

PERSPECTIVES

OBSERVATOIRE PARTENARIAL
ENVIRONNEMENT / JANVIER 2019

VILLES

Énergie & projets urbains Quels facteurs optimiser ?

Un nouveau paradigme à inventer

Plus de la moitié de la population mondiale vit dans des villes. Bien qu'elles ne couvrent que 2,8% de la surface de la planète, les villes sont responsables de plus de 75% des ressources énergétiques, 78% des émissions de gaz à effet de serre et 60% de la consommation d'eau¹.

La ville doit pourtant être vue aujourd'hui, dans une perspective de développement durable, comme un nouveau paradigme, faisant des défis des opportunités, visant à faire muter la « Ville consommatrice d'énergie » vers la « Ville productrice d'énergie ». La morphologie construite joue un rôle crucial sur la demande énergétique globale des villes². En France, le secteur résidentiel et tertiaire est de fait le plus énergivore et le plus polluant, loin devant les transports et l'industrie (ADEME, 2011).

Des enjeux énergétiques dans le projet urbain et architectural

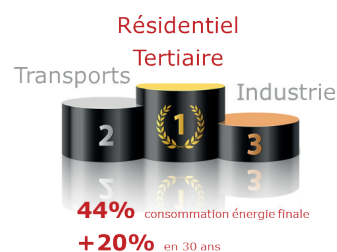
Des nombreux efforts ont été déployés depuis quelques décennies, afin de favoriser l'efficacité énergétique des espaces construits. Néanmoins cela concerne essentiellement les bâtiments isolés et neufs. Plusieurs travaux de recherche ont récemment essayé de mesurer et montrer l'effet de la morphologie urbaine sur la consommation énergétique des bâtiments, ainsi que sur leur potentiel de production d'énergie renouvelable, telle que l'énergie solaire.

Toutefois, les enjeux de la forme urbaine et les enjeux de la matérialité des enveloppes des bâtiments sont à ce jour traités indépendamment. Les enjeux énergétiques à l'échelle du bâtiment se concentrent principalement sur les performances des dispositifs constructifs, associés à des solutions techniques. Or, si une démarche plus globale tendait à optimiser la forme urbaine en intégrant les enjeux énergétiques de l'enveloppe, cela permettrait d'intégrer à la réflexion des facteurs tels que le confort lumineux par exemple.



Le projet de recherche Multiplicities a pour ambition de développer des connaissances nouvelles en termes de

bilans énergétiques d'archétypes urbains et d'évaluation de l'impact relatif des facteurs morphologiques. L'objectif : intégrer ces connaissances, facilement exploitables, dans les projets de renouvellement urbains, avec la volonté de s'inscrire dans une modélisation énergétique intégrée : multiscale, multidisciplinaire, multicritères, multi-acteurs (page 8).



source : ADEME 2011, aua/T

1. Rogers, 2000.

2. Owens, 1986 ; Droege, 2007 ; Batty, 2008 ; Hills, 1994 ; Williams, Burton, and Jenks, 2000.

L'évaluation de l'influence relative des indicateurs morphologiques urbains et liés aux matériaux

La morphologie urbaine interagit avec un grand nombre de paramètres architecturaux, morphologiques, typologiques,... qui jouent un rôle important sur le climat urbain et, par conséquent, sur la demande et l'offre potentielle d'énergie dans les villes.

Afin de mieux comprendre l'impact de ces facteurs, des études paramétriques sont souvent mises en œuvre.

Le choix d'une analyse de sensibilité

Le projet Multiplicités a fait le choix d'une analyse de sensibilité, basée sur la mise en œuvre d'un plan d'expérience.

Son principe consiste à identifier, statistiquement et de manière simplifiée, la sensibilité des indicateurs typomorpho-urbains étudiés, vis-à-vis des besoins énergétiques et du potentiel de production d'énergie solaire. Cette sensibilité a été appréciée, dans un premier temps, à partir d'un modèle urbain générique simplifié, puis de façon plus contextualisée à partir d'études de cas représentatives, choisies sur le territoire de Toulouse. L'objectif est de hiérarchiser les indicateurs typomorphologiques les plus influents, indépendamment de la typologie urbaine dans la mesure du possible. Il s'agit de retenir prioritairement les plus significatifs dans les réflexions d'optimisation énergétique des projets urbains.

20 facteurs morphologiques retenus

Intégrant les caractéristiques du climat de Toulouse, l'analyse de sensibilité a donc été engagée sur la base d'un modèle urbain simplifié, à partir duquel il est possible de créer des variations contrastées suivant une méthode d'analyse statistique.

