



MODULE 7

Rénovation avec des pompes à chaleur

Élaboré par : Société roumaine de géothermie (SRG)



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.



Présentation du module 7

- Le module 7 se concentre sur la transformation pratique des bâtiments existants, en remplaçant les systèmes de chauffage conventionnels à base de combustibles fossiles par des systèmes de pompes à chaleur à haut rendement, tout en garantissant la faisabilité technique, l'optimisation des performances et la fiabilité à long terme.

Objectifs d'apprentissage

- ✓ Expliquer pourquoi les systèmes à basse température sont essentiels au bon fonctionnement des pompes à chaleur
- ✓ Analyser les systèmes hydroniques existants et identifier les besoins de rénovation
- ✓ Adapter la configuration des canalisations, la dynamique des flux et les émetteurs aux exigences des pompes à chaleur
- ✓ Garantir la compatibilité électrique et mettre en œuvre un fonctionnement adapté au réseau
- ✓ Appliquer les protocoles de mise en service spécifiques aux environnements de rénovation
- ✓ Évaluer la faisabilité technique et économique de projets de rénovation concrets



Contenu du module 7

Leçon 46	Études de cas: modernisation des pompes à chaleur	Leçon 52	Confort de l'utilisateur final et facteurs comportementaux
Leçon 47	Planification de la modernisation	Leçon 53	Maintenance et suivi à long terme
Leçon 48	Réduire la température de l'eau dans les systèmes de chauffage hydroniques		
Leçon 49	Modifications des circuits hydroniques		
Leçon 50	Intégration électrique des pompes à chaleur		
Leçon 51	Mise en service et validation des performances		

LEÇON 46

Études de cas : modernisation des pompes à chaleur



Co-funded by
the European Union



Objectifs de la leçon 46

- Identifier les principaux défis techniques et organisationnels liés à la modernisation des systèmes de chauffage existants à l'aide de pompes à chaleur.
- Explorer des exemples concrets de rénovation dans des bâtiments résidentiels et non résidentiels.
- Relier les résultats techniques et économiques à des stratégies de rénovation concrètes.
- Identifier les défis techniques, économiques et liés au confort.
- Comprendre comment les enseignements tirés se traduisent en stratégies pratiques



Contenu de la leçon 46

Études de cas :
rénovation avec
des pompes à
chaleur

Rénovation d'une
maison individuelle

Rénovation d'une
maison
individuelle

Documenta
tion
numérique
et
modélisatio
n 3D

Rénovation de
l'enveloppe

Système de
pompe à
chaleur
géothermiq
ue

Système de
distribution
par plafond
rayonnant

Intégration
des
énergies
renouvelabl
es

Ventilation
et confort
intérieur

Rénovation
de
l'enveloppe
et contrôle
solaire

Système de
pompe à
chaleur
géothermiq
ue et
hybride

Système de
plafond
rayonnant
et de
ventilation

Gestion et
surveillance
des
bâtiments



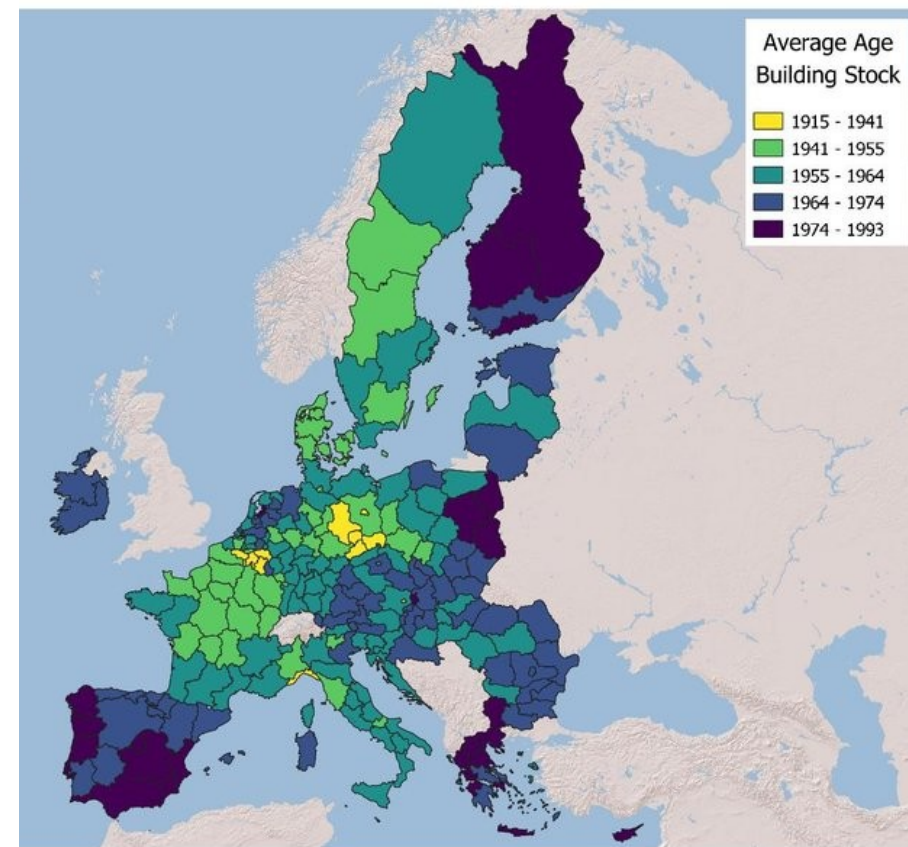
Co-funded by
the European Union



Pourquoi la rénovation énergétique est-elle importante ?

- 75 % des bâtiments de l'UE sont peu efficaces sur le plan énergétique
- La plupart sont chauffés aux énergies fossiles
- Ces bâtiments seront toujours occupés en 2050
- La rénovation est essentielle pour atteindre la neutralité climatique d'ici 2050

🎯 La rénovation est la **voie principale** vers la neutralité climatique, et non la construction neuve.

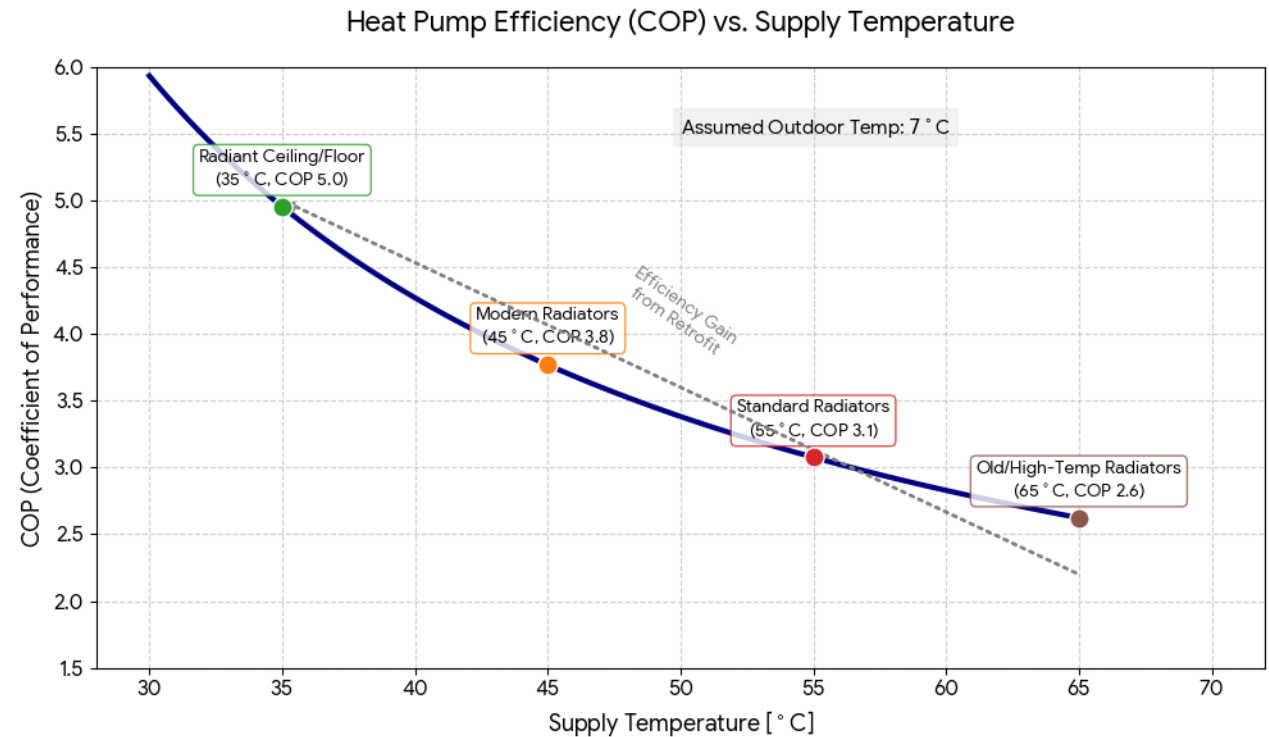


Âge moyen du parc immobilier

Source : Zangheri, Paolo & Armani, R & Kakoulaki, G. & Bavetta, M & Martirano, G & Pignatelli, Francesco & Baranzelli, C. (2020). Rénovation énergétique des bâtiments pour la décarbonisation et la reprise post-Covid-19 : un aperçu au niveau régional. 10.2760/08629.

