

Projet de Fin d'Etudes

**Les gisements d'économie d'énergie
dans le secteur du logement à
l'échelle urbaine :
Le cas de la rénovation du parc de logements
de Lyon Métropole**



**CHASSAING Etienne
DEPRAETERE Axelle**

2017-2018

**Directeur de recherche
MAIZIA Minjid**

**Les gisements d'économie d'énergie dans le secteur
du logement à l'échelle urbaine :**
Le cas de la rénovation du parc de logements de Lyon
Métropole

Directeur de recherche
MAIZIA Mindjid
2016-2017

Auteurs
CHASSAING Etienne
DEPRAETERE Axelle

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

Les auteurs de cette recherche ont signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier notre tuteur, Mr Minjid MAIZIA, pour sa disponibilité nous ayant permis d'avancer dans nos recherches et notre rédaction.

Nous tenons également à remercier chaleureusement Cécile FORGUE, doctorante au laboratoire de recherche CITERES, qui nous donné de précieux conseils au cours de l'élaboration de ce PFE.

Sommaire

1. Introduction	8
2. Formulation du problème	9
3. Méthodologie	10
4. Résultats et analyse	12
5. Limites.....	14
6. Conclusion.....	14
7. Références	15
8. Annexes	16

Les gisements d'économie d'énergie dans le secteur du logement à l'échelle urbaine

Le cas de la rénovation du parc urbain de Lyon Métropole

CHASSAING Etienne, DEPRAETERE Axelle

École Polytechnique Universitaire – Département Aménagement et Environnement - Tours, France

INFO ARTICLE

Mots clés :

Bâtiment
Typologie
Performance énergétique
Economie
Energie
Rénovation

ABSTRACT

Cet article présente un modèle permettant de ventiler les données urbaines à l'échelle des IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique) à une échelle plus fine qu'est le bâti, dans le but de calculer l'économie d'énergie permise par la rénovation des bâtiments de Lyon Métropole en respectant les directives de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Les données recueillies sont appliquées à l'ensemble des 168 mille bâtiments de l'agglomération lyonnaise construits avant 2011 dans le but d'atteindre une économie d'énergie de 30% d'ici 2030 en rénovant 8 054 bâtiments par an.

1. Introduction

En France, le secteur du bâtiment (résidentiel-tertiaire) représente 44% de la consommation énergétique finale française avec près de 3.5 milliards de mètres carrés chauffés. L'estimation des consommations d'énergie des bâtiments est donc importante pour permettre l'amélioration de leur performance énergétique afin de réaliser des économies d'énergie. Pour ce faire, en France en 2015, est votée la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. C'est une loi "*d'action et de mobilisation*" qui engage le pays et va permettre à la France de renforcer son indépendance énergétique. Cette loi fixe divers objectifs notamment dans le secteur du bâtiment dont deux des objectifs sont de "*disposer d'un parc immobilier dont l'ensemble des bâtiments sont rénovés en fonction des normes "bâtiments basse consommation" ou assimilées*" et "*une diminution de 30% des consommations énergétiques primaires d'ici 2030*". Pour ce faire, à compter de 2017, 500 000 logements vont être rénovés chaque année, en France, afin de réduire leur consommation énergétique en commençant par les bâtiments privés résidentiels dont la consommation en énergie primaire est supérieure à 330 kWh/m²/an.

Cependant, l'estimation des besoins des bâtiments est assez complexe car les types d'énergies et les types de bâtiments varient énormément. De plus la demande en énergie des bâtiments dépend de nombreux facteurs tels que la typologie du bâtiment et ses propriétés thermiques (conductivité des matériaux et épaisseur, taux de vitrage, etc.), les dimensions du bâtiment en lui-même, l'orientation de ses façades ou encore son facteur de masque (masque engendré par les infrastructures situées à proximité du bâtiment le privant d'une partie des apports solaires) mais aussi des facteurs liés au contexte, c'est-à-dire, aux conditions météorologiques avec par exemple les apports solaires ou encore les écarts de température entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur. Au vu de ce système complexe, l'estimation précise de la consommation des bâtiments à l'échelle urbaine se révèle compliquée. Il existe un grand nombre d'approches pour calculer cette consommation soit de manière simplifiée ou alors de manière élaborée, d'après la revue "Renewable and Sustainable Energy Reviews, a review on the prediction of building energy consumption [1]". On trouve par exemple les deux méthodes d'Al-Homoud, l'une est la méthode des degrés-jour qui permet d'estimer la consommation d'énergie des petits bâtiments où l'énergie basée sur l'enveloppe domine. L'autre, connue sous le nom de méthode de fréquence de température où les charges ne dépendent pas linéairement de la différence de température extérieur/intérieure. Yao et Steemers, eux, ont développé une méthode simple d'estimation des consommations énergétiques journalières en prenant comme consommation totale d'énergie du bâtiment la somme de plusieurs composantes : les appareils électriques, l'eau chaude et le chauffage.

