

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/280520572>

Classification automatique des tissus urbains par la méthode des nuées dynamiques

Conference Paper · May 2013

CITATIONS

8

READS

900

5 authors, including:



Isabelle Calmet

Ecole Centrale de Nantes

90 PUBLICATIONS 1,745 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Marjorie Musy

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'amén...

154 PUBLICATIONS 1,751 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Herve Andrieu

Université Gustave Eiffel

219 PUBLICATIONS 4,610 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Energy Research & Social Science Journal, Call for Papers: Special issue on "Energy Consumption in Buildings: interdisciplinary approaches" [View project](#)



Solene-microclimat [View project](#)

Classification automatique des tissus urbains par la méthode des nuées dynamiques

A. Bernabé*, I. Calmet**, M. Musy***, E. Bocher*, H. Andrieu*

* IRSTV - FR CNRS 2488

** LHEEA UMR CNRS 6598 - École Centrale de Nantes

*** CERMA UMR CNRS/MCC 1563 - École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes et École Centrale de Nantes

RÉSUMÉ. La convergence des besoins relatifs à la modélisation urbaine entre les attentes de l'ingénierie urbaine d'une part et celles de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'oeuvre, ainsi que les demandes spécifiques du monde de la recherche, est un gage de succès de projets urbains durables et pérennes. Ce besoin de convergence conduit en particulier à traiter de manière adaptée la problématique d'interopérabilité et d'intégration des données et modèles urbains. L'un des enjeux est la modélisation de la forme urbaine. L'« échelle du quartier » s'impose alors comme la référence territoriale cohérente en lien avec tout questionnement relatif au renouvellement urbain et au développement de l'urbanisation. Une méthode d'identification des quartiers à partir des données géographiques est proposée ici. Cela constitue un premier pas vers une modélisation générique de la forme urbaine.

ABSTRACT. Requirement considerations for urban modeling of both urban engineering needs and those of contractor and world of research, is a key to success of urban projects durable and sustainable. The need for convergence leads in particular to address appropriately the problem of interoperability and urban modelisation. One of the challenges is modeling of urban form. The neighborhood scale is identified as a coherent territorial reference related to any questions of urban renewal and development of urbanization. A classification method is developed to identify urban districts from geographical data, a first step towards a generic modeling of urban form.

MOTS-CLÉS : Classification morphologique, Méthode des nuées dynamiques, Système d'informations géographiques, Indicateurs morphologiques

KEYWORDS: Morphological classification, K-means clustering, Geographic information system, Morphologic indicators

1. Cadre de l'étude

La recherche urbaine en collaboration avec les acteurs de la ville tente d'apporter des réponses aux enjeux du développement durable. Des objectifs environnementaux sont exprimés au travers des documents guides. En France, dans le cadre de la loi Grenelle 1 et du plan climat national adopté en 2004, les plans climats-énergies territoriaux (PCET) ont vu le jour et sont désormais intégrés aux projets politiques des collectivités. Le PCET vise essentiellement deux objectifs [ADEME-09] :

- l'atténuation : il s'agit de limiter l'impact du territoire sur le climat en réduisant les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans la perspective du facteur 4¹ ;
- l'adaptation : il s'agit de réduire la vulnérabilité du territoire au changement climatique.

De nombreux aspects environnementaux sont directement liés à cette échelle intermédiaire du quartier. Nous pouvons citer entre autre l'optimisation environnementale et la gestion de la consommation énergétique par des « réseaux intelligents » ou encore la gestion alternative de l'eau pluviale. L'échelle spatiale du quartier apparaît ainsi idéale pour développer et évaluer de nouvelles stratégies d'aménagement dans le cadre des PCET. C'est donc une échelle privilégiée pour l'étude de problématiques environnementales comme la modélisation microclimatique urbaine ou le confort extérieur en milieu urbain. Encore faut-il pouvoir définir et identifier les quartiers. Selon les définitions d'usage, le terme quartier renvoie à une échelle spatiale, à une « division administrative de la ville » ou à une « partie de la ville ayant certaines caractéristiques ou une certaine unité » [Éditions Larousse 2009]. Le quartier sera défini pour nous comme une « unité spatiale homogène ».

