

Prise en compte de la santé dans les politiques territoriales de gestion de l'urbanisation : méthode d'aide à la décision multicritères

VIGNON Mathilde¹, Xavier Boucher¹, Lionel Perrier^{2,3}, Jonathan Villot⁴

¹ Mines Saint-Etienne, Centre Ingénierie et Santé CIS/I4S, Univ Clermont Auvergne, INP Clermont Auvergne, CNRS, UMR 6158 LIMOS, F - 42023 Saint-Etienne France, mathilde.vignon@etu.emse.fr, boucher@emse.fr

² Direction de la Recherche Clinique et de l'Innovation, Centre Léon Bérard, Lyon, France, lionel.perrier@lyon.unicancer.fr

³ Univ Lyon, Leon Bérard Cancer Centre, GATE UMR 5824, F69008 Lyon, France.

⁴ Mines Saint-Etienne, Univ Lyon, CNRS, Univ Jean Monnet, Univ Lumière Lyon 2, Univ Lyon 3 Jean Moulin, ENS Lyon, ENTPE, ENSA Lyon, UMR 5600 EVS, F - 42023 Saint-Etienne France
villot@emse.fr

Résumé. La prise en compte des impacts sur la santé de certaines politiques d'aménagement territorial peut contribuer à des politiques de prévention en santé. Malheureusement, jusqu'à présent, ces impacts sur la santé sont peu quantifiés et mal intégrés dans les processus décisionnels. Nous proposons une méthode pour pallier ce manque. En se focalisant sur les politiques de rénovation des bâtiments pour l'efficacité énergétique, cette méthode formalise un ensemble de critères de décision quantifiables pour évaluer des programmes de rénovations des bâtiments, propose un ensemble de stratégies de rénovation alternatives dont les impacts sur la santé sont distincts, et structure une démarche d'analyse comparative basée sur l'aide à la décision multi-critères (méthode Prométhée). L'article présente les enjeux, la méthode, des résultats expérimentaux préliminaires sur le territoire de Saint-Etienne Métropole, et des perspectives d'approfondissement.

Resumen. Tener en cuenta los impactos sobre la salud en las políticas de desarrollo territorial puede participar en las políticas de prevención por la salud pública. Pero, hasta ahora, estos impactos no son cuantificados con rigor y no son integrados dentro de los procesos de las decisiones públicas. Este artículo de investigación formaliza un método de toma de decisiones con este objetivo. El campo de aplicación cubre el área de los programas de renovación energética de edificios urbanos. El método evalúa económicamente los impactos sobre la salud y aplica un método de apoyo a la decisión multicriterio. El método se aplica a una zona urbana en Francia (Saint Etienne Métropole).

Mots clés: management stratégique de la santé, prise de décision en santé territoriale, évaluation socio-économique d'impacts sur la santé, aide à la décision multicritères

Introduction

Cet article vise à coupler les politiques de santé publique avec les politiques d'aménagement territorial, en se focalisant sur la rénovation énergétique des bâtiments. La rénovation des logements les moins performants sur le plan énergétique est une notion essentielle à la démarche de développement durable. Ces rénovations peuvent suivre une multitude de stratégies et scénarios différents selon les choix des décideurs locaux. De nombreux critères doivent être pris en compte afin de parvenir à la décision la plus cohérente d'un point de vue écologique, social et économique. Il est donc essentiel d'adopter une approche holistique de ces rénovations.

Le lien entre santé et rénovation énergétique dépend de l'état d'efficacité énergétique des bâtiments considérés. Le Diagnostic de Performance Énergétique (DPE) est un indicateur des performances énergétiques d'un logement. Dans Saint-Etienne Métropole, 17% des habitants vivent dans un logement considéré comme "Passoire thermique", c'est-à-dire un logement avec un DPE G ou F. Cela représente 34 573 logements en

2021. Or, les pathologies cardiovasculaires et respiratoires peuvent être induites par l'habitat dans un logement inadapté à la gestion du chaud et du froid. En France, les adultes exposés à la précarité énergétique déclarent plus fréquemment des maladies chroniques que le reste de la population, d'où l'importance d'intégrer des considérations sanitaires dans le processus de décision concernant les rénovations énergétiques: les rénovations de bâtiments peuvent induire une réduction substantielle des coûts publics concernant la santé. Dans cette optique, les méthodes d'aide à la décision multicritères apparaissent comme des moyens efficaces d'évaluer et de hiérarchiser les différents scénarios de rénovation, en considérant plusieurs dimensions d'évaluation.

