

# Quel rôle pour le chauffage à distance dans la transition énergétique?

Atouts, contraintes et potentiels

**Loïc Quiquerez**

27 avril 2017

Séminaire Energie-Environnement 2016-2017

# Plan de l'exposé

---

- I. Notions fondamentales: aspects techniques, économiques et organisationnels
- II. Point sur les niveaux de température pratiqués sur les réseaux de chaleur
- III. Scénarios prospectifs de l'évolution du marché de la chaleur

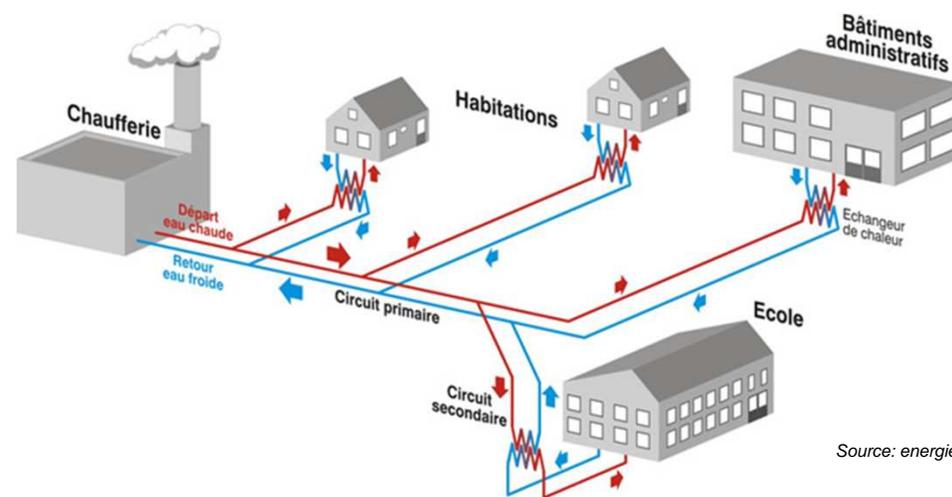
# Définition du réseau de chaleur

## Définition technique:

Réseau de conduites permettant de **déplacer de la chaleur** d'un endroit où elle est disponible/générée vers des sites de consommation pour l'approvisionnement en chauffage et en eau chaude sanitaire

Les trois composants techniques de base :

- Unités de production
- Conduites de transport
- Sous-stations



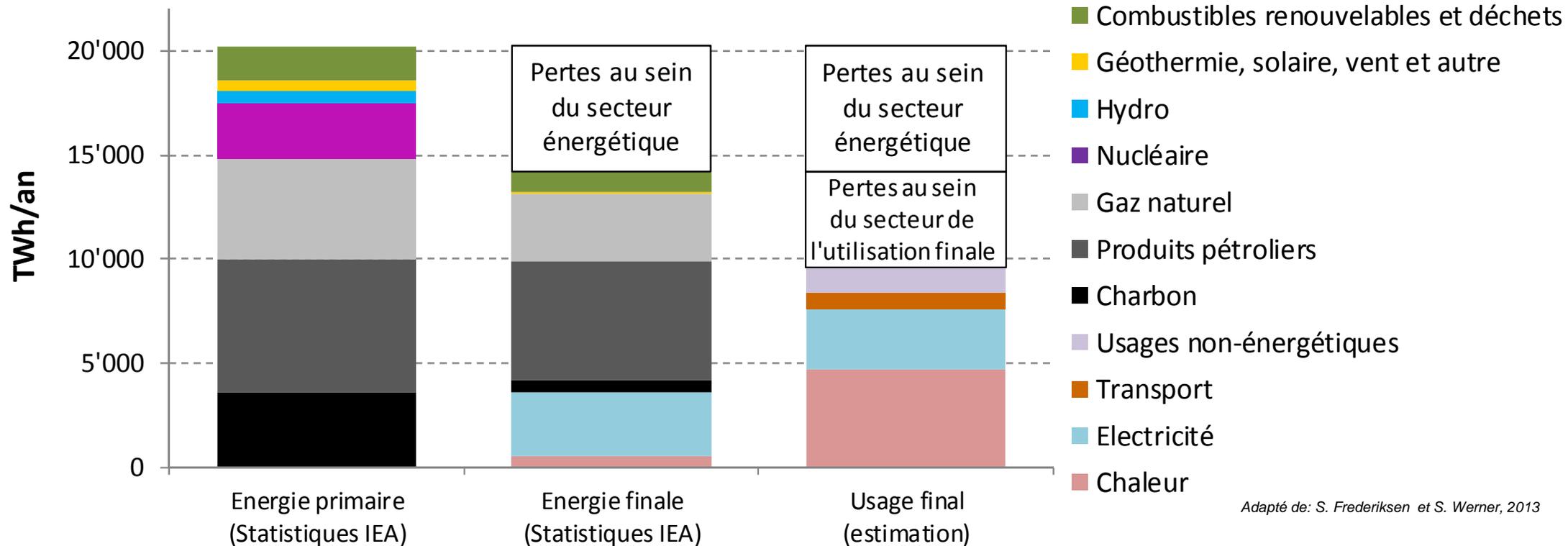
Source: energie-plus

## Autre aspect:

Un réseau qui met en relation un maître d'ouvrage et **plusieurs acheteurs tiers** (différent d'un «réseau technique»)

# Contexte global

Bilan Europe  
2013 (OCDE)



