جامعة أبو بكر بلقايد
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⴰⴱⵓⴱⴽⵔ ⴱⵍⵇⴰⵢⴷ ⵜⵍⵎⵙⵏ
UNIVERSITÉ DE TLEMCEN

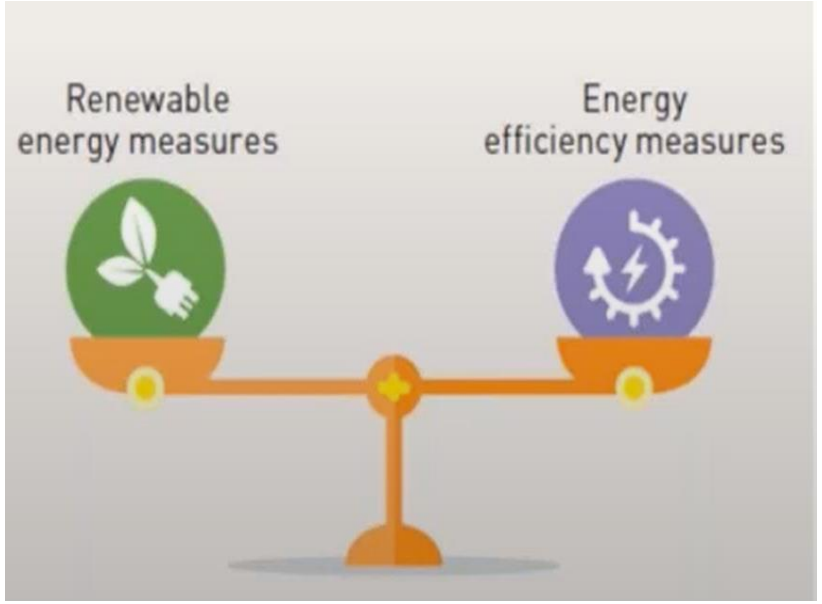
ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LA RÉHABILITATION

Dr. DAHHAOUI Hachimi

INTRODUCTION

Objectifs :

- ❑ Investiguer des stratégies rentables pour réduire les émissions de carbone et la consommation d'énergie dans les bâtiments à l'échelle du quartier, en combinant mesures d'efficacité énergétique et utilisation d'énergies renouvelables.
- ❑ Offrir des orientations aux décideurs politiques, aux entreprises spécialisées dans la transition énergétique ainsi qu'aux propriétaires, pour transformer de manière économique le parc bâti existant en solutions à faibles émissions et basse consommation.



Question clé :

- ❖ Où se situe l'équilibre entre les mesures d'efficacité énergétique et celles favorisant l'usage des énergies renouvelables ?

Champ d'application :

- ➢ Bâtiments résidentiels et bâtiments non résidentiels sans systèmes CVC (chauffage, ventilation, climatisation) complexes.

RÉHABILITATION À L'ÉCHELLE DU QUARTIER : OPPORTUNITÉS ET DÉFIS

- ✓ À l'échelle d'un quartier, il existe des opportunités spécifiques ainsi que des défis particuliers, comparé à l'échelle d'un seul bâtiment.
- ✓ Trouver l'équilibre entre l'approvisionnement en énergies renouvelables et les mesures d'efficacité énergétique pour la réhabilitation du parc existant est plus complexe à l'échelle d'un quartier que pour un bâtiment individuel, mais peut offrir des avantages plus importants.
- ✓ Il est essentiel d'explorer le potentiel de réhabilitations rentables à l'échelle du quartier pour accélérer la transition vers des quartiers à faibles émissions et basse consommation.

ENJEUX & PISTES D'ACTION

- ❑ Présenter les options technologiques existantes et émergentes pour des stratégies de rénovation rentables, notamment via l'intégration d'énergies renouvelables.
- ❑ Définir une méthodologie (et des outils associés) afin d'identifier des approches économiques pour rénover des quartiers en combinant efficacité énergétique et énergies renouvelables.
- ❑ Identifier et documenter de bons exemples, et analyser des études de cas illustrant les stratégies de transition vers des quartiers à faible consommation et faibles émissions.
- ❑ Fournir des recommandations aux décideurs politiques et aux acteurs de l'énergie pour encourager l'adoption de stratégies rentables intégrant l'efficacité énergétique et les renouvelables.
- ❑ Proposer des orientations pour les propriétaires et les investisseurs souhaitant mettre en place des solutions de réhabilitation performantes à l'échelle du quartier.

