

La synergie entre la rénovation énergétique et l'intégration des technologies de la domotique dans un bâtiment existant : revue de littérature

The synergy between energy renovation and the integration of home automation technologies in an existing building: literature review

KHELFA Imed eddine^{*1}, LAZRI Youcef², TOUMI Riad³

¹ Université 8 Mai 1945-Guelma (Algérie), E-mail : khelfa.imededdine@univ-guelma.dz

² Université 8 Mai 1945-Guelma (Algérie), E-mail : lazri.youcef@univ-guelma.dz

³ Université 20 août 1955-Skikda (Algérie), E-mail : ri.toumi@univ-skikda.dz

Date de réception. : 15 /01/2022

Date d'acceptation : 29/11/2022

Résumé : A l'échelle internationale, depuis plus d'un demi-siècle, le mode de vie est principalement basé sur la rente pétrolière (liée aux gisements fossiles...), mais ce choix politico-économique associé à une surcroissance démographique et une évolution urbaine ont engendré une demande accrue en termes d'énergie. Cependant, ces énergies fossiles ont largement démontré leurs effets et impacts néfastes, nuisibles et polluants sur l'atmosphère, l'environnement, la pérennité de la biodiversité, et la santé de la planète.

Ainsi, et suite au contexte de la perturbation dans les prix du pétrole, les producteurs pétroliers se retrouvent alors face à de multiples défis et menaces liés à leur stabilité économique, d'où la réduction de la demande énergétique, de l'empreinte écologique et de la dépendance aux énergies fossiles sont d'emblée devenues une nécessité impérieuse et absolue.

Ce papier est une revue de littérature qui analyse et synthétise trente articles, divisés entre des études expérimentales réels et des simulations sur les rénovations physiques et énergétique, et l'intégration des technologies de la domotique, dans le but d'extraire leur impact énergétique et environnemental, et les facteurs liés aux différentes mesures d'amélioration à travers les résultats obtenus de chaque cas étudié, et puis déduire leur effet synergique sur un cadre bâti existant.

Mots clés : Rénovation énergétique des bâtiments; technologies de la domotique; efficacité énergétique ; énergies renouvelables ; amélioration environnementale.

Abstract: Worldwide, for more than half a century, the way of life has been mainly based on oil income (linked to fossil deposits, etc.), but this politico-economic choice associated with demographic growth and an evolution of urban area have created an increased demand for energy.

However, these fossil fuels have largely demonstrated their harmful, and polluting effects and impacts on the atmosphere, the environment, the sustainability of biodiversity and the health of the planet. Thus, and following the context of the disruption in oil prices, oil producers find themselves faced with multiple challenges and threats related to their economic stability, hence the reduction in energy demand, the ecological footprint and of dependence on fossil fuels have immediately become an imperious and absolute necessity.

This paper is a literature review that analyzes and synthesizes thirty articles, divided between real experimental studies and simulations on physical and energy renovations, and the integration of home automation technologies, with the aim of extracting their energy and environmental impact, and the factors related to the various improvement measures through the results obtained from each case studied, and then deduce their synergistic effect on an existing built environment.

Keywords: Buildings energy renovation; home automation technologies; energetic efficiency; renewable energies; environmental improvement.

* Auteur correspondant

Introduction:

Suite aux crises pétrolières des années 1973 et 1979 ; et aux problèmes environnementaux mondiaux observés tels que le dérèglement climatique, l'augmentation remarquable de la température moyenne et l'épuisement de certaines ressources naturelles (Nahal, 2019); liées spécialement à l'émission des gaz à effet de serre dus à l'urbanisation massive et à l'industrialisation surtout dans le domaine énergétique au niveau de l'exploitation, la consommation et la production des énergies fossiles (Pétrole, gaz naturel et la combustion du charbon) (Thiébaud & Moatti, 2016). Et ainsi, à la prise de conscience unanime que l'ère des énergies fossiles touche à sa fin, le marché pétrolier mondial a connu ces dernières années des perturbations énormes ce qui a mis des pays rentiers face à des grandes difficultés financières (Bekhtache, 2012), une série d'actions et d'accords internationaux alors étaient planifiées et avaient lieu pendant des décennies comme le protocole de Kyoto, les COP's et les sommets de la terre, spécialement celui de Rio de Janeiro, où s'est apparu l'agenda 21, dans le but d'achever les objectifs du développement durable et les appliquer localement.(Unies, 2002)

La construction rapide et en grande quantité sans prendre en considération des solutions passives dans le but de couvrir une croissance démographique excessive et une demande croissante en logements et équipements urbains, que le monde a connu depuis un siècle ; a créé une rupture entre le bâtiment et son environnement qui s'est apparu dans la production d'un espace intérieur dépourvu des conditions minimales de confort, ce qui a poussé l'essai de résoudre cette situation, par le recours à la climatisation, le chauffage et l'éclairage artificiels, mais cela a exigé une exploitation abusive et irrationnelle des ressources énergétiques (Latreche & Sriti, 2018).

Dans l'exemple de la cité des frères Saker à Skikda (la figure 1), l'auteur trouve qu'il y a une négligence de l'orientation optimale, et les différents facteurs passives lors de la conception ou la réalisation. Cette cité s'appartient au programme des ZHUNs (Zones d'habitat urbain nouvelles) qui concentre seulement sur la quantité des logements et tendent à devenir un symbole de nuisance et de dégradation où leurs occupants vivent des contraintes quotidiennes et des malaises permanents. (Naceur & Farhi, 2003).

Fig. 1 : Cité des frères Saker à Skikda

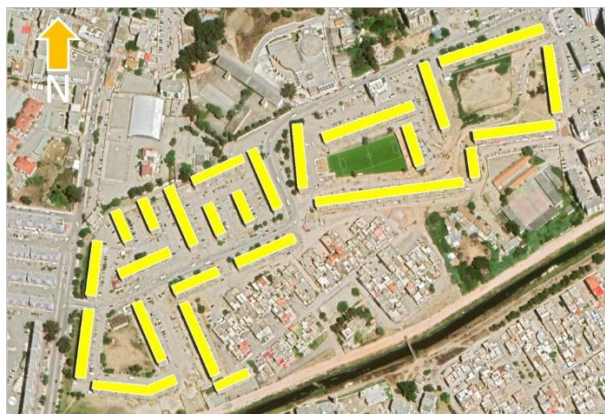


Fig. 2 : Bâtiment du patrimoine public, Bruxelles, Belgique



Source : (Akande et al., 2014)

Les bâtiments historiques, également dans leur vulnérabilité et leur état dégradé, sont très énergivores et des grands émetteurs des gaz à effet de serre. L'exemple des bâtiments publics à caractère patrimonial à Bruxelles, Belgique ; comme cas d'étude (figure 2.) montre d'après (Akande et al., 2014) que les bâtiments historiques, avec les besoins de leur chauffage et leur climatisation aux normes du confort actuelles, sont considérés comme une véritable source de consommation d'énergie, alors que, dans le même temps, leur conservation est confrontée à de nombreux défis pour relever le défi mondial de faire face au changement climatique et maximiser l'efficacité énergétique sans sacrifier leur caractère particulier.

Tout ce qui précède nous met dans l'obligation de diversifier l'économie nationale et de développer des énergies alternatives aux énergies fossiles actuelles (Nuñez, 2019), en essayant d'arrêter la dépendance complète à ces dernières, à travers la transition énergétique, et commencer de résoudre ses problèmes planétaires et nationaux, par des interventions dans une échelle architecturale, par opter vers la rénovation énergétique de ces bâtiments polluants et énergivores comme une des solutions majeures. Cette rénovation peut s'élargir par les transformer en bâtiments innovants, bien isolés, équipés avec des systèmes de la domotique, et connectés aux réseaux intelligents, et qui peuvent contribuer de manière significative aux objectifs (Marcheteau, 2017), et répondre de façon optimale à des exigences du confort, de bien-être, d'économies et de performances énergétiques incontestables, et bien sûr rehausser la qualité environnementale, malgré les différents freins et contraintes économiques et techniques qui peuvent arrêter ou entraver cet enjeu futuriste.

1. Objectifs de la recherche :

Il serait pertinent de déterminer l'utilité de chaque type et des mesures d'amélioration (réduction de la demande de chauffage et de refroidissement, installation des équipements à haut rendement énergétique et technologies à faible consommation d'énergie, intégration des technologies des énergies renouvelables, modernisation des systèmes électriques, et mise en place des technologies de la domotique), puis déduire l'effet synergique entre la rénovation physique et énergétique des bâtiments et la technologie de l'intelligence artificielle d'après l'extraction des différents facteurs qui influent l'efficacité énergétique et l'environnement.

2. La méthodologie de recherche

Ce présent papier est développé à partir d'une analyse quantitative, dont trois séries de recherches documentaires ont été menées pour identifier les articles ciblés : examen des titres, examen des résumés et examen du texte intégral.

Pour compiler et sélectionner les articles pertinents, ces recherches documentaires se sont appuyés sur les principales bases de données bibliographiques, tel que IEEEEXPLORE, ProQuest, MDPI, et Scopus, Springer...

Au total, 378 articles des dernières quinze années, non répétitifs ont été initialement identifiés, parmi lesquels 30 articles ont été choisis, et qui sont des expériences précédentes sur des cas d'études à l'échelle internationale, soit des interventions réelles ou des simulations, dans lequel 20 articles sont sur la rénovation énergétique et physique des bâtiments qui consiste à réaliser des travaux sur un bâtiment déjà existant à travers des techniques passives ou actives, et 10 articles sur l'intégration des technologies de la domotique, en montrant les différentes mesures d'améliorations appliquées sur les cas d'étude, et les résultats majeurs obtenus, et déduire l'effet synergique de la rénovation énergétique des bâtiments et la technologie de l'intelligence artificielle.

