

## ANNONCE de SOUTENANCE DE THESE DE DOCTORAT- ENPC

La soutenance de thèse de doctorat de Mr HADDAD Mohamed Amine Nassim du département Génie Mécanique.

Filière: **Génie Mécanique**, Spécialité: **Energétique**,

Sur le thème: **Déploiement des solutions passives/actives et valorisation des ressources énergétiques en vue de l'obtention d'un bâtiment pilote à énergie positive**

**Aura lieu**

**Lundi 17 février 2025 à 16h**  
à la salle de conférences du 1<sup>er</sup> étage.



Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mr. Yassine KABAR	Prof	ENPCConstantine "Malek Benabi"	Président
Mr. Hamza SEMMARI	Prof	ENPCConstantine "Malek Benabi"	Rapporteur
Mr. Khaled IMESSAD	Directeur de Recherche	CDER	Co-Rapporteur
Mr. Fouad KHALDI	Prof	ENSEREDD - Batna	Examineur
Mr. Sofiane ABERKANE	MCA	Université de Bouira	Examineur
Mr. Abdelkader FILALI	MCA	ENPCConstantine "Malek Benabi"	Examineur

**Toute personne intéressée est cordialement invitée.**

**Soutenance de thèse de doctorat de Mr HADDAD Mohamed Amine Nassim**  
**Le 17/02/2025**

**THEME:** Déploiement des solutions passives/actives et valorisation des ressources énergétiques en vue de l'obtention d'un bâtiment pilote à énergie positive

**Spécialité:** Energétique,  
**Filière:** Génie Mécanique,  
**Département :** Génie Mécanique



**Abstract**

The building sector is witnessing a significant increase in energy consumption due to rapid urbanization, population growth, and rising demands for improved living standards. Today, buildings account for approximately 30% of the total global final energy consumption, with a substantial portion dedicated to maintaining thermal comfort for occupants. This increase in energy demand has also amplified the environmental impact of the building sector, making it a major contributor to greenhouse gas emissions. Consequently, the search for effective solutions to reduce energy consumption has become a global priority.

This research examines the deployment of passive and active energy efficiency measures, along with the integration of renewable energy resources, to achieve a positive energy building and carbon neutrality. The study focuses on optimizing the energy performance of a typical individual school building in Constantine, Algeria, through sequentially applied measures aimed at reducing energy needs and CO<sub>2</sub> emissions. By using the TRNSYS thermal simulation tool to model the building and its interactions with the environment, a series of interventions were explored, including wall and window configurations, shading systems, natural and mechanical ventilation, and the integration of a photovoltaic (PV) system.

The results reveal significant energy-saving potential. The baseline building's annual energy needs were 67.5kWh/m<sup>2</sup> for heating and 7.7kWh/m<sup>2</sup> for cooling. Thermal insulation using expanded polystyrene (PE) reduced these energy needs to 38.3kWh/m<sup>2</sup> for a thickness of 15 cm. Double glazing proved cost-effective, reducing energy needs by 5.9kWh/m<sup>2</sup>. Optimal window-to-wall ratios of 20% on the east and 40% on the south minimized energy needs, achieving an annual reduction of 4.5% compared to the baseline building's ratios. Solar protection, particularly retractable awnings combined with external blinds used between May and October, significantly reduced cooling needs, with annual energy savings reaching 4.1kWh/m<sup>2</sup>. Natural night ventilation also showed notable potential, reducing cooling needs by 4.5kWh/m<sup>2</sup> (44%) at an air renewal rate of 9vol/h, with acceptable trade-offs in heating needs. A 0.3kWh/m<sup>2</sup> reduction in cooling needs was achieved after automating the external blinds. The mechanical ventilation system with heat recovery proved highly effective, reducing heating needs by 75% and cooling needs by 30%.

The integration of a PV system covered the building's entire electricity needs, including lighting, mechanical ventilation, and heating and cooling systems, while feeding surplus production into the grid. This integration achieved a positive energy balance for the building. From an environmental perspective, the combined energy efficiency measures reduced CO<sub>2</sub> emissions from 1,772kgCO<sub>2</sub>/year for the baseline building to 0 kgCO<sub>2</sub>/year, thus achieving carbon neutrality.

From an economic perspective, the life cycle cost (LCC) analysis showed that the profitability of the studied measures is intrinsically linked to energy prices. In Algeria, where energy prices are heavily subsidized, the measures were not cost-effective, with an LCC of 5,449€ and a payback period exceeding the building's lifetime. However, in regions with higher energy



prices, such as Finland and the EU average, significant LCC reductions were achieved. The LCC decreased from 10,895€ for the baseline building to 5,449€ for the optimized building in Finland and from 6,005€ to 5,449€ for the EU average, resulting in payback periods of 10.8 and 21.7 years, respectively.