RESOURCES (https://annex75.iea-ebc.org/publications)

Aperçu des technologies

Méthodologie IEA EBC Annex 75

Outil en ligne IEA EBC Annex 75

Application de la méthodologie à des quartiers « génériques »

Élaboration de stratégies pour la rénovation bas carbone de quartiers

Exemples de bonnes pratiques (disponibles en ligne)

Évaluations paramétriques d'études de cas

Freins et leviers pour la rénovation économe en énergie à l'échelle du quartier

Guide de bonnes pratiques pour la rénovation bas carbone

Instruments politiques pour soutenir les rénovations à l'échelle du quartier

Modèles économiques et outils pour le dialogue entre parties prenantes

Guide à destination des décideurs politiques et des entreprises du secteur de l'énergie

Guide à destination des propriétaires et des investisseurs

MÉTHODOLOGIE (I)

Mesures d'énergies renouvelables

- ❑ **Chauffage à l'échelle du quartier :**
  - Pompe à chaleur sur eau de lac
  - Pompe à chaleur sur eau souterraine
  - Pompe à chaleur géothermique
  - Énergie bois
  - Eau de lac + pompes à chaleur décentralisées
  - …
- ❑ **Chauffage individuel :**
  - Pompe à chaleur air/eau
  - Pompe à chaleur géothermique
  - Énergie bois
  - …
- ❑ **Énergie solaire**

Mesures d'efficacité énergétique

- ❑ **Interventions sur l'enveloppe du bâtiment :**
  - Isolation des murs
  - Isolation de la toiture
  - Isolation du plafond de cave
  - Fenêtres performantes
  - …

MÉTHODOLOGIE (II)

Sélection de scénarios de rénovation :

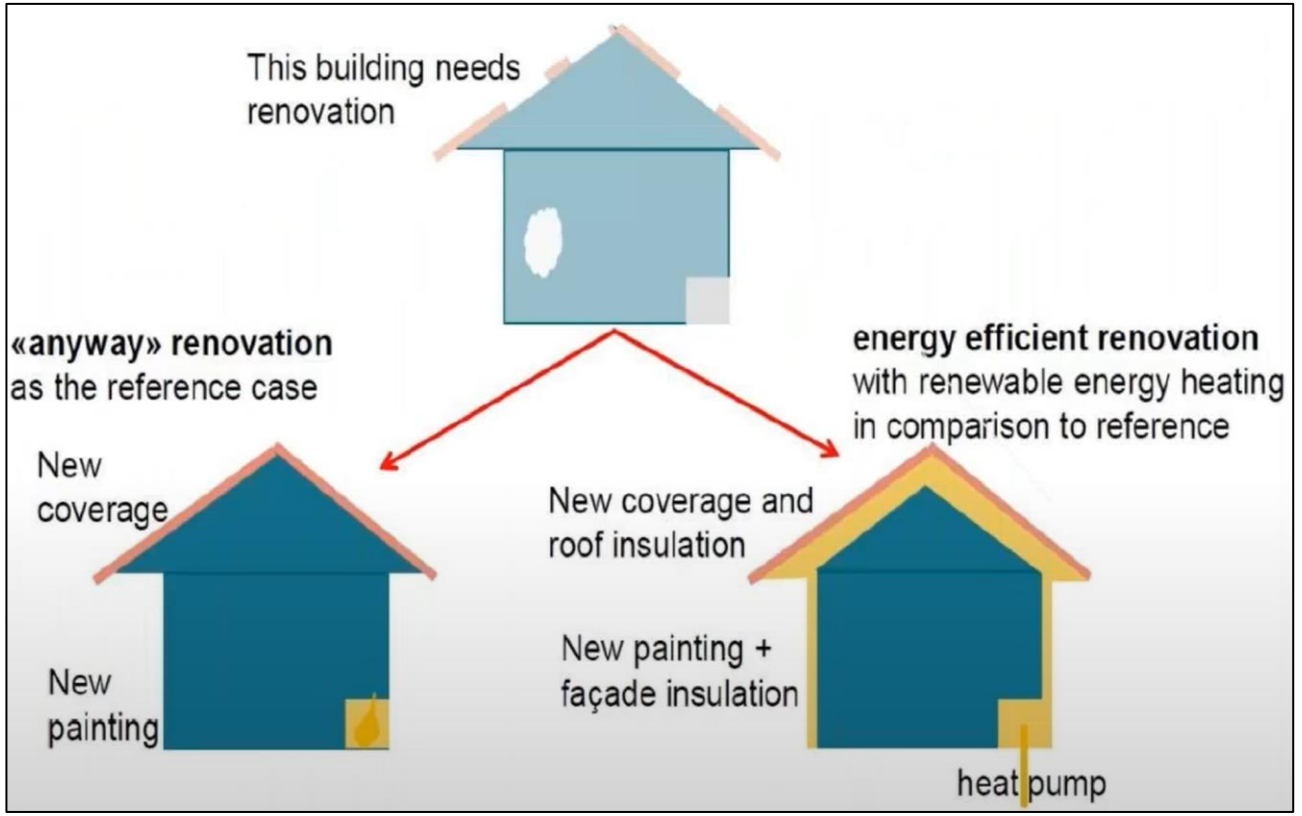
- Définir les options de rénovation en termes de solutions d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique.
- Élaborer des variantes (combinaisons de mesures) pour couvrir différentes approches techniques et contraintes budgétaires.