Un modèle urbain simplifié composé de 25 bâtiments a été considéré ; pour chacun, est donnée la possibilité de faire varier toutes les dimensions d'un bâtiment : largeur, profondeur et hauteur, ainsi que les espaces

entre eux, comme le montre la Figure 1. A partir de ces variables de base, il est possible d'évaluer les variations de l'ensemble des 20 facteurs morphologiques retenus (Tableau 1). Les caractéristiques principales de l'enveloppe du bâtiment sont également évaluées, notamment le ratio de vitrage, l'épaisseur et l'albédo (i.e. fraction de l'énergie lumineuse que réfléchit ou diffuse un corps non lumineux), ainsi que les caractéristiques des matériaux (coefficient de transmission thermique des murs, conductivité, densité, chaleur spécifique, facteur solaire, transmittance thermique du vitrage). L'approche est donc bien multi-échelle, de l'îlot urbain au matériau. Dans cette première analyse, un large éventail de valeurs possibles est examiné pour chaque variable, indépendamment des réglementations urbaines ou des bonnes pratiques.

La composition de l'espace de recherche statistique doit être aussi complète que possible, permettant de mieux mesurer la sensibilité de chaque facteur sur les variables réponses, tout en évitant les biais ou les redondances sur les résultats.

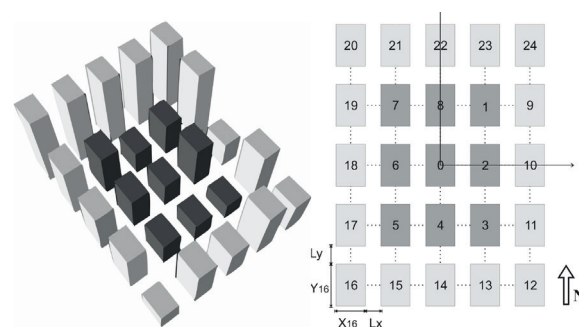


Figure 1 : Modèle géométrique statistique utilisé dans l'étude.

Tableau 1 : Facteurs typomorphologique et variations considérés dans l'étude

Rue Axe E-O	Largeur (X)	Profondeur (Y)	Rue Axe N-S	Facteur Solaire(FS)	Coefficient Transmission thermique des vitrages	Albédo Sol	Coefficient. Transmission thermique des parois	Ratio vitrage	COS	CES	Compacité	Verticalité	Prospect moyen	Albédo Façade	Epaisseur murs	Conductivité	Protection solaire	Densité matériau	Chaleur Spécifique
m	m	m	m	/	W/m ² K	/	W/m ² K	%	/	/	/	/	/	/	m	W/ m ² K	/	Kg/m ³	J/Kg.K
3 ↓ 50	4 ↓ 40	4 ↓ 40	3 ↓ 30	0, ↓ 9	1,3 ↓ 5,0	0, ↓ 9	0,7 ↓ 4,8	0,2 ↓ 0,9	0,3 ↓ 10, 3	0,05 ↓ 0,85	0, 4 ↓ 1, 0	0,01 ↓ 0,8	0, 6 ↓ 3, 9	0, 1 ↓ 0, 9	0,01 ↓ 0,6	0,02 ↓ 200	oui ↓ non	1,0 ↓ 2500	0,1 ↓ 0,9

Le test d'hypothèses a permis d'apprécier l'influence relative (appelée magnitude d'effet) des différents facteurs considérés, ainsi que le « sens » de cette influence. Pour identifier et qualifier l'intensité des effets, les facteurs sont analysés individuellement au regard des trois réponses énergétiques étudiées : les besoins de chauffage, les besoins de refroidissement et le taux d'irradiation solaire.

Des besoins en chauffage influencés par 11 facteurs morphologiques principaux

La figure 2 permet d'identifier les facteurs typo-morphologiques ayant un effet direct sur les besoins de chauffage (barres noires) : plus le facteur concerné est important, plus les besoins en chauffage seront élevés. Les barres grises correspondent, a contrario, aux facteurs ayant un impact inverse à la réponse ; autrement dit, plus on agit sur ces facteurs, plus on a de chances de réduire les besoins en chauffage.

On peut donc constater le rôle prépondérant des indicateurs de la densité bâtie (COS et CES), de la compacité, ainsi que de la verticalité (hauteur moyenne pondérée par la surface bâtie) sur les besoins de chauffage des bâtiments de l'îlot urbain de référence, mais de manières différentes.

Pour les facteurs CES et COS, et cela apparaît vérifier une évidence, plus l'îlot est densément bâtie, plus on aura de surfaces construites à chauffer. Dans l'autre sens, plus l'îlot est compact, moins on aura de surface déperditive ; on aura, par conséquent, moins de besoins en chauffage.

Il est également possible de vérifier la hiérarchie de l'impact des indicateurs entre eux.

Selon l'intervalle de confiance adopté dans cette étude (équivalent à 95 %), onze facteurs typo-morphologiques, sur les vingt facteurs considérés, peuvent être identifiés comme les plus influents sur la réponse obtenue en termes de besoins de chauffage :

- Le CES,
- Le COS,
- La compacité,
- La verticalité,
- La largeur,
- La profondeur bâtie,
- La transmission du vitrage,
- La conductivité des matériaux,
- Le prospect moyen,
- Le ratio de vitrage sur les façades,
- Et l'épaisseur des murs.

