



HAL
open science

TRAITEMENT DES DONNÉES GEOMETRIQUES POUR LA SIMULATION DES PHENOMENES PHYSIQUES DES AMBIANCES URBAINES

Philippe Woloszyn, Dominique Groleau

► **To cite this version:**

Philippe Woloszyn, Dominique Groleau. TRAITEMENT DES DONNÉES GEOMETRIQUES POUR LA SIMULATION DES PHENOMENES PHYSIQUES DES AMBIANCES URBAINES. Données urbaines, 3, Anthropos, pp.387-396, 2000, Collection Villes, 2-7178-4071-0. halshs-04252381

HAL Id: halshs-04252381

<https://shs.hal.science/halshs-04252381v1>

Submitted on 20 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

TRAITEMENT DES DONNEES GEOMETRIQUES POUR LA SIMULATION DES PHENOMENES PHYSIQUES DES AMBIANCES URBAINES

Dominique Groleau
Laboratoire CERMA, Ecole d'Architecture de Nantes
Rue Massenet, 44300 Nantes, France
Tél 02 40 59 43 24/ Fax 02 40 59 11 77
M.él: groleau@cerma.archi.fr

Philippe Woloszyn
Laboratoire CERMA, Ecole d'Architecture de Nantes
Rue Massenet, 44300 Nantes, France
Tél 02 40 59 43 24/ Fax 02 40 59 11 77
M.él: woloszyn@cerma.archi.fr

« Nous ne raisonnons que sur des modèles », disait Paul Valéry, sous-tendant ce processus particulier qui nous renvoie des *représentations artificielles et symboliques* à ce que l'on construit tout d'abord « dans sa tête ».

LA MODELISATION ET LA SIMULATION EN MILIEU URBAIN

Modèle, modélisation et simulation

Le modèle, système artificiel d'agencement des symboles, est issu d'un *processus de schématisation* sélectionnant un certain nombre de *propriétés* de l'environnement, afin d'en constituer un *simulacre*, c'est à dire un tout présentant la même structure de fonctionnement, à un certain niveau d'abstraction de l'objet ou du phénomène causal. En d'autres termes, le modèle se définit comme « un système artificiel homomorphe à un système réel donné », répondant aux lois de comportement données par l'explication structurale du phénomène modélisé : c'est la *fabrication du simulacre*.

Nous constatons donc que ces notions de « modèle » et de « simulation » sont étroitement liées : on pourra dire que la simulation est *l'expression finalisante du processus de fonctionnement* du modèle ; c'est le *moteur* du simulacre. Ce *principe téléologique* de l'élaboration du modèle le définit bien comme un *ensemble d'éléments en interaction*, un *système* possédant des modalités propres d'organisation, d'information et de fonctionnement.

Constats et exigences propres à la modélisation et à la simulation urbaine:

L'action de modéliser la ville présente de nombreuses spécificités, au vu des particularités propres aux processus urbains. Ceux-ci se caractérisent notamment :

- Par des phénomènes temporels et spatiaux : l'espace urbain se modifie continuellement au gré de ses aménagements, de ses transformations et de ses extensions successives. Sa géométrie se transforme, mais ses propriétés peuvent également varier au cours du temps (la pierre blanche qui se dégrade, les couleurs qui s'altèrent...). De même, les phénomènes physiques et naturels, comme le vent, la lumière, le soleil, le son font l'objet de variations instantanées, diurnes ou saisonnières. Les interactions entre les deux sont donc éminemment complexes ce qui amène bien souvent à considérer la ville comme géométriquement stable en l'analysant à un moment ou à une époque donnée.

