

Influence du découpage en zones sur les besoins énergétiques annuels

Rivalin Lisa*^{1,2}, Marchio Dominique¹, Stabat Pascal¹, Caciolo Marcello², Cogné Benoît²

¹ Mines ParisTech

60 bd Saint Michel 75006 Paris

*lisa.rivalin@mines-paristech.fr

² Cofely Axima

46 bd de la Prairie au Duc 44000 Nantes

RÉSUMÉ. Les outils de simulation sont couramment employés pour évaluer la consommation énergétique d'un bâtiment. Lors du processus de modélisation, des choix doivent être réalisés par l'utilisateur de l'outil, tels que la division du bâtiment en zones thermiques. Le but de ce travail est d'évaluer l'influence du découpage en zones sur les résultats de la simulation thermique dynamique en incluant ou non les flux d'air et les transferts thermiques entre les zones. À cette fin, cinq découpages en zones (modèles de 49 à 11 zones) sont appliqués au même immeuble de bureau. L'impact de la fusion des étages est analysé en considérant différents isolants de plancher et toiture et celui de l'union des orientations est étudié à l'aide de différents taux de surface vitrée. Les résultats des simulations thermiques dynamiques sont comparés en termes de besoins énergétiques (chauffage et refroidissement) ainsi qu'en temps de calcul et de paramétrage du modèle.

MOTS-CLÉS : Simulation thermique dynamique, zonage thermique, besoins énergétiques

ABSTRACT. Simulation tools are widely used to assess the energy consumption of a building. In the modeling process, some choices should be made by the simulation tool user such as the division of the building into thermal zones. The aim of this work is to assess the influence of building zoning on the results of the dynamic thermal simulation including or not airflow and thermal transfers between zones. For this purpose, several different building zonings (49-zone to 11-zone models) are applied to the same office building. The impact of merging the floors is analyzed by considering different roof and floor insulations and the impact of merging the orientations is studied by using different glazed surface ratio. The results of the dynamic thermal simulations are compared in terms of energy demand (heating and cooling) and computational and set-up times.

KEYWORDS: Dynamic Thermal Simulation, Thermal zoning, Energy need

1. INTRODUCTION

Les outils de simulation thermique dynamique sont fréquemment utilisés afin d'estimer les besoins énergétiques d'un bâtiment. Lors de la construction du modèle, le processus de découpage en zones dépend de l'utilisateur et se traduit par des différences dans les résultats des besoins énergétiques ainsi que dans les temps de paramétrage et de calcul du modèle. Il n'existe à l'heure actuelle aucune étude permettant de généraliser des méthodes de découpages en zones. Néanmoins, des recommandations ont été formulées par l'IBSPA USA telles que la séparation des zones selon les usages, la température de consigne, les apports solaires (notamment en séparant les zones intérieures sans exposition solaire

directe) et le système de distribution énergétique (IBPSA USA 2012). (L. Smith, 2012) a démontré que pour des bâtiments à la géométrie complexe dans différents climats américains, il n'était pas nécessaire de créer un grand nombre de zones ce qui augmente la complexité du modèle sans préciser les résultats. Cependant, certains regroupements allant à l'encontre des recommandations citées ci-dessus (rassembler tous les usages au sein d'un étage ou d'une orientation) sous-estiment les consommations selon (Smith 2012). (Bleil de Souza et Alsaadani 2012) ont testé trois différents découpages en zones pour un bâtiment de bureaux à Londres dont un modèle à une seule zone. Les auteurs proposent de lier le travail de découpage en zone au ratio surface au sol - surface vitrée ainsi qu'aux charges internes. Notre étude porte sur un bâtiment de bureaux réel suivant la RT 2005, de 4100 m² répartis sur 5 étages, composé de salles de réunions et bureaux en façades dans les étages courants (du premier au quatrième) organisés comme suit :