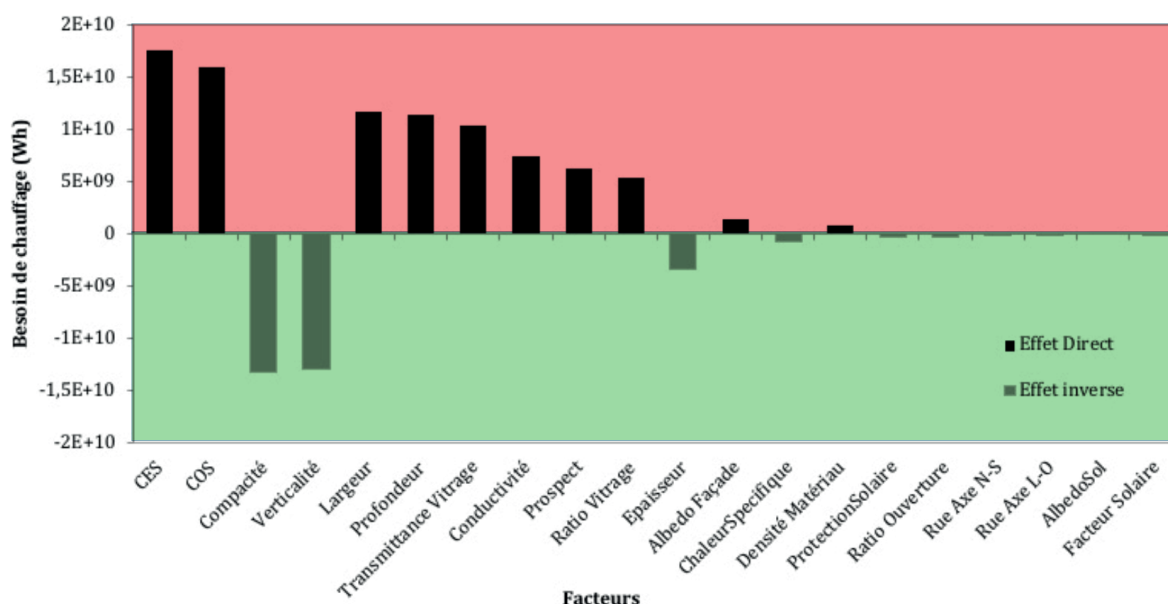


Figure 2 : Magnitude d'effet des différents facteurs typo-morphologiques sur les besoins de chauffage.

14 facteurs influents pour répondre aux besoins de refroidissement

En ce qui concerne la réponse obtenue en termes de besoins de refroidissement, d'autres facteurs ont été mis en évidence. Nous pouvons remarquer un fort impact quasi équivalent entre quatre indicateurs typo-morphologiques à l'échelle de l'enveloppe et des matériaux : la mise en place d'un dispositif de protection solaire, le facteur solaire des vitrages, la conductivité et le coefficient de transmission dans le vitrage. Les deux premiers exercent un impact inverse sur la réponse. Autrement dit, plus la surface vitrée des façades sera protégée, plus les besoins de climatisation seront faibles.

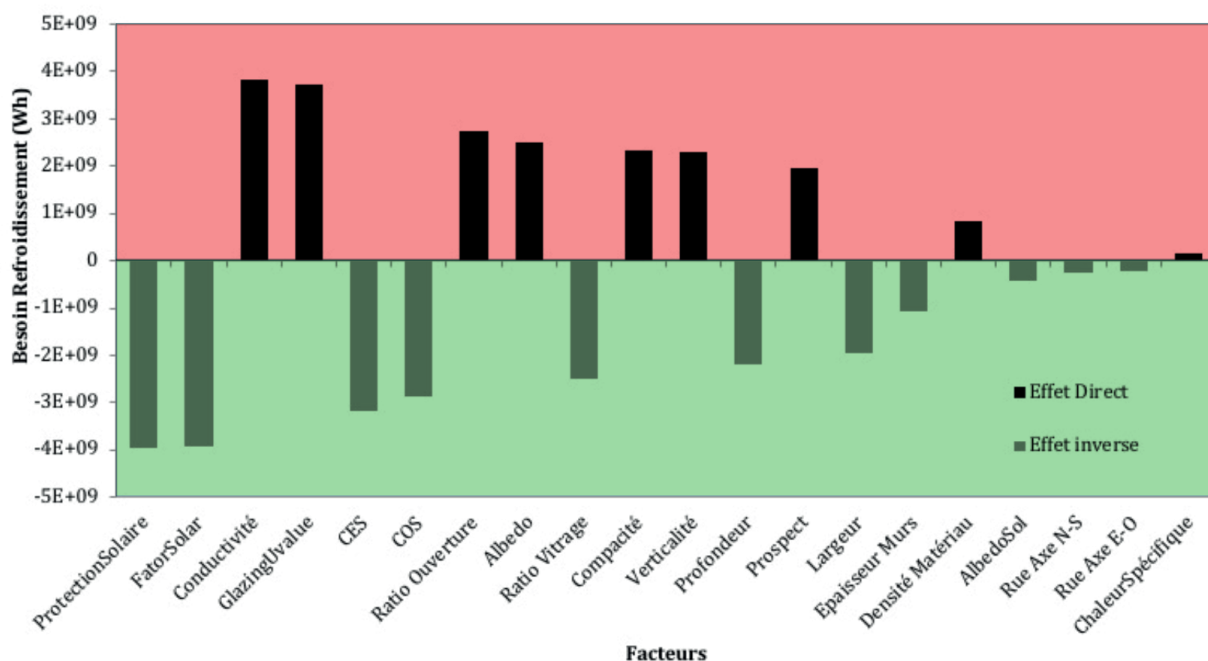
D'autre part, la conductivité des matériaux est forte et plus le coefficient de transmission des vitrages est élevé, plus la chaleur en saison chaude sera facilement admise dans les bâtiments, et plus les besoins de refroidissement seront importants.

