

# La maquette numérique, un moyen d'augmenter la densité informationnelle d'un territoire ?

**Bernard Ferriès et Marion Bonhomme**

*Laboratoire de Recherche Architecturale, Ecole Nationale  
d'Architecture de Toulouse, France*

*bernard.ferries@toulouse.archi.fr, marion.bonhomme@toulouse.archi.fr*

*RÉSUMÉ. L'information sur un territoire urbain est connue à différentes échelles, des indicateurs qualifiant un groupe de bâtiments jusqu'à la composition de l'enveloppe d'un bâtiment pour lequel on dispose d'une maquette numérique. Cette hétérogénéité est un frein aux capacités de simulation urbaine, en particulier dans le domaine du développement durable. Cet article explore comment on pourrait exploiter les îlots informationnels constitués par les maquettes numériques dont on peut disposer dans un territoire urbain. Il conditionne les capacités de simulation urbaine au niveau de détail des bâtiments. Il esquisse enfin une méthode consistant, après classification des bâtiments d'un groupe, à propager sur le groupe complet les résultats obtenus à partir des maquettes numériques disponibles.*

*MOTS-CLÉS : modèle, urbain, maquette numérique, citygml, niveau de détail.*

*ABSTRACT. Information on an urban area is known at different scales, from indicators describing a group of buildings to the composition of the envelope of a building for which a building information model is available. This heterogeneity is a barrier to urban simulation capabilities, particularly in the field of sustainable development. This article explores how we could exploit the information islands formed by building information models, and shows how the capabilities of simulation are linked to the level of detail of these buildings. Finally, the article outlines a method which should consist, after classification of buildings of a group, to spread over the entire group the results obtained from available building information models.*

*KEYWORDS: model, urban, BIM, citygml, level of detail.*

## 1 Introduction

Nous utiliserons l'acronyme BIM<sup>1</sup> pour désigner un ensemble structuré d'informations constituant la maquette numérique du bâtiment. Disposer du BIM d'un bâtiment existant ou en projet facilite grandement l'évaluation de ses performances : d'une part, on peut en extraire des informations quantitatives précieuses comme les surfaces des locaux ou le volume des éléments constructifs ; d'autre part, cela réduit significativement les traitements préalables aux simulations en particulier dans le domaine des calculs énergétiques.

Par analogie, nous utiliserons l'acronyme CIM (City Information Model<sup>2</sup>) pour désigner un ensemble structuré d'informations sur un territoire, à priori urbain. Les informations contenues dans un CIM sont exploitées par de nombreux outils de calcul, de simulation et d'aide à la décision, en particulier dans le domaine émergent du microclimat urbain.

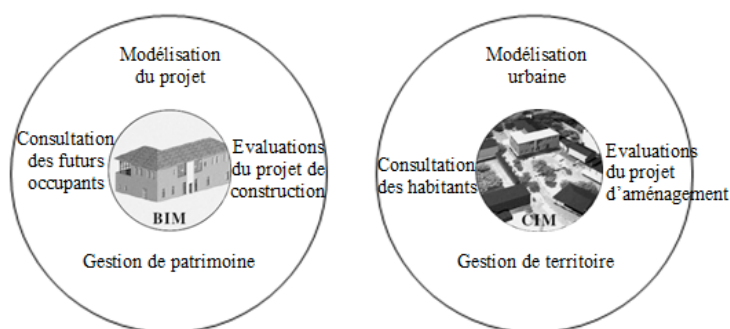


Figure 1. Exploitations des informations contenues dans un BIM et un CIM

La disponibilité du BIM de certains bâtiments d'un territoire va augmenter localement la densité des informations sur ce territoire. Nous nous proposons d'explorer comment cette densité peut être mise à profit par les outils de simulation à l'échelle urbaine.

---

1 BIM se décline en Building Information Modeling ou Model suivant que l'on désigne le processus de formalisation de l'information sur le bâtiment ou le résultat de ce processus.