Adapté de: S. Frederiksen et S. Werner, 2013

## Constat:

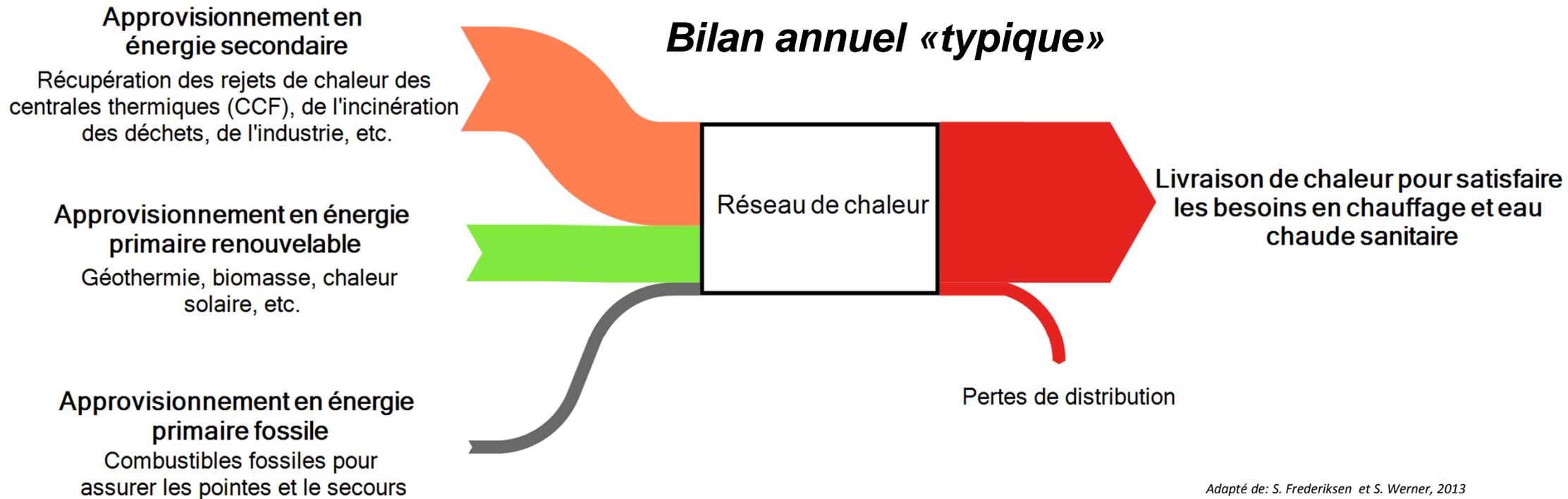
- Dépendance aux énergies fossiles
- Importance des besoins de chaleur
- Inefficacité du système

## Comment décarboner ?

- + de sobriété
- + d'efficacité
- + de renouvelable

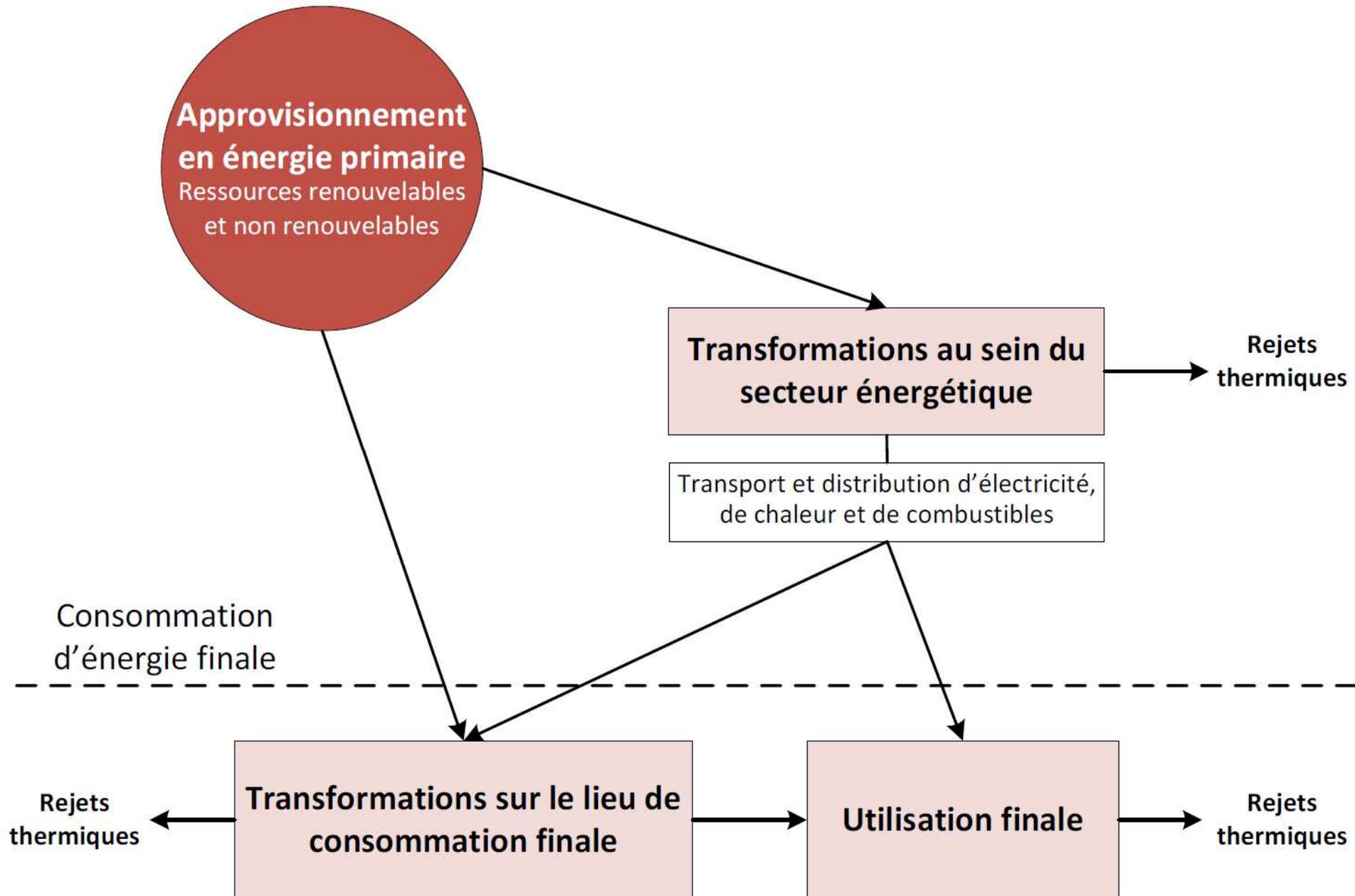
# Idée de base

**Atout:** ils permettent de valoriser des énergies renouvelables ou de récupération (EnR&R) locales difficile à exploiter autrement