Cet article présente les principaux enjeux et la méthode de mise en place d'un outil d'aide à la décision multicritères afin de classer différentes politiques d'aménagement territorial en prenant en considération la santé des habitants. Les premiers résultats expérimentaux pour Saint-Etienne Métropole permettront d'illustrer la méthode et de mettre en lumière les différentes perspectives d'évolution de ce travail.

1 Etat de l'art

Une revue de la littérature a permis d'explorer l'état de l'art concernant les liens entre la rénovation des logements et la santé des habitants, l'évaluation socio-économique des impacts sur la santé et enfin, l'utilisation d'outils d'aide à la décision multicritères pour les stratégies de rénovation.

1.1 Liens entre stratégies de rénovation et santé

La littérature contient de nombreux articles qui mettent en évidence le lien entre les logements et la santé des habitants. En particulier, l'article de *S. Pye et al.* [1] met en évidence le lien étroit entre les logements mal isolés et la surmortalité hivernale, mais aussi l'incidence accrue d'autres problèmes de santé connexes. Ainsi, l'article de *V. Ezratty et al.* [2] montre que le coût de la rénovation des logements thermiquement inefficaces en France peut être compensé par des économies sur les dépenses de santé. Les résultats de cette étude montrent qu'investir dans un programme de rénovation énergétique permettrait de réaliser des économies importantes pour le système de santé français.

Ces résultats sont en accord avec ceux de l'initiative "RENOVONS " [3], qui estime les coûts de santé attribuables à la précarité énergétique à plus de 758 millions d'euros par an. Selon cette étude économique, les coûts et bénéfices d'un plan de rénovation ambitieux visant à éliminer la précarité énergétique sont compensés sur une période de 26 ans, et deviennent rentables par la suite.

Ces études démontrent la pertinence et l'importance de la prise en compte de l'aspect sanitaire dans les décisions de rénovation des logements énergivores. En outre, seuls quelques scénarios de rénovation ont été étudiés en lien aux effets du froid, et les impacts sur la santé associés aux températures chaudes lors des périodes estivales n'ont pas été étudiés. Par ailleurs, il n'existe pas à notre connaissance de méthode établie pour l'évaluation objective et quantitative de gains économiques en santé liés aux rénovations.

La synthèse des articles examinés dans cette recherche documentaire révèle une perspective intéressante de recherche sur la question de l'évaluation du retour sur investissement des coûts de rénovation et de leur impact sur les dépenses de santé. Ainsi, la prise en compte des coûts de santé dans le choix des différents scénarios de rénovation semble essentielle pour enrichir et objectiver le choix entre des stratégies alternatives.

1.2 Evaluation socio-économique des impacts sur la santé

Ahrendt et al. ont estimé les coûts de santé associés aux températures basses dans les logements énergivores pour l'ensemble des pays européens (UE 28) [4]. Les auteurs se sont appuyés sur la méthode Housing Health and Safety Rating System (HHSRS) qui a permis, sur la base d'une revue de la littérature initiale, d'identifier 29 risques potentiels imputables partiellement ou totalement à l'état d'un logement, et les effets potentiels de ces risques sur la santé [5]. Les probabilités associées à ces risques ont été ensuite

calculées et publiées [6]. La méthodologie de valorisation des coûts a été développée sur la base des recherches conduites au Royaume-Uni sur le coût des logements insalubres [7]. Pour l'ensemble de l'UE 28, l'économie globale des effets sur la santé qui serait générée si les rénovations de logements étaient mises en œuvre s'élève à 193,8 milliards d'euros, dont 8,8 milliards d'euros pour les coûts médicaux (i.e., les coûts de traitements des maladies) et 185 milliards d'euros pour les coûts liés à la valorisation monétaire de la mortalité et aux pertes de production (ou de revenus potentiels) notamment [4], [6]. En France, un comité d'experts installé par France Stratégie et le Secrétariat général pour l'investissement (SGPI) a lancé un groupe de travail sur l'évaluation socio-économique des bénéfices et des coûts de santé des projets d'investissement publics et des politiques publiques. L'objectif de ce groupe était de produire des outils clés en main d'évaluation socio-économique d'effets de santé à partir de méthodes standardisées [8]. Ces outils ont été utilisés pour la présente évaluation sur le territoire de Saint-Etienne Métropole.