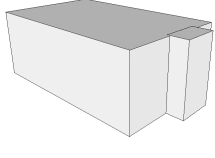
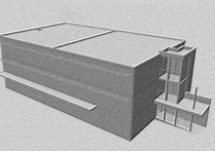
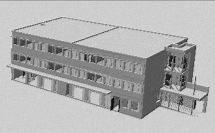
2 "What we also need is an extension of the BIM concept to the level of neighborhoods and cities, perhaps in the form of a "city information model" (CIM) which can capture all the critical data about a city's geographical location, topology, major roads, bridges, buildings, and so on in an intelligent format." (Khemlani 2005)

## 2 Niveau de détail, niveau de développement

Les concepts de niveau de détail et de développement ont été introduits pour spécifier respectivement le contenu d'un CIM et d'un BIM.

Le standard CityGML (OGC 2012) propose une gradation du niveau de détail ou LOD (Level Of Detail) qui va de 0 à 4. Le niveau 0 correspond à la seule modélisation du relief et peut être obtenu aisément à partir d'un modèle numérique de terrain sur lequel on drape des orthophotoplans. A partir du niveau 1, on représente les bâtiments, mais aussi les ponts et les tunnels et cette représentation est sensible au niveau de détail.

Tableau 1. Modélisation des bâtiments selon les niveaux de détail 1 à 3

	<b>LOD1</b> : la modélisation du bâtiment s'obtient par extrusion de son empreise en fonction de sa hauteur. Ces informations sont fournies par l'IGN avec l'indication de la précision planimétrique et altimétrique (TOPO 2013)
	<b>LOD2</b> : la pente des toits est conforme à la réalité. Des éléments comme les balcons ou les pare soleils sont modélisés dès que leurs dimensions sont supérieures à un seuil. CityGml distingue les constituants de l'enveloppe (sous classes de <i>BoundarySurface</i> ) des équipements (classe <i>BuildingInstallation</i> )
	<b>LOD3</b> : la modélisation de niveau 2 est complétée par la présence des ouvertures (classe <i>Opening</i> ) en distinguant portes et fenêtres.

L'aspect extérieur d'un modèle LOD4 est identique à celui d'un modèle LOD3. Il s'en distingue par la prise en compte de l'intérieur : pièces, éléments de partition et de mobilier (respectivement des instances des classes *Room*, *IntBuildingInstallation* et *BuildingFurniture*).

Le contenu d'un BIM évolue tout au long du projet et il est nécessaire de le définir formellement dès lors que ce BIM a une valeur contractuelle. Une proposition de cinq niveaux de développement (LOD) a été publiée en 2008 par l'Institut Américain des Architectes (AIA 2013) et elle a été

étendue récemment (BimForum 2013). Illustrons cette convention avec l'exemple d'un luminaire :

- LOD100 : il n'est pas modélisé par un objet du BIM. Pour le prendre en compte dans un estimatif, son coût est rattaché au plancher sous la forme d'un ratio au mètre carré.

- LOD200 : le luminaire est représenté par un objet générique.

Sa forme, ses dimensions, son emplacement et son orientation sont approchés ;

- LOD300 : les caractéristiques du luminaire ont été spécifiées, sa forme et sa situation ont été précisées ;

- LOD350 : le modèle du luminaire a été choisi ;

- LOD400 : les détails de montage sont connus.

Ce concept de niveau de développement est utilisé dans diverses spécifications comme le standard néerlandais du BIM (Rgd 2012) et le guide BIM de la ville de New York (Bloomberg et al 2013). Dans ce guide, il est indiqué à partir de quelle valeur du LOD l'attribut d'un objet doit être renseigné (exemples : l'inclinaison des toitures est due au LOD200 et leur composition au LOD300 ; le nom d'une pièce est dû au LOD100, les revêtements de mur, de sol et de plafond seulement au LOD200).

Le niveau de détail de CityGml et le niveau de développement d'un BIM relèvent d'une même démarche consistant à qualifier le contenu et la précision d'un modèle numérique de bâtiment. Nous verrons plus loin que cette qualification va conditionner les possibilités d'exploiter des informations sur les bâtiments dans des outils de simulation.

Nous concluons que, du point de vue des capacités de simulation, le critère le plus pertinent est le niveau de détail. Pour calculer des besoins énergétiques, il faut impérativement des informations sur les locaux soit un niveau de détail d'au moins 4. La précision obtenue dépendra du niveau de développement du BIM : elle sera faible si les informations sur les locaux ou les éléments de l'enveloppe sont approchées (LOD200) et les résultats s'affineront naturellement quand on en sera au niveau LOD300 ou supérieur.