Systemes à haute température vs systemes à basse température

- Les chaudières traditionnelles fonctionnent à une température de départ de 70 à 80 °C
- Les pompes à chaleur atteignent leur meilleur rendement à une température comprise entre 30 et 50 °C
- Température de départ plus élevée = COP plus faible et consommation d'électricité plus élevée



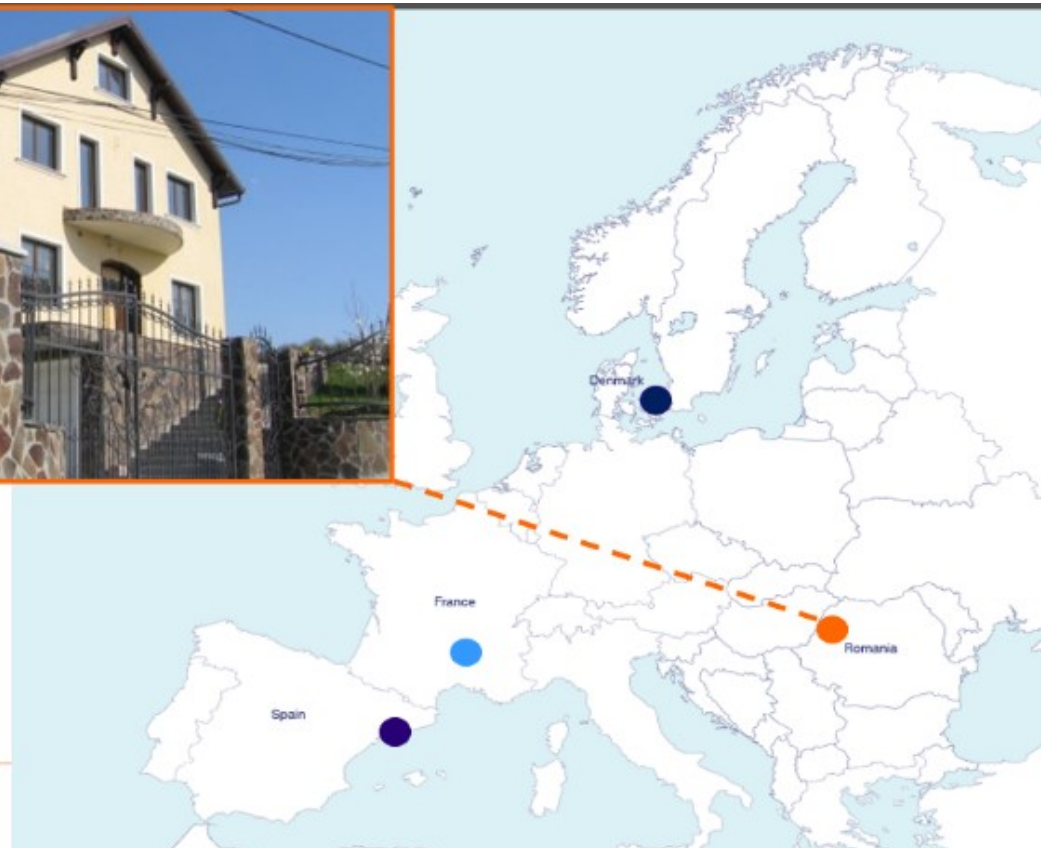
Parcours générique de mise à niveau

Étape	Description	Objectif principal
Évaluation du bâtiment et audit énergétique	Identifier les inefficacités et établir les charges de référence à l'aide des normes EN 16247 et ISO 50002.	Définir les priorités de rénovation et la faisabilité technique.
Amélioration de l'enveloppe	Améliorer l'isolation, le vitrage et l'étanchéité à l'air afin de réduire les pertes de chaleur et les infiltrations.	Réduire la demande de chauffage nominale et permettre des températures d'eau plus basses.
Adaptation du système	Modifier les émetteurs, les circuits de distribution et les systèmes de régulation pour un fonctionnement à basse température.	Assurer la compatibilité avec des pompes à chaleur à haut rendement.
Intégration des pompes à chaleur	Sélectionner, dimensionner et installer des unités à air, à eau ou géothermiques appropriées.	Électrifier efficacement le chauffage et le refroidissement.
Mise en service et surveillance	Valider les hypothèses de conception, ajuster les courbes de régulation et vérifier les performances.	Garantir l'efficacité, la sécurité et le confort à long terme.
Implication des utilisateurs et formation comportementale	Sensibiliser les occupants à l'utilisation correcte du système et à leurs attentes en matière de confort.	Maintenir l'efficacité opérationnelle et la satisfaction des utilisateurs.
Maintenance et surveillance à long terme	Mettre en œuvre un plan de maintenance préventive et un suivi continu des données via des systèmes de gestion technique des bâtiments (GTB) ou des plateformes cloud	Préserver les performances au fil du temps, détecter les défaillances à un stade précoce et garantir des économies d'énergie et de CO ₂ durables.

MAISON INDIVIDUELLE, ORADEA



Family house
ROMANIA

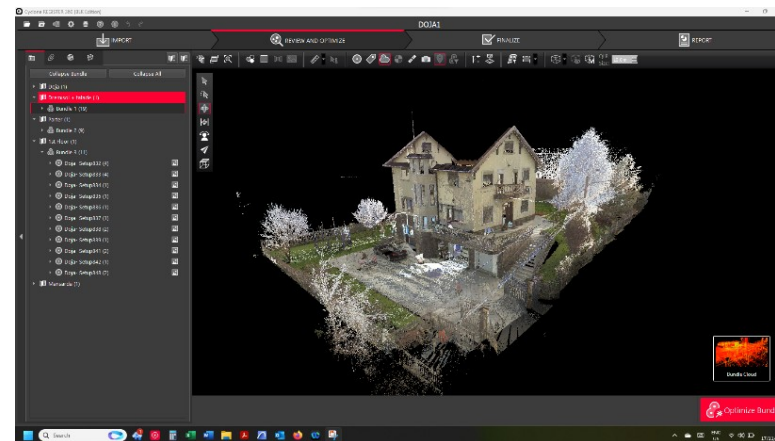


Co-funded by
the European Union



Présentation du cas d démonstration

- Maison individuelle construite dans les années 1980
- Surface totale d'environ 400 m²
- Climat continental tempéré
- Parc immobilier typique d'Europe centrale et orientale



État initial (avant la rénovation)

- Pas d'isolation extérieure
- Fenêtres en bois à simple vitrage
- Chaudière à résistance électrique
- Radiateurs en acier conçus pour 75/65 °C
- Pas de refroidissement actif ni de ventilation mécanique
- Importantes déperditions thermiques dues aux balcons incurvés et aux joints non étanches
- Fuites d'air entraînant un inconfort en hiver et une surchauffe en été
- Mauvaise qualité de l'air intérieur due à l'absence de ventilation contrôlée
- Coût annuel de chauffage : ~3 500 € (aux tarifs de l'électricité de 2019)
- Consommation d'énergie primaire : environ 450 kWh/m²·an
- Émissions de CO₂ : environ 18 tonnes/an