1.3 Aide à la décision multicritères pour les stratégies de rénovation

De par la multiplicité des critères, le choix des politiques de rénovations à prendre n'est pas toujours aisé. Les outils d'aide à la décision multicritères sont alors des outils très utiles pour aider les décideurs locaux à choisir les solutions optimales. Selon l'article de *McKenna* [9], qui examine huit alternatives pour le plan énergétique 2030 d'une petite municipalité allemande, la combinaison d'outils d'analyse des systèmes énergétiques et d'outils d'aide à la décision multicritères est le moyen le plus fiable de relier les préoccupations sociales aux modèles de planification des rénovations énergétiques.

Dans leurs différents travaux, *A.Barney et al.* [10], *Tsoutsos et al.* [11] et *M.Seddiki et al.* [12] se sont notamment servi de la méthode PROMETHEE II pour trouver un consensus sur les solutions possibles avec un classement global des politiques territoriales selon des critères techniques et économiques. Dans certains de ces travaux, des critères sociaux sont pris en compte, tels que le confort des habitants et la contribution au développement local, mais aucune déclaration n'est faite sur les coûts de santé associés aux rénovations.

Malgré l'impact important des aspects sociaux sur le choix des politiques de rénovations, (1) les articles portant sur l'utilisation d'outils d'aide à la décision pour évaluer les rénovations urbaines n'abordent pas explicitement la dimension sanitaire. Enfin, (2) cette revue de la littérature a également montré l'absence de caractère dynamique des différents scénarios considérés dans les articles mettant en œuvre la méthode PROMETHEE: il s'agit uniquement de scénarios statiques de rénovation, sans programmation temporelle des programmes de rénovation. Ces deux points faibles sont abordés dans la contribution ci-après.

2 Évaluation de scénarios de rénovation énergétiques

Afin de pouvoir établir un classement des meilleurs scénarios de rénovation, il est nécessaire de les définir clairement. Dans cette partie, les différents critères de prise de décision, ainsi que les différents scénarios mis en place seront explicités et détaillés.

2.1 Indicateurs pour l'analyse comparative de scénarios

Afin d'évaluer les bénéfices et les coûts associés à chaque scénario, 5 principaux indicateurs ont été choisis. Ce choix d'indicateurs permet d'évaluer 3 dimensions : l'efficacité énergétique, les économies générées sur la santé et les impacts économiques directs de la rénovation pour l'utilisateur.

- **C1** : Le gain en émissions de dioxyde de carbone (exprimé en Kg/an) quantifie la réduction des émissions de CO₂ suite à la rénovation. Cet indicateur somme la différence d'émissions de CO₂ avant et après rénovation en considérant la rénovation d'un ensemble de logements *i* du parc étudié. La valeur des émissions avant et après rénovation (en kg/an/m²) dépend de l'étiquette DPE du logement *i*.

$$C1 = \sum_{i \in Parc} SurfaceMoyenne * (EmissionCO2Avant_i - EmissionCO2Après_i)$$

- **C2** : Le gain en consommation d'énergie (exprimé en kWh/an) quantifie la réduction de la consommation d'énergie suite à la rénovation. Cet indicateur somme la différence de consommation d'énergie primaire avant et après rénovation si l'ensemble des logements i du parc étudié sont rénovés. La valeur de la consommation avant et après rénovation (en kWh/an/m²) dépend de l'étiquette DPE du logement i .

$$C2 = \sum_{i \in Parc} SurfaceMoyenne * (ConsoAvant_i - ConsoAprès_i)$$

- **C3** : Le gain de santé (exprimé en €/an) permet de quantifier les bénéfices financiers liés à la santé des habitants. L'évaluation de ce gain requiert de réaliser une analyse socio-économique qui évalue l'ensemble des coûts tangibles (frais médicaux) et intangibles (perte de bien-être) liés aux maladies cardiovasculaires et respiratoires liées à la précarité énergétique, et dont l'origine peut provenir d'excès de froid ou bien de chaud. Cette évaluation permet d'évaluer le coût afférant à un cas incident (noté ci-dessous par la variable 'CoûtParCas'). La formule de Levin permet de calculer la Fraction Attribuable à la Population (FAP) avant et après travaux, qui représente la proportion de cas de la maladie qui peuvent être attribués à un facteur de risque spécifique (caractérisé par le Risque Relatif RR). Les éléments rénovés et la prise en compte du confort estival permettent de calculer le pourcentage de baisse de la Population Exposée (PE).