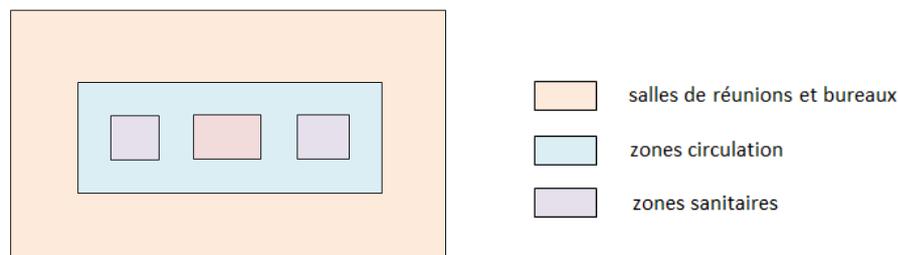


Figure 1: Organisation des étages courants du bâtiment

Le rez-de-chaussée est composé d'un hall d'accueil, de bureaux en façade et d'un local informatique. Enfin, le dernier étage comporte une kitchenette et les locaux techniques. Le renouvellement d'air neuf dans les bureaux est assuré par une centrale de traitement d'air double flux équipée d'une roue récupératrice et préparé aux conditions d'ambiance. Les bureaux sont chauffés ou rafraîchis par des ventilo-convecteurs dont la consigne d'hiver est de 17°C en inoccupation et 20 en occupation et d'été de 27°C en inoccupation et 25°C en occupation.

La simulation thermique dynamique a été réalisée sur le logiciel TRNSYS 17. Le fichier météorologique est généré par le logiciel Météonorm (TMY2 : Typical Meteorological Year) correspondant à une année type à Lyon. Ce type de fichier météorologique est approprié pour ce type d'étude selon (Crawley et al. 1997).

L'objectif de l'étude est d'évaluer l'influence du découpage en zones sur les résultats de la simulation thermique dynamique en incluant les flux d'air et les transferts thermiques entre les zones. Pour estimer l'impact du zonage thermique, cinq cas sont étudiés (du plus complexe au moins complexe):

- **Modèle 49 zones:** chaque zone regroupe les locaux ayant le même système de traitement d'air, le même profil d'occupation à chaque étage et orientation du bâtiment
- **Modèle 44 zones :** les locaux ayant le même système de traitement d'air sont réunis à chaque étage, même si leur profil d'occupation est différent.
- **Modèle 26 zones :** tous les étages sont fusionnés, sauf le premier et le dernier (sous-toiture)
- **Modèle 21 zones :** les premiers et derniers étages sont fusionnés avec les autres si les locaux ont le même profil d'occupation et système de traitement.

- **Modèle 11 zones** : Les locaux avec une orientation différente mais ayant les mêmes profils d'occupation et système de traitement sont rassemblés.

Plusieurs phénomènes sont analysés :

- **Fusion des étages** : comparaison du modèle 21 zones avec le modèle 26 zones en considérant différentes épaisseurs d'isolant de plancher du rez-de-chaussée et de toiture
- **Réunion des orientations** : comparaison des modèles 21 zones et 11 zones pour différents taux de surface vitrée.
- **Flux d'air entre zones** : comparaison sur le modèle 49 zones avec et sans prise en compte des transferts d'air des bureaux vers les circulations et les sanitaires.
- **Conduction thermique entre zones adjacentes** : comparaison des résultats avec et sans transferts thermiques sur le modèle 21 zones

Toutes les comparaisons sont menées en termes de besoins énergétiques annuels.

2. METHODOLOGIE ET COMPLEXITE DES MODELES

Tous les modèles simplifiés sont issus du modèle 49 zones afin d'éviter d'éventuelles différences de paramétrage liées à des erreurs de saisie.