3. Résultats et discussion :

Il faut tout d'abord rappeler des objectifs visés par l'application des mesures d'amélioration sur un cadre bâti existant :

3.1. Objectifs environnementaux et sanitaires

Nombreux scientifiques pensent désormais qu'une consommation excessive d'énergie d'une source fossile contribue de manière significative au réchauffement climatique, donc une réduction de l'empreinte écologique et de l'impact sur le changement climatique est obligatoire.(Bardou, 2009)

La production et l'exploitation d'énergie d'origine fossile introduit des polluants qui se trouvent dans l'air, le sol et l'eau. Et lorsque la production d'énergie des centrales électriques, des installations de chauffage urbain et de la production locale de chauffage est diminué, la pollution associée sera diminuée également.

La création d'un meilleur microclimat, et d'un confort intérieur optimal est considéré aussi comme un objectif primordial, ce qui peut améliorer le bien-être des utilisateurs des bâtiments, sachant que l'inefficacité énergétique des logements augmente le risque d'exposition à des températures

intérieures trop basses qui peuvent avoir des effets asphyxiants pour la santé de leurs occupants, en particulier pour leur santé cardio-respiratoire et mentale (Ezratty et al., 2018). Les maladies respiratoires ont été montrées principalement sensibles aux effets de la température, vu que les chambres froides sont plus susceptibles d'être humides, ce qui peut entraîner la croissance de moisissures et provoquer des symptômes respiratoires.

Des rénovations telles qu'une isolation renforcée, un chauffage plus efficace, un meilleur éclairage intérieur - en favorisant l'éclairage naturel- et une meilleure ventilation, affectent à la fois la santé et la productivité des occupants et diminuent les chances de subir des différents symptômes.

3.2. Objectifs énergétiques et économiques

La réduction de la demande énergétique est considérée comme un élément clé de la sécurité énergétique, ce qui implique une stratégie pour une énergie compétitive et durable, et donner la priorité absolue à la réalisation du plus grand potentiel d'économies d'énergie.

Les mesures de réduction de la demande énergétique permettent d'économiser une quantité importante d'énergie en période de forte demande, en évitant la charge, et donc les pertes dans les réseaux de transport et de distribution.

Autant, les économies d'énergie grâce à une consommation réduite d'énergie sont un avantage direct de l'efficacité énergétique accrue, elles signifient des factures d'énergie futures plus faibles.

Et quoiqu'il y ait des coûts initiaux dans la phase d'application des mesures d'amélioration, toutefois elle peut par la suite créer une situation financière plus solide pour le propriétaire du bâtiment, et même augmenter la valeur de revente de l'immeuble.

Les efforts fournis pour la réduction de la consommation énergétique des bâtiments exige de mettre en place des programmes pour dynamiser la rénovation énergétique et les technologies de la domotique, ce qui contribue à stimuler la recherche et le développement, et à améliorer la compétitivité industrielle (Hamiti & Bouzadi-daoud, 2021).

A. Tableau (1) :

Le tableau (1) montre les résultats majeurs obtenus après l'application des stratégies passives et actives dans le contexte de la rénovation physique et énergétique de 20 cas d'études ou le type des bâtiments, le contexte géographique et climatique sont variés et différents.

Tableau (1) : les mesures d'amélioration et les résultats majeurs de chaque cas de rénovation physique et énergétique étudié.

Références	Type de bâtiment	Mesures d'amélioration	Résultats majeurs
(Stovall et al., 2007.)	Maisons typiques à plusieurs endroits, Les états unis.	Rénovations des murs, y compris le remplacement du revêtement, l'ajout d'isolant sous le revêtement et les méthodes d'étanchéité à l'air pour les fenêtres.	Des économies supplémentaires en matière de la consommation de l'énergie et des couts sont possibles grâce à l'adoption de contre-fenêtres à faible émissivité ou du remplacement de fenêtres à double vitrage à cadre en vinyle.
(Kneifel, 2010)	Bâtiments commerciaux, Les états unis.	Système HVAC, différents types d'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment, fenêtres à faible émissivité, conception LEC (low Energy Case).	Les mesures proposées permettent de réduire la consommation d'énergie de 20 à 30 % ; les émissions de carbone diminueront de 32 % en 10 ans.
(Fluhrer et al., 2010.)	L'Empire State Building - Gratte-ciel à New York, Les états unis.	Installation des fenêtres performantes ; barrières réfléchissantes isolées ; installation des ballasts à gradation et des photodétecteurs pour les espaces périmétriques ; Modernisation de l'installation de refroidissement ; Utilisation d'une nouvelle unité d'aménagement de traitement d'air ; Ventilation à la demande ; Équilibre des commandes numériques directes ; Gestion énergétique des locataires.	Les différentes améliorations mentionnées peuvent aider à atteindre une réduction de 38 % de la consommation d'énergie, et d'économiser 105000 tonnes métriques de CO2 au cours des quinze prochaines années.

(Nabinger & Persily, 2011)	Une maison préfabriquée inoccupée construite en 2002 ; Les états unis.	Installer une enveloppe de maison sur les murs extérieurs, sceller les sites des fuites dans le sol de l'espace de vie et les fuites dans le système de distribution d'air, et resserrer la couche ventrale isolée.	Les rénovations ont réduit les fuites dans l'enveloppe du bâtiment de 18 % et les fuites dans les conduits de 80 %, ce qui a entraîné des économies d'énergie de 10%.
(Ascione et al., 2011)	Un bâtiment historique accueillant des offices présidentiels et quelques salles de classe, Italie.	Modification de la consigne de température intérieure ; Réduction des infiltrations ; Augmentation de l'isolation thermique de la paroi verticale ; Substitution de l'ancienne chaudière par un chauffage au gaz à condensation.	Les mesures d'améliorations appliquées pourraient réaliser 22% d'économies d'énergie primaire.
(Chidiac et al., 2011)	Bâtiment office canadien en Edmonton, Ottawa et Vancouver, à Canada.	Récupération de chaleur ; bon profit de l'éclairage naturel ; économiseur d'efficacité de la chaudière ; amélioration du préchauffage ; réduction de la charge d'éclairage.	L'utilisation de cinq options d'amélioration pourrait permettre de réduire de 20 % de la consommation d'électricité à Edmonton, Ottawa et Vancouver, et de 30 %, 32 % et 19 % la consommation de gaz naturel pour chacune des villes respectives.
(Bin & Parker, 2012)	Une maison individuelle en brique de deux étages construits en 1910, Waterloo, Belgique.	Une isolation de haut niveau de toit, des murs, des fondations et de plancher du sous-sol ; Étanchéité à l'air et remplacement des fenêtres et des portes ; L'adoption d'énergies renouvelables et d'appareils économes en énergie.	L'amélioration des performances énergétiques par la rénovation est une action respectueuse de l'environnement pour les maisons dont la durée de vie est de plusieurs décennies. Ce résultat reste valable pour les maisons plus récentes comme pour les maisons centenaires qui peuvent facilement réaliser des réductions de consommation d'énergie par la rénovation.
(Rysanek & Choudhary, 2013)	Immeuble de bureaux de 5 étages, à Cambridge, Royaume-Uni.	Isolation thermique de la toiture et de la façade ; amélioration des vitrages extérieurs ; chaudières à condensation ; amélioration de contrôle de l'éclairage ; vannes de radiateur thermostatiques électroniques.	Les mesures axées sur la demande sont les plus rentables et offrent un potentiel d'atténuation des gaz à effet de serre (GES) d'environ 10 à 40 % ; les mesures axées sur la demande avec une chaudière à condensation et un mini-système de cogénération sont les solutions les plus rentables pour maximiser la réduction des émissions de GES.
(Ferrara et al., 2014)	Maison unifamiliale à haut rendement de deux étages, France.	Différentes épaisseurs d'isolation de l'enveloppe du bâtiment ; fenêtres à faible émissivité ; unité de ventilation mécanique avec récupération de chaleur, pompe à chaleur air-air à cycle réversible ; ventilateurs de refroidissement ; chaudière à gaz à condensation ; chaudière à granulés de bois ; radiateurs électriques.	Les résultats montrent que les enveloppes en bois léger sont le meilleur choix pour obtenir une bonne efficacité énergétique à un coût limité ; les chaudières à granulés sont la meilleure solution en termes de coût ; un système tout-en-un performant pour une meilleure performance à un coût plus élevé ; les options de conception optimales en termes de coûts sont liées à des systèmes d'enveloppe peu performants.
(Corrado et al., 2014)	Immeuble d'appartements, Italie.	Isolation des murs ; isolation des planchers supérieurs et inférieurs ; fenêtres à faible émittance ; dispositifs de protection solaire ; système solaire thermique ; système PV	L'équilibre entre des coûts rentables et une efficacité énergétique implique une réduction, et une consommation d'énergie primaire pour le refroidissement, le chauffage et la production d'eau chaude égale à 115 kWh/m2.
(Akande et al., 2014)	Bâtiments publics à caractère patrimonial, Bruxelles, Belgique.	Bâtiment amélioré passivement (isolation, double vitrage) ; Panneaux photovoltaïques, biomasse et pompe à chaleur géothermique ont été installés ainsi qu'une ventilation avec récupération de chaleur	Les résultats montrent qu'il y a 50 % d'économies d'énergie par rapport à la référence et 100 % de chauffage et de refroidissement produits par des sources d'énergie renouvelables.

