

Diagnostic de la ventilation naturelle sur Lyon-Villeurbanne

Damien DAVID*¹, Batiste VIDAL¹, Estelle MORLE², Hervé PABIOU¹, Paul VINCENT²

¹ Univ Lyon, CNRS, INSA-Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CETHIL UMR5008, F-69621, Villeurbanne, France

² EVS-LAURE, 3 rue Maurice Audrin, 69512 Vaulx en Velin

*damien.david@insa-lyon.fr

RESUME. Un diagnostic de la ventilation naturelle sur les villes de Lyon et Villeurbanne a été réalisé. L'outil de simulation utilisé pour réaliser ce diagnostic est une chaîne d'outils Urban Weather Generator + EnergyPlus + CpCalc. Des échantillons d'appartements et de morphologie urbaine ont été sélectionnés à l'issue d'un travail de classification. Les échantillons d'appartement correspondent à des morphologies d'appartements réels, les échantillons de morphologie urbaine sont académiques. Le paramétrage des simulations a été réalisé de manière à montrer les capacités de rafraîchissement maximales de la ventilation naturelle. L'analyse des résultats montre une influence prédominante des paramètres morphologiques des appartements, par rapport aux caractéristiques du tissu urbain extérieur, sur les capacités de rafraîchissement par ventilation naturelle des appartements.

MOTS-CLÉS : Ventilation Naturelle, Milieu Urbain, Diagnostic.

ABSTRACT. A diagnosis of natural ventilation in the cities of Lyon and Villeurbanne was carried out. The simulation tool used to carry out this diagnosis is a Urban Weather Generator + EnergyPlus + CpCalc tool chain. Samples of apartments and of urban morphologies were selected after a classification work. The apartment samples correspond to real apartment morphologies, the urban morphology samples are academic. The configuration of the simulations was carried out in order to show the maximum cooling capacities of natural ventilation. The analysis of the results shows a predominant influence of the morphological parameters of the apartments, compared to the characteristics of the exterior urban environment, on the cooling capacities by natural ventilation of the apartments

KEYWORDS : Natural Ventilation, Urban Scale, Diagnosis.

1. INTRODUCTION

Dans l'objectif de développer une solution de ventilation naturelle adaptée à l'environnement urbain lyonnais, une approche pluridisciplinaire ingénierie-architecture a été mise en place entre les laboratoires CETHIL et EVS-LAURE. Suite à une analyse des solutions architecturales favorisant la ventilation naturelle, le travail présenté ici constitue une tentative de diagnostic de la ventilation naturelle des bâtiments résidentiels collectifs sur les villes de Lyon et Villeurbanne.

Le premier objectif de ce diagnostic est d'obtenir un ordre de grandeur de la capacité des bâtiments situés dans ces deux villes limitrophes à se rafraîchir uniquement par ventilation naturelle. Le second objectif est d'identifier les extrêmes, c'est-à-dire les configurations dans lesquelles la ventilation

naturelle fonctionne très bien, et les configurations dans lesquelles la ventilation naturelle ne fonctionne pas du tout. En effet, ces connaissances permettraient d'orienter les exigences des décideurs lors de nouveaux projets de construction immobilière, et de cibler les types de logements existant pour lesquels un système de rafraîchissement auxiliaire est nécessaire. On comprend, à l'annonce de ces objectifs, que le diagnostic engagé ne vise pas uniquement à définir un comportement moyen de la ventilation naturelle dans les villes de Lyon et Villeurbanne, mais aussi d'observer les disparités de ce comportement dans la diversité des configurations architecturales et urbaines présentes sur leur territoire.

La réalisation du diagnostic nous a amené à définir une méthodologie qui répond à trois problématiques principales : le choix de la chaîne d'outil adaptée pour la simulation de la ventilation naturelle en milieu urbain, le choix des cas d'étude à simuler pour avoir une représentativité suffisamment large des diverses configurations urbaines, et le choix du traitement pour interpréter les résultats de simulation. Nous présentons dans cet article les réponses qui ont été apportées à ces problématiques.