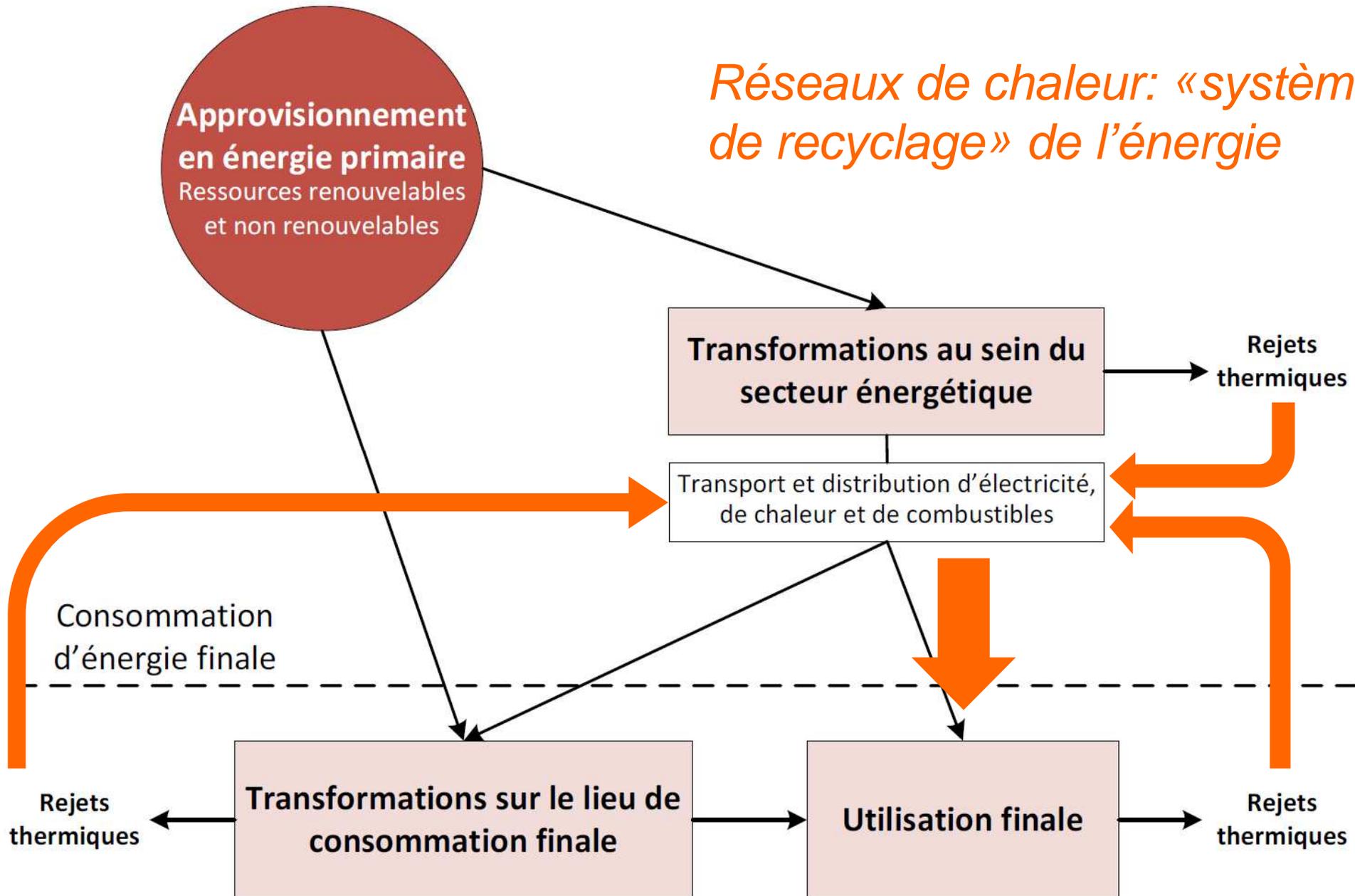
**Particularité essentielle:** approvisionnement en énergie primaire généralement plus faible que la chaleur délivrée aux bâtiments