La synergie entre la rénovation énergétique et l'intégration des technologies de la domotique dans un bâtiment existant : revue de littérature

(De Angelis et al., 2014)	Un immeuble de logements sociaux situé à Brescia, (nord de l'Italie).	Techniques d'isolation des murs ; isolation des toits et des sols ; remplacement des fenêtres ou des vitres ; générateur de chaleur à condensation ; vanne thermostatique ; pompes à chaleur ; panneaux photovoltaïques.	Une économie d'énergie d'environ 70% et 80% respectivement pour le scénario Classe B, caractérisé par besoins en énergie primaire pour le chauffage ≤ 49 kWh/(m ² /an), et le scénario Classe A, qui est caractérisé par besoins en énergie primaire pour le chauffage ≤ 29 kWh/(m ² /an), selon la réglementation locale.
(Santamouris, 2014)	Une crèche à Athènes, Grèce	Toiture végétalisée	L'installation d'un système de toit vert contribue de manière significative à l'efficacité énergétique du bâtiment. Ainsi, d'importantes économies d'énergie ont été réalisées en raison d'une réduction allant jusqu'à 49 % de la charge de refroidissement pendant l'été suite à l'installation du système de toit vert.
(Ascione et al., 2015)	Bâtiment éducatif dans l'ancien centre de Bénévent, Italie	Enduit thermique, Isolation de toiture, Infiltration, Vitrage Low-E, Double vitrage clair, Vitrage sélectif, Vitrage à Contrôle Solaire, Vitrage différencié, Enduit PCM extérieur, Enduit PCM intérieur	Une réduction de 24 % de la demande annuelle d'électricité
(Mauri, 2016)	Siège de la Province d'Agrigente en Italie	Installation des panneaux photovoltaïques et pompe à chaleur géothermique.	D'après la simulation, le but d'atteindre le NZEB « near zero energy building » est achevé.
(Jones et al., 2017)	Maisons 5 logements à Galles	Isolation des murs extérieurs ; isolation des combles ; double vitrage à faible émissivité ; éclairage LED ; isolation des murs creux des pignons ; chaudière à gaz et ballon d'eau chaude ; systèmes photovoltaïques ; ventilation positive des combles.	Une réduction des émissions de CO ₂ d'environ 50 à 75 % ; économies de 402 à 621 d'euros par an. Une réduction de 56 % de la consommation d'énergie pour le chauffage et de 84 % pour l'électricité.
(Zangheri et al., 2018)	Maison unifamiliale ; immeuble d'appartements ; immeuble de bureaux ; école, Italie	Isolation de l'enveloppe du bâtiment, chauffage des locaux, système d'eau chaude sanitaire, systèmes de ventilation, système de refroidissement, systèmes solaires, éclairage.	Une réduction de la consommation d'énergie primaire varie entre 36 et 88 % ; pour les bâtiments qui atteignent les objectifs NZEB.
(Fregonara, 2017)	Bâtiment résidentiel familial de deux étages, Italie	Isolation thermique extérieure des murs opaques ; unités de ventilation mécanique décentralisées ; fenêtres à faible émissivité et à haute isolation ; système à double flux avec récupération de chaleur ; panneaux solaires ; panneaux photovoltaïques.	Les différents scénarios d'amélioration appliqués ont joué un rôle important sur le passage de la classe énergétique E vers la classe énergétique A4.
(Bensehla et al., 2021)	Différents habitats résidentiels individuels à Constantine ; Algérie	Panneaux photovoltaïques sur toiture	Les résultats de la simulation ont montré que dans toutes les zones urbaines étudiées, la production photovoltaïque a permis une réduction de la consommation d'électricité comprise entre 28% et 58% dans les scénarios actuels pendant la période estivale, et une couverture des besoins de chauffage qui peut être totale pendant la période hivernale, ce qui a un impact indirect sur l'amélioration l'environnementale au futur.

(Gremmelspacher et al., 2021)	Bâtiments historiques, Suède	Deux stratégies de ventilation, deux systèmes de vitrage et cinq configurations d'isolation des murs ont été testées, ainsi que des mesures d'isolation intérieure pour le toit et la dalle de plancher, Panneaux photovoltaïques sur toiture	L'étude montre qu'avec une stratégie de rénovation approfondie et une adaptation PV, NetZEB (bâtiment à énergie nette zéro) a pu être réalisé pour un bâtiment historique dans le sud de la Suède.
-------------------------------	------------------------------	---	--

Source : traitement par l'auteur, 2021

Trois types d'interventions sont montrés dans le tableau (1) :

- Interventions sur l'enveloppe du bâtiment :

Par exemple, selon l'étude de (Fregonara, 2017) qui a créé 5 scénarios d'amélioration physique sur un bâtiment résidentiel familial de deux étages à l'Italie.

Ces scénarios sont illustrés dans la (figure 3.), confirmant que l'isolation et le renforcement des parois opaques et l'amélioration des parois transparentes joue un rôle important dans le passage de la classe énergétique E vers la classe énergétique A4.

Fig. 3 : Effet des interventions sur l'enveloppe du bâtiment. Cas d'étude à l'Italie

	existant	scenario 0	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
Mur opaque stratigraphique						
Epaisseur [cm]	38	48	52	66.2	63.8	65.8
Transmission U [W/m^2K]	0.9	0.25	0.23	0.14	0.16	0.13
Transmission thermique périodique Y_{IE} [W/m^2K]	0.26	0.015	0.011	0.004	0.003	0.001
Vitrage	Simple float 4	double float 4 - 12 Ar - b.e.4		triple b.e.4 - 12 Ar - float 4 - 12 Ar - b.e.4		
Transmission U_g [W/m^2K]	5.7	1.5	1.5	0.9	0.9	0.9
Transmission U_w [W/m^2K]	2.9	1.3	1.3	0.7	0.7	0.7
Ventilation mécanique	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Energie primaire [$kWh/m^2\text{year}$]	118	42	21	15.7	15.2	15.3
Classe énergétique	E	A2	A3	A4	A4	A4

Source : (Fregonara, 2017) + traitement par l'auteur.

Généralement, afin d'arriver à ces résultats en terme énergétique, il faut optimiser l'inertie, supprimer les ponts thermiques et contrôler l'accès solaire, en évitant les déperditions calorifiques en hiver, ou le surchauffe dans la période de l'été, et bénéficiant de meilleure façon de l'ensoleillement, en arrivant par conséquence, à moins de besoins de chauffage, de climatisation et de l'éclairage artificiel.

D'abord, le toit peut être responsable de 30% des pertes de chaleur de l'habitat, et ce constat fait de l'isolation du toit une priorité absolue dans la rénovation énergétique et physique des bâtiments.

L'isolation des combles se fait par la technique de soufflage de l'isolant sur le plancher des combles, ou l'application de la solution la moins couteuse qui consiste à poser sous la charpente des panneaux d'isolant déroulés, sachant que pour une plus grande efficacité, l'isolation doit être déposée sur le plafond du dernier étage chauffé, ou également à l'extérieur de la charpente.

Une isolation renforcée des murs est aussi très importante, elle peut être par l'extérieur, soit par la pose d'un isolant recouvert d'un enduit mince, soit par la pose d'un isolant puis la fixation sur ossature

d'un bardage (bois, ardoise, terre cuite...), ou par l'utilisation d'un enduit isolant épais (mortier chaux chanvre ou liège chanvre).

Comme elle peut être par l'intérieur, par la pose d'un complexe de doublage intégrant l'isolant et le parement en plâtre, ou à travers un isolant qui se met entre le mur et une ossature métallique, puis la pose d'une plaque de plâtre sur cette ossature. Son importance s'apparu dans :

- Les parois sont responsables de 20 à 25% des déperditions énergétiques de l'habitat.
- La performance thermique d'un cm d'isolant correspond à celle de 40 cm de béton.
- L'isolation des murs peut entraîner jusqu'à 25% de réduction de la facture énergétique d'un foyer.

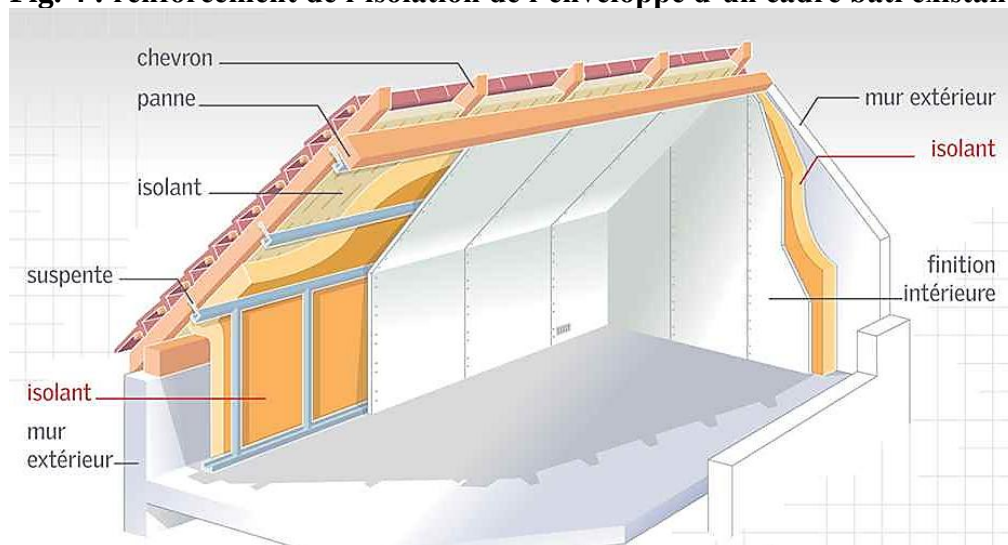
L'isolation des planchers aussi est nécessaire pour avoir un confort thermique optimal et une enveloppe bien protégée des fluctuations externes. Il existe plusieurs techniques pour isoler : isolation du dallage, isolation rapportée, en sous-face, en surface...

Les pertes de chaleur par les fenêtres peuvent représenter jusqu'à 15 % des pertes de chaleur, ce qui est bien sûr important.

Cela signifie également que 85% des pertes ont une autre source. Si l'isolation thermique n'est pas traitée globalement, le gain entre le double et le triple vitrage sera minime, mais une maison passive ou une maison à très basse énergie, en revanche, le triple vitrage est presque obligatoire car chaque détail compte.

Le double et le triple vitrage sont souvent utilisés dans une même maison : le double pour les fenêtres orientées vers l'ouest et le sud, le triple pour les fenêtres orientées vers l'est et le nord ou uniquement le nord. Pour les régions très chaudes en été et tempérées en hiver, le triple vitrage offre peu d'avantages. (Site: La prime énergie par effy, n.d.)

Fig. 4 : renforcement de l'isolation de l'enveloppe d'un cadre bâti existant



Source : site : <https://ecbm.fr/>

Il faut bien choisir les isolants dont les matériaux écologiques et sains tels que ouate de cellulose, fibre de bois ou liège possèdent une capacité thermique élevée. Ils permettent un stockage de la chaleur et autorisent donc un meilleur confort d'été avec une épaisseur mise en œuvre raisonnable.

