

Projet de fin d'études

Analyse de cycle de vie d'un quartier : Effet de la réhabilitation des bâtiments sur le bilan énergétique global.

Léna FOLLIN

¹ Projet de fin d'études de 5^{ème} année en cycle ingénieur génie de l'aménagement et de l'environnement spécialité RESEAU
Polytech Tours : Département Aménagement et Environnement, 35 Allée Ferdinand Lesseps 37200 TOURS

Avertissements

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. L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (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 Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 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.

Reçu :12/12/2019 ;

Résumé : Dans cette étude, nous voulons montrer que les réhabilitations d'un bâtiment permettent sur le long terme de faire des économies d'énergie. Pour cela, nous avons déterminé les caractéristiques internes d'un bâtiment théorique (inertie, apports solaire) afin de pouvoir les appliquer sur un quartier. Nous avons ensuite mis en place un modèle permettant de calculer l'énergie grise de réhabilitation d'un quartier à partir de l'énergie grise des matériaux ajoutés. Enfin, nous avons effectué une étude temporelle des besoins en chauffage du premier arrondissement de Paris, ainsi que des dépenses en énergie grise de réhabilitation. Nous avons ainsi obtenu les dépenses en énergie globale d'un quartier réhabilité, que nous avons pu comparer au cas du quartier dans son état initial. Nous en avons conclu qu'avec nos modélisations, il était possible d'économiser de l'énergie en réhabilitant un quartier.

Mots-clés : Analyse de cycle de vie, énergie grise, besoins en chauffage, réhabilitation.

1. Introduction

Les enjeux du réchauffement climatique sont à l'origine de nombreuses mesures prises à l'échelle mondiale, européenne et nationale. En effet, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie et, l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments constituent des objectifs de taille à l'horizon des prochaines décennies (OCDE, 2009).

Notre objet de recherche est donc l'analyse de cycle de vie (ACV), orientée autour du domaine des bâtiments et de l'urbanisme. C'est un outil d'évaluation de l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'un système en relation avec une fonction particulière, et ceci en considérant toutes les étapes de son cycle de vie et plusieurs critères d'impact environnementaux. Il constitue une aide à la décision lors de la préparation et la conception d'un édifice.

L'ACV est devenu un outil régulièrement utilisé au niveau international, européen ou national. Cet essor de l'ACV est en grande partie dû aux politiques publiques environnementales qui incitent à utiliser ce genre de méthode. De plus, à l'échelle européenne, le plan d'action européen Consommation et production durables regroupe un certain nombre de mesures et d'outils en rapport avec l'ACV (Dron, 2012).

L'ACV permet d'appréhender qualitativement et quantitativement les impacts environnementaux du produit ou système considéré pour sa fabrication et ses émissions. Cependant, cette méthode est inadaptée concernant l'évolution temporelle des infrastructures. En effet, elle ne permet pas de prédire dans le temps les impacts environnementaux des constructions. Plus précisément, cette méthode adaptée au bâtiment doit prendre en considération l'évolution du bâtiment au cours du temps. C'est-à-dire que l'analyse du cycle de vie d'un bâtiment doit être en capacité de s'adapter aux changements telles qu'une réhabilitation, une rénovation ou un quelconque aménagement. (Cornillier C., Vial E., 2008)

Par ailleurs, il existe deux grandes catégories d'analyse de cycle de vie :

- L'ACV-A : l'approche attributionnelle qui attribue « une part de responsabilité à un système donné »
- L'ACV-C : l'approche conséquentielle qui elle, permet de modéliser les impacts environnementaux qui font suite à une décision prise.

Ces deux approches ont pour but commun d'apporter une aide à la décision lors de la phase de conception d'un

projet. Cependant, la première est plus politique et plus statique puisqu'elle fait un bilan de l'existant et fonctionne sur un principe d'attribution de certification. Tandis que la seconde est plus apte à répondre de l'évolution du bâtiment. Une autre différence notable entre ces deux approches est le périmètre de l'étude. En d'autres termes, l'ACV-A réduit « la zone d'étude » au processus de fabrication du produit sans aller au-delà. Alors que l'ACV-C inclut au système étudié les éléments extérieurs impactés par ce système (dans la mesure du possible). En ACV-C, l'intégralité des impacts liés aux équipements est affectée au bâtiment. (Fourcroy C, Gallouj F, Decellas F, 2015), (Roux C, Schalbart P, Peuportier B, 2016).

Plusieurs études sont menées dans le but de faire du bâtiment un élément important dans la flexibilité entre l'offre et la demande d'énergie. Ceci permettra une amélioration de l'exploitation des systèmes de chauffage et de refroidissement dans le but de changer les conditions d'usage d'un bâtiment. Le but est de proposer des stratégies qui ont un réel impact sur la consommation tout en respectant les contraintes d'exploitation et en gardant un niveau de confort acceptable. Les bâtiments sont un moyen de stocker gratuitement de l'énergie sous sa forme thermique, la gestion de dépense de ce flux d'énergie pourrait permettre aux bâtiments d'être un levier d'action de la flexibilité offre-demande.