- Par la nécessité d'une simplification: notamment quand elle a pour but la compréhension des phénomènes en jeu, la simulation implique une procédure de réduction de la complexité urbaine pour n'en retenir que les éléments significatifs. C'est ainsi que l'architecture de la ville n'est souvent réduite qu'à la seule volumétrie du bâti, et le bâtiment à un simple parallélépipède, les données associées à celle-ci étant généralement très sommaires et approximatives. Cette réduction n'entraîne pas nécessairement une simulation sans valeur; mais permet une identification claire des mécanismes en jeu et fournit des corrélations intéressantes entre la ville et son environnement.
- Par la nécessité d'une bonne interprétation: notre connaissance n'est pas reflet du réel mais transformation et traduction du réel. Le souci de simplifier implique une procédure d'interprétation des données du réel, qui nécessite toutefois une bonne connaissance du milieu urbain et du phénomène physique analysé. Les outils de simulation sont heureusement de plus en plus accessibles à un large public de professionnels, mais celui-ci est rarement au fait des subtilités de la manifestation physique à modéliser ou des hypothèses de calcul.
- Par une nécessaire adéquation entre phénomène physique et modèle géométrique support de la morphologie urbaine. La modélisation du phénomène physique risque de constituer une « boîte noire » pour l'utilisateur qui n'interfère avec ce modèle qu'au travers de sa maquette géométrique de la ville ou de son fragment urbain et des résultats produits par la simulation. Un minimum de connaissances sur les limites du modèle numérique utilisé pour simuler le phénomène, sur ses hypothèses de calcul, son degré de précision, son champ d'application et les données qu'il traite devrait faciliter la constitution de la maquette géométrique. Par ailleurs, les modeleurs géométriques courants non spécialisés ne sont généralement pas adaptés aux applications ou aux types de modélisations envisagées et produisent parfois des distorsions ou des impossibilités pour la simulation. Pour certaines applications, en mécanique des fluides, par exemple, le recours à des modeleurs spécifiques est recommandé afin de respecter certaines contraintes de saisie et d'organisation des données géométriques.
- Par l'identification du problème à résoudre : savoir *pourquoi* simuler constitue la contrainte initiale majeure pour assurer une bonne adéquation entre le modèle géométrique et la simulation à exécuter. Cependant, il arrive que la maquette géométrique préexiste à la simulation, celle-ci ayant été réalisée avec d'autres objectifs que ceux relatifs aux intentions initiales du modélisateur. Cette maquette préexistante est, en général, invalide pour une modélisation « directe » du phénomène physique et il convient, de ce fait, de la modifier, voire de la recréer intégralement.
- Enfin, par la prise en compte des limites d'influence du domaine considéré: elle est fondamentale pour l'exécution de la maquette numérique, le résultat de la simulation étant fonction à la fois des conditions initiales du phénomène physique incriminé et des conditions aux limites du domaine « spatial » de calcul sur la forme urbaine en interaction. Dans tous les cas, des choix s'avèrent nécessaires pour quantifier et qualifier l'étendue et le type d'un secteur d'analyse (la zone urbaine, la ville, un quartier, un fragment de ville), fixant l'échelle de détail ou le type de géométrie associé à la forme urbaine étudiée.

Pour toutes ces raisons, il n'existe pas, dans le domaine de la ville, de données toutes prêtes à l'emploi, universelles, applicables en toutes circonstances. Des sources de données urbaines existent, mais il sera nécessaire d'y appliquer les opérations de traitement d'image ou de transformation géométrique pour y opérer la simulation d'un phénomène physique.

Les sources de données urbaines

Les données sur la ville sont nombreuses et variées. Nous nous limiterons cependant à celles qui permettent de reconstituer la volumétrie des espaces de la ville. En effet, la distribution des espaces construits et non construits, leur hiérarchie et la topologie du site sont les éléments essentiels de la mise en relation entre espaces urbains et paramètres d'ambiance.

En principe, les sources qui contiennent les informations susceptibles d'aider à la modélisation de la ville sont d'origine diverses: cartes, photographies, bases de données, croquis, images, maquettes, données satellitaires... Elles permettent de couvrir un large champ pour la reconstitution, mais nécessitent un recours à des supports divers et des traitements spécifiques pour harmoniser leur description. Le degré de précision de chacun de ces types de données est par ailleurs variable et la question de leur validité et de leur fiabilité reste cruciale.

Pour analyser la ville à certaines dates clés de son histoire et de son développement, il paraît nécessaire d'avoir recours à ce type varié de sources pour la reconstitution de l'environnement des villes à travers l'histoire.

