Les Cahiers	
de la recherche	
architecturale	
et urbaine	

Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine

26/27 | 2012
Trajectoires doctorales

Analyses énergétiques des tours d'habitation

Energy Analyses for Residential Towers

Laëtitia Arantes

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/crau/579>

DOI : 10.4000/crau.579

ISSN : 2547-5746

Éditeur

Éditions du patrimoine

Édition imprimée

Date de publication : 1 novembre 2012

Pagination : 194-201

ISBN : 978-2-7577-0108-9

ISSN : 1296-4077

Référence électronique

Laëtitia Arantes, « Analyses énergétiques des tours d'habitation », *Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine* [En ligne], 26/27 | 2012, mis en ligne le 01 novembre 2017, consulté le 21 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/crau/579> ; DOI : 10.4000/crau.579

Il s'agit d'un travail prospectif sur l'optimisation globale de la conception architecturale et technique de constructions économes en énergie pour mieux habiter en ville. Dans un contexte politique et réglementaire favorable à la densification de la ville, il convient de s'interroger sur le devenir morphologique et spatial de celle-ci : vers quel(s) modèle(s) de ville allons-nous ? La ville dense et compacte est-elle vraiment un modèle de durabilité ? Pour éclairer ces interrogations sur la durabilité des formes urbaines, le présent travail propose une recherche pluridisciplinaire sur la densification verticale de la ville.

Analyses énergétiques des tours d'habitation*

LAËTITIA ARANTES

Ces dernières décennies, devant les impératifs croissants de mixité urbaine et sociale, d'accès aux services urbains, de maîtrise des coûts du foncier, ou encore de qualité environnementale, de nombreux urbanistes et politiques ont choisi de promouvoir la ville compacte. Dans une logique de développement durable, un seul mot d'ordre : contenir l'étalement des constructions ; en d'autres termes, « refaire la ville sur la ville » ou encore « densifier la ville ». Deux questions se posent alors : vers quel(s) modèle(s) de ville allons-nous ? La densité et la compacité sont-elles vraiment des vecteurs de durabilité ? Devant ces interrogations, le sujet proposé a un triple objectif. Il s'agit d'abord, de proposer des formes d'habitat permettant de renforcer l'attractivité de la ville, en brisant le tabou de la densité urbaine et en proposant de nouvelles formes d'habiter en milieu urbain, associant densité et qualités urbaines et revisitant plus particulièrement la typologie de la tour. Il s'agit ensuite, de cerner avec précision les grands principes de l'éco-conception et mieux connaître les incidences architecturales, urbaines et d'usages de

* Dans le cadre d'un travail de thèse en architecture, cet article détaille le contexte de la recherche puis la méthodologie d'enquête, avant d'insister plus particulièrement sur la première phase de la recherche : la mise au point de deux modèles complémentaires de simulation numérique des consommations d'énergies d'un bâtiment permettant d'intégrer des données énergétiques dans la conception architecturale

et urbaine située, sur la base d'une donnée d'entrée : l'énergie primaire consommée lors de la construction et l'exploitation d'un bâtiment.

l'intégration des énergies renouvelables. Il s'agit enfin, de mettre au point une démarche de conception et de réhabilitation favorisant la réduction des consommations unitaires des tours d'habitation.

Le bâtiment : impacts sociaux et environnementaux

Face à la pénurie prévisible des énergies fossiles et aux préoccupations légitimes de la population devant la nécessaire optimisation des ressources d'énergie, la recherche de l'efficacité énergétique, notamment dans le secteur du bâtiment, constitue un enjeu de société majeur. Defait, la question de la gestion des patrimoines immobiliers, existants ou futurs, fait plus que jamais partie des débats. Plus particulièrement, l'accent mériterait d'être mis sur les tours d'habitation, qui sont parmi les bâtiments les plus énergivores, avec une consommation minimale estimée à 130 kWh/m²/an.

Une consommation parcimonieuse de l'espace

En matière d'urbanisation, l'étalement urbain est la tendance dominante de ces dernières décennies. En quelques années, la part du foncier dans le coût total d'investissement pour un logement a considérablement augmenté, passant de 10 à 50 %¹, et contraignant les moins aisés à s'éloigner de la ville et de ses équipements pour trouver un terrain « abordable ». Or, le mitage urbain a des impacts économiques, environnementaux et sociaux fortement critiqués par les acteurs du développement durable. Dans cette optique, maîtriser l'étalement urbain suppose de refaire la ville sur la ville, en d'autres termes, de densifier la ville.