L'étude de l'impact des réhabilitations sur les besoins en chauffage constitue une stratégie d'exploitation des bâtiments comme levier pour économiser de l'énergie à l'échelle du quartier. Nous souhaitons donc effectuer une étude temporelle des besoins en chauffage d'un quartier, et un bilan d'énergie nécessaire à sa réhabilitation, afin de déterminer si ces dernières sont un levier pour limiter les dépenses en énergie. Notre analyse temporelle pourra s'assimiler à une analyse de cycle de vie basée uniquement sur les phases de réhabilitations des quartiers.

Nous posons comme hypothèse que l'investissement d'énergie dans la réhabilitation d'un quartier permet sur le long terme d'effectuer des économies d'énergie.

2. Matériels et méthodes

2.1. Calcul des besoins en chauffage d'un bâtiment

Pour déterminer les besoins en chauffage d'un bâtiment, on détermine si l'enveloppe du bâtiment, le climat ou même les températures conventionnellement appliquées dans les logements sont des éléments caractéristiques de la consommation d'un bâtiment et quels sont les impacts ont ces paramètres. De plus, les apports gratuits sont pris en considération. C'est-à-dire que l'énergie thermique issue de l'utilisation d'appareils électriques ou des apports solaire est déduite des besoins initiaux des bâtiments.

L'inertie permet de rendre compte de la capacité d'un bâtiment à déformer ou non le champ de température extérieure par rapport à la température de consigne du bâtiment. La détermination d'un paramètre de déphasage (ϕ) et d'amortissement (α) du champ de température se fait par le système suivant (figure 1) qui dépend de l'épaisseur (e_{mn}), de la conductivité (λ_{mn}), de la capacité thermique (c_{mn}) et de la masse volumique (ρ_{mn}) de chaque matériau composant chaque paroi étudiée.

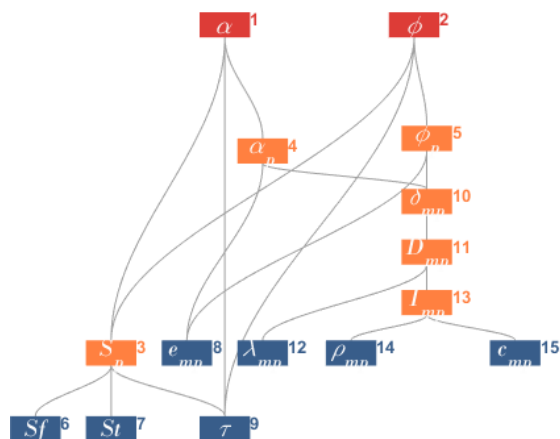


Figure 1 : Système logique du calcul des facteurs de déphasage et d'amortissement.

Nous avons posé comme hypothèse que l'ajout d'isolant n'impacte pas l'inertie du bâtiment, or il s'agit d'un rajout de matériau donc e_{mn} , λ_{mn} , c_{mn} et ρ_{mn} sont directement impactés. Par souci de simplification des calculs à l'échelle du quartier, nous avons fait l'hypothèse que l'inertie des bâtiments est un facteur minime de variations des besoins en chauffage à l'échelle du quartier. On utilisera donc le même champ de température à l'échelle du quartier. On utilisera donc le même champ de température δt pour tous les bâtiments et à chaque instant de l'étude.

Les paramètres ϕ et α permettent d'appliquer respectivement un déphasage et un amortissement sur le champ de température extérieure ce qui donne T_a . La

différence entre la température extérieure amortie (T_a) et le champ de température de consigne (T_{it}) donne un champ de température qui quantifie les déperditions liées à l'enveloppe du bâtiment (figure 2).

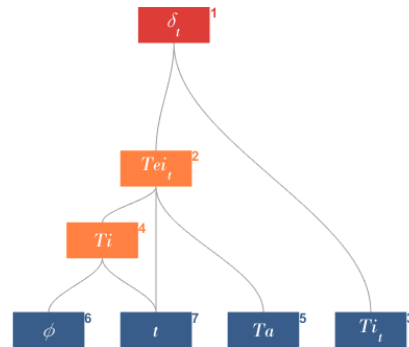


Figure 2: Modélisation de la différence de température extérieure initiale avec la température extérieure prenant en compte l'inertie du bâtiment.

Pour les apports thermiques du bâtiment (A_{bt}), nous n'étudierons que les apports solaires, en omettant les apports internes liés à l'utilisation d'appareils électriques.

La variable γ correspond aux données météo qui donnent le rayonnement solaire directement perçu pour un angle d'incidence optimal, on a donc une surestimation de γt . L'équation des apports solaires est :

$$A_{bt} = F_s \cdot \gamma_t \cdot S_{vit_b} / 4$$

Le facteur 4 correspond à la prise en compte de l'environnement urbain, qui procure de l'ombre au bâtiment ainsi que l'incidence des rayons qui n'est pas toujours optimale. De plus, on a considéré ici que le bâtiment était déjà équipé de doubles vitrages, le facteur solaire FS vaut donc 0,4.

