

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

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master 2
Géographie et aménagement du territoire
Option : **Géomatique**

Apports de l'imagerie spatiale Quickbird à l'estimation démographique par caractérisation du bâti

-Application sur la ville de Mostaganem-

Présenté et soutenu publiquement par :

M. BENHAMMOU Mohamed Réda
M. DAHMAM Adda

Devant le jury composé de :

			Président
M. SOUIEH Sid Ahmed		Université d'Oran 2	Rapporteur
M. SEDDIKI Mohamed Akram	Chargé de recherche	Centre des Techniques Spatiales CTS d'Arzew	Rapporteur

Dédicace

A MA CHERE MERE

Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.

Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte.

En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices.

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

A LA MEMOIRE DE MON CHER PERE

Ce travail est dédié à mon père, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui à toujours prié pour le salut de son âme.

Puisse dieu, le tout puissant, l'avoir en sa miséricorde !

Je t'aime papa

A MA CHERE MERE

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel.

Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte.

En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée.

A Mes chers frères ABIDINE et MOHAMMED

A Mes chères sœurs MERIEM et KELTOUM

A Mon cher oncle LOTFI et à toute ma famille

A Ma chère binôme et sa famille.

A tous les étudiants de ma promotion CTS 2020

A tous mes amis en particulier:NIHED

A tous ceux que j'aime et ceux qui pensent à moi

MERCI.

BENEDDINE ZINEB

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la patience et la force pour terminer ce modeste travail, et nous tenons expressément à remercier nos parents pour leur soutien, leur confiance et leurs encouragements tout au long de nos études ;

Nous remercions Monsieur **M. SOUIEH Sid Ahmed** pour nous avoir accueilli et encadré.

En guise de reconnaissance, nous exprimons les plus sincères remerciements à notre encadreur monsieur **SEDDIKI MOHAMMED AKRAM**, pour nous avoir encadré, pour la peine qu'il a prise en vue d'élaboration de ce mémoire de fin d'études, pour son ouverture d'esprit et pour ses nombreuses qualités scientifiques et humaines qui nous ont été d'un grand support durant toute la période de préparation de ce travail.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de recherche des solutions de caractérisation des différents types du bâti au niveau de la ville de Mostaganem à partir de l'imagerie à très haute résolution spatiale type Quickbird. Les méthodes d'apprentissage testées dépassent l'utilisation des algorithmes basés uniquement sur la dimension spectrale qui présentent des limites quant à la discrimination des composants du milieu urbain.

Ce projet démontre que la formulation des règles de connaissances en se basant sur les paramètres intrinsèques de l'image Quickbird n'est pas suffisante et nécessite le recours à l'introduction des paramètres plus performants tels que les indices morphométriques. L'approche suivie a été développée sous un environnement mixte de traitement d'image sous Ecognition et des SIG sous ArcGIS.

La combinaison des résultats obtenus notamment sur l'objet bâti et l'ombre associée avec d'autres informations exogènes provenant principalement des bases de données cadastrales et de l'urbanisme, permet une cartographie de la densité de population à l'intérieur des quartiers de la ville de Mostaganem et sert de base comme support de préparation du futur recensement de la population.

Mots clés : Quickbird, milieu urbain, règles de connaissances, densité de population.

ملخص

يعد هذا العمل جزءاً من البحث عن حلول لاستخراج المعلومات حول البنايات في مدينة مستغانم من صور عالية الدقة المكانية نوع Quickbird. ان اختبار طرق التلقين أثبتت محدودية الخوارزميات القائمة فقط على البعد الطيفي للتمييز بين مكونات الوسط الحضري.

يوضح هذا المشروع أن صياغة قواعد المعرفة بناءً على المعلومات الجوهرية لصورة Quickbird ليست كافية وتتطلب استخدام إدخال معلومات أكثر كفاءة مثل مؤشرات توصيف المباني. تم تطوير النهج المتبع في ظل بيئة مختلطة بين معالجة الصور باستخدام برمجيات Ecognition و نظام المعلومات الجغرافية GIS باستخدام برمجيات ArcGIS.

إن الجمع بين النتائج التي تم الحصول عليها على وجه الخصوص على المباني والظل المرتبط بها مع المعلومات الخارجية الأخرى القادمة بشكل رئيسي من قواعد البيانات المساحية وتخطيط المدن ، يسمح برسم خرائط للكثافة السكانية داخل مناطق مدينة مستغانم وتعمل كقاعدة دعم تحضير للتعداد السكاني المستقبلي.

الكلمات المفتاحية: Quickbird ، الوسط الحضري ، قواعد المعرفة ، الكثافة السكانية .

Abstract

This work is part of the search for solutions to characterize the different types of buildings at the level of the city of Mostaganem from very high spatial resolution imagery such as Quickbird. The learning methods tested go beyond the use of algorithms based only on the spectral dimension which have limitations in terms of discrimination of urban components.

This project shows that the formulation of knowledge rules based on the intrinsic parameters of the Quickbird image is not sufficient and requires the use of the introduction of more efficient parameters such as morphometric indices. The approach followed was developed under a mixed environment of image processing under Ecognition and GIS under ArcGIS.

The combination of the results obtained in particular on the built object and the associated shadow with other exogenous information coming mainly from cadastral databases and town planning, allows a mapping of the population density inside the districts of the city of Mostaganem and serves as a base as preparation support for the future population census.

Keywords: Quickbird, urban environment, knowledge rules, population density.

Tables des matières

Dédicace.....	I
Remerciement.....	III
Résumé.....	IV
Tables des matières.....	V
Listes figures.....	VII
Liste des tableaux.....	IX
Liste des acronymes.....	X
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Typologie des tissus urbains et notions liées à la densité urbaine

I.1. Introduction.....	3
I.2. Tissus urbains.....	3
I.2.1. types des tissus urbains.....	3
I.2.2. L'approche fractale des tissus urbains.....	6
I.3. Notions relatives à la densité.....	8
I.3.1. La densité urbaine.....	8
I.3.1.1. La densité objective (mesurable).....	8
I.3.1.2. La densité subjective.....	12
I.3.2. Les critères de densification urbaine optimale	13
I.4. Aperçu sur le système urbain en Algérie.....	13
I.4.1. La réorganisation du territoire.....	14
I.4.2. Historique de la ville algérienne.....	14
I.4.2.1. La ville précoloniale (avant 1830).....	14
I.4.2.2. La ville coloniale (1830-1962)	17
I.4.2.3. L'époque postcoloniale (de 1962 à ce jour).....	18
I.4.3. Exemples de tissus urbains en Algérie et densités associées.....	20
I.5. conclusion.....	22

Chapitre II: Identification du bâti à partir des images à Très haute résolution spatiale

II.1. Introduction.....	23
II.2. Evolution de l'imagerie spatiale.....	23
II.2.1. Caractéristiques des images satellitaires à THRS.....	24
II.2.1.1. Caractéristiques du capteur satellite Quickbird.....	25

II.3. Qualité des images spatiales.....	27
II.3.1. Estimation de la qualité géométrique.....	27
II.3.2. Les erreurs ou confusions thématiques.....	28
II.4. Identification du bâti par méthode d'apprentissage.....	29
II.4.1. La segmentation sous e-cognition.....	29
II.4.2. Exemples sur les paramètres d'extraction thématique.....	31
II.5. Approches de classification d'images.....	33
II.5.1. Analyse d'image basée pixels.....	34
II.5.2. Analyse d'image basée objets.....	35
II.5.2.1. Principales étapes.....	35
II.5.2.2. Paramètres extrinsèques : indices de caractérisation des objets urbains.....	37
II.6. Conclusion.....	38

Chapitre III : Processus pratique de cartographie de la densité de population

III.1. Introduction.....	39
III.2. Zone d'étude.....	39
III.3. Données, logiciels et prétraitements appliqués.....	40
III.4. Méthodologie d'analyse	40
III.4.1. Prétraitements de l'image quickbird support d'étude.....	41
III.4.2. Analyse de la composition du tissu urbain de la ville de Mostaganem.....	43
III.4.3. Extraction préliminaire.....	52
III.4.3.1. Segmentation multi-résolution brute.....	52
III.4.3.2. Classification orientée objet.....	54
III.4.4. Amélioration de la qualité.....	58
III.4.4.1. Approche de reclassification.....	58
III.4.4.2. Caractérisation du bâti.....	59
III.4.5. Cartographie de la densité de population.....	65
III.5. Conclusion.....	69
Conclusion générale.....	70
Références bibliographiques.....	72

Liste des figures

Figure I.1. Exemple d'un tissu urbain type 'centre traditionnel'	4
Figure I.2. Exemple de vides à l'intérieur d'un tissu urbain.....	4
Figure I.3. Exemple d'un tissu urbain composé d'habitat individuel organisé.....	5
Figure I.4. Exemple d'un tissu urbain composé d'habitat individuel spontané.....	5
Figure I.5. Exemple d'un tissu urbain composé d'habitat collectif.....	6
Figure I.6. La construction d'une poussière de Fournier par itération	7
Figure I.7. Deux fractales mixtes en deuxième étape d'itération : l'exemple (a) ressemble aux semis d'habitats et (b) aux tissus intra-urbains.....	8
Figure I.8. Modulation morphologiques de la même densité résidentielle.....	9
Figure I.9. Schéma explicatif de La densité bâtie.....	10
Figure I.10. Seuillage La densité bâtie	10
Figure I.11. Echelles d'analyse et ses indicateurs	11
Figure I.12. Différence Entre densité perçu et densité réelle.....	12
Figure I.13. Critères pour un processus de densification urbaine optimale.....	13
Figure I.14. Différentes densité des tissus urbains en Algérie. Source : HADJOU Fateh, « évaluation critique des densités urbaines en Algérie».....	20
Figure II.1. Évaluation des erreurs géométriques au niveau du sol et des toitures	27
Figure II.2. Image Ikonos de Sherbrooke.....	27
Figure II.3. Estimation de la surface occupée par l'ombre. Exemple pour deux extraits.....	28
Figure II.4. Exemple de segmentation de l'objet routes sous Ecognition	32
Figure II.5. Approches d'analyse d'image.....	34
Figure II.6. Schéma des étapes d'analyse d'image basée objets.....	35
Figure II.7. Étapes d'une approche « orientée-objet.....	36
Figure II.8. Arbre d'hierarchisation des objets par segmentation (arbre ontologique).....	36
Figure III.1. Délimitation de la zone d'étude appartenant à la wilaya de Mostaganem....	39
Figure III.2. Estimation de la surface occupée par l'ombre sur deux extraits de l'image quickbird.....	41
Figure III.3. Confusions spectrales à l'intérieur du même objet.....	42
Figure III.4. Différentes signatures spectrales pour un même type d'objet.....	42
Figure III.5. Principaux quartiers de la vieille ville de Mostaganem.....	43
Figure III.6. Résultat de segmentation de l'image quickbird-niveaux de détails : logement et grands bâtiments.....	52
Figure III.7. Résultat de segmentation de l'image quickbird-types d'objets : routes, chemins et végétations.....	53
Figure III.8. Classes thématiques extraites par classification orientée objet.....	54
Figure III.9. Exemples de résultats primitifs d'application de la classification orientée objet sur l'image quickbird-zone périphérique de la ville de Mostaganem.....	56

Figure III.10. Résultats primitifs d'application de la classification orientée objet sur une zone choisie pour les opérations de nettoyage des erreurs de confusions-zone dans la ville de Mostaganem.....	57
Figure III.11. Résultats d'application d'un nettoyage par recalculé d'attributs/reclassification et nettoyage par filtres.....	58
Figure III.12. Résultat de l'extraction de l'objet bâti individuel à partir de l'image quickbird.....	59
Figure III.13. Résultat de l'extraction de l'objet bâti collectif à partir de l'image quickbird.....	63
Figure III.14. Résultat de l'extraction de l'objet équipements à partir de l'image quickbird.....	63
Figure III.15. Résultat de l'extraction de l'objet bâti dense à partir de l'image quickbird.....	64
Figure III.16. Résultat de l'extraction de l'objet bâti peu dense à partir de l'image quickbird.....	64
Figure III.17. Résultat de l'extraction de l'objet bâti colonial à partir de l'image quickbird.....	65
Figure III.18. Carte de la densité de population obtenue en appliquant l'interpolation de krigeage.....	68
Figure III.19. Intégration de la densité de population par ilots urbains.....	68

Liste des tableaux

Tableaux I.1. Évolution du nombre de Wilayas et de Communes entre 1962 et 2019.....	14
Tableaux I.2. Caractéristique des villes du M’Zab.....	15
Tableaux I.3. Caractéristique des villages kabyles.....	16
Tableaux I.4. Caractéristique de la ville algérienne pendant la période coloniale.....	17
Tableaux I.5. Caractéristique de la ville algérienne postcoloniale.....	18
Tableaux I.6. Différentes densités des tissus urbains en Algérie.....	21
Tableaux II.1. Caractéristiques des capteurs satellitaires à THRS.....	27
Tableaux II.2. Caractéristiques du satellite Quickbird.....	28
Tableaux II.3. Bandes spectrales du QUICKBIRD.....	29
Tableaux II.4. Exactitude de segmentations avec différentes combinaisons de bandes : classe de « végétation » avec couleur à 1 et compacité à 0 (unité : %).....	36
Tableaux II.5. Exactitude obtenue avec 4 bandes originales et rapport de couleur/ forme = 0,7/0,3 de la classe de « végétation » (unité : %).....	36
Tableaux II.6. Meilleurs paramètres de segmentations et exactitudes de toutes les classes.....	40
Tableaux II.7. Paramètres de segmentation employés dans chaque niveau.....	47
Tableaux II.8. Evaluation de la classification préliminaire.....	49
Tableaux II.9. Les indices de formes et de contenus urbains	50
Tableaux III.1. Estimation du volume du patrimoine ancien de la ville de Mostaganem.....	43
Tableaux III.2. Analyse des types d’objets qui peuvent être capturés à partir des images QuickBird, à de diverses échelles de cartographie [Holland, 2006].....	44
Tableaux III.3. Variabilité spectrale due à la différence de toitures.....	46
Tableaux III.4. Variabilité spectrale due à la différence des matériaux et l’âge de construction et les types des tissus urbains.....	49
Tableaux III.5. Exemples d’attributs intrinsèques des segments calculés.....	54
Tableaux III.6. Paramètres calculés et introduits pour l’application de la classification hiérarchique sous Ecognition.....	55
Tableaux III.7. Arbre du raisonnement hiérarchique de caractérisation des objets bâtis.....	60
Tableaux III.8. Extraits de la base de connaissances (attributs et indices de caractérisation du bâti).....	62
Tableaux III.9. Paramètre d’estimation de la population pour le bâti individuel.....	66
Tableaux III.10. Paramètre d’estimation de la population pour le bâti collectif.....	66
Tableaux III.11. Paramètre d’estimation de la population pour le bâti peu dense.....	66
Tableaux III.12. Paramètre d’estimation de la population pour le bâti dense.....	67
Tableaux III.13. Paramètre d’estimation de la population pour le bâti colonial.....	67

Liste des acronymes

COS	Coefficient d'occupation du sol
CES	Coefficient d'emprise au sol
AUIC	Agglomération urbaine intercommunales
ONS	Office national des statistiques
ACL	Agglomération chef-lieu
AS	Agglomérations secondaires
AIC	Agglomérations intercommunales
SIG	Système d'information géographique
THRS	Très haute résolution spatiale
HRS	Haute résolution spatiales
MNT	Model numérique de terrain
CNES	Centre national d'études spatiales
ESA	Agence spatiale européenne
GeoBIA	Analyse d'image basée objets géographiques
CTS	Centre des Techniques Spatiales
AIBO	Analyse d'image basée objets
URBOR	Centre d'études et de réalisation en urbanisme
DCWI	Direction du cadastre de wilaya
PAW	Plans d'aménagements de wilaya
PDAU	Plan Directeur d'aménagement et d'urbanisme
POS	Plan d'occupation des sols
ASAL	Agence Spatiales Algérienne

Ce projet de Master s'inscrit dans le cadre de la préparation de l'opération de recensement général de la population en Algérie, prévu initialement en 2018 et reporté en 2020 (RGPH 2020), ce recensement permettra aux autorités publiques de connaître le nombre "exact" de la population et des agglomérations ainsi que leur répartition géographique, et constitue un élément essentiel pour l'élaboration des plans de développement futurs" ;

Dans ce contexte, le travail rejoint les initiatives de réflexion sur la modernisation de l'opération de recensement, à travers l'utilisation des nouvelles techniques et technologies telles que l'imagerie spatiale et l'exploitation de la base de données disponible au niveau de tous les secteurs.

La problématique est liée essentiellement à la croissance des villes qui pose des problèmes complexes pour la collecte des données démographiques. Face aux difficultés de mise en œuvre des techniques classiques en démographie, il paraît souhaitable de rechercher de nouveaux moyens d'observation répondant aux caractéristiques spécifiques de ce milieu. Intégrer une bonne connaissance morphologique de l'espace urbain dans un système d'observation démographique semble être une voie de recherche prometteuse. Les images à très haute résolution spatiale deviennent assez performantes pour renseigner sur l'occupation du sol en milieu urbain, il importe de s'interroger sur les possibilités d'utilisation de la télédétection pour l'observation démographique. **Françoise DUREAU, 1990.**

Plusieurs questions relatives à la mise en évidence des apports de l'imagerie THRS peuvent se poser et tournent autour des points suivants :

1. Pouvons-nous exploiter l'information spectrale de l'image Quickbird pour extraire l'information recherchée sachant que les propriétés spectrales des différents objets peuvent varier d'une zone à une autre et sont aussi variables en fonction des conditions d'acquisition ?
2. Pouvons-nous avoir des résultats satisfaisants en utilisant les techniques classiques d'extraction de l'information à partir des images THRS (classification non supervisée, supervisée, masques binaires...) ?
3. Pour certains objets tel que le bâti, l'introduction des règles de connaissances usuelles basées sur les paramètres intrinsèques qui peuvent être calculés par les logiciels d'apprentissage, semble efficace pour le thème urbain mais comment les enrichir pour arriver à un niveau de distinction des différents types du bâti ?

L'objectif alors est d'essayer de construire un arbre ontologique qui regroupe toutes les classes d'objets sous une forme de relation père-fils aux échelles correspondantes aux différentes résolutions qui peuvent être dérivées de l'image Quickbird.

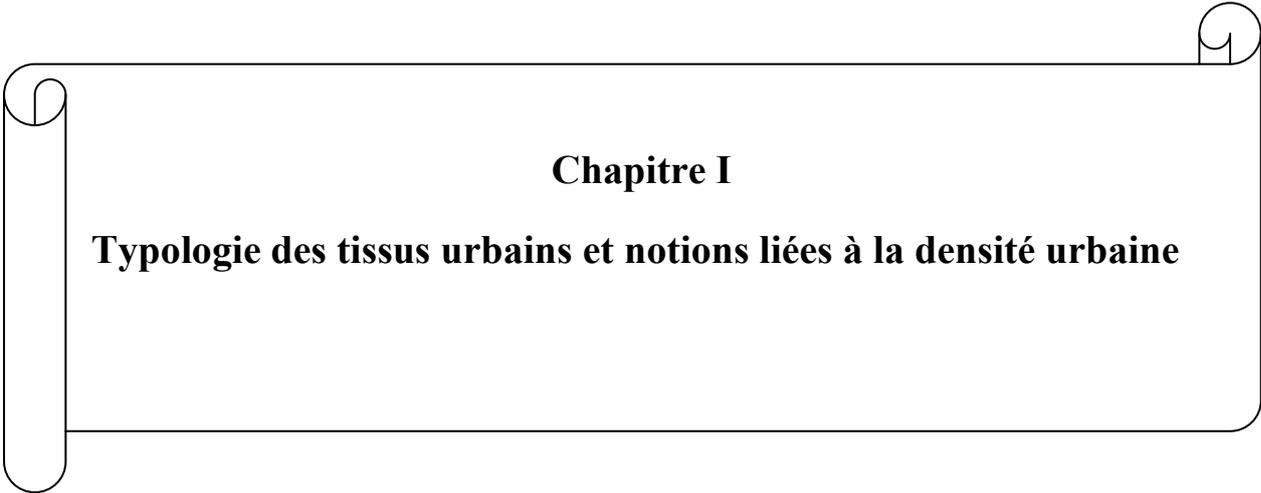
Une fois l'information est obtenue, elle devrait être utilisée à la cartographie de la densité de population.

En dehors de l'utilisation des logiciels et des données, des sorties sur terrain ont été effectuées pour valider la fragmentation du tissu urbain de la ville de Mostaganem, et des déplacements à la Direction du Cadastre de la wilaya de Mostaganem et des services d'urbanismes pour la collecte des données. Le manuscrit est structuré en trois chapitres :

Est exposée dans le premier chapitre, la typologie des tissus urbains et les notions liées à la densité urbaine.

La question d'utilisation des images spatiales est exposée au second chapitre.

Enfin, le troisième chapitre est consacré à la présentation des méthodologies pratiques, des étapes de traitements, de l'extraction du bâti à la cartographie de la densité de population.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top, both ending in rounded, scroll-like shapes.

Chapitre I

Typologie des tissus urbains et notions liées à la densité urbaine

I.1.Introduction

Les agglomérations contemporaines sont composées d'un grand nombre d'agrégats bâtis, dont la taille est variée et suit souvent une logique d'emboîtement d'échelles : villages ruraux et périurbains, bourgs-centres, ville-centre... Une logique similaire existe pour les vides à l'intérieur des tissus urbains : il existe peu de très grandes places vides, un nombre plus élevé d'espaces libres de taille moyenne et enfin un grand nombre de petits espaces libres (cours intérieures par exemple). Dans beaucoup de cas l'habitat n'est pas réparti de manière uniforme, mais se concentre le long d'axes de transport. Il existe ainsi des zones dans lesquelles le bâti est beaucoup plus concentré qu'ailleurs, ce qui se traduit par une baisse globale de la densité en s'éloignant des centres densément peuplés.

Cette hétérogénéité dans la composition urbaine nous a amené à structurer ce chapitre en deux grandes parties, dans la première nous exposons les différents types des tissus urbains et leurs principales caractéristiques, et en seconde partie nous définissons les notions importantes relatives à la densité urbaine.

I.2.Tissus urbains

Mode d'organisation de l'espace urbanisé qui comprend, outre l'ensemble des constructions de toute nature et de leurs dessertes, une réalité spatiale (un habitat, un réseau de rues, de jardins...) et un espace fonctionnel où des personnes vivent, se meuvent, fabriquent et consomment des richesses.

Il peut être défini aussi comme un ensemble des constructions, équipements et réseaux constitutifs d'une ville ou d'un quartier.

La carte des tissus urbains est une des composantes du paysage, Trois facteurs de la morphologie bâtie permettent de repérer les grands types de tissu urbain :

- La dimension des éléments bâtis : grands, moyens et petits ;
- Les implantations : en continuité et discontinuité, mitoyens ou à distance ;
- Les hauteurs des constructions ; [01]

I.2.1.types des tissus urbains

❖ Le centre traditionnel

Description du tissu

Tissu bâti d'origine rurale, composé des fermes et caractérisé par des faibles hauteurs (hauteur du bâti R à R+1+c) corps de ferme est une typologie récurrente (se présente en forme de «U» et de «L»), en léger retrait par rapport à la rue, parcellaire variable, souvent en lanière. [01]



Figure I.1. Exemple d'un tissu urbain type 'centre traditionnel' [01]

❖ Les vides urbains

Description du tissu

«vides urbains» (parfois en forme de cœur d'îlots) constitués des fonds de jardin et de vergers plus au moins enclavés dans le tissu. Particulièrement présent dans les tissus traditionnels, avec des superficies variables. [01]



Figure I.2. Exemple de vides à l'intérieur d'un tissu urbain [01]

❖ L'habitat individuel organisé

Description du tissu

Pavillons individuelles réalisés sous forme d'opération de lotissement, caractérisé par un parcellaire très régulier, distribué rationnellement généralement de forme carrée à rectangulaire et de superficie moyenne. Le bâtiment principal est implanté au centre de la parcelle, en recul depuis toutes les limites séparatives.

des bâtiments annexes (abris, garages...), viennent progressivement compléter la construction en s'implantant sur les limites séparatives. [01]



Figure I.3. Exemple d'un tissu urbain composé d'habitat individuel organisé [01]

❖ L'habitat individuel spontané

Description du tissu

Caractérisé par des constructions réalisées au coup par coup, sous forme de constructions isolées, parfois densifiées au fil du temps. Ce tissu urbain comporte toutes les formes intermédiaires, et se caractérise par une grande hétérogénéité du bâti et du parcellaire, localisé en périphérie de la commune. Les parcelles y sont généralement de grande taille et de forme variables. [01]

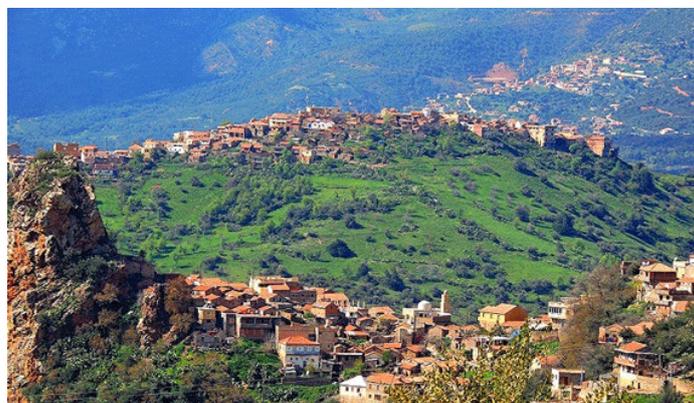


Figure I.4. Exemple d'un tissu urbain composé d'habitat individuel spontané [01]

❖ L'habitat et équipements collectifs

Description du tissu

Bâtiments organisés en ensembles d'habitat collectif (les bâtiments isolés au sein d'une forme urbaine différente ne forment pas un tissu). implantation en forme d'urbanisation discontinu, aussi par les hauteurs pouvant approcher 3 ou 4 étages pour les plus hauts. Immeubles implantés au milieu de la parcelle, généralement en recul par rapport à la voie. [01]



Figure I.5. Exemple d'un tissu urbain composé d'habitat collectif [01]

I.2.2.L'approche fractale des tissus urbains

❖ Vers des modèles pour caractériser la forme des tissus urbains

La présence d'un principe d'emboîtement d'échelle dans les tissus urbains a incité différents équipes de recherche à recourir à une approche géométrique alternative, la géométrie fractale, qui est par définition, multi-échelle.