Différentes typologies distinguent les quartiers : centres urbains, grands ensembles ou encore péri-urbain. La classification typologique repose sur la configuration du tissu urbain. Aussi dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à la description morphologique des villes. Dans un second temps nous nous intéressons à la délimitation du territoire en unités spatiales homogènes par une méthode automatique de classement morphologique, la méthode des nuées dynamiques. Pour que notre démarche reste la plus générique possible et qu'elle puisse s'appliquer à divers contextes urbains, nous travaillons à partir des bases de données géographiques de référence produites par l'Institut National Géographique (IGN). Nous mettons en place cette classification automatique dans le contexte urbain de l'agglomération nantaise. Les résultats sont présentés et discutés.

1. Engagement pris par la France dans le cadre du Grenelle de l'environnement visant à « diviser par un facteur 4 les émissions nationales de gaz à effet de serre du niveau de 1990 d'ici 2050 »

2. Analyse morphologique des tissus urbains

2.1. Loi de distribution des tailles des éléments urbains

L'observation de la ville montre qu'il existe une structure dans la hiérarchisation spatiale du tissu urbain. Entre deux échelles successives on retrouve un « facteur d'échelle », F_{ech} , invariant. Selon Salingaros ce facteur est situé entre 2 et 5 [SAL-11]. La ville de Nantes, par exemple, est divisée en 11 grands secteurs administratifs eux même subdivisés en en dizaine de quartiers [NAN-13]. D'après les données de la ville de Nantes, nous calculons un facteur d'échelle de 3 environ : le rayon moyen de la ville est de 4,5 km, celui des grands secteurs est de 1,5 km, la taille caractéristique d'un quartier administratif est de 500 m, etc.

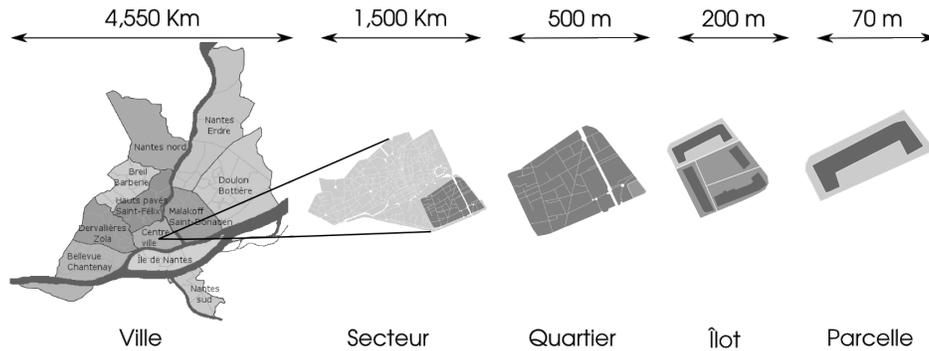


Figure 1. Unités spatiales et longueurs caractéristiques associées

Rangs	x [m]	p [unité]	Échelle spatiale
0	4550	1	Ville
1	1500	11	Secteur
2	500	119	Quartier
3	200	1300	Îlot
4	70	14200	Parcelle
5	20	154000	Logement

Salingaros a également identifié un modèle mathématique empirique de distribution en puissance inverse permettant de relier une échelle à un nombre d'unités. En pratique, on observe peu de composants de grande taille, quelques composants de taille intermédiaire et un grand nombre de composants de petite taille.

Tableau 1. Distribution des échelles à Nantes

C'est une loi caractéristique des systèmes présentant une invariance d'échelle, autrement nommée loi de Pareto. Mathématiquement, cela se traduit de la manière suivante :

$$px^m = C \longrightarrow p = C/x^m \quad (1)$$

Où p représente le nombre d'unités et x la longueur caractéristique de l'échelle considérée. C est une constante, m également, elle est souvent nommée indice de Pareto.

Pour Nantes, d'après les données administratives [NAN-13], nous avons déterminé ces constantes avec $C = 28$ et $m = 2,175$. Bien qu'empirique, cette première approche permet de se donner des ordres de grandeur sur la taille caractéristique des échelles et le nombre d'éléments à considérer (voir tableau 1).