Mais « la densité est un mot qui fait peur² ». Le fait est que, pour beaucoup, la densité, notion très floue et culturelle, diffuse une image négative. Elle reflète la représentation que la plupart des Français se font des grands ensembles de tours et de barres, dans lesquels seulement 1 % de la population française ne verrait pas d'inconvénient à vivre³. Fortement critiqués pour leur aspect monolithique, leur enclavement par rapport à la ville et les problèmes sociaux qui s'y multiplient, les grands ensembles sont devenus les archétypes urbains de l'exclusion. Synonyme de mal vivre, la densité sous-entend hauteur et promiscuité du voisin et de ses dérangements.

Maison individuelle : un imaginaire partagé

Comme le dit Yves Chalas, ce que les habitants désignent comme inhabitable, « c'est la ville elle-même, ville de tout le monde qui n'appartient à personne⁴ ». Perçue selon les personnes comme lieu d'insécurité, de la nouveauté, de la perte de soi, de l'uniformité, de l'anonymat, de la mobilité ou encore de l'accessibilité, la ville ne laisse que très peu de place à la relation de l'homme avec son environnement. Pourtant, ces cinquante dernières années, la ville n'a cessé d'attirer des populations : alors qu'en 1950, 29 % de la population mondiale vivait en ville, ce taux a pratiquement doublé en 40 ans pour atteindre en 1990, 50 % de la population⁵.

Les villes n'ont jamais hébergé autant d'individus et cela n'est pas prêt de s'arrêter puisqu'on estime à 60 % la part de population citadine d'ici 2025. De plus en plus denses, et en même temps foncièrement coûteuses, les villes atteignent peu à peu la limite de leur « capacité

1. Élisabeth Pélegrin-Genel, François Pélegrin (coordination), *Ambiances, densités urbaines et développement durable*, Paris, Éditions PC, juin 2008, 123 p.

2. *Id.*

3. TNS-Sofres, *Les Français et leur habitat. Perception de la densité et des formes d'habitat*, Observatoire de la ville, 12 p.

4. Yves Chalas, propos tenus lors du séminaire « Habitat et modes de vie », Isle d'Abeau, octobre 2000, Inudel, CERTU et SGAR Rhône-Alpes. Cité par Michel Legrand (dir.), *Importance et conséquences du vieillissement de la population en milieu périurbain*, Lyon, CETE de Lyon, 2005.

5. Richard Rogers, Philip Gumuchdjian, *Des villes durables pour une petite planète*, Paris, Le Moniteur, 2000, 213 p.

de "charge"⁶ : sur les 800 000 logements manquants recensés en 2008 par la Fondation Abbé Pierre⁷, on peut évaluer à 500 000 le nombre de logements à vocation sociale devant être construits. Par ailleurs, il existe encore beaucoup trop de taudis ou autres logements indignes. Désignés sous la formule « habitat tiers⁸ » par Gustave Massiah et Jean-François Tribillon, ces logements restent souvent un point aveugle des situations du logement, des situations urbaines et des politiques publiques. Souvent insalubres ou vétustes, ils jouent un rôle important sur le plan urbain et comme parc social « de fait ».

En outre, les ménages français sont de plus en plus nombreux à faire le choix d'acquérir une maison individuelle en milieu périurbain, quitte à passer des heures quotidiennes sur les routes congestionnées. Rêve permanent de près de 87 % des Français⁹, la maison individuelle s'accompagne de promesses de personnalisation, d'appropriation et d'évolution. Construite à la « campagne » ou en périurbain, elle offre des prolongements sur l'extérieur qui contribuent non seulement à l'éloignement du voisin, mais aussi à un rapport privilégié avec la nature. La maison individuelle fait rêver, mais elle semble exclue des schémas typologiques de la ville du ^{xxi} siècle, forte d'atouts indéniables certes (grâce à ses équipements, ses services ou encore ses activités), mais dont les privilèges ne semblent pas apporter la « qualité de vie » qui s'attache à la maison individuelle si chère aux Français.