La complexité du modèle est définie en évaluant les risques d'erreurs lors de la création du modèle. Ces principales sources d'erreur proviennent des saisies paramétriques - évitées ici en repartant systématiquement du modèle le plus détaillé - ; et les erreurs dues aux liaisons dans l'interface simulation Studio de TRNSYS. Celle-ci demande de connecter entre eux des composants représentant les phénomènes physiques intervenant dans le bâtiment. Plus il y a de zones, plus il y a de liaisons et ainsi de risques d'erreur. Le temps de paramétrage du tableau 1 est estimé en partant du départ et non par simplification du modèle 49 zones.

	Temps de paramétrage (estimé)	Nombre de liaisons (complexité)	Temps de calcul (s)
Modèle 49 Zones	5 semaines	787	1573
Modèle 44 Zones	4,5 semaines	762	1358
Modèle 26 Zones	4 semaines	489	681
Modèle 21 zones	3 semaines	416	563
Modèle 11 zones	2 semaines	246	333

Tableau 1: complexité des modèles

Le tableau précédent nous montre le lien direct entre les temps de paramétrage et de calcul et la complexité du modèle. Il est donc important de connaître l'impact du découpage en zones thermiques sur les besoins énergétiques afin de réaliser les bons compromis lors du démarrage d'une étude.

3. INFLUENCE DU DECOUPAGE EN ZONES

Les besoins énergétiques utiles totaux (en MWh) en chaud et froid sont présentés dans le tableau suivant. Le modèle 49 zones, le plus détaillé, sert de référence pour le calcul des écarts.

	Besoin utile chaud (MWh)	Besoin utile froid (MWh)
Modèle 49 Zones	87.6	85.3
Modèle 44 Zones	86.8 (-1%)	86.2 (1%)
Modèle 26 Zones	86.6 (-1%)	86.4 (1%)
Modèle 21 zones	87.4 (0%)	85.8 (1%)
Modèle 11 zones	88.7 (1%)	84.1 (-1%)

Tableau 2: Résultats en besoins annuels des modèles

Nous observons qu'un découpage moins détaillé du bâtiment n'altère pas de façon significative le résultat. En effet, l'écart maximal est de 1%. Ces simplifications permettent, dans le cas de ce bâtiment, d'obtenir un résultat présentant un écart négligeable avec le modèle détaillé en diminuant la complexité du modèle.

La simplification effectuée entre le modèle 49 zones et le modèle 44 zones consiste à regrouper les zones de même type de traitement, orientation et étage. Cela revient ici à rassembler les zones de circulations et de sanitaires au sein de chaque étage. Ces zones n'étant pas traitées, le résultat ne varie pas.

La simplification suivante, menant de 44 à 26 zones, consiste à regrouper les zones de même type de traitement et orientation sans séparation par étage sauf pour le rez-de-chaussée et l'étage sous-toiture. Le résultat varie aussi très peu. À la différence des « étages courants », le rez-de-chaussée et l'étage sous-toiture ont des surfaces déperditives plus importantes, respectivement en contact avec le sol et l'environnement extérieur.

3.1. IMPACT DE L'ISOLATION DU PLANCHER ET DE LA TOITURE

La simplification suivante (de 26 à 21 zones) consiste à regrouper les étages sous-toiture et au rez-de-chaussée avec les étages courants. Les étages au rez-de-chaussée et sous-toiture étant directement soumis à la température du sol et à l'environnement extérieur, nous avons modifié l'isolation du plancher et de la toiture sur les modèles 26 et 21 zones afin de mieux comprendre l'influence de la prise en compte séparée de ces étages et en particulier, pourquoi ce regroupement n'influence pas le résultat.

3.1.1. Isolation du plancher

Nous avons testé quatre autres épaisseurs d'isolation du plancher. Ceci modifie le coefficient de déperdition (U) du plancher et donc sa participation aux déperditions totales du bâtiment (voir tableau 3). La température du sol considérée est de 10°C en hiver et 18°C en été. Dans le cas de référence (Tableau 2), l'isolation du plancher était de 0.12 m.