2. OUTIL DE SIMULATION

Notre problématique est une problématique de confort d'été en milieu urbain. La ventilation naturelle implique l'usage d'un Airflow Network (AFN) couplé au modèle de bâtiment. La problématique de confort estival implique la nécessité de modéliser explicitement le partitionnement des appartements pour évaluer les inhomogénéités de confort internes et les résistances aux écoulements de ventilation. Les effets du milieu urbain de premier ordre dans notre configuration d'étude sont : les masques solaires proches (balcons) et lointains (bâtiments environnant), l'effet d'îlot de chaleur urbain sur la température de l'air, et les effets du tissu urbain sur l'écoulement du vent, et donc sur les forces de pression exercées par le vent sur les façades des bâtiments simulés.

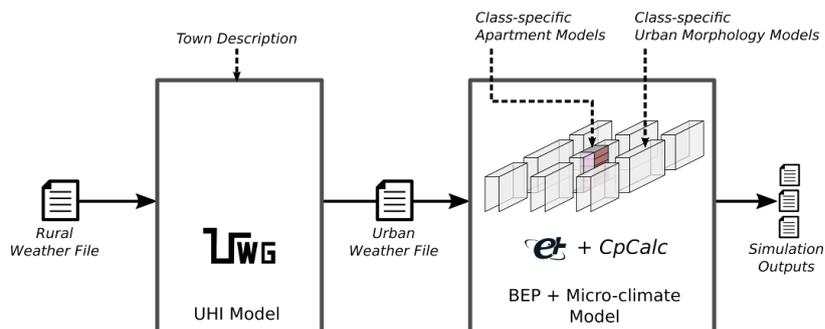


Figure 1 Chaîne d'outil de simulation intégrant Urban Weather Generator, EnergyPlus et le modèle CpCalc.

La chaîne d'outil sélectionnée est représentée sur la figure 1. Nous utilisons l'outil Urban Weather Generator (UWG) [Bueno et al., 2012] pour simuler l'îlot de chaleur urbain. Cet outil modifie les valeurs de température et d'humidité du fichier météo représentatif du milieu rural pour produire un fichier météo représentatif du milieu Urbain.

Nous utilisons l'outil EnergyPlus pour simuler le comportement thermique des bâtiments. Ce logiciel inclut un AFN pour la modélisation de la ventilation naturelle. Cet AFN a été confronté avec succès à des données expérimentales par [Gu 2007]. Il inclut un moteur de calcul de rayonnement externe qui permet de simuler les masques solaires et les multi-réflexions du rayonnement solaire dans l'environnement urbain. Les spécificités des écoulements d'air dans le milieu urbain sont prises en

compte au travers de valeurs de coefficient de pression adaptés. Ces valeurs sont fournies par l’outil CpCalc décrit dans [Grosso 1992], et par les résultats numériques issus de [Merlier 2015].

3. DEFINITION DES ECHANTILLONS A SIMULER

Le contexte collaboratif dans lequel a été réalisé cette étude nous a amené à réaliser indépendamment les travaux de classification et d’échantillonnage des appartements et des morphologies urbaines. L’objectif de ce travail était de constituer un ensemble de configurations (appartements et morphologie urbaine) représentatif des villes de Lyon et Villeurbanne.

3.1. CLASSIFICATION ET ECHANTILLONNAGE DES APPARTEMENTS

Vingt classes d’appartement ont été définies. Elles sont basées sur deux paramètres : la période de construction des bâtiments et la taille des appartements. Les périodes de construction des appartements sont les suivantes : P1 (0-1849), P2 (1850-1947), P3 (1948-1973), P4 (1974-1999), P5 (2000-2020). Ces périodes de construction ont été inspirées des périodes de construction définies par les bases de données de compositions de parois TABULA [Rochard et al, 2015] et GENIUS [Tornay et al, 2017]. Elles correspondent toutes à des modes architecturales, ou à des périodes d’application de réglementations thermiques distinctes. Les tailles des appartements ont été quantifiées selon le nombre de pièces principales qu’ils contiennent, allant de T1 (une pièce principale) à T4 (quatre pièces principales ou plus).

Pour chaque classe d’appartement, la composition des parois a été extraite de la base de données TABULA. La géométrie de l’échantillon représentatif de la classe a été obtenue en réalisant des métrés sur des appartements existants. Le tableau 1 montre des exemples de plans d’appartements échantillons pour les classes de la période de construction P3.