En utilisant des méthodes d'analyse basées sur cette approche, on peut mettre en évidence l'existence d'un certain type d'organisation spatiale dans les tissus urbains que l'on ne retrouve pas en recourant d'autres approches, par exemple en se référant à la densité. En introduisant des descripteurs morphologiques fractals, la comparaison et la classification des tissus urbains deviennent dès lors possible.

Dans un premier temps, ces investigations ont porté sur de vastes zones métropolitaines analysées à partir de représentations cartographiques simplifiées (par exemple, 1 : 500.000). Ces travaux ont été approfondis et en partie appliqués à l'échelle des quartiers en utilisant des bases de données cartographiques plus détaillées. [02]

Au-delà de l'analyse morphologique il est possible de concevoir des modèles de références qui peuvent servir à illustrer les propriétés principales de différents types de formes urbaines. Des réflexions conceptuelles permettent de répondre à des objectifs d'aménagement urbain visant à limiter la consommation d'espace en assurant une bonne qualité de vie.

Afin d'illustrer les particularités de la géométrie fractale, nous avons choisi de présenter ici plusieurs modèles fractals théoriques, qui transcrivent des propriétés caractéristiques des tissus urbains. Par définition, ces fractales sont construites selon un principe d'emboîtement d'échelle : en réitérant une règle de construction, on génère une structure fortement hiérarchisée qui paraît de plus en plus complexe. [02]

❖ Deux modèles de base : la poussière de Fournier et le tapis de Sierpinski

A l'échelle des îlots urbains, la surface bâtie est constituée de bâtiments isolés ou de groupes de bâtiments, donc d'éléments détachés qui forment des agrégats. Il est possible d'illustrer ce type de structure spatiale à travers un certain type de fractal, les poussières de Fournier. La figure I.6 montre de quelle manière une telle fractale peut être construite.

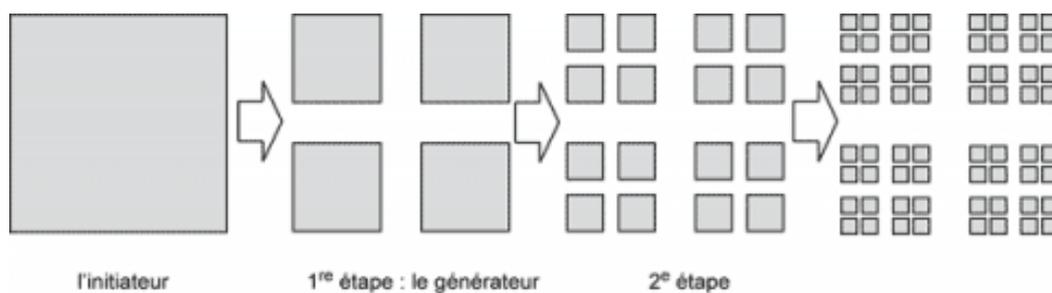


Figure I.6. La construction d'une poussière de Fournier par itération [02]

L'initiateur, un carré, est remplacé, lors d'une première étape, par $N = 4$ répliques dont la longueur de base est réduite par un facteur $r = 2/5$. Cette règle de construction est appelée générateur. On l'applique, lors de l'étape suivante, à chacun des carrés générés précédemment. La figure 1 montre qu'il est possible de poursuivre cette itération. [02]

❖ Modèle mixte

La fractale de la figure 5a est constituée d'un agrégat principal entouré d'agrégats de taille différente. On pourrait identifier l'agrégat central à une grande ville qui est entourée de sous-centres situés à une certaine distance de celle-ci. Dans la proximité de chaque ville se trouve un certain nombre de petites villes. La figure 5b pourrait plutôt être associée à une structure intra-urbaine composée d'îlots urbains. [02]

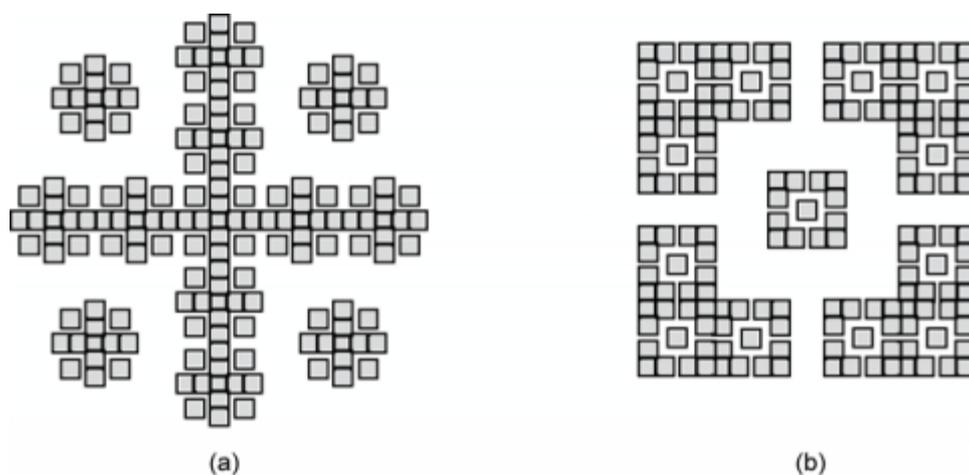


Figure I.7 : Deux fractales mixtes en deuxième étape d'itération : l'exemple (a) ressemble aux semis d'habitats et (b) aux tissus intra-urbains [02]

I.3. Notions relatives à la densité

I.3.1. La densité urbaine

La notion de densité est compliquée, liée aux sciences physiques et utilisée par les économistes, les géographes et les démographes. [03]

I.3.1.1. La densité objective (mesurable)

La densité est le rapport entre un indicateur statistique et une surface de territoire. Il y a plusieurs densités à considérer : *population, emplois, nombre d'unités de logement, surface de plancher, etc.*

Cette mesure est rapportée à un territoire, dont le périmètre étudié est déterminant. Là aussi, il est primordial de comparer des surfaces de définitions et d'échelles comparables. Il existe plusieurs types de densité : la densité brute ou nette, de contenant ou de contenu, réelle, vécue ou perçue...

De plus de nombreux facteurs entrent dans sa composition : selon l'échelle des territoires considérés, leur composition et les objectifs recherchés ; la densité se calcule de manière différente. [03]

❖ Quelques indicateurs de la densité mesurable

Le coefficient d'occupation de sol (COS)

Le COS fixe la surface des constructions pouvant être supportée sur un terrain. Il détermine la densité de construction admise c'est à dire le rapport exprimant le nombre de mètres carrés de plancher hors œuvre nette ou le nombre de mètres cubes susceptibles d'être construits par mètre carré de sol. [03]

Le Coefficient d'emprise au sol (CES)

Coefficient qui s'applique à la surface d'une parcelle ou d'un îlot, en vue de définir la surface susceptible d'être construite. [03]

La densité de population

La densité de population et le rapport entre le nombre d'habitants et la surface d'assiette. Ramenée à l'hectare elle permet de déterminer la concentration de la population sur un secteur donné. [03]

La densité résidentielle (ou densité de logements)

La densité résidentielle (ou densité de logements) est exprimée par le rapport entre le nombre de logements et la surface d'assiette hors voirie publique ramenée à l'hectare. Elle permet de donner une mesure de l'occupation des sols par le logement.

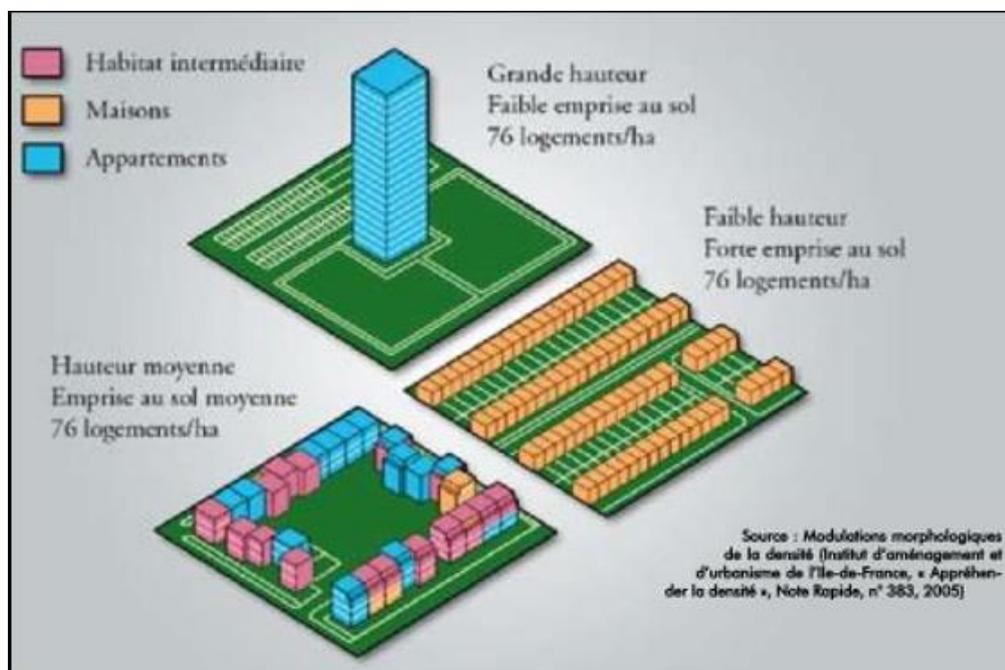


Figure I.8. Modulations morphologiques de la même densité résidentielle [03]

La densité bâtie

La densité bâtie est le rapport entre le coefficient d'emprise au sol (CES) c'est-à-dire le rapport entre l'emprise au sol totale des bâtiments et la surface de l'îlot sur lequel ils sont implantés multiplié par le nombre moyen de niveaux. Elle s'exprime en nombre de mètres carrés de surface construite par hectare. [03]

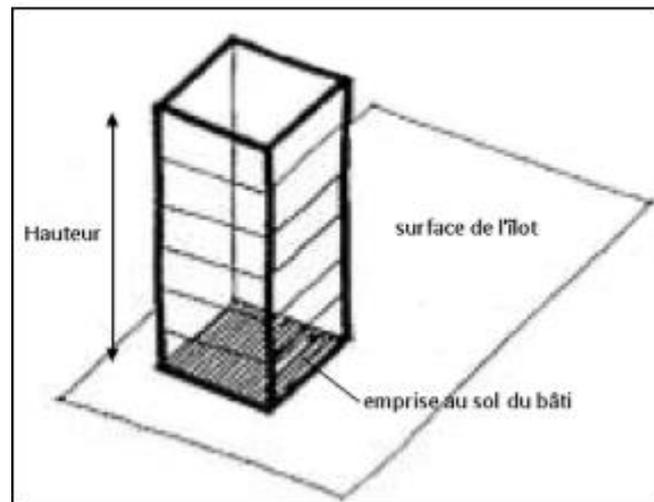


Figure I.9. Schéma explicatif de la densité bâtie [03]

On peut classer la densité selon des seuils de densité (faible, moyenne ou forte) :

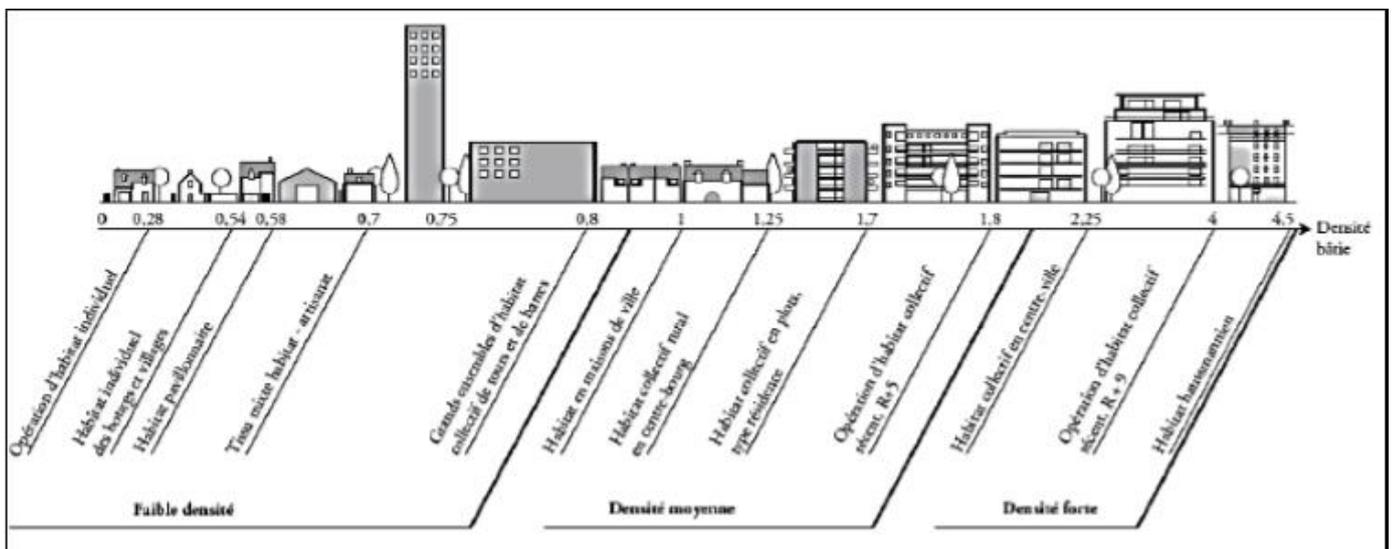


Figure I.10. Seuillage de la densité bâtie [03]

❖ **Les échelles d'analyse et ses indicateurs : densité brute, densité nette:**

La densité ne prend de réelle signification que si elle est rapportée à une échelle de référence. Cette échelle varie du très local (parcelle, îlot...) au continental, chacune ayant sa propre utilité. Chaque échelle a ses propres indicateurs. [03]

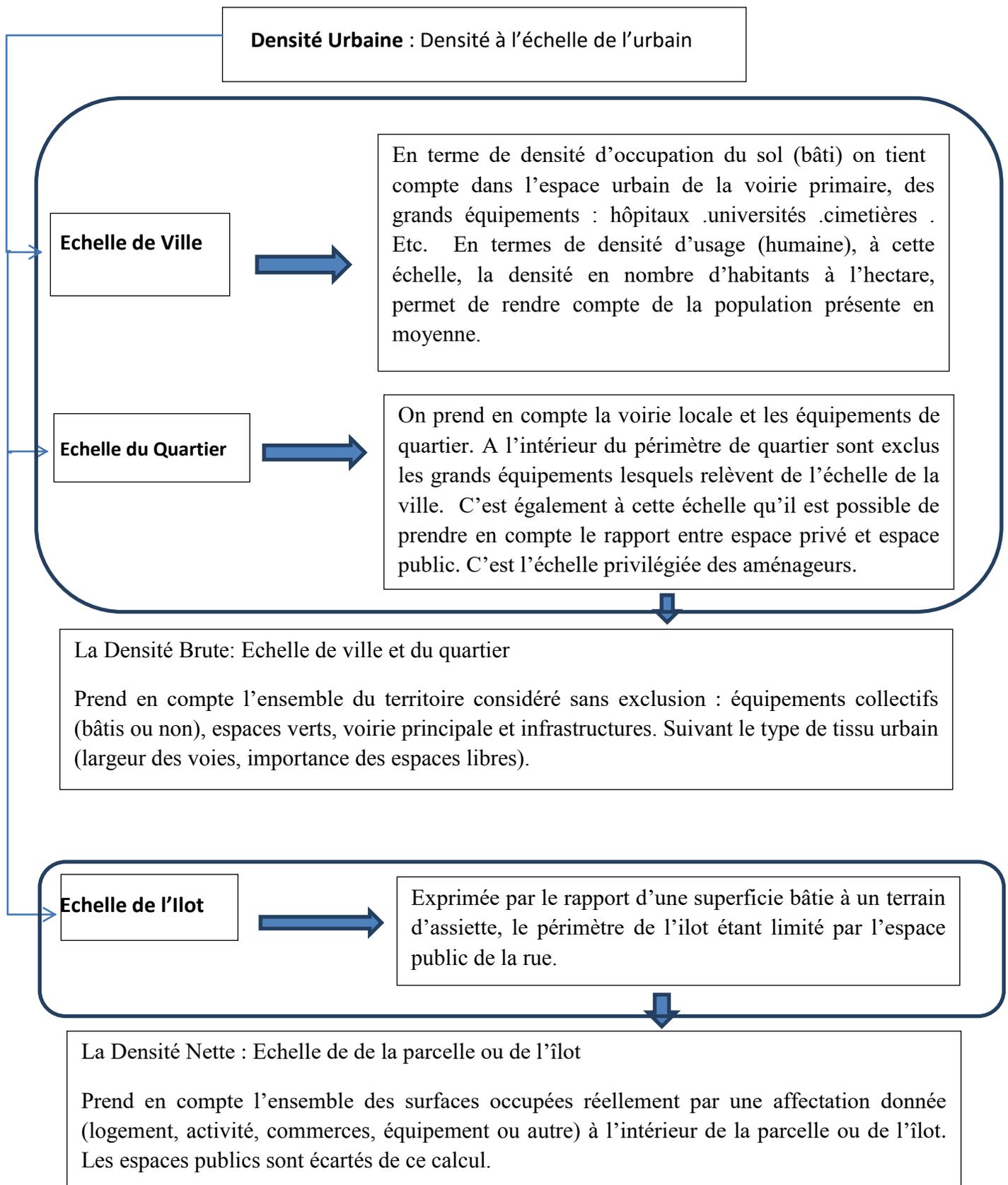


Figure I.11. Echelles d'analyse et les indicateurs de densité [03]

I.3.1.2. La densité subjective:

La densité a aussi une dimension subjective et on distingue deux types :

- **La densité perçue**

Reflète la perception de l'espace bâti, et apporte une information sur la qualité des espaces bâtis. Cette densité est utilisée prioritairement par les architectes. La perception de la densité du bâti peut varier en fonction de plusieurs facteurs : caractéristiques du site, diversité des volumétries et mixité des typologies, la composition des aménagements entre les bâtiments, trame de l'espace public, volumes de la végétation, traitement des pieds d'immeuble, perméabilité des formes, etc. [03]

L'écart entre le perçu et le réel

Une forte densité est assimilée à de hautes tours d'immeubles, alors qu'il ne s'agit pas de la forme urbaine la plus dense. Il existe donc un écart entre la densité perçue par les usagers et la réalité mesurée de la densité bâtie. [03]

Densité perçue	De plus dense au moins dense	Densité réelle
+++	Grands ensembles d'habitats collectifs	+
++	Grands immeubles	++
+	Habitat ancien de centre-ville	+++

Figure I.12. Différence entre densité perçue et densité réelle [03]

La densité vécue

Les habitants ont un rapport différent à la densité selon qu'elle appartient ou non à leur vécu, positif ou négatif. La perception de la densité est étroitement liée à l'expérience que le sujet a de la densité. Celui qui aura passé son enfance dans une ville dense aura probablement un seuil de tolérance plus élevée à l'égard de la densité que celui qui aura vécu une enfance à la campagne.

De même, celui qui a l'expérience de vastes pièces avec de grandes hauteurs sous-plafonds appréciera plus aisément les fortes densités urbaines qui lui mettent à portée de main une grande diversité d'équipement et d'activités, que celui qui est à l'étroit dans un appartement de petite dimension. [03]

I.3.2. Les critères de densification urbaine optimale

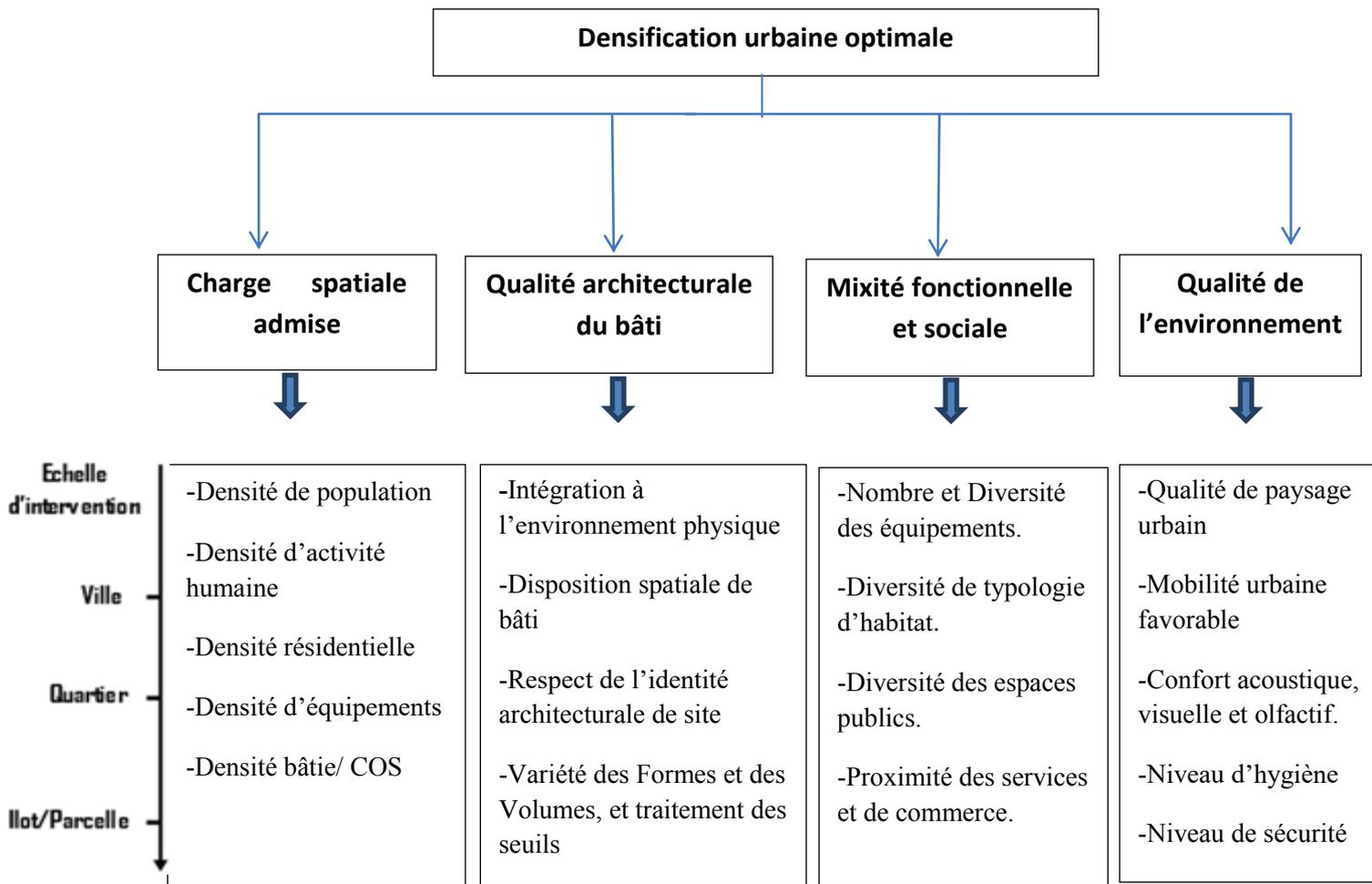


Figure I.13. Critères pour un processus de densification urbaine optimale [03]

I.4. Aperçu sur le système urbain en Algérie

Le système urbain en Algérie a été marqué par l'évolution spectaculaire des grandes villes (plus de 100 000 habitants) du nord. Cette évolution a continué jusqu'aux années 1990. Après cette décennie, ce sont les petites et moyennes villes (3 000 à 50 000 habitants) qui connaissent les rythmes de croissance les plus élevés.

Une agglomération est définie comme un ensemble de constructions en nombre égal au moins à la centaine telle qu'aucune d'elles ne soit séparée de la plus proche de plus de 200 mètres. Les agglomérations qui s'étendent sur plusieurs communes sont dites Agglomérations Urbaines Intercommunales (AUIIC).

