

De l'influence de la végétation et du relief dans la simulation de la ville à l'échelle du quartier

Valerio Signorelli et Thomas Leduc

CRENAU, UMR AAU 1563 MCC/CNRS/ECN, France
valerio.signorelli@crenau.archi.fr, thomas.leduc@crenau.archi.fr

RÉSUMÉ. Les modèles 3D sont des supports importants pour la conduite d'analyses urbaines quantitatives comme qualitatives. Pourtant, à l'échelle du quartier, l'influence respective des diverses composantes de l'environnement construit, qui contribuent chacune à moduler ces analyses, reste à préciser. A ce titre, la modélisation du relief et des couverts boisés dans leurs divers niveaux de détails, peut influencer sur l'éclaircissement, l'ouverture de ciel ou le ressenti d'espace d'un lieu. Les résultats de la recherche montrent l'importance d'une telle modélisation pour obtenir des simulations pertinentes. Des perspectives de recherche diverses seront finalement présentées.

MOTS-CLÉS : modèles virtuels urbains ; convergence SIG-CAO ; modélisation de la végétation et du relief ; analyse à base visuelle.

ABSTRACT. Nowadays, urban virtual models are important supports for conducting quantitative and qualitative analyses. However, by working at the district scale, it is not always clear which is the influence of the various components that contribute to shape the urban environment and that are relevant for obtaining reliable urban analyses. Within this context, terrain and vegetation digital models, in their various levels of detail, can play a key role in influencing enlightenment, sky openness and surroundings spaciousness. The outcomes of the research show the importance of carefully consider terrain and vegetation models for obtaining reliable simulations. Future research directions are presented.

KEYWORDS: urban virtual model; GIS-CAAD convergence; vegetation and terrain modeling; visual based analysis.

1. Introduction

Les modèles numériques urbains sont des supports essentiels à l'analyse de l'environnement construit (Batty, 2007; Pereira *et al.*, 2012; Shiode, 2000). Ils permettent d'anticiper l'impact d'options voire de scénarii complets à chaque phase de la conception (Salter *et al.*, 2009).

Cependant, comme modèles, ce sont des représentations simplifiées et subjectives de l'environnement urbain réel. Cette schématisation relève du parti-pris des concepteurs mais aussi de la disponibilité même des données nécessaires à leur création. Le développement de telles maquettes numériques reste ainsi une tâche coûteuse dans tout projet.

Si la disponibilité des données sur la totalité du territoire national est aujourd'hui une réalité, il s'avère néanmoins que leur utilisation à un niveau d'échelle urbaine intermédiaire telle celle de l'îlot ou du quartier, reste insatisfaisante. A cette échelle, il peut effectivement s'avérer nécessaire de modéliser la ville dans sa complexité en intégrant, par exemple, le mobilier urbain, la végétation ou le relief. Une donnée aussi généraliste que la composante topographique du Référentiel géographique à Grande Échelle (RGE®), est alors confrontée à sa limite de résolution.

L'objectif de la recherche qui est présentée ici est double. Il s'agit d'abord de proposer, à partir de jeux de données standards tels que le Modèle Numérique de Terrain (MNT) maillé RGE ALTI® et la « description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures »¹ BD TOPO®, une modélisation plus adaptée à une analyse des visibilitées ou de l'exposition à l'éclairement solaire direct d'un piéton en déplacement dans l'espace ouvert.

Il s'agit ensuite de s'assurer de la pertinence de la démarche dans un cas urbain réel en réalisant, dans un outil de CAO, une analyse comparée de « facteurs physiques d'ambiance » le long d'un parcours piéton.

Dans cet article, après une présentation du mode opératoire d'enrichissement de la maquette numérique, nous décrivons notre protocole d'analyse comparée. La méthodologie ayant été exposée, nous l'appliquons au campus de l'École Centrale à Nantes, terrain d'étude qui concentre plusieurs « propriétés » (zone boisée, terrain accidenté).

¹ Cette description est tirée de (IGN, 2015).