Additionally, the levelized cost of electricity (LCOE) for the PV system was €0.034/kWh, slightly below Algeria's electricity price of 0.035€/kWh. It was also significantly lower than electricity prices in Finland (0.0676€/kWh) and the EU average (0.1283€/kWh), highlighting the system's long-term economic appeal.

The findings of this thesis demonstrate the potential to transform buildings into positive energy systems with carbon neutrality through a combination of passive and active energy efficiency measures and renewable energy integration. These results provide valuable insights for optimizing energy performance and building sustainability, particularly in Algeria and similar contexts. This work establishes a solid framework for reducing energy needs and emissions, promoting sustainable building design in diverse economic and climatic settings.

**Keywords:** Energy efficiency, Positive energy building, Low energy building, Passive measures, Active measures, Renewable energies, TRNSYS, Carbon neutrality.

## RESUME

Le secteur du bâtiment connaît une augmentation significative de sa consommation d'énergie en raison de l'urbanisation rapide, de la croissance démographique et des demandes croissantes d'amélioration du niveau de vie. Aujourd'hui, les bâtiments représentent environ 30 % de la consommation finale totale d'énergie mondiale, une grande partie étant consacrée au maintien du confort thermique des occupants. Cette augmentation des besoins énergétiques a également accru l'impact environnemental du secteur du bâtiment, ce qui en fait un contributeur majeur aux émissions de gaz à effet de serre. Par conséquent, la recherche de solutions efficaces pour réduire la consommation d'énergie est devenue une priorité mondiale.

Cette recherche examine le déploiement de mesures d'efficacité énergétique passives et actives, ainsi que l'intégration de ressources énergétiques renouvelables, pour parvenir à un bâtiment à énergie positive et à la neutralité carbone. L'étude se concentre sur l'optimisation de la performance énergétique d'un bâtiment scolaire individuel typique à Constantine (Algérie) grâce à des mesures appliquées séquentiellement visant à réduire les besoins énergétiques et les émissions de CO<sub>2</sub>. En utilisant l'outil de simulation thermique TRNSYS pour modéliser le bâtiment et ses interactions avec l'environnement, une série d'interventions a été explorée, notamment les configurations des murs et des fenêtres, les systèmes d'ombrage, la ventilation Naturelle et mécanique, et l'intégration d'un système photovoltaïque (PV).

Les résultats révèlent un potentiel d'économie d'énergie important. Etant donné que les besoins énergétiques annuels du bâtiment de référence étaient de 67,5kWh/m<sup>2</sup> et 7,7kWh/m<sup>2</sup> pour le chauffage et la climatisation respectivement, l'isolation thermique avec du polystyrène expansé (PE) a réduit le total de ces besoins énergétiques jusqu'à 38,3 kWh/m<sup>2</sup> pour une épaisseur de 15cm. Le double vitrage s'est avéré rentable, réduisant les besoins énergétiques de 5,9kWh/m<sup>2</sup>. Un ratio surface-fenêtre/surface-mur optimaux de 20% à l'est et de 40% au sud ont minimisé les besoins énergétiques, permettant une réduction annuelle de 4,5% par rapport au ratio du Bâtiment de référence. La protection solaire, en particulier un auvent rétractable combiné à des Stores extérieurs utilisés entre mai et octobre, a considérablement réduit les besoins de climatisation, avec des économies annuelles d'énergie atteignant 4,1kWh/m<sup>2</sup>. La ventilation naturelle nocturne a également montré un potentiel notable pour réduire les besoins de climatisation, atteignant une réduction de 4,5kWh/m<sup>2</sup> (44%) à un taux de renouvellement d'air

de 9vol/h, avec des compromis acceptables sur les besoins de chauffage. Une réduction de 0,3kWh/m<sup>2</sup> a été obtenue sur les besoins de climatisation après l'automatisation des stores extérieurs. Le système de ventilation mécanique avec récupération de chaleur s'est avéré très efficace, réduisant les besoins de chauffage de 75% et les besoins de climatisation de 30%.

L'intégration d'un système photovoltaïque a permis de couvrir entièrement les besoins en électricité du bâtiment, y compris l'éclairage, la ventilation mécanique et les systèmes de chauffage et de climatisation, tout en le surplus de production dans le réseau. Cette intégration a permis d'atteindre un bilan énergétique positif pour le bâtiment.