Cet article s'intéresse uniquement à l'agglomération de Lyon, et a pour but de ventiler des données de différentes échelles, de calculer la consommation des bâtiments de l'agglomération à l'état initial (avant rénovation) puis à un état dit final (après rénovation) afin d'observer le gain d'énergie primaire entre ces deux états. La méthode utilisée prend en compte un grand nombre de facteurs (liés à la typologie, au bâtiment et au contexte) pour obtenir une estimation aussi précise que possible. Le contenu est organisé avec, tout d'abord, une description du problème de l'étude, la méthodologie employée et enfin les résultats obtenus avec leur analyse.

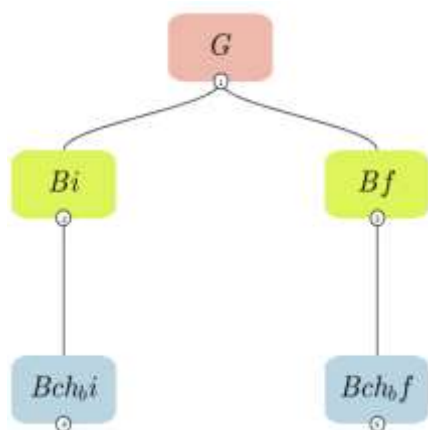
2. Formulation du problème

Ce rapport décrit une façon d'évaluer l'économie d'énergie dans le secteur du logement à hauteur de 30% des consommations en énergie primaire comme attendu par la loi relative à la transition énergétique, en rénovant les bâtiments les plus consommateurs de l'agglomération. Pour cela l'étude se fera dans un premier temps par l'affectation d'une typologie aux bâtiments par la ventilation de données entre deux échelles différentes : la typologie des logements à l'échelle des IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique) de l'INSEE, à celle du bâti de la BD TOPO qui est l'échelle du bâtiment. Cette ventilation permettra le calcul des consommations de l'ensemble de l'agglomération puis d'isoler les bâtiments les plus consommateurs en fonction de leur performance énergétique (performance supérieure à 330 kWh/m²/an) avant de leur affecter une nouvelle typologie et de calculer à nouveau la consommation des bâtiments de Lyon. La différence entre ces deux calculs donne le gain obtenu après rénovation.

Les consommations étant directement liées aux besoins en chauffage, l'étude se limitera donc au calcul des besoins et à la différence entre les besoins initiaux et les besoins après rénovation, et ce à l'échelle des bâtiments de Lyon Métropole.

3. Méthodologie

Il est décrit ci-dessous la méthode pour la ventilation des caractéristiques de logement à l'échelle des IRIS à un niveau plus fin qu'est le bâtiment, avant de calculer le gain d'énergie en cas de rénovation. L'extension Toaster de Matlab a permis de modéliser le but du projet: connaître le pourcentage d'économie d'énergie réalisée en appliquant une rénovation au bâti de Lyon.



G : Gain d'énergie grâce à la rénovation

$$1 \quad G = \frac{Bf - Bi}{Bi}$$

Bi : Besoins de l'ensemble des bâtiments de l'agglomération lyonnaise avant rénovation en TWh/an

$$2 \quad Bi = \sum (Bch_{bi}).10e - 9;$$

Bf : Besoin de l'ensemble des bâtiments de l'agglomération lyonnaise après rénovation en TWh/an

$$3 \quad Bf = \sum (Bch_{bf}).10e - 9;$$

Bch_{bi} : Besoin des bâtiments à l'état initial en unité

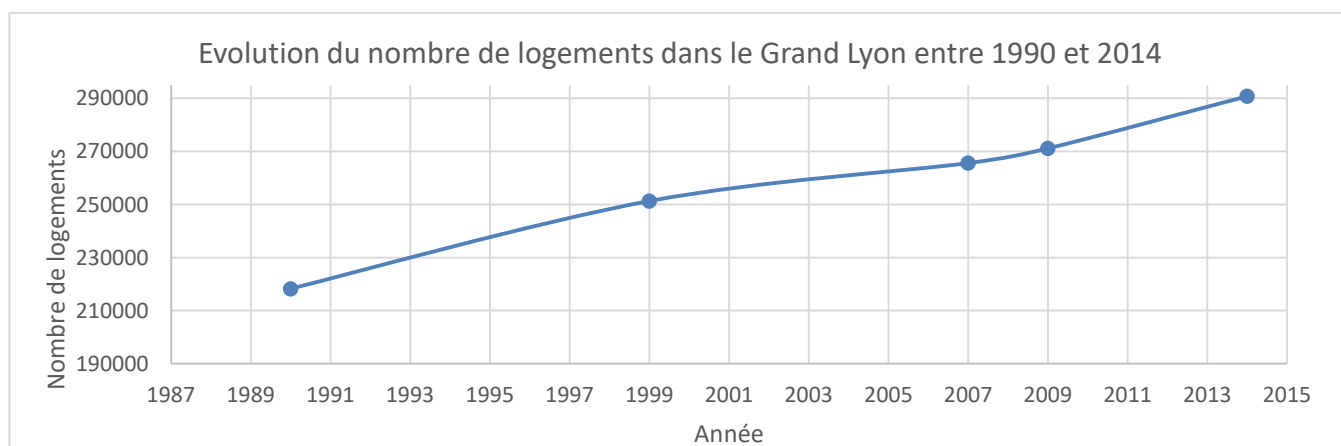
$$4 \quad 3.9089 \leq Bch_{bi} \leq 3177840$$