Selon l'ONS "L'agglomération où est situé le siège de l'Assemblée Populaire Communale est dite Agglomération Chef-lieu (A.C.L), les autres agglomérations d'une même commune sont dites agglomérations secondaires (A.S) alors que les agglomérations qui s'étendent sur plusieurs communes sont dites Agglomérations intercommunales (AIC)". [04]

Les villes des hautes plaines et du sud attirent plus les populations, par contre, les grandes villes du nord connaissent un ralentissement de leur rythme de croissance, mais leurs périphéries continuent de s'étaler et d'attirer plus de personnes. [04]

I.4.1. La réorganisation du territoire

La commune, est la cellule de base légale du territoire algérien. L'organisation territoriale est fondée sur les Wilayas, les Daïras et les Communes. L'Algérie est ainsi subdivisée en wilayas composées de deux ou plusieurs daïras qui regroupent un certain nombre de communes. La réorganisation territoriale de 1984, promulguée par la loi du 04.02.1984 a fait passer les wilayas de 31 à 48 et le nombre de communes de 704 au double (1541) commune. Le 26 novembre 2019, le gouvernement a annoncé la création de dix nouvelles wilayas, à travers un projet de loi adopté le 5 décembre par le conseil de la nation. [04]

Tableau I.1. Évolution du nombre de Wilayas et de Communes entre 1962 et 2019 [04]

Années	Wilayas	Communes
1962	15	1577
1963	15	676
1974	31	704
1984	48	1541
2019	58	1541

I.4.2. Historique de la ville algérienne

I.4.2.1. La ville précoloniale (avant 1830)

L'Algérie est caractérisée par un héritage patrimonial de l'habitat traditionnel de différentes formes comme les médinas, l'habitat kabyle, et l'habitat des ksour du sud. Les tableaux I.2 et I.3 illustrent des exemples sur le cas de la vallée du M' ZAB et les villages Kabyles. [03]

- **La ville du M'Zab:**

La vallée du M'Zab se situe à 600 km au sud d'Alger. Elle est fondée à partir du 11ème siècle. [03]

- **Le village kabyle :**

Les villages kabyles se dressent dans la région de la Kabylie, une région montagneuse dans le nord de l'Algérie, Tous ces villages sont localisés au sommet des crêtes d'une succession de collines. [03]

Tableau I.2. Caractéristique des villes du M'Zab [03]

Eléments d'analyse	Caractéristiques architecturale et urbaine de la ville du M'Zab	Illustration
Charge spatiale admise	<p>Densité bâtie/ COS : supérieur à 0.70.</p> <p>Densité de population : 746 Hab/ha, Surface 67ha, population 50000 hab.</p>	 <p data-bbox="1145 925 1565 1016">Vue aérienne de Ghardaïa, Source : Yann Arthus Bertrand, l'Algérie vu du ciel.</p>
Qualité architecturale du bâti	<ul style="list-style-type: none"> - Forme géométrique souvent irrégulière avec une façade aveugle sur la rue et obéit au réseau parcellaire compact et complexe. - Unité formelle des maisons qui sont des maisons a patio. - L'accolement des maisons est une réponse aux aspects climatiques : la chaleur, Les vents et les tempêtes. - Matériaux traditionnels : bois de palmiers, pierre ... - Le seuil de porte de la maison marque la séparation entre le monde public et privé. 	
Mixité fonctionnelle et sociale	<ul style="list-style-type: none"> - Le tissu est structuré autour des mosquées et la place du marché. - La circulation : allant de rue vers ruelle vers l'impasse qui mène à la porte. - La mobilité se fait à pied ou à l'aide d'un mulet. 	 <p data-bbox="1145 1697 1565 1765">intérieur de la ville de Ghardaïa. Source : http://www.mzabphotos.com</p>
Qualité de l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> - Aspect chromatique liée aux différentes couleurs des revêtements. - La verdure est constituée par la palmeraie entourant les villes. - Une fosse qui récupérait les matières qui étaient ensuite utilisées dans les jardins. - La vallée est édifiée sur des collines et fortifiée. 	

Tableau I.3. Caractéristique des villages kabyles [03]

Elément d'analyse	Caractéristiques architecturale et urbaine des villages kabyles	Illustration
Charge spatiale	Densité de population : 300 hab. /ha	
Qualité architecturale du bâti	<ul style="list-style-type: none"> - La forme du village est définie par le site. - La maison kabyle est construite à base de matériaux naturels : bois, paille, ...etc. - Parcellaire régulier ou irrégulier, avec surfaces approximativement égales pour les maisons - Uniformité et compacité des maisons. - Intégration aux conditions climatiques. - La maison traditionnelle est de dimension réduite, et à plan rectangulaire, mode de couverture qui est à deux pentes. - Asquif (El Bordj) », un espace qui articule la ruelle et la cour (Afreg) ; c'est le lieu de transition entre l'intérieur et l'extérieur de la maison 	 <p data-bbox="1098 831 1560 898">l'implantation du village kabyle. Source : www.skycrappercity.com.</p>
Mixité fonctionnelle et sociale	<ul style="list-style-type: none"> - Le moulin d'olive et le patrimoine artisanal représentent l'activité économique du village. - Les espaces publics sont : Tadjmaât, Tala (La fontaine) et les lieux saints. - Structure du village : en quartiers (iddermen), de ruelles, d'impasses - La mobilité s'effectue à la marche à pied ou à l'utilisation de l'âne. 	
Qualité de l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> - Les matériaux offrent une ambiance chromatique. - Liberté du champ de vision. - Les matériaux assurent un confort hygrothermique, acoustique et thermique. - L'utilisation de ressources naturelles ainsi que la réutilisation des déchets offrent un environnement sain aux habitants des villages. - Tadjmaât veille à la sécurité du village. 	<p data-bbox="1102 1507 1554 1574">Intérieur d'un village kabyle. Source : http://aitouabane.over-blog.com</p>

I.4.2.2. La ville coloniale (1830-1962)

La colonisation de l'Algérie a bouleversé la structure des tissus urbains notamment grâce aux opérations haussmanniennes en premier lieu et les grands ensembles d'habitat. [03]

Tableau I.4. Caractéristique de la ville algérienne pendant la période coloniale [03]

Elément d'analyse	Caractéristiques architecturale et urbaine de l'urbanisme colonial	
	La période (1830-1948) les opérations haussmannienne	La période (1948 -1962) : les grands ensembles coloniaux
Charge spatiale admise	<ul style="list-style-type: none"> -Densité bâtie/ COS : 0.75 -Densité de population : centres villes entre 500 et 400 habitants/ha. -Densité de logements : 180 log/ha. 	<ul style="list-style-type: none"> -Densité bâtie/ COS : 0.35 -Densité de population : 2000 hab. /ha.
Qualité architecturale du bâti	<ul style="list-style-type: none"> - Ilot a cours centrales pour l'ensoleillement et d'aération. - îlots de formes régulières (Rectangulaires, triangulaires, trapézoïdales). - Les constructions sont accolées et alignées sur la rue. - La typologie du bâti varie en R+1 à des immeubles de R+5. - L'aspect extérieur : des ouvertures donnant sur l'extérieur sous forme de porte fenêtre, ainsi que l'ornementation 	<ul style="list-style-type: none"> - inexistence de la notion de la rue ou de l'ilot. - Les bâtiments sont conçus en fonction de l'éclairage et d'aération. - Les habitations sont implantées sous forme de rangés parallèles. - C'est des bâtiments gigantesques. Ils ont une hauteur de 11 à 14étages). - Les habitations sont identiques, traitement des façades se limite à des petites ouvertures rectangulaires ou carrées.
Mixité fonctionnelle et sociale	<ul style="list-style-type: none"> - Diversité des équipements : la mairie, l'église...etc. - Présence de l'habitat individuel et collectif. - Rue, place, jardins, forment l'espace public. - Structuration des voies de circulation, soit par une rue, un boulevard ou une avenue. - La mixité sociale est assurée par la diversité de l'espace public et des typologies de construction 	<ul style="list-style-type: none"> - Diversité des équipements : la mairie, l'église...etc. - Présence de l'habitat individuel et collectif. - Rue, place, jardins, forment l'espace public. - Structuration des voies de circulation, soit par une rue, un boulevard ou une avenue. - La mixité sociale est assurée par la diversité de l'espace public et des typologies de construction - La grille d'équipement établit des normes la programmation des

		équipements. - Habitat collectif. - Une pratique de zonage : zones industrielles, zone d'équipements sociaux, cités des fonctionnaires, cité administrative, quartier semi urbain. - L'automobile comme principal outil de la mobilité urbaine. - Logement pour la population rurale qui s'est greffée sur la ville
Qualité de l'environnement	- la hiérarchie de l'espace public. - Dégager les grands édifices, de façon à leur donner un aspect plus agréable à l'œil. - les jardins et les espaces publics améliorent la qualité de l'air et l'hygiène. - L'urbanisme militaire assure la sécurité des villes.	- pas de considérations pour l'esthétique, de forme urbaine, de paysage bâti, etc. - Mal reliés aux tissus bâtis existants - prolifération des tensions sociales et violences

I.4.2.3.L'époque postcoloniale (de 1962 à ce jour)

Cette période de l'indépendance a vu une succession de période et de politique urbaine qui ont influencé la ville algérienne sur les volets : urbain et social. [03]

Tableau I.5. Caractéristique de la ville algérienne postcoloniale [03]

Elément d'analyse	Caractéristiques architecturale et urbaine de la période post coloniale	Illustrations
Charge spatiale admise	Densité bâtie : CES Lotissements pavillonnaires : 0.10 Bidonville : 0.70 Logements sociale : 1.80	 <p>espace urbain postcoloniale hétéroclite à Alger. Source:www.skycrappercity.com.</p>
Qualité architecturale du bâti	- Des coupures visuelles successives dans la façade urbaine. - La pauvreté et la monotonie des éléments architecturaux. - absence de l'identité architecturale pour la plupart des bâtiments. - La ville traditionnelle se trouve menacée par une modernisation inadaptée à son espace urbain.	

	<ul style="list-style-type: none"> - la transformation de l'espace habité et de l'appropriation privative des espaces publics. 	
<p>Mixité fonctionnelle et sociale</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Typologie de construction hétérogène : individuel, semi-collectif, collectif. - Dominance de l'habitat individuel. - L'absence de repères dans l'espace urbain. - Sous-équipements de plusieurs quartiers. - Réservation du RDC au commerce. - Des habitants avec des profils socioéconomiques et des catégories professionnelles variées. - Dégradation des voies avec un problème d'accessibilité 	 <p>Bidonville Alger. Source: http://www.lesechosdalger.com</p>
<p>Qualité de l'environnement</p>	<ul style="list-style-type: none"> - L'image et la qualité de vie dans ces cités se dégradent. - la dégradation de l'environnement et des recoures naturelles. - Absence des espaces verts, de détente et de rencontre. - Des dysfonctionnements résultent du regroupement de population à problèmes 	 <p>construction sur les terres agricoles. Source : http://afrique.le360.ma</p>

I.4.3. Exemples de tissus urbains en Algérie et densités associées

Les différents types de tissus urbains produits dans des époques différentes, rencontrés dans quelques villes algériennes typiques, de tailles et statuts administratifs différents, localisées dans différentes zones géographiques, peuvent être classés selon trois degrés simples de densité bâties, mesurées à l'échelle de la parcelle ou de l'îlot :

- ✓ faibles (de 0 à 0,75)
- ✓ moyennes (de 0,75 à 1,50)
- ✓ fortes (plus de 1,50). [03]



Figure I.14. Différentes densités des tissus urbains en Algérie. Source : HADJOU

Fateh, « évaluation critique des densités urbaines en Algérie. [03]

D'après la figure ci-dessus, on constate que :

- Les tissus caractérisés par de fortes densités sont les tissus des anciennes villes comme la casbah et les tissus de l'époque coloniale.
- Les densités moyennes correspondent aux ensembles d'habitats durant la période coloniale et la période postcoloniale.
- Les tissus ayant des densités faibles sont les tissus pavillonnaires coloniale et postcoloniales.

Le tableau I.6 donne des exemples sur la typologie des tissus urbains, le coefficient d'occupation des sols (COS) et le Coefficient d'emprise au sol (CES) associés. [03]

Tableau I.6. Différentes densité des tissus urbains en Algérie [03]

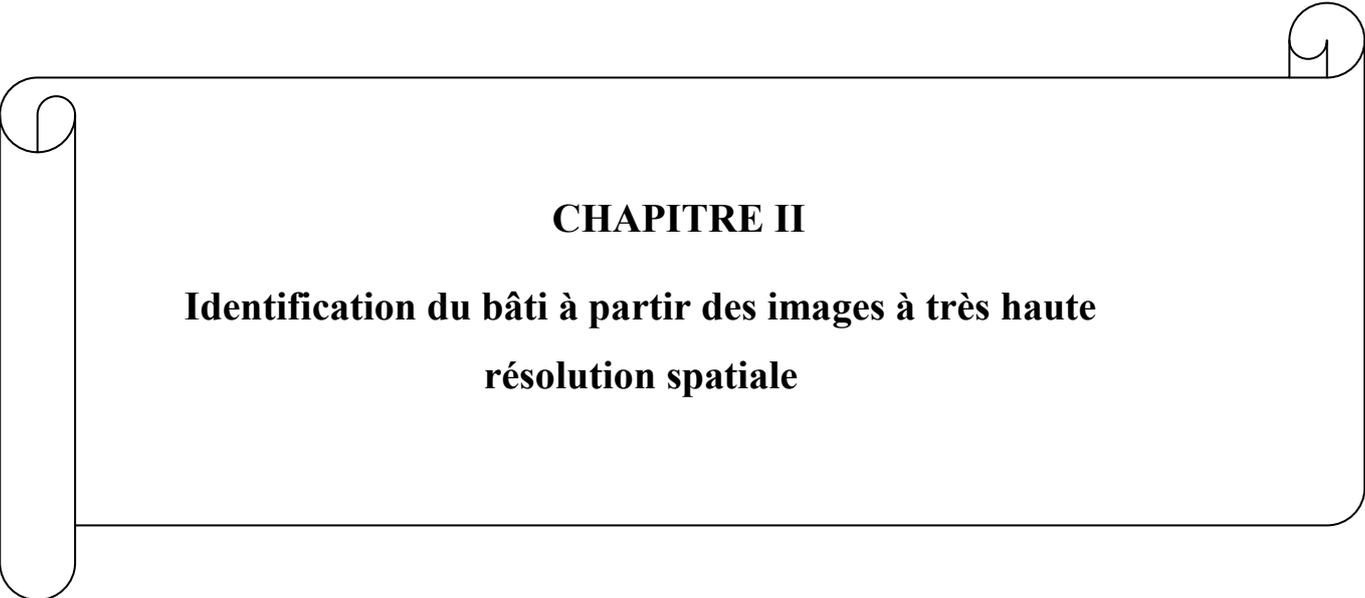
Degré de densité bâtie	Type d'habitat dans les villes algériennes	CES	COS	Principale caractéristiques spatiales
Faible	Lotissements pavillonnaires pour cadre de l'état	0.10	0.10	Très grandes parcelles avec jardins réalisées sans mitoyenneté sur de très grands terrains libres.
	Banlieues pavillonnaires des Années 1970	0.15	0.30	lotissements pavillonnaires dont habitations individuelles (300 à 350 m ² en moyenne par parcelle) avec jardins
	Lotissements publics, moyennes et petites agglomérations	0.20	0.40	construction à 2 niveaux, présence d'espaces extérieurs privatifs
	Habitat illicite (bidonvilles), périphérie des grandes villes	0.70	0.70	très petites parcelles, tissu serré, voies étroites, forte densité de population.
	Grands ensembles : années 1970-80	0.15	0.75	immeubles d'habitat collectif en R+4, autour de trop grands espaces vides.
Moyenne	Maisons de ville, dans ou à près des centres urbains	0.50	1.50	maisons accolées, longeant les voies, activités commerciales au RDC.
	habitations hautes le long des grands axes urbains	0.30	1.50	habitations individuelles à hauteur, alignés sur rue, commerces au RDC.
Forte	Ensembles d'habitat promotionnel et logements sociaux	0.30	1.80	implantés à l'alignement sur rues bordant l'îlot, les RDC sont des commerces
	Vielles villes sahariennes, intérieures et côtières	0.70	1.90	maisons traditionnelles, chacune mitoyenne voies sinueuses et étroites, tissus urbain resserré et dense
	Opérations haussmannienne, dans les centres villes	0.75	4.50	tissus urbain de type colonial, multiplication de constructions mitoyennes ; unité de hauteur (R+5 + parfois combles) génèrent des densités très élevées
	Grands ensembles coloniaux	0.35	4.90	bâtiments barres de 14 étages, de 100 à 400m de longueur et jusqu'à 300 appartements (F3 à F5) et 2 000 habitants / ha.

I.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de donner des récapitulatifs et des aperçus sur les principales notions liées aux tissus urbains et la composition des villes et agglomérations Algériennes.

La compréhension de la forme urbaine et ses indicateurs reste toujours un objectif recherché et utile à toute réflexion sur la ville. Pour notre cas, la connaissance de ces éléments est essentielle pour construire un arbre d'hierarchisation des objets urbains à extraire à partir des images spatiales.

Enfin, la densité reste un élément quantitatif de la forme urbaine présenté par un rapport arithmétique entre deux quantités. Son estimation dépend directement des paramètres et des éléments utilisés.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top, both featuring rounded ends and a small circular detail at the top-left and top-right corners respectively.

CHAPITRE II

Identification du bâti à partir des images à très haute résolution spatiale

II.1. Introduction

Les images satellitaires à très résolution spatiale (THRS) constituent une source intéressante pour l'acquisition des informations géographiques. Cependant, l'extraction de l'information géographique à partir de ces images reste encore problématique. Elle fait face, d'une part, aux spécificités du milieu urbain et celles des images à THRS et d'autre part, au manque de méthodes d'analyse d'images adéquates.

Le but de ce chapitre, est de dresser un état de l'art sur les approches existantes notamment basées objets pour l'extraction automatique de l'information géographique en milieu urbain.

II.2. Evolution de l'imagerie spatiale

Les spécificités des différents satellites se mesurent selon trois résolutions : spatiale (taille du pixel), spectrale (nombre et valeur des plages radiométriques utilisées) et temporelle (durée entre deux images successives du même lieu).

On doit encore ajouter des informations de type emprise géographique au sol (surface observée) et facilité d'obtention des images (rapidité, coût, possibilité de programmation, accès aux images d'archive...). [05]

On place dans les hautes résolutions spatiales, les photos aériennes, documents plus classiques, la taille minimale des objets discriminés est variable : elle dépend de l'altitude de prise de vue, du grain de l'image et du pas de scannage en cas de numérisation. La photogrammétrie numérique a bouleversé le monde d'imagerie par la mise à la disponibilité des géomaticiens des images de résolution très fine et multispectrales (la caméra DMC de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection en Algérie par exemple).

Le passage des résolutions décamétriques (satellites Landsat TM 30 m, SPOT XS 20 m) aux résolutions métriques apporte une finesse géométrique nouvelle qui améliore sensiblement la délimitation et l'identification des objets, malgré des problèmes accrus de stockage et de traitement de ces images très volumineuses. Mais par ailleurs, ce même passage aux résolutions métriques n'est pas seulement un simple changement numérique de la résolution.

Il est perçu comme une révolution dans l'image elle-même, révolution qui touche la nature de ce que l'on voit sur l'image : les types d'objets visibles, ainsi que tous les aspects du traitement et de l'utilisation des images.

D'une part, la THRS apporte dans les études environnementales une vision à taille humaine : la taille du pixel est proche de celle de l'homme et des objets de son environnement habituel (véhicules, bâtiments, arbres...). D'autre part, les problèmes de déformations et les méthodes d'analyse et de traitement d'image sont complètement bouleversés et doivent être revus et repensés, ce que nous illustrerons en quelques points. [05]

- Désormais les pixels sont trop petits pour que la hauteur des objets correspondants puisse être négligée devant la taille du pixel. La zone couverte par le pixel ne peut plus être considérée comme plane.

L'ombre, en particulier, devient un des éléments fondamentaux de l'analyse d'image et il est des cas où son analyse définit mieux les objets que les objets eux-mêmes.

- La dimension verticale de ces objets perturbe la vision : une image avec visée oblique aura des pixels « façade de bâtiments », la parallaxe va déformer la vision des objets épais, ou verticaux.
- La règle de base des méthodes de classification automatique d'image devient caduque : alors que l'on supposait une bijection entre radiométrie et objet, les objets d'étude sont trop petits pour utiliser ces méthodes. C'est la variabilité interne des objets d'intérêt qui devient primordiale : la caractérisation d'un objet en bloc par utilisation directe de la signature spectrale (radiométrie) est remplacée par l'analyse des formes et de l'arrangement des éléments internes. [05]

II.2.1. Caractéristiques des images satellitaires à THRS

Les images satellitaires à THRS ont commencé à être commercialisées à partir des années 2000. Leur principale caractéristique est leur résolution spatiale métrique ou sub-métrique. Elles sont offertes généralement avec une bande panchromatique et quatre bandes spectrales en bleu, vert, rouge et proche infrarouge. Le satellite Ikonos a été le premier satellite commercial à THRS lancé. Il fournit une bande panchromatique avec une résolution spatiale de 1 m et une image multi spectrale avec une résolution spatiale de 4 m. Orbview-3, lancé en 2003, présente les mêmes résolutions spectrales et spatiales que celles d'Ikonos.

Avec une plus haute résolution spatiale, le capteur Quickbird fournit l'image panchromatique avec une résolution spatiale de 0,6 m et les quatre bandes spectrales avec une résolution de 2,4 m. Les spécificités techniques de ces capteurs sont présentées dans le tableau II.1 [07]

Tableau II.1. Caractéristiques des capteurs satellitaires à THRS [07]

Capteur	 Ikonos	 Quickbird	 OrbView-3
Compagnie	Space imaging, Inc.	DigitalGlobe, Inc.	Orbimage, Inc.
Bandes	Résolution spectrale (µm) Résolution spatiale (m)	Résolution spectrale (µm) Résolution spatiale (m)	Résolution spectrale (µm) Résolution spatiale (m)
Pancho	0,45 – 0,90 1×1	0,45 – 0,90 0,6×0,6	0,45 – 0,90 1×1
1	0,45 – 0,52 4×4	0,45 – 0,52 2,4×2,4	0,45 – 0,52 4×4
2	0,52 – 0,60 4×4	0,52 – 0,60 2,4×2,4	0,52 – 0,60 4×4
3	0,63 – 0,69 4×4	0,63 – 0,69 2,4×2,4	0,63 – 0,69 4×4
4	0,76 – 0,90 4×4	0,76 – 0,89 2,4×2,4	0,76 – 0,90 4×4
Altitude	681 km	600 km	470 km
Fauchée	11 km	20 à 40 km	8 km
Répétitivité	< 3 jours	1 à 5 jours	< 3 jours
Date de lancement	Septembre 1999	Octobre 2001	Juin 2003

La très haute résolution, la fréquence de visite et la dynamique de l'image rend les images satellitaires à THRS idéales pour les applications urbaines. Avec le rapport prix et surface couverte, ces images sont une alternative rentable aux photographies aériennes classiques pour la génération d'informations géographiques. [07]

II.2.1.1. Caractéristiques du satellite Quickbird

Quickbird est un satellite à haute résolution de Digital Globe mis en orbite à la fin de 2001. Depuis 2004, l'imagerie produite par ce satellite offre la plus haute résolution et la plus haute précision d'emplacements disponibles sur le marché. Quickbird, qui utilise un capteur orientable, survole la Terre à une altitude de 450 km, dans une orbite héliosynchrone de 98°, à des intervalles de survol de 1 à 3,5 jours et avec une résolution spatiale de 61 cm. [09]

L'angle de vision du senseur peut atteindre jusqu'à 450°, c'est pourquoi il peut capturer n'importe quelle zone couverte par une frange de 1.036 km de largeur définie par sa trajectoire. La largeur du scan est de 16,5 km au nadir. [06]

Comme tout autre satellite optique, deux modes d'acquisition d'imagerie Quickbird sont offerts:

- **PAN:** Image panchromatique, avec 0,61 à 0,85 m/pixel de résolution spatiale.
- **MS:** Image multi spectral de 4 bandes et avec 2,44 à 2,88 m/pixel de résolution spatiale.

Il est possible aussi de fusionner les deux types d'images résultants du PAN et du MS, en résultant une image de 3 ou 4 bandes avec une résolution spatiale égale à celle de l'image panchromatique. [06]

Sur le plan des niveaux de prétraitements, l'image Quickbird peut être livrée par le fournisseur sous quatre formes différentes:

- **Basique:** Image corrigée radiométriquement. Le produit comprend également toutes les informations nécessaires à l'utilisateur pour effectuer la correction géométrique de l'image. Les scènes observent une zone de 16,5x16,5 km.
- **Standard:** Cette image est corrigée radiométriquement et géométriquement et elle est projetée sur un plan avec un système et un point de référence donnés, mais sans position orthorectifiée. Le distributeur fournit les informations nécessaires pour leur ortho-rectification, qui doit être entreprise avec l'aide d'un modèle numérique du terrain.
- **Ortho:** L'image est projetée sur le système de coordonnées sélectionné par l'utilisateur, elle est prête à l'utilisation directe en tant que produit cartographique. Si le distributeur n'a pas de modèle numérique de terrain assez précis pour faire l'ortho-rectification, cela doit être fourni par le client. L'utilisation accrue des points de contrôle dans des coordonnées connues peut améliorer le résultat de l'ortho-rectification.

- **Stéréo:** C'est un ensemble de deux images de la même zone prises sous des angles d'observation différents. Ils sont généralement employés pour générer des Modèles Numériques de Terrain (MNT).[06]

Tableau II.2. Caractéristiques du satellite Quickbird [08]

Date de lancement	18 octobre 2001
Véhicule de lancement	Boeing Delta II
Lieu de lancement	Vandenberg Air Force Base, Californie, États-Unis
Altitude de l'orbite	450 Km / 482 Km - (début 2013)
Inclinaison de l'orbite	97,2 °, synchrone solaire
La vitesse	7,1 km / sec (25560 km / heure)
Temps de traversée de l'équateur	10h30 (nœud descendant)
Temps d'orbite	93,5 minutes
Revisiter le temps	1-3,5 jours, selon la latitude (30 ° au large du nadir)
Largeur de bande (Nadir)	16,8 Km / 18 Km - (début 2013)
Précision métrique	23 mètres horizontal (CE90)
Numérisation	11 bits
Résolution	Pan: 65 cm (nadir) à 73 cm (20 ° hors nadir) MS: 2,62 m (nadir) à 2,90 m (20 ° au large du nadir)
Bandes d'images	Pan: 450-900 nm Bleu: 450-520 nm Vert: 520-600 nm Rouge: 630-690 nm IR proche: 760-900 nm

II.3. Qualité des images spatiales

II.3.1. Estimation de la qualité géométrique

La qualité géométrique est un élément essentiel de l'interprétabilité, Nous nous intéressons ici plus spécifiquement à la question des déformations géométriques subies par les images THRS en milieu urbain.

Pour les images THRS, les distorsions géométriques causées par le relief sont en effet plus gênantes puisque le rapport entre les variations de relief et la taille des pixels augmente fortement. [09]

Ainsi, la position géométrique des bâtiments est perturbée par les variations de relief du terrain sur l'ensemble de l'image, mais aussi par les variations locales dues aux reliefs engendrés par les bâtiments eux-mêmes. Dans des configurations extrêmes comme des montagnes abruptes, les erreurs peuvent être supérieures. Des erreurs thématiques peuvent alors s'ajouter aux erreurs géométriques.