De la nécessité d'une ville plus « intense »

Si la conception de l'espace habité a toujours été du ressort de l'architecture et de l'urbanisme, la croissance et l'étalement rapide des villes constituent aujourd'hui

un défi patent. C'est à partir de cela qu'il faut désormais penser et agir l'architecture, en donnant au mot grec *tikto* son véritable sens, qui n'est pas « construire », mais bien « produire » au sens d'engendrer. Dans le cas de la ville, cette production devra porter sur la constitution d'un nouvel habitat humain combinant les qualités de la ville et de la campagne.

Au terme « densité », on préférera alors celui d'« intensité », dans le sens d'une pluralité des usages qui sont faits de la ville. « La ville ne se prouve pas, elle s'éprouve¹⁰ ». Rappelons que pour Le Corbusier, quatre fonctions élémentaires résument les besoins fondamentaux de l'humanité : habiter, circuler, travailler et se détendre¹¹, quatre besoins qui s'inscrivaient respectivement dans le logement, l'entreprise, la route, la zone de détente. Cette linéarité fonctionnelle, basée sur une vision mécaniste des besoins individuels, doit être reconsidérée. L'être humain n'est pas qu'un rouage dans la « machine à habiter » que serait la ville : ses besoins ne sont pas seulement « techniques » mais s'expriment simultanément en termes de quête d'informations et d'interactions sociales. L'intensité étant le produit des sensations provoquées par la relation entre le corps et la ville, tout lieu devient donc potentiellement support de diverses activités et d'interactions entre ces activités.

Dans cette optique, il est temps alors de reconsidérer l'outil que représente la densité, afin qu'il œuvre à la construction d'une « ville intense et accueillante¹² », une ville de la diversité, valorisant la qualité paysagère, intégrant la temporalité et les évolutions des modes de vie, et permettant la réversibilité d'occupation des bâtiments.

6. Id.

7. Fondation Abbé Pierre, *L'État du mal-logement en France*, rapport annuel 2009.

8. Gustave Massiah, Jean-François Tribillon, *Habitat-tiers. Recherche exploratoire sur l'habitat populaire*, Paris, PUGA, 2000.

9. É. Pélegrin-Genel, Fr. Pélegrin, cité note 1.

10. Clara Jezewski-Bec, « Gilles Rabin, Luc Gwiazdzinski : la possibilité d'une ville... », *EspacesTemps.net*, janvier 2006 : <http://www.espacestems.net>.
Compte-rendu de l'ouvrage de Gilles Rabin, Luc Gwiazdzinski et Frédéric Froussart, *Si la ville m'était contée* (Paris, Eyrolles, 2005) d'abord publié dans la revue *Pouvoirs Locaux* n° 67, décembre 2005.

11. Le Corbusier, *La Chartes d'Athènes*, Paris, Éditions de Minuit coll. « Forces Vives », 1957.

12. Béatrice Mariolle, « D comme Densité », *Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine*, « L'espace anthropologique » n° 20/21, mars 2007, p. 64-67.

Les tours d'habitation, des bâtiments énergivores

La question de la forme des villes et de sa densification a connu ces dernières années un fort regain d'intérêt. Dans un contexte de diffusion de la notion de développement durable, les débats se cristallisent autour des avantages supposés du modèle de ville compacte. Toutefois, peu de publications et de recherches ont proposé à ce jour une approche synthétique des enjeux qui sous-tendent cette question complexe.

Qui plus est, hormis les questions d'intégration urbaine et de qualité des ambiances, la densification verticale comporte un paradoxe écologique notable. Le développement vertical de la tour fait d'elle une forme très énergivore, tant au moment de sa construction que pendant sa période de fonctionnement. Alors que le Grenelle de l'Environnement entend limiter à 50 kWhep/m²/an (ep = énergie primaire) la consommation des bâtiments neufs, on estime à 130 kWhep/m²/an la consommation minimale d'une tour. Quant aux tours existantes, le constat n'est guère plus probant : conçues pour la plupart dans les années 1960 avec d'autres priorités que la protection de l'environnement, leur diagnostic de performance énergétique les classe le plus souvent en catégorie G-bâtiments énergivores (DPE > 450 kWhep/m²/an) ; alors que le Grenelle espère voir leur consommation ramenée à moins de 80 kWhep/m²/an.