Certaines données spécifiques de la ville peuvent être obtenues à partir de traitement des images satellitaires ; ces données concernent par exemple l'occupation du sol, l'albédo, la pollution et peuvent être mises en relation avec les types d'organisation ou de structure de la ville.

Cependant, pour reconstituer les environnements existants, et plus particulièrement les données volumétriques du bâti et du sol, les sources de données fiables et couvrant des territoires conséquents en taille demeurent limitées. Elles sont pour la plupart sous la responsabilité d'organismes publics ou parapublics comme l'IGN ou les services techniques des villes. Ce type de sources constituent, pour nos applications liées à l'analyse environnementale urbaine, la matière première pour reconstituer la ville actuelle. Au delà, elles semblent bien s'accorder à d'autres applications qui relèvent davantage de l'analyse urbaine classique (insertion de projets, analyse typologique des formes urbaines, visualisation, étude des densités...). Elles paraissent par ailleurs pouvoir s'intégrer dans des bases de données de type SIG, permettant tout à la fois la gestion urbaine, son analyse et sa représentation.

Généralités sur les bases de données numériques urbaines

Avant d'examiner succinctement certaines d'entre elles parmi les sources numériques d'information géographique urbaine, il paraît utile de donner quelques informations générales sur ces bases de données [Belchun 94] :

- l'information sur un territoire possède deux caractéristiques principales, son descripteur (une variable avec sa valeur) et la position dans son espace géographique ; on peut y ajouter parfois le temps.
- le repérage géographique est soit 2D (repère plan en coordonnées Lambert par exemple), soit 2D1/2, quand l'altitude au-dessus d'un plan de référence est utilisé, soit 3D, quand les coordonnées des objets sont données dans les 3 dimensions.
- les formats d'échanges sont généralement codifiés mais peuvent être très variés, et être spécifiques de l'application qui les gèrent.
- les données géographiques sont représentées suivant deux modes : le mode matriciel (suivant un quadrillage ou une grille comme sur un écran), le mode vecteur en utilisant des lignes ou zones polygonales. Le mode matriciel tend à représenter tout l'espace ; c'est ainsi que sont représentées les données issues de la télédétection satellitaire (chaque carré de l'image représente une longueur d'onde). Dans le mode vecteur, ce sont les objets qui sont représentés (le volume d'un bâtiment par exemple).

- les données numériques sont organisées sous des formes plus ou moins structurées, allant d'un simple fichier de données en ASCII jusqu'à des formes plus organisées comme dans les systèmes d'information géographique (SIG).

- les bases de données peuvent être établies de manières différentes. Les informations peuvent provenir de photos aériennes qui constituent une source intéressante vis à vis de l'occupation du sol, d'images satellitaires (SPOT par exemple) qui présentent l'avantage de pouvoir constituer des données variables dans le temps, mais aussi de données produites et gérées par des organismes divers constituant des inventaires, des levés de terrain, des bases de données comme celles du cadastre numérique.

Quelques bases de données numériques

Les quelques bases de données numériques que nous présentons succinctement ont déjà fait l'objet d'applications spécifiques au CERMA ou sont en cours d'utilisation pour des projets spécifiques : les fichiers TRAPU de l'IGN (qui malheureusement ne sont plus constitués), les fichiers BD CARTO et BD TOPO de l'IGN, Corine-Land Cover, et le cadastre numérique.

- TRAPU Détaillé (de l'IGN) : Conçu à l'origine pour le tracé de perspectives urbaines, les fichiers ASCII de TRAPU décrivent en 3 dimensions le bâti, la voirie, la végétation et le sol, y compris l'hydrographie. Les données géométriques sont obtenues en 3D par photo interprétation stéréoscopique. Les volumes sont numérisés en polyèdres convexes, chaque facette étant saisie tour à tour, avec une très grande précision.

- TRAPU Allégé (de l'IGN) : à la différence du précédent, les bâtiments sont constitués comme des prismes (avec toiture en terrasse prise au niveau des gouttières) ; un MNT (modèle numérique de terrain) est fourni avec la base.