Si le relief montre de fortes variations, certaines zones comme les fonds de vallées peuvent ne pas apparaître sur l'image (point A sur la figure II.1). Des méthodes de correction, utilisant des MNT ont été développées spécifiquement pour les images THRS. Leurs performances dépendent en partie de la précision des modèles numériques utilisés. [09]



Figure II.1 - Évaluation des erreurs géométriques au niveau du sol et des toitures [09]

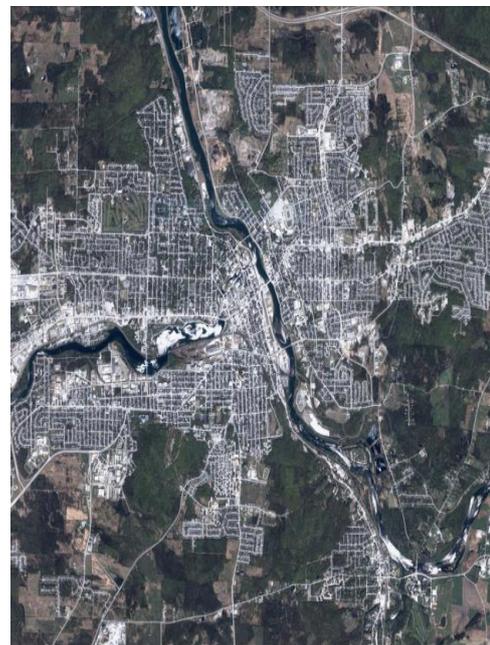


Figure II.2 - Image Ikonos de Sherbrooke. [09]

II.3.2. Les erreurs ou confusions thématiques

L'analyse théorique a montré que la résolution spatiale des images THRS permet un changement dans le type d'interprétation qui exige aujourd'hui la détection des objets. Cette détection se heurte cependant à des problèmes dus aux erreurs et aux confusions présentes sur les images THRS. [09]

L'ombre sur une image est générée par l'absence d'éclairement direct due à la présence de reliefs entre la zone à l'ombre et le rayonnement solaire, ou il s'agit de l'ombre due à la présence d'objets hauts. Afin d'estimer la surface occupée par l'ombre, il faut effectuer une extraction de l'ombre par un seuillage des niveaux de gris sur la bande panchromatique ou autre méthode. L'ombre ainsi extraite occupe un pourcentage sur l'image, les zones les plus « ombrées » se situant en milieux urbains et en bordure des zones boisées.

À l'intérieur du milieu urbain il existe des différences en fonction de la taille et de la densité des bâtiments. Stéphane L-Homme dans son étude en 2005 (référence 09 en bibliographie) a présenté des images sur l'extraction et l'estimation de l'ombre. Afin d'estimer ces différences il a sélectionné cinq extraits représentatifs de différents types de tissus urbains.

Il a ensuite estimé, pour chacun d'eux les surfaces occupées par l'ombre. Les résultats vont de 3,8 % pour une zone de petits bâtiments pavillonnaires à 15,96 % pour une zone du centre-ville (figures II.3). [09]

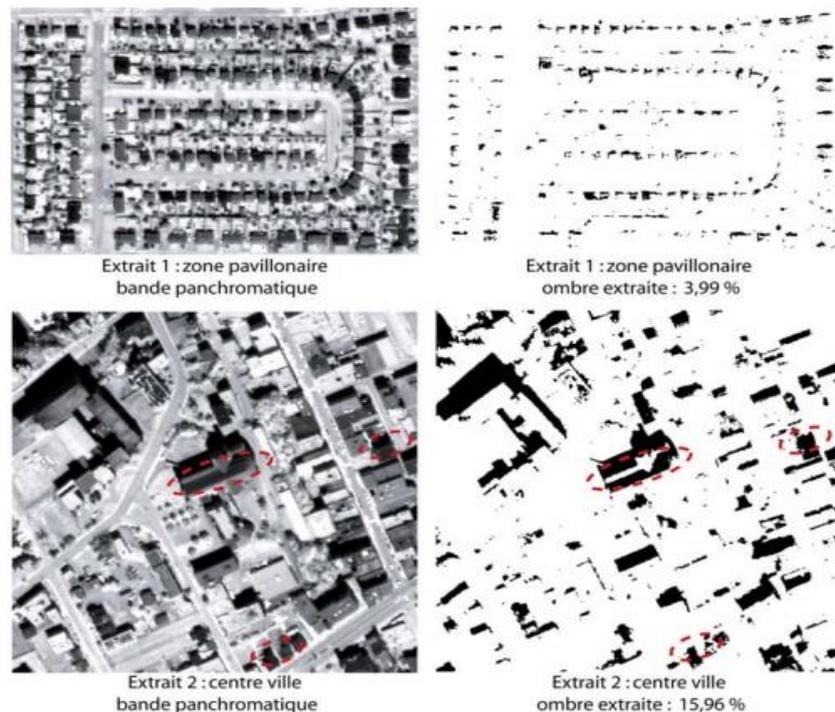


Figure II.3 - Estimation de la surface occupée par l'ombre. Exemple pour deux extraits[09]

II.4. Identification du bâti par méthode d'apprentissage

Parallèlement à la diversification des sources de données images (aériennes, satellites, SAR, hyperspectrales...), le monde a vu le développement de nombreuses méthodes d'interprétation et contrairement aux méthodes d'interprétations classiques (approche "par-pixel") basées sur la discrimination spectrale, l'identification d'objet cherche à dégager les structures spatiales de l'image.

Elle est opérée à partir de différentes stratégies basées sur des règles de modélisation elles-mêmes établies à partir de la formalisation de connaissances. Des primitives (segments, contours) peuvent être préalablement extraites des images. [09]

La phase de formalisation et d'acquisition des connaissances est généralement le fait de l'utilisateur même si ce dernier est parfois remplacé ou assisté par des méthodes d'apprentissage automatique. Elle est fonction du type de primitives considérées et se base le plus souvent sur des connaissances à priori des propriétés (géométrie, topologie, spectrales) des objets. La formalisation permet ensuite d'établir des règles de modélisation utilisées pour l'identification des bâtiments sur l'image.

La formalisation des connaissances comme les règles de modélisation qui en découlent varient en fonction des caractéristiques (spectrales, géométriques, topologiques, etc.) des objets d'intérêt relativement au type de données (résolution spatiale, spectrale, etc.) et au type d'approche choisie.

Les méthodes combinent généralement les approches ascendantes (étiquetage des primitives par mesure des attributs d'intérêts, etc.) et descendantes (modélisation des relations contextuelles entre les objets, etc.). Elles sont rarement totalement automatiques mêmes si la part de l'intervention humaine a tendance à diminuer. [09]

A titre d'exemple, ECognition, un logiciel commercial pour l'approche orientée objet a été commercialisé en 2003. La méthode implantée sur « e-cognition » offre par exemple la possibilité d'opérer des segmentations « multi-échelles » permettant de délimiter plus facilement les bâtiments de tailles différentes. Il est également possible de « forcer » la segmentation afin d'obtenir des régions plus compactes et/ou aux bordures plus rectilignes. [09]

II.4.1. La segmentation sous ECognition

La segmentation dans ECognition est un type de détection des régions, plus spécifiquement la propagation ou croissance de région. La formation des régions y est réalisée selon des critères prédéfinis selon l'analyse en employant les informations de couleur, de texture ou de forme.

La segmentation exige quatre paramètres que l'utilisateur doit définir : l'échelle de segmentation, le poids de la bande spectrale, les ratios de couleur/forme et de compacité/lissage des objets.

Le manque de transparence des algorithmes utilisés sous eCognition rend nécessaire des tests et des études plus poussées pour trouver les paramètres optimaux de segmentation. Cet inconvénient rend le processus de segmentation par eCognition intuitif et moins transférable d'une étude à l'autre. [10]

La segmentation par eCognition commence par le niveau spatial le plus bas : les objets de départ sont les pixels se trouvant sur l'image. Les pixels sont ensuite regroupés par plusieurs paramètres qui garantissent que l'hétérogénéité spectrale et spatiale du groupe est minimale. Lors de la fusion de deux objets en un groupe, l'hétérogénéité f du nouvel objet (appelé groupe dans les équations suivantes) est calculée comme suit :

$$f = w_{\text{couleur}} \cdot \Delta h_{\text{couleur}} + w_{\text{forme}} \cdot \Delta h_{\text{forme}} \quad (1)$$

Où w_{couleur} et w_{forme} sont le poids des propriétés spectrales et de la forme. Ils sont définis par l'utilisateur. Leur somme est égale à 1. Le poids de couleur est privilégié quand l'objet à extraire a une réponse spectrale distincte, comme pour les plans d'eau et les groupes d'arbres.

$\Delta h_{\text{couleur}}$ est calculé pour une bande C ayant le poids WC , comme dans l'équation suivante :

$$\Delta h_{\text{couleur}} = \sum w_c (n_{\text{groupe}} \cdot \sigma_{c, \text{groupe}} - (n_{\text{obj1}} \cdot \sigma_{c, \text{obj1}} + n_{\text{obj2}} \cdot \sigma_{c, \text{obj2}})) \quad (2)$$

Où n est le nombre de pixels contenus dans un groupe ou un objet et σ est l'écart-type de la valeur spectrale C du groupe et des objets. Le poids WC est défini par l'utilisateur. eCognition accepte des bandes matricielles et vectorielles.

Δh_{forme} est calculé :

$$\Delta h_{\text{forme}} = w_{\text{compt}} \cdot \Delta h_{\text{compt}} + w_{\text{liss}} \cdot \Delta h_{\text{liss}} \quad (3)$$

Où les poids w_{compt} et w_{liss} sont définis par l'utilisateur. Le poids de compacité est privilégié quand l'objet à extraire a une forme compacte, par exemple un rectangle (Flanders et al. 2003). Δh_{compt} est l'hétérogénéité de compacité qui est calculée par la longueur l du contour de l'objet :

$$\Delta h_{\text{compt}} = n_{\text{groupe}} \cdot \frac{l_{\text{groupe}}}{\sqrt{n_{\text{groupe}}}} - (n_{\text{obj1}} \cdot \frac{l_{\text{obj1}}}{\sqrt{n_{\text{obj1}}}} + n_{\text{obj2}} \cdot \frac{l_{\text{obj2}}}{\sqrt{n_{\text{obj2}}}}) \quad (4)$$

Δh_{liss} est l'hétérogénéité de lissage qui est calculée par le ratio de la longueur l du contour de l'objet sur la longueur b du rectangle entourant l'objet, comme suit :

$$\Delta h_{\text{liss}} = n_{\text{groupe}} \cdot \frac{l_{\text{groupe}}}{\sqrt{b_{\text{groupe}}}} - (n_{\text{obj1}} \cdot \frac{l_{\text{obj1}}}{\sqrt{b_{\text{obj1}}}} + n_{\text{obj2}} \cdot \frac{l_{\text{obj2}}}{\sqrt{b_{\text{obj2}}}}) \quad (5)$$

II.4.2. Exemples sur les paramètres d'extraction thématique

Dans cette section, les exemples sont pris de l'étude intitulée : « ÉTUDE EMPIRIQUE DES PARAMÈTRES DE SEGMENTATION » réalisée par Thi-Thanh-Hiên Pham, Dong-Chen He en 2012 qui a travaillé sur l'image Quickbird dont tous les traitements ont été effectués sous logiciel eCognition

L'objet "eau"

La segmentation a été réalisée à une échelle de 100 sur les quatre bandes de l'image Quickbird. Comme la valeur spectrale de l'eau est très basse et donc distinguée sur l'image, seule la valeur spectrale est nécessaire pour distinguer l'eau sur l'image. Le paramètre de couleur a donc été fixé à 1. Quant au ratio de compacité/lissage, l'auteur a testé trois valeurs de compacité (à 0, 0,5 et 1). [10]

L'exactitude des trois tests est légèrement différente. Selon la première validation, avec la segmentation réalisée par les valeurs de 1/0 et 0/1 pour les ratios de couleur/forme et de compacité /lissage, l'extraction des classes « lacs » et « fleuve » a une exactitude moyenne de 0,97 et 0,98, respectivement. L'extraction de cette classe a donc une bonne précision. Selon la deuxième validation, les deux exactitudes sont aussi satisfaisantes, étant supérieurs à 90%.

L'objet végétation

Trois échelles différentes ont été choisies après en avoir évalué plusieurs, soient 100 pour les zones agricoles, 50 pour les arbres de parc, et 25 pour les arbres de rue et les arbres isolés. Des tests de combinaison de bandes ont été effectués et qui ont montré que la segmentation sur la bande NDVI donne la meilleure exactitude. [09]

Tableau II.3. Exemple sur les valeurs du paramètre 'Compacité' et amélioration de la qualité par introduction du NDVI de segmentations avec différentes combinaisons. [10]

Compacité	Arbre de parc	Arbre de rue
0	0,87	0,67
0,3	0,88	0,68
0,5	0,87	0,69
0,7	0,87	0,68
0,9	0,87	0,68

4 bandes Quickbird	NDVI	Exactitude moyenne	
		Arbres de parc	Arbres de rue
Non	Oui	0,87	0,71
Oui	Oui	0,87	0,67
Oui	Non	0,87	0,67

L'objet route

Pour ce type d'objet, l'auteur a d'abord testé l'extraction de la seule grande route de la zone d'étude. La segmentation pour la classe « route » a été basée sur les quatre bandes d'origine de l'image Quickbird. Il a choisi différentes échelles pour décomposer l'autoroute en différents types d'objets en fonction de leur taille, de leur homogénéité et de la complexité de leur contour (Figure II.4).

Les valeurs des échelles ont été établies par une série de tests empiriques sur la segmentation de l'image. Cinq possibilités ont été testées d'ordre de segmentation : 10 et 50, 15 et 50, 25 et 50, 35 et 50, et finalement 25, 35 et 50. Cette séquence de segmentation permet de garder le contour zigzag mais aussi de conserver les grands segments homogènes de la route.

L'exactitude de ces tests varie fortement en fonction de l'échelle de segmentation. Cela suggère que les ratios de couleur/forme et de compacité/lissage ont une certaine influence sur l'échelle de segmentation. [10]

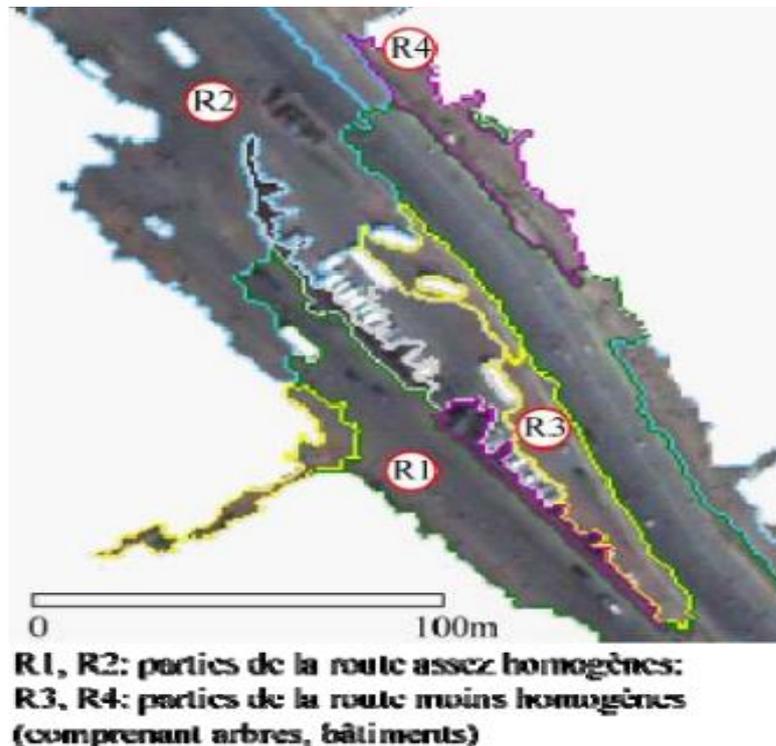


FIGURE II.4. Exemple de segmentation de l'objet routes sous Ecognition [10]

L'objet îlots résidentiels

La situation devient plus complexe avec ce type d'objet et presque similaire à l'objet routes, l'auteur et après plusieurs essais de segmentation, a finalement fixé l'échelle à 70. Aussi il a fixé le ratio de compacité/lissage à 0,9/0,1 et varié la valeur de couleur de 0,1 à 0,8.

Cette forte valeur de compacité a été retenue parce que les îlots ont une forme compacte, carrée ou rectangulaire. Les niveaux d'exactitudes changent légèrement en fonction de la

couleur et ils ont tendance à augmenter dans la même direction. La meilleure exactitude est obtenue quand la valeur de couleur est à 0,5.

La meilleure segmentation pour les bâtiments résidentiels atteint 80 % d'exactitude avec un indice de couleur de 0,5 et un indice de compacité de 0,6. Ces valeurs peuvent s'expliquer par le fait que les îlots ont une forme particulière, le paramètre de couleur jouant un rôle moins important lors de la segmentation des îlots que des autres classes.

Le paramètre de compacité, quant à lui, résulte en une sur-segmentation s'il est bas, mais en une segmentation adéquate s'il a une valeur élevée. Ceci s'explique par le caractère compact des formes rectangulaires associées aux îlots résidentiels.

Pour le problème de confusions thématiques, dans la classification de «route», certains arbres ont été confondus dans les classes «îlots résidentiels » et que certaines parties des îlots n'ont pas été détectées par la classification. [10]

Les paramètres finaux la segmentation sont résumés dans le Tableau II.4.

Tableau II.4. Meilleurs paramètres de segmentations et exactitudes de toutes les classes.
[10]

Classes	Exactitude moyenne (%)	Meilleures valeurs des paramètres de segmentation			
		Échelle	Bandes	Couleur	Compacité
Lacs	97	100	4 bandes Quickbird	1	0
Fleuves	98	100	4 bandes Quickbird	1	0
Zones agricoles	91	100	NDVI	0,3	0,5
Arbres de parc	87	50	NDVI	1	0
Arbres de rue	73	25	NDVI	1	0
Arbres isolés	34	25	NDVI	1	0
Routes	84	10-50	4 bandes Quickbird	0,8	0,3
	85	15-50		0,5	0
Ilots résidentiels	80	70	4 bandes Quickbird	0,5	0,6

II.5.Approches de classification d'images

Indépendamment de la méthode à appliquer pour extraire l'information géographique à partir des images à THRS, deux approches d'analyse d'image peuvent être identifiées : **l'approche basée pixels et l'approche basée objets**. Elles se différencient selon l'unité de traitement adoptée (figure II.5). [11]

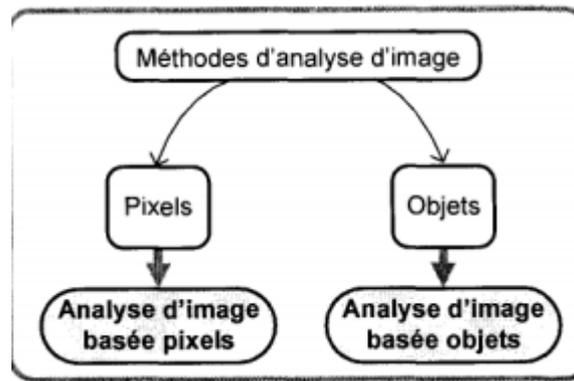


Figure II.5. Approches d'analyse d'image [11]

Dans l'approche basée pixels, la méthode d'analyse d'image adoptée est appliquée sur les pixels de l'image. Elle exploite l'information au niveau des pixels, généralement l'information spectrale et/ou texturale. Cette approche est utilisée depuis l'apparition des images satellitaires.

La principale caractéristique de l'analyse d'image basée objets est que ces unités de traitements sont des groupes de pixels et non des pixels individuels. Ils sont généralement appelés objets image dans la littérature. Ils peuvent être décrits par plusieurs propriétés de différents types : spectrales, géométrique, contextuelles,... L'analyse d'image basée objets exploite toutes ces informations lors des traitements. [11]

Un point important à préciser, est que les deux approches peuvent être utilisées par les mêmes techniques de traitement d'image. Elles se différencient dans l'unité de traitement sur laquelle ces techniques vont être appliquées.

Ainsi, par exemple, la technique de classification dirigée par distance minimale peut être appliquée sur une image selon une approche basée pixels ou selon une approche basée objets. L'adoption de l'une des deux approches dépend de l'application et du résultat recherché. [11]

II.5.1. Analyse d'image basée pixels

Dans le domaine d'extraction d'objets à partir des images à THRS, certains travaux ont adopté l'analyse d'image basée pixels. Généralement, ils se concentrent sur une seule classe d'objets. Les routes et les bâtiments sont les objets les plus étudiés.

Certains travaux ont utilisé des images monobandes. Cette méthode se base sur la différence de variance spectrale du bâtiment et celle de son entourage proche. Elle intègre des informations additionnelles sur la végétation et l'ombre pour diminuer les erreurs de commission. [11]

D'autres méthodes intègrent une variante de K-moyennes, des propriétés spatiales et spectrales et des opérations de morphologie mathématique. Les résultats obtenus par les approches basées pixels présentent des confusions dans la classification. Ils sont généralement non homogènes et présentent un effet de sel et poivre.

Une étape de post-traitement est souvent nécessaire pour nettoyer les résultats et pouvoir les exploiter. Comparativement à son application sur des images satellitaires de petites ou moyennes résolutions spatiales, l'approche basée pixels suscite moins d'intérêt sur les images à THRS, particulièrement **dans un milieu urbain**. [11]

II.5.2. Analyse d'image basée objets

L'approche d'analyse d'image basée objets utilise des objets image comme unités de traitement. Un objet image peut être défini comme un groupement de pixels adjacents de propriétés spectrales et spatiales similaires. Le qualificatif « image » est utilisé pour faire la différence avec l'objet réel à extraire.

À l'inverse des pixels, les objets image peuvent être caractérisés par des informations spectrales, texturales ainsi que géométriques et contextuelles. L'approche basée objets exploite ces informations supplémentaires que les objets image offrent. La prise en compte de ces diverses informations permet d'améliorer les résultats.

L'analyse d'image basée objets (AIBO), appelée aussi analyse d'image orientée objets, cherche à répliquer et/ou dépasser l'interprétation humaine des images satellitaires de façon automatique ou semi-automatique. Elle permet d'extraire les objets de manière plus homogène. Son résultat peut être plus facilement intégré dans un SIG vecteur que les cartes raster des pixels classifiés. [11]

II.5.2.1. Principales étapes

L'AIBO est constituée de deux principales étapes (figure II.6) la création des objets image et la classification des objets image. L'étape de la création des objets image est réalisée dans la plupart des cas par une technique de segmentation. Cette étape revêt une importance primordiale vu qu'elle fournit les unités de base pour tous les traitements ultérieurs. Donc de sa qualité dépend largement la réussite de l'analyse. [11]

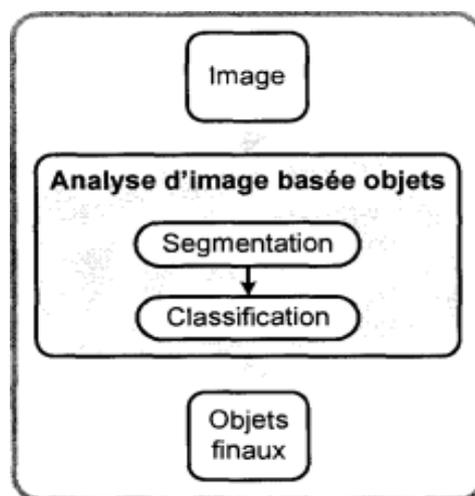


Figure II.6. Schéma des étapes d'analyse d'image Basée objets [11]

Diverses méthodes peuvent être adoptées au niveau des deux étapes de l'approche basée objets. La panoplie des méthodes disponibles laisse un grand choix à l'analyste certes, mais complique sa tâche dans la mesure où les algorithmes choisis ont une forte influence sur les résultats finaux.