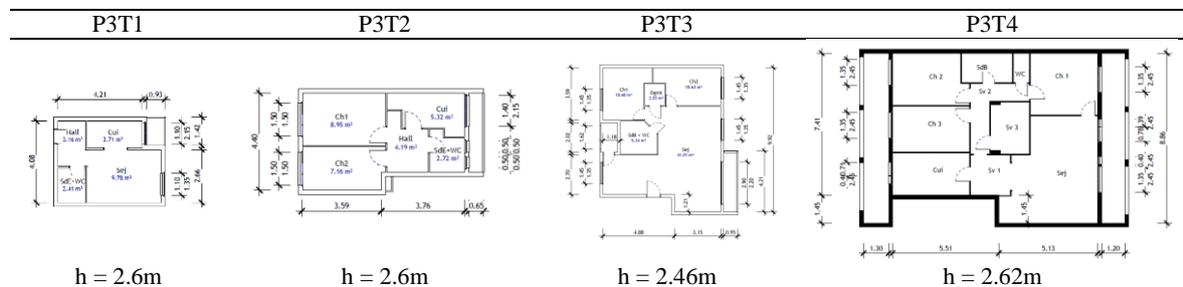


Tableau 1 : plans des appartements pour la période de construction P3

Le tableau 2 montre des caractéristiques géométriques des appartements échantillons. Plus l’appartement est grand, plus il a tendance à avoir une configuration traversante. Les protrusions de façades (balcons, loggias) sont devenues plus fréquentes à partir de la période de construction P3, c’est-à-dire la période de construction d’après-guerre. A compter du XIX^{ème} à Lyon, plus les appartements sont anciens, plus leur hauteur sous plafond est grande, et plus la hauteur de leurs fenêtres est grande. Cette caractéristique historique lyonnaise peut s’expliquer par l’installation en ville des ateliers canuts au début du XIX^{ème} siècle nécessitant une grande hauteur pour installer les métiers à tisser la soie. Elle favorise les écoulements de ventilation par tirage thermique. Enfin, il n’existe pas de corrélation évidente entre la date de construction ou la taille des appartements et leur porosité de façades.

Nom	Agencement Général	Protrusion de Façade	Hauteur ss plafond [m]	Surface au Sol [m ²]	Porosité de Façade 1 [%]
P1-T1	M	N	3.42	34.2	30.6
P1-T2	T	N	3.18	64.7	47.7
P1-T3	T	N	3.2	91.9	22.3
P1-T4	T	N	3.2	104.3	33.9
P2-T1	M	N	3.42	35.3	35.6
P2-T2	M	Terrasse	2.75	38.9	41.6
P2-T3	T	N	3	57.7	27.2
P2-T4	T	N	2.75	79.8	24.4
P3-T1	M	Loggia	2.6	19.1	34.3
P3-T2	T	Balcon	2.6	28.3	35.5
P3-T3	T	Balcon	2.46	77.4	42.2
P3-T4	T	Loggia	2.62	86.3	45.1
P4-T1	M	Balcon	2.51	33.4	27.9
P4-T2	M	N	2.6	38.2	38.5
P4-T3	T	Loggia	2.5	60.0	42.1
P4-T4	T	Loggia	2.5	78.1	33.7
P5-T1	M	N	2.45	20.3	22.7
P5-T2	T	Balcon	2.5	57.6	48.1
P5-T3	T	Balcon	2.5	76.0	40.0
P5-T4	M	Balcon	2.5	95.1	36.6

Tableau 2 : Caractéristiques géométriques des échantillons d'appartements. M : mono-orienté, T : traversant, N : non.