- TRAPU Simplifié (IGN, CENT) : il résulte d'un contrat entre l'IGN et France Telecom, mais comporte les informations en 2D1/2 seulement pour le contour du bâti, les cours d'eau, la végétation, l'axe des rues. Les bâtiments isolés sont représentés seulement par leur classe de surface au sol et une localisation géographique plane.

- BD TOPO (de l'IGN) : Conçu au départ pour la production automatique de cartes au 1/25000, l'objectif prioritaire est la fourniture de données structurées utilisables sur des systèmes de type modéleur géométrique ou SIG comme ArcView, MapInfo ou Autocad. La BD TOPO contient donc plusieurs thèmes (couches) d'informations comme les voies de communication, l'hydrographie, des limites diverses, les bâtiments et équipements divers et le relief. Les bâtiments sont représentés par leur contour et leur altitude, cote NGF, prise au niveau des gouttières (2D1/2). Afin de valoriser l'usage de BD TOPO, l'IGN envisage la création de produits dérivés ou de nouvelles données s'appuyant en partie sur les informations existantes dans la base.

-BD CARTO (de l'IGN) : elle est spécifiquement une base de données 2D structurée qui contient plusieurs thèmes dont l'occupation et l'usage du sol formant une partition totale du territoire mais suivant un découpage sommaire.

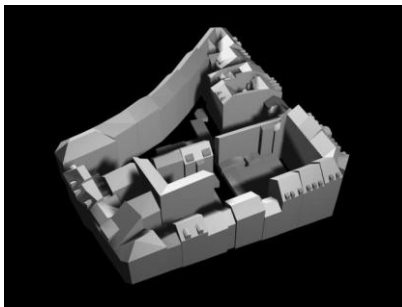
- Corine-Land Cover : produit d'un programme européen, il vise la mise en place d'un système d'information sur l'état de l'environnement au sein de la communauté européenne. Ce projet met en place une base de données géographiques fondées sur la notion d'écozone, suivant une nomenclature européenne établie hiérarchiquement sur 3 niveaux et dont le niveau supérieur comporte 5 postes ; parmi ceux-ci, celui des territoires artificialisés qui ne permet toutefois pas une approche suffisante de la volumétrie urbaine.

- Images SPOT : images satellitaires, utilisables pour des analyses spécialisés d'un territoire urbain [Weber 95]. Ces données sont couramment utilisées pour distinguer les différents types d'utilisation de sol à partir de leur signal spectral. Pour les exploiter à

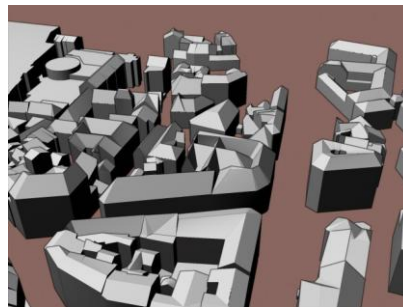
des fins de re-présentation des zones construites, il est au préalable nécessaire de discriminer les classes de texture relatives à l'affectation fonctionnelle du sol urbain.

- Modèle Numérique d'Élévation MNE (IGN) : projet en cours de mise au point qui doit se substituer aux données TRAPU, permettant d'évaluer automatiquement les altitudes à partir de photos aériennes numérisées, et de restituer les volumétries et les géométries des objets de l'environnement urbain. Ce modèle numérique d'élévation est constitué d'une grille raster avec une altitude pour chaque point de l'image numérique.

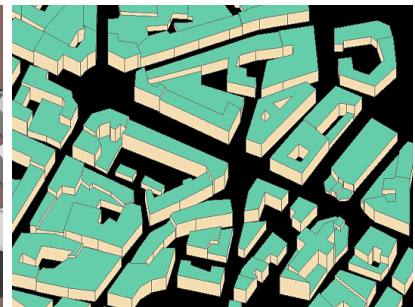
- Exploitation du cadastre et des plans du Secteur Sauvegardé de Nantes : ce travail est entrepris, en l'absence de données correspondantes, pour constituer une maquette d'un secteur ancien de la ville de Nantes afin d'en permettre la simulation aérodynamique (projet URBCAP de la FR73 Physique et Images de la Ville). Le cadastre numérisé disponible sur Autocad fournit les emprises en 2D des parcelles et des bâtiments au sol en coordonnées Lambert. Les plans du secteur sauvegardé tracés au 1/500 contiennent le repérage d'un relevé altimétrique du sol et des points significatifs des toitures. L'utilisation conjointe de ces deux sources d'informations, complétée par des données issues d'une photo aérienne du site, permet de reconstituer les volumes des constructions avec leur toitures. La volumétrie correspondante est alors montée comme une couche supplémentaire du cadastre sur Autocad, tandis qu'une base de données d'informations est construite sous Access. Bien évidemment, ce travail reste ponctuel et ne peut être généralisé. Il traduit cependant un manque certain dans l'offre de bases de données volumétriques.