L'analyse d'image basée objets peut être utilisée sur différentes images satellitaires. Toutefois, elle a prouvé être particulièrement convenable pour l'imagerie à THRS, surtout dans un environnement urbain. Plusieurs travaux confirment que l'AIBO est jugée mieux adaptée comparativement à l'approche par pixels pour l'analyse des images à THRS du milieu urbain. [11]

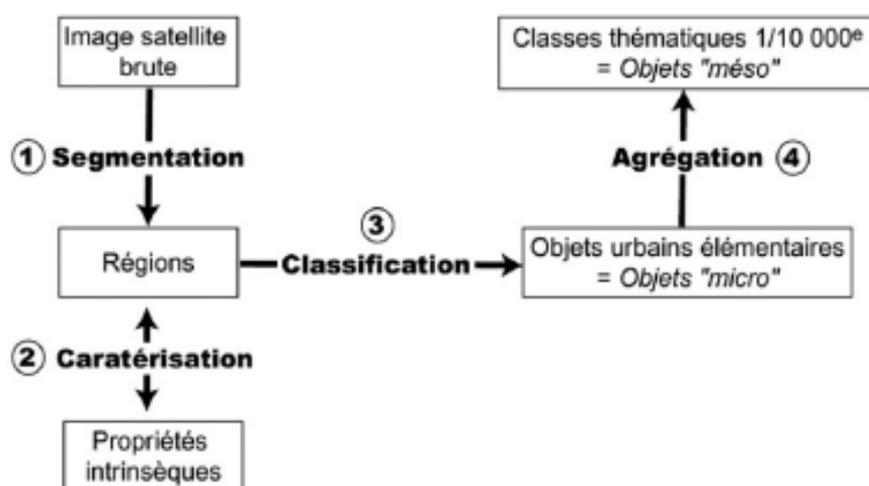


Figure II.7. Étapes d'une approche « orientée-objet [12]

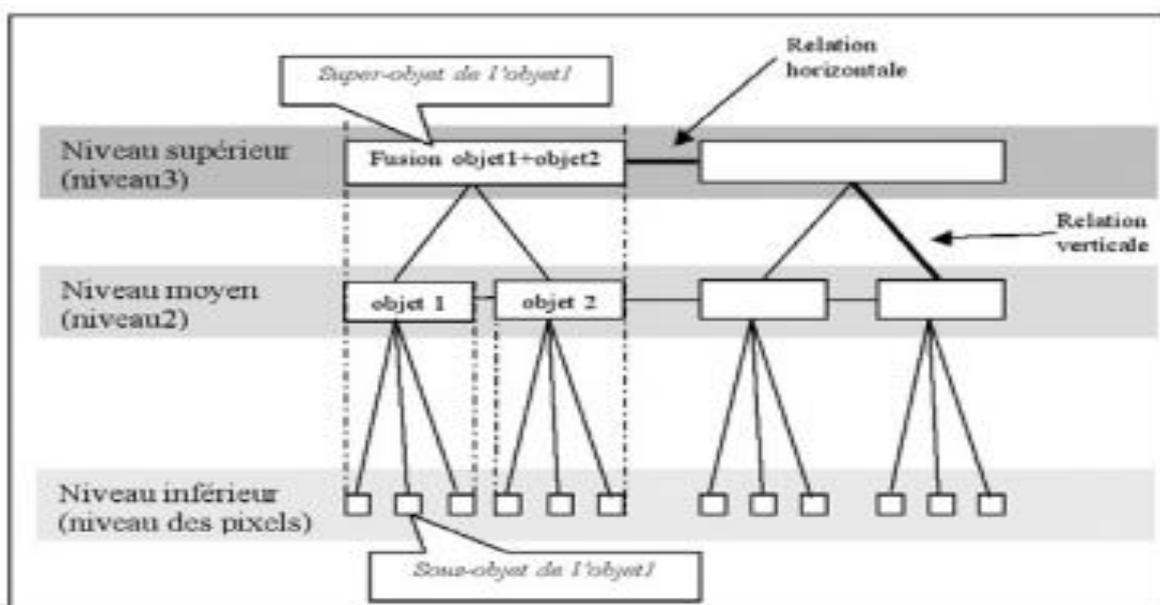


Figure II.8. Arbre d'hierarchisation des objets par segmentation (arbre ontologique)

[11]

II.5.2.2. Paramètres extrinsèques : indices de caractérisation des objets urbains

A l'issue de la recherche bibliographique effectuée, notamment les études relatives aux raisonnements appliqués en utilisant l'approche orientée objet d'extraction de l'information à partir de l'imagerie THRS, nous avons pensé à l'utilisation des indices morphométriques pour les introduire comme étant des paramètres extrinsèques servant à la caractérisation du bâti. Ces indices sont répertoriés dans le tableau II.9 en deux classes : de forme et de contenu de l'îlot.

Tableau II.5 : les indices morphométriques de formes et de contenus urbains

Les indices de formes	Les indices de contenu des îlots
Coefficient K de compacité de Gravelius $K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Empreinte du bâti $EB = \frac{Sb}{S}$
Coefficient C de circularité $C = 4\pi \frac{A}{p^2} = 12,57 \frac{A}{p^2}$	Empreinte habitat $EH = \frac{Sh}{Sb}$
Facteur de forme (Horton) $FF \text{ Horton} = \frac{S}{Lmax^2}$	Empreinte des équipements $EE = \frac{Se}{Sb}$
Indice de miller $I \text{ miller} = \frac{4\pi S}{p^2}$	Empreinte des espaces verts $EEV = \frac{Sev}{S}$
Indice d'allongement moyen de l'îlot (Caquot) $IA \text{ Caquot} = \frac{Lmax}{\sqrt{A}}$	Empreinte de plans d'eau $EPE = \frac{Spe}{S}$
Indice d'étalement de Morton $IE \text{ Morton} = \frac{S}{\pi(0,5L)^2}$	Densité de l'habitat individuel $DHI = \frac{Shi}{Sh}$
Distance entre centroïde de l'îlot (C_i) et le centroïde de l'îlot (C_{CV}) situé au barycentre de l'hypercentre. $D = \text{distance}(C_i, C_{CV})$	Densité de l'habitat collectif $DHC = \frac{Shc}{Sh}$

Avec :

P : le périmètre de l'îlot

A : la surface de l'îlot

R : rayon du cercle de même surface que l'îlot et **S** : surface du cercle équivalent à l'îlot.

L max est le plus allongement de l'îlot et **A** sa surface.

S : surface de l'îlot et **L** la longueur du plus grand allongement

(Sb) est la surface plancher du bâti et **S** la surface de l'îlot

(Sh) est la surface plancher de l'habitat et **Sb** la surface bâtie de l'îlot

(Se) est la surface plancher des équipements et **Sb** la surface bâtie de l'îlot

(Sev) est la surface dédiée aux espaces verts et **S** la surface de l'îlot

(Spe) est la surface occupée par les plans d'eau et **S** la surface de l'îlot

(Shi) est la surface occupée l'habitat individuel et **S** la surface consacrée à l'habitat

(Shc) est la surface occupée l'habitat collectif et **S** la surface consacrée à l'habitat

II.6.Conclusion

A la lumière des références bibliographiques consultées, notamment les études relatives aux aspects techniques et méthodologique d'exploitation de l'imagerie spatiale à des fins de cartographie à grande échelle, nous avons pu avoir des idées sur les enchaînements à suivre et les paramètres à prendre en considération pour aboutir à des résultats répondant aux besoins soulignés.

Parmi les points à retenir lorsqu'on cherche à extraire l'information à partir des images THRS type Quickbird (les exemples montrés en haut) ou autre type, c'est qu'avec la grande quantité des nuances qui est perceptible sur un objet donné à cause de la très haute résolution spatiale, sa variance spectrale locale est plus importante. De ce fait, il n'est pas caractérisé par une seule signature spectrale. En plus, plusieurs objets présentent les mêmes réponses spectrales vu qu'ils sont construits avec les mêmes matériaux. Par conséquent, l'information spectrale à elle seule est insuffisante pour discriminer entre ces objets.

III.1. Introduction

Sont présentés dans ce chapitre, les différentes étapes méthodologiques et les applications pratiques associées relatives à l'utilisation des données qui peuvent constituer les composantes du référentiel national à grande échelle RUGE. Pour notre cas, on s'est limité uniquement sur l'exploitation de la composante ortho-image et des informations provenant du cadastre et des services de l'urbanisme.

La grande partie des tests effectués a été consacrée à l'extraction du bâti, facteur clé pour le calcul de la densité. Il n'est pas toujours facile d'extraire cet objet à partir des images à très haute résolution spatiale, pour cela nous avons procédé par une approche mixte basée sur le calcul des attributs des différents objets figurants sur l'image sous logiciel Ecognition et sur la constitution d'une base de connaissances images sous ArcGIS servant à la constitution des règles d'apprentissage.

En seconde partie, seront évoquées les démarches suivies et les calculs effectués pour arriver à une cartographie de la densité de la population.

III.2. Zone d'étude

La disponibilité des données était le seul paramètre qui a dicté le choix de la zone d'étude, principalement l'image satellitaire support de base, pour notre cas, l'image disponible couvre la quasi-totalité de la ville de Mostaganem, ce qui nous a obligé de collecter les autres informations sur la même zone. Malgré la situation particulière engendrée par la pandémie du COVID-19, la Direction du Cadastre de la wilaya de Mostaganem et le Centre d'urbanisme URBOR nous ont donné les données nécessaires.



Figure III.1. Délimitation de de la zone d'étude appartenant à la wilaya de Mostaganem

III.3. Données, logiciels et prétraitements appliqués

Les données collectées se scindent en trois catégories :

- **Données cadastrales** : sont principalement des informations extraites à partir de la base de données cadastrale GIC notamment issues des fiches de propriétaires et nombre de personnes par famille.
- **Données images** : Orthoimage Quickbird prise en 2015, d'une résolution spatiale de 60 cm couvrant une bande du territoire de Mostaganem de 17 km sur 5 km.
- **Données de l'urbanisme** : plans d'aménagement et données relatives aux taux d'occupation par logements extraits à partir du PDAU du Groupement de Mostaganem.

Deux logiciels ont été utilisés durant les phases du projet à savoir :

- **ArcGIS 10.6** : pour les traitements d'images et des SIG.
- **ECognition** : pour la segmentation multi-résolution et la classification orientée objet.

III.4. Méthodologie d'analyse

Le point fondamental sur lequel a été édifiée notre approche méthodologique est l'extraction la plus exacte possible des différents types de bâtis afin de les utiliser comme support d'estimation de la population. Cela est traduit pratiquement en quatre phases, à savoir :

- **Une phase de prétraitements** : comprenant toutes les opérations de bureau et de terrain, servant à la discrimination des différents types de bâti, ou au moins les tissus urbains et l'étude de leurs propriétés spectrales.
- **Une phase de traitements d'extraction** : c'est la phase la plus longue, elle dépend directement de nos tests et efforts de distinction des différents types du bâti, autrement dit, la réussite de notre projet dépend de la précision d'extraction menée durant cette phase ;
- **Une phase de correction et de raffinement de la précision** : revêt une importance capitale, car elle est la plus difficile du fait qu'elle consiste à réduire les confusions thématiques et se rapprocher des limites réelles des différents bâtiments extraits.
- **Une quatrième phase** dans laquelle, des déductions et des calculs et sont fait pour estimer d'abord la population, ensuite la cartographie de la densité de la population.

III.4.1. Prétraitements de l'image Quickbird support d'étude

Avant de passer à l'étude des propriétés spectrales de l'image support d'étude, nous avons vu qu'il est nécessaire de voir quelques aspects liés aux propriétés spectrales tels que l'estimation des surfaces occupées par l'ombre et les variations spectrales des pixels composant l'image et situant à l'intérieur du milieu urbain.

Les images ci-dessous illustrent des exemples sur la présence de l'ombre avec des taux variables, cette présence est liée à l'heure d'acquisition de l'image. Il est à souligner que malgré la perte de l'information sur les objets masqués par l'ombre, l'ombre joue un rôle très utile, car son extraction précise va nous permettre de déduire les hauteurs des bâtiments qui seront la base de l'estimation de la population par la suite.

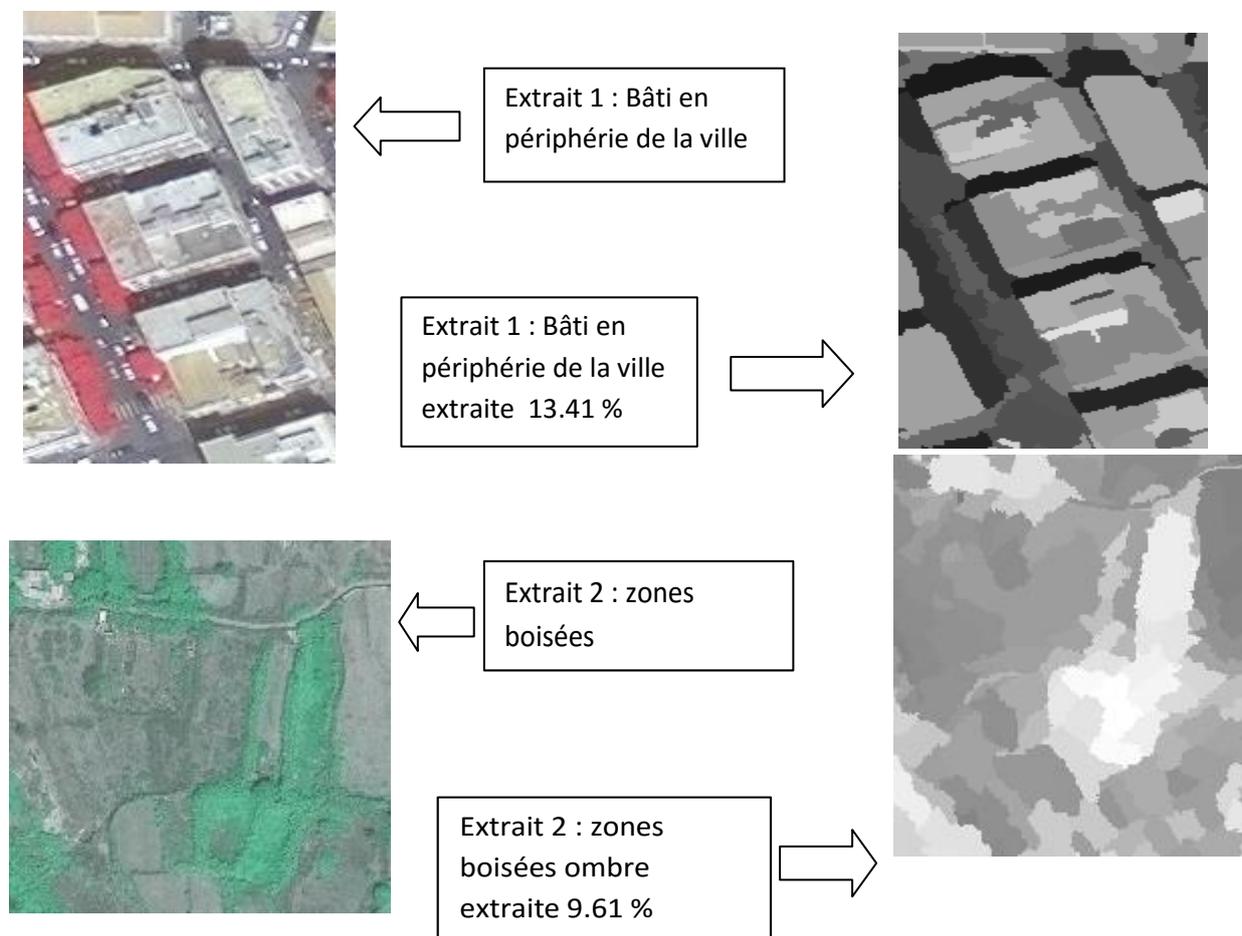


Figure III.2. Estimation de la surface occupée par l'ombre sur deux extraits de l'image quickbird

Les signatures spectrales tracées ci-dessous montrent une similarité de la forme de l'allure avec un écart relativement important entre les valeurs. Pour le même objet 'urbain' plusieurs signatures peuvent être tracées, cela signifie la présence d'une hétérogénéité spectrale d'un pixel à un autre.

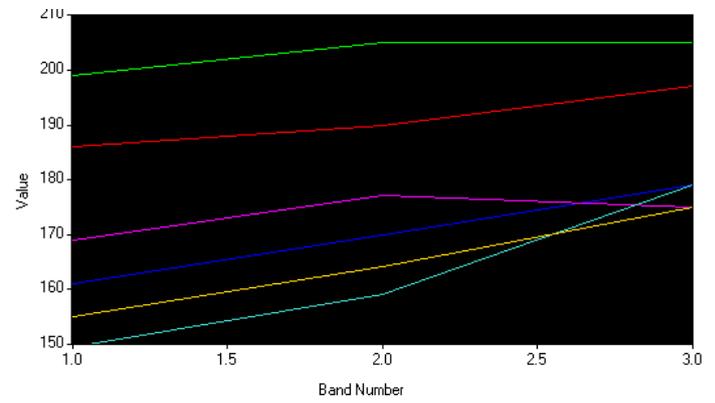


Figure III.3. Confusions spectrales à l'intérieur du même objet

Aussi, et à cause de la finesse de la résolution spatiale, plusieurs signatures peuvent correspondre à un même type d'objet 'bâti', cela limite l'utilisation des approches classique de classification des images et d'extraction de l'information.

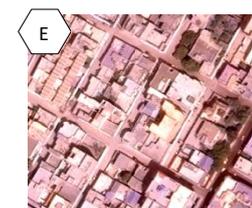
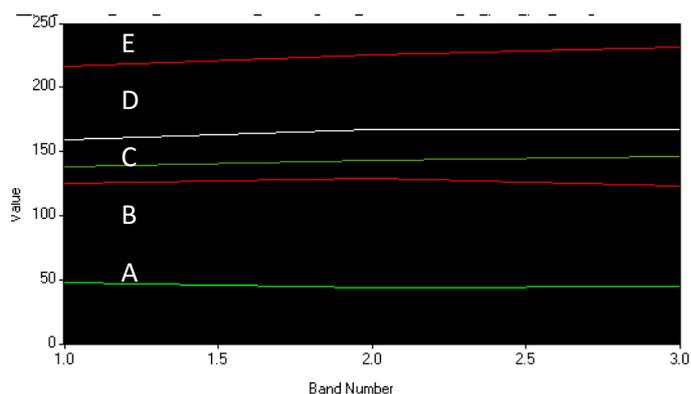
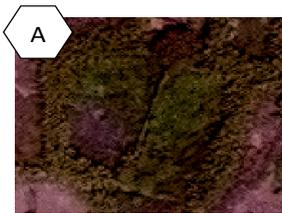


Figure III.4. Différentes signatures spectrales pour un même type d'objet

III.4.2. Analyse de la composition du tissu urbain de la ville de Mostaganem

L'examen par photo-interprétation de l'image Quickbird et de la confrontation avec la réalité terrain et avec les études d'urbanisme (notamment le PDAU 2015) nous a conduits à fragmenter ou distinguer des tissus urbains et à constater la relation de cette hétérogénéité avec la variabilité spectrale. L'image III.5 et le tableau III.1 illustrent l'exemple les anciens quartiers de la ville de Mostaganem et le nombre de constructions à des degrés différents de dégradation.

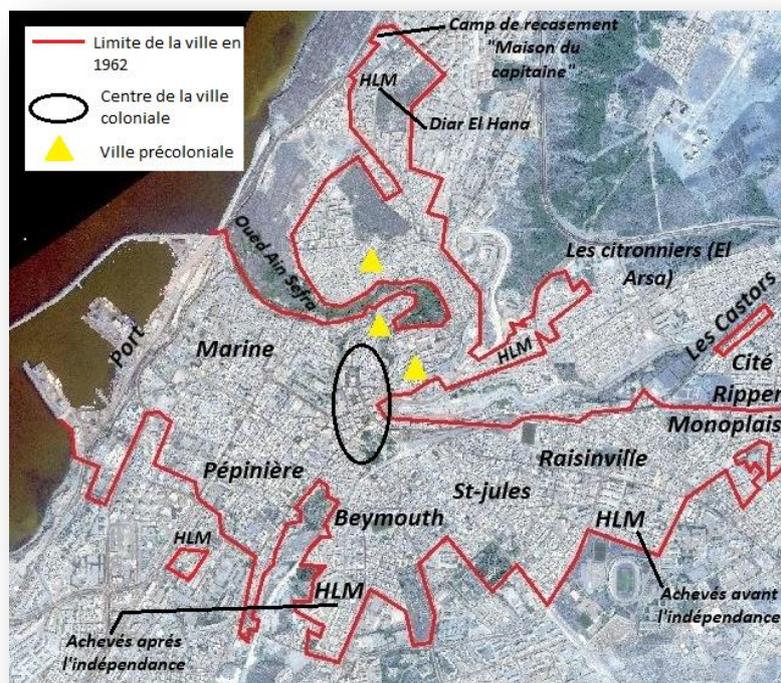


Figure III.5. Principaux quartiers de la vieille ville de Mostaganem

Tableau III.1. Estimation du volume du patrimoine ancien de la ville de Mostaganem

Quartiers	Superficie (ha)	Nbre de Constructions	Taux de concentration%	Etat de dégradation		
				Menaçante ruine	Dégradation notable	Légère dégradation
Tigditt	17,87	1090	57,89	709	207	174
Matmor	0,98	112	5,95	73	21	18
Derb Tebana	2,48	100	5,31	65	19	16
Raisinville	3,29	211	11,21	40	137	34
Centre ville	1,29	70	3,72	13	46	11
Centre ville Didouche Mourad	1,68	100	5,31	19	65	16
Plateau Marine	2,33	140	7,43	91	27	22
Total	29,92	1883	100	1049	533	301

Pour mettre en évidence l'influence de cette diversité d'objets composant les agglomérations de la ville de Mostaganem sur la qualité d'extraction des objets bâtis, nous avons fait appel aux expériences menées dans le même contexte sur le même type d'image, parmi lesquelles l'étude réalisée par D. HOLLAND et al, 2006, intitulée : « Updating Maps in a well-mapped country using high resolution satellite imagery » pour l'imagerie Quickbird (tableau III.2), dans laquelle il classe le type du bâti en fonction des échelles d'analyse. La nomenclature d'objets identifiés fait référence de notre travail d'extraction.

Tableau III.2. Analyse des types d'objets qui peuvent être capturés à partir des images QuickBird, à de diverses échelles de cartographie [Holland, 2006]

Caractéristique	Description des Résultats	Echelle				
		1:1250	1:2500	1:10000	1:25000	1:50000
Logement	Facile à identifier, possible de capturer les formes simples. Saillie et cavités non possibles de capturer.	N	N	P	O	O
Grands bâtiments	Grands bâtiments faciles à identifier, en particulier unités industrielles. Structures complexes, à multi niveaux et de toit difficiles à identifier clairement.	N	N	O	O	O
Routes	Bords difficile à identifier. Les alignements de route et Lignes blanches évidentes.	N	O	O	O	O
chariot	Barrières pas très claires. Alignement général très clair. Pentes impossible pour identifier.	O	O	O	O	O
Aéroport	Bords métalliques claires et détails autour des bâtiments difficiles à identifier exactement.	N	N	O	O	O
Chemins de fer	Meubles ferroviaires non visibles (les poteaux de signal, points, individu dépiste etc.). Alignement de voie visible.	N	N	O	O	O
Lignes de transmission	Impossible d'identifier les lignes et les poteaux réels. Pylônes parfois possibles de voir, mais être non évident.	N	N	N	N	N
Protections côtières	Toute comporte clairement. promenades très claires	O	O	O	O	O
Les défenses non-côtières	Déversoirs et barrages facilement identifiés.	O	O	O	O	O
Frontières importantes de Propriété	Grandes barrières faciles à identifier. Petites barrières très difficiles à identifier	N	N	N	N	O
Caravanes résidentielles	Facile à identifier	N	N	O	O	O
Changements importants de paysage	Très clair. Barrières associées difficiles à définir	O	O	O	O	O

Carrières	Clair pour voir, mais détail permanent de carrière difficile à identifier entièrement (par exemple bandes de convoyeur).	P	P	O	O	O
Frontières de champ	Clair pour voir, mais difficile à classifier	P	P	P	P	O
Dispositifs de l'eau	Clair pour identifier. Quelques petits jets difficiles	P	P	O	O	O
Végétation	Bien définie dans les images multi spectrales mode pan sherpen	O	O	O	O	O
Voies et chemins	Des pistes bien définies. Petits chemins, particulièrement dans les zones urbaines, difficiles à identifier exactement.	P	P	P	P	P
Téléphone boxes	Difficile à identifier	N	N	N	N	N

O=Oui : Objets peuvent être capturés ; le **N=No** : Objet ne peut pas être avec succès capturé ; le **P**= peut être dans quelques conditions l'objet peut être capturé, dans d'autres pas.

Noter que, pour les échelles de 1:1250 et de 1:2500, même lorsque des Objets peuvent clairement être identifiés, l'exactitude géométrique n'est pas suffisante à répondre aux spécifications de cartographie.

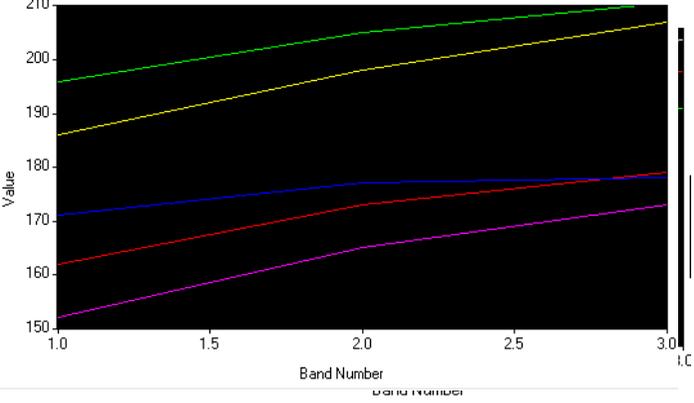
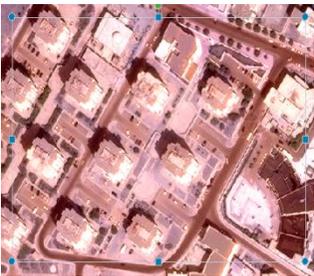
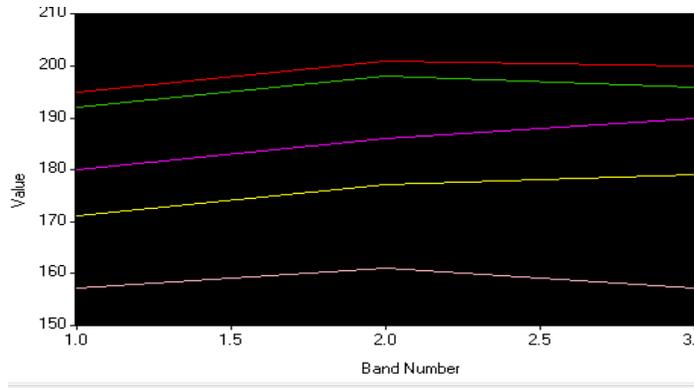
Les tableaux de III.3. et III.4 illustrent des exemples de la variabilité spectrale des différents types du bâti selon quatre critères à savoir :

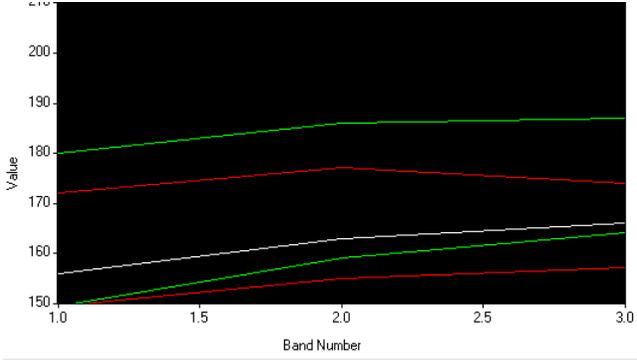
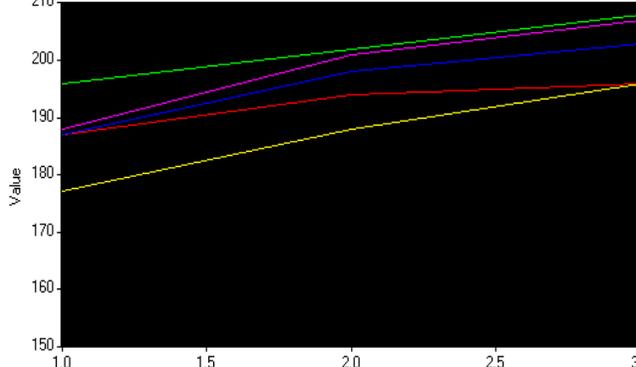
- La différence des matériaux de construction,
- La différence de toiture,
- La vétusté des bâtiments,
- Et le type du tissu urbain.