Bch_{bf} : Besoins des bâtiments à l'état final en unité

$$5 \quad 3.9089 \leq Bch_{bf} \leq 2233270$$

Pour réaliser l'étude il a fallu, dans un premier temps, travailler sur le logiciel de cartographie ArcMap pour pouvoir ventiler les bâtiments de la BD TOPO de 2008 dans les IRIS de l'INSEE de 2013, ce qui a permis d'obtenir un découpage par IRIS de l'agglomération de Lyon avec les bâtiments leur appartenant. Il a été fait comme hypothèse que tous les bâtiments ayant une surface inférieure à 20m² n'étaient pas significatifs et donc ne seront pas pris en compte.

Nos deux données ne sont pas de la même année. Nous avons considéré qu'elles pouvaient très bien s'associer et qu'il n'était pas nécessaire d'avoir des données de la même année. En effet, entre 2008 et 2013 le parc du logement de l'agglomération lyonnaise n'a pas subi de construction ou de destruction massive et donc la différence du nombre de logements entre ces deux années est négligeable (6,7% de logements supplémentaires entre 2007 et 2014).

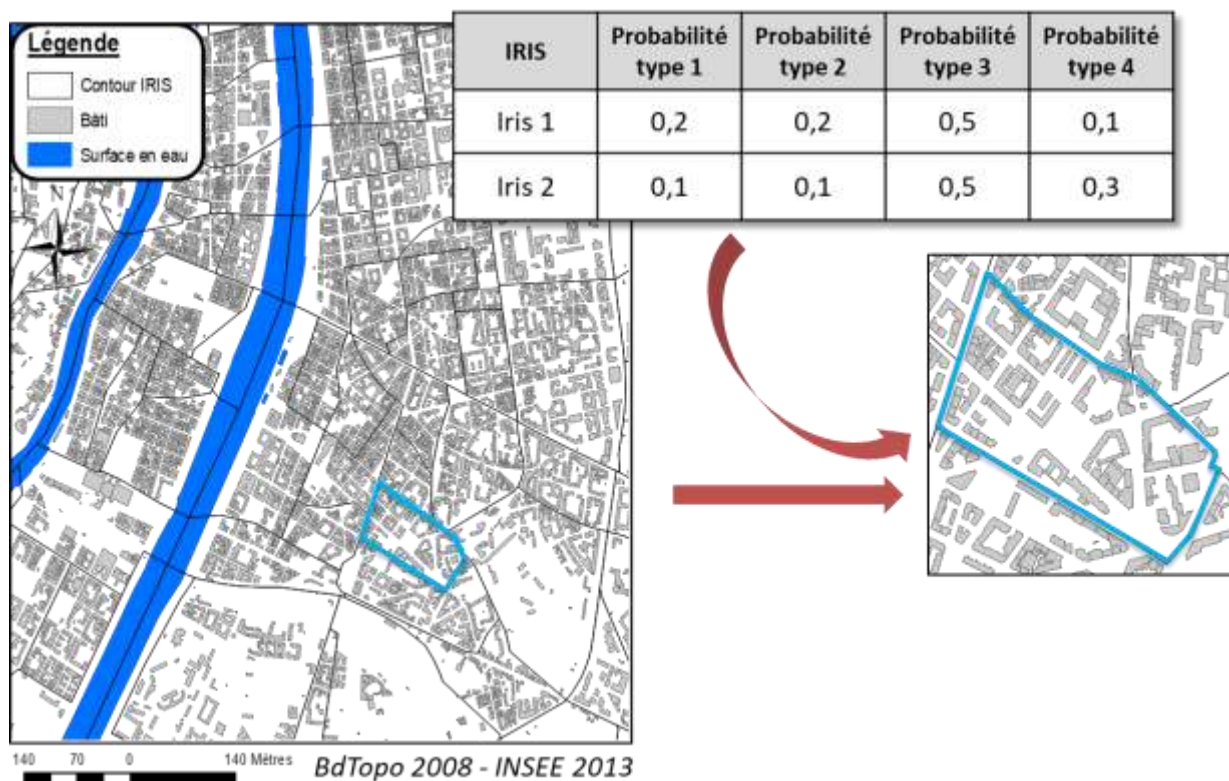


Parallèlement, les données des logements de l'INSEE ont fournis le nombre de logements construits selon 4 tranches de dates et il a été défini 4 types correspondant à ces différentes dates de construction :

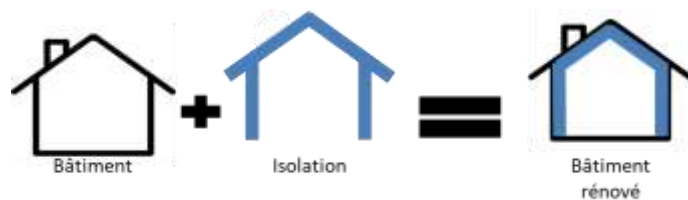
Type	Date
Type 1	Avant 1945
Type 2	1946 – 1970
Type 3	1971 – 1990
Type 4	1991 – 2010

