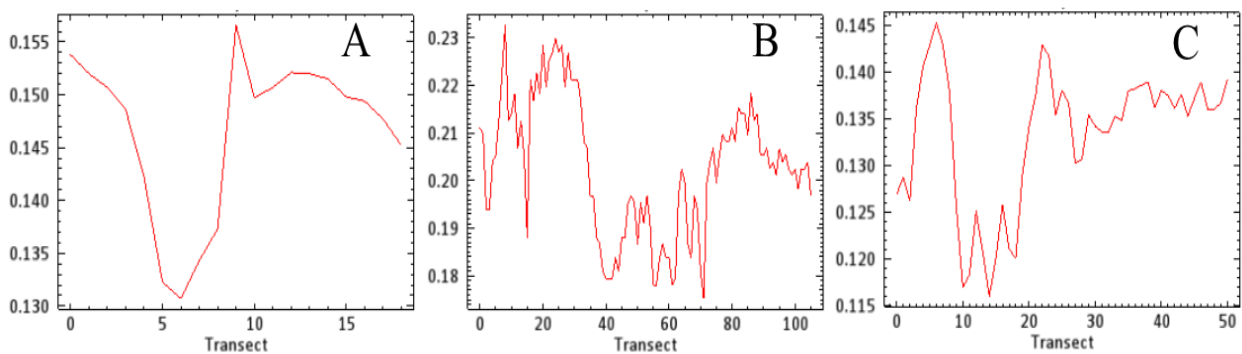


Figure 3: Spectre de la bande bleue sur une zone urbanisée (A : Landsat, B : Alsat, C : Sentinel)

Comme exemple le spectre de la bande bleue (0.48-0.6 μm), qui est sensible aux zones urbanisées, affiche des plages de valeurs assez proches sur un transect de zone urbaine (valeurs de réflectance entre 0.11 à 0.25 μm).

1.3 La détection du changement d'occupation du sol « LUCC »

La détection de changement est le processus d'identification des différences dans l'état d'un objet ou d'un phénomène en l'observant à différents moments (Singh, 1989/2010).

Une variété de techniques numériques de détection de changement ont été développés au cours des trois dernières décennies. Fondamentalement, les différents algorithmes peuvent être regroupés dans les catégories suivantes : "*l'algèbre*" (la différenciation , le rationnement et la régression) , "*l'analyse du vecteur de changement*" , "*la transformation*" (par exemple : analyse

en composantes principales , détection d'altération multivariée , la transformation carrée) , *la classification* (comparaison post-classification , détection des changements non-supervisée, l'algorithme d'espérance- maximisation) et "*les méthodes hybride*"s (Fournier, 2008).

1.4 Prétraitement des images multitemporelles

1.4.1 Correction radiométrique

Les conditions radiométriques peuvent être influencées par de nombreux facteurs tels que les différentes saisons d'acquisition des imageries, la variabilité des altitudes solaires, les différents angles du capteur, les conditions météorologiques et la couverture nuageuse, la pluie ou la neige... etc. Ils affectent ainsi considérablement la précision de la plupart des algorithmes de détection de changement. Ainsi il est recommandé avant d'appliquer le processus de détection des changements, d'effectuer une correction radiométrique (Leonardo, et al., 2006) .

Les algorithmes de traitement radiométrique qui sont les plus fréquemment utilisés à l'heure actuelle dans le prétraitement de la détection des changements sont principalement ; la méthode de régression d'image, les fonctions de pseudo-invariant, normalisation sombre-lumineux, normalisation radiométrique « no-change », égalisation d'histogrammes.. etc. Il convient de signaler que la correction radiométrique n'est pas nécessaire pour toutes les méthodes de détection des changements. Bien que certains chercheurs estiment que les corrections radiométriques sont nécessaires en analyse multicapteur des changements d'occupation du sol (Lefebvre, 2011), les études ont montré que pour des algorithmes de détection de changement basés sur une approche orientée-objet, la correction radiométrique est souvent inutile.

1.4.2 Correction géométrique

Le recours aux corrections géométriques dépend le nature de la zone d'étude, en effet une orthorectification de l'image est bien nécessaire si la scène inclut des zones où le relief est bien marqué. Cette nécessité dépend aussi de l'algorithme de détection du changement utilisé, en effet pour des algorithmes de détection basés sur l'approche-pixel la correction géométrique est bien nécessaire, en parallèle ces corrections sont facultatives dans l'approche orientée-objet vu que la marge d'erreur est inférieure (Gong, et al., 2013).

1.5 Les algorithmes de détection du changement

Une multitude d'approches d'extraction de la tache urbaine et de comparaison multidates ont été testées et comparées, ces méthodes sont décrites ci-dessous (figure 4).

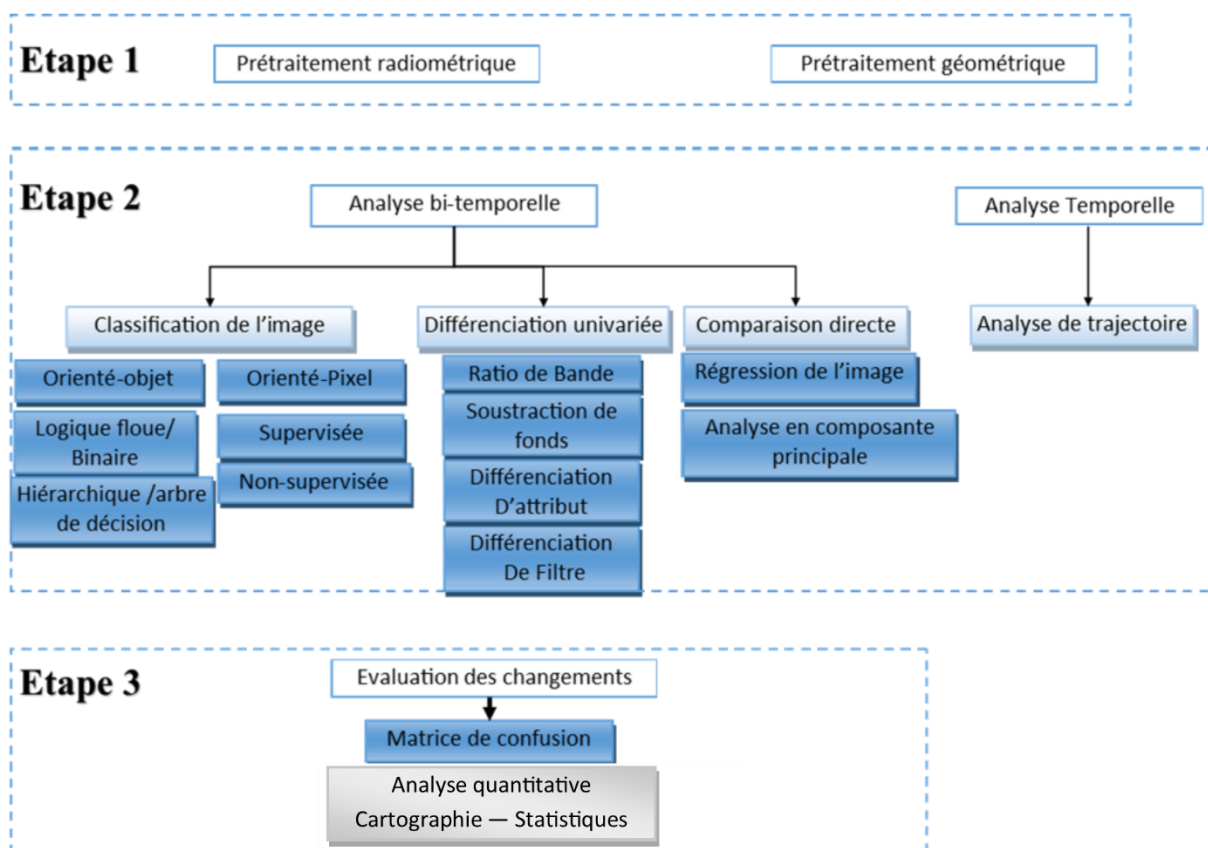


Figure 4 : Méthodes de cartographie des zones urbaines

Chacune des méthodes figurantes dans le schéma ci-dessous sont expliquées dans les parties qui suivent.

1.5.1 Approche multidates

Pour la détection des changements multidates, les algorithmes de détection appartiennent à l'une des trois approches ; à savoir (1) en comparant directement différentes sources de données (méthode de comparaison directe), (2) en comparant les informations extraites (méthode de comparaison post-analyse), (3) et l'intégration de toutes les sources de données dans un modèle hybride (méthode de modélisation uniforme). Dans la méthode de comparaison directe, les éléments de détection comprennent le pixel, les attributs spectraux basiques de l'image et les attributs transformés (MAS, 1999). Les indices texturaux et les indices radiométriques de contours (Edge) étant considérés comme attributs basiques de l'image. Pour les images de télédétection multispectrale, l'extraction de ces indices basiques est souvent la procédure la plus importante. Dans la méthode de comparaison post-analyse les éléments de détection comprennent principalement des classes d'occupation du sol extraites à partir des images. L'approche orientée-objet via la classification d'images et extraction d'attributs, dispose de caractéristiques spécifiques ; en effet une segmentation est nécessaire avant la classification (Batz, 2000). Pour la méthode de modélisation hybride, elle varie selon les stratégies de

modélisation adoptées, et peut être décrite comme une modélisation-agrégation d'un ensemble d'algorithmes de détection (Fournier, 2008).

1.5.1.1 Différenciation Univariée de l'image

Dans cette technique, les images enregistrées dans l'espace de temps 1, et 2, sont soustraites pixel par pixel, pour produire une autre image qui représente un changement entre les deux temps ; Mathématiquement ;

$$Dx_{ij}^k = x_{ij}^k(t_2) - x_{ij}^k(t_1) + C \dots \dots \dots (1)$$

Où x ; valeur de pixel pour la bande k et i et j sont des nombres de lignes et de pixels dans l'image. t_1 : première date, t_2 : seconde date et $C = a$ une constante afin de produire des nombres positifs.

Ce type de différenciation a également été réalisé sur des filtres spatiaux (Ingram, et al., 1981) qui ont utilisé une procédure de lissage préservant les contours afin de minimiser la variation de pixels adjacents sans flouter les bords l'attribut spectral. Le résultat de cette différenciation donne une légère amélioration dans la précision globale de classification.

Dans les images Landsat par exemple, chaque bande spectrale affiche une sensibilité spécifique pour une composante de l'occupation du sol, exemple sur le Satellite TM, la bande B4 (infrarouge) pour la végétation, la bande B1 (bleue) pour les zones urbaines ou artificialisés (Caloz & Collet, 2001).

1.5.1.2 Régression d'image

Dans la méthode de détection du changement par régression, les pixels de temps t_1 , sont supposés être une fonction linéaire des pixels de temps t_2 . Ainsi, on peut régresser $x_{ij}^k(t_1)$ contre $x_{ij}^k(t_2)$ à l'aide d'une régression des moindres carrés (x est une valeur de pixel de la ligne i , colonne j de la bande k). Si $x_{ij}^k(t_2)$ est la valeur prédite obtenue à partir de la droite de régression, l'image de différence peut être définie comme suit

$$Dx_{ij}^k = x_{ij}^k(t_2) - x_{ij}^k(t_1) \dots \dots \dots (2)$$

Une technique de seuillage, comme décrit précédemment, est appliquée à détecter les zones de changement. La technique de régression compte les différences de moyennes et les variances entre les valeurs de pixels pour des dates différentes de sorte que les effets négatifs de différences dans les conditions atmosphériques ou des angles du soleil soient réduits. (Caloz & Collet, 2001) (Hussain, et al., 2013) ont rapporté que la technique de la différenciation univariée

est légèrement meilleure que la procédure de régression dans la détection des changements surtout dans les analyses de changement urbain elle sera donc pas retenue dans ce travail.

1.5.1.3 Ratio d'image

Rationnement est considéré comme un moyen relativement rapide d'identifier les domaines du changement (MAS, 1999) . En faisant le rapport entre deux images enregistrées à partir des dates différentes avec une ou plusieurs bandes ou on rationne, bande par bande. Les données seront comparées pixel par pixel suivant la formule :

$$Rx_{ij}^k = \frac{x_{ij}^k(t1)}{x_{ij}^k(t2)} \dots \dots \dots (3)$$

Où $x_{ij}^k(t2)$ est la valeur du pixel x dans la bande k, à la ligne i et colonne j au temps t_2 .

Si l'intensité de l'énergie réfléchi est à peu près la même dans chaque image, $Rx_{ij}^k=1$, dans les zones de changement de valeur du rapport serait nettement supérieure à 1 ou inférieure à 1 en fonction de la nature des changements entre les deux dates. La pratique habituelle était de sélectionner des valeurs de seuil arbitraires et en les testant de manière empirique afin de déterminer si la détection de changement a été effectuée avec précision (Jianya, et al., 2008).

La méthode de rationnement est moins populaire que la méthode précédente (différenciation d'image), il est recommandé d'utiliser des ratios d'attributs spectraux normalisés (NDVI, , indice de brillance, RVI...).

1.5.1.4 La différenciation d'indices spectraux

Les valeurs spectrales de radiances enregistrées sur les bandes compatibles Landsat peuvent être analysées indépendamment bande par bande ou dans des combinaisons de deux ou plusieurs bandes (Congalton, 1998). Une des techniques les plus couramment utilisées est la différenciation d'un indice spectral calculé simultanément sur les images t_1 et t_2 .

Les indices spectraux les plus utilisés dans la détection du changement sont :

- *Indice de végétation normalisé*
$$= \frac{\text{Bande 4} - \text{Bande 2}}{\text{bande 4} + \text{Bande 2}} \dots \dots \dots (4)$$

- *Indice de brillance*
$$\sqrt{(\text{Bande 4})^2 + (\text{Bande 2})^2} \dots \dots \dots (5)$$

- *Indice « Ratio-végétation »*
$$\frac{\text{Bande 4}}{\text{bande 2}} \dots \dots \dots (6)$$

Il existe une multitude de formules dérivées des précédentes ou développées à base de coefficients adaptés à la nature des sols.

Dans ce présent travail, l'extraction de la tache urbaine est basée sur l'indice de Brillance des sols (Lin, et al., 2005), un indice conçu initialement pour l'extraction des sols salins, mais qui donne des résultats très efficace concernant l'extraction des zones urbaines, surtout depuis les images Landsat. La qualité de détection des changements dépendra étroitement de la qualité de l'indice spectral (Jianya, et al., 2008).

1.5.1.5 Les indices de texture, matrice de co-occurrence

Ce sont des d'indices basés sur les statistiques des luminances calculées au sein de la fenêtre mobile (Caloz & Collet, 2001). Une matrice de Co-occurrence se définit comme *une fréquence relative* égale au nombre de paires de pixels de la fenêtre d'auscultation présentant une relation spectrale identique sous trois conditions : *l'orientation θ* , le *sens* selon lesquels les couples sont dénombrés, ainsi que la *distance* en unité de pixel qui les sépare. Environ 32 indices de texture sont dérivés depuis cette approche « Entropie, Variance, Écart-type, Moyenne, second moment dissimilarité ...etc. » (Haralick, et al., 1973).

1.5.1.6 Comparaison via une Postclassification

C'est la méthode la plus simple pour la détection de changement d'occupation du sol, elle se base sur la comparaison d'images déjà classifiées séparément en codant les résultats de classification pour chacun des instants t_1 , et t_2 (Bauer, et al., 2003), l'analyste peut produire une carte des changements sous forme d'une matrice complète des changements. En outre, le regroupement sélectif des résultats de classification permet à l'analyste d'observer tous les sous-ensembles d'intérêt. Deux grandes ensembles se différencient : la classification orienté-pixel et la classification orientée-objet, les deux approches sont décrites dans la section suivante, toutefois, la difficulté majeure dans ces méthodes c'est de produire des classifications comparables, en effet La comparaison Postclassification ne donne des résultats cohérents que dans le cas où les différences atmosphériques et de capteurs entre les deux dates sont normalisées (Chen, et al., 2012).

1.5.1.6.1 Comparaison après une classification Orientée-Pixel

C'est une approche basé uniquement sur les valeurs spectrale des pixels, ainsi basé sur un algorithme autonome (non-supervisée) ou assistée par l'utilisateur (supervisée), ces approches sont décrites ci-dessous.

1.5.1.6.2 Extraction par classification non supervisée K-means

Le clustering K-Means est l'une des méthodes d'analyse de données les plus courantes, dans le domaine de la reconnaissance de formes, de l'exploration de données et du traitement d'images (Zhenhua, et al., 2010). Dans le domaine de la télédétection, le principe est que des pixels avec des valeurs spectrales proches soient regroupés sans aucune connaissance préalable. Le principe du K-Means repose sur le clustering dur où chaque objet appartient exactement à un cluster. L'algorithme quant à lui consiste à choisir aléatoirement un ensemble de centres fixés a priori et de chercher itérativement la collection d'objets qui leur appartient.

Pour ce faire le processus tente de minimiser une fonction objective dont l'équation est la suivante :

$$KM(X, C) = \sum_{i=1}^n \text{Min}_{j \in \{1 \dots k\}} \|x_i - c_j\|^2 \dots \dots \dots (7)$$

n : nombre de points de l'image

X_i représente un point de l'image

C_j représente un centre de l'image

K : le nombre de classe choisie à priori par l'utilisateur.

Cependant la solution obtenue n'est pas toujours optimale. En effet, l'algorithme du K-Means souffre d'un inconvénient majeur qui est sa forte dépendance aux centres initialement choisis (Laszlo & Mukherjee, 2007)

1.5.1.6.3 Extraction par classification non supervisée Iso-Data

Iterative self-organizing data (ISODATA), c'est un algorithme atypique de classification, dérivé du K-means (Ball & Hall, 1965), il compare la valeur spectrale de chaque pixel avec un nombre prédéfini de centres de cluster K et décale les valeurs moyennes de cluster de telle sorte que la majorité des pixels appartiennent à un cluster.

Le principe de la méthode repose sur la génération de partitions par le biais du KM en faisant varier le nombre de clusters (K) sur un intervalle prédéfini « Kmin, Kmax » . (Richards & Jia, 1999).

1.5.1.6.4 Extraction par classification supervisée / Maximum de vraisemblance

Une méthode de classification radiométrique basée sur l'expertise de l'utilisateur à l'aide d'un échantillonnage manuelle des classes de discrétisation (où région d'intérêt). L'algorithme "Maximum Likelihood" (maximum de vraisemblance), largement utilisé dans la classification

par télédétection (Caloz & Collet, 2001), considère à la fois la variance et la covariance des signatures de pixels lors de l'attribution de chaque cellule à l'une des classes.

Un avantage considérable de cette méthode est donc qu'elle fournit pour chaque pixel, en plus de la classe à laquelle il a été affecté (Foody, et al., 1992), un indice de certitude lié à ce choix (la probabilité avec le reste des classes).

La classification par maximum de vraisemblance est basée sur la règle de Bayes.

$$Pr\{A_i|B\} = \frac{Pr\{A_i\}Pr\{B|A_i\}}{\sum Pr\{A_i\}Pr\{B|A_i\}} \dots\dots\dots(8)$$

Où A_i représente la classe i , B représente les valeur du pixel.

$Pr\{A|B\}$ est la probabilité conditionnelle que la classe A_i soit la classe où placer le pixel B .

Dans cette équation, les probabilités préalables, $Pr\{A\}$, reçoivent une valeur égale ou des valeurs en fonction d'informations cartographiques déjà connues.

Chaque $Pr\{B|A\}$ est calculé en utilisant l'écart type et la corrélation entre le pixel et la classe.

De cette manière, les probabilités d'un pixel sont calculées pour chaque classe et le pixel est assigné à la classe pour laquelle il a les plus fortes probabilités.

1.5.1.6.5 Extraction par classification « Arbre de décision »

L'arbre de décision est un classifieur non-paramétrique (Otukey & Blaschke, 2010), outil efficace dans la classification et régression, c'est une hiérarchie neurale avec une discrétisation binaire (Abdellah, 2007), l'arbre de décision repose dans notre cas sur une approche multivariée (combinaison de variables : Classification supervisée, NDVI, BI et photo-interprétation), sa philosophie est très proche de l'approche hybride.

1.5.1.7 Comparaison après une classification orientée-objet

La méthode orientée-objet est aussi appelée méthode de comparaison à base d'objets. Le principe consiste à extraire des objets à partir d'images multitemporelles en utilisant la segmentation d'image (Baatz, 2000) (Dronova, et al., 2011) et d'autres algorithmes d'extraction d'attributs et de distinguer les changements entre les objets correspondants (Hussain, et al., 2013). Typiquement, cette méthode est appliquée à des applications telles que la détection des changements d'objets anthropiques sur les images à haute résolution, la mise à jour des données urbaines et de reconnaissance militaire. Cette méthode compare directement les objets extraits, de sorte qu'ils ne soient pas sensibles à des bruits de données et à la distorsion géométrique.

Généralement le contenu des classifications objets, est exporté sous forme de couches vectorielles et comparées sur des logiciels SIG fournissent des outils efficaces pour le traitement multi-sources et l'analyse de détection de changement (Lu, et al., 2003).

1.5.2 Approche de séries temporelles, dite « analyse de trajectoire »

Contrairement à la détection des changements multidates, l'analyse de la trajectoire temporelle est principalement basée sur des images de faibles résolutions spatiales telles qu'AVHRR et MODIS (Friedl, et al., 2002), qui ont une haute résolution temporelle. Cependant le compromis de l'utilisation de ces images est la perte de détails spatiaux ce qui rend l'auto-classification très difficile, en effet l'analyse de la trajectoire temporelle est parfois limitée pour certaines thématiques dont la rigueur quantitative est exigée, elle n'est donc pas retenue pour présent travail. L'analyse des trajectoires est souvent utilisée pour suivre la dynamique de la végétation dans de vastes zones en se basant sur des attributs normalisés tels que les indices de végétation (NDVI, MSAVI...) permettant aisément de suivre les changements de trajectoires, voir même utiliser des outils de modélisation probabiliste, pour des prévisions de trajectoire futures.

1.5.3 Modèle hybride

Les modèles hybrides sont une combinaison de deux ou plusieurs des méthodes précédentes, cette combinaison permet d'utiliser les points forts de chaque méthode (Lu, et al., 2003) (Fournier, 2008), le principe le plus populaire est la fusion de résultats de classification de chaque méthode afin d'affiner le résultat, par exemple la combinaison des résultats de changement d'occupation du sol produit par une classification pixel, et d'une soustraction algébrique (univarié, ratio...).

1.5.4 Matrice de confusion de la détection des changements

La précision de la détection du changement dépend de nombreux facteurs, y compris la précision l'orthorectification géométrique et d'étalonnage ou la normalisation radiométrique, la disponibilité et la qualité des données de référence au sol, la complexité du paysage et de l'environnement, des méthodes ou des algorithmes utilisés, les compétences de l'analyste et de l'expérience, et le temps et les restrictions de coûts. Les principales erreurs dans la détection des changements sont causées par ; les prétraitements (la précision des corrections géométrique radiométrique), par les erreurs commises lors du processus de détection des changements (par exemple lors des des classifications et échantillonnage), il ya aussi erreurs dans les données de validation-terrain où la référence de sol, (MAS, 1999).

1.6 Autres méthodes de détection des changements

1.6.1 Classement direct multodate

Ces méthodes sont basées sur une analyse unique d'un ensemble de deux ou plusieurs dates (Singh, 1989/2010) pour identifier les domaines du changement des données combinées. Par exemple, dans un ensemble avec de huit bandes composées de deux dates (4 bandes pour chaque date) on analyse le tout avec le même méthode (en mode supervisé où non supervisé). L'approche supervisée est utilisée pour obtenir des statistiques définissant des classes en fonction de l'espace d'appartenance. Dans l'approche non supervisée, l'inspection d'une petite partie de la scène où des changements ont lieu et sont bien connus est utilisée pour dériver des classes par analyse de cluster. Dans les deux cas, les classes de changement doivent avoir des statistiques significativement différentes de classes de « sans changement ».

Bien que cette méthode ne nécessite qu'une seule classification, elle demeure bien complexe, et nécessite souvent de nombreuses classes et trop de fonctionnalités (Jianya, et al., 2008), elle n'est donc pas retenue dans cette étude.

1.6.2 L'analyse du vecteur de changement

Quand un peuplement forestier subit un changement, son apparence spectrale change en conséquence. Le vecteur décrivant la direction et l'ampleur du changement de la première à la seconde date est un changement du vecteur spectral. La décision qu'une modification a eu lieu est faite si l'amplitude de la variation du vecteur spectral calculé dépasse un critère de seuil spécifié. La direction du vecteur contient des informations sur le type de changement (néant ou changement marqué), (Congalton, 1998) cette approche nécessite un échantillonnage ultra-précis des réponses spectrales (Lu, et al., 2003) nécessitant une bibliothèque spectrale spécifique au objet de la région (indisponible en Algérie), elle n'est donc pas appliqué dans cette étude.

1.6.3 Analyse de composantes principales (ACP)

Cette technique d'analyse multivariée est utilisée pour réduire le nombre de composantes spectrales aux principaux représentants ayant les plus fortes variances dans les images multispectrales originales. Dans les études multitemporelles les composantes principales pour deux ou plusieurs dates sont souvent comparées comme dans la méthode de différenciation directe d'images et la méthode de régression d'image. Alternativement, deux scènes à quatre bandes Landsat de la même zone, enregistrées à des dates différentes, peuvent être superposées et traitées comme une seule image Landsat (de huit bandes) (Caloz & Collet, 2001) (Lu, et al., 2003).

L'Analyse en composantes principales de cet ensemble de données devrait aboutir à une différence brute (comme la régression linéaire). Nécessite souvent l'utilisation de variables normalisées (matrice de corrélation) (Singh, 1989/2010), les images anciennes (Landsat MSS/TM) qui ont une qualité radiométrique inférieure aux images récentes OLI (Bauer, et al., 2003) affichent un très haut taux de confusion avec ces approches statistiques, elles ne sont donc pas retenus dans cette étude.

2. Les données multitemporelles

Les images optiques sur lesquelles s'articule l'approche multitemporelle nécessite une disponibilité de couverture satellite sur de larges intervalles temporels (USGS-NASA, 2017), ci-dessous (tableau 1) une synthèse des archives satellitaires mises-à-disposition.

Tableau 1: les archives d'images satellitaires

	Début archive	Caractéristiques	Producteur
Landsat	14-11-1972	- De 30 à 60 m en mode multispectral - 15 m en panchromatique	United States Geological Survey (USGS-NASA).
Alsat	28-11-2002	- De 24 à 10 m en mode multispectral - 2.5 m en panchromatique	Agence Spatiale Algérienne (ASAL)
Sentinel 2	23-06-2015	De 10 à 60 m en mode multispectral	Agence Spatiale Européenne (ESA, programme Copernicus)

Pour l'approche multitemporelle réalisée dans cette présente étude, les données Landsat sont retenues en raison de leur large interval de disponibilité temporelle, les données à très haute résolution, Sentinel et Alsat et notamment Alsat 2A (image fusionnée allant jusqu'à 2.5m de résolution) serviront d'appui pour la validation et l'élimination de classes de confusion sur les images classifiées depuis les données Landsat.

2.1 Les Programmes USGS-Landsat

Le projet Landsat fait partie intégrante du volet télédétection du programme de l'United States Geological Survey (organisme étatique américain spécialisé dans les sciences de la terre).

Landsat¹ représente la plus longue archive satellitale acquise au monde des données de télédétection spatiale à résolution moyenne (Bauer, et al., 2003). Quatre décennies d'imagerie constituent une ressource unique pour les domaines de l'agriculture, la géologie, la foresterie, l'aménagement du territoire et urbanisme, l'éducation, la cartographie et le suivi du changement sur la planète. Les images Landsat sont également inestimables pour les interventions d'urgence et les secours en cas de catastrophe.

En tant qu'initiative conjointe du US Geological Survey (USGS) et de la NASA, le projet Landsat et les données qu'il recueille soutiennent les communautés gouvernementales, commerciales, industrielles, civiles, militaires et éducatives à travers les États-Unis et dans le monde entier en mettant à libre accès cette archive.

Les différents capteurs Landsat (1 à 8) composant cette archive (de 1972 jusqu'à ce jour «fin 2017») sont mentionnés dans la figure 5 ci-dessous.



Figure 5: Périodes temporelles des satellites Landsat

Dans le site d'archive USGS² et selon l'angle de fauchée du capteur satellitale, les scènes sont réparties en mailles égales indexées en lignes/colonnes (Path/Raw), la wilaya d'Alger est située dans Path 196 entre les Raw « 34 et 35 », (figure 6).

¹ <https://landsat.usgs.gov/>

² <https://earthexplorer.usgs.gov>

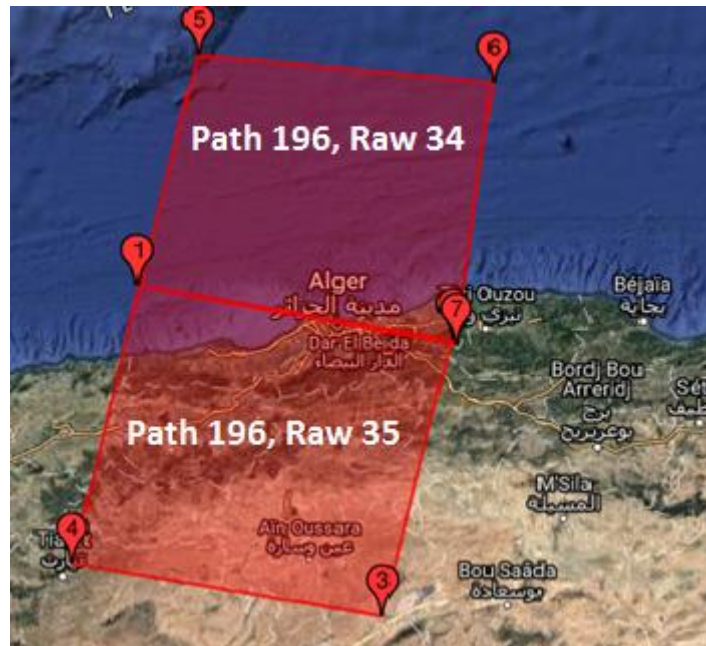


Figure 6: Coordonnées Path/Raw de la wilaya d'Alger

2.1.1 Analyse multitemporelle et disponibilité des scènes Landsat

Le taux de disponibilité des scènes Landsat sur la wilaya d'Alger varie fortement entre 1972 (date des premières acquisitions, avec Landsat 1 MSS), jusqu'à nos jours (avec Landsat 8 OLI-TIRS, lancé en 2013), dans certaines années, notamment entre 1973 à 1980 ou 1990 et 1994, aucune scène n'est disponible, soit en raison de non-programmation orbitale sur Alger (prise de vue uniquement sur certaines zones prioritaires « Amérique du Nord, Europe de l'Ouest... »), où bien en raison de soucis techniques (notamment Landsat 3, Landsat 4), voir annexe n°3, décrivant la disponibilité des scènes sur la zone algéroise.

À base d'un document technique (USGS-NASA, 2017), inventoriant le nombre de scènes des satellites Landsat selon la localisation géographique sur l'ensemble du globe terrestre, une synthèse a été réalisée sur la couverture de la zone algéroise un tableau ci-dessous a été mis en œuvre, (tableau 2).

Tableau 2: Disponibilité des scènes Landsat sur la zone algéroise

	Nom du capteur	Nombre de scènes accessibles	Résolution (Spectrale/Spatiale)	Scène la plus ancienne	Scène la plus récente
Gamme Landsat MSS (1-5)	MSS L1	3	- 4 Bandes ;	14-11-1972	03-01-2013
	MSS L2	0	De 0.5 à 1.1µm	(L1)	(L5)
	MSS L3	13	- 80 m de résolution		
	MSS L4	0	moyenne		

	MSS L5	34	Cycle : 18 jours		
	Total	50			
Gamme Landsat TM (1-5)	TM L4	2	- 6 Bandes (de 0.45 à 2.35µm), 1 bande (10.4-12.4µm). - 30 m en MS, 120m en thermique. Cycle : 16 Jours	12-04-1985	14-11-2011
	TM L5	117			
	Total	119			
Game Landsat ETM+ (7)	Landsat 7	311	- 6 Bandes (de 0.45 à 2.35µm), 1 bande (10.4-12.4µm). - 30 m en MS, 100m en thermique. - 15 m en panchromatique - Cycle : 16 jours	16-02-2000	Encore en activité fin 2017
Game Landsat OLI-TIRS (8)	Landsat 8	127	- 8 Bandes (de 0.43 à 2.3µm), 2 bandes (de 10.4 à 12.4µm et de 11.5 à 12.5µm). - 30 m en MS, 60m en thermique. - 15 m en panchromatique. - Cycle : 16 jours	18-04-2013	Encore en d'activité, fin

À base de cette synthèse (tableau 2, ou annexe n°3 plus exhaustive) on constate que l'Afrique du nord et l'Algérie particulièrement ne dispose de choix d'images varié que depuis 2003 avec Landsat 7 ETM+ (fréquence d'acquisition mensuelle) ou encore mieux avec Landsat 8 OLI où on dispose même parfois d'acquisition multi-mensuelle, le choix des dates pour les images est donc souvent restreint, vu la présence de nombreuses périodes d'absence d'images sur Alger.

2.2 Le programme COPERNICUS-Sentinel 2

Héritière des programmes Landsat de la NASA et SPOT du CNES, la mission Sentinel-2 fait partie du programme d'observation et de surveillance de la Terre "Copernicus³", conduit par l'Union européenne. L'Agence spatiale européenne (ESA) est responsable du développement des

³ <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>

2 satellites jumeaux (A et B), de leurs instruments et du segment sol. Les engins spatiaux ont été conçus et fabriqués par un consortium de 60 entreprises, sous la direction d'Airbus Defence and Space (Hagolle, 2015). Suite à un accord de coopération, le CNES a développé le prototype du segment sol de traitement des données, défini et prototypé les traitements de niveau 1, développé un système de qualité d'image et un démonstrateur pour les traitements de niveau 2 (détection des nuages et corrections atmosphériques). Le CNES met à disposition de manière libre et gratuite les données des Sentinel-2 sur sa plateforme Internet PEPS, et fournit des produits corrigés des effets atmosphériques par l'intermédiaire du pôle thématique THEIA .

Tableau 3: Caractéristiques des scènes Sentinel

	Résolution (Spectrale/Spatiale)	Temps de revisite	Première acquisition
Sentinel 2A	- 13 Bandes (de 0.44 à 2.2 μ m)	10 jours chacun ou 5 jours pour les deux	Juin 2015
Sentinel 2B	- 10 à 60 m de résolution		Mars 2017

La mission Sentinel 2 (tableau 3) de l'ESA, se compose de deux satellites, Sentinel 2A et Sentinel 2B ; le premier a été lancé en juin 2015 et le second en mars 2017.

Chacun de ces satellites permet une couverture de toute la terre tous les 10 jours, à 10 m de résolution, dans 13 bandes spectrales du visible au moyen infra-rouge. En combinant les données des deux satellites, chaque pixel sera donc observé tous les 5 jours (Hagolle, 2015).

2.3 Les archives Alsat

Le programme Alsat⁴ est un projet porté par l'Agence Spatiale Algérienne (Harhouz, et al., 2014), il s'inscrit notamment dans le Programme Spatiale National (PSN , 2006-2020), ayant comme objectif le monitoring des territoires et l'appui du développement durable au pays.

Cinq satellites ont été lancés entre 2002 et 2016, dont 4 satellites d'observation de la terre (Benbouzid & Attaba, 2017) et un Nanosatellite expérimental, ces satellites optiques constituent désormais une archive multitemporelle (16 ans d'image en 2018), leur caractéristiques sont synthétisés ci-dessous (tableau 4).

⁴ <http://www.asal.dz/Specifications-Tech-Alsat-2.php>

Tableau 4: Caractéristiques des scènes Alsat

	Résolution (spectrales/spatiale)	Temps de revisite	Date de lancement
Alsat 1	- 3 Bandes (0.52-0.9 μ m) - 32m de résolution	03 jours	28-11-2002
Alsat 2A	- 4 Bandes (0.45-0.89 μ m)	03 jours	12-07-2010
Alsat 2B	- 10 m en multispectrale et 2.5m en panchromatique		26-09-2016
Alsat 1B	- 4 Bandes (0.45-0.89 μ m) 24 m en multispectrale et 12 m en panchromatique	< 07 Jours	26-09-2016

Environ 86 projets intersectoriels ont été retenus durant la durée du PSN⁵, en vue de fournir des produits applicatifs dérivés de cet archive satellitales.

⁵ <http://www.asal.dz/psn.php>

Conclusion

Les approches spatialisées pour le monitoring de l'urbanisation, permettent une vision synoptique de l'objet urbain ainsi que ces transformations/interactions avec les autres composantes du milieu.

De façon générale, la complexité de l'environnement urbain et la spécificité des images satellitaires disponibles rendent l'utilisation de la télédétection urbaine, moins performante que d'autres domaines d'application. À partir des années 1990, cette application va toutefois connaître un développement remarquable, l'avènement des images à très haute résolution spatiale contribuera à une utilisation plus importante de la télédétection en milieu urbain avec des applications encore plus généralisées à divers profils utilisateurs (automatisation informatique, application thématique en géographie, écologie, génie côtier...etc.).

La cartographie des zones urbaines est donc subordonnée aux caractéristiques des images satellitaires existantes à cette période et à leur capacité de représenter les détails géométriques et contextuels. Les méthodes de traitement numérique s'adaptent à ce contexte en intégrant de nouvelles informations et connaissances. Les applications urbaines de la télédétection satellitaire concernent principalement la cartographie de l'occupation du sol, le suivi de l'étalement urbain, les approches multidates et la mise à jour de plans cartographiques (cadastre, plan de gestion territoriale...etc).

L'inventaire des archives Landsat sur la zone algéroise, permet de connaître les années de disponibilité des images, et donc un état des lieux des opportunités de traitement pour toute approche temporelle.

Ces archives à haute résolution (Landsat, Sentinel) permettent le suivi de la tâche urbaine ou de l'occupation du sol à une moyenne échelle (sous réserve de disponibilité de supports de validation pour les dates retenues, à moyen de cartes topographiques anciennes, plan cadastral, photographies anciennes ou à défaut une forte expertise territoriale de l'utilisateur).

Pour les études à échelle plus fine, les archives Alsat-2 sont disponibles depuis 2010, à une très haute résolution pour les applications nécessitant une meilleure vision du détail (étude cadastrale par exemple), ceci présente également un fort potentiel pour les approches multisource-multiéchelle pour la cartographie des types d'habitats (fusion d'images, approche orientée-objet, restitution stéréoscopique...etc).

Bibliographie

- Abdellah, C., 2007. *Application de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à l'étude des mouvements de terrain au Liban*. s.l.:Thèse de doctorat. Paris 6..
- Baatz, M. S. A., 2000. Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *Definiens-Germany*..
- Ball, G. & Hall, B., 1965. "Isodata: A novel method of data analysis and pattern classification. *Stanford Res. Inst., Stanford, CA, Tech. Rep.*..
- Bauer, M.-E., Yuan, F. & Sawaya, K.-E., 2003. *Multi-Temporal Landsat Image Classification And Change Analysis Of Land Cover In The Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area*. s.l., s.n.
- Benbouzid, A. & Attaba, M., 2017. *Caractéristiques des satellites algériens d'observation de la terre moyenne et Haute Résolution Alsat*. s.l.:Actes de l'Atelier National, « ALSAT-UTILISATEURS ».
- Bendraoua, F., Bedidi, A. & Cervelle, B., 2011. Dynamique spatiotemporelle de l'agglomération oranaise (Algérie) par Télédétection et SIG. *Revue du comité français de cartographie*, Volume (209), pp. 103-113..
- Billen, R., Laplanche, F., Zlatanova, S. & Emgard, L., 2008. Vers la création d'un méta-modèle générique de l'information spatiale 3D urbaine. *Revue XYZ*, 114(1), pp. 37-42.
- Caloz, R. & Collet, C., 2001. Précis de télédétection- volume 3; traitement numérique d'images de télédétection. *Presse de l'université du Québec*.
- Carnahan, D.-L., Guest, A.-M. & Galle, O.-R., 1974. Congestion, concentration and behavior: Research in the study of urban population density. *The Sociological Quarterly*, pp. 488- 506.
- Chen, X., Chen, J., Shi, Y. & Yamaguchi, Y., 2012. An automated approach for updating landcover maps based on integrated change detection and classification methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 71, pp. 86-95.
- Congalton, R.-D. M. R.-G., 1998. A quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 64(175), p. 207–216.
- Demaze, M.-T., 2010. *Un panorama de la télédétection de l'étalement urbain*., s.l.: ESO Travaux et Documents, Espaces et SOciétés - UMR 6590, pp.99-124..
- Dronova, I., Gong, P. & Wang, L., 2011. Object based analysis and change detection of major wetland cover types and their classification uncertainty during the low water period at Poyang

- Lake, China. *Remote Sensing of Environnement*, 115((2011). Object-based analysis and change detection), pp. 3320-3236.
- Dusseux, P., 2014. *Exploitation de séries temporelles d'images satellites à haute résolution spatiale pour le suivi des prairies en milieu agricole*. s.l.:Thèse de doctorat, Université Rennes 2.
- Foody, G.-M., Campbell, N. A., Trodd, N.-M. & Wood, T.-F., 1992. Derivation and applications of probabilistic measures of class membership from the maximum-likelihood classification. *Photogrammetric engineering and remote sensing.*, 58(9), pp. 1335-1341.
- Fournier, A., 2008. *Détection et classification de changements sur des scènes urbaines en télédétection*. s.l.:Thèse de doctorat Institut d'aéronautique et d'espace, France.
- Friedl, M.-A. et al., 2002. Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, Volume 83, p. 287–302.
- Gong, P. et al., 2013. Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 34, pp. 2607-2654.
- Hagolle, O., 2015. La mission Sentinel-2. *CESBIO-THEIA*.
- Haralick, R.-M., Shanmugam, K. & Dinstein, I., 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transaction on systems, man and cybernetics*, Volume 3, pp. 610-621.
- Harhouz, A., Rachedi, A. & Belghoraf, A., 2014. Multidate Quality Assessment of Alsat-1 Satellite's Imager. *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, pp. 120-129.
- Hertig, A.-J., 2006. Etudes d'impact sur l'environnement. *PPUR presses polytechniques.* , Volume 23.
- Hussain, M. et al., 2013. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 80, pp. 91-106.
- Ingram, K., Knapp, E. & Robinson, J.-W., 1981. Change detection technique development for improved urbanized area delineation. *CSCITM-81/6087, Computer Sciences Corporation, Silver Springs, Maryland, U.S.A.*
- Jianya, G., Haigang, S., Guorui, M. & Qiming, Z., 2008. Review Of Multi-Temporal Remote Sensing Data Change Detection Algorithms. *Wuhan University*.

- Kébir, K.-L., 2004. Intégration et exploitation des données Alsat-1 pour la gestion et le suivi des inondations. *Journées Techniques : Risques naturels: Inondation, Prévision, Protection (Batna 15-16 décembre 2004)*..
- Lambin, E.-F. et al., 1999. *Land-use and land-cover change (LUCC): Implementation strategy*. s.l., s.n.
- Laszlo, M. & Mukherjee, S., 2007. A genetic algorithm that exchanges neighboring centers for k-means clustering. *Pattern Recognition Letters*, 28(16), pp. 2359-2366..
- Lefebvre, A., 2011. *Contribution de la texture pour l'analyse d'images à très haute résolution spatiale : application à la détection de changement en milieu périurbain*. s.l.:Thèse de doctorat de l'université de Rennes.
- Lejot, J. P. H. H. P.-D. M. B. G. M., 2011. Utilisation de la télédétection pour la caractérisation des corridors fluviaux : exemples d'applications et enjeux actuels. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 17(2), pp. 157-172.
- Leonardo, P. et al., 2006. Radiometric correction effects in landsat multi-date/multi-sensor change detection studies. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 2, pp. 685-704.
- Lin, H. et al., 2005. Studies on Urban Areas Extraction from Landsat TM Images. *IGARSS'05. Proceedings. IEEE International*, pp. 3826-3829.
- Lu, D., Mausel, P., Bronzidos, E. & Moran, E., 2003. Change detection techniques. *INT. J. REMOTE SENSING*, 25(12), pp. 2365-2407.
- Maktav, D., Erbek, F.-S. & Jurgens, C., 2005. Remote sensing of urban areas. *International Journal of Remote Sensing*, 26(4), pp. 655-659.
- MAS, J.-F., 1999. *Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques*. s.l., s.n.
- Medjadj, T., 2008. *L'apport de la télédétection de haute résolution spatiale pour le développement urbain qualitatif cas de la ville d'Alger*. s.l.:mémoire de Magister, USTHB.
- Nedjai, R. et al., 2016. Application of Remote Sensing and GIS to Assess the Construction Pressure on the Environment of Algiers (Algeria) During the Three Last Decades and Their Evolution by the Use of Markov Chain. *Journal of Remote Sensing & GIS*, 5(2).
- Otukei, J.-R. & Blaschke, T., 2010. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, pp. 27-31.

- Richards, J.-A. & Jia, X., 1999. Remote sensing digital image analysis. An introduction. *Third edition. Springer-Verlag, Berlin*, pp. 281-292.
- Saadi, S., 2008. *Etude diachronique de l'artificialisation de la zone périurbaine algéroise*. s.l.:mémoire de Magister, USTHB.
- Sahani, M., 2011. *Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord-Kivu/RDC)*. s.l.:Thèse de doctorat en Géographie, Université de Liège. 275 p. (ULgetd-11082011-234024)..
- Sebari, I. M. D., 2010. Développement et défis de la et défis de la télédétection urbaine. *Cahiers de géographie du Québec*, 54 (151), p. 117–132.
- Singh, A., 1989/2010. Review article Digital change detection techniques using remotely-sensed. *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), pp. 989-1003.
- Sportouche, H., 2010. *Extraction et reconstruction des bâtiments en milieu urbain a partir d'images satellitaires optiques et radar a haute resolution.. Traitement du signal et de l'image..* s.l.:Thèse doctorat, Telecom ParisTech.
- Trouvé, N., 2011. *Comparaison des outils optique et radar en polarimétrie bistatique. Electromagnétisme. Thèse de doctorat*. s.l.:Ecole Doctorale de Polytechnique,UMR 7647 .
- USGS-NASA, 2017. *State of the USGS Landsat Archive, from 1972 to 6-30-2017.*, s.l.: s.n.
- Weber, C., Thi Dong Binh, T. & G, S., 2010. Urbanisation et changement du paysage a Strasbourg entre 1986 et 2006.. *Rapport Final (Programme national de télédétection spatiale)*.
- Xia, J., 2014. *Multiple classifier systems for the classification of hyperspectral data*. s.l.:Thèse de doctorat, université de Grenoble.
- Zhenhua, L. et al., 2010. Parallel K-Means Clustering of Remote Sensing Images Based on MapReduce. *LNCS, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010*, pp. 162-170.

Chapitre 2

La Baie d'Alger et le cadre législatif

SOMMAIRE

Introduction	44
1. Le littoral algérois	45
1.1 L'agglomération algéroise.....	45
1.2 La baie d'Alger comme zone focale.....	46
1.2 Hydrologie.....	48
1.4 Géologie et sismicité	48
1.5 Morphologie du littoral	50
1.6 Le transport et mobilité	51
1.6.1 Historique de développement du transport.....	53
1.6.2 Faiblesse du chemin de fer au détriment du transport motorisé.....	54
1.6.3 Actions récemment engagés	54
2. La démographie.....	55
2.1 Population et contexte national	55
2.2 La densité et les agglomérations	56
2.3 Le taux d'accroissement.....	58
2.4 La migration rurale.....	59
2.5 La population des communes côtières de la baie d'Alger.....	59
2.6 Composition de la population	60
3. Historique d'évolution de la ville d'Alger et sa métropolisation	61
4. Urbanisation et littoralisation	63
4.1 Les facteurs d'urbanisation	64
4.2 Urbanisation et ses impacts	64
4.3 Types de l'habitat en zone littorale	66

4.4 Politique étatique récente de l’habitat	68
5. Le cadre législatif de la gestion du littoral	68
5.1 Les lois et décrets	68
5.2 Les schémas et plans d’aménagement.....	70
5.2.1 Schéma national de l’aménagement des territoires (SNAT).....	71
5.2.2 Schémas régional d’aménagement du territoire (SRAT)	72
5.2.3 Schéma directeur des aires métropolitaines (SDAAM)	72
5.2.4 Plan directeur d’aménagement et d’urbanisme (PDAU).....	73
5.2.5 Le Plan d’Occupation des Sols (POS)	73
5.2.6 Le Schéma Directeur d’Aménagement du Littoral (SDAL)	74
5.2.7 Plan d’aménagement côtier PAC	74
5.3 Synthèse ; législation et espace côtier	75
6. Durabilité de l’urbanisation algéroise	77
6.1 Politique de gestion intégrée en zone côtière	77
6.2 Plan d’Alger 2009-2029	78
6.2.1 Les objectifs	78
6.2.2 Le contenu du projet.....	78
6.2.2.1 Projet à court terme 2009-2014.....	79
6.2.2.2 Projets à moyen terme 2014-2024.....	81
6.2.2.3 Projets à long terme : 2024-2029	81
Conclusion.....	83
Bibliographie.....	84

Liste des figures

Figure 7: Schéma des interactions « Homme-milieu côtier »	45
Figure 8: La baie ; localisation et relief.....	46
Figure 9: Carte des communes côtières de la baie d'Alger	47
Figure 10: Hydrographie et rejets à Alger.....	48
Figure 11: Carte géologique de la baie d'Alger	49
Figure 12: Réseau de transport public sur la baie (Source : www.mtp.gov.dz).....	52
Figure 13: Phases du Schéma directeur routier et autoroutier (SDRA)	52
Figure 14: Réseau de transport Autobus-Fourgon	53
Figure 15: Croissance de la population	56
Figure 16: dispersion spatiale de la densité démographique.....	57
Figure 17: Densité des communes côtières de la baie.....	59
Figure 18: La catégorie 20-50 ans.....	60
Figure 19: Le nombre d'étudiants par communes.....	61
Figure 20: Taux de personnes actives (%)	60
Figure 21: Carte de l'expansion urbaine (Source : Meguittif, 2008).....	61
Figure 22: Carte de l'évolution administrative de la wilaya d'Alger	62
Figure 23: Facteurs stimulants l'urbanisation.....	64
Figure 24: Échelles et instrument législatif.....	71
Figure 25: Le littoral entre impératif urbain et contrainte environnementale	75
Figure 26: Les plages et baignades naturelles de BAB EL Oued (Arte Charpentier, 2013)	79
Figure 27: le projet d'aménagement d'Oued El Harrach (Arte Charpentier, 2013).....	80
Figure 28: Certaines actions du plan bleu (Arte Charpentier, 2013)	80
Figure 29: Actions du plan vert (Arte Charpentier, 2013)	81
Figure 30: le schéma de cohérence (Arte Charpentier, 2013).....	82

Liste des tableaux

Tableau 5: Primatie de la capitale algérienne.....	56
Tableau 6: Statistiques démographiques suivant les 5 recensements (hab).....	58
Tableau 7: Densité de la population et noyaux urbains (hab/km ²).....	58
Tableau 8: l'accroissement de la population (%).....	58
Tableau 9: La migration rurale (hab)	59
Tableau 10: facteurs dégradants, identifiés par le PAC	65
Tableau 11: aperçu des types d'habitats dominants.....	66
Tableau 12: Synthèse des lois et décrets, en relation avec l'espace côtier	69

Introduction

Quatre-vingt-onze pour cent (91%) de la population algérienne vit le long de la côte méditerranéenne sur 12% de la surface totale du pays et presque la moitié de la population est urbaine (MATE, 2006). L'urbanisation continue de se propager malgré les efforts du gouvernement pour baisser la saturation démographique des villes côtières. Alger, la capitale est soumise à une pression humaine élevée (Haffad, 2004), avec plus de 3 millions d'habitants selon l'Office National des Statistiques-ONS (Berrah, 2011) et jusqu'à 7,7 millions selon certaines organisations non gouvernementales (Population Data, 2015) , c'est le noyau central de l'économie et des affaires.

Alger, en raison de son attractivité économique, et de la centralité des services vit un processus accéléré de métropolisation où les pressions urbaines sur la côte sont de plus en plus grandissantes. Outre cette pression anthropique, les phénomènes d'érosion côtière se sont multipliés, ce qui rend le littoral algérois de plus en plus fragile, cette zone présente également une activité sismique élevée et un risque de tsunami latent (Larara, 2012), la région connaît des périodes de sécheresse (et donc d'épuisement des eaux souterraines). Une urbanisation intensive dans les bassins versants conjuguée à des pluies torrentielles (variabilité météorologique élevée) a provoqué plusieurs catastrophes comme des inondations à Bab El Oued en 2001 qui ont causé 783 victimes, le séisme de Boumerdes en 2003 ..etc (Djellouli & Saci, 2003).

L'ancienne agglomération d'Alger accuse un ralentissement de sa croissance démographique estimée à 0,35% par an entre 1987 et 1998. En parallèle sa périphérie se développe avec un taux de croissance annuel de 5,71%, ce qui explique le redéploiement de l'excédent de population de l'ancien centre communément appelé "Grand Alger" (qui regroupe 28 arrondissements) vers les communes périphériques ; c'est ainsi qu'Alger absorbe progressivement des communes situées dans les wilayas limitrophes de Blida, Boumerdès et Tipaza.

Capitale politique et économique, Alger exerce une forte domination sur son aire métropolitaine. Néanmoins, en raison de la saturation foncière et de la dégradation de la qualité de vie, l'agglomération d'Alger perd en moyenne, depuis 1987, près d'un point par an (-1%) tandis que sa périphérie en gagne un (1%).

Ce chapitre a comme but, d'apporter une vision globale sur la capitale algérienne via une analyse multivolets à partir de ressources bibliographiques (travaux antérieurs) et statistiques socioéconomiques en tant qu'agglomération urbaine (historique, population, transport..), mais aussi comme étant une entité physique du territoire (hydrologie, géologie, géomorphologie), en vue d'une compréhension optimale de sa structure et sa dynamique, cette compréhension du

contexte algérois est primordiale avant d'aborder les prochains chapitres destinés à l'analyse spatiale de la dynamique urbaine.

1. Le littoral algérois

Comme la majorité du pourtour méditerranéen, l'espace côtier algérois est le lieu d'interactions intenses « Homme-Environnement », la multitude des variables présentes (figure 7) et des liens sous-jacents, nécessite une approche multisectorielle et participative pour une lecture approfondie de cet espace en conflit d'occupation du sol.

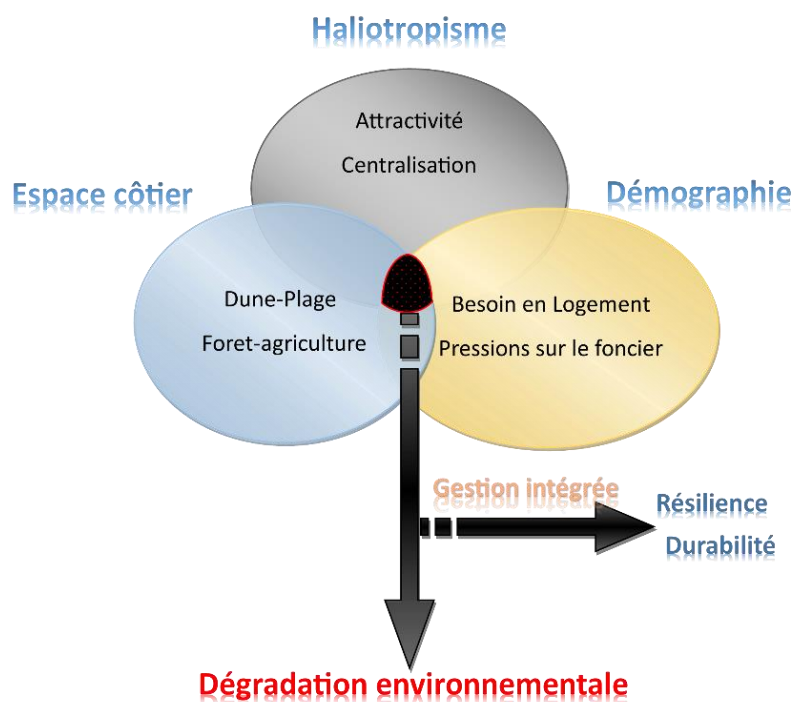


Figure 7: Schéma des interactions « Homme-milieu côtier »

L'haliotropisme de la capitale et la limite géographique de l'espace foncier présent, couplés à une forte croissance démographique et donc un fort besoin en logement (urbanisation), chevauche une fragilité notable du milieu naturel et ses composantes littorales (dunes côtières, plages en substrat meuble..) ainsi que les terres agricoles restantes, l'équilibre « Pression humaine-Ecosystème côtier » doit décanter à un équilibre à travers une gestion intégrée rationnelle, où à défaut des risques de dégâts écosystémiques latents et souvent irréversibles.

1.1 L'agglomération algéroise

Alger capitale du pays, est le centre de l'ensemble des activités et siège des institutions politiques (ministères, ambassades, administrations). La très grande concentration de population est à l'origine d'un ensemble des problèmes d'urbanisme, d'habitat, de transport public, d'alimentation en eau, de voirie et de circulation, exigeant des mesures exceptionnelles et urgentes à même de la hisser au rang de métropole rayonnant sur la Méditerranée.

Sa position stratégique et son port, le premier du pays, contribuent à faire de la wilaya un centre exportateur (national et international). C'est le plus important nœud routier et ferroviaire du pays. Outre les implantations industrielles, universitaires et sportives, la ville est entourée de nombreuses zones urbanisées, qui tendent à s'unifier via un processus d'urbanisation massive sans précédent, se propageant principalement sur le linéaire côtier.

Localisée au centre de la plaine Métidja, la Baie affiche un relief espacé à l'Ouest (Mont Bouzaréah) et relativement plat à l'Est (figure 8).

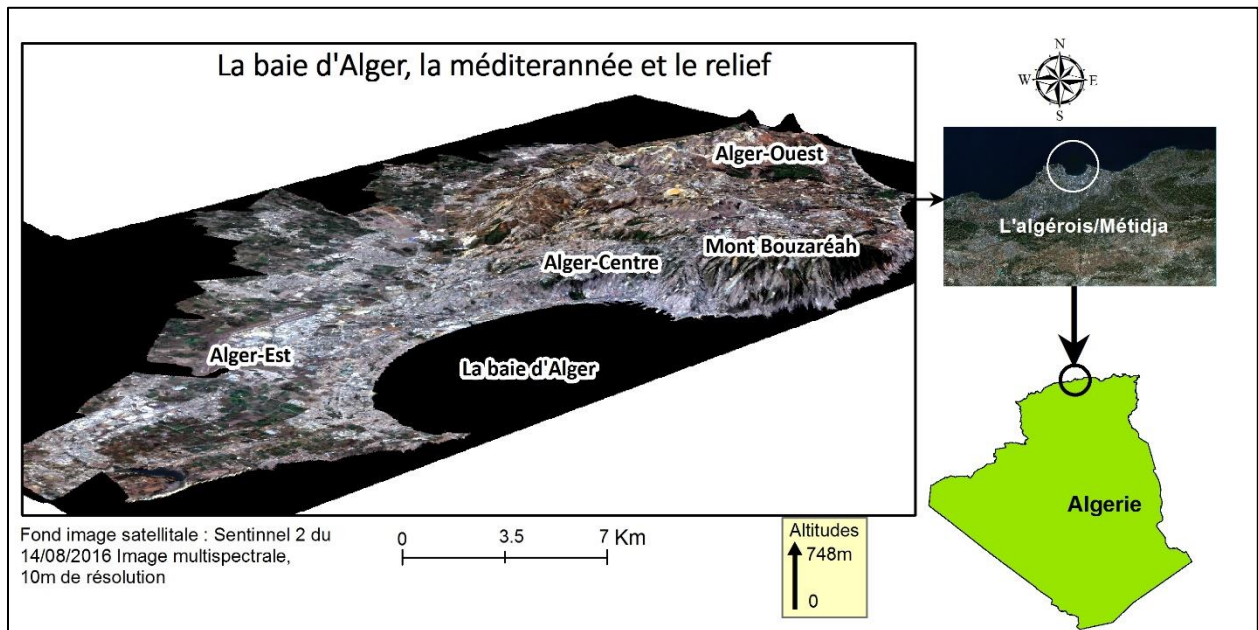


Figure 8: La baie ; localisation et relief

Alger est composée de 57 communes (dont 20 communes côtières) d'une superficie totale de 220Km, ces communes sont soumises à des pressions anthropiques permanentes (PNUE, 2005). La "Baie d'Alger" qui est le centre de l'activité économique de la capitale, abrite le port le plus important et le plus fréquenté du pays avec de nombreuses industries actives. Le milieu littoral est fortement contaminé par différentes sources de pollution : eaux usées domestiques, effluents industriels et huiles. La population urbaine a connu une croissance très rapide et a presque doublé au cours des 21 dernières années, passant de 1,6 en 1987 à 2,6 millions en 1998 à plus de 3 millions en 2008 (ONS, 2013).

1.2 La baie d'Alger comme zone focale

La baie d'Alger est située entre les latitudes ; $36^{\circ} 36' 30''$ et $36^{\circ} 49' 15''$ Nord et les longitudes ; $02^{\circ} 49' 00''$ et $03^{\circ} 23' 30''$ Est. De forme circulaire elle couvre une superficie de 180 km² délimitée à l'est par le cap Raïs Hamidou (Pointe Pescade) et à l'ouest par le cap Tamenfoust (Matifou) et par la mer Méditerranée au nord. Deux principaux Oueds la caractérise ; Oued El Harrach et Oued El Hamiz.

La baie d'Alger est historiquement le centre névralgique de la capitale, en raison de l'implantation du port d'Alger sur l'Ouest de la baie ainsi que du centre historique (Casbah, Bab El Oued, Alger-centre).

Au centre de la baie on retrouve des communes parmi les plus peuplées "Hussein Dey, Belouizdad" (figure 9) habités principalement par la population travailleuse et ouvrière, et dans l'arrière littoral se trouve la plupart des hauts établissements étatiques (Ministères, présidence...), en l'occurrence la couronne « El Biar, Mouradia, Hydra, Benaknoun ».

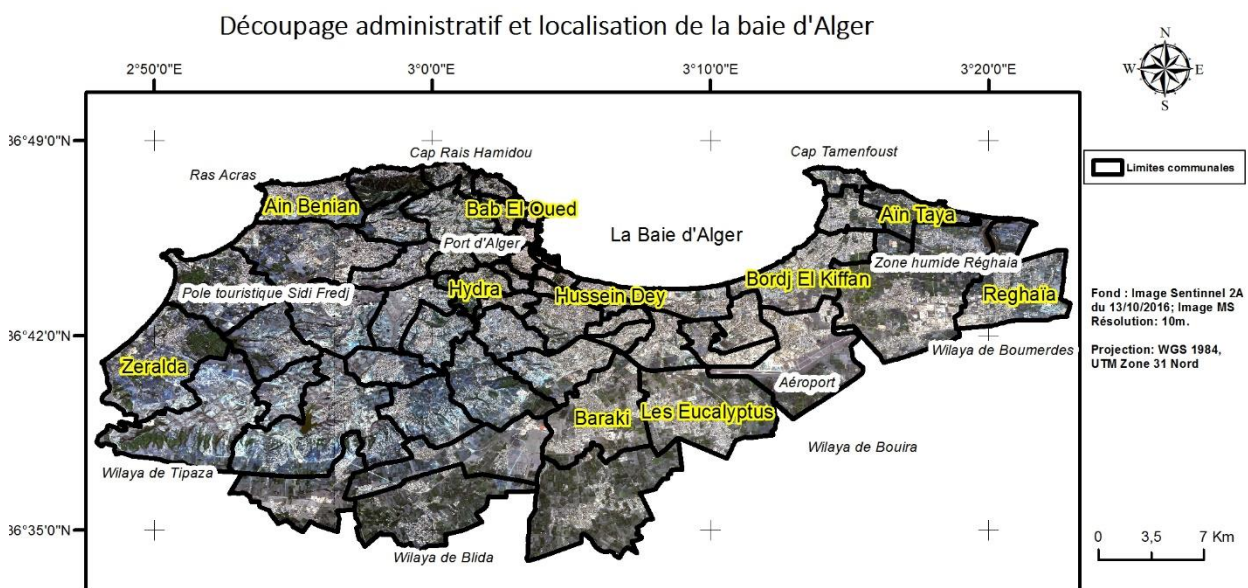


Figure 9: Carte des communes côtières de la baie d'Alger

On trouve aussi des communes d'arrière-pays, contenant des nouveaux noyaux urbains (ou des anciens petits noyaux de l'époque coloniale), peuplés par des populations de travailleurs en quête de foncier libre, où de populations de wilaya limitrophes (de Zéralda à l'ouest, à Sidi Moussa Berraki ou sud, jusqu'à Rouiba, Réghaia à l'Est).