Épaisseur de l'isolant (m)	U du plancher (W/m ² .K)	% des déperditions totales
0.001	3.557	49 %
0.05	0.677	15.8 %
0.12	0.314	8 %
0.3	0.132	3.5 %
0.5	0.080	2.2 %

Tableau 3: Impact de l'isolation du plancher bas sur les déperditions globales du bâtiment

L'histogramme suivant représente les écarts de besoins énergétiques en froid et en chaud entre les modèles 26 (pris en référence) et 21 zones selon différentes épaisseurs d'isolation du plancher du rez-de-chaussée.

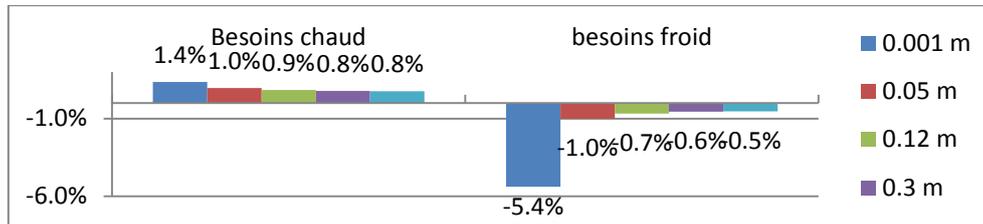


Figure 2: Ecart entre le modèle 26 (référence) et 21 zones selon l'épaisseur d'isolant du plancher

Plus l'isolation du plancher est faible, plus l'écart est important, allant jusqu'à 5,4% pour les besoins de froid lorsque l'isolant est au minimum, c'est-à-dire participant à 49% des déperditions globales du bâtiment. À l'exception de ce cas, les écarts ne dépassent pas 2%. En effet, pour l'isolation la plus faible, si les locaux du rez-de-chaussée sont séparés des étages courants, ils n'auront pratiquement pas de besoins de froid (à cause des déperditions vers le sol à 18°C). Cependant, s'ils sont regroupés avec les locaux des étages courants, les déperditions vers le sol seront réparties sur l'ensemble des zones et ainsi le besoin de froid global sera moins important pour le modèle où ces zones sont rassemblées. Ainsi, dans le cas d'un bâtiment dont l'isolation du plancher est telle que ses déperditions dépassent 20% des déperditions globales du bâtiment, il est conseillé de séparer cet étage du reste. Dans le cas contraire, il est acceptable de regrouper cet étage avec les étages courants.

3.1.2. Isolation de la toiture

Nous avons testé trois épaisseurs d'isolant pour la toiture terrasse. Ces modifications d'isolation entraînent une modification de la participation de la toiture aux déperditions totales du bâtiment. L'isolation réelle de la toiture est de 0.10 m. La part des déperditions imputables à la toiture est consignée dans le tableau suivant :

Épaisseur de l'isolant (m)	U de la toiture (W/m ² .K)	% des déperditions totales
0.001	3.09	65.3 %
0.05	0.4	19.8 %
0.10	0.216	11.6 %
0.3	0.075	4.4 %

Tableau 4: Impact de l'isolation de la toiture sur les déperditions globales du bâtiment

La figure suivante représente les différences de besoins énergétiques par poste entre les modèles 26 et 21 zones selon différentes épaisseurs d'isolation de la toiture.

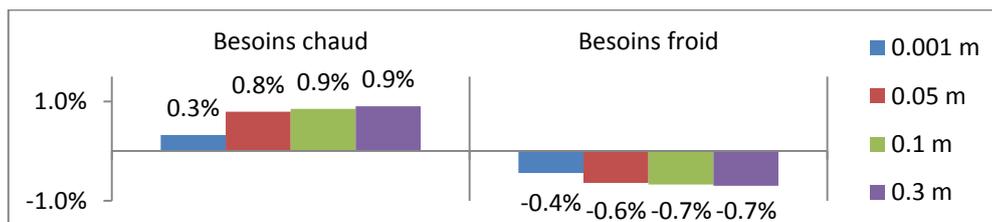


Figure 3: Ecart entre le modèle 26 (référence) et 21 zones selon l'épaisseur d'isolant de la toiture