- Type 1 : Bâtiments peu isolés
- Type 2 : Période de reconstruction d'après-guerre et industrialisation du bâtiment
- Type 3 : Première RT (réglementation thermique) mise en place en 1975
- Type 4 : Seconde RT mise en place en 1989, Sommet de Rio en 1992 (première rencontres entre dirigeants mondiaux organisée par l'ONU avec pour but de définir les moyens de stimuler le développement durable au niveau mondial.) et Protocole de Kyoto en 1997 (accord international visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre).

Pour chacune de ces dates, l'INSEE donne une probabilité d'appartenance un type au sein de l'IRIS. Un programme MatLab a permis d'affecter à chacun de nos bâtiments un type en fonction de sa probabilité d'appartenir à tel ou tel type. Chaque type possédant des caractéristiques propres permettant le calcul des besoins des bâtiments.



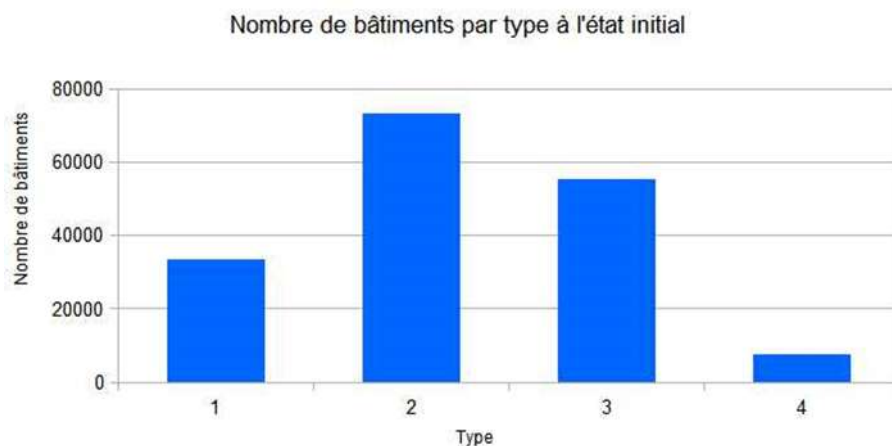
Comme hypothèse de rénovation qui est appliqué aux bâtiments consommant plus de 330kWh/m²/an, il a été choisi d'ajouter au bâtiment (bâtiment ayant des caractéristiques d'isolation selon son année de construction), des caractéristiques d'isolation supplémentaires. Ceci permet d'effectuer une rénovation et d'augmenter la performance des bâtiments et donc de diminuer leur consommation.



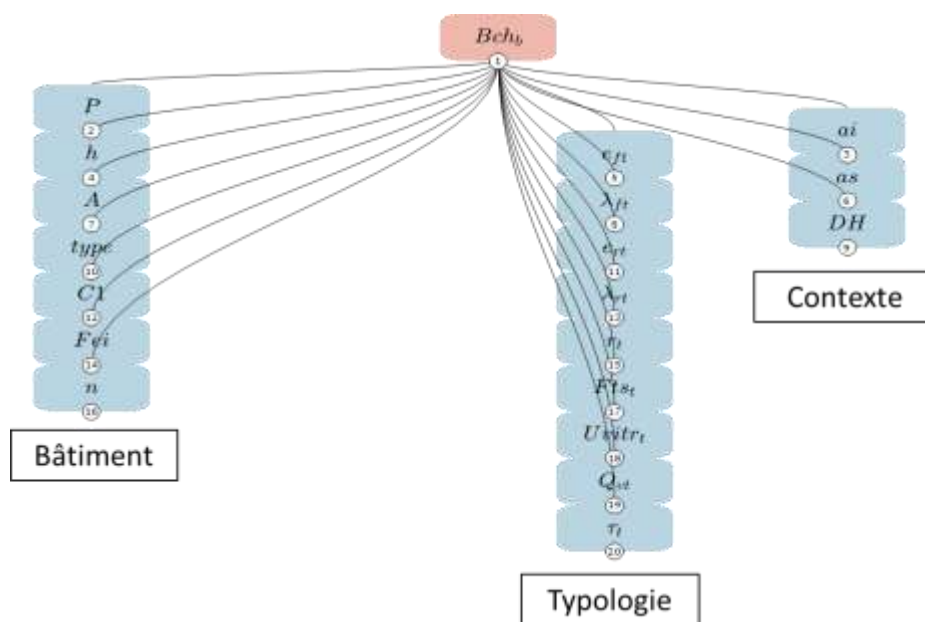
4. Résultats et analyse

D'après la description de la méthodologie, il est évident qu'un grand nombre de calculs ont été réalisés pour l'obtention des résultats ci-dessous. L'hypothèse d'affectation des types aux bâtiments a permis d'obtenir le graphique suivant donnant le nombre de bâtiments selon son type avant rénovation.

