



Module 6

Audits de transfert thermique et d'énergie des bâtiments

Elaboré par

EUROTraining Educational
Organization



Co-funded by
the European Union



Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or CINEA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.





- Comprendre comment la chaleur se déplace dans les bâtiments
- Découvrez des techniques d'isolation efficaces
- Améliorer l'efficacité énergétique et le confort



Co-funded by
the European Union



Contenu du module 6

Leçon 39	Composantes des pertes et gains thermiques des bâtiments		
Leçon 40	Éléments constitutifs des pertes et gains thermiques des bâtiments		
Leçon 41	Principes fondamentaux des audits énergétiques des bâtiments		
Leçon 42	Instrumentation de base pour les audits énergétiques		
Leçon 43	Collecte de données de base		
Leçon 44	Stratégies de rénovation de l'enveloppe du bâtiment		

LEÇON 39

Éléments constitutifs des pertes et des gains thermiques des bâtiments

Introduction aux pertes et gains thermiques des bâtiments

Les pertes et gains thermiques des bâtiments sont des facteurs essentiels qui déterminent l'énergie nécessaire au chauffage ou au refroidissement. Dans cette leçon, nous explorons les mécanismes par lesquels les bâtiments perdent de la chaleur en hiver et en gagnent en été. La compréhension de ces éléments est essentielle pour les professionnels de la conception de pompes à chaleur et de systèmes CVC.

Les principaux facteurs de déperdition et de gain thermiques sont les suivants :

- La conduction thermique à travers l'enveloppe du bâtiment (murs, toitures, sols, fenêtres)
- Les apports solaires à travers les vitrages
- Les infiltrations d'air et la ventilation
- Les apports de chaleur internes provenant des appareils électroménagers, de l'éclairage et des occupants



Conduction thermique à travers les murs, les toitures et les sols

La conduction est le transfert de chaleur à travers des matériaux solides tels que les murs, les toits et les sols. Le débit de chaleur dépend de la valeur U du matériau et de la différence de température à travers celui-ci.

Formule clé : $Q = U \cdot A \cdot (T_i - T_o)$, où :

- Q est le flux thermique en watts
- U est la valeur U (coefficient de transfert thermique)
- A est la surface
- T_i et T_o sont respectivement les températures intérieure et extérieure

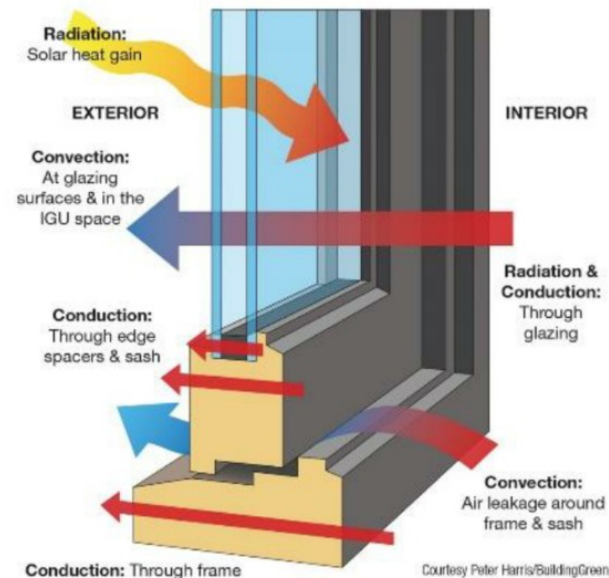
Une isolation adéquate est essentielle pour minimiser les pertes de chaleur en hiver et les apports de chaleur en été

Conduction thermique à travers les fenêtres et les vitrages

Les fenêtres constituent des points faibles sur le plan thermique dans l'enveloppe d'un bâtiment, car le verre est un mauvais isolant par rapport aux murs ou aux toitures.

Les fenêtres à simple vitrage peuvent présenter des coefficients U pouvant atteindre $5,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Le double vitrage réduit considérablement les pertes de chaleur, avec des coefficients U d'environ $2,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, et le triple vitrage peut se rapprocher des performances d'isolation d'un mur.

Conduction thermique à travers les fenêtres et les vitrages



Pour réduire les transferts thermiques, envisagez d'utiliser des revêtements de vitrage à faible émissivité, des remplissages à l'argon ou des cadres isolés. Une bonne étanchéité autour des fenêtres est également essentielle pour éviter les courants d'air.



Co-funded by
the European Union

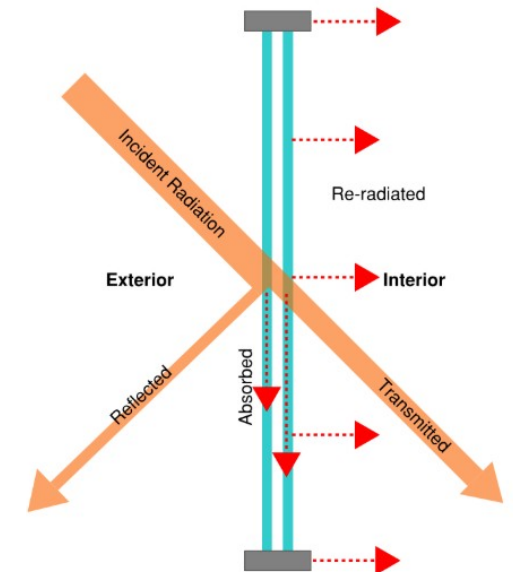


Apport solaire par les vitrages (fenêtres)

Le rayonnement solaire traverse les matériaux transparents tels que le verre des fenêtres et réchauffe les surfaces intérieures du bâtiment. En hiver, les apports solaires peuvent contribuer à réduire les besoins en chauffage, mais en été, ils peuvent entraîner une surchauffe et accroître les besoins en climatisation.