### 3 Modélisation et simulation urbaine

Une modélisation du territoire en LOD1 est suffisante pour des évaluations approchées des consommations énergétiques des bâtiments. Cependant, une partie des données qui influencent ces consommations sont peu accessibles et rarement exhaustives. En particulier, la composition de l'enveloppe des bâtiments se révèle être un élément essentiel. Malgré le développement de nouvelles bases de données urbaines (campagnes « open data » et « ville numérique » par exemple), il s'avère difficile de connaître la composition des parois de manière détaillée et pour l'ensemble des bâtiments français. Cette problématique n'est pas nouvelle puisque, de manière générale, les recherches liées au climat urbain ou à l'énergétique urbaine sont confrontées à l'absence de précision des données à leur disposition (Bonhomme, 2013; Martilli, 2007).

Pour pallier à ce manque de données, il existe plusieurs méthodes. Nous présenterons ici les deux méthodes les plus fréquemment utilisées : celle du downscaling et celle des typologies.

La première méthode est dite « downscaling » et a pour objectif de lier des informations disponibles dans différentes échelles. Les outils de simulation urbaine travaillent en effet à différentes échelles et à partir d'informations dont la granularité est variable. On peut ainsi distinguer :

- **La commune** ou, pour les communes d'une certaine taille, **l'IRIS**<sup>3</sup>, découpage de l'INSEE pour les données infra-communales

- **La maille** : elle résulte du carroyage du territoire (un carré de 250 m de côté pour les simulations des villes de Toulouse et Paris effectuées dans le cadre du projet ACCLIMAT (Masson *et al.*, 2013, Bonhomme, 2013)

- **L'ensemble immobilier**, sous-ensemble contigu du territoire. Il peut correspondre à un quartier, un îlot, ou encore un groupe de bâtiments pour lequel on envisage une mutualisation des ressources énergétiques

- **Le bâtiment**

Le fait que l'information ne soit pas toujours disponible à l'échelle attendue rend nécessaire certains traitements, comme la répartition sur les mailles couvrant un IRIS des informations attachées à l'IRIS.

---

<sup>3</sup> IRIS : Ilots Regroupés pour l'Information Statistique.  
<http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/iris.htm>

Dans l'exemple ci-dessous, la densité des habitants au niveau de la maille a été déduite des valeurs des IRIS au prorata de la surface de plancher des bâtiments présents dans chaque maille.



Figure 2. Partition en IRIS et densité de population à la maille

Cependant, ce mode de répartition dit « downscaling » peut conduire à des imprécisions dans les données produites.

La deuxième méthode est celle des typologies de bâtiments. Elle est fréquemment utilisée par les géographes et les urbanistes afin de mieux comprendre la ville. Ici le but est de réduire le nombre de simulations ou d'études tout en recouvrant une grande diversité de cas.

Pour illustrer cette méthode on peut citer les travaux de Wallemacq, Marique et Reiter, en lien avec des problématiques énergétiques urbaines (Wallemacq *et al.*, 2011). Leur méthode croise des données collectées via des enquêtes nationales et des bases de données urbaines. Au vu de ces données, les îlots urbains ayant un comportement énergétique présumé similaire sont regroupés. Les critères sélectionnés pour établir la typologie sont la date de construction, le nombre de façades de l'îlot urbain et le type de logement (collectif ou individuel). Par la suite, les auteurs calculent l'impact énergétique total des bâtiments de la ville de Liège en considérant que tous les individus d'un même groupe ont la même consommation que le centroïde de leur groupe. Les auteurs appliquent la même méthode à d'autres domaines liés à l'évaluation environnementale de la ville comme les consommations énergétiques associées aux transports (Marique et Reiter, 2012).

Le principal inconvénient de ces méthodes est que le niveau de détail dans la description de ces typologies est souvent insuffisant pour répondre aux besoins d'une étude interdisciplinaire d'énergie urbaine.