2.2. Systèmes organisateurs du tissu urbain et bases de données

En 1984, l'architecte Daniel et l'urbaniste Borie, ont mis au point une méthode d'analyse morphologique [BOR-84]. Ils préconisent une décomposition du tissu urbain en quatre systèmes organisateurs :

- Le système parcellaire, système de partition du territoire en unité foncière, la parcelle. Le parcellaire fragmente le territoire.
- Le système voirie, système de liaison du territoire, c'est l'axe structurant.
- Le système bâti, ensemble des masses construites de la forme urbaine, quelles que soient leur fonction ou leur dimension.
- Le système des espaces vides, ensemble des parties non construites de la forme urbaine, que ces espaces soient publics ou privés.

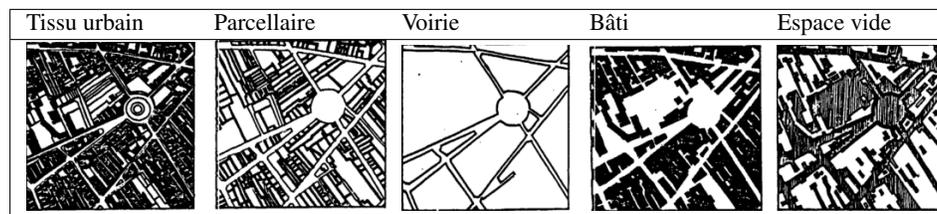


Tableau 2. Décomposition en systèmes - Paris : place de la Réunion [BOR-84]

Nous pouvons noter ici la complémentarité entre l'espace vide et le système bâti d'une part ; entre le système voirie et le système parcellaire d'autre part (voir le tableau 2). Le premier couple caractérise l'occupation du sol urbain, tandis que le second constitue le mode de distribution du territoire urbain. La distribution du territoire et s'exprime en deux dimensions alors que l'occupation du territoire est liée à la forme urbaine s'exprime en trois dimensions.

Développée par IGN, la base de donnée géographique BDTopo compartimente le territoire de la même manière. La BDTopo est produite à partir de photographies aériennes et est constituée de plusieurs couches d'informations thématiques (bâtiments, végétation, réseau routier, altimétrie, réseau hydrographique, entre autres). Elle fournit une information sur la nature des surfaces et donne une indication sur la volumétrie géoréférencée au travers d'une hauteur moyenne. Les objets sont représentés par des points, des polygones ou des polygones pour lesquels une altitude absolue est spécifiée.

2.3. Indicateurs morphologiques et unité spatiale de référence

Comment décrire la forme urbaine ? La densité est le paramètre couramment utilisé pour étudier les formes urbaines. Elle est définie comme un ratio où le dénominateur est la surface totale du territoire étudié, le numérateur peut prendre différentes valeurs : le nombre d'habitants, le nombre de logements, la surface du système bâti, *etc.* La densité bâtie caractérise l'intensité du bâti mais cet indicateur reste insuffisant pour décrire la morphologie urbaine et distinguer différentes typologies [BER-05]. Nous présentons dans le tableau qui suit les indicateurs utilisés dans notre étude.

Se pose également la question de « l'unité spatiale de référence » sur laquelle sera menée l'analyse morphologique préalable à la classification typologique. En parcourant la littérature, nous avons observé plusieurs méthodes de découpage du territoire : le découpage du territoire dans une grille contrainte [LON-05] ; les méthodes basées sur le réseau viaire et le découpage parcellaire ; les découpages statistiques ; la méthode des diagrammes de Voronoï [HAM-12]. Le découpage selon le réseau viaire permet de respecter l'organisation spatiale de la ville et l'agencement des bâtiments ce qui n'est pas le cas dans le cas d'un découpage dans une grille où les bâtiments sont coupés par le maillage. Cette discrétisation nous permettra d'identifier notre unité spatiale de référence que nous nommerons « îlots viaires ». Quelle que soit la méthode de découpage, les paramètres explicités dans le tableau 3 sont calculés pour chaque unité spatiale de référence qui se voit ainsi affecter plusieurs attributs (densité du bâti, surface de la parcelle ou encore taux de végétation).