Les facteurs de densité présentent aussi un impact important sur ces besoins. Cette fois-ci, on pourra conclure que cette densité représente aussi une modification significative des masques solaires. Plus la masse construite est importante, plus les façades recevant potentiellement des apports solaires indésirables en été seront protégées.

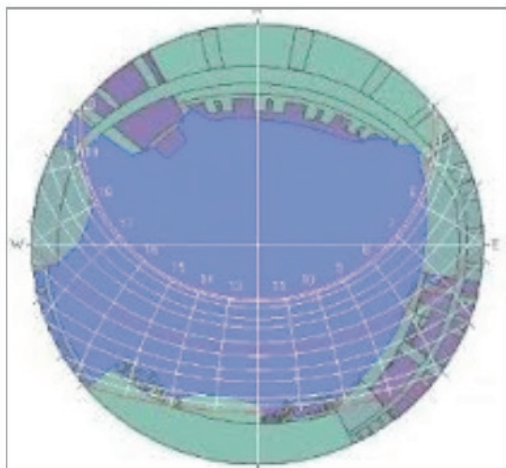
Quatorze facteurs typo-morphologiques peuvent être retenus et hiérarchisés quant à leur influence sur la réponse en termes de besoins de refroidissement :

- La protection solaire,
- Le facteur solaire des vitrages,
- La conductivité des matériaux,
- Le coefficient de transmission du vitrage,
- Le CES,
- Le COS,
- Le ratio d'ouverture,
- L'albédo des façades,
- Le ratio de vitrage sur les façades,
- La compacité,
- La verticalité,
- La profondeur,
- Le prospect,
- Et la largeur des bâtiments.

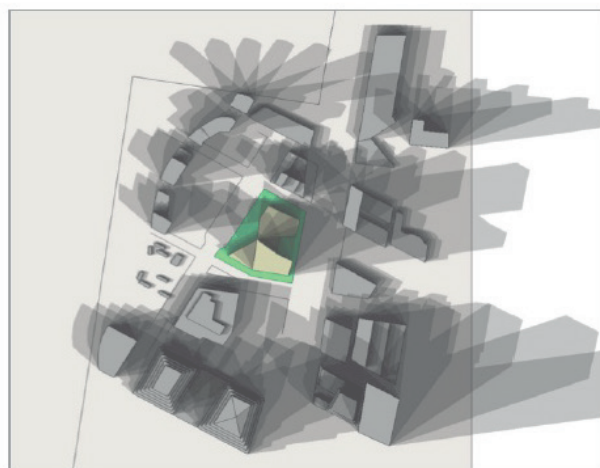
Figure 3 :
Magnitude
d'effet des
différents
facteurs typo-
morphologiques
sur les
besoins de
refroidissement.



Facteur vue du ciel



Ombre portée



Une irradiation solaire favorisée par 12 facteurs morphologiques principaux

Les résultats semblent cohérents, en termes de réponse attendue sur l'irradiation solaire pour les configurations urbaines.

L'albédo des façades bâties et du sol urbain présente une importante influence directe sur les réponses. Plus l'albédo (la réflectance) est important, plus l'échange d'irradiation solaire entre éléments urbains (la réflexion) est important et la quantité d'énergie solaire incidente sur les façades est importante.

Pour le prospect moyen (ratio de la hauteur des bâtiments sur la largeur de la rue), nous vérifions un effet inverse : plus la hauteur des bâtiments est importante par rapport à la distance entre ces derniers, plus l'ombre portée sur les toitures et les façades sera importante, ce qui peut réduire la réponse globale en termes d'incidence du rayonnement sur les surfaces des bâtiments.