Stratégie de rénovation

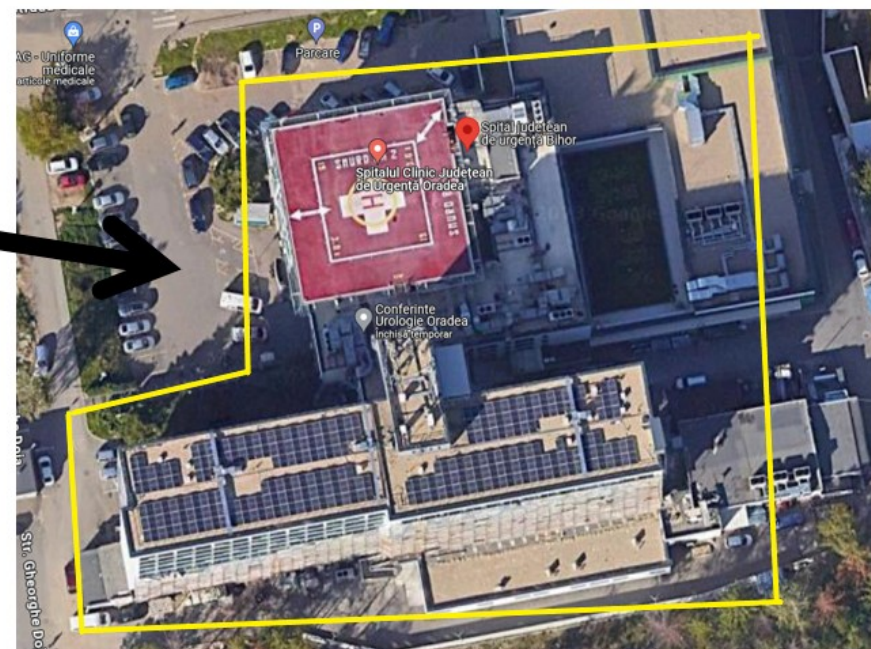
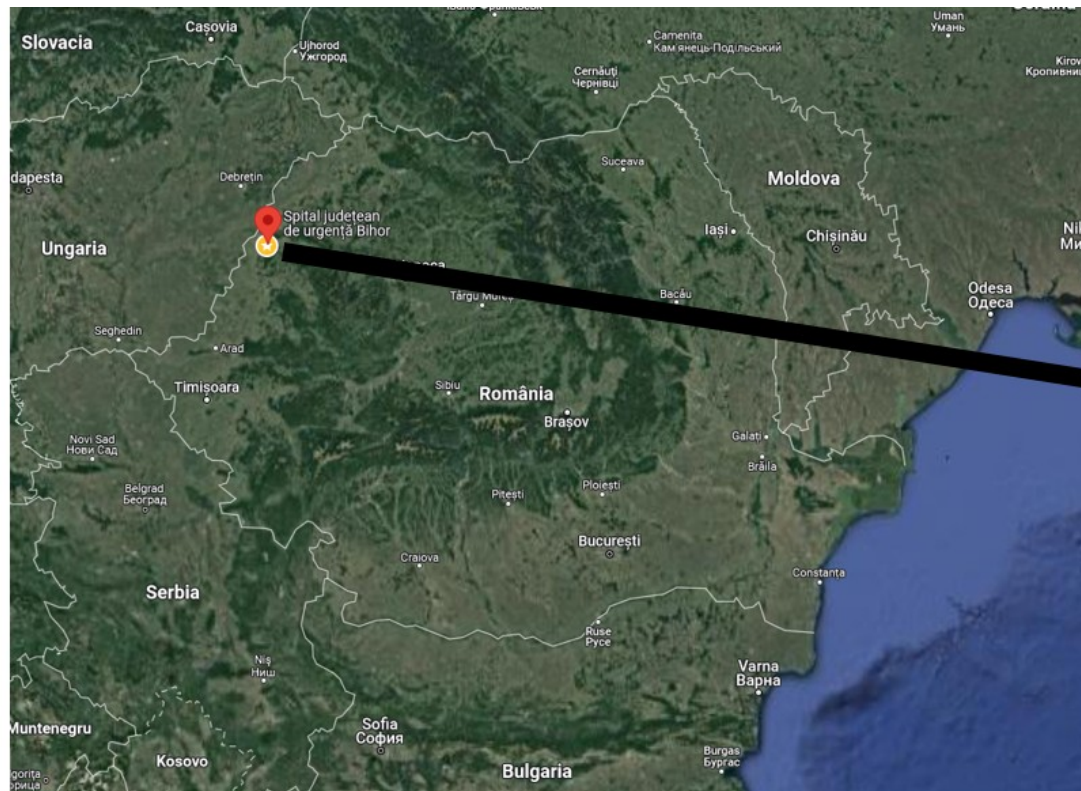
- Isolation extérieure + isolation du toit
- Remplacement des fenêtres
- Pompe à chaleur géothermique de 30 kW (circuit ouvert)
- Chauffage et refroidissement par plafond rayonnant



Plafond rayonnant

! Remarque concernant l'installation: les plafonds rayonnants nécessitent un équilibrage hydraulique minutieux. Chaque circuit de pièce comprend une vanne de régulation de débit réglée lors de la mise en service afin d'assurer une distribution uniforme.

HÔPITAL DE SECOURS DU DÉPARTEMENT, ORADEA



Co-funded by
the European Union



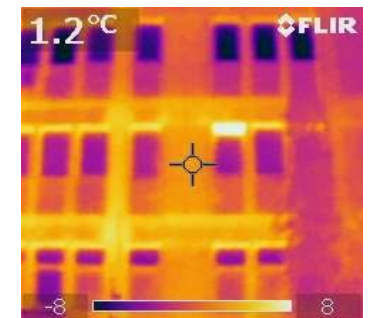
Présentation du cas de démonstration

- Grand hôpital public
- 10 étages, environ 16 000 m²
- Fonctionnement continu 24 h/24, 7 j/7
- Exigences élevées en matière de confort et d'hygiène



État initial (avant la rénovation)

- Enveloppe mal isolée
- Chauffage central fonctionnant aux énergies fossiles
- Climatiseurs split
- Pas de ventilation avec récupération de chaleur



Contraintes liées à la modernisation

- Pas d'interruption des services médicaux
- Redondance requise pour des raisons de sécurité
- Normes strictes en matière de qualité de l'air intérieur
- Surveillance continue obligatoire

Stratégie de rénovation

- Rénovation en profondeur de l'enveloppe du bâtiment
- Systèmes de distribution à basse température
- Système hybride de pompe à chaleur géothermique
- Système de gestion technique du bâtiment (GTB) avancé



Solution technique mise en œuvre

- Isolation de la façade de 200 mm + isolation du toit de 400 mm
- Plafonds rayonnants (chauffage et refroidissement)
- 3 pompes à chaleur géothermiques de 150 kW + 3 pompes à chaleur hybrides de 70 kW
- Ventilation avec récupération de chaleur



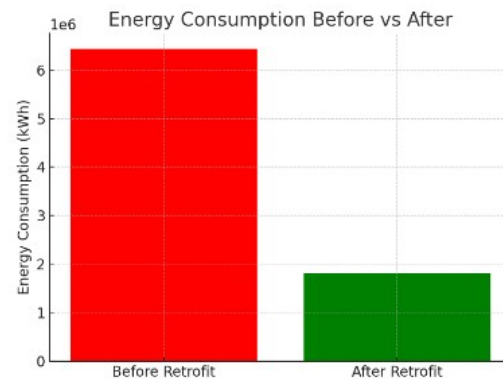
Co-funded by
the European Union



Résultats

- Réduction de la consommation d'énergie primaire : 71,8 %
- Réduction des émissions de CO₂ : 67 %
- EER de refroidissement $\approx 7,1$
- Conformité totale nZEB

Paramètre	Avant la rénovation	Après la rénovation	Réduction
Consommation d'énergie primaire	6 439 040 kWh	1 814 619 kWh	-71,82 %
Énergie finale (non renouvelable)	490,45 tep	156 tep	-67,24 %
Émissions de CO ₂	1 517 t/an	497 t/an	-67,2 %



Principes communs aux deux démonstrations

Maison individuelle

Directement transposable à une grande partie des maisons individuelles construites entre 1960 et 1990 en Europe centrale et orientale (~15 millions d'unités) ; démonstration convaincante de l'efficacité des rénovations intégrées combinant pompe à chaleur géothermique, enveloppe du bâtiment et systèmes photovoltaïques/thermiques (PV/PVT).

Enveloppe + système radiant à basse température + pompe à chaleur géothermique + PV/PVT = réductions importantes de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ avec un haut niveau de confort dans les rénovations résidentielles.



Hôpital d'urgence du comté

Modèle pour les grands bâtiments publics critiques (hôpitaux, cliniques, grands bureaux) visant les objectifs nZEB ; démontre la faisabilité des grands champs géothermiques, des pompes à chaleur hybrides, des plafonds rayonnants et des systèmes de gestion technique du bâtiment (GTB) avancés dans des installations fonctionnant 24 h/24 et 7 j/7.

Système géothermique hybride à basse température + rénovation en profondeur de l'enveloppe + système de gestion technique du bâtiment (GTB) intelligent = rénovation fiable des établissements de santé, conforme aux normes nZEB, avec un rendement saisonnier très élevé.