La compréhension de cette variabilité nous a permis de penser à la maximisation des critères de caractérisation du bâti et passer d'une extraction préliminaire brute (figures de la section III.4.3) basée uniquement sur le calcul des différents niveaux de segmentation à une classification personnalisée en combinant l'outil de traitement d'image avec l'outil SIG (section III.4.4).

L'objet de cette analyse détaillée par type ou classe du bâti est d'arriver à construire un arbre ontologique pour permettre la compréhension du raisonnement multi-échelle/multi-résolution et la connaissance des différents paramètres intrinsèques nécessaires à l'extraction des objets de chaque niveau (tableau III.7).

Tableau III.3. Variabilité spectrale due à la différence de toitures

Types du bâti	Sur Quickbird	Les signatures spectrales	Photos prises sur terrain
Bâti individuel			 <p data-bbox="1518 724 2078 746">Mostaganem ville (exemple sur le bâti individuel) ,24/06/2020</p>
Bâti collectif			 <p data-bbox="1518 1134 2056 1157">Cité 20 Août 1956(exemple sur le bâti collectif), 24/06/2020</p>

<p>Equipements</p>			 <p>Cité 20 Août 1956(exemple sur un équipement), 24/06/2020</p>
<p>Bâti dense</p>			 <p>Mostaganem ville(exemple sur le bâti dense), 07/07/2020</p>

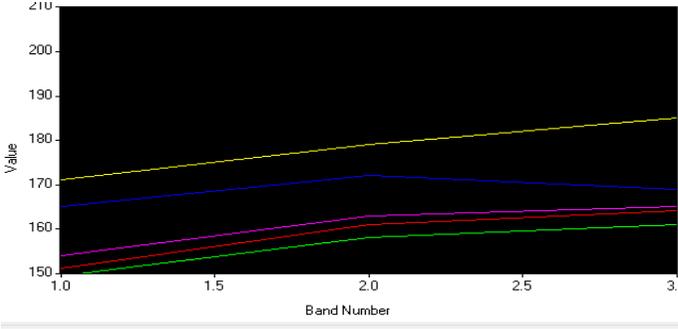
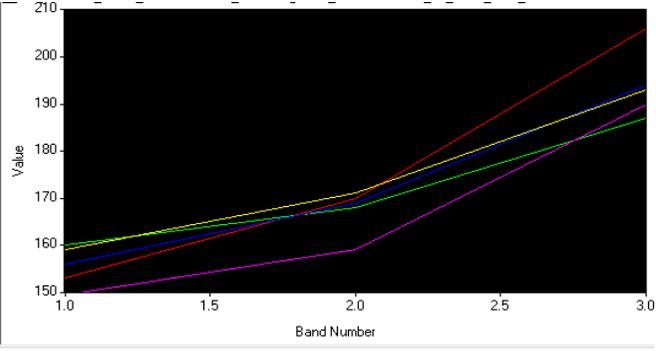
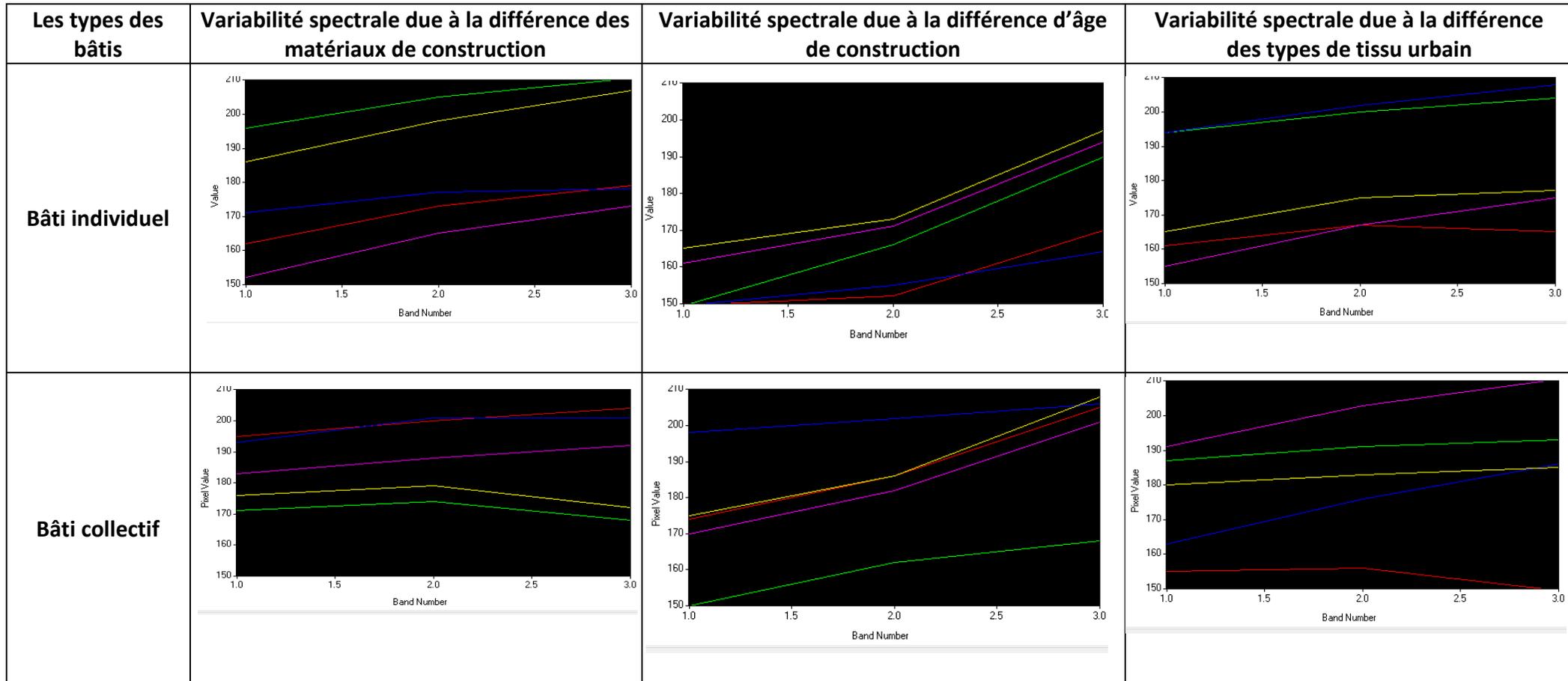
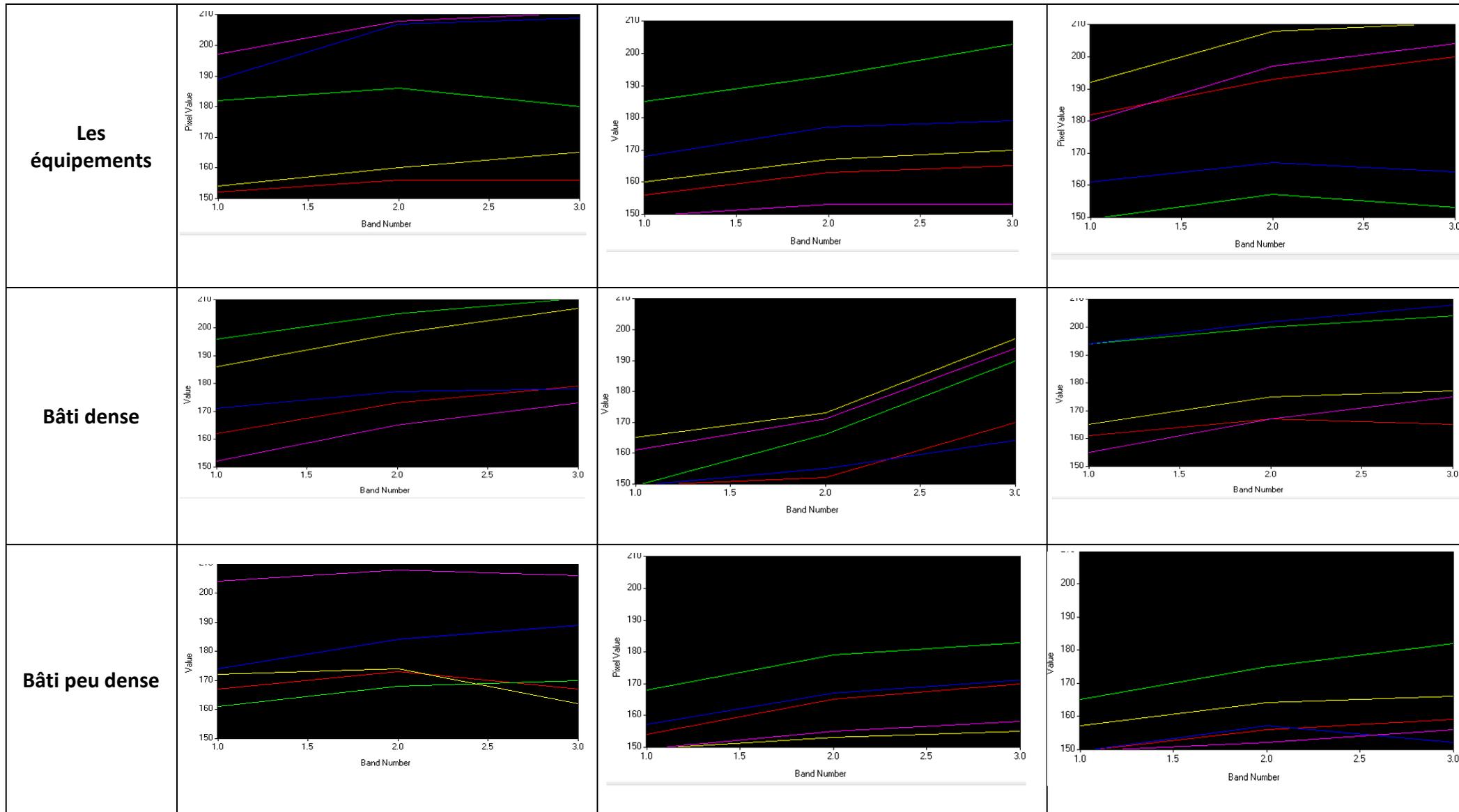
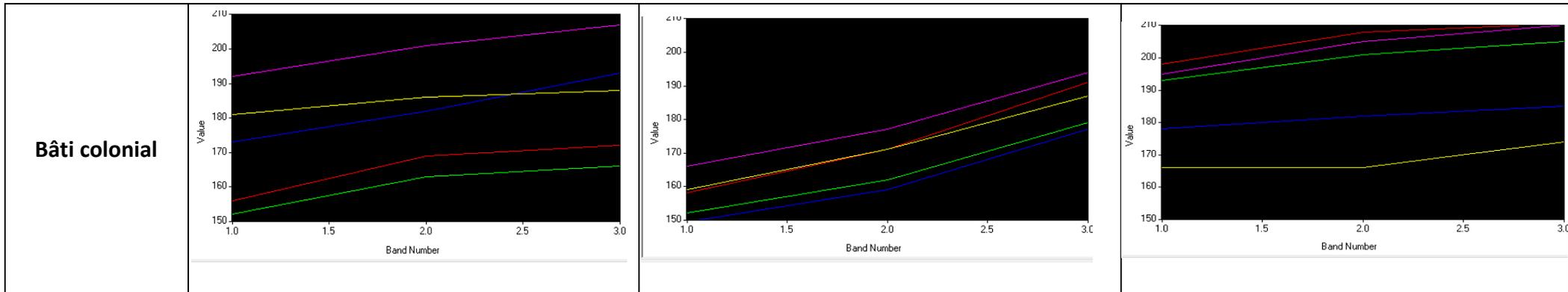
<p>Bâti peu dense</p>			 <p>Colonel Amirouche(exemple sur le bâti peu dense), 07/07/2020</p>
<p>Bâti colonial</p>			 <p>Derb(exemple sur le bâti colonial), 07/07/2020</p>

Tableau III.4. Variabilité spectrale due à la différence des matériaux et l'âge de construction et les types des tissus urbains







III.4.3. Extraction préliminaire

III.4.3.1 segmentation multi-résolution brute

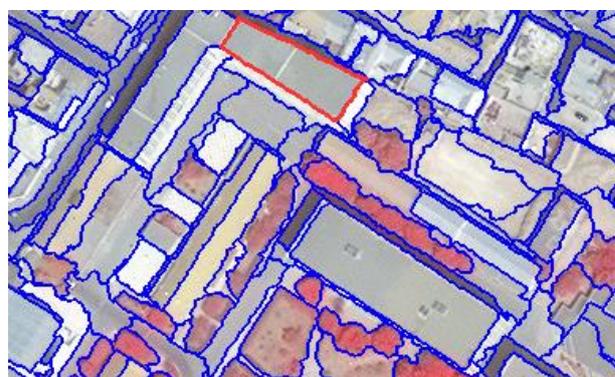
Les segmentations multi résolutions ont été appliquées sous logiciel Ecognition afin d'appliquer les classifications orientées objets aux échelles associées, les images suivantes illustrent des exemples sur les résultats des extractions obtenues.

Objet grands bâtiments:

Shape = 0.7

Compactness = 0.3

Scale parameter = 35



Objet Logement:

Shape = 0.7

Compactness = 0.3

Scale parameter = 35

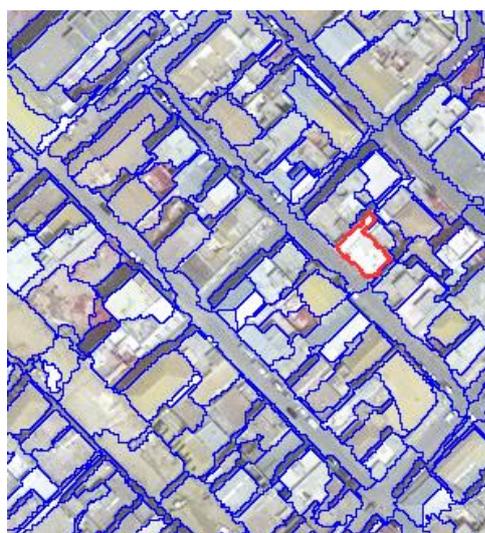


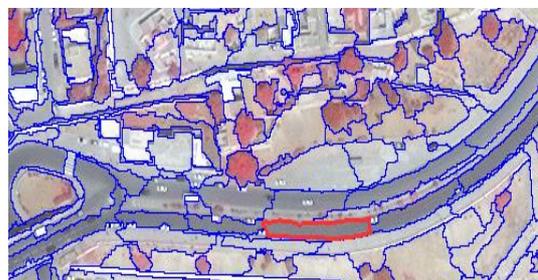
Figure III.6. Résultat de segmentation de l'image Quickbird –niveau de détail : logement et grands bâtiments

Objet Routes:

Shape = 0.7

Compactness = 0.3

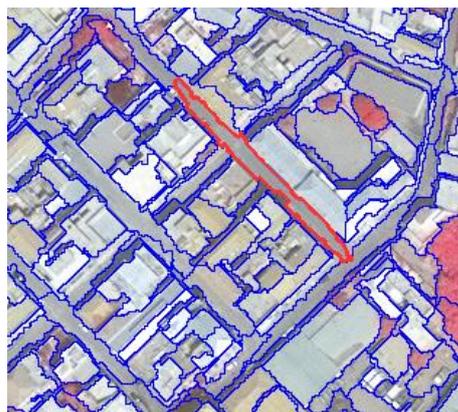
Scale parameter = 35

**Objet Voies et chemins :**

Shape = 0.7

Compactness = 0.3

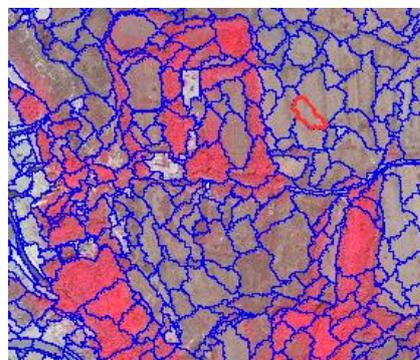
Scale parameter = 35

**Objet Végétation :**

Shape = 0.7

Compactness = 0.3

Scale parameter = 35



Figures III.7. Résultat de segmentation de l'image Quickbird-types d'objets : routes, chemins et végétation

III.4.3.2. classification orientée objet

Les niveaux de segmentation obtenus nous ont permis de calculer les différents paramètres (attributs) intrinsèques des différents types d'objets urbains, il s'agit de:

- **Paramètres spatiaux** : liés à la taille des segments définissant la classe d'objet à extraire,
- **Paramètres spectraux** : relatifs à la variation spectrale de chaque objet dans tous les canaux qui composent les images, en plus, nous avons introduit les seuils appliqués sur les NDVI de chaque image pour cerner encore les valeurs spectrales,
- **Paramètres de formes** : la géométrie ou la forme introduite par le calcul des indices caractérisant les segments comme l'indice d'allongement (compacité) permet de distinguer les objets réguliers des non réguliers.
- **Paramètres de texture** : complètent l'information sur la forme, la texture sépare les objets rugueux des objets lisses, elle présente un grand avantage pour la discrimination des objets urbains.



Figure III.8. Classes thématiques extraites par classification orientée objet

Tableau III.5. Exemples d'attributs intrinsèques des segments calculés

NDVI	Asymmetry	Rectangular	Shape length	Classe name	compactness
0,047636	0,540311	0,841451	102	Batis	1,821298
0,040372	0,562802	0,81128	130	Batis	1,852941
0,008549	0,660866	0,807166	174	Batis	1,945525
0,030689	0,553625	0,828883	162	Batis	2,03005
0,003681	0,591297	0,849373	196	Batis	1,667295
0,020958	0,437186	0,915143	302	Batis	1,448432

Tableau III.6. Paramètres calculés et introduits pour l'application de la classification hiérarchique sous Ecognition

<p>All <input checked="" type="radio"/> Contained <input type="radio"/> Inherited</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Contained <ul style="list-style-type: none"> and (min) <ul style="list-style-type: none"> Mean bleu <= 95.63 Mean bleu >= 70.24 NDVI >= 0.2966 SAVI > 0 VB < 96.57 <p>Inherited</p>	<p>All <input checked="" type="radio"/> Contained <input type="radio"/> Inherited</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Contained <ul style="list-style-type: none"> and (min) <ul style="list-style-type: none"> Asymmetry < 0.8956 IB <= 38589.08 Length < 102.2 Pxl Min. pixel value rouge >= 64 NDVI <= 0.1182 not Eau not Ombre not Route not Végétation Ratio bleu <> 0 Ratio PIR <= 0.26 Ratio rouge <> 0 Ratio vert <= 0.26 Rectangular Fit >= 0.7079 <p>Inherited</p>
<p>Objet à extraire : Ombre</p> <p>All <input checked="" type="radio"/> Contained <input type="radio"/> Inherited</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Contained <ul style="list-style-type: none"> and (min) <ul style="list-style-type: none"> not Route not Végétation Rel. border to brighter objects bleu = 1 Rel. border to brighter objects PIR = 1 Rel. border to brighter objects rouge = 1 Rel. border to brighter objects vert = 1 <p>Inherited</p>	<p>Objet à extraire : Eau</p> <p>All <input checked="" type="radio"/> Contained <input type="radio"/> Inherited</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Contained <ul style="list-style-type: none"> and (min) <ul style="list-style-type: none"> IB <= 3909.93 Mean PIR <= 39.7 Mean PIR >= 30.6 Min. pixel value rouge <= 62 NDVI <= -0.3313 NDVI >= -0.4059 not Ombre not Route not Végétation Ratio bleu >= 0.1329 Ratio PIR <= 0.2058 SAVI <= -0.3271 SAVI >= -0.4003 VB <= 58.52 VB >= 39.37 <p>Inherited</p>
<p>Objet à extraire : Routes</p> <p>All <input checked="" type="radio"/> Contained <input type="radio"/> Inherited</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Contained <ul style="list-style-type: none"> and (min) <ul style="list-style-type: none"> Asymmetry >= 0.7062 not Végétation <p>Inherited</p>	

La figure III.9 présente le résultat de la classification 'préliminaire' avec un zoom sur quatre zones relatives aux différents objets urbains.

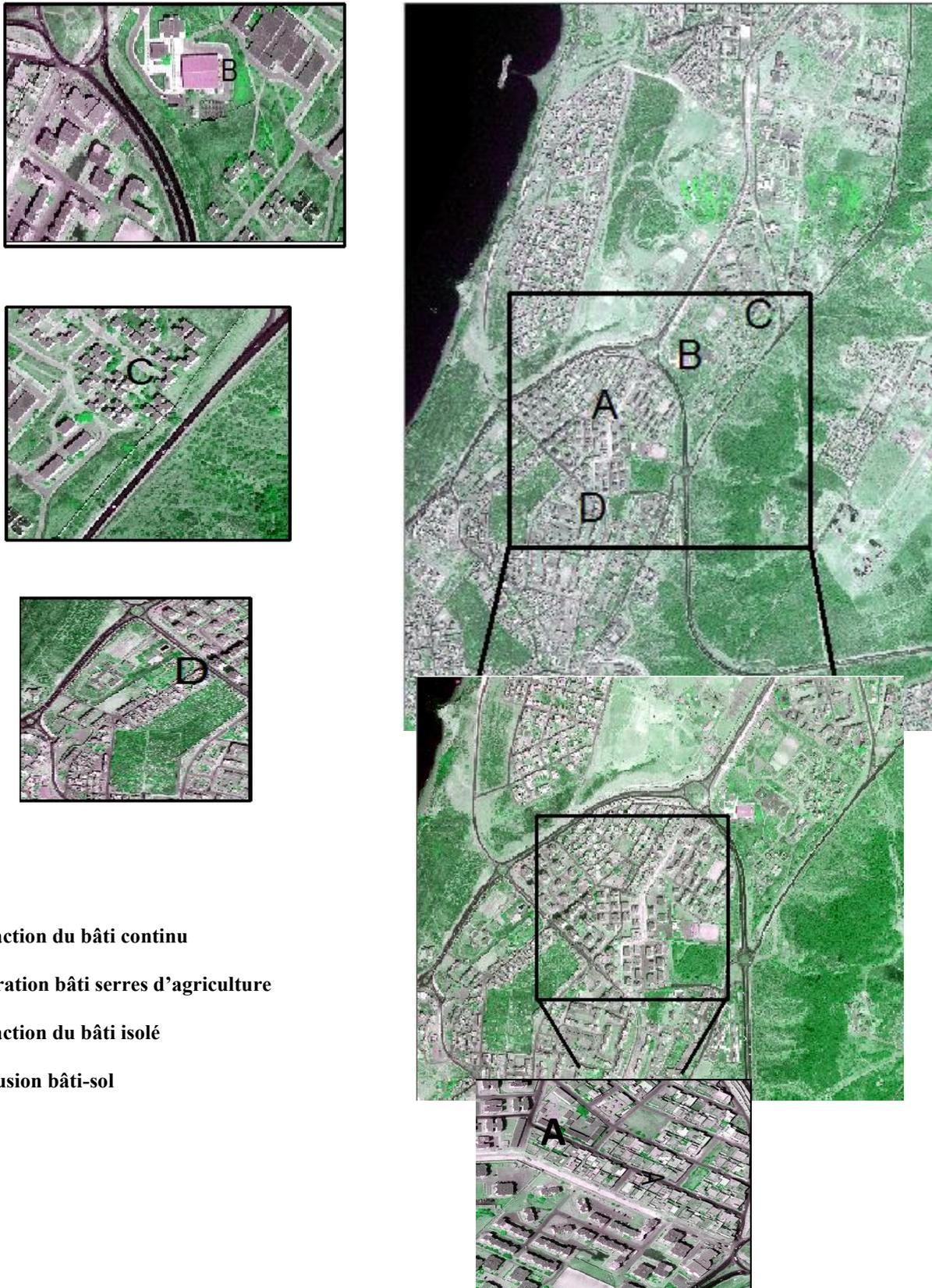


Figure III.9. Exemples de résultats primitifs d'application de la classification orientée objet sur l'image Quickbird- zone périphérique de la ville de Mostaganem

La figure III.10 présente des cas de confusions thématiques à l'intérieur de trois tissus urbains de la ville de Mostaganem : confusion bâti-routes, bâti-végétation et le bâti avec d'autres objets voisins.