TRAPU 3D



Cadastre et Secteur Sauvegardé



TRAPU 2D1/2

Différents types de reconstitution de la volumétrie urbaine

RECUPERATION ET TRANSFORMATIONS DES DONNEES GEOMETRIQUES URBAINES

La modélisation géométrique peut être réalisée pour simuler un paramètre physique particulier comme le vent ou le soleil ou étudier un phénomène comme celui des échanges thermiques, la distribution des températures ou la caractérisation des champs de propagation acoustique. Il est en outre possible de caractériser un paramètre morphologique du tissu urbain en relation avec un facteur d'ambiance comme la répartition des albédos ou la distribution des rugosités. A chaque application correspond une modélisation particulière. Les trois applications présentées ci-après permettent d'illustrer la phase de récupération et de constitution des modèles géométriques de la ville.

La simulation de l'ensoleillement et de l'éclairage avec SOLENE : contraintes de modélisation

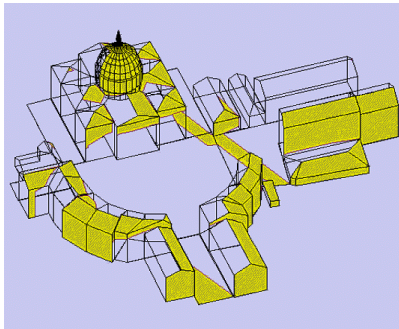
Parce qu'elle sollicite notre sens le plus développé (la vue), la lumière naturelle est l'un des phénomènes les plus caractéristiques des ambiances. Les recherches du Laboratoire CERMA dans ce domaine ont conduit au développement d'un outil logiciel de simulation baptisé *Solène* [Péneau 89, Groleau et Marenne 92, 95, Miguet 96]. Cet outil permet

aujourd'hui de simuler l'éclairage direct et diffus des scènes urbaines, d'un point de vue lumineux ou énergétique.

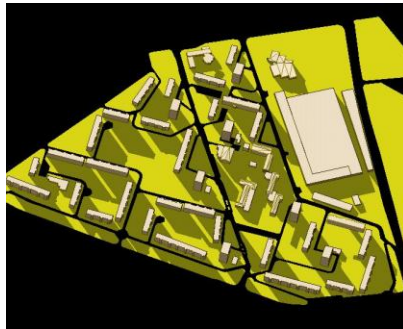
Le modèle de simulation d'ensoleillement mis au point dans *Solène* utilise les procédures classiques de la modélisation géométrique (opérations booléennes) et de la synthèse d'image pour le tracé des ombres et la détermination des périodes d'ensoleillement. Ces résultats permettent d'extraire des indices pertinents du point de vue de l'éclairage direct (durées d'ensoleillement, localisation spatiale) et de l'énergétique (apports solaires). Le croisement de ces résultats permet de constituer une base de données d'ensoleillement de l'environnement urbain considéré. De cette base peuvent être extraites et croisées de multiples informations lumineuses et énergétiques.

Les contraintes de la modélisation dans *Solène* résultent :

- Des procédures utilisées pour résoudre des problèmes de visibilité entre facettes qui reposent sur des algorithmes basés sur des opérations géométriques: les faces doivent être polygonales et planes.
- De la récupération de fichiers géométriques d'origines diverses comme Arc+, AutoCad, 3DS, constituant autant de formats, de modes de modélisation pour constituer les géométries, de fichiers d'import donc autant de transformations, de tests et corrections pour appliquer correctement les procédures *Solène*.
- Des contraintes spécifiques à l'exploitation géométrique qui impose un jeu de données par facettes, sans intersection, sans superposition, avec une normale "bien" orientée et un nombre "juste" de facettes (un niveau de détail) par rapport à la simulation envisagée.