La baie d'Alger comme retenue dans cette thèse ne concerne pas seulement les communes littorales de la baie (Entre Rais Hamidou et El Marsa), mais contient également 2 couronnes de l'arrière-pays, en effet l'interaction territoriale entre ces communes (emploi plus polarisé vers le littoral, et le transport pendulaire quotidien des populations entre l'arrière-pays et le littoral), exige que pour l'étude de l'urbanisation et ces impacts sur la baie d'Alger il est nécessaire de prendre en considération l'ensemble des communes de la wilaya qui sont un ensemble inter-influent dans ce cycle de « pression urbaine-impact littoral ».

1.2 Hydrologie

Alger est constituée de 2 bassins versants contenant une multitude de cours d'eau, dont les lacs de Reghaia à l'Est, et Sidi Abdellah à l'ouest, on retrouve également une multitude d'Oueds temporaires (souvent inondables l'hiver), et des Oueds permanents (figure 8), les deux Oueds les plus importants sont (LEM, 1998);

- Oued El Harrach : Son bassin versant couvre une superficie de 970 km², son débit en période de pluie est de 1000 m³/seconde. C'est un bassin difficile d'accès caractérisé par de fortes dénivelées, une végétation peu dense et une pluviométrie importante. A ces facteurs d'érosions s'ajoute le caractère torrentiel de l'oued, qui accentue une forte érosion et un alluvionnement important.

Le bilan moyen annuel des écoulements est de 5.4 m³/s. Ce dernier reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, qui influent sur la qualité physico-chimique et microbiologique du milieu marin de la baie d'Alger, il provoque ainsi la rupture de l'équilibre du milieu naturel.

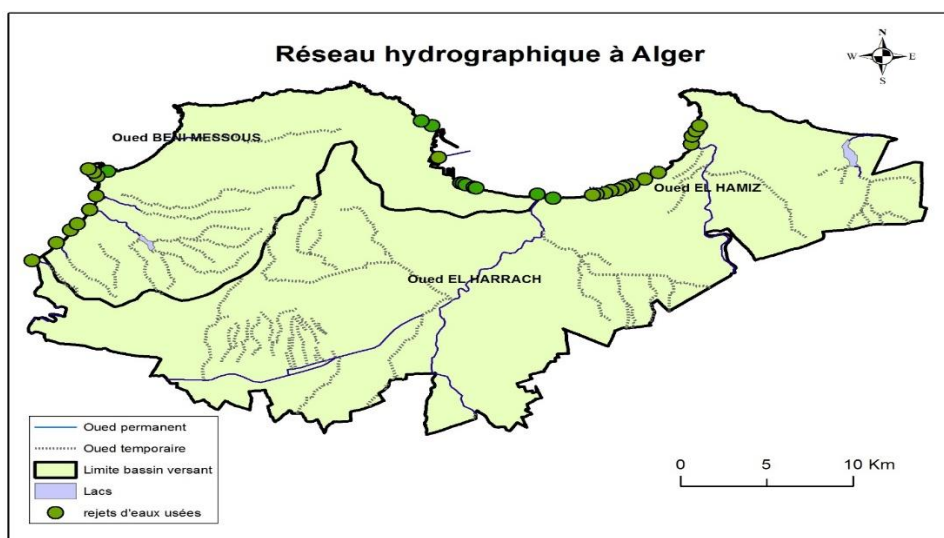


Figure 10: Hydrographie et rejets à Alger

- Oued El Hamiz : se jette à l'est de la baie près du cap Matifou. La superficie du bassin versant est de 160 km², son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en mer (LEM, 1998); le débit est régulé par un barrage. L'activité industrielle y est réduite. Il présente une charge polluante peu importante.

1.4 Géologie et sismicité

Le contexte géologique de la région d'Alger est très complexe, du fait qu'il existe un passage brusque des terrains métamorphiques anciens d'âge Primaire vers des terrains sédimentaires d'âge Tertiaire (figure 11) (Benallal & Ourabia, 1988).

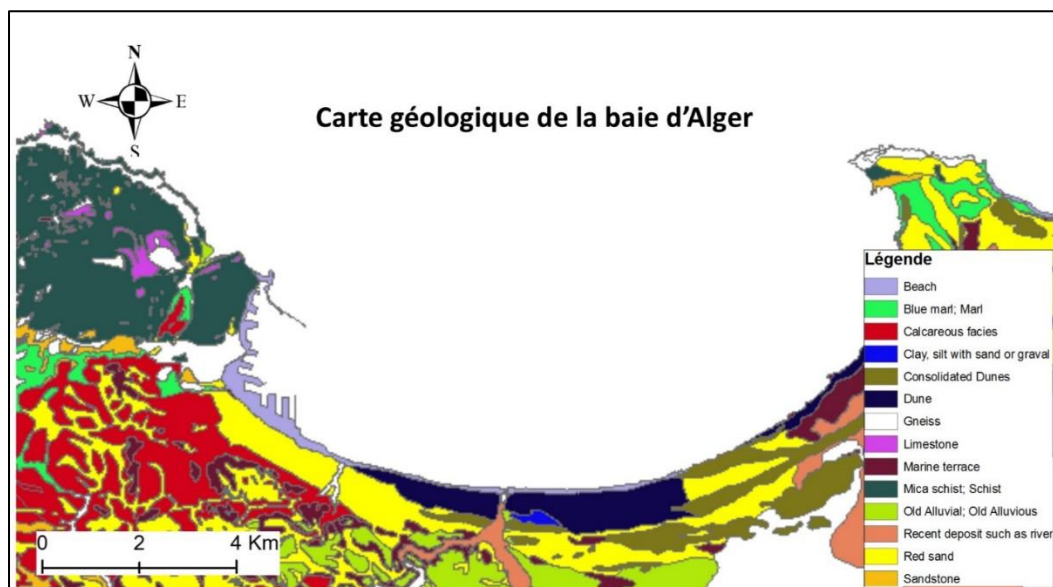


Figure 11: Carte géologique de la baie d'Alger

1.4.1 Le Primaire

Il est représenté par les roches métamorphiques du massif d'Alger, qui affleurent depuis Baïnem jusqu'à l'Agha, ainsi que trois pointements isolés par le Néogène, à l'Ouest au niveau de Ain-Benian et de Sidi Fredj et à l'Est près de Tamenfoust. D'après A. Saadallah (1981) (Saadallah, 1981), les terrains anciens sont très tectonisés, constitués de roches cristallophylliennes qui sont essentiellement formées de gneiss, de schistes, de micaschistes et de marbres.

1.4.2 Le Secondaire

Les terrains secondaires sont absents dans tout l'Algérois.

1.4.3 Le Tertiaire

D'après plusieurs études (Benallal & Ourabia, 1988), il a été observé une lacune stratigraphique qui est de l'Eocène et l'Oligocène. Le Tertiaire est alors représenté par les formations post-nappe du Mio-Pliocène qui recouvrent en discordance les faciès métamorphiques.

- Le Miocène

Discordant sur le socle métamorphique, il est représenté par des grès littoraux, reposant sur un banc de conglomérat de base, d'une épaisseur allant de 0.5 à 6 m. Ce dernier est constitué d'éléments détritiques, provenant de l'érosion du massif d'Alger. Il affleure au niveau du ravin du climat de France, du Télémy et du Frais vallon (Saadallah, 1981).

- Le Pliocène

Il est représenté par deux étages : le Plaisancien et l'Astien.

- **Le Pliocène inférieur (Plaisancien)**

Il est formé essentiellement par des marnes bleues pouvant atteindre 1000 mètres (GICA (Agence Japonaise de Coopération Internationale), 2006) Le Plaisancien forme le substratum subsidés du bassin de la Mitidja.

- **Le Pliocène supérieur (Astien)**

Il est bien développé dans la partie Sud du Sahel et apparaît très peu sur la bordure Sud de la plaine de la Mitidja . Epais de 100 à 150 mètres, l'Astien est séparé du Plaisancien par un niveau à glauconies dont l'épaisseur peut atteindre 4 mètres mais qui peut se réduire à quelques centimètres . Il se présente sous forme de marnes jaunâtres, de calcaires sableux, parfois riches en bivalves et de molasses (Glangeaud, 1952).

1.4.4 Le Quaternaire

Les formations du Quaternaire résultent de l'érosion de l'Atlas Tellien et de l'accumulation des produits de cette érosion dans la Mitidja et dans le Sahel (Nouri & Ozer, 2014). Il y a eu d'abord le dépôt de formations continentales détritiques, représentées par des sols rouges grésocarbonnés, et une formation de marnes et cailloutis, qui est une série laguno-fluviale, comblant en partie le synclinorium Mitidjien. Cette formation est d'âge Sicilien (Benallal & Ourabia, 1988).

Puis, des terrasses marines, formées par la consolidation des dunes et des dépôts alluviaux contenant du sable, gravier, argile sableuse, conglomérats et des microconglomérats à ciment calcaire, se sont formées. Ces terrasses correspondent à quatre périodes du Quaternaire, le Calabrien, le Sicilien, le Tyrrhénien et le Versilien . Les terrasses marines quaternaires se trouvent à 200 mètres d'altitude dans l'est d'Alger et à 325 mètres dans l'ouest (GICA (Agence Japonaise de Coopération Internationale), 2006).

1.5 Morphologie du littoral

Le littoral algérois est composé principalement de littoraux sableux (Plage Palm Beach, Plage, Sidi-Fredj, Plage Le Bar, Plage Franco, Plage EDEN, Plage Lido, Plage Sablette, plage Bateau Cassé, Alger plage, Coco Plage, plage Tamenfoust), les falaises et plages rocheuses ne constituent que 30% du linéaire côtier. Les dunes littorales sont en quête de disparition (notamment à l'ouest Bordj el Kiffan, et à l'Ouest Ain benian, Cheragas...), en raison du manque d'apport sédimentaire et du défrichement des dunes, la baie d'Alger est sujette de

phénomènes d'érosion, et d'épisode de submersion marine fréquents (Yelles-Chaouche, et al., 2009).

1.6 Le transport et mobilité

La mobilité à Alger est parmi les principaux points noirs de la capitale, le réseau routier à néanmoins connu un net élargissement les dernières décennies (Baouni, 2003), en vue de répondre à la demande croissante de transport. L'état a engagé plusieurs projets (figure 10) en vue de fluidifier la circulation (nouvelles lignes de transport vers la périphérie Ouest et Est, nouvelle ligne métro d'Alger, nouvelle ligne de tramway, Train électrifié...), on cite comme principaux statistiques du réseau de transport algérois¹ :

-Infrastructures routières :

RN : 563 Km

CW : 254 Km

CC : 1547 Km

Nombre d'ouvrage d'art sur RN : 296

Nombre d'ouvrage d'art sur CW: 92

Nombre d'ouvrage d'art sur CC : 98

- Infrastructures aéroportuaires :

1 Aéroport International

- Patrimoines :

Subdivisions : 13

Maisons Cantonnières : 03

- Infrastructures portuaires :

Phares : 3

Port Commercial : 1

Ports de pêche : 3

Ports de Plaisance : 2

- Rails électriques :

- Métro d'Alger : 13.5 Km (14 stations en exploitation) « source site métro d'Alger »

- Tramway d'Alger : 7.2 Km (13 stations en exploitation).

- Train moderne : (Alger-Thenia 60 km, Alger-Afroun, 70km, Alger-Zeralda 30 Km).

¹ Ministère des travaux publics et du transport, www.mtp.gov.dz

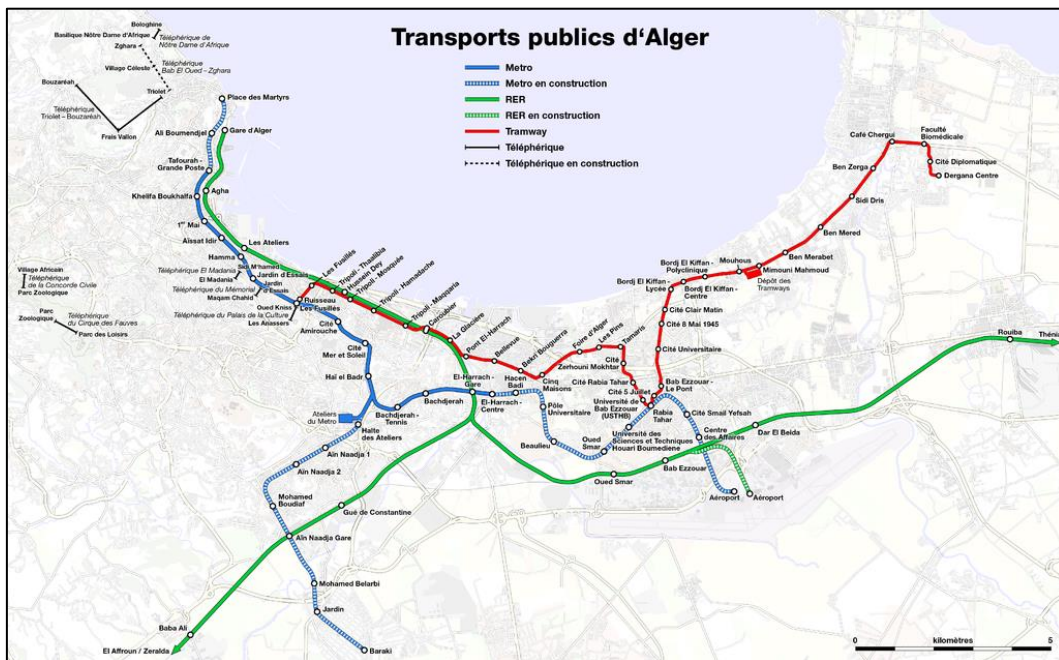


Figure 12: Réseau de transport public sur la baie (Source : www.mtp.gov.dz)

Le schéma directeur routier et autoroutier 2005/2025 (SDRA) est le référentiel de développement à court, moyen et long terme des infrastructures routières et autoroutières découlant d'une vision globale et d'une planification stratégique à l'horizon 2025 (Baouni, 2009), répartis sur quatre principales phases (figure 13):

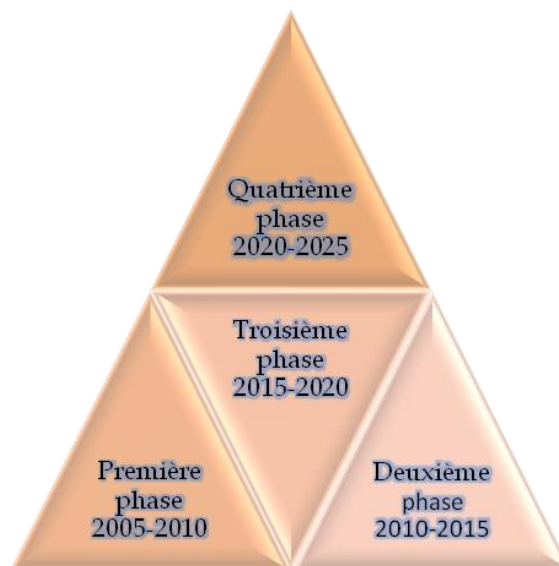


Figure 13: Phases du Schéma directeur routier et autoroutier (SDRA)

Les travaux sur la mobilité dite quotidienne intègrent le phénomène de métropolisation en mettant en évidence l'élargissement des échelles territoriales de la mobilité. Le développement de l'habitat périurbain qui induit de nouvelles mobilités en est alors l'expression majeure.

Les transports urbains n'ont pas pu suivre le même rythme d'évolution que l'urbanisation qui n'a pas cessé de proliférer sous le double effet de la densification et de l'extension. Les transports collectifs algérois représentent une activité sous équipée, sous encadrée et insuffisamment soutenue (Godard, 2005). Ils sont assurés actuellement par l'ETUSA, la SNTF et les opérateurs privés (figure 14).

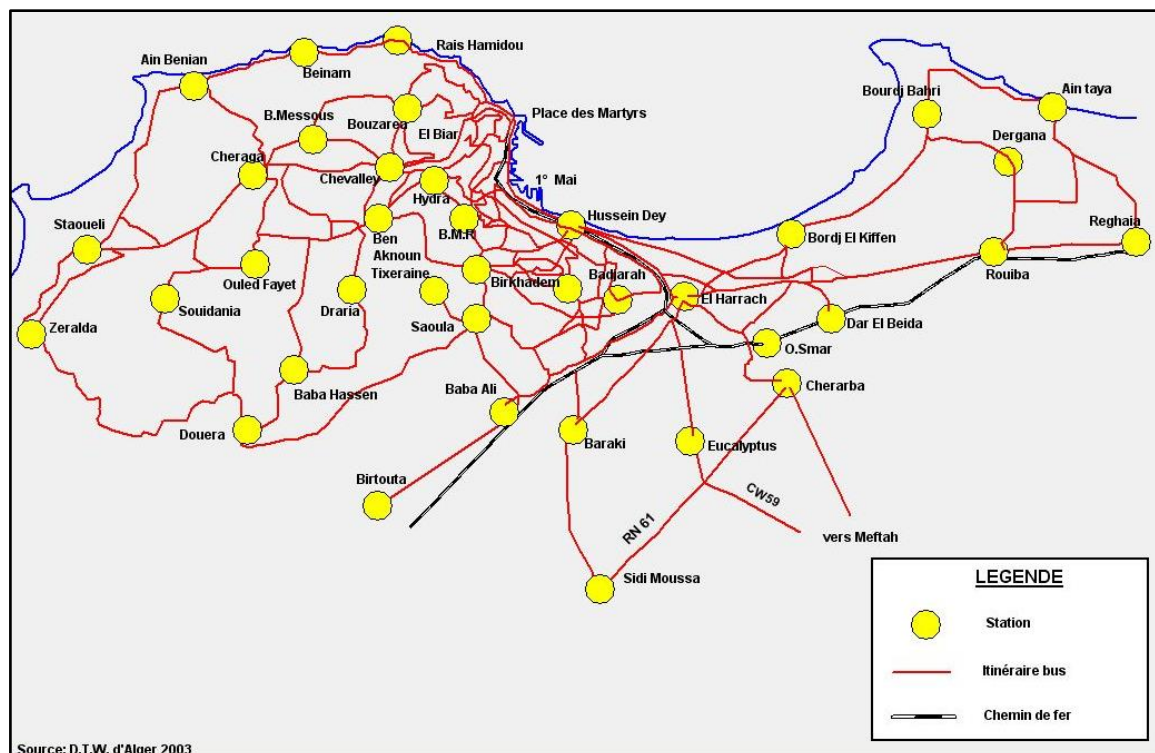


Figure 14: Réseau de transport Autobus-Fourgon

En outre, les moyens de transport collectif sont exploités les uns indépendamment des autres, sans aucune coordination. Le projet métro, une fois achevé dans sa totalité, pourrait contribuer efficacement d'une part à la résolution des problèmes de transport et de désaturation du réseau routier (voir annexe n°1, 2) et d'autre part, à la maîtrise de la croissance urbaine (Salhi, 2006).

1.6.1 Historique de développement du transport

A partir de l'indépendance, le transport à Alger intra-muros, été assuré par des transporteurs publiques (ETUSA), mais avec l'insuffisance face développement urbain, d'autre sorte de transport « clandestin » sont apparus (fourgon, autobus, voiture...).

En 1989 est amorcé la libéralisation et déréglementation avec ouverture au secteur privé artisanal qui se développera fortement à partir de 1992 (Baouni, 2003).

Face à la crise des années 1990 L'entreprise ETUSA de nouveau appuyée par l'Etat Algérien, avec un apurement de dette et une recapitalisation réalisés par étapes depuis 1998, ce qui a permis de renouveler le parc d'autobus et de redonner une dynamique à l'entreprise. Mais on est aussi revenu à un statut d'entreprise d'Etat (Epic confirmé en 2003).

Bien que les statistiques manquent, on relève une dynamique importante de déplacements quotidiens de villes périphériques (Tizi Ouzou, Blida...) vers Alger, confortant cette image de métropolisation par la mobilité dans un rayon de 50 à 100 km, avec une offre fréquente en autobus ou minibus. Le projet d'électrification des lignes de banlieue dont la décision et le financement a été acquise en 2004 (Godard, 2005) a aussi conforté ce transport inter-ville vers la capitale.

L'organisation des systèmes de transport collectif, qui est confirmée comme l'une des clefs d'un développement durable connaît ainsi une crise d'adaptation importante avec des solutions qui jusqu'alors mettaient l'accent sur la partie urbaine la plus centrale et tendaient à négliger la dynamique métropolitaine. La question institutionnelle apparaît comme majeure de ce point de vue dès lors que l'on privilégie une action publique concertée et non un libéralisme non maîtrisé (Salhi, 2006).

1.6.2 Faiblesse du chemin de fer au détriment du transport motorisé

L'absence d'une intégration multimodale largement entretenue par la faiblesse de l'engagement des pouvoirs publics dans le domaine de la réalisation et du financement d'actions permettant l'amélioration des capacités de transport, malgré les efforts menés par les états, en l'absence d'une complémentarité étudiée entre les modalités de transports, la mobilité demeure encore en dessous de la moyenne dans de nombreux communes de la capitale.

1.6.3 Actions récemment engagés

- Le parachèvement du projet de du Métro d'Alger, dont la mise en service a été réalisé en trançons depuis 2011 jusqu'à 2018 (de Place des Martyr « Alger-Centre » à Ain Naadja/El Harrache (Alger-Est).
- La modernisation des lignes de chemin de fer de la Banlieue d'Alger notamment la ligne Alger-Zéralda vers l'Ouest. Ces mesures qui favorisent une participation plus conséquente du chemin de fer dans la prise en charge des Transports urbains.
- La métro est aussi supporté par une ligne de Tramway (2011-2015) qui dessert aussi l'Est de la capitale (de Hussein dey vers Dergana à l'Est), ce qui apaisé significativement la crise du transport du coté Est.

2. La démographie

Les synthèses ci-dessous, sont issues de diverses sources notamment des sources étatiques (l'Office National des Statistiques, rapports du Ministère de l'aménagement des territoires).

En Algérie l'ONS est l'organisme référence des statistiques socioéconomiques, cependant certaines statistiques sont parfois mises en cause d'autres sources sous forme de travaux académiques indépendants sont souvent plus réalistes ; Safar-zitoun (2009), Haffad (2004), ainsi que certains rapports d'organismes indépendants : rapport PAC (2005), statistiques démographiques du website « Population Data »².

On abordera dans ce volet, une lecture générale de la population à Alger, la dispersion géographique de la population et une analyse des catégories démographiques des habitants surtout dans les communes côtières de la baie d'Alger, en vue de mieux cerner dans les sections avenir la variable « pression anthropique »

2.1 Population et contexte national

Selon les résultats préliminaires du RGPH 2008, la population totale de la wilaya d'Alger est de 2.947.466 habitants, soit une densité de 3.642 habitants par km² (Berrah, 2011), cependant il existe d'autres approximations qui mettent en doute ces chiffres, et estime la population algéroise à 4 millions d'habitant (Safar Zitoun, 2009), et jusqu'à 7.4 Millions d'habitant en 2015 (Population Data, 2015).

Au niveau national, la synthèse du SNAT (2010), divise le territoire algérien en trois grands ensembles territoriaux (Tell, Hauts Plateaux, Sud), la zone Tellienne ou se situe la capitale est constituée de : wilayas du Nord-Ouest (06 wilayas), du Nord-Centre (10 wilayas), du Nord-Est (08 wilayas) enregistre en 2008 un poids relatif de 63% en diminution par rapport à 1998. Cette tendance à la diminution est enregistrée aussi par l'espace Nord-Est, alors que l'espace Nord-Ouest connaît une relative stabilité. A contrario, l'espace Nord-Centre connaît deux mouvements inverses dans ses deux principales composantes :

La wilayas d'Alger qui se trouve dans la première couronne qui contient aussi les wilayas de Tipaza, de Blida et de Boumerdès, cette couronne enregistre un accroissement dans son poids démographique, traduisant un apport extérieur – migration – des wilayas de la 2^{ème} couronne ou zones mal desservies (ou zones en difficultés) identifiées par le SNAT, et composées des wilayas montagneuses de Aïn Defla, Chlef, Médéa, Bouira, Bejaïa, Tizi Ouzou et des wilayas des Hauts Plateaux (Tiaret et Tissemsilt).

² Site internet de base de données démographique mondiale ; <https://www.populationdata.net>

La Wilaya d'Alger se stabilise (Saadi, 2008); son croît démographique est reporté sur les communes de sa périphérie – périurbanisation - situées sur les piémonts ou sur les plaines du Sahel, mais elle exerce toujours une primatie sur le territoire national depuis l'indépendance, cette primatie à tendance à diminuer non en raison de la décroissance des populations mais plutôt en raison du développement des autres grandes villes (Oran, Constantine, Sétif...), voir tableau 5.

Tableau 5: Primatie de la capitale algérienne

	1966	1977	1987	1998	2008
Primatie (%)	25	20,3	13,2	9,3	10,5
Population Alger / Algérie (%)	7,9	8	6,6	5,4	6,9

Entre 1998-2008, la population dans la région centre s'est accrue d'environ 20%, soit 385.042 habitants ce qui est le plus grand taux de migration régionale (figure 15) de population dans le pays, bien justifié par l'attrait économique de la capitale.

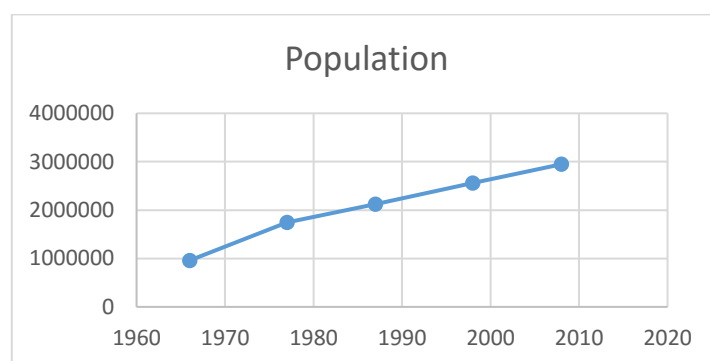


Figure 15: Croissance de la population

La ville est caractérisée par un taux de population urbaine d'environ 80% au dernier recensement, contre un taux national de 58,3%. Ce taux a évolué de plus de 15% au cours des deux dernières décennies [1995- 2015], (El Kechebour & Benouar, 2011). L'urbanisation s'est également intensifiée à cause de divers facteurs locaux, dont l'exode des populations rurales entre 1990 et 2000 en raison du climat d'insécurité régnant durant cette période (Haffad, 2004).

2.2 La densité et les agglomérations

La wilaya d'Alger comporte 57 communes regroupées en 13 circonscriptions administratives issues du découpage administratif du 2 août 1997 qui a intégré à la wilaya d'Alger (Hadjiedj & Chaline, 2003), des circonscriptions administratives (communes) relevant antérieurement des wilayas limitrophes de Tipaza, Blida et Boumerdès, caractérisées par leur très faible densité de peuplement par rapport à celle de la wilaya d'Alger (figure 16).

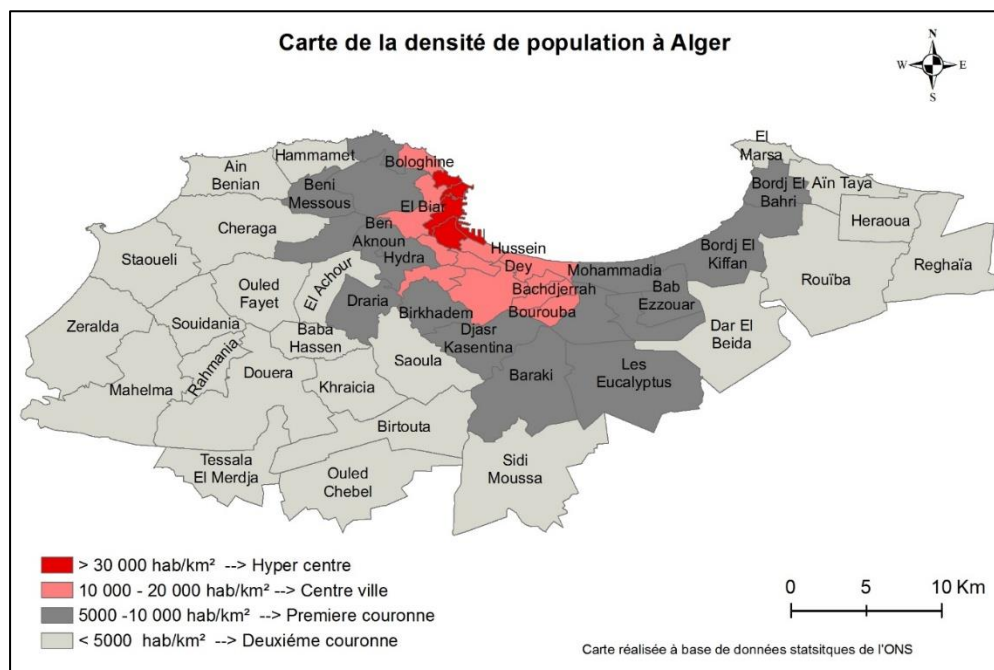


Figure 16: dispersion spatiale de la densité démographique

Une proposition de découpage a été réalisée par Safar-Zitoun (2009) (Safar Zitoun, 2009) selon l'homogénéité locale de la densité des communes, il classe les communes de la capitale en 4 groupes :

L'hyper-centre : composé de quatre communes côtières (Alger-centre, Casbah, Bab-el-oued, Sidi-M'hamed) c'est la zone focale de la capitale, il demeure toujours peuplé avec une densité (33 700 hab/Km²).

Le Centre-ville : vient en second c'est le lieu d'implantation de divers infrastructure étatiques, le facteur de densité est considéré toujours comme important, il regroupe douze communes distinguées par une densité de 15 924 hab/Km².

Une première et une deuxième couronne : moins denses mais qui connaissent un rythme de croissance accéléré, c'est les zones résidentielles. Les deux couronnes se composent du reste des communes de la wilaya d'Alger.

La croissance générale (tableau 6) connaît néanmoins des évolutions différentes selon les zones de la Wilaya : L'hyper-centre, composé des quatre communes centrales les plus densément peuplées de la wilaya, connaît un taux de croissance négatif à partir des années 80. Ce mouvement de décroissance est relayé dix années plus tard par les communes qui composent le centre-ville.

Le taux de croissance des deux couronnes périphériques après avoir connu des niveaux très élevés, commencent à fléchir à partir de 1998, tout en se situant toutefois bien au-dessus du croît naturel.

Tableau 6: Statistiques démographiques suivant les 5 recensements (hab)

	1966	1977	1987	1998	2008
Hyper-centre	342 960	641 646	373 579	324 794	235 047
Centre-ville	423 748	620 041	663 064	642 572	572 179
Première couronne	206 259	361 328	568 447	804 428	1 004 764
Deuxième couronne	6 949	19 988	523 329	790 638	1 135 456
Total wilaya d'Alger	979 916	1 463 003	2 128 419	2 562 432	2 947 446

Cette évolution générale cache cependant deux mouvements contraires : une baisse très forte des densités dans l'hyper-centre et un peu moins accentuée dans le centre-ville ; un doublement de la densité pour la première couronne entre 1987 et 1998, suivie d'un repli entre 1998 et 2008, et enfin une hausse continue des densités dans la deuxième couronne. Les quartiers centraux connaissent ainsi un délestage très net de leurs populations vers les zones périphériques, selon le même mode constaté pour les taux de croissance démographique (PNUE-PAM , 2009).

La densité de population dans la wilaya en général bien qu'en constante augmentation (1966 – 2008), s'est légèrement stabilisée entre 1998 et 2008, ceci a été accompagné par une urbanisation intensive créant plusieurs nouveau noyaux urbains (tableau 7).

Tableau 7: Densité de la population et noyaux urbains (hab/km²)

	1998	2008
Densité de la population	3144,57	3666,44
Noyaux urbanisés	11	16

2.3 Le taux d'accroissement

L'accroissement de la population est passé des taux très élevés après l'indépendance à des taux moyennement élevés à la fin des années 1980 en raison des très fort taux de natalité, en effet d'après le RGPH 2008 (tableau 8), les taux d'accroissement diminue jusqu'à 1.3 % en 2008 (malgré les migrations rurales des années 1990) en suivant la diminution générale du taux national ou la natalité à bien diminué les dernières décennies (Berrah, 2015).

Tableau 8: l'accroissement de la population (%)

	1966-1977	1977-1987	1987-1998	1998-2008
Taux d'accroissement Alger	3,71	3,82	1,7	1,3
Taux d'acc. algérien	3,09	2,8	2,7	1,6

2.4 La migration rurale

L'exode rural des populations des wilayas limitrophes (Blida, Médéa, Boumerdes, Tizi Ouzou), est parmi les facteurs les marqués dans le processus d'urbanisation de la capitale (Hadjiedj & Chaline, 2003), il est aussi partiellement lié aux vagues de construction d'habitat précaire qu'a subit la capitale au début des années 2000 (PNUE-PAM , 2009).

Tableau 9: La migration rurale (hab)

	1987/1998	1998/2008
Rural -> urbain	123449	122362

Selon les calculs intercensitaires (ONS, 2013) le mouvement d'exode rural des populations est légèrement plus important dans l'intervalle [1987-1998] qu'entre [1998 – 2008].

2.5 La population des communes côtières de la baie d'Alger

La baie d'Alger centralise un mouvement démographique important dans sa frange littorale, en raison du fort potentiel économique (Port D'Alger, infrastructures étatiques à l'Ouest, zone résidentielle au centre, et zone industrielle à l'Est), l'évolution de la densité de la population des 11 communes côtières de la baie est synthétisée ci-dessous, (figure 17) :

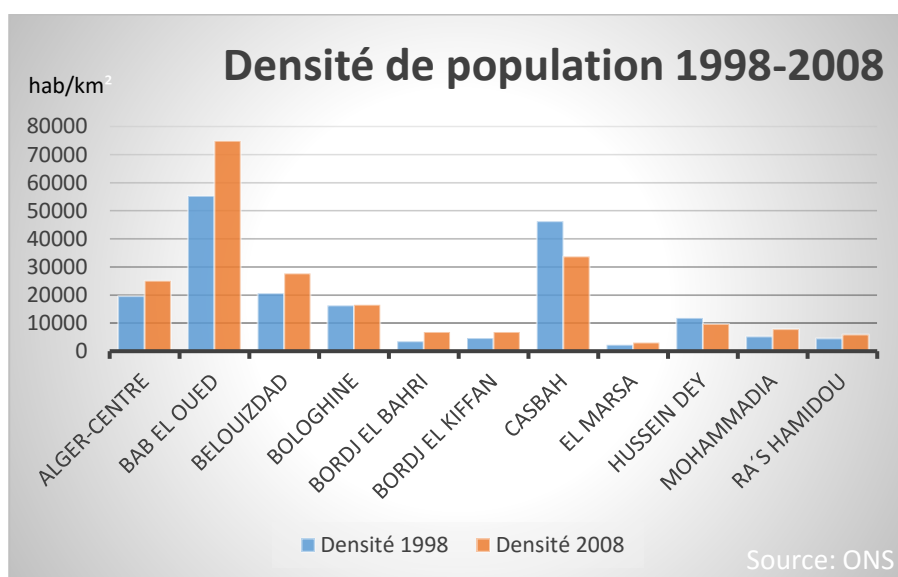


Figure 17: Densité des communes côtières de la baie

Dans la majorité des communes littorales, la densité de la population a progressé entre 1998 et 2008, sauf pour la commune de Casbah ou le taux a régressé en raison des politiques de démantèlement de l'habitat précaire mené par les autorités locales (ONS, 2014).

2.6 Composition de la population

La population « jeune – adulte » constitue près de la moitié de la population pour 9 communes sur 11, (figure 18) (ONS, 2014), cette catégorie de population est également composé d'étudiants « 10 à 20 % », (figure 19) et de personnes actives « 45 à 50% », (figure 20).

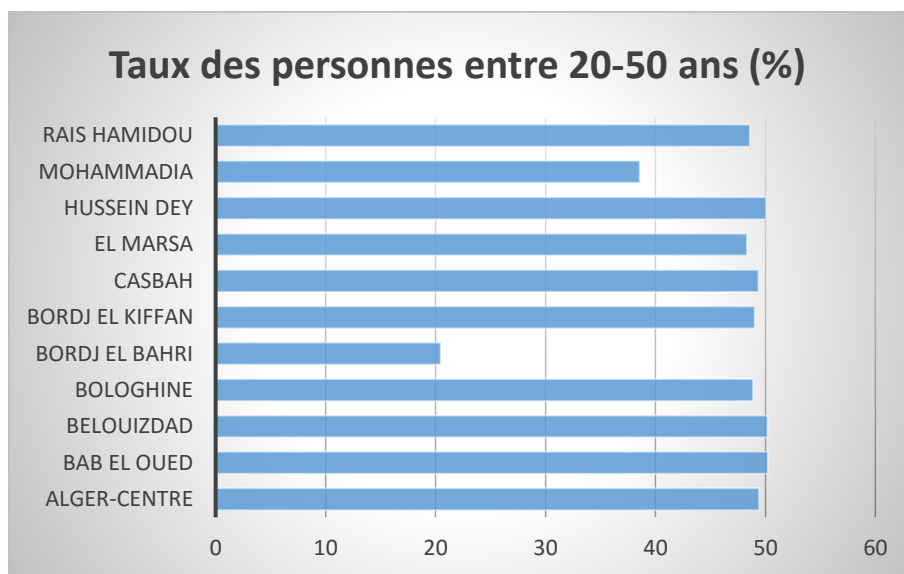


Figure 18: La catégorie 20-50 ans

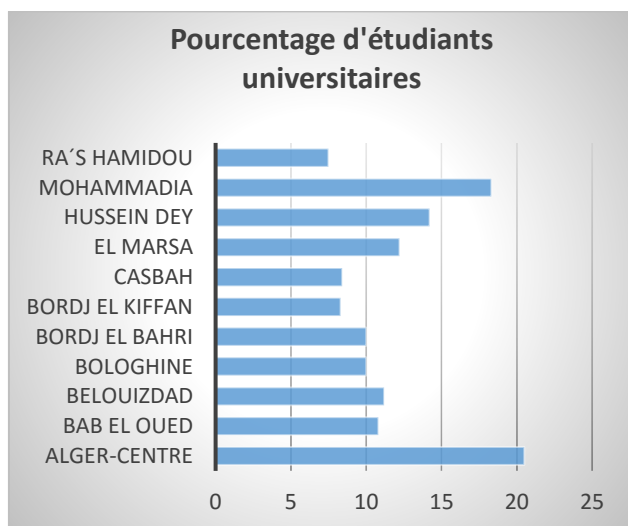


Figure 19: Le nombre d'étudiants par communes

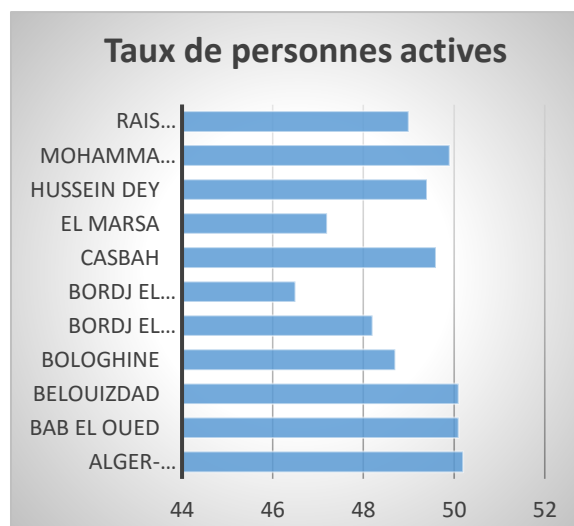


Figure 20: Taux de personnes actives (%)

En soustrayant les étudiants et les personnes actifs du pourcentage total de personnes entre 20-50 ans, on se retrouve relativement sur des marges de chômage (personnes inactifs entre 20 et 50 ans) d'environ 20 à 30 %.

3. Historique d'évolution de la ville d'Alger et sa la métropolisation

Avec son importante masse démographique, Alger se détache nettement des trois autres grandes villes du pays en l'occurrence Oran, Constantine et Annaba. Elle se présente comme une ville primatale.

Dans sa croissance, la ville est canalisée par la mer d'un côté, la montagne de l'autre : « la seule direction possible est le sud. Vers lequel progressent parallèlement ville et port au fur à mesure de leur agrandissement ». En effet, la ville d'Alger ne déroge pas à cette règle. L'ancien site à savoir la médina turque s'est adossé au massif de Bouzareah (site en amphithéâtre), protégé des vents de l'ouest et par des écueils et ilots (atouts défensifs) (Meguittif, 2008).

Le site s'est avéré par la suite, notamment aux débuts de la colonisation française, trop exigu pour contenir une urbanisation alimentée par la pression démographique et les besoins en équipements et infrastructures. Son extension s'oriente principalement vers l'Est pour des raisons liées à la topographie du site marquée par l'existence de la plaine de la Mitidja, tandis que la présence d'une barrière montagneuse à l'Ouest exclut toute option pour cette direction (Mutin, 1977).

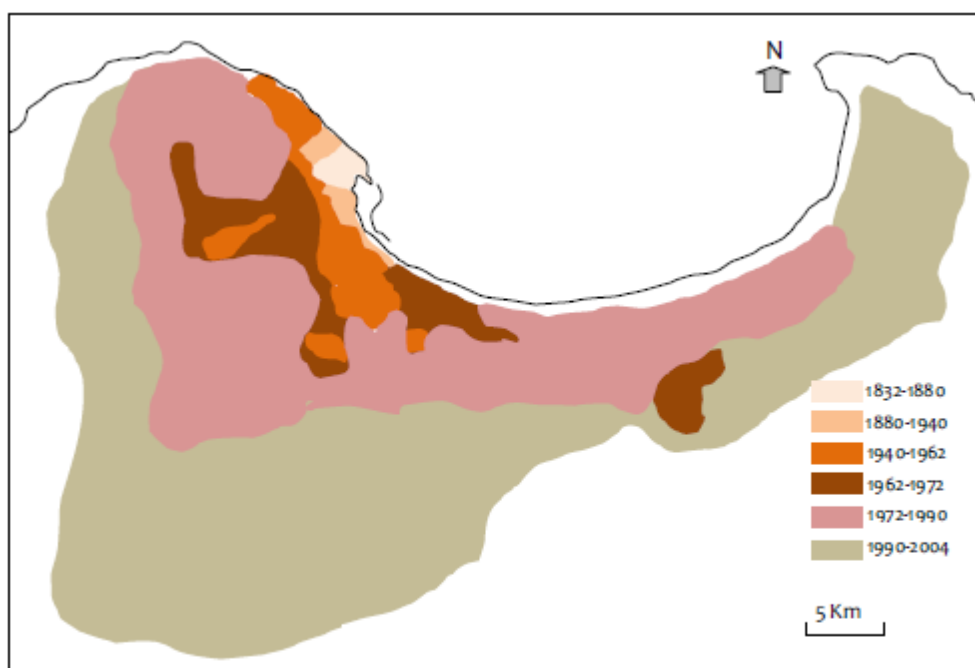


Figure 21: Carte de l'expansion urbaine (Source : Meguittif, 2008)

Globalement et selon l'ordre chronologique (figure 21), l'extension spatiale de l'agglomération d'Alger est alors orientée dans les deux directions suivantes :

- Vers le Sud Est (les hauteurs) : ce site culminant à 400 m d'altitude, fortement découpé de ravins et aux pentes très fortes, abritera dans un premier temps un habitat pavillonnaire et par la suite de grands équipements (Hydra, Mouradia, El Biar);

- Vers l'Est : de la plaine littorale jusqu'à la Mitidja, ce site a privilégié l'extension de la ville d'Alger Pendant la colonisation (Belouizdad, Hussein Dey) et après la période coloniale. Composé de terrains agricoles ne présentant pas de difficultés majeurs à l'urbanisation, il a accueilli beaucoup de programmes d'équipement postcoloniaux à savoir les programmes d'habitat planifiés (ZHP): Bab Ezzouar et Dar El Beida ;

- L'université de Bab Ezzouar, l'aéroport international, le parc des expositions ;

- Les zones industrielles (El Harrach – Oued Smar - Rouiba – Réghaia).

Les dynamiques récentes montrent que le tissu urbain d'Alger s'est élargi et étendu en progressant :

- Vers les reliefs sahéliens du Sud-Ouest (jonction de l'agglomération de Birkhadem avec les agglomérations de Draria, Sebala et Saoula) ;

- Vers la zone sahélienne avec l'étalement de l'agglomération de Cheraga et la continuité de son bâti jusqu'à Ouled-Fayet et El Achour au Sud-Est et avec les agglomérations de Ain Benian et Staoueli au Nord-Ouest ;

- Vers le Sud, avec la jonction des agglomérations de Baraki, Oued Smar et Dar-El-Beida ;

- Le long de la côte et de la baie d'Alger avec le « remplissage » de l'espace compris entre Bordj-El Kiffan , Bordj El Bahri, Tamentfoust et El Marsa).

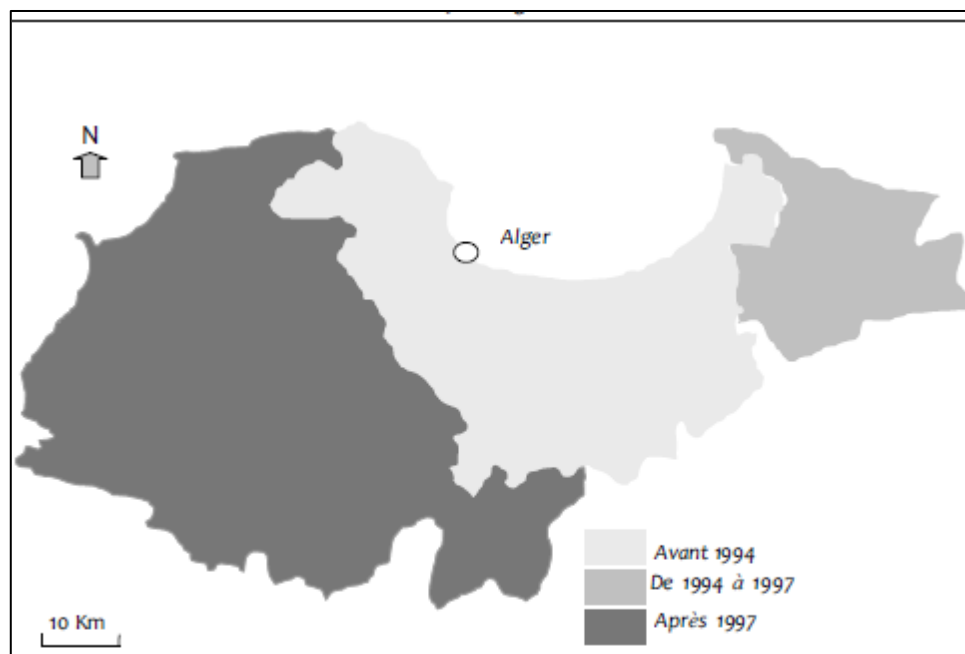


Figure 22: Carte de l'évolution administrative de la wilaya d'Alger

Les collectivités locales annexent plusieurs communes de l'Est, et de l'Ouest à la wilaya d'Alger (Belhai-Benazzouz & Djelal, 2010), ce qui signifie un territoire urbain plus large à gérer et rendra sa gestion de plus en plus difficile (figure 20).

A partir des années 1990 l'étalement de la ville vers la périphérie s'intensifie, en 2008, 72,61% de la population de la wilaya d'Alger résident à la périphérie immédiate ou lointaine de la ville. Ce phénomène est similaire à celui observé dans certaines villes des pays développés marquées par « l'abandon » des parties centrales ou historiques.

En effet, depuis 2007, la tendance à la diminution de la population au fur et à mesure que l'on s'approche du centre se confirme, comme le montrent les taux d'accroissement de la population de l'hyper centre et du centre-ville qui passent respectivement entre 1987 / 1998 et 1998 / 2000 de -1,26% à -3,2% et de -0,28% à -1,2%.

Ce phénomène est le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs à savoir :

- La saturation et l'exiguïté de l'espace central ;
- La spéculation particulièrement forte dans les espaces centraux, exacerbée par les fonctions tertiaires qui s'en disputent l'espace renvoyant vers les périphéries les populations qui ne peuvent plus ou ne veulent plus y résider (Belhai-Benazzouz & Djelal, 2010);
- La congestion de l'espace central et la vétusté de son bâti ;
- La disponibilité de terrains au niveau de périphéries pourvues d'équipements structurants.

4. Urbanisation et littoralisation

L'urbanisation est l'action d'urbaniser, c'est-à-dire de favoriser, de promouvoir le développement des villes par la transformation de l'espace rural en espace urbain.

La littoralisation est le concept qui signifie selon F. Moriconi et al (2000) (Moriconi-Ebrard F, 2000) l'urbanisation totale et linéaire de la bande littorale qui s'oppose à des espaces intérieurs qui se vident de leur substance et de leurs habitants. Elle représente pour J. Klein et S. Tabarly (2008) (Klein & Tabarly, 2008) le processus fréquemment observé de concentration des populations et des activités humaines le long ou à proximité des littoraux.

La littoralisation est le résultat de deux processus majeurs qui interagissent et s'amplifient mutuellement :

- Des processus d'urbanisation en général, et de métropolisation en particulier ;
- Des processus liés au choix de localisation touristique des investissements nationaux.

4.1 Les facteurs d'urbanisation

Il est important d'établir une distinction claire entre les deux principaux processus du développement urbain ; la croissance urbaine et l'expansion urbaine.

La croissance urbaine est un processus d'évolution à caractère spatial et démographique, qui se réfère à l'importance croissante des villes comme la concentration de la population dans une économie et une société particulière (Ghodbani & Berrahi-Midoun, 2013). Elle se produit lors du passage de la population d'un petit village basic à une ville principale bien apparente.

L'expansion urbaine, par sa spontanéité et sa complexité, est un type de croissance indésirable (Bouroumi, 2010), qui constitue le souci contraignant et l'une des principales préoccupations des planificateurs et des administrateurs municipaux.

Les causes de la croissance urbaine sont assez semblables à celles de l'expansion urbaine, et ce, à cause de la forte liaison entre les deux processus.

Les principaux facteurs qui peuvent conduire à la croissance et à l'expansion urbaine sont énumérés ci-dessous (figure 23) :

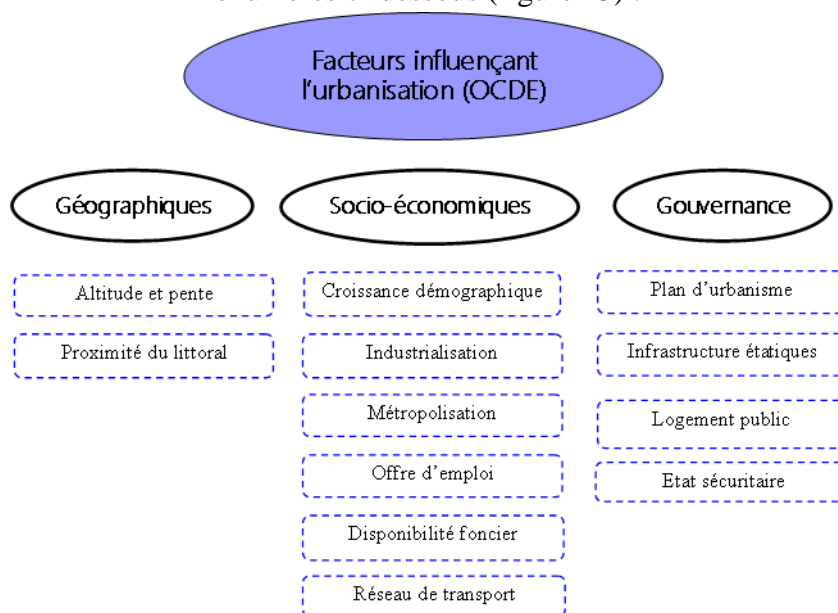


Figure 23: Facteurs stimulants l'urbanisation (OCDE, 2011)

Le terme littoralisation représente l'ensemble des processus qui induisent la densification des espaces côtiers et le résultat de ces processus (Voiron-Canicio, 1999). La littoralisation synonyme de densification des zones littorales va de pair avec l'urbanisation, les deux phénomènes sont étroitement liés dans une boucle de causalité circulaire.

4.2 Urbanisation et ses impacts

Comme forme d'urbanisation, la littoralisation est loin d'être sans risques. Elle porte atteinte à l'environnement côtier – vulnérable – de diverses manières :

- Pénurie et fragilité des nappes phréatiques de l'eau de surface (lacs, rivières) ;

- Consommation intense de sols fertiles due au manque de terrain plats le long des rivages de la Méditerranée, qui vient concurrencer l'activité agricole et menace la mise en valeur traditionnelle ;
- Occupation croissante des embouchures de fleuves, de vallées et de lits de rivières éphémères (qui n'atteignent pas toujours les fleuves) par l'habitat ;
- Menace croissante des écosystèmes littoraux fragiles (zones humides, dunes, aires de repos et de repopulation des oiseaux migrateurs) ;
- Perte irréversible de couvert végétal, de sites naturels et de leurs écosystèmes ;
- Pollution urbaine et industrielle ;
- Concurrence croissante entre besoins en eau urbains et ruraux ;
- Dégradation du paysage, changements microclimatiques, etc.

Dans la zone PAC (PNUE, 2005), quelques facteurs négatifs ont été quantifiés dans le rapport PAC ou dans les rapports réguliers sur l'état de l'environnement par des acteurs territoriaux (MATET, 2006), engendrés principalement par le poids démographique (zone PAC 4.269.565 habitants en 2008 dont 40% sont concentrés dans les communes littorales, soit 1.275.701 habitants), ils sont cités dans le tableau 10 ci-dessous.

Tableau 10: facteurs dégradants, identifiés par le PAC

Type d'impact	Description
Remontée de la mer	- Accentuation de la vulnérabilité littorale et de l'érosion. - Inondations fréquentes des ports.
Incidence sur le milieu naturel	- Linéaire artificialité 54% en 2003 - Bande des 300m : 40% occupé - Extraction de sable de plage : 5.2 m ³ entre 1990-2002. - 30% de la population habite la bande côtière - Surface urbanisée au détriment de terre agricole : 15000 Ha
Production de déchets ménagers	- 1998: 3.044, 30 T/J - 2003: 4.102 T/J - 2020: 5.391,20
Débits d'eaux usées	- 1998: 84.959.318,125 m ³ /an, - 2020: 128.378,84 Kg/J;
Charge polluante	- 1998: 84.298,829 kg/J, - 2020: 128.378,84 Kg/J;



4.3 Types de l'habitat en zone littorale

L'espace côtier de la baie d'Alger est caractérisé par une multitude de types d'habitats (Semmoud, 2007), on cite principalement ;


- Habitat Précolonial : période ottomane, comme dans la commune de la Casbah.
- Habitat de la période coloniale comme le cas des cités HLM (Belouizedad, Hussein dey).
- Habitat Postcolonial : où on a une diversité importante entre « cités de recasement dans l'Est algérois », les nouvelles cités d'habitat collectif (Social, LSP, LPA, LPP), ou encore l'expansion de l'habitat individuel avec l'émergence de la politique du lotissement fin des années 1980.

Le tableau 11 ci-dessous, montre certaines illustrations des types d'habitat dominants.

Tableau 11: aperçu des types d'habitats dominants

Type	Aperçu	Localisation
Précaire		Oued Korich (Bab Eloued)
Individuel		Bologhine , Rais Hamidou

		
Collectif		Rais Hamidou, Birkhadem
Précaire colonial		Bologhine
Résidentiel colonial		Hamamet

Collectif colonial		Alger Centre
-----------------------	---	--------------

4.4 Politique étatique récente de l'habitat

Suite à la crise du logement que vit le pays en général, et la capitale en particulier, la réponse des autorités été par 2 plans quinquennaux (2010-2014 et 2014-2019) (MHUV, 2015), dans le but de construire 1.6 millions de logements, dont :

- 800 000 logements publics locatifs (LPL), ou aussi dit communément « logement social ».
- 400 000 logements location-vente comme le cas de la formule AADL.
- 400 000 logements ruraux, destinés à développer les zones à vocation agropastorale.
- 50 000 Logement promotionnel public-LPP, pour des ménages aux revenus aisés.

Cependant ces projets bien qu'ambitieux, ont eu des répercussions néfastes sur les terres naturelles et agricoles, et ayant renforcé la crise du foncier algérois, et se retrouve souvent en conflit avec les instruments d'urbanisme qui se veulent récemment plus projectifs de l'espace littoral et des zones agricoles.

A Alger en parallèle du programme de construction d'habitat un projet de résorption de l'habitat précaire est entamé entre 2015-2019, dans le but d'aboutir à une capitale sans bidonville à l'horizon 2019.

5. Le cadre législatif de la gestion du littoral

5.1 Les lois et décrets

En Algérie, l'espace côtier est régi par 8 lois et 9 décrets promulgués, mais principalement deux lois fondatrices régissent l'espace côtier, en l'occurrence la loi littorale (02-02) du 5 février 2002 (Journal officiel Algérie, 2002), et la loi de l'urbanisme et d'aménagement du territoire (90-29) du 1er décembre 1990 ;

- La loi 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme est le premier texte ayant défini l'espace littoral dans les «dispositions particulières applicables à certaines parties du territoire». En outre, «toute construction sur une bande de terre de 100 mètres de largeur à partir du rivage est frappée de servitude de non aedificandi, toutefois sont autorisées sur cette bande les constructions nécessitant la proximité immédiate de l'eau».

Les restrictions énoncées par ces instruments juridiques devraient normalement assurer une occupation équilibrée et maîtrisée du rivage.

• La loi 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral a pour objet l'élaboration et la mise en œuvre d'une politique nationale spécifique d'aménagement et de protection du littoral. L'article premier stipule que «la présente loi a pour objet de fixer les dispositions particulières relatives à la protection et à la valorisation du littoral». Cette décision ministérielle a conduit à la création en 2004, du commissariat national du littoral (CNL) qui a pour mission de faire respecter cette loi. Cependant la réalité est toute autre, les textes de loi restent inappliqués, puisque sur le terrain rien n'a changé (Kacemi, 2011).

La loi littorale au moment de sa promulgation nécessitait plusieurs textes juridiques pour son application effective (Kacemi, 2004), des efforts concrets ont été consentis par le MATE puisque plusieurs décrets d'application ont été établis, le tableau 12 ci-dessous cite les principaux lois et décrets en relation directe et indirecte avec la gestion de l'espace côtier.

Tableau 12: Synthèse des lois et décrets, en relation avec l'espace côtier

Année	Nature	Contenu
1990	Loi	La loi 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme est le premier texte ayant défini l'espace littoral dans les «dispositions particulières applicables à certaines parties du territoire»
2001		La loi n° 01-20 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.
2002		La loi n°02-08 du 25 Safar 1423 correspondant au 8 mai 2002 relative aux conditions de création des villes nouvelles et de leur aménagement.
2002		La loi 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral a pour objet l'élaboration et la mise en œuvre d'une politique nationale spécifique d'aménagement et de protection du littoral
2004		la loi n° 04-03 du 05 Joumada El Oula 1425 correspondant au 23 juin 2004 relative à la protection des zones de montagnes dans le cadre du développement durable.
2004		La loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
2006		La loi n°06-06 du 21 Moharram 1427 correspondant au 20 février 2006 portant loi d'orientation de la ville.
2010		La loi n° 10-02 du 16 Rajab 1431 correspondant au 29 juin 2010 portant approbation du schéma national d'aménagement du territoire.
2004		Décret

	promulgué	National du Littoral
2004		Décret exécutif n° 04-273 du 02 septembre 2004 fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-113 intitulé « fonds national pour la protection du littoral et des zones côtières »
2005		Décret exécutif n° 05-416 du 22 Ramadhan 1426 correspondant au 25 octobre 2005 fixant la composition, les missions et les modalités de fonctionnement du conseil national de l'aménagement et de développement durable du territoire.
2006		Décret exécutif n°06-351 du 05 octobre 2006 fixant les conditions de réalisation des voies carrossables nouvelles parallèles au rivage.
2006		Décret exécutif n° 06-424 du 22 novembre 2006 fixant la composition et le fonctionnement du conseil de coordination côtière.
2007		Décret exécutif n° 07-206 du 30 juin 2007 fixant les conditions et les modalités de construction et des occupations du sol sur la bande littorale, de l'occupation des parties naturelles bordant les plages et de l'extension de la zone objet de non aedificandi.
2009		Décret n° 09-114 du 07 avril 2009 fixant les conditions d'élaboration du plan d'aménagement côtier, son contenu et les modalités de sa mise en œuvre.
2011		Décret exécutif n°11-137 du 23 Rabie Ethani 1432 correspondant au 28 Mars 2011 portant création de l'Agence Nationale à l'Aménagement et à l'attractivité des Territoires « ANAAT ».
2012		Décret exécutif n° 12-94 du 8 Rabie Ethani 1433 correspondant au 1er mars 2012 fixant les conditions et modalités d'élaboration du schéma directeur d'aménagement de l'aire métropolitaine et de son approbation.

5.2 Les schémas et plans d'aménagement

Historiquement le premier plan d'aménagement (entre 1962-1968) est une prolongation de plan coloniaux (réalisé par l'agence de plan à l'époque), mais rapidement abandonné, car le développement de la ville été considéré comme suffisant, ensuite (entre 1968-1975) le COMEDOR (comité permanent d'étude de développement et d'organisation de l'agglomération d'Alger) où s'appliquerons deux méthodes « celle de l'aménagement du tissu urbain existants avec l'autre hypothèse de grands projets de prestige (Proposition de l'architecte Oscar Nemeyer) » (Hadjiedj, et al., 2003). Finalement le premier Plan d'aménagement compact approuvé en Algérie est le Plan d'Orientation Générale « P.O.G. » (approuvé en 1975 jusqu'à 1986) il prévoyait l'extension de l'agglomération algéroise le long de la baie vers l'Est. Toutefois, en 1979 le P.O.G. est dénoncé et une nouvelle étude est envisagée sous la forme d'un Plan Directeur et d'Urbanisme (P.U.D.). Ce dernier, conformément aux orientations politiques a

réorienté l'extension de la capitale vers le Sud-Ouest. En outre, l'étude du P.U.D., qui est arrivé à terme en 1987, n'a pas été approuvée ni même remise en cause (Mutin, 1977). En 1990, et conformément à la nouvelle loi sur l'aménagement et l'urbanisme, les autorités de la wilaya ont reconduit le P.U.D. par une actualisation des données démo-économiques sous la forme d'un Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (P.D.A.U.). A partir de 2005, l'état à une vision plus globale de la gestion du territoire, en prenant en compte, la métropolisation et de nouveaux instruments multiéchelles (SNAT ; SRAT, SDAAM, SDAL, POS), et multisectoriel (SDAT,SDAP...) ont vu le jour (Agharmiou, 2013).

On définit ces instruments comme étant des mesures applicatives de l'ossature législative destinées aux acteurs territoriaux pour l'aménagement concret du territoire, décrétés selon l'échelle géographique (national, régional, local) et selon la spécificité et le secteur (comme le Plan d'aménagement côtier destiné à l'espace côtier, le SDAAM spécifique aux 4 grandes villes du pays), voir figure 24.