En ce qui concerne la distance entre les bâtiments sur l'axe des rues Est-Ouest, ce paramètre présente un effet direct important sur les variables de réponse. Plus les bâtiments sont espacés entre eux, plus la disponibilité de l'irradiation des surfaces est importante en raison de la moindre d'obstruction par rapport au soleil et à la voûte céleste tout au long de l'année.

Parmi les autres variables influentes, la compacité, par exemple, présente un effet direct. Cela pourrait s'expliquer par l'influence des inter-réflexions entre les surfaces verticales.

Plus la surface d'enveloppe par rapport au volume bâti est élevée, plus le niveau d'irradiation sur les façades est important, ce qui peut aussi représenter des apports de chaleur solaire significatifs sur les bâtiments.

Douze facteurs typo-morphologiques peuvent être retenus et hiérarchisés par rapport à leur influence sur la réponse du taux d'irradiation solaire sur les différentes surfaces bâties :

- L'albédo,
- Le prospect moyen,
- L'albédo du sol,
- La largeur des rues dans l'axe Est-Ouest,
- Le COS,
- La largeur des bâtiments,
- La compacité,
- La verticalité,
- Le CES,
- La largeur des rues dans l'axe Nord-Sud,
- Le ratio de vitrage en façade,
- Et la profondeur bâtie.

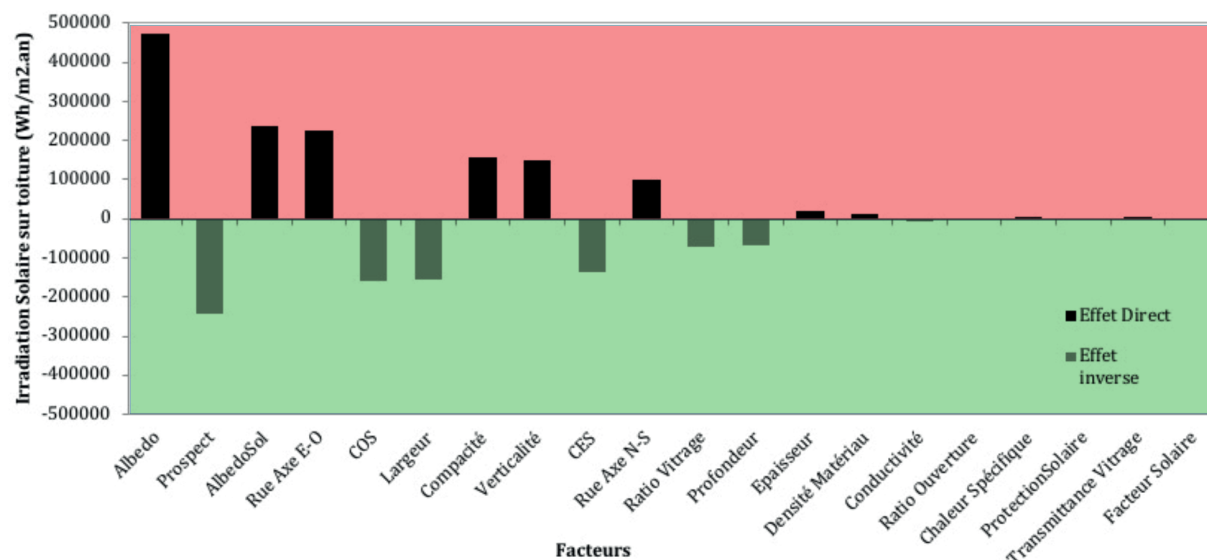
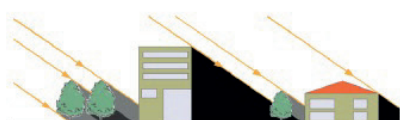


Figure 4 : Magnitude d'effet des différents facteurs typo-morphologiques sur l'irradiation solaire.

FLUX RADIATIFS URBAINS



Irradiation Solaire Directe



Irradiation Solaire diffuse



Irradiation Solaire Réfléchie



Echanges radiatifs infrarouges

Des influences parfois contradictoires au regard de la performance globale attendue du projet urbain

L'analyse de sensibilité réalisée a permis d'obtenir une hiérarchie d'effets différente pour les besoins énergétiques étudiés en termes de chauffage et de refroidissement. Cette hiérarchie peut être retenue de manière complémentaire, mais mérite aussi être examinée de manière croisée, notamment avec les réponses obtenues en termes de potentiel de production solaire.

Ainsi, par exemple, si une augmentation de l'albédo pourrait entraîner une augmentation du potentiel de production d'énergie solaire localement, il peut amener d'autre part à une hausse significative des besoins de refroidissement en été durant la journée.