Simulation et évaluation :

- Analyser la performance énergétique et environnementale de chaque scénario (logiciel de simulation, calculs de coûts, etc.).
- Évaluer l'impact sur les émissions de CO_2, la consommation d'énergie, la faisabilité technique et les retours sur investissement.

Comparaison et priorisation :

- Classer les scénarios selon les coûts, les gains énergétiques et la réduction des émissions.
- Identifier les mesures les plus pertinentes pour atteindre des objectifs de décarbonation à l'échelle du quartier.



Rénovation de référence (« anyway ») :
•Nouvelle couverture
•Nouvelle peinture

Rénovation énergétique intégrant un chauffage renouvelable :
•Nouvelle couverture et isolation de la toiture
•Nouvelle peinture et isolation de la façade
•Pompe à chaleur

Exemple de comparaison entre rénovation « standard » et rénovation énergétique

MÉTHODOLOGIE (III)

Système de chauffage à l'échelle du quartier

A	B	C	D
Source d'approvisionnement en chaleur	Générateur de chaleur centralisé	Réseau de canalisations / système de distribution	Sous-station de chauffage individuelle

ÉTUDE DE CAS : LUCERNE, SUISSE (I)

Présentation d'un périmètre résidentiel à Lucerne sélectionné pour la réhabilitation énergétique à l'échelle du quartier.

ÉTUDE DE CAS : LUCERNE, SUISSE (I)

Caractérisation de l'enveloppe du bâtiment avec des certificats de performance énergétique

- Évaluation de l'état actuel (isolation, menuiseries, toiture, etc.)
- Attribution d'une classe d'efficacité énergétique (A, B, C…) selon la performance thermique
- Propositions d'améliorations (renforcer l'isolation, remplacer les fenêtres, etc.) pour optimiser l'efficacité énergétique et réduire la consommation globale

ÉTUDE DE CAS : LUCERNE, SUISSE (I)

Tableau 1 : Scénarios de rénovation

Scénario	Description des interventions
Référence	Réfection des murs/toiture + fenêtres (sans amélioration de l'efficacité énergétique)
V1	Isolation du mur extérieur (4–11 cm de laine de roche)
V2	Isolation du mur extérieur (12–21 cm de laine de roche)
V3	V2 + isolation du plafond de cave (3–12 cm de mousse de polyurethane (PUR))
V4	V2 + isolation du plafond de cave (9–19 cm de PUR)
V5	V4 + isolation de la toiture (2–13 cm de polystyrène expanse (EPS))
V6	V4 + isolation de la toiture (12–24 cm d'EPS)
V7	V6 + nouvelles fenêtres (U = 1,3 W/m²K)V8 : V6 + nouvelles fenêtres (U = 0,8 W/m²K)