3. Classification des tissus urbains

3.1. Méthode des nuées dynamiques et application sur le territoire nantais

Pour déterminer la typologie des îlots viaires, nous choisissons une méthode de classification automatique, la méthode des nuées dynamiques [DID-71]. Un algorithme de classification non hiérarchique permet d'opérer des regroupements en classes homogènes : une partition initiale des données est effectuée puis elle est modifiée afin d'obtenir une meilleure partition qui révèle la structure naturelle des données. k points sont spécifiés comme étant les centres des k classes. La distance euclidienne entre chaque élément et les centres est calculée. Les éléments sont assignés à la classe dont le centre est le plus proche. Les centres de chaque classe sont recalculés et la procédure est répétée jusqu'à ce que l'algorithme converge vers une position stable. La méthode des nuées dynamiques impose à l'utilisateur de définir les centres des classes initiales et le nombre de classes. Pour déterminer le centre des classes, plusieurs méthodes existent dans les logiciels permettant le traitement statistique (MATLAB, SCILAB par exemple). En revanche, il n'existe pas de méthode particulière pour définir le nombre de classes, des tests préalables permettront tout au plus d'estimer le nombre de classes représentatif de la distribution des paramètres statistiques.

Tableau 3. Indicateurs morphologiques

Id	Indicateur	Description	Entrée	Sorties
H_{MOY}	Hauteur moyenne des bâtiments [LON-05]	Chaque hauteur de bâtiments (H_{BATI}) est pondérée par sa surface (S_{BATI}). La somme obtenue est rapportée à surface totale de bâtiments contenus dans l'unité de référence.	H_{BATI} S_{BATI}	$H_{MOY} = \frac{\sum(H_{BATI} * S_{BATI})}{\sum S_{BATI}}$
P_{MOY}	Périmètre moyen des bâtiments [LON-05]	Le périmètre moyen des bâtiments est la somme des périmètres des bâtiments contenus dans l'unité de référence rapporté au nombre de bâtiments (N_{BATI}).	N_{BATI} P_{BATI}	$P_{MOY} = \frac{\sum(P_{BATI})}{N_{BATI}}$
V_{MOY}	Volume moyen des bâtiments [LON-05]	Le volume moyen des bâtiments résulte du produit entre la surface bâtie (S_{BATI}) et la hauteur (H_{BATI}). La somme des volumes contenu dans l'unité de référence puis divisée par le nombre de bâtiment (N_{BATI}).	N_{BATI} H_{BATI} S_{BATI}	$V_{MOY} = \frac{\sum(H_{BATI} * S_{BATI})}{N_{BATI}}$
C_{MOY}	Compacité moyenne des bâtiments [LON-05]	La compacité caractérise la forme des bâtiments et les surfaces d'échange en jeux. C'est le rapport entre la somme des surfaces d'enveloppe extérieures et le volume total des bâtiments.	P_{BATI} H_{BATI} S_{BATI}	$C_{MOY} = \frac{\sum(H_{BATI} * P_{BATI})}{\sum(H_{BATI} * S_{BATI})}$
GSI CES D_{BATI}	Densité surfacique des bâtiments [LON-05]	Somme des surfaces bâties (S_{BATI}) à l'intérieur de l'unité de référence rapporté à la surface de référence (S_{REF}).	S_{BATI} S_{REF}	$D_{BATI} = \frac{\sum(S_{BATI})}{S_{REF}}$
D_{VEG}	Densité surfacique de végétation [LON-05]	Somme des surfaces végétales (S_{VEG}) à l'intérieur de l'unité de référence rapporté à la surface de référence (S_{REF}).	S_{VEG} S_{REF}	$D_{VEG} = \frac{\sum(S_{VEG})}{S_{REF}}$
D_{ROUTE}	Densité surfacique des routes [LON-05]	Somme des surfaces routières (S_{ROUTE}) à l'intérieur de l'unité de référence rapporté à la surface de référence (S_{REF}).	S_{ROUTE} S_{REF}	$D_{ROUTE} = \frac{\sum(S_{ROUTE})}{S_{REF}}$
N_{BMOY}	Nombre moyen de bâtiments [LON-05]	Nombre de bâtiments dans l'unité de référence.	N_{BATI} S_{REF}	$N_{BMOY} = \frac{\sum(N_{BATI})}{S_{REF}}$
S_{VIDE}	Surface de l'espace vide [LON-05]	C'est la différence entre la surface de l'unité de référence S_{REF} et la somme des surfaces des bâtiments S_{BATI} .	S_{BATI} S_{REF}	$S_{VIDE} = S_{REF} - \sum(S_{BATI})$
P_{VIDE}	Périmètre de l'espace vide [LON-05]	C'est la somme des périmètres de l'unité de référence (P_{REF}) et des périmètres des bâtiments P_{BATI} à laquelle est soustrait l'intersection des polygones communes.	P_{BATI} P_{REF}	$P_{VIDE} = P_{REF} + \sum(P_{BATI}) - 2(P_{BATI} \cap P_{REF})$
E_{BMOY} W	Espacement moyen entre bâtiments [LON-05]	La surface de l'espace vide est assimilée à un rectangle. Connaissant le périmètre P_{VIDE} et la surface S_{VIDE} de ce rectangle il est alors possible d'en déduire sa largeur d'après la formule ci-contre.	P_{VIDE} S_{VIDE}	$\frac{E_{BMOY}}{\frac{P_{VIDE}/2 - \sqrt{P_{VIDE}^2/4 - 4S_{VIDE}}}{2}} =$