Il faut noter que l'analyse de sensibilité réalisée prend en compte les deux extrêmes de l'intervalle considéré. Dans notre exemple, les résultats obtenus nous permettent donc de conclure que l'albédo peut avoir un impact crucial et paradoxal entre les différents critères d'analyse. Le choix des matériaux urbains (sol urbain et façades), en fonction de leur réflectance, doit être fait raisonnablement en évitant les valeurs extrêmes. Les matériaux extrêmement clairs sont de plus en plus prescrits - principalement dans les nouveaux projets urbains - afin de mitiger l'effet de chaleur urbain nocturne. Cependant, si ce comportement est analysé du point de vue des charges potentielles de climatisation, nous pouvons peut-être retrouver un bilan assez défavorable, sans oublier les inconforts visuels produits par l'éblouissement des usagers.

Quel impact d'environnements urbains distincts ?

Les discussions avec les acteurs locaux de l'aménagement urbain, initiées au cours du projet Multiplicités lors d'ateliers recherche-action, ont fait émerger une nouvelle hypothèse d'étude concernant l'importance relative des facteurs par rapport à chaque contexte typo-morphologique. Autrement dit, est-ce que le fort impact relatif des indicateurs étudiés aurait la même signification dans les trois environnements urbains types considérés dans cette recherche ?

Cette interrogation a guidé le projet vers la réalisation d'une nouvelle analyse de sensibilité des facteurs typo-morphologiques urbains (toujours multi-échelles) intégrant les caractéristiques propres à chaque quartier ou « archétype urbain » étudié. On parle alors d'études de sensibilité contextualisées.

Focus sur les archétypes urbains étudiés

Trois études de cas ont été retenues dans le cadre du projet Multiplicités, avec un double objectif :

- Tester les outils de modélisation et d'optimisation énergétique
- Constituer un support de mise en pratique et de prospection pour les ateliers participatifs organisés avec les acteurs locaux de l'aménagement urbain.

Archétype urbain : Pavillon semi-continu

Site d'étude : Bagatelle – Les Castors

Lotissement : maisons jumelles, plusieurs îlots ; architecture commune des années 1950/1955, caractérisées par les 1ères auto-constructions



Archétype urbain : Immeuble sur îlot fermé

Site d'étude : Belfort

Bâti édifié à l'alignement des voies ; architecture académique aux codes haussmanniens le long des boulevards et d'inspiration traditionnelle régionale au cœur de quartier



Archétype urbain : pavillon continu sur îlot ouvert

Site d'étude : Château de l'Hers

Cité, composée de maisons en bande, indépendantes de la voirie ; architecture commune des années 1970/1975



La contribution décisive de chaque archétype urbain sur les résultats de l'analyse de sensibilité est très remarquable.

Des échelles de facteurs influents sur les besoins en chauffage très variables suivant les typologies de quartiers

Pour un quartier urbain ancien, compact et dense tel que Belfort qui est relativement contraint par son patrimoine existant, il est surprenant de constater que les facteurs COS et CES, bien connus, principalement et indistinctement utilisés dans les exercices d'urbanisme aujourd'hui, semblent être beaucoup moins pertinents que de nouveaux facteurs proposés qui s'imposent comme les plus influents : l'écart-type de la hauteur bâtie et le prospect moyen du patio, qui représentent près de 50% de l'impact sur la demande de chauffage des bâtiments de Belfort.

A contrario, les facteurs à l'échelle du bâtiment et de l'enveloppe apparaissent comme les éléments les plus décisifs à prendre en compte dans les archétypes urbains tels que Hers et Castors.

Le ratio de vitrage, le coefficient de transmission thermique des vitrages et la conductivité des murs représentent ensemble plus de 58% de l'impact sur cette même réponse énergétique pour Hers et Castors. En outre, il convient de souligner que l'écart-type de la hauteur a une influence globale importante dans le quartier des pavillons jumeaux (cité Castors), deux fois plus élevée que pour le Château de l'Hers. Cela pourrait s'expliquer par la distance entre les unités de maison. Dans le cas de Castors, il s'agit de maisons jumelles, alors que pour le Château de l'Hers, la hauteur des barres prises individuellement a moins d'influence les unes sur les autres. L'augmentation de l'écart-type de la hauteur peut largement contribuer à la réduction des apports solaires en hiver, ce qui peut fortement jouer dans les besoins de chauffage des bâtiments.

Les échelles du bâtiment et de l'enveloppe prédominantes sur les besoins en refroidissement

Les constats convergent : on note une prédominance de l'effet global du bâtiment et des facteurs à l'échelle de l'enveloppe pour les trois archétypes urbains étudiés.

Ainsi, pour faire face à la saison estivale tout en réduisant la demande énergétique pour le refroidissement des espaces intérieurs, il convient de mettre la priorité sur la mise en place de dispositifs de protection solaire plus efficaces, en réduisant aussi le ratio de vitrage des façades, le facteur solaire et en utilisant des matériaux thermiquement moins conductifs. Ensemble, ces différentes mesures imposent un impact global de plus de 60%.

