

RAPPORT SUR LES TRAVAUX DE
Madame Marion BONHOMME
EN VUE DE LA SOUTENANCE
D'UNE THESE DE DOCTORAT DEVANT
L'Université de Toulouse

Ecole Doctorale Mécanique, Energétique, Génie Civil & Procédés
Laboratoire MDC (Insa Toulouse) et LRA (ensa Toulouse)

Par Marjorie MUSY,
Ingénieure de Recherche, CERMA – UMR CNRS 1563, école nationale supérieure
d'architecture de nantes
Directrice adjointe de l'IRSTV – FR CNRS 1563

Le mémoire présenté par Madame Marion BONHOMME est intitulé «**Contribution à la génération de bases de données multi-scalaires et évolutives pour une approche pluridisciplinaire de l'énergétique urbaine**».

Le travail de recherche est essentiellement méthodologique. Il contribue à un thème de recherche important, la mise en place des données nécessaires à l'évaluation des stratégies urbaines de développement durable.

En plus de l'introduction (3p.) et de la conclusion (6p.), le mémoire est structuré en trois grandes parties :

- I. Contexte et problématique (102 p.)
- II. Développement de GENIUS pour la génération de bases de données multi-scalaires (104 p.)
- III. Les applications de GENIUS, des contributions à l'énergétique urbaine (164 p.)

Il y a également de nombreuses annexes.

Ce découpage met en évidence la principale contribution de la candidate, qui réside dans la partie « Développement de GENIUS pour la génération de bases de données multi-scalaires ». Cependant, le développement de la première partie, pour l'éclairage soigneux de l'état de l'art qu'il donne, et la dernière partie, pour la méthodologie d'analyse qui est appliquée, constituent également des contributions importantes.

Le contexte de la thèse est rapidement donné dans l'**introduction** ainsi que le plan de la thèse.

La première partie, « Contexte et problématique » est divisée en deux chapitres. Elle a pour objectif de présenter la problématique générale de la thèse.

Le premier chapitre, « **La ville, le climat, l'énergie** » fait un état de l'art des recherches sectorielles, ou interdisciplinaires sur ces trois sujets. Il se termine sur une analyse des données nécessaires pour évaluer les impacts énergétiques et climatiques de la ville (vue comme consommatrice et productrice d'énergie).

Le second chapitre « **Energétique et morphologies urbaines : les densités de la ville** » discute les différents impacts de la densité urbaine sur les différentes consommations ou productions d'énergie, pour aboutir à la mise en évidence du paradoxe énergétique urbain : c'est-à-dire l'impossibilité de conclure a priori sur la relation densité-efficacité énergétique. En effet, pour cela, il est nécessaire d'avoir une approche large, pluridisciplinaire incluant les divers usages de l'énergie et les possibilités de production.

Le troisième chapitre « **Bases de données multi-scalaires pour les études énergétiques et microclimatiques à l'échelle urbaine** » met en évidence la nécessité de construire une base de données qui permette d'aborder la question énergétique urbaine d'une manière pluridisciplinaire.

On arrive ainsi à la construction de la problématique de la thèse. Notons que l'enjeu de proposer une méthodologie d'élaboration d'une telle base de donnée est non seulement spatial, avec différentes échelles du bâtiment à la ville, mais aussi temporel car il s'agit d'aborder des perspectives à long terme et donc de faire évoluer la modélisation de la ville. La problématique est posée très adroitement et la stratégie de réponse est déjà préconstruite.

La deuxième partie, « **Développement de GENIUS pour la génération de bases de données multi-scalaires** » présente les outils développés par la candidate.

Le premier chapitre « **Objectifs et méthode** » affine le positionnement du travail et le cahier des charges de l'outil. La base de la méthode est d'établir une cartographie actuelle de la ville qui devra ensuite être documentée, c'est la modélisation « synchronique ». Ensuite, l'objectif est de faire évoluer cette modélisation pour étudier des scénarios d'évolution, c'est l'approche « diachronique ». En premier lieu, il s'agit de décrire la structure urbaine, ce qui passe par une typologie.