Type	Nombre de bâtiments
1	33 654
2	73 275
3	55 275
4	7 608



Cette affectation a alors permis de calculer les besoins de chaque bâtiment avant rénovation avec les caractéristiques selon leur année de construction. Le calcul c'est fait à l'aide de l'extension de MatLab , Toaster, en prenant en compte différents paramètre des bâtiments regroupés en trois catégories : Bâtiment (caractéristiques propre au bâtiment comme sa hauteur), Typologie (caractéristiques liée à l'isolation comme l'épaisseur des façades et leur conductivité) et contexte (caractéristiques correspondant à l'environnement du bâtiment comme les apports solaires).



Certaines hypothèses et simplifications ont été faites pour réaliser les différents calculs : l'orientation des façades a été uniformisé, le facteur de masque a été estimé en fonction du taux d'urbanisation à l'échelle des IRIS, c'est-à-dire, que le rapport entre la somme des surfaces au sol des bâtiments d'un IRIS est rapporté à la surface de l'IRIS, ce qui donne une densité de bâti dont a été tiré

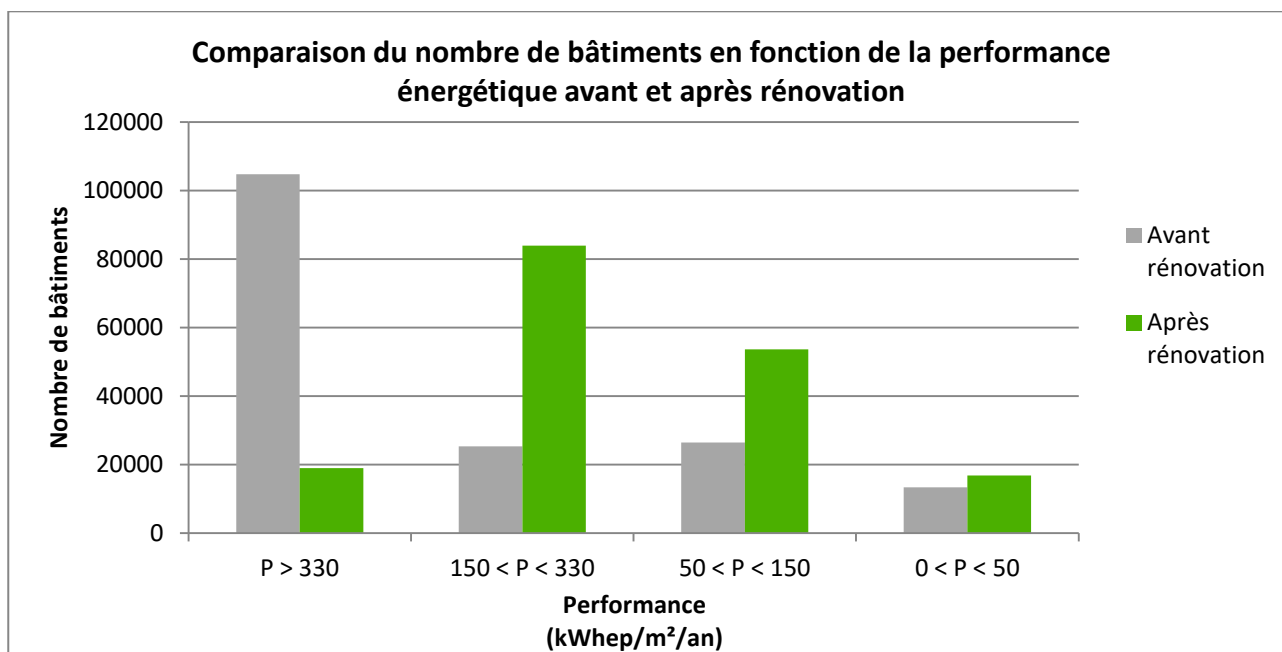
l'hypothèse que plus le rapport est élevé, plus le facteur de masque est important. Seul les variables de la catégorie Typologie seront modifiées pour effectuer la rénovation. Les autres variables ne seront pas modifiées car leur variation est négligeable pour les calculs des besoins des bâtiments.

Certaines données ont donc été fixées là où d'autres études, telle que celle de Kadir Amasyali et Nora M.El-Gohary, "A review of data-driven building energy consumption prediction studies [2]", sont allées plus loin en les analysant et en analysant par exemple les habitudes de consommation des habitants, l'humidité intérieure ou la vitesse du vent.

Les besoins permettent de déduire les performances énergétiques des bâtiments et **d'isoler les bâtiments ayant une performance supérieure à 330 kWh/m²/an** auxquels on appliquera la rénovation telle que définie plus haut. Cette deuxième étape nous permet d'obtenir les tableaux et le graphique suivant :

Nombre de bâtiments en fonction de leurs performances énergétiques avant et après rénovation

Performance énergétique (kWh/m ² /an)	Nombre de bâtiments	Performance énergétique (kWh/m ² /an)	Nombre de bâtiments
P > 330	104726	P > 330	19004
150 < P < 330	25265	150 < P < 330	83858
50 < P < 150	26462	50 < P < 150	53590
0 < P < 50	13359	0 < P < 50	16812



On observe les effets de la rénovation avec une diminution significative du nombre de bâtiments ayant une performance énergétique supérieure à 330 kWh/m²/an.