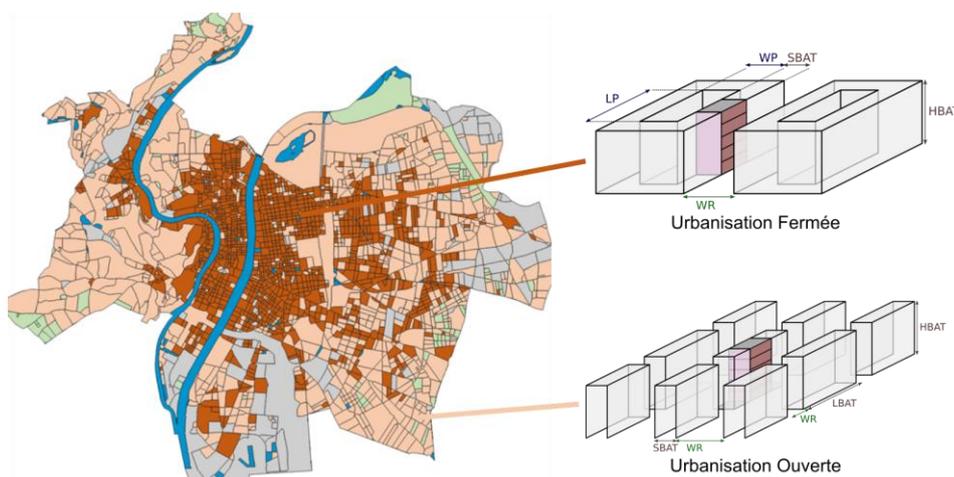


Figure 2 : Classification et paramétrage de la morphologie urbaine.

	HBAT [m]	HBAT/WR	SBAT [m]	LP [m]	WP [m]
uf_hw10_hbat10	10	1			
uf_hw14_hbat10	10	1.4			
uf_hw18_hbat10	10	1.8			
uf_hw10_hbat24	24	1	13	30	30
uf_hw14_hbat24	24	1.4			
uf_hw18_hbat24	24	1.8			

Tableau 3 : Valeurs des paramètres géométriques des échantillons de morphologie urbaine fermée. HBAT : hauteur bâtiment, WR : largeur de rue, SBAT : largeur bâtiment, LP : longueur patio, WP : largeur patio (cf. figure 2)

	HBAT [m]	PAD	LBAT [m]	SBAT [m]
uo_pad15_lbat30		0.15	30	
uo_pad25_lbat30		0.25	30	
uo_pad15_lbat70	24	0.15	70	13
uo_pad25_lbat70		0.25	70	

Tableau 4 : Valeurs des paramètres géométriques des échantillons de morphologie urbaine ouverte. PAD : plane area density ratio (cf. figure 2)

3.2. CLASSIFICATION ET ECHANTILLONNAGE DES MORPHOLOGIES URBAINES

Notre premier niveau de classification se base sur le type de morphologie urbaine [Bonhomme et al. 2012]. Sur le territoire de Lyon et Villeurbanne, 75% des bâtiments résidentiels sont regroupés en immeubles continus sur îlots fermés et en immeubles continus sur îlots ouverts (données cartographiées [MaPUCE]). Nous avons défini deux groupements autour de ces types majoritaires (Figure 2) :

- Urbanisation fermée (uf) : immeuble ou pavillons continus sur îlots fermés, principalement concentrés dans le centre de l'agglomération,
- Urbanisation ouverte (uo) : immeubles ou pavillons continus sur îlots ouverts, ou discontinus. Principalement présents sur la périphérie de l'agglomération.

Pour chacun de ces types urbains, nous avons défini une géométrie académique représentative. Les géométries définies sont dessinées sur la figure 2. Leurs dimensions sont paramétrables. Les classes de morphologie urbaine ont été définies en fonction des plages de valeurs prises par ces paramètres dimensionnels dans les villes de Lyon et Villeurbanne. Les statistiques sur ces paramètres dimensionnels ont été obtenues à partir d'analyse de cartes fournies par le site [DataGandLyon]. Les tableaux 3 et 4 listent les 10 classes de morphologies urbaines définies, avec les valeurs des paramètres dimensionnels correspondant aux échantillons de ces 10 classes.

Dans les villes de Lyon et Villeurbanne, les rues sont principalement orientées Est-Ouest et Nord-Sud, avec un décalage de 10° (NW-SE). Ces deux orientations principales correspondent à quatre orientations de façade principale pour les échantillons à simuler.