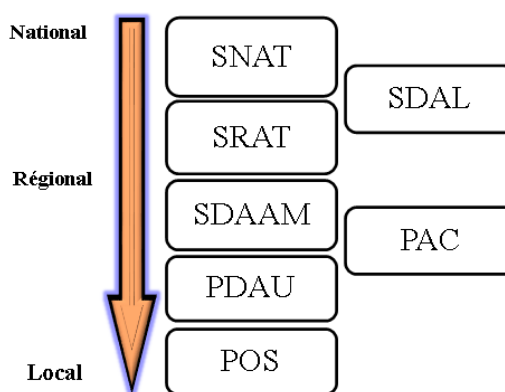


Figure 24: Échelles et instrument législatif

Ces plans ce sont donc historiquement adaptés au besoin du terrain, en vue de combler les lacunes de compréhension réel du territoire et du littoral, ces instruments sont analysés dans la section suivante.

5.2.1 Schéma national de l'aménagement des territoires (SNAT)

Le SNAT est un acte par lequel l'État affiche son grand projet territorial, ou l'objectif est de redresser l'économie nationale à base de compétitivité territoriale dans un contexte de mondialisation et de défis environnementaux et climatiques grandissants, sa vision prospective « SNAT 2025 » est une fenêtre d'opportunités pour s'inscrire dans la modernité et dans la planification durable (MATET, 2008).

Le SNAT a rendu ainsi, lisible les faiblesses et forces du territoire ; il a identifié les opportunités et les menaces, ainsi que les enjeux qui encadrent les dynamiques territoriales en mouvement.

Quatre (04) lignes directrices pour la mise en œuvre du SNAT 2025 :

- La durabilité des ressources ;
- Le rééquilibrage du territoire ;

- L'attractivité et la compétitivité des territoires ;
- L'équité sociale et territoriale.

Composé de 17 rapports thématiques, du document SNAT proprement dit (questions clés et prescriptions territoriales) et d'un document graphique en plusieurs échelles, le SNAT est charpenté autour de :

- 20 Programmes d'Action Territoriale (PAT)
- 19 Schémas Directeurs Sectoriels
- 09 Schémas Régionaux d'Aménagement du Territoire (SRAT)
- 04 Schémas Directeurs d'Aménagement d'Aires Métropolitaines (SDAAM)
- 48 Plans d'Aménagement de Wilaya (PAW)

5.2.2 Schémas régional d'aménagement du territoire (SRAT)

En parallèle au SNAT, les schémas régionaux d'aménagement du territoire sont une mise en œuvre plus approfondie : les Région-Programmes.

A coté des (19) Schémas Directeurs Sectoriels en voie de finalisation par les départements ministériels concernés, la concrétisation du SNAT sera relayée par la mise en œuvre au niveau spatial, des neuf (09) (SRAT) à l'horizon 2025 couvrant les Régions Programme prévues par la loi : Nord- Centre, Nord-Ouest, Nord-Est, Hauts Plateaux- Centre, Hauts Plateaux -Ouest, Hauts Plateaux -Est, Sud-Ouest, Sud-Est et Grand Sud et par les quatre Schémas d'Aménagement des Aires Métropolitaines (SDAAM) à l'horizon 2025 :Alger, Oran, Annaba et Constantine.

Pour le SRAT de la Région- Programme Nord Centre (Alger - Tipaza - Boumerdès - Blida - Tizi Ouzou - Bouira - Médéa - Ain Defla - Bouira - Bejaia), les travaux réalisés à ce jour comporte une construction d'un diagnostic de territoire et l'identification de ses potentialités (Journal Officiel Algérie, 2010), de ses atouts et de ses contraintes (état des lieux) ainsi qu'une mise en perspective stratégique au travers des enjeux et des facteurs clefs d'évolution de son territoire à l'horizon 2025 ;

5.2.3 Schéma directeur des aires métropolitaines (SDAAM)

C'est un projet de plan spécifique ou l'objectif est de cerner la dynamique territoriale à une échelle spécifique « l'échelle de la métropole », il concerne en Algérie 4 grandes villes : Alger, Oran, Constantine et Annaba, les études d'élaboration sont en cours (MATET, 2006).

Le Schéma Directeur d'Aménagement des grandes villes comporte quatre (4) axes majeurs :

1. La délimitation de l'aire des grandes villes.
2. Le diagnostic sectoriel, territorial, social et économique.
3. Le schéma directeur d'aménagement de la grande ville et le programme prioritaire d'intervention.
4. Les outils de mise en œuvre et de suivi.

Ces 4 axes sont appuyés par des documents graphiques à l'échelle du 1/50000 pour la représentation de la grande ville et de l'atlas du Schéma Directeur d'Aménagement des Grandes Villes.

5.2.4 Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU)

C'est un instrument de planification et de gestion urbaine (Ghodbani & Semmoud, 2010) qui, en divisant son territoire (commune ou groupement de communes) en secteurs urbanisés, à urbaniser, d'urbanisation future et non urbanisables :

- Détermine la destination générale des sols ;
- Définit l'extension urbaine, la localisation des services et activités, la nature et l'implantation des grands équipements et infrastructures ;
- Détermine les zones d'intervention sur les tissus urbains existants et les zones à protéger (sites historiques, forêts terres agricoles, littoral).

Le PDAU est composé de ;

1- D'un rapport d'orientation qui présente : L'analyse de la situation existante et les principales perspectives de son développement compte tenu de l'évolution économique, démographique sociale et culturelle du territoire considéré.

2- D'un règlement qui fixe les règles applicables pour chaque zone comprise dans les secteurs urbanisés, à urbaniser, d'urbanisation future et non urbanisables, en déterminant :

3- De documents graphiques comprenant notamment (Agharmiou, 2013) ;

- Le plan de l'état de fait faisant ressortir le cadre bâti actuel, les voiries et les réseaux divers les plus importants ;
- Le plan d'aménagement délimitant : les secteurs urbanisés, à urbaniser, d'urbanisation future et non urbanisables et certaines parties sensibles du territoire : le littoral, les terres agricoles à préserver ...etc.

5.2.5 Le Plan d'Occupation des Sols (POS)

Le plan d'occupation des sols fixe les droits à construire de façon détaillée, tant par l'échelle des documents que par les prescriptions réglementaires, de telle sorte que les demandes de permis de construire peuvent être traitées sur dossier.

Le POS fixe la forme urbaine ; la forme générale de la ville est en principe définie par le PDAU qui fixe la partie urbanistique global et les règles de composition qui doivent permettre de préserver ou de renforcer l'image de la ville et son unité (Kacemi, 2004).

Le POS, correspond à un ou plusieurs projets qui s'insèrent dans l'image projetée de la ville et qui contribuent à sa réalisation.

Le plan d'occupation des sols est constitué d'un règlement et de documents graphiques. Le règlement comprend une note de présentation et des règles.

5.2.6 Le Schéma Directeur d'Aménagement du Littoral (SDAL)

L'avènement de la loi n°02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral marque une politique de reprise en main des enjeux que représente le littoral, dans cette optique, le SDAL a comme objectif :

- Orienter l'extension des centres urbains existants vers les zones éloignées du littoral ;
- Classer et frapper des servitudes non – aedificandi les zones et milieux sensibles ;
- Œuvrer pour le transfert vers des sites appropriés des installations industrielles existantes dont l'activité présente des dommages pour l'environnement ;
- Faire coexister établissements humains, infrastructures et activités en veillant à la prévention de la dégradation de l'écosystème ;
- Maîtriser l'urbanisation ;
- Assurer l'équilibre de l'écosystème littoral par la protection de la biodiversité marine et terrestre ;
- Réduire voire éliminer à terme les pollutions ;
- Prévenir le recul du trait de côte et l'érosion des bassins versants côtiers,
- Dans ce cadre, des plans d'aménagement côtiers (PAC) sont établis pour toutes les communes littorales.

Le SDAL proposera des mesures concrètes prioritaires détaillées en fonction de leur urgence et de leur importance.

Ces mesures sont transcrites dans un programme global d'action territoriale spécifique aux zones littorales.

Un système d'indicateurs pertinents sera mis en place, pour le suivi des actions lors de la mise en œuvre du SDAL. Il s'agit de trois types d'indicateurs, à savoir des indicateurs de processus, de résultats et d'impact.

5.2.7 Plan d'aménagement côtier PAC

Dans le cadre de l'application de la loi relative à la protection du littoral (02-02), le Plan d'Aménagement côtier est mis en place il comporte un ensemble de dispositions fixées relatives à la valorisation de l'espace côtier (MATET, 2005). Il a été officiellement instauré par le décret d'application n°09-114 du 07 avril 2009.

Le PAC est traduit par :

- La détermination et la matérialisation physique du littoral, des zones naturelles d'intérêt écologique et des limites d'extension des agglomérations ;
- Le cadastre du littoral (état de fait environnemental et foncier) ;
- L'établissement du bilan écologique et l'identification des occupations et des atteintes au milieu.

Les champs d'application du PAC permettront d'évaluer la superficie du littoral égale environ à 400.000 hectares. Une largeur côtière variant de 2,5 Km à 23 Km. 41 zones pertinentes et 47

zones naturelles sensibles ont été répertoriées au niveau national. Ont été listés également 32 îles et 208 ilots, 26 zones humides et 2 complexes de zones humides, 54 dunes et cordons dunaires, 138 forêts, 71 aires marines et terrestres d'intérêt écologique et 33 sites (DHV/FBO, 2009).

La proposition de délimitation de l'espace littoral s'est faite sur la base de critères physiques. Ainsi au niveau des zones des falaises il a été retenu une profondeur de 800 mètres, au niveau des espaces relativement plats, il a été retenu une profondeur de trois kilomètres. Il a été intégré les espaces forestiers (foret et maquis dégradés) dans leur intégralité, les plaines littorales, les terres à vocation agricole, les zones humides et les sites historiques.

5.3 Synthèse ; législation et espace côtier

D'une vision générale les lois et instruments législatifs, ont connu une évolution marquée en matière de reconnaissance de la fragilité de l'espace côtier, elles contiennent plus de prescriptions relatives au développement durable et à la gestion intégrées de ces milieux sensibles (figure 25).

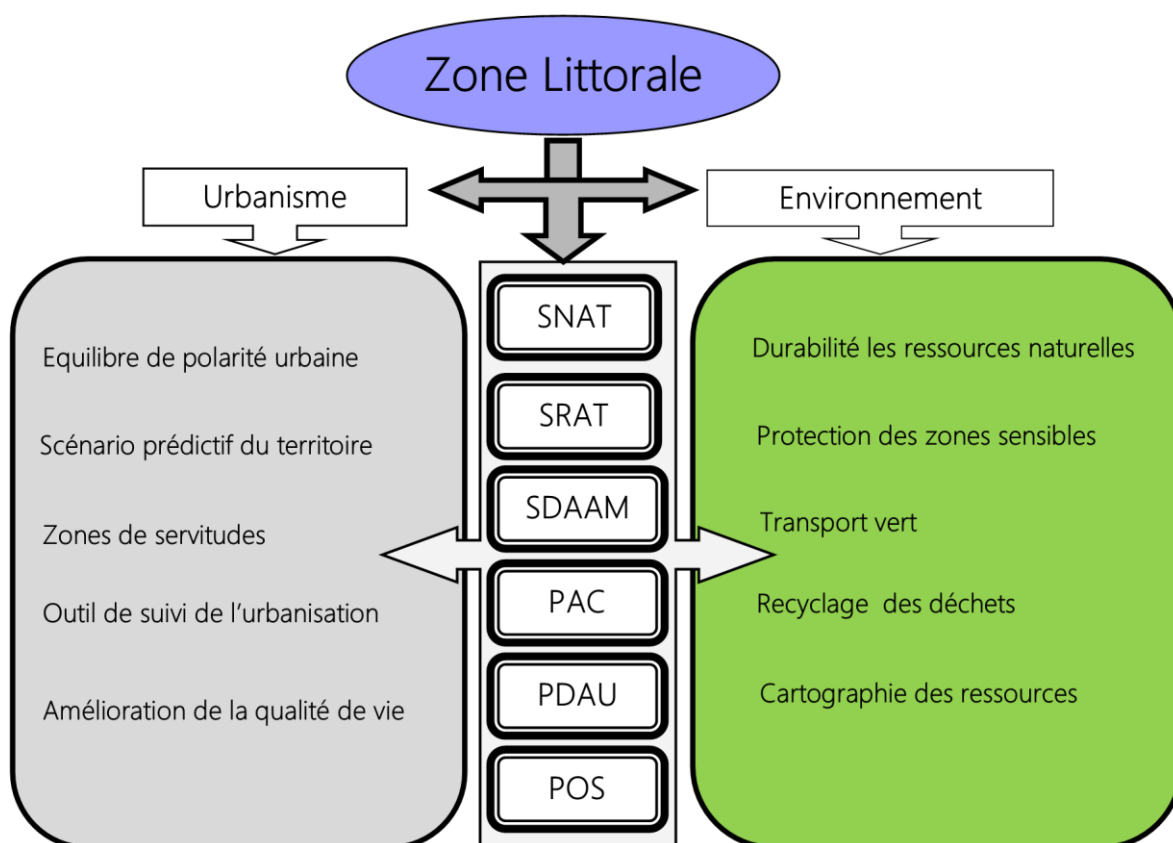


Figure 25: Le littoral entre impératif urbain et contrainte environnementale

Le plan d'aménagement côtier qui est la procédure applicative la plus significative de la loi 02-02 affiche des améliorations ressenties et un aspect technique plus pointu, par exemple le contenu du rapport technique de la PAC, qui contient des cartographies multidisciplinaires permettant un diagnostic pertinent, notamment ;

- Une carte de la géomorphologie et géologie du sol.
- Une carte de la situation écologique.

- Une carte de sensibilité à l'érosion.
- Une carte du cadre bâti (échelle 1/10000).
- Une carte de densité de la population.
- Une carte des sources de pollution.
- Une carte des voiries et des réseaux d'assainissement.
- Une carte océanographique.
- Une carte de la géomorphologie marine.

Avant les années 2000, la gestion du littoral n'était pas une spécificité, elle était incluse dans la gestion globale du territoire algérien, le début des années 2000 a marqué le début de la spécificité de cet espace sensible.

Les législations les plus récentes entre 2009 et 2010 (PAC-2009, SNAT-2010) expriment une nette amélioration du contenu dans la technicité et dans l'appropriation de la dynamique territoriale par rapport à l'ancienne loi qui était plus statique, on soulève par exemple :

- L'addition de l'aspect prospective, où on prévoit des scénarios d'évolution plus pertinents en vue de faire face à l'évolution socioéconomique.
- L'admission du risque de non-maitrise territoriale, en effet le SNAT 2010 par exemple admet (à travers ses 4 scénarios prédictifs) la possibilité d'une anarchie dans la polarité du territoire, c'est donc une première dans le diagnostic territorial en Algérie.

Des analyses du rapport PAC-2005, fournissent certaines recommandations (gèle des nouvelles expansions urbaines, protection du littoral...), mais qui sont que des recommandations théoriques qui n'ont pas de planning temporel d'exécution ni d'instrument clair de mise en place par les autorités.

Une nécessité d'établir un schéma de cohérence vertical entre les instruments d'aménagement (SNAT-SRAT-SDAAM-PDAU-POS) et transversaux avec les instruments spécifiques au domaine côtier (PAC, SDAL), la complémentarité des procédures permet une meilleure gouvernance et gestion durable.

- D'autres plans d'aménagement sectoriels sont en cours d'élaboration, souvent spécifiques a des activités économiques en zone côtière comme le Schéma directeur d'aménagement touristique (SDAT), ou Schéma national d'aménagement des pêcheries (SNAP), et qui peuvent réformer et réglementer ces activités côtières et supporter les plans de gestion classiques (PAC, SDAL...)

La loi 02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral stipule « encourager et œuvrer pour le transfert vers des sites appropriés, des installations industrielles existantes dont l'activité est considérée comme préjudiciable à l'environnement côtier ». Néanmoins, « sont exclus de la présente disposition, les activités industrielles et portuaires. d'importance nationale prévues par les instruments d'aménagement du territoire ». Les conditions et les modalités de transfert d'installations industrielles au sens de l'article 4 alinéa 3 ci-dessous, sont fixées par voie réglementaire » (article 04 alinéa 3).

On souligne ainsi que cette loi ne s'applique pas à certains territoires dits « d'intérêt national », cette prescription de la loi « littorale » n'a pas empêché le maintien d'infrastructures industrielles

littorales anciennes et l'implantation de nouvelles installations pétrochimique (Arzew, Skikda par exemple) malgré la dégradation de l'environnement et le risque encourus par les populations.

6. Durabilité de l'urbanisation algéroise

La durabilité urbaine exige qu'on adapte les conceptions urbanistiques et les systèmes de planifications à l'impératif écologique ».

Malgré une qualité de vie urbaine assez dégradée, pollution ménagère, automobile, rejets d'eau usée, pollutions sonores (embouteillage), transport urbain précaire et polluant, la capitale est même classée, à titre indicatif, 141 sur 200 capitales au monde dans la qualité urbaine (The Economist, 2014), et des prédictions d'évolution plus négatives (Touati, et al., 2004), le PDAU d'Alger affiche quand-même l'ambition d'une Ecométropole à l'horizon 2030, en créant plus d'espace naturel, dans le cadre d'une approche d'urbanisation durable, le projet est nommé « Plan d'Alger 2009-2029 ».

L'urbanisation des espaces côtiers algérois, s'est faite souvent d'une manière anarchique, l'appropriation de foncier libre, la construction dans des zones d'interdictions (Chaib & Mezner, 2008).

D'autres approches académiques ont été réalisées en vue d'évaluer la durabilité, notamment dans le cadre du Rapport PAC (PNUE, 2005), ou un diagnostic a été dressé à l'aide 14 indicateurs de durabilité, en parallèle 8 actions prioritaires ont été définies dans le cadre du plan d'action multisecteurs, on cite également la contribution de (Serir, 2012), ou un référentiel d'aménagement durable adapté aux enjeux locaux a été créé en vue d'évaluer la qualité des aménagements urbains.

6.1 Politique de gestion intégrée en zone côtière

La GIZC est un processus qui s'inscrit dans une perspective de développement durable de la zone côtière en composant avec les contraintes physiques et socioéconomiques d'une part et les conditions imposées par les institutions, les systèmes administratifs, légaux et financiers existants. La gestion intégrée ne doit pas se substituer aux programmes sectoriels, mais elle se doit de veiller à leur cohérence interne et à celle des liens existant entre les différentes activités des secteurs. Il s'agit en fait d'une approche territoriale globale qui recherche à intégrer les multiples composants d'une entité socio spatiale en vue de sa valorisation et de sa protection. (PNUE, 2005).

L'approche la plus pertinente pour l'application de la GIZC à Alger est celle réalisée dans le cadre des travaux PAC, les tâches réalisées pour la mise en œuvre de la thématique GIZC du PAC de la zone côtière algéroise sont structurées comme suit :

- Le cadrage de l'activité en essayant de clarifier autant que possible sa problématique, la démarche générale retenue et les objectifs globaux qui lui sont assignés ;

- L'élaboration d'un bilan diagnostic sur le contexte socio - environnemental de la zone côtière algéroise ;
- L'analyse des conditions de la faisabilité de la GIZC en rapport avec le contexte économique, institutionnel et réglementaire ;
- La déclinaison de la problématique de la gestion intégrée en essayant de mettre en évidence les points faibles et les atouts existants, à même de permettre de faire des propositions de réajustements à opérer et de nouvelles mesures ou dispositifs à prendre;
- La prise en compte d'abord et la mise en cohérence ensuite des propositions d'actions des activités thématiques, après les phases respectives des bilans – diagnostics;
- L'élaboration d'un plan d'action applicatif.

6.2 Plan d'Alger 2009-2029

Après un diagnostic approfondi sur l'évolution de l'occupation du sol de la wilaya d'Alger, le gouvernement a développé un plan stratégique qui fixe, pour les 20 prochaines années, un chemin prospectif qui va aboutir à une meilleure gestion du territoire algérois (Bouet, 2012), dans le but de favoriser l'aspect culturel, social et touristique de la capitale algéroise, dans le cadre des instruments d'aménagement SNAT, et SDAAM (MATET, 2008).

6.2.1 Les objectifs

La stratégie adoptée se fixe des objectifs qui s'inscrivent dans les préceptes fondamentaux du développement durable notamment le raliement de la satisfaction des besoins socio-économiques des générations actuelles et à venir avec la protection du milieu et de ses ressources en les inscrivant dans la durabilité. Tout cela apparaît dans les analyses et les commentaires des concepteurs du projet pour la métropole algéroise en général et pour la baie d'Alger en particulier.

La problématique environnementale est une partie prenante indiscutable, car il est aussi précisé que son enjeu est « ...Fondamental et suppose, grâce au plan vert, de faire d'Alger la grande métropole verte du sud de la méditerranée en maintenant les continuités naturelles en consolidant le grand forêt de l'ouest, l'agri-parc de l'Est-autour du lac de Réghaia- et en articulant son urbanisation sur un archipel vert côtier, etc.... » (ArtCharpentier, 2013). Ce plan vert est complété par un plan bleu, permettant la gestion et le traitement de l'eau dans la baie.

La problématique de l'intégration est aussi une préoccupation. Sans une démarche intégrée, on ne peut pas éviter certaines contradictions et incohérences qui indéniablement sont génératrices de déséquilibres et de dysfonctionnements sociaux et spatiaux ou tout simplement urbanistiques. C'est ainsi qu'on relève dans le rapport de ses concepteurs, ce souci de rechercher l'intégration et la cohérence des différentes opérations prévues dans la réalisation du grand projet Algérois.

6.2.2 Le contenu du projet

Selon le PDAU d'Alger, la mise en œuvre des différents projets va s'étendre jusqu'en 2029 en distinguant trois phases

- Court terme : 2009-2014

- Moyen terme : 2014/2024
- Long terme : 2024-2029

La première phase de mise en œuvre des projets est stratégique à plus d'un titre. Tout d'abord, elle permet d'amorcer le renouveau d'Alger par des opérations emblématiques qui vont contribuer à renforcer son rayonnement à l'échelle régionale, nationale et internationale. Ensuite, le choix des projets et leur bonne mise en œuvre vont déterminer la mise en place ultérieure des projets stratégiques à court, moyen et long terme (Bennamar, 2013).

6.2.2.1 Projet à court terme 2009-2014

Pour cette phase, le projet de la baie d'Alger entend orienter la croissance de la mobilité algéroise vers une forme durable :

- Renforcer la part du transport doux dans le système de mobilité ;
- Localiser les équipements et nouveaux quartiers, fortement générateurs de mobilité, vers des pôles de multimodaux.

Cette phase se caractérise par le lancement des projets dits prioritaires, symboles des renouveaux de la métropole-capitale. La mise en œuvre de cette stratégie ambitieuse suppose le ciblage, en première phase, de quelques projets prioritaires, en raison de l'effort financier que représente leur réalisation. L'ambition de ces projets est de permettre à Alger de s'assurer un niveau d'équipements dignes d'une métropole capitale.

Dans ce contexte, certaines opérations parmi celles prévues dans le « **Collier de perles de la baie..**» (Expression retenue par le bureau d'étude concepteur du projet), commencent à apparaître, principalement au niveau du centre historique. Ces premières perles s'organisent autour du projet prioritaire ; parmi elles on peut citer les deux projets suivants :

- Les plages et bains naturels de Bâb El Oued. (figure 26)
- Le projet de l'aménagement de l'Oued El Harrach. (figure 27)



Figure 26: Les plages et bains naturelles de BAB EL Oued (Arte Charpentier, 2013)



Figure 27: le projet d'aménagement d'Oued El Harrach (Arte Charpentier, 2013)

Le phasage des aménagements relatifs au « plan bleu » assure une meilleure gestion des ressources d'eau et la limitation des pollutions. L'eau en tant que ressource naturelle à préserver et comme composante fondamentale de l'aménagement d'Alger (Bennamar, 2013), est un paramètre stratégique. A ce titre, la gestion des eaux urbaines et pluviales est prioritaire ainsi que le traitement des eaux de rejets industriels et de l'Oued El Harrach (Figure 28).

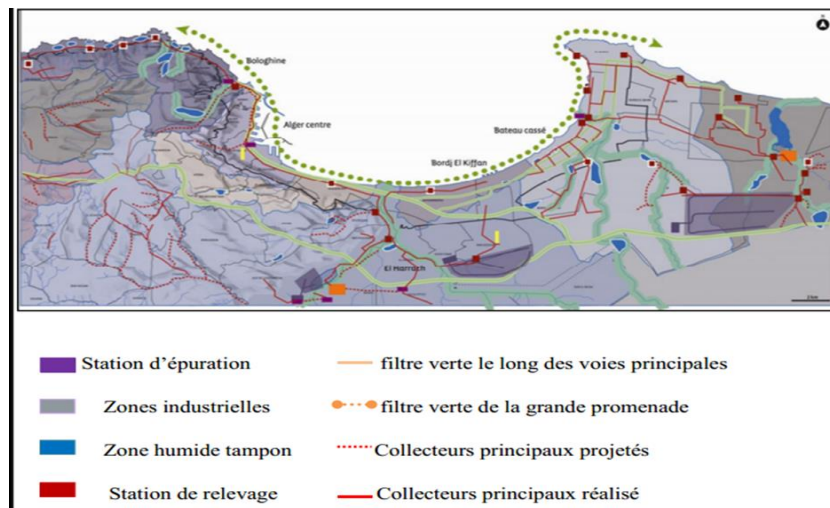


Figure 28: Certaines actions du plan bleu (Arte Charpentier, 2013)

Les actions du plan vert qui améliorent la qualité de la vie de préservation de la biodiversité, c'est-à-dire la végétation, est considérée comme facteur d'équilibre sanitaire et un paysage contribuant à l'urbanité pour mieux vivre. (figure 29).

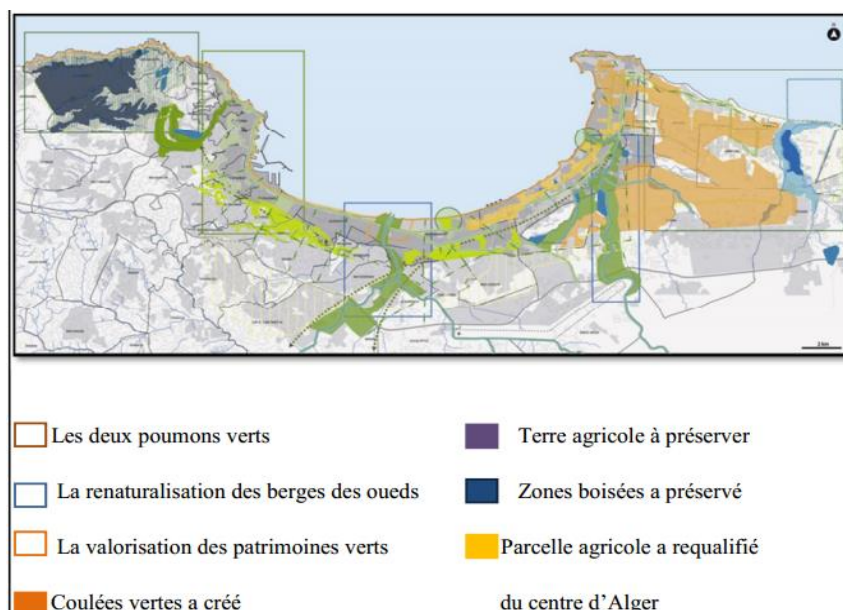


Figure 29: Actions du plan vert (Arte Charpentier, 2013)

La présence de deux grands espaces naturels remarquables, qui sont les deux poumons verts de la baie d'Alger « le parc de Bainém et l'agri parc de Reghaia ». Les projets sur les deux poumons verts de la baie s'inscrivent notamment dans une optique de préservation à enclencher dès le court terme. Ils répondent également à la stratégie générale de la région Algéroise de développement touristique et de loisirs.

6.2.2.2 Projets à moyen terme 2014-2024

Durant la période 2014-2024, va se constituer l'essentiel des projets d'aménagement de la baie d'Alger. Pour ceux liés aux dernières délocalisations des activités portuaires, ils seront mis en place dans la phase ultérieure à 2024-2029, c'est le cas de certains équipements structurants comme :

- Le palais des festivals et le nouveau quartier touristique de Bordj El Kiffan.
- La revalorisation du port de Tamentefoust.

D'autre part, pour une mobilité relativement rapide il est nécessaire aussi de réaliser certains projets, notamment :

- Le déplacement de la gare centrale dans le creux d'El Harrach.
- La mise en place d'une ligne de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS), proposée le long de la Baie.

6.2.2.3 Projets à long terme : 2024-2029

L'aménagement des différents segments de la promenade permet d'établir la liaison entre chacune des perles de la baie, l'installation d'un système de transport en commun performant pour faire d'Alger une ville de mobilité (Bennamar, 2013) et de proximité et assurer une cohérence entre les différents modes de transports et l'aménagement de la baie (figure 30).

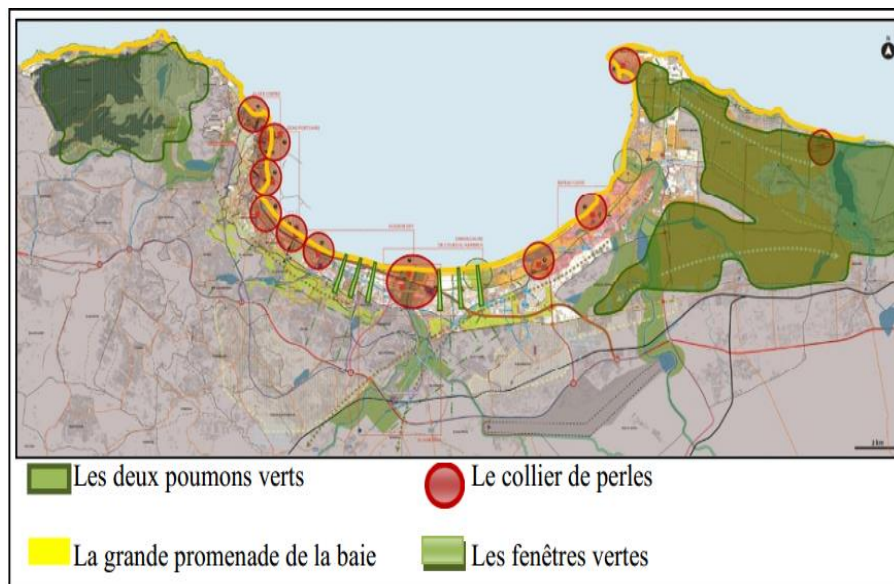


Figure 30: le schéma de cohérence (Arte Charpentier, 2013)

Chacun de ces projets participe alors d'une lecture transversale du territoire, permettant de faire d'Alger :

- une ville de mobilités.
- une ville attractive sur le plan de tourisme de loisirs et d'affaires.
- une ville ouverte sur son front de mer.
- une éco-métropole préservant et valorisant ses ressources naturelles.

Conclusion

Alger est une ville primatale par rapport aux autres grandes villes du pays, son effet centralisateur (bien qu'atténué les dernières années par le développement des autres wilayas) conserve une haute attractivité démographique. La baie d'Alger noyau stratégique de la capitale est une zone géographique présentant de nombreux aléas naturels (sismicité, bassin versant inondable, pluie torrentielle récurrente,) elle est également de plus en plus vulnérabilisée par les pressions anthropiques grandissantes.

La ville qui s'est développée historiquement à partir de l'ouest de sa baie, s'est étendue d'abord en raison de la contrainte géomorphologique vers l'est et le sud (cité dortoir des travailleurs), l'étalement s'est ensuite réparti sur l'ensemble de la wilaya, créant ainsi de nouveaux noyaux urbains, et désertant de plus en plus le centre historique, créant un tissu urbain très diversifié (collectif, semi-collectif, Bidonville, résidentiel-lotissement...) et malheureusement peu maîtrisé (Safar Zitoun, 2009).

L'urbanisation est un phénomène complexe présentant diverses facettes, c'est une réponse aux besoins démographiques non seulement en habitat, mais aussi en structures socioéconomiques. L'haliotropisme des zones littorales, comme c'est le cas de la baie d'Alger qui s'inscrit dans le cadre d'une littoralisation globale, le tout conjugué à certains événements historiques (décennie noire, exode...) et au développement économique, conduisant à une métropolisation de la capitale.

Cette urbanisation souvent localisée dans des zones vulnérables du bassin versant, a conduit à plusieurs catastrophes (dont l'inondation de Bab Eloued en 2001), certains habitats sont aussi non conformes en matière de qualité de construction dans une zone pourtant de forte sismicité (Limite de la plaque tectonique du Sahel).

La métropolisation d'Alger bien que prévue précocement par les autorités, présente des effets néfastes bien ressentis dans le quotidien, à travers une pollution élevée, un embouteillage quasi constant, une expansion urbaine anarchique, et une dégradation notable du littoral algérois.

En réaction à cela, les acteurs territoriaux ont fourni un effort honorable pour tenter de maîtriser l'urbanisation à travers l'implémentation de contraintes environnementales dans la législation (depuis la loi 1990) telle que « le développement durable, les servitudes d'interdiction dans les zones naturelles... », jusqu'à reconnaître la spécificité du littoral via la loi 2002-02, et élaborer des plans spécifiques à la gestion raisonnée de l'espace côtier tel le PAC.

Les instruments pour la gestion de l'urbanisme se sont aussi améliorés comme pour le SNAT 2010, et les SRAT, PDAU, POS ...etc. le SNAT 2010 propose même désormais une vision prospective du territoire en vue de mieux anticiper les scénarios d'évolution, des plans spécifiques à la protection du littoral tel le Plan d'Alger 2009-2029 sont proposés en vue d'aboutir à une écométropole.

Cependant jusqu'à nos jours, la saturation de la baie d'Alger spécifiquement et de la capitale en général est de plus en plus ressentie, la qualité de vie urbaine demeure déplorable, ceci est dû à la lenteur voir l'inapplication totale des instruments d'urbanisme, mais aussi au manque de politique de gestion intégrée. La baie, est ainsi scindée entre besoins émanant de la pression humaine grandissante (logement, emploi, foncier ...) et la contrainte de conservation de son environnement littoral fragile.

Bibliographie

Agharmiou, N., 2013. *La planification urbaine à travers les PDAU-POS et la problématique de la croissance et de l'interaction villes/villages en Algérie Référence empirique à la wilaya de Tizi-Ouzou*. s.l.:Thèse de doctorat, université de Tizi Ouzou.

ArtCharpentier, 2013. *Projet Plan d'Alger, Plan d'action*. [En ligne] Available at: <http://www.arte-charpentier.com/fr/projet/la-baie-dalger/>

Baouni, T., 2003. Croissance urbaine et transport collectif à Alger. *Editions technique et économiques*, Issue 420, pp. 227-233.

Baouni, T., 2009. Le transport dans les stratégies de la planification urbaine de l'agglomération d'Alger. *Insaniyat*, pp. 75-95.

Belhai-Benazzouz, A. & Djelal, N., 2010. Le foncier vecteur de l'étalement urbain Algérois. *Conference Paper*.

Benallal, K. & Ourabia, K., 1988. Monographie géologique et gé. *Office national des publication universitaire-Alger*.

Bennamar, K., 2013. Quand la capital se réinvente (. *Revue de la chambre de commerce et d'industrie algéro-française (ISSN : 5271-2011)*..

Bennamar, K., 2013. When the capital reinvent itself (Press Paper),. *Revue de la chambre de commerce et d'industrie algéro-française*.

Berrah, K., 2011. *Armature urbaine - RGPH 2008 -, collection statistique n°163/2011*, s.l.: Office National des Statistiques.

Berrah, K., 2015. *Démographie Algérienne-2014, n°690*, s.l.: Office national des Statistique (ONS)..

Bouet, M.-F., 2012. Projets qui transforment Alger (Plan d'Alger 2009-2029),, (Arte Charpentier, France). *Revue "Vie des villes" ISSN : 1112 – 5284 hors serie n°3*..

Bouroumi, T., 2010. *Impact de l'urbanisation sur l'évolution du littoral, cas de la commune de Ain el Türk*. s.l.:Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.

Chaib, M. & Mezner, A., 2008. *Instrument technico-juridique pour l'assainissement de la situation foncière des terres du territoire national, presented at the Symposium ; Biskra*, s.n.

DHV/FBO, 2009. *Assistance à la mise en œuvre des PAC*, s.l.: s.n.

- Djellouli, Y. & Saci, A., 2003. Catastrophe naturelle : Les inondations dévastatrices du 9 et 10 novembre 2001 à Bab el Oued (Algérie). *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, Volume 15, pp. 236-242.
- El Kechebour, B. & Benouar, D., 2011. Urban Growth, Sewerage Network and Flooding Risk: Flooding of November 10, 2001 in Algiers.. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 5(10).
- Ghodbani, T. B.-M. F., 2013. La littoralisation dans l'Ouest algérien : analyse multiscalaire des interactions hommes-espaces-écosystèmes ". *Espace populations sociétés* , Volume 2013/1-2, DOI : 10.4000/eps.5488 .
- Ghodbani, T. & Semmoud, B., 2010. Urbanisation côtière en Algérie, Processus et impacts sur l'environnement : Le cas de la baie d'Aïn el Türk. *Études caribéennes*.
- GICA (Agence Japonaise de Coopération Internationale), 2006. *Étude de microzonage de la wilaya d'Alger , Rapport final Volume III*, s.l.: Oyo International Corp.
- Glangeaud, L., 1952. Histoire géologique de la province d'Alger. *Monographie régionales*, Volume 1, pp. 6-12.
- Godard, X., 2005. L'évolution des systèmes de transport des villes méditerranéennes face à la métropolisation. *Revue D'Economie Méditerranéenne*.
- Hadjiedj, A. & Chaline, C. D.-M. J., 2003. *Alger, les nouveaux défis de l'urbanisation*. Paris: l'harmattan.
- Haffad, T., 2004. Quelques conséquences économiques et sociales de l'évolution démographique en Algérie. *Revue des Sciences Économiques et de Gestion*, Volume 100, p. 3.
- Journal officiel Algérie, 2002. Loi n° 02-02 du 5 Février 2002, sur la protection du littoral (Journal n° 10 du 12 Février 2002).
- Journal Officiel Algérie, 2010. Loi du 29 juin 2010; Approbation du Schéma National d'Aménagement du Territoire. SNAT 2030.
- Kacemi, M., 2004. Recommandations pour l'élaboration des PDAU et des POS dans les zones littorales. *Dar El Gharb*.
- Kacemi, M., 2011. Protection and development of the coastal areas in Algeria : Legislation and instruments, The Case of Oran's Coastal areas. *Etudes Caribéenne* DOI: 10.4000/etudescaribeenes.5959..

- Klein, J. & Tabarly, S., 2008. Les espaces littoraux: gestion, protection, aménagement. *Géoconfluences, gloassaires spécialisés*.
- Larara, M., 2012. Littoral algérien et risques de Tsunami. *Bulletin du service géologique national*, 23(3), pp. 241-251.
- LEM, 1998. (*Laboratoire des études maritimes*) *Etude de délimitation d'une zone d'extraction de Sable sur la baie d'Alger*, s.l.: s.n.
- MATE, 2006. Rapport sur l'état l'avenir de l'environnement (ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnementn Algérie). Dans: s.l.:s.n., p. 490.
- MATET, 2005. *Plan d'Aménagement Cotier (PAC), rapport phase 2: Maîtrise de l'urbanisation et de l'artificialisation des sols, Etude prospective de l'urbanisation. (ministère de l'aménagement du territoire, Algérie)*. s.l.:s.n.
- MATET, 2006. *SDAAM 2025 : Schéma Directeur d'Aménagement de l'Aire Métropolitaine d'Alger, Un territoire compétitif, équilibré et solidaire, Mission 2 : diagnostics, enjeux et scénarii, II, Ministère de l'aménagement du territoire-algérie*, s.l.: s.n.
- MATET, 2008. *La Mise En Œuvre Du Schéma National D'aménagement Du Territoire (SNAT) 2025, Document de Synthèse. (minisétere de l'aménagement du territoire - Algérie)*, s.l.: s.n.
- Meguittif, S., 2008. *Conditions d'articulation urbanisme-transports: le cas de l'agglomération d'Alger*. s.l.:Université de Montréal, institut d'urbanisme.
- MHUV, 2015. *Politique gouvernementale dans le domaine de l'habitat de l'urbanisme et de la ville, (ministère de l'habitat de l'urbanisme)*. s.l.:s.n.
- Moriconi-Ebrard F, D. F., 2000. L'urbanisation du littoral Méditerranéen. *Mappemonde*, 57(1), pp. 32-36.
- Mutin, G., 1977. La Mitidja: décolonisation et espace géographique. *Cahiers de la Méditerranée*, 14(1), pp. 107-112.
- Nouri, M. & Ozer, A., 2014. The urban fabric against natural hazards Case of the bay of Tipaza-Algeria. *Geo-Eco-Trop*, 38(1), pp. 03-110.
- OCDE, 2011. *Trends in Urbanisation and Urban Policies in OECD Countries: What Lessons for China?*, s.l.: s.n.
- ONS, 2013. (*Office national des statistiques*) *Démographie algérienne, n°658*, s.l.: s.n.
- ONS, 2014. (*office national des statistiques*) *Population résidente par âge, par sexe et par commune*, s.l.: s.n.

- ONS, 2014. (*office national des statistiques*) *Structure relative de la population résidente des ménages ordinaires et collectifs âgée de 6 ans et plus selon le niveau d'instruction et la commune de résidence*, s.l.: s.n.
- PNUE, 2005. (*Plan des nation unies pour l'environnement*) *Gestion intégrée de la zone côtière GIZC . Plan d'aménagement côtier (PAC), de la zone côtière algéroise..* s.l.:s.n.
- PNUE-PAM , 2009. *Etat de l'environnement et du développement en Méditerranée (plan bleu).*, s.l.: s.n.
- Population Data, 2015. *Atlas des populations des pays du monde..* [En ligne] Available at: <https://www.populationdata.net>
- Saadallah, A., 1981. Etude structurale du massif d'Alger.. *IGCP Univ. Pau,(France).*, Issue 5, pp. 3-10.
- Saadi, S., 2008. *Etude diachronique de l'artificialisation de la zone périurbaine algéroise.* s.l.:mémoire de Magister, USTHB.
- Safar Zitoun, M., 2009. Alger d'aujourd'hui: une ville à la recherche de ses marques sociales. *Revue algérienne d'anthropologie et de sciences sociales, "Insanyat"*, Volume 44-55, pp. 33-55.
- Salhi, S., 2006. *Les obstacles du développement de la mobilité durable dans les grandes villes Algériennes et les perspectives dans le cadre de la coopération décentralisée*, s.l.: Ministère des Transports / Algérie.
- Semmoud, N., 2007. Habiter et types d'habitat à Alger. *Revue de sciences sociales au Sud*, pp. 163-180.
- Serir, M., 2012. Vers un référentiel d'aménagement durable pour Alger.. *Les Cahiers du Développement Urbain Durable Observatoire Universitaire De La Ville Et Du Développement Durable (Université de Lausanne)*, pp. 159-169.
- The Economist, 2014. *A Summary of the Liveability Ranking and Overview*, s.l.: The Economist Intelligence Unit Limited 2014©.
- Touati, K., Harfouche, A. & Bouhadad, Y., 2004. Etude prospective de l'urbanisation, Plan d'aménagement cotier, PAC-zone algéroise. Dans: s.l.:s.n., pp. 3-35.
- Voiron-Canicio, C., 1999. Urbanisation et littoralisation en méditerranée. *Presses Université d'Artois*, pp. 103-112.

Yelles-Chaouche, A. et al., 2009. The 1856 Tsunami of Djidjelli (Eastern Algeria): Seismotectonics, Modelling and Hazard Implications for the Algerian Coast. *Pure and applied geophys*, pp. 280-300.

Partie II

Analyse spatiale et évaluation quantitative

Chapitre 3

Cartographie et suivi spatial de l'urbanisation

SOMMAIRE

Introduction	92
1. Extraction des zones urbaines à Alger	93
1.1 Extraction via valeur spectrale	93
1.1.1 À partir d'une bande spectrale	93
1.1.2 À partir d'un indice spectral.....	94
1.1.3 À partir d'un indice de texture (Haralick).....	95
1.2 Extraction par classification Orientée-Pixel.....	96
1.2.1 Extraction par classification non-supervisée ; K-means	96
1.2.2 Extraction par classification non supervisée, Iso-Data	96
1.2.3 Extraction par classification supervisée	97
1.2.4 Extraction par classification « Arbre de décision ».....	98
1.3 Extraction par classification orientée-objet.....	99
1.4 Évaluation des approches d'extraction de la classe urbaine.....	100
1.5 Cartes multitemporelles.....	102
2. Évaluation de la dynamique urbaine et l'évolution du paysage.....	105
2.1 L'approche des statistiques surfaciques « classique »	105
2.2 Typologie de l'expansion urbaine	107
2.2.1 Forme 1: Noyaux développés en 1985, soutenus en 2000 puis encore soutenus en 2015	107
2.2.2 Forme 2 : Noyaux développés en 1985, soutenus en 2000 puis stables.....	108
2.2.3 Forme 3 : Noyaux développés en 1985 puis stables	108
2.2.4 Forme 4 : Noyaux développés en 1985 stables en 2000 puis soutenus en 2015.....	108
2.2.5 Forme 5 : Noyaux développés en 2000 puis soutenus en 2015	109
2.2.6 Forme 6 : Noyaux développés en 2015 (non présent en 2000).....	109
2.2.7 Forme 7 : Noyaux développés en 2000 et stables	110
2.2.8 Synthèse des formes d'expansion sur les communes littorales de la baie.....	110
2.3 L'approche des Métriques du Paysage	112
2.3.1 Nombre de Patch, pourcentage du paysage, et taille moyenne du patch.....	114
2.3.2 Indice de diversité du paysage SHDI	116

Conclusion.....	117
Bibliographie.....	118

Liste des figures

Figure 31: Carte de la tache urbaine via la bande Bleue	94
Figure 32: Carte de la tache urbaine via l'indice de brillance	95
Figure 33: Carte de la tache urbaine via un indice de texture	95
Figure 34: Carte de l'occupation du sol via une classification K-Means	96
Figure 35: Carte de l'occupation du sol via une classification IsoData.....	97
Figure 36: Carte de la tache urbaine via une classification supervisée	97
Figure 37: Schéma de l'arbre de décision réalisé	98
Figure 38: carte de l'occupation du sol via une classification par arbre de décision.....	98
Figure 39: Classes hiérarchiques, approche orientée-objet.....	99
Figure 40: Carte de l'occupation du sol via une approche orientée-objet	100
Figure 41: Disposition des points "vérité-terrain".....	100
Figure 42: Table attributaire des points "vérité-terrain"	101
Figure 43: Mosaïque d'images de Photointerprétation/validation.....	101
Figure 44: Carte d'occupation du sol de 1985	103
Figure 45: carte d'occupation du sol de l'an 2000	103
Figure 46: Carte d'occupation du sol de l'an 2015.....	104
Figure 47: carte de l'urbanisation spatiotemporelle.....	105
Figure 48: Taux d'urbanisation par date.....	106
Figure 49: Carte de la première forme d'expansion.....	107
Figure 50: Carte de la deuxième forme d'expansion	108
Figure 51: carte de la troisième forme d'expansion.....	108
Figure 52: Carte de la quatrième forme d'expansion.....	109
Figure 53: Carte de la cinquième forme d'expansion.....	109
Figure 54: Carte de la sixième forme d'expansion	110
Figure 55: Carte de la septième forme d'expansion	110
Figure 56: Aperçu du choix des métriques sur le logiciel Fragstat.....	114
Figure 57: Métriques : "MPS(Km ²), PLAND (%) et NP" par classes (a, b, c, d, e, f).....	115
Figure 58: "Évolution temporelle du métrique SHDI"	116

Liste des tableaux

Tableau 13: Scènes Landsat utilisées	93
Tableau 14: Seuillage de la Bande Bleue	94
Tableau 15: caractéristiques la segmentation réalisée.....	99
Tableau 16: Comparaison de la qualité des approches.....	102
Tableau 17: Qualités des classifications multitemporelles	104
Tableau 18: Taux d'urbanisation dans le littoral de la baie d'Alger (km ² , %).....	106
Tableau 19: Quelques chiffres marquants sur l'urbanisation algéroise (km ² , %).....	107
Tableau 20: Formes de croissance par commune côtière de la baie	111
Tableau 21: Caractéristiques des métriques de paysage	113

Liste des équations

(9) : Qualité des classification.....	102
(10) : Nombre de patches	113
(11) : Taille du patche	113
(12) : Pourcentage du paysage	113
(13) : Indice de diversité.....	113

Introduction

Les zones urbanisées sont des territoires occupés principalement par des constructions de type habitat ou infrastructure public/privé, d'une vision spatiale ce sont des systèmes hétérogènes non seulement au niveau de leurs compositions (type du matériau de construction, couleur du toit), mais aussi en matière de leur géométrie et dispersion dans l'espace géographique (régulière, anarchique...). Le suivi spatial des zones urbaines est devenu une nécessité grandissante dans notre ère tant pour le monitoring des activités humaines (développement des agglomérations, suivi des zones industrielles...etc) que pour la protection du littoral et de l'environnement des éventuelles transgressions (pollution ménagère et industrielle, dégradation d'espace côtier et agricole ...).

Cette observation spatiale continue nécessite la maîtrise de l'outil télédétection et cartographie couplés à une compréhension approfondie de l'espace géographique, en l'occurrence l'objet urbain en tant que cible focale, mais aussi dans son milieu complexe, notamment l'ensemble de l'occupation du sol (sol nu, forêt, agriculture, lac, routes...) dans le cadre d'une analyse mono-image ou un monitoring spatiotemporel.

La cartographie des zones urbaines n'est donc pas restreinte à l'identification spectrale des taches urbaines à partir d'une image satellitale, elle s'étend également à la classification de l'ensemble du paysage. De nombreuses techniques d'analyse du paysage et son hétérogénéité existent pour quantifier l'hégémonie d'une classe donnée sur l'ensemble du paysage.

Ce volet a comme objectif d'observer, classer, quantifier les zones urbaines à Alger à l'aide des techniques de télédétection, ceci permettra d'identifier la trajectoire de l'urbanisation dans la capitale, comprendre la pression exercée sur sa baie dans le temps, ainsi que sa disposition spatiale actuelle, on se penche non-seulement aux écarts et aux taux d'évolution, mais aussi à la géométrie du paysage durant ces décennies.

Des images d'archive, à haute résolution (Landsat, Sentinel) ainsi que des images à très haute résolution (propriétaires, Alsat 2A, Alsat 2B) sont utilisées, un comparatif est ensuite réalisé entre les approches d'extraction des zones urbaines en vue de retenir l'approche avec le moins de confusion radiométrique, l'approche retenue sera utilisée pour réaliser la carte d'occupation du sol en mode multitemporelle des années 1985, 2000, et 2015.

Une analyse de l'évolution des zones urbaines sera ensuite réalisée via l'approche des statistiques surfaciques de l'occupation du sol (pour l'ensemble de la capitale puis

spécifiquement pour les communes de la baie d'Alger), puis à l'aide d'outils d'analyse du paysage permettant une compréhension plus profonde du paysage algérois.

On s'intéresse à la fin aux morphologies de l'expansion urbaine en vue de caractériser les différentes formes d'urbanisation et ceux durant les 3 dernières décennies en vue d'une compréhension typologique pointue.

1. Extraction des zones urbaines à Alger

En vue de cartographier les zones urbaines, les méthodes de suivi multitudes décrites méthodologiquement dans le chapitre 1 (spectrales, classification orientée-objet, classification orientée-pixel) seront appliquées et comparées à partir d'une grille de points « vérité-terrain », la méthode qui permettra l'extraction la plus fine avec le minimum de confusion sera retenue.

Pour la cartographie multitemporelle, 3 scènes d'archive Landsat sont retenues (tableau 13).

Tableau 1: Scènes Landsat utilisées

	Caractéristiques	Landsat ID
Landsat 5 TM, du 12-04-1985	Résolution MS : 30m	LT51960341985102XXX04
Landsat 7 ETM+, du 19-08-2000	Résolution MS : 30m Résolution Pan : 15m	LE71960342000232EDC00
Landsat 8 OLI, du 02-06-2015	Résolution MS : 30m Résolution Pan : 15m	LC81960342015153LGN01

Cet intervalle de 30 ans (1985-2000-2015) a été retenu pour diverses raisons :

- La date de 1985 est la plus ancienne possible avec une résolution acceptable de 30m, en effet les quelques scènes plus anciennes existantes sont du satellite MSS avec une résolution de 80m, sont difficilement exploitables pour une étude multitudes.

- La date 2015 a été retenue, car correspondant au début de ce travail (Juin 2015), mais aussi permettant un intervalle arrondi de 30 ans, assez significatif pour observer la dynamique urbaine algéroise.

- La date 2000 a été retenue également pouvoir scinder la durée d'observation en deux intervalles réguliers de 15 ans, elle marque aussi historiquement le redressement économique du pays (fin de la décennie noire, début d'une nouvelle gouvernance), c'est donc une date-clé pour observer le changement urbain.

1.1 Extraction via valeur spectrale

1.1.1 À partir d'une bande spectrale

En observant les différentes bandes spectrales présentes sur les capteurs Landsat, trois bandes sont présentes sur les 3 capteurs (TM, ETM+, et OLI), notamment les bandes « Bleu, Vert et Rouge ».

La bande bleue est la bande la plus sensible aux zones artificialisées, en parcourant les objets urbains sur l'image les seuils discriminant cette classe (valeurs de réflectance) sont synthétisés (tableau 14), notamment les valeurs supérieures à "0,15" (valeurs de réflectance).

Tableau 2: Seuillage de la Bande Bleue

	Longueur d'onde Bande bleue (µm)	Seuil spectrale des objets urbains
Landsat 5 TM	B1 (0.45-0.52)	> 0.16
Landsat 7 ETM+	B1 (0.45-0.52)	>0.16
Landsat 8 OLI-TIRS	B2 (0.45-0.515)	>0.15

Une extraction spectrale de la tache urbaine par ce processus de seuillage sur l'image Landsat 8-OLI, permet des résultats satisfaisants (figure 31).

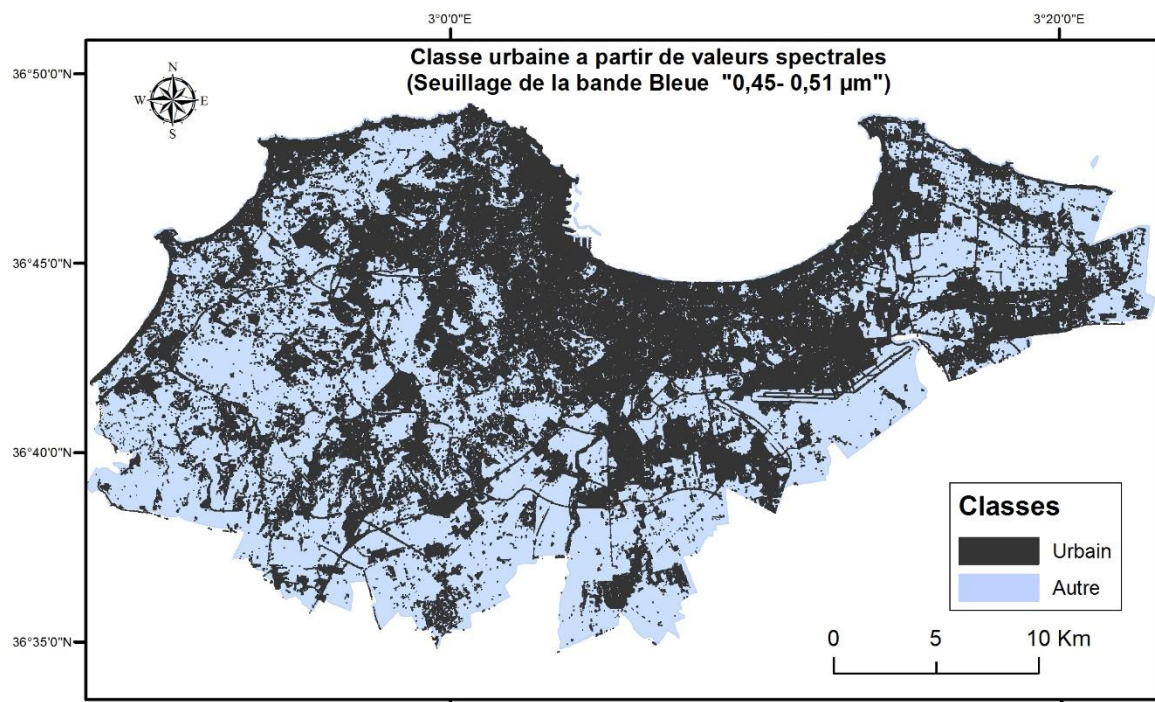


Figure 31: Carte de la tache urbaine via la bande Bleue

Cependant on remarque que certains types d'occupation du sol (Bitume, Sol nu) sont inclus dans la tache urbaine, ce qui induit un certain taux de confusion.

1.1.2 À partir d'un indice spectral

L'indice de brillance dont la formule a été décrite précédemment permet une bonne extraction des zones artificialisées (figure 32), néanmoins la confusion est présente entre la classe « urbain » et certains types de sol nu (Chemin non-bitumé, stade en terre...).

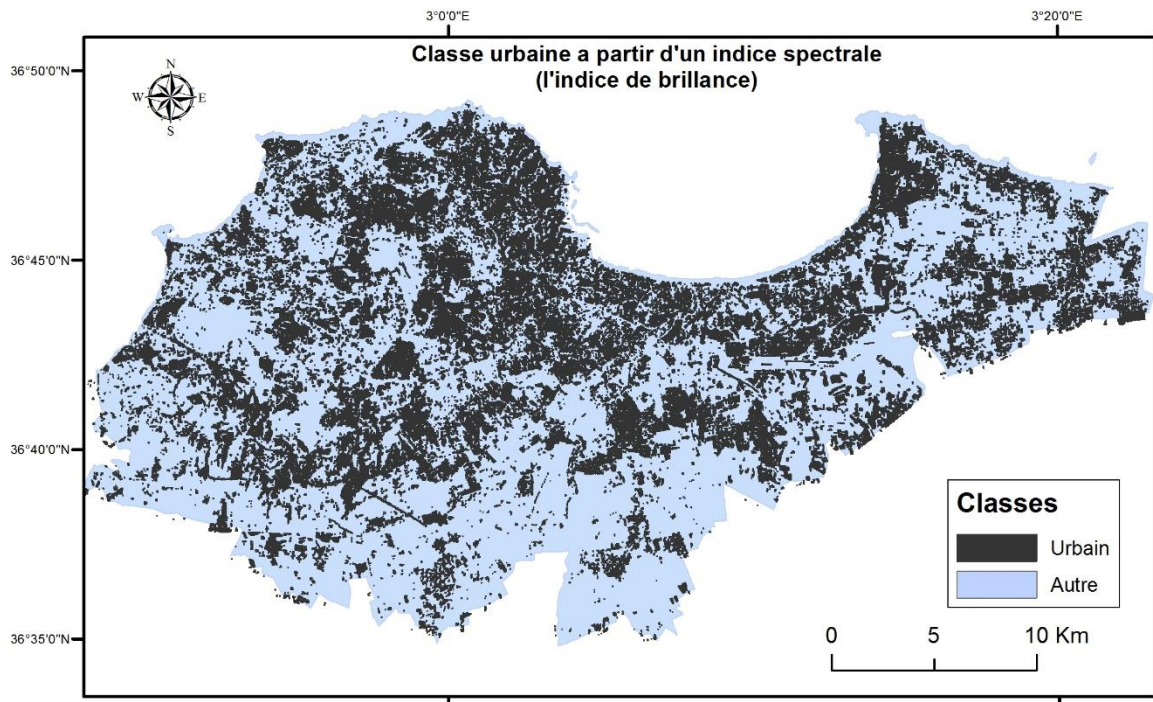


Figure 32: Carte de la tache urbaine via l'indice de brillance

1.1.3 À partir d'un indice de texture (Haralick)

Les valeurs suivantes ont été retenues (considérées comme optimales par photo-interprétation) ; la fenêtre de balayage 5x5, Distance de Co-occurrence (X, Y) = (1,1)., bande en entrée : (bleue).

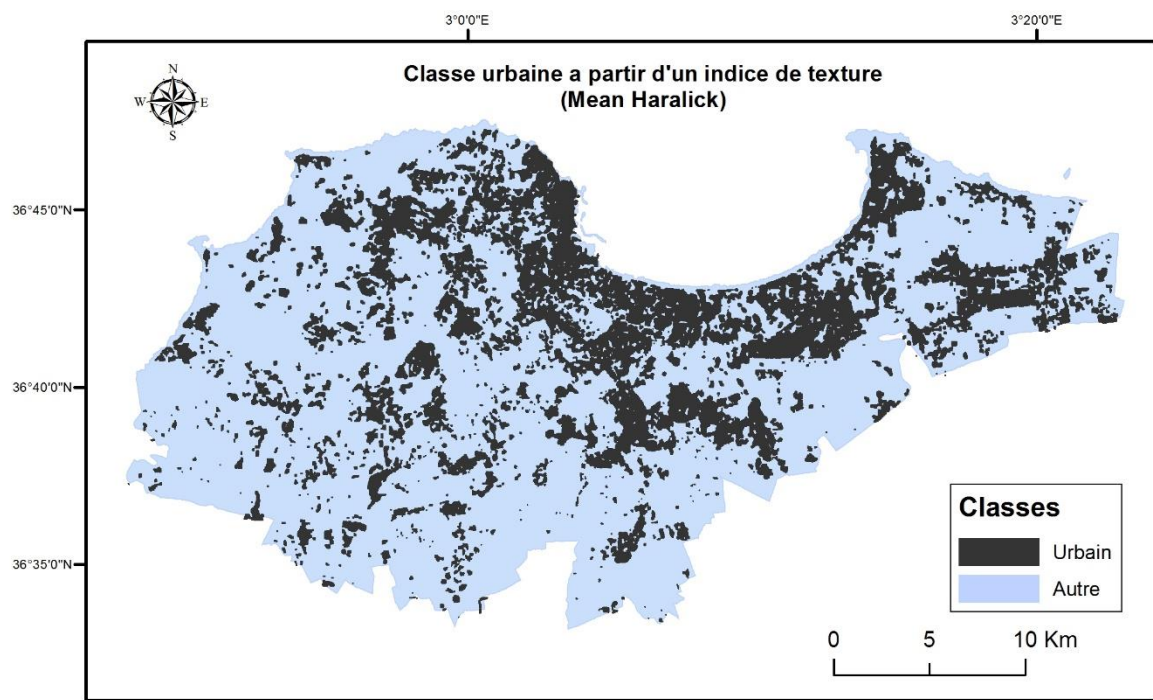


Figure 33: Carte de la tache urbaine via un indice de texture

Les indices de texture par le biais du sous-indice "Moyenne" (figure 33) permettent d'observer les zones urbaines les plus denses, néanmoins certaines petites agglomérations urbaines (ayant moins de densité texturale), ne sont malheureusement pas considérées.

1.2 Extraction par classification Orientée-Pixel

Les processus classifications présentent l'avantage de ne pas classer uniquement les taches urbaines, mais toute l'occupation du sol, tout en maintenant la classe « urbain » comme objet focal, l'approche orientée pixel est axée autour de la discrétisation mathématique de valeur spectrale, plusieurs types de classifications ont été testés ; non-supervisée (K-means et IsoData), Supervisée, Arbre de décision.

1.2.1 Extraction par classification non-supervisée ; K-means

Le K-means nécessite divers essais pour aboutir aux paramètres optimaux (nombre de classes ; 8, seuil de changement 30% et nombre d'itération ; 3).