La dernière étape est donc de comparer les besoins des bâtiments avant et après rénovation. Cette comparaison nous donne un **gain d'énergie d'environ 65% pour plus de 104 000 bâtiments rénovés**. On passe d'un besoin initial de 11 térawattheure à 7 térawattheure après rénovation. On peut voir sur le zoom suivant les bâtiments du centre-ville de Lyon qui ont été rénovés :

Visualisation des bâtiments rénovés du centre-ville de Lyon



BdTopo 2008 - INSEE 2013

5. Limites

La limite de notre sujet se trouve dans le fait que le modèle suivant n'a été testé qu'une seule fois. En effet, l'affectation des types aux bâtiments est réalisé de manière aléatoire et donc différents tirages pourraient donner des résultats différents. Nous ne savons donc pas comment notre méthode influe sur notre résultat. Pour pouvoir savoir si notre modèle est valable il faudrait réaliser l'affectation des types un nombre élevé de fois (par exemple 100 fois), réaliser les différents calculs de besoin pour chaque tirage et observer les variations de notre gain. Si ce dernier reste sensiblement identique, notre modèle est donc valable pour notre étude, cependant, si on obtient des variations très grande, notre modèle n'est pas valable et il faudra travailler à son amélioration en travaillant par exemple sur nos variables.

6. Conclusion

Cet article présente une méthodologie permettant d'affecter une typologie à l'échelle des IRIS à l'échelle des bâtiments ainsi qu'une manière d'estimer les besoins et donc les consommations de l'agglomération de Lyon pour deux états, un état initial et un état dit final. La complexité de la ventilation des données ainsi que de l'estimation des consommations ont amenés à réaliser différentes hypothèses. L'étude se portant également sur un gain possible en énergie primaire suivant la loi relative à la transition énergétique, il a pu être observé un gain d'énergie de 65% en cas de rénovation des bâtiments ayant une performance énergétique supérieure à 330 kWh/m²/an. Ce résultat satisfait la loi de rénovation énergétique qui est de 30%.

Cependant, notre résultat n'est valable que pour cette affectation des types aux bâtiments présentés dans ce rapport. L'affectation étant réalisée de manière aléatoire, un autre tirage pourrait donner des résultats proches ou très différents de celui obtenu.

7. Références

- [1] Hai-xiang Zhao, Frédéric Magoulès, A review on the prediction of building energy consumption
“*Applied Mathematics and Systems Laboratory, Ecole Centrale Paris, Grande Voie des Vignes, 92295 Châtenay Malabry, France*”
https://ac.els-cdn.com/S1364032112001438/1-s2.0-S1364032112001438-main.pdf?_tid=43ed204a-da9b-11e7-a376-00000aabb0f01&acdnat=1512574785_6e159492145c4711409358d01027e4b2
- [2] Kadir Amasyali and Nora M.El-Gohary, A review of data-driven building energy consumption prediction studies
“*Dept. of Civil and Environmental Engineering, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, 205 N. Mathews Ave., Urbana, IL 61801, USA*”
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117306093>
- [3] Fabrizio Ascione, Nicola Bianco, Claudio De Stasio, Gerardo Maria Mauro and Giuseppe Peter Vanoli, Artificial neural networks to predict energy performance and retrofit scenarios for any member of a building category: A novel approach
“*Università degli Studi di Napoli Federico II, Piazzale Tecchio 80, 80125 Napoli, Italy*”
“*Università degli Studi del Sannio, Piazza Roma 21, 82100 Benevento, Italy*”
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216315729>
- [4] APUR, Emprise bâtie décomposée
https://www.apur.org/sites/default/files/documents/Emprise_Batie_Decomposee.pdf
- [5] Données métropolitaines du Grand Lyon
<https://data.grandlyon.com/>
- [6] Objectifs de la loi de transition énergétique⁷
www.ecologique-solidaire.gouv.fr
- [7] Contenu de la loi de transition énergétique pour la croissance verte
www.legifrance.gouv.fr

8. Annexes

A. Initialisation des données : Codage MatLab

1 – Attribution des types au bâti

```
load('data.mat'); % Fichier contenant l'occurrence d'un type en fonction de
l'IRIS où il se trouve

PC_I_t=cumsum(Pit,2);
for k=1:numel(Ib)
    [p,t(k,1)]=min(abs(rand-PC_I_t(Ib(k),:)));
end
```