Utilisée par Long [LON-05], cette méthode de classification automatique a été récemment éprouvée sur le territoire nantais par Rousseaux [ROU-12]. Neuf indicateurs ont été sélectionnés pour l'analyse morphologique. Ces paramètres sont classés en trois groupes : les indicateurs liés à la morphologie des bâtiments (volume, surface, hauteur, compacité), liés à l'occupation du sol (densité du bâti, densité de végétation, densité de surfaces routières) et les paramètres liés à l'agencement des bâtiments (es-

pacement moyen et nombre de bâtiments). Les neuf paramètres sont calculés sur une grille régulière de 29 746 mailles sur le territoire de Nantes Métropole. La résolution des mailles est de $200\text{ m} \times 200\text{ m}$. La méthode des nuées dynamiques a permis de mettre en évidence cinq structures urbaines. Le résultat de la classification est ensuite rapporté par interpolation sur un découpage de l'espace en agrégation de parcelles cadastrales. À partir de la BD Topo, l'ensemble des zones d'activités recensées sur la zone d'étude est ajouté afin de préciser l'occupation de certaines structures. Les six structures urbaines retenues correspondent donc à la carte présentée ci-dessous (voir figure 2).

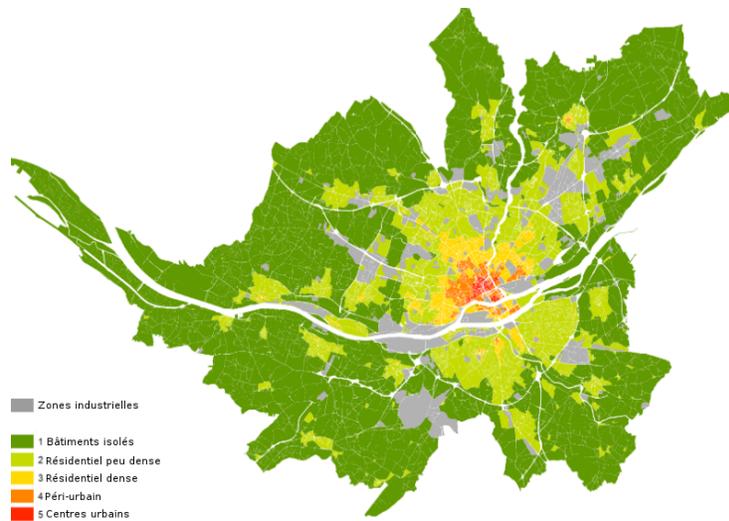


Figure 2. Carte des structures urbaines de Nantes Métropole en six typologies [ROU-12]