La séparation des étages sous-toiture ne change pas le résultat de besoins énergétiques d'un modèle à l'autre (jamais au-delà de 1% d'écart) même quand l'isolation est faible. La différence de besoins constatée entre le changement d'isolation du plancher et de la toiture est liée à l'hypothèse de température du sol. Celle-ci est considérée comme constante, avec une température de 18°C en été et une autre de 10°C en hiver, tandis que la toiture est soumise aux mêmes sollicitations que les parois verticales du bâtiment. Il en résulte que les écarts de besoins de refroidissement sont plus importants en modifiant l'isolation du plancher que celle de la toiture. Etant donné l'éventail très large d'épaisseur d'isolant, il convient de considérer que la séparation des étages sous-toiture ne change, dans notre cas, pas le résultat des consommations.

3.2. IMPACT DU TAUX DE SURFACE VITREE

La simplification menant du modèle 21 zones à 11 zones consiste à regrouper les zones de même type de traitement même si les orientations sont différentes. Ainsi, pour mesurer l'influence de l'orientation et donc du rayonnement solaire, nous avons modifié le taux de surface vitrée (c'est-à-dire la surface totale des vitrages par rapport à la surface extérieure totale du bâtiment). Le modèle de base comporte 45% de surface vitrée, le coefficient de déperdition des vitrages est de 1.3 W/m².K et des parois opaques de 0.36 W/m².K. L'augmentation de la surface vitrée accroît donc les besoins totaux du bâtiment (le pourcentage de vitrage augmente suivant toutes les orientations), comme on peut le constater dans le tableau 4 où on trouve entre parenthèses les écarts relatifs de consommations entre le modèle 21 zones (pris en référence) et le modèle 11 zones.

Taux de vitrage	Modèle	Besoins utiles chaud (MWh)	Besoins utiles froid (MWh)
15%	21 zones	73.8	49.5
	11 zones	75.7 (3 %)	48.2 (-3 %)
45%	21 zones	87.4	85.8
	11 zones	88.7 (2 %)	84.1 (-2 %)
76%	21 zones	100.1	144.3
	11 zones	101.0 (1 %)	140.0 (-3 %)
99%	21 zones	108.2	167.3
	11 zones	108.6 (0 %)	163.5 (-2 %)

Tableau 4: Besoins utiles totaux du bâtiment selon différents taux de surface vitrée

Les besoins utiles augmentent considérablement en valeur absolue en fonction du taux de surface vitrée, notamment en été où ils sont multipliés par 3,4 entre le modèle 11 zones - 15 % et le modèle 11 zones - 99%. Néanmoins, les écarts relatifs, tracés sur la figure suivante semblent rester aussi faibles entre les modèles 11 et 21 zones pour chaque taux de surface vitrée.

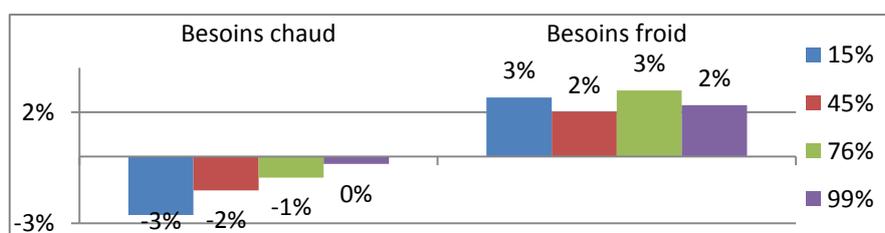


Figure 4: Ecart entre le modèle 21 (pris en référence) et 11 zones selon le pourcentage de surface vitrée du bâtiment

On voit que le regroupement des zones de différentes orientations n'entraîne pas d'écart significatif quel que soit le pourcentage de surface vitrée. L'écart ne dépasse jamais 3 % même dans le cas où le taux de surface vitrée est de 99 %. Ce résultat, non généralisable en l'état nécessite encore un approfondissement. Néanmoins, pour le bâtiment de bureaux considéré, avec un climat, un traitement et des apports similaires, il n'est pas nécessaire de séparer les orientations.

