

# Rénovation ou reconstruction ? L'apport de la simulation thermique et de l'analyse de cycle de vie

**Bruno Peuportier<sup>1</sup>, Charlotte Roux<sup>1</sup> et Patrick Schalbart<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>MINES Paris, Université PSL, Centre d'Efficacité Energétique des Systèmes (CES), 75006 Paris, France

**RESUME** L'un des leviers transversaux de la feuille de route *Décarbonation du cycle de vie du bâtiment* éditée par le Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires en janvier 2023 est intitulé « Assurer un optimum entre déconstruction et rénovation » et ce document précise que « La recherche d'une minimisation des émissions de GES à l'échelle du parc français conduit à interroger le bilan comparatif des options de « fin de vie » des bâtiments et à identifier, au cas par cas, la solution la plus optimale d'un point de vue environnemental. » Selon la stratégie nationale bas carbone, il faudra réaliser de l'ordre de 700 000 rénovations performantes par an pour atteindre les objectifs climatiques de 2050. Le niveau de performance correspond au label BBC rénovation, soit dans la proposition actuelle une consommation énergétique conventionnelle inférieure à 110 kWhEP/m<sup>2</sup>/an, et des émissions de gaz à effet de serre induites inférieures à 11 kgéqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an. La réglementation environnementale RE2020 impose d'autres seuils pour la construction neuve, évalués selon d'autres métriques. Cet article propose une méthode de comparaison harmonisée, et présente quelques études de cas en posant la question des limites planétaires.

**Mots-clefs** bâtiment, rénovation, reconstruction, simulation thermique, analyse de cycle de vie

## I. INTRODUCTION

L'un des leviers transversaux de la feuille de route *Décarbonation du cycle de vie du bâtiment* éditée par le Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires en janvier 2023<sup>1</sup> est intitulé « Assurer un optimum entre déconstruction et rénovation » et ce document précise que « La recherche d'une minimisation des émissions de GES à l'échelle du parc français conduit à interroger le bilan comparatif des options de « fin de vie » des bâtiments et à identifier, au cas par cas, la solution la plus optimale d'un point de vue environnemental. » Sans doute faut-il comprendre qu'il s'agit de comparer rénovation et reconstruction, donc pas seulement de fin de vie ou de déconstruction.

---

<sup>1</sup><https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Proposition%20de%20feuille%20de%20route%20de%20decarbonation%20du%20batiment.pdf>

Il convient alors de préciser les critères de performance considérés dans une telle comparaison, et les méthodes d'évaluation correspondantes, ainsi que ce qui est appelé « unité fonctionnelle » en analyse de cycle de vie : le bâtiment reconstruit doit assurer les mêmes fonctions que le bâtiment rénové. Ceci implique de définir un usage identique, un niveau de confort identique, et exprimer des indicateurs de performance qui ne dépendent pas (trop) de la durée de vie des deux alternatives comparées car assurer l'égalité de durée de vie est souvent problématique.

Selon la stratégie nationale bas carbone, il faudra réaliser de l'ordre de 700 000 rénovations performantes par an pour atteindre les objectifs climatiques de 2050. Le niveau de performance correspond au label BBC rénovation, soit dans la proposition actuelle une consommation énergétique conventionnelle inférieure à 110 kWhEP/m<sup>2</sup>/an, et des émissions de gaz à effet de serre induites inférieures à 11 kgéqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an.

La construction neuve doit respecter les exigences de la réglementation environnementale RE2020 en termes de consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre (GES), selon des scénarios d'usage conventionnels et une méthode de calcul horaire pour l'énergie, annuelle pour les GES. Les niveaux de performance varient selon l'usage, le type de bâtiment, le climat etc. et les émissions de GES sont exprimées en kgéqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> en supposant une durée de vie de 50 ans.

Les scénarios conventionnels, les méthodes de calcul et les indicateurs de performance « officiels » sont ainsi différents entre bâtiments neufs et rénovés : il est alors difficile d'arbitrer. Nous avons donc choisi un outil, des scénarios et indicateurs communs pour comparer les deux alternatives sur une même base. Après une description de cette méthodologie, plusieurs études de cas sont présentées dans cet article qui n'aborde que les performances énergétiques et environnementales, sachant que l'arbitrage entre rénovation et reconstruction intègre aussi d'autres aspects en particulier économiques, patrimoniaux, urbanistiques et sociaux.

## II. PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE

La première condition pour comparer deux alternatives est de raisonner toutes choses égales par ailleurs d'où l'importance de la notion d'unité fonctionnelle définie dans les normes internationales sur l'analyse de cycle de vie<sup>2</sup>. Les projets de rénovation et de reconstruction doivent avoir la même fonction (par exemple logement), la même surface utile (surface habitable pour des logements), la même qualité de la fonction (en termes de confort thermique, visuel, acoustique, de qualité de l'air...) et la même durée (ce qui peut être obtenu par exemple en se rapportant à une année, selon l'approche de l'étiquette énergie).

En ce qui concerne le confort thermique, il convient de considérer une même température de consigne pour le chauffage et la climatisation éventuelle. Le nombre d'occupants considéré, les horaires de présence et les apports internes liés à l'électroménager ou à la bureautique doivent également être les mêmes. Ces scénarios d'occupation devraient idéalement être les plus réalistes possibles, voire donner lieu à un échantillonnage afin de comparer les variantes pour diverses

---

<sup>2</sup> Normes EN ISO 14040, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, et EN ISO 14044, Environmental management - Life cycle assessment -- Requirements and guidelines, International Organisation for Standardization, Genève, 2006

situations : un logement peut être occupé par une famille de quatre personnes, puis par un couple puis par une personne seule. Des modèles stochastiques ont été étudiés dans cet objectif (Vorger, 2014). De même que les températures de consigne, le débit d'une ventilation mécanique contrôlée devrait être identique dans la comparaison.