# Idée de base



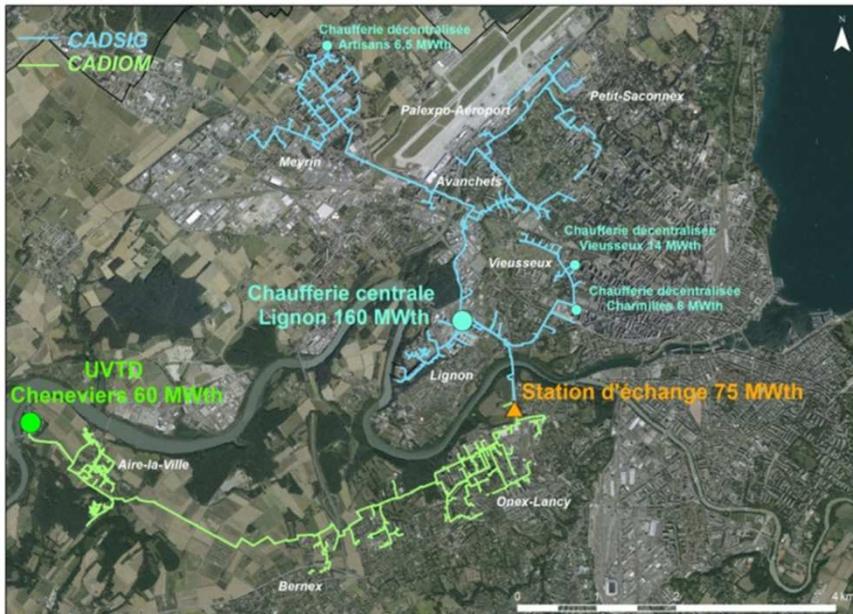
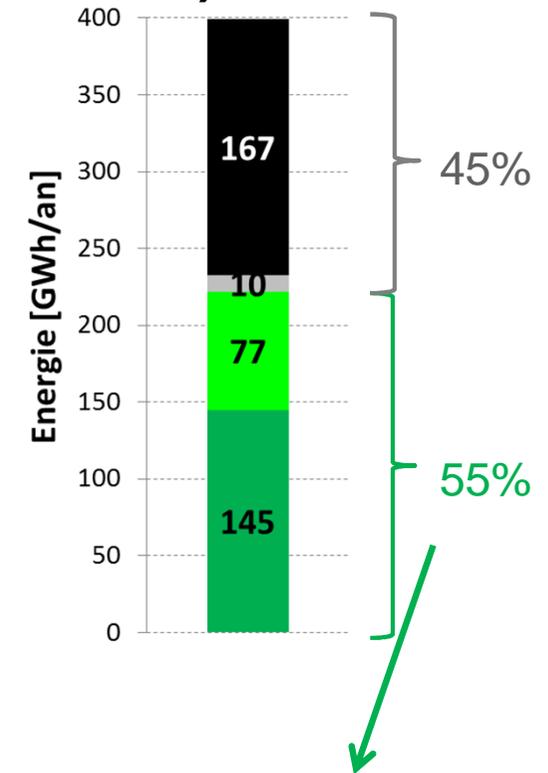
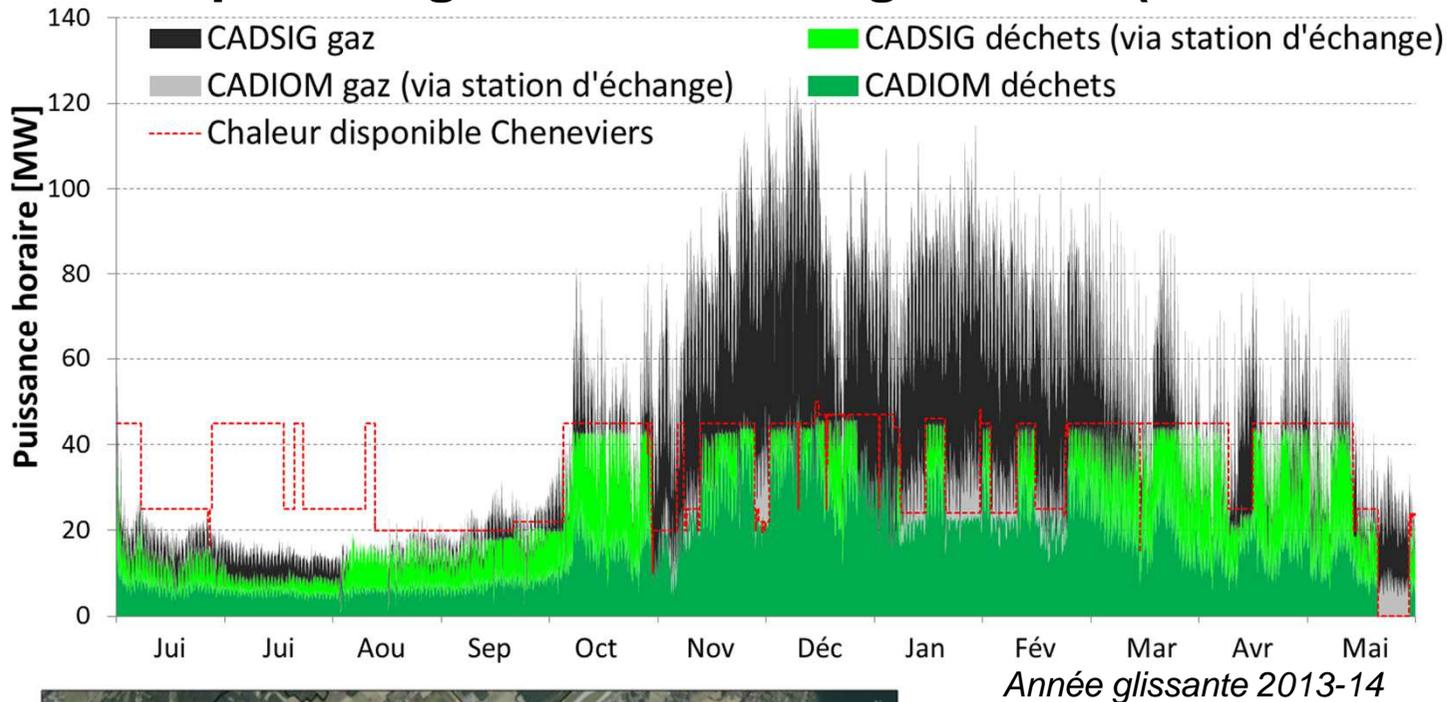
# Idée de base