$$Formule\ de\ Levin : PAF(t) = \frac{Pe(t) * (RR-1)}{Pe(t) * (RR-1) + 1} \text{ avec } Pe(t) = \frac{PE(t)}{N} = \frac{PE(t-1) * (1 - \%deBaisse)}{N}$$

Le gain sera la différence des coûts pour la population exposée avant et après travaux.

$$GainSanté = (FAP(t-1) - FAP(t)) * PE(t-1) * CoûtParCas$$

Le gain total en santé sera la somme des gains pour les températures froides et chaudes

$$C3 = GainSanté(froid) + GainSanté(chaud)$$

- **C4** : Le gain est fonctionnement (exprimé en €/an) représente les économies annuelles liées au fonctionnement général du système, en dehors de la maintenance (les différentiels de coût de maintenance sont négligés ici). Cet indicateur somme la différence des coûts de fonctionnement avant et après rénovation si l'ensemble des logements i du parc étudié sont rénovés. La valeur du coût de fonctionnement avant et après rénovation (en €/an/m²) dépend de l'étiquette DPE du logement i .

$$C4 = \sum_{i \in Parc} SurfaceMoyenne * (CoûtFonctionnementAvant_i - CoûtFonctionnementAprès_i)$$

- **C5** : Les coûts d'investissement (exprimés en €) représentent l'investissement initial nécessaire à la réalisation des travaux. L'investissement total pour le parc est la somme des investissements par logements i , c'est-à-dire la somme des coûts d'investissement médians des éléments rénovés. Le coût de rénovation de chaque élément est basé sur une étude de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) et dépend du type de rénovation effectué et des éléments rénovés.

$$C5 = \sum_{i \in Parc} CoûtMedianRénovation_i$$

Afin de calculer la valeur des différents indicateurs à l'échelle d'un territoire géographique, un calculateur sur *Excel* a été développé. Celui-ci traite et agrège les données territoriales extraites à partir de bases de données publiques nationales (nombre et type de logements par commune, répartition des DPE, surfaces moyennes...) afin de calculer la valeur des indicateurs.

Ce calculateur a été appliqué pour étudier 40 des 53 communes de Saint-Etienne Métropole.

2.2 Scénarios basiques de rénovation énergétique avec impacts sur la santé

Depuis Juillet 2021, le DPE prend en compte cinq éléments principaux pour évaluer la performance énergétique d'un bâtiment : l'isolation du logement, le système de chauffage, les menuiseries, le système de ventilation et le système d'eau chaude sanitaire. Un scénario de rénovation est une combinaison spécifique de ces éléments. Le choix des éléments rénovés permet de déterminer l'étiquette DPE atteinte, le coût d'investissement initial nécessaire et les pourcentages de baisse de la population exposée aux températures froides et chaudes.

On distingue généralement deux grands types de rénovation : les rénovations partielles et les rénovations globales. L'objectif des rénovations globales est d'atteindre au moins l'étiquette DPE C. Ces rénovations impliquent un travail complet et approfondi sur les cinq éléments du logement. Une rénovation partielle, en revanche, ne porte que sur quelques éléments du logement, généralement un ou deux, et le DPE est augmenté d'une unité.

Pour optimiser le confort estival, il est primordial de se focaliser sur deux aspects principaux : limiter les apports solaires par les fenêtres et l'utilisation d'isolants denses. Ainsi, les scénarios de rénovation qui prennent en compte le confort estival privilégient l'utilisation d'une isolation thermique par l'extérieur (au lieu de l'intérieur dans le cas des scénarios classiques) et l'utilisation de menuiseries avec un fort facteur solaire afin de limiter la transmission de chaleur par les vitrages du logement. Ces deux dispositifs sont plus chers mais permettent de mieux prévenir l'exposition des habitants aux températures chaudes, ce qui impacte donc les gains en santé.