Les stratégies de conception comprennent :

- Une orientation adéquate des fenêtres pour maximiser les apports solaires en hiver
- L'utilisation de dispositifs d'ombrage pour bloquer le soleil en été
- Le choix de vitrages à faible coefficient de transmission solaire (SHGC) ou de revêtements réfléchissants pour minimiser les apports solaires indésirables dans les climats chauds.



Infiltration d'air et ventilation

L'infiltration désigne les fuites d'air indésirables par les fissures et les interstices de l'enveloppe du bâtiment, tandis que la ventilation est l'échange contrôlé de l'air intérieur avec l'air frais extérieur. Ces deux processus ont une incidence sur les besoins en chauffage et en climatisation.

L'infiltration d'air ajoute de l'air froid ou chaud indésirable qui doit être chauffé ou refroidi. Pour minimiser l'infiltration, utilisez des méthodes d'étanchéité telles que le calfeutrage et les joints d'étanchéité. Pour la ventilation, les systèmes HRV peuvent récupérer la chaleur de l'air évacué afin de minimiser les pertes d'énergie.

Apports thermiques internes provenant des personnes, des appareils électroménagers et de l'éclairage

Les apports thermiques internes proviennent des personnes, des appareils électroménagers et de l'éclairage. Ces sources peuvent contribuer à réduire les besoins en chauffage en hiver, mais augmentent les besoins en climatisation en été.

Exemples :

- Les personnes génèrent de la chaleur métabolique, généralement d'environ 100 W par personne.
- L'éclairage, en particulier les ampoules peu efficaces, ajoute de la chaleur au bâtiment.
- Les appareils électroménagers tels que les réfrigérateurs et les ordinateurs dégagent de la chaleur, un sous-produit de leur consommation d'énergie.



LEÇON 40

Charges de chauffage et de refroidissement



Co-funded by
the European Union



Bilan énergétique général d'une zone thermique

Chaque bâtiment ou pièce peut être considéré comme une zone thermique avec des flux de chaleur entrants et sortants

- La chaleur provient du rayonnement solaire, des apports internes (occupants, appareils électroménagers, éclairage) et des systèmes de chauffage.
- La chaleur sort par l'enveloppe du bâtiment : par conduction à travers les murs, les fenêtres, le toit et le sol, ainsi que par les échanges d'air.

Notion de charge thermique (sensible et latente)

Les charges thermiques désignent l'énergie thermique qui doit être ajoutée ou évacuée d'un espace pour maintenir le confort.

- Charge thermique sensible : elle influe sur la température de l'air, par exemple la chaleur dégagée par les appareils électroménagers, les personnes et le rayonnement solaire.
- Charge thermique latente : elle influe sur la teneur en eau de l'air (humidité). Il s'agit de l'énergie nécessaire pour évaporer ou condenser l'humidité.

Conditions de conception pour le chauffage et la climatisation

Lors du dimensionnement des systèmes CVC, les conditions de conception sont choisies de manière à garantir le confort même en cas de conditions météorologiques extrêmes.

- Les conditions de conception intérieures varient généralement entre 20 et 22 °C pour le chauffage (hiver) et entre 25 et 26 °C pour le refroidissement (été).
- Les conditions de conception extérieures sont basées sur des données de température extrêmes mais réalistes : les plus froides pour le chauffage, les plus chaudes pour le refroidissement.

Autres considérations pratiques concernant le dimensionnement des systèmes et les types de bâtiments

Des facteurs pratiques influencent le dimensionnement du système au-delà des calculs de charge thermique de base:

- Des marges de sécurité sont souvent ajoutées (environ 10 % de capacité supplémentaire) pour tenir compte des incertitudes, mais le surdimensionnement réduit le rendement.
- La masse thermique (construction lourde ou légère) influe sur la rapidité avec laquelle les températures changent, ce qui affecte la charge de chauffage/refroidissement.
- L'étanchéité à l'air et les stratégies de ventilation (par exemple, les VRC) sont essentielles, en particulier pour les systèmes tels que les pompes à chaleur qui reposent sur une infiltration minimale.

LEÇON 41

Principes fondamentaux des audits énergétiques des bâtiments

Introduction aux audits énergétiques

Un audit énergétique est une évaluation systématique de la consommation et de la performance énergétiques d'un bâtiment.

Dans le cadre de projets de rénovation, les audits énergétiques sont essentiels pour identifier les inefficacités et améliorer la performance énergétique. L'audit fournit une feuille de route pour les améliorations visant à économiser l'énergie, en établissant une base de référence de la performance actuelle et en mettant en évidence les domaines à améliorer.