Les postes de consommation énergétique considérés dans les outils réglementaires sont le chauffage, la climatisation, l'eau chaude sanitaire, la ventilation, l'éclairage et les auxiliaires (pompes de circulation par exemple). En cas d'installation d'un système de production renouvelable, photovoltaïque par exemple, il est préférable d'intégrer l'ensemble des consommations : y compris les « usages spécifiques » d'électricité comme la bureautique et l'électroménager qui réduisent l'export d'électricité renouvelable vers le réseau.

Afin d'améliorer la précision de la comparaison, il est préférable d'utiliser un outil de simulation thermique dynamique à pas de temps infra-horaire plutôt que par exemple le calcul annuel de l'étiquette énergie selon la méthode du diagnostic de performance énergétique (DPE). La simulation permet d'autre part d'évaluer les risques de surchauffe, ce qui est de plus en plus nécessaire face au dérèglement climatique. La validation des outils est un élément important à prendre en compte (Munaretto, 2017).

Si la consommation d'énergie durant l'utilisation d'un bâtiment est un critère de performance essentiel, la rénovation nécessite en général moins de matériaux que la reconstruction. Il est alors pertinent d'intégrer l'énergie consommée lors de la production de ces produits, et par conséquent aussi de leur fin de vie. Cela amène à utiliser l'analyse de cycle de vie (ACV), méthode qui permet aussi d'évaluer les émissions de GES et d'autres indicateurs environnementaux dans le but d'éviter un transfert d'impact.

La simulation énergétique fournissant des consommations au pas de temps horaire, un calcul également dynamique en ACV est préférable car par exemple le mix de production d'électricité (pourcentage de production nucléaire, fossile et renouvelable) et les impacts correspondants varient selon les saisons, les jours de la semaine et les heures de la journée (Roux, 2016 a). Il faut noter que l'ACV prétendument dynamique de la RE2020 est en fait statique car il s'agit d'un calcul annuel. La longue durée de vie des bâtiments implique par ailleurs de considérer les évolutions de long terme, en particulier en ce qui concerne le système énergétique (Roux, 2016 b).

La durée de vie d'un ouvrage est un élément essentiel en ACV : isoler un bâtiment dont la structure est vétuste et menace de s'écrouler n'aurait pas de sens. Des modèles de dégradation sont proposés dans la littérature. De tels modèles sont utilisés dans l'étude présentée ci-dessous, concernant la comparaison entre rénovation et reconstruction dans le cas d'un immeuble résidentiel situé en Espagne (Palacios-Munoz, 2019a).

### III. EXEMPLE D'APPLICATION SUR UN IMMEUBLE RESIDENTIEL

#### A. Bâtiment d'origine

Cet immeuble résidentiel construit en 1956 à Saragosse (Espagne) compte huit étages et deux logements par étage, y compris au rez-de-chaussée. La surface habitable est de 1257 m<sup>2</sup>. La structure est en béton armé. Les murs extérieurs sont constitués de deux couches de briques sans

lame d'air entre elles, d'un revêtement en carreaux de céramique sur l'une des façades et d'enduit de mortier sur les autres, sans couche isolante. Le bâtiment a un toit en tuiles sans isolation thermique et les menuiseries sont en ossature bois avec simple vitrage.

Les besoins annuels de chauffage et de refroidissement du bâtiment d'origine sont respectivement de 74 kWh/m<sup>2</sup> et 26 kWh/m<sup>2</sup>. La structure se compose de trois cadres à plusieurs étages avec une portée entre eux de 4,10 m et une portée entre poutres de 4,00 m. Toutes les poutres sont considérées comme ayant la même section de largeur 400 mm - hauteur 600 mm, avec un enrobage béton de 40 mm. Les zones des barres d'armature en traction et en compression sont respectivement de 2592 mm<sup>2</sup> et 157 mm<sup>2</sup>. Les poutres sont considérées en flexion simple avec un moment supporté maximum de 140 kN m. Les propriétés des matériaux utilisées pour les estimations sont celles des matériaux couramment utilisés dans les années 1960 en Espagne, qui ont été obtenues à partir des codes de l'époque et sont présentées dans (Palacios-Munoz, 2019a).

### *B. Rénovation*

L'opération de rénovation consiste à ajouter une isolation thermique extérieure en façade et en toiture. Le rez-de-chaussée en contact avec un vide sanitaire est également isolé. Les fenêtres sont remplacées par des double ou triple vitrages. Certains matériaux doivent être déposés ou remplacés lors de la rénovation.

La différence entre l'option qui répond juste à la réglementation et l'option qui répond au label de très basse consommation (« passif ») correspond à l'épaisseur de l'isolation ainsi qu'au type de fenêtres. Dans le cas de la rénovation énergétique standard (SR) qui répond à la réglementation, l'épaisseur de la laine de verre ajoutée en façade, toiture et rez-de-chaussée est de 10 cm. Les fenêtres sont en ossature bois avec double vitrage 6/16/6 à l'argon ( $U=1,85$  W/m<sup>2</sup>.K). Dans le cas de la rénovation énergétique passive (RP), l'épaisseur de la laine de verre ajoutée en façade, toiture et rez-de-chaussée est respectivement de 18 cm, 19 cm et 10 cm. Les fenêtres sont en ossature bois avec triple vitrage basse émissivité à l'argon ( $U=1,09$  W/m<sup>2</sup>.K).