*Réseaux de chaleur: «système de recyclage» de l'énergie*



# Idée de base

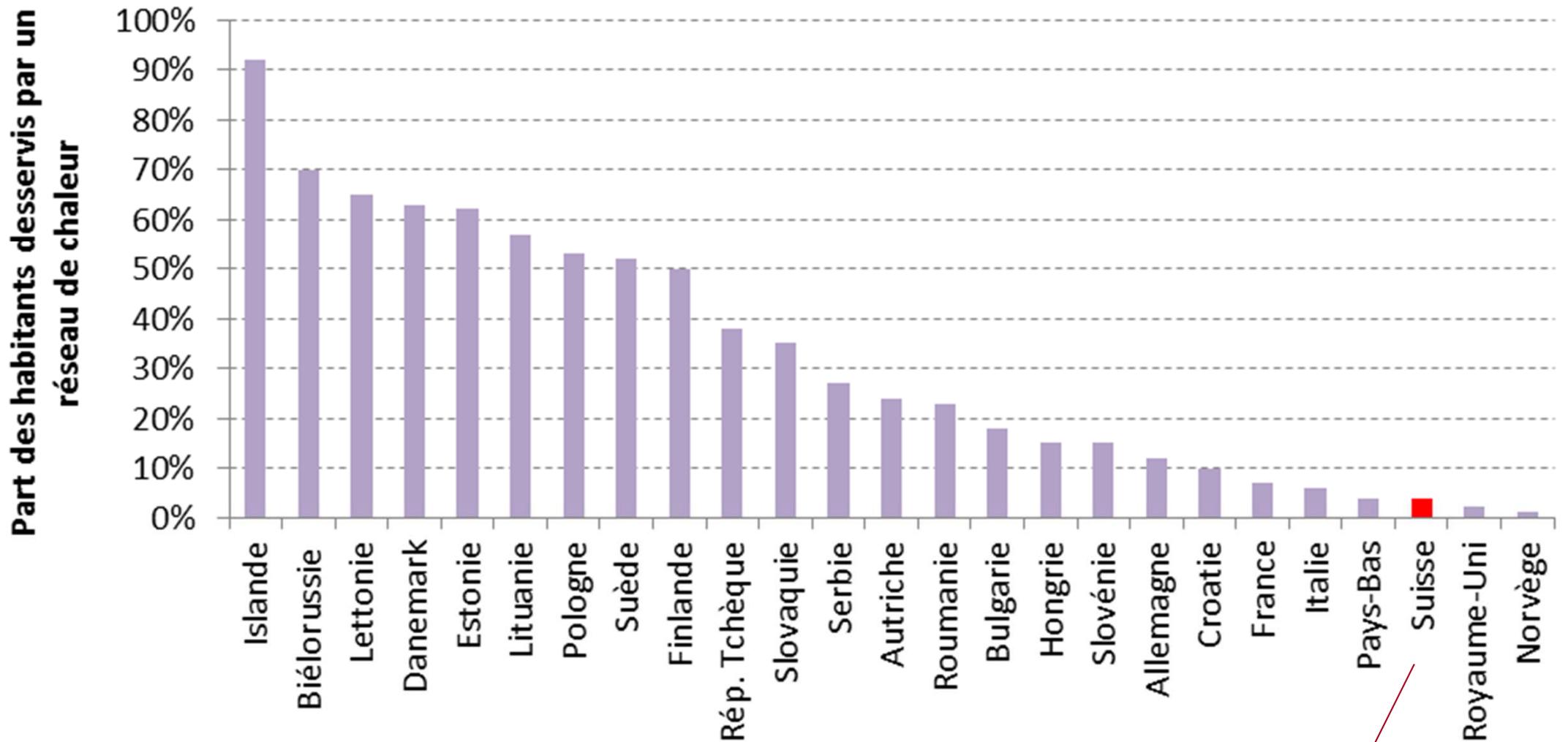
## Exemple des grands réseaux genevois (CADIOM et CADSIG)



### Chaleur fatale:

- *Produite indépendamment de la demande de chaleur*
- *Rejetée dans l'environnement si elle n'est pas valorisée*