Découpage Ombre/Soleil



Tracé d'ombre



Durée d'ensoleillement

L'analyse géométrique de la rugosité : constitution des données géométriques

L'étude de l'aérodynamique au dessus d'une ville fait intervenir un domaine de calcul dont l'extension au sol est de l'ordre de la dizaine de kilomètres. La hauteur caractéristique du bâti étant de l'ordre de la dizaine de mètres, il existe une différence trop importante entre ces échelles pour pouvoir traiter le problème directement. La description précise du bâti est alors remplacée par un modèle reproduisant les mêmes effets sur l'écoulement au dessus du site urbain. Du point de vue aérodynamique, cette approche introduit les notions de hauteur de rugosité et de hauteur de déplacement qui traduisent la modification du profil de vitesse au dessus d'une surface rugueuse.

En pratique, la relation entre la distribution d'obstacles sur un terrain et la rugosité équivalente est bien connue lorsque la distribution est homogène et les obstacles de formes proches d'aiguilles. Les sols urbains, quant à eux, possèdent des éléments de rugosité très élevés, de formes anguleuses, de densités variables, et rarement disposés de manière homogène. Il est donc nécessaire de déterminer les corrélations fournissant les valeurs de hauteur de rugosité et de déplacement en fonction des formes, des dimensions

et des densités surfaciques du bâti. Cette détermination s'appuie sur des résultats expérimentaux en soufflerie et sur des simulations numériques à l'échelle d'un groupe de bâtiments.

Le modèle mis au point [GROLEAU et al. 97] permet d'évaluer des coefficients de rugosité de la morphologie urbaine à partir de la distribution spatiale du bâti. Ces coefficients constitueront les paramètres des équations d'évolution et les conditions aux limites du simulateur d'écoulement aérodynamique en milieu urbain. La volumétrie du bâti est constituée à partir de la base de données TRAPU 2D1/2 en leur appliquant un certain nombre de transformations et de traitements complémentaires

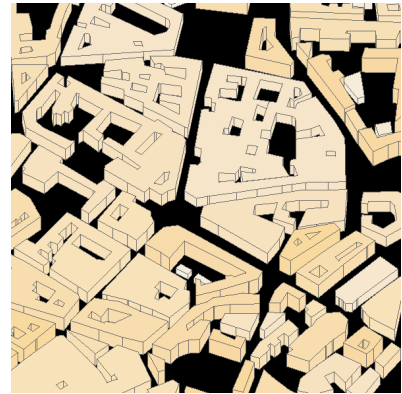
- récupération de données TRAPU 2D1/2 (emprise polygonale des bâtiments avec leur cote z),
- reconstitution des bâtiments en 3D en résolvant les problèmes des vides intérieurs (cours d'îlots), de surélévation (bâtiment sur socle) et de différence de hauteurs...,
- détermination des hauteurs des bâtiments en utilisant le MNT correspondant,
- détermination des emprise bâties : les continuités bâties avec une hauteur moyenne,
- découpage des zones construites suivant une grille d'analyse,
- caractérisation géométrique des entités sur la grille et détermination de la rugosité.



Données 2D1/2



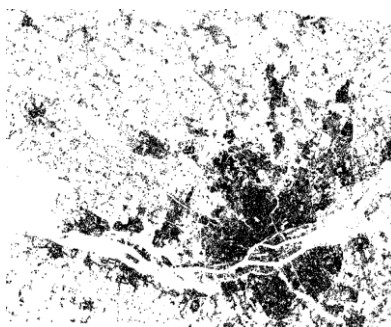
Les bâtiments en 3D



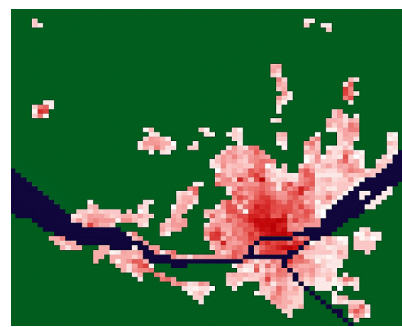
Les continuités bâties (h moyen)