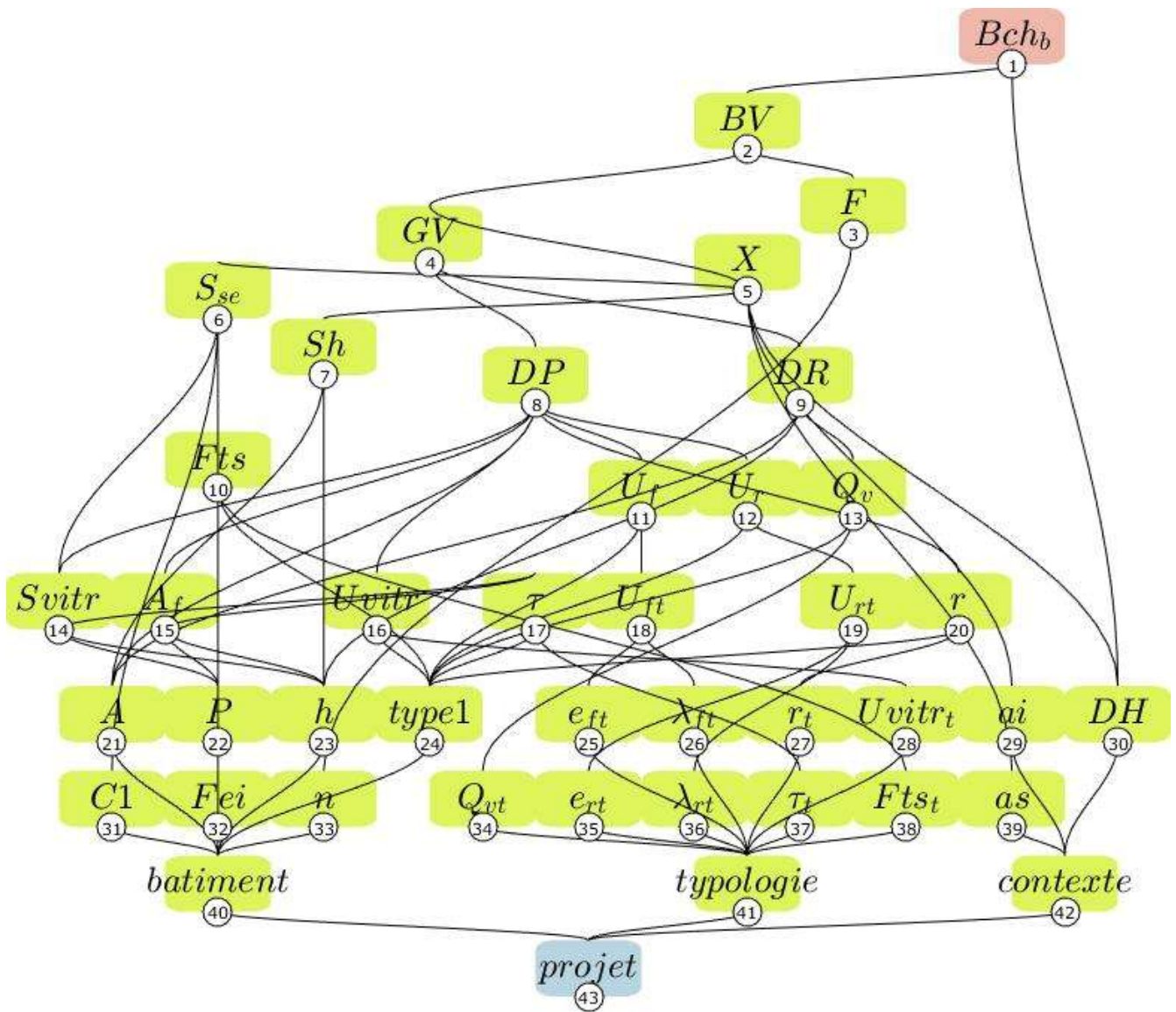
2 – Attribution d'un facteur de masque Fei au bâti

%Si le taux d'urbanisation est inférieur à une certaine valeur, un Fei aléatoirement généré entre deux bornes est affecté au bâtiment

```
load('Surf_bati'); % 'Surf_bati' correspond au taux d'urbanisation

min=0.4 ; max=0.5; % Fei allant de 0.4 à 0.9
cpt = 1;
for k = 1: numel(Surf_bati)
    if Surf_bati(k,1) == cpt
        Fei(k,1) = cpt;
        if Surf_bati(k,2) < 0.15 %
            Fei(k,2) = 0.4 + (0.5-0.4) * rand();
        elseif 0.15 <= Fei(k,2) < 0.30
            Fei(k,2) = 0.5 + (0.6-0.5) * rand();
        elseif 0.30 <= Fei(k,2) < 0.45
            Fei(k,2) = 0.6 + (0.7-0.6) * rand();
        elseif 0.45 <= Fei(k,2) < 0.60
            Fei(k,2) = 0.7 + (0.8-0.7) * rand();
        elseif 0.60 <= Fei(k,2) < 0.75
            Fei(k,2) = 0.8 + (0.9-0.8) * rand();
        end
    else
        min = min + 0.1;
        max = max + 0.1;
        cpt = cpt+1;
    end
end
```