# Etat actuel en Europe et en Suisse

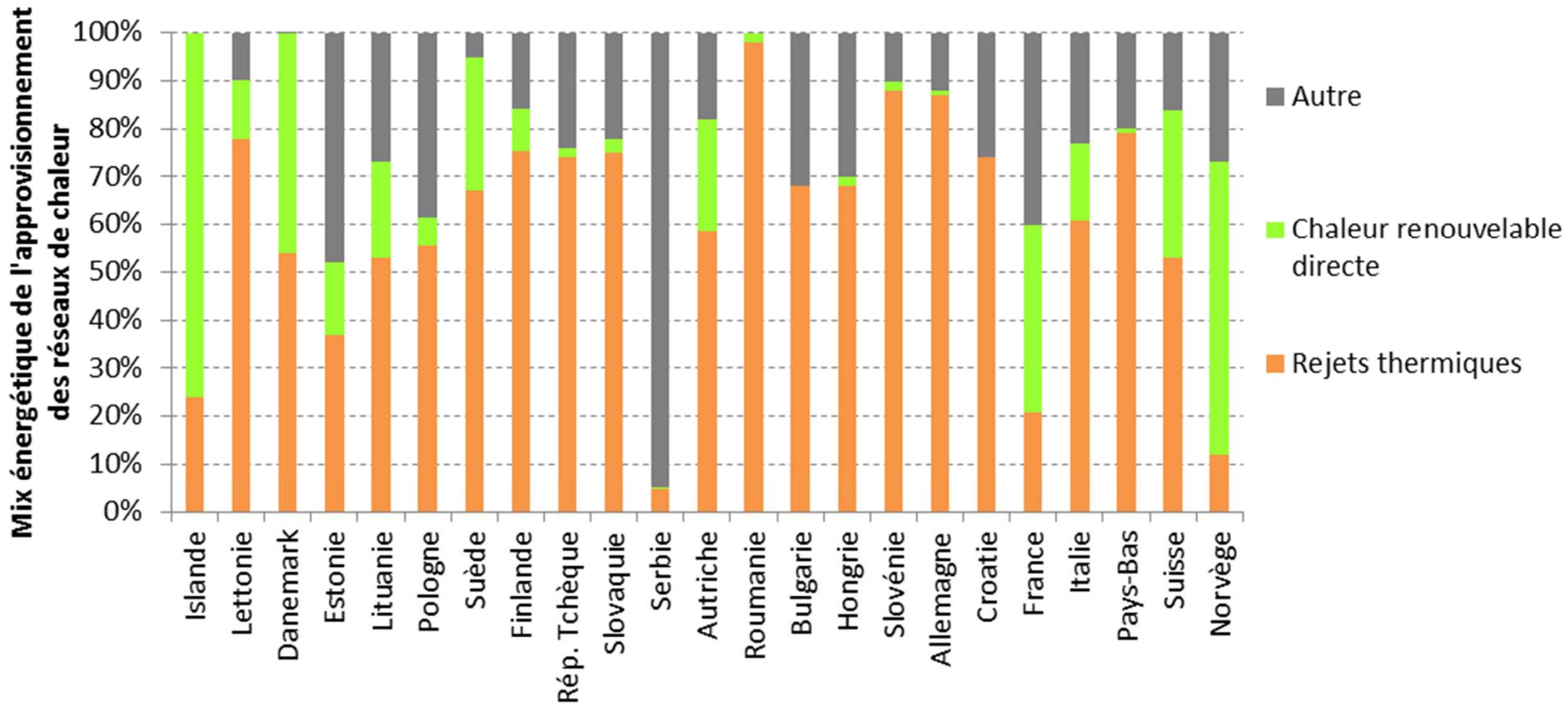


EuroHeat&Power survey 2015

→ de fortes disparités selon les pays

Près de 160 systèmes, environ 5 TWh/an  
Les 4 plus grands: Bâle, Zurich, Lausanne, Genève

# Etat actuel en Europe et en Suisse



EuroHeat&Power survey 2015

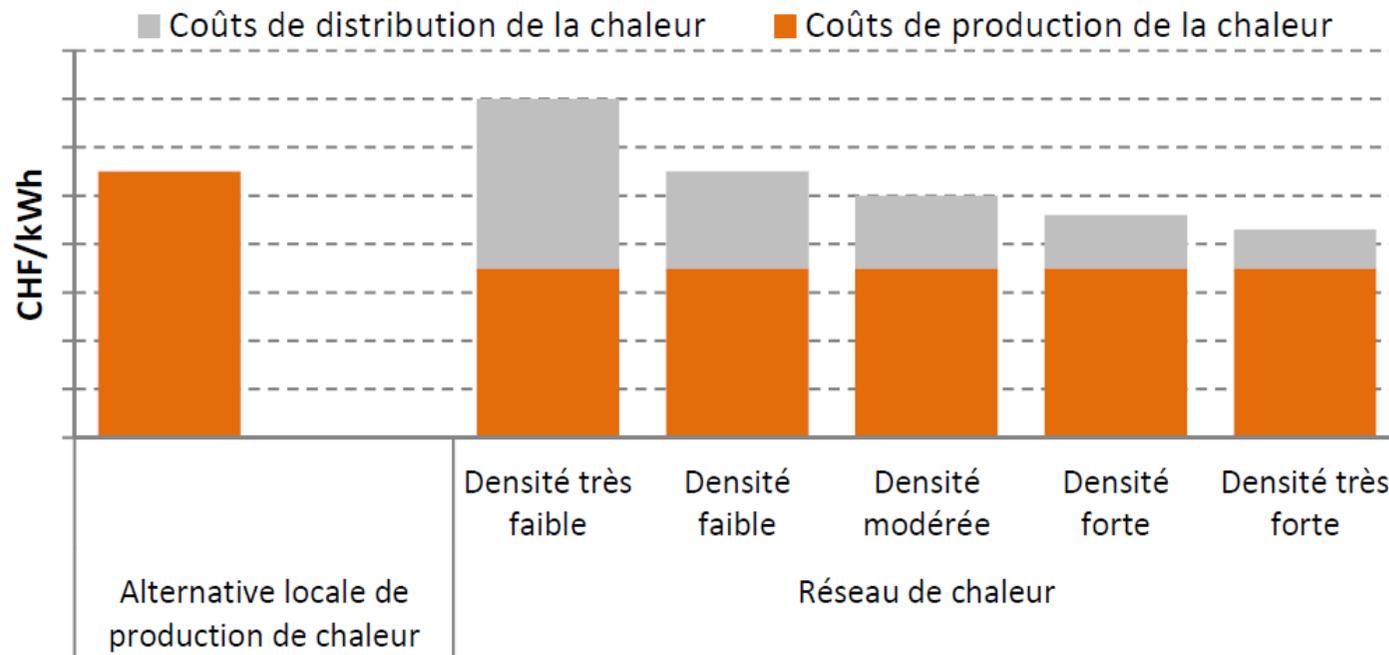
→ les réseaux contribuent déjà à améliorer l'efficacité énergétique et l'intégration du renouvelable en Europe

# La question du coût

**En concurrence** avec des technologies d'approvisionnement décentralisées (PAC, chaudières individuelles)

Pour être compétitifs:

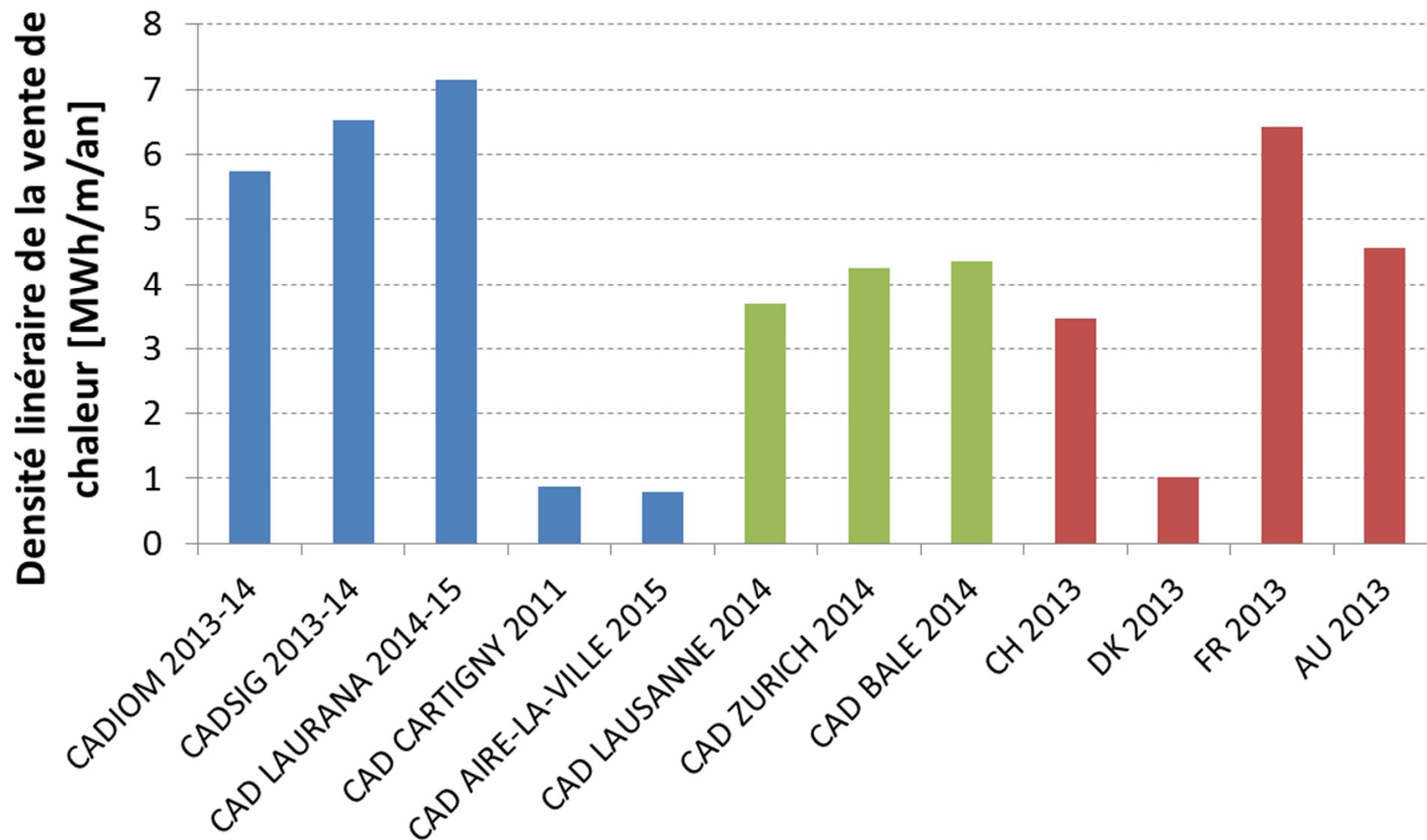
- Cibler des **sources de chaleur bon marché**
- Viser **une densité suffisante** (MWh vendu / mètre de réseau)



Adapté de: S. Frederiksen et S. Werner, 2013

Caractéristique: infrastructures particulièrement **capitalistiques**

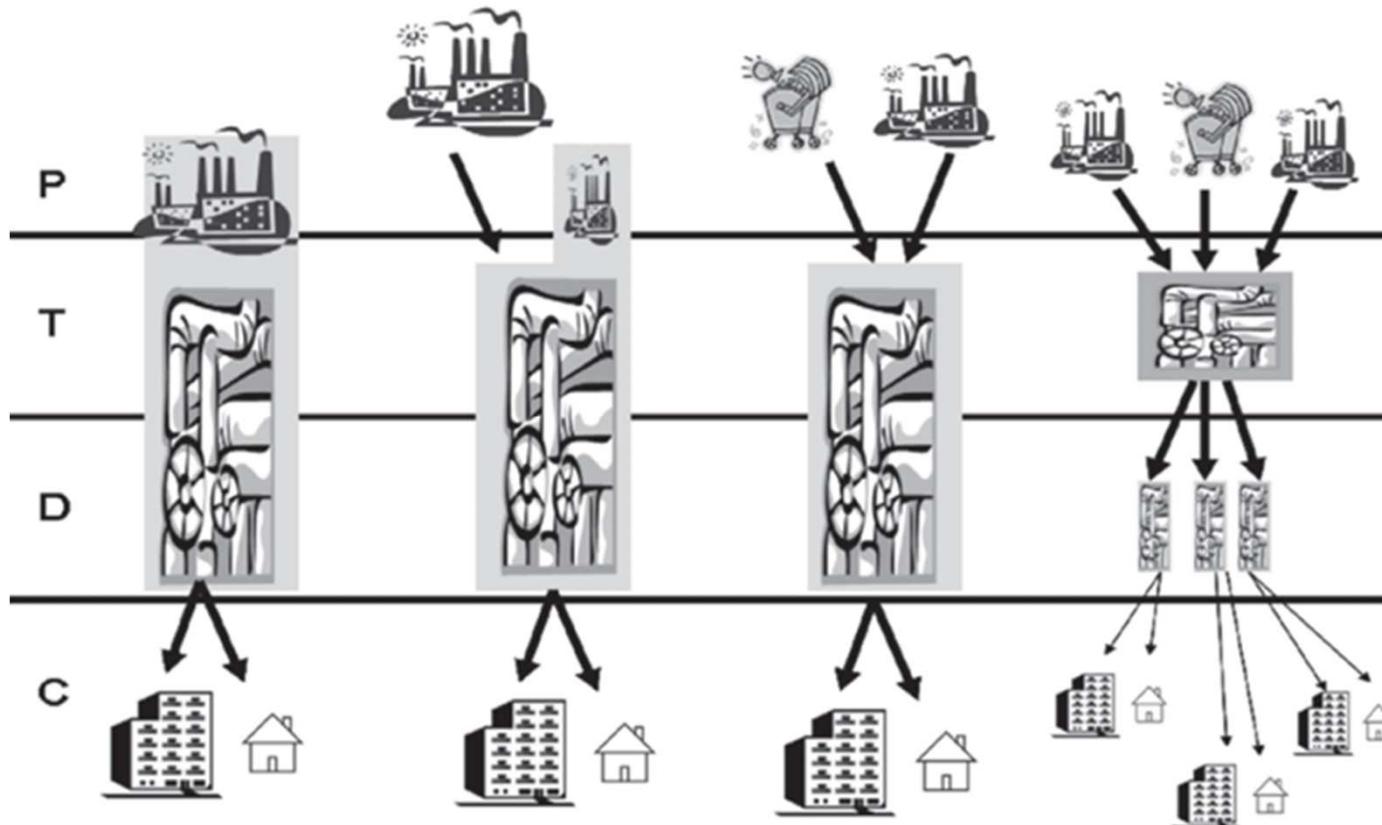
# La densité linéaire



# Le caractère «local»

**La chaleur se transporte difficilement** → des systèmes intrinsèquement locaux et isolés (≠ gaz et électricité)

- Production de chaleur locale → appel à des ressources locales
- Planification indispensable
- Différentes formes d'organisation, souvent avec une implication des collectivités locales