Des priorités différentes en matière de captation solaire, selon l'archétype urbain

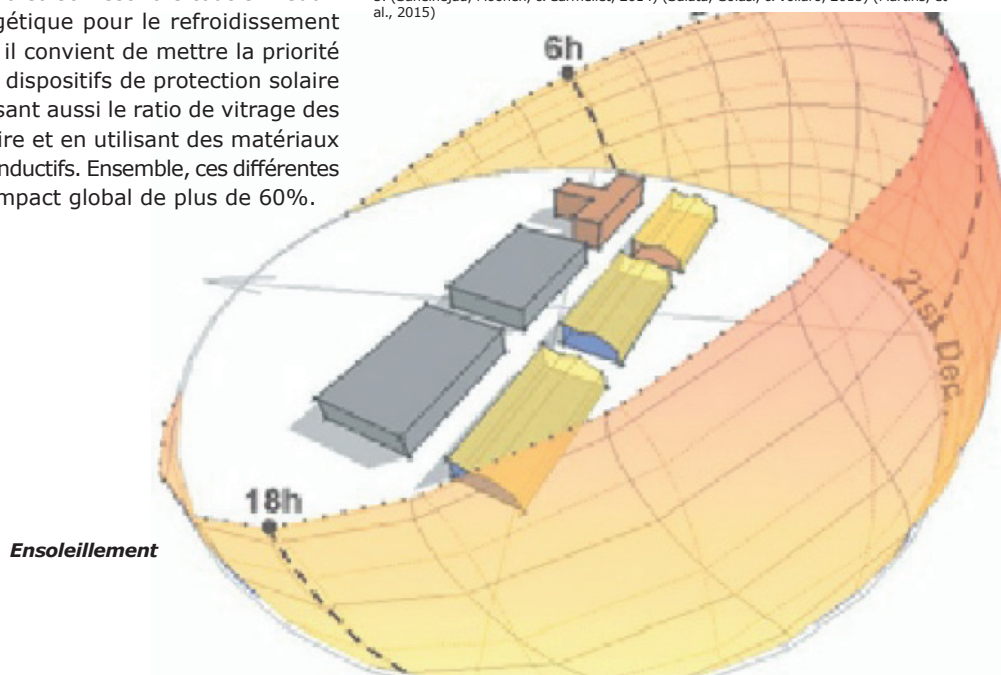
Pour les îlots urbains compacts tels que Belfort, l'albédo des façades et le ratio de vitrage ont une influence globale de près de 70%, alors que pour les deux autres archétypes, les facteurs définissant la forme urbaine ont plus de 50% d'influence. On évoque dans ce cas les paramètres définissant le prospect moyen des rues (plus de 30%) et les facteurs de densité urbaine, le COS et CES. De nombreuses études ont démontré l'effet important du prospect moyen sur l'énergie solaire des bâtiments. Un prospect important peut compromettre le potentiel de captation de l'énergie solaire sur les toitures des bâtiments. Néanmoins, une augmentation conséquente du prospect peut également conduire à une intensification des îlots de chaleur urbains la nuit, ce qui peut aussi favoriser deux phénomènes énergétiques opposés : augmenter les charges pour le refroidissement des bâtiments et réduire les besoins de chauffage en hiver.

Une attention particulière doit être accordée à des niveaux élevés d'albédo, sur les façades et les surfaces urbaines. Ils peuvent entraîner des effets secondaires non considérés dans cette étude, comme par exemple l'inconfort thermique extérieur. Des valeurs élevées de réflectivité solaire sur les surfaces urbaines intensifient sûrement les réflexions multiples à l'intérieur des canyons urbains, ce qui peut entraîner aussi une surchauffe des bâtiments en situation d'été et provoquer un éblouissement très désagréable pour les piétons à l'échelle urbaine.

L'émergence de nouveaux indicateurs morphologiques influents

Le prospect de patio et l'écart-type de la hauteur bâtie sont apparus fondamentaux quant à la performance des quartiers. Pour autant, le prospect de patio n'existe pas encore dans la littérature sur la performance énergétique des morphologies urbaines, et l'écart-type de la hauteur bâtie n'apparaît que très peu dans cette même littérature. Aujourd'hui, on peut envisager d'utiliser ces indicateurs pour des typologies particulières, notamment l'îlot fermé à patio « suffisamment ouvert ».

3. (Petersen, Momme, & Hviid, 2014) (Takebayashi, et al., 2015) (Martins T., Adolphe, Bastos, & Martins, 2016)
4. (Ali-Toudert & Mayer, 2007) (Ali-Toudert & Mayer, 2006) (Theeuwes, Steeneveld, Ronda, Van Hove, & Holtslad, 2014) (Oke, 1988)
5. (Saneinejad, Moonen, & Carmeliet, 2014) (Salata, Golasi, & Vollaro, 2015) (Martins, et al., 2015)





Le projet MultipliCités (APR Modeval-Urba ADEME, 2015-2018) a pour ambition de développer des connaissances nouvelles, intégrables dans les projets de renouvellement urbain, facilement exploitables, avec la volonté de s'inscrire dans une modélisation énergétique intégrée.