4. INFLUENCE DES TRANSFERTS AÉRAULIQUES ENTRE ZONES

Bien que les infiltrations aient été prises en compte, les modèles précédents ne tiennent pas compte des transferts aérauliques entre les zones : on ne définit que les débits entrant et sortant globalement du bâtiment. Prendre en compte les transferts aérauliques entre zones suppose de définir des débits entre zones bureaux et circulations (flèches rouges) et entre circulations et sanitaires (flèches oranges), en considérant les mêmes infiltrations que pour le modèle précédent.

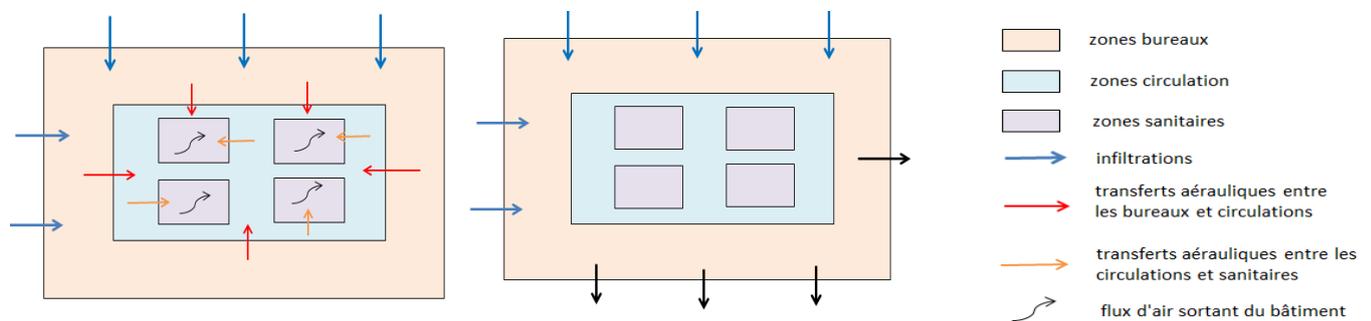


Figure 5: Différence entre le modèle tenant compte des transferts aérauliques (à gauche) et n'en tenant pas compte (à droite) dans un étage du bâtiment

Ainsi, nous avons repris la modélisation 49 zones en ajoutant ces débits interzones. On observe que les transferts aérauliques n'altèrent pas le résultat. En effet, l'écart entre les deux modèles est de 1 % en besoins de froid et nul pour les besoins de chaud. Cependant, on augmente le temps de calcul de 14 % ainsi que le temps de paramétrage. D'un point de vue « thermique », le parcours de l'air à l'intérieur du bâtiment n'influence donc pas le résultat.

5. INFLUENCE DES TRANSFERTS THERMIQUES ENTRE ZONES

5.1. INFLUENCE DES TRANSFERTS THERMIQUES ENTRE ETAGES

Pour étudier l'influence des transferts thermiques entre zones, en utilisant le modèle à 21 zones, nous avons supprimé les adjacences thermiques à travers les planchers intermédiaires. L'écart entre les deux modèles est de 3 % pour les besoins de chaud et nul pour les besoins de froid. Les quelques écarts peuvent être dus à la suppression des transferts thermiques entre zones chauffées et non chauffées, ceci ne concerne que des faibles surfaces (4 % de la surface globale).