Nous considérons que les informations issues des BIM peuvent réduire ces imprécisions et servir par ailleurs à valider les traitements de downscaling ou de typologie. En effet, parmi les bâtiments d'un territoire, certains peuvent avoir été numérisés sous la forme d'un BIM en LOD4 : c'est le cas des constructions neuves lorsque le maître d'œuvre fournit au maître d'ouvrage, à l'issue des travaux, le BIM du bâtiment tel que construit ; c'est souvent sous cette forme que sont livrés les résultats d'un relevé destiné à mettre en place une application de gestion de patrimoine.

Si les BIM sont utiles pour évaluer les performances environnementales d'un bâtiment (comme nous allons le voir dans la partie 4), ils peuvent également servir à évaluer ces mêmes performances à l'échelle de la ville (voir partie 5).

#### **4 Evaluations des performances d'un bâtiment**

De nombreux logiciels de calcul ou de simulation sont capables d'exploiter le contenu d'un BIM. On réduit ainsi de façon drastique les tâches de traitement des informations préalables au calcul. C'est particulièrement intéressant dans les domaines de l'énergétique et des impacts environnementaux. En effet, les calculs thermiques ont besoin d'une grande quantité d'informations : volumes et usages des locaux, orientation, inclinaison et composition des parois, masques induits par le bâtiment et son environnement, etc.

Les impacts environnementaux sont induits par les consommations d'énergie et par les produits et matériaux mobilisés pendant toute la durée de vie du bâtiment. Ces derniers peuvent être estimés à partir d'un quantitatif extrait du BIM.

Les capacités à mobiliser des outils de calcul et d'analyse dépendent étroitement du niveau de détail des bâtiments. A partir du niveau 2, le calcul du potentiel de captage par des capteurs photovoltaïques ou à eau intégrés en toiture est précis. Il tient en effet compte des effets de masques induits par le bâtiment lui-même et par son environnement. A partir du niveau 3, il est possible d'estimer les apports solaires par les baies vitrées. Il faut des informations sur les locaux et donc le niveau 4 pour pouvoir effectuer des calculs thermiques réglementaires et des simulations thermiques dynamiques.

L'absence éventuelle d'informations sur la composition des parois (souvent mal connues et difficiles à relever) n'est pas un obstacle dans la mesure où les outils de calcul peuvent utiliser des valeurs par défaut sélectionnées en fonction de critères comme la date de la construction du bâtiment ou de sa dernière rénovation.

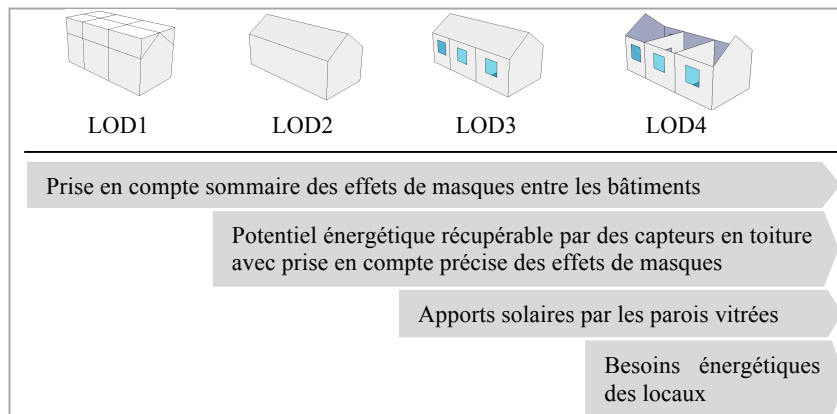


Figure 3. Capacités de traitement en fonction du LOD

## 5 Ilots informationnels et simulation urbaine

Certains traitements présentent un intérêt tout particulier lorsqu'ils sont effectués à l'échelle d'un groupe de bâtiments contigus (îlot, quartier,...). Supposons que l'on puisse évaluer tous les bâtiments de ce groupe à l'aide du même outil. Alors, on va obtenir de précieux indicateurs à l'échelle du groupe qui faciliteront la prise de décision, en particulier dans le cadre des projets d'écoquartiers.



La maquette numérique, un moyen d'augmenter la densité informationnelle d'un territoire ?