LEÇON 47

De l'évaluation à l'action : planifier les
rénovations



Co-funded by
the European Union

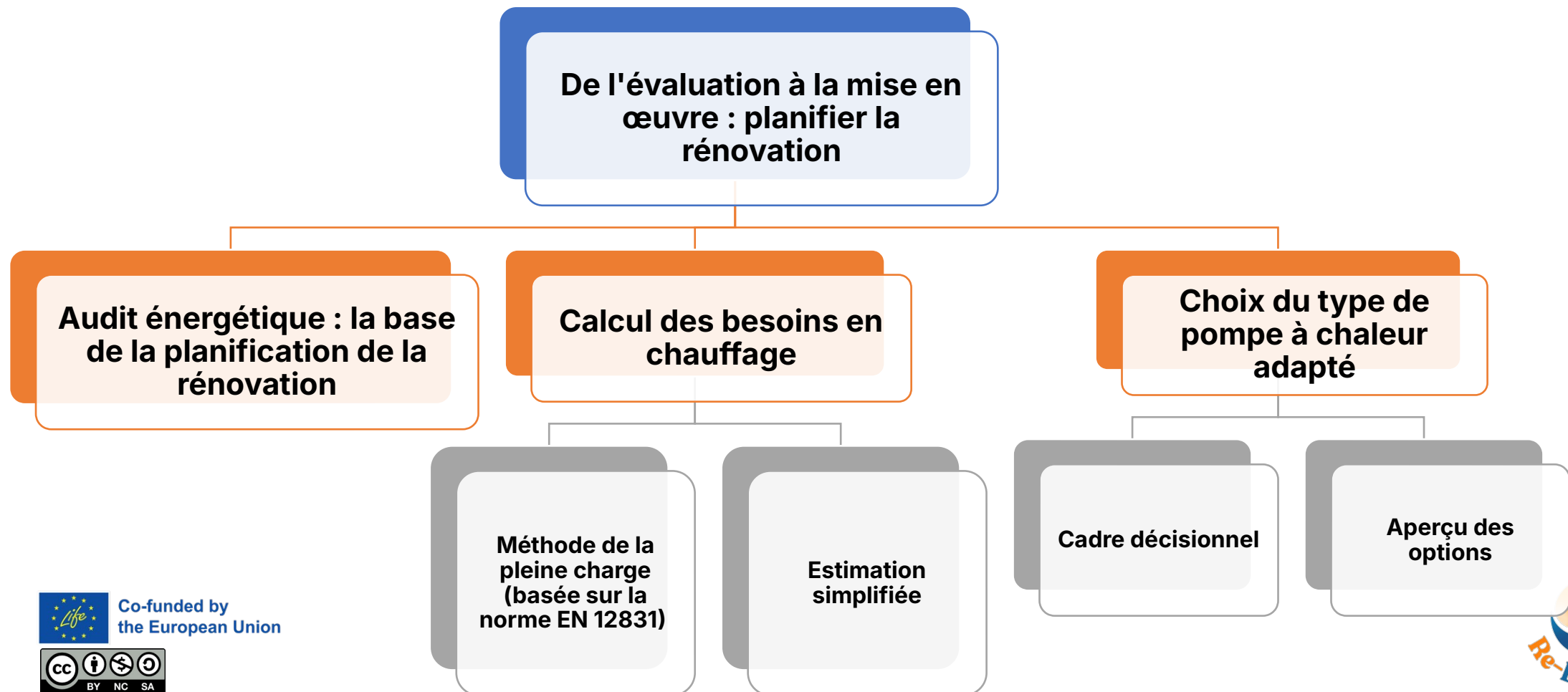


Objectifs de la leçon 47

- Comprendre les étapes de planification d'une rénovation réussie avec une pompe à chaleur.
- Reconnaître le rôle des audits énergétiques et de la numérisation 3D dans la prise de décision technique.
- Apprendre à calculer les besoins en chauffage et à évaluer l'adéquation du bâtiment.
- Appliquer les critères de sélection et de dimensionnement appropriés pour les pompes à chaleur.
- Intégrer les enseignements tirés d'études de cas réels de rénovation.



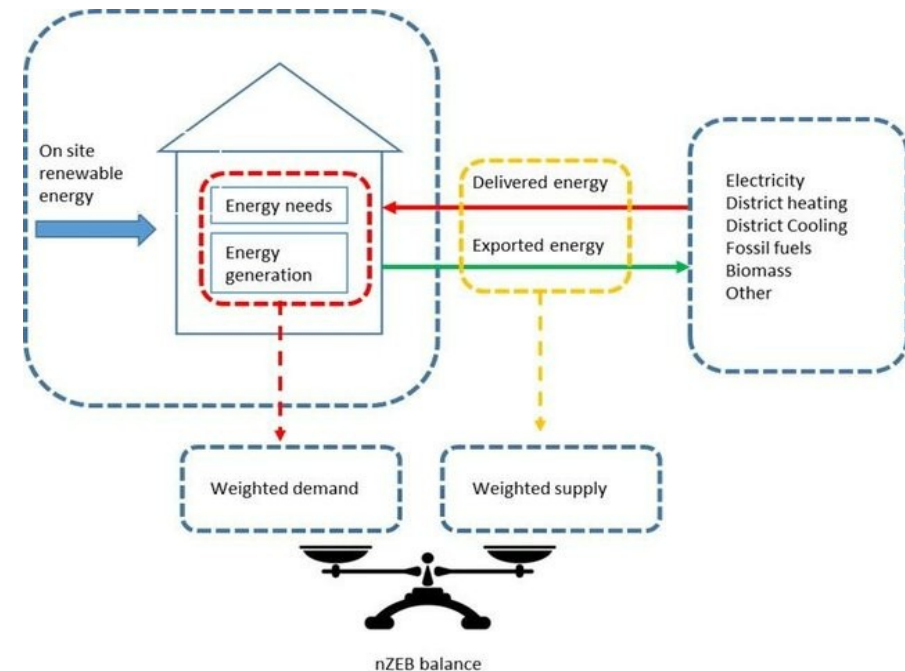
Contenu de la leçon 47



De l'évaluation à l'action

- La réussite d'une rénovation commence par une évaluation précise
- Les résultats de l'audit doivent se traduire en décisions de conception
- La demande de chauffage détermine :
 - La taille de la pompe à chaleur
 - La conception du système de distribution
 - Le coût d'investissement et l'efficacité

 **Message clé :**
Pas de calcul = mauvais système



Co-funded by
the European Union



Pourquoi le calcul des besoins en chauffage est-il important ?

- Évite le surdimensionnement → empêche les cycles courts
- Garantit le confort aux températures extérieures de référence
- Équilibre le rapport coût d'investissement/performance
- Permet une stratégie de zonage et de régulation adéquate

 **Règle générale :**
Les pompes à chaleur surdimensionnées coûtent plus cher et sont moins performantes



Co-funded by
the European Union



Calcul des besoins en chauffage - (EN 12831)

Transmission losses:

$$Q_t = \sum (U_i \times A_i \times \Delta T)$$

Where:

- U = thermal transmittance [W/m²K]
- A = surface area [m²]
- ΔT = indoor–outdoor temperature difference [°C]

Ventilation losses:

$$Q_v = 0.33 \times n \times V \times \Delta T$$

Where:

- n = air changes per hour
- V = heated volume [m³]

Total heating demand:

$$Q_{total} = Q_t + Q_v$$

Méthode d'estimation simplifiée

Area-based estimation

$$\dot{Q}_h = A \times q$$

Where:

- A = heated floor area [m²]
- q = specific heat demand [kW/m²]

👉 Convient pour la
planification préliminaire,
mais pas pour la conception
finale

Valeurs typiques :

<u>q (kW/m²)</u>	<u>Type de bâtiment</u>
0,03	Maison basse consommation
0,05	Isolation de base
0,08	Standard (années 1980+)
0,12	Non isolé

Présentation des différentes options de pompes à chaleur

Pompes à chaleur aérothermiques (ASHP)

- Installation simple et rapide
- Coût initial réduit
- Baisse de rendement par temps froid
- Bruit extérieur (40–60 dB)

Pompes à chaleur géothermiques (GSHP)

- Rendement très élevé et stable
- Fonctionnement silencieux
- Investissement initial plus élevé
- Longue durée de vie (> 50 ans pour la boucle souterraine)

Pompes à chaleur sur eau (WSHP)

- Rendements maximaux
- Nécessite des permis et une gestion de l'eau
- Idéale pour les projets institutionnels ou à l'échelle d'un campus

Systèmes hybrides

- Combinaison de technologies (par ex. GSHP + ASHP)
- Couverture des pics de charge et redondance
- Idéal pour les hôpitaux et les bâtiments fonctionnant 24 h/24, 7 j/7