Pour ce projet, 4 scénarios basiques seront étudiés :

Éléments rénovés	Etiquette DPE atteinte	Investissements par logement	Pourcentages de baisse de la population exposée
Scénario 1 : Rénovation globale sans prise en compte de l'inconfort estival			
5 éléments : Isolation par l'intérieur, chauffage, menuiseries classiques, ventilation et système d'eau chaude sanitaire	Etiquette C	18 527€	Températures froides : -100% Températures chaudes: -40%
Scénario 2 : Rénovation globale avec prise en compte de l'inconfort estival			
5 éléments : Isolation par l'extérieur, chauffage, menuiseries avec fort facteur solaire, ventilation et système d'eau chaude sanitaire	Etiquette C	62 990€	Températures froides : -100% Températures chaudes: -100%
Scénario 3 : Rénovation partielle sans prise en compte de l'inconfort estival			
2 éléments : Chauffage et menuiseries classiques	Etiquette +1	6 960€	Températures froides : -55% Températures chaudes: -0%
Scénario 4 : Rénovation partielle avec prise en compte de l'inconfort estival			
2 éléments : Chauffage et menuiseries classiques avec fort facteur solaire	Etiquette +1	9 555€	Températures froides : -55% Températures chaudes: -30%

Figure 1: Tableau de présentation des 4 scénarios

3 Analyse comparative multicritères

3.1 Principes de l'approche d'aide à la décision

Les méthodologies d'aide à la décision visent à fournir des outils, des méthodes et des techniques pour aider les organisations à prendre des décisions éclairées dans des situations complexes. Pour ce projet, la méthode d'aide à la décision se compose de 3 étapes principales : dans un premier temps, les scénarios sont choisis et définis selon le type de rénovation mis en place, les éléments rénovés, l'étiquette DPE atteinte et le choix de la prise en compte du confort estival. Dans un second temps, les valeurs des 5 indicateurs sont calculées pour chacun des scénarios et ces valeurs sont ensuite implémentées dans le simulateur fonctionnant sur *Excel*. Finalement, la méthode PROMETHEE II va permettre d'obtenir le classement final des scénarios.

La méthode PROMETHEE II permet d'obtenir un classement complet à partir d'un ensemble fini de scénarios. Cette méthode fonctionne sur 7 étapes distinctes [13]. De manière plus synthétique, il est possible de voir cette méthode comme une fonction.

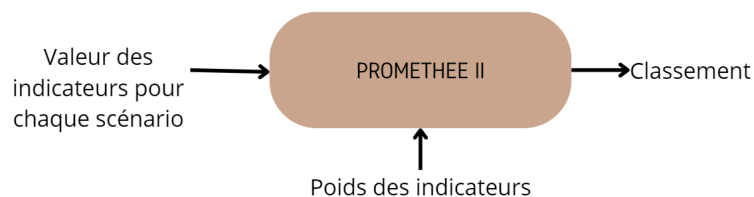


Figure 2 : Principe de fonctionnement de la méthode PROMETHEE II

La méthode PROMETHEE II va prendre en entrée la valeur des indicateurs pour chaque scénario, ainsi que le poids associé à chacun des indicateurs. Ce poids représente l'impact que chaque critère aura sur le classement final. Répartir le poids de manière égale entre les critères signifie que chaque critère a la même importance. Mais il est possible de répartir les poids des critères différemment afin d'obtenir le classement en favorisant certains aspects, avec la possibilité de représenter des différentes stratégies alternatives de prise de décision suivies par des décideurs variés.

Les différents indicateurs seront implémentés dans une matrice de décision. Celle-ci sera normalisée selon le caractère bénéfique ou nonbénéfique de l'indicateur. Les valeurs de chaque critère seront comparées deux à deux avec les autres alternatives. Ces valeurs comparatives servent de base au calcul des indices de préférence multicritères. L'indice de préférence des alternatives permet de calculer les flux de préférence positifs et les flux de préférence négatifs. Le classement final de la méthode PROMETHEE II se base sur la différence entre les flux de préférence positif et négatif, appelé le flux net.

3.2 Résultats expérimentaux préliminaires

La méthode établie précédemment a été testée sur la zone géographique de Saint-Etienne Métropole. Quarante des 53 communes de la métropole ont été prises en compte afin d'établir le classement parmi les quatre scénarios basiques. L'objectif est d'obtenir un classement des meilleurs scénarios de rénovation, portant sur les 34 973 habitations avec une étiquette DPE G ou F.

