



Université
de Toulouse

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA de Toulouse)

Présentée et soutenue par :

Marion BONHOMME

le 11 décembre 2013

Titre :

Contribution à la génération de bases de données multi-scalaires et évolutives
pour une approche pluridisciplinaire de l'énergétique urbaine

École doctorale et discipline ou spécialité :

ED MEGEP : Génie civil

Unité de recherche :

LMDC (INSA) et LRA (ENSA)

Directeur(s) de Thèse :

Luc ADOLPHE

Jury :

Marjorie MUSY (Rapporteur)

André POTVIN (Rapporteur)

Valéry MASSON (Examineur)

Jean-Luc SALAGNAC (Examineur)

Christiane WEBER (Examineur)

Frédéric BONNEAUD (Invité)

Résumé

Ce travail est une contribution à la recherche en énergétique urbaine. Il a conduit au développement d'un modèle, GENIUS, pour la génération de bases de données urbaines permettant des approches pluridisciplinaires.

En effet, depuis plusieurs années, la recherche tente de considérer la question de l'énergétique urbaine dans toute sa complexité : consommations des ressources, pollutions, microclimat, production et consommation d'énergie, usage ... Ainsi, architectes, urbanistes, thermiciens, climatologues, modélisateurs, sociologues, géographes, se réunissent autour de la question de la ville, du climat et de l'énergie.

Pour tenter d'apporter des connaissances nouvelles sur ces problématiques, les outils de modélisation informatiques sont devenus essentiels à la recherche comme aux projets. Simulation du comportement thermique des bâtiments, du microclimat urbain, de l'étalement urbain, du trafic routier, ... Les modèles sont nombreux mais rares sont les travaux qui convoquent suffisamment de disciplines pour rendre compte des interactions complexes des systèmes urbains. L'une des raisons réside dans la confrontation des différentes échelles de travail de ces modèles et des disciplines associées. L'un des vecteurs d'une recherche urbaine pluridisciplinaire est donc la création de bases de données multi-scalaires.

Trois parties aux objectifs distincts sont développées dans le mémoire.

Première partie : contexte et problématique

Dans la première partie nous présenterons un état de l'art des recherches en lien avec la ville, le climat et l'énergie. Nous verrons que de nombreuses études portent sur la typomorphologie et son lien avec l'énergétique urbaine. La grande majorité des travaux s'accordent sur le fait qu'une ville respectueuse de l'environnement est une ville dense avec un bâti compact. Cependant, la plupart de ces études ne tiennent compte que d'une partie des facteurs impactant l'énergétique urbaine. Or, la prise en compte de l'éclairage, de la ventilation, du rafraîchissement, de la production d'énergies renouvelables, du microclimat urbain et de l'énergie primaire totale liée aux matériaux est susceptible de remettre en question le paradigme de la densité et de la compacité urbaine.

Il est donc aujourd'hui nécessaire d'interroger les densités urbaines au regard d'une analyse pluridisciplinaire. Or, le manque d'intégration des études actuelles est en grande partie dû aux différences d'échelles qui existent entre différentes disciplines. Si on prend l'exemple de

la thermique du bâtiment et de l'étude du microclimat urbain, bien que ces disciplines partagent un savoir commun sur les bilans énergétiques, leurs échelles sont très différentes. L'étude du comportement thermique d'un bâtiment nécessite la connaissance d'informations détaillées : a minima la géométrie du bâtiment et les matériaux qui le composent. En ce qui concerne l'étude du microclimat urbain, les données nécessaires sont tout aussi vastes mais concernent plutôt l'échelle du quartier, voire de la ville. Les bases de données nécessaires aux études urbaines doivent donc répondre à ces différentes échelles.

Au-delà des échelles spatiales, les échelles temporelles impliquées dans l'étude de l'énergétique urbaine ont une importance primordiale. D'une part, elles divergent grandement d'une discipline à l'autre. Par exemple, là où le confort à l'intérieur d'un bâtiment nécessite une simulation thermique dynamique sur une année, la simulation des effets des changements climatiques est de l'ordre du siècle. D'autre part, cet horizon temporel séculaire est en lui-même un défi scientifique. Or, nous verrons que les modèles prospectifs existants ne permettent pas de générer des bases de données suffisamment précises pour des études d'énergétique de la ville.