Cadre décisionnel

Type	Investissements et travaux	Rendement saisonnier et performances par temps froid	Bruit / Impact visuel	Espace et permis	Capacité de refroidissement	Meilleure adaptation
ASHP	Faible ; travaux minimes	Bon dans les climats doux à modérés ; diminue par temps froid	Bruit du ventilateur extérieur ; visible	Encombrement très réduit ; permis simples	Réversible ;	En milieu urbain / dans des espaces restreints, rénovations rapides, budget réduit
GSHP	Élevé ; forage	Élevée et stable ; excellente en hiver	Très silencieux ; invisible depuis l'extérieur	Accès au terrain/forage ; permis	Actif + passif/refroidissement naturel	Climats froids, charges élevées, accent mis sur les coûts d'exploitation à long terme
WSHP	Moyen à élevé ; spécifique au site	Très élevé ; source stable	Très silencieux	Nécessite des droits d'eau/permis ; filtration	Refroidissement très efficace	Sites avec accès à une nappe phréatique, un lac ou une rivière ; campus
Hybride	Mise en scène	Optimisé toute l'année	Dépend de la composition	Mixte	Flexible	Installations critiques, gestion des pics, redondance

LEÇON 48

Réduire la température de l'eau dans les systèmes de chauffage hydroniques

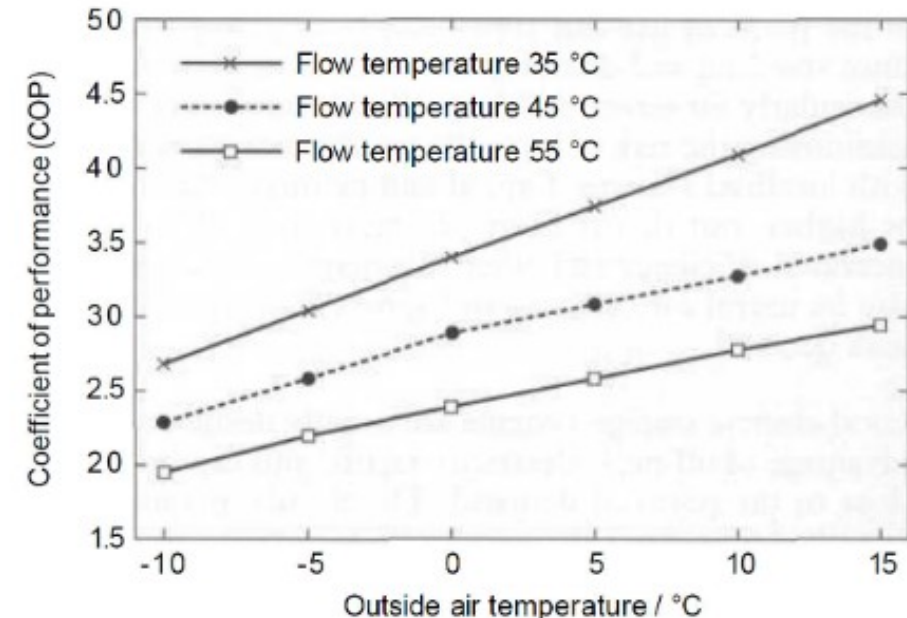


Co-funded by
the European Union



Objectifs de la leçon 48

- Comprendre le lien entre la température de l'eau et le rendement de la pompe à chaleur
- Identifier deux stratégies clés : réduire la charge thermique du bâtiment et augmenter la surface des émetteurs
- Appliquer les enseignements tirés des rénovations de la maison et de l'hôpital d'Oradea.
- Interpréter le comportement du SCOP en fonction des températures de départ et de retour



*Rendement des pompes à chaleur en fonction de la température de départ
Source : Efficacité énergétique dans les bâtiments, Guide F du CIBSE, deuxième édition, janvier 2004.*

Contenu de la leçon 48

**Réduire la température de l'eau
dans les systèmes de chauffage
hydroniques**

**Pourquoi une
basse température
de l'eau est-elle
importante ?**

**Réduire la charge thermique
du bâtiment**

**Augmenter la
surface des
émetteurs**

**Commandes et
surveillance**

Les trois leviers qui permettent de gagner en efficacité

1. Baisse des besoins en chauffage	Isolation de l'enveloppe du bâtiment
	Étanchéité à l'air et ventilation
	Réduction des pics de charge
2. Baisse de la température de départ	Surfaces d'émission plus importantes
	Régulation en fonction des conditions météorologiques
	Réduction de la variation de température
3. Fonctionnement stable	Hydraulique équilibrée
	Alimentation électrique adéquate
	Modulation continue

Qu'est-ce qui change réellement lorsque la température baisse ?

La baisse de la température de départ modifie **le comportement de l'ensemble du système**.

Tendance SCOP typique :

~35 °C de température de départ → SCOP plus élevé

Alimentation à ~50 °C → SCOP plus faible

Alimentation à ~60 °C → SCOP nettement plus faible

Cause → Effet

- Écart de température réduit → **sollicitation moindre du compresseur**
- Moins de sollicitation → **SCOP plus élevé**
- SCOP plus élevé → **consommation électrique plus faible**
- Consommation plus faible → **coûts d'exploitation prévisibles**

Chaque **baisse de 10 °C** de la température de refoulement → **+15 à 20 % de SCOP**

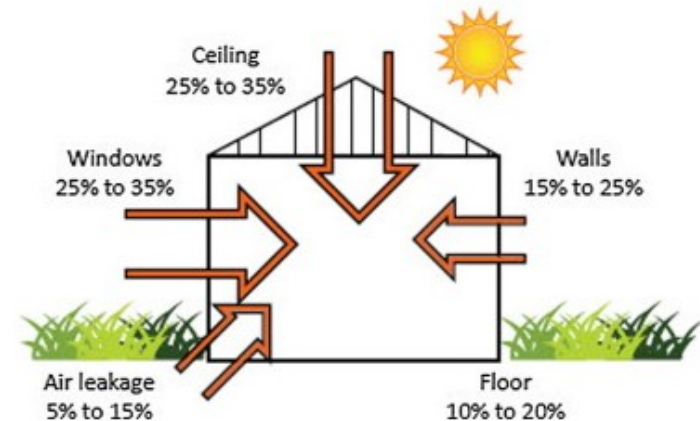
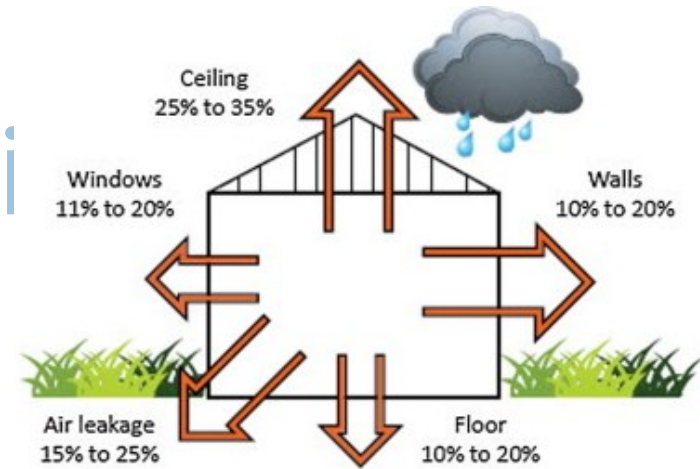


Isolation et pertes thermi

Des pertes importantes imposent des températures de départ élevées et réduisent le rendement.

- Mauvaise isolation → pertes de transmission élevées
- Pertes élevées → demande de puissance élevée au niveau de l'émetteur
- Demande élevée → température de départ plus élevée
- Température plus élevée → COP/SCOP plus faible

Vous ne pouvez pas compenser les pertes de chaleur avec une « meilleure » pompe à chaleur.