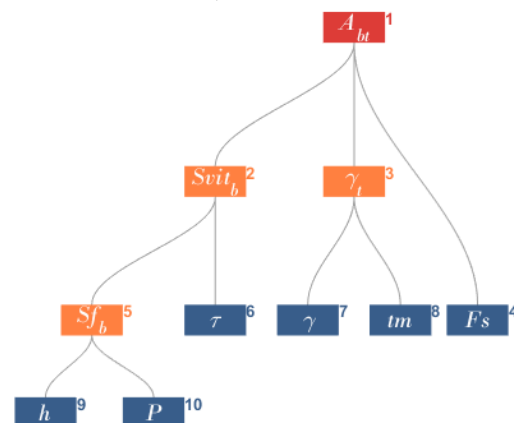


Figure 3 : Calcul des apports solaires d'un bâtiment.

Dans ce projet, nous n'étudions que les besoins en chauffage (figure 4) qui vont représenter les besoins finaux du bâtiment. On ne prend pas en compte les autres besoins potentiels de la structure car l'application des réhabilitations se fait dans l'objectif de réduire les besoins en chauffage et non les autres usages du bâtiment.

La composition des parois impacte à la fois γt et HT_b qui représente la conductance du bâtiment. HT_b est la moyenne de la conductance de chaque paroi pondérée par sa surface (St dans le cas du toit et Sf dans le cas d'une façade).

On fait l'hypothèse que les déperditions par ventilation (D_{ven}) seront constantes dans le temps et qu'elles sont identiques pour chaque bâtiment. Il ne s'agit donc pas d'un levier exploité ici.

Les déperditions Dbt correspondent donc :

$$D_{bt} = \Delta t (HT_b + D_{ven})$$

Le champ de température δt va donner l'amplitude des déperditions à chaque heure de l'année et donc permettre d'obtenir des besoins en fonction des variations de température annuelles.

Les variations de température étant prises en compte dans les déperditions, les besoins en chauffage se résument à la soustraction de Dbt et Abt pour chaque heure de l'année.

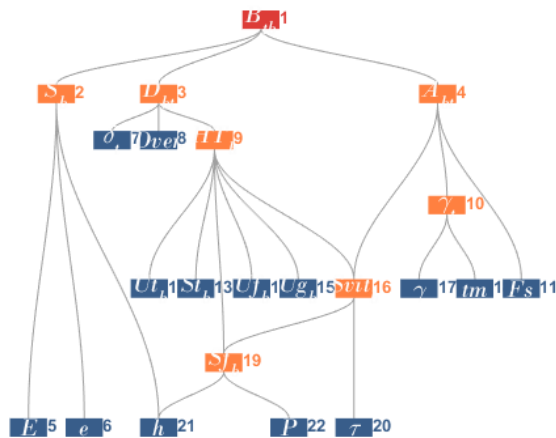


Figure 4 : Calcul des besoins en chauffage d'un bâtiment.

2.2. Calcul de l'énergie grise de rénovation d'un bâtiment (cas du vitrage puis de l'isolation)

Pour une analyse de cycle de vie, il s'agit de bien fixer les limites de l'étude, savoir jusqu'à quel point on considère les transports et la fabrication des matériaux (outils, transport du personnel...). Nous allons nous baser sur les énergies grises, qui représentent l'énergie contenue intrinsèquement dans un objet à travers sa fabrication, son transport ou même son recyclage. Ici, nous prendrons en

compte seulement qu'un certain type d'énergie grise : le stockage de CO_2 . Un produit issu d'un matériau qui stocke du CO_2 , est considéré lui aussi comme stockant du CO_2 .

Dans notre cas, nous allons considérer que l'énergie grise liée à la construction de notre quartier est nulle (car elle est largement amortie dans le temps). Nous nous baserons uniquement sur l'énergie grise de rénovation des bâtiments pour faire un bilan sur le quartier.

Nous déterminons la surface de paroi de chaque bâtiment datant d'avant 1990 à réhabiliter. On fait de même pour la surface de vitrages à changer par bâtiment. Ces valeurs correspondent à la variable S . L'épaisseur de vitrage ou de laine de roche ajoutée est représentée par la variable m et la valeur de l'énergie grise par m^2 est donnée dans la variable $NRJGRISE$.

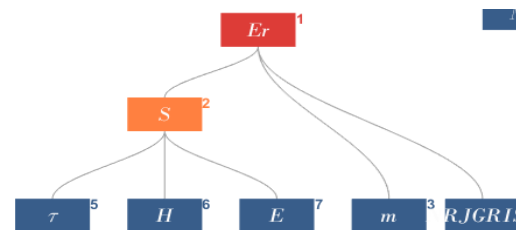


Figure 5 : Calcul de l'énergie grise de rénovation d'un bâtiment.