La demande de chauffage et de refroidissement, obtenue par simulation thermique dynamique, de SR est de 30 kWh/m<sup>2</sup> et 7 kWh/m<sup>2</sup>, respectivement. La demande de chauffage et de refroidissement de RP est de 15 kWh/m<sup>2</sup> et 13 kWh/m<sup>2</sup>, respectivement. La charge de refroidissement serait beaucoup plus faible compte tenu du fait que les habitants ouvrent leurs fenêtres la nuit en été, par rapport aux conditions de fonctionnement de la réglementation considérée ici (correspondant à la réglementation espagnole). Le système de chauffage est une chaudière au gaz naturel, avec un rendement égal à 0,92, et une climatisation électrique pour le refroidissement, avec un SEER (ratio d'efficacité énergétique saisonnier) égal à 2. L'eau chaude est produite par l'énergie solaire thermique (60 %) et la chaudière au gaz naturel (40 %).

La structure du bâtiment d'origine est conservée et aucune intervention structurelle n'est envisagée.

### *C. Reconstruction*

Pour le nouveau bâtiment, le même volume et la même surface habitable sont pris en compte afin de pouvoir comparer les solutions sur une base homogène. Le bâtiment étant protégé par un règlement patrimonial, la même configuration architecturale doit être assurée. La nouvelle

structure du bâtiment est également en béton armé. Les dalles comprennent en outre des éléments en polystyrène pour les alléger et elles sont munies de carreaux de céramique posés sur du mortier. Les murs extérieurs sont en blocs de béton avec une isolation extérieure en laine de verre recouverte de mortier. La couche interne est constituée de plâtre. Le bâtiment a un toit en tuiles traditionnelles isolé avec de la laine de verre. Les murs intérieurs du bâtiment sont constitués de blocs de béton avec de la laine de verre et du plâtre.

Comme dans le cas de la rénovation, la différence entre la démolition plus construction neuve standard (SD&N) et la reconstruction passive (PD&N) correspond à l'épaisseur de la couche d'isolation et aux fenêtres. Dans le cas de SD&N, les épaisseurs de laine de verre en façade, toiture et rez-de-chaussée sont respectivement de 17 cm, 20 cm et 10 cm. Les fenêtres sont en ossature bois avec double vitrage 6/16/6 à l'argon ( $U=1,85 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Dans le cas du PD&N, les épaisseurs de laine de verre en façade, toiture et rez-de-chaussée sont respectivement de 22 cm, 23 cm et 11 cm. Les fenêtres sont en ossature bois avec triple vitrage basse émissivité à l'argon ( $U=1,09 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ).

La demande de chauffage et de refroidissement du nouveau bâtiment est de  $27 \text{ kWh/m}^2$  et  $6 \text{ kWh/m}^2$ , respectivement. Dans le bâtiment passif, les besoins en chauffage et en refroidissement sont respectivement de  $15 \text{ kWh/m}^2$  et  $12 \text{ kWh/m}^2$ . Les systèmes de chauffage et de refroidissement considérés sont similaires à ceux du bâtiment rénové (chaudière au gaz naturel avec une efficacité de 0,92 et pompe à chaleur avec un EER de 2,00). L'eau chaude est produite par l'énergie solaire thermique (60 %) et la chaudière au gaz naturel (40 %).

La structure considérée est similaire à celle du bâtiment d'origine. Pour simplifier, toutes les poutres du nouveau bâtiment sont considérées comme étant de même section de largeur 300 mm - hauteur 350 mm, avec un enrobage béton de 30 mm. Les zones d'armature en traction et en compression sont respectivement de  $1257 \text{ mm}^2$  et  $157 \text{ mm}^2$ . On suppose que toutes les poutres doivent supporter la même charge (moment fléchissant maximum de  $140 \text{ kN m}$ ). Les propriétés des matériaux répondent aux exigences de la réglementation structurelle (Ministry of Development, 2008).

#### *D. Détermination de la durée de vie en utilisant l'approche basée sur la durabilité*

La durée de vie du bâtiment considérée est celle de sa structure. Dans cette étude, le phénomène de dégradation par la corrosion due à la carbonatation est considéré car c'est le plus fréquent. La méthodologie suivie est celle définie dans (Palacios-Munoz, 2019b), pour ce type de dégradation. La méthode appliquée est basée sur des calculs structurels itératifs, dans lesquels les caractéristiques mécaniques sont mises à jour à chaque étape en fonction du modèle de dégradation. Dans ce cas, le paramètre mis à jour itérativement est la section d'armature qui diminue à mesure que la corrosion augmente. Il convient de noter que la corrosion peut également entraîner d'autres effets mécaniques qui influencent la durée de vie, comme la perte de liaison entre l'acier et le béton, et la fissuration de l'enrobage de béton due à l'augmentation du volume des oxydes par rapport au volume initial de l'acier de base (Pedrosa et Andrade, 2017). Cependant, ces effets ne sont pas pris en compte ici en raison de la portée de cet article qui est juste de fournir un ordre de grandeur utilisé dans l'ACV.

Cette étude se concentre uniquement sur les poutres car elles sont plus sensibles aux pertes de section des barres d'armature que les poteaux. Les poutres sont classées, selon leurs conditions d'exposition, en : intérieur, extérieur, sous toiture ou en contact avec le vide sanitaire. Par conséquent, le modèle de dégradation est appliqué à quatre types de poutres. La valeur la plus courte obtenue est considérée comme la durée de vie du bâtiment, ce qui constitue une hypothèse conservatrice.

Pour obtenir la valeur de conception, différents facteurs partiels de sécurité sont introduits qui doivent être appliqués aux propriétés des matériaux et aux charges pour assurer une certaine fiabilité. Ces facteurs sont définis dans le règlement dans le cas de nouvelles structures. Pour le béton et l'acier, ils sont respectivement de 1,5 et 1,15. Lorsque des structures existantes sont évaluées, l'incertitude concernant les informations disponibles est différente. Ainsi, pour assurer le même niveau de fiabilité que dans les ouvrages neufs, la valeur des coefficients partiels est adaptée. Le même indice de fiabilité cible a été supposé pour les bâtiments existants et neufs. Les facteurs partiels pour le béton et l'acier sont alors respectivement de 1,353 et 1,097.