Dès que la menuiserie présente, un jour, un défaut d'étanchéité à l'air, une difficulté d'ouverture ou de fermeture, le remplacement des fenêtres et des portes fait partie des travaux prioritaires pour améliorer la qualité thermique du logement. (Communauté d'agglomération Valenciennes Métropole, 2017)

- Les systèmes de production des énergies renouvelables :

Les défis environnementaux du réchauffement climatique et de l'épuisement prévisible des ressources en énergies fossiles ont encouragé beaucoup plus à penser à la transition énergétique, qui consiste à exploiter des énergies plus propres et durables comme : l'énergie éolienne, hydraulique, solaire, géothermique, biomasse.

Parmi ces techniques intégrées lors de l'opération de la rénovation énergétique : capteur solaire photovoltaïque - capteur solaire thermique - la géothermie - la méthanisation - l'éolien urbain...

Selon les résultats obtenus après une étude faite par (Bensehla et al., 2021), sur la forme urbaine et son effet sur la consommation énergétique dans les zones semi-arides, et également sur l'effet de l'intégration des panneaux photovoltaïques, dans quatre cas d'études, ont montré que ces panneaux peuvent produire une quantité d'énergie électrique, qui permis une réduction de la consommation d'électricité comprise entre 28% et 58% dans les scénarios actuels pendant la saison chaude.

Cette recherche a montré également que le remplacement de la consommation de gaz pour les besoins de chauffage par de l'électricité des panneaux photovoltaïques, a offert la couverture d'un grand pourcentage des besoins de chauffage pendant la période hivernale, et même une couverture totale comme il est apparu dans la (figure 5).

Fig. 5 : la contribution des panneaux photovoltaïques dans la réduction de la demande énergétique

Cas d'étude	Électricité demandée pour chauffage (kWh/bâtiment)	Électricité produite par PV pendant la saison de chauffage (kWh/bâtiment)	Électricité demandée du réseau pour le chauffage (kWh/bâtiment)	% des besoins en chauffage couverts par le PV
A	9536.2	4374.0	5162.2	46%
B	4238.9	4398.7	0	100%
C	8227.4	4353.0	3874.4	53%
D	7939.2	4034.9	3904.3	51%

Source : (Bensehla et al., 2021) + traitement par l'auteur.

- Équipements à haut rendement énergétique et technologies à faible consommation d'énergie

Plusieurs mesures peuvent se faire comme :

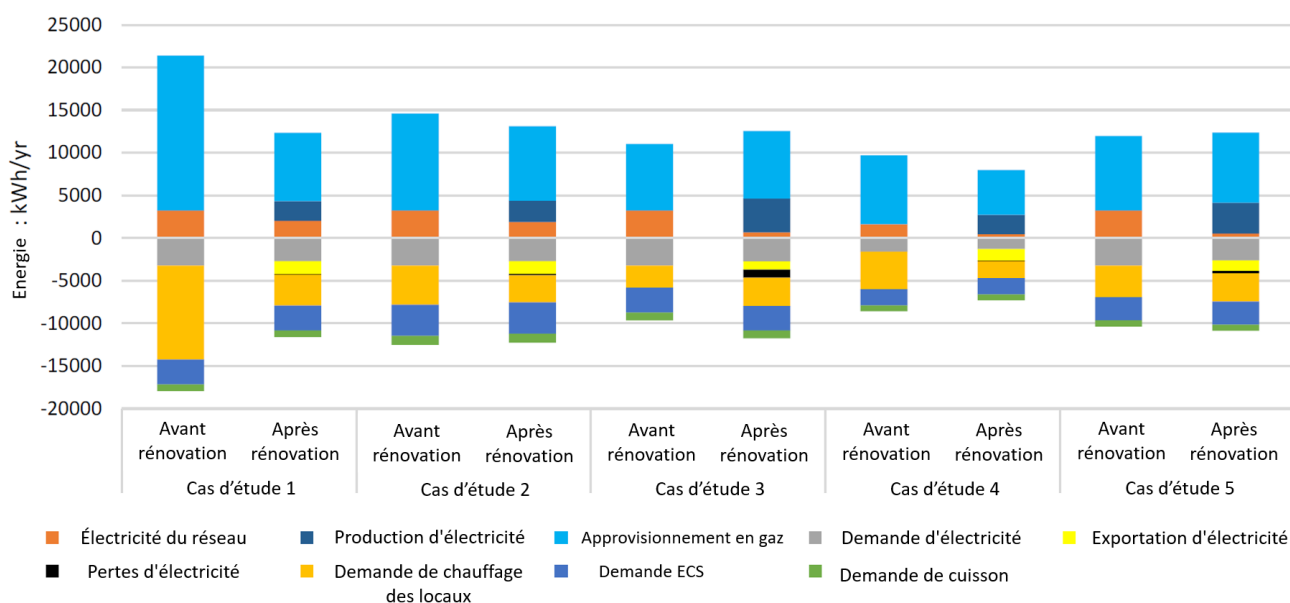
- Remplacement des chaudières inefficaces par des chaudières à gaz à condensation.
- Amélioration de la ventilation mécanique, de la climatisation, de l'éclairage, des systèmes auxiliaires.
- Installation d'un système de récupération de chaleur.
- Amélioration des systèmes d'émission et distribution des systèmes techniques (par exemple isolation des canalisations).
- Installation des microsystèmes de cogénération.

Selon l'étude de (Jones et al., 2017), après l'application des mesures d'amélioration (isolation des murs extérieurs ; isolation des combles ; double vitrage à faible émissivité ; éclairage LED ; isolation des murs creux des pignons ; chaudière à gaz et ballon d'eau chaude ; systèmes photovoltaïques ; ventilation positive des combles.) sur 5 cas d'étude, les résultats présentent une réduction remarquable des émissions de CO₂ de 50 à 75 % ; économies de 402 à 621 £ par an, réduction de 56 % de la consommation d'énergie pour le chauffage et de 84 % pour l'électricité.

Les équipements tels que l'éclairage LED, la chaudière à gaz et le ballon d'eau chaude ont joué significativement un rôle important sur la réduction de la consommation énergétique et l'empreinte carbone, en comparant la demande de chauffage des locaux, entre le cas d'étude (1) où il y a une intégration de la chaudière à gaz et le ballon d'eau chaude, ce qui a guidé à une grande réduction, et différence entre la demande de chauffage avant et après la rénovation.

Par contre, la demande énergétique est la même, dans le cas d'étude (5) où ces équipements sont absents, comme il est montré sur la (figure 6.).

Fig. 6 : la contribution des équipements à haut rendement énergétique dans la réduction de la demande énergétique



Source : (Jones et al., 2017) + traitement par l'auteur.

A. Tableau (2)

Le tableau (2) ci-dessous montre les résultats majeurs obtenus après l'intégration des technologies de la domotique sur 10 cas d'études où le type des bâtiments, le contexte géographique et climatique sont variés et différents.

Tableau (2) : les mesures d'amélioration et les résultats majeurs de chaque cas d'intégration des technologies de la domotique étudié.

Références	Type de Bâtiment	Mesures d'amélioration	Résultats majeurs
(Doukas et al., 2007)	Un immeuble de bureaux en Grèce.	L'intégration de l'informatique et des technologies de l'information dans le BEMS (système de management de l'énergie dans le bâtiment).	Sur la base de cette étude, important est le rôle des systèmes d'aide à la décision, qui peuvent contribuer à la gestion continue de l'énergie des opérations quotidiennes d'un bâtiment typique, visant à préserver les conditions du confort des occupants des bâtiments et à minimiser la consommation et les coûts énergétiques.
(Chen et al., 2009)	Laboratoire vivant d'énergie intelligente, Taiwan.	SAANet (réseau d'alliance d'appareils intelligents) + module de communication + capteurs environnementaux	En raison de la demande de réduction des émissions des gaz à effet de serre, la conversation énergétique est une caractéristique importante de la maison intelligente. Avec les applications des capteurs intelligents et du réseau domestique intelligent, le gaspillage d'énergie peut être réduit et un style de vie de qualité peut toujours être maintenu.
(Reinisch et al., 2011)	3 bâtiments intelligents à Murcia, Espagne.	L'intégration d'un réseau de modules domotiques (HAMS) et le système de contrôle de surveillance et d'acquisition de données (SCADA).	Une telle analyse permet de proposer une prédiction optimale concernant l'énergie consommée quotidiennement dans les bâtiments en intégrant les données d'entrée les plus pertinentes dans de tels modèles. Une fois les profils d'utilisation de l'énergie extraits, nous pouvons concevoir et mettre en œuvre des actions pour économiser l'énergie