D'un point de vue environnemental, les mesures d'efficacité énergétique combinées ont réduit les émissions de CO<sub>2</sub> de 1772kgCO<sub>2</sub>/an pour le bâtiment de référence à 0 kgCO<sub>2</sub>/an, atteignant Ainsi la neutralité carbone. D'un point de vue économique, l'analyse du coût du cycle de vie (CCV) a montré que la rentabilité des mesures étudiées est intrinsèquement liée aux prix de l'énergie. En Algérie, où Les prix de l'énergie sont fortement subventionnés, les mesures n'étaient pas rentables, avec un CCV de 5449€ et une période de retour sur investissement dépassant la durée de vie du bâtiment. Cependant, dans les régions où les prix de l'énergie sont plus élevés, comme la Finlande et le prix moyen de l'Union européenne, des réductions significatives du CCV ont été réalisées. Ce dernier est passé de 10895€ pour un bâtiment de référence à 5449€ pour un bâtiment optimisé en Finlande et de 6005€ à 5449€ pour le prix moyen de l'UE, ce qui a permis d'obtenir des périodes de retour sur investissement de 10,8 et 21,7ans, respectivement.

De plus, le coût actualisé de l'électricité (CAE) du système photovoltaïque était de 0,034€/kWh. Ce coût est légèrement inférieur au prix de l'électricité en Algérie, qui s'élève à 0,035€/kWh. Il Est également considérablement inférieur aux prix de l'électricité en Finlande (0,0676€/kWh) et à la moyenne de l'Union européenne (0,1283€/kWh), soulignant l'attrait économique à long terme du système.

Les résultats de cette thèse démontrent le potentiel de transformation des bâtiments en systèmes à énergie positive avec neutralité carbone grâce à une combinaison de mesures d'efficacité énergétique passives et actives et à l'intégration d'énergies renouvelables. Ces résultats fournissent des informations précieuses pour l'optimisation de la performance énergétique et de la durabilité des bâtiments, en particulier en Algérie et dans des contextes similaires. Ce travail établit un cadre solide pour la réduction des besoins énergétiques et des émissions, favorisant la conception de bâtiments durables dans divers contextes économiques et climatiques.

**Mots clés** : Efficacité énergétique, bâtiment à énergie positive, bâtiment à basse consommation, Mesures passives, Mesures actives, Energies renouvelables, TRNSYS, Neutralité carbone.

## ملخص

يشهد قطاع البناء زيادة كبيرة في استهلاك الطاقة نتيجة للتوسع العمراني السريع، والنمو السكاني، وزيادة الطلب على تحسين مستوى المعيشة. تمثل المباني اليوم حوالي 30 ٪ من إجمالي الاستهلاك النهائي للطاقة عالمياً، مع تخصيص جزء كبير منه للحفاظ على الراحة الحرارية للسكان. وقد أدت هذه الزيادة في الطلب على الطاقة إلى تضخيم الأثر البيئي لقطاع البناء، مما يجعله مساهماً رئيسياً في انبعاثات الغازات الدفيئة. وبناءً على ذلك، أصبحت الحاجة إلى حلول فعالة لتقليل استهلاك الطاقة أولوية عالمية.

تتناول هذه الدراسة تطبيق تدابير كفاءة الطاقة السلبية والنشطة، إلى جانب دمج مصادر الطاقة المتجددة، لتحقيق مبنى إيجابي الطاقة وحياد كربوني. تركز الدراسة على تحسين الأداء الطاقوي لمبنى مدرسي نموذجي في مدينة قسنطينة، الجزائر، من خلال تطبيق تدابير متتالية تهدف إلى تقليل احتياجات الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد

الكربون باستخدام أداة المحاكاة الحرارية TRNSYS لنمذجة المبنى وتفاعلاته مع البيئة، تم استكشاف مجموعة من التدخلات، بما في ذلك تصميم الجدران والنوافذ، وأنظمة التظليل، والتهوية الطبيعية والميكانيكية، ودمج نظام الخلايا الشمسية الكهروضوئية.

أظهرت النتائج وجود إمكانات كبيرة لتوفير الطاقة. احتياجات الطاقة السنوية للمبنى المرجعي بلغت 67.5 كيلوواط ساعة/م<sup>2</sup> للتدفئة و 7.7 كيلوواط ساعة/م<sup>2</sup> للتبريد. وقد أدى استخدام العزل الحراري بمادة البوليستيرين الموسع (PE) إلى خفض إجمالي هذه الاحتياجات إلى 38.3 كيلوواط ساعة/م<sup>2</sup> بسماكة 15 سم. أثبتت النوافذ مزدوجة الزجاج جدواها الاقتصادية حيث خفضت الاحتياجات الطاقوية 5.9 كيلوواط ساعة/م<sup>2</sup>. حققت نسب مثلى للنوافذ إلى الجدران بنسبة 20% للواجهة الشرقية بمقدار و 40% للواجهة الجنوبية قليلاً في احتياجات الطاقة بنسبة 4.5% سنوياً مقارنة بالمبنى المرجعي.