Objectifs principaux et avantages des audits énergétiques

Les principaux objectifs d'un audit énergétique sont les suivants :

- **Identifier les inefficacités** : repérer les sources de gaspillage d'énergie telles qu'une mauvaise isolation, des équipements obsolètes ou des problèmes opérationnels.
- **Hiérarchiser les améliorations** : classer les mesures d'économie d'énergie (MEE) afin de maximiser les économies d'énergie et la réduction des coûts.
- **Optimiser le retour sur investissement et les aides financières** : calculer les coûts et les économies, et identifier les aides gouvernementales ou les possibilités de financement.
- **Assurer l'optimisation du système** : détecter les solutions rapides aux gaspillages d'énergie, tels que les équipements défectueux ou les commandes mal calibrées.
- **Améliorer les performances et le confort** : améliorer les performances du bâtiment, réduire les factures d'énergie et diminuer l'impact environnemental.

Installation de pompes à chaleur dans le cadre de la rénovation de bâtiments

Pour la modernisation des pompes à chaleur, la rénovation des bâtiments est essentielle afin d'optimiser les performances.

Facteurs clés pour une intégration réussie :

- Réduire les besoins en chauffage : l'amélioration de l'isolation et la réduction des déperditions thermiques permettent à la pompe à chaleur de fonctionner à des températures plus basses (40–50 °C).
- Abaissement des températures de distribution : la conversion des radiateurs ou l'installation d'un chauffage par le sol permet aux pompes à chaleur de fonctionner efficacement.
- Optimisation du système : le réglage des commandes et la réduction des baisses de température garantissent que la pompe à chaleur fonctionne dans sa plage de température optimale, améliorant ainsi le SCOP (coefficient de performance saisonnier).

Types d'audits énergétiques selon leur niveau d'approfondissement

L'intensité des audits énergétiques varie en fonction des besoins du projet :

- Audit sommaire (audit préliminaire) : examen rapide et général de la consommation d'énergie, accompagné d'inspections visuelles.
- Audit complet (général ou détaillé) : une analyse approfondie des factures d'énergie, des performances du système et des mesures sur site.
- Audit de niveau investissement : une analyse technique détaillée à l'aide d'un modèle énergétique calibré, incluant des sous-comptages et des simulations dynamiques pour prédire les économies avec précision.

Normes clés (ISO 50002, EN 16247)

Les normes fournissent des cadres pour la réalisation d'audits énergétiques, garantissant cohérence et comparabilité :

- **EN 16247** : une norme européenne relative aux audits énergétiques, fournissant des lignes directrices pour les bâtiments, les systèmes CVC et les stratégies de contrôle.
- **ISO 50002** : une norme mondiale relative aux audits énergétiques, alignée sur la norme ISO 50001 relative aux systèmes de gestion de l'énergie.
- **Normes EPB (EN ISO 52000-1)** : utilisées pour calculer la performance énergétique globale d'un bâtiment, elles sont essentielles pour évaluer les économies d'énergie réalisées grâce aux rénovations.
- **ISO 50015** : une norme pour la surveillance, la mesure et la vérification de la performance énergétique, garantissant que les économies prévues sont réalisées

LEÇON 42

Instrumentation de base pour les audits énergétiques



Co-funded by
the European Union



Introduction à l'instrumentation pour les audits énergétiques

L'instrumentation est essentielle dans les audits énergétiques pour recueillir des données fiables sur la performance énergétique d'un bâtiment.

Les principaux instruments comprennent des capteurs pour les conditions environnementales intérieures, des appareils de mesure du débit d'air, des compteurs électriques, des analyseurs de combustion, des caméras thermiques et des outils pour tester l'étanchéité à l'air.

Ces instruments permettent de diagnostiquer les inefficacités énergétiques, d'identifier les possibilités d'amélioration et de garantir des données précises pour la rénovation avec des pompes à chaleur.

Capteurs environnementaux intérieurs (température, humidité, CO₂, vitesse de l'air)

Les capteurs environnementaux intérieurs servent à mesurer les paramètres clés du confort et de la qualité de l'air:

- Capteurs de température (thermomètres, enregistreurs de données) : évaluent l'efficacité du chauffage ou de la climatisation des locaux.
- Capteurs d'humidité (hygromètres) : mesurent les niveaux d'humidité pour identifier les problèmes de ventilation insuffisante ou de contrôle du système CVC.
- Capteurs de CO₂ : utilisés pour surveiller la qualité de l'air intérieur et l'efficacité de la ventilation. Un taux élevé de CO₂ indique un apport d'air frais insuffisant.
- Capteurs de vitesse de l'air (anémomètres) : mesurent la vitesse du flux d'air pour garantir une distribution équilibrée du système CVC et identifier les courants d'air ou l'air stagnant.

Ces mesures garantissent que les améliorations visant à économiser l'énergie ne compromettent pas le confort ou la santé des occupants.

Mesure des débits d'air et d'eau dans les systèmes CVC

La mesure du débit est essentielle pour comprendre comment les fluides circulent dans les systèmes CVC :

- Anémomètres (à hélice ou à fil chaud) : mesurent la vitesse de l'air, ce qui permet d'évaluer les performances des conduits et des bouches d'aération.
- Tubes de Pitot : mesurent la pression dynamique dans les conduits, ce qui permet de calculer le débit d'air et de détecter les déséquilibres de débit.
- Capots de capture de débit : mesurent le volume d'air en s'adaptant sur les diffuseurs ou les grilles.
- Débitmètres d'eau (par exemple, débitmètres à ultrasons à pince) : mesurent le débit d'eau chaude dans les systèmes de chauffage hydroniques afin d'évaluer le transfert de chaleur et l'équilibre du système.