Découpage en maille



L'agglomération nantaise



La rugosité urbaine

L'analyse fractale des espaces urbains

L'utilisation des techniques de mesure relatives à la géométrie fractale permet de caractériser le domaine de fréquence d'une irrégularité de surface ou de volume de la structure urbaine. Cette procédure aboutit à une discrimination des propriétés formelles de la structure construite de la ville, à la fois pour caractériser les secteurs urbains dont

l'organisation hiérarchique est homogène, et pour déterminer un paramètre caractérisant la texture des façades urbaines dans l'espace de propagation acoustique. [Woloszyn 1999].

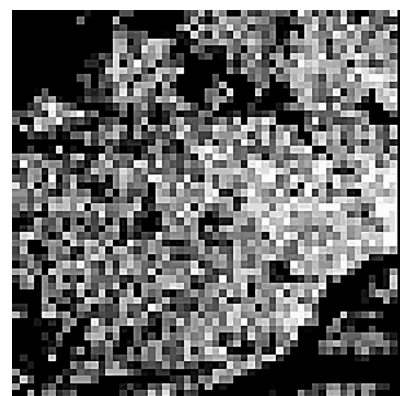
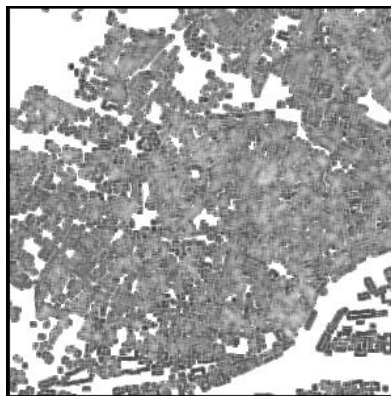
Dans un registre plus descriptif, l'analyse fractale permet également de transcrire la morphologie de la texture urbaine par les des données relatives à la densité de la population urbaine [Frankhauser 1997]. Ces travaux montrent que les structures complexes, telles que les objets préfractals ou fractals, répondent mieux à la gestion spatiale de la population qu'une structure compacte propre à la géométrie euclidienne tel qu'un cercle ou un carré : en effet, elles caractérisent directement le degré d'homogénéité de la répartition des éléments urbains dans l'espace.

Plusieurs aspects caractérisent l'application de la géométrie fractale pour l'analyse des structures urbaines :

- *La nature géométrique de cette approche.* Il est en effet possible de comparer des structures géométriques pour lesquelles on connaît les règles de construction avec des textures observées qui ont un aspect aléatoire. Ceci permet de mieux comprendre l'organisation spatiale de structures fractales complexes qui montrent la même organisation que des structures construites [Woloszyn 1997].
- *Les références géométriques complexes.* Cette complexité est liée au fait que les objets fractals sont des structures dont les éléments géométriques se situent à une multitude d'échelles. Corrélativement, les systèmes urbains sont fortement marqués par la présence de cette multiplicité d'échelles, lesquelles s'étendent de l'architecture des maisons jusqu'au niveau de l'agglomération [Frankhauser 1998], [Woloszyn 1999].
- *Contrairement aux approches géométriques traditionnelles, la géométrie fractale ne suppose pas une répartition homogène des éléments dans l'espace.* Ce qui permet l'extension du formalisme fractal à toute entité irrégulière.

Le traitement des données urbaines par les techniques fractales est constitué des étapes suivantes :

- Récupération de données TRAPU 2D1/2,
- Constitution d'image planes (2D) à partir de ces données,
- Définition des *intervalles d'évaluation temporelle* applicables à chacun des phénomènes décrits par les groupes de données,
- Détermination des *seuils de sensibilité spatiale* révélant les ruptures de la structure urbaine analysée,
- Enfin, calcul de la densité de probabilité relative à l'affectation spatiale de chaque groupe de données sur le territoire urbain, par le relevé de sa dimension non-entière (fractale) correspondante.