Nous présenterons comment l'utilisation de bases de données adaptées peut résoudre une partie de ce problème. Après avoir passé en revue les différentes méthodes de construction de ces données, nous identifierons les évolutions attendues afin d'améliorer la polyvalence des bases de données urbaines.

Deuxième partie : développement de GENIUS

Dans cette thèse, on se propose de développer une méthode et un outil permettant de générer des bases de données multi-scalaires pour une recherche pluridisciplinaire. Le modèle que nous avons conçu est GENIUS, pour GENérateur d'Ilots Urbains.

Le premier objectif est de produire des données adaptées aux différentes échelles spatiales afin de permettre le croisement de différentes disciplines. Pour cela, nous choisissons une représentation typologique de la ville car cette méthode combine les avantages de couvrir un large territoire tout en fournissant un niveau de détail élevé. Notre méthode se distingue des méthodes typologiques existantes par le fait qu'à chaque « individu » est associé un type de quartier mais également des caractéristiques propres. Sur la base d'une étude bibliographique, un ensemble de 7 archétypes urbains représentatifs des villes françaises est défini et un maillage de Paris et de Toulouse (nos cas d'étude) est réalisé. Chaque maille est caractérisée par un système d'indicateurs morphologiques calculé à l'aide d'un logiciel SIG et qui nous renseigne sur la forme urbaine. Nous avons ensuite sélectionné plusieurs méthodes de classification automatique et les avons mises en œuvre. La méthode retenue est celle de

l'analyse en composante principale qui nous a permis de réaliser des cartes archétypales de Paris et Toulouse.

Le deuxième objectif de GENIUS est de faire évoluer ces données dans le temps afin de tenir compte des différentes échelles temporelles impliquées dans toute étude pluridisciplinaire. Il ne s'agit pas ici de proposer un nouveau modèle prospectif d'expansion urbaine puisqu'il en existe déjà de nombreux de grande qualité. Dans ce travail, nous avons fait le choix de coupler notre modèle à un modèle prospectif existant afin d'y apporter de la précision en terme de forme urbaine. Notre travail consiste donc à faire une descente d'échelle à partir, d'une part, des données produites par ces modèles et, d'autre part, de mécanismes d'évolutions des morphologies urbaines. Ces mécanismes sont établis sur la base d'observations des évolutions passées et sur des scénarios prospectifs.

Troisième partie : applications de GENIUS

Dans la dernière partie, nous présenterons les applications de GENIUS. En particulier, nous considérerons le cas de deux projets de recherche prospectifs et pluridisciplinaires ayant pour objet d'étude les interactions entre changement climatique et développement urbain : les projets MUSCADE et ACCLIMAT.

Les projets MUSCADE et ACCLIMAT sont deux projets de recherches portés par le CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques - Météo-France). Ils visent à étudier, de nos jours à 2100, les interactions entre structure de ville, procédés constructifs, consommation d'énergie, production d'énergie décentralisée, microclimat urbain et changement climatique. Ces projets étudient le cas des agglomérations Parisienne (MUSCADE) et Toulousaine (ACCLIMAT) à l'échelle du siècle afin de tenir compte de l'inertie de la structure urbaine et du changement climatique. La finalité de ces projets est de sensibiliser et proposer une base de réflexion, à partir des exemples de Paris et Toulouse, aussi bien pour le monde scientifique que pour des décideurs, et permettre d'identifier des leviers d'action pour éclairer des choix futurs en termes de réglementation du bâti, modes de production d'énergie décentralisée et aménagement urbain. La première étape a consisté à construire un jeu de scénarios combinant hypothèses climatiques, macroéconomiques, urbaines, techniques et énergétiques. Par la suite, les modèles décrivant le comportement de différents éléments (bâti, ville, microclimat) et leurs interactions ont été étudiés à l'aide d'outils de modélisation numérique.

Dans le cadre de ces projets, GENIUS a permis de faire communiquer des modèles et de simuler les évolutions possibles des formes urbaines et leur impact sur l'énergétique urbaine.