Flux thermique dans une maison non isolée

Source : Ingy El-Darwish, Mohamed Gomaa, « Retrofitting strategy for building envelopes to achieve energy efficiency », Alexandria Engineering Journal, volume 56, numéro 4, décembre 2017, pages 579-589

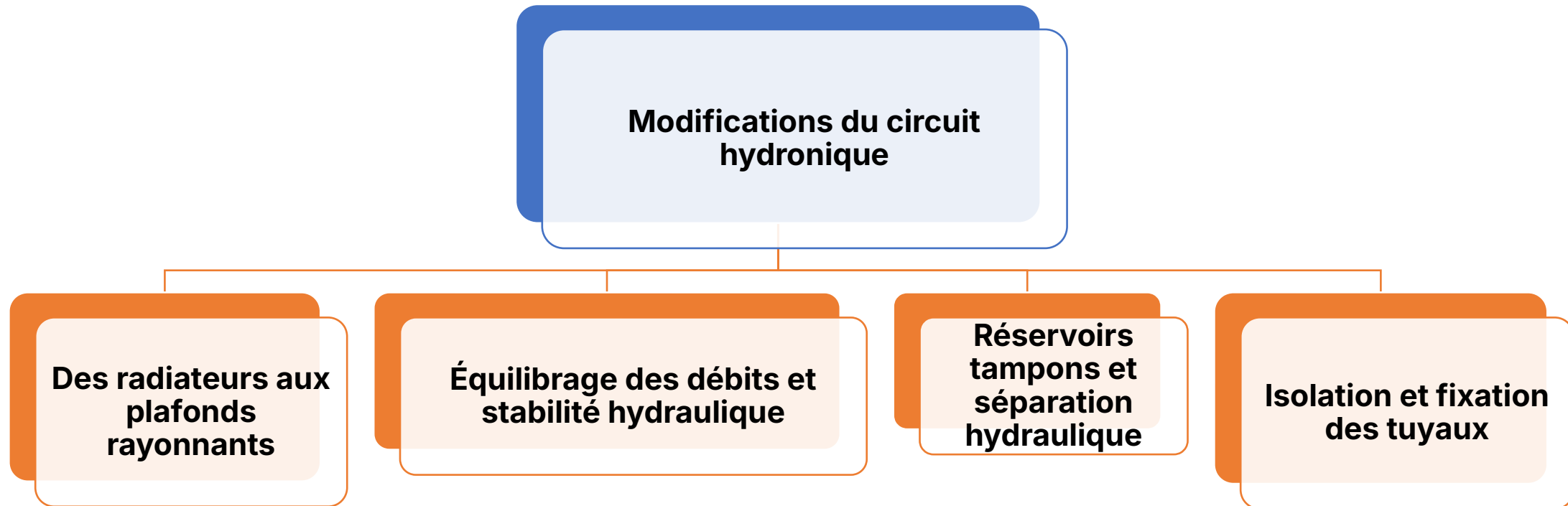
LEÇON 49

Modifications du circuit hydronique

Objectifs de la leçon 49

- Comprendre les limites des anciens systèmes hydroniques lors de l'intégration de pompes à chaleur.
- Identifier les avantages des systèmes de plafond rayonnant par rapport aux circuits de radiateurs traditionnels.
- Apprendre des stratégies pratiques pour l'équilibrage des débits, la séparation hydraulique et l'isolation.

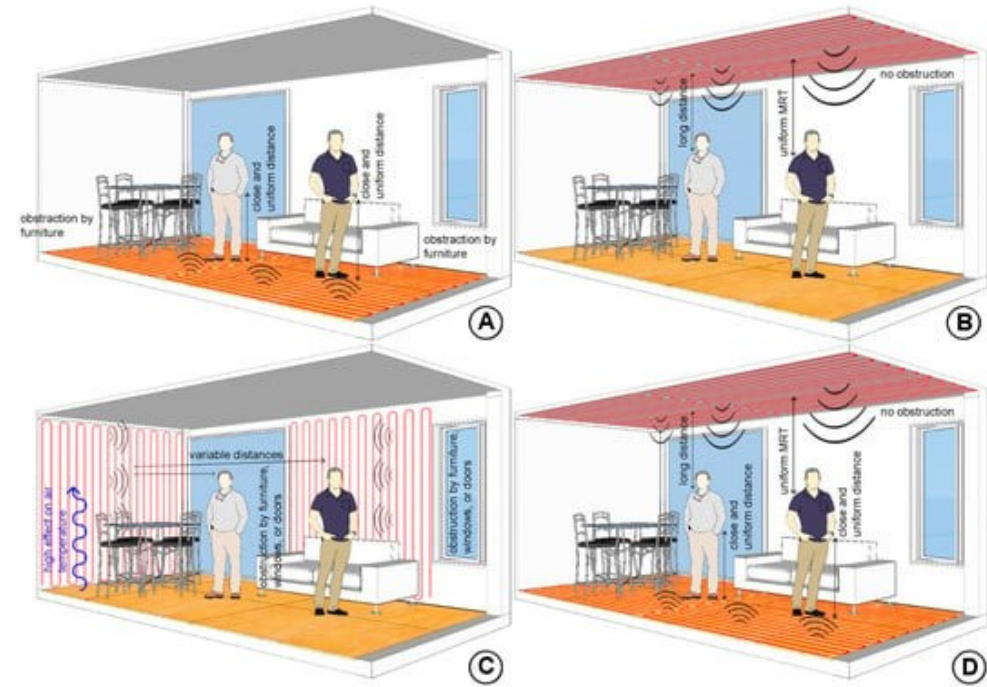
Contenu de la leçon 49



Émetteurs : transformer les surfaces en sources d'énergie

À basse température, la **surface remplace la température** comme principal facteur de confort.

- Les radiateurs dépendent d'un ΔT élevé et de la convection
- Les systèmes radiants fonctionnent grâce à un **échange thermique sur une grande surface**
- Le confort est diffusé en douceur, de manière uniforme et silencieuse



(A) Systèmes radiants au sol ; (B) Systèmes radiants au plafond ; (C) Systèmes radiants muraux ; (D) Systèmes radiants au sol et au plafond

Source : Do, H.Q. ; Luther, M.B. ; Amirkhani, M. ; Wang, Z. ; Martek, I. Radiant Conditioning Retrofitting for Residential Buildings. Energies 2022, 15, 449. <https://doi.org/10.3390/en15020449>



Co-funded by
the European Union



L'hydraulique : le moteur silencieux de la performance

Les pompes à chaleur dépendent d'un **débit stable**, et non d'une température élevée.

Logique étape par étape :

- Les systèmes à basse température nécessitent **un faible ΔT** ($\approx 5-7\text{ °C}$)
- Un faible ΔT nécessite **des débits corrects**
- Un débit correct nécessite **un équilibrage et un contrôle de la pression**



- Pompes à vitesse variable
- Vannes d'équilibrage ou indépendantes de la pression
- Réservoirs tampons pour éviter les cycles courts
- Tuyaux et raccords entièrement isolés

LEÇON 50

Intégration électrique des pompes à chaleur



Co-funded by
the European Union



Objectifs de la leçon 50

- Comprendre les limites des installations électriques existantes dans les projets de rénovation
- Identifier les principales exigences électriques pour une installation sécurisée des pompes à chaleur
- Apprendre des stratégies pour gérer le courant de démarrage et la demande de pointe
- Explorer les concepts de base de l'intégration dans un réseau intelligent

Contenu de la leçon 50

Intégration électrique des pompes à chaleur

**Pourquoi
l'intégration
électrique est-elle
importante ?**

**Exigences de charge types
et conception des circuits**

**Gestion des
problèmes**

**Isolation et fixation
des tuyaux**

La clé invisible d'une rénovation réussie

- Évaluez le tableau principal et la capacité d'alimentation. - Vérifiez l'ampérage disponible et la stabilité de la tension avant la conception.
- Utilisez des dispositifs de protection adaptés. - Disjoncteur différentiel (RCD) de type A ou F ; disjoncteurs dédiés ; protection contre les surtensions (SPD de type 2).
- Gérer les courants d'appel. - Privilégier les compresseurs à inverseur ou ajouter des modules de démarrage progressif.
- Prévoir une résilience électrique. - Dans les hôpitaux ou les zones isolées, coordonner avec des générateurs de secours ou des batteries de stockage.

Point clé

Un système électrique bien conçu garantit

- ✓ Sécurité
- ✓ la compatibilité avec le réseau
- ✓ L'optimisation des coûts
- ✓ Une fiabilité à long terme