(Ippolito et al., 2014)	Une maison italienne de taille moyenne à Rome, Italie.	La présence des systèmes de contrôle d'automatisation du bâtiment (BACS) et des systèmes de gestion technique du bâtiment (TBM).	L'étude de cas présentée montre que l'installation d'un système BACS ou TBM est d'autant plus pratique quand la consommation énergétique (électrique et thermique) du bâtiment est élevée et que sa classe énergétique initiale est faible ; le système BACS ou TBM peut améliorer la performance énergétique d'un bâtiment.
(Morón et al., 2016)	Un logement dans la ville de Galapagar, Madrid, Espagne.	Mise en place de systèmes domotiques (HBAS) (capteurs, actionneurs, alarmes, etc.)	Le système mis en œuvre dans cette habitation présente un grand nombre d'avantages objectifs, dont le principal est l'économie d'énergie, et une réduction des émissions de CO ₂ , ce qui est, de nos jours, si précieux. Il est également important d'apprécier positivement l'augmentation du confort et de la sécurité que ce système apporte à l'utilisateur.
(Martirano et al., 2017)	Immeuble résidentiel à Campobasso (Italie)	Une architecture de micro-réseau, avec un BEMS qui gère à la fois les charges électriques et thermiques	Des simulations sur un bâtiment d'étude de cas installé dans le centre de l'Italie avec un système de chauffage et des appareils intelligents ont montré qu'un jour de mars de référence, une réduction de 12 % de la puissance de pointe et de 23 % de la puissance moyenne peut être atteinte même si tous les utilisateurs ne collaborent pas pleinement. De plus, le contrôle de la charge permet d'améliorer l'autoconsommation de l'énergie générée par le PV.
(AlFaris et al., 2017)	Habitat individuel à l'Arabie saoudite.	Intégration d'un système intelligent de gestion de l'énergie domestique (IHMS) + des panneaux photovoltaïques.	Les résultats signifient que ces technologies optimisent la performance énergétique de 37 % par rapport à l'ASHRAE standard pour les villas unifamiliales. En conséquence, ces techniques fourniront une base solide pour adopter les systèmes d'énergie renouvelable, puis les maisons à faible ou zéro énergie avec la conception à haute efficacité énergétique.
(Li et al., 2018)	Bureaux à Tianjin, Chine.	Combinaison de l'énergie solaire, l'éclairage LED avec la technologie PoE (Power over Ethernet), le document proposait de manière créative des systèmes d'éclairage intelligents LED à consommation d'énergie nulle. Le système comprend l'électricité, les panneaux solaires, le gestionnaire d'alimentation, la batterie, le régulateur CC, le contrôleur PoE, un réseau de capteurs, un réseau de LED, etc.	Le système est une application innovante de la technologie PoE. Il peut fonctionner de manière entièrement automatisée, en ajustant les niveaux d'éclairage en fonction des informations collectées automatiquement dans la pièce. La sécurité du système est bonne, de sorte qu'un problème d'alimentation ne causera pas d'accident de sécurité. D'une part, ce système peut satisfaire la demande d'éclairage des personnes. D'autre part, la limite maximale du système réduit la consommation d'énergie.
(Adalberto et al., 2020)	Immeuble de bureau à Glasgow – Ecosse.	Système de vision par ordinateur + IScan (système intelligent de contrôle et analyse).	Cet article propose la mise en œuvre d'un lecteur basé sur la vision par ordinateur pour les compteurs analogiques d'énergie/d'eau, via un système embarqué à faible coût qui peut transformer les informations analogiques du bâtiment (par exemple, les compteurs analogiques) en données opérationnelles. Les avantages de cette approche comprennent une confidentialité accrue, un risque réduit pour les investissements dans l'efficacité énergétique et l'accès à des données autrement indisponibles.

(Uribe et al., 2020.)	Habitat individuel à Madrid - Espagne	Applications intelligentes de IOT (internet of things) + capteur solaire de toit	La simulation et les expériences réelles sur le bâtiment montrent les avantages de contrôler le flux entre ces systèmes thermiques. En effet, la barrière thermique dynamique permet de modifier le flux de transfert d'énergie thermique (chaud ou froid) et, par conséquent, de changer la température de la face interne du mur à un coût abordable, entraînant une diminution de la consommation d'énergie thermique.
-----------------------	---------------------------------------	--	---

Source : traitement par l'auteur, 2021

Le tableau (2) prend un quatrième type d'interventions qui est **la mise en place des systèmes techniques domotiques innovants et intelligents** :

Pour que le bâtiment soit intelligent et puisse s'autoréguler en termes d'énergie, en fonction de son exposition, de son occupation, des conditions climatiques, des conditions d'accès à l'énergie et de ses capacités de stockage, il faut qu'il soit équipé par des systèmes d'automatisation (domotique), c'est ce qu'on appelle un bâtiment intelligent. Il doit intégrer les quatre systèmes suivants :

- Un système d'automatisation du bâtiment qui fournit des services aux résidents à l'échelle de l'ensemble du bâtiment : le système de ventilation et d'air conditionné (HVAC), les systèmes d'éclairage et les systèmes de sécurité par exemple.
- Un système de communication.
- Systèmes d'automatisation des pièces qui suivent le même principe que le premier système mais se réfèrent au niveau de chaque pièce.
- Les systèmes de contrôle/commande qui gèrent les équipements des pièces. (Nikolaou et al., 2004)

Un bâtiment intelligent est essentiellement équipé de capteurs et de systèmes d'information et de communication pour mesurer, détecter des anomalies, faire fonctionner des équipements (stores, système de chauffage ou de climatisation, etc.). Cela fait partie de la gestion de l'énergie qui rend les bâtiments intelligents.

L'objectif de la gestion dynamique de l'énergie est de maximiser l'efficacité énergétique d'usage dans un bâtiment pour aider les utilisateurs à atteindre un meilleur équilibre coût/confort.

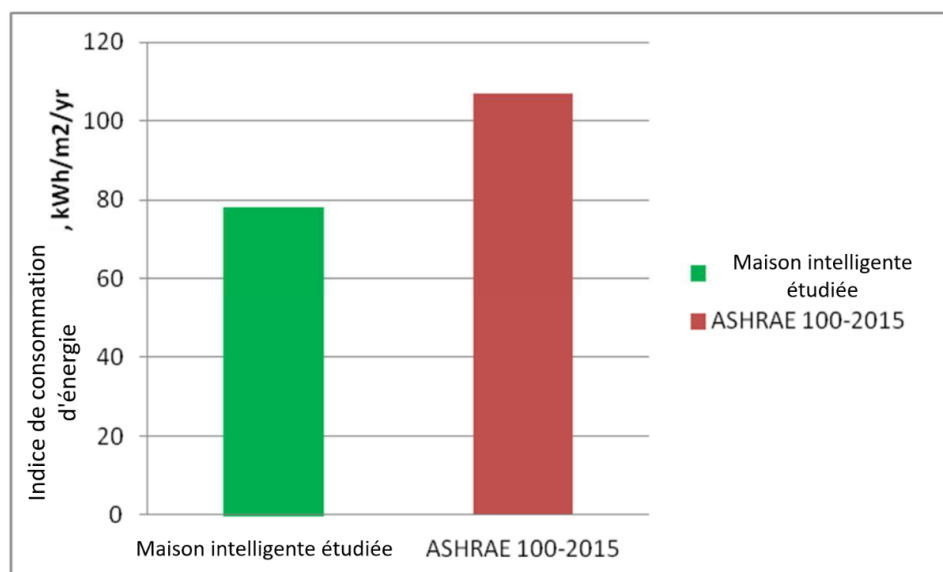
Un « Energy Smart Building » doit être équipé d'un logiciel de conseil en énergie qui conseille et gère les systèmes énergétiques en tenant compte des préférences des occupants.

La communication entre ce logiciel et les occupants se fera à travers des interfaces homme-machine adaptées (smartphones, interfaces optiques, commandes vocales...).

Le logiciel qui aide à gérer le « Smart Energy Building » est le Système de gestion de l'énergie du bâtiment. Ce système doit non seulement s'adapter aux conditions météorologiques extérieures, mais aussi s'adapter aux exigences des usagers qui doivent garder le contrôle sur la décision finale. (Badreddine, 2012).

Dans le but de confirmer l'effet des technologies de la domotique sur l'efficacité énergétique, l'auteur a analysé le cas étudié par (AlFaris et al., 2017), qui a opté selon un travail de simulation, pour l'intégration de système intelligent de gestion de l'énergie domestique (IHEMS) et des panneaux photovoltaïques, et a arrivé aux résultats du modèle énergétique, qui montrent une amélioration profonde de la consommation d'énergie par rapport à la référence ASHRAE 100-2015 spécifique au contexte de l'Arabie saoudite. La performance énergétique de la maison intelligente étudiée est meilleure que la norme ASHRAE 100-2015 de 37 %, comme il est représenté dans la (figure 7). L'indice d'utilisation de l'énergie de la maison intelligente proposée est de 78 kWh/m²/an par rapport à 107 kWh/m²/an pour la ligne de base.

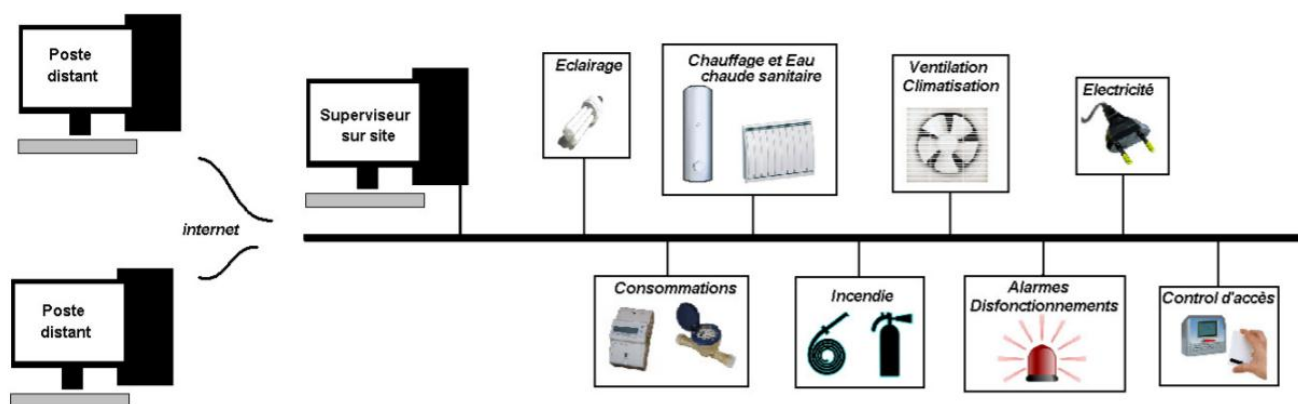
Fig. 7 : la consommation énergétique d'une maison à l'Arabie saoudite par rapport à la norme ASHRAE 100-2015



Source : (AlFaris et al., 2017) + traitement par l'auteur.

Via une télégestion à distance, la domotique peut couvrir et optimiser plusieurs domaines d'application (figure 8), principalement : le confort, la sécurité, l'énergie, et aussi la gestion des lots techniques tel que les tableaux divisionnaires, synthèses ascenseurs, arrosage, plomberie, ...