Des mesures précises du débit garantissent le fonctionnement efficace des systèmes CVC et sont essentielles lors de la modernisation avec des pompes à chaleur.



Compteurs de consommation électrique

Les compteurs de consommation électrique mesurent la quantité d'énergie consommée par les équipements ainsi que leur rendement.

- Pinces ampèremétriques : elles mesurent le courant circulant dans les conducteurs sans contact direct, ce qui est utile pour contrôler les équipements importants tels que les systèmes CVC.
- Analyseurs de puissance : mesurent la tension, le courant, la puissance, l'énergie et le facteur de puissance. Ils aident à établir des profils de charge et à identifier les inefficacités telles que les moteurs surdimensionnés ou un éclairage inefficace.

Ces outils permettent d'évaluer si l'infrastructure électrique du bâtiment peut prendre en charge la mise à niveau vers une pompe à chaleur et d'identifier les possibilités d'économies.

Analyseurs de combustion pour les systèmes de chauffage

Les analyseurs de combustion sont utilisés dans les bâtiments équipés de systèmes de chauffage à combustion (gaz, fioul, biomasse) pour mesurer le rendement de la combustion du combustible.

L'analyseur mesure l'O₂, le CO, le CO₂, les NO_x et la température des gaz de combustion. Il fournit des données sur le rendement de combustion, l'excès d'air et la sécurité (par exemple, les niveaux de CO). Ces informations permettent d'identifier des problèmes tels qu'une combustion incomplète ou un gaspillage d'énergie excessif avant de procéder à la modernisation avec une pompe à chaleur.

Les données sur le rendement de combustion fournissent une base de référence pour les économies d'énergie, ce qui justifie l'installation d'une pompe à chaleur.



Imagerie thermique (thermographie infrarouge)

L'imagerie thermique (thermographie infrarouge) sert à détecter les différences de température sur les surfaces des bâtiments.

- Elle permet d'identifier les lacunes d'isolation, les ponts thermiques et les fuites d'air.
- Elle révèle des problèmes cachés tels que l'accumulation d'humidité ou l'absence d'isolation.
- Elle est utile lors de la modernisation des pompes à chaleur pour localiser les zones de déperdition thermique et hiérarchiser les améliorations.

Les images thermiques montrent la chaleur qui s'échappe par les interstices ou les zones mal isolées, ce qui permet de définir les priorités de rénovation.

Test d'étanchéité à l'air (méthode du « blower door »)

Le test d'étanchéité à l'air, souvent réalisé à l'aide de la méthode du blower door, est essentiel pour détecter les fuites d'air dans l'enveloppe du bâtiment.

Les portes soufflantes pressurisent ou dépressurisent le bâtiment, mesurant le débit d'air nécessaire pour maintenir une différence de pression.

Le résultat est exprimé en renouvellements d'air par heure (ACH_{50}), ce qui indique le degré de perméabilité du bâtiment.

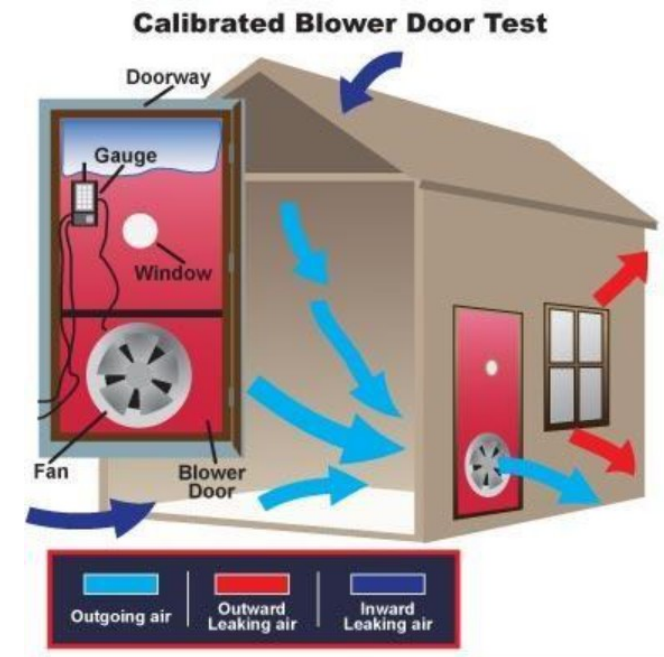
L'identification des fuites permet de réaliser des travaux d'étanchéité à l'air afin de réduire les pertes d'énergie et d'améliorer l'efficacité de la pompe à chaleur.

Ce test garantit que le bâtiment est correctement étanchéifié avant l'installation d'une pompe à chaleur, optimisant ainsi la performance énergétique.



Test d'étanchéité à l'air (méthode du «Blower Door»)

Ce test permet de s'assurer que le bâtiment est correctement étanchéifié avant l'installation d'une pompe à chaleur, afin d'optimiser la performance énergétique



Étalonnage et précision des instruments

L'étalonnage garantit que les instruments fournissent des données précises et fiables lors des audits énergétiques.