Dans le second chapitre « **Modélisation synchronique – Une base de données urbaines multi-scalaire** », Madame BONHOMME, après avoir fait l'inventaire des méthodes permettant de définir les typologies trouvées dans un tissu urbain, propose une méthode mixte, dont les classes sont identifiées à partir des connaissances de l'architecture puis la détection des types sur l'ensemble de la ville est fait par une méthode statistique à partir des caractéristiques des classes. Notons que pour faire cette classification sur la ville, la question du maillage le mieux adapté se pose et la candidate y répond par une étude de sensibilité. La question des paramètres permettant au mieux de caractériser les types se pose également, et encore, la candidate après avoir recensé les très nombreux paramètres utilisés dans la bibliographie, identifie ceux qui permettent de discriminer les classes. La méthode proposée est testée et validée sur Paris. Au final, la méthode est jugée satisfaisante, même si des améliorations sont proposées.

Dans le troisième chapitre, « **Modélisation diachronique – Une base de données urbaines évolutive** », il s'agit de proposer des modèles d'évolution de la ville. Pour cela, Madame Bonhomme s'appuie sur la bibliographie et s'oriente vers l'utilisation d'un modèle existant, SLEDUM, qu'elle couple avec son propre modèle. Cela lui permet de faire évoluer des quartiers, en les faisant si nécessaire changer de type. La méthode est validée en simulant l'évolution de Paris entre 1962 et 2008.

La troisième partie « **Les applications de GENIUS, des contributions à l'énergétique urbaine** » expose comment le modèle a été utilisé dans deux projets auxquels la candidate a participé. Après une présentation des projets, Madame BONHOMME explique comment les scénarios ont été construits puis donne les résultats des simulations d'évolution sur Toulouse. L'évolution des paramètres morphologiques est étudiée afin de vérifier la cohérence du modèle. Pour l'évaluation des impacts énergétiques (chauffage et climatisation), des caractéristiques thermiques futures des bâtiments sont données. Les simulations climatiques et énergétiques ont été réalisées par les partenaires du projet. L'étude permet de conclure que quel que soit le scénario, l'ICU conduira à une baisse globale de la consommation énergétique surfacique.

La candidate tente ensuite de réaliser une analyse multicritères des scénarios pour dégager le plus performant. En dehors d'un cadre réel de décision, cet exercice s'avère délicat et peu concluant.

La conclusion fait une synthèse claire des apports de la thèse en termes de méthodologies proposées et des résultats produits. De nombreuses perspectives sont données dans des projets en cours, démontrant l'intérêt réel de l'outil proposé.

La bibliographie est très abondante, bien construite et pertinente.

La lecture du document m'amène à faire quelques remarques et à poser quelques questions :

- L'analyse de l'historique de construction (à travers l'analyse de l'évolution du cadastre) de la ville n'aurait-elle pas pu être mise à profit pour affiner les typologie ?
- Si les biais des méthodes proposées par la candidate sont bien étudiés, on ne sait pas quels sont les biais induits par TEB et SURFEX.
- On ne sait pas comment les caractéristiques thermiques actuelles des bâtiments ont été attribuées.
- Nous n'avons que les U des futurs bâtiments mais ne savons pas à quelles techniques d'isolation cela correspond. Or, il a été montré que l'ITE, très préconisée actuellement car permettant de réduire les ponts thermiques, favoriserait la formation d'ICU. Il est donc important de savoir si c'est ce type de technique qui a été étudiée.
- Il me semble difficile d'évaluer si un scénario répond aux engagement du facteur 4 à partir de consommations énergétiques par m².

Synthèse des principaux commentaires et avis du rapporteur

Points forts :

- Le sujet abordé est un sujet d'importance.
- La quantité des notions traitées et articulées est grande.
- La méthodologie présentée est rigoureuse et bien maîtrisée.
- Le projet est mené à un aboutissement qui permet de démontrer sa validité .
- La candidate a su intégrer son travail à plusieurs projets en cours, travailler avec d'autres équipes. Il est important de noter que son travail semble être un maillon très important de ces projets.
- L'apport de la thèse par rapport aux autres contributions des projets est bien distingué. De même la candidate signale les développements qui n'ont pas été faits par elle.
- La thèse est très bien rédigée.