De l'influence de la végétation et du relief dans la simulation de la ville à l'échelle du quartier

2. Méthode

Pour établir un diagnostic des potentialités environnementales d'un site urbain, l'utilisation d'un outil d'analyse systématique incluant des critères thermiques, énergétiques, aérauliques, acoustiques, etc. est généralement un bon support de sensibilisation, de concertation et d'aide à la décision. Utilisé très tôt dans une démarche de projet, il peut permettre au concepteur de s'assurer d'une bonne exploitation des ressources environnementales (apports solaires, potentialités d'éclairage naturel, potentialités de ventilation naturelle, etc.) du site. C'est la raison pour laquelle nous avons implémenté, dans l'outil de conception *Trimble SketchUp*, un ensemble d'indicateurs relatifs au ressenti d'espace, au ratio de vue du ciel et à la durée d'exposition à l'éclairement solaire direct.

Offrir, avec ces indicateurs, le moyen d'importer et de préparer, pour un niveau de détail fixé, la donnée des référentiels, peut permettre d'en faciliter la diffusion et l'appropriation par les concepteurs de projets.

2.1 Simulation des « facteurs physiques d'ambiance » : analyse du champ d'*isovists*, vue du ciel et potentiel d'ensoleillement

De nombreux travaux ont été conduits relatifs à l'accessibilité visuelle, aux inter-visibilités, à l'étude du déroulé de façades et des saillances paysagères (Claramunt *et al.*, 2007) en corrélation avec l'affordance d'espaces (Wineman *et al.*, 2010), l'estimation d'ouverture d'espace (Weitkamp *et al.*, 2014), les préférences de mobilité (Piombini *et al.*, 2014). L'outil méthodologique que nous avons retenu pour analyser l'espace immédiatement environnant ou bassin de visibilité est l'*isovist* (Benedikt, 1979), conçu comme l'ensemble des points de l'espace visibles, dans toutes les directions possibles d'un plan horizontal, depuis un point de génération.

Pour quantifier l'espace plus systématiquement sur un territoire, (Benedikt, 1979) propose d'analyser le champ d'*isovists*, extrapolation de la notion mathématique de champ de vecteurs qui, à tout point du territoire d'étude, associe un *isovist*. Le champ d'*isovists* permet donc d'accéder, de façon synthétique, à la propriété de description de l'espace enveloppant à chaque endroit. La propriété visuelle, l'indicateur que nous étudions est le périmètre de l'*isovist* (Conroy, 2001) pour sa capacité à révéler une certaine fragmentation de l'espace (défaut de convexité).

Titre ouvrage

Une corrélation entre l'intensité de l'îlot de chaleur urbain et le ratio d'aspect caractérisant les rues ou le degré d'ouverture au ciel de la structure urbaine a été établie (Oke, 1988; Bernabé *et al.*, 2015). (Asgarzadeh *et al.*, 2012) évoquent l'intérêt de procéder à des mesures physiologiques du stress pour corroborer la relation établie entre un ensemble d'angles solides et un sentiment d'oppression du fait d'une absence de dégagement (verticalité démesurée à proximité immédiate du sujet). (Teller, 2001) propose l'analyse sphérique de l'espace ouvert urbain comme une solution de régulation morphologique. Pour estimer cette ouverture et vue du ciel, susceptible de nous renseigner sur un niveau d'éclairement par ciel couvert (contribution de la voûte céleste vue), nous avons choisi d'implémenter le facteur de vue du ciel (SVF).

L'exposition à l'éclairement solaire direct participe du bilan énergétique et du bilan lumineux. Elle est aussi éventuellement, source d'éblouissement ou indicatrice de la présence d'éventuels masques par le jeu des ombres portées. Pour estimer cette exposition, nous avons choisi l'indicateur de durée à l'équinoxe et au solstice d'été.

2.2 Enrichissement de la maquette numérique

Ayant fait l'hypothèse d'une utilisation systématique des référentiels géographiques nationaux (IGN), on peut légitimement se demander si le niveau de résolution de la donnée est adapté aux indicateurs impliqués.

La première des questions qui se pose est celle de la pertinence (ou non) de l'utilisation du MNT maillé en support des descriptions vectorielles 3D des éléments du territoire et de ses infrastructures. L'IGN proposant une telle donnée avec une résolution planimétrique de 5m sur la totalité du territoire métropolitain au format ASC, nous avons développé un lecteur permettant d'importer et de transformer cette donnée en un réseau de triangles irréguliers (TIN) dans le contexte de l'outil de CAO.