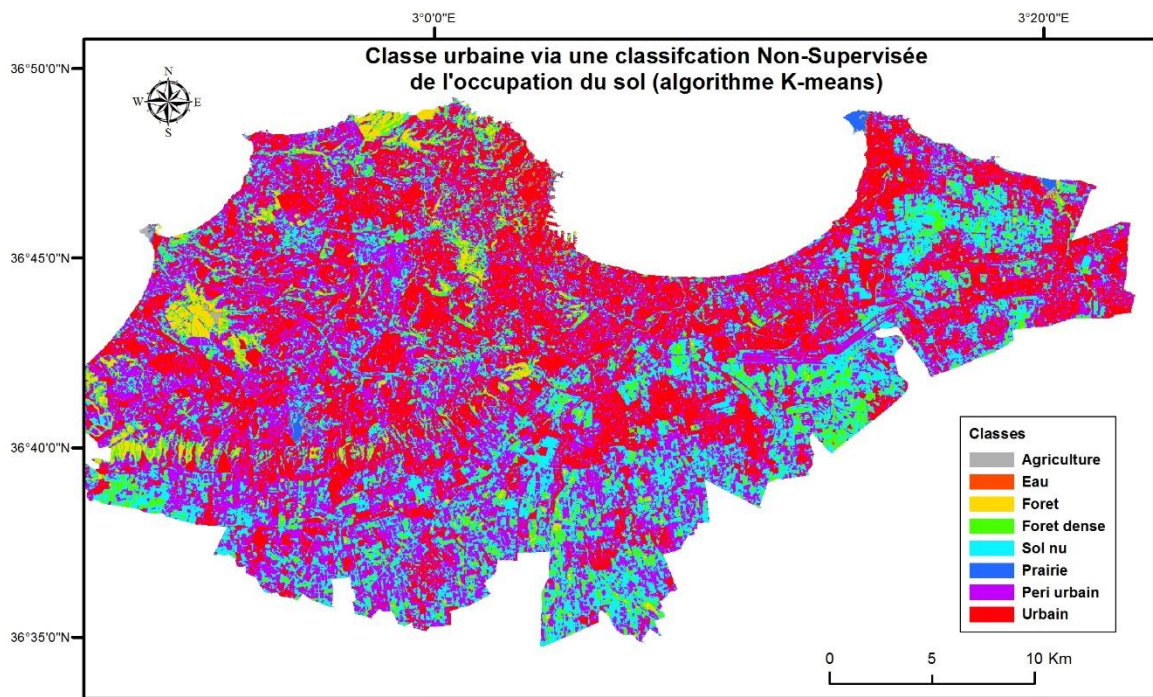


Figure 34: Carte de l'occupation du sol via une classification K-Means

La forme de la tache urbaine est bien visible dans le paysage (figure 34), on observe néanmoins des confusions claires entre les classes « Urbain-Periurbain », « Sol nu-Prairie ».

1.2.2 Extraction par classification non supervisée, Iso-Data

Le choix des valeurs paramètres en entrée de l'algorithme IsoData doit passer également par de nombreux essais pour une classification optimale (nombre de classes ; 6, seuil de changement 35% et nombre d'itération 2), il existe aussi certains paramètres additionnels (d'affinement de la classification) comme l'écart type, les distances interclasses et le minimum pixellaire constitutif d'une classe.

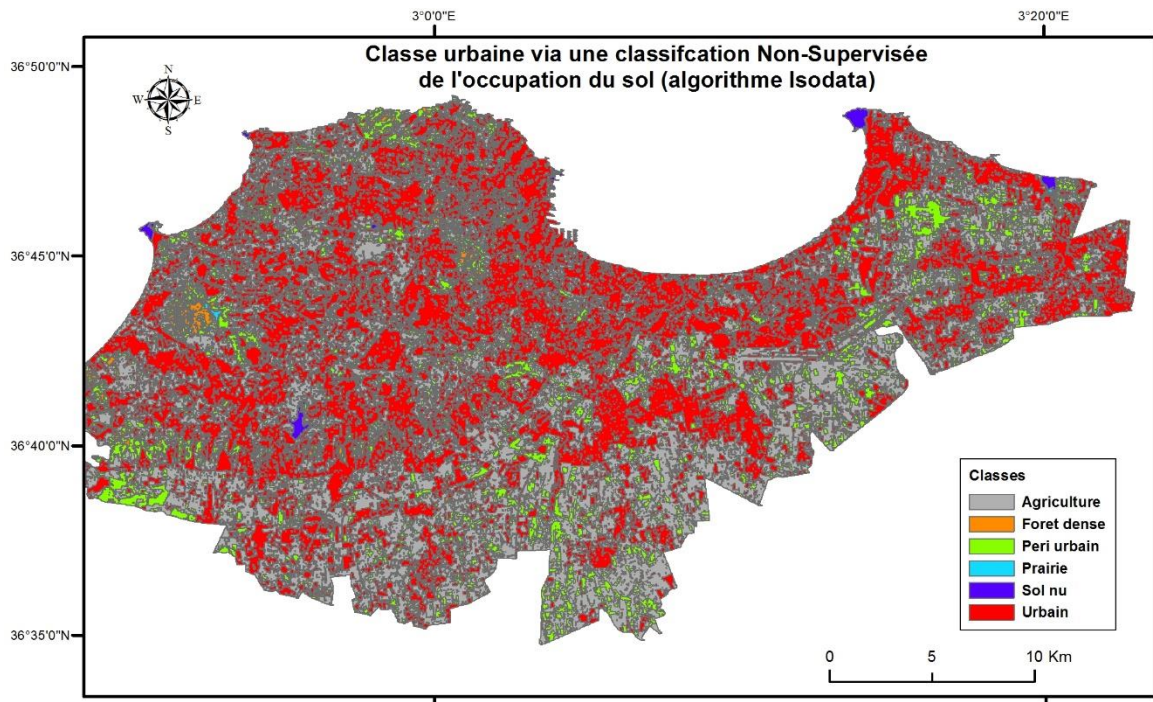


Figure 35: Carte de l'occupation du sol via une classification IsoData

La classe « urbain » est plus hachurée dans cette classification (figure 35), l'agriculture est mieux discriminée, mais présente certaines confusions avec la classe « prairie ».

1.2.3 Extraction par classification supervisée

L'approche supervisée, dont la qualité est souvent dépendante de la qualité de l'échantillonnage, présente de meilleurs résultats par rapport aux classifications non-supervisées, (figure 36).

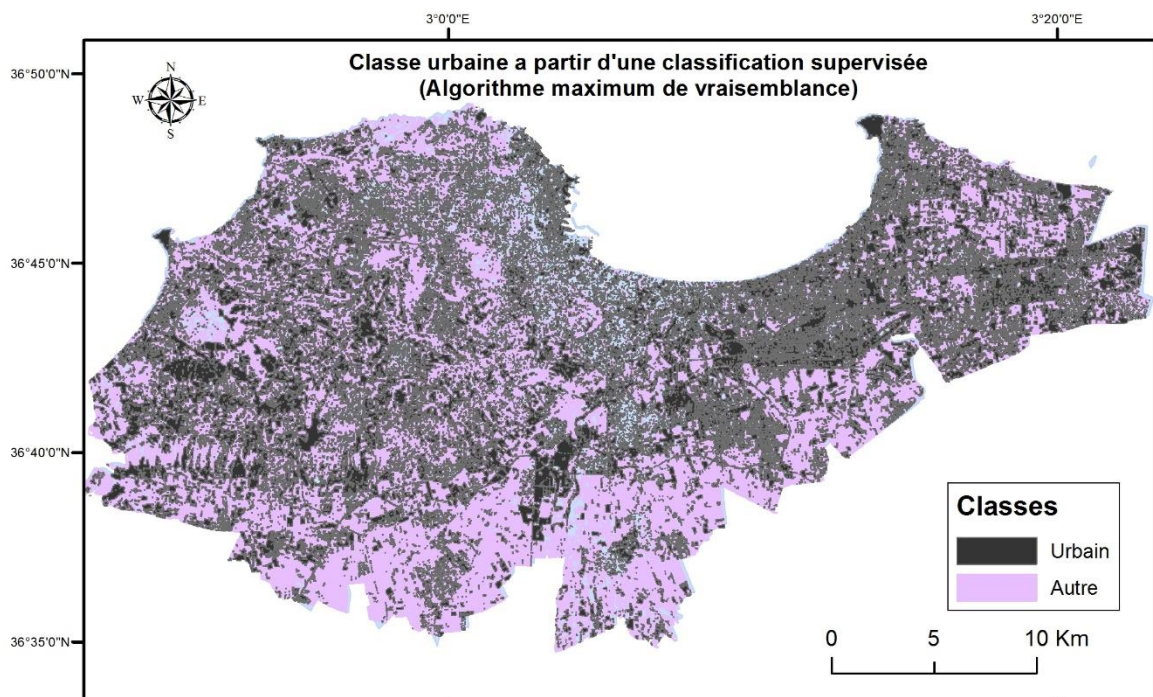


Figure 36: Carte de la tache urbaine via une classification supervisée

L'échantillonnage des régions d'intérêt a été réalisé que sur la tache urbaine uniquement (pour minimiser l'erreur de l'utilisateur), et permet une extraction correcte avec certaines surestimations de la zone urbanisée (notamment les sols nus et les routes).

1.2.4 Extraction par classification « Arbre de décision »

L'arbre de décision permet une approche multisources, ou les classes peuvent être créées à partir d'un seuillage binaire à travers une logique floue (figure 37), en combinant diverses sources de données (NDVI, bande spectrale, ancienne classification....).

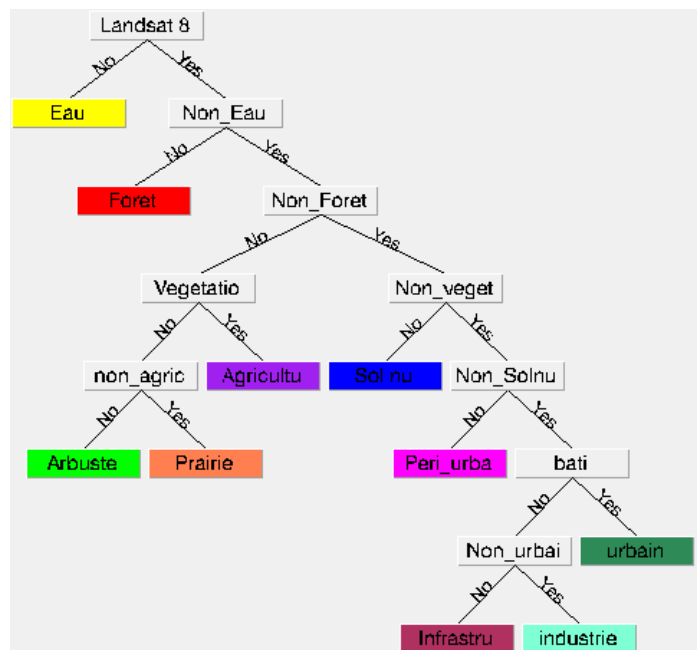


Figure 37: Schéma de l'arbre de décision réalisé

C'est une approche qui fournit un des meilleurs résultats parmi les classifications orientées-pixels (figure 38).

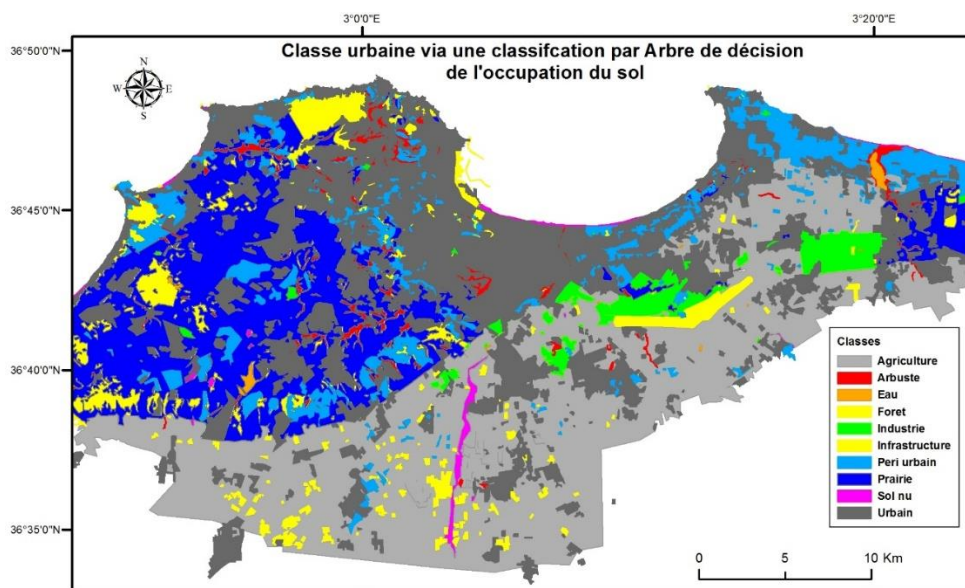


Figure 38: carte de l'occupation du sol via une classification par arbre de décision

1.3 Extraction par classification orientée-objet

Basée soit sur une classification hiérarchique (classe mère-classe fille) où une appartenance de groupe, cette approche nécessite d'abord une segmentation de l'image, elle permet également diverses possibilités de discrimination outre que le volet spectral, "forme, géométrie, voisinage...", (figure 39).

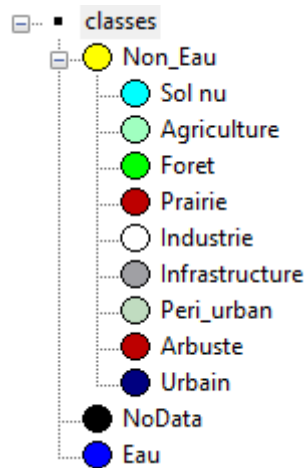


Figure 39: Classes hiérarchiques, approche orientée-objet

Plusieurs types de segmentation sont possibles, celle retenue dans cette étude est "la segmentation multirésolution" (Baatz, 2000), le tableau 15 ci-dessous montre les paramètres de la segmentation retenus.

Tableau 3: caractéristiques la segmentation réalisée

Paramètres	Valeurs
Type de segmentation	Multirésolution
Bande de segmentation	B1, B2, poids (1, 1)
Echelle de segmentation	10
Paramètres de forme	5
Paramètre de compacité (couleur)	1

Néanmoins, bien qu'efficace sur l'imagerie à très haute résolution, la segmentation des objets urbains avec des scènes Landsat (30 m), est parfois fastidieuse (Hussain, et al., 2013), notre classification présente en effet certaines confusions « Prairie-Peri urbain », et « Urbain-Peri urbain », figure 40.

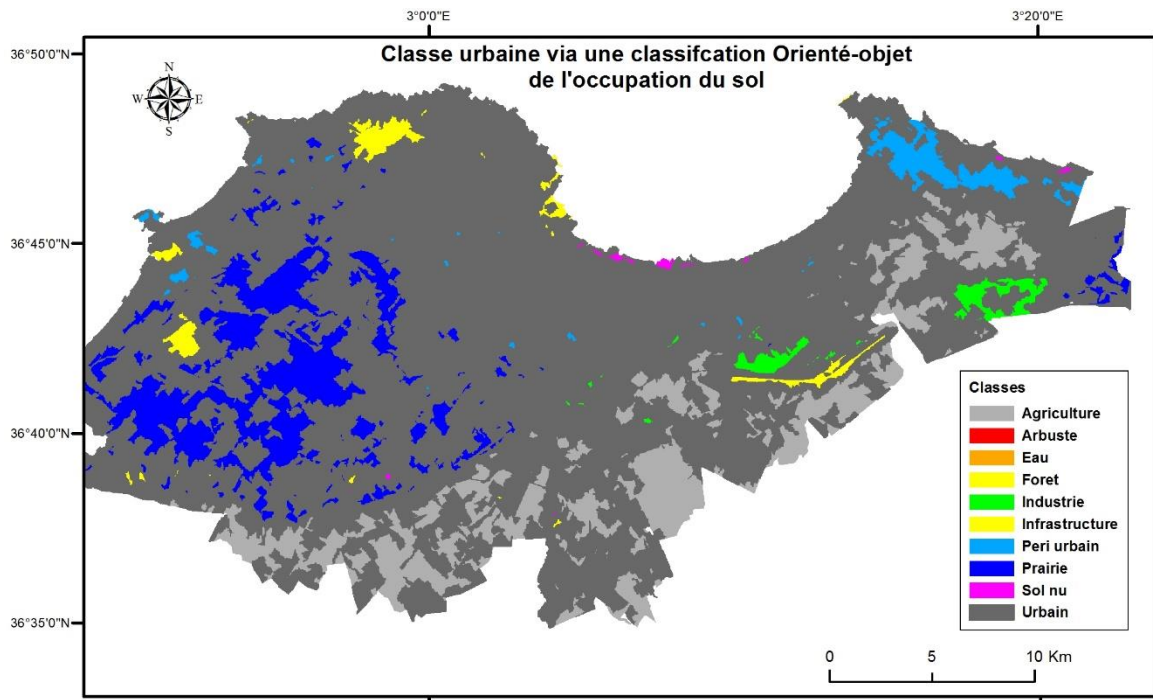


Figure 40: Carte de l'occupation du sol via une approche orientée-objet

1.4 Évaluation des approches d'extraction de la classe urbaine

En vue de comparer la qualité de la classe urbaine fournie par chacune des cartographies précédentes, une grille de points vérité-terrain régulièrement disposés sur le territoire algérois a été créée (figure 41).

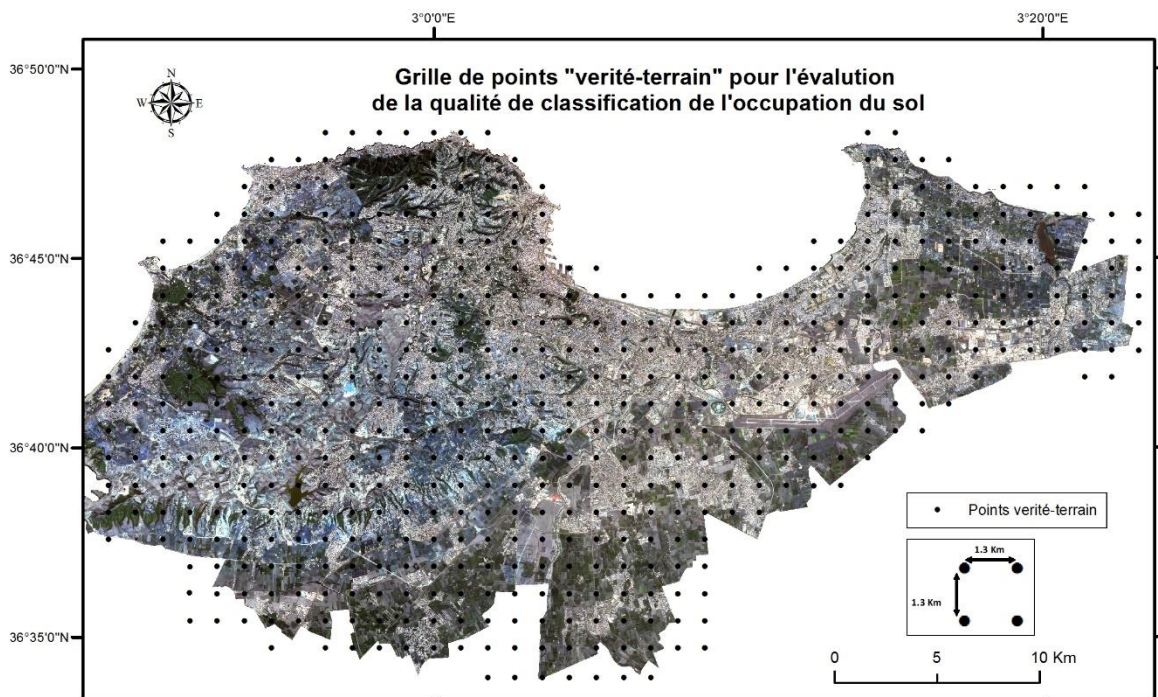


Figure 41: Disposition des points "vérité-terrain"

Pour chacun de ces points, des informations attributaires sont renseignées sur l'occupation réelle du terrain (vérité) ainsi que sur la classe fournie par chacune des approches (figure 42).

	FID	Realite Terrain	Arbre decision	Objet	Band bleue	Kmeans	Isodata	Supervisee	Harralick	IB
	0	Urbain	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Autre	Autre	Urbain
	1	Urbain	Agriculture	Peri urbain	Urbain	Autre	Autre	Autre	Autre	Autre
	2	Urbain	Agriculture	Unclassified	Urbain	Autre	Autre	Autre	Autre	Autre
	3	Urbain	Urbain	Unclassified	Urbain	Autre	Autre	Autre	Autre	Autre
	4	Peri urbain	Peri urbain	Unclassified	Urbain	Autre	Autre	Autre	Autre	Autre
	5	Urbain	Prairie	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Autre	Autre	Autre
	6	Agriculture	Agriculture	Unclassified	Urbain	Urbain	Urbain	Autre	Urbain	Urbain
	7	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Autre	Urbain	Autre	Autre	Autre
	8	Sol nu	Agriculture	Unclassified	Urbain	Autre	Autre	Autre	Autre	Autre
	9	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Autre	Autre	Autre	Autre	Autre
	10	Agriculture	Agriculture	Peri urbain	Urbain	Autre	Autre	Urbain	Autre	Autre
	11	Urbain	Urbain	Peri urbain	Urbain	Autre	Autre	Urbain	Autre	Autre
	12	Eau	Eau	Unclassified	Urbain	Autre	Autre	Autre	Autre	Autre
	13	Prairie	Prairie	Unclassified	Urbain	Autre	Urbain	Urbain	Autre	Urbain
	14	Urbain	Prairie	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Autre	Urbain	Autre
	15	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Autre	Autre	Autre	Autre	Autre
	16	Sol nu	Agriculture	Unclassified	Urbain	Autre	Autre	Autre	Autre	Autre
	17	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Autre	Autre	Autre	Autre	Autre

Figure 42: Table attributive des points "vérité-terrain"

L'alimentation des champs « réalité terrain » se fait en superposant la grille sur une mosaïque d'images à très haute résolution (combinaison entre Alsat 2 et Sentinel 2), permet de mieux identifier les objets géographiques (par rapport aux données Landsat à 30 m de résolution), voir figure 43 ci-dessous.

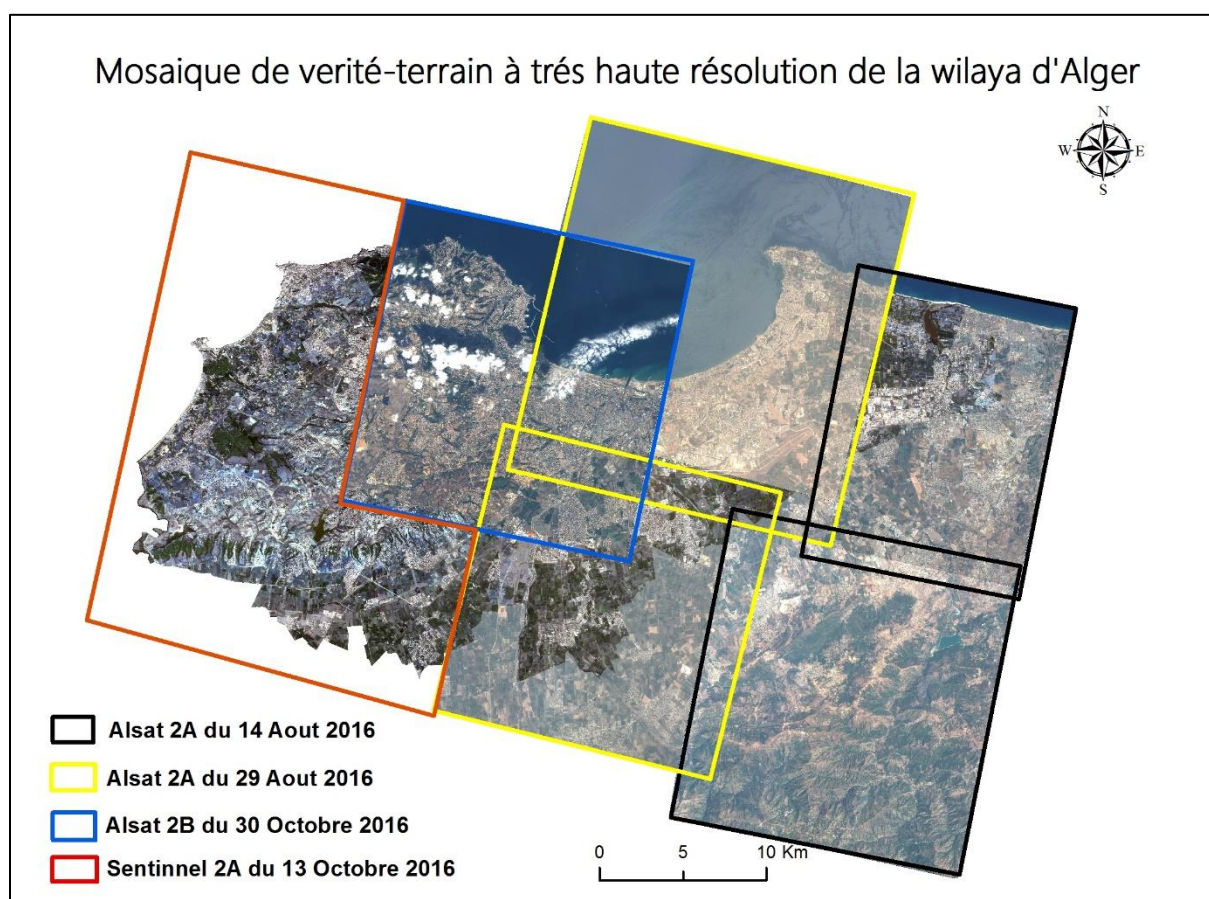


Figure 43: Mosaïque d'images de Photointerprétation/validation

Cette mosaïque à très haute résolution de 2016, servira donc comme base de connaissance et de photo-interprétation, en vue d'alimenter la table « vérité-terrain ».

Ainsi à partir de la grille précédente la qualité de classification est calculée suivant la formule suivante :

$$\text{Formule : } \sum_j^1 (X_j) \left[\left(\frac{N_T}{N_A} \right) \times 100 \right] \dots\dots\dots (1)$$

X_{1-j} : Classes d'occupation du sol

N_T : Nombre d'observations correctes pour une classe X (entre la vérité terrestre et la carte classée).

N_A : Nombre total d'observations par classe X

On dresse ainsi un tableau synthétisant la qualité de chacune des approches (tableau 16):

Tableau 4: Comparaison de la qualité des approches

	Nombre de points urbain	Point Corrects (Vérité)	Qualité (%)
Extraction par valeur spectrale "Bande Bleue"	117	81	69,23
Extraction par indice radiométrique IB	108	55	50,92
Extraction par texture (Haralick)	107	55	51,40
Extraction par classification Orienté-Pixel (K-means)	157	71	45,22
Extraction par classification Orienté-Pixel (Iso-Data)	218	87	39,91
Extraction par classification Orienté-Pixel Supervisée	156	59	37,82
Extraction par classification Orienté-Pixel (arbre de décision)	158	24	84,81
Extraction par classification Orienté-Objet	99	17	82,83

L'approche retenue est ainsi la classification par arbre de décision (84,81%).

1.5 Cartes multitemporelles

A l'aide de l'approche retenue précédemment (arbre de décision), des cartes multitemporelles ont été réalisées pour les années 1985, 2000, 2015, ci-dessous un aperçu des trois cartes d'occupation du sol (figure 44, 45, 46).

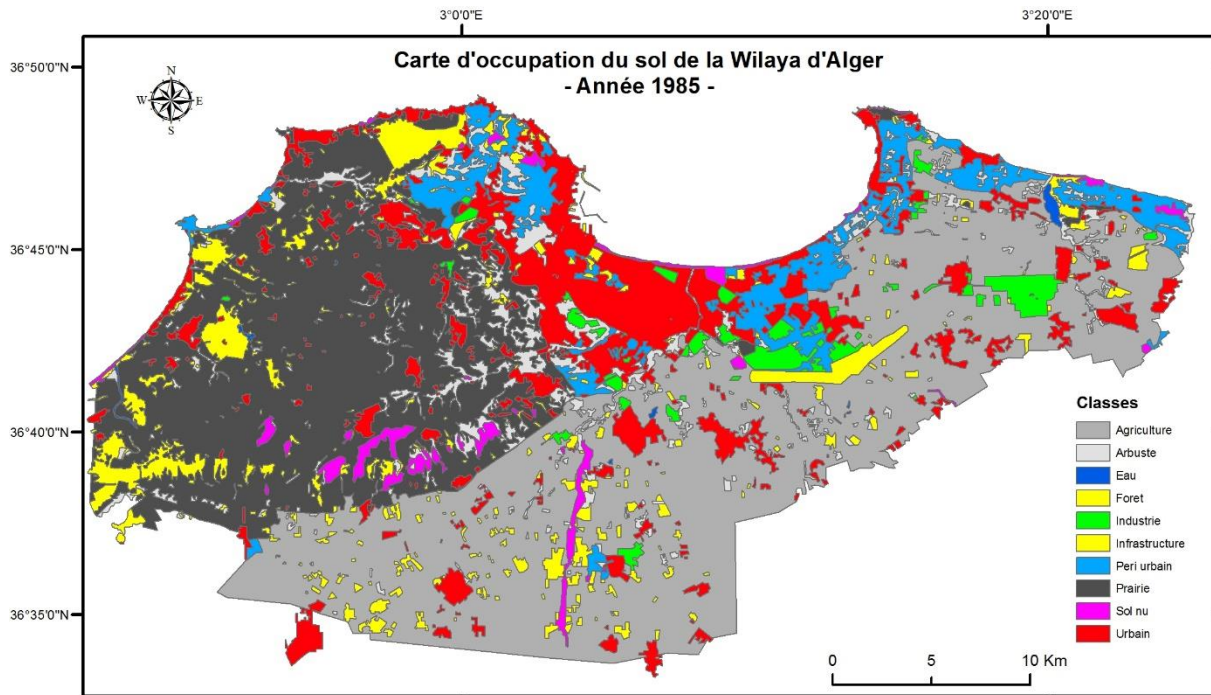


Figure 44: Carte d'occupation du sol de 1985

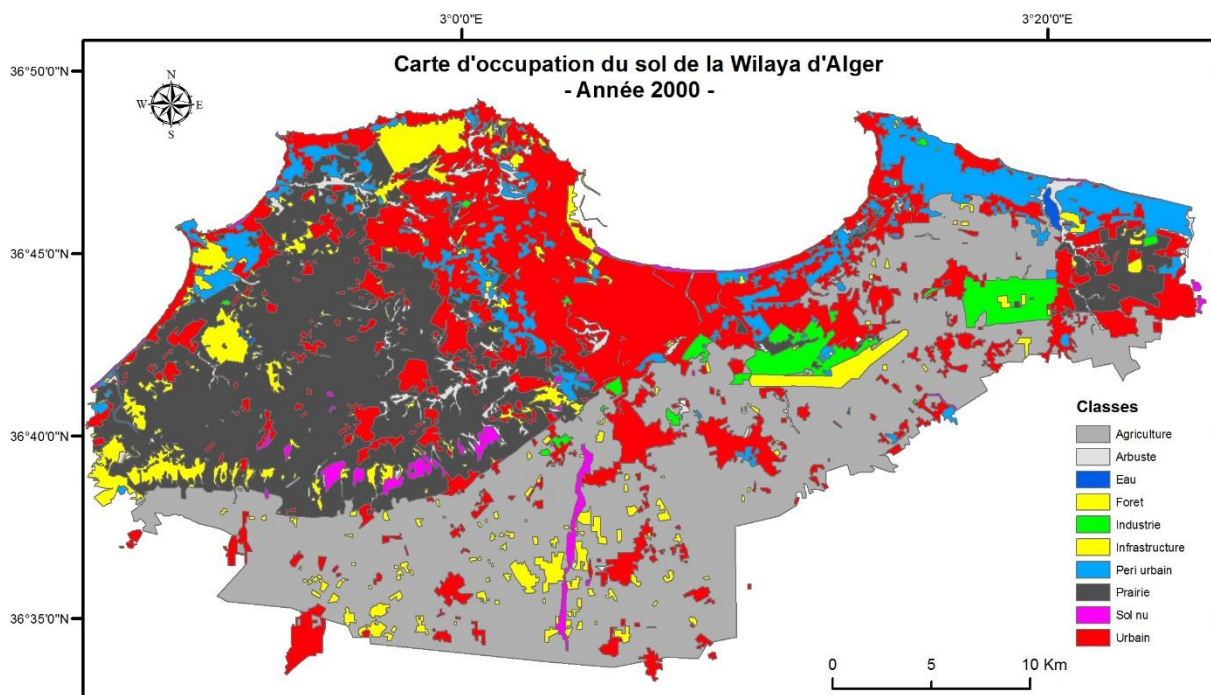


Figure 45: carte d'occupation du sol de l'an 2000

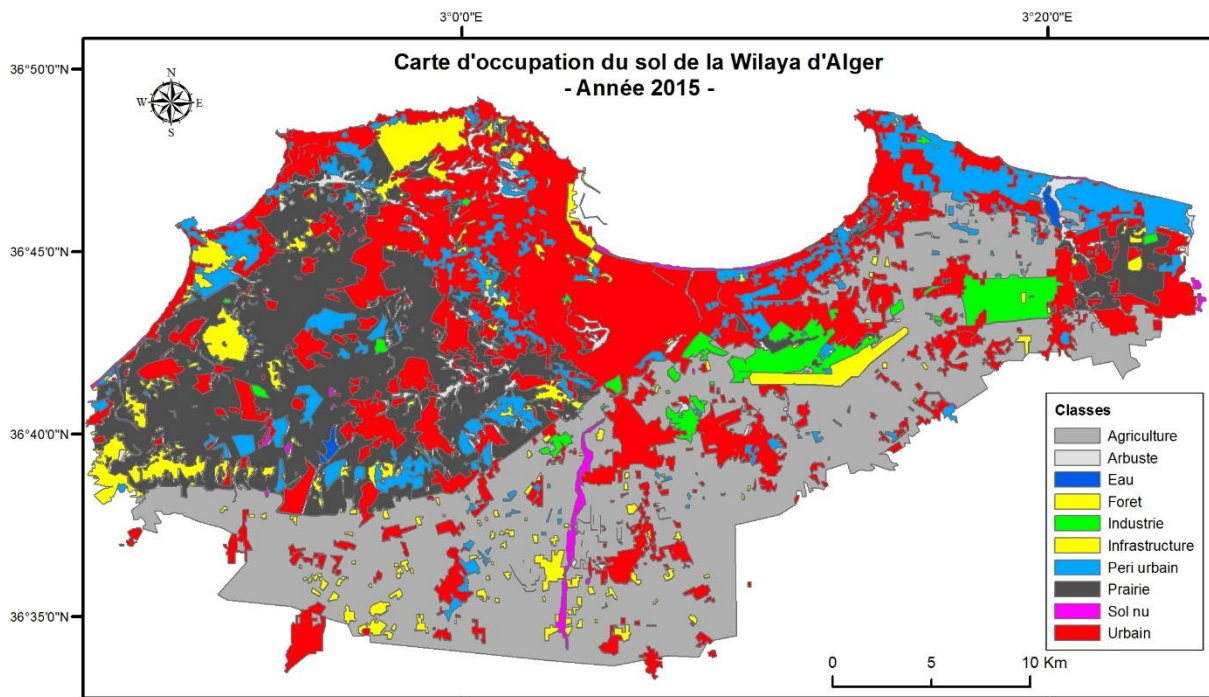


Figure 46: Carte d'occupation du sol de l'an 2015

La carte 2015 a été validée par la mosaïque précédente (images Alsat 2A, Alsat 2B, Sentinel 2A de 2016 (à 10 m de résolution) de la wilaya d'Alger, quant aux deux autres cartes d'occupation du sol (1985, 2000) elles ont été validées respectivement, à partir de :

- Carte topographique de l'année 1987, à l'échelle 1:50000 (produit par l'INCT) de la région d'Alger.
- Mosaïque de photographies aériennes de 1999, à l'échelle 1:10000 de la zone algéroise (produit par l'INCT).

Deux champs additionnels « vérité 1985 » et « vérité 2000 » ont été donc ajoutés à la grille précédente et avec la même formule de validation précédente, le tableau 17 suivant, montre la qualité des 3 classifications multitemporelles pour les 10 classes d'occupation du sol.

Tableau 5: Qualités des classifications multitemporelles

	Réalité 1985	Classif 1985	Qualité 1985	Réalité 2000	Classif 2000	Qualité 2000	Classif 2015	Réalité 2015	Qualité 2015
Agriculture	199,0	220,0	87,3	170,0	210,0	82,2	191,0	199,0	84,9
Arbuste	26,0	25,0	92,0	10,0	16,0	70,5	10,0	3,0	100,0
Eau	1,0	2,0	50,0	1,0	1,0	100,0	1,0	1,0	100,0
Forêt	33,0	37,0	83,8	30,0	40,0	75,0	30,0	24,0	79,2
Industrie	10,0	17,0	58,8	5,0	7,0	77,0	15,0	9,0	88,9
Infrastructure	6,0	3,0	100,0	3,0	2,0	66,6	3,0	4,0	75,0
Peri urbain	46,0	34,0	76,5	34,0	45,0	80,0	35,0	32,0	68,8
Prairie	141,0	130,0	99,2	110,0	140,0	78,6	103,0	43,0	151,2
Sol nu	16,0	14,0	64,3	5,0	6,0	83,3	3,0	4,0	25,0
Urbain	70,0	78,0	80,8	133,0	140,0	95,0	158,0	173,0	77,5
Qualité Occupation du sol	79,3%			80,8%			85,0%		

Les classifications sont meilleures pour l'image de 2015 (85%) en raison de la meilleure qualité optique du capteur Landsat 8 OLI, par rapport au ETM+ (80,8%) et TM (79.3%), voir attributs de grille d'évaluation (annexe n°5).

2. Évaluation de la dynamique urbaine et l'évolution du paysage

Après la cartographie multitemporelle, la phase de lecture-analyse des résultats se fera selon deux approches ; une approche classique, ou les surfaces urbaines sont quantifiées statistiquement par commune et par date (Saadi, 2008) (Medjadj, 2008), cela permet de percevoir les tendances géographiques globales de l'urbanisation. Une deuxième méthode d'analyse sera abordée qui est aussi complémentaire à la première, c'est l'approche des métriques du paysage, ce sont des indices de mesure géométrique d'un objet urbain (Gustafson, 1998) sous sa forme et sa densité, mais aussi dans son entourage (hégémonie, isolement, diversité...).

2.1 L'approche des statistiques surfaciques « classique »

À partir des taches urbaines multidates (figure 47), on observe que la première couronne (Alger-centre, Bologhine, Bab Eloued, Casbah, Belouzidad) était déjà un bloc consolidé en 1985, d'autres communes plus détachées à cette couronne étaient aussi présentes à l'Est (Rouiba, Réghaia,), au Centre (Hydra, Kouba, Birkhadem) et à l'Ouest (Chéraga, Dely Brahim, Beni Messous).

Alger qui était un territoire "aéré" en 1985, "fortement fragmenté" en 2000, devient "partiellement saturé" par l'urbanisation en 2015 sur sa frange littorale.

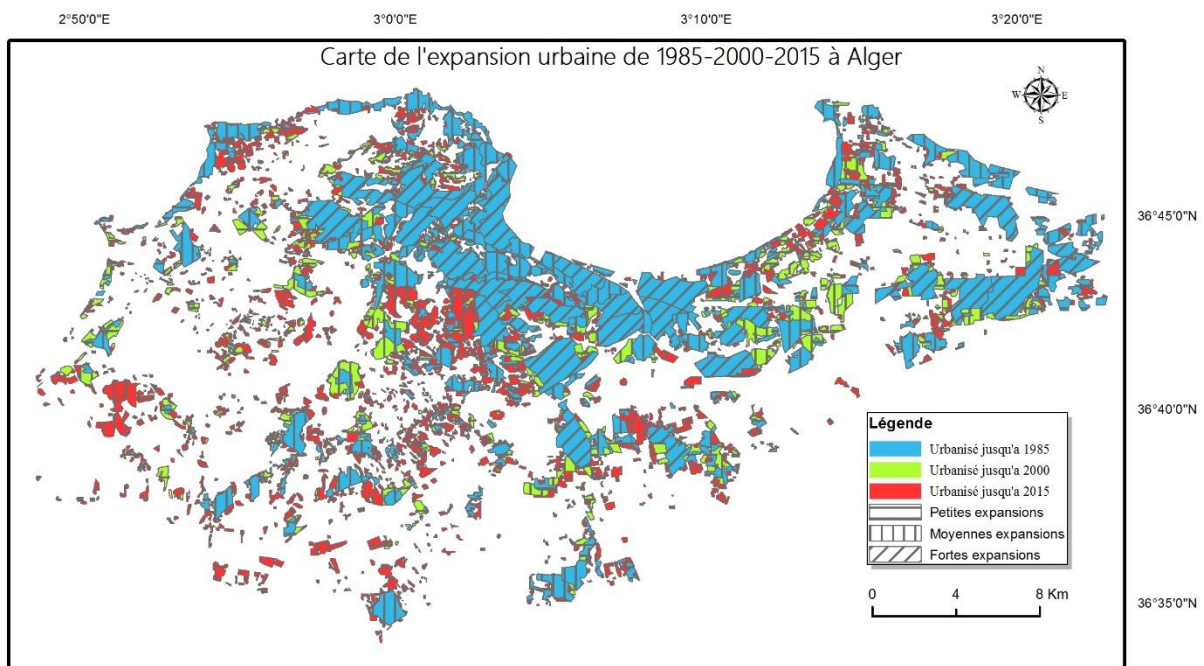


Figure 47: carte de l'urbanisation spatiotemporelle

On constate la création de nombreux petits noyaux urbains en 2000 souvent sur des terres agricoles ou à proximité des oueds, ces noyaux se sont développés en 2015, on note également la consolidation en 2015 des agglomérations compactes au détriment de terres agricoles.

Concernant la zone littorale de la baie d'Alger, les communes connaissent des développements urbains variés (tableau 18), les communes anciennement urbanisées du centre-ville (Bab Eloued ; Bologhine, Casbah Belouzidad...) ont les taux d'urbanisation les plus élevés (> 60 %).

Tableau 6: Taux d'urbanisation dans le littoral de la baie d'Alger (km², %)

	Surface en km ²				Taux d'urbanisation (%)
	Surface totale	Urbanisée en 1985	Urbanisée en 2000	Urbanisée en 2015	
Alger-Centre	3,85	2,09	0,0	0,01146	54,50
Bab El Oued	1,17	0,90	0,0	0,05632	81,70
Belouizdad	2,14	1,27	0,0	0,04981	61,83
Bologhine	2,66	1,82	0,0	0,16026	74,40
Bordj El Bahri	7,78	2,21	1,0623	1,86261	65,95
Bordj El Kiffan	22,18	4,99	3,2801	3,79794	54,42
Casbah	1,09	0,79	0,0	0,00770	72,81
El Marsa	3,87	1,28	0,1170	0,45100	47,74
Hussein Dey	4,20	2,44	0,0137	0,07116	60,16
Mohammadia	7,94	4,67	0,2553	0,78150	71,81
Raïs Hamidou	4,76	1,44	0,0292	0,79386	47,52

Néanmoins, le taux d'urbanisation élevé ne concerne pas seulement la première couronne, mais aussi des communes urbanisées récemment (Bordj El Bahri, Bordj El Kiffan, Mohammadia) qui affichent des taux d'urbanisation supérieurs à 50 % (voir annexe n°4 pour le reste de communes de la wilaya).

La wilaya d'Alger est urbanisée à 36,4 % (figure 48), correspondant à 279,72 km² de terre urbanisée sur une superficie totale de 786.44 km², principalement sur sa bande côtière très prisée.

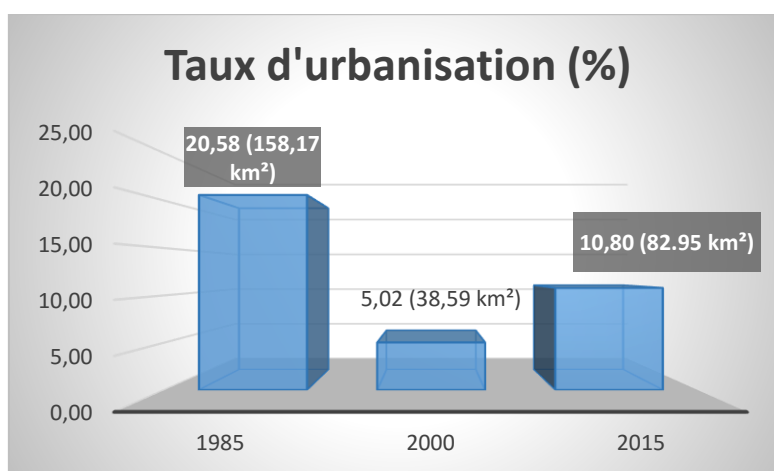


Figure 48: Taux d'urbanisation par date

Les surfaces urbanisées avant 1985 représentent environ 20.58% contre 5.02 % en 2000 et 10.8% en 2015.

En tenant en compte que l'urbanisation jusqu'en 1985, inclus l'urbanisation de la période coloniale (depuis 1830) le tout ne représentant que 20.58% en 130 ans, contre 15.82% durant les trois dernières décennies seulement (1985-2000-2015), on constate que le rythme de l'urbanisation est très élevé.

Le taux moyen d'urbanisation dans la wilaya est d'environ 51.27%, un taux très alarmant, les communes côtières sont au-dessus de la moyenne, celles composant la baie d'Alger sont les plus urbanisées en moyenne 62.99%, le tableau 19 ci-dessous synthétise quelques chiffres clés sur l'urbanisation algéroise.

Tableau 7: Quelques chiffres marquants sur l'urbanisation algéroise (km², %)

Statistiques-clés sur l'urbanisation	
Taux moyen	51,27
Taux des communes côtières	51.39
Taux des communes non côtières	50.99
Taux des communes côtières de la baie	62,99
Min-Max commune côtière	18,31 (Hammamet) - 81,64 (Bab El Oued)
Min-Max commune non-côtière	11,18 (Souidania) - 99,96 (Sidi Mhamed)
Mix Max commune côtière de la baie	47,52 (Rais Hamidou) - 81,70 (Bab Eloued)
Plus forte surface d'urbanisation en 2015	4,56 (Les Eucaliptus)
Plus forte surface d'urbanisation en 2000	3,28 (Bordj El Kiffan)
Plus forte surface d'urbanisation en 1985	11,06 (Réghaia)

2.2 Typologie de l'expansion urbaine

À partir de nos cartes multitemporelles, on observe une multitude de formes de développement urbain ; simple, entourée ou plutôt complexe, les typologies du développement urbain à Alger identifiées sont synthétisées ci-dessous.

2.2.1 Forme 1: Noyaux développés en 1985, soutenus en 2000 puis encore soutenus en 2015

Certaines communes de la part de leur position favorable au transport pendulaire vers la capitale, comme exemple la commune de Baba Hassen (figure 49), possédait déjà une ossature urbaine en 1985, ce sont développés régulièrement durant les trois dernières décennies jusqu'en 2015.

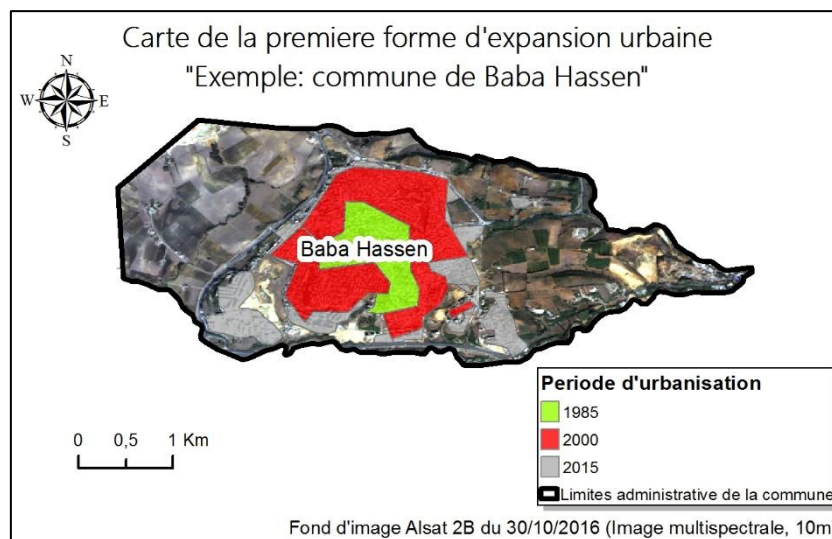


Figure 49: Carte de la première forme d'expansion

En effet cette commune par sa position centrale dans la wilaya ainsi que sa proximité de certaines communes économiquement actives (Dely Brahim, Ben Aknoun, Cheraga), été devenu démographiquement attractive et donc sujette de développement urbain continu.

2.2.2 Forme 2 : Noyaux développés en 1985, soutenus en 2000 puis stables

Certaines agglomérations déjà présentes en 1985 comme la commune de Birtouta (ancien village colonial), ce sont développés dans la période 1990-2000 avec l'exode rurale vers la capitale (Nedjai, et al., 2016), (figure 50).

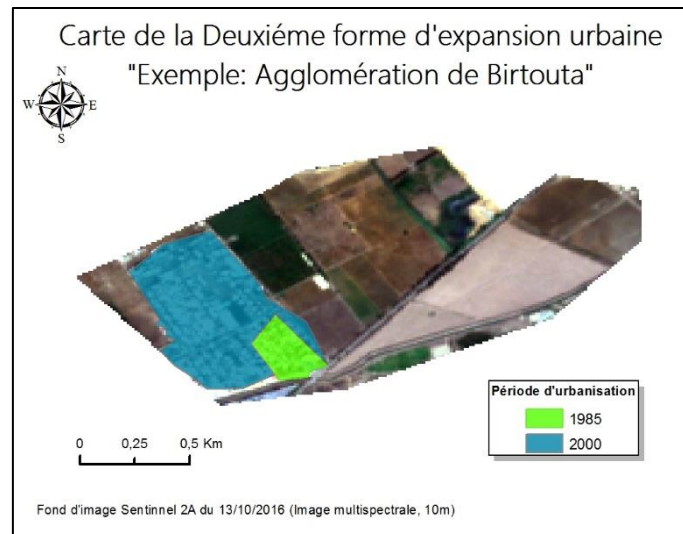


Figure 50: Carte de la deuxième forme d'expansion

En effet éloigné de la capitale et donc subissant moins la surveillance des polices urbaines, ce type d'agglomération s'est bien répondu jusqu'en 2000, surtout avec l'ouverture de la politique du lotissement autonome.

2.2.3 Forme 3 : Noyaux développés en 1985 puis stables

On retrouve certains patelins urbains isolés des grandes agglomérations, que ce soit des habitats agricoles datant de la période postcoloniale, ou de l'indépendance, tel est l'exemple du domaine Ben Daly-Bey dans la commune de Rouiba (figure 51)

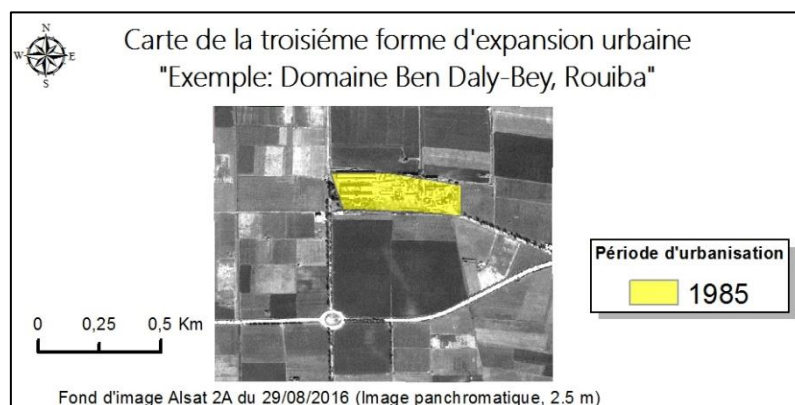


Figure 51: carte de la troisième forme d'expansion

Datant d'avant 1985 ce type existe dans wilaya, même si il n'est pas très répondu, et résiste à l'expansion, tant pour des raisons géographiques (éloignement des chefs-lieux), ou pour des contraintes juridiques freinant son expansion (entourée de parcelles agricoles).

2.2.4 Forme 4 : Noyaux développés en 1985 stables en 2000 puis soutenus en 2015

Certaines communes anciennes, déjà présentes en période coloniale comme exemple la banlieue de Réghaia (figure 52), ont été privées de développement urbain entre 1985 et 2000 pour

diverses raisons (position géographique non-favorable, terre agricole à l'époque, mais expropriée par la suite...)

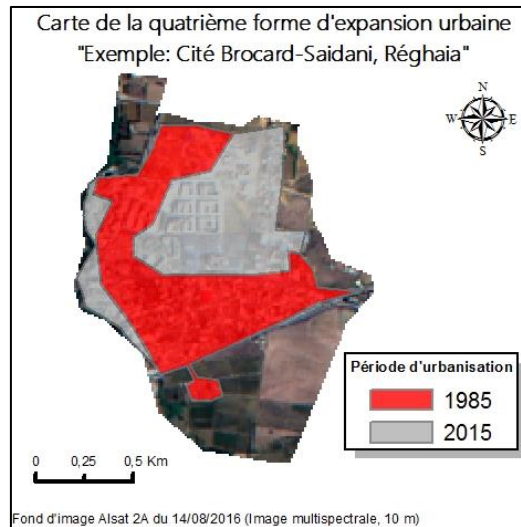


Figure 52: Carte de la quatrième forme d'expansion

On observe clairement sur la carte qu'il s'agit d'habitat collectif, ou l'investissement étatique est plus ressenti entre 2000 et 2015 (habitat social, participatif, promotionnel ...).

2.2.5 Forme 5 : Noyaux développés en 2000 puis soutenus en 2015

Dans l'Ouest algérois (plus attractive touristiquement), certaines agglomérations nouvelles ont vu le jour avant l'an 2000, comme la nouvelle ville de Sidi Abdellah (figure 53).

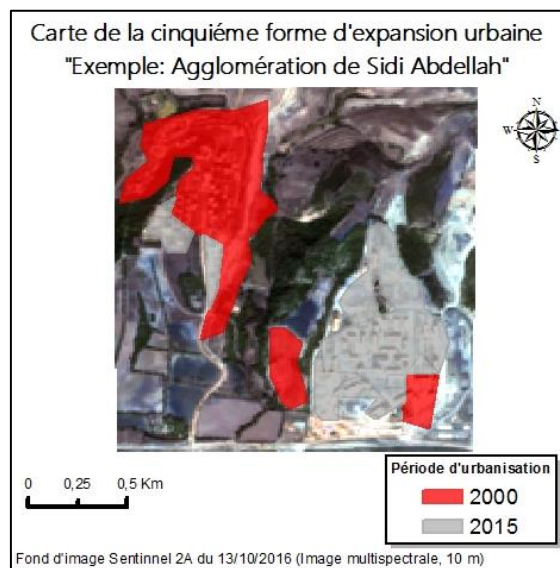


Figure 53: Carte de la cinquième forme d'expansion

C'était un projet de ville-pilote, mais retardé à plusieurs reprises que ce soit pour des problèmes budgétaires (fin des années 1990), ou pour des soucis techniques, le projet connaît jusqu'à nos jours une expansion urbaine (projet d'habitat collectif, infrastructure de base, cité High-tech...).

2.2.6 Forme 6 : Noyaux développés en 2015 (non présent en 2000)

Ce sont des agglomérations construites récemment, pour répondre au besoin grandissant en logement de la population algéroise (figure 54).

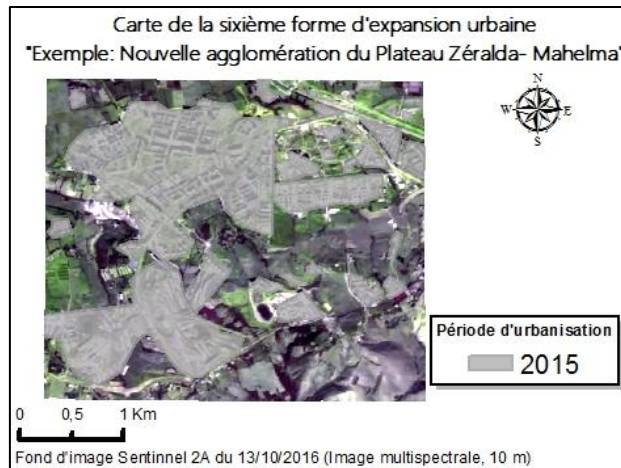


Figure 54: Carte de la sixième forme d'expansion

La commune de Zéralda (Alger-ouest) qui est parmi les communes ayant le plus de foncier libre, accueille plusieurs assiettes de chantier d'habitat collectif, la plupart accueillent des populations du centre et de l'Est de la Wilaya.

2.2.7 Forme 7 : Noyaux développés en 2000 et stables

Certaines agglomérations nouvelles se sont développées sur des parcelles vides dans le milieu rural (figure 55) à la périphérie de l'agglomération chef-lieu « commune de Sidi moussa ».

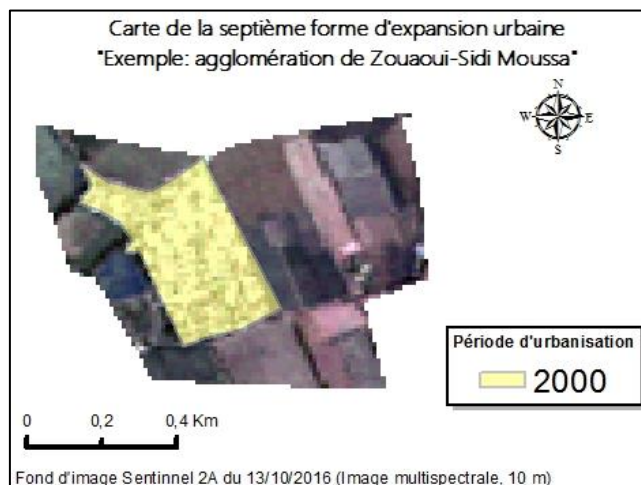


Figure 55: Carte de la septième forme d'expansion

Ce sont des habitats datant de l'exode rural durant la décennie noire (1990-2000), elles n'ont pas connu d'expansion additionnelle, car entourés de parcellaire agricole et étant déjà des zones vétustes.

2.2.8 Synthèse des formes d'expansion sur les communes littorales de la baie

L'analyse de l'urbanisation des communes côtières de la baie d'Alger (à partir des statistiques surfaciques de la section 4.1), selon les 7 formes décrites précédemment, donne les résultats suivants (tableau 20).

Tableau 8: Formes de croissance par commune côtière de la baie

Commune	Formes de l'expansion urbaine/ taux d'urbanisation globale						
	1	2	3	4	5	6	7
Alger-Centre							
Bab El Oued							
Belouizdad							
Bologhine							
Bordj El Bahri							
Bordj El Kiffan							
Casbah							
El Marsa							
Hussein Dey							
Mohammadia							
Rais Hamidou							

A base des valeurs de croissance surfacique (celles inférieure à 0.1 km², "non-significatives" sont ignorées), les formes d'expansion de 1 à 7 sont attribuées, ci-dessous un rappel de leur signification :

Forme 1 : Noyaux développés en 1985, soutenus en 2000 puis encore soutenus en 2015

Forme 2 : Noyaux développés en 1985, soutenus en 2000 puis stables

Forme 3 : Noyaux développés en 1985 puis stables

Forme 4 : Noyaux développés en 1985 stables en 2000 puis soutenus en 2015

Forme 5 : Noyaux développés en 2000 puis soutenus en 2015

Forme 6 : Noyaux développés en 2015 (non présent en 2000)

Forme 7 : Noyaux développés en 2000 et stables

La majorité des communes de l'ouest et du centre-historique (Alger-centre, Bab Eloued, Casbah), sont de la forme 3 (urbanisation ancienne stable), sauf pour Bologhine et Rais Hamidou où il y a eu également une expansion récente (forme 4), certaines communes résidentielles du centre-Ouest sont aussi restées stables comme Belouizdad et Hussein-dey, le reste des communes du centre (Mohammadia) et de l'Est (Bordj ElBahri, Bordj Elkiffan, El Marsa), contiennent majoritairement la forme 1 d'expansion, soit une croissance urbaine continue durant les 3 dernières décennies .

2.3 L'approche des Métriques du Paysage

Les métriques du paysage sont souvent utilisées pour effectuer une analyse empirique des tendances et des changements d'un territoire, de la biodiversité, des habitats, de la qualité de l'eau, de l'étalement urbain et du réseau routier (McGarigal, et al., 2002). Par rapport à l'approche surfacique précédente qui observe l'urbanisation d'une manière statistique, les métriques permettent une mesure plus géométrique des composantes intérieures de l'étalement urbain ainsi que sa forme géométrique et sa dispersion dans le paysage. Il existe une grande variété d'indices pour caractériser le paysage, certains décrivent le paysage par rapport à la proportion d'une classe en particulier, de sa superficie, par le nombre et le périmètre de chaque parcelle la composant, ou sur la complexité des formes dans le paysage en question. Les métriques du paysage ont été créées à la fin des années 1980, elles apportent une information sur des mesures spatiales d'un territoire ou d'une ressource et sa géométrie fractale (Gustafson, 1998). Les métriques paysagères permettent également de détecter les zones potentielles pour les trames vertes et d'évaluer l'adéquation des habitats à la planification et à la gestion du paysage et peuvent être des indicateurs extrêmement utiles pour mesurer l'efficacité des systèmes de gestion (Uuemaa, et al., 2009). La majorité des travaux académiques utilisant des indicateurs / indices de paysages sont consacrés à l'analyse de la biodiversité et de l'habitat. De plus, de nombreuses études se penchent la relation entre les mesures réelles du paysage face aux modèles prédictifs des changements (Uuemaa, et al., 2009). L'observation des phénomènes d'étalement urbain est un processus compliqué, en raison de la complexité des formes paysagères. Les métriques du paysage basées sur un raisonnement systématique appliqué à l'image classifiée ; fournissent une vision plus riche de la dynamique du paysage (Weber, et al., 2010).

Les métriques du paysage sont regroupées selon deux visions ;

- Soit selon l'échelle spatiale (Seto & Fragkias, 2005) et donc classées en trois groupes :

1. Les métriques au niveau du patch (composant) ; permettent de quantifier des entités individuelles, leur géométrie, nombre et dispersion dans le territoire (patelin urbain, Lac, forêt ...).
2. Les métriques de niveau de classe ; elles concernent des mesures variées sur la totalité des composants (patches) d'une même classe, permettant en l'occurrence de comparer par exemple la dominance d'une telle ou tel classe, ainsi que l'ensemble de leurs interactions.
3. Les métriques au niveau du paysage ; elles intègrent toutes les types où classes d'occupation du sol sur l'intégralité du paysage, elle offre la possibilité de qualifier l'ensemble du territoire d'une vision synoptique, de comparer divers paysages, ou diverses évolutions multidade.

- Ou bien classés selon leur vocation géométrique (Weber, et al., 2010) ou on distingue également 3 groupes d'indices :

1. Les indices de densité, surface et bordure : exemple ; densité des composants (PD), taille moyenne des composants (MPS), indice du composant majeur (LPI), pourcentage du paysage (PLAND) ;
2. Les indices de diversité : Indice d'équitabilité de Shannon (SHEI), Indice de Diversité (SHDI).
3. Les indices de contagion et d'intersection : Contagion (CONTAG), Indice d'agrégation (AI).

Deux principaux logiciels sur le marché permettent le calcul de ces métriques ; FRAGSAT¹ (McGarigal, et al., 2002), qui est un logiciel à libre accès de l'université di Massachusetts, et Patch Analyst² qui est une extension du logiciel ArcGIS®, logiciel propriétaire. Dans notre présent travail, on utilisera Fragstat (simplicité, reproductibilité, libre-accès).