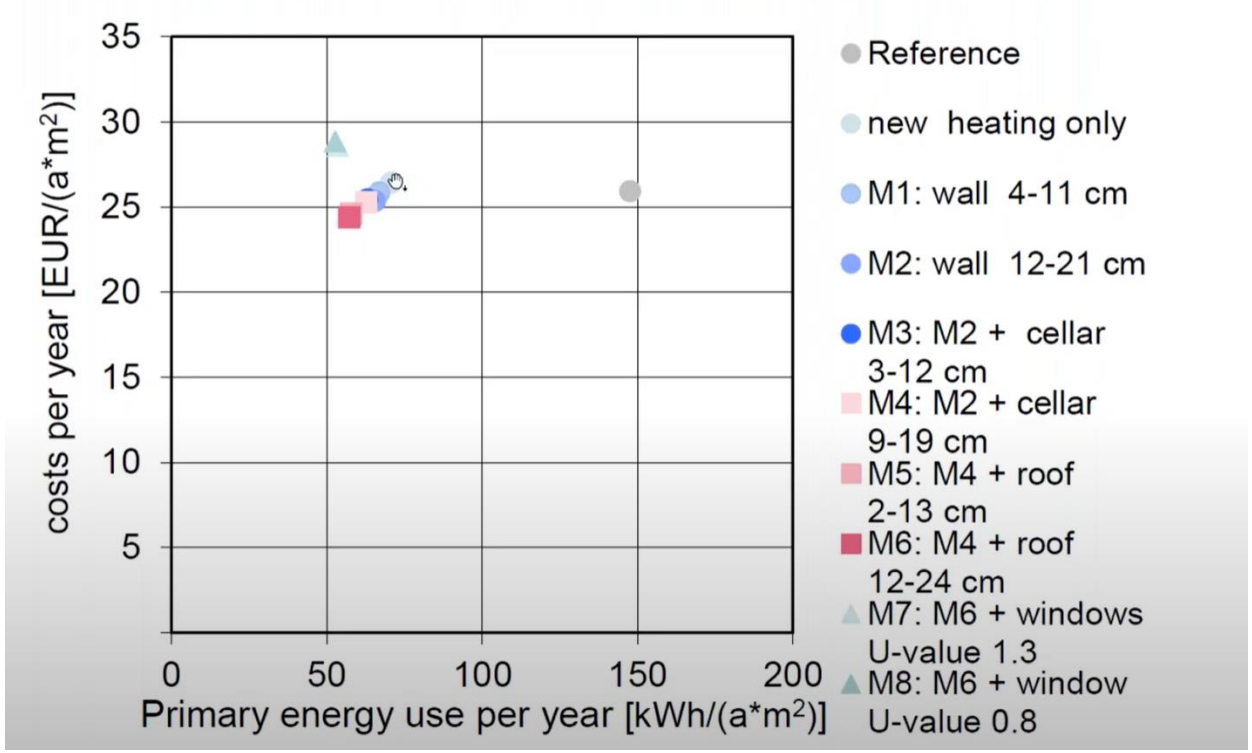
ÉTUDE DE CAS : LUCERNE, SUISSE (I)

Tableau 2 : Systèmes de chauffage

Type de système	Description
Référence	- Chauffage au fioul ou au gaz
Renouvelable décentralisé	- Pompe à chaleur air/eau - Pompe à chaleur géothermique
Renouvelable centralisé	- Chauffage à partir de l'eau de lac, associé à une pompe à chaleur centralisée - Chauffage à partir de l'eau de lac, associé à plusieurs pompes à chaleur décentralisées - Pompe à chaleur géothermique centralisée (avec régénération via énergie solaire)

ÉTUDE DE CAS : LUCERNE, SUISSE (I)

- L'axe horizontal (kWh/an·m²) indique la consommation d'énergie primaire par mètre carré et par an.
- L'axe vertical (EUR/an·m²) montre les coûts annuels d'exploitation par mètre carré.
- Le scénario « Reference » correspond au chauffage fioul/gaz sans amélioration de l'enveloppe.
- « New heating only » implique le remplacement du système de chauffage sans intervention sur l'enveloppe.
- Les variantes (M1, M2, M3, etc.) représentent différents niveaux d'isolation (murs, plafond de cave, toiture) et de performance des fenêtres, combinés à une pompe à chaleur air/eau.