2.3. Etablissement d'une matrice d'état énergétique du quartier au cours du temps

Afin d'effectuer une analyse temporelle de la consommation ou de l'énergie grise d'un quartier au cours de sa vie, nous avons créé une matrice d'état du quartier, qui prend en compte les périodes de construction de chaque bâtiment (tc), leur période de rénovation du vitrage (tv) et leur période de rénovation de l'isolation (ti). Dans les variables Bb , Vb et Ib , nous avons stocké le bilan des besoins annuels en chauffage de chaque bâtiment dans trois états : Initial (Bb), après réhabilitation du vitrage (Vb) et après réhabilitation de l'isolation (Ib). Pour chaque instant, les variables tc , ti et tv indiquent si le bâtiment est construit, et quel est son stade de réhabilitation. Il s'agit ensuite de lui affecter la valeur de ses besoins en fonction de son état, on se réfère donc aux variables Bb , Vb et Ib . Les variables d et f définissent le début et la fin de la période d'étude.

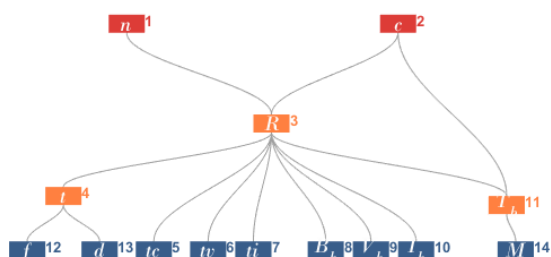


Figure 6 : Etablissement d'un modèle permettant d'avoir le bilan du besoin en chauffage du quartier au cours du temps.

Dans cette étude, nous considérons que les parois des bâtiments rénovés ne se dégradent pas avec le temps.

2.4. Application au cas d'étude

Tout d'abord, il s'agit de typifier les bâtiments, en fonction de leurs caractéristiques physiques (épaisseur de la paroi, type de chauffage ...) mais aussi de leur implantation les uns par rapport aux autres.

Pour les espaces urbains, les classes de bâtiments (Tb) sont construites à partir des documents d'urbanisme et des règlements ainsi qu'à partir de l'orientation des façades, directement comptabilisé dans la variable γt . Ceci permet de faire un premier bilan énergétique qui se limite cependant aux besoins en chauffage (figure 7 annexe).

Pour cela, nous avons pris comme cas d'étude le premier arrondissement de Paris, composé en grande majorité de bâtiments anciens (inférieurs à 1900).

Certains bâtiments étant non datés, nous avons fait l'approximation qu'ils ont été construits entre 1976 et 1981.

Valeur graphique	Période de référence
1	'1801 - 1850'
2	'1851 - 1914'
3	'1915 - 1939'
4	'1940 - 1967'
5	'1968 - 1975'
6	'1976 - 1981'
7	'1982 - 1989'
8	'1990 - 1999'
9	'2000 - 2007'
10	'2008 et plus'
11	'Avant 1800'
12	1976 à 1981 (anciennement non datés)

Tableau 1 : Correspondance entre la typologie et les périodes de construction des bâtiments.

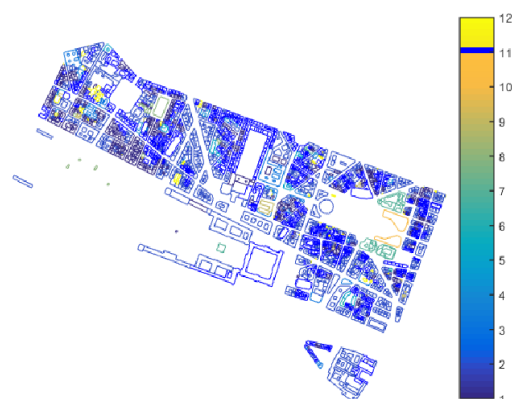


Figure 7 : Age des bâtiments du premier arrondissement de Paris.

Le choix de ce quartier permet d'illustrer l'impact de la réhabilitation de quartier historique sur les besoins en chauffage de ce quartier. Les réhabilitations sont plus importantes en termes d'énergie grise apportées et l'économie effectuée l'est tout autant.

Nous avons utilisé comme champ extérieur de température annuel, celui de Paris (voir annexe), donné ici en degré Celsius.

Pour le rayonnement solaire, nous avons aussi utilisé les données de la ville de Paris dans nos calculs sur bâtiment théorique afin de coller au mieux à notre cas d'étude (voir annexe).

3. Résultats

3.1 Calcul théorique des besoins en chauffage d'un bâtiment

Le calcul de l'inertie d'un bâtiment permet d'obtenir la différence entre la température de consigne du bâtiment et la température extérieure (figure 8). On obtient ainsi l'écart de température lié aux déperditions par l'enveloppe. Lors de l'amortissement du champ de température extérieur, nous n'avons pas observé un amortissement très important car le bâtiment est à l'origine très inerte. Il n'y a donc pas de différence notable.