Le TIN étant produit, se pose alors la question de l'arrimage des objets vectoriels 3D des éléments du territoire (telles que les bâtiments) sur ce modèle de sol. La BD TOPO® propose un ensemble de classes de bâtiments modélisés par le « contour extérieur du bâtiment tel qu'il apparaît vu d'avion » placés « généralement [à] l'altitude des gouttières » (IGN, 2015). Nous avons donc développé, dans le contexte de l'outil de CAO, un lecteur permettant d'importer des géométries au format SHP (ainsi qu'un lecteur DBF permettant d'importer la table d'attributs correspondants).

De l'influence de la végétation et du relief dans la simulation de la ville à l'échelle du quartier

Selon que les bâtiments sont, ou non, importés sur un modèle de sol (TIN), la reconstitution des volumes bâtis est différenciée. En l'absence de modèle de sol, les contours extérieurs de bâti sont ramenés à l'altitude 0 avant d'être extrudés d'une hauteur équivalente à la valeur de l'attribut HAUTEUR du bâtiment et via le mécanisme de *pushpull* de l'outil de CAO, sous forme de prismes droits.

Si le modèle de sol préexiste, les contours extérieurs de bâti sont placés à l'altitude des gouttières (telle que renseignée dans la géométrie). Lorsque le contour ne forme pas une face polygonale, la coplanarité des points est assurée en « forçant » les altitudes de chacun des sommets à une altitude moyenne. Ces contours extérieurs, assimilés à des toits « flottant » à distance du sol, sont alors « extrudés » en direction du sol d'une hauteur équivalente à la valeur de l'attribut HAUTEUR du bâtiment et via le mécanisme de *pushpull* déjà mentionné. Lorsque le prisme droit ainsi formé, correspondant à l'enveloppe extérieure du bâtiment, ne touche pas le sol, l'extrusion est prolongée.

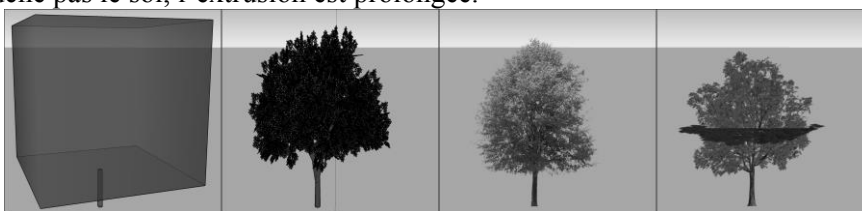


Figure 1. Quatre représentations différentes d'arbres : géométrie à douze faces (a), géométrie à 25000 faces (b), billboard vertical (c) et billboard biplan (d).

La BD TOPO® permet de tracer, à l'altitude 0, le contour extérieur de zones boisées de plus de 500 m² (IGN, 2015). Ces zones étant tracées, nous procédons à leur échantillonnage ponctuel et régulier afin de localiser arbitrairement la position de chacun des troncs. Lorsque le sol est modélisé, une nouvelle étape s'impose qui consiste à projeter verticalement cet ensemble de positions des troncs sur le TIN correspondant.

Les points d'ancrage au sol des troncs ayant été positionnés, reste alors à produire une représentation « acceptable » (au sens des simulations comme du rendu) du couvert boisé. Cette tâche peut être compliquée par la quantité d'informations à représenter qui est fonction de la taille de l'échantillon. L'utilisation « d'approches orientées géométrie » (Fig. 1a et 1b) peut rapidement, lorsque la vraisemblance l'impose, rendre le modèle inutilisable. Une alternative existe qui vise à représenter les géométries complexes, telles que les feuillages, par des textures is-

Titre ouvrage

sues de photographies aussi appelées *billboards*. Ces *billboards* peuvent être soit à texture unique (monoplan comme dans la Fig. 1c), soit à texture complexe (biplan comme dans la Fig. 1d) voire volumique.