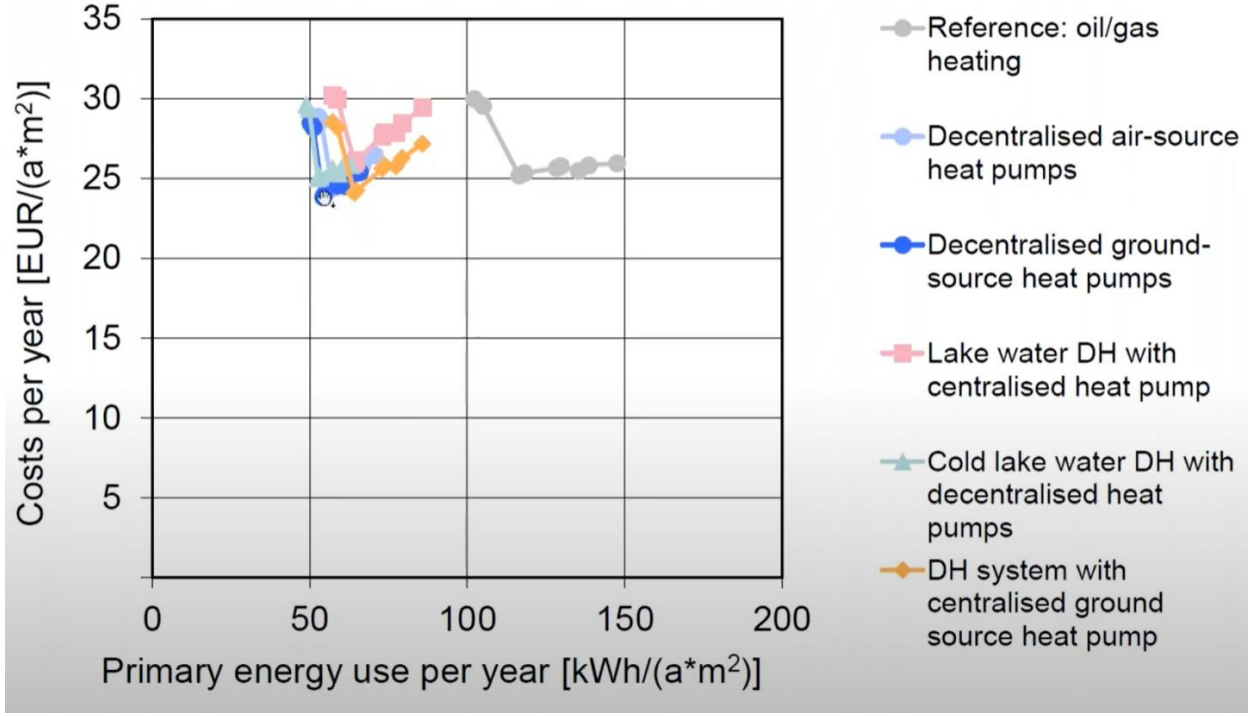
Mesures d'efficacité de l'enveloppe couplées à des pompes à chaleur air/eau

ÉTUDE DE CAS : LUCERNE, SUISSE (I)

- ❑ Axe horizontal : consommation annuelle d'énergie primaire (kWh/an·m²)
- ❑ Axe vertical : coûts annuels (EUR/an·m²)
- ❑ Les points de couleur correspondent aux différents scénarios de rénovation associés à :

✓ Un chauffage fioul/gaz (référence)
✓ Des pompes à chaleur air/eau décentralisées
✓ Des pompes à chaleur géothermiques décentralisées
✓ Un chauffage urbain basé sur l'eau de lac et une pompe à chaleur centralisée
✓ Un réseau d'eau de lac « froide » alimentant des pompes à chaleur décentralisées
✓ Un réseau de chauffage urbain avec pompe à chaleur géothermique centralisée