Il est possible d'interpréter dans un premier temps les différentes valeurs en elles-mêmes. Ainsi, il apparaît que les critères C1 et C2, reflétant l'efficacité énergétique, varient en proportion similaire et sont simplement influencés par le degré de rénovation du scénario. En comparant les 3 critères économiques (C3, C4 et C5), il apparaît que les gains en santé (C3) sont relativement importants aux vues des deux autres critères économiques d'où l'importance d'intégrer cette notion dans la prise de décisions. Cependant, le gain en santé n'est pas forcément considéré par l'investisseur, qui regardera en priorité les critères financiers C4 et C5. Le coût d'investissement est très élevé par rapport au gain de fonctionnement avec un retour sur investissement pouvant atteindre 2,21% selon les scénarios. L'investissement ne sera rentable qu'au bout de

45 ans, ce qui peut freiner considérablement les investisseurs. Ce résultat souligne l'importance des différentes politiques publiques d'aide à l'investissement.

Scénario	C1 : Gain en émission CO ₂ (kg/an)	C2 : Gain en énergie (kWh/an)	C3 : Gain en santé (€/an)	C4 : Gain fonctionnement (€/an)	C5 : investissement (€)
SC1 : Globale	137 795 112	901 844 023	2 330 045 889	48 088 802	640 523 599
SC2 : Globale avec lutte contre l'inconfort estival	137 795 112	901 844 023	3 142 903 253	48 088 802	2 177 757 419
SC3 : Partielle	50 310 026	358 032 135	979 592 342	15 472 041	240 628 080
SC4 : Partielle avec lutte contre l'inconfort estival	50 310 026	358 032 135	1 378 867 105	15 472 041	330 345 015

Figure 3 : Valeurs des indicateurs pour chacun des 4 scénarios, issues du calculateur des indicateurs.

Le poids choisi pour ce classement est de 0,2 pour chaque critère (poids identique pour chaque indicateur). Le résultat du classement est présenté dans le tableau de la Figure 4. Ce classement expérimental semble cohérent et en adéquation avec la définition des scénarios précédemment établis. En effet, les deux scénarios de rénovation globale génèrent les mêmes bénéfices en matière d'émissions de dioxyde de carbone, de consommation d'énergie et de coûts de fonctionnement. Les coûts en santé du scénario 2 (avec lutte contre l'inconfort estival) sont supérieurs mais les coûts d'investissement presque 3 fois plus élevés ne sont pas compensés. En outre, bien que les rénovations partielles impliquent des rénovations bien moins coûteuses que les rénovations globales, elles entraînent des gains limités, ce qui les place plus bas dans le classement. Pour les rénovations partielles cependant, il est préférable de prendre en compte l'inconfort estival car les gains en santé compensent la différence d'investissement.

Classement	
1 (meilleur choix)	Scénario 1 : Rénovation globale sans prise en compte de l'inconfort estival
2	Scénario 2 : Rénovation globale avec prise en compte de l'inconfort estival
3	Scénario 4 : Rénovation partielle avec prise en compte de l'inconfort estival
4 (pire choix)	Scénario 3 : Rénovation partielle sans prise en compte de l'inconfort estival

Figure 4 : Classement des scénarios d'après la méthode PROMETHEE II, avec un poids de 0,2

Conclusion et perspectives

Ce papier propose une méthodologie d'aide à la décision multicritères pour les projets d'aménagement territorial. L'enjeu de la méthodologie proposée est de permettre la prise en compte de la santé en tant que critère dans les décisions de rénovation thermique des habitations. La recherche bibliographique effectuée a montré que l'aspect sanitaire est très souvent négligé lors de la décision sur les scénarios de rénovation, alors que cet aspect est très important et peut réellement influencer le choix du scénario.

Dans cette optique, la méthode proposée inclut une analyse socio-économique qui permet de quantifier les gains de santé, en prenant en compte les coûts tangibles et les coûts intangibles de mortalité et de

morbidité. L'intégration objective et rigoureuse de ces coûts conjointement avec l'utilisation d'une approche d'aide à la décision multi-critères prenant en compte cet aspect essentiel peut s'avérer très utile dans les processus décisionnels. Elle offre aux décideurs territoriaux un cadre structuré pour comparer et évaluer les projets d'aménagement en prenant en compte les aspects économiques, sociaux et environnementaux des projets.

Finalement, ce projet peut être complété par de nombreuses perspectives complémentaires. Tout d'abord, il est possible de rajouter d'autres scénarios aux 4 scénarios basiques. Ainsi, il pourrait être intéressant de classer des scénarios intermédiaires, avec par exemple une prise en compte du confort estival seulement au niveau des menuiseries, ce qui limiterait les coûts d'investissement tout en améliorant le gain de santé. Des scénarios de rénovations par étapes peuvent également être intégrés au classement. Le classement peut également être modulé par différentes pondérations des indicateurs afin d'avoir différentes rationalités et ainsi, mieux s'adapter aux décideurs en privilégiant certains critères uniquement.