Enfin, un calcul itératif doit être effectué en tenant compte à chaque étape du diamètre approprié de la barre d'armature, selon les modèles de dégradation. Le taux de corrosion et le temps d'initiation (moment où la corrosion est susceptible de commencer) ne sont pas des valeurs déterministes mais peuvent être décrites au moyen d'une distribution normale définie par une valeur moyenne et un écart-type. Pour évaluer la moyenne et l'écart type du résultat final du calcul structurel, le modèle structurel est approximé en une série de Taylor quadratique. Le moment où la limite admissible est atteinte est pris comme valeur de durée de vie du bâtiment analysé. La durée de vie du bâtiment rénové est la différence entre la durée de vie du bâtiment existant et le moment où la rénovation est effectuée. En effet, la rénovation envisagée dans cette étude n'améliore pas la structure mais uniquement les performances thermiques du bâtiment.

#### *E. ACV*

La méthodologie d'ACV est appliquée pour évaluer quatre variantes : SR, PR, SD&N et PD&N selon l'indicateur Global Warming Potential (GWP), basé sur la méthodologie IPCC 2007 v1.02, et en utilisant la base de données Ecoinvent v2.2 (Frischknecht et al., 2004) adaptée au mix électrique espagnol de 2017, avec l'outil logiciel EQUER (Polster et al., 1996). L'unité fonctionnelle est identique : il s'agit de loger 80 personnes dans un immeuble collectif de 1257m<sup>2</sup> habitables, en conservant la configuration architecturale du bâtiment existant. Pour comparer des variantes donc la durée de vie peut différer, les indicateurs environnementaux sont exprimés par m<sup>2</sup> et par an. Les étapes de construction, d'utilisation et de fin de vie sont prises en compte. L'étape de construction comprend l'extraction des matières premières, le transport, la fabrication de matériaux de construction et le transport. L'étape d'utilisation comprend l'énergie utilisée pour le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire, en tenant compte du système solaire thermique. Aucune consommation d'énergie de ventilation mécanique n'a été prise en compte. L'étape d'utilisation comprend également le remplacement des éléments selon les hypothèses de durée de vie exposées ci-dessous. Dans l'étape de fin de vie, l'impact des matériaux considérés comme recyclables sont considérés comme nuls.

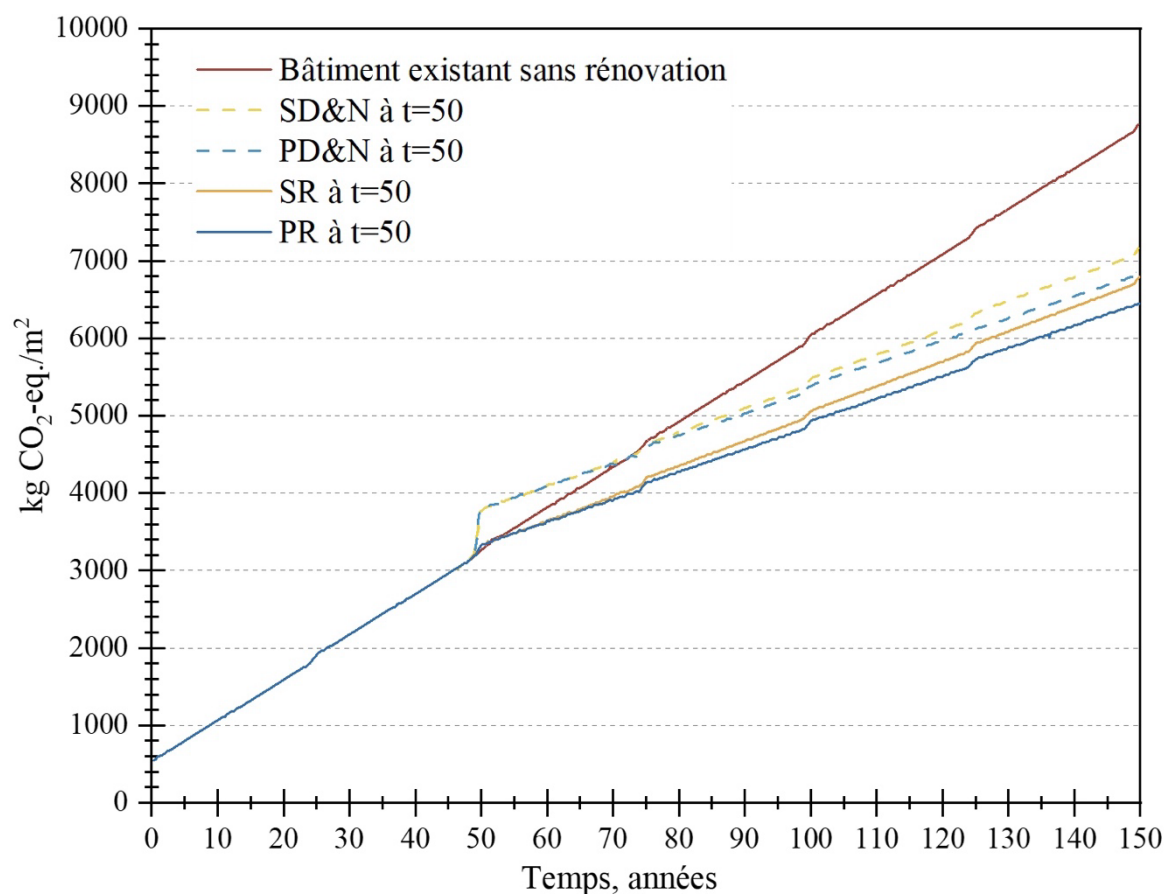
La période d'étude de référence correspond à la période allant des travaux de rénovation ou de construction jusqu'à la fin de vie de l'ouvrage. Dans chaque alternative (SR, PR, SD&N, PD&N), la durée de vie estimée est prise en compte. Les hypothèses communes dans l'ACV sont les suivantes :