2.3 Analyse comparative – exposé des huit variantes

Le protocole d'analyse comparative de l'ensemble des variantes que nous avons évoqué pour simuler les quatre facteurs physiques d'ambiance est résumé dans le tableau 1. Il n'intègre pas la modélisation complexe d'arbre présentée en Fig. 1b.

Tableau 1. Présentation des huit variantes de l'analyse comparative.

Modèle de sol (TIN)	Modèle d'arbre	Nom du modèle
Sans modèle de sol	Sans arbre	M100
	Arbre géométrique 1.a	M101
	Arbre <i>billboard</i> 1.c	M102
	Arbre <i>billboard</i> 1.d	M103
Avec modèle de sol	Sans arbre	M900
	Arbre géométrique 1.a	M901
	Arbre <i>billboard</i> 1.c	M902
	Arbre <i>billboard</i> 1.d	M903

3. Cas d'application : le campus de l'Ecole Centrale de Nantes

Le campus de l'Ecole Centrale de Nantes a été choisi pour l'ensemble des caractéristiques qu'il condense sur une superficie d'environ 150 000 m². Situé à l'aplomb de l'Erdre, il présente une altimétrie variant de 4,1 m à 32,7 m (Fig. 2). Certaines pentes sont sous couvert boisé.

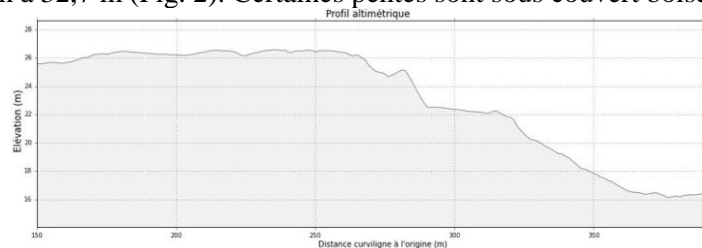


Figure 2. Profil altimétrique de la deuxième moitié du parcours. La première rupture de pente située à 280 m du point de départ correspond à un escalier. La seconde, longue de 50 m, en fin de parcours, traverse une zone boisée.

De l'influence de la végétation et du relief dans la simulation de la ville à l'échelle du quartier

3.1 Le choix du parcours

Nous avons imaginé analyser un parcours d'environ 393 m, reliant un des bâtiments de recherche à la bibliothèque du campus. Il est fréquemment emprunté et très contrasté, au sens où, sa première moitié est localisée sur un plateau et environnée de bâtiments, alors que sa seconde moitié est située sur un terrain en pente dans une zone boisée.

3.2 Enrichissement de la maquette numérique

La mise au point des différents cas d'études de l'analyse comparative a nécessité quelques ajustements. Nous avons ainsi modélisé l'un des 20 bâtiments du campus qui n'est pas répertorié dans la version 2015 de la BD TOPO® (construit et livré en 2013, il a une surface vue du ciel supérieure à 1900 m²) et corriger l'attribut HAUTEUR de huit autres bâtiments pour forcer leur ancrage au modèle de sol (TIN).

L'échantillonnage régulier (pas de 15 m) des surfaces polygonales de zones boisées de la BD TOPO® nous a conduits à modéliser 190 arbres.

3.3 Analyse comparative et résultats des simulations

Les résultats présentés en Fig. 3 montrent, de manière assez prévisible, que les disparités justifiant la modélisation du terrain et de la végétation n'apparaissent qu'en seconde partie du parcours.

Ces premiers résultats montrent que, sur un terrain boisé et accidenté, l'absence de prise en compte du relief (M900 est moins disant que M100 à hauteur de 5%) et plus encore de la végétation (M103 est moins disant que M100 à hauteur de 66%) conduit à une surestimation des vues du ciel (Fig. 3b) ou du soleil (Fig. 3c et 3d). Ils montrent aussi qu'une modélisation « fine » du couvert boisé par un *billboard* (M902 et M903) est pertinente puisqu'elle nuance conséquemment l'effet de masque induit par une modélisation géométrique simpliste des arbres (dans M901 les vues du ciel et du soleil vont jusqu'à s'annuler). Ils montrent enfin (Fig. 3a) – ce que la pratique du terrain et les premières photographies confirment – que la présence d'une zone boisée fragmente le bassin de visibilité et segmente l'espace environnant (M101 à M103 et M901 à M903) qui n'est pas si uniformément lisse que M100 et M900 pourraient le laisser penser.