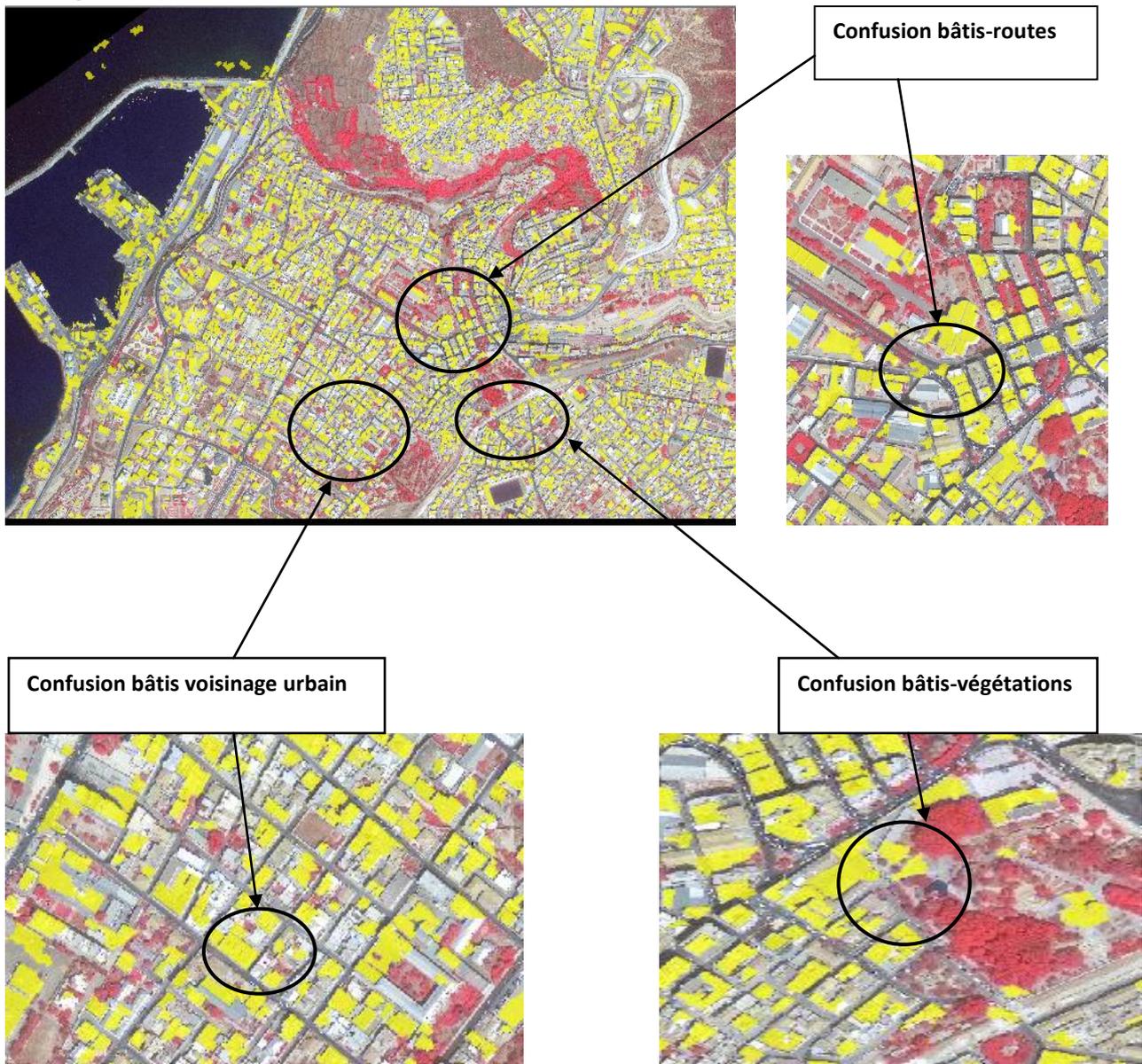


Figure III.10. Résultats primitifs d'application de la classification orientée objet sur une zone choisie pour les opérations de nettoyage des erreurs de confusions-zone dans la ville de Mostaganem

Plus la résolution spatiale est fine, plus les caractéristiques des objets deviennent plus nombreuses, plus le processus de classification devient plus complexe. L'utilisateur doit étudier minutieusement les propriétés des objets. Cependant, les valeurs ou les limites qui cernent les objets sont incertaines ou floues, cela influe directement sur la qualité de l'extraction initiale.

III.4.4. Amélioration de la qualité

III.4.4.1 approche de reclassification

Afin d'améliorer la qualité d'extraction, nous avons procédé de deux manières : par reclassification et par nettoyage des erreurs.

Le nettoyage des erreurs par application des filtres de morphologie mathématique a amélioré significativement le résultat d'extraction mais n'a pas réglé le problème de confusion. Pour cela, la redéfinition des seuils a permis de réduire considérablement les défauts de manque/surplus interclasses.



Figure III.11. Résultats d'application d'un nettoyage par recalcul d'attributs/reclassification et nettoyage par filtres

III.4.4.2. caractérisation du bâti

Malgré que les solutions de nettoyage par reclassification présente l'avantage par rapport à celles usuelles basées sur les filtres de nettoyage par morphologie mathématique de redéfinir les limites initialement floues et imprécises, les résultats obtenus ne répondent pas à nos besoins de cartographie de la densité de population.

Face à cette situation, une approche mixte de segmentation sous Ecognition et de personnalisation sous ArcGIS a été développée. L'idée consiste à intégrer en plus des paramètres calculés spatiaux, spectraux, de forme et de texture, les seuils relatifs aux différents indices de caractérisation du bâti. L'avantage majeur ici, est de cerner les différents types du bâti. En plus des indices intégrés sous Ecognition (de forme, géométrie et compacité), les autres indices calculés sont :

- L'indice I-Miller,
- L'indice de caquot,
- L'indice de Gravillus.

La figure III.12 donne l'exemple sur l'extraction de l'objet Bâti individuel. Tous les exemple cités ci-dessous appartiennent à un niveau d'analyse de l'arbre ontologique construit (tableau III.7).

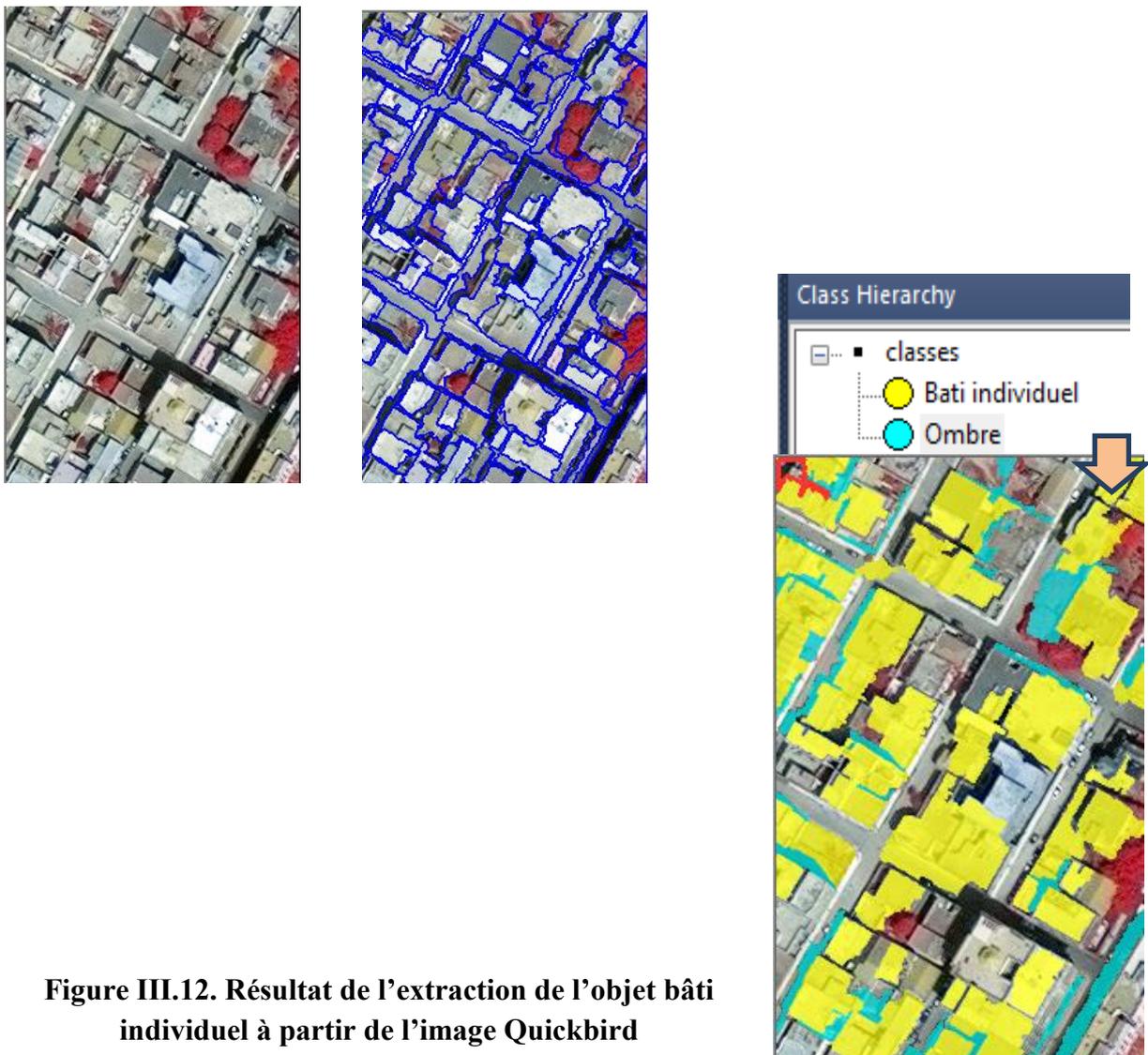
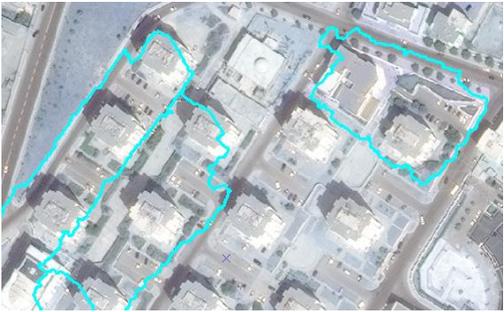
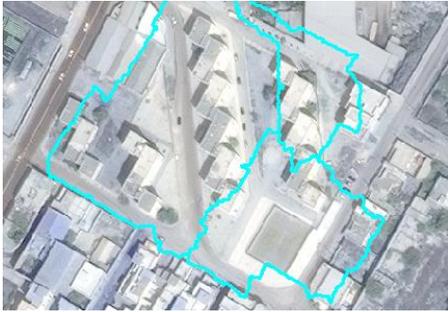
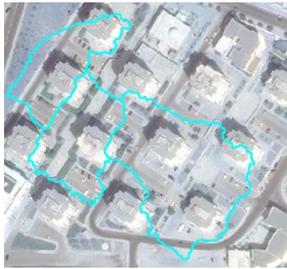


Tableau III.7. Arbre du raisonnement hiérarchique de caractérisation des objets bâtis

1/50000		
		
Scale=130	Shape=0.9	Compactness=0.3
Géométrie=1.97, Forme=1.81, Compacité=1.53 , Asymmetry=0.67, Indice de miller=0.24, Indice de caquot=0.005,Indice de de Gravelius (K)=0.006		
1/25000		
		
Scale=110	Shape=0.9	Compactness=0.6
Géométrie=2.29, Forme=1.60, Compacité=1.76 , Asymmetry=0.40, Indice de miller=0.01, Indice de caquot=0.009,Indice de de Gravelius (K)=0.01		

1/10000**Scale=90****Shape=0.9****Compactness=0.5**

Géométrie=2.27, Forme=1.55, Compacité=1.61, Asymmetry=0.35, Indice de miller=0.47, Indice de caquot=0.007, Indice de de Gravelius (K)=0.006

1/2500**Scale=70****Shape=0.8****Compactness=0.4**

Géométrie=2.27, Forme=1.48, Compacité=1.43, Asymmetry=0.32, Indice de miller=0.29, Indice de caquot=0.006, Indice de de Gravelius (K)=0.009

Tableau III.8. Extraits de la base de connaissances (attributs et indices de caractérisation du bâti)

Bâti individuel						Bâti collectif					
Compactnes	Shape	I miller	k	Forme	Caquot	Compactnes	Shape	I miller	Forme	K	Caquot
1,433735	108	0,357503	0,045542	0,423469	0,042169	1,735537	130	0,359707	0,395102	0,037603	0,036157
1,476958	124	0,423949	0,033449	0,621905	0,027831	1,293864	114	0,324728	0,234219	0,0475	0,056362
1,105403	136	0,412193	0,031367	0,814772	0,022483	1,502591	98	0,504806	0,458977	0,035544	0,037565
1,42104	116	0,443371	0,034189	0,366761	0,037882	1,489254	216	0,425881	0,41155	0,019115	0,019595
1,828125	48	0,348889	0,105	0,378698	0,101563	1,520599	226	0,393945	0,476219	0,01975	0,018102
1,949045	114	0,303466	0,050828	0,242284	0,057325	1,633439	142	0,354426	0,544197	0,034938	0,028414
1,606557	110	0,379914	0,042077	0,466837	0,038251	1,920255	164	0,292799	0,339102	0,036619	0,03429
2,470167	150	0,233895	0,050119	0,206914	0,053699	1,588299	180	0,307798	0,323557	0,031738	0,031195
1,788644	168	0,282137	0,037098	0,217421	0,042587	1,784335	142	0,337608	0,418354	0,036679	0,033205
2,236671	218	0,179451	0,044948	0,305429	0,03472	2,089096	172	0,198267	0,182218	0,051563	0,054202
1,247272	98	0,351795	0,051004	0,436083	0,046165	1,982163	176	0,350736	0,360956	0,028486	0,028297
1,869507	192	0,255875	0,035792	0,493754	0,025965	1,997135	170	0,303352	0,415229	0,034097	0,02937
2,576842	158	0,13534	0,08223	0,146222	0,079724	1,376801	266	0,327864	0,413984	0,020162	0,018082
1,28123	140	0,295416	0,042516	0,427959	0,035597	1,5215	228	0,302741	0,553126	0,025475	0,018993
1,582385	166	0,317692	0,033343	0,537355	0,025836	1,459377	112	0,366467	0,374017	0,042842	0,042735
1,978271	154	0,298695	0,038227	0,370676	0,034581	1,755388	322	0,275587	0,405882	0,019815	0,016454
1,303942	272	0,323066	0,020011	0,383443	0,01851	1,526615	250	0,286368	0,601588	0,024561	0,017077

Bâti dense						Bâti peu dense					
Compactnes	Shape	I miller	k	Forme	Caquot	Compactnes	Shape	I miller	Forme	K	Caquot
1,852074	134	0,346946	0,037823	0,435545	0,034018	1,5215	228	0,302741	0,553126	0,025475	0,018993
2,97619	142	0,156969	0,078889	0,28	0,059524	1,459377	112	0,366467	0,374017	0,042842	0,042735
1,428361	104	0,287988	0,05871	0,273868	0,06067	1,755388	322	0,275587	0,405882	0,019815	0,016454
2,291178	220	0,198002	0,040367	0,173684	0,043434	1,526615	250	0,286368	0,601588	0,024561	0,017077
1,487599	186	0,381926	0,024753	0,641513	0,019247	1,983015	146	0,215068	0,281369	0,056	0,049338
1,960854	114	0,271573	0,056797	0,334126	0,051601	1,634237	202	0,206235	0,322142	0,042209	0,034034
1,511401	90	0,47604	0,041042	0,365042	0,047231	1,915384	292	0,235544	0,444338	0,025566	0,018758
1,41651	174	0,321509	0,031432	0,461319	0,026443	1,67666	224	0,21202	0,458961	0,037025	0,025359
1,610404	196	0,256	0,035045	0,25072	0,035686	1,461035	144	0,43066	0,59509	0,028354	0,024308
1,538952	170	0,351158	0,029455	0,411941	0,027406	1,945808	226	0,216645	0,227663	0,035914	0,035305
1,371502	118	0,425763	0,035	0,561915	0,030702	1,419283	148	0,26721	0,294123	0,044464	0,042708
1,33309	90	0,438825	0,044523	0,464182	0,043625	1,459948	252	0,366096	0,596979	0,01906	0,015041
1,633634	150	0,31093	0,037702	0,399959	0,033499	2,113486	128	0,27521	0,306287	0,049916	0,047682
1,26303	68	0,412872	0,062632	0,40587	0,063658	1,599722	280	0,251681	0,407575	0,024952	0,01976
1,341129	208	0,427047	0,019796	0,613512	0,016644	1,290238	132	0,408556	0,469051	0,032766	0,030741
1,621029	88	0,334112	0,059806	0,465039	0,051085	1,76906	126	0,386072	0,344372	0,036148	0,03857
1,402181	78	0,402564	0,056	0,400784	0,056558	1,526821	180	0,273684	0,382241	0,035694	0,030437
1,822365	108	0,250898	0,064893	0,338408	0,056308	1,617964	192	0,23952	0,361475	0,038236	0,031366
1,802555	138	0,281617	0,045246	0,327531	0,042228	1,613817	156	0,356114	0,474891	0,031652	0,027622
1,235982	156	0,401532	0,028072	0,473169	0,02606	1,459353	176	0,389662	0,461493	0,02564	0,023742

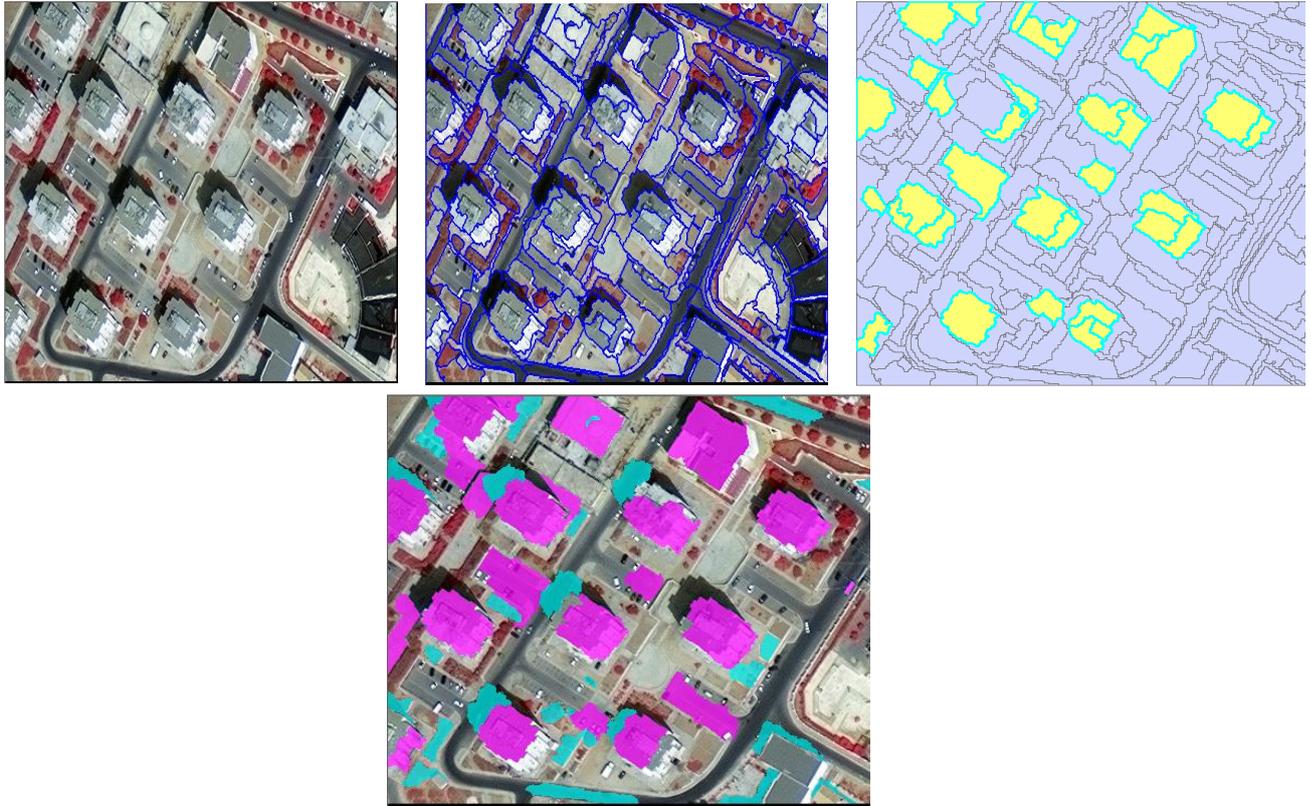
Objet Bâti collectif :

Figure III.13. Résultat de l'extraction de l'objet bâti collectif à partir de l'image Quickbird

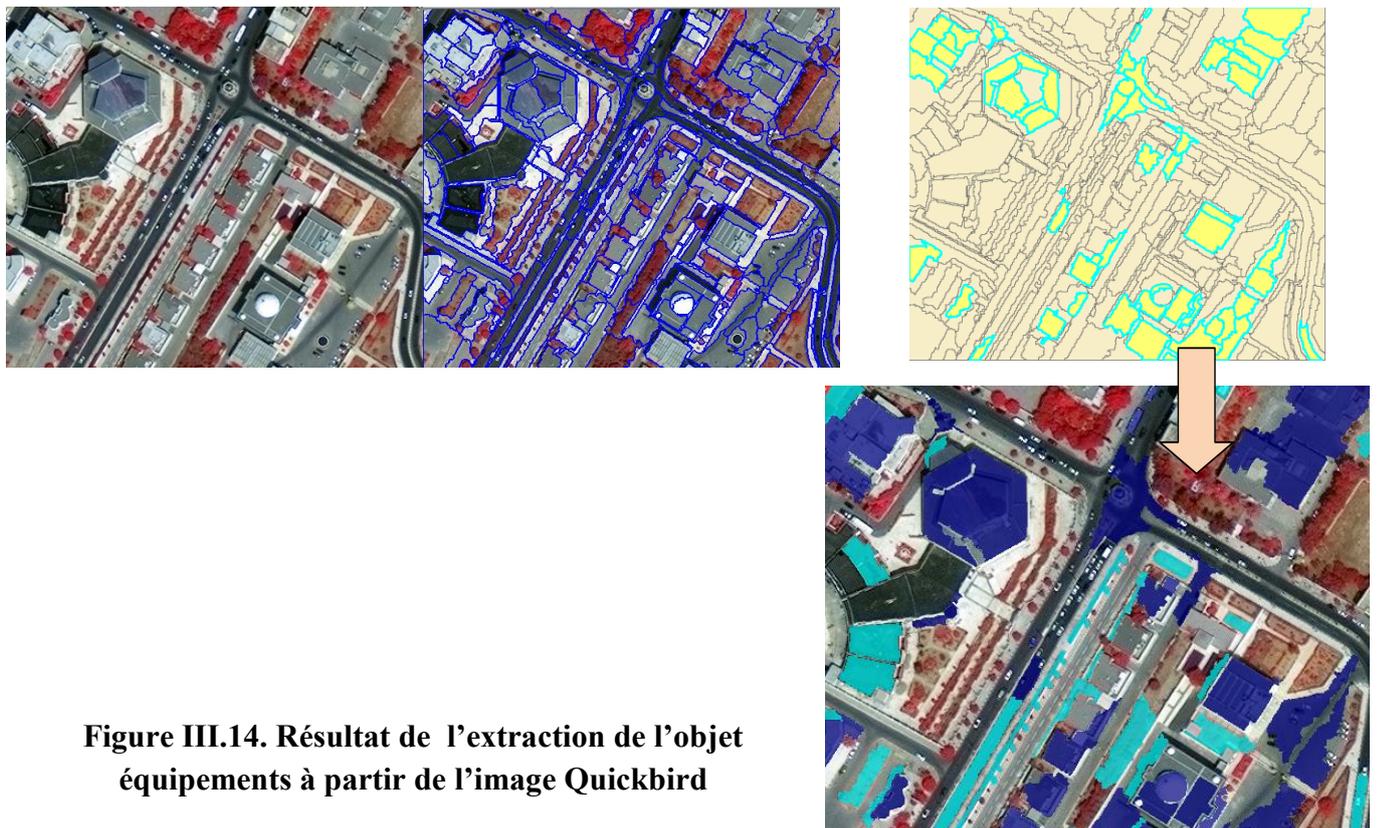
Objet équipements

Figure III.14. Résultat de l'extraction de l'objet équipements à partir de l'image Quickbird

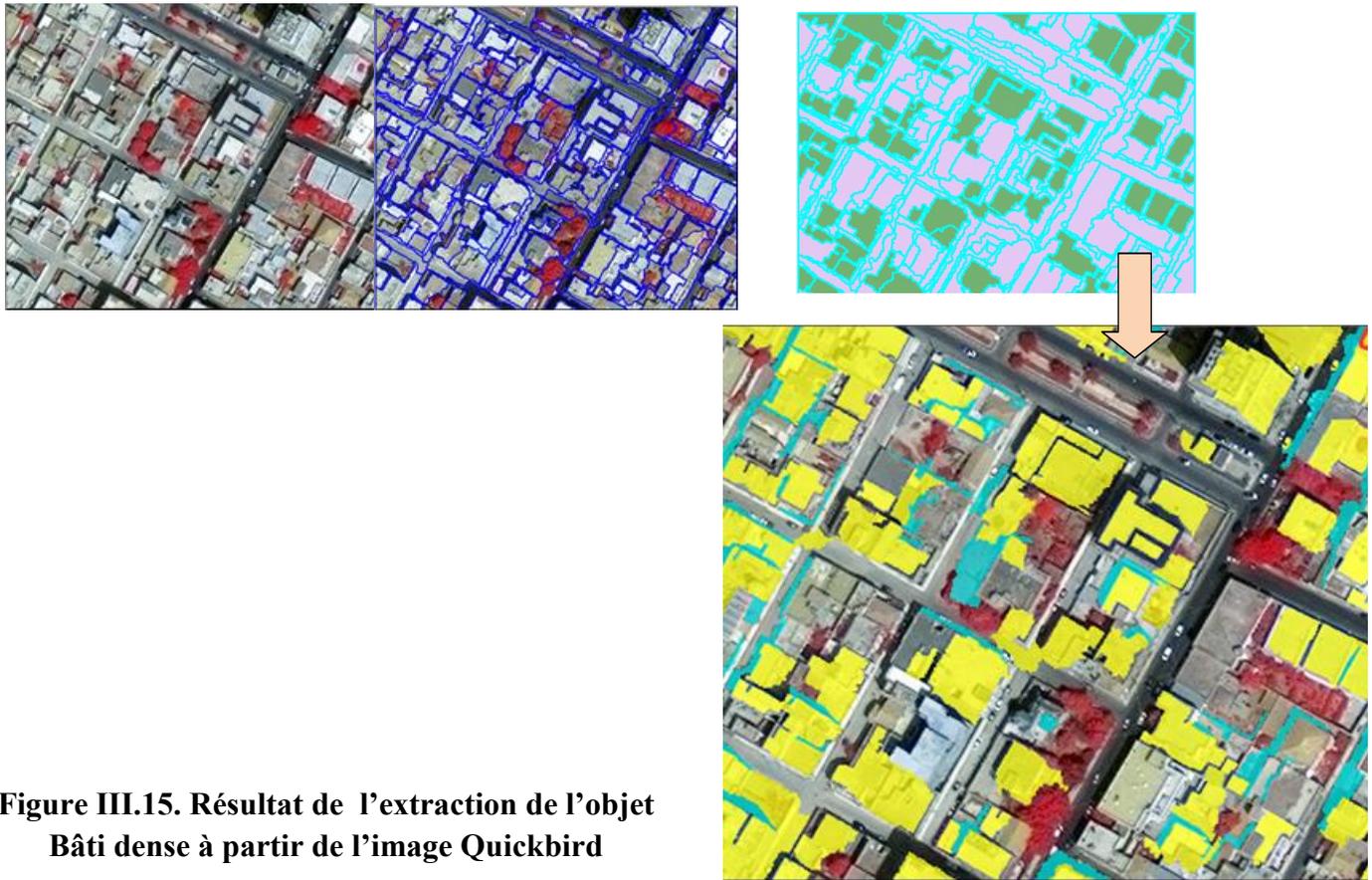
Objet Bâti dense

Figure III.15. Résultat de l'extraction de l'objet Bâti dense à partir de l'image Quickbird