Point faible :

Outre les commentaires faits et questions posées ci-dessus, il me semble que si la réussite de la mise en place de la méthode proposée est indéniable, la question de la caractérisation thermique des bâtiments en ville , nécessaire à une évaluation correcte des scénarios reste inachevée. En cela, si les bases de la méthode sont données, il reste un travail supplémentaire assez conséquent. Il me semble qu'il s'agit là d'une perspective importante à signaler.

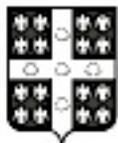
Conclusion

Compte tenu de l'importance du travail présenté et de sa très bonne qualité d'ensemble, je donne un avis très favorable pour que Madame Marion BONHOMME soutienne sa thèse devant un jury.

Je tiens par ailleurs à la féliciter pour la rédaction rigoureuse et efficace de sa thèse, la prise en main de nombreuses méthodes, qui démontrent des qualités certaines de chercheur.



Nantes, le 20 novembre 2013



UNIVERSITÉ
LAVAL

Faculté d'aménagement,
d'architecture, d'art de design
École d'architecture

Rapport d'évaluation d'une thèse de doctorat

Nom de l'étudiant : __Marion BONHOMME_____ Date : __20 novembre 2013__

Nom du membre du jury : __André Potvin_____

Signature : _____

JUGEMENT D'ENSEMBLE

La thèse est acceptable, j'en recommande la soutenance et je la considère :

excellente

très
bonne

bonne

passable

La thèse répond aux objectifs d'une thèse de doctorat. Elle ne comporte pas de déficiences sur le plan scientifique ou dans sa présentation qui en invalident la démarche ou dont la correction nécessiterait la refonte de l'une ou de l'autre de ses parties. *Dans ce cas, le candidat devra apporter à sa thèse, les corrections mineures demandées par les membres du jury, après la soutenance.*

La thèse ne sera acceptable qu'après révision satisfaisante.

La thèse requiert des améliorations ou corrections importantes énumérées dans le rapport détaillé. La soutenance est donc recommandée avec réserves. La Faculté des études supérieures et postdoctorales, après consultation des membres du jury, pourra imposer au candidat d'apporter des modifications majeures à sa thèse avant la soutenance.

La thèse est inacceptable.

La thèse ne répond pas aux exigences d'une thèse de doctorat. Elle comporte des déficiences sur le plan scientifique ou dans sa présentation qui l'invalident totalement; elle ne peut être admise à la soutenance. Une rencontre des membres du jury sera convoquée pour décider des suites à donner. Si le candidat se voit alors accorder un droit de reprise, la thèse sera normalement réévaluée par les mêmes membres du jury.

RAPPORT DÉTAILLÉ

Première section – Valeur scientifique

Originalité du sujet; cohérence dans la structure de la thèse et l'articulation des parties; utilisation correcte de la documentation pertinente; méthodologie appropriée; rigueur dans l'argumentation et le traitement des sources et des données ainsi que dans l'analyse des résultats et leur interprétation; portée et caractère novateur des résultats et des conclusions.

L'objectif de cette thèse est de développer une méthode de génération de bases de données multi-scalaires afin de permettre le croisement de différentes disciplines et de faire évoluer ces données afin de tenir compte des différentes échelles temporelles impliquées dans des études pluridisciplinaires. L'originalité du sujet réside dans la création du modèle GENIUS convoquant plusieurs disciplines pour rendre compte des interactions complexes entre systèmes urbains.

Cette thèse est structurée en trois parties présentant le contexte et problématique, la méthodologie de développement du modèle GENIUS, et la contribution possible de GENIUS à l'énergétique urbaine par une étude de cas. Cette structure très cohérente permet à l'auteure de faire une démonstration efficace de l'applicabilité du modèle développé tout en identifiant clairement les limites de la recherche. La première partie dresse un portrait exhaustif de l'état de la connaissance des interrelations ville, climat et énergie par une revue de littérature des ouvrages clés dans le domaine. L'auteure conclue en l'existence d'un véritable 'paradoxe énergétique' où la densité de la ville peut à la fois réduire les consommations énergétiques mais aussi contraindre les apports solaires. Ce paradoxe nécessite de nouveaux modèles d'investigation multi-scalaires de la densité construite au regard de la problématique énergétique conciliant les différentes échelles disciplinaires ainsi que les échelles temporelles séculaires.