Fig. 8. Champs d'intégration de la gestion technique centralisée



Source : <https://www.ille-et-vilaine.fr/sites>

Elle peut s'appliquer sur nombreux champs d'action :

- **Chauffage et climatisation** : par la gestion, l'exploitation, la prévision de maintenance, le suivi des chaudières ou des aérothermes, et aussi l'optimisation des temps du fonctionnement à travers une minuterie, et une programmation horaire.

Et à travers un pilotage et une régulation de la température pièce par pièce en fonction des occupations des différentes zones de chauffe à l'aide d'un détecteur de présence, et selon une différenciation en fonction des pièces situées au nord ou au sud du bâtiment, ou en fonction des étages.

- **Electricité** : par le zonage des convecteurs électriques, l'économie de l'utilisation de l'éclairage artificiel en fonction de la détection de présence, des données d'accès ou en fonction de la gestion horaire des éclairages.

- **Accès** : La gestion des accès par badge, reconnaissance vocale ou biométrique, et la détection de l'intrusion d'une personne.

En cas d'évacuation, la comptabilisation des personnes est utile pour faciliter l'opération de secours.

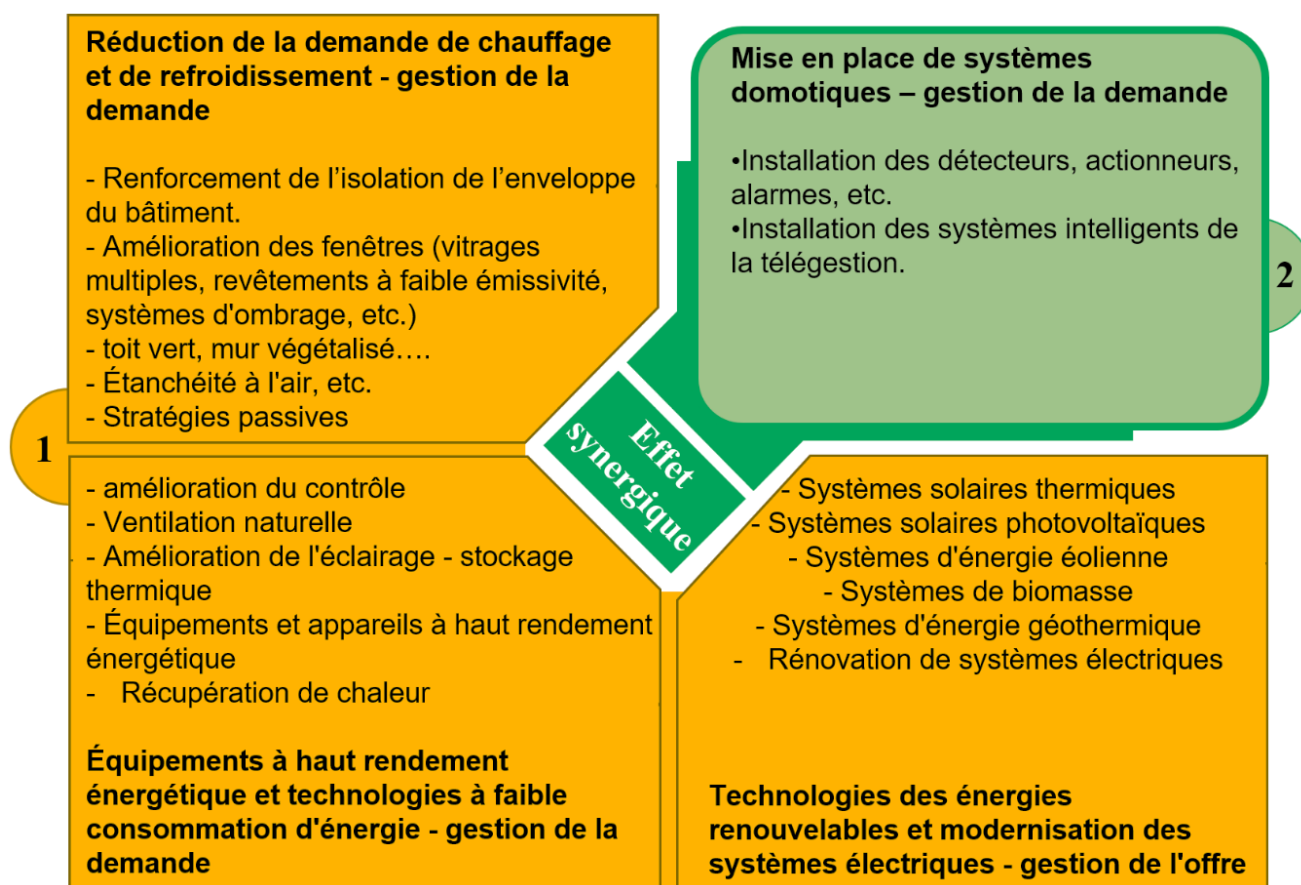
La synergie entre la rénovation énergétique et l'intégration des technologies de la domotique dans un bâtiment existant : revue de littérature

- **Alarmes** : via une surveillance des installations et un lancement d'une alerte au superviseur lors d'un dysfonctionnement ou d'une anomalie, dans lequel les alarmes peuvent être renvoyées par un email, fax ou sms pour avertir le service maintenance le plus vite possible.

Ici encore, les alarmes peuvent être générées suivant une intrusion ; pannes d'ascenseurs ; fuites d'eau ; incendie ; anomalie du fonctionnement dans le chauffage ou la climatisation ; ou s'il y a une différence mathématique entre plusieurs décompteurs, par fixation des limites d'utilisation. (wallonie énergie SPW site, n.d.).

D'après tout ce qui précède, quatre types de mesures d'améliorations et d'interventions sont traités par cet article, et sont exposés sur le schéma ci-dessous (figure 9).

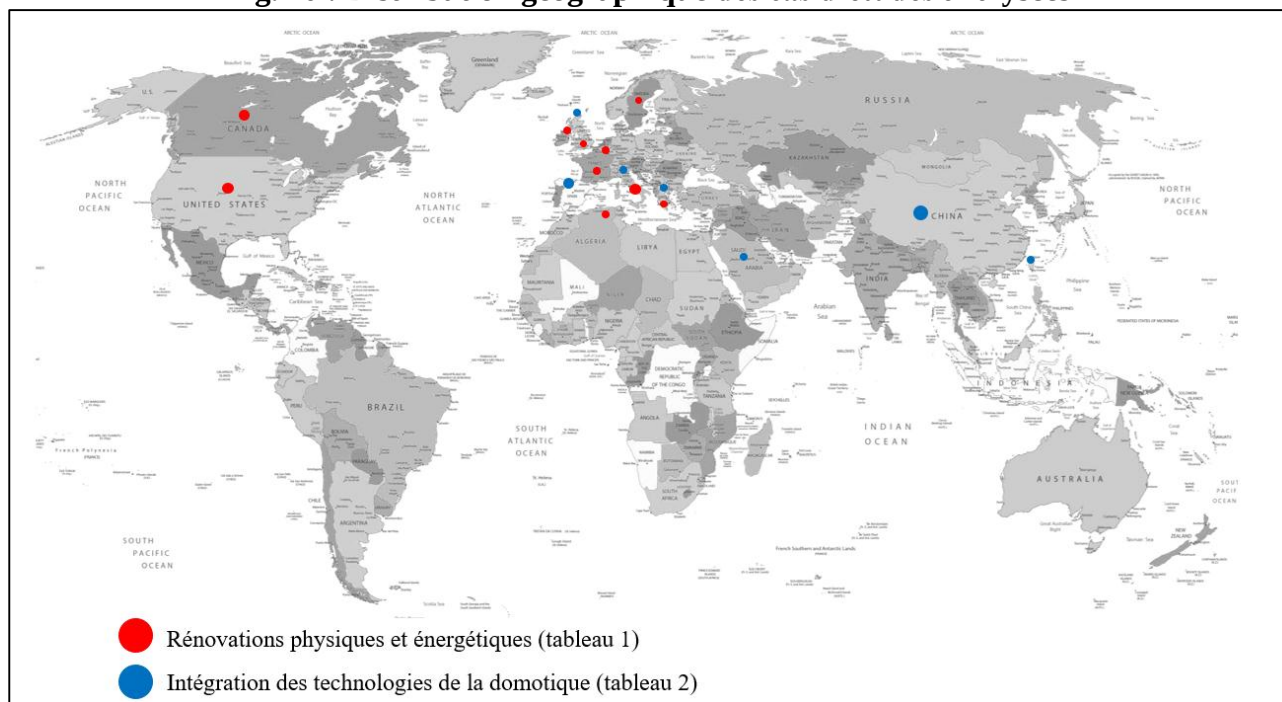
Fig. 9 : les 4 types d'interventions et les mesures d'améliorations étudiées dans les tableaux 1 et 2.



Source : par l'auteur

A partir de l'analyse des trente articles synthétisés, l'auteur constate que les différentes combinaisons entre les mesures d'amélioration appliquées ont données des résultats importants en termes de la réduction de la consommation énergétique et la production d'une énergie propre et renouvelable, ce qui donne une réduction de l'empreinte écologique. Il remarque également que ces mesures étaient réussies avec divers degrés sur différents contextes géographiques, différents types des bâtiments et différentes zones climatiques vu que les exemples analysés (figure 10) s'appartiennent au climat froid, tempéré, continental, tropical, et désertique.

Fig. 10 : Distribution géographique des cas d'études analysées



Source : <https://www.actualitix.com/> + traitement par l'auteur.

Encore, chaque type d'intervention a un impact sur des facteurs différents qu'un autre type, ce qui permet à ces types d'être completif, en donnant un effet synergique.

A partir des articles analysés, on peut déduire les différents facteurs liés à chaque type des mesures d'amélioration, à travers le schéma (figure 11), qui récapitule ces différents facteurs déduits, et qui influent sur l'efficacité énergétique et l'empreinte écologique ; plus ces facteurs sont nombreux, bien combinés, et bien choisis, plus l'efficacité énergétique du bâtiment sera optimale, et l'empreinte écologique sera réduite.