B. Protocole de calcul des besoins énergétiques de chaque bâtiment Lyon Métropole: Toaster



Bch_b : besoin de chauffage en kWh

$$1 \quad Bch_b = BV \otimes DH;$$

BV : coefficient BV en W

$$2 \quad BV = GV \otimes (1 - F);$$

F : Coefficient F en unité

$$3 \quad F = (X - X.^n) ./ (1 - X.^n);$$

GV : coefficient de déperdition de l'enveloppe en W/°C

$$4 \quad GV = DP + DR;$$

X : coefficient X en unité

$$5 \quad X = (ai \otimes Sh + as \otimes S_{se}) ./ (GV \otimes DH);$$

S_{se} : coefficient Sse en unité

$$6 \quad S_{se} = Svitr \otimes Fts \otimes Fei \otimes C1;$$

Sh : surface habitable en m²

$$7 \quad Sh = 0.85 \cdot \left(\frac{1}{3}\right) \otimes A (:);$$

DP : déperdition par les parois en W/°C

$$8 \quad DP = (A_r \otimes U_r + A_f \otimes U_f + Uvitr \otimes Svitr);$$

Ce système logique, réalisé grâce à l'extension *Toaster* de *MatLab* permet de calculer les besoins énergétiques Bch_b de chaque bâtiment de l'agglomération lyonnaise.

La variable "projet" regroupe 3 structures: bâtiment, typologie et contexte. Chacune contient les variables choisies et définies afin de réaliser le calcul.

DR : déperdition par renouvellement d'air en W/°C	
9	$vh = 0.85.h(:) \otimes A(:); DR = 0.34.vh \otimes Q_v;$
Fts : facteur solaire du vitrage en unité	
10	$Fts = Fts_t(type1); Fts = Fts(:);$
U_f : coefficient de transmission thermique des façades du bâtiment en W/m²°C	
11	$U_f = U_f(:);$
U_r : coefficient de transmission thermique du toit du bâtiment en W/m²°C	
12	$U_r = U_r(:);$
Q_v : Ventilation du logement en unité	
13	$Q_v = Q_v(:);$
Svitr : surface du vitrage en m²	
14	$Svitr = tau(:) \otimes P(:) \otimes h(:);$
A_f : aire intérieure des façades du bâtiment en m²	
15	$A_f = (1 - tau(:)) \otimes P(:) \otimes h(:);$
Uvitr : coefficient de transmission thermique du vitrage en W/m²°C	
16	$Uvitr = Uvitr_t(type1); Uvitr = Uvitr(:);$
τ : taux de vitrage du bâtiment en unité	
17	$\tau = tau_t(type1);$
U_{ft} : coefficient de transmission thermique des façades par type de bâtiment en W/m²°C	
18	$U_{ft} = 1./\left(\sum(e_{ft}/\lambda_{ft}) + 0.16\right);$
U_{rt} : coefficient de transmission thermique du toit par type de bâtiment en W/m²°C	
19	$U_{rt} = 1./\left(\sum(e_{rt}/\lambda_{rt}) + 0.16\right);$
r : coefficient de surface de toiture du bâtiment en unité	
20	$r = r_t(type1); r = r(:);$
21	A : emprise au sol du bâtiment en m²
22	P : périmètre du bâtiment en m
23	h : hauteur du bâtiment en m
24	type1 : type de bâtiment en unité

25	e_{ft} : epaisseur des matériaux des façades par type de bâtiments en m
26	λ_{ft} : conductivités des matériaux des façades par type de bâtiments en W/m²°C
27	r_t : coefficient de surface de toiture par type de bâtiment en unité
28	$Uvitr_t$: conductance du vitrage en unité
29	ai : apports internes en kWh/m²
30	DH : écart cumulé de température en k°C.h
31	C1 : orientation des façades en unité
32	Fei : facteur de masque en unité
33	n : coefficient inertie en unité
34	Q_{vt} : taux de renouvellement de l'air en unité
35	e_{rt} : epaisseur des matériaux des toits par type de bâtiment en m
36	λ_{rt} : conductivité des matériaux des toits par type de bâtiments en W/m°C
37	τ_t : taux de vitrage par type de bâtiment en unité
38	Fts_t : facteur solaire du vitrage en unité
39	as : apports solaires en kWh/m²

CITERES

UMR 7324
*Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés*

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement,
Paysage,
Environnement



35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :
Minjid MAIZIA

CHASSAING Etienne
DEPRAETERE Axelle
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2017-2018
S9

Les gisements d'économie d'énergie dans le secteur du logement à l'échelle urbaine : Le cas de la rénovation du parc urbain de Lyon Métropole

Résumé :

Cet article présente un modèle permettant de ventiler les données urbaines à l'échelle des IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique) à une échelle plus fine qu'est le bâti, dans le but de calculer l'économie d'énergie permise par la rénovation des bâtiments de Lyon Métropole en respectant les directives de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Les données recueillies sont appliquées à l'ensemble des 168 mille bâtiments de l'agglomération lyonnaise construits avant 2011 dans le but d'atteindre une économie d'énergie de 30% d'ici 2030 en rénovant 8 054 bâtiments par an.

Mots Clés :

Bâtiment
Typologie
Performance énergétique
Economie
Energie
Rénovation