Analyses fractales d'un échantillon du tissu urbain nantais

QUELQUES CONCLUSIONS

La récupération de données et leur traitement en vue de la constitution de modèles géométriques de la ville constitue une tâche à part entière souvent occultée ou considérée comme secondaire du travail de simulation habituellement décomposée en phases de pré-traitement (préparation et structuration des données), de traitement (le calcul) et de post-traitement (exploitation des données). Pour l'utilisateur des modèles, elle constitue la tâche essentielle et nécessite des interventions manuelles généralement nombreuses, longues et fastidieuses. Les fonctions d'import /export associées aux logiciels ne suffisent généralement pas dans les cas courants à assurer une bonne applicabilité de tous les modèles. Les modèles eux-mêmes devraient comporter des phases d'analyse et d'expertise des données géométriques qu'ils ont à traiter et être capables d'appliquer de manière sélective les traitements correspondants pour leur assurer la cohérence et le niveau de définition requis.

La modélisation de la morphologie urbaine qui demeure encore à un stade artisanal constitue donc un champ de recherche encore très ouvert que ce soit:

- pour proposer, à partir de données variés mais complémentaires, des modes de reconstitution de la volumétrie urbaine (de manière précise mais également de manière statistique quand il s'agit de modéliser des types de tissus aux morphologies connues)
- et pour établir des bases de données urbaines aux dimensions variées (en échelle, niveau de détail et en informations) de type SIG à partir desquelles des extractions sélectives pourraient être obtenues pour différents types d'applications; ces mêmes bases pouvant alors à leur tour s'enrichir des résultats des simulations

Cette recherche, nécessaire à l'utilisation des modèles urbains, devrait, pour définir des axes privilégiés d'action, rassembler les experts des modèles de simulation des diverses disciplines, les urbanistes et les acteurs de la ville, les géographes et les producteurs et fournisseurs de données géographiques ainsi que les spécialistes de gestion de l'information.

REFERENCES

- BELCHUN B., Les sources numériques d'information géographique urbaine. Des densités aux rugosités. CERMA 1994.
[Des Densités aux Rugosités, Projet Pir-Villes. Fédération de Recherche 73 CNRS.
- GROLEAU. et AL., .Des Densités aux Rugosités, Caractérisation des tissus urbains pour la modélisation des échanges entre l'atmosphère et la canopée urbaine. Projet Pir-Villes. Fédération de Recherche 73 CNRS. Nantes, 1997
- FRANKHAUSER P., 1997 : " L'analyse fractale, un nouvel outil pour l'analyse spatiale des agglomérations urbaines ", in *Population*, 29 pages.
- FRANKHAUSER P., 1998 : " Fractal geometry of urban of urban patterns and their morphogenesis ", *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Vol. 2, pp. 127-145.
- GROLEAU D., MARENNE C., *Simulation numérique de l'ensoleillement dans les projets urbains*, in Actes des Séminaires interchercheurs, RRIA, GIP Acacia, Paris, 1992
- GROLEAU D., MARENNE C., *Environmental specificities of the urban built forms*, in Proc. of the 4th European Conf. on Integration of Renewable Energies in established Urban Structures, Corfou, 1995
- MIGUET F., *Eclairagements énergétiques et lumineux en milieu urbain*, Rapport de Recherche CERMA, Ecole d'Architecture de Nantes, 1996
- PENEAU J-P., Imagerie numérique de l'ensoleillement en milieu urbain, in Actes de MICAD'89, 1989
- WEBER C., Images satellitaires et milieu urbain, Hermès, Paris, 1995
- WOLOSZYN P., RAYMOND F., PICAUT J., 1997 Morphological parametering of a diffusive acoustic model for complex urban areas. in : *Wesprac'97 6th Western Pacific regional acoustic conference*, Hong-Kong, 19-21 novembre 1997. Hong-Kong : Hong Kong Institute of Acoustics, pp. 231-236
- WOLOSZYN P. 1999 Fractional brownian motion and diffuse process in urban acoustics. in : *L'ingénieur et les fractales*, Delft (NL), 14-16 juin 1999. Rocquencourt : INRIA, pp. 175-182.