Comment alors améliorer les performances énergétiques et environnementales des tours afin de les rentabiliser, et ce, tout en répondant aux exigences de fonctionnalité et de confort des habitants ? Telle est la question clé à laquelle ce travail de recherche se propose d'apporter des éléments de réponse.

Pour de nouvelles formes d'habitat urbain dense

L'hypothèse de ce projet de recherche est que, dans un contexte de refondation de la façon de concevoir les projets d'architecture pour mieux intégrer les préoccupations liées au développement durable, la réhabilitation de tours existantes ou la réalisation de « nanotours » en utilisant le concept architectural *Core-Skin-Shell* sont des pistes plausibles de forme d'habitat en milieu urbain dense.

Développées depuis 2005 à travers les travaux de recherche et de développement architecturaux de l'école nationale supérieure d'architecture de Grenoble – notamment via plusieurs projets élaborés par les étudiants de la thématique de master Architecture et Cultures Constructives –, les « nanotours » sont des petites tours de moins de 50 mètres de hauteur empilant des maisons individuelles (fig. 1). Installées en milieu urbain, elles mettent à portée des habitants tous les avantages de la ville, avec la proximité des établissements scolaires, des commerces, des équipements culturels et sportifs, des services administratifs, des transports en commun, etc., et répond aussi, notamment à travers des espaces extérieurs privatifs de qualité, aux besoins d'intimité et d'indépendance de chacun.

Le concept *Core-Skin-Shell*, quant à lui, est une notion nouvellement introduite dans le champ lexical de la construction par Daniel Quenard, ingénieur au CSTB, Centre scientifique et technique du bâtiment. Il propose une rationalisation de la conception de l'enveloppe et plus précisément une décomposition du bâtiment en trois « couches », illustrées dans la figure 2 :

Fig. 1. Projet de nanotour¹³.
L. Arantes.

**Fig. 2. Le concept
Core-Skin-Shell.**
L. Arantes.

– le **Core** ou **cœur** est le système nerveux du projet. À la fois structurel et régulateur, il apporte de l'inertie thermique qui permet de réguler la température et les conditions de confort intérieur du bâtiment ;

– la **Skin** ou **enveloppe** détermine les contours du volume habitable. Élément de protection thermo-acoustique, elle assure l'isolation, la transmission de la lumière naturelle, et contribue à la création de l'ambiance intérieure par la nature des matériaux qui la composent ;

– la **Shell** ou **bouclier** est l'élément de protection périphérique qui englobe les deux éléments précédents, tout en s'en détachant physiquement. Elle protège le bâtiment contre les menaces extérieures et peut éventuellement collecter des ressources (eau, énergies renouvelables, etc.).

Par cette décomposition des fonctions du bâtiment, le concept *Core-Skin-Shell* entend contribuer à optimiser le bilan énergétique du bâtiment.

Une méthode de recherche pluridisciplinaire

Les prémisses de ce travail de recherche ont fait l'objet d'un Projet de Fin d'Études en architecture *Intensités urbaines*¹⁴ soutenu en septembre 2009. Outre un rapide état des lieux sur la question de la densification verticale, à partir d'exemples français et européens de projets neufs et de réhabilitations, ce travail a surtout consisté à concevoir deux projets intégrant le concept architectural *Core-Skin-Shell* et développant deux mises en scène urbaines de la tour : la Tour d'EauRizon, projet d'une petite tour neuve construite sur une

parcelle libérée en cœur de ville à Grenoble ; et les Trois Tours de Grenoble, projet de réhabilitation axé sur une enveloppe protectrice et caprice d'énergie permettant la mise à niveau énergétique de trois bâtiments existants. Complété par quelques évaluations scientifiques (étude structurelle, bilan énergétique, étude de faisabilité financière...), ce volet prospectif est un premier essai de quantification des performances que l'on peut atteindre aussi bien sur le plan spatial que sur les plans énergétique et économique de ces deux propositions. Il permet ainsi d'avoir une première estimation des performances techniques de telles typologies structurelles.

La thèse fournit l'opportunité d'élargir la réflexion globale et propose d'examiner plus précisément les potentiels du concept *Core-Skin-Shell* appliqué aux tours d'habitation. Combinant d'une part, recherche documentaire, état des lieux et analyse fine de références et d'autre part, simulations et analyses scientifiques, ce projet de recherche implique une double approche d'architecte et d'ingénieur.