La deuxième partie présente les méthodes dites synchronique et diachronique développée dans le modèle GENIUS. La modélisation synchronique permet ainsi de générer des données aux échelles de la ville, du quartier et du bâtiment compatibles avec les capacités de calcul des modèles énergétiques actuels et constitue déjà une contribution réelle au développement de la recherche en énergétique urbaine. Bien que générique, la méthode nécessitera quand même une adaptation pour tenir compte des typologies locales d'un cas d'étude. Le maillage orthogonal mériterait aussi d'être adaptable pour tenir compte de la complexité géométrique des tissus urbains traditionnels. L'auteure identifie bien ces limites imposées par les bases de données existantes et propose quelques pistes de solutions tel que le recours les classifications supervisées ou procédés statistiques d'affectation.

Quant à GENIUS diachronique, l'auteure démontre bien les capacités d'évolution temporelle de bases de données générées par le modèle. Ici, la limitation la plus inquiétante de GENIUS, dépendante des limites du modèle SLEDUM, est sa capacité très limitée de faire évoluer les bâtiments de bureaux et les bâtiments d'activités. Ce côté prospectif à long terme de l'outil croise la méthode *forecasting* du moyen terme aux scénarios d'experts élaborés pour le long terme jusqu'en 2100. La méthode des scénarios d'experts est particulièrement bien adaptée à l'évaluation énergétique prospective de politiques énergétiques à différentes échelles, du bâtiment, au quartier, à la communauté entière. Cependant, c'est dans le domaine de l'étude des microclimats urbains que GENIUS semble contribuer le plus selon moi à l'avancement des connaissances. La précision de données générées par GENIUS telles que la forme des bâtiments, matérialité, usage, équipements techniques et présence de végétation permet d'augmenter significativement la validité des simulations microclimatiques et d'espérer des résultats plus spécifiques que les typologies des LCZ.

La troisième partie présente une étude de cas de sept scénarios systémiques pour la ville de Toulouse. Ces scénarios permettent de bien démontrer l'efficacité du modèle proposé à simuler l'impact des réglementations dans les villes à faible croissance, l'importance des activités de rénovation dans la performance thermique, l'intérêt de la ville multipolaire dans le contrôle de l'étalement urbain comparativement à la ceinture verte ainsi que la compatibilité de la végétalisation et de la densité bâtie. Cette dernière découverte est certainement très contre-intuitive et illustre à elle-seule la portée du modèle GENIUS à forcer le statut quo de la réglementation urbaine dans une approche pluridisciplinaire de l'énergétique urbaine. La végétalisation et la densité bâtie sont aussi déterminantes de la qualité des microclimats urbains qui transcendent bien entendu la question purement énergétique. Le modèle semble aussi très prometteur dans l'étude prospective de l'effet d'îlot de chaleur urbain et de ses conséquences sur l'énergétique urbaine. Il permet dès maintenant de quantifier la performance de chacun des scénarios proposés. Ici encore, GENIUS confirme que la rénovation énergétique volontaire du parc immobilier constitue un élément clé pour l'économie des consommations de chauffage pour contrer l'inertie de la ville.

Quant aux consommations de climatisation, l'auteure conclue que le comportement des usagers semble être la variable clé. Sans entrer dans les détails, l'auteure souligne à raison la sous-représentation des critères sociaux-culturels dans la version actuelle de son modèle. J'inviterais l'auteure à consulter les nouvelles publications sur le *rebound effect* déjà bien connu dans le domaine de l'économie. Le *rebound effect* stipule tout simplement que plus un système est efficace, plus les gens l'utiliseront. Dans le contexte de l'énergétique urbaine, il faudrait donc être très critique par rapport à l'économie réelle des rénovations énergétiques. Plus récemment, des campagnes de relevés in situ ont même révélé l'existence d'un *prebound effect* dans lequel les usagers de bâtiments très peu conservateurs auront naturellement tendance à diminuer la température du point de consigne, modifiant considérablement les consommations simulées selon un point de consigne standard. Ces effets sont particulièrement associés aux vieux bâtiments ou aux bâtiments de première couronne souvent de très faible qualité de construction.