Ensuite, ce projet peut être complété par la mise en place d'une approche dynamique. En effet, le classement des scénarios statiques donne une idée du classement des meilleures solutions. Cependant, une simulation dynamique permettrait d'obtenir des résultats plus réalistes. Les simulations dynamiques permettent d'obtenir un classement entre les scénarios selon une approche plus complexe ; il est alors possible d'étaler toutes les rénovations sur une période de temps, et de voir l'impact des choix stratégiques effectués par les décideurs locaux. Il sera alors possible de visualiser l'évolution du classement dans le temps selon la dynamique choisie. Finalement, il est possible de développer les expériences afin de collaborer avec des décideurs territoriaux.

Bibliographie

- [1] Steve Pye, Audrey Dobbins, Claire Baffert, Jurica Brajković, Paul Deane, Rocco De Miglio, Addressing Energy Poverty and Vulnerable Consumers in the Energy Sector Across the EU, *Dans L'Europe en Formation*, n° 378, pages 64-89, 0014-2808, 2015, DOI10.3917/eufor.378.0064
- [2] Véronique Ezratty, David Ormandy, Marie-Hélène Laurent, Fabienne Boutière, Anne Duburcq, Laurène Courouve, Pierre-André Cabanes, Évaluation des coûts et des bénéfices pour la santé de la rénovation énergétique en France, *Environnement, Risques & Santé*, (Vol. 17), pages 401-410, 2018. doi : 10.1684/ers.2018.1200
- [3] Dubreuil D, et al., COÛTS ET BÉNÉFICES D'UN PLAN DE RÉNOVATION DES PASSOIRES ÉNERGÉTIQUES À HORIZON 2025, *Initiatives "RÉNOVONS"*, 2017.
- [4] European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions., *Inadequate housing in Europe: costs and consequences*. LU: Publications Office, 2016. Consulté le: 13 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://data.europa.eu/doi/10.2806/049107>
- [5] ODPM (Office of the Deputy Prime Minister, « Housing Health and Safety Rating System: Operating guidance », [En ligne]. Disponible sur: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/15810/142631.pdf
- [6] S.Nicol, M.Roys, D.Ormandy, et V.Ezratty, « The cost of poor housing in the European Union », [En ligne]. Disponible sur: https://files.bregroup.com/bre-co-uk-file-library-copy/filelibrary/Briefing%20papers/92993_BRE_Poor-Housing_in_Europe.pdf
- [7] M.Roys, S.Nicol, H.Garrett, et S.Margoles, « The full cost of poor housing », *IHS BRE Press, Bracknell, UK*, [En ligne]. Disponible sur: <https://www.brebookshop.com/samples/327671.pdf>
- [8] B.Meurisse et A.Robinet, « L'évaluation socioéconomique des effets de santé des projets d'investissement public ». Consulté le: 13 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.strategie.gouv.fr/publications/levaluation-socioeconomique-effets-de-sante-projets-dinvestissement-public-0>
- [9] R.McKenna, V. Bertsch, K. Mainzer, W. Fichtner, Combining local preferences with multi-criteria decision analysis and linear optimization to develop feasible energy concepts in small communities, *European Journal of Operational Research*, Volume 268, Issue 3, Pages 1092-1110, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.01.036>
- [10] Andrew Barney, Uni Reinert Petersen, Heracles Polatidis, Energy scenarios for the Faroe Islands: A MCDA methodology including local social perspectives, *Sustainable Futures*, 2666-1888, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2022.100092>
- [11] Theocharis Tsoutsos, Maria Drandaki, Niki Frantzeskaki, Eleftherios Iosifidis, Ioannis Kiosses, Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete, *Energy Policy Volume 37, Issue 5, Pages 1587-1600*, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.011>
- [12] Mohammed Seddiki, Karima Anouche, Amar Bennadji, Prince Boateng, A multi-criteria group decision-making method for the thermal renovation of masonry buildings: The case of Algeria. *Energy and building*, Pages 471-483, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.023>
- [13] DS. A. Khan, M. Nadeem, A. Agrawal, R. A. Khan, and R. Kumar, Quantitative analysis of software security through fuzzy promethee-ii methodology : A design perspective. *I.J. Modern Education and Computer Science*, 2021.