Il existe une multitude de métriques de paysages, elles correspondent à des formules mathématiques dont les paramètres sont des variables géométriques de l'image, quatre métriques du paysage sont utilisées dans cette étude ; elles sont décrites dans le tableau 21, ci-dessous :

Tableau 9: Caractéristiques des métriques de paysage

Indice	Formule	Description	Niveau
Nombre de Patches (NP)	$NP = n_i \dots\dots\dots(2)$ $n_i = \text{Nombre de patches dans le paysage par type (class) } i.$	Le nombre de patches dans le paysage	Patch
Taille moyenne du Patch (Mean Patch Size; MPS)	$MPS = \frac{\sum S(i)}{NP} \dots\dots\dots(3)$ $S(i) = \text{Surface des patch d'une classe } i$ $NP = \text{Nombre de patches}$	Taille de moyenne de la composante du paysage par classe	Patch
Pourcentage du paysage par Classe (PLANDc)	$PLANDc = P_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} a_{ij}}{A} (100) \dots\dots(4)$ $P_i = \text{proportion du paysage occupé par type de patch (class) } i.$ $A = \text{surface totale du paysage (m}^2\text{)}.$	le pourcentage de paysage correspondant à une classe	Classe
Indice de diversité de Shannon (SHDI)	$SHDI = \sum_{j=1}^{n_i} (a_{ij} \ln P_i) \dots\dots\dots(5)$ $P_i = \text{Proportion du paysage occupée par type de patch (class) } i.$	La mesure de proportion des différents composants.	Paysage

Ces indices sont calculés sur nos trois images classifiées "1985,2000,2015" (figure 56), sur nos 10 classes d'occupation du sol, on retient 6 qui sont les plus influents (Urbain, Péri-urbain, Agriculture, Forêt, Prairie et Sol nu).

¹ <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

² <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempel/patch>

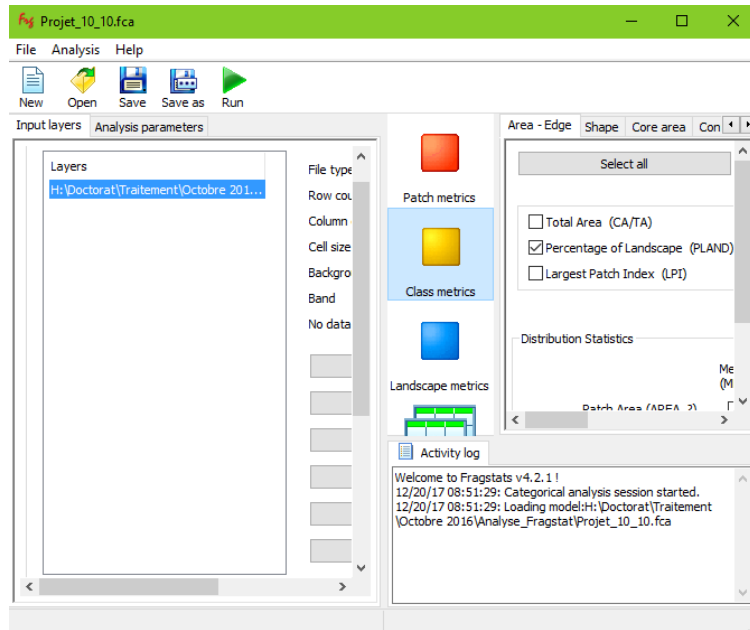


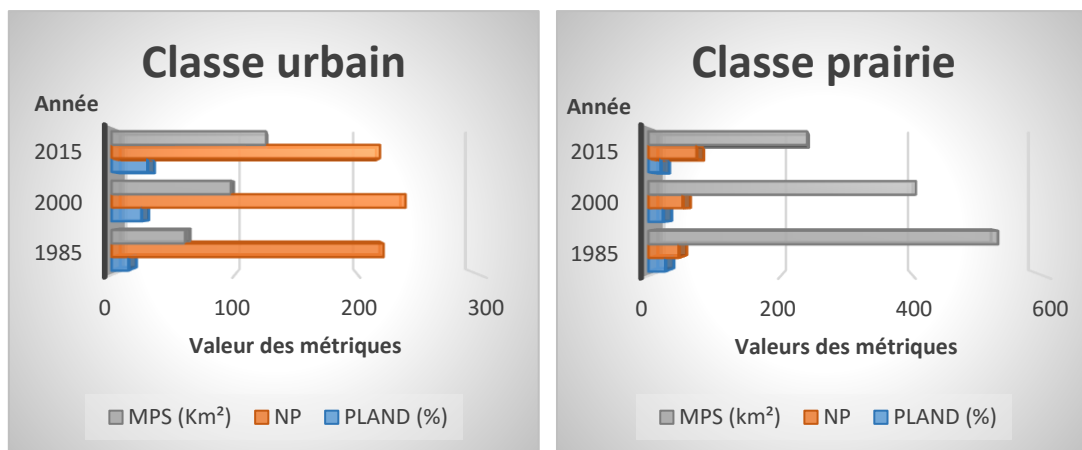
Figure 56: Aperçu du choix des métriques sur le logiciel Fragstat

2.3.1 Nombre de Patch, pourcentage du paysage, et taille moyenne du patch

Ces trois indices décrits précédemment ont été choisis car ils permettent d'observer 3 aspects très importants de l'étalement urbain ;

- Le nombre de noyaux urbains par paysage (NP) : et donc une meilleure comparaison du hachurage multitemporel du paysage.
- Le pourcentage du paysage (PLANDc) : permet de voir le taux d'hégémonie urbaine par date, par rapport aux autres composantes du paysage.
- La taille moyenne d'un patch (MPS) ; permet de voir la taille des noyaux urbains par exemple, et leur évolution multitemporelle.

Les résultats des indices sont synthétisés pour les trois dates (1985, 2000, 2015.), dans la figure 57, ci-dessous.



(a)

(b)

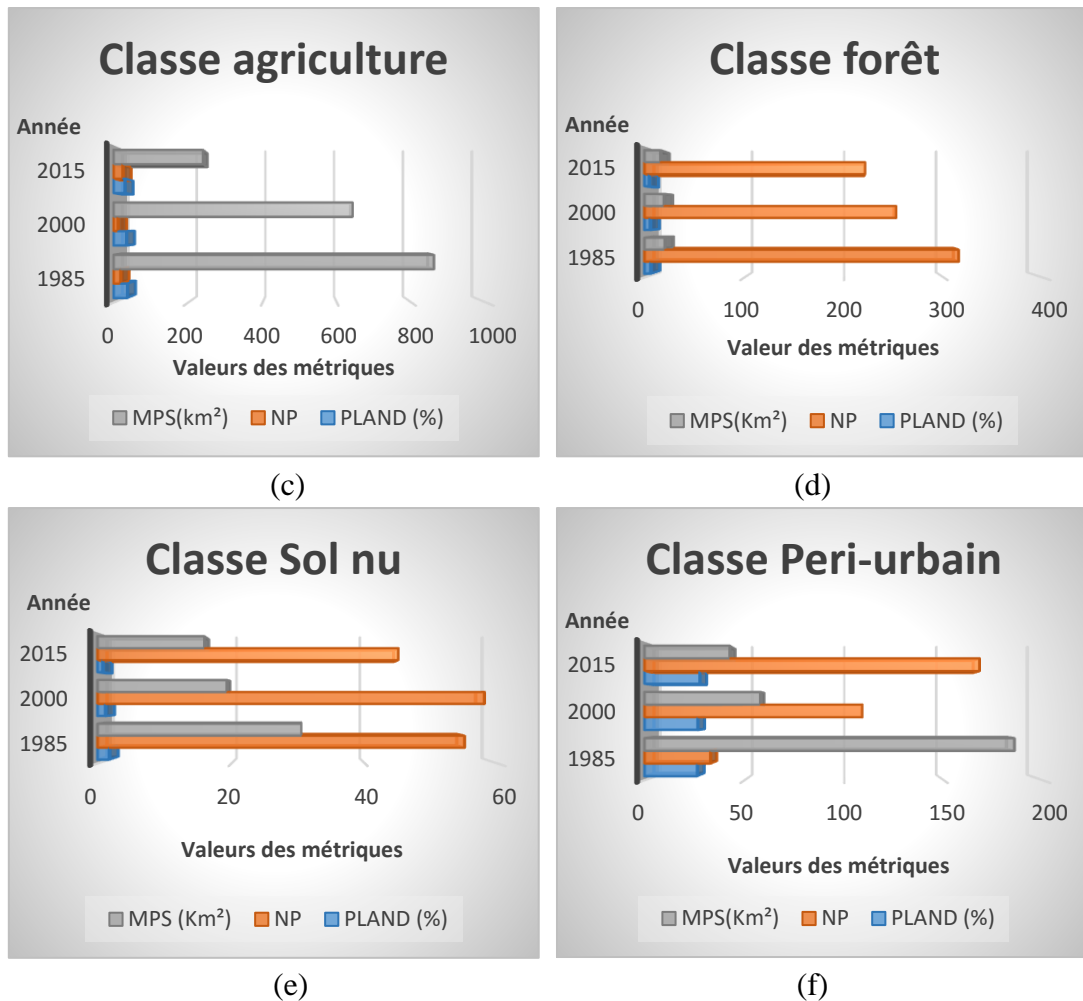


Figure 57: Métriques : “MPS(Km²), PLAND (%) et NP” par classes (a, b, c, d, e, f)

La classe « urbain » (figure 55 a), présente une augmentation constante de 1985 à 2015 dans le PLAND et le NP, ce qui décrit l’expansion urbaine continue durant ces trois décennies, parcontre le nombre de patches atteint son maximum en 2000 puis diminue en 2015, ceci montre que l’année 2000 connaît le plus gros taux de fragmentation paysagère en raison de la création de nombreux nouveaux noyaux d’urbanisation durant les années 1990 (Exode rural des populations), ce nombre important de patches urbains diminue en 2015, car sous l’effet de l’expansion urbaine multi-sens plusieurs patches urbains sont fusionnés.

Pour les classes « agriculture », « prairie », « forêt » et « Sol nu », le MPS et PLAND diminue de 1985 à 2015, une courbe inversement proportionnelle à celle de l’urbanisation, ce qui est normal, car ces sols subissent une constante urbanisation.

À partir des statistiques que fournissent les métriques, on observe que la classe « Sol nu » (malgré les petites surfaces qu’elle représente), est celle qui disparaît le plus rapidement en matière de pourcentage au détriment de l’urbanisation, suivie par la classe agriculture prairie et forêt. Ceci est dû au manque de protection juridique et la facilité géotechnique (par rapport aux zones agricoles et forêt par exemple).

Les métriques de la classe « Péri-urbain », ont des allures ascendantes (pour NP et PLAND), et descendantes pour le MPS, en effet les zones péri-urbaines sont en nette expansion, ce sont des anciennes zones rurales qui sont devenues périurbaines avec l'implantation de nombreux noyaux urbains, la taille des patchs périurbains (MPS) est décroissante (de 1985 à 2015), car les patchs se transforment en patchs « urbain » sous l'effet de la densification de l'habitat.

2.3.2 Indice de diversité du paysage SHDI

Les indices de diversité permettent une observation à une plus grosse échelle « le territoire », en effet l'indice diversité de Shannon « SHDI » permet de disposer d'une vue plus générale du paysage (à la différence du NP, PLAND et MPS). Le SHDI permet d'observer la variation de la diversité paysagère aux dates (1985, 2000, 2015,) en matière présence (ou pas) de classe d'occupation du sol.

Le taux de diversité paysagère était considérable en 1985, a augmenté en 2000 (avec la fragmentation des zones agricoles sous la pression humaine, et l'implantation de nouveaux noyaux urbains), puis décline lentement en 2015, (figure 58).

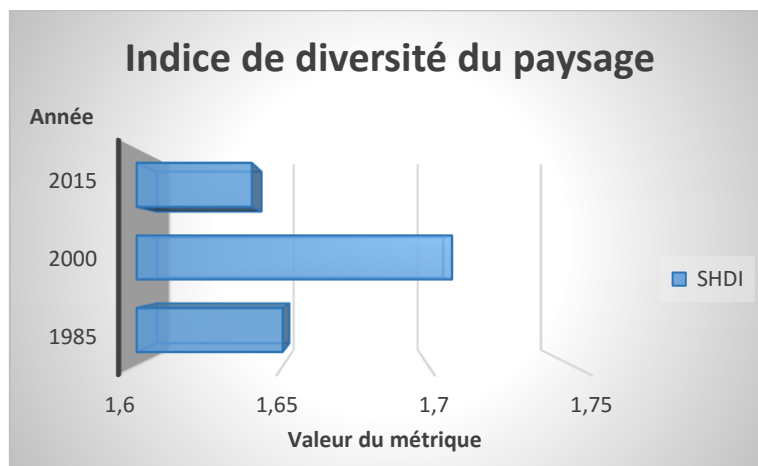


Figure 58: "Évolution temporelle du métrique SHDI"

Cette déclinaison en 2015 est due à la dominance grandissante de la classe « urbain » par rapport aux autres composantes du paysage (agriculture, forêt, prairie...).

Conclusion

La cartographie de l'occupation du sol et des zones urbaines spécifiquement est un processus qui peut être abordé selon divers approches, selon le besoin thématique/profil utilisateur, l'échelle spatiale, et la disponibilité des données en entrée.

Dans notre présent travail qui concerne l'étalement urbain à Alger, divers types d'images satellitaires sont disponibles (Landsat, Sentinel, Alsat), néanmoins l'intervalle temporel et l'échelle géographique ont restreint le choix.

Les archives Landsat ont été utilisées, car elles permettent l'intervalle rétrospectif le plus long (plus de 30 ans), néanmoins leur résolution de 30m peut être source de confusion (notamment sur les scènes MSS/TM), l'archive Alsat en parallèle ont une archive de durée inférieure "15 ans", mais offre une meilleure résolution spatiale (2.5m en mode fusionné), les scènes Sentinel ayant la plus faible archive temporelle (2 ans) dispose quand même d'une résolution de 10m, elles ont l'avantage aussi de couvrir toute la wilaya d'Alger (contre 5 scènes mosaïquées pour Alsat).

Plusieurs approches de télédétection pour l'extraction des zones urbaines ont été réalisées (approches spectrales, approches de classification, approche hybride ...) et comparées via une grille « vérité-terrain », c'est l'approche « Classification par arbre de décision » qui a été retenue.

Un référentiel « vérité-terrain » était nécessaire pour la validation de la qualité des différentes approches, c'est une mosaïque d'images « Alsat 2A, Alsat 2B, Sentinel 2A » de très haute résolution (10m) pour la carte de 2015, d'autres sources données été aussi utilisées pour valider les cartes de 1985 (carte topographique ancienne), et de 2000 (mosaïque de photo-aériennes).

L'analyse surfacique permet de voir les taux d'urbanisation par commune, mais aussi la période d'urbanisation, en effet on distingue qu'avant 1985 seule la première couronne (centre-ville historique) et quelques zones industrielles au centre-est et les chefs-lieux des communes été massivement urbanisées.

Entre 1985 et 2000 l'exode rural et la centralisation des infrastructures ont causé une vague d'urbanisation bien ressentie, notamment par la création de nouveaux noyaux vétustes principalement dans les abords de terres agricoles et en périphérie des villes chef-lieu.

Entre 2000 et 2015, l'expansion s'est accentuée avec le redressement économique des ménages (urbanisation individuelle, lotissement...), mais aussi via les projets étatiques de logement qui ont touchés les communes de l'Est et de l'Ouest, on note également une intensification de la littoralisation (urbanisation de la bande côtière)

Les communes de la baie d'Alger compte parmi les plus urbanisées (plus de 50% en moyenne et jusqu'à 81,7%), on distingue parmi les communes les plus urbanisées des communes anciennes (comme Bab Eloued), mais aussi des communes récentes et ayant des territoires très aérés au passé (Bordj El Kiffan, Bordj El Bahri), ceci démontre la migration de la population algéroise vers des zones plus accessibles au foncier, concerne aussi des zones littorales (en plus des zones arrière-littorales comme « Berraki, Baba Hssen, El Achour, Mahelma... »).

L'approche des métriques du paysage permet de quantifier le paysage sous un autre angle de vision, en effet sa structure et sa dynamique multitemporelle sont mieux observés à travers divers indices géométriques basés sur la géométrie fractale.

Les indices calculés montrent que la dominance de la classe urbaine est en nette croissance (plus importante entre 2000-2015), les classes « Forêt, Prairie, Agriculture, sol nu » ont des

courbes descendantes quasiment inverses à la courbe de l'urbanisation, vu que l'urbanisation se fait au détriment de ces terres, la classe « Peri-urbain » bien qu'en croissance (au détriment de zones rurales), perd quand même en nombre de patches en faveur de la classe « urbain », cela est dû à la densification de l'habitat sous la pression anthropique grandissante.

En dehors des approches spatiales/statistiques, l'expansion urbaine présente diverses formes de développement, des formes morphologiques très variées ont été cartographiées dans ce travail selon la période temporelle d'urbanisation ; « urbanisé en 1985 », « urbanisé en 2000 » « urbanisé en 1985, soutenu en 2000 »... etc, ceci permet mieux comprendre l'aspect très aléatoire de l'urbanisation algéroise et soutenir les réflexions futures sur les mesures de régularisation de l'urbanisation et de protection des espaces côtiers.

Bibliographie

Baatz, M. S. A., 2000. Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *Definiens-Germany*.

Gustafson, E.-J., 1998. Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art. *Ecosystems*, Volume 1, p. 143–156.

Hussain, M. et al., 2013. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 80, pp. 91-106.

McGarigal, K., Cushman, S.-A., Neel, M.-C. & Ene, E., 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. *University of Massachusetts*.

Medjadj, T., 2008. *L'apport de la télédétection de haute résolution spatiale pour le développement urbain qualitatif cas de la ville d'Alger*. s.l.:mémoire de Magister, USTHB.

Nedjai, R. et al., 2016. Application of Remote Sensing and GIS to Assess the Construction Pressure on the Environment of Algiers (Algeria) During the Three Last Decades and Their Evolution by the Use of Markov Chain. *Journal of Remote Sensing & GIS*, 5(2).

Saadi, S., 2008. *Etude diachronique de l'artificialisation de la zone périurbaine algéroise*. s.l.:mémoire de Magister, USTHB.

Seto, K.-C. & Fragkias, M., 2005. Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics. *Landscape Ecology*, Volume 20, p. 871–888.

Uuemaa, E. et al., 2009. Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape. *Research Living Reviews in Landscape Research*, 3(1).

Weber, C., Thi Dong Binh, T. & G, S., 2010. Urbanisation et changement du paysage a Strasbourg entre 1986 et 2006.. *Rapport Final (Programme national de télédétection spatiale)*.

Chapitre 4

Transgression des instruments de gouvernance et fragilisation de la baie

SOMMAIRE

Introduction	122
1. L'occupation du sol sur la baie d'Alger	123
1.1 L'urbanisation spatiotemporelle dans la baie	124
2. L'urbanisation de la baie et les instruments législatifs.....	125
2.1 Aire d'application La loi littorale sur la baie	125
2.1.1 La bande des 300 m.....	125
2.1.2 La bande des 800m.....	126
2.1.3 La Bande des 3 km	127
2.2 Plans du PDAU et la baie d'Alger	129
2.2.1 Le PDAU et le littoral	129
3. Les impacts de l'urbanisation sur l'environnement	130
3.1 Cartographie de la pollution thermique des eaux de la baie d'Alger	131
3.1.1 Analyse de la pollution thermique de l'eau de mer via les données SST	132
3.2 Cartographie de la dégradation des dunes littorales sur la baie	134
3.2.1 Le concept "dunes côtières"	135
3.2.2 Cartographie des dunes côtières sur la baie d'Alger	135
3.2.3 Analyse de la dégradation dunaire sur les zones urbanisées	136
3.3 La vulnérabilité du littoral face à l'urbanisation	139
3.3.1 Les indices de vulnérabilité côtière	140
3.3.2 L'indice de vulnérabilité côtière selon Mc Laughlin et Cooper	142
3.3.2.1 Les données de télédétection.....	142
3.3.2.2 Les Sous-indices de l'IVC.....	143
3.3.2.2.1 Caractéristiques physiques de la côte.....	143
3.3.2.2.1.1 La géomorphologie	143
3.3.2.2.1.2 La bathymétrie.....	143
3.3.2.2.1.3 La pente côtière	144
3.3.2.2.1.4 Le trait de côte.....	144

3.3.2.2.2 Facteurs de forçage côtiers	145
3.3.2.2.2.1 Moyenne des marées	145
3.3.2.2.2.2 Hauteur significative des vagues	145
3.3.2.2.3 Facteurs Socio-économiques	145
3.3.2.2.3.1 Urbanisation de la baie d'Alger	145
3.3.2.2.3.2 Densité de population	146
3.3.2.2.3.3 Réseau routier	146
3.3.2.3 Pondération des couches	147
3.3.2.4 Génération de l'IVC	147
3.3.2.5 Résultats et discussion	148
Conclusion	151

Liste de figures

Figure 59: Occupation du sol dans la baie d'Alger	123
Figure 60: Urbanisation multodate de la baie	124
Figure 61: Étendue de servitude de la loi 2002-02	125
Figure 62: la bande des 300m-loi littorale	126
Figure 63: la bande des 800m - loi littorale	126
Figure 64: la bande des 3Km - loi littorale	127
Figure 65: Zones d'urbanisation du PDAU	129
Figure 66: Rejet d'eaux usées dans la baie d'Alger (source LEM, 1998)	131
Figure 67: localisation de la nappe phytoplanctonique de juillet 2013 (vue Satellite)	132
Figure 68: Photographie de la nappe phytoplanctonique (vue direct)	132
Figure 69: Affichage des bandes SST sur SeaDAS©	133
Figure 70: Evolution de la température des eaux	134
Figure 71: Ecosystème littoral et échange naturel « dune-plage »	135
Figure 72: Sol dunaire dans la carte géologique	136
Figure 73: Localisation des dunes sur la baie	136
Figure 74: Les dunes côtières et l'urbanisation multidates	137
Figure 75: Taux de pertes de dunes par commune	138
Figure 76: Accroissement de l'érosion côtière sur le centre et l'Est de la baie	139
Figure 77: l'IVC et ses trois sous-indices	142
Figure 78: Géomorphologie côtière	143
Figure 79: Bathymétrie de la baie d'Alger	144
Figure 80: Niveaux de pente	144
Figure 81: Érosion moyenne du trait de côte sur 15 ans	145
Figure 82: Urbanisation côtière	146
Figure 83: Densité de population par commune	146
Figure 84: Densité du réseau routier par commune	147
Figure 85: Sous-indice ; Caractéristiques de la côte par commune	148
Figure 86: Sous-indice ; Forçage côtier par commune	149
Figure 87: Sous-indice ; Facteurs socio-économiques par commune	149

Figure 88: Indice de vulnérabilité côtière IVC par commune.....	150
Figure 89: Structures de protection dans la baie d'Alger	150

Liste des tableaux

Tableau 22: Surface des classes d'occupation du sol par commune de la baie	124
Tableau 23: Urbanisation et bandes de servitude	128
Tableau 24: Les zones à urbaniser (PDAU) et les bandes de servitude sur la baie.....	130
Tableau 25: Les zones d'urbanisation future (PDAU) et bandes de servitude	130
Tableau 26: Caractéristiques des données SST utilisées.....	133
Tableau 27: Surfaces dunaires défrichées de 1985 à 2015.....	137
Tableau 28: Comparatif entre indices de vulnérabilité côtière.....	141
Tableau 29: Caractéristiques des données multitemporelles Landsat	142
Tableau 30: Classement des facteurs de l'IVC	148

Liste des équations

(14) : Indice de cohérence	147
(15) : Ratio de cohérence	147
(16) : Normalisation des scores.....	147
(17) : Caractéristiques de la côte	147
(18) : Forçage cotier.....	147
(19) : Facteurs socioéconomiques	148
(20) : Calcul de l'IVC	148

Introduction

Dans un contexte de pression anthropique grandissante, le littoral algérois affiche récurrentement des signes de dégradation (érosion, perte de composantes littorales telles que les dunes côtières, la végétation psamophile, inondation...). L'urbanisation continue de se propager malgré les efforts du gouvernement pour décourager la migration vers les villes côtières. Alger à travers son attractivité et la dynamique économique de sa baie, est soumise à une pression humaine excessive (plus de 3 millions d'habitants selon l'Office Statistique Algérien ONS (Berrah, 2011) et jusqu'à 7.7 millions selon certaines organisations non-gouvernementales (Population Data, 2015), c'est le noyau central de l'économie et des affaires.

Directement exposée aux facteurs hydrodynamiques, la baie subit une érosion significative avec une perte accrue de sédiments, de nombreuses structures de protection ont été construites dans différentes zones ; "murs de soutènement, brise-lames, digues ... etc ". La présence des oueds (Les plus importants : "Oued El Harrach et Oued El Hamiz, Oued Koriche...") et qui sont fréquemment inondées, "cas d'Oued Koriche en 2001" (Djellouli & Saci, 2003) montre la diversité des aléas naturels présents.

Avec une activité sismique élevée et un risque de tsunami latent (Larara, 2012), la région connaît des périodes de sécheresse (et donc d'épuisement des eaux souterraines). Une urbanisation incontrôlée dans les bassins versants conjuguée à des pluies torrentielles (variabilité climatique élevée) a provoqué plusieurs catastrophes comme le cas des "inondations de Bab ElOued-Alger 2001, 783 victimes, où le séisme de Boumerdes 2003 ..etc." (Djellouli & Saci, 2003).

En raison de la présence de différents aléas naturels comme les séismes, le tsunami, l'érosion côtière et l'intrusion marine, combinés à d'autres facteurs anthropiques comme l'étalement urbain, la pollution, la perte de biodiversité et de valeurs économiques, cette zone côtière est devenue une des plus vulnérables dans le pays (PNUE/PAM PLAN BLEU, 2009), (Egis Eau / IAU-IDF BRGM, 2013). Une forte dégradation de ce littoral est perceptible malgré tout les aménagements de protections installés, qui ont même parfois, aggravé sa vulnérabilité.

Depuis les années 2000, plusieurs politiques de planification ont été mises en œuvre en vue d'une occupation plus durable de l'espace côtier : comme les plans d'occupation des sols "POS", ou d'aménagement urbain ; "PDAU" au niveau local (Kacemi, 2004), supervisé par un grand schéma national d'aménagement des territoires "SNAT" (MATET, 2006), une loi littorale existe depuis 2002 en vue de réguler la présence humaine en zone côtière à travers des zones de servitude.

De nombreuses études académiques ont été également élaborées, notamment pour l'évaluation de la vulnérabilité sur la zone Ouest de la baie (Egis Eau / IAU-IDF BRGM, 2013) et ont démontré son état dégradé, avec des perspectives plus pessimistes sur l'espace côtier (MREE-PAP RAC/PAM, 2015), mais aucune de ces études n'a fourni une cartographie locale pertinente de la vulnérabilité en prenant compte tous les facteurs intervenants.

Dans ce chapitre on s'intéresse spécifiquement à l'observation de l'occupation du sol sur les communes côtières de la baie d'Alger, mais aussi à l'identification de l'urbanisation multitemporelle en zone littorale, notamment dans les bandes de servitudes de la loi littorale en vue de qualifier les éventuelles zones de transgression, on s'intéresse également aux zones

identifiées par le PDAU en vue d'être urbanisées au futur, qui seront croisées avec les bandes d'interdiction de la loi littorale pour cartographier les éventuels conflits de gouvernance.

Le point est mis également via une analyse spatiale sur les impacts "directs et indirects" de l'urbanisation comme la pollution thermique des eaux de la baie ainsi que la dégradation des dunes littorales, on s'intéressera ensuite à l'évaluation de la vulnérabilité côtière produite par l'anthropisation face à la remontée du niveau de la mer, à l'aide des paramètres physiques et socioéconomiques de côte, ceci permettra de cartographier le niveau de vulnérabilité des communes de la baie d'Alger en vue de hiérarchiser le niveau d'intervention des collectivités locales en matière de gouvernance de protection du littoral.

1. L'occupation du sol sur la baie d'Alger

A partir des cartographies de l'occupation du sol produite lors du précédent chapitre, une carte des communes littorales de la baie a été réalisée, elle montre globalement une dominance de l'urbanisation (figure 59).

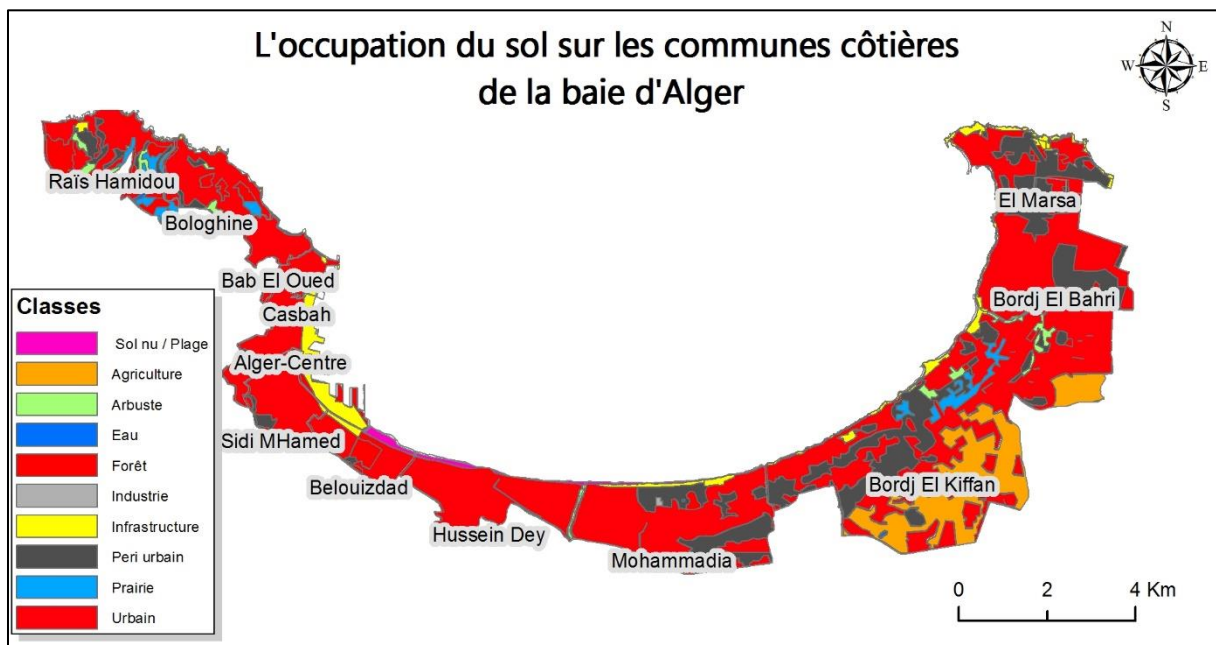


Figure 59: Occupation du sol dans la baie d'Alger

Les communes de l'ouest de la baie comme ; Rais Hamidou, Bologhine, BabEloued présentent néanmoins quelques petites surfaces non-urbanisées de sol nu, prairie et agriculture souvent dans les terres ou le relief est plutôt escarpé.

Les communes du centre-ville ; Casbah, Alger-Centre, Sidi M'hamed sont complètement urbanisées, mais avec la présence d'infrastructures étatiques (centralité administrative et économique). Les communes du centre ; Belouizdad et Hussein-dey sont également dominées par l'urbanisation, mais plutôt une urbanisation résidentielle.

Le tableau 22, ci-dessous synthétise les surfaces d'occupation du sol par commune de la baie.

Tableau 22: Surface des classes d'occupation du sol par commune de la baie

	Urbain	Péri urbain	Sol nu	Infrastructure	industrie	Agriculture	Forêt	Arbuste	Prairie	Eau
Alger-Centre	2,14	0,047	0,008	0,999	0	0	0	0	0	0
Bab El Oued	1,06	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0
Belouizdad	1,39	0,036	0,168	0,125	0	0	0,308	0	0	0
Bologhine	2,00	0,121	0	0	0	0	0,301	0,074	0,091	0
Bordj El Bahri	5,06	2,097	0	0	0	0	0	0,040	0	0
Bordj El Kiffan	11,08	3,723	0,005	0	0	5,25	0,273	0,396	0,602	0,013
Casbah	0,91	0	0	0,042	0	0	0	0,000	0	0
El Marsa	1,86	1,709	0	0	0	0	0,068	0,000	0	0
Hussein Dey	3,93	0	0,188	0	0	0	0	0,078	0	0
Mohammadia	5,49	2,123	0,162	0	0,029	0	0,090	0,002	0	0,004
Rais Hamidou	2,18	0,516	0	0	0,000	0	0,754	0,295	0,465	0,022
Sidi MHamed	2,14	0,144	0	0,043	0	0	0	0	0	0

Les communes de l'Est, disposant autrefois de plus de surfaces foncières libres, sont désormais dominées par l'urbanisation, mais ont quand même une occupation du sol plus variée, comme la présence de zones péri-urbaines (El Marsa, Mohamadia, Bordj El Bahri), ou la résilience de certaines surfaces agricoles et prairie (Bordj El Kiffan).

1.1 L'urbanisation spatiotemporelle dans la baie

En superposant les taches urbaines multidates (extraites lors du chapitre précédent), on aperçoit (figure 60), que les communes du centre (Bab Eloued, Casbah, Alger-Centre, Sidi-Mhamed) étaient déjà urbanisées en 1985. Les communes de l'Ouest ont connu une nouvelle vague d'urbanisation en 2015 ; sous forme d'une densification urbaine (Bologhine) ou en s'étalant vers l'arrière-littoral (Rais Hamidou).

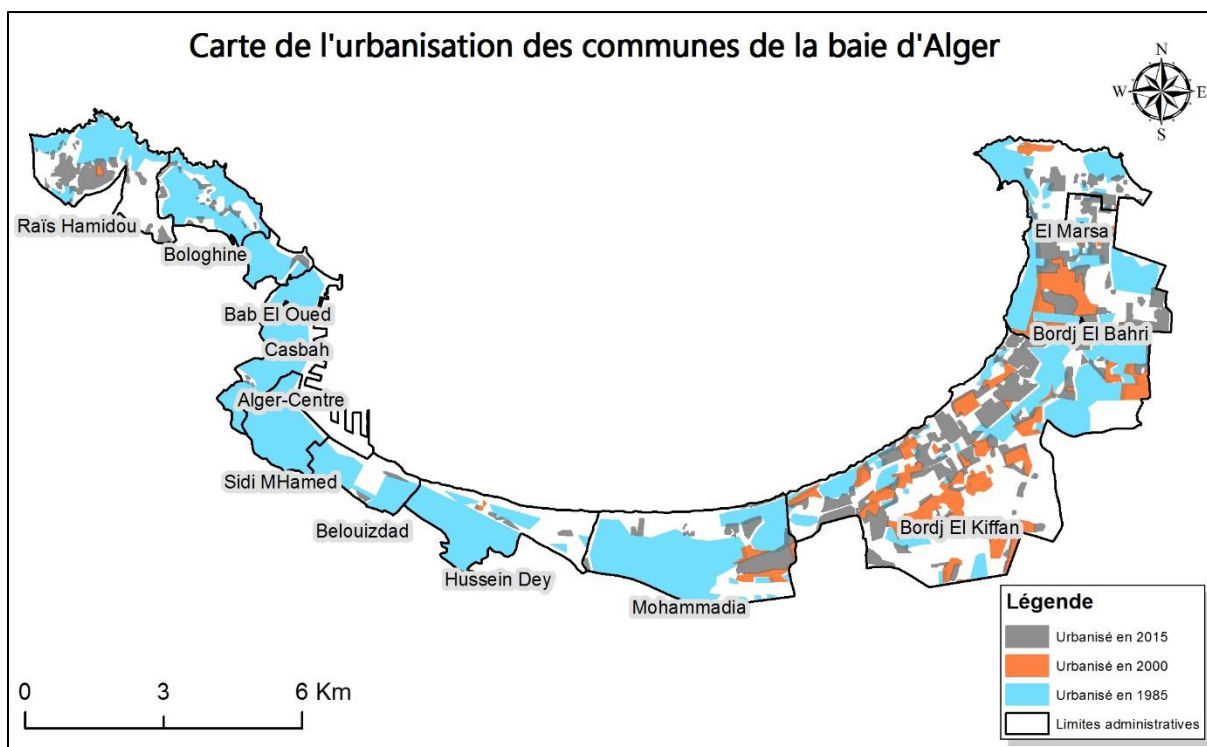


Figure 60: Urbanisation multidate de la baie

Les communes du centre sont relativement stables, avec quelques poches de densification urbaine, les communes de l'Est affichent les plus hauts taux d'urbanisation, en effet les quelques noyaux urbains de 1985 (les agglomérations chef-lieu) ont connu un développement notable en 2000, en observant également la création de nouveaux noyaux indépendants en 2000 et 2015, cette zone a subi une vague d'artificialisation notable, à cause de la crise foncière du centre et de l'ouest de la baie qui ne répondaient plus au besoin grandissant en logement d'une population algéroise en forte croissance.

2. L'urbanisation de la baie et les instruments législatifs

On s'intéresse dans cette partie à 2 instruments les plus influents dans la prise de décision en zone côtière, en l'occurrence la loi littorale 2002-02, et le Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU), le POS (plan d'occupation du sol) étant un outil d'une échelle relativement réduite (niveau communal, voir chapitre 2) et ne permettant pas une vision monotone du territoire étudié (comme le PDAU et la loi 2002-02) vu la variété d'acteurs intervenant (11 communes de la baie).

2.1 Aire d'application La loi littorale sur la baie

La loi 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral (Journal officiel République Algérienne, 2002) a pour objet l'élaboration et la mise en œuvre d'une politique nationale spécifique d'aménagement et de protection du littoral. L'article premier stipule que «la présente loi a pour objet de fixer les dispositions particulières relatives à la protection et à la valorisation du littoral». Cette loi littorale au moment de sa promulgation nécessitait plusieurs textes juridiques pour son application effective (Kacemi, 2011). Parmi les directives phare de cette loi l'adoption de 3 bandes de servitude (figure 61).

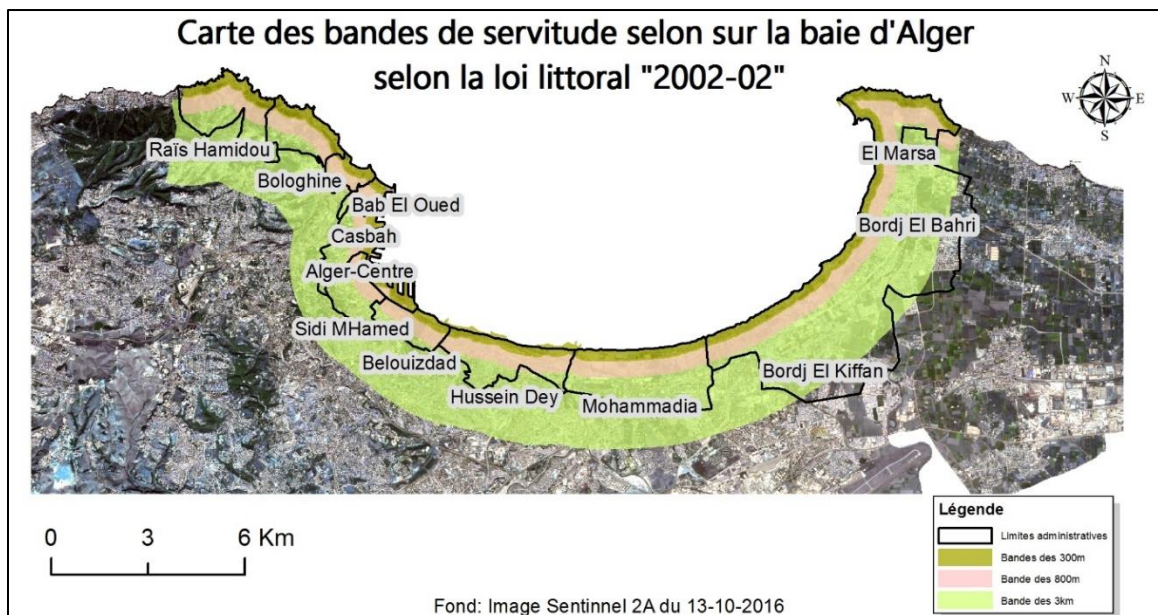


Figure 61: Étendue de servitude de la loi 2002-02

La bande des 300 m, la bande 800 m et la bande des 3 kilomètres, chacune des bandes à des restrictions spécifiques en matière d'occupation du sol, elles sont détaillées ci-dessous.

2.1.1 La bande des 300 m

Il s'agit de la bande inconstructible dont la largeur peut atteindre 300 mètres à partir du rivage pour des motifs liés au caractère sensible du milieu côtier (figure 62).

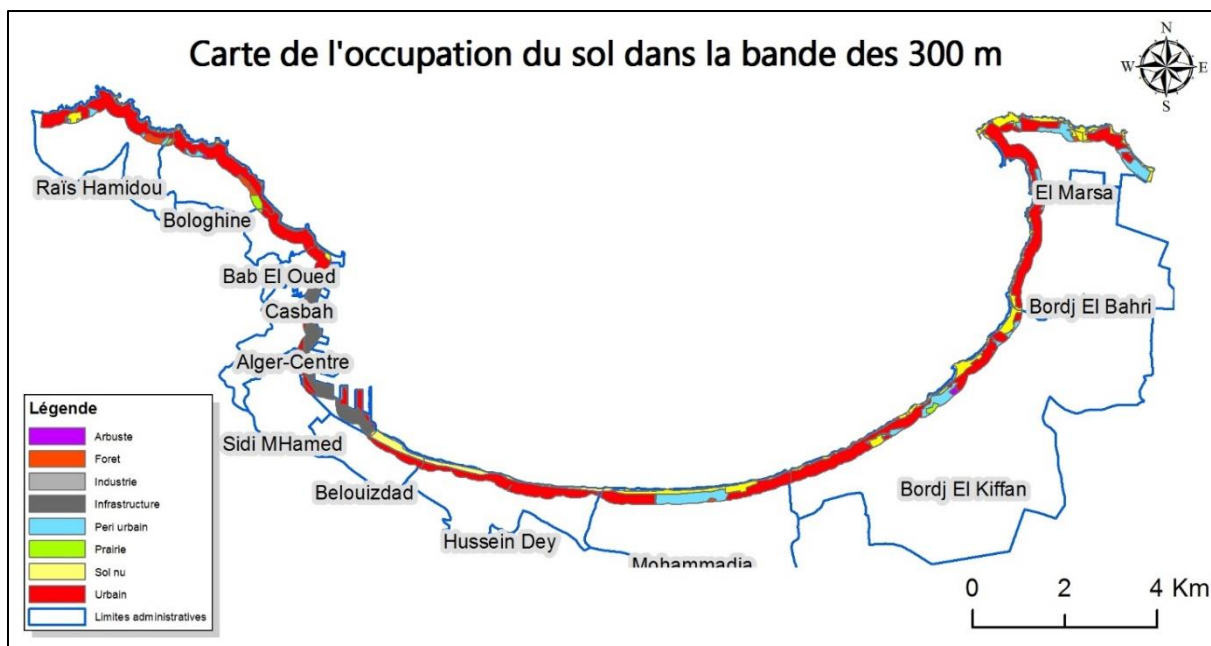


Figure 62: la bande des 300m-loi littorale

Cette bande inclut le rivage naturel dans lequel sont interdits la circulation et le stationnement des véhicules (sauf véhicule de service, de sécurité, de secours, d'entretiens des plages) (Kacemi, 2011).

Cette bande des 300m sur la baie d'Alger, est majoritairement occupée par la classe « urbain » et quelques petits fragments de zones naturelles « prairie-plage » dans l'Ouest, avec la présence de certaines « infrastructures » dans le centre-ouest. Le centre et l'Est sont aussi majoritairement urbanisés, mais avec la présence de zones péri-urbaines et certaines zones de « sol nu » (plages, zone naturelle).

2.1.2 La bande des 800m

D'une largeur de 800 mètres où sont interdites les voies carrossables nouvelles parallèles au rivage (alinéa de l'article 16) (Journal officiel République Algérienne, 2002). Voir figure (63).

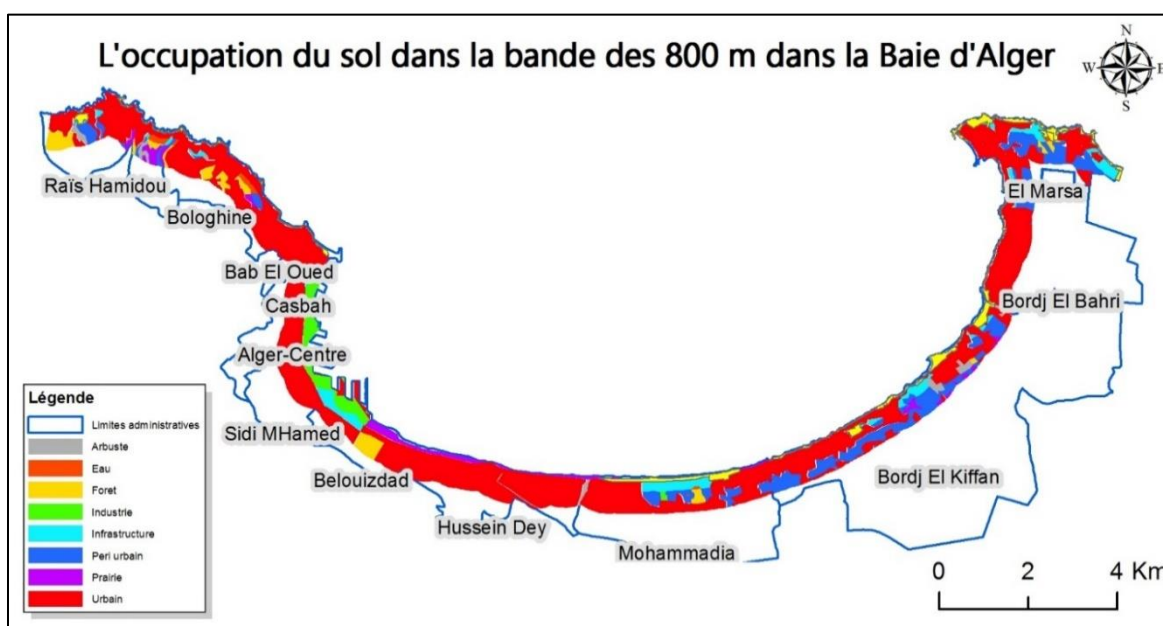


Figure 63: la bande des 800m - loi littorale

Toutefois en raison de contraintes topographiques de configuration des lieux ou de besoins d'activités exigeant la proximité immédiate de la mer, il peut être fait exception à cette disposition.

La bande des 800m sur la baie en addition de l'hégémonie de l'urbanisation inclut quelques fragments de forêt (Ouest), ainsi que des zones de prairie au centre et arbuste-agricole à l'extrême Est.

2.1.3 La Bande des 3 km

D'une largeur de 3 Kilomètres (figure 64), dans cette bande sont interdites ;

- Toute extension longitudinale du périmètre urbanisé ;
- L'extension de deux agglomérations adjacentes situées sur le littoral à moins que la distance les séparant soit de cinq (5) kilomètres au moins ;
- Les voies de transition nouvelles parallèles aux rivages.
- Les constructions et les occupations du sol directement liées aux fonctions des activités économiques autorisées par les instruments d'urbanisme dans la bande des trois kilomètres réglementé.

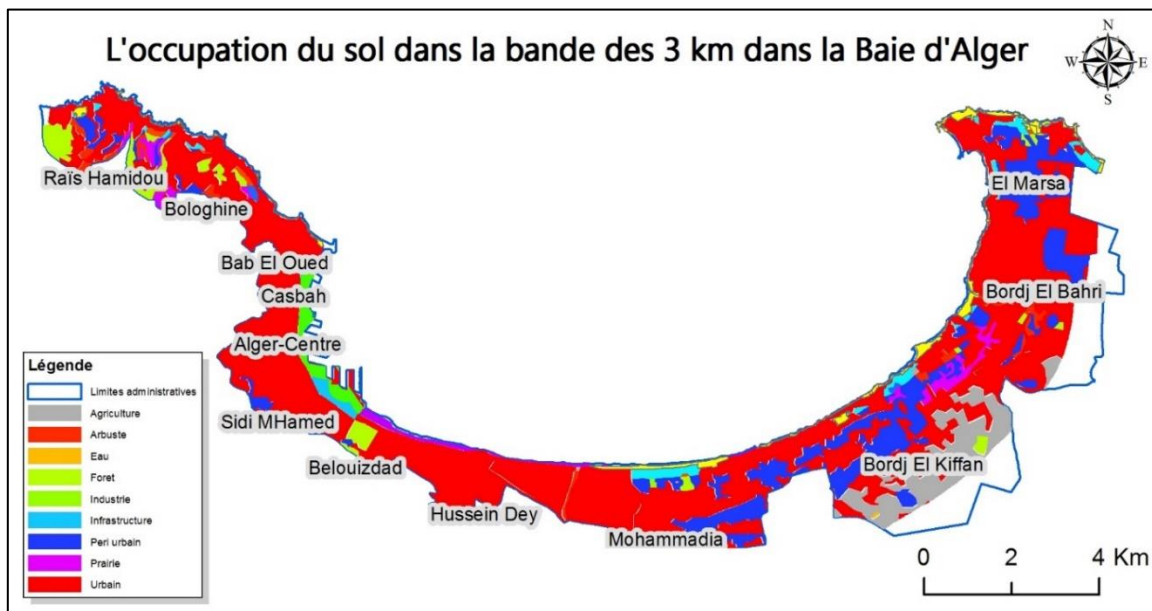


Figure 64: la bande des 3Km - loi littorale

La bande des 3km prolonge la même vision des deux bandes précédentes sur les communes Ouest (urbain dominant, avec quelques de forêts à l'ouest et industrie-infrastructure au centre-ouest).

Les communes de l'Est comprennent dans cette bande certaines zones agricoles et péri-urbaines.

Cependant, ces bandes d'interdiction de la loi 2002-02, traversent géographiquement d'autres communes non-côtières et non appartenantes à la baie d'Alger, mais comme elles constituent l'arrière-littoral de la baie, elles contribuent effectivement aux pressions anthropiques.

Le tableau (23) ci-dessous synthétise selon les 3 bandes d'interdiction, les superficies de l'urbanisation par commune (en m²).

Tableau 23: Urbanisation et bandes de servitude

Commune	300m	800m	3 km
Aïn Taya	944,14099	186987	236118
Alger-Centre	79654,297	544840	1473390
Bab El Oued	192849	574333	191223
Bab Ezzouar	0	0	3143610
Bachdjerrah	0	0	2362630
Belouizdad	74649	546797	696656
Bir Mourad Rais	0	0	628949
Bologhine	581181	793611	601808
Bordj El Bahri	620535	963083	2990430
Bordj El Kiffan	1219180	1955070	7240890
Bourouba	0	0	1234400
Bouzareah	0	0	3775450
Casbah	123654	428073	235193
Dar El Beida	0	0	228093
El Biar	0	0	1507450
El Harrach	0	0	2417260
El Madania	0	0	1429960
El Magharia	0	43027,102	1363410
El Marsa	995224	699040	122010
El Mouradia	0	0	1755750
Hammamet	0	0	24336,301
Hussein Dey	179923	1168820	1178500
Hydra	0	0	342644
Kouba	0	17386,4	4677960
Mohammadia	446426	1599390	3665360
Oued Koriche		10762,4	1651880
Oued Smar	0	0	874926
Raïs Hamidou	735787	726326	721045
Rouïba	0	0	98637,898
Sidi MHamed	3294,6201	556701	1627750

Pour la bande des 300m, les plus fortes surfaces d'urbanisation sont visibles dans les communes de Bordj El Kiffan, Bordj el Bahri , El Marsa. C'est des communes qui ont été très prisées, car étant les plus proches du centre économique et ayant le plus de foncier libre (ou agricole urbanisé).

Ces trois mêmes communes avec en addition celles du centre de la baie (Mohammadia, Hussein-dey) affichent de grandes surfaces d'urbanisation pour la bande des 800m, on note également que trois communes arrière-littorales sont traversées par la bande des 800m (El Magharia, Kouba, Oued Koriche), mais avec des surfaces relativement faibles.

Dans la bande des 3 km, on retrouve les surfaces d'urbanisation les plus importantes (ce qui est logique, vue la largeur géographique plus importante de cette bande), les communes du Centre-Est sont également présentes par des valeurs élevées (Bordj El Bahri, Bordj El Kiffan, Mohammadia), mais des surfaces aussi remarquables pour des communes d'arrière-côte (communes dortoirs) telle que « Kouba, El Harrach, Bab Ezzouar, Bachdjerrah ».

Les transgressions des bandes d'interdiction de la loi 2002-02 ne concernent donc pas seulement des communes côtières de la baie (où façades littorales), mais aussi des communes intérieures.

2.2 Plans du PDAU et la baie d'Alger

Le PDAU est un instrument de gestion urbaine, il permet de déterminer la destination générale des sols (Agharmiou, 2013), en définissant :

- Les zones l'extension urbaine actuelle (avec la localisation des services et activités, la nature et l'implantation des grands équipements et infrastructures), ainsi que les zones à protéger.
- Les zones à urbaniser où l'urbanisation est prévue et autorisée
- Les zones d'urbanisation future.

En observant la carte des classes du PDAU (figure 65) on voit que les classes « secteur à urbaniser » et « urbanisation future » concernent de nombreuses zones littorales notamment au centre (Belouizdad, Hussein-dey Mohammadia).

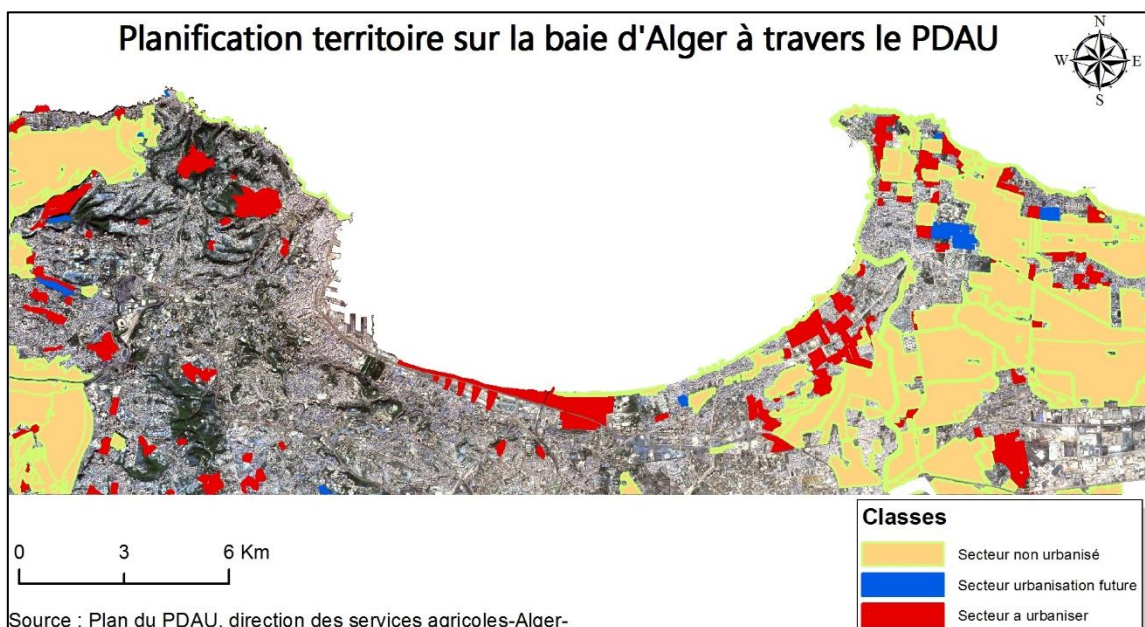


Figure 65: Zones d'urbanisation du PDAU

L'urbanisation est en effet prévue linéairement et à proximité du rivage, notamment les berges de Oued El Harrach (communes de Hussein-Dey et Mohammadia), ainsi que sur le littoral de Bordj El Kiffan et El Marsa, ce sont en effet des transgressions contraires aux articles de la loi littorale, notamment la première et deuxième bande de servitude.

2.2.1 Le PDAU et le littoral

En vue d'observer la disposition du PDAU sur les communes côtières de la baie d'Alger, on s'intéresse à 2 classes du PDAU : « Secteur à urbaniser » et « Secteur d'urbanisation future » (Kacemi, 2004), et leur position/situation par rapport à la loi littorale (notamment les trois bandes d'interdiction), en vue d'évaluer les éventuelles transgressions sur l'espace côtier.

Les zones à urbaniser prochainement sont des parcelles *déjà attribuées* et destinées à l'urbanisation (privée ou publique), le tableau (24) ci-dessous synthétise les surfaces à urbaniser selon le PDAU par commune de la baie et selon les 3 bandes de servitude.

Tableau 24: Les zones à urbaniser (PDAU) et les bandes de servitude sur la baie

Nom	Surface totale	300m	800m	3 Km
Alger-Centre	0	0	0	0
Bab El Oued	5362,4974	0	72,1175	5290,3799
Belouizdad	11137,7	11137,7	0	0
Bologhine	1390,84501	0	295,76501	1095,08
Bordj El Bahri	662084,94	7370,1201	84014,797	570700
Bordj El Kiffan	2424754,5	290180	541342	1591670
Casbah	0	0	0	0
El Marsa	673334,801	327407	298951	46976,801
Hussein Dey	462836,06	326763	136055	0
Mohammadia	1290714	424348	636253	230113
Rais Hamidou	345996,8101	1228,8101	0	344768

C'est en effet principalement dans les communes du Centre, Centre-Est et Est que se trouvent la plupart des terrains destinés à l'urbanisation en zone littorale (à l'exception d'une petite surface à l'Ouest ; Rais Hamidou).

Concernant les surfaces *d'urbanisation futures*, un tableau similaire (tableau 25) synthétise par commune et par bande de servitude les surfaces à urbaniser au futur.

Tableau 25: Les zones d'urbanisation future (PDAU) et bandes de servitude

Commune	Surface totale	300m	800m	3km
Alger-Centre	0	0	0	0
Bab El Oued	0	0	0	0
Belouizdad	0	0	0	0
Bologhine	0	0	0	0
Bordj El Bahri	523473,19	0	0	25329,2
Bordj El Kiffan	0	0	0	0
Casbah	0	0	0	0
El Marsa	27186,074	14215	12971,07	0
Hussein Dey	0	0	0	0
Mohammadia	59468,129	0	59468,2	0
Bordj El Kiffan	11,505857	0	11,5	0
Rais Hamidou	17450,928	456,3	0	16994,628

La transgression du littoral est moins ressentie, en effet les communes ayant le plus de foncier libre sont encore les plus touchées par la mise à disposition de terrain urbanisable (Bordj El Bahri, Mohammadia, El Marsa).

3. Les impacts de l'urbanisation sur l'environnement

Après la quantification de l'urbanisation côtière et son hégémonie sur l'occupation du sol de la baie, on s'intéresse dans cette deuxième partie aux impacts sur l'environnement côtier. En effet deux impacts significatifs de l'urbanisation algéroise seront analysés spatialement dans les volets suivants en l'occurrence : « la pollution thermique des eaux de la baie via une approche spatiale », et « la vulnérabilité côtière en matière de remontée de la mer et d'érosion » via un indice de vulnérabilité côtière des communes côtières la baie d'Alger.

3.1 Cartographie de la pollution thermique des eaux de la baie d'Alger

L'urbanisation est un phénomène souvent accompagné de densification démographique, une concentration de population sur la côte engendre généralement une grande quantité de déchet ménager solide ou liquide (eaux usées), pour ce qui est des pollutions industrielles, elles sont estimées pour l'année 1992 à 1,1 millions d'éq-hab (équivalent habitant) pour les zones industrielles d'Alger, 190.000 éq-hab pour Réghaïa et 10.000 éq-hab pour Beni Messous (PNUE, (2005)). Oued Elharrach déversait en 1998 environs 135.225 m³/j, le taux d'épuration dans la région PAC serait de l'ordre 15%. (Région centre) beaucoup zones de rejets ne sont donc pas épurées et sont directement déversés à la mer.

Dans la baie d'Alger, les rejets d'eau usée sont nombreux et longent la baie d'Est en Ouest (figure 66).

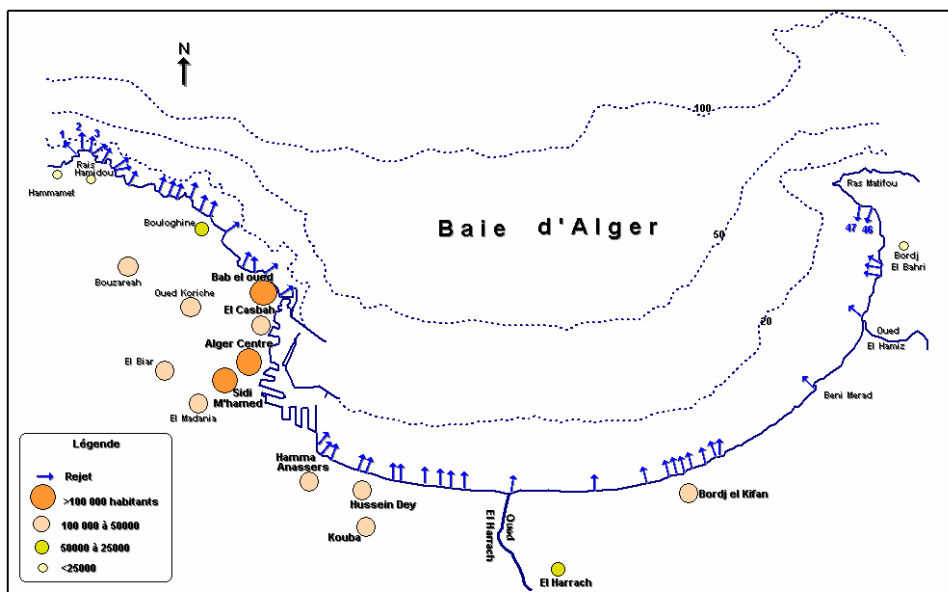


Figure 66: Rejet d'eaux usées dans la baie d'Alger (source LEM, 1998)

Ces rejets croissants affectent l'environnement littoral en matière d'eutrophisation (sur-apport d'éléments nutritifs) et de pollution thermique, cette modification de la température ambiante de l'eau de mer cause un déséquilibre écosystémique important (Halwani, et al., 2000), voir une disparition d'espèces fragiles comme les mollusques (Bodoy, 1976), plusieurs phénomènes de boom phytoplanktoniques se sont produits à Alger les dernières années dont celui de juillet 2013 (figure 67).



Figure 67: localisation de la nappe phytoplanctonique de juillet 2013 (vue Satellite)

En effet, le cas du boom phytoplanctonique ayant affecté la capitale en juillet 2013 montre clairement la modification des paramètres physicochimiques de l'eau de la baie (figure 68).



Figure 68: Photographie de la nappe phytoplanctonique (vue direct)

Ces pics phytoplanctoniques sont plus récurrents en été en raison de l'augmentation de la température ambiante (CDER, 2013) couplée à la température élevée des eaux (pollution), ceci a aussi un effet néfaste sur l'attrait touristique des plages de la baie (baignade, croisière...).

3.1.1 Analyse de la pollution thermique de l'eau de mer via les données SST

Les eaux de surface de l'ouest de la méditerranée (où se situe le bassin algérien) sont d'origine atlantique (Modified Atlantic Water – MAW), la température moyenne des eaux de surface (colonne de 100m) est d'environ 15° (Millot, 1999).

Pour analyser spatialement l'évolution de la température de l'eau de mer sur la baie d'Alger, durant la dernière décennie, on utilise des données dérivées du Satellite MODIS (Sea Surface Temperature SST), la donnée SST est une donnée dérivée de la gamme OceanColor (Antoine, 1998), des données océanographiques calculées à partir d'algorithmes réalisés par l'OBPG (Ocean biology processing group), et stockées dans la base de données Oceancolor de la NASA.

La donnée est calculée à partir de plusieurs capteurs (MODIS Aqua/terra, MERIS, SeaWifs, OCTS...etc.) (Brown & Minnett, 1999), la donnée SST utilisée dans notre approche est celle produite à partir des bandes spectrales MODIS 31 et 31 (11 et 12 μm) se basant sur le rapport naturel entre la radiance et la température (Minnett, et al., 2004), les caractéristiques des données utilisées sont décrites dans le tableau ci-dessous (tableau 26).