3.2. Méthodologie pour l'identification des unités spatiales homogènes

Nous adoptons une démarche similaire pour identifier les unités spatiales homogènes, les quartiers. La majeure différence entre notre approche et celle de Rousseaux réside dans le découpage du territoire selon le réseau viaire. Les îlots viaires possédant la même classe typologique seront agrégés en unités spatiales homogènes. Nous proposerons un critère dimensionnel sur ces unités spatiales homogènes afin de se rapprocher de la « taille caractéristique d'un quartier » (voir tableau 1). La figure 3 illustre notre méthodologie. Cette méthode de classification sera implémentée dans le système d'information géographique (SIG) développé au sein de l'Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville (IRSTV) : ORBISGIS [ORB-13]. À l'issue de cette chaîne de pré-process, nous obtiendrons un découpage de la communauté urbaine de

Nantes en unités spatiales homogènes auxquelles seront affectés différents attributs dont la classe typologique et les indicateurs morphologiques produits.

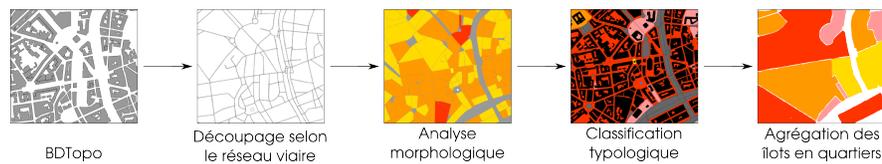


Figure 3. *Étapes de l'identification des unités spatiales homogènes à partir des bases de données géographiques*

3.3. Résultats et discussions

La méthode des nuées dynamique décrite plus haute impose deux choix à l'utilisateur : le nombre de classe et la position initiale des centres des classes. Ces deux critères influent beaucoup sur la qualité des résultats. Nous allons ici préciser les méthodes qui peuvent être employées pour initialiser la classification par la méthode des nuées dynamiques. Concernant la position des centres initiaux il existe plusieurs méthodes :

- Choix "sample" : k observations sont prises au hasard dans la matrice (îlots, indicateurs) et définis comme les centres initiaux
- Choix "uniform" : k observations sont prises à intervalles réguliers dans la matrice (îlots, indicateurs) et définis comme les centres initiaux
- Choix "cluster" : une première classification est réalisée en prenant 10% de la matrice (îlots, indicateurs)

D'après les travaux de Nathalie Long, nous retenons le choix sample qui s'avère le plus approprié dans une étude de classification morphologique [LON-05]. Il y aurait aussi la possibilité à l'utilisateur de définir les centres. Concernant la détermination du nombre de classe il existe deux méthodes. La première consiste à représenter la somme des écarts types d'une variable en fonction du nombre de classe. Lorsque la somme des écarts type n'évolue plus et qu'il se forme un palier on estime les nouvelles classes créées n'apportent plus d'information. Il possible aussi de calculer le rapport de la variance intra-classe sur la variance totale en fonction du nombre de classe. Le rapport entre la variance intra-classe et la variance totale vaut 1 quand on a une seule classe puis diminue lorsque le nombre de classe augmente. On peut alors supposer que le nombre de classe est optimum quand le rapport n'évolue plus ou change de sens.

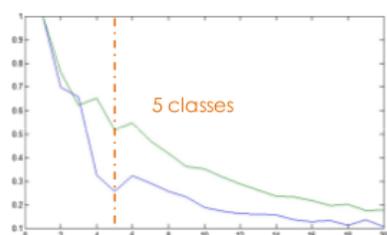
Nous avons observé différents cas d'études en modifiant le jeu d'indicateurs en entrée de la méthode des nuées dynamiques. Les classes obtenues sont cartographiées pour une meilleure interprétation. Au total, dix cas ont été proposés, nous ne pouvons pas les décrire ici par soucis de concision. Nous présentons dans la page qui suit la classification qui nous a semblé la meilleure dans cette étude.