Ces connaissances sont axées sur une **approche multiscale**, focalisée sur les formes construites et leur matérialité à trois échelles spatiales imbriquées : le quartier, le bâtiment et le matériau ; sur une **approche multidisciplinaire**, qui croise l'étude de la morphologie urbaine, l'énergétique du bâtiment et la statistique appliquée ; sur une **approche multicritères** qui permet de confronter les divers scénarios énergétiques à des paramètres qualitatifs (souvent non-mesurables) en termes d'ambiances, de confort multi-sensoriel ainsi qu'en termes d'enjeux socio-économiques des variantes ; et sur une **approche multi-acteurs** qui croise les expériences de la recherche et de la pratique professionnelle des acteurs urbains locaux (approche interdisciplinaire des ateliers participatifs) dans la production de bases de connaissances pour les aménageurs.

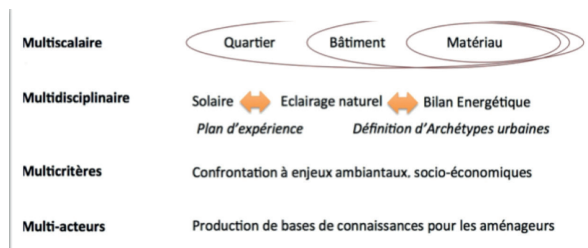
L'étude a retenu six objectifs principaux :

1. Identifier et caractériser des archétypes de quartiers représentatifs de la ville européenne traditionnelle,
2. Établir le bilan énergétique de ces archétypes urbains,
3. Évaluer l'impact relatif de leurs attributs typo-morphologiques dans les réponses énergétiques,
4. Générer des archétypes énergétiques urbains « optimaux »,
5. Mettre en œuvre une analyse multicritères de scénarios énergétiques,
6. Développer une base de données et de connaissances sur les variantes « optimales ».

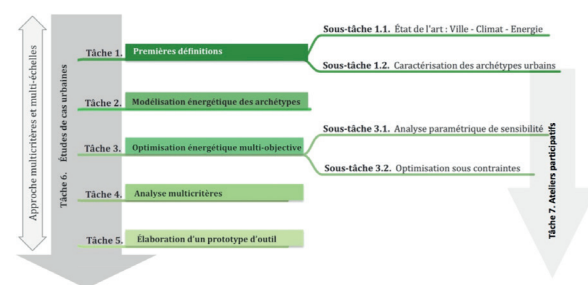
Une démarche de recherche-action

Afin de répondre à ces objectifs, six tâches principales avaient été définies lors de la soumission du projet, dans une approche multiscale et multicritères. L'équipe projet a décidé d'ajouter à la proposition initiale une nouvelle tâche, la tâche « Ateliers participatifs », sur laquelle l'aua/T a été tout particulièrement impliquée. Cette septième tâche du projet est basée sur une stratégie à triple détente, sous la forme de deux ateliers successifs de co-construction chercheurs-acteurs, suivis d'une restitution - débat sur les résultats obtenus auprès des acteurs urbains mobilisés.

Approche sur la modélisation énergétique intégrée envisagée dans le projet MultipliCités



Méthode retenue dans le projet MultipliCités



Pour en savoir plus

<http://lra.toulouse.archi.fr/lra/activites/projets/multiplicites>

Partenaires :

- LRA : Laboratoire de Recherche en Architecture
- EEAM : Ecole Européenne de l'Art et des Matières
- auu/T : agence d'urbanisme et d'aménagement Toulouse aire métropolitaine
- IdV : Institut de la Ville de Toulouse

Publications

- « MultipliCités : multi-scale energy modelling of urban archetype buildings, case-study in Toulouse », T.A.L. Martins, S. Faraut, L. Adolphe, N. Tornay, M. Bonhomme, G. Bretagne, P. Contart and G. Casaux-Ginestet, International Conference PLEA 2017, Design to Thrive, ISBN 978-0-9928957-5-4, 3-5 Juillet 2017
- « Multiscale Parametric Urban Morphology and Energetic Optimization Framework - Case studies in Toulouse, France », S. Faraut, T. A.L. Martins, L. Adolphe, - communication acceptée - PLEA 2018, Hong-Kong - Décembre 2018

Sur le site de l'auu/T :

- « Zoom du mois : Projet urbain et performance énergétique », la lettre d'actualités de l'auu/T, novembre 2016, <http://www.aa-toulouse.org/spip.php?article1586>.
- « Zoom du mois : Projet urbain et optimisation de l'énergie solaire », la lettre d'actualités de l'auu/T, mai 2017, <http://www.aa-toulouse.org/spip.php?article1725>



Agence d'urbanisme et d'aménagement Toulouse aire métropolitaine
Le Belvédère - 11 bd des Récollets - CS 97802 - 31078 Toulouse cedex 4 - Tél. 05 62 26 86 26 - www.aa-toulouse.org