Avantages :

- Des mesures précises constituent la base d'audits énergétiques fiables.
- L'étalonnage garantit que les mesures sont conformes aux normes de référence nationales ou internationales.
- Un étalonnage correct améliore la prise de décision en matière de rénovations, de dimensionnement des équipements et d'amélioration des performances.

Des instruments imprécis peuvent entraîner des erreurs, des pratiques dangereuses et un dimensionnement inapproprié de systèmes tels que les pompes à chaleur !

LEÇON 43

Collecte des données de base

Introduction à la collecte de données dans le cadre des audits énergétiques

La collecte des données pertinentes est essentielle pour les audits énergétiques, en particulier pour la planification des rénovations.

Les principales catégories de données sont les suivantes :

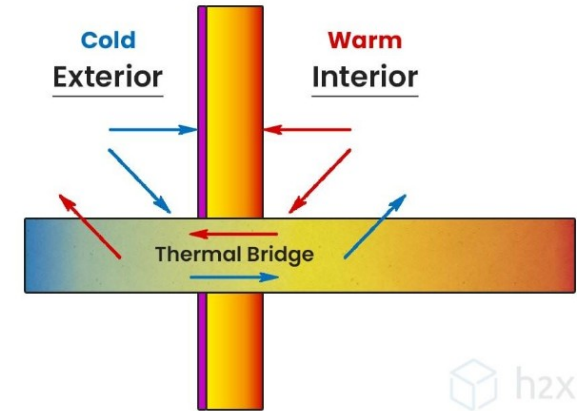
- L'enveloppe du bâtiment (murs, fenêtres, toitures, etc.)
- Zones thermiques (zones présentant des besoins similaires en matière de chauffage et de climatisation)
- Historique des factures d'énergie (habitudes de consommation d'énergie)
- Données météorologiques locales (température, humidité, rayonnement solaire)
- Détails relatifs à l'occupation (nombre d'occupants et leur comportement)
- Systèmes CVC (équipements et réseau de distribution)

Enveloppe du bâtiment : murs, fenêtres, ponts thermiques

L'enveloppe du bâtiment sépare les environnements intérieurs et extérieurs, ce qui a une incidence sur la consommation d'énergie.

Éléments clés à documenter :

- Murs : construction, niveaux d'isolation, type de matériaux.
- Fenêtres : type (simple ou double vitrage) et orientation (qui influe sur les apports solaires).
- Portes : isolation et étanchéité.



Zones thermiques

Les zones thermiques regroupent les espaces ayant des besoins similaires en matière de chauffage et de climatisation.

Lors de la collecte des données, les auditeurs :

- Définissent quelles pièces ou zones font partie de chaque zone.
- Répertorient les systèmes CVC desservant chaque zone.
- Notent les points de consigne de température, les méthodes de régulation et les horaires de fonctionnement.

Cela permet de mieux comprendre les apports thermiques internes, les niveaux de confort et la consommation d'énergie dans les différentes parties du bâtiment.

Factures de services publics

Les factures de services publics fournissent des informations essentielles sur les habitudes de consommation d'énergie.

Les auditeurs analysent :

- La consommation mensuelle d'électricité, de gaz et de combustible de chauffage.
- Les variations saisonnières de la consommation d'énergie (demande de climatisation vs chauffage).
- Les anomalies susceptibles d'indiquer des inefficacités.

Les données issues des factures d'énergie permettent d'établir une base de référence pour la consommation d'énergie et d'identifier les possibilités d'amélioration.

Données météorologiques : sources et importance

Les données météorologiques sont essentielles pour normaliser la consommation d'énergie et calculer les charges de chauffage et de climatisation.

Les auditeurs recueillent :

- Les caractéristiques climatiques locales (température, humidité, rayonnement solaire).
- Les degrés-jours de chauffage (DJC) et les degrés-jours de refroidissement (DJC) pour l'emplacement du bâtiment.

Les données météorologiques permettent de comparer les performances du bâtiment d'une année à l'autre et d'ajuster la consommation d'énergie en fonction des variations de température extérieure.

Données sur la fréquentation

Les données d'occupation ont une incidence sur la consommation d'énergie et le niveau de confort dans un bâtiment

Les informations clés à recueillir sont les suivantes :

- Le nombre d'occupants et leurs horaires.
- Les habitudes d'occupation (par exemple, les week-ends, les jours fériés).
- Les activités générant de la chaleur ou de l'humidité (par exemple, la cuisine, l'exercice physique).

La compréhension de l'occupation permet d'adapter le fonctionnement du système CVC et les commandes de zonage, réduisant ainsi la consommation d'énergie

Unités terminales et systèmes de production de chaleur

La collecte de données sur les systèmes CVC est essentielle pour comprendre la performance énergétique des bâtiments.

Les auditeurs consignent :

- Le type de chauffage (par exemple, chaudière à gaz, pompe à chaleur) et de systèmes de refroidissement (par exemple, climatisation, refroidisseurs).
- Spécifications : numéros de modèle, capacités, types de combustible, rendements.
- Unités terminales : radiateurs, ventilo-convecteurs ou caissons VAV.