Indicateurs en entrée de la méthode :

Id	Espérance	Variance	Écart type
H_{MOY}	8.3	25.8	5.1
D_{BATI}	0.20	0.02	0.15

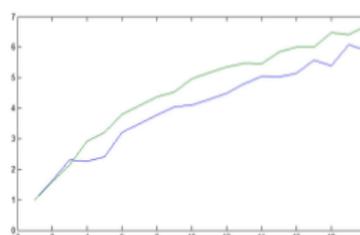
Détermination du nombre de classe :

Rapport de la variance intra-classe sur la variance totale en fonction du nombre de classes



Vert : hauteur moyenne / Bleu : Densité bâtie

Somme des écarts types en fonction du nombre de classes



Vert : hauteur moyenne / Bleu : Densité bâtie

Centres des classes :

Id	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
H_{MOY}	9.6	6.2	5.5	17.6	18.1
D_{BATI}	0.36	0.2	0.06	0.21	0.56
Interprétation	Péri-urbain	Résidentiels denses	Résidentiels épars	Grands ensembles	Centres urbains

Tableau 4. Présentation du cas retenu

Finalement, avec seulement deux indicateurs d'entrée, la densité bâtie et la hauteur moyenne des bâtiments, nous obtenons des résultats plus précis sur la définition des classes. Cinq structures urbaines ont pu être identifiées correspondant à des architectures spécifiques : le résidentiel épars, le résidentiel dense, le péri-urbain, le centre urbain et les grands ensembles (voir figure 4). La répartition de ces structures urbaines représente bien le contexte urbain de l'agglomération nantaise. La grande simplicité de cette classification va nous permettre de mettre en place des indicateurs à destination de la collectivité. L'agence d'urbanisme de l'agglomération nantaise et particulièrement l'observatoire des formes urbaines est intéressé par ce type d'outil pour enrichir la connaissance du territoire nantais et développer des politiques d'aménagement spécifiques à chaque typologie de quartier. Pour notre étude, nous allons chercher à affiner cette classification en identifiant des sous-structures au sein de ces cinq classes.

Malgré la pertinence de cette classification nous souhaitons apporter deux remarques. La première concerne la méthode de découpage selon le réseau viaire qui induit

des effets de bords dans les zones peu maillées par le réseaux routier. Ainsi, nous observons des bâtiments de type grands ensembles regroupés avec du habitation de type résidentiel sur une très grande surface sur la rive droite de l'Erdre. L'autre remarque concerne la qualité des données géographiques. Lors de notre étude en comparant avec le terrain, nous nous sommes rendus compte que certains bâtiments n'étaient pas présents dans la BDTopo. D'autre part, la couche de végétation, n'est pas représentée avec la même précision sur toute l'agglomération. Les zones végétales abondent le long de l'Erdre et de la Loire et dans le centre ville mais elles sont moins représentées au niveau des zones agricoles. Ce manque de précision est problématique pour identifier certaines structures urbaines comme les grands ensembles qui sont caractérisés par de grands espaces verts. A l'inverse, les zones industrielles ou commerciales très minérales pourraient être identifiées de cette manière.