4. PARAMETRAGE DES MODELES THERMIQUES

La ventilation naturelle est une stratégie de rafraîchissement passif des bâtiments, qui nécessite une intervention des usagers pour l'ouverture et la fermeture des fenêtres. Il existe d'autres stratégies de rafraîchissement de ce type, notamment l'ouverture et la fermeture de volets, et les stratégies d'évapotranspiration [Del Rio et al. 2019]. Notre étude se focalise sur les effets de la ventilation naturelle. Pour éviter que nos résultats soient perturbés par les autres stratégies de rafraîchissement, nous supposons qu'elles ne sont pas mises en œuvre.

Pour quantifier les apports de la ventilation naturelle dans les bâtiments, nous réalisons deux simulations : une première simulation sans ventilation naturelle (fenêtres constamment fermées), et une simulation avec une utilisation optimale de la ventilation naturelle pour le rafraîchissement. Pour cette seconde simulation, chaque fenêtre est ouverte lorsque que la température de l'air extérieur est inférieure à la température de l'air dans la pièce de l'appartement où elle se trouve. Les portes sont constamment ouvertes pour maximiser l'écoulement par ventilation traversante. Cette stratégie de simulation permettra d'évaluer les gains maximums que peut apporter la ventilation naturelle dans les bâtiments.

L'outil UWG a été utilisé pour modéliser l'îlot de chaleur urbain sur les villes de Lyon et Villeurbanne. Le calcul a été réalisé à partir de données météorologiques IWEC (International Weather for Energy Calculations), représentatives des sollicitations météorologiques en zone rurale à 30km du centre-ville de Lyon. Les simulations ont été réalisées sur la période correspondant à la semaine la plus chaude des fichiers météo générés par UWG. La figure 3 à gauche montre l'évolution

de la température de l'air durant cette période. La différence entre la courbe verte (rurale) et la courbe rouge (urbaine) est due à l'îlot de chaleur urbain : la décroissance de la température en période nocturne est fortement ralentie en milieu urbain, limitant ainsi la capacité des bâtiments à se rafraîchir. La figure 3 à droite montre la rose des vents durant la période de simulation : le vent provient essentiellement du nord.

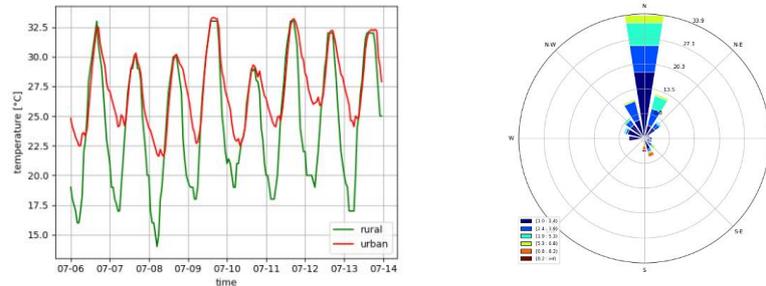


Figure 3 : Température externe en centre-ville (avec et sans effet d'îlot de chaleur), et rose des vents durant la période de simulation

5. RESULTATS DE SIMULATION

Mille six cent simulations ont été lancées pour réaliser ce diagnostic (20 appartements échantillon, 10 échantillons de morphologie urbaines, 4 orientations, 2 simulations avec et sans ventilation). Chaque configuration simulée comportait une colonne verticale constituée de 3 à 9 appartements. La quantité de données de simulation produite (16 Go de données) ne permet pas une analyse fine systématique pour chaque appartement. Elle impose dans un premier lieu une analyse globale des résultats, basée sur des critères de performances intégrés sur la période de simulation, sur le volume des appartements, et sur toute la hauteur des colonnes d'appartements. Nous ne présentons dans ce document que les résultats pour les configurations morphologiques urbaines correspondant à des hauteurs de bâtiment égales à 24m, avec des appartements orientés au Nord.