5.2. INFLUENCE DES ADJACENCES ENTRE LES ZONES CHAUFFÉES

Toujours avec le modèle à 21 zones, le retrait des adjacences thermiques entre zones chauffées ne change pas le résultat (0 % d'écart en chaud comme en froid). Il est toutefois important de conserver les adjacences entre zones chauffées et non-chauffées. Dans le cas contraire, il faudrait répartir les apports internes des zones non-traitées dans les zones traitées (par exemple au prorata de la surface) ce

qui prendrait plus de temps que de simplement considérer ces adjacences. En effet, si les apports internes des zones non-traitées n'étaient pas déplacés, cela entraînerait des surchauffes dans les zones non-traitées qui ne pourraient pas se refroidir car elles ne sont pas connectées thermiquement aux zones avoisinantes. Le schéma suivant montre les transferts thermiques entre zones dans le cas de la prise en compte des adjacences. Puis, le second schéma montre les zones non-traitées dont la température augmenterait continuellement.

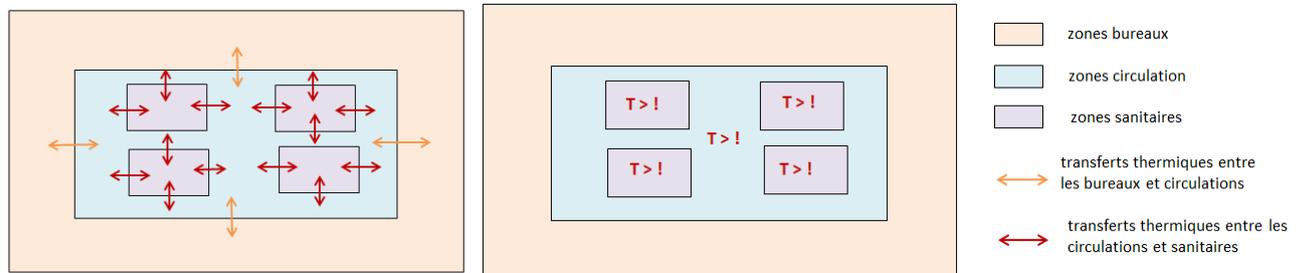


Figure 6: Différence entre les modèles prenant en compte (à gauche) ou non (à droite) les transferts thermiques entre les zones

6. CONCLUSION

Cette étude a permis de démontrer dans le cas d'un bâtiment de bureaux en région lyonnaise, qu'il n'est pas nécessaire de séparer les étages courants du rez-de-chaussée et de l'étage sous-toiture quand les déperditions de ces zones sont inférieures à 20 % des déperditions totales, ni de séparer les orientations même pour de grands ratios de surface vitrée, la différence étant de l'ordre de 1 %. Ainsi, il est possible, pour un tel bâtiment de réduire le temps de paramétrage par 2,5 car il y a 3 fois moins de liaisons à réaliser. Le temps de calcul est divisé par 5. Ce résultat doit encore être confronté à d'autres bâtiments pour établir des procédures plus généralisables de découpages en zones.

7. BIBLIOGRAPHIE

- Bleil de Souza, Clarice, and Sara Alsaadani. 2012. "Thermal Zoning in Speculative Office Buildings: Discussing the Connections Between Space Layout and Inside Temperature Control." In *First Building Simulation and Optimization Conference*, edited by IBPSA England, 417–424. <http://www.ibpsa.org/proceedings/BSO2012/6C1.pdf>.
- Crawley, Drury B, Y Joe Huang, and Lawrence Berkeley. 1997. "Does It Matter Which Weather Data You Use in Energy Simulations ?" *Building Energy Simulation User News* 18 (1): 25–31. http://simulationresearch.lbl.gov/dirpubs/1801_weath.pdf.
- IBPSA USA. 2012. "Thermal Zoning Determination." *BEMbook (Building Energy Modeling Body Of Knowledge)*. http://bembook.ibpsa.us/index.php?title=Thermal_Zoning_Determination.
- Smith, Lillian. 2012. "Beyond the Shoebox : Thermal Zoning Approaches for Complex Building Shapes." *ASHRAE Transactions* 118 (2): 141. http://bembook.ibpsa.us/index.php?title=Thermal_Zoning_Determination.