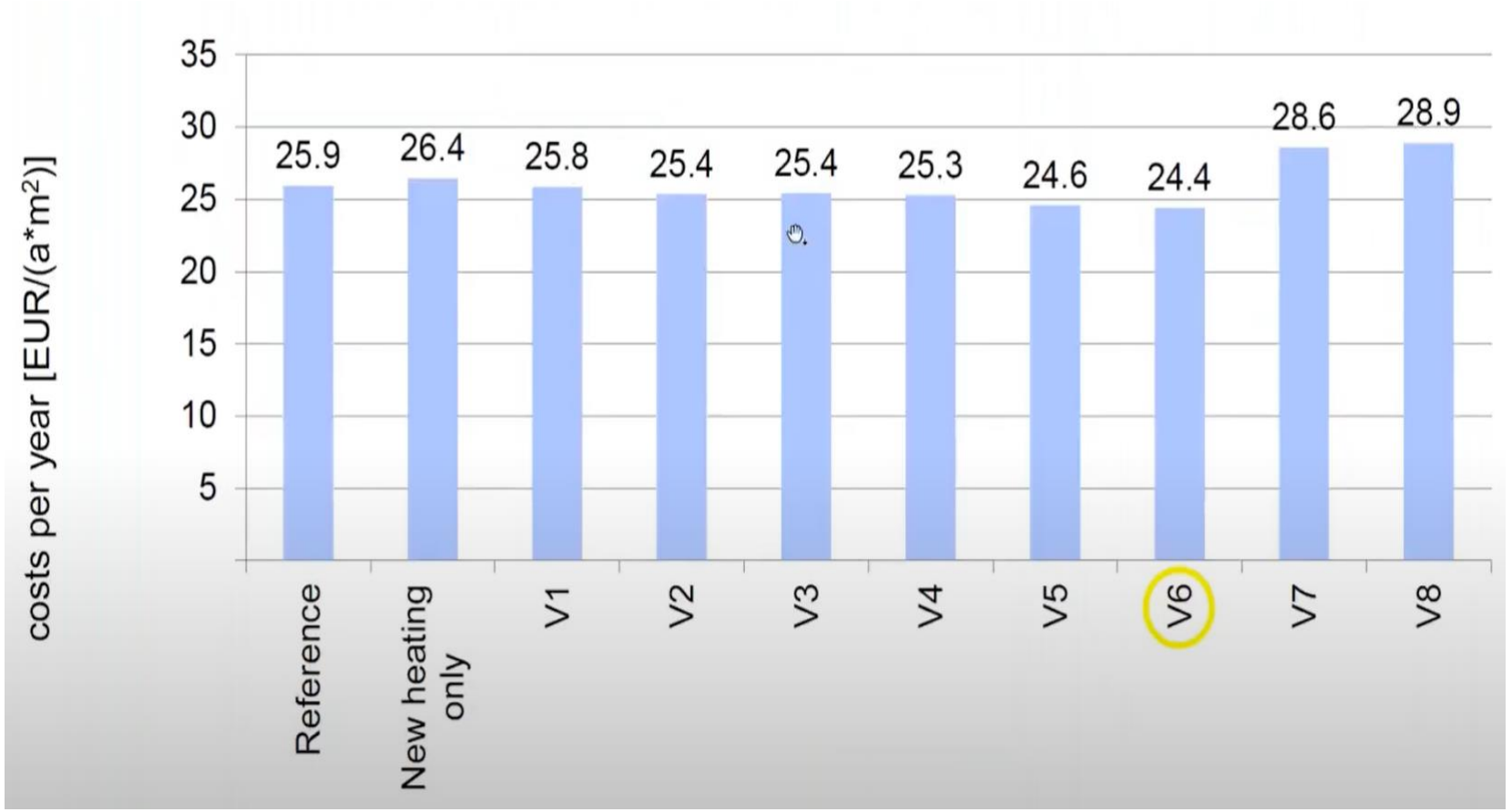
Chaque combinaison met en évidence le compromis entre coûts d'exploitation et consommation d'énergie primaire.



Mesures d'efficacité sur l'enveloppe, comparées à différents systèmes de chauffage

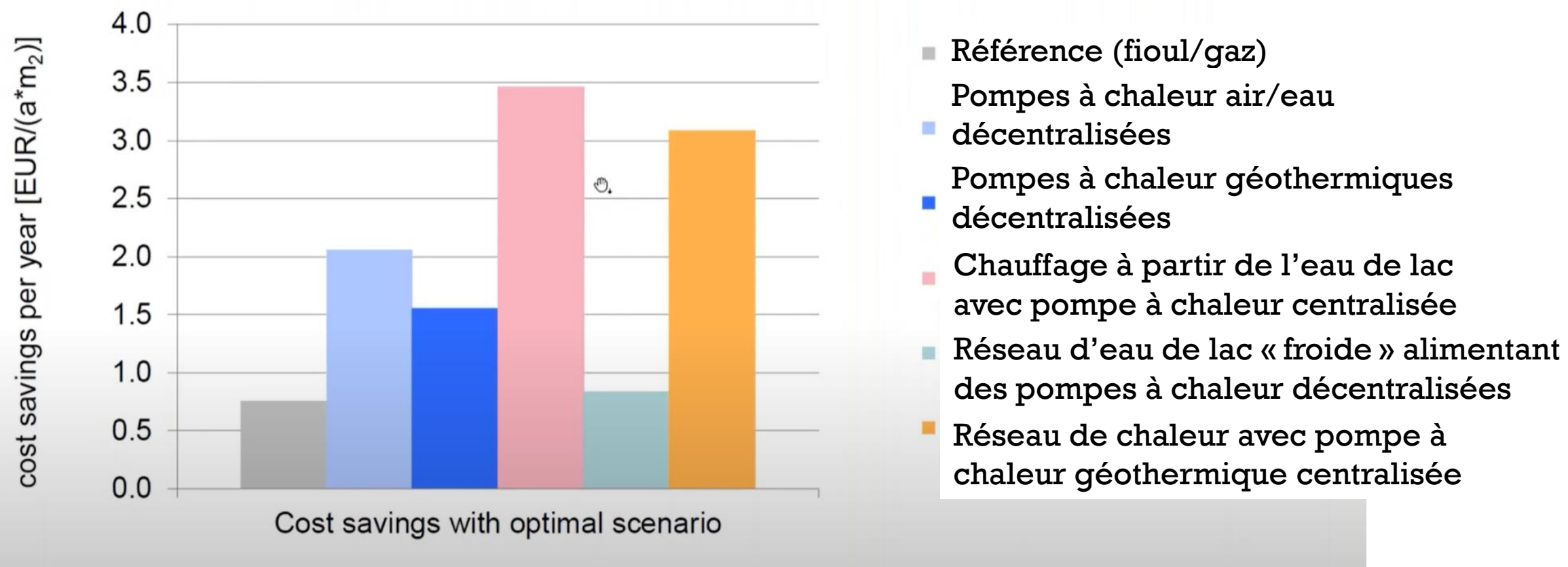
ÉTUDE DE CAS : LUCERNE, SUISSE (I)