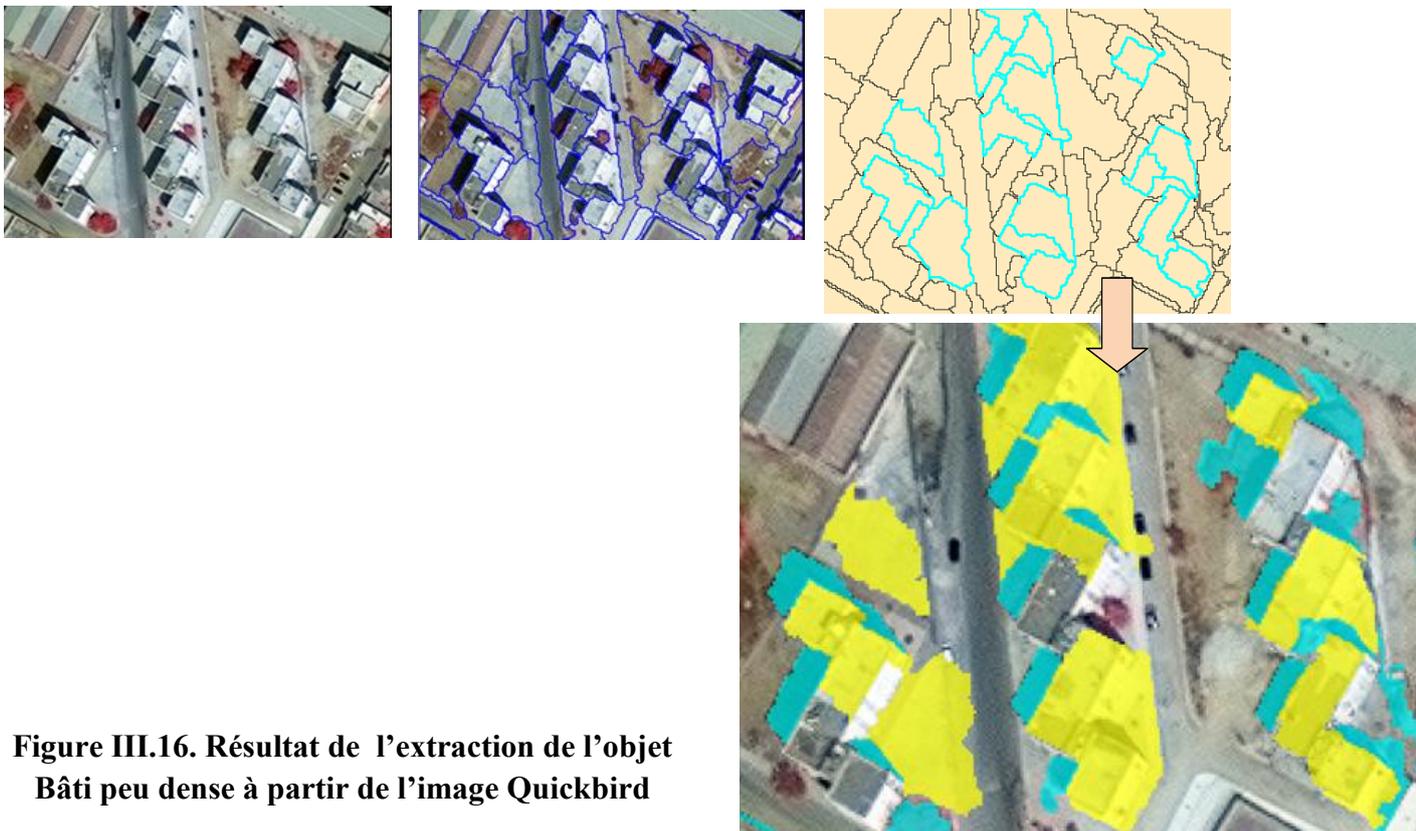
Objet Bâti peu dense

Figure III.16. Résultat de l'extraction de l'objet Bâti peu dense à partir de l'image Quickbird

Objet Bâti colonial

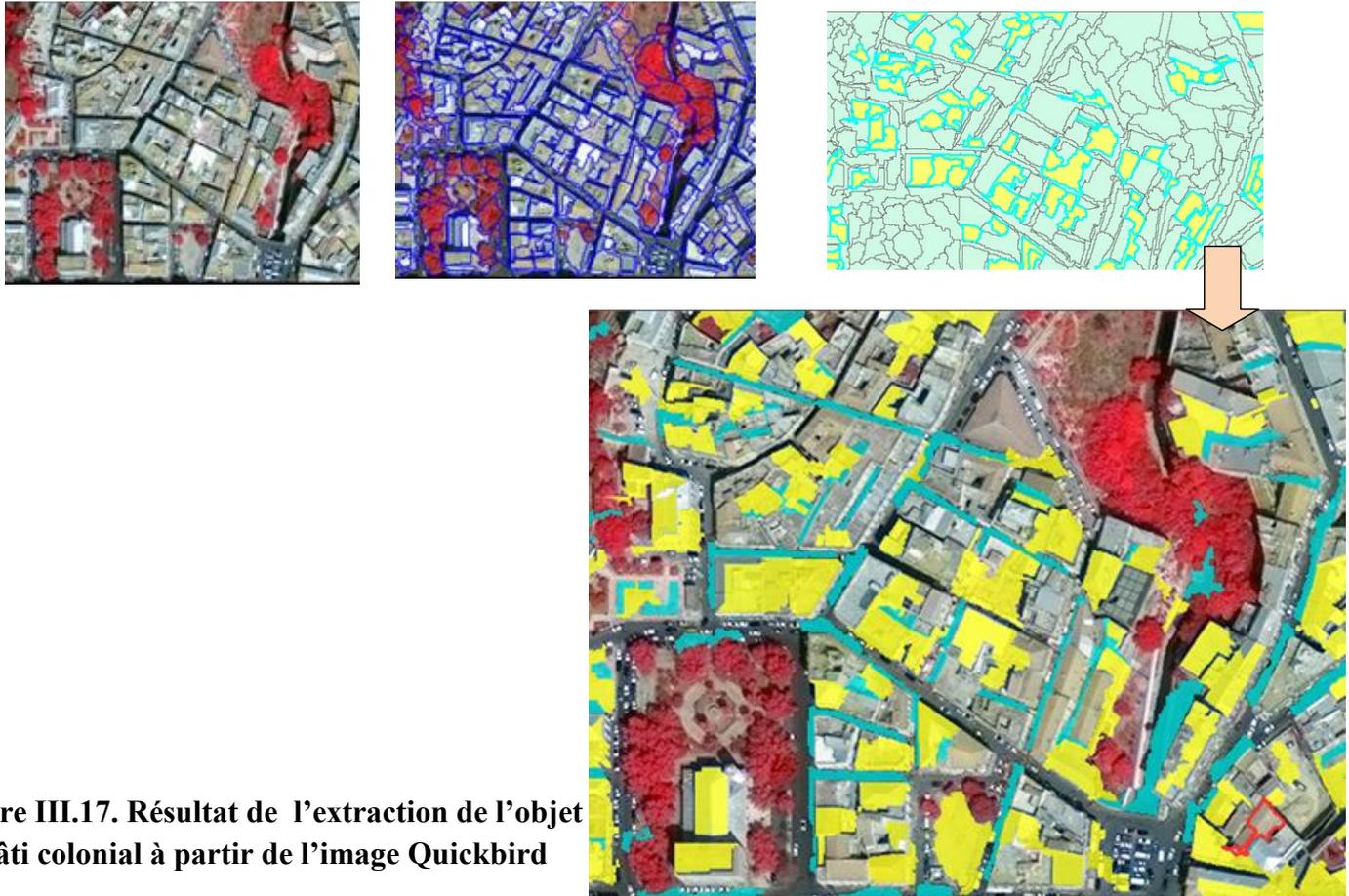


Figure III.17. Résultat de l'extraction de l'objet Bâti colonial à partir de l'image Quickbird

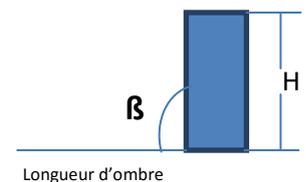
III.4.5. Cartographie de la densité de population

Dans cette section, nous présentons la procédure des calculs effectués pour la cartographie de la densité de population. L'extraction précise des différents types du bâti nous a permis de calculer leurs dimensions qui ont été comparés avec les valeurs données par le PDAU relatives aux emprises au sol, d'où la différence entre les valeurs comparées varie entre 5 m^2 et 20 m^2 quel que soit l'échantillon de comparaison.

Aussi, nous avons comparé les hauteurs calculées en appliquant l'équation 01 ci-dessous avec les hauteurs extraites du PDAU d'où les différences varient entre 1,5m et 3,5m à l'exception de quelques valeurs du PDAU qui ne reflètent pas la réalité (changement dans les études des Plans d'occupation des Sols).

$$\text{Hauteur} = \text{longueur d'ombre} / \tan \beta \quad \dots\dots\dots \text{équation 01}$$

Avec $\beta = 17.975^\circ$ et l'heure d'acquisition : 10 h 48 m 06 s



En connaissant les taux d'occupation par logement TOL et en déduisant d'autres paramètres (tableaux ci-dessous), nous pouvons estimer la population par immeuble et par îlot urbain.

Tableau III.9. Paramètre d'estimation de la population pour le Bâti individuel

Type	individuel
Terrain	R+1 → R+3
Emprise au sol	250 m ² → 500 m ²

Autres caractéristiques/données :

Nombre d'étages : 2 à 3 étages par immeuble.

Taux d'Occupation par Logement = 5

Superficie totale d'un îlot urbain échantillon= 21 146.95 m²

Bâtis	Longueur d'ombre (m)	Hauteur (m)
1	1.71	5.30
2	2.18	6.72
3	2.61	8.04
4	2.79	8.60
5	2.54	7.82
6	3.30	10.17
7	2.69	8.30

Tableau III.10. Paramètre d'estimation de la population pour le Bâti collectif

Type	collectif
Terrain	R+1 → R+10
Emprise au sol	250 m ² → 600 m ²

Autres caractéristiques/données :

Nombre d'étages : 10 étages par immeuble (échantillon).

L'emprise au sol = 425 m²

Le pourcentage des parties communes= 25 %

Taux d'Occupation par Logement = 5

Superficie totale d'un îlot urbain échantillon= 23 271.38 m²

Bâtis	Longueur d'ombre (m)	Hauteur (m)
1	8.17	25.18
2	8.93	27.50
3	8.80	27.12
4	8.63	26.60
5	8.75	26.90
6	8.46	24.80
7	8.10	24.96
8	8.53	26.30
9	8.16	25.15
10	8.21	25.30

Tableau III.11. Paramètre d'estimation de la population pour le Bâti peu dense

Type	Bâti peu dense
Terrain	R+1 → R+5
Emprise au sol	250 m → 550 m ²

Autres caractéristiques/données :

Nombre d'étages : 3 à 4 étages par immeuble.

L'emprise au sol = 190 m²

Le pourcentage de la partie commune = 25 %

Taux d'Occupation par Logement = 5

Bâtis	Longueur d'ombre (m)	Hauteur (m)
1	3.59	11.06
2	3.44	10.60
3	3.90	12.00
4	3.05	9.40
5	3.45	10.63
6	3.30	10.17
7	3.14	9.68

Tableau III.12. Paramètre d'estimation de la population pour le Bâti dense

Type	Bâti dense
Terrain	R+1 → R+3
Emprise au sol	250 m ² → 500 m ²

Autres caractéristiques/données :

Nombre d'étages : 2 à 3 étages par immeuble.

L'emprise au sol = 260 m²

Le pourcentage de la partie commune = 25 %

Taux d'Occupation par Logement = 7

Superficie totale d'un îlot urbain échantillon = 7 318.28 m²

Bâtis	Longueur d'ombre (m)	Hauteur (m)
1	1.71	5.30
2	2.18	6.72
3	2.61	8.04
4	2.79	8.60
5	2.54	7.82
6	3.30	10.17
7	2.69	8.30

Tableau III.13. Paramètre d'estimation de la population pour le Bâti colonial

Type	Bâti colonial
Terrain	R+1 → R+3
Emprise au sol	250 m ² → 500 m ²

Autres caractéristiques/données :

Nombre d'étages : 2 à 3 étages par immeuble.

L'emprise au sol = 650 m²

Le pourcentage de la partie commune = 25 %

Taux d'Occupation par Logement = 5

Superficie totale d'un îlot urbain échantillon = 14 807.38 m²

bâtis	Longueur d'ombre (m)	Hauteur (m)
1	4.39	13.53
2	3.22	9.92
3	3.08	9.49
4	3.59	11.06
5	2.43	7.48
6	4.68	14.42

Entre les méthodes d'interpolation existantes sous ArcGIS inverse de la distance pondérée IDW et krigeage, nous avons opté pour le krigeage sous condition d'intensifier le nombre d'immeubles échantillon. La cartographie de la densité de population résultante se rapproche à la réalité.

Les figures III.18 et III.19 représentent respectivement les cartes de la densité de population obtenue en appliquant l'interpolation de Krigeage, et la densité affectée par îlots urbains.

L'unité des trois cartes est le nombre de population par hectare (ha).

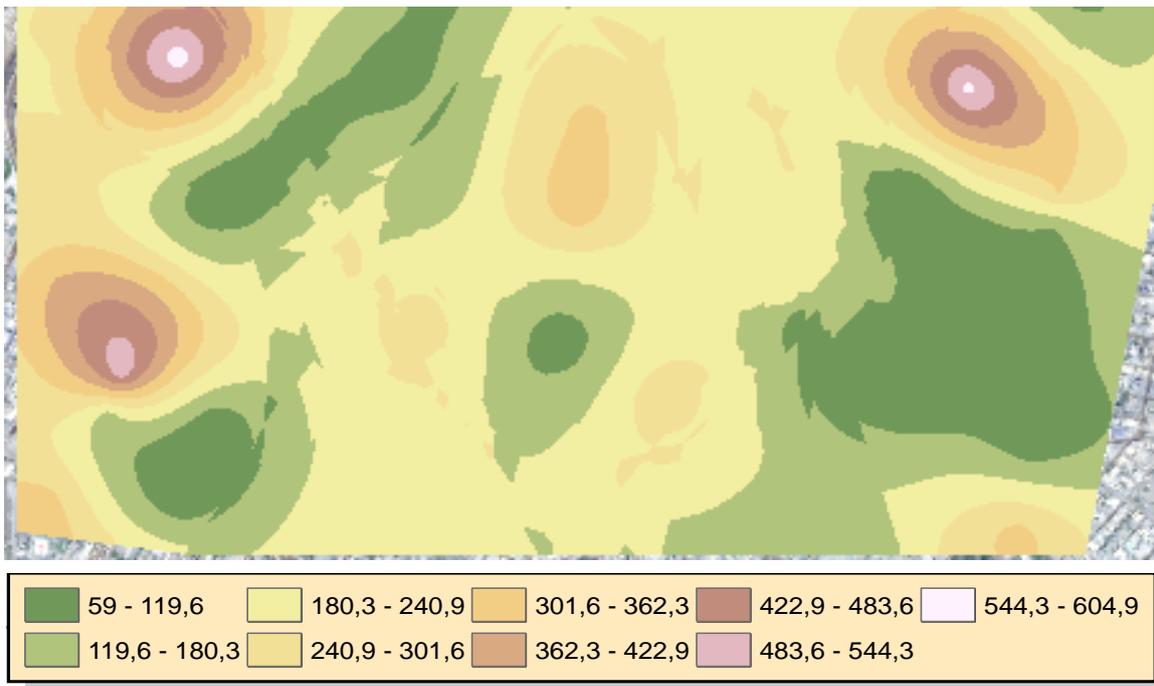


Figure III.18. Carte de la densité de population obtenue en appliquant l'interpolation de Krigeage

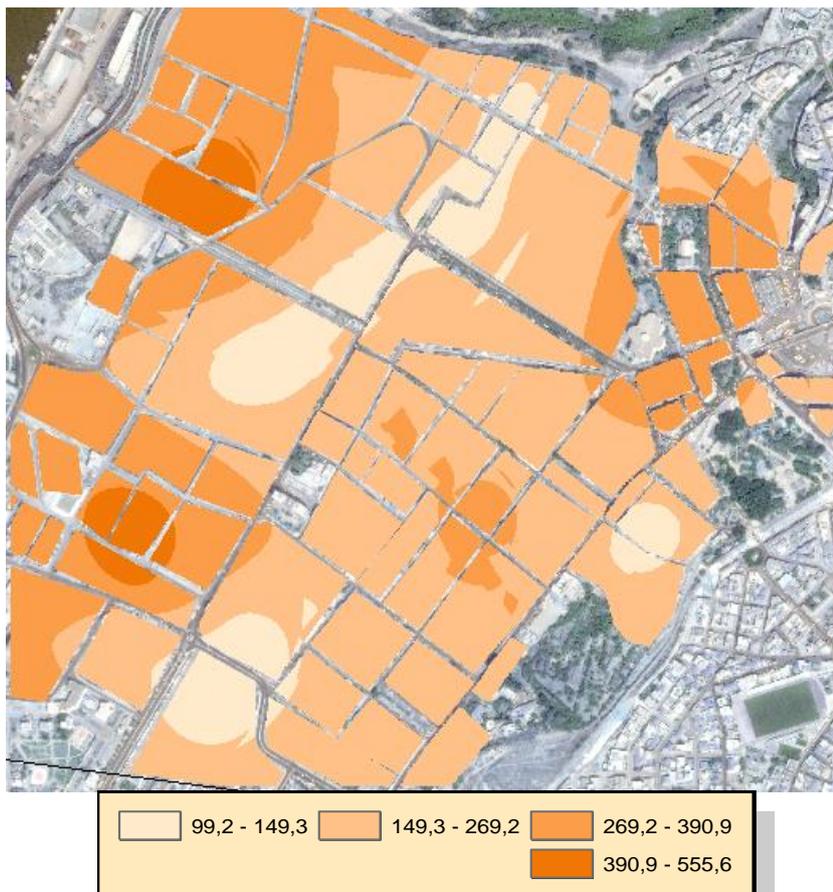


Figure III.19. Intégration de la densité de population par flots urbains

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé une approche de cartographie de la densité de population basée sur l'imagerie Quickbird.

Nous avons consacré un temps important à l'opération d'extraction de l'information sur le bâti dans toutes ses formes car, le résultat final de la densité dépend de la qualité de cette extraction (mesure du nombre d'étages est en fonction de l'ombre extraite et le nombre d'appartements est en fonction de l'emprise au sol ou dimensions du bâti).

Nous soulignons qu'avec les taux d'occupation par logement, les valeurs de densité se rapprochent de la réalité mais si on les remplace par les données du cadastre (issues de l'enquête foncière 'fiche du propriétaire modèle T5') l'estimation devient plus précise et la carte reflète mieux la réalité.

Conclusion générale

Les instruments traditionnels de l'observation socio-démographique, recensements exhaustifs et enquêtes par sondage probabiliste, se révèlent difficiles à mettre en œuvre et ne satisfont pas correctement les besoins de la recherche ni de la gestion urbaine.

Le coût de la collecte et les durées d'exploitation des recensements limitent leur périodicité à un rythme d'environ dix ans, insuffisant pour un suivi de populations urbaines à croissance rapide; quant aux enquêtes par sondage, l'absence de base de sondage complète et à jour hypothèque souvent leur réalisation et leur fiabilité, déjà affectée par l'emploi de concepts peu adaptés à l'observation des réalités locales en matière de résidence et d'activité.

A cet effet, la télédétection spatiale assurant une observation continue et relativement précise de l'occupation du sol, constitue une source de données particulièrement intéressante. Plusieurs points peuvent être abordés en conclusion, nous citons parmi lesquels :

1. Au cours de ce travail, nous avons démontré que l'imagerie spatiale THRS peut constituer une alternative aux procédés classiques d'enquêtes de recensement et peut dans la mesure d'extraction précise constituer aussi un support idéal d'estimation de la population. Plus la résolution spatiale devient plus fine, plus la fragmentation des composantes urbaine devient plus facile et plus l'identification des différents types du bâti sera évidente.
2. L'extraction d'information par application des règles d'apprentissage par calcul d'attributs sous Ecognition était plus ou moins acceptable avec une marge d'erreur variable d'un objet à un autre (taux de confusions : végétation-autres objets (moins de 10%), sols-autres (15% à 20%), bâti-routes (20% à 30%) et bâti-autres (15% à 20%)). L'hétérogénéité spectrale intra-objet et la similitude spectrale inter-objet rendent difficile la discrimination de certains thèmes (exemple bâti-route), raisons pour lesquelles, le calcul des indices caractérisant la forme/géométrie devraient être intégrés parmi la nomenclature existante sous Ecognition.
3. La constitution d'une base de connaissance sur les paramètres pertinents (intrinsèques et extrinsèques) et son implémentation sous une plate-forme logicielle SIG peut apporter des résultats plus significatifs en matière d'extraction des détails complexes composant le milieu urbain.

Ce travail peut être poursuivi par des tests sur d'autres villes pour voir l'influence de la variabilité de la composition urbaine et valider aussi l'efficacité de l'imagerie Quickbird.

Il est aussi intéressant de tester les algorithmes d'apprentissage profond (Deep-Learning) sur une série d'images pour voir s'il y aura un gain en temps et en précision.

Référence bibliographiques

[01] : l'agence de développement et d'urbanisme de l'agglomération strasbourgeoise, 2016 : Tissus urbains et formes urbaines : Analyse, évolution d'enjeux et scénarios.

[02] : Frank hauser : La morphologie des tissus urbains et périurbains à travers une lecture fractale.

[03] : ALLOU Rahima, TAKKA Abdelkarim, 2018 : La Densification Urbaine : Processus et critères optimales pour un environnement bâti de qualité Cas d'étude : quartier Sidi Ahmed « POS B14/B15 », Mémoire de recherche pour obtention du diplôme de : MASTER II EN ARCHITECTURE Spécialité: "Architecture, Ville Et Territoires".

[04] : Abed BENDJELID, 2001 : « Armature urbaine et population en Algérie », Le système urbain en Algérie.

[05] : Christian Puecha, Damien Raclota, Pierre Maurela, 2003 : Intérêt des images à très haute résolution spatiale pour évaluer le risque d'inondation.

[06] : Mauricio Labrador García, Juan Antonio Évora Brondo, Manuel Arbelo Pérez, 2011 : Satellites pour la Télédétection appliquée à la gestion territoriale

[07] : Imane Sebari, 2008 : « Développement d'une nouvelle approche basée objets pour l'extraction automatique de l'information géographique en milieu urbain à partir des images satellitaires à très haute résolution spatiale », Thèse présentée pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.) en télédétection.

[08] : Djemâa BARROU, 2019 : « Les établissements humains anciens face à la micro urbanisation : étude des cas de Menaâ, Teniet El Abed et Arris dans les Aurès (Algérie) », Thèse présentée en vue de l'obtention Du diplôme de Doctorat en sciences Spécialité (Option) : Architecture.

[09] : Stéphane Lhomme, 2005 : « IDENTIFICATION DU BÂTI À PARTIR D'IMAGES SATELLITAIRES À TRÈS HAUTES RÉOLUTIONS SPATIALES », pour l'obtention du grade de - Philosophiae Doctor (Ph.D.) en télédétection de l'Université de Sherbrooke (Canada) - Docteur en géographie de l'Université Louis Pasteur I, Strasbourg (France).

[10] : Thi-Thanh-Hiên Pham, Dong-Chen He, 2012 : CLASSIFICATION ORIENTÉE OBJET D'UNE IMAGE QUICKBIRD DE LA VILLE DE HANOI (VIËTNAM): ÉTUDE EMPIRIQUE DES PARAMÈTRES DE SEGMENTATION.

[11] : BOULAASSAL H., NEUSCH T, 2004 : Analyse orientée-objet pour la détection de bâtiments à partir d'une image satellitaire à très haute résolution spatiale

[12] : Antoine Lefebvre, 2011 : Contribution de la texture pour l'analyse d'images à très haute résolution spatiale: application à la détection de changement en milieu périurbain