Titre ouvrage

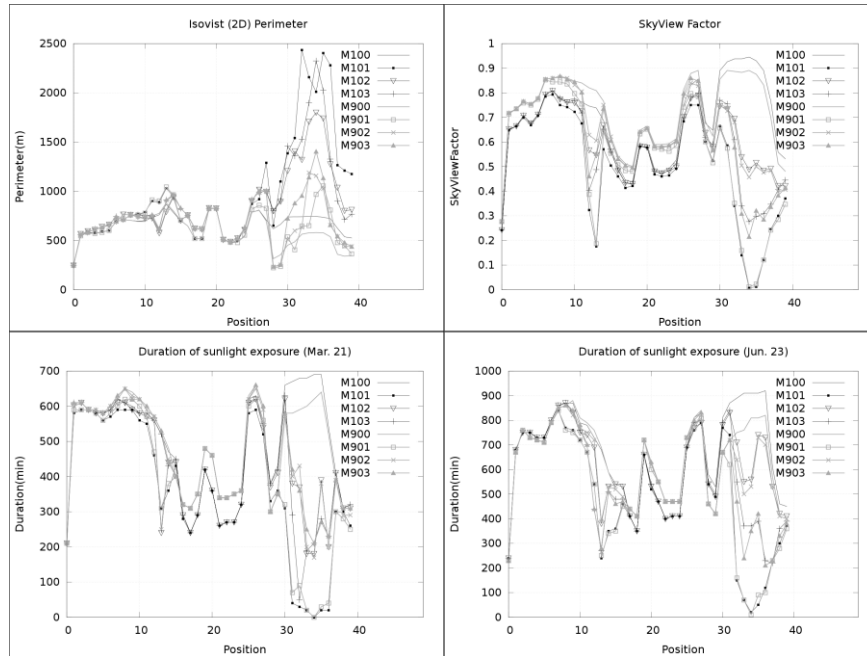


Figure 3. Résultats de simulations en chacun des quarante points du parcours et pour l'ensemble des huit cas de l'analyse comparative, pour l'indicateur « périmètre de l'isovist » (a), SVF (b), durée d'exposition à l'éclairement solaire direct à l'équinoxe de printemps (c) et au solstice d'été (d).

Le tableau 2 met en évidence que le temps de simulation relatif à l'intégration des *billboards* de végétation (biplan) est multiplié par 1,6 (ensoleillement), 2,4 (périmètre de l'isovist) ou 18,7 (SVF). Il met aussi en évidence que la modélisation du sol (TIN) est beaucoup plus coûteuse puisqu'elle multiplie le temps de simulation du SVF par 209,7.

Tableau 2. Temps de calcul relatifs pour chacun des indicateurs et pour chacun des cas tests. Le temps de calcul de l'ensoleillement est un cumul des temps de simulation d'exposition au solstice d'été et à l'équinoxe d'automne.

	M100	M101	M102	M103	M900	M901	M902	M903
Périmètre	1,0	1,61	2,02	2,40	22,7	24,5	24,3	25,1
SVF	1,0	12,7	15,0	18,7	209,7	223,0	222,0	225,3
Ensoleillement	1,0	1,4	1,4	1,6	21,5	23,5	22,8	22,6

De l'influence de la végétation et du relief dans la simulation de la ville à l'échelle du quartier

4. Discussion

Il importe de rappeler que la configuration et l'orientation des lieux sont prépondérantes. Ainsi, nous avons écrit dans notre première analyse des résultats que la végétation y influe substantiellement plus que le terrain sur les vues du ciel et du soleil. Si le relief avait masqué la vue du sud, nous aurions eu à nuancer notre propos.

Les deux objectifs que nous nous sommes fixés en introduction semblent satisfaits. Le protocole proposé permet effectivement d'enrichir les référentiels géographiques nationaux d'une modélisation efficace (au sens des quatre indicateurs que nous avons identifiés) des zones boisées et du relief de terrain. Cet enrichissement présente en outre l'avantage de la répliquabilité/transposabilité dans la mesure où l'IGN assure une bonne couverture du territoire national avec de telles données standardisées.