Les écarts de température nuls indiquent les périodes où il n'est pas nécessaire de chauffer car les apports solaires suffisent à maintenir le bâtiment à la température de consigne, en cas d'écart négatif, cela indique les périodes où la température du bâtiment est au-dessus de la température de consigne, on peut donc avoir un besoin de refroidir le bâti. Cet aspect énergétique ne sera pas étudié ici.

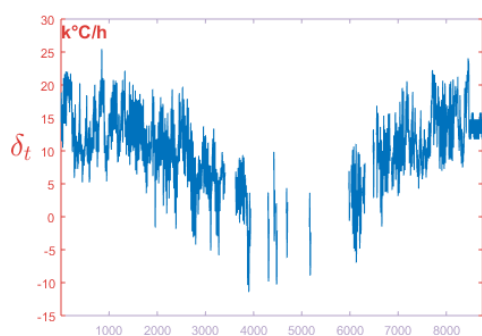


Figure 8 : Différence de température entre la température de consigne et la température extérieure prenant compte de l'inertie du bâtiment.

Les déperditions du bâtiment correspondent donc aux valeurs positives de δ_t . On obtient la courbe suivante pour les déperditions (figure 9). Les besoins en chauffage ne sont donc pas constants sur l'année, notamment sur la période estivale où les apports solaires sont suffisants pour maintenir la température intérieure du bâtiment à la température de consigne.

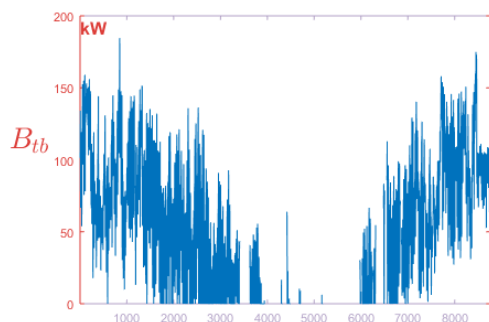


Figure 9 : Besoin en chauffage théorique d'un bâtiment sur une année (pas horaire).

3.2. Bilan en énergie grise des réhabilitations du quartier

Les bâtiments les plus énergivores lors des réhabilitations sont les bâtiments historiques tels que le Louvre et ses différents pavillons ou la Banque de France (en rouge, marron sur la figure 10). Il est donc logique que leur impact en énergie grise de réhabilitation soit important, car ils sont anciens.

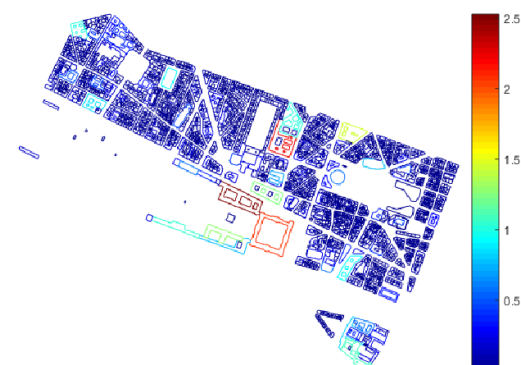


Figure 10 : Pourcentage d'énergie grise présente dans chaque bâtiment après réhabilitation.

La figure 10 a été obtenue par une étude une fois les réhabilitations terminées, or ce n'est pas ce que nous souhaitons. En effet, c'est l'évolution temporelle de l'énergie grise qui nous intéresse.

Dans le cas du premier arrondissement de Paris, entre 1990 (date des premières réhabilitations) et 2100 (fin de l'étude) nous obtenons la courbe en figure 11 de l'évolution de l'énergie grise en fonction du temps sur un pas annuel.

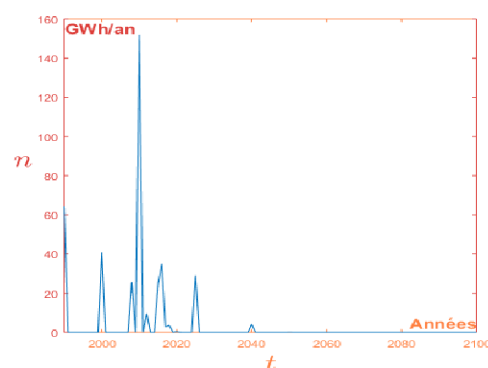


Figure 11 : Energie grise dépensée au cours du temps pour la réhabilitations du quartier.

Nous allons comparer cette courbe avec celle obtenue dans le cas du bilan en besoin de chauffage du quartier non réhabilité (cf. partie 3.3, figure 15).

3.3. Impact des réhabilitations sur le bilan global de besoins du quartier

Après réhabilitation des bâtiments, on observe qu'en majorité, on consomme 70% moins que dans l'état initial (figure 12).