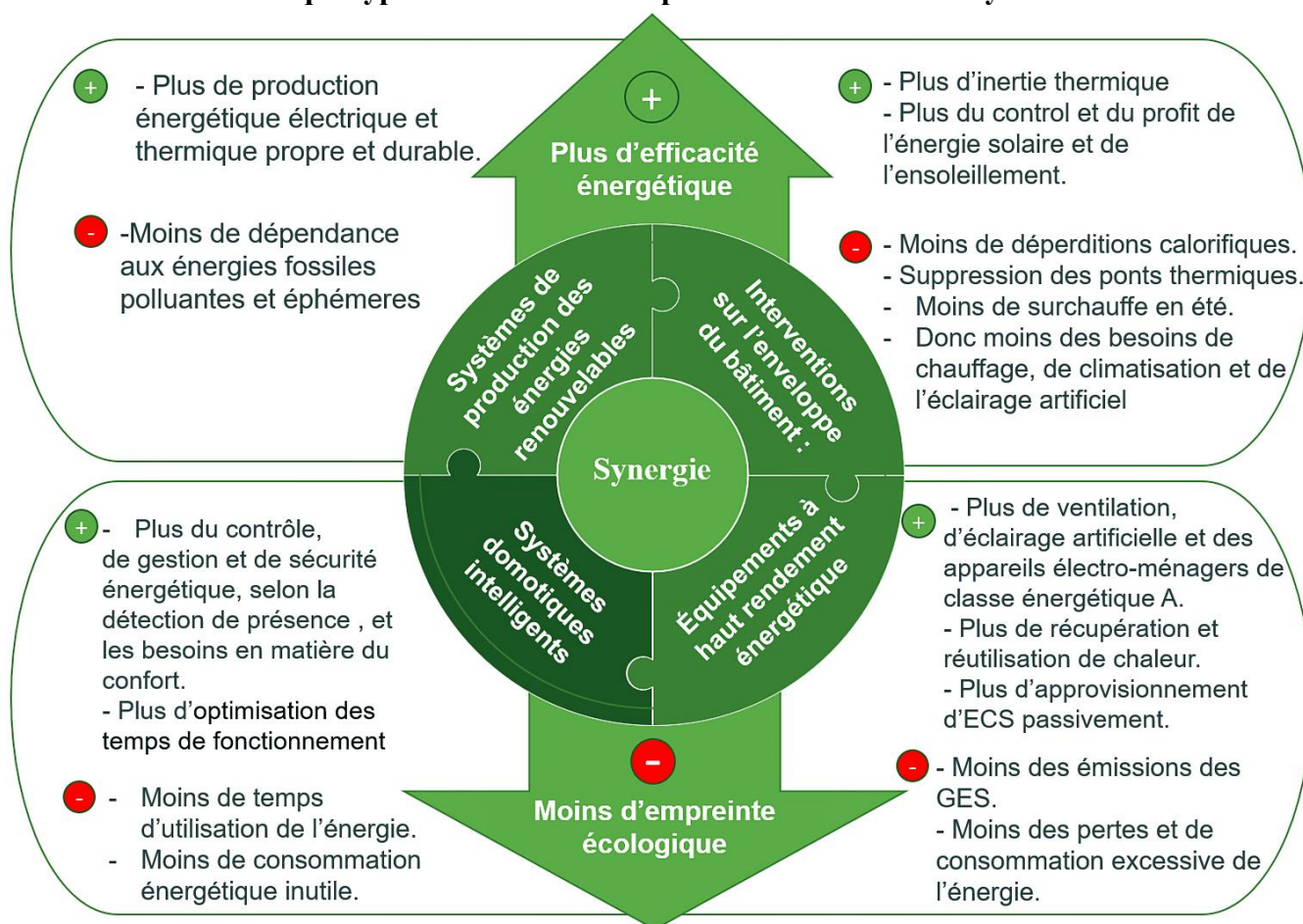
Les interventions sur l'enveloppe du bâtiment travaillent à protéger l'intérieur des bâtiments des différentes fluctuations climatiques, et des déperditions calorifiques, elles permettent également, un plus du contrôle et du profit de l'ensoleillement, à travers l'emplacement des protections solaires, et des fenêtres performantes.

Les équipements à haut rendement énergétique, et de moins consommation, permettent de bénéficier de l'eau chaude sanitaire, la récupération et la réutilisation de chaleur, et combler les besoins de l'éclairage artificiel, de la ventilation mécanique, et les différents appareils d'une meilleure manière, avec une consommation énergétique réduite.

L'intégration de la domotique, du point de vue énergétique et environnemental, offre plus de gestion et du contrôle, limite les temps d'utilisation des différents équipements et appareils, selon les besoins et selon les temps de présence des occupants, et protège les réseaux des risques, en cas des dysfonctionnements et des anomalies.

Ces facteurs précédents sont responsables de la gestion de la demande, par contre l'intégration des énergies renouvelables est responsable de la gestion de l'offre, cette intégration permet de bénéficier d'une énergie propre, et mettre à côté la dépendance aux énergies fossiles polluantes et éphémères.

Fig. 11 : Récapitulation de l'influence énergétique et environnemental des différents facteurs de chaque type d'intervention d'après les cas d'étude analysés.



Source : par l'auteur

Théoriquement, et d'après les différentes analyses, l'effet synergique de ces quatre types d'intervention, peut transformer un cadre bâti existant très énergivore et très émetteur des gaz à effet de serre, et le rendre écologiquement neutre et énergétiquement autonome, et même devient un bâtiment à énergie positive, qui produise plus qu'il consomme, et exporte l'excès de l'énergie produite vers les grands réseaux, sachant que plusieurs autres recherches ont étudié la possibilité d'achever les objectifs des labels de grande performance environnementale et énergétique, spécialement celles de « NZEB » (Nearly zero energy building), « Net zero energy building » ou « BEPOS » (Bâtiment à énergie positive), tel ces recherches (AbuGrain & Alibaba, 2017; Semprini et al., 2017; Salem et al., 2019; Aparicio-Gonzalez et al., 2020; Dec et al., 2020; Ala-Juusela et al., 2021; Mancò et al., 2021; Nematchoua et al., 2021), qui ont réservé des parties de leurs études pour des approches économiques, vu que le côté financier est considéré comme une grande contrainte pour appliquer des mesures d'amélioration optimales et innovantes, ou chercher à atteindre un niveau de performance énergétique et environnementale très élevé.

Conclusion

Un clair constat alors que la rénovation énergétique des bâtiments, dans le cadre de la transition énergétique, est très nécessaire pour dépasser la vulnérabilité et la précarité énergétique, et mettre à côté la dépendance aux énergies fossiles éphémères et polluantes.

Certainement, les ambitions de demain, ne sont plus d'hier ; Il faudra alors avoir de façon décentralisée une production des énergies, qui sont propres, renouvelables ; et des bâtiments intelligents qui respectent l'environnement, et participe dans la production d'une énergie écologique,

liés par des micros ou macro-réseaux intelligents, et constituent des villes intelligentes gérées selon les principes du développement durable.

Les différentes interventions de la rénovation physique et énergétique, et même l'intégration des technologies de la domotique, ont montrés leurs succès énergétiquement et environnementalement, selon les cas d'étude analysés sur plusieurs types des bâtiments, plusieurs combinaisons des mesures d'améliorations et plusieurs contextes géographiques et zones climatiques

Théoriquement, la synergie entre la rénovation énergétique et la gestion par la technologie de la domotique aide à atteindre un niveau optimal de l'efficacité énergétique, par une meilleure production, stockage et contrôle de l'énergie propre, selon l'analyse faite sur les différents cas étudiés après l'extraction des différents facteurs qui ont un impact sur l'efficacité énergétique et l'amélioration environnementale.

Cette synergie cherche également à garantir un niveau optimal de confort et de sécurité, et de bien-être des occupants, pour qu'ils puissent vivre et pratiquer ces activités quotidiennes en pleine santé, et dans un état physique et psychologique agréable, est aussi une solution qui respecte l'environnement, la biodiversité et la santé des êtres vivants, dans le but d'atteindre un développement durable, en assurant une planète vivable, viable, avec des conditions de vie équitable pour les générations futures.

Cette étude n'a pas pris en considération les facteurs économiques et politiques qui peuvent être des contraintes et des obstacles qui empêche l'intégration de ces technologies et l'application massive de ces mesures d'amélioration, ce qui exige des efforts nationaux et des bonnes stratégies qui équilibre entre le côté énergétique, environnemental, économique, politique et social.

Bibliographie :

1. AbuGrain, M., & Alibaba, H. (2017). Optimizing Existing Multistory Building Designs towards Net-Zero Energy. *Sustainability*, 9(3), 399. <https://doi.org/10.3390/su9030399>
2. Adalberto, G.-C., Giulia, B., Giovanni, T., & Girish, M. U. (2020). Computer Vision-based Reader for analogue Energy/Water Meters in low-cost embedded System: A Case Study in an Office Building in Scotland. *E3S Web of Conferences*, 172, 25006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017225006>
3. Akande, O. K., Odeleye, D., & Coday, A. (2014). Energy efficiency for sustainable reuse of public heritage buildings: The case for research. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 9(2), 237–250. <https://doi.org/10.2495/SDP-V9-N2-237-250>
4. Ala-Juusela, M., Rehman, H. ur, Hukkalainen, M., & Reda, F. (2021). Positive Energy Building Definition with the Framework, Elements and Challenges of the Concept. *Energies*, 14(19), 6260. <https://doi.org/10.3390/en14196260>
5. AlFaris, F., Juaidi, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2017). Intelligent homes' technologies to optimize the energy performance for the net zero energy home. *Energy and Buildings*, 153, 262–274. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.089>
6. Aparicio-Gonzalez, E., Domingo-Irigoyen, S., & Sánchez-Ostiz, A. (2020). Rooftop extension as a solution to reach nZEB in building renovation. Application through typology classification at a neighborhood level. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102109. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102109>
7. Ascione, F., Bianco, N., De Masi, R. F., de' Rossi, F., & Vanoli, G. P. (2015). Energy retrofit of an educational building in the ancient center of Benevento. Feasibility study of energy savings and respect of the historical value. *Energy and Buildings*, 95, 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.072>