Les scénarios V5 et V6 (combinaisons d'isolations et de rénovation plus poussées) affichent les coûts d'exploitation les plus bas, alors que les variantes V7 et V8 (avec fenêtres très performantes) sont plus onéreuses à l'usage dans ce cas précis.



Coûts annuels par scénario (pompe à chaleur air/eau)

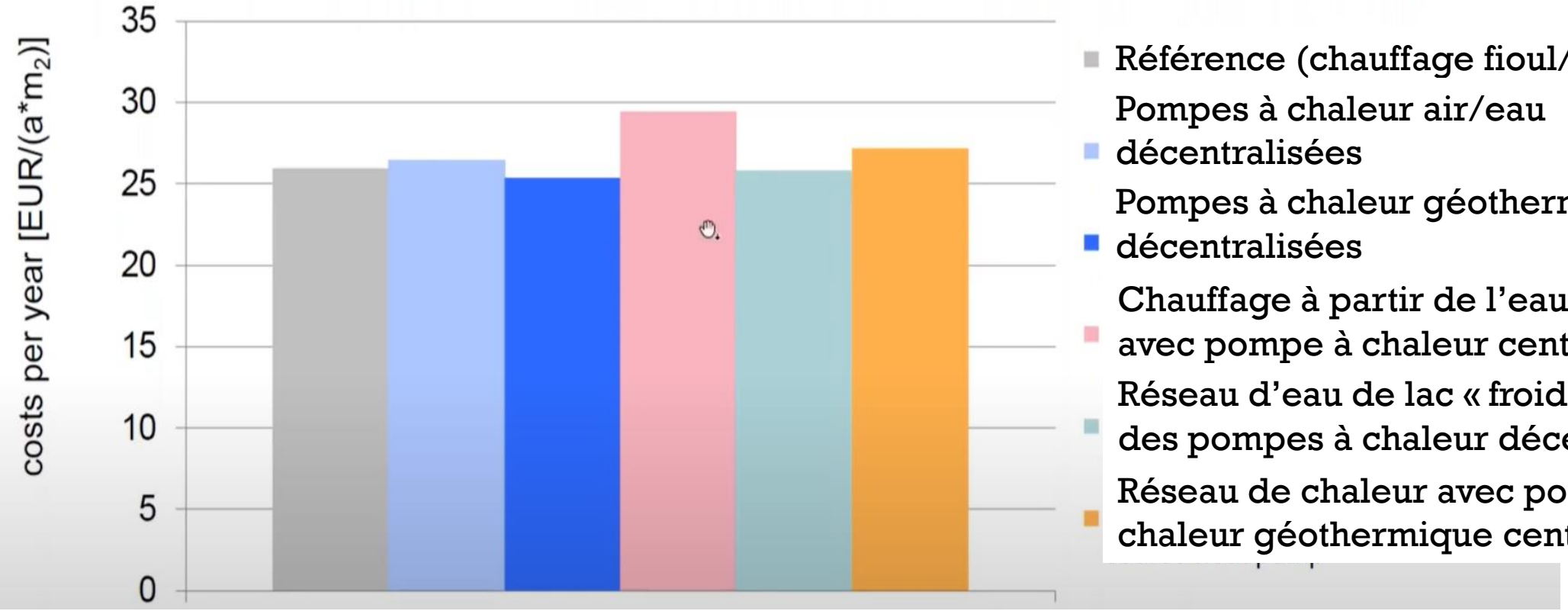
ÉTUDE DE CAS : LUCERNE, SUISSE (I)



Économies de coûts obtenues grâce aux mesures d'efficacité énergétique, selon différents systèmes de chauffage

Le graphique montre les gains de coûts annuels (en EUR/an·m²) pour chaque solution, par rapport au scénario optimal de rénovation énergétique.