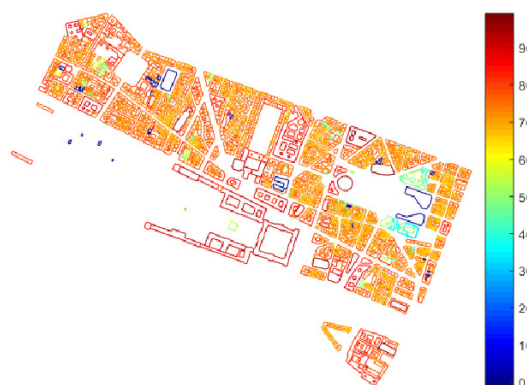


Figure 12 : Pourcentage de réduction des besoins en chauffage après la réhabilitation du quartier.

De plus, on note que la puissance nominale nécessaire pour répondre aux besoins de chaque bâtiment a été réduite par 2,5 en moyenne (figure 13). Donc, la taille des infrastructures de chauffage peut être réduite par 2,5. La réduction de la taille des structures de chauffage implique forcément une économie énergétique que ce soit pour son entretien, sa fabrication ou même son recyclage. On a donc une économie d'énergie possible via les infrastructures.

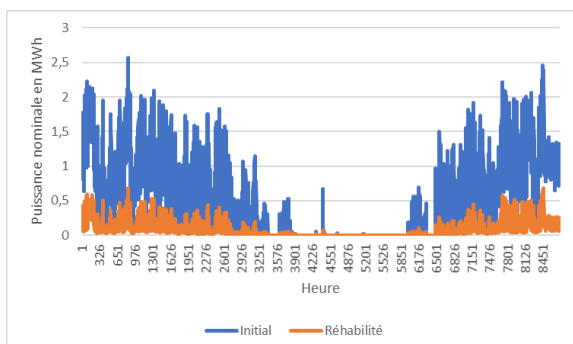


Figure 13 : Puissance nominale du quartier sur un an, avant et après les réhabilitations.

De plus, nous observons un lissage des amplitudes des bâtiments, nous pouvons donc trouver un système de chauffage qui puisse se rapprocher au maximum à la puissance nominale des besoins en chauffage du quartier. On aura ainsi un fonctionnement du système de chauffage toujours proche de la puissance nominale des chaudières, afin de ne pas dégrader les rendements des chaudières.

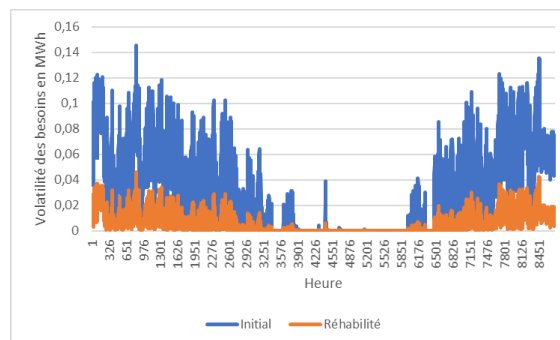


Figure 14 : Volatilité des besoins en chauffage avant et après les réhabilitations.

Grâce à la figure 15, nous pouvons désormais affirmer que l'investissement d'énergie dans des réhabilitations et rénovations permet de réduire sur le long terme les dépenses en énergie d'un quartier. De plus, on remarquera que la rentabilité de l'investissement se fait relativement rapidement, à partir de 2010.

Cependant, cette hypothèse se devra d'être vérifiée dans le cas où une dégradation de l'efficacité des isolants et du vitrage serait prise en compte. Ceci pourrait provoquer une hausse des besoins en chauffage par rapport au bilan représenté par la courbe orange.

L'économie d'énergie effectuée sur la période de 2042 à 2100 représente par an une énergie nécessaire pour répondre 4 fois aux besoins annuels du quartier dans son état réhabilité.

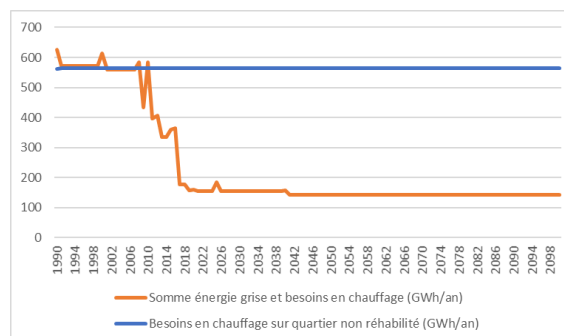


Figure 15 : Comparaison du bilan énergétique du quartier sans réhabilitation (bleu) et avec réhabilitations (orange).

Cependant, la détermination des besoins en chauffage a été faite sur la base de l'hypothèse suivante : l'inertie d'un bâtiment a un impact mineur sur les besoins en chauffage. Or d'après l'équation suivante, une variation de δt impacte tout autant les déperditions en énergie qu'une variation de D_{env} car ces deux variables sont toutes les deux dépendantes de la composition des parois. Nous avons calculé δt à partir d'un bâtiment déjà isolé. Nous imaginons donc les besoins initiaux du bâtiment auraient dû être plus importants que ceux donnés dans la figure 15.