خفضت الحماية الشمسية، وخاصة استخدام مظلات قابلة للطي مع ستائر خارجية خلال الفترة من مايو إلى أكتوبر، احتياجات التبريد بشكل كبير، مع تحقيق توفير طاقة سنوي يصل إلى 4.1 كيلوواط ساعة/م<sup>2</sup> أظهرت التهوية الطبيعية الليلية أيضاً، إمكانات ملحوظة حيث خفضت احتياجات التبريد بمقدار 4.5 كيلوواط ساعة/م<sup>2</sup> ب (44%) معدل تجديد هواء 9 مرات/ساعة، مع مقايضات مقبولة في احتياجات التدفئة، وتم تحقيق خفض إضافي بمقدار 0.3 كيلوواط ساعة/م<sup>2</sup> التشغيل في احتياجات التبريد بعد التشغيل الآلي للستائر الخارجية. أثبت نظام التهوية الميكانيكية مع استرداد الحرارة فعاليته الكبيرة، حيث خفض احتياجات التدفئة بنسبة 75% واحتياجات التبريد بنسبة 30%. أتاح دمج نظام الخلايا الشمسية الكهروضوئية تغطية كامل احتياجات المبنى من الكهرباء، بما في ذلك الإضاءة، التهوية الميكانيكية، وأنظمة التدفئة والتبريد، مع تصدير الفائض إلى الشبكة. وقد ساعد هذا التكامل في تحقيق توازن طاقي إيجابي للمبنى.

من الناحية البيئية، خفضت تدابير كفاءة الطاقة مجتمعة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من 1772 كجم /سنة للمبنى المرجعي إلى 0 كجم /سنة، مما أدى إلى تحقيق حياد كربوني.

أما من الناحية الاقتصادية، أظهرت تحليلات تكلفة دورة الحياة (LCC) أن الجدوى الاقتصادية للتدابير المدروسة مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بأسعار الطاقة. في الجزائر، حيث يتم دعم أسعار الطاقة بشكل كبير، لم تكن التدابير مجدية اقتصادياً، مع تكلفة دورة حياة تبلغ 5449 يورو وفترة استرداد تتجاوز عمر المبنى. ومع ذلك، في المناطق ذات الأسعار المرتفعة للطاقة، مثل فنلندا ومتوسط الاتحاد الأوروبي، تم تحقيق تخفيضات كبيرة في تكلفة دورة الحياة. انخفضت تكلفة دورة الحياة من 10895 يورو للمبنى المرجعي إلى 5449 يورو للمبنى المحسن في فنلندا، ومن 6005 يورو إلى 5449 يورو لمتوسط الاتحاد الأوروبي، مع فترات استرداد بلغت 10.8 و 21.7 سنة على التوالي. بالإضافة إلى ذلك، بلغ التكلفة المستوية للكهرباء (LCOE) للنظام الكهروضوئي 0.034 يورو/كيلوواط ساعة، وهو أقل من سعر الكهرباء في الجزائر (0.035 يورو/كيلوواط ساعة) وأقل بكثير من الأسعار في فنلندا (0.0676 يورو/كيلوواط ساعة) ومتوسط الاتحاد الأوروبي (0.1283 يورو/كيلوواط ساعة)، مما يبرز جاذبية النظام الاقتصادية على المدى الطويل.

توضح نتائج هذه الدراسة الإمكانيات لتحويل المباني إلى أنظمة إيجابية الطاقة وحيادية الكربون من خلال مزيج من تدابير كفاءة الطاقة السلبية والنشطة ودمج مصادر الطاقة المتجددة. توفر هذه النتائج رؤى قيمة لتحسين الأداء الطاقي واستدامة المباني، خاصة في الجزائر وفي سياقات مماثلة، كما تضع إطار عمل قوياً لتقليل احتياجات الطاقة والانبعاثات، مما يدعم تصميم مبانٍ مستدامة في ظروف اقتصادية ومناخية متنوعة.

**الكلمات المفتاحية:** كفاءة الطاقة، مباني الطاقة الإيجابية، المباني منخفضة الاستهلاك، التدابير السلبية، التدابير

النشطة، الحياد الكربوني