Dans une première phase de travail, la thèse propose de réaliser le modèle numérique énergétique d'un bâtiment, c'est-à-dire le bilan de l'énergie qu'il consomme et qu'il produit en phases construction et exploitation. Dans un premier temps, ce modèle dresse le bilan énergétique (apports, stockage, dépenses) d'un bâtiment « objet » c'est-à-dire considéré en dehors de tout cadre bâti (fig. 3). Le bilan est écrit en fonction de deux variables dimensionnelles du bâtiment : sa largeur L et sa hauteur H. Pour plus de représentativité, le modèle travaille à partir des énergies primaires (Ep) plutôt que

13. Lætitia Arantes, *Intensités urbaines. La densification verticale comme potentiel architectural éco-responsable*, projet de fin d'études, école nationale supérieure d'architecture de Grenoble, master Architecture et cultures constructives, septembre 2009, 443 p.

14. *Id.*

Fig. 3. Les flux d'énergie dans un bâtiment.

L. Arantes.

finales (Ef) : la différence réside dans le fait que les premières tiennent compte du mode de production de l'énergie. Dans ce cadre, il utilise les ratios de conversion Ep/Ef utilisés par la réglementation thermique française (électricité : 2,58 ; énergies fossiles : 1 ; bois : 0,6). Le but est de rechercher quels optima dimensionnels permettraient d'obtenir des bâtiments économes en énergie. Pour cela, le bilan énergétique est établi de manière mensuelle sous les conditions climatiques de Grenoble, pour trois cas de figure :

- le cas réglementaire : on considère les cinq postes de consommation définis par la réglementation thermique 2005 (chauffage, rafraîchissement, eau chaude sanitaire ecs, éclairage, auxiliaires) ;
- le bâtiment et son fonctionnement propre : on évalue toutes les consommations induites par la seule conception du bâtiment, de sa construction à sa démolition en passant par son exploitation (énergie grise, chauffage, rafraîchissement, éclairage, auxiliaires, ascenseur) ;
- le bâtiment et ses usagers : on ajoute au précédent cas les consommations dues aux occupants (eau chaude sanitaire et électricité domestique). Le but est d'avoir un aperçu de l'influence du comportement de l'utilisateur sur le bilan énergétique global d'un bâtiment.

Pour chacun de ces cas, le modèle traite deux configurations *Core-Skin-Shell* différentes : une configuration « non déployée » (enveloppe et bouclier indissociables, comme dans un bâtiment classique), et une configuration « déployée » (bouclier détaché de l'enveloppe) ; l'objectif étant de déterminer les éventuelles potentialités énergétiques d'un tel dispositif constructif.

Dans un second temps, un modèle plus « global » propose de passer du bâtiment objet isolé au bâtiment situé, inséré dans un cadre bâti et un réseau de déplacement. En introduisant la notion de contexte, le but est d'évaluer la corrélation entre les performances d'un bâtiment et son intégration urbaine et environnementale.

Conclusion

Par la suite, ces deux modèles seront complétés par des études de sensibilité sur les différentes caractéristiques techniques (par exemple présence de systèmes d'occultation) mais aussi fonctionnelles (mixité d'usages) d'un bâtiment. En effet, le modèle tel que simplifié ici est loin d'être représentatif de tout bâtiment. Dans la réalité, les bâtiments sont bien plus complexes et hétérogènes. Pour autant, ces deux modèles entendent, *in fine*, servir d'outil d'accompagnement dans l'aménagement urbain, et plus particulièrement donner les grandes lignes d'orientation pour aller vers des villes et des bâtiments durables. Cette première phase mathématique de la recherche sera ensuite complétée par l'analyse fine de projets d'architecture illustrant la densification de la ville et/ou le concept *Core-Skin-Shell*.

Par ces deux méthodes, différentes mais complémentaires, le présent projet de thèse espère développer un nouveau concept de construction, dans un premier temps appliqué aux Tours, mais qui devrait être généralisable à d'autres types de bâtiments (maison individuelle, immeuble collectif...), que ce soit pour la rénovation ou la construction neuve.