4. Conclusions

Le modèle mis en place permet de mettre en évidence que, malgré le coup énergétique des réhabilitations sur le long terme, on peut effectuer des économies d'énergies.

Le modèle d'analyse temporelle peut être utilisé à d'autres stades de la vie du bâtiment, il est applicable de la construction à la destruction du bâtiment.

Le cas étudié a permis de montrer les économies possibles en cas de réhabilitation de bâtiment. Cependant, il s'agit d'un quartier ancien qui est initialement très énergivore. On peut penser que sur un quartier non historique, les différences auraient été moins importantes, ou tout simplement que les dépenses en énergie grise n'auraient pas été amorties sur la période d'étude. Refaire cette étude sur un quartier plus récent (première construction en 1970 par exemple au lieu d'avant 1800) permettrait de voir si l'hypothèse initiale est vérifiée pour au moins deux types de quartier de nature distincte.

Nous aurions pu considérer aussi l'impact de la dégradation de la qualité des isolants et du vitrage sur les besoins en chauffage. Prendre en compte le vieillissement des matériaux impliquerait d'avoir une augmentation des besoins en chauffage au cours du temps car leur efficacité serait réduite avec le temps.

Nous n'avons considéré que l'aspect réhabilitation de l'existant dans notre étude. Il aurait été intéressant de prendre en compte le cas où les bâtiments sont détruits puis reconstruits par des logements moins énergivores, afin de voir si la réhabilitation est le meilleur moyen de faire des économies d'énergie.

Références

1. Cornillier C, Vial E, (2008). *L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) appliquée aux produits bois : bilan énergétique et prise en compte du carbone biomasse*. acv_bois_arbora2008.pdf [Internet]. [Cité 24 janv 2019]. Disponible sur: https://www.fcba.fr/sites/default/files/acv_bois_arbora2008.pdf
2. Dron D. (2012). *L'analyse du cycle de vie : le point de vue des pouvoirs publics*. Ann Mines - Responsab Environ. p. 10- 2.
3. OCDE (2009). Politique énergétique et passage à une économie sobre en carbone. *Etudes Économiques L'OCDE*. p. 99- 147.

Annexes

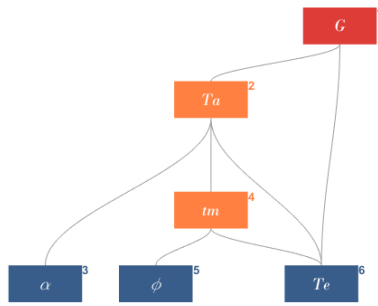


Figure 16 : Calcul de l'amortissement de la température extérieure par le facteur alpha.

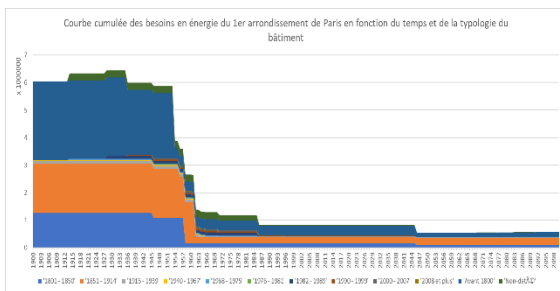


Figure 17 : Courbe cumul e des besoins en chauffage du premier arrondissement de Paris.

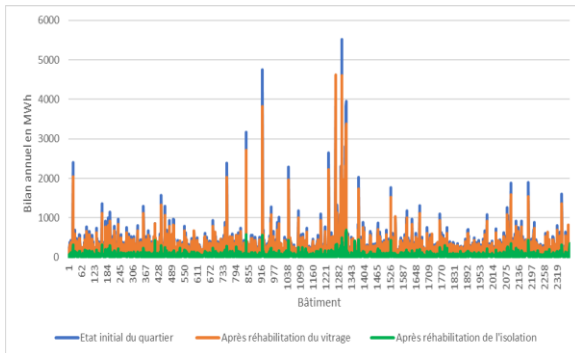
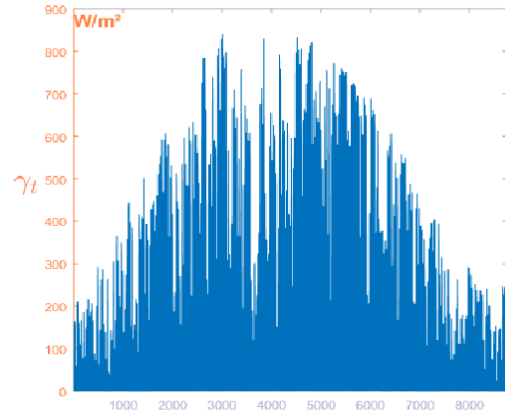
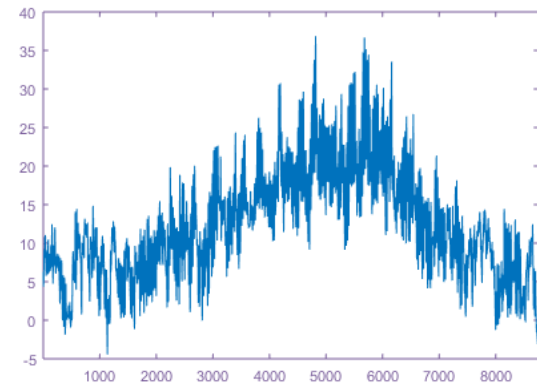


Figure 18 : Comparaison du bilan annuel de chaque bâtiment dans leur état initial et aux différents stades de réhabilitation.