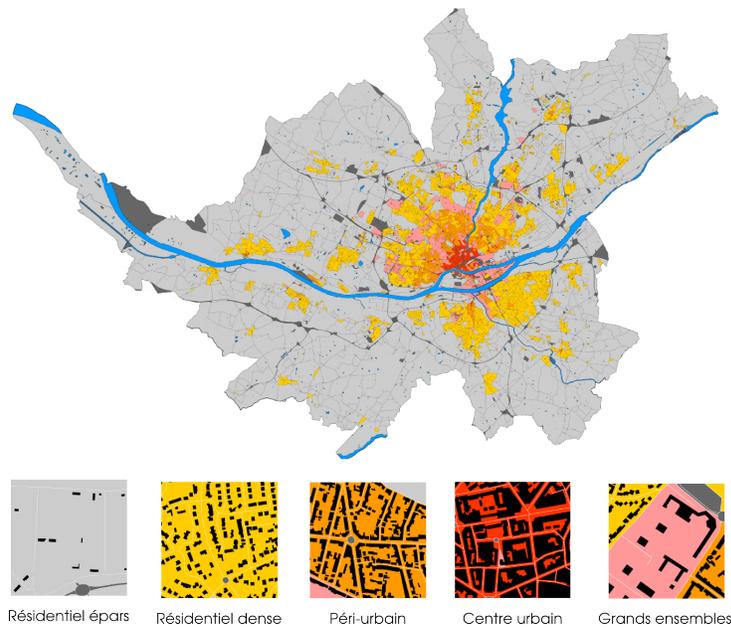


Figure 4. Cartographie des résultats en cinq structures urbaines sous ORBISGIS

4. Conclusions

Nous décrivons une méthode de classification basée sur l'analyse morphologique des tissus urbains. Nous automatisons le processus de manière à l'appliquer à divers contextes urbains avec robustesse. Aussi, nous avons pris le parti de mener cette analyse à partir de données réelles représentatives de la configuration du territoire. L'intérêt de notre approche repose sur le choix de l'unité de référence sur laquelle sont calculés les indicateurs morphologiques : les flots viaires qui respectent l'agencement des bâtiments et structure spatiale de la ville.

Les résultats obtenus à l'issue de notre étude permettent d'extraire des quartiers directement à partir des données géographiques. Des fonctions de modéleur sont implémentées dans ORBISGIS, les bâtiments peuvent être extrudés jusqu'à leur hauteur. Cette étape de pré-traitement pourra enrichir la modélisation des quartiers dans les modèles de simulation numérique propre au monde de l'ingénierie urbaine tels que les modèles hydriques, les modèles thermo-radiatifs, les modèles aérauliques ou encore les modèles de propagation accoustique en milieu urbain. Plus largement, notre démarche permettra de produire des indicateurs morphologiques d'évaluation exploitables par les collectivités. Enfin, dans le cadre de la poursuite de nos travaux, ces résultats apporteront un point de départ pour la création d'un modèle microclimatique adapté à l'« échelle du quartier ». Des questions restent néanmoins en suspens à ce jour comme la détermination du nombre de classes représentatif ou encore la documentation des tissus urbains dans la BDTopo.

5. Bibliographie

- [ADEME-09] CENTRE DE RESSOURCE POUR LES PLANS CLIMAT-ÉNERGIE TERRITORIAUX, « Construire et mettre en oeuvre un PCET », rapport de l'ADEME, 2009.
- [ADO-01] ADOLPHE, L., « A simplified model of urban morphology : application to an analysis of the environmental performance of cities », *Environment and Planning B : Planning and Design*, vol. 28 p. 183-200, 2001.
- [BER-05] BERGHAUSER PONT, M. AND HAUPT, P., « The Spacemate : density and the typomorphology of the urban fabric », *Nordic journal of architectural research*, vol. 4, p. 55-68, 2005.
- [BOR-84] BORIE, A. AND DENIEUL, F. AND UNESCO, *Méthode d'analyse morphologique des tissus urbains traditionnels*, Unesco, Etudes et documents sur le patrimoine culturel , 1984.
- [DID-71] DIDAY, E., « Une nouvelle méthode en classification automatique et reconnaissance des formes la méthode des nuées dynamiques », *Revue de Statistique Appliquée*, vol. 19, p. 19-33, 1971.
- [HAM-12] HAMAINA R., LEDUC T. AND MOREAU G. « Towards urban fabrics characterization based on buildings footprints » *Bridging the Geographic Information Sciences*, 2012.
- [LON-05] LONG, N. AND KERGOMARD, C., « Classification morphologique du tissu urbain pour des applications climatologiques », *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 15, p. 487-512, 2005.
- [NAN-13] SITE DE LA VILLE DE NANTES, « [url=http://www.nantes.fr/ville-pratique/cartographie-des-quartiers&title=Les 11 quartiers de la ville de Nantes](http://www.nantes.fr/ville-pratique/cartographie-des-quartiers&title=Les%2011%20quartiers%20de%20la%20ville%20de%20Nantes) », 2013.
- [ORB-13] SITE DU LOGICIEL OPEN SOURCE ORBISGIS, « [url=http://www.orbisgis.org/](http://www.orbisgis.org/) », 2013.
- [ROU-12] ROUSSEAU, F. AND LONG, N., « Vers une simulation de l'évolution des structures urbaines à partir d'une modélisation multi-agents », *Vertigo*, vol. 11, 2012.
- [SAL-11] SALAT, S., *Les villes et les formes : Sur l'urbanisme durable*, Hermann , 2011.