Tableau 26: Caractéristiques des données SST utilisées

Images	Niveau traitement	Résolution spatiale	Résolution temporelle	Durée de l'archive
A2005001200536 5.L3m_YR_SST_ sst_4km	Level 3: Standard Mapped Image – Binned products	4km (4320 x 8640)	- Annuelle - Mensuelle - 8 jours - Journalière	04-07-2002 À nos jours
A2010001201036 5.L3m_YR_SST_ sst_4km				
A2015001201536 5.L3m_YR_SST_ sst_4km				

La visualisation des données SST (fréquence annuelle) sur les trois dates 2005-2010-2015 sur le logiciel SeaDAS© (logiciel recommandé pour la gamme OceanColor) permet de voir la température de la baie d'Alger à partir d'un maillage 4km x 4km (figure 69).



Figure 69: Affichage des bandes SST sur SeaDAS©

Les seuils des valeurs étant difficilement différenciables directement sur le maillage SST, ils sont exportés sous forme de valeurs numériques et représentés sous forme de diagramme multitemporel (figure 70).

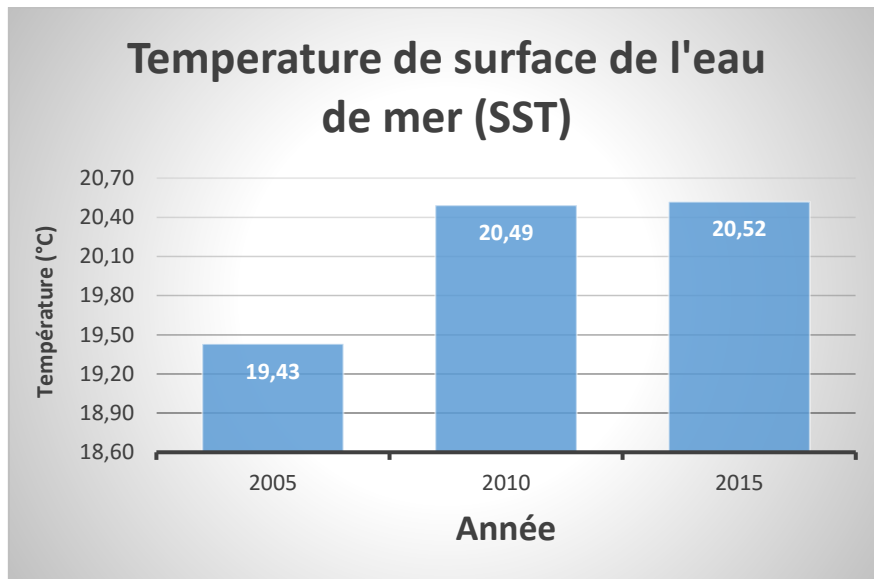


Figure 70: Evolution de la température des eaux

La température moyenne de l'eau adjacente de la baie d'Alger est en constante croissance durant la dernière décennie. Elle s'est fortement accrue entre 2005 et 2010 (1,6 °C en 5 ans), contre une évolution plus modérée de 0.03°C entre 2010 et 2015.

Les plages de température des eaux de la baie (de 19 à 20.5 °C) sont relativement élevées par rapport à la moyenne méditerranéenne (15°), le taux d'évolution annuel moyen est d'environ (0.16°C), contre un taux mondial d'environ (0.008°C) entre 1950 – 1990 (Levitus, et al., 2000).

L'augmentation de la température est donc largement supérieure au taux moyen en méditerranée, ce réchauffement rapide des eaux continentales de la baie d'Alger constitue un fort risque écosystémique pour les espèces marines locales et la biodiversité.

Les efforts étatiques pour la maîtrise de l'urbanisation, doivent aussi s'impliquer plus profondément pour une meilleure gestion des eaux usées (augmentation de la capacité d'épuration, déviation de certaines trajectoires de rejets...etc) .

La donnée SST d'OceanColor et malgré la faiblesse de résolution (4km x 4 km), constitue un outil de diagnostic rapide des valeurs de température des eaux de la baie. Elles permettent un gain de temps (par rapport à des données In situ plus précises, mais plus coûteuses en temps et en budget) pour des démarches d'aide à la décision et de prise de conscience des effets collatéraux de l'artificialisation humaine, comme le cas de la présente étude.

3.2 Cartographie de la dégradation des dunes littorales sur la baie

L'espace côtier algérois est un espace diversifié géomorphologiquement, composé de substrat meuble (argile, sable, grés) ou substrat relativement compact (roche métamorphique, alluvions...), les littoraux de la baie d'Alger spécifiquement sont caractérisés par la présence de plages majoritairement rocheuses à l'Ouest et de plages sableuses au centre et à l'Est, ces

dernières sont alimentées par des cordons dunaires récents (souvent visibles) ou anciens dits aussi "dunes consolidées", ces plages sont les plus sujettes à une érosion continue ces dernières années, causée par des facteurs directs (vol de sédiment de plages, augmentation de l'hydrodynamisme...) (Jungerius & Van der Meulen, 1988) ou indirects comme le défrichement/dégradation des dunes côtières pour des fins d'urbanisation (Łabuz, 2004).

3.2.1 Le concept "dunes côtières"

Les dunes côtières sont des accumulations de sable d'origine éolienne située en arrière-plage (NSW, 2001). Ces dépôts éoliens sont entremêlés avec des sables de plage déposés par vagues, mais comme la distance de la rive augmente, l'action du vent devient la force dominante. La nature et le développement de la dune sont régis par un certain nombre de facteurs (figure 71), y compris la granulométrie du sable, types et directions du vent, topographie du voisinage...etc. (Maia, et al., 2005).

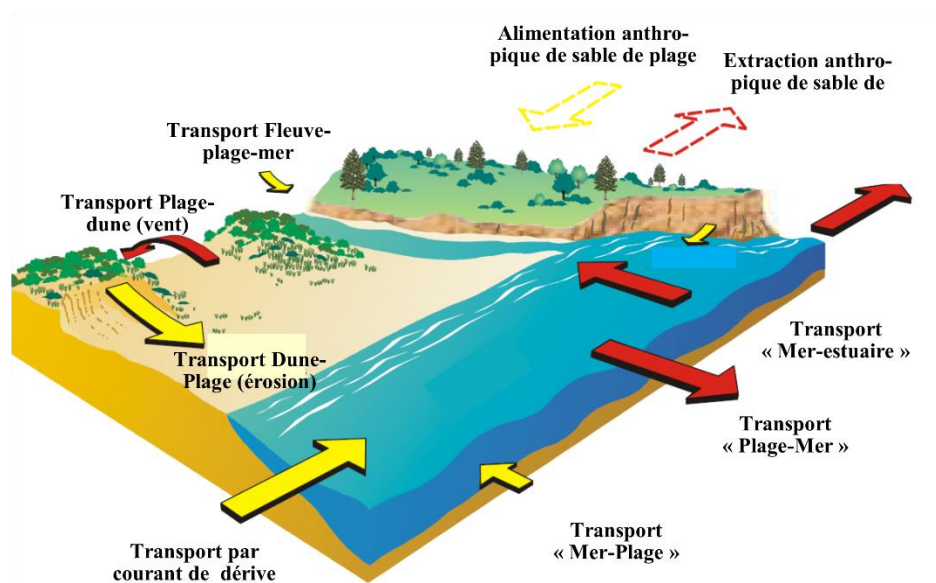


Figure 71: Ecosystème littoral et échange naturel « dune-plage »

La dune constitue donc un écosystème équilibré régis par un échange continu « mer-plage-dune-vent », elle joue en effet le rôle important d'alimentation de la plage (Fraser, et al., 1998), et de support surtout en cas de tempête ou d'épisodes d'érosion intense.

Le système dunaire peut être aussi plus complexe, en effet les dunes récentes proches du rivage sont dites « embryonnaires » (Hart & Knigh, 2009), celles plus à l'intérieur sont plus compactes structurellement et sont dites « dunes consolidées », ce sont les plus anciennes, ayant subi des phénomènes géologiques d'enfouissement et de sédimentation, elles se transforment en roches dérivés telles les grès ou le Gneiss (NSW, 2001).

3.2.2 Cartographie des dunes côtières sur la baie d'Alger

La cartographie des dunes côtières est réalisée à partir de la carte géologique de la baie (feuille d'Alger, 1 :50000, 1964), caractérisant les natures géologiques des sols, notamment les dunes côtières de sable « q^{3c} » et les dunes anciennes consolidées « q^{3bd} , q^{3ad} » (figure 72).

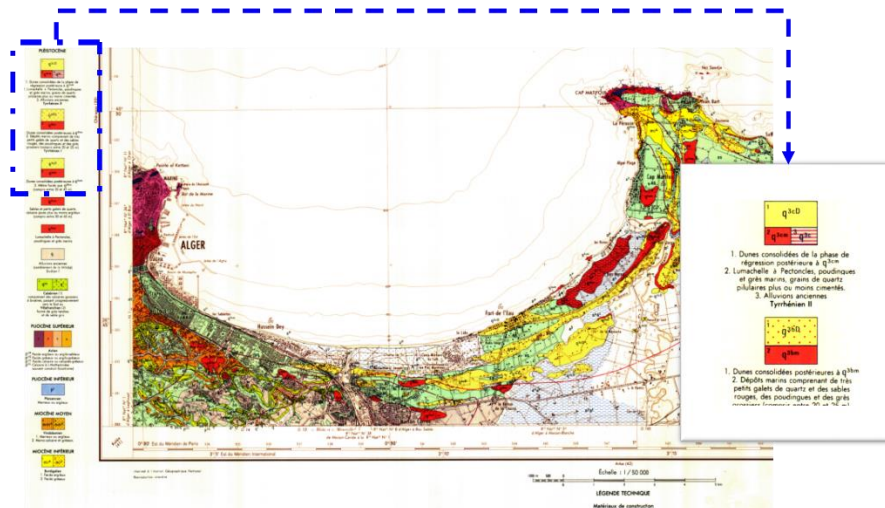


Figure 72: Sol dunaire dans la carte géologique

Ces deux types de sols sont extraits par digitalisation dans un SIG, sous un format vecteur plus flexible (mise à jour, sémiologie, superposition...).

On observe que la majorité du massif dunaire sur la baie est localisée au centre et à l'Est (figure 73), là où se situe la majorité des plages sableuses de la baie, ceci montre la dépendance structurelle entre la dune est la plage.

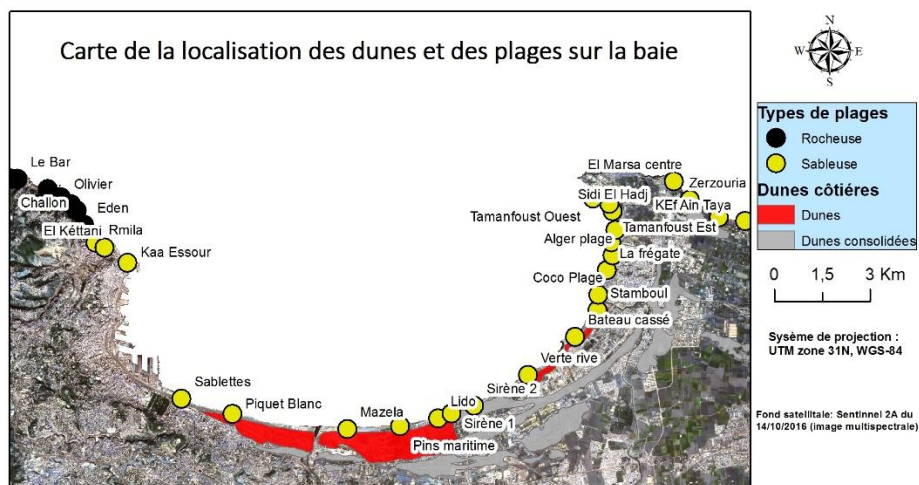


Figure 73: Localisation des dunes sur la baie

Les rares plages localisées à l'Est (El Kittani, Rmila...) sont actuellement des plages artificielles, alimentées régulièrement en sédiment de plage et protégées par des digues.

La superposition de ces dunes sur une image satellitaire montre directement le fait que la majorité de ces anciennes dunes sont localisées au-dessous de zones urbanisées (signe de défrichement ou d'enfouissement sous urbanisation).

3.2.3 Analyse de la dégradation dunaire sur les zones urbanisées

En vue de quantifier les surfaces dunaires dégradées, une superposition spatiale de cartes des dunes extraites précédemment sur les zones d'urbanisation multitemporelle est réalisée, (figure 74).

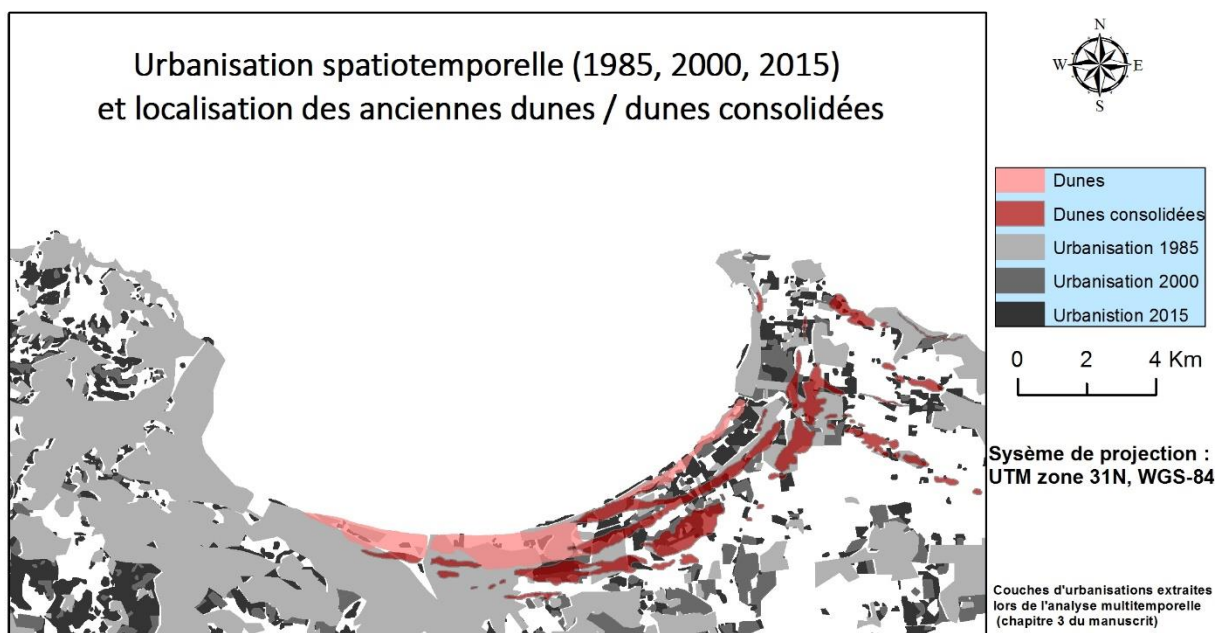


Figure 74: Les dunes côtières et l'urbanisation multitudes

La superposition montre globalement un étalement urbain sur la majorité des massifs dunaires (dunes ou dunes consolidés), les dunes épargnées subissent quant à elle une forte fragmentation.

Le tableau (27) ci-dessous synthétise les principales statistiques de la régression des surfaces dunaires.

Tableau 27: Surfaces dunaires défrichées de 1985 à 2015

	Anciennes surfaces	Surface défrichée/date			Surfaces Restantes	
		1985	2000	2015	Hectares	%
Dunes	587,65	272,41	26,56	65,20	223,48	38,03
Dunes consolidés	1198,88	477,34	172,06	150,15	399,33	33,31
Total	1786,53	749,75	198,63	215,35	622,81	35,67

L'artificialisation au détriment des zones dunaires a été continue durant ces trois dernières décennies, en effet la baie a perdu environs 65% de son massif dunaire (tableau 27), les plus grands taux de défrichement ont été réalisés avant 1985 (lors de l'urbanisation économique du pays "postindépendance").

Au niveau des communes, on note certains défrichements massifs des dunes (figure 75) notamment au centre de la baie "Bordj el Kiffan, Mohammadia, Hussein Dey", avec des pertes très importantes (environs 500 hectares pour Bordj el Kiffan).

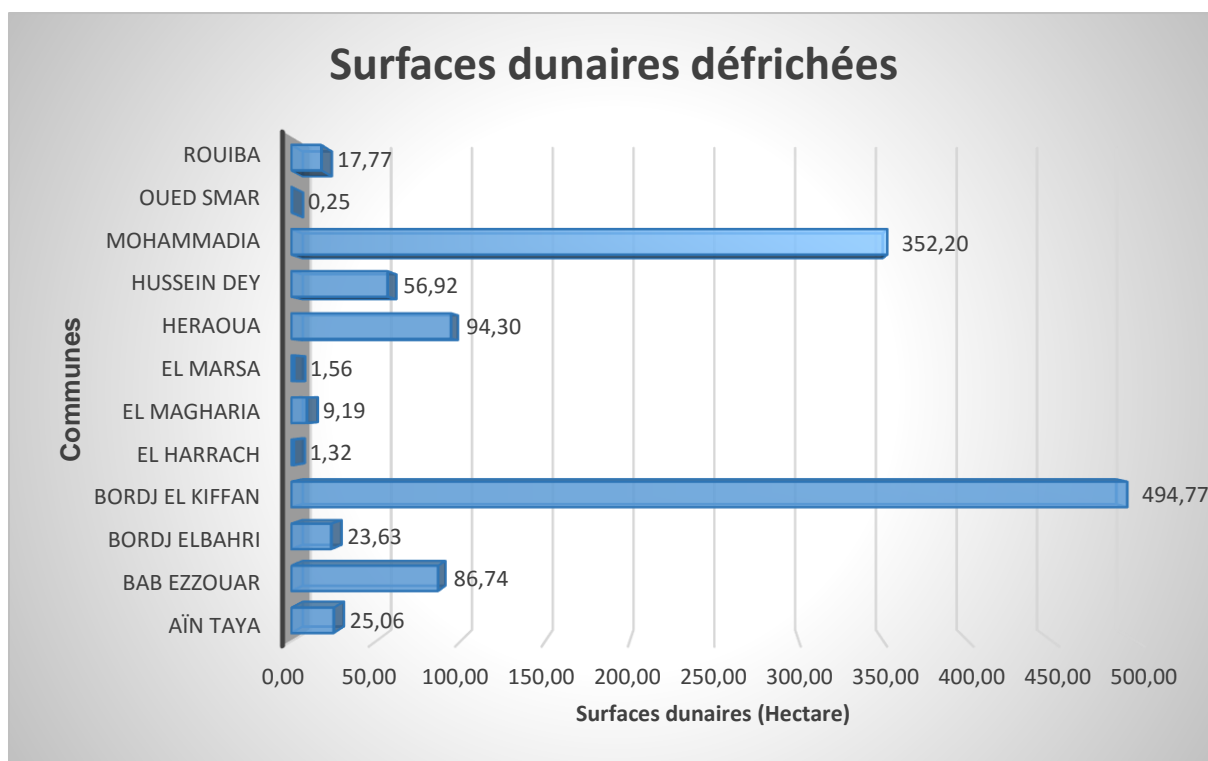


Figure 75: Taux de pertes de dunes par commune

On note aussi la dégradation plus modérée (mais notable) des dunes consolidées localisées surtout dans les communes intérieures de la baie, (Heraoua, Bab Ezzouar), en effet ces anciennes dunes défrichées (ou enfouis sous zones urbaines), perdent leur lien écosystémique avec les plages de la baie du fait de l'artificialisation intensive (voir annexe n° 6 ; surfaces défrichées par date et par commune).

Cette dégradation, voir disparition massive de dunes côtières, défrichées sous la pression de la crise foncière et de la pression démographique sur la capitale se traduisant par la construction d'agglomérations en réponse à la demande croissante en matière d'habitat, a causé par la suite "indirectement" des épisodes récurrents d'érosion côtière, au centre et à l'est de la baie d'Alger (figure 76).



Figure 76: Accroissement de l'érosion côtière sur le centre et l'Est de la baie

En effet, les plages ayant un lien direct avec ces anciennes dunes, se trouvant dépourvus de sources d'alimentation en sédiment, cela conjugué à d'autres facteurs locaux (notamment l'accroissement de l'hydrodynamisme, piégeage de sédiment des oueds), sont devenues sujettes à une érosion accrue durant ces deux dernières décennies.

3.3 La vulnérabilité du littoral face à l'urbanisation

Après l'identification quantitative des zones littorales urbanisées, la fragilisation du littoral algérois est bien connue et ressentie sur terrain (érosion fréquente, remontée du niveau de la mer, inondation...), le but de ce volet est de quantifier le taux de vulnérabilité côtière par commune, en vue de synthétiser et corréliser les degrés de fragilisation et les impacts secondaires de l'action humaine.

La vulnérabilité peut être définie comme le degré auquel une personne, une communauté ou un système sont susceptibles de subir des dommages en raison d'une exposition à un stress externe (O'Brien, et al., 2004). Le concept de vulnérabilité est défini différemment dans les divers domaines scientifiques dans lequel il est utilisé. Bien qu'il n'y ait pas de définition universellement acceptée de la vulnérabilité et qu'il ne soit pas non plus clair comment elle peut être utilisée comme outil dans les évaluations environnementales (Füssel, 2007), elle est devenue désormais un élément très important dans l'étude de la relation homme-environnement. En effet, un certain nombre d'études pertinentes ont été publiées ces dernières années (McLaughlin & Cooper, 2010), (Turner, 2010), (Toro, et al., 2012) (Mukhopadhyay, et al., 2012)).

La baie d'Alger a dans certaines zones, un relief prononcé (Zone Est, mont Bouzareah) source d'instabilité des terres "glissements de terrain, risques de coulée de boue ..." (Egis Eau / IAU-IDF BRGM, 2013). Une variabilité climatique élevée est observée, alternant périodes de sécheresse et pluies exceptionnelles, et ont provoqué au passé plusieurs désastres (Djellouli & Saci, 2003).

Les côtes algéroises sont des zones de forte sismicité, en raison de leur localisation (proche des limites tectoniques du Sahel), des tremblements de terre dévastateurs y ont été vécus "Boumerdes-2003, Asnam, ...etc" (Yelles-Chaouche, et al., 2009).

L'activité sismique génère également un risque de tsunami, elle correspond à une hauteur d'eau d'environ 2 m, pour une probabilité d'occurrence de quelques décennies à 100 ans, sur la base d'événements historiques connus (Egis Eau / IAU-IDF BRGM, 2013).

3.3.1 Les indices de vulnérabilité côtière

Diverses méthodologies ont été élaborées pour évaluer la vulnérabilité des zones côtières aux risques environnementaux. La plupart de ces méthodes reconnaissent la nécessité d'intégrer les aspects humains (Siva Sankaria, et al., 2015), mais peu ont été en mesure de le faire (McLaughlin, et al., 2002) (McLaughlin & Cooper, 2010)). Pour cartographier la vulnérabilité, plusieurs approches existent au niveau international, soit à l'aide d'indices simples où bien d'approches intégrées au niveau local / régional tout en essayant d'incorporer l'aspect socio-économique, on peut citer principalement: "CM (Common Methodology), (IPCC CZMS, 1992), SURVAS (Synthesis and Upscaling of Sea) (Nicholls & De la Vega-Leinert, 2000), DIVA (Dynamic Interactive Vulnerability Assessment (Vafeidis, et al., 2004), IVC (Coastal Vulnerability Index), (Gornitz, et al., 1994), CSoVI (coastal social vulnerability index) (Boruff, et al., 2005) et CCHZ (Coastal Change Hazard Zone) (Baron, 2011) (Mukhopadhyay, et al., 2012).

L'indice de vulnérabilité côtière (IVC), développé à l'origine par Gornitz (1990-1994) pour évaluer les risques d'élévation du niveau de la mer dans la côte Est des États-Unis (Gornitz, et al., 1991), a été amélioré (ajout des facteurs socio-économiques) et adapté aux caractéristiques des zones étudiées et à la disponibilité des données sur les paramètres impliqués dans la vulnérabilité. Plusieurs améliorations, de l'indice de vulnérabilité côtière ont été réalisées (McLaughlin, et al., 2002), (Hammar-Klose, et al., 2003), (Toro, et al., 2012), (Mani Murali, et al., 2013).

En Algérie, au début des années 2000, plusieurs analyses ont été réalisées sur l'adaptation de la zone côtière aux pressions humaines (Ghodhani & Berrahi-Midoun, 2013), certaines études concernaient l'évaluation des risques (Nouri & Ozer, 2014) où les perspectives d'une gestion intégrée de la bande côtière (MREE-PAP RAC/PAM, 2015), mais aussi sur la difficulté législative de protéger les côtes en Algérie face à l'urbanisation croissante (Kacemi, 2011). Cependant au niveau académique, l'évaluation de la vulnérabilité côtière à l'aide de l'IVC est très rare dans la région, principalement en raison de l'absence de données de base composant cet indice. La principale application académique de l'IVC en Algérie était une approche physique appliquée à Alger en 2014 (Mihoubi, et al., 2014), qui ont produit un IVC selon la formule Gornitz & White (Gornitz, et al., 1994) et qui ne prend malheureusement pas en compte les paramètres socio-économiques.

Le tableau 28 ci-dessous synthétise les principaux outils de caractérisation de la vulnérabilité côtière, ainsi que leurs principales critiques académiques.

Tableau 28: Comparatif entre indices de vulnérabilité côtière

Indice de vulnérabilité	Échelle	Critiques
CVI selon Gornitz	Local-national	Ne tiens pas compte de l'aspect socio-économique (Mukhopadhyay et al, 2012)
CVI selon McLaughlin and Cooper	Local-national	La pondération des paramètres socio-économique varie en fonction du niveau d'expertise locale (baron 2011)
CM (Common methodology)	National International	Difficulté de se procurer certaines données (Capacité budgétaire de réaction à la vulnérabilité par exemple (Klein and Nicholls, 1999).
CSoVI (coastal social vulnerability index)	National	Données socioéconomiques pointues (pauvreté, ethnie, développement...) (Boruff <i>et al.</i> , 2005).
SURVAS (Synthesis and Upscaling of Sea-level Rise Vulnerability assessment study.	National International	Créé pour des grandes échelles (Nicholls & de la Vega-Leinert 2000)
DIVA	Local National International	Vulnérabilité au niveau de segment, nécessité de données très fine (Vafeidis <i>et al</i> , 2004)
CCHZ	Local	Modèle probabiliste nécessité de données géoclimatiques pointues ; récurrence de tempête, Bilan sédimentaire par plage...etc. (Baron, 2011)

L'indice retenu dans notre approche est le CVI selon McLaughlin et Cooper (McLaughlin, et al., 2002) (McLaughlin & Cooper, 2010), qui ont amélioré le CVI de Gornitz (Gornitz, et al., 1991) en ajoutant en considération (en plus des "paramètres physiques de la côte") les paramètres socioéconomiques (urbanisation, démographie, réseau routier...), des données disponibles (ou productibles) sur notre zone d'étude.

L'indice est obtenu en intégrant dans un Système d'Information Géographique différents facteurs de vulnérabilité côtière. De nombreux facteurs pertinents ont été produits à partir de l'imagerie satellitale, combinés à d'autres données exogènes ; ils sont analysés par une méthode multicritère après avoir été regroupés en trois sous-indices ; «Caractéristiques physiques de la côte», «Forçage côtier» et «Facteurs socio-économiques», afin de produire à la fin la carte de l'IVC.

3.3.2 L'indice de vulnérabilité côtière selon Mc Laughlin et Cooper

Cette étude s'inspire de l'approche de McLaughlin (McLaughlin & Cooper, 2010), qui a développé un IVC multi-échelles, modulable selon la zone d'étude. L'indice intègre trois sous-indices: (1) un sous-indice « Caractéristiques de la côte »; décrivant la résilience et la susceptibilité côtière à l'érosion (Mihoubi, et al., 2014), (2) un sous-indice de « Forçage côtier », caractérisant les variables de forçage contribuant à l'érosion induite par les vagues et les houles (3) et un sous-indice « Facteurs socio-économiques » ; décrivant les biens matériels et humains potentiellement à risque (Population, réseau routier, occupation du sol ...).

Chaque sous-indice regroupe plusieurs facteurs, ces derniers ont une identification spécifique (rang et poids) en fonction de l'échelle d'application considérée. Le schéma ci-dessous (figure 77) illustre les facteurs utilisés pour générer les trois sous-indices dans le cas de la baie d'Alger (échelle locale).

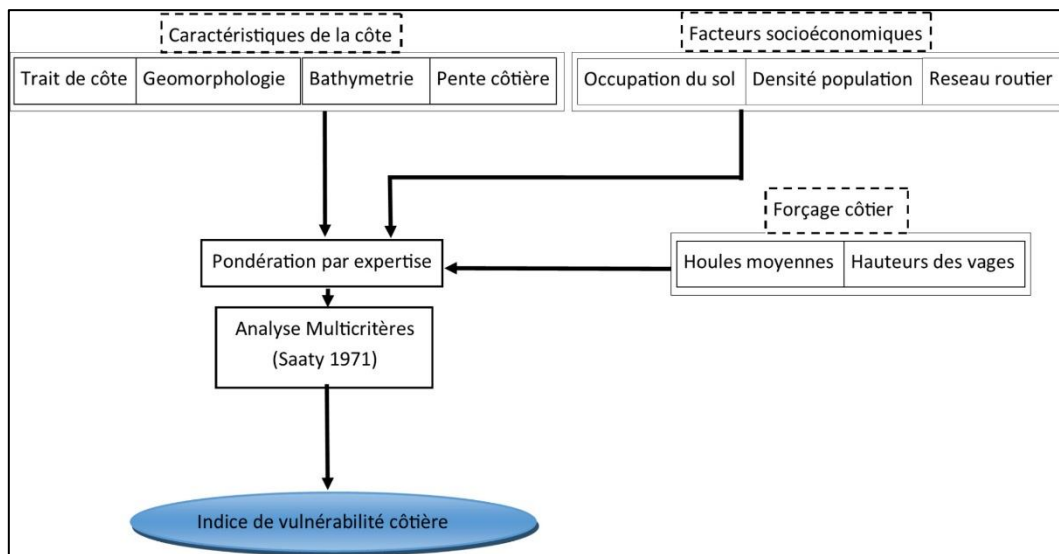


Figure 77: l'IVC et ses trois sous-indices

3.3.2.1 Les données de télédétection

Les images Landsat offrent la meilleure résolution temporelle, fournies par l'USGS ; "United States Geological Service", c'est en effet la plus longue archive à libre accès pour la région (USGS, 2017). Ces imageries ont été téléchargées en vue de cartographier deux facteurs de l'IVC: « Carte de l'urbanisation » (entre 2000 et 2015). D'autres images de meilleure résolution notamment Sentinel 2A-10m et Alsat2A/Alsat2B – 2.5m ont été utilisées également pour la validation/élimination de confusions ainsi que pour mettre à jour la couche « réseau routier » par photointerprétation. Les métadonnées sont spécifiées ci-dessous (tableau 29).

Tableau 29: Caractéristiques des données multitemporelles Landsat

Images Landsat	Capteurs	Caractéristiques
Landsat 8 (01-05-2015)	OLI/TIRS (niveau L1T)	Spectral : 8 Bandes + Panchromatique Spatial : 30 m (MS), 15 m Pan
Landsat 7 (15-08-2000)	ETM (niveau L1T)	Spectral : 8 Bandes + Panchromatique Spatial : 30 m (MS)
Sentinel (13/10/2016)	2A	Spectral: 13 Bandes Spatial: 10m
Alsat (29/08/2016) + (30/10/2016)	2A/2B	Spectral: 4 Bandes Spatial: 10m (MS), 2.5m Pan

Les deux scènes Landsat ont d'abord été calibrées radiométriquement (des valeurs du compte numérique à des valeurs de réflectance), puis comparées à l'aide d'une méthode de détection du changement "différenciation univariée" (Singh, 1989/2010), pour extraire le taux d'urbanisation (à partir de la bande 1 des deux scènes), cette méthode «différenciation de bandes» est utilisée en raison de sa simplicité, et la facilité de sa reproduction (Gong, et al., s.d.). Les cartes qui en résultent sont illustrées dans la section suivante.

3.3.2.2 Les Sous-indices de l'IVC

Comme décrit dans la figure 75 précédente, les facteurs influençant la vulnérabilité sont regroupés en trois sous-indices :

3.3.2.2.1 Caractéristiques physiques de la côte

Quatre facteurs intervenant dans la vulnérabilité « physique » de la côte sont produits (la géomorphologie, la bathymétrie, la pente, le trait de côte).

3.3.2.2.1.1 La géomorphologie

A l'aide d'une carte géologique d'Alger, géoréférencée avec le système de projection Universal Transverse Mercator "UTM" et le Datum WGS-84 (source ; Carte géologique de l'Algérie, feuille 1964) et une imagerie aérienne ancienne (année 2000, source INCT¹). La lithologie littorale a été numérisée, corrigée puis classée (figure 78).

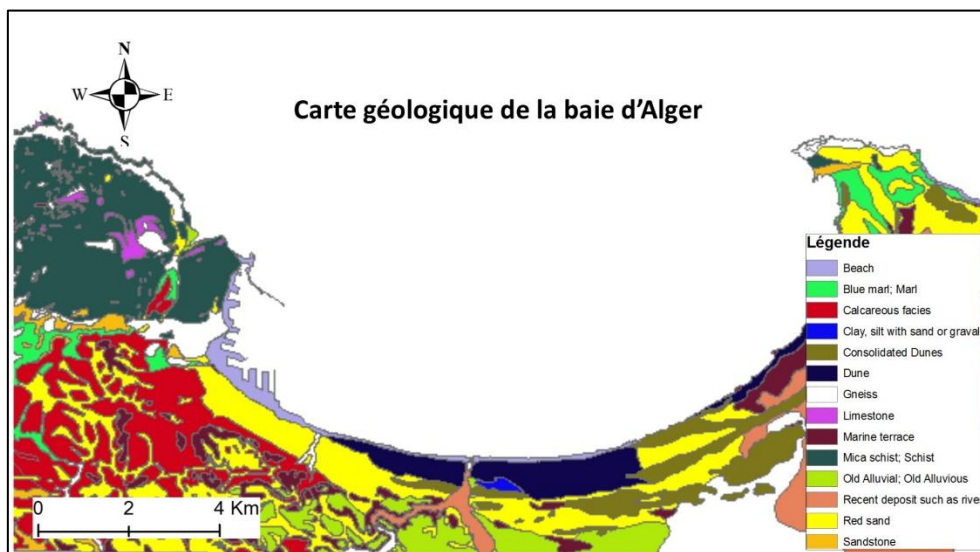


Figure 78: Géomorphologie côtière

3.3.2.2.1.2 La bathymétrie

La bathymétrie ou «topographie sous-marine» représente les variations du relief du fond marin et peut être représentée par des courbes de niveau ou appelées également des isobathes. Ces isobathes ont été extraites d'une combinaison entre une carte topographique (géoréférencée) et une carte bathymétrique de la GEBCO² «Carte Bathymétrique Générale des Océans» (Weatherall, et al., 2014). (figure 79).

¹ www.inct.mdn.dz

² <https://www.gebco.net>

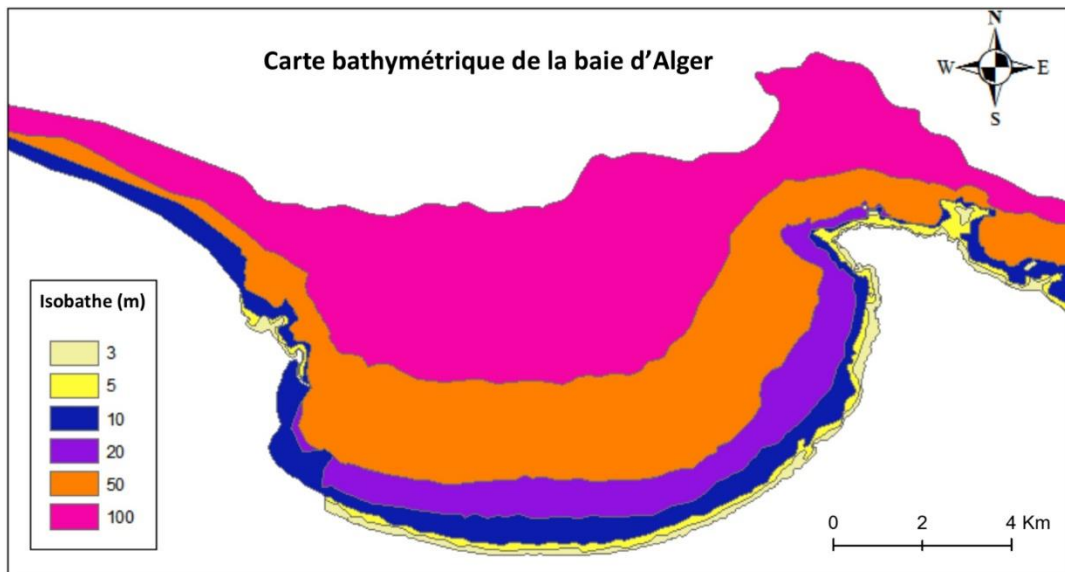


Figure 79: Bathymétrie de la baie d'Alger

3.3.2.2.1.3 La pente côtière

La pente est la mesure de la courbure sur un transect droit. En géomorphologie côtière, les côtes où la pente est élevée sont les plus exposées à l'érosion (Mani Murali, et al., 2013). La carte des pentes (figure 80) a été dérivée à partir des données SRTM³ (Shuttle Radar Topographic Mission, archives USGS) d'une résolution 30m de résolution, et varie entre environ 35% d'inclinaison à l'Ouest de la baie (près des zones de relief) jusqu'à 2% à l'Est.

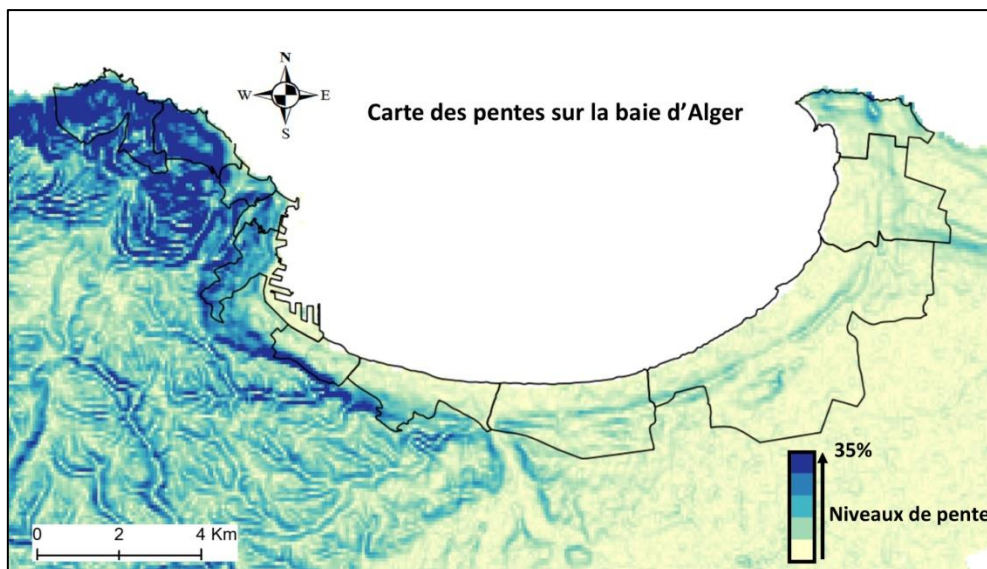


Figure 80: Niveaux de pente

3.3.2.2.1.4 Le trait de côte

A l'aide d'une imagerie image aérienne ancienne (année 2000), et une combinaison ; "carte topographique et une scène Google Earth géoréférencée (année 2015)". Le tracé du trait de côte des deux années (2000-2015) a été extrait sur un SIG. Ensuite à l'aide de ces 2 couches vectorielles extraites (pour chaque date), on calcule le taux fluctuation (figure 81).

³ <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>

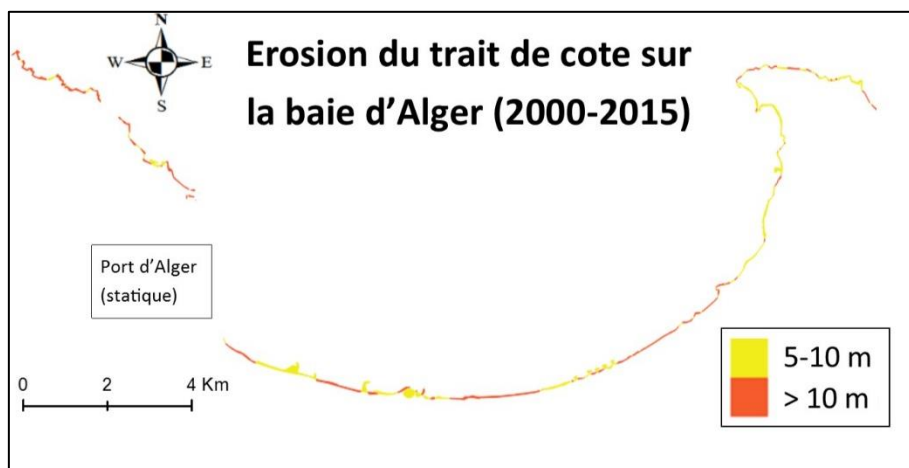


Figure 81: Érosion moyenne du trait de côte sur 15 ans

3.3.2.2.2 Facteurs de forçage côtiers

L'hydrodynamisme marin, est parfois à l'origine d'érosion marquée du rivage, dans ce sous-indice deux facteurs sont pris en considération : La moyenne des marées, et la hauteur significative des vagues.

3.3.2.2.2.1 Moyenne des marées

La moyenne significative des marées est la différence verticale entre la marée haute la plus haute et la marée basse la plus basse. Pour la présente étude, les zones côtières à marée élevée sont considérées comme très vulnérables. Dans le bassin algérois, la marée moyenne est de 0,16m (Albérola, et al., 1995) et c'est considéré comme une marée « faible à moyenne ».

3.3.2.2.2.2 Hauteur significative des vagues

Les côtes algériennes et surtout les côtes algéroises se caractérisent par une hauteur de vagues de faible à moyenne (entre 0,2 et 3 m). La hauteur maximale des vagues observée au cours des dix dernières années est de 3m (Larara, 2012).

3.3.2.2.3 Facteurs Socio-économiques

Trois couches composent ce sous-indice ; l'urbanisation, le réseau routier, et le taux de population.

3.3.2.2.3.1 Urbanisation de la baie d'Alger

Le suivi de l'urbanisation en zone côtière est essentiel pour comprendre l'influence de l'artificialisation humaine sur la vulnérabilité de la côte (Egis Eau / IAU-IDF BRGM, 2013). Les techniques de détection du changement (approche univariée) à travers les images d'archives Landsat, de 2000 à 2015, ont permis de cartographier le taux d'urbanisation par commune. (figure 82).

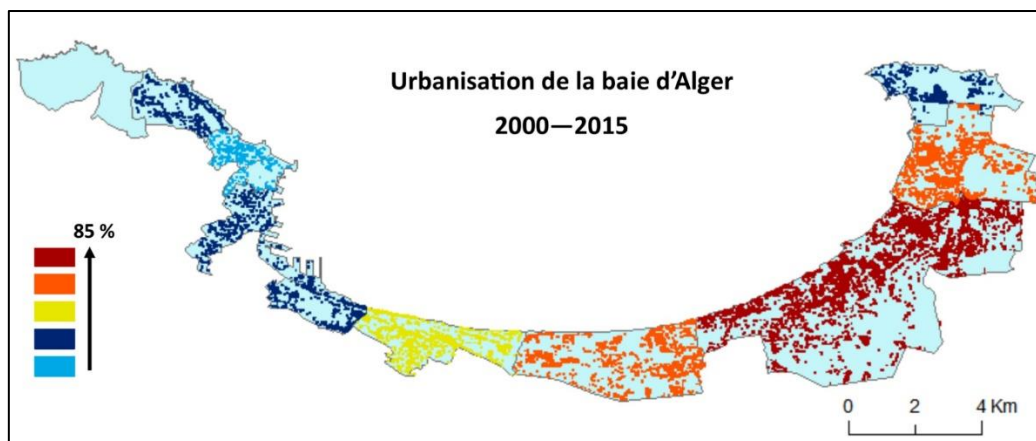


Figure 82: Urbanisation côtière

3.3.2.2.3.2 Densité de population

À l'aide de données démographiques recueillies auprès de l'Office National des Statistiques / ONS (Berrah, 2011), la densité de population (par commune) est illustrée par seuil ci-dessous (figure 83).

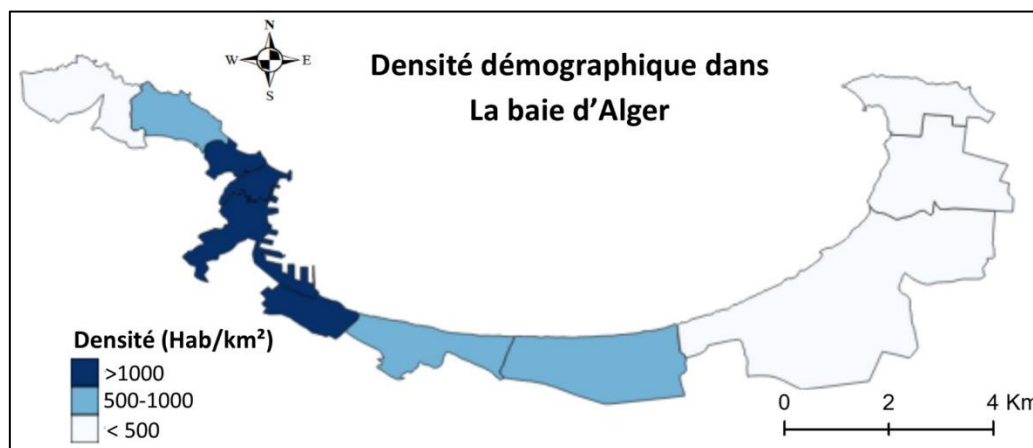


Figure 83: Densité de population par commune

3.3.2.2.3.3 Réseau routier

A l'aide d'une couche vectorielle de routes d'Alger (téléchargée du site internet de l'Institut National de Cartographie et Télédétection⁴) et mise à jour / corrigée par photointerprétation, une carte de densité du réseau routier par commune a été réalisée (figure 84).

⁴ www.inct.mdn.dz

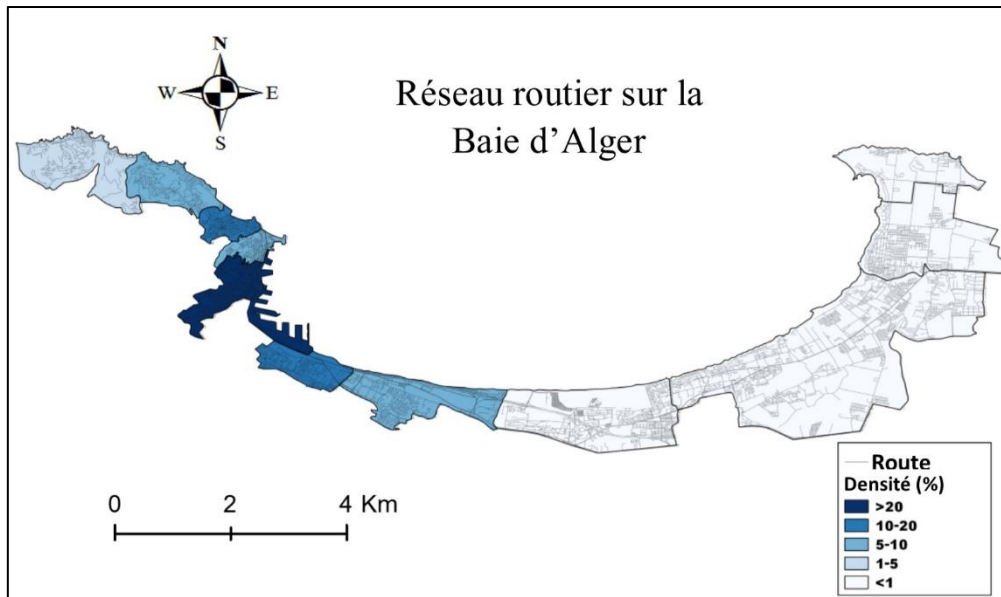


Figure 84: Densité du réseau routier par commune

3.3.2.3 Pondération des couches

Le processus analytique de hiérarchie (AHP) est une approche multicritères développée par T. Saaty (1977) pour les processus d'aide à la décision, utilisée principalement pour la pondération des facteurs structurels (Molines, 2007), elle est composée de plusieurs étapes ;

En premier, des comparaisons par paires sont effectuées pour tous les facteurs considérés, la matrice obtenue est normalisée en utilisant des scores suivant l'importance relative de chaque facteur. La matrice a été formée en divisant chacune des colonnes par la somme correspondante. En deuxième étape, les valeurs moyennes de chaque colonne ont été calculées et utilisées comme poids dans la hiérarchie objective pour le calcul de l'IVC.

Pour valider la pondération, deux indices sont proposés par la méthode AHP: Indice de cohérence (IC) et Ratio de cohérence (RC), calculés comme dans (14) et (15):

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \dots\dots\dots (14)$$

$$CR = CI / RI \dots\dots\dots(15)$$

3.3.2.4 Génération de l'IVC

Pour calculer l'IVC, les variables sont classées selon une échelle de 1 à 5. Où 5 est la plus haute valeur. (tableau 30) illustre les règles utilisées pour classer les facteurs constituant les trois sous-indices de vulnérabilité pour une application à échelle locale.

Les valeurs des sous-indices sont normalisées selon la formule suivante (MCLAUGHLIN et COOPER, 2010) ;

$$\frac{\text{Somme de scores variables} - \text{Minimum possible de scores}}{\text{Somme Max des scores} - \text{Minimum possible des scores}} \dots\dots\dots(16)$$

Ce qui donnera les formules de sous-indices suivantes :

$$\text{Caractéristiques de la côte (FC)} = \left\{ \frac{[(\text{somme des valeurs de CC var.}) - 4]}{16} \right\} \times 100 \dots\dots\dots(17)$$

$$\text{Forçage Côtier (FC)} = \left\{ \frac{[(\text{somme des variables FC}) - 2]}{8} \right\} \times 100 \dots\dots\dots (18)$$

$$\text{Facteurs Socioéconomiques (SE)} = \left\{ \frac{[(\text{somme des variables SE}) - 3]}{12} \right\} \times 100 \dots \dots \dots (19)$$

L'indice IVC final est calculé par la moyenne des trois valeurs des sous-indices, comme le montre la formule ci-dessous :

$$\text{IVC} = (\text{sous-indice CC} + \text{sous-indice FC} + \text{sous-indice SE}) / \dots \dots \dots (20)$$

Tableau 30: Classement des facteurs de l'IVC

Sous-indice	Facteur	Rang				
		1	2	3	4	5
Caractéristiques de la côte	Géomorphologie	Sol alluvial ancien	Sol alluvial nouveau	Dunes consolidées	Sable grossier argile	Sable fin
	Bathymétrie (m)	< 5	[5 – 10]	[10-20]	[20-50]	> 50
	Pente de la côte (%)	< 5	[5-10]	[10-20]	[20-30]	> 30
	Retrait du trait de côte (m)	< 1	1- 3	3-5	5-10	>10
Socio-économique	Urbanisation du paysage (%)	<20	20-40	40-60	60-80	>80
	Densité de la Population (Pers/km ²)	<50	50-200	200-500	500-1000	>1000
	Réseau routier (%)	<1	1-5	5-10	10-20	>20
Forçage côtier	Hauteur moyenne de la marée (m)	< 0.05	0.05-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4
	Hauteur significative des vagues (m)	< 0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	>2

3.3.2.5 Résultats et discussion

Les trois sous-indices de vulnérabilité ainsi que l'indice final IVC sont représentés sous format de cartes (figure.85, 86, 87, 88).

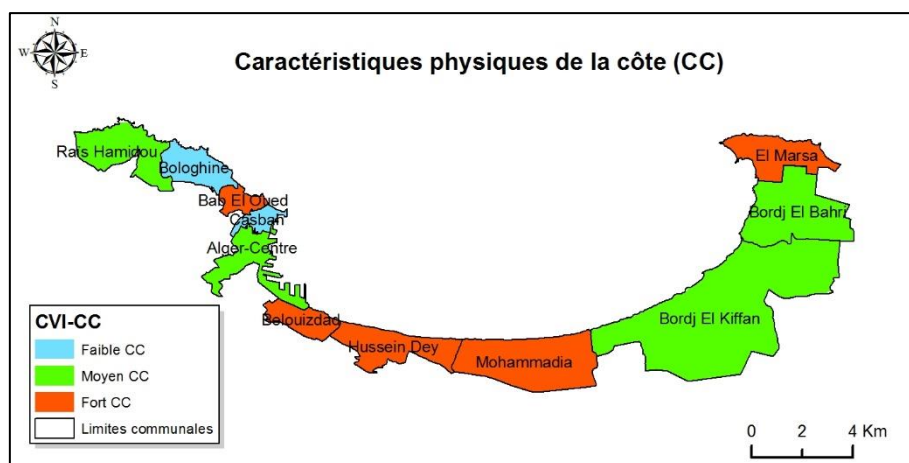


Figure 85: Sous-indice ; Caractéristiques de la côte par commune

La commune d'El Marsa, considérée comme vulnérable par le sous-indice "caractéristiques de la côte" (figure 85), n'est pas vulnérable selon carte finale de l'IVC (figure 88), parce qu'elle est

socioéconomiquement non vulnérable (figure 87) ce qui montre la forte influence du sous-indice "facteur socio-économique" sur la carte finale de l'IVC.

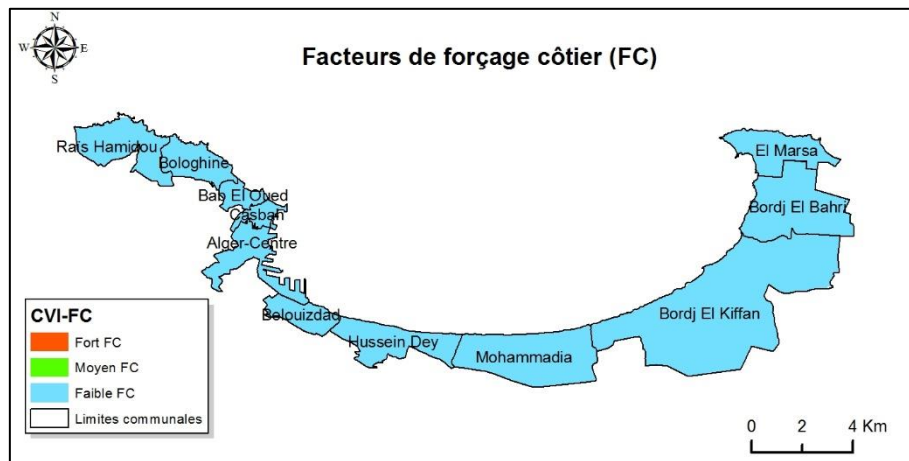


Figure 86: Sous-indice ; Forçage côtier par commune

Le sous-indice "Forçage côtier" a une faible valeur sur la baie d'Alger (figure 86), et donc une influence non significative sur l'IVC final dans la région.

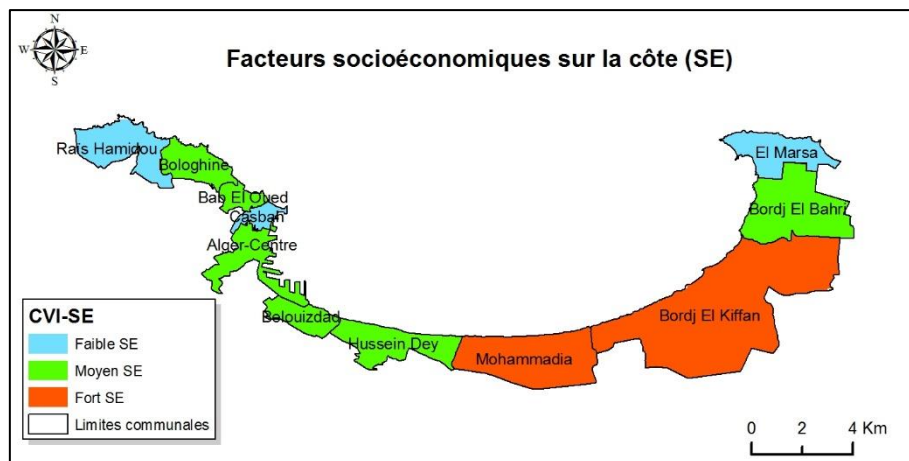


Figure 87: Sous-indice ; Facteurs socio-économiques par commune

Les communes considérées comme très vulnérables (Hussein Dey, Mohammadia, Bordj El Kiffan) sont non seulement vulnérables sur le plan socio-économique (figure 85), mais connaissent également une forte fluctuation du trait de côte « Caractéristiques de la côte », (figure 85).

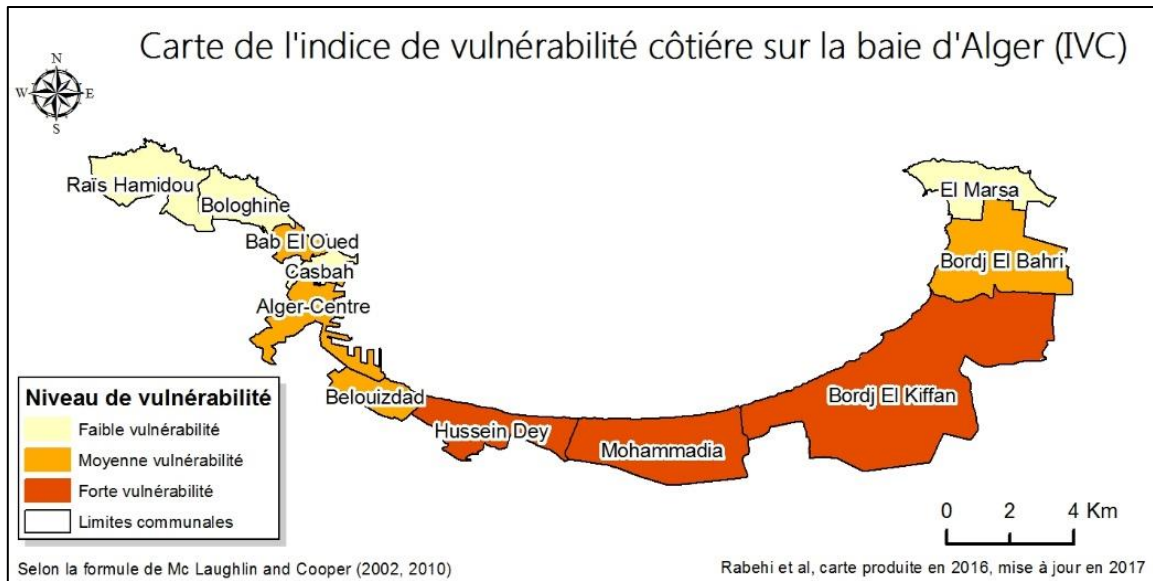


Figure 88: Indice de vulnérabilité côtière IVC par commune

Les communes moyennement «vulnérables» (Bordj El Bahri, Belouizdad, Alger-Centre) se caractérisent par la présence d'au moins un facteur de vulnérabilité (forte "densité de population" et fort "réseau routier" pour Alger-Centre, "érosion du trait" de côte pour Belouizdad, fort "taux d'urbanisation" pour Bordj El Bahri ...).

D'un point de vue diachronique, deux des trois communes les plus vulnérables « Mohamadia, Bordj El Kiffan » (figure 88) sont des communes ayant subi la plus forte urbanisation au cours des dernières décennies (Berrah, 2011) car c'est des communes qui contiennent le plus de foncier libres (Agriculture, prairies, dunes ...) dans la baie et ont donc fait l'objet d'une forte croissance démographique. La partie Centre et Est de la baie (Alger-Centre, Belouizdad ...) étaient déjà artificialisées par le passé, ce qui explique la forte dégradation de ces rivages.



Figure 89: Structures de protection dans la baie d'Alger

On constate à la fin que sur ces communes qualifiées comme vulnérables, la présence de nombreuses structures de protection contre l'érosion côtière (figure 89) qui est une réaction des

acteurs locaux au dysfonctionnement accru du littoral côtier, ce qui montre que ces littoraux sont vulnérables et donnent plus de pertinence à la carte IVC.

Conclusion

L'analyse de l'occupation du sol sur la baie d'Alger permet de synthétiser divers profils communaux ; des communes à l'Ouest avec une hégémonie urbaine quasi-totale et des communes au centre et à l'Est avec une occupation du sol plus varié et une résilience de certaines classes « Prairie, Agriculture, Sol nu (plages) », mais qui se transforment lentement en zone péri-urbaines, dernière étape avant urbanisation.

Cette urbanisation date d'avant 1985 pour les communes de l'Ouest et Centre-Ouest, et s'est fait plus récemment pour les communes de l'Est, par la création de nouveaux noyaux (l'avant 2000) ou en renforcement des anciennes agglomérations chef-lieu (2000-2015).

Les deux premières bandes de servitude de la loi littorale (300 et 800m) reflètent les mêmes visions en matière d'occupation du sol (saturation urbaine décroissante de l'Ouest vers l'Est), néanmoins la dernière bande des 3 Km permet de voir certaines classes de résilience (agriculture, prairie).

L'urbanisation transgressive des zones de servitude ne concerne pas seulement les communes côtières de la baie, mais aussi certaines communes non-côtières « dites dortoirs », qui sont incluses dans la bande des 800m (El Magharia, Kouba, Oued Korich) et des 3 Km (El Harrach, Bab Ezzouar, Bachdjarrach, Kouba).

En analysant le PDAU, un des outils de gouvernance locale les plus pertinents, on s'aperçoit qu'il autorise des "zones à urbaniser" dans les trois bandes de servitude surtout dans les communes du centre et de l'Est, cette urbanisation se fait même d'une manière linéaire et parallèle à la côte (axe Hussein-dey, Mohamadia), contraire à loi 2002-02.

Les zones d'urbanisation future sont moins importantes et figurent moins dans les bandes de servitude on note néanmoins quelques parcelles à urbaniser dans la bande des 300m (Bordj El Kiffan, Mohammadia), ce qui montre la prise de conscience par les autorités pour les projets avenir.

La cartographie de la vulnérabilité via l'application de l'IVC est un processus simple et aisément reproductible à différentes échelles géographiques (Mukhopadhyay, et al., 2012). Outre la caractérisation des éléments physiques, l'IVC à travers la formule McLaughlin et al (2010) intègre également des éléments socioéconomiques, cette composante influence de manière significative le score global de l'indice par rapport aux autres paramètres physiques de la côte.

L'absence de données de base sur la baie d'Alger a été comblée en partie par les données de télédétection (urbanisation, réseau routier, trait de côte ...), ces résultats peuvent encore être améliorés au futur en alimentant les sous-indices de l'IVC avec d'autres couches de données (patrimoine, cadastre agricole, réseau ferroviaire, carte sismique ...) au fur et mesure de la disponibilité de la donnée.

Les communes identifiées comme les plus vulnérables par cette approche sont aussi des communes fortement urbanisées à proximité du rivage (Bordj El Bahri, Bordj El Kiffan, Mohammadia), le lien entre urbanisation et fragilisation du littoral sur la baie d'Alger est donc un lien direct et très étroit.

Les communes considérées comme vulnérables par cette analyse doivent subir une révision de leurs politiques de gouvernance notamment une révision du PDAU et une application rigoureuse de la loi littorale, l'efficacité des structures de protection déjà établies doit être aussi revue en matière de choix de l'ouvrage et d'efficacité de la modélisation préalable, car ces zones côtières demeurent encore vulnérables malgré les solutions d'aménagement côtier implantées les dernières années.

Pour une meilleure pertinence de la carte de vulnérabilité, les résultats peuvent être optimisés à l'avenir à une échelle plus élevée (mailles à l'intérieur des communes). Cela nécessitera des efforts des acteurs locaux et nationaux pour disposer d'informations géographiques à une meilleure échelle (campagne de terrain, mise en œuvre de financement spécifique ...etc.).