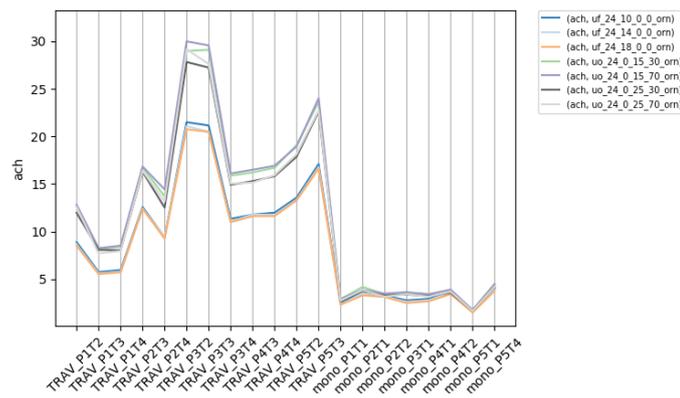


Figure 4: Taux de renouvellement d'air moyen en [Vol/h] pour les 20 échantillons d'appartement et pour les échantillons de morphologie urbaine correspondant à des bâtiments de hauteur 24m dont la façade est orientée au Nord

La figure 4 montre les prédictions de taux de renouvellement d'air moyen ach en [vol/h]. Les échantillons d'appartement en abscisse ont été classés selon leur configuration traversant ou mono-orientée. On observe une forte dépendance des taux de renouvellement d'air à la géométrie de l'appartement, et une faible dépendance à la morphologie urbaine. Pour les appartements mono-orientés, les taux moyens sont de l'ordre de 5 Vol/h et ne dépendent quasiment pas de la configuration

urbaine. Pour les appartements traversant, les taux moyens peuvent atteindre 30 vol/h. Les débits de ventilation sont fortement contraints par le partitionnement interne des appartements. Les appartements P3T2 et P3T3 ont des modes de partitionnement favorables à la ventilation naturelle (cf. plans dans tableau 1) : l'appartement P3T2 a un faible volume et ne présente pas de goulot d'étranglement à une porte, et l'appartement P3T3 comporte une pièce pleinement traversante.

L'indicateur ohdh (« overheating degree hour ») représente la surchauffe d'un bâtiment par rapport à la température extérieure. C'est l'intégral de la partie positive de la différence de température intérieure / extérieure, exprimée en [°C.h/jour] (figure 4).

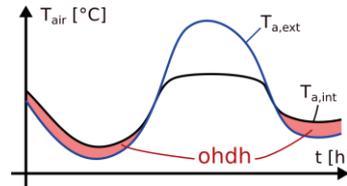


Figure 5 : Définition de l'indicateur ohdh: "overheating degree hour"

La figure 6 montre la réduction de la surchauffe apportée par la ventilation naturelle, i.e. le pourcentage de réduction de l'indicateur ohdh entre les simulations réalisées avec et sans ventilation naturelle rapporté au cas sans ventilation. La morphologie de l'appartement semble de nouveau avoir plus d'influence sur ce paramètre que la morphologie urbaine. Pour les appartements traversant, environ 97.5% de la surchauffe est éliminée par la ventilation naturelle : les taux de renouvellement d'air sont tellement élevés que la température de l'air à l'intérieur des appartements s'ajuste presque instantanément à la température de l'air externe dès que les fenêtres sont ouvertes. Pour les appartements mono-orientés, la réduction est de l'ordre de 85%. Il semble que plus la réduction du paramètre ohdh est basse, plus elle dépend du milieu extérieur, notamment du taux d'ombrage offert par l'environnement. L'appartement P3T1 (en plan dans le tableau 1) montre les performances les plus faibles. C'est principalement dû à la faible hauteur de la fenêtre donnant sur le séjour, qui limite les débits de ventilation.