ÉTUDE DE CAS : LUCERNE, SUISSE (I)



Comparaison de différents systèmes de chauffage sans amélioration de l'enveloppe

ÉTUDE DE CAS : LUCERNE, SUISSE (I)

Conclusions de l'étude

- ✓ Pour tous les systèmes d'énergies renouvelables examinés, les améliorations d'efficacité énergétique sur l'enveloppe du bâtiment sont au moins aussi rentables qu'un chauffage à combustibles fossiles.
- ✓ Pour les systèmes de chauffage individuels comme pour les réseaux de chauffage urbain, la même combinaison de mesures sur l'enveloppe apparaît la plus économique.
- ✓ La rentabilité des différents systèmes de chauffage analysés reste globalement similaire.
- ✓ Les synergies entre les mesures d'efficacité (sur l'enveloppe) et l'intégration d'énergies renouvelables sont plus marquées pour les réseaux de chauffage urbain, comparativement aux systèmes décentralisés.

ÉLABORATION DE LA STRATÉGIE

Condition de départ :
- S1 (Décentralisé)
- S2 (Central – Énergies fossiles)
- S3 (Central – Énergies renouvelables)

Concept de production et de distribution :
- Central (à l'échelle du quartier)
- Décentralisé (par bâtiment ou sous-station)
- Individuel (au niveau de l'utilisateur final)

Technologie de chauffage/refroidissement :
- Réseau de chaleur (à l'échelle de la ville)
- Chaudière biomasse
- Pompe à chaleur (géothermique : Ground Source Heat Pump, eau : Water Source Heat Pump, air : Air Source Heat Pump)
- Radiateurs électriques

Niveau d'ambition :
- Mesures d'efficacité énergétique
  - ✓ Liées à la rénovation « inévitable »
  - ✓ Mesures additionnelles d'amélioration
  - ✓ Production locale (panneaux solaires photovoltaïques, capteurs solaires thermiques)

CONCLUSIONS SÉLECTIONNÉES POUR L'ÉLABORATION DE LA STRATÉGIE (I)

- Il n'existe pas de solution universelle : chaque quartier doit être étudié spécifiquement, en tenant compte de ses particularités.
- Les meilleures solutions dépendent de la situation de départ du quartier :
  - ✓ Niveau d'isolation et besoins énergétiques associés
  - ✓ Existence (ou non) d'un réseau de chaleur et systèmes de chauffage/refroidissement installés
  - ✓ Ressources énergétiques disponibles
  - ✓ Possibilités d'intégrer des énergies renouvelables

CONCLUSIONS SÉLECTIONNÉES POUR L'ÉLABORATION DE LA STRATÉGIE (II)

- Les synergies entre les mesures d'efficacité énergétique et le chauffage basé sur les énergies renouvelables se manifestent pour tous les types de systèmes. Le même ensemble de mesures sur l'enveloppe du bâtiment est généralement le plus rentable.
- Un facteur clé pour ces synergies : la possibilité de réduire la température du réseau grâce aux améliorations sur l'enveloppe, tout en préservant la sécurité de l'eau chaude sanitaire.

CONCLUSIONS SÉLECTIONNÉES POUR L'ÉLABORATION DE LA STRATÉGIE (III)

- La différence de rentabilité entre les solutions centralisées et décentralisées est souvent faible. Les effets d'économie d'échelle peuvent être en partie compensés par :
  - ✓ Les pertes liées à la distribution
  - ✓ Les pompes à chaleur moins efficaces à haute température
  - ✓ Un besoin accru de planification et des risques plus élevés⇒ Il n'y a donc pas toujours d'argument économique évident en faveur de l'option centralisée.

- Néanmoins, certains facteurs peuvent favoriser les solutions centralisées :
  - ✓ Exploiter une source de chaleur de grande capacité ou un stockage thermique saisonnier
  - ✓ Gagner en flexibilité
  - ✓ Réduire la pression sur le réseau électrique
  - ✓ Fournir une solution de chauffage pour des bâtiments où la mise en place d'un système décentralisé fonctionnant aux énergies renouvelables est difficile

- Si les pouvoirs publics souhaitent encourager les projets à l'échelle du quartier (pour bénéficier de ces avantages), il faut mettre en place des mesures politiques, car le marché ne les adoptera pas nécessairement de lui-même.