Bibliographie

- Agharmiou, N., 2013. *La planification urbaine à travers les PDAU-POS et la problématique de la croissance et de l'interaction villes/villages en Algérie* Référence empirique à la wilaya de Tizi-Ouzou. s.l.:Thèse de doctorat, université de Tizi Ouzou.
- Albérola, A. et al., 1995. Tidal currents in the western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 18(2), pp. 273-284..
- Antoine, D., 1998. Apports de la télédétection spatiale de la « couleur de l'océan » à l'océanographie. *Océanis*, 24(2), pp. 81-150.
- Baron, H.-M., 2011. *Coastal hazards and community exposure in a changing climate: the development of probabilistic coastal change hazard zones.*, s.l.: M.Sc. thesis, Oregon State University, Corvallis, USA..
- Berrah, K. & Berrah, K., 2011. *Armature urbaine - RGPH 2008 - , collection statistique n°163/2011*, s.l.: Office National des Statistiques.
- Bodoy, A., 1976. *Etude de l'influence de la température, liée à la pollution thermique, sur la survie et la biologie de quelques Mollusques de substrats meubles.* s.l., s.n.
- Boruff, B., Emrich, C. & Cutter, S.-L., 2005. Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. *Journal of Coastal Research*, 21(5), pp. 932-942.
- Brown, O.-B. & Minnett, P.-J., 1999. MODIS infrared Sea Surface Temperature Algorithm. *Theoretical Basis Document* , Université de Miami..
- CDER, 2013. *Coloration étrange de l'eau de mer à Alger provoquée par un phénomène naturel*,. [En ligne] Available at: <http://portail.cder.dz/spip.php?article3445>
- Djellouli, Y. & Saci, A., 2003. Catastrophe naturelle : Les inondations dévastatrices du 9 et 10 novembre 2001 à Bab el Oued (Algérie).. *Publication de l'Association Internationale de Climatologie.*, Volume 15, pp. 236-242.
- Egis Eau / IAU-IDF BRGM, 2013. *Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels. Phase 1 – Evaluation et représentation des sources de vulnérabilité*, p12. s.l.:s.n.
- Fraser, G.-S. et al., 1998. Windflow Circulation Patterns in a Coastal Dune Blowout, South Coast of Lake Michigan. *Journal of Coastal Research* , 14(2), pp. 451-460.
- Füssel, H.-M., 2007. Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17(2), pp. 155-167.
- Ghodbani, T. & Berrahi-Midoun, F., 2013. La littoralisation dans l'Ouest algérien : analyse multiscalaire des interactions hommes-espaces-écosystèmes ",. *Espace populations sociétés*, Volume 2013/1-2, DOI : 10.4000/eps.5488.
- Gong, P. et al., s.d. (2013). Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM + data. *International Journal of Remote Sensing*. Volume 3, p. 2607–2654..

- Gornitz, V.-M., White, T.-W. & Cushman, R.-M., 1991. Vulnerability of the US to future sea level rise, Coastal Zone., *Proceedings of the 7th Symposium on Coastal and Ocean Management, American Society of Civil Engineers.*, pp. 1345-1359..
- Gornitz, V.-M., White, T.-W., Daniels, R.-C. & Birdwell, K.-R., 1994. The development of a coastal risk assessment database: vulnerability to sea level rise in the US southeast.. *Journal of Coastal Research*, Volume SI 12, pp. 327-338..
- Halwani, J., Ouddane, B., Abbasse, G. & Baroudi, M., 2000. *Impact environnemental des rejets en Mer Méditerranée des Effluents des centrales thermiques au Liban.* 16-17 Novembre-Beirut-Liban (IEEE Explore), s.n., pp. 258-262.
- Hammar-Klose, E.-S., Pendleton, E.-A., Thieler, E.-R. & Williams, S.-J., 2003. Coastal vulnerability assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to sea-level rise.. *United States Geological Survey Open-File Report 02-233.*
- Hart, D.-E. & Knigh, G.-A., 2009. Geographic Information System Assessment of Tsunami Vulnerability on a Dune Coast. *Journal of Coastal Research*, 25(1), p. 131–141.
- Hussain, M. et al., s.d. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, p. 2013.
- INCT, s.d. [En ligne].
- IPCC CZMS, 1992. *A common methodology for assessing vulnerability to sea level rise-second, report to sea level rise-second revision*, s.l.: IPCC Response Stratégies Working group..
- Journal officiel République Algérienne, 2002. Loi n° 02-02 du 5 Février 2002, sur la protection du littoral (Journal n° 10 du 12 Février 2002).
- Jungerius, P.-D. & Van der Meulen, F., 1988. Erosion processes in a dune landscape along the dutch coast. *CATENA*, Volume 15, pp. 217-228.
- Kacemi, M., 2004. Recommandations pour l'élaboration des PDAU et des POS dans les zones littorales.
- Kacemi, M., 2011. Protection and development of the coastal areas in Algeria : Legislation and instruments, The Case of Oran's Coastal areas.. *Etudes Caribéene*.
- Łabuz, T.-A., 2004. Coastal dune development under natural and human influence on Swina Gate Barrier (Polish coast of Pomeranian Bay). *Coastline Reports*, Issue 2, pp. 129 - 138.
- Larara, M., 2012. Littoral algérien et risques de Tsunamis.. *Bulletin du Service Géologique National*, 23(3), pp. 241-251.
- Levitus, S., Antonov, J.-I., Boyer, T. & Stephens, C., 2000. Warming of the World Ocean. *Science*, Volume 287, pp. 2225-2228.
- M., K., 2011. Protection and development of the coastal areas in Algeria : Legislation and instruments, The Case of Oran's Coastal areas. *Etudes Caribéene DOI: 10.4000/etudescaribeenes.5959.*

- Maia, L.-P., Freire, G.-S. & Lacerda, L.-D., 2005. Accelerated Dune Migration and Aeolian Transport During El Niño Events along the NE Brazilian Coast. *Journal of Coastal Research*, 21(6), p. 1121–1126.
- Mani Murali, R., Ankita, M., Amrita, S. & Vethamony, P., 2013. Coastal vulnerability assessment of Puducherry coast, India using analytical hierarchical process.. *Natural Hazards Earth System Sciences*, Volume 1, pp. 509-559.
- MATET, 2006. -*Ministère de l'aménagement des territoires et l'environnement- Rapport sur l'état l'avenir de l'environnement*, s.l.: s.n.
- McLaughlin, S. & Cooper, J.-A.-G., 2010. A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers?.. *Environmental Hazards*, 9,(3), pp. 233-248.
- McLaughlin, S., McKenna, J. & Cooper, J.-A.-G., 2002. Socio-economic data in coastal vulnerability indices : constraints and opportunities.. *Journal of Coastal Research; ICS 2002 proceeding*, Volume SI 36, pp. 487-497;.
- Mihoubi, M.-K., Belkessa-R & Latreche, M., 2014. Study of the Vulnerability of Coastal Areas of the Algerian Basin with the GIS.. *International Journal of Environmental Science and Development*, 5(6), pp. 522-525.
- Millot, C., 1999. Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems* , Volume 20 _1999, p. 423–442.
- Minett, P.-J.et al., 2004. Sea-surface temperature measurement from the moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS) on aqua and terra.. *IEEE international Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'04 Proceeding*.
- Molines, N., 2007. *Analyse de la valeur sociale des composantes environnementales d'un territoire soumis à l'introduction d'une nouvelle infrastructure linéaire : apport des SIG et des méthodes multicritères*. s.l.:s.n.
- MREE-PAP RAC/PAM, 2015. *Stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie*. s.l.:Appui PAMMedPartnership, UNESCO.
- Mukhopadhyay, A., Dasgupta, R., Hazra, S. & Mitra, D., 2012. International Coastal Hazards And Vulnerability: A Review,. *Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*, 2(1), pp. 57-69..
- Nicholls, R. & De la Vega-Leinert, A., 2000. *Synthesis of sea-level rise impacts and adaptation costs for Europe. In: European vulnerability and adaptation to the impacts of accelerated sea level rise*. s.l., s.n.
- Nouri, M. & Ozer, A., 2014. The urban fabric against natural hazards Case of the bay of Tipaza-Algeria.. *Geo-Eco-Trop.*, 38(1), pp. 103-110..
- NSW, 2001. *Department of Land and Water Conservation, Coastal Dune Management: A Manual of Coastal Dune Management and Rehabilitation Techniques*, Newcastle: Coastal Unit, DLWC.

O'Brien, K., Eriksen, S., Schjolden, A. & Nygaard, L., 2004. What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research.. *CICERO Working Paper*, Volume 4, pp. 1-16.

PNUE/PAM PLAN BLEU, 2009. *Etat de l'environnement et du développement en Méditerranée.*, s.l.: s.n.

PNUE, C. d. r., (2005). *Gestion intégrée de la zone côtière GIZC. Plan d'aménagement côtier (PAC), de la zone côtière algéroise.* s.l.:s.n.

PopulationData, s.d. *Atlas des populations des pays du monde.* [En ligne] Available at: <https://www.populationdata.net/pays/algerie/>

Singh, A., 1989/2010. Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed. *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), pp. 989-1003.

Siva Sankaria, T. et al., 2015. Coastal Vulnerability Mapping Using Geospatial Technologies, InCuddalore-Pichavaram Coastal Tract, Tamil Nadu, India.. *Aquatic Procedia*, Volume 4, p. 412 – 418.

Toro, J., Duarte, O., Requena, I. & Zamorano, M., 2012. Determining vulnerability importance in environmental impact assessment: the case of Colombia. *Environmental Impact Assessment Review*, 31(1), pp. 107-117.

Turner, B., 2010. Vulnerability and resilience: coalescing or paralleling approaches for sustainability science ?. *Global Environmental Change* , 20(4), pp. 570-576..

USGS, 2017. *Landsat Archive Collections per year, spacecraft and sensor (1972 - December 31, 2016)*, s.l.: s.n.

Vafeidis, A.-T. et al., 2004. Developing a global database for coastal vulnerability analysis: design issues and challenges.. *International Archives of photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Volume 35, pp. 801-805.

Weatherall, P., K-M, M., Jakobsson, M. & Rickards, L., 2014. “*Bathymetric Data Sets - General Bathymetric Chart of the Oceans*” - *GEBCO*”, s.l.: s.n.

Yelles-Chaouche, A. et al., 2009. The 1856 Tsunami of Djidjelli (Eastern Algeria): Seismotectonics, Modelling and Hazard Implications for the Algerian Coast. *Pure and applied geophys*, pp. 280-300.

Partie III

Projection prospective du paysage de la baie

Chapitre 5

L'urbanisation de la baie d'Alger à l'horizon 2030

SOMMAIRE

Introduction	159
1. Zone d'étude.....	160
2. Rappel des plans de gestion locale	160
3. Les modèles prédictifs de l'étalement urbain.....	162
3.1 Automate cellulaire	162
3.2 Systèmes Multi-agents	163
4. Choix du modèle	163
5. Méthodologie globale.....	166
5.1 Logiciel de modélisation SpaCelle.....	166
5.1.1 Modélisation des scénarios d'évolution ; 2030A et 2030B.....	167
5.1.1.1 Le scénario A tendanciel ;.....	167
5.1.1.2 Le scénario B ; écoresponsable	167
5.1.2 Paramétrage de la durée de vie.....	167
5.1.3 Règles de transition	167
5.1.4 Extraction des règles de transition et calibration du modèle.....	168
6. Résultats de la modélisation	170
6.1 Cartes des scénarios prédictifs	170
6.3 Analyse des métriques du paysage	171
Conclusion.....	175
Bibliographie.....	175

Liste des figures

Figure 90: Localisation des communes de la baie et contexte géo-topographique	160
Figure 91: Plan d'Alger 2009-2029 (Bouet M. F, 2013)	161
Figure 92: Méthodologie appliquée	166
Figure 93: Extraction des règles de transition des points de vérité au sol	168
Figure 94: Paramètres de SpaCelle	169
Figure 95: Étalement urbain : Scénario A (2030)	170
Figure 96: Métriques : "PLAND (%)" and "NP" par classes (a, b, c, d, e, f)	172
Figure 97: Évolution de la diversité du paysage "SHDI"	172
Figure 98: Évolution des surfaces urbaines.....	173

Liste des tableaux

Tableau 31: Synthèse des modèles prédictifs de l'urbanisation	164
Tableau 32: Synthèse des règles de transition.....	168

Introduction

L'urbanisation est engendrée par de nombreux facteurs, dont la croissance rapide de la population et les migrations à grande échelle (Sudhira, et al., 2004), se manifestant généralement par un étalement rapide et incontrôlé appelé également « expansion urbaine » (UNPD, 2002)

En Afrique du Nord, le littoral méditerranéen affiche une dynamique humaine très élevée, la zone côtière algérienne est dans la région, l'une des plus peuplées avec 40% des quarante millions d'habitants (Ghodbani & Semmoud, 2010), vivant dans l'étroite frange côtière qui ne représente que 1,9% du territoire, par conséquent, les activités socioéconomiques se concentrent dans la même région avec 51% des industries qui y sont situées ainsi que la plupart des infrastructures du pays (MATET, 2004). Cette pression démographique qui s'exerce sur les grandes villes côtières, est particulièrement visible sur la capitale, la saturation du littoral algérois constitue désormais une problématique majeure et préoccupante pour les responsables politiques et acteurs territoriaux (Chadli, et al., 2012).

Avec le développement des techniques de modélisation prédictive, il est désormais possible de surveiller l'environnement et sa dynamique (Goetz, et al., 2003), les archives spatiales (images satellitaires, aériennes) ainsi que les connaissances d'experts sur la planification territoriale permettent de calibrer désormais ces modèles selon différents scénarios d'évolution.

Le principe de la modélisation prédictive est d'anticiper l'expansion urbaine (Chery & Maurel, 2008), limiter son développement au détriment d'environnement naturel, mais aussi pour une gestion optimale de l'occupation du sol d'un territoire.

Différents modèles prédictifs existent actuellement, présentant chacun des spécificités, notamment, au niveau de l'échelle d'analyse, de la nature du territoire en question (simple classe ou multiclassés) (Batty, 2009), de la complexité de définition des règles de transition (par programmation, par diagramme conceptuel, ou par langage simplifié), mais aussi en matière d'exigence en donnée-en-entrée, ces modèles diffèrent également en fonction du profil utilisateur (informaticien, géographe, ou acteur territorial).

Les scénarios prédictifs sont calibrés selon différentes hypothèses de planification territoriale, avec la présence fréquente d'un scénario « tendanciel » exprimant la conservation des tendances d'évolution (Al-kheder, et al., 2008), toute en ayant aussi la possibilité d'ajout de scénarios prédéfinis par l'utilisateur, selon une expertise territoriale pertinente à base de projets prospectifs référentiels (plan urbain, implantation de nouveaux noyaux économiques...).

Dans ce présent chapitre consacré à la modélisation prédictive de l'urbanisation sur la baie d'Alger, deux scénarios d'évolution se distinguent, un scénario tendanciel, traduisant la continuité de l'étalement urbain incontrôlé et un autre scénario traduisant la volonté des autorités locales à protéger la baie et valoriser son littoral à travers un projet écologique ambitieux « Plan d'Alger 2009-2029 » (Bennamar, 2013).

L'objectif général de ce volet est de prédire l'étalement urbain à l'horizon 2030 et évaluer l'efficacité des plans d'aménagement prévus par les autorités locales en vue d'une gestion plus durable du territoire. Nous tentons ainsi de répondre à deux problématiques : (i) comment évoluera cette urbanisation d'ici 2030?, et (ii) les plans de planification urbaine prévus par les autorités sont-ils suffisants pour freiner l'artificialisation du littoral ?

1. Zone d'étude

Alger est composée de 57 communes (dont 20 communes côtières) d'une superficie totale de 220Km, ces communes sont soumises à des pressions anthropiques permanentes (PNUE/PAM, 2005). La «Baie d'Alger», qui sera l'objet focal de cette présente étude, est le centre de l'activité économique de la capitale, elle abrite le port le plus important et le plus fréquenté du pays avec de nombreuses industries actives.. Le milieu littoral est fortement contaminé par différentes sources de pollution : eaux usées domestiques, effluents industriels et huiles. La population urbaine a connu une croissance très rapide et a presque doublé au cours des 21 dernières années, passant de 1,6 en 1987 à 2,6 millions en 1998 à plus de 4 millions en 2008 (ONS, 2013).

De forme circulaire, elle couvre une superficie de 180 km², située entre les latitudes 36° 36' 30" et 36° 49' 15" Nord et les longitudes 02° 49' 00" et 03° 23' 30" Est, (figure 90), elle est délimitée à l'Est par le cap Raïs Hamidou (et fort relief du mont Bouzaréah) et à l'ouest par le cap Tamenfoust et par la mer Méditerranée au Nord. Deux principaux Oueds la traverse ; Oued El Harrach et Oued El Hamiz.

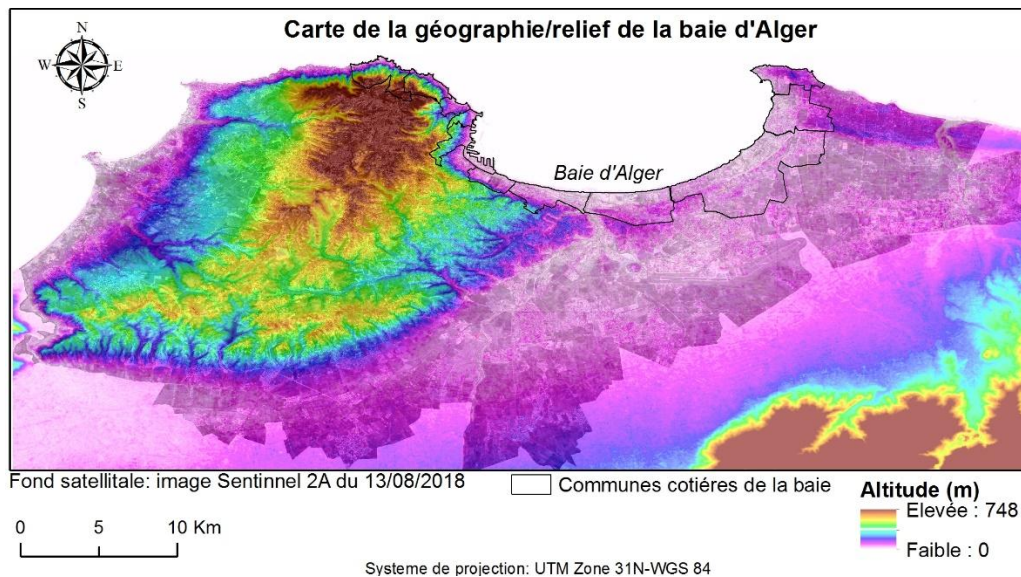


Figure 90: Localisation des communes de la baie et contexte géo-topographique

2. Rappel des plans de gestion locale

À l'horizon 2030, et en raison de l'urbanisation croissante, plus de 75% de la population algérienne vivra en milieu urbain (Touati .K, 2004). L'urbanisation exerce une forte pression sur le littoral, on recense 114 km² sur 220 km² de la zone algéroise comme déjà urbanisée. Cette pression résulte d'un développement urbain incontrôlé qui provoque de sérieux problèmes environnementaux (Djellal, 2005), notamment : la pollution urbaine et industrielle, la perte irréversible de terres agricoles, la menace sur les ressources naturelles et sur les écosystèmes marins et côtiers, augmentant la vulnérabilité de la région.

En réponse à l'urbanisation croissante à Alger et à la diminution notable de la qualité de vie urbaine (The Economist, 2014), les autorités algériennes ont mis en place en 1990, la loi 90-29, qui a été la première à définir des «dispositions spéciales dans les zones environnementalement sensibles» (Kacemi, 2011), elle définit comme zone côtière ; les îles, îlots et bandes côtières d'une largeur minimale de 800 mètres le long de la mer et comprenant les zones humides et leurs rives. Par la suite La loi littorale 2002-02 a été créée, elle définit des

dispositions plus spécifiques pour la protection et la valorisation de la côte en délimitant trois bandes de protection (Journal officiel République Algérienne, 2002). D'autres plans d'occupation des sols et d'urbanisation ont été créés pour contrôler les pressions humaines au niveau national (SNAT) et au niveau local (SRAT, PDAU, POS), mais aussi spécifiquement au domaine littoral (SDAL, SDAAM ...), mais toutes ces mesures n'ont malheureusement pas pu freiner le rythme ascendant de l'urbanisation en zone côtière (Bennamar, 2013), (Kacemi, 2011).

Outre le cadre législatif, les autorités locales ont lancé en 2009 un projet appelé «Plan Alger 2009-2029» destiné spécifiquement à la baie d'Alger (Bouet, 2012) (Bennamar, 2013) noyau de l'activité économique de la capitale. L'objectif global de ce plan est de transformer Alger en éco-métropole en redonnant un caractère plus naturel au littoral et en protégeant les habitats naturels (figure 91).

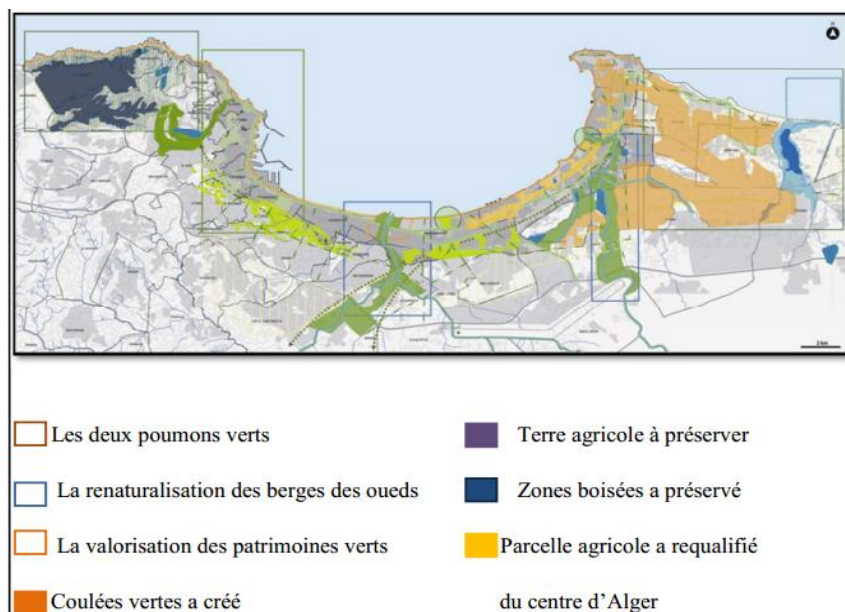


Figure 91: Plan d'Alger 2009-2029 (Bouet M. F, 2013)

Un des principaux objectifs de ce plan est de créer de nouvelles zones vertes «poumons de la baie» pour aérer la côte. Au cours des cinq premières années de ce plan (2009-2014), l'accent a été mis sur la mise au point de nouveaux modes de transport respectueux de l'environnement et de plateformes de transport multimodal, avec de nouvelles lignes de tramways, et de train électriques. Pour les dix années suivantes (2014 à 2024), l'objectif est de créer des «poumons de la baie» qui sont : la forêt de Bainem à l'ouest et la mise en vert de l'Oued el Harrach au centre et des promenades côtières « Sablette » ainsi que la conservation des prairies / cultures de l'Est. Dans cette phase, plusieurs domaines seront priorités, notamment : (i) la protection des terres agricoles et le reboisement pour contrer les effets d'une urbanisation intensive ; (ii) la restauration complète de la rivière Elharrach (centre de la baie) et (iii) la création de promenades vertes le long des rives. La dernière phase du plan (2024 à 2029) comprend trois priorités, dont (i) l'établissement du lien entre chacune des zones vertes de la baie, (ii) l'installation complète d'un système de transport durable pour accroître la mobilité à Alger et aux zones de raccordement, et (iii) la relocalisation des activités portuaires en améliorant le port Tamenfoust à l'Est pour détourner la polarité du port d'Alger. La carte précédente montre les zones concernées par ces interventions (reboisement, requalification des terres agricoles, naturalisation des berges ...).

3. Les modèles prédictifs de l'étalement urbain

Un modèle est une image simplifiée de la réalité qui nous sert à comprendre le fonctionnement d'un système en fonction d'une question. Tout modèle est constitué d'une part de la description de la structure du système, qui incorpore les spécifications sémantiques intégrées (nomenclature d'objets ou de classe, c'est-à-dire "les acteurs") et d'autre part de la description des fonctionnements réguliers (ou non) et des dynamiques qui modifient cette structure au cours du temps (Bousquet, et al., 2002).

Divers approches de modélisation territoriales existent, on peut les classer sous 2 grands groupes (Verburg, et al., 2004) ; « les systèmes multiagents », « les Automates cellulaires ». Pour les systèmes multiagents, parmi les plateformes existantes, on peut distinguer d'un côté celles dans lesquelles la description du modèle se fait via un langage de programmation généraliste comme C++ ou Java, et qui utilisent des bibliothèques de structures et de fonctions adaptées au contexte multi-agent ; c'est par exemple le cas de MASON (Luke, et al., 2005,), de SWARM (Minar, et al., 1996) ou de REPAST (Collier, 2003). D'autres plateformes proposent un langage de programmation moins complexe et présentent donc un progrès par rapport aux précédentes, mais s'ouvrent encore difficilement à des utilisateurs n'ayant pas une formation d'informaticien : c'est notamment le cas de NETLOGO (Tisue & Wilensky, 2004), de CORMAS (Bousquet, et al., 2002) ou de GAMA (Drogoul, et al., 2013). En effet, ces plateformes reposent principalement sur la création de modèles par la programmation informatique, ce qui rend les modèles moins explicites (Echenique, 1972), moins adaptés à la communication, et surtout moins accessibles aux utilisateurs issus des sciences sociales, moins apte à maîtriser l'outil si la plateforme n'est pas intuitive.

Le deuxième groupe ; « les automates cellulaires », ils sont plus simples et flexibles aux données issues des Systèmes d'Information Géographiques (Langlois, 2001), ces deux groupes de plateformes ; « automates cellulaires et les systèmes multiagents » sont mieux analysés dans les volets suivants.

3.1 Automate cellulaire

L'approche de modélisation par Automates Cellulaires (AC) est un concept qui a été proposé par Ulam et Von Neumann à la fin des années 1940 (Silva & Clarke, 2005). Pour le domaine de la géographie, l'AC a été introduit par Tobler (Tobler, 1979), ces modèles d'automates cellulaires ont été ensuite largement utilisés en gestion territoriale et les domaines connexes en raison de trois avantages principaux : la spatialité et l'affinité avec le SIG, la facilité de programmation des règles et l'approche multiéchelle. Divers applications académiques concrètes ont été réalisées, pour la modélisation des formes urbaines (Batty, 1997) (Batty, 2005), pour la croissance urbaine (Clarke & Gaydos, 1998), (Torrens, 2006), (Zhang, et al., 2011), (Langlois, 2001) et pour développement et à la planification urbaine et régionale (Hansen, 2010) .

Les modèles AC sont composés généralement quatre éléments de base :

- Une grille de cellules régulières,
- Un ensemble d'états de cellule,
- Un voisinage défini par la grille,
- Un ensemble de règles de transition pour des cellules individuelles.

De nombreux modèles AC ajoutent également « le temps » en tant que cinquième élément (Silva & Clarke, 2005), ces modèles sont dits ; déterministes, car basés sur des règles, ils utilisent des instructions logiques pour définir leur règles de transition.

Les AC sont semblables dans les principes généraux (structure cellulaire, étalonnage, utilisation de règles de transition), mais chaque modèle dispose de certaines spécificités qui le différencient des autres; "Forme / taille de la cellule, nombre de classes d'occupation des sols, type de transition ..." (Santé, et al., 2010).

3.2 Systèmes Multi-agents

Les modèles multi-agents constituent une nouvelle génération de modèles pour les thématiques d'aménagement du territoire et de l'environnement, Ils sont inspirés des méthodes d'intelligence artificielle distribuée ; un agent est " une entité réelle ou abstraite capable d'agir sur elle-même et sur son environnement; qui peut, dans un univers multi-agent, communiquer avec d'autres agents; et dont le comportement est le résultat de ses observations, de ses connaissances et de ses interactions avec d'autres agents " (Sanders, et al., 1997).

Les applications académiques sont de plus en plus fréquentes ; ce sont en effet des plateformes plus développées que les automates cellulaires, ils sont même parfois une amélioration d'ancien logiciel d'automate cellulaire (exemple SpaCelle est devenu MaGéo) (Langlois, et al., 2015), ils sont néanmoins plus complexes dans la compréhension (pour des utilisateurs de profil géographes par exemple), la définition des règles de transition est souvent réalisée par programmation "C ++, Java ..." et même les modèles dits "conviviaux" (basés souvent sur le formalisme UML) nécessitent une formalisation de la problématique dans un diagramme conceptuel, ou une forme dérivée, "Agent-Organisation-Comportement" (Drogoul, et al., 2013)

Ceci rend la reproductibilité par les utilisateurs non spécialistes (tels les gouverneurs locaux par exemple) assez complexe, la description aussi du territoire sous forme d'un modèle conceptuel nécessitent souvent plus connaissances et de couches de données sur la dynamique du territoire, et ne reproduit dans beaucoup la complexité réelle du territoire (Kanaroglou & Scott, 2001).

Les modèles multi-agents simulent la prise de décision via les agents individuels qui peuvent être des classes l'occupation du sol ou des populations mobiles, ils tentent de traduire les interactions et les dynamiques (Bousquet & Le Page, 2004), cependant la diversité des possibilités de paramétrages est aussi source de complexité en matière de choix et de compréhension, ils sont donc décrits ; d'une complexité organisée : muni d'un nombre moyen d'entités hétérogènes produisant des comportements localement structurés tels les systèmes physiques perturbés, les écosystèmes et les sociétés humaines observées (Bousquet, et al., 2002).

4. Choix du modèle

Une synthèse des modèles prédictifs de l'occupation du sol (Automates cellulaires, systèmes multiagent, et autres...), les plus fréquemment cités dans le cadre du suivi de l'expansion urbaine et de la dynamique du paysage, est réalisée dans le tableau 31 ci-dessous :

Tableau 31: Synthèse des modèles prédictifs de l'urbanisation

Type	Nom du modèle	Description	Reference
Modèle d'Automate Cellulaire	Urban Growth Model UGM / SLEUTH	Basé sur types de croissance : - Spontanée (pertinence), croissance diffuse (pente), la croissance des bords (voisinage), l'influence des routes .	(Clarke and Gaydos 1998), (Candau et al. 2000).
	SPACELLE	Logiciel déterministique basé sur une approche probabiliste, flexible dans la modélisation (dynamique synchrone, asynchrone ou événement aléatoire), interopérabilité avec les SIG	(Dubos-Paillard et al, 2009), (Langlois, 2001).
Modèle multiagent	MAGEO	Basé sur le principe ; Agents-Organisations-Comportements, paramétré par un diagramme conceptuel. Accepte le format vecteur en entrée.	(Langlois et al, 2015).
	NETLOGO	Basé sur le principe « Patch-turtle-observer-links », paramétrés par une interface de programmation.	(Tisue et al, 2004).
	CORMAS: a Multi-Agent Simulation Software for Renewable Resource Management	Simulation multi-agents basée sur le comportement de contact entre les individus et envers la ressource naturelle.	(Bousquet et al. 2002), (Rouchier et al, 2001).
Autre modèles	PLM: Patuxent landscape model	Modèle « économique /écologique » Objectif principal est la quantification de la valeur économique des terres et de la ressource.	(Irwin and Geoghegan , 2001) (Voinov et al, 1999).
	CLUE and CLUE-S	Modèle de simulation dynamique utilisant des dérivées empiriques des relations entre le changement d'utilisation	(Veldkamp and Fresco, 1996), (Verburg et al, 2002)

		des terres et les forces motrices .	
	Modèle de régression logistique (statistique)	Modèle basé sur les régressions linéaires statistiques. Précision rigide, mais dépendant de la qualité des variables.	(Hu and Lo, 2007)

À partir d'une analyse approfondie des références bibliographiques de chaque modèle (cités dans le tableau précédent), on constate d'abord la multitude de modèles prédictifs présents, certains nécessitant des connaissances en programmation comme « CORMAS » (Rouchier, et al., 2001), ou « NETLOGO » (Tisue & Wilensky, 2004), ou en modélisation conceptuelle « MAGEO », leur complexité est cependant justifiée par la complexité de l'environnement et la multitude de variables réelles présentes.

On note aussi la présence de d'autres écoles de logiciel de modélisation, notamment basées sur des réflexions économiques et sociales « PLM » (Irwin & Geoghegan, 2001:), « CLUE » (Verburg, et al., 2004) le but est souvent une valorisation monétaire du foncier (naturel ou autre), mais qui demeure utile en matière de quantification des pertes écosystémiques par exemple, d'autres approches sont basées sur des visions purement statistiques (formule de régression linéaire, logistique..) (Hu & Lo, 2007), mais qui demeurent parfois assez rigides par rapport à la complexité environnementale.

Les modèles d'automate cellulaire sont en revanche plus simples d'utilisation, se basant sur une définition systémique des règles de transitions, ils sont en effet classés en fonction de leur usage (qui est souvent un usage unique) comme; « Descriptif, prédictif, multi-usages ou prescriptif », (Santé, et al., 2010), SpaCelle et SLEUTH sont multi-usages et permettant plusieurs échelles d'analyse (Dubos-Paillard, et al., 2003), selon une logique simple de transition (influence de l'urbanisation voisine, influence des routes ...etc) facilement modélisable.

SLEUTH est relativement plus exigeant que SpaCelle en donnée en entrée, il exige par exemple de fournir, en plus de diverses couches d'occupation du sol (Chaudhuri & Clarke, 2013) , des coefficients mathématiques : (coefficient par type « breed », coefficient d'étalement, coefficient de pente...), SpaCelle offre en parallèle plus de flexibilité pour les règles de transition avec la possibilité de programmer des événements aléatoires (nouveau projet urbain, nouveau complexe touristique dans le paysage, etc.) et qui pourra être ajouté à l'avenir à notre modélisation (Langlois, 2001). Cette flexibilité est compatible avec la nature du territoire algérien caractérisé par un manque de planification prospective de long terme et la mise en œuvre aléatoire de projets urbains sur le territoire (Hafiane, 2007).

Le modèle retenu dans cette approche est le logiciel SpaCelle, car au contraire de SLEUTH qui a été conçu principalement pour la modélisation l'urbanisation "classe urbain / non urbain" (Clarke & Gaydos, 1998) (Al-Ahmadi, et al., 2009), SpaCelle autorise jusqu'à 64 classes, et permet une analyse exhaustive du paysage, il propose également 2 types de modélisation: "Synchrone"; pour une modélisation de plusieurs classes d'occupation des sols en même temps et "Asynchrone"; avec une classe unique d'occupation des sols (classe urbaine par exemple) modélisée séparément (Langlois, 2010).

5. Méthodologie globale

Nous combinons dans cette approche la télédétection, la modélisation par automates cellulaires et l'analyse des métriques du paysage pour observer le changement d'occupation du sol et plus particulièrement l'étalement urbain dans la baie d'Alger pendant une période de 30 ans. L'approche retenue se compose de trois étapes (figure 92). D'abord pour observer l'étalement urbain rétrospectivement, nous utilisons les cartes d'occupation du sol multidates des années 1985, 2000 et 2015 produite à base d'imageries satellitaires, la dynamique rétrospective de l'occupation du sol est analysée et utilisée pour la calibration du logiciel SpaCelle, on produit ensuite des cartes prospectives de l'année 2030 suivant deux scénarios : Scénario A "tendanciel", et Scénario B compatible avec le "Plan d'Alger 2029". Ensuite pour mettre en valeur nos résultats, nous calculons les métriques du paysage en vue de mesurer et analyser l'étalement urbain pour les 5 cartographies (1985, 2000, 2015, Scénario A: 2030, Scénario B: 2030). Enfin, sur la base de ces résultats, nous analysons la dynamique d'occupation du sol et de l'étalement urbain à Alger (passée et future) ainsi que les liens éventuels avec les politiques locales de gestion de l'environnement afin d'en déduire les recommandations finales en matière de planification dans l'espace côtier de la baie.

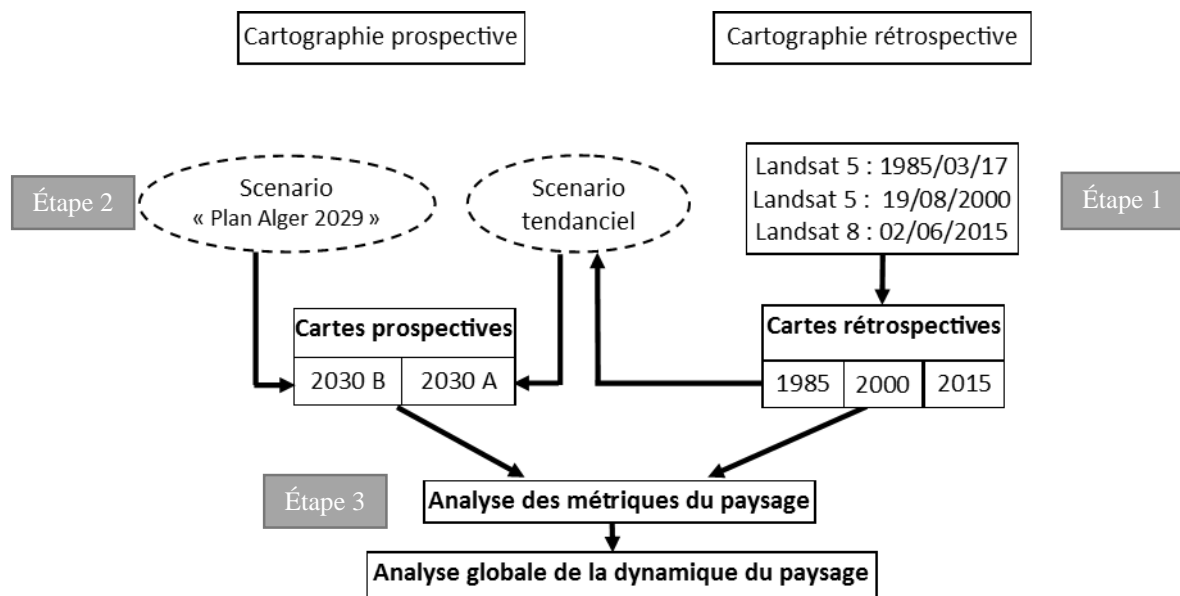


Figure 92: Méthodologie appliquée

L'étape 1 « l'analyse rétrospective de l'urbanisation » a été réalisée dans le chapitre 3, ce présent chapitre exploite ainsi ces cartes rétrospectives pour implémenter le modèle prédictif.

5.1 Logiciel de modélisation SpaCelle

Le programme d'automates cellulaires SpaCelle est un logiciel libre (Langlois, 2001) créé par l'équipe de recherche UMR-IDEES (du Centre National de Recherche Scientifique CNRS et de l'Université de Rouen). Il repose sur un paradigme très général et évalue la compétition spatiale entre diverses populations cellulaires interagissant au sein de leur environnement. Chaque individu cellulaire utilise sa force vitale, qui varie de sa naissance à sa mort, afin de résister aux forces environnementales résultantes des individus voisins. Le programme informatique, basé sur ce principe général (le méta-modèle), doit être implémenté par l'utilisateur à travers une

base de connaissances composée des différentes classes d'état cellulaire, de règles de vie et de mort des individus et de règles de transition. L'agencement des cellules peut être importé à partir d'une grille ASCII, ou saisi directement. La pertinence géographique de ce modèle a été testée à maintes reprises à travers une expérience sur les règles d'évolution de l'espace urbain de Rouen au cours des 50 dernières années (Dubos-Paillard, et al., 2003), les résultats sont très proches de la situation observée, ce qui valide le modèle général et la base des règles pour la zone urbaine de Rouen, un autre cas réussi a été la modélisation de l'urbanisation future de La Réunion (2012) et du bassin de Thau / Sud de la France (Chery & Maurel, 2008).

5.1.1 Modélisation des scénarios d'évolution ; 2030A et 2030B

Le logiciel SpaCelle est utilisé pour modéliser l'étalement urbain à Alger et produire les deux scénarios A et B qui prédisent l'évolution de l'occupation du sol en 2030.

5.1.1.1 Le scénario A tendanciel ;

C'est une simple continuité de l'évolution actuelle anarchique de l'urbanisation et non respectueuse de la législation, l'expansion urbaine s'est souvent basée sur une expropriation anarchique des particuliers (Brahiti, 2008), ou encore des constructions sur des zones naturelles (dunes, agriculture) en raison d'une mauvaise gestion par les élus locaux.

5.1.1.2 Le scénario B ; écoresponsable

Il projette la mise en œuvre du Plan d'Alger 2009-2029 visant la création d'une ville verte d'ici 2030, à travers une gestion plus durable de la croissance urbaine, une mise en valeur de la baie (Bouet, 2012) (Bennamar, 2013) ainsi qu'une application rigoureuse des lois en vigueur.

5.1.2 Paramétrage de la durée de vie

Il est obligatoire de définir la durée de vie pour chaque classe d'occupation du sol selon la syntaxe suivante (Langlois, 2010):

DI: pour la vie infinie,

DF (n) : pour une durée de vie fixe de n unités de temps,

DA (m, s) : pour un nombre aléatoire selon un Laplace-Gauss, de m espérances de vie et s écarts-types.

5.1.3 Règles de transition

Il existe une multitude d'opérations pour les règles de transition (Dubos-Paillard & Langlois, 2009), nous ne citons ici que celles utilisées dans le cadre de ce travail.

- PV (Y, R): calcule la proportion de la présence de la population Y dans le rayon de voisinage R autour de la cellule.

- EV (Y, R) = 1 s'il y a au moins un individu de Y au voisinage du rayon R.

La simulation est réalisée dans cette étude pour un pas de 15 ans, néanmoins le modèle permet d'ajouter au futur des événements aléatoires (Tx) qui peuvent survenir sur le littoral algérois et qui vont mettre à jour la carte prédictive.

5.1.4 Extraction des règles de transition et calibration du modèle

Les paramètres de la règle de transition pour chaque classe d'occupation des sols ont été extraits de l'étalonnage rétrospectif (Occupation du sol entre 2000 à 2015).

Sur une série de 225 points régulièrement répartis sur le territoire (1000m * 1000m), 105 points sont situés dans les zones urbanisées en 2015 (figure 93).

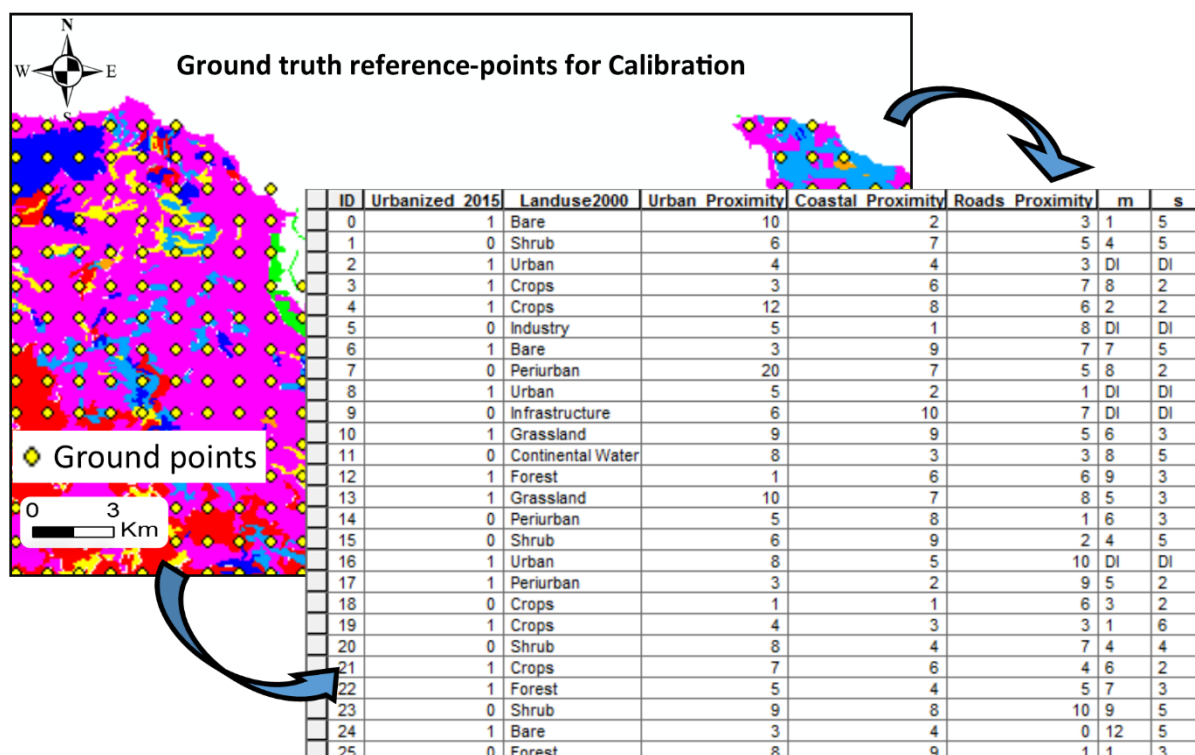


Figure 93: Extraction des règles de transition des points de vérité au sol

En vérifiant l'état initial de ces 105 points en 2000 (localisation, classes de quartiers) on observe que la transition de l'ensemble des points a été réalisée selon 3 facteurs dominants :

- Proximité des zones urbaines (59%).
- Proximité de la côte (28%).
- Proximité des routes (12%).

Les trois paramètres influençant l'urbanisation (retenus ci-dessus) sont classés en fonction de leur poids respectif et selon les classes d'occupation les plus urbanisables lors de l'étalonnage. Nous avons également calculé la distance moyenne manuellement à partir de chaque point d'échantillonnage (afin de calculer les paramètres Y). Tous ceci est synthétisé dans le tableau 32 ci-dessous.

Tableau 32: Synthèse des règles de transition

		Proximité de la cote		Proximité des zones urbaines		Proximité des routes		Règles de transition
		Poids	Distance	Poids	Distance	Poids	Distance	
Résultats de calibration	Agriculture	3	8	2	4	1	9	3PV(SW,8)+2PV(Ur,3)+EV(Ro,6)
	Prairie	3	6	2	7	1	7	3PV(SW,8)+2PV(Ur,3)+EV(Ro,7)
	Arbuste	1	5	3	8	2	6	PV(SW,6)+3PV(Ur,6)+2EV(Ro,6)

(Depuis les classifications 2000 et 2015)	Foret	1	4	3	6	2	4	$PV(SW,8)+3PV(Ur,3)+2EV(Ro,4)$
	Sol nu	2	9	3	5	1	10	$2PV(SW,9)+3PV(Ur,8)+EV(Ro,10)$
	Peri-urbain	3	6	2	4	1	5	$3PV(SW,6)+2PV(Ur,4)+EV(Ro,5)$
	Eau continentale	1	4	3	7	2	9	$PV(SW,6)+2PV(Ur,2)+EV(Ro,5)$

Pour les besoins du modèle (ajouter les contraintes "proximité des côtes" et "proximité des routes"), deux classes "Routes", "Eau de Mer" ont été ajoutées, la Classe "Eau" est appelée "Eau Continentale" pour éviter la confusion.

Le modèle a ensuite été appliqué sur la "carte du paysage 2000" et a donné une "carte paysage 2015" avec 82% de similitude avec la carte "Paysage-2015" réalisée à partir de la télédétection.

Les règles de vie peuvent être définies comme la force de résistance d'une classe d'occupation du sol, de nombreuses classes sont irréversibles et ont une durée de vie indéterminée "DI" dans l'intervalle de temps considéré (15 ans dans notre cas), mais la plupart ont une durée de vie aléatoire DA (m, s) où "m" est l'espérance de vie et "s" est l'écart-type.

Ces paramètres sont extraits des mêmes derniers points de référence (durée de vie maximale pour chaque classe dans la période d'étalonnage 2000-2015 pour "m", et moyenne de l'écart type pour "s"), voir figure 94, sur la rédaction des règles sur SpaCelle.

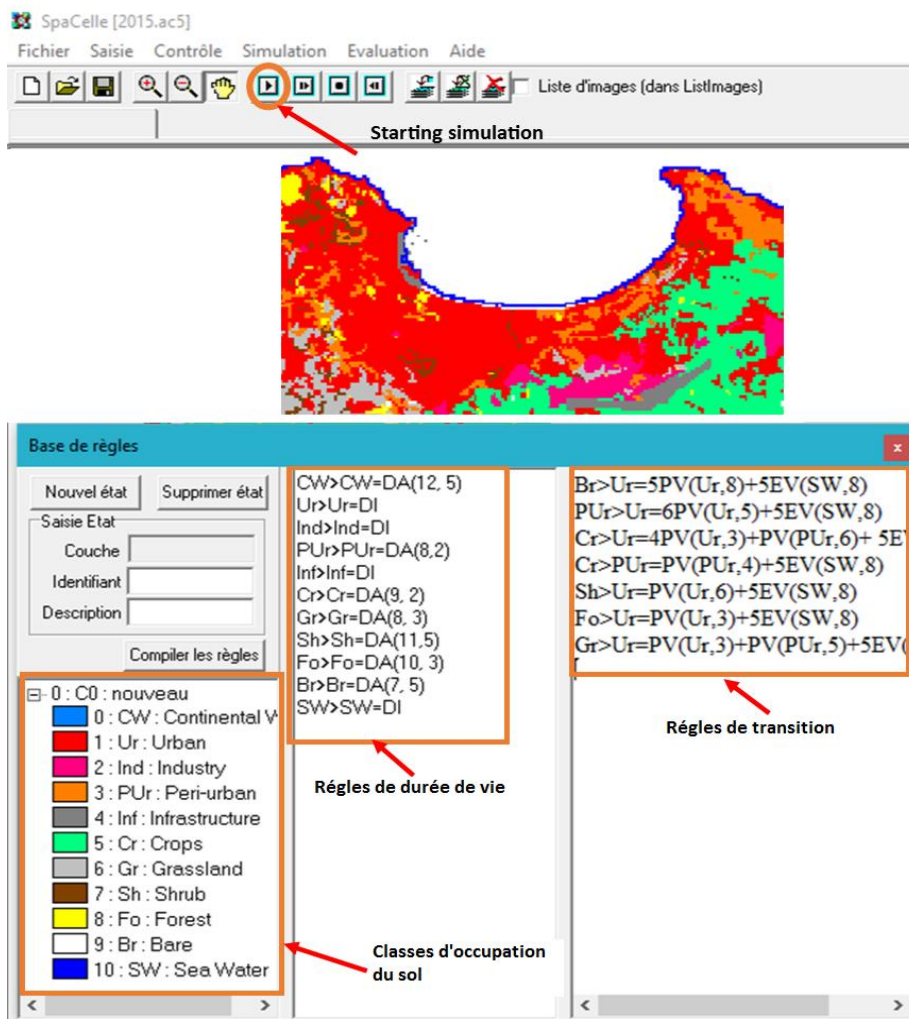


Figure 94: Paramètres de SpaCelle

Pour le scénario B, en plus des règles de transition du scénario A, nous avons ajouté quelques contraintes environnementales supplémentaires :

- Nous considérons que la loi 2002-02 est sérieusement appliquée (l'impact sur les zones agricoles et les forêts est donc limité).
- D'après le Plan d'Alger 2029, les forêts et les nouveaux poumons verts seront protégés de l'urbanisation.
- La durée de vie des classes "Agriculture, Forêt et Prairie", est augmentée (par rapport au scénario A, plus favorable à l'expropriation de ces terres naturelles).

En dehors des contraintes utilisées, cette méthode de modélisation est flexible et peut être ajustée dans le futur avec toute contrainte supplémentaire qui peut influencer le littoral (mise à jour de plan, autre nouveau projet écologique ...).

6. Résultats de la modélisation

Le résultat en sortie de la modélisation sur SpaCelle est une carte raster (en classes d'occupation du sol codifiées), pour chacun des deux scénarios.

6.1 Cartes des scénarios prédictifs

D'après la carte du scénario A (figure 95), le paysage algérois succombera à l'hégémonie de l'urbanisation.

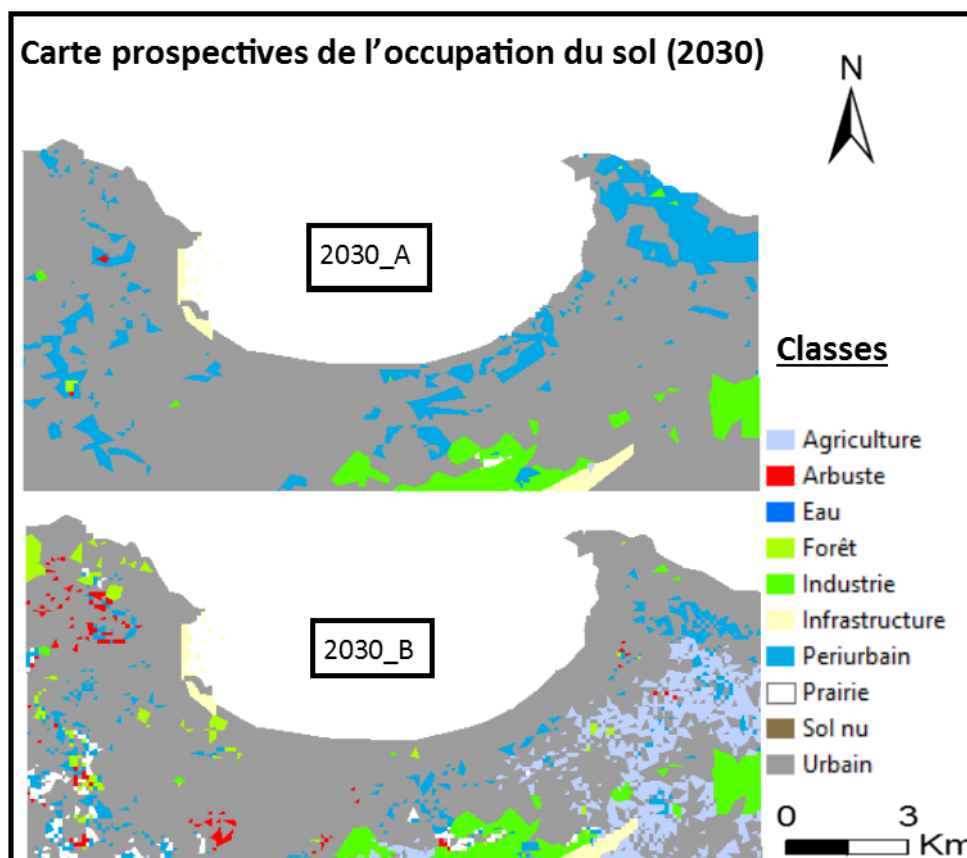


Figure 95: Étalement urbain : Scénario A (2030)

Pour le scénario B, malgré l'augmentation de l'urbanisation (plus élevée que 2015, mais plus modérée que le Scénario 2030-A), le paysage est plus diversifié et moins saturé. La zone

forestière a conservé 92% de sa surface, les zones agricoles, malgré certaines pertes de terre à proximité des agglomérations, sont encore présentes (73% de résilience) certaines prairies existent encore également.

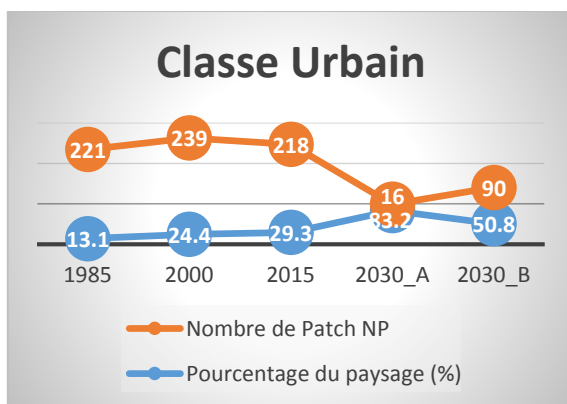
6.3 Analyse des métriques du paysage

En vue de comparer simultanément les paysages rétrospectives à ceux prospectives, une analyses des dates (1985, 2000, 2015, 2030A et 2030B) est réalisée.

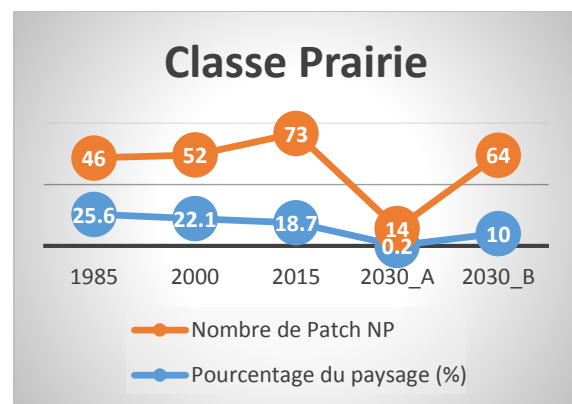
- Les résultats des indices «Nombre de patch» (NP) et «Pourcentage du paysage» (PLAND) sont synthétisés pour les cinq dans la figure 96.

La classe "urbain" (figure 96 a), présente une augmentation constante de 1985 à 2015, cette expansion sera continue jusqu'à atteindre 86% de paysage pour le scénario A, et 55% de paysage dans le scénario B.

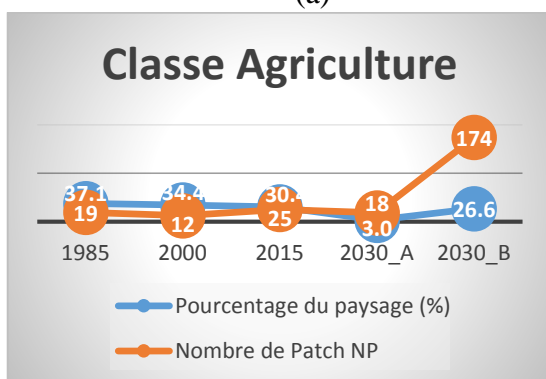
La classe "agriculture" sera presque consommée (figure 96 b), mais résiste encore dans le scénario B. Pour cette classe le nombre de patches diminue de 1985 à 2000, mais augmentera de 2015 à 2030 en raison de la forte fragmentation du paysage sous les pressions de l'urbanisation. La classe Sol nu diminue légèrement de 1985 à 2015, jusqu'à disparaître en 2030 (dans le scénario A, B). La classe péri-urbain a augmenté entre 1985 et 2015 et a diminué en 2030 (car ils passent sous forme urbaine). La classe "forêt" a diminué fortement entre 1985 et 2015 et disparaît dans le scénario A ou diminue légèrement le scénario B. La classe "Prairie" affiche une légère diminution entre 1985 et 2015 dans le scénario B et disparaît complètement dans le scénario A.



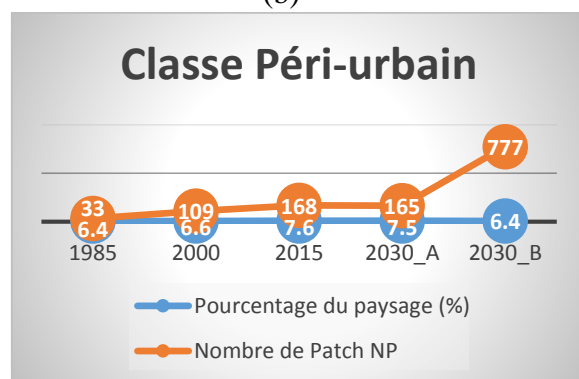
(a)



(b)



(c)



(d)

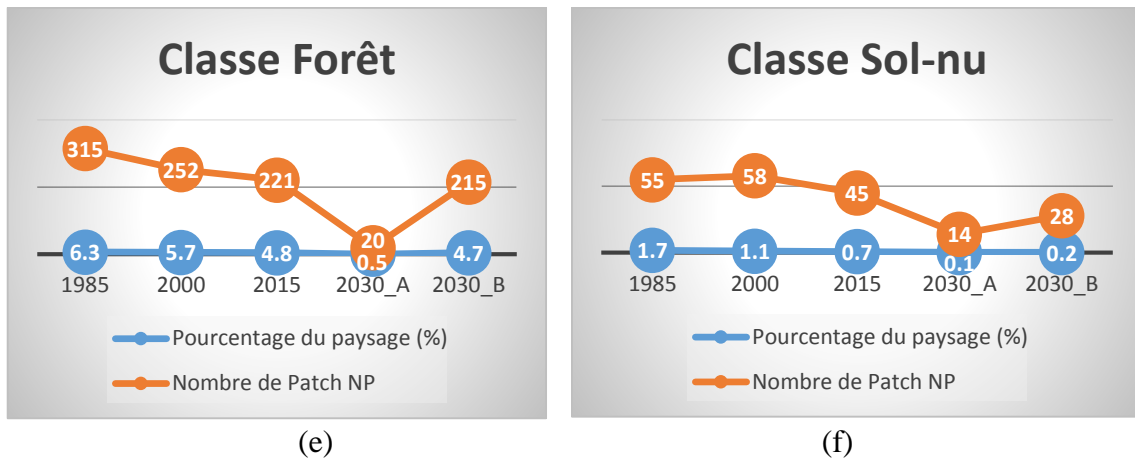


Figure 96: Métriques : "PLAND (%)" and "NP" par classes (a, b, c, d, e, f)

L'an 2000 contient le plus grand nombre de parcelles urbaines, reflétant un fait historique (période post-guerre civile) où l'exode rural a été marqué par la création d'une multitude de zones urbaines, qui seront ensuite compactées en structures urbaines plus homogènes.

Au niveau du paysage (la diversité de Shannon « SHDI ») où on dispose d'une vue plus générale du paysage (à la différence du NP et de PLAND), la SHDI (figure 97) permet d'observer la variation de la diversité paysagère aux dates "1985, 2000, 2015, 2030A, 2030B".

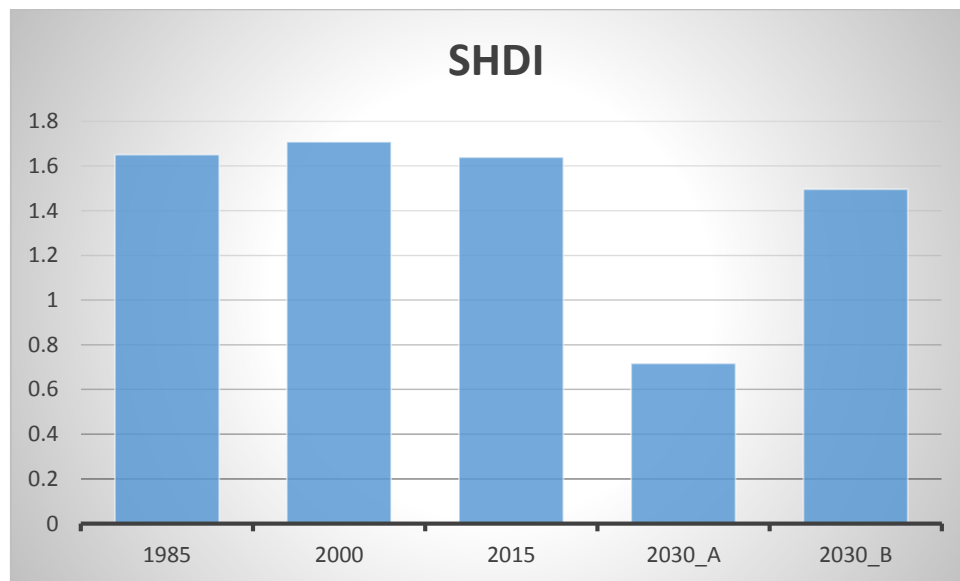


Figure 97: Évolution de la diversité du paysage "SHDI"

La diversité considérable du paysage en 1985 a augmenté en 2000 (avec la fragmentation des zones agricoles sous la pression humaine), puis décline lentement en 2015 et 2030_B sous l'hégémonie de la classe "urbain", en 2030, la diversité subira une régression remarquable.

Au niveau des classes, la classe « urbain » a connu une croissance quasi-exponentielle de 1985 à 2000 jusqu'à 2015 (figure 98).