# Contraintes pour les CAD selon les contextes

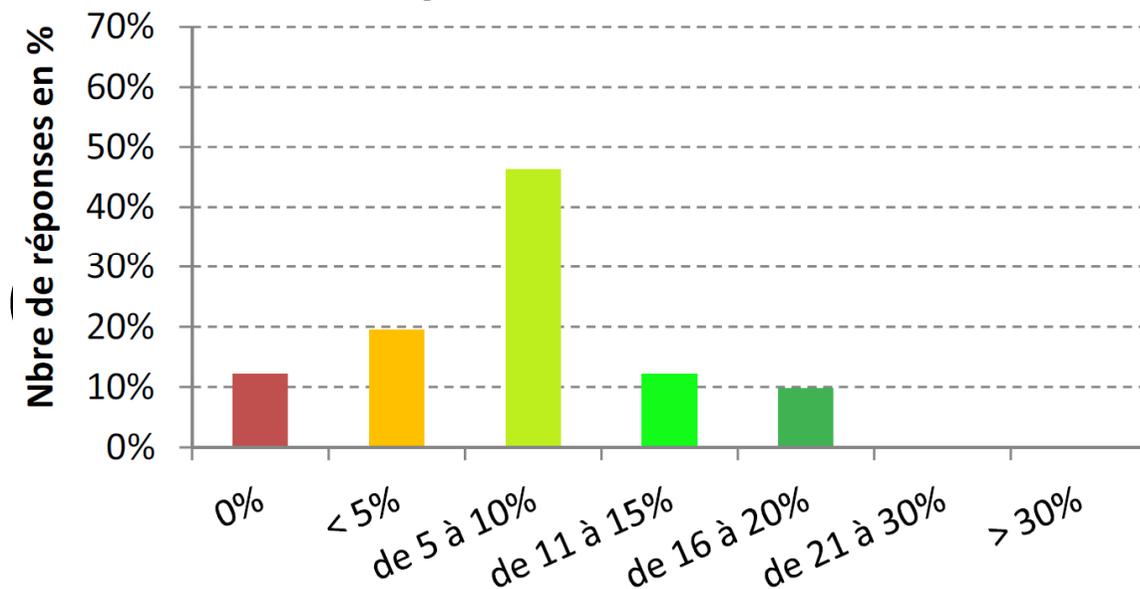
## Contraintes économiques/financières

Manque d'attractivité pour les clients/consommateurs

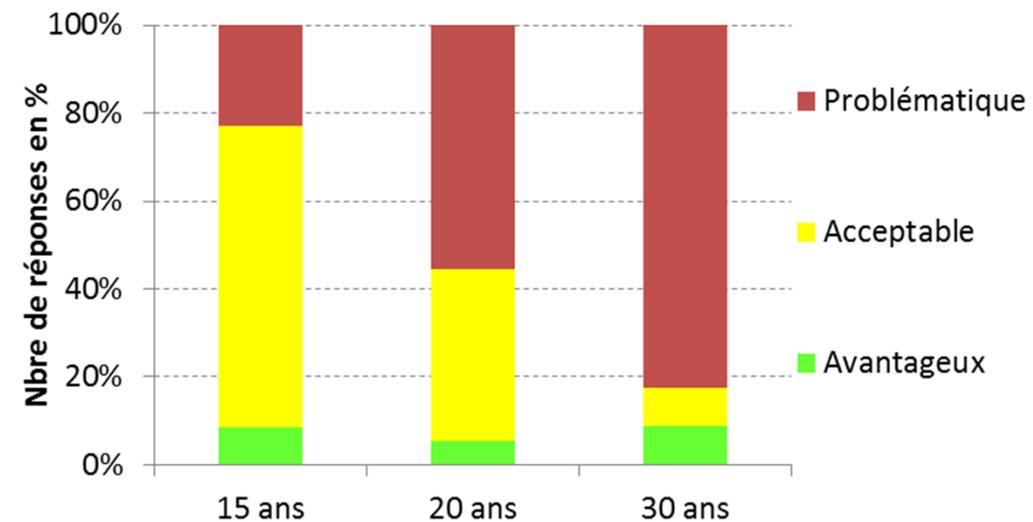
Manque d'attractivité pour les investisseurs

*Enquête auprès des propriétaires et régies (45 répondants)*

### Hausse de coût acceptée pour l'intégration de davantage de ressources renouvelables



### Perception du contracting énergétique



# Contraintes pour les CAD selon les contextes

---

## Contraintes économiques/financières

Manque d'attractivité pour les clients/consommateurs  
Manque d'attractivité pour les investisseurs

## Contraintes organisationnelles

Difficultés à coordonner le développement des infrastructures énergétiques  
Manque d'engagement de certains acteurs, conflits d'intérêts

## Contraintes spatiales

Inadaptation de certains tissus urbains

# Instrument de politique publique

## Instrument économiques/financiers

- Taxes
- Subventions
- Prêt à taux réduits / cautionnement

## Instrument de planification

- Diagnostics énergétiques
- Evaluation des potentiels
- Zonage territorial
- Coordination des acteurs, des projets

### Un faisceau d'instruments

## Instrument réglementaires

- Obligation d'intégrer une certaine part d'EnR&R dans les bâtiments
- Obligation de raccordement
- Interdiction du chauffage à mazout?

## Instrument informationnels

- Programme de sensibilisation, formation
- Plateforme d'échange