Cet inventaire permet d'identifier les inefficacités et d'éclairer les décisions de rénovation, telles que la modernisation des équipements ou le passage à des pompes à chaleur.

LEÇON 44

Stratégies de rénovation de l'enveloppe du bâtiment



Co-funded by
the European Union



Réduire les besoins en chauffage et l'impact des pompes à chaleur

La rénovation de l'enveloppe du bâtiment afin de réduire la demande en chauffage est une stratégie essentielle pour un fonctionnement efficace des pompes à chaleur.

En améliorant l'isolation et l'étanchéité à l'air, les bâtiments peuvent utiliser des pompes à chaleur plus petites, ce qui réduit les coûts et la consommation d'énergie.

Des études montrent que l'amélioration de l'isolation peut réduire la demande de chauffage jusqu'à 50 %, garantissant ainsi une meilleure efficacité des pompes à chaleur et une durée de vie plus longue.

Éléments de l'enveloppe du bâtiment et déperdition thermique

L'enveloppe du bâtiment, qui comprend les murs, le toit, les sols, les fenêtres et les portes, a une incidence significative sur les pertes thermiques.

Les murs représentent 35 à 40 % des pertes thermiques, le toit 15 à 25 %, et les fenêtres constituent souvent le maillon faible.

En traitant les ponts thermiques et en améliorant l'isolation de ces éléments, on peut réduire considérablement les pertes thermiques globales.

Problèmes courants liés à l'enveloppe des bâtiments existants

Les bâtiments anciens souffrent souvent d'une isolation insuffisante, de fenêtres obsolètes, d'importantes fuites d'air et de ponts thermiques. Ces défauts entraînent une augmentation de la consommation d'énergie et une diminution du confort. Il est essentiel de remédier à ces problèmes, par exemple en améliorant l'isolation, en colmatant les interstices et en remplaçant les vieilles fenêtres, pour améliorer la performance énergétique.

Évaluation des besoins en matière de rénovation: inspections et méthodes de diagnostic

Une planification efficace des travaux de rénovation commence par une évaluation approfondie à l'aide d'outils de diagnostic tels que la thermographie infrarouge et les tests d'étanchéité à l'air.

La thermographie permet d'identifier les pertes de chaleur dues aux failles dans l'isolation et aux ponts thermiques, tandis que les tests d'étanchéité à l'air mesurent l'étanchéité à l'air et localisent les points de fuite d'air.

Solutions de rénovation (étanchéité à l'air, modernisation des vitrages, contrôle de l'humidité)

Les principales solutions de rénovation comprennent l'amélioration de l'isolation, la modernisation du vitrage, l'étanchéification des fuites d'air et la gestion de l'humidité.

L'isolation des murs extérieurs, l'isolation des murs intérieurs et l'isolation des murs creux sont des méthodes courantes.

La mise à niveau des fenêtres vers le double vitrage réduit les pertes de chaleur, tandis que le contrôle de l'humidité prévient la condensation et la moisissure.

Types de matériaux isolants

Parmi les différents matériaux isolants, on trouve la laine minérale, les isolants en mousse comme l'EPS et le PIR, les fibres naturelles comme la cellulose et le chanvre, ainsi que des matériaux de pointe comme les aérogels.

Chacun présente ses propres avantages et applications adaptées, comme la laine minérale pour sa résistance au feu et la cellulose pour ses solutions écologiques et respirantes.

Méthodes générales d'installation

L'isolation peut être installée à l'extérieur, à l'intérieur ou dans les cavités, chacune de ces méthodes présentant des avantages spécifiques.

L'isolation des murs extérieurs (EWI) offre une protection thermique continue sans réduire l'espace intérieur, tandis que l'isolation des murs intérieurs (IWI) préserve l'esthétique extérieure.

L'isolation des murs creux (CWI) est une solution économique pour les maisons datant du milieu du XXe siècle.

Principes de la gestion de l'humidité

La maîtrise de l'humidité est essentielle lors de la rénovation de l'enveloppe du bâtiment.

Cela implique d'empêcher l'eau de s'infiltrer, de garantir une isolation et une étanchéité à l'air continues, d'utiliser des stratégies appropriées de contrôle de la vapeur d'eau et d'assurer une ventilation pour permettre la dissipation de l'humidité.

Une approche équilibrée garantit l'efficacité énergétique tout en prévenant la condensation et la moisissure.

Points clés

- ✓ Vous pouvez **identifier les principaux mécanismes de perte et de gain de chaleur** (conduction, apports solaires, infiltration/ventilation, apports internes) et expliquer comment ils influencent le comportement du bâtiment.
- ✓ Vous savez **traduire les flux thermiques en charges** en utilisant le bilan énergétique par zone thermique et en distinguant les charges **sensibles des charges latentes**.
- ✓ Vous comprenez **pourquoi les audits énergétiques sont prioritaires** dans la rénovation: établir une base de référence, identifier les pertes les plus importantes, hiérarchiser les mesures et étayer les décisions d'investissement.
- ✓ Vous savez sélectionner et interpréter **les principaux outils et données d'audit** (capteurs intérieurs, débit d'air/d'eau, comptage électrique, thermographie, test d'étanchéité à l'air) et expliquer pourquoi **l'étalonnage** garantit la crédibilité de l'audit.
- ✓ Vous pouvez appliquer **la logique de rénovation « fabric-first »**: réduire la demande, améliorer l'étanchéité à l'air, gérer l'humidité et permettre **une distribution à basse température** pour améliorer les performances saisonnières des pompes à chaleur.