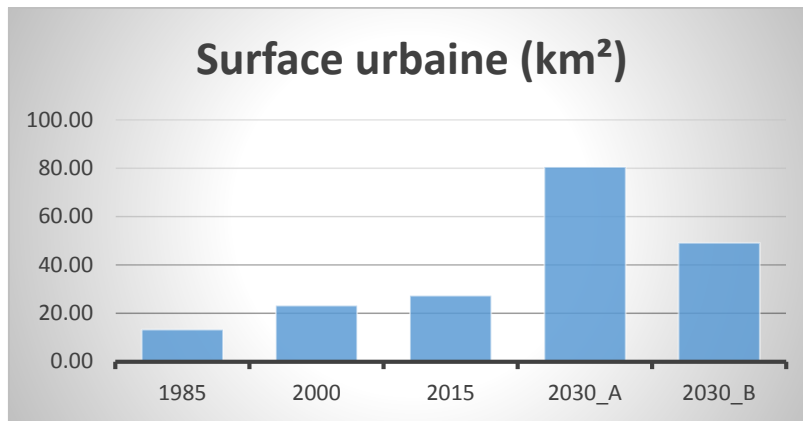


Figure 98: Évolution des surfaces urbaines

Cette expansion s'est matérialisée tout d'abord avec des petits patelins urbains entre 1985-2000, justifiés par une période d'exode rural (insécurité durant la décennie noire 1990-2000), la classe « périurbain » s'est également développée avec allure similaire, mais aura tendance à disparaître en 2030 aux dépens de la classe urbaine. La classe « prairie » disparaîtra également (passera sous la forme « péri-urbain » puis « urbain »). La classe « sol Nu » subira le même sort, mais avec une plus faible durée de vie (c'est la plus convoitée, vu qu'elle n'est protégée par aucune servitude), les deux classes sont les moins protégées par la législation. Les classes « Agriculture et Forêt » dont la décroissance est continue au cours des dernières décennies, tendront à disparaître si l'urbanisation incontrôlée garde le même rythme (scénario 2030_A). Dans le scénario B, les zones naturelles de grande surface seront sauvegardées avec les dispositions du Plan d'Alger-2029 et la loi littorale 2002-02. Le plan d'Alger 2029 permet une meilleure protection de la diversité territoriale et la création de pôles écologiques. Toutefois, les dispositions de ce plan ne sont pas suffisantes pour protéger les zones de prairies et même certaines terres agricoles, en particulier les terres situées à proximité immédiate des centres urbains. Le plan, plus orienté vers la désaturation de la capitale en améliorant les moyens de transport et en promouvant l'éco-tourisme, n'est pas assez complet pour faire face aux pressions démographiques croissantes causées par la forte polarité de la capitale. Le strict respect de la législation sur la gestion de l'espace est crucial et sera la clé d'une gestion durable des terres, mais le rythme de développement de l'urbanisation au cours des 30 dernières années (aux dépens de ces lois) exige nettement plus d'efforts des collectivités.

La loi littorale 2002-02, mal-appliquée, en particulier sur les bandes d'interdiction de 300m et 800m (déjà largement consommées au cours des trois dernières décennies), peut compenser dans la dernière bande de 3 Km (l'interdiction de l'urbanisation linéaire sur la côte). Dans les deux scénarios prospectifs, on observe que le scénario A (tendanciel) affiche un étalement urbain presque complet sur le littoral, le scénario B (plus respectueux de la législation côtière et prenant en considération le plan d'Alger-2029) permettra d'épargner certaines zones de l'urbanisation (les poumons verts de la baie et certaines zones agricoles et forêts).

Pour une meilleure éco-gestion de l'espace côtier, il est recommandé (au-delà du Plan d'Alger 2029) :

- Une meilleure implication de l'acteur local dans la pénalisation de "l'urbanisation illégale".

- La préservation des espaces de prairies par la loi (mise à jour de la loi 2002-02, et l'application des plans législatifs (SRAT, SDAAM, PDAU, SDAL), ainsi que le reboisement et récupération des terres agricoles.
- Déplacement de nouvelles implantations industrielles vers des espaces plus appropriés (zone steppique, sud, en vue de diversifier les zones d'attractivité à l'emploi).
- Mise en place d'indicateurs du «développement durable» pour assurer un diagnostic continu.
- Mise en place d'un système de cartes prévisionnelles à plus grande échelle (pour capter l'influence régionale).

Les réflexions devraient être redirigées vers la création de d'autres pôles dans le pays pour diffuser la polarité du territoire en accélérant l'ancien projet national des 5 grandes villes par exemple où la ville de Boughezoul (200 km au sud d'Alger) était prévue comme future capitale politique du pays.

Cette présente approche bien que permettant d'apporter des connaissances élémentaires en matière de prédiction (manquantes en Algérie), présente certaines limites ; tout d'abord en matière de précision (82% d'exactitude pour l'occupation du sol prédictive, et 85% pour les cartes retrospective), le modèle ne prend en considération également que les influences de voisinage (urbain, proximité de la côte...), or une zone côtière est parfois plus complexe (certains évènements peuvent survenir aléatoirement, comme la mise en place d'un projet touristique ...etc.) et peut modifier la polarité urbaine, la marge d'erreur en matière d'occupation du sol doit être ainsi considérée. Une mise à jour de la modélisation devra être entreprise et incorporée au modèle au fur et mesure de l'avènement de nouveaux évènements.

Conclusion

L'analyse de l'étalement urbain à l'aide des modèles prospectifs et des métriques spatiales offre des possibilités alternatives d'analyse et d'interprétation multi-échelles. La modélisation prédictive de l'étalement urbain (multi-scénario) permet une vision critique de l'efficacité des plans territoriaux planifiés par les acteurs locaux qui peuvent ainsi apporter des changements sur leurs approches de gouvernance du littoral.

Le choix du modèle n'est pas dépendant uniquement de la diversité des paramètres qu'offre le modèle (comme le cas des modèles multi-agents par exemple) mais aussi de son interopérabilité avec les SIG, ainsi que son adaptation avec le contexte algérien (manque de données de base, implantation aléatoire d'infrastructures) et la possibilité de sa reproduction multi-utilisateur, des aspects démarquant du logiciel SpaCelle.

D'ailleurs certains événements futurs (implantation de nouveaux pôles de polarité urbaine), peuvent être additionnés aux règles de transition pour plus de pertinence.

L'objectif Alger Eco-métropole à l'horizon 2030, permet de conserver une bonne partie de l'aspect naturel du littoral, mais son application effective demeure menacée par l'anarchie de l'expansion urbaine.

La baie d'Alger, un littoral partiellement saturé par l'urbanisation en 2015, sera complètement urbanisé d'ici 2030 si la pression urbaine suit le même rythme. Bien que le gouvernement ait pris des mesures pour gérer l'étalement urbain, ces efforts n'ont actuellement qu'un effet mineur. Alger doit apporter un changement significatif aux politiques de gestion environnementale afin de dévier la trajectoire d'urbanisation littorale vers l'intérieur du pays et préserver cet environnement sensible. Pour atteindre l'objectif du Plan d'Alger-2029, il sera nécessaire de revoir les mécanismes d'exécution de la législation en vigueur en matière de protection de l'environnement et durcir les outils de pénalisation.

Bibliographie

Al-Ahmadi, K., See, L., Heppenstall, A. & Hogg, J., 2009. Calibration of a fuzzy cellular automata model of urban dynamics in Saudi Arabia. *Ecol. Complex*, 6(1), p. 80–101.

Al-kheder, S., Wang, J. & Shan, J., 2008. Fuzzy inference guided cellular automata urban-growth modeling using multi-temporal satellite images.. *Int. J. Geogr. Inform. Sci.*, 22 (11–12), p. 1271–1293..

Batty, M., 1997. Cellular automata and urban form: A primer. *Journal of the American Planning Association*, 63(3), pp. 264-274.

Batty, M., 2005. Cities and complexity: Understanding cities with cellular automata, agent-based models and fractals., *Cambridge, MA: MIT Press.*

Batty, M., 2009. Urban Modeling. In N. Thrift, & R. Kitchin (Eds.), *International Encyclopedia of Human Geography. Oxford, UK: Elsevier.*, pp. 51-58.

Bennamar, K., 2013. When the capital reinvents itself (Press paper),. *Revue de la chambre de commerce et d'industrie algéro-française, (ISSN : 5271-2011).*

Bouet, M.-F., 2012. (Arte Charperntier, France) Projects that transforms Algiers (Algiers-Plan 2009-2029). *Revue "Vie des villes" ISSN : 1112 – 5284, Issue hors serie n°3.*

- Bousquet, F. & Le Page, C., 2004. Multi-agent simulations and ecosystem management: a review.. *Ecological modelling*, 176(3), pp. 313-332.
- Bousquet, F., Le Page, C. & Müller, J.-P., 2002. *Modélisation et simulation multi-agent*. s.l., s.n.
- Brahiti, A., 2008. La problématique du foncier en Algérie, état des lieux et perspectives, « Séminaire régional sur la problématique du foncier dans le développement socio-économique local », Issue Biskra-Algérie, pp. 7-24.
- Chadli, M., Ziane, M. & Djellali, D., 2012. Alger : hypertrophie et exclusion territoriale. *Les Cahiers du CÉRIUM*, 1(1), pp. 83-91.
- Chaib, M. & Mezner, A., 2008. *Instrument technico-juridique pour l'assainissement de la situation foncière des terres du territoire national, presented at the Symposiu*. s.l., s.n.
- Chaudhuri, G. & Clarke, K.-C., 2013. The SLEUTH Land Use Change Model: A Review. *The International Journal of Environmental Resources Research*, 1(1), pp. 88-104.
- Chery, J.-P. & Maurel, P., 2008. *Simulation par automate cellulaire de l'étalement urbain en zone méditerranéenne: appui à la planification participative du territoire de Thau (France)*. s.l., s.n.
- Clarke, K. & Gaydos, L., 1998. Loose-coupling a cellular automation model and GIS: longterm urban growth prediction for San Fransisco and Washington/Baltimore,. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(7), pp. 699-714.
- Collier, N., 2003. « Repast: An extensible framework for agent simulation ». *The University of Chicago's Social Science Research*, Volume 36.
- Djellal, N., 2005. *Morphologie urbaine et développement urbain durable : cas d'Alger*. s.l., s.n.
- Drogoul, A. et al., 2013. « GAMA: A Spatially Explicit, Multi-level, Agent-Based Modeling and Simulation Platform », Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems. *Lecture Notes in Computer Science, Spain, Springer Berlin Heidelberg*, , pp. 271-274.
- Dubos-Paillard, E., Guermond, Y. & Langlois, P., 2003. Analyse de l'évolution urbaine par automate cellulaire, le modèle SpaCelle. *L'Espace Géographique*, , 4(32), pp. 357- 378.
- Dubos-Paillard, E. & Langlois, P., 2009. *De l'ontologie du domaine de la croissance urbaine à celle d'un modèle dynamique de croissance urbaine sous SpaCelle*. s.l., s.n.
- Echenique, M.-H., 1972. Models: a discussion. *Urban Space and Structures, Cambridge University Press, London*, pp. 164-174.
- Ghodhani, T. & Semmoud, B., 2010. Urbanisation côtière en Algérie, Processus et impacts sur l'environnement : Le cas de la baie d'Aïn el Türck. *Études caribéennes*.
- Goetz, S.-J. et al., 2003. *Monitoring and Predicting Urban Land Use Change, Applications of Multi-Resolution Multi-Temporal Satellite data*. s.l., s.n.
- Haffad, T., 2004. Quelques conséquences économiques et sociales de l'évolution démographique en Algérie.. *Revue des Sciences Économiques et de Gestion*, Volume 100.

- Hafiane, A., 2007. *Les projets d'urbanisme récents en Algérie*. s.l., s.n.
- Hansen, H.-S., 2010. Modelling the future coastal zone urban development as implied by the IPCC SRES and accessing the impact from sea level rise. *Landscape and Urban Planning* , Volume 98, pp. 141-149.
- Hu, Z. & Lo, C.-P., 2007. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. . *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(6), pp. 667-688.
- Irwin, E. & Geoghegan, J., 2001:. Theory, data, methods: developing spatially-explicit economic models of land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volume 85, p. 7-24.
- Journal officiel République Algérienne, 2002. Loi n° 02-02 du 5 Février 2002, sur la protection du littoral (Journal n° 10 du 12 Février 2002).
- Kacemi, M., 2011. Protection and development of the coastal areas in Algeria : Legislation and instruments, The Case of Oran's Coastal areas.. *Etudes Caribéene*.
- Kanaroglou, P. & Scott, D., 2001. *Integrated urban transportation and land-use models for policy analysis*. s.l.:In: Dijst M., Schenkel W.,and Thomas I., (eds.), *Governing Cities on the Move* Avebury, Aldershot UK..
- Langlois, P., 2001. *Cellular Automata SPACELLE, Interactive Platform for Geography and Spatial Modelling*.. s.l., s.n.
- Langlois, P., 2010. Simulation des systèmes complexes en géographie, fondements théoriques et applications.. *Paris, Hermès-Sciences Lavoisier, Collection IGAT*,, p. 335.
- Langlois, P., Blanpain, B. & Daudé, E., 2015. MAGéo, une plateforme de modélisation et de simulation multi-agent pour les sciences humaines »,.. *Cybergeo : European Journal of Geography* , , mis, Volume Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 741.
- Luke, S. et al., 2005, . "MASON: A multiagent simulation environment". *Simulation*, 81(7), pp. 517-527.
- MATET, 2004. (*Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement*) *Programme d'Aménagement Côtier (PAC), "Zone côtière algéroise" ; Maîtrise de l'urbanisation et de l'artificialisation des sols. Rapport: Etude prospective de l'urbanisation, Phase 2*. s.l.:s.n.
- Minar, N., Burkart, R., Langton, C. & Askenazi, M., 1996. « The swarm simulation system: A toolkit for building multi-agent simulations ». *Working paper 96-06-042, Santa Fe Institute, USA*..
- ONS, 2013. (*Office national des statistiques*) *Démographie algérienne*, n°658, s.l.: s.n.
- PNUE/PAM, 2005. *Gestion intégrée de la zone côtière GIZC. Plan d'aménagement côtier (PAC), de la zone côtière algéroise*., s.l.: s.n.
- Rouchier, J., Bousquet, F., Requier-Desjardins, M. & Antona, M., 2001. A multi-agent model for describing transhumance in North Cameroon: Comparison of different rationality to a routine. *Journal of Economic Dynamics & Control*, Volume 25, p. 527-559.

- Sanders, L. et al., 1997. SIMPOP: a multiagent system for the study of urbanism. *Environment and Planning B*, Volume 24, p. 287–305.
- Santé, I., García, A.-M., Miranda, D. & Crecente, R., 2010. Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis *Landscape and Urban Planning*, Volume 96, p. 108–122.
- Silva, A. & Clarke, C., 2005. Complexity, Emergence and Cellular Urban Models: Lessons Learned from Applying Sleuth to Two Portuguese Metropolitan Areas,. *European Planning Studies*, 13(1), pp. 93-116..
- Sudhira, H.-S., Ramachandra, T.-V. & Jagadish, K.-S., 2004. Urban sprawl: metrics, dynamics and modeling using GIS,. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, pp. 29-39.
- The Economist, 2014. *A Summary of the Liveability Ranking and Overview*, s.l.: The Economist Intelligence Unit Limited 2014©.
- Tissue, S. & Wilensky, U., 2004. *Netlogo: A simple environment for modeling complexity*. In *International conference on complex systems*, Volume 21, pp. 16-21.
- Tobler, W.-R., 1979. Cellular geography, in Gale, S. and Olsson, G. (eds). *Philosophy in Geography, Reidel, Dordrecht*, pp. 379-386.
- Torrens, P.-M., 2006. Simulating Sprawl. *Annals of the Association of American Geographers*, 96(2), pp. 248-275.
- Touati .K, H. A. B. ..., 2004. Etude prospective de l'urbanisation, Plan d'aménagement cotier, PAC-zone algéroise. Dans: s.l.:s.n., pp. 3-35.
- UNPD, 2002. (*Division de la population des Nations Unies*) *World Urbanization Prospects; The 2000 Revision. Data Tables and Highlights.*, s.l.: United Nations, New York..
- Verburg, P.-H., Schot, P.-P., Dijst, M.-J. & Veldkamp, A., 2004. Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, Volume 61, p. 309–324.
- Zhang, Q., Ban, Y.-F., Liu, J.-Y. & Hu, Y.-F., 2011. Simulation and analysis of urban growth scenarios for the Greater Shanghai Area, China,. *Computers, Environment and Urban Systems*, , 35(2), pp. 126-139.

Conclusion générale

Le présent travail est une contribution dans l'étude de la problématique de la croissance urbaine de la wilaya d'Alger avec la baie d'Alger comme point focal, une problématique complexe avec des facettes multidisciplinaires et d'un impact socioéconomique bien ressenti, se répercutant sur le quotidien citoyen (régression de la qualité de la vie urbaine, saturation du trafic, dégradation des dunes et des plages, pollution..etc).

L'analyse géographique de la région démontre une primatie de la capitale dans le pays, créant une attractivité régionale en constante croissance, la baie étant son centre économique (organismes étatiques, port d'Alger...etc) demeure le noyau central et subi encore des pressions anthropiques grandissantes sur son espace côtier.

D'une vision démographique, la baie connaît une baisse notable de son taux de peuplement, car étant déjà fortement urbanisée et en pleine crise de foncier libre, une migration démographique a eu lieu vers les nouveaux pôles d'urbanisation (communes de l'ouest et communes intérieures, dites aussi "arrière-littorales" : Mohammadia, Bordj El Kiffan, Berraki, Sidi Abdellah, Douira, Babezzouar, Reghaia, Heraoua, Les Eucalyptus...).

Face à la métropolisation de la capitale, les autorités algériennes ont légiféré divers instruments et plans de gestion en matière d'aménagement du territoire (loi 1990), de protection du littoral (loi 2002-02), de plan de gestion au niveau national/régional (SNAT, SRAT) ou au niveau local (PDAU, POS), cependant certains de ces instruments demeurent difficilement applicables face à l'expansion urbaine, fortifiant une anarchie d'occupation des terres et dégradant les espaces côtiers (expropriation d'espace agricole, défrichement des dunes littorales...etc).

Le suivi spatial de l'urbanisation nécessite de prospecter diverses approches méthodologiques en matière de traitement d'image, et c'est l'approche par arbre de décision qui a été retenue permettant de combiner divers types de données (NDVI, IB...etc), cette approche automatique est néanmoins affinée avec de la photointerprétation pour éliminer certaines confusions.

L'analyse des cartes d'occupation du sol a été réalisée via deux approches ; une approche surfacique permettant de distinguer des taux globaux d'urbanisation des communes côtières de la baie, et qui sont bien alarmistes (de 50 à 81% de taux d'artificialisation).

L'autre approche d'analyse, via les métriques spatiales confirme la dominance de la classe « urbain » au détriment de classes telles « L'agriculture, Prairie, Sol nu... », le paysage de la baie étant diversifié et relativement équilibré en 1985, est devenu fortement hachuré en patches urbains en 2000, puis relativement dominé par l'urbanisation en 2015, le côté Centre et Est de la baie passe progressivement en zone périurbaine (puis urbaine), car il constitue (étant donné la saturation urbaine du côté Ouest) un échappatoire des populations en quête de foncier libre, il perd en effet ces terres agricoles et certains espaces côtiers.

En vue d'observer l'application des outils législatifs, une analyse de l'urbanisation rétrospective sur les zones de servitude de la loi littorale, montre que les zones des 300m et 800m sont majoritairement artificialisées sur la baie, la zone des 3Km permet néanmoins certaines classes de résilience (agriculture, prairie), on observe également dans les Plans du PDAU que certaines

zones prévues pour l'urbanisation par exemple (axe Hussein dey – Mohammadia), sont des expansions linaires parallèles à la cote (contraire aux alinéas de la loi littorale), une révision de ces instruments d'urbanisme et leur compatibilité avec la loi 2002-02 est plus que nécessaire pour une meilleure protection l'espace côtier.

La cartographie spatiales de certains impacts de l'urbanisation, montre des signes alarmants comme l'augmentation notable des températures des eaux de la baie (fort taux de rejets d'eau usée), ou encore la dégradation de composantes écosystémiques (disparition de 65% des dunes côtières de la baie) une composante cruciale dans l'équilibre sédimentaire des plages sableuses.

L'analyse de la fragilisation des espaces côtiers face à l'érosion et la remontée du niveau de la mer, à l'aide de l'indice de vulnérabilité côtière (IVC) permet de voir une forte vulnérabilité des communes du centre et de l'Est de la baie, des zones fortement touchées par l'urbanisation, ceci confirme la forte corrélation entre l'artificialisation et la fluctuation du trait de côte dans la baie.

L'analyse prospective du paysage algérois à l'horizon 2030 a été réalisée en retenant deux scénarios, un scénario (1) tendanciel reflétant la continuité de l'urbanisation actuelle dans la même allure de croissance, et un deuxième scénario (2) reflétant l'application d'un plan de gestion écologique de la baie d'Alger (Plan d'Alger 2009-2029) traduisant un plan prometteur des autorités locales de la wilaya en vue d'une gestion rationnelle et valorisante du littoral de la baie.

Notre modélisation basée sur un modèle d'automate cellulaire nommé SpaCelle, (modèle simple et accessible pour les non-informaticiens, avec une possibilité de mise-à-jour continue par des acteurs territoriaux) est calibrée à partir des cartes rétrospectives, les cartes résultantes montrent pour le scénario (1) tendanciel, une urbanisation quasi-totale des communes côtières de la baie, un scénario alarmiste, mais qui encourage une prise de conscience immédiate pour inverser la courbe de l'urbanisation, la carte du scénario (2) – Plan d'Alger – et malgré le fait qu'elle affiche une certaine résilience de quelques zones naturelles (agriculture, forêt, littoraux), autorise quand-même une progression de l'urbanisation littorale de la baie, mais reste plutôt modérée par rapport au scénario 1.

Les résultats fournis par cette présente étude offrent une nouvelle vision du littoral algérois (à travers l'approche des métriques du paysage), une actualisation du suivi de l'urbanisation (via l'approche de la quantification surfacique) et de ses impacts sur l'espace côtier (l'estimation vulnérabilité de la côte), ainsi avec une cartographie prédictive, alarmiste pour un premier scénario probabiliste et écoresponsable pour le deuxième, cela permettra via une diffusion/vulgarisation efficace (publication scientifique, partage auprès des collectivités locales, Ministère de l'environnement, Commissariat national du littoral...), d'avoir un effet dissuasif contre les assouplissements des plans d'urbanisme (qui cèdent souvent face aux pressions et à la nécessité de bâtir), les résultats encouragent aussi la volonté de gérer durablement la baie, en soutenant le scénario du Plan d'Alger 2009-2029, et en encourageant la mise-en-œuvre politique réelle de gestion intégrée multisectorielle de l'espace côtier de la baie Alger

Comme dernières recommandations, l'adoption du plan d'Alger doit aussi être soutenue par les préconisations suivantes :

- Implication de l'acteur local pour pénaliser l'urbanisation illégale.
- Préservation des zones de certaines classes d'occupation du sol très prisées comme les prairies par la loi (mise à jour de la loi 2002-02), ou par reboisement ou remise en état sur des terres agricoles.
- Incorporation de la société civile et des établissements scientifiques dans la gouvernance de cet espace côtier dans une optique de gestion intégrée en vue d'endiguer « la gestion unilatérale » souvent en manque d'expertise technique.
- Révision des plans locaux de gestion (PDAU, POS), et uniformisation des mesures dissuasives « anti-urbanisation » en vue de ne plus céder aux pressions socioéconomiques et politiques (comme la pression exercée pour la mise à disposition d'assiettes foncières pour les programmes collectifs de logement).
- Réorientation de nouvelles implantations industrielles vers les provinces du sud et les steppes.
- Mise en place d'indicateurs de "développement durable" afin de fournir un diagnostic continu.
- Mise en place d'un système de cartes de prévision à plus grande échelle (pour atteindre l'influence régionale)

Les réflexions devraient être réorientées vers la création d'autres villes du pays pour diffuser la polarité du territoire, en accélérant l'ancien projet national des 5 grandes villes par exemple, où en requalifiant le projet de la future capitale « ville de Boughezoul » (200 km au sud d'Alger), en vue de redistribuer le poids économique vers le centre du pays.

Glossaire

LULC: Land Use Land Cover

LUCC : Land Use/Cover Change

POS : Plan d'Occupation du Sol

PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme

SPACELE : Système de Production d'Automate Cellulaire Environnemental

IVC : Indice de Vulnérabilité Côtière

AHP: Precessus hierarchique analytique-Analytic Hierarchical Process

PAC: Plan d'Aménagement Côtier

SNAT/SRAT: Schéma National/Régional de l'Aménagement du Territoire

GIZC : Gestion Intégrée des Zones Côtières

ONS : Office National des Statistiques

MATET : Ministère de l'Aménagement du Territoire et du Tourisme

MTPT : Ministère des Travaux Publics et du Transport

PNUE: Plan des Nations Unies pour l'Environnement

PAM: Plan d'Aménagement de Méditerranée

USGS: Service Géologique des Etats Unis- United States Geological Survey

ESA : Agence Spatiale Européenne – European Space Agency

ASAL : Agence Spatiale Algérienne

NP : Nombre de Patches – Number of Patches

MPS : Moyenne de la taille des patches – Mean Patch Size

SHDI : Indice de Diversité du paysage selon Shannon

AC/CA : Automate Cellulaire – Cellular automata

SDRA : Schéma Directeur Routier et Autoroutier

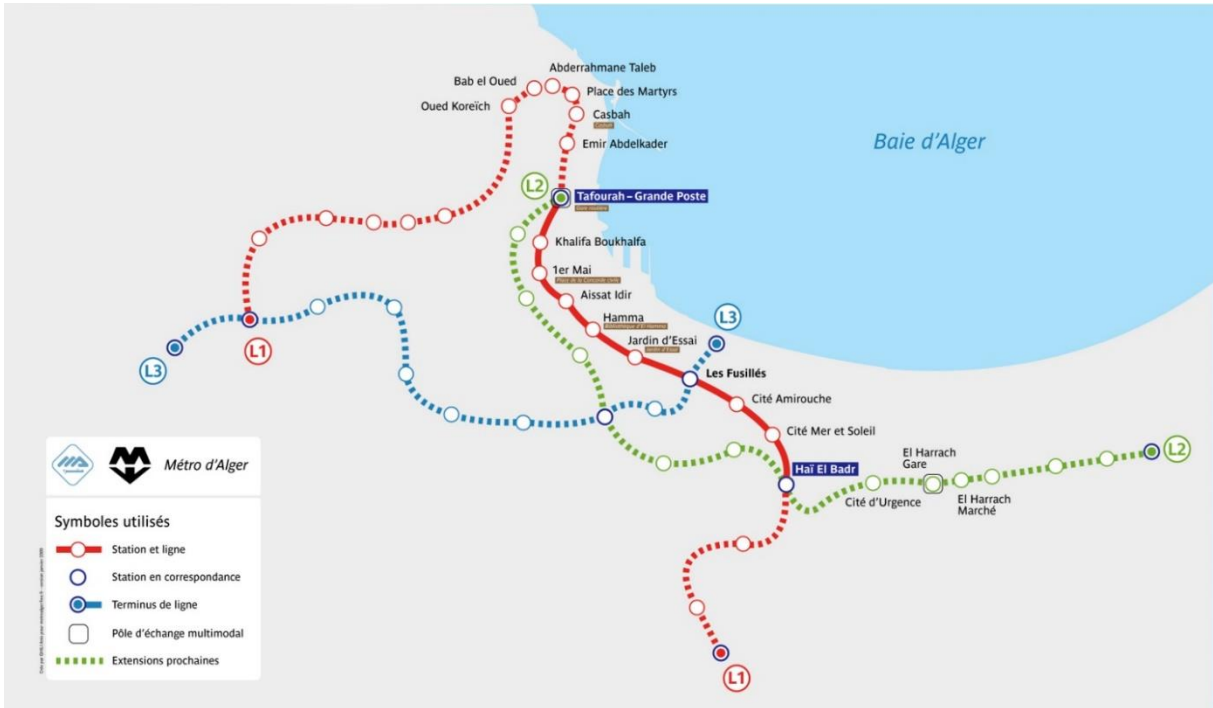
SDAAM : Schéma Directeur de l'Aménagement des Aires Métropolitaines

SDAL : Schéma Directeur d'Aménagement du Littoral

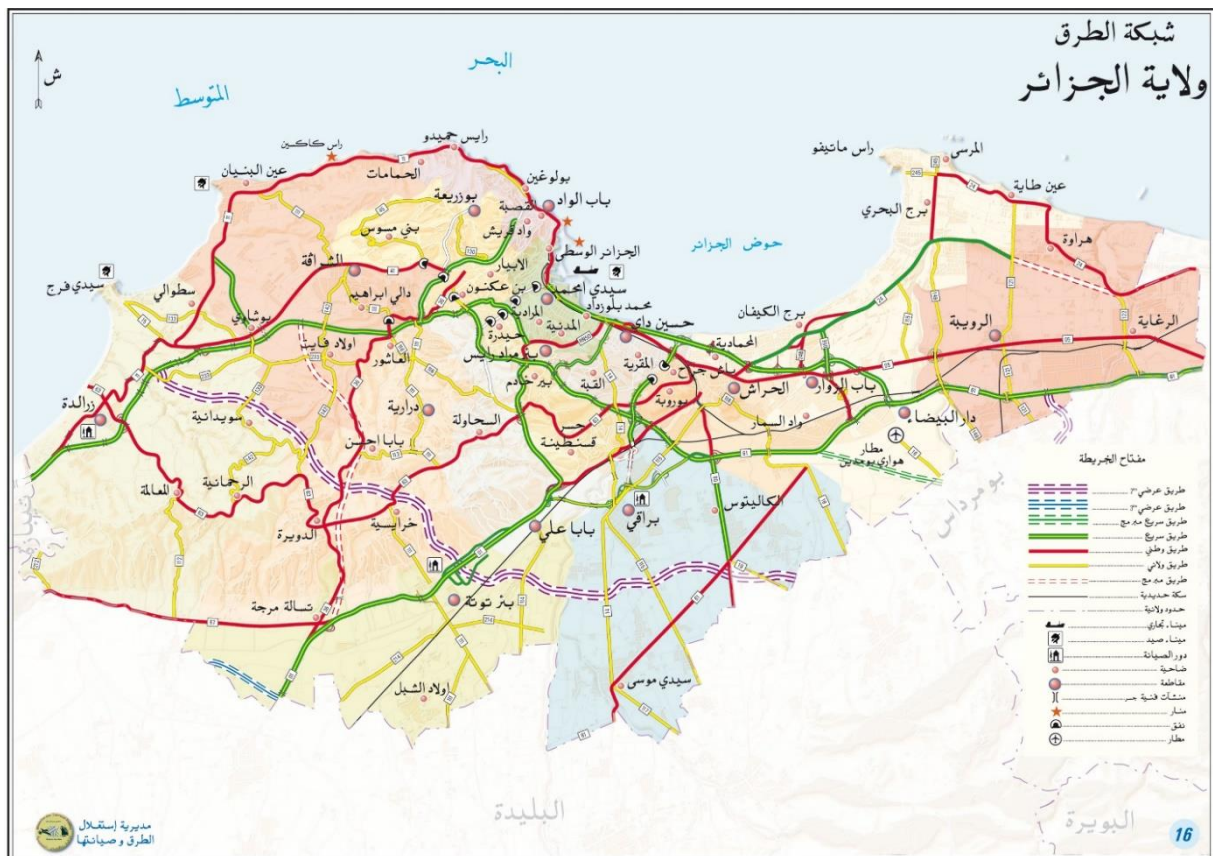
PAW : Plan d'Aménagement de Wilaya

Annexes

1. Nouveau réseau du métro/tramway d'Alger



2. Principaux axes du réseau routier algérois



3. Disponibilité des scènes Landsat sur la zone algéroise (nombre de scènes par année)

	MSS L1	MSS L2	MSS L3	MSS L4	MSS L5	TM L4	TM L5	ETM+ L7	OLI-TIRS
1972	2-3								
1973	0								
1974	0								
1975	0	0							
1976	0	0							
1977	0	0							
1978	0	0	0						
1979		0	0						
1980		0	5-8						
1981		0	3-5						
1982		0	0	0		0			
1983			0	0		0			
1984				0	4-7	0	4-6		
1985				0	0-7	/	1-3		
1986				0	0	/	0		
1987				0	5-9	0	1-4		
1988				0	0	1-2	0		
1989				0	0	0	0		
1990				0	0	0	1-4		
1991				0	0	0	1-4		
1992				0	0	1	0		
1993					0	0	0		
1994					0		0		
1995					0		5-8		
1996					0		1-4		
1997					0		0		
1998					0		1-5		
1999							0	10-12	
2000							0	20-23	
2001							1-3	14-18	
2002							1-3	20-23	
2003							5-9	8-12	
2004							0	14-18	
2005							0	4-8	
2006							1-5	4-8	
2007							12-15	4-8	
2008							0	4-8	
2009							5-9	13 a 18	
2010							5-8	5-8	
2011							5-8	14-18	
2012					11-12		0	14-18	
2013					1		7-9	15-19	12-15

2014								20-23	20-28
2015								20-23	20-28
2016								21-23	21-28
2017								21-23	21-28
Total	3	0	13	0	34	2	117	311	127

4. Surfaces urbanisées par commune sur toute la wilaya d'Alger

Commune	Surface urbanisée			Totale	Type commune
	1985	2000	2015		
Ain Benian	2,836004	0,397334	3,03145	6,252682	Côtière
Aïn Taya	3,024166	0,450895	0,521846	3,993475	Côtière
Alger-Centre	2,086701	0	0,011464	2,096488	Côtière
Bab El Oued	0,899571	0	0,056321	0,955165	Côtière
Bab Ezzouar	4,06815	1,53417	0,465921	6,061483	Non côtière
Baba Hassen	0,575333	1,41465	0,817256	2,805625	Non côtière
Bachdjerrah	2,333183	0,443917	0,230923	3,006145	Non côtière
Baraki	4,89884	2,2704	3,08591	10,24128	Non côtière
Belouizdad	1,273304	0	0,049814	1,322093	Côtière
Ben Aknoun	2,55829	0,101916	0,405817	3,060426	Non côtière
Beni Messous	2,490652	0,541076	0,759127	3,77573	Non côtière
Bir Mourad Rais	2,881903	0,048886	0,625735	3,55405	Non côtière
Birkhadem	3,434322	0,768478	3,56216	7,749651	Non côtière
Birtouta	1,335855	0,789025	2,45546	4,576403	Non côtière
Bologhine	1,818786	0	0,160257	1,977581	Côtière
Bordj El Bahri	2,205781	1,06225	1,86261	5,126237	Côtière
Bordj El Kiffan	4,99327	3,28005	3,79794	12,06548	Côtière
Bourouba	2,226311	0,154827	0,315657	2,695013	Non côtière
Bouzareah	4,985902	0,916422	2,70353	8,587499	Non côtière
Casbah	0,78594	0	0,007698	0,793006	Côtière
Cheraga	4,787444	1,79369	2,86344	9,433862	Côtière
Dar El Beida	2,962449	3,006	0,900924	6,863314	Non côtière
Dely Ibrahim	3,436978	1,14495	0,761004	5,337991	Non côtière
Djasr Kasentina	5,932446	1,02037	2,19146	9,134923	Non côtière
Douera	4,720616	0,681438	5,05102	10,43883	Non côtière
Draria	1,116108	1,95962	3,43058	6,501684	Non côtière
El Achour	2,217325	0,726852	1,53867	4,470337	Non côtière
El Biar	3,296333	0	0,181991	3,475674	Non côtière
El Harrach	4,094103	0,607664	0,449865	5,146156	Non côtière
El Madania	1,246735	0	0,184224	1,429958	Non côtière
El Magharia	1,308946	0,096767	0	1,404657	Non côtière
El Marsa	1,279677	0,116967	0,451004	1,846099	Côtière
El Mouradia	1,710613	0	0,057028	1,766266	Non côtière
Hammamet	1,246165	0	0,35537	1,600532	Côtière
Heraoua	4,585455	0,137553	0,798337	5,513457	Côtière

Hussein Dey	2,441851	0,013748	0,071158	2,524796	Côtère
Hydra	4,012819	0,113962	0,375728	4,492968	Non côtère
Khraicia	1,452801	0,723917	3,17779	5,329845	Non côtère
Kouba	5,997189	0,522924	1,47046	7,977928	Non côtère
Les Eucalyptus	4,32984	1,6786	4,55739	10,55155	Non côtère
Mahelma	0,369393	0,754952	2,84753	3,971566	Non côtère
Mohammadia	4,665165	0,255296	0,781503	5,696247	Côtère
Oued Koriche	1,565616	0,023529	0,07527	1,662325	Non côtère
Oued Smar	3,970874	0,863505	0,621102	5,451472	Non côtère
Ouled Chebel	1,702128	0,098527	2,41124	4,208921	Non côtère
Ouled Fayet	0,429625	1,00726	2,70366	4,13437	Non côtère
Rahmania	0,04467	0,042542	0,478057	0,565232	Non côtère
Raïs Hamidou	1,43872	0,029182	0,793857	2,25632	Côtère
Reghaïa	11,061059	0,85679	1,84248	13,74854	Côtère
Rouïba	7,87637	2,09987	2,92032	12,88006	Non côtère
Saoula	2,072084	0,562191	3,42861	6,005902	Non côtère
Sidi MHamed	2,18771	0	0	2,185951	Non côtère
Sidi Moussa	3,477794	0,37186	2,00984	5,849829	Non côtère
Souidania	0,040354	0,381832	1,44229	1,861911	Non côtère
Staoueli	2,098274	1,00953	1,62345	4,715386	Côtère
Tessala El Merdja	0,342057	0,174144	1,81033	2,318797	Non côtère
Zeralda	0,94727	1,54367	3,37433	5,856745	Côtère

5. Table attributaire entière de la grille d'évaluation des classifications

Points	Realité_85	classif_85	Realite_20	Classif_20	Realite_15	Classif_15
1	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
2	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
3	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
4	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
5	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
6	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
7	Foret	Foret	Foret	Foret	Agriculture	Foret
8	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
9	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
10	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
11	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
12	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
13	Foret	Foret	Foret	Foret	Agriculture	Agriculture
14	Agriculture	Prairie	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
15	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
16	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain	Agriculture	Urbain
17	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
18	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
19	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
20	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
21	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
22	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
23	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
24	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
25	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
26	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
27	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
28	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
29	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
30	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture

175	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Agriculture	Urbain
176	Agriculture	Agriculture	Peri urbain	Peri urbain	Agriculture	Peri urbain
177	Foret	Foret	Foret	Foret	Agriculture	Foret
178	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
179	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
180	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
181	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
182	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
183	Agriculture	Agriculture	Peri urbain	Peri urbain	Agriculture	Urbain
184	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain	Agriculture	Urbain
185	Sol nu	Sol nu	Peri urbain	Peri urbain	Agriculture	Peri urbain
186	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
187	Arbuste	Arbuste	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
188	Foret	Foret	Peri urbain	Peri urbain	Agriculture	Peri urbain
189	Agriculture	Agriculture	Peri urbain	Peri urbain	Agriculture	Urbain
190	Peri urbain	Peri urbain	Peri urbain	Peri urbain	Agriculture	Peri urbain
191	Sol nu	Peri urbain	Peri urbain	Peri urbain	Agriculture	Peri urbain
192	Agriculture	Agriculture	Peri urbain	Peri urbain	Agriculture	Peri urbain
193	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
194	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
195	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
196	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
197	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
198	Prairie	Prairie	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
199	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Arbuste
200	Arbuste	Prairie	Prairie	Prairie	Arbuste	Arbuste
201	Arbuste	Foret	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Arbuste
202	Urbain	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture
203	Prairie	Prairie	Eau	Prairie	Eau	Eau
204	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
205	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
206	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
207	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
208	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Foret	Prairie
209	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
210	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
211	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
212	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Foret	Prairie
213	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Prairie
214	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
215	Prairie	Prairie	Foret	Foret	Foret	Foret
216	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
217	Peri urbain	Peri urbain	Foret	Foret	Foret	Foret
218	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
219	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Foret	Urbain
220	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
221	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
222	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
223	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
224	Foret	Prairie	Foret	Foret	Foret	Foret
225	Foret	Urbain	Urbain	Urbain	Foret	Urbain
226	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret	Foret
227	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Foret	Foret
228	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Industrie	Industrie
229	Infrastructure	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie
230	Infrastructure	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie
231	Infrastructure	Peri urbain	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie
232	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Industrie	Agriculture
233	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie
234	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie
235	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie
236	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie
237	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure
238	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure
239	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure	Infrastructure
240	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Peri urbain	Urbain
241	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Peri urbain	Peri urbain
242	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Peri urbain	Peri urbain
243	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Peri urbain	Peri urbain
244	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Peri urbain	Peri urbain
245	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Peri urbain	Peri urbain
246	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Peri urbain	Peri urbain

319	Agriculture	Agriculture	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
320	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
321	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
322	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
323	Prairie	Agriculture	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
324	Prairie	Foret	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
325	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
326	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
327	Agriculture	Agriculture	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain
328	Agriculture	Agriculture	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
329	Agriculture	Agriculture	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
330	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
331	Agriculture	Agriculture	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
332	Prairie	Foret	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
333	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
334	Foret	Foret	Foret	Foret	Prairie	Foret
335	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
336	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
337	Foret	Foret	Foret	Foret	Prairie	Foret
338	Prairie	Urbain	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
339	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
340	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
341	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
342	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie
343	Prairie	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Sol nu	Agriculture
344	Sol nu	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Sol nu	Agriculture
345	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu
346	Peri urbain	Agriculture	Urbain	Urbain	Sol nu	Urbain
347	Urbain	Agriculture	Urbain	Urbain	Sol nu	Urbain
348	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Sol nu	Agriculture
349	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Sol nu	Agriculture
350	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Sol nu	Agriculture
351	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Sol nu	Agriculture
352	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Sol nu	Agriculture
353	Sol nu	Sol nu	Urbain	Urbain	Sol nu	Urbain
354	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Sol nu	Agriculture
355	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
356	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
357	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
358	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Sol nu	Urbain
359	Prairie	Prairie	Peri urbain	Peri urbain	Sol nu	Urbain
360	Arbuste	Arbuste	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
361	Foret	Foret	Foret	Foret	Sol nu	Foret
362	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
363	Sol nu	Industrie	Urbain	Urbain	Sol nu	Urbain
364	Prairie	Agriculture	Peri urbain	Peri urbain	Sol nu	Peri urbain
365	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
366	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
367	Foret	Foret	Foret	Foret	Sol nu	Foret
368	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
369	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
370	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
371	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain	Sol nu	Urbain
372	Prairie	Agriculture	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
373	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
374	Arbuste	Arbuste	Prairie	Prairie	Sol nu	Prairie
375	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Sol nu	Arbuste
376	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Sol nu	Arbuste
377	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
378	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
379	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Agriculture
380	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Agriculture
381	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain
382	Arbuste	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
383	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain
384	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
385	Peri urbain	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Agriculture
386	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
387	Peri urbain	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Agriculture
388	Urbain	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Agriculture
389	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
390	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Agriculture

391	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Agriculture
392	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
393	Prairie	Arbuste	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
394	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
395	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain
396	Arbuste	Arbuste	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
397	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain
398	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
399	Sol nu	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Prairie
400	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
401	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
402	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
403	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
404	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
405	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
406	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain	Urbain	Peri urbain
407	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
408	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
409	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
410	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
411	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Urbain	Industrie
412	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Agriculture
413	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain
414	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
415	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
416	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
417	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
418	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
419	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
420	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
421	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
422	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
423	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
424	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
425	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
426	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
427	Arbuste	Arbuste	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
428	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
429	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
430	Sol nu	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
431	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
432	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
433	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
434	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Urbain	Arbuste
435	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
436	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
437	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
438	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
439	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
440	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
441	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
442	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Urbain	Industrie
443	Industrie	Industrie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
444	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
445	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
446	Peri urbain	Agriculture	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
447	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
448	Arbuste	Arbuste	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Peri urbain
449	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
450	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
451	Industrie	Industrie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
452	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
453	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
454	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
455	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
456	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
457	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
458	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
459	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
460	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
461	Industrie	Industrie	Industrie	Industrie	Urbain	Industrie
462	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Agriculture

463	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
464	Sol nu	Agriculture	Industrie	Industrie	Urbain	Industrie
465	Agriculture	Agriculture	Industrie	Industrie	Urbain	Industrie
466	Peri urbain	Industrie	Industrie	Industrie	Urbain	Industrie
467	Agriculture	Agriculture	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
468	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Arbuste	Urbain	Arbuste
469	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
470	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
471	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
472	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
473	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
474	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
475	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
476	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
477	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
478	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
479	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
480	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
481	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
482	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
483	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
484	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
485	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
486	Urbain	Agriculture	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
487	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
488	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
489	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
490	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
491	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
492	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain
493	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
494	Arbuste	Arbuste	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
495	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
496	Urbain	Arbuste	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
497	Foret	Foret	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Peri urbain
498	Urbain	Foret	Foret	Foret	Urbain	Foret
499	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
500	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Urbain	Sol nu
501	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
502	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
503	Prairie	Prairie	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
504	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
505	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
506	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
507	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
508	Urbain	Agriculture	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
509	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
510	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Urbain	Prairie
511	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
512	Prairie	Prairie	Arbuste	Arbuste	Urbain	Arbuste
513	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
514	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
515	Urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
516	Urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
517	Peri urbain	Peri urbain	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain
518	Foret	Foret	Foret	Foret	Urbain	Foret
519	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
520	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
521	Prairie	Prairie	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain
522	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
523	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
524	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
525	Urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
526	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
527	Urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
528	Peri urbain	Peri urbain	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Peri urbain
529	Peri urbain	Peri urbain	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain
530	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
531	Urbain	Urbain	Foret	Foret	Urbain	Urbain
532	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
533	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
534	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain

535	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
536	Peri urbain	Peri urbain	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain
537	Agriculture	Agriculture	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain
538	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
539	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
540	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
541	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
542	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
543	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
544	Prairie	Prairie	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain
545	Prairie	Prairie	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain
546	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Agriculture	Urbain	Urbain
547	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
548	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
549	Peri urbain	Peri urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain

6. Tableau des surfaces de dunes/dunes consolidés défrichées par l'urbanisation (1985-2000-2015)

Commune	Surfaces dunaires dégradées			
	1985	2000	2015	Total
Aïn Taya	11,17	7,31	6,58	25,06
Bab Ezzouar	57,34	15,57	13,82	86,74
Bordj elbahri	/	7,24	16,39	23,63
Bordj El Kiffan	260,46	139,56	94,75	494,77
El Harrach	1,32	/	/	1,32
El Magharia	9,19	/	/	9,19
El Marsa	0,79	0,15	0,62	1,56
Heraoua	86,80	4,02	3,48	94,30
Hussein Dey	48,42	1,37	7,12	56,92
Mohammadia	266,48	23,11	62,60	352,20
Oued Smar	/	0,25	/	0,25
Rouiba	7,79	0,02	9,97	17,77

7. Les vulgarisations

7.1 Communications internationales

- Symposium international de Kerkennah – Tunisie- 20-24 Octobre 2015 (Vulnérabilité des littoraux méditerranéen face aux changements climatiques) - Oral -

“ Détermination spatio-temporelle de l'expansion urbaine sur la baie d'alger et impact environnemental sur la bande littorale ”

Walid Rabehi, Mokhtar Guerfi, Habib Mahi

- Symposium de la Planète vivante (Agence Spatiale Européenne), Prague République Tchèque, 08- 12 Mai 2016. -Poster-

“Remote sensing data for coastal zone vulnerability assessment -The Bay of Algiers case- “”

Walid Rabehi, Mokhtar Guerfi, Habib Mahi

7.2 Communication nationales

- Journées Géographiques Algériennes, 13, 14 Décembre 2016, Université d’Oran II - Oral-

“Analyse de l'évolution du paysage algérois via les imageries satellitaires et des techniques des métriques du paysage”

Walid Rabehi, Mokhtar Guerfi, Habib Mahi

- Deuxième workshop international sur l’Ecotoxicologie marine, 14 octobre 2017 ENSSMAL -Poster-

“Analyse de la dynamique urbaine dans la baie d’Alger entre approche rétrospective et vision prospective”

Walid Rabehi, Mokhtar Guerfi, Habib Mahi

7.3 Séminaires doctoraux à l’ENSSMAL

-Deuxième Séminaire Doctoral de l’ENSSMAL-SDE2- 08-09 Juin 2015, Dely Brahim -Oral-

“Détermination spatio-temporelle de l'expansion urbaine sur la baie d’Alger et impact environnemental sur la bande littorale”

Walid Rabehi, Mokhtar Guerfi, Habib Mahi

- Troisième Séminaire doctoral de l’ENSSMAL –SDE3- 08 Juin 2016, Dely Brahim -Oral-

“Apport de la télédétection dans la quantification de l’urbanisation dans la baie d’Alger et des impacts sur les littoraux ”


Walid Rabehi, Mokhtar Guerfi, Habib Mahi

7.4 Publications internationales (acceptée et en cours)

- Indian Journal of Remote Sensing (Indexé Thomson Reuters, 0.78 IF).

“Spatio-temporal monitoring of coastal urbanization dynamics: Case Study of Algiers’s Bay, Algeria”

Walid Rabehi, Mokhtar Guerfi, Habib Mahi, Esther Rojas-Garcia



Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Status Date	Current Status
View Submission	ISRS-D-17-00283	Spatio-temporal monitoring of coastal urbanization dynamics: Case Study of Algiers's Bay, Algeria	27 Jul 2017	23 Feb 2018	Under Review

État : Article soumis le 27/07/2017, transféré à un lecteur le 23/02/2018 (toujours en attente de la réponse finale)

- Revue Méditerranée (Indexée Scopus, Aeres)

“Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger, approche socio-économique et physique de la côte”

Walid Rabehi, Mokhtar Guerfi, Habib Mahi

État : Article soumis le 21/04/2017, **accepté** le 19/03/2018, publication en ligne le 19 Avril 2018.
<https://journals.openedition.org/mediterranee/8625>

- Revue l’Espace Géographie (Indexée Scopus, Aeres)

“La baie d’Alger un espace côtier prisé, entre pressions d’urbanisation et gouvernance territoriale”

Walid Rabehi, Mokhtar Guerfi, Habib Mahi

État: Article soumis le 05/03/2018, (transféré à un lecteur en avril, toujours en attente de réponse).

7.5 Expertise pour le compte du ministère de l’environnement « MEER »

Dans le cadre de réalisation du Programme National de Surveillance et d’évaluation -IMAP ALGERIE-, un rapport a été réalisé pour le compte du ministère de l’Environnement MEER par l’ASAL, les synthèses fournit dans l’axe « OE8 : Indicateurs relatifs à la côte », sont inspirés des résultats des travaux de la thèse (voir page de garde du document, section suivante).

7.6 Co-Encadrement d’un mémoire d’ingénieur (PFE, ENSSMAL)

“Apport de la télédétection et des SIG dans l’observation de l’artificialisation des communes côtières de la Baie d’Alger”

Wassim Guemdani, Mohammed Bouchenafa

Encadrement assuré conjointement avec Pr. Mokhtar Guerfi (soutenance 16/07/2017).

6.5 Justificatifs des vulgarisations



AIX-MARSEILLE-UNIVERSITÉ UM34 – CNRS UMR 7330 – IRD UMR 161 –
COLLÈGE DE FRANCE (CHAIRE ECO) – INRA USC 1410
TECHNOPOLE ENVIRONNEMENT ARBOIS MEDITERRANEE
AVENUE LOUIS PHILIBERT
13545 AIX-EN-PROVENCE CEDEX 4
TEL : 04 42 97 15 00 – FAX : 04 42 97 15 05

Christophe Morhange
Professeur
Directeur de la revue Méditerranée
morhange@cerege.fr
06 29 68 24 44

Aix-en-Provence, le 31 mars 2018

Attestation de publication

Je soussigné, Pr. Christophe Morhange, membre sénior honoraire de l'Institut Universitaire de France, Aix-Marseille Université, département de géographie, laboratoire du CEREGE, Directeur de la revue Méditerranée atteste que l'article de M. Walid Rabehi (Co-auteurs : Mokhtar Guerfi et Habib Mahi), intitulé « *Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger, approche socio-économique et physique de la côte* » a été accepté pour publication dans la revue Méditerranée.

Date de première soumission : 21/04/2017
Date de la révision majeure : 15/07/2017
Date de la révision mineure : 03/03/2018
Date d'acceptation finale : 19/03/2018

La publication est accessible en ligne via le lien :
<https://journals.openedition.org/mediterranee/8625>

Fait pour valoir et servir ce que de droit.

Pr. Christophe Morhange
Directeur de la revue Méditerranée (ISSN : 0025-8296).
Aix-Marseille Université-CEREGE-IUF hon.





Méditerranée

Revue géographique des pays méditerranéens / Journal
of Mediterranean geography

Varia

Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger

Approche socio-économique et physique de la côte

Mapping the vulnerability of the Bay of Algiers

A socio-economic and physical approach to understanding the coast

Walid Rabehi, Mokhtar Guerfi and Habib Mahi



Electronic version

URL: <http://journals.openedition.org/mediterranee/8625>

ISSN: 1760-8538

Publisher

Presses Universitaires de Provence, ISSN: 0025-8296

Brought to you by OpenEdition



Electronic reference

Walid Rabehi, Mokhtar Guerfi and Habib Mahi, « Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger », *Méditerranée* [Online], Varia, Online since 19 April 2018, connection on 04 May 2018.

URL : <http://journals.openedition.org/mediterranee/8625>

This text was automatically generated on 4 May 2018.

Tous droits réservés



SYFACTE

ATTESTATION DE PRESENCE

Je soussigné, Mr Salem DAHECH, Coordinateur du colloque international : **Vulnérabilité des littoraux méditerranéens face aux changements environnementaux contemporains**, atteste par la présente que Monsieur Walid RABEHI a présenté une communication orale intitulée:

Détermination spatio-temporelle de l'expansion urbaine sur la baie d'Alger et impact environnemental sur la bande littorale

par : RABEHI W., GUERFI M. et MAHI H

Monsieur Walid RABEHI a assisté au colloque qui s'est tenu à Kerkennah du 20 au 24 octobre 2015.

Attestation délivrée à la demande de l'intéressé, pour servir et valoir ce que de droit.

Fait à Kerkennah, le 24 octobre 2015

Pour le Comité d'Organisation
Dr. Salem Dahech

Faculté des Lettres
et Sciences Humaines de SFAX
Laboratoire de Recherches
SYFACTE
Code: LR03ES07



Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Sfax, 3029-Sfax
Tel : 0021674670558- Fax : 0021674670540

Route de l'aéroport km4.5
symposium.kerkennah2015@gamil.com



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran 2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département de Géographie et de l'Aménagement du Territoire
Laboratoire EGEAT



LES SIXIÈMES JOURNÉES GÉOGRAPHIQUES ALGÉRIENNES

Oran le 13-14 Décembre 2016

ATTESTATION DE PARTICIPATION

**Le comité scientifique des sixièmes journées géographiques algériennes, certifie que
Monsieur : RABEHI walid a présenté une communication intitulée :**

**« Analyse de l'évolution du paysage algérois via les images satellitaires d'archives et de techniques
des métriques du paysage »**

Co-auteur (s) : GUERFI Mokhtar, MAHI Habib





Rabehi Walid
CTS/ENSSMAL, Alger
Villa 81 Palm Beach
BP 73, Staoueli
16000 Alger
Algeria

European Space Agency - ESA/ESRIN
Att. of Claudio Lugini
Via Galileo Galilei snc
00044 Frascati
Italy

Prague, 13/Jun/2016

To Whom It May Concern

Dear Sir or Madam,

We confirm that **Rabehi Walid** participated at Living Planet Symposium 2016.

Rabehi Walid is author/co-author of the following accepted contribution(s):

Remote sensing data for coastal zone vulnerability assessment -Algiers bay case-

Author(s): Walid, Rabehi; Mokhtar, Guerfi; Habib, Mahi

Main Theme: Hazards

With best regards,

The Organising Committee of LPS16



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Attestation de Participation

Je soussigné, Directeur de l'ENSSMAL, certifie que **Mr RABEHI Walid** a participé au 2^{ème} Workshop International sur l'Eco-Toxicologie Marine qui a eu lieu à l'ENSSMAL le 14 octobre 2017 par une **communication affichée** intitulée : «**Analyse de la dynamique urbaine dans la baie d'Alger entre approche rétrospective et vision prospective**».

Co-auteurs : Mokhtar Guerfi, Habib Mahi

Fait à Dély Ibrahim, le 14/10/2017

Le Directeur de l'ENSSMAL



عبد الباقى بالنيابة
د. بالبوستر مراد



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Attestation de Participation

Je soussigné, Directeur de l'ENSSMAL, certifie que

M. RABEHI W.

*a participé au Troisième Séminaire Doctoral de l'École SDE-3 qui a eu lieu à l'ENSSMAL, le 08 Juin 2016
à l'occasion de la journée mondiale de l'océan par une communication orale intitulée :*

**« Apport de la télédétection dans la quantification de l'évolution urbaine dans la baie d'Alger et ses impacts sur
les littoraux »**

Co-auteur : M. Guerfi M., M. Mahi H.

Fait à Dély Ibrahim, le

Le Directeur de l'ENSSMAL



الاستاذ د. ربهى بوخلاند

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Attestation de Participation

Je soussigné, Directeur de l'ENSSMAL, certifie que

Mr/Mme: RABEHI W.

a participé au Deuxième Séminaire Doctoral de l'École SDE-2 qui a eu lieu à l'ENSSMAL, le 08 - 09 Juin 2015
à l'occasion de la journée mondiale de l'océan par une communication orale intitulée:

**« Détermination spatio-temporelle de l'expansion urbaine sur la baie d'Alger et impact environnemental
sur la bande littorale »**

Co-auteur : Guerfi M. et Mahi H.

Fait à Dély Ibrahim, le 08 JUIN 2015

Le Directeur de l'ENSSMAL



دیدیما البیابیه
مديرة البحوث والبحوث
البحرية والبيئية
والمياه العذبة



Programme National de Surveillance et d'Évaluation Intégrée de la
Mer et des Zones Côtières Méditerranéennes

-IMAP ALGERIE-

Rapport d'Expertise

Objectif Ecologique 8 : Écosystèmes et paysages
côtiers « Les indicateurs relatifs à la côte »

Avant-propos :

Cette expertise est réalisée par le Centre des Techniques Spatiales (CTS) de l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL) suite à la demande du Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables (MREE) du 07/01/2018. Celle-ci rentre dans le cadre de la mise en place du programme national de surveillance et d'évaluation (Objectif écologique n°8 ; OE8 : Les indicateurs relatifs à la côte). Elle propose certaines améliorations/modifications méthodologiques sur le rapport initial fourni par le MREE.

Auteur : M. Walid Rabehi (CTS/ASAL)

Arzew le 17/01/2018



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER**

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème :

**Apport de la télédétection et des SIG dans l'observation de
l'artificialisation des communes côtières de la Baie d'Alger**

Présenté par :

❖ **BOUCHENAFI Mohamed Amine**

❖ **GUEMDANI Mohamed Wassim**

Soutenu le 10/07/16 devant le jury suivant :

M. HEMDANE Y.	Maître de conférences A	(USTHB)	Président
M. GUERFI M.	Maitre de Conférence A	(ENSSMAL)	Promoteur
M. RABEHI W.	Doctorant	(ENSSMAL)	Co- Promoteur
M. LARID M.	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Examineur
M. MEZOUAR K.	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Examineur
M ^{me} SALAH		(ASAL)	Invitée

Promotion : 2016

ملخص

التوسع العمراني للمدن هو ظاهرة عالمية تمس بشكل خاص المدن الساحلية الجذابة إقتصادياً و سياحياً. خليج الجزائر، القلب الإقتصادي للعاصمة الجزائرية هو عرضة لتوسع عمراني مكثف، هذا التوسع الذي غالبا ما ينتشر على نحو غير منضبط و عشوائي (بنايات فوضوية، أو مشاريع إسكان حكومية) كثيرا ما يتعارض وجودها مع القوانين و آليات التعمير الساحلي، ما ألحق أضرارا ملموسة بالبيئة الساحلية لخليج الجزائر. الهدف من هذا العمل هو إنتاج تحليل شامل للتوسع العمراني في المنطقة بإستعمال تقنيات الإستشعار عن بعد خلال الثلاثين سنة الماضية في مرحلة أولى من أجل تحديد المسار الزمكاني لهذا التوسع، في مرحلة ثانية يتم التركيز على استخراج بعض الأضرار المباشرة على البيئة الساحلية كالتلوث الحراري لمياه الخليج، إختفاء و تآكل الكثبان الساحلية، و غير المباشرة كتزايد ضعف السواحل مع إرتفاع مستوى البحر و نسب التآكل الشاطئي. هذه الدراسة تتضمن أيضا تقييما لفعالية الأدوات التشريعية الموجودة وتجانسها. وفي الأخير و لغرض دعم مشاريع التخطيط الإستشراقي تم القيام بنمذجة لخريطة الوسط الساحلي في أفق 2030 مع اعتماد سيناريوهين أولهما يعتمد على النمو الزمكاني السابق و الثاني على خطة للتسيير الإيكولوجي للعاصمة ستعتمدها السلطات (مشروع الجزائر 2009-2029).

كلمات مفتاحية: التعمير، الاستشعار عن بعد، خليج الجزائر العاصمة، القانون الساحلي، أداة PDAU، النمذجة، الجزائر

Résumé

La métropolisation des villes est un phénomène planétaire, qui affecte particulièrement des villes côtières et économiquement attractives (haliotropisme), la baie d'Alger noyau économique de la capitale algérienne est touchée par une urbanisation intensive, cette artificialisation incontrôlée, qui s'est souvent étalée de manière anarchique (habitat précaire ou collectif-étatique) est souvent transgressive des lois en vigueur et des instruments de planification et a causé une dégradation environnementale significative de l'espace côtier algérois. Le but de ce travail est d'analyser la croissance urbaine sur la baie d'Alger à l'aide des techniques de télédétection, en vue d'identifier la trajectoire spatiotemporelle de l'urbanisation durant les trois dernières décennies en premier lieu, l'accent est ensuite mis les impacts "directs" de cette urbanisation telle la pollution thermique causée par les rejets croissants d'eaux usées, où la dégradation des dunes littorales ou "indirects" en matière de vulnérabilisation des littoraux (érosion, remontée du niveau de la mer), l'analyse est aussi portée vers l'efficacité des instruments législatifs (loi littorale, PDAU) à faire face à l'anthropisation de la baie, enfin pour une meilleure planification prospective, une modélisation l'occupation du sol à l'horizon 2030 est réalisée à partir de l'apprentissage rétrospectif, mais aussi en s'appuyant sur un plan éco-responsable prévu par les autorités « Plan d'Alger-2029 ».

Mots-clé : Urbanisation, Télédétection, Baie d'Alger, loi littorale, PDAU, modélisation, Algérie

Abstract

The metropolisation of cities is a global phenomenon, which particularly affects coastal and economically attractive cities (haliotropism). Algiers Bay, the economic core of the Algerian capital is affected by an intensive urbanization, this uncontrolled artificialization, which has often spread in an anarchic way (precarious or collective-state housing) is often transgressive of the laws and the instruments of planning and caused a significant environmental degradation of the coastal area of Algiers. The aim of this work is to analyze urban growth on the Algiers bay using remote sensing technics, in order to identify the spatiotemporal trajectory of urbanization during the last three decades at the first place, the emphasis is then placed on the "direct" impacts of this urbanization, such as coastal dunes degradation, thermal pollution caused by increasing discharges of wastewater, or "indirect" impacts such as coastal vulnerability (erosion, sea-level rise). We focused also on the effectiveness of legislative instruments (Coastal Law, PDAU) to control the anthropization of the bay, finally for a better forward planning, we generate a prospective modeling of the landuse by the year 2030 from retrospective learning, but also based on an eco-responsible plan provided by the authorities "Plan of Algiers-2029".

Keyword: Urbanization, Remote sensing, Algiers Bay, coastal law, PDAU, modeling, Algeria