- la consommation d'eau par personne et par jour est de 40 L d'eau chaude et 100 L d'eau froide, le rendement du réseau d'eau de la ville étant de 80 %. (soit 20% de fuites),
- aucun transport d'occupants et aucun déchet ménager n'est inclus dans le système étudié,
- le mix électrique est considéré comme constant (22 % nucléaire, 33 % renouvelable, 17 % charbon et 28 % gaz) , les pertes du réseau étant de 9%,
- Un surplus de 5% matériaux est considéré pour tenir compte des pertes durant la mise en oeuvre, la distance de transport des matériaux est de 100 km du site de production ou de recyclage au chantier de construction, 20 km vers le site de décharge ou d'incinération,
- La durée de vie des fenêtres et des portes est de 30 ans, 20 ans pour les équipements et 10 ans pour les revêtements.

Les quantités de matériaux de construction sont déduites de la géométrie et de la composition des murs, des planchers et du toit. Les équipements sont également pris en compte (chaudière, système de refroidissement et panneaux solaires thermiques). De plus, les matériaux concernant la plomberie (équipement sanitaire, système d'eau potable et d'assainissement), les services électriques et de télécommunication sont pris en compte en considérant des ratios forfaitaires par m<sup>2</sup> de plancher. En ce qui concerne la fin de vie, le béton armé et les métaux sont considérés comme recyclables afin de suivre la directive européenne sur les déchets 2008/98/CE (European Parliament, 2008) qui impose de recycler 70 % des déchets liés au bâtiment. Le bois et les plastiques sont considérés comme incinérés, et le reste des matériaux mis en décharge.

Avant d'estimer la durée de vie, une étude théorique des impacts des cinq solutions (Bâtiment sans modification, Rénovation Standard ou Passive, Reconstruction Standard ou Passive) a été réalisée sur une période de 150 ans en considérant un bâtiment existant de 50 ans. Dans la Fig. 1, les émissions cumulées de GES des différentes solutions sont tracées en fonction du temps. Comme le montre cette figure, le classement des différentes variantes varie en fonction du temps. Par exemple, après un laps de temps de 50 ans depuis l'intervention, les deux types de rénovation obtiennent de meilleurs résultats que les reconstructions. En revanche, si un laps de temps de 150 ans est considéré, SR a un impact équivalent à PD&N. Ce type d'analyse suppose implicitement que R et D&N ont la même durée de vie, ce qui est peu probable.

Le modèle de dégradation présenté précédemment est alors appliqué. Dans le cas du bâtiment existant, la limite admissible de résistance d'une poutre est atteinte avant 80 ans avec 25 % de probabilité, avant 95 ans avec 50 % de probabilité (valeur moyenne) ou avant 110 ans avec 75 % de probabilité. La valeur moyenne pour le bâtiment neuf est de 210 ans. En considérant une même durée de vie de 100 ans pour toutes les alternatives, l'indicateur exprimé par m<sup>2</sup> habitable et par an est minimal pour la variante PR correspondant à la rénovation passive. En considérant les durées de vie estimées par le modèle de dégradation, ainsi que les incertitudes, la reconstruction passive pourrait s'avérer plus performante mais dans la fourchette d'incertitude et la très longue durée de vie de 210 ans peut difficilement être garantie.



**FIGURE 1.** Emissions cumulées de GES par m<sup>2</sup> habitable pour le bâtiment existant, deux variantes (standard S et passif P) de rénovation R et de reconstruction D&N menées l'année 50

#### IV. AUTRES EXEMPLE D'APPLICATION

Le premier exemple montre l'utilisation de l'ACV pour optimiser les performances d'une rénovation, et ainsi mieux tirer parti d'une structure existante. Le deuxième exemple montre l'intérêt de la rénovation également en termes de protection contre les vagues de chaleur. Le troisième exemple montre que la rénovation ne permet pas toujours d'atteindre une performance thermique élevée, ce qui peut induire des impacts environnementaux supérieurs à ceux d'une reconstruction.

##### A. Optimisation des performances

Une autre étude avait été menée dans le cadre du projet européen REGEN LINK sur un immeuble HLM à Montreuil (Peuportier, 2002). Augmenter l'épaisseur d'isolant réduit la consommation de chauffage et les émissions de GES correspondantes, mais augmente les émissions à l'étape de fabrication. Cette étude a alors permis de déterminer une épaisseur optimale d'isolant en façade (Fig. 2), l'optimum étant très plat (le total des émissions varie très peu entre 10 et 40 cm d'isolation). Pour des raisons économiques, une épaisseur de 10 cm a été retenue. Les besoins de

chauffage ont alors été estimés à 80 kWh/m<sup>2</sup>.an. Dans un autre bâtiment présenté dans le cadre du projet européen TREES (Neumann, 2008), la mise en œuvre d'une ventilation à double flux avec récupération de chaleur sur l'air vicié et la réduction des ponts thermiques au niveau des balcons a permis de baisser les besoins à 27 kWh/m<sup>2</sup>.an, ce qui équivaut à la performance d'un bâtiment neuf.