Deuxième section – Qualité de la présentation

Précision et clarté du style; correction de la langue (s'il y a lieu, portez en annexe la liste des incorrections de langue et des erreurs typographiques); qualité des illustrations et tableaux; références bibliographiques.

La qualité de présentation générale de la thèse est excellente. L'auteure démontre sa maîtrise de la langue française dans un argumentaire structuré et rigoureux. Cette thèse de 545 pages peut paraître au premier coup d'œil beaucoup trop volumineuse mais le style synthétique, factuel et parfaitement adapté aux propos en fait une lecture captivante. Attention cependant à l'usage abusif d'acronymes complexes souvent difficiles à comprendre pour le non-Européen.

Les illustrations, tableaux et schémas sont utilisés de manière efficace et toujours pertinente au propos. Elles sont pour la plupart réalisées ou adaptées par l'auteure, ce qui ajoute une cohérence graphique au document. Les schémas originaux vulgarisant la structure du module de simulation ainsi que les scénarios systémiques sont particulièrement réussies et utiles dans la compréhension de la portée du travail. Le glossaire est une agréable addition au document et témoigne du souci de l'auteure dans la définition rigoureuse d'une terminologie très spécialisée. Le choix et le format de présentation détaillée des Annexes complémente et appuie le texte principal et permet de l'alléger

considérablement.

La bibliographie est exhaustive et représente bien l'état de la connaissance actuelle des différents domaines de connaissances de thèse pluridisciplinaire. Les références bibliographiques sont exactes mais la référence précise aux pages de l'ouvrage cité aurait été appréciée pour fin de vérification des sources par l'examineur ou un futur chercheur.

Troisième section – Commentaires généraux

Étant issu du domaine de l'architecture et de la bioclimatique, donc essentiellement un néophyte dans le domaine très spécialisé des SIG et de l'analyse multicritère, j'ai beaucoup appris à la lecture de cette thèse. L'auteure a démontré de manière magistrale la contribution du modèle GENIUS à la génération de bases de données multi-scalaires et évolutives dans une approche pluridisciplinaire de l'énergétique urbaine.

Cette thèse démontre l'excellente capacité de l'auteure à poursuivre des recherches originales dans le domaine de l'énergétique urbaine. Compte tenu de la nature pluridisciplinaire de ce domaine et de la complexité des variables à considérer, l'auteure est parvenue à extraire des informations disparates, à les intégrer dans un modèle évolutif de *forecasting* et à produire des résultats souvent inédits sur les déterminants de la performance énergétique des villes du futur. La contribution de cette thèse sur le fameux paradoxe de la densification urbaine mérite d'être salué.

Dans le contexte actuel de changements climatiques réels ou appréhendés, les professionnels et décideurs doutent souvent de leur capacité réelle à prévoir et/ou mesurer les performances environnementales futures de la ville. Cette thèse propose une méthode rigoureuse d'évaluation pour faire tomber les idées préconçues et le fameux *greenwashing* trop souvent présent en pratique professionnelle et en politique. Les dimensions sociaux-culturelles complexes inhérentes à la ville devront cependant être intégrées ou à tout le moins abordées plus systématiquement pour supporter les résultats de telles études prospectives. À la lecture de cette thèse, je me suis pris à imaginer les possibilités d'adaptation du modèle au contexte climatique très sévère d'une ville nordique telle que Québec dominée par les besoins de chauffage. Comment en effet, la densité bâtie issue d'une culture de conservation énergétique s'adaptera-t-elle aux changements climatiques?

Cette thèse constitue sans aucun doute l'une des meilleures qu'il m'ait été donné d'évaluer et je souhaite la meilleure des chances à Madame Bonhomme dans ses projets de recherche et/ou professionnels futurs. Je lui accorde donc la mention 'excellent'.