Tableau 2. Possibilités d'évaluation

Bâtiment isolé	Groupe de bâtiments
Balance énergétique dont découlent les besoins de chauffage et de refroidissement du bâtiment	Consolidation de la balance énergétique traduisant les besoins globaux du groupe et mettant en évidence les possibilités de compensations éventuelles
Impacts environnementaux induits par les consommations d'énergie et par les constituants du bâtiment	Consolidation des impacts pouvant influencer la décision dans le cadre de projets d'écoquartiers.
Potentiel de captage des énergies renouvelables	Potentiel global de captage des énergies renouvelables, utile dans le cadre de projets de quartiers à énergie positive

La difficulté réside dans l'hétérogénéité des informations sur les bâtiments du groupe si la majorité est en LOD1 et quelques-uns seulement en LOD4. Nous préconisons une démarche consistant successivement à :

- 1) Classifier les bâtiments du groupe ou même de la ville dans laquelle est situé le groupe selon la méthode validée par le projet ACCLIMAT (Masson *et al.*, 2013, Bonhomme, 2013).
- 2) Pour les bâtiments pour lesquels un BIM est disponible en LOD4, évaluer des indicateurs à l'aide d'outils de calcul conçus pour travailler à l'échelle du bâtiment
- 3) Propager les valeurs de ces indicateurs à l'échelle du groupe, l'estimation des valeurs relatives aux bâtiments en LOD1 étant déduite des bâtiments types évalués précédemment.

## 6 Conclusion et perspectives

Avec l'essor des usages du BIM, on disposera de plus en plus souvent d'informations détaillées sur un sous-ensemble des bâtiments d'un territoire. Pour exploiter ces informations, nous préconisons de mobiliser les logiciels spécialement conçus pour délivrer des résultats à l'échelle d'un bâtiment. C'est ensuite du ressort d'une application travaillant à l'échelle d'un groupe de bâtiments de consolider ces résultats pour aider à la décision, notamment dans le cadre de projets d'écoquartiers ou d'ensembles immobiliers à énergie positive.

Il est en effet aujourd'hui primordial de considérer les problématiques de consommations énergétiques à l'échelle urbaine de manière à les mettre en perspective avec la production, la distribution et la gestion des énergies renouvelables.

Nous estimons que les méthodes et outils de classification des bâtiments d'un territoire peuvent servir à exploiter les îlots informationnels constitués par les bâtiments d'un territoire dont le BIM est disponible. Nous espérons l'expérimenter prochainement dans le cadre d'un projet de recherche.

## Bibliographie

- AIA (2008). *E202-2008 Building Information Modeling Protocol*. The American Institute of Architects.
- Bloomberg, M., R., Burney, D., J. & David, R. (2012). *BIM Guidelines*. New York City – Department of Design + Construction, July 2012
- BimForum (2013). *Level of Development Spécification*, Version 2013.
- Bonhomme, M. (2013). *Contribution à la génération de bases de données multi-scalaires et évolutives pour une approche pluridisciplinaire de l'énergétique urbaine*. Université de Toulouse, 2013.
- Khemlani, L. (2005). *Hurricanes and their Aftermath: How Can Technology Help?*. AECbytes September 29, 2005
- Masson, V., Marchadier, C., Bretagne, G., Moine, M.P., Houet, T. & Bonhomme, M. (2013). *Rapport final du projet ACCLIMAT - Modélisation, Ville & Changement climatique*, décembre 2013. <http://www.cnr.meteo.fr/ville.climat/spip.php?article295>.
- Marique, A. F., & Reiter, S. (2012). *A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas*. Environmental Impact Assessment Review, 33(1), 1–6.
- Martilli, A. (2007). *Current research and future challenges in urban mesoscale modelling*. International journal of climatology, 27(14), 1909–1918.
- OGC (2012). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*. Version 2.0.0. [www.opengis.net/spec/citygml/2.0](http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0)
- Rgd BIM Standard (2012). *Rgd BIM standard*. Rijksgebouwendienst. Ministry of the Interior and Kingdom Relations. Version 1.0.1, Juillet 2012
- TOPO (2013). Descriptif du contenu de la BD TOPO, version 2.1.
- Wallemacq, V., Marique, A. F., & Reiter, S. (2011). *Development of an urban typology to assess residential environmental performance at the city scale*. Plea 2011: Architecture & Sustainable Development', 119.