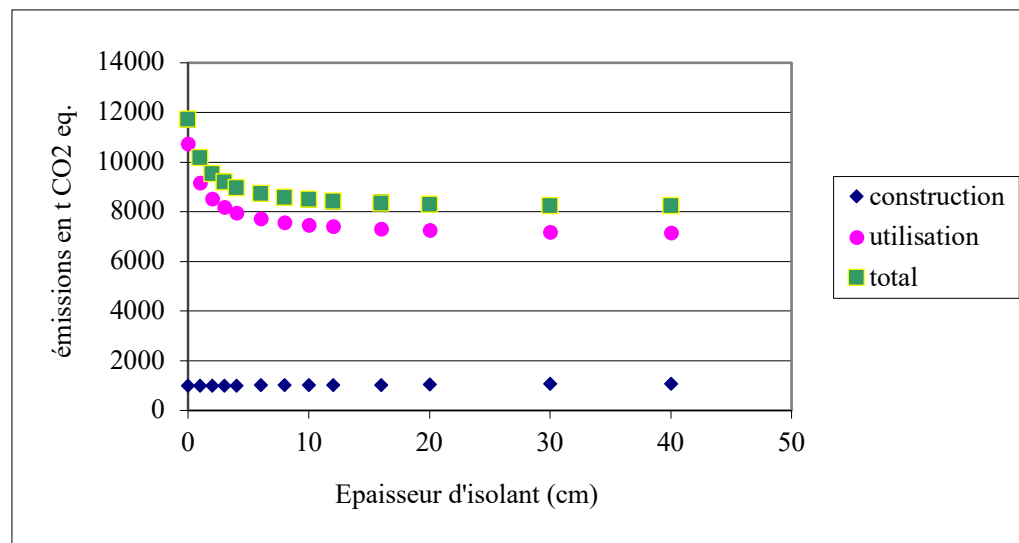
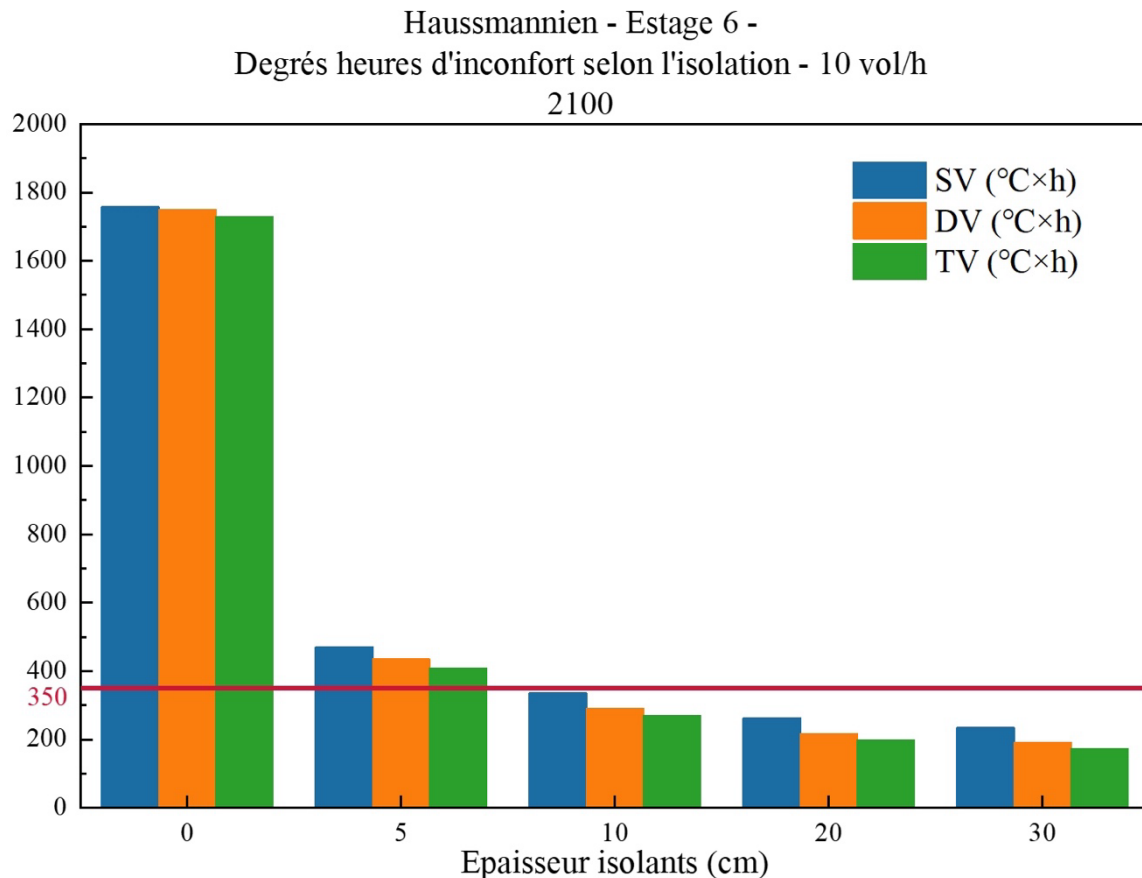


FIGURE 2. Exemple d'application de l'ACV en rénovation

### B. Etude du risque de surchauffe

Il convient d'associer la réduction des impacts environnementaux à la résilience des bâtiments face au changement climatique. Dans le cadre du projet « Résilience » soutenu par l'ADEME, un partenariat avec Météo-France a permis d'évaluer les niveaux et les durées des surchauffes à l'horizon 2050 et 2100 sur un échantillon de bâtiments intégrant le parc existant (immeubles haussmanniens et Immeubles de logements sociaux des années 1960). Pour pouvoir se passer de climatisation, il faut à la fois isoler les bâtiments, les ventiler la nuit en été, utiliser des protections solaires et des brasseurs d'air. L'indicateur considéré est le nombre de degrés-heures de surchauffe, comme dans la RE2020 mais évalué par simulation thermique dynamique. La figure 3 montre, dans le cas d'un immeuble haussmannien situé à Paris, d'une vague de chaleur médiane à l'horizon 2100 et en supposant un taux de renouvellement d'air la nuit de 10 volumes par heure, le logement étant traversant, comment cet indicateur peut être abaissé grâce à une isolation thermique (intérieure) et le remplacement des simple vitrages (SV) par des double (DV) voire triple vitrages (TV) (Monnier, 2022). La RE2020 considère que la limite acceptable est de l'ordre de 350 degrés-heures.