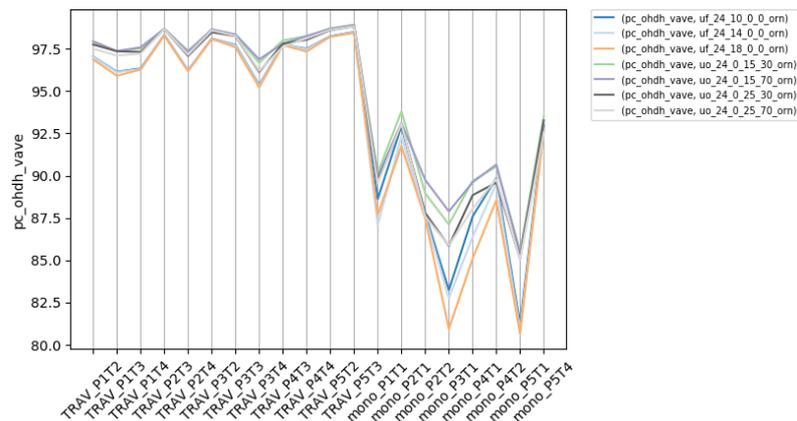


Figure 4: Réduction de la surchauffe ohdh en [°C.h] pour les 20 échantillons d'appartement et pour les échantillons de morphologie urbains correspondant à des bâtiments de hauteur 24m dont la façade est orientée au Nord

6. CONCLUSION

Nous avons présenté la méthodologie employée pour réaliser le diagnostic de ventilation naturelle, et analysé les premiers résultats de simulation. Il s'agit maintenant de porter un regard critique sur les

choix qui ont été fait. En effet, à chaque étape de la réalisation du diagnostic, des hypothèses ont été prises et ces hypothèses sont nécessairement contestables.

Lors de la sélection de l'outil de simulation, nous avons supposé que la modification de la température radiante moyenne extérieure, ainsi que les inhomogénéités de température de l'air au sein du maillage urbain proche des bâtiments avaient un effet du second ordre sur la capacité des bâtiments à se rafraîchir par ventilation naturelle. Cette hypothèse se base uniquement sur des intuitions physiques et devra être confirmée.

Les démarches employées pour les travaux d'échantillonnage des appartements et des morphologies urbaines sont radicalement différentes. D'un côté, la classification des appartements est basée sur des critères qui n'ont pas de lien direct avec leur morphologie (date de construction, nombre de pièces), et des morphologies d'appartements réels ont été prélevées. D'un autre côté, nous avons utilisé des morphologies urbaines académiques, et fait varier leurs paramètres géométriques qui ont un lien direct avec le degré d'exposition au vent et au rayonnement solaire des bâtiments. Il se pose la question de la représentativité des résultats de simulation issus de cet échantillonnage sur le territoire.

Malgré ces réserves, l'analyse des premiers résultats de simulation semble montrer des tendances généralisables. Le tissu urbain a moins d'influence sur le comportement des bâtiments ventilés que la morphologie des appartements, et notamment leur mode de partitionnement interne. Les débits de ventilation naturelle atteignables dans les appartements traversant orientés nord sont largement suffisant pour assurer un rafraîchissement optimal lorsque la température externe le permet.

7. REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce au soutien financier du labex IMU (ANR-10-LABX-0088) de l'université de Lyon, dans le cadre du programme « Investissements d'avenir » (ANR-11-IDEX-0007), géré par l'Agence Nationale de la Recherche.

8. BIBLIOGRAPHIE

- Bonhomme, Marion, Hassan Haddou, et Luc Adolphe. 2012. « GENIUS: A Tool for Classifying and Modelling Evolution of Urban Typologies », 7.
- DataGrandLyon, 2020. <https://data.grandlyon.com/accueil>
- Grosso, Mario. 1992. « Wind pressure distribution around buildings: a parametrical model ». *Energy and Buildings* 18 (2): 101-31.
- Gu, Lixing. 2007. « Airflow Network Modeling in EnergyPlus ». In *Building Simulation*, 8. Beijing.
- MapUCE, 2020. <https://mapuce.orbisgis.org/>
- Merlier, Lucie. 2015. « On the Interaction between Urban Structures and Air Flows: A Numerical Study of the Effect of Urban Morphology on the Building Wind Environment and the Related Building Energy Loads. » INSA de Lyon.
- Rochard, Ulrich, Santhiah Shanthirablan, Camille Brejon, et Maelle Chateau Le Bras. 2015. « TABULA - Bâtiments résidentiels, Typologie du parc existant et solutions exemplaires pour la rénovation énergétique en France ». EU-ADEME.
- Tornay, Nathalie, Robert Schoetter, Marion Bonhomme, Serge Faraut, et Valéry Masson. 2017. « GENIUS: A methodology to define a detailed description of buildings for urban climate and building energy consumption simulations ». *Urban Climate* 20: 75-93.