André Potvin, M.Arch., Ph.D.
École d'architecture
Université Laval

RAPPORT SUR LA SOUTENANCE DU DIPLOME DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE TOULOUSE DELIVRE PAR L'INSA DE TOULOUSE A MARION BONHOMME.

TOULOUSE, LE 11/12/13.

Spécialité : Génie civil

Prénom Nom : Marion Bonhomme

Date de soutenance : mercredi 11 décembre 2013

Président du jury : André Potvin, Professeur, Université de Laval, Canada

Constitution du jury : Christiane Weber, Luc Adolphe, Frédéric Bonneaud, Valéry Masson, Jean-Luc Salagnac, Marjorie Musy.

Madame Marion Bonhomme a brillamment présenté son travail, sur un domaine d'étude imposant des analyses croisées relevant de diverses disciplines (architecture, urbanisme, énergétique, climatologie, sociologie, économie), ce domaine étant fortement lié à l'actualité. La dimension prospective de son travail apparaît d'un grand intérêt pour l'avenir des villes.

Le jury a retrouvé pendant la soutenance les qualités indéniables du manuscrit : clarté, rigueur, souci d'explicitation de la portée et des limites des hypothèses et des résultats, enthousiasme, ceci dans un style direct, convaincant, soutenu par une expression orale dynamique non dénuée d'humour. Il tient à relever la très grande maturité de la candidate par rapport à un travail interdisciplinaire complexe. Elle a su le restituer de manière lucide et démonstrative. Les réponses aux questions ont confirmé l'honnêteté intellectuelle et l'humilité de Marion Bonhomme qui reconnaît et explicite les limites de sa contribution, tout en défendant son point de vue avec pertinence. La candidate a montré dans le manuscrit comme à l'oral des qualités pédagogiques certaines.

La candidate a su s'intégrer dans des équipes pluridisciplinaires élargies, par ses qualités personnelles mais surtout par son travail qui a joué un rôle fédérateur dans le cadre de deux ambitieux projets de recherche interdisciplinaire (ANR-MUSCADE et ACCLIMAT traitant tous deux de l'adaptation des villes aux effets du changement climatique). Elle a produit ce travail de manière fort efficace en très peu de temps compte tenu de la complexité et de la portée des domaines d'étude. Elle a su y rendre compatibles des approches théoriques et méthodologiques avec la production de connaissances explicites, appropriées et exploitables par les aménageurs.

Marion Bonhomme a présenté des perspectives étayées et claires de son travail, montrant à la

fois le recul qu'elle a su prendre par rapport à la problématique de la modélisation énergétique de la ville (et celles des nombreuses sciences en interaction avec celle-ci), et sa volonté de faire avancer efficacement une approche scientifique de qualité appropriable par les acteurs urbains.

Cette thèse est dans le prolongement de la double formation de Marion Bonhomme et on y retrouve à la fois une thèse d'architecture, qui aborde les enjeux urbains en intégrant bien les questions de forme, de processus de fabrication de la ville, et une thèse ancrée dans les sciences pour l'ingénieur, comme le démontre la manipulation rigoureuse que la candidate a fait des modèles et résultats issus des outils de simulation. Cette double compétence s'est également bien retrouvée dans les réponses aux questions pointues d'un jury au sein duquel étaient représentées plusieurs des disciplines mobilisées pendant ces projets.

Fort de ces éléments, le jury a décidé d'attribuer à Marion Bonhomme le titre de Docteur de l'Université de Toulouse dans la spécialité Génie civil. En l'absence de mention et de félicitations, le jury tient à féliciter à l'unanimité Marion Bonhomme et lui recommande de faire valoir au mieux son travail de thèse, notamment à travers les publications internationales qu'il suscite encore, et en candidatant à des prix de thèses régionaux ou nationaux.

André POTVIN



Christiane WEBER


C. Weber

Luc ADOLPHE



Jean-Luc SALAGNAC



Marjorie MUSY



Frédéric BONNEAUD



Valéry MASSON