**FIGURE 3.** Degrés-heures d'inconfort selon l'épaisseur d'isolant et le type de surchauffe, exemple d'un bâtiment haussmannien à Paris et d'une vague de chaleur médiane à l'horizon 2100

### C. Etude à l'échelle d'un îlot

Le choix entre reconstruction et rénovation a été étudié sur un îlot situé à Saint-Denis (93). Les impacts de déconstruction peuvent varier d'un bâtiment à l'autre, en particulier à cause de la présence de matériaux voués à l'incinération : selon les résultats de cette étude (Tannous, 2022), les émissions de GES varient de 10 à 140 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup> utile. Mais les impacts d'une rénovation peuvent également être élevés, du fait de la dépose de ces mêmes matériaux : des émissions entre 10 et 200 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup> utile ont ainsi été obtenues sur ce même cas d'étude.

Deux bâtiments de logement rénovés ont alors été comparés à une reconstruction: un bâtiment dont la taille et la complexité induisent des besoins de chauffage élevés même une fois rénové, et un bâtiment plus grand et dont les performances thermiques sont voisines de celles de l'îlot neuf (de l'ordre de 10 kWh/m<sup>2</sup>).

Les diagrammes radars suivants montrent les écarts en valeur relative sur les 9 indicateurs environnementaux considérés dans cette étude.

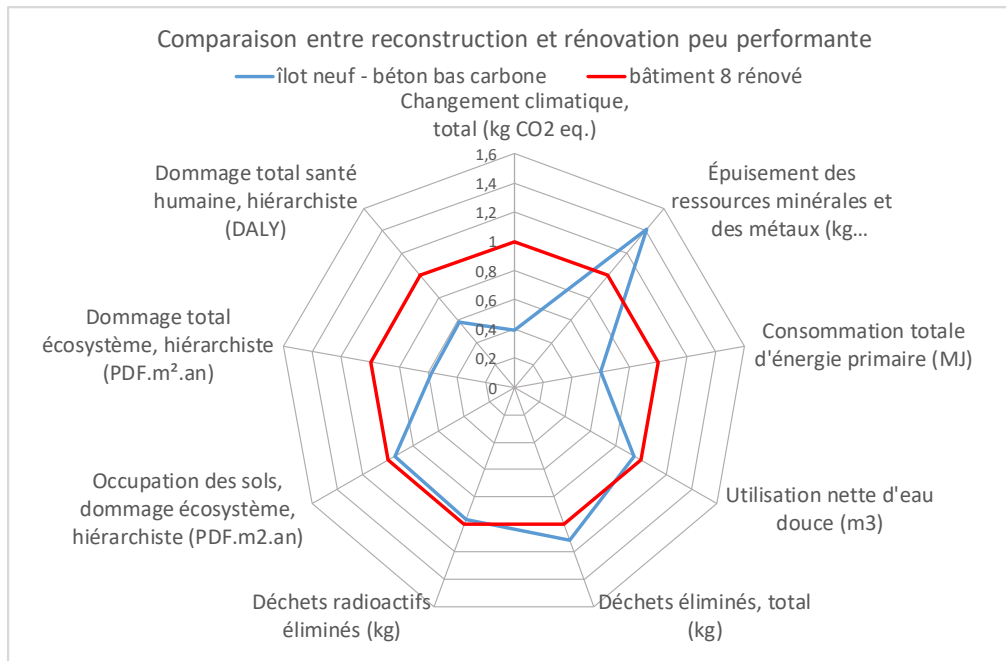


FIGURE 4. Comparaison entre l’îlot reconstruit et un bâtiment rénové peu performant

La reconstruction (îlot neuf) réduit la plupart des impacts environnementaux par rapport à une rénovation peu performante, sauf en ce qui concerne l’épuisement des ressources (car il faut produire une plus grande quantité de matériaux) et les déchets (car il faut déconstruire les bâtiments existants).

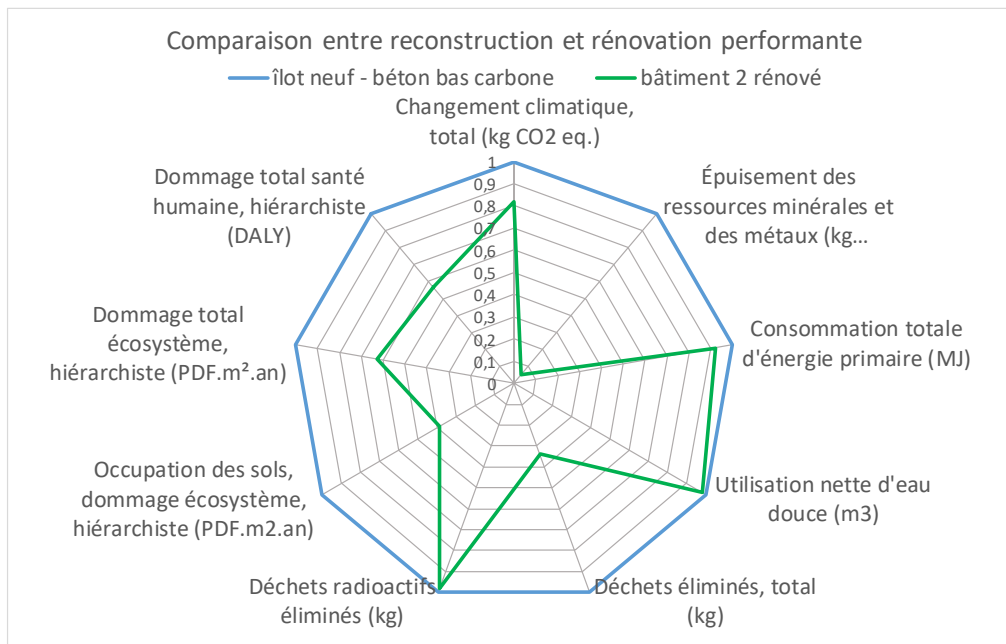


FIGURE 5. Comparaison entre l’îlot reconstruit et un bâtiment rénové performant

Cette fois, c’est le bâtiment rénové qui induit le moins d’impact, sauf en ce qui concerne les déchets radioactifs et la consommation d’eau : ces impacts sont liés principalement à l’étape d’utilisation, et le scénario d’usage est identique pour les deux bâtiments comparés.