Co-funded by
the European Union



Bibliographie

- Alhawari, A., & Mukhopadhyaya, P. (2018). Ponts thermiques dans les enveloppes de bâtiments – Aperçu des impacts et des solutions. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 9(1), 31-40.
- Theodosiou, T., Tsikaloudaki, K., Kontoleon, K., & Giarma, C. (2021). Évaluation de la précision des méthodologies de prédiction des flux thermiques liés aux ponts thermiques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136, 110437 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110437>
- Liu, X., Zhang, T., Liu, X., & Jiang, Y. (2021). Apport d'air extérieur en hiver pour les terminaux d'aéroport de grande superficie : infiltration d'air vs ventilation mécanique. *Building and Environment*, 190, 107545 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107545>
- Lyu, Y., Zheng, S., Zhuo, K., Su, H., Li, J., & Liu, C. (2022). Étude expérimentale et numérique des performances d'une fenêtre à circulation d'eau avec vitrage isolant sous vide. *Solar Energy*, 233, 259-270 <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.01.034>
- Marino, B. M., Muñoz, N., & Thomas, L. P. (2017). Estimation des résistances thermiques de surface et des pertes de chaleur par conduction à l'aide de la thermographie. *Applied Thermal Engineering*, 114, 1213-1221.
- Mathur, U., & Damle, R. (2021). Impact du taux d'infiltration d'air sur la valeur de la transmittance thermique de l'enveloppe du bâtiment. *Journal of Building Engineering*, 40, 102302 <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102302>
- Saber, H. H. (2013). Corrélations pratiques pour la résistance thermique des espaces d'air clos verticaux dans les applications du bâtiment. *Building and environment*, 59, 379-396.
- Barone, G., Buonomano, A., Forzano, C., Giuzio, G. F., Palombo, A., & Russo, G. (2023). Un nouveau modèle de confort thermique basé sur des paramètres physiologiques pour la conception et le contrôle intelligents de systèmes CVC à haut rendement énergétique. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173, 113015 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113015>
- Gilbert, H. (2015). Équilibre énergétique. Dans : Vial, J.C., Engvold, O. (éd.) *Solar Prominences*. Astrophysics and Space Science Library, vol. 415. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10416-4_7
- González, V.G., Bandera, C.F. Une méthodologie d'étalonnage des modèles énergétiques de bâtiments basée sur une approche de modélisation inverse. *Build. Simul.* **15**, 1883–1898 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12273-022-0900-5>
- McQuiston, F. C., Parker, J. D., Spitler, J. D., & Taherian, H. (2023). *Chauffage, ventilation et climatisation : analyse et conception*. John Wiley & Sons.
- Oke, T. R. (1988). Le bilan énergétique urbain. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 12(4), 471-508. <https://doi.org/10.1177/030913338801200401> (Ouvrage original publié en 1988)

Bibliographie

- Beermann, C. (2022). Comparaison des normes internationales et européennes dans le domaine de la gestion de l'énergie. *International Journal of Mechanical Engineering*, 7.
- Davatgaran, V., Saniei, M., & Mortazavi, S. S. (2019). Gestion intelligente des réseaux de distribution tenant compte de la réponse à la demande électrique et thermique des pôles énergétiques. *Energy*, 169, 38-49.
- Glavaš, H., Zovko-Ribić, F., Dorić, D., & Talapko, D. (octobre 2018). Élaboration de normes de gestion de l'énergie. Dans *2018 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)* (pp. 185-189). IEEE.
- Kamran, M., Turzyński, M., & Shams, H. (2026). Audit énergétique stratégique et évaluation des systèmes. Dans *Innovative Energy Management* (pp. 37-83). Elsevier.
- Kumar, L. A. (2022). Principes fondamentaux de la gestion et de la conservation de l'énergie. Dans **Audit et gestion de l'énergie** (pp. 1-42). CRC Press.
- Li, Y., Rezgui, Y., & Zhu, H. (2017). Optimisation et amélioration du chauffage et du refroidissement urbains – Vers l'intégration des énergies renouvelables, du stockage et des réseaux intelligents. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 281-294.
- Thumann, A., Niehus, T., & Younger, W. J. (2020). Les bases de l'audit énergétique. *Handbook of Energy Audits*, neuvième édition, 1-17.
- Chen, B. T., & John, W. A. L. T. E. R. (2001). Étalonnage des instruments.
- Cuenca Sánchez, A., & Llumiquinga Eras, P. (2025). CONCEPTION D'UN COMPTEUR ÉDUCATIF DE CONSOMMATION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE À USAGE RÉSIDENTIEL. *Ingenius, Revista Ciencia y Tecnología*, (33).
- Díez, L. I., Cortés, C., Arauzo, I., & Valero, A. (2001). Surveillance de la combustion et du transfert thermique dans les grandes chaudières industrielles. *International journal of thermal sciences*, 40(5), 489-496.
- Hsu, Y. S., Zheng, X., Cooper, E., Gillott, M., & Wood, C. J. (2021). Évaluation de la répartition de la pression intérieure lors d'essais d'étanchéité à l'air des bâtiments à l'aide des méthodes par impulsion et par porte soufflante. *Building and Environment*, 195, 107742.
- Kumar, L. A. (2022). Principes fondamentaux de la gestion et de la conservation de l'énergie. Dans *Energy Audit and Management* (pp. 1-42). CRC Press.
- Mylonas, A., Kazanci, O. B., Andersen, R. K., & Olesen, B. W. (2019). Capacités et limites des capteurs sans fil de CO₂, de température et d'humidité relative. *Building and Environment*, 154, 362-374.
- Rausser, G., Strielkowski, W., & Štreimikienė, D. (2018). Compteurs intelligents et consommation d'électricité des ménages : une étude de cas en Irlande. *Energy & Environment*, 29(1), 131-146.
- Sfakianaki, A., Pavlou, K., Santamouris, M., Livada, I., Assimakopoulos, M. N., Mantas, P., & Christakopoulos, A. (2008). Mesures de l'étanchéité à l'air des maisons d'habitation à Athènes, en Grèce. *Building and Environment*, 43(4), 398-405.
- Sherman, M. (1995). L'utilisation des données de test d'étanchéité à l'air 1. *Indoor Air*, 5(3), 215-224.