Co-funded by
the European Union



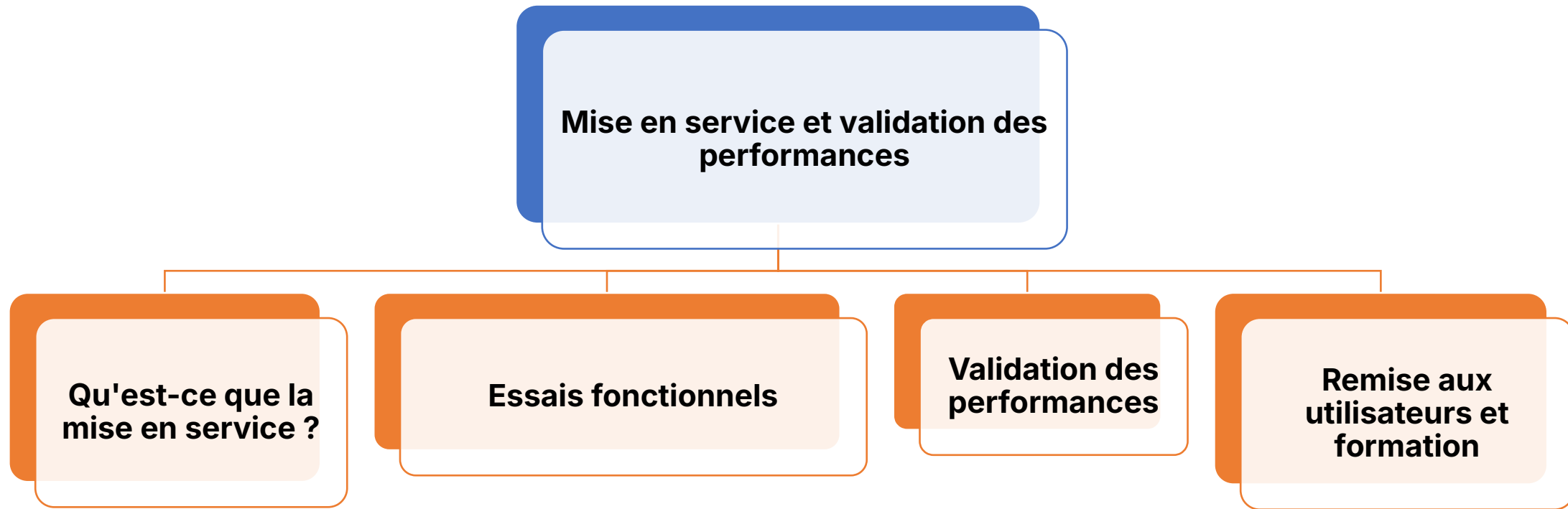
LEÇON 51

Mise en service et validation des performances

Objectifs de la leçon 51

- Comprendre l'objectif et les étapes de la mise en service lors de la rénovation d'une pompe à chaleur.
- Identifier les vérifications clés du système avant, pendant et après la mise en service.
- Apprendre à valider les performances par des mesures et une surveillance.
- Mettre en pratique les enseignements tirés des rénovations de la maison et de l'hôpital d'Oradea.

Contenu de la leçon 51



Qu'est-ce que la mise en service ?

Avant la mise en service, vérifiez que le système est prêt

Circuit hydraulique	Rempli, purgé de l'air, aucune fuite visible
Circuit électrique	Disjoncteur de calibre approprié, disjoncteur différentiel (RCD) en état de marche, câblage sécurisé
Réservoir tampon/d'expansion	Dimensionnement correct, pré-pressurisé, isolé
Émetteurs	Vannes ouvertes, débit confirmé, absence d'air emprisonné
Réservoir d'eau chaude sanitaire	Réservoir raccordé, capteurs de température en place
Régulateur	• Réglé sur la courbe de chauffage et le programme horaires corrects

Tests fonctionnels de la modernisation

Sous-système	Vérification	Cible / Observation
Compresseur	Démarrage en douceur, absence de vibrations	Accélération progressive via le variateur
Pompes de circulation	Débit confirmé par les compteurs	Stable à ± 5 % du débit nominal
ΔT (chauffage)	Aller – retour	5–7 °C
ΔT (refroidissement)	Aller – retour	3–5 °C
Eau chaude sanitaire (le cas échéant)	Test de temps de récupération	Conforme aux spécifications
Dégivrage (source d'air uniquement)	Cycle automatique vérifié	Terminé en

Validation des performances de la rénovation

Indicateur	Formule Méthode	/ Cible
COP (instantané)	Puissance calorifique Puissance électrique	$\div$ $>2,5$ (en fonction de la température)
ΔT au niveau des émetteurs	Température départ température retour	de $3-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ – de
Consommation électrique	Pince ampèremétrique + tension	Conforme aux spécifications nominales
Température ambiante	Capteur d'air dans la zone	Consigne $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Conseils pratiques

- ✓ Suivez les listes de contrôle de la norme EN 14336 pour les systèmes de chauffage à eau.
- ✓ Vérifiez toujours le ΔT et le débit avant la mise sous tension.
- ✓ Consignez toutes les mesures — incluez des captures d'écran du système de gestion technique du bâtiment (GTB) ou de l'enregistreur.
- ✓ Utilisez des pinces ampèremétriques et la thermographie infrarouge pour vérifier le fonctionnement du compresseur et de la tuyauterie.
- ✓ Stabilisez les systèmes pendant 48 heures avant la validation finale du SCOP.
- ✓ Fournir au client un « Guide d'utilisation » clair.
- ✓ Planifier la première inspection de suivi 3 mois après la remise des clés.

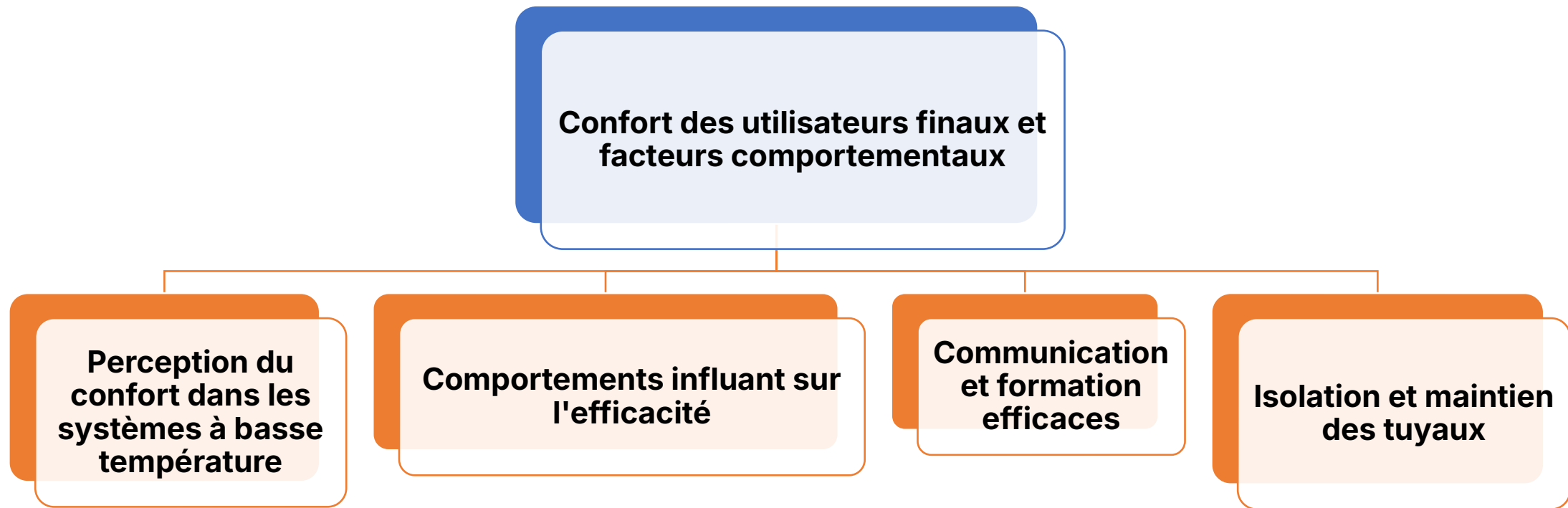
LEÇON 52

Confort de l'utilisateur final et facteurs comportementaux

Objectifs de la leçon 52

- Comprendre comment les systèmes de pompes à chaleur à basse température influencent la perception du confort par l'utilisateur.
- Identifier les erreurs comportementales courantes qui réduisent l'efficacité.
- Découvrir comment les commandes intelligentes et la formation améliorent les résultats.
- Mettre en pratique les enseignements tirés des rénovations de la maison et de l'hôpital d'Oradea.

Contenu de la leçon 52



Perception du confort dans les systèmes à basse température

Chaudières traditionnelles (température de départ de 75 à 80 °C) :

- Les radiateurs sont chauds au toucher.
- Les pièces se réchauffent rapidement, mais de manière inégale.

Pompes à chaleur avec plafonds rayonnants (température de départ de 35 à 45 °C) :

- Les surfaces ne sont que légèrement chaudes ou fraîches au toucher.
- Le confort provient d'un chauffage/refroidissement de fond uniforme.
- Les variations de température sont plus lentes mais plus stables.

💬 Témoignage d'un utilisateur : « Les radiateurs semblent froids — le système fonctionne-t-il ? »

Réponse : *Oui, avec les pompes à chaleur, le confort provient d'un chauffage constant à faible intensité, et non de pics de température élevés.*

Conseils pratiques

- Lors de la passation de service, expliquez que les radiateurs peuvent sembler froids, mais que les pièces restent chaudes.
- Encouragez un fonctionnement continu ; évitez les coupures nocturnes.
- Faites une démonstration de l'utilisation de l'application ou du thermostat en temps réel.
- Installez des capteurs d'humidité et de point de rosée pour le refroidissement par rayonnement.
- Fournissez des guides imprimés et numériques dans la langue locale.
- Prévoyez des visites de suivi pour renforcer les bons comportements.