Données 1 : Rayonnement solaire direct reçu par le bâtiment (pas horaire).



Données 2 : Champ de température en région parisienne ( C) sur l'année (pas horaire).

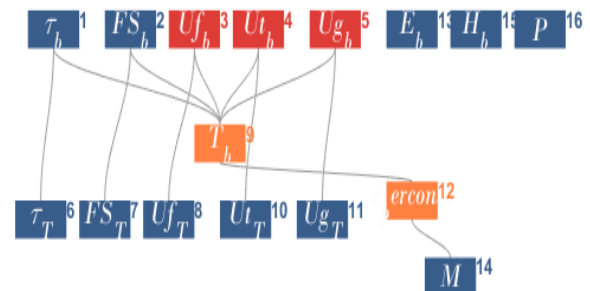


Figure 19 : Système logique permettant l'extraction et l'affectation des conductances des parois pour chaque typologie de bâtiment.

CONSTRUCTION

Période de construction	de	Uf et Ut (W/m ²)	UVIT (W/m ²)	FS	tau	Période de construction (tc)
'1801 - 1850'		2,59	4,185	0,722	0,3	1820
'1851 - 1914'		2,66	4,185	0,722	0,3	1851
'1915 - 1939'		2,93	4,185	0,722	0,4	1915
'1940 - 1967'		3,35	4,185	0,722	0,4	1940
'1968 - 1975'		3,49	4,185	0,722	0,5	1968
'1976 - 1981'		2,3	2,4	0,4	0,5	1976
'1982 - 1989'		1,81	2,4	0,4	0,4	1982
'1990 - 1999'		0,87	2,4	0,4	0,4	1990
'2000 - 2007'		0,87	2,4	0,4	0,4	2000
'2008 et plus'		0,87	2,4	0,4	0,4	2008
'Avant 1800'		2,24	4,185	0,722	0,2	1800
'Non-datÃ©'		2,3	2,4	0,4	0,4	1968

RENOVATION

VITRAGE								
Période de construction	de	Uf et Ut (W/m ²)	Ut	UVIT (W/m ²)	FS	taux de vitrage	de	Période de rénovation vitrage (tv)
'1801 - 1850'		2,59		2,4	0,4	0,3		2000
'1851 - 1914'		2,66		2,4	0,4	0,3		2010
'1915 - 1939'		2,93		2,4	0,4	0,4		2015
'1940 - 1967'		3,35		2,4	0,4	0,4		2017
'1968 - 1975'		3,49		2,4	0,4	0,5		2025
'1976 - 1981'		2,3		2,4	0,4	0,5		2025
'1982 - 1989'		1,81		2,4	0,4	0,4		2025
'1990 - 1999'		0,87		2,4	0,4	0,4		2025
'2000 - 2007'		0,87		2,4	0,4	0,4		2025
'2008 et plus'		0,87		2,4	0,4	0,4		2025
'Avant 1800'		2,24		2,4	0,4	0,2		1990
'Non-datÃ©'		2,3		2,4	0,4	0,4		2025

RENOVATION

ISOLATION								
Période de construction	de	Uf et Ut (W/m ²)	Ut	UVIT (W/m ²)	FS	taux de vitrage	de	Période de rénovation de l'isolation (ti)
'1801 - 1850'		0,61		2,4	0,4	0,3		2012
'1851 - 1914'		0,66		2,4	0,4	0,3		2016
'1915 - 1939'		0,67		2,4	0,4	0,4		2018
'1940 - 1967'		0,73		2,4	0,4	0,4		2020
'1968 - 1975'		0,73		2,4	0,4	0,5		2040
'1976 - 1981'		0,87		2,4	0,4	0,5		2040
'1982 - 1989'		0,87		2,4	0,4	0,4		2040
'1990 - 1999'		0,87		2,4	0,4	0,4		2040
'2000 - 2007'		0,87		2,4	0,4	0,4		2040
'2008 et plus'		0,87		2,4	0,4	0,4		2050
'Avant 1800'		0,59		2,4	0,4	0,2		2008
'Non-datÃ©'		0,87		2,4	0,4	0,4		2040

Données 3 : Conductance des parois (Ut et Uf), taux de vitrage (tau), facteur solaire (FS) de chaque typologie de bâtiment.