Co-funded by
the European Union



Bibliographie

- Alvur, E., Cuce, P. M., Cuce, E., Bouabidi, A., & Soudagar, M. E. M. (2025). Les ponts thermiques dans les fenêtres : une analyse critique des stratégies d'atténuation pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. *Sustainable and Clean Buildings*, 176-193.
- Berggren, B., & Wall, M. (2013). Calcul des ponts thermiques dans les enveloppes de bâtiments (nordiques) – Risque de défaillance des performances dû à une utilisation incohérente de la méthodologie. *Energy and Buildings*, 65, 331-339.
- Biyik, E., & Kahraman, A. (2019). Une stratégie de contrôle prédictif pour la gestion optimale de la charge de pointe, du confort thermique, du stockage d'énergie et des énergies renouvelables dans les bâtiments à zones multiples. *Journal of building engineering*, 25, 100826.
- Capozzoli, A., Gorrino, A., & Corrado, V. (2013). Analyse de sensibilité des ponts thermiques dans les bâtiments. *Applied Energy*, 107, 229-243.
- Khan, K. H., Ryan, C., & Abebe, E. (2017). Optimisation de la consommation énergétique des systèmes CVC dans les processus industriels grâce à une planification basée sur les données météorologiques. *IEEE Access*, 5, 11228-11235.
- Park, J. S., Lee, S. J., Kim, K. H., Kwon, K. W., & Jeong, J. W. (2016). Estimation des performances thermiques et du potentiel d'économies d'énergie des bâtiments résidentiels à partir des factures d'énergie. *Energy and buildings*, 110, 23-30.
- Ray, A., Wang, R., Nguyen, D., Martinez, J., Taylor, N., & Searcy, J. K. (2019). Coûts énergétiques des ménages et programme de bons de choix de logement : les allocations de services publics permettent-elles de payer les factures ?. *Housing Policy Debate*, 29(4), 607-626.
- Shin, M., & Haberl, J. S. (2019). Zonage thermique pour la conception des systèmes CVC des bâtiments et la simulation énergétique : une revue de la littérature. *Energy and Buildings*, 203, 109429.
- Antonopoulos, K. A., & Koronaki, E. P. (2000). Composantes des paramètres thermiques de l'enveloppe du bâtiment. *Applied Thermal Engineering*, 20(13), 1193-1211.
- Baeten, B., Rogiers, F., & Helsen, L. (2017). Réduction de la consommation électrique de pointe induite par les pompes à chaleur et de la capacité de production requise grâce au stockage d'énergie thermique et à la réponse à la demande. *Applied Energy*, 195, 184-195.
- El-Darwish, I., & Gomaa, M. (2017). Stratégie de rénovation des enveloppes de bâtiments pour atteindre l'efficacité énergétique. *Alexandria engineering journal*, 56(4), 579-589.
- IAQ, I. A. Q. (2013). Guide de contrôle de l'humidité pour la conception, la construction et l'entretien des bâtiments. EPA 402-F-13053.
- Liu, C., Fan, Y., Zhang, Q., & Lin, G. (2025). Processus d'évaluation diagnostique préliminaire et études de cas pour la régénération de logements existants. *City and Built Environment*, 3(1), 4.
- Roberts, S., & Stephenson, R. (2010). Lignes directrices pour les mesures et stratégies – Méthodes d'étanchéité à l'air et d'isolation des murs dans les logements existants.
- Rodrigues, C., & Freire, F. (2017). Compromis en matière d'impact environnemental dans les stratégies de rénovation de l'enveloppe des bâtiments. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(4), 557-570.
- Wilson, A. G., & Solvason, K. R. (1962). Performance des vitrages doubles scellés. *Journal of the Canadian Ceramic Society*, (31), 62-68.



Co-funded by
the European Union





LITHUANIAN
ENERGY
INSTITUTE



ЕНЕРГИЙНА
АГЕНЦИЯ
ПЛОВДИВ



ENERGY
AGENCY OF
PLOVDIV



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA



Co-funded by
the European Union