Point clé: lorsque les utilisateurs font confiance au système, le confort augmente et la consommation d'énergie diminue

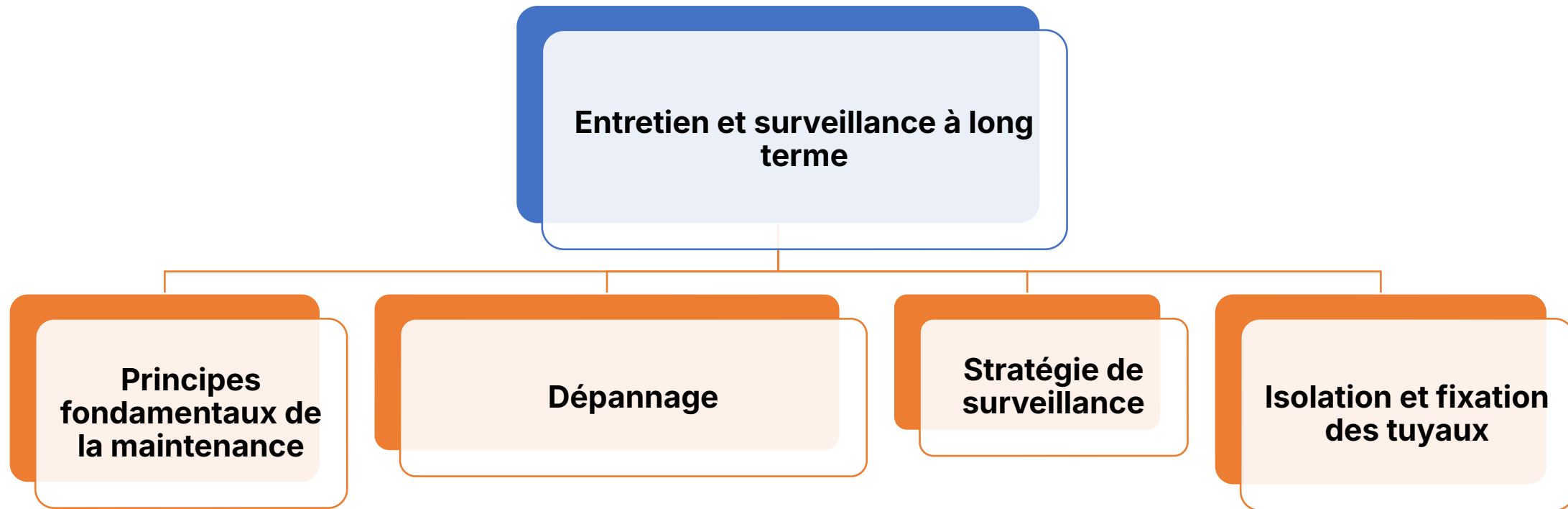
LEÇON 53

Entretien et surveillance à long terme

Objectifs de la leçon 53

- Comprendre les exigences en matière d'entretien des systèmes de pompes à chaleur dans les applications de rénovation.
- Identifier les défauts de fonctionnement courants et les approches de diagnostic.
- Apprendre les méthodes de surveillance à long terme pour préserver l'efficacité et la fiabilité.
- Mettre en pratique les enseignements tirés des études de cas résidentiels et hospitaliers d'Oradea.
- Explorer les concepts de jumeau numérique et de maintenance prédictive pour une optimisation avancée.

Contenu de la leçon 53



Brève formation destinée aux utilisateurs finaux

Tâches de maintenance

Composant	Action	Fréquence
Filtres (air/saumure)	Nettoyer ou remplacer	Tous les 3 à 6 mois
Pompes et vannes	Vérifier le bruit, le débit, les vibrations	Une fois par an
Vases d'expansion	Vérifier la pression, recharger si nécessaire	Une fois par an
Connexions électriques	Serrer, vérifier l'absence de corrosion	Une fois par an
Disjoncteurs différentiels et disjoncteurs	Test de fonctionnement	Une fois par an
Capteurs et thermostats	Vérification de l'étalonnage	Une fois par an
Circuit frigorifique	Test d'étanchéité conformément au règlement sur les gaz fluorés (UE 517/2014)	Chaque année ou selon les besoins
Logiciel/BMS	Mise à jour du micrologiciel, sauvegarde des paramètres	Selon disponibilité

 the European Union



Commandes et surveillance : garantir une efficacité optimale

Validation des performances de la modernisation

Les systèmes à basse température nécessitent **de la précision**, et non une intervention manuelle.

- La courbe de chauffage compensée en fonction des conditions météorologiques ajuste automatiquement la température de départ
- Le zonage garantit le confort sans perturber le débit du système
- Le contrôle du point de rosée protège les surfaces de refroidissement par rayonnement
- La surveillance suit le COP, le ΔT , la consommation d'énergie et le confort

Système métrique	Formule / Méthode	Cible
COP (instantané)	Puissance calorifique ÷ Puissance électrique	>2,5 (en fonction de la température)
ΔT au niveau des émetteurs	Température de départ – température de retour	3–7 °C
Consommation électrique	Pince ampèremétrique + tension	Conforme aux spécifications nominales
Température ambiante	Capteur d'air dans la zone	Consigne ± 1 °C



Co-funded by
the European Union



Références

- **Comité européen de normalisation.** (2017). *EN 12831-1 : Performance énergétique des bâtiments – Méthode de calcul de la charge thermique de conception*. Bruxelles.
- **Organisation internationale de normalisation.** (2017). *ISO 52016-1 : Performance énergétique des bâtiments – Besoins énergétiques pour le chauffage et le refroidissement*. Genève.
- **Commission européenne.** (2018). *Directive (UE) 2018/844 modifiant la directive EPBD*. Bruxelles.
- **Commission européenne.** (2020). *Stratégie « Vague de rénovation » pour l'Europe*. COM(2020) 662 final.
- **AIE.** (2022). *Pompes à chaleur – Suivi des progrès en matière d'énergie propre*. Paris.
- **AIE.** (2023). *L'avenir des pompes à chaleur*. Paris.
- **EHPA.** (2022). *Les pompes à chaleur dans les bâtiments – Applications, efficacité et intégration des systèmes*. Bruxelles.
- **EHPA.** (2023). *Guide des meilleures pratiques : Rénovation des pompes à chaleur dans les bâtiments résidentiels*. Bruxelles.
- **REHVA.** (2012). *Guide n° 7 – Chauffage à basse température et refroidissement à haute température*. Bruxelles.
- **REHVA.** (2018). *Guide n° 23 – Rénovation des bâtiments équipés de systèmes CVC*. Bruxelles.
- **Fraunhofer ISE.** (2020). *Systèmes de pompes à chaleur dans les bâtiments existants – Performances et stratégies de conception*. Fribourg.
- **Fraunhofer ISE.** (2022). *Résultats de suivi des rénovations avec pompes à chaleur en Europe*. Fribourg.
- **ASHRAE.** (2020). *Manuel ASHRAE – Systèmes et équipements CVC*. Atlanta.
- **ASHRAE.** (2021). *Manuel ASHRAE – Principes fondamentaux*. Atlanta.
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., & Mathiesen, B. V. (2014). *Chauffage urbain de 4e génération*. **Energy**, 68, 1–11.
- Buffa, S., Cozzini, M., D'Antoni, M., Baratieri, M., & Fedrizzi, R. (2019). *Systèmes de chauffage et de refroidissement urbains de 5e génération*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 104, 504–522.
- Brandl, D., Mach, T., Karmann, C., & Struck, C. (2016). *Évaluation du confort thermique et de la performance énergétique des systèmes de chauffage et de refroidissement par rayonnement*. **Energy and Buildings**, 109, 351–363.
- Union européenne. (2019). *Lignes directrices de l'UE pour les bâtiments à consommation d'énergie quasi nulle (nZEB)*. Office des publications de l'Union européenne.
- **IDAIE.** (2023). *Guide technique sur les pompes à chaleur dans la rénovation des bâtiments*. Madrid.
- Heppasli, A., & Kalinci, Y. (2009). *Une revue des systèmes de chauffage de l'eau par pompe à chaleur*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 13(6–7), 1211–1229.



Merci de votre attention !



LITHUANIAN
ENERGY
INSTITUTE



euro**TRAINING**

ЕНЕРГИЙНА
АГЕНЦИЯ
ПЛОВДИВ



ENERGY
AGENCY OF
PLOVDIV



GEOEXCHANGE
ROMANIAN GEOEXCHANGE SOCIETY



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA



AdEPORTO
AGÊNCIA DE ENERGIA DO PORTO



Co-funded by
the European Union