## V. CONCLUSIONS ET PRESPECTIVES

L'arbitrage entre rénovation et reconstruction dépend de multiples facteurs mais selon la feuille de route *Décarbonation du cycle de vie du bâtiment*, le bilan environnemental n'apparaît pas aujourd'hui être un critère suffisamment pris en compte. Cet article propose une méthode intégrant la simulation thermique dynamique et l'ACV, permettant d'effectuer un tel bilan environnemental comparatif sur une base homogène. L'une des difficultés est liée à la durée de vie des bâtiments, généralement différente entre rénovation et reconstruction. Un modèle de dégradation a été utilisé pour évaluer ce paramètre, qui peut ensuite influencer les résultats d'une ACV. Quelques exemples d'application ont été présentés à l'échelle d'un bâtiment et d'un îlot.

La longue durée de vie des bâtiments induit des incertitudes sur certains aspects. Des analyses de sensibilité antérieures (Pannier, 2018) ont par exemple montré l'influence importante du scénario d'évolution de la production d'électricité sur les résultats d'ACV. Il serait utile de savoir si ces incertitudes sont de nature à remettre en cause l'arbitrage entre rénovation et reconstruction. La méthodologie proposée pourrait sans doute être simplifiée par l'usage de valeurs par défaut, mais il conviendrait de le vérifier sur un échantillon d'études de cas.

Les démarches présentées dans les cas d'application ci-dessus visent une réduction des impacts environnementaux. En perspective, il convient d'élaborer des stratégies de transition permettant de respecter les limites planétaires, il s'agit par exemple d'atteindre une neutralité carbone (d'autres limites concernent la biodiversité, l'occupation des sols, l'utilisation d'eau douce...) ce qui constitue un défi beaucoup plus considérable.

## REMERCIEMENTS

Ces travaux ont bénéficié du soutien du Plan Construction et Architecture, de l'ADEME, de l'ANR, de la Commission Européenne, et de la chaire *lab recherche environnement VINCI ParisTech*.

## REFERENCES

European Parliament and the Council of the European Union, Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives, (2008).

Frischknecht, R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Heck T., Hellweg S., Hischier R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M. 2004. Overview and Methodology, ecoinvent report No. 1, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.

Monnier R., Leroy B., Lemonsu A., Ouvrier Bonnaz O., François E., Wurtz E., Ziv N., Selouane K., Serodio E., Thiers S., Schalbart P., Peuportier B., Etude prospective sur la résilience des bâtiments face aux canicules, Conférence IBPSA France, Châlons en Champagne, mai 2022

Ministry of Development (Spain), Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), (2008), <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Munaretto, F., Recht, T., Schalbart, P. and Peupartier, B., 2017. Empirical validation of different internal superficial heat transfer models on a full-scale passive house. *Journal of Building Performance Simulation*, doi: 10.1080/19401493.2017.1331376.

Neumann U., 2008. Training for renovated energy efficient social housing, Section 3 Case Studies, 3.5 Nürnberg – Jean-Paul-Platz (Germany), <https://direns.mines-paristech.fr/Sites/TREES/>

Palacios-Munoz B., Peupartier B., Gracia-Villa L., López-Mesad B., 2019a. The importance of estimating lifespan in LCA of buildings: The case of refurbishment vs. new construction, *Building and Environment*, vol 160, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106203>

Palacios-Munoz B., López-Mesa B., Gracia-Villa L., 2019b. Influence of refurbishment and service life of reinforced concrete buildings structures on the estimation of environmental impact, In press, *Int. J. Life Cycle Assess.* 18, <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01622-w>

Pannier, M.-L., Schalbart, P., Peupartier, B., 2018. Comprehensive assessment of sensitivity analysis methods for the identification of influential factors in building LCA, *J. Cleaner Production*, Volume 199, 20 October 2018, Pages 466-480, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.070>

Pedrosa F., Andrade C., Corrosion induced cracking: effect of different corrosion rates on crack width evolution, *Constr. Build. Mater.* 133 (2017) 525–533, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.030>

Peupartier, B., 2002. Assessment and design of a renovation project using life cycle analysis and Green Building Tool, *Sustainable Building 2002 Conference*, Oslo

Polster B., Contribution à l'étude de l'impact environnemental des bâtiments par analyse de cycle de vie, thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, décembre 1995

Roux C., Schalbart P. and Peupartier B., (2016 a). Accounting for temporal variation of electricity production and consumption in the LCA of an energy-efficient house, *Journal of Cleaner Production* 113 532-540

Roux C., Schalbart P., Assoumou E. and Peupartier B., (2016 b). Integrating climate change and energy mix scenarios in LCA of buildings and districts, *Applied Energy* 184, pp. 619-629

Tannous L., Application de l'analyse de cycle de vie à la comparaison de scénarios d'aménagement, Rapport de master 2, PSL research university, août 2022

Vorger E., Schalbart P., Peupartier B., 2014. Integration of a Comprehensive Stochastic Model of Occupancy in Building Simulation to Study how Inhabitants Influence Energy Performance, 30th International PLEA Conference, Ahmedabad