Il est important de relever que l'ensemble des prétraitements et traitements ont été réalisés dans le contexte d'un outil de CAO largement diffusé et simple d'utilisation. Cette approche intégrée au sein d'un outil logiciel unique facilite la prise en compte des modifications sur les potentialités environnementales des enveloppes lors de la phase d'esquisse.

5. Conclusion

L'étude présentée dans cet article montre que l'intégration du relief et d'un couvert boisé dans la simulation des « facteurs physiques d'ambiance » dépasse clairement la seule « ornementation paysagère ». Dans certaines configurations, il s'avère ainsi que l'influence du relief et plus encore de la végétation est parfois plus importante, au sens de ces indicateurs, que celle du bâti.

Ces premiers résultats pourraient utilement être validés par un dispositif expérimental sur site (par analyse de photographies *fish-eyes* du ciel par exemple). Pour conclure, le protocole mis en place ouvre à diverses perspectives telles qu'une étude de sensibilité à la résolution du modèle de terrain (quel serait l'apport d'un MNT au pas de 1 m ?), à la complexité du *billboard* mis en œuvre (quel serait l'apport d'un *volumetric billboard* par exemple ?), à la densité de feuillage (permettant de prendre en compte la saisonnalité dans les calculs), etc.

Titre ouvrage

6. Bibliographie

- Asgarzadeh, M., Lusk, A., Koga, T., Hirate, K. (2012). Measuring oppressiveness of streetscapes. *Landscape and Urban Planning*, 107(1), 1–11.
- Batty, M. (2007). *Model Cities* (No. 113) (Vol. 44). London, UK.
- Benedikt, M. L. (1979). To take hold of space: isovists and isovist fields. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 6(1), 47–65.
- Bernabé, A., Bernard, J., Musy, M., Andrieu, H., Bocher, E., Calmet, I., Keravec, P., Rosant, J.-M. (2015). Radiative and heat storage properties of the urban fabric derived from analysis of surface forms. *Urban Climate*, 12, 205–218.
- Claramunt, C., Winter, S. (2007). Structural salience of elements of the city. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34(6), 1030–1050.
- Conroy, R. (2001). *Spatial Navigation In Immersive Virtual Environments*. The faculty of the built environment, University College London, London, U.K.
- IGN. (2015). *BD TOPO®*, Version 2.1, *Descriptif de contenu*.
- Oke, T. R. (1988). Street Design and Urban Canopy Layer Climate. *Energy and Buildings*, 11(1-3), 103–113.
- Pereira, G. C., Rocha, M. C. F. (2012). Spatial representations and urban planning. In M. Campagna, A. De Montis, F. Isola, S. Lai, C. Pira, C. Zoppi (Eds.), *Planning Support Tools: Policy Analysis, Implementation and Evaluation. Proceedings of the Seventh International Conference on Informatics and Urban and Regional Planning INPUT2012* (pp. 611–623). Cagliari: Franco Angeli.
- Piombini, A., Leduc, T., Woloszyn, P. (2014). Usage de la morphométrie dans la révélation des préférences de mobilité. Application aux cheminements piétons. *Revue Internationale de Géomatique*, 24(1), 101–130.
- Salter, J. D., Campbell, C., Journeay, M., Sheppard, S. R. J. (2009). The digital workshop: Exploring the use of interactive and immersive visualisation tools in participatory planning. *Journal of Environmental Management*, 90(6), 2090–2101.
- Shiode, N. (2000). 3D urban models: Recent developments in the digital modelling of urban environments in three-dimensions. *GeoJournal*, 52(3), 263–269.
- Teller, J. (2001). *La régulation morphologique dans le cadre du projet urbain. Spécification d'instruments informatiques destinés à supporter les modes de régulation performantiels*. Université de Liège, Liège, Belgique.
- Weitkamp, G., Lammeren, R. Van, Bregt, A. (2014). Validation of isovist variables as predictors of perceived landscape openness. *Landscape and Urban Planning*, 125, 140–145.
- Wineman, J. D., Peponis, J. (2010). Constructing Spatial Meaning: Spatial Affordances in Museum Design. *Environment and Behavior*.