8. Ascione, F., de Rossi, F., & Vanoli, G. P. (2011). Energy retrofit of historical buildings: Theoretical and experimental investigations for the modelling of reliable performance scenarios. *Energy and Buildings*, 43(8), 1925–1936. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.040>
9. Badreddine, R. (2012). *Gestion énergétique optimisée pour un bâtiment intelligent multi-sources multi-charges: Différents principes de validations*. 187.
10. Bardou, M. (2009). Politiques publiques et gaz à effet de serre. *Ethnologie française*, Vol. 39(4), 667–676.
11. Bekhtache, R. (2012). التحول الطاقوي عبر الغاز ضمن متطلبات التنمية المستدامة في الجزائر: دراسة تحليلية خلال الفترة (2000-2014). *دراسات اقتصادية*, 6(3), 01–13.
12. Bensehla, S., Lazri, Y., & Brito, M. C. (2021). Solar potential of urban forms of a cold semi-arid city in Algeria in the present and future climate. *Energy for Sustainable Development*, 62, 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.04.004>
13. Bin, G., & Parker, P. (2012). Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home – The REEP House. *Applied Energy*, 93, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.055>
14. Chen, C.-Y., Tsoul, Y.-P., Liao, S.-C., & Lin, C.-T. (2009). Implementing the design of smart home and achieving energy conservation. *7th IEEE International Conference on Industrial Informatics, 2009*, Pp. 273–276. <https://doi.org/doi: 10.1109/INDIN.2009.5195816>.
15. Chidiac, S. E., Catania, E. J. C., Morofsky, E., & Foo, S. (2011). A screening methodology for implementing cost effective energy retrofit measures in Canadian office buildings. *Energy and Buildings*, 43(2–3), 614–620. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.002>
16. Communauté d'agglomération Valenciennes Métropole. (2017). *Guide des bonnes pratiques & travaux de rénovation thermique*.
17. Corrado, V., Ballarini, I., & Paduos, S. (2014). Assessment of Cost-optimal Energy Performance Requirements for the Italian Residential Building Stock. *Energy Procedia*, 45, 443–452. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.048>
18. De Angelis, E., Pansa, G., & Serra, E. (2014). Research of Economic Sustainability of Different Energy Refurbishment Strategies for an Apartment Block Building. *Energy Procedia*, 48, 1449–1458. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.164>
19. Dec, K., Broniewicz, E., & Broniewicz, M. (2020). The Possibility Analysis of Adapting a Public Building to the Standard of a Building with a Zero Energy Balance. *Energies*, 13(23), 6389. <https://doi.org/10.3390/en13236389>
20. Doukas, H., Patlitzianas, K. D., Iatropoulos, K., & Psarras, J. (2007). Intelligent building energy management system using rule sets. *Building and Environment*, 42(10), 3562–3569. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.024>
21. Ezratty, V., Ormandy, D., Laurent, M.-H., Boutière, F., Duburcq, A., Courouve, L., & Cabanes, P.-A. (2018). Évaluation des coûts et des bénéfices pour la santé de la rénovation énergétique en France. *Environnement, Risques & Santé*, 17(4), 401–410. <https://doi.org/10.1684/ers.2018.1200>

22. Ferrara, M., Fabrizio, E., Virgone, J., & Filippi, M. (2014). A simulation-based optimization method for cost-optimal analysis of nearly Zero Energy Buildings. *Energy and Buildings*, 84, 442–457. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.031>
23. Fregonara, E. (2017). Retrofit Scenarios and Economic Sustainability. A Case-study in the Italian Context. *Energy Procedia*, 11.
24. Gremmelspacher, J. M., Campamà Pizarro, R., van Jaarsveld, M., Davidsson, H., & Johansson, D. (2021). Historical building renovation and PV optimisation towards NetZEB in Sweden. *Solar Energy*, 223, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.02.067>
25. Hamiti, D., & Bouzadi-daoud, S. (2021). *La stratégie algérienne de transition énergétique conformément au programme de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique: État des lieux et perspectives de développement. The algerian energy transition strategy in line with the renewable energy development and energy efficiency program: Situation and prospective of development.* 29.
26. Ippolito, M. G., Riva Sanseverino, E., & Zizzo, G. (2014). Impact of building automation control systems and technical building management systems on the energy performance class of residential buildings: An Italian case study. *Energy and Buildings*, 69, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.025>
27. Jones, P., Li, X., Perisoglou, E., & Patterson, J. (2017). Five energy retrofit houses in South Wales. *Energy and Buildings*, 154, 335–342. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.032>
28. Kneifel, J. (2010). Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings. *Energy and Buildings*, 42(3), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.09.011>
29. Latreche, S., & Sriti, L. (2018). Optimisation énergétique d'un bâtiment résidentiel autoproduite à Biskra à travers ses caractéristiques matérielles. *Journal of Renewable Energies*, 21(3), Article 3.
30. Li, D., Kun, Z., & Gao, Q. (2018). Zero Energy Consumption LED Intelligent Lighting System Based on the Technology of PoE. *2018 37th Chinese Control Conference (CCC)*, 7639–7643. <https://doi.org/10.23919/ChiCC.2018.8483337>
31. Mancò, G., Guelpa, E., Colangelo, A., Virtuani, A., Morbiato, T., & Verda, V. (2021). Innovative Renewable Technology Integration for Nearly Zero-Energy Buildings within the Re-COGNITION Project. *Sustainability*, 13(4), 1938. <https://doi.org/10.3390/su13041938>
32. Marcheteau, G. (2017). *Bâtiment intelligent : Qu'est-ce que c'est ?* <https://www.lenergiétoutcompris.fr/actualites-conseils/batiment-intelligent-qu-est-ce-que-c-est-48189>
33. Martirano, L., Habib, E., Parise, G., Greco, G., Manganelli, M., Massarella, F., & Parise, L. (2017). Demand Side Management in Microgrids for Load Control in Nearly Zero Energy Buildings. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53(3), 1769–1779. <https://doi.org/10.1109/TIA.2017.2672918>
34. Mauri, L. (2016). Feasibility Analysis of Retrofit Strategies for the Achievement of NZEB Target on a Historic Building for Tertiary Use. *Energy Procedia*, 101, 1127–1134. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.153>

35. Morón, C., Payán, A., García, A., & Bosquet, F. (2016). Domotics Project Housing Block. *Sensors*, 16(5), 741. <https://doi.org/10.3390/s16050741>
36. Nabinger, S., & Persily, A. (2011). Impacts of airtightening retrofits on ventilation rates and energy consumption in a manufactured home. *Energy and Buildings*, 43(11), 3059–3067. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.07.027>
37. Naceur, F., & Farhi, A. (2003). Les zones d'habitat urbain nouvelles en Algérie: Inadaptabilité spatiale et malaises sociaux. Cas de Batna. *Insaniyat / إنسانيات*, 22, 81–73. <https://doi.org/10.4000/insaniyat.6944>
38. Nahal, A. (2019). Énergies renouvelables : Quel déficit pour réaliser une croissance économique et un développement durable pour le Maroc. *Revue Marocaine d'Economie*, 2, Article 2.
39. Nematchoua, M. K., Orosa, J. A., Ricciardi, P., Obonyo, E., Sambatra, E. J. R., & Reiter, S. (2021). Transition to Zero Energy and Low Carbon Emission in Residential Buildings Located in Tropical and Temperate Climates. *Energies*, 14(14), 4253. <https://doi.org/10.3390/en14144253>
40. Nikolaou, K., Kolkotsa, & Stavrakakis. (2004). *HandBook for Intelligent Building*.
41. Núñez, J. A. (2019). *Les pays exportateurs d'hydrocarbures face à la transition énergétique mondiale*.
42. Reinisch, C., Kofler, M., Iglesias, F., & Kastner, W. (2011). ThinkHome Energy Efficiency in Future Smart Homes. *EURASIP Journal on Embedded Systems*, 2011(1), 104617. <https://doi.org/10.1155/2011/104617>
43. Rysanek, A. M., & Choudhary, R. (2013). Optimum building energy retrofits under technical and economic uncertainty. *Energy and Buildings*, 57, 324–337. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.027>
44. Salem, R., Bahadori-Jahromi, A., Mylona, A., Godfrey, P., & Cook, D. (2019). Investigating the potential impact of energy-efficient measures for retrofitting existing UK hotels to reach the nearly zero energy building (nZEB) standard. *Energy Efficiency*, 12(6), 1577–1594. <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09801-2>
45. Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
46. Semprini, G., Gulli, R., & Ferrante, A. (2017). Deep regeneration vs shallow renovation to achieve nearly Zero Energy in existing buildings. *Energy and Buildings*, 156, 327–342. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.044>
47. Site: La prime énergie par effy. (n.d.). *Tout savoir sur la fenêtre triple vitrage*. La prime énergie par effy. Retrieved May 24, 2022, from <https://www.laprimeenergie.fr/les-travaux/fenetre-triple-vitrage>
48. Stovall, T., Childs, P., Petrie, T., Atchley, J., Kosny, J., & Sissom, K. (2007). *An Exploration of Wall Retrofit Best Practices*. 10.
49. Thiébault, S., & Moatti, J.-P. (2016). *Climate change in the Mediterranean: Introduction= Le changement climatique en Méditerranée: introduction*.

50. Unies, N. (2002). Rapport du Sommet mondial pour le développement durable. *Johannesburg (Afrique Du Sud)*, 26, 9.
51. Uribe, O. H., Martin, J. P. S., Santos, M., & Guinea, D. (n.d.). *Smart Building: Decision Making Architecture for Thermal Energy Management*. 39.
52. wallonie energie SPW site. (n.d.). *La Gestion Technique Centralisée. Qu'est- ce que c'est? A quoi ça sert ?* <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/gtc.pdf?ID=23314>
53. Zangheri, P., Armani, R., Pietrobon, M., & Pagliano, L. (2018). Identification of cost-optimal and NZEB refurbishment levels for representative climates and building typologies across Europe. *Energy Efficiency*, 11(2), 337–369. <https://doi.org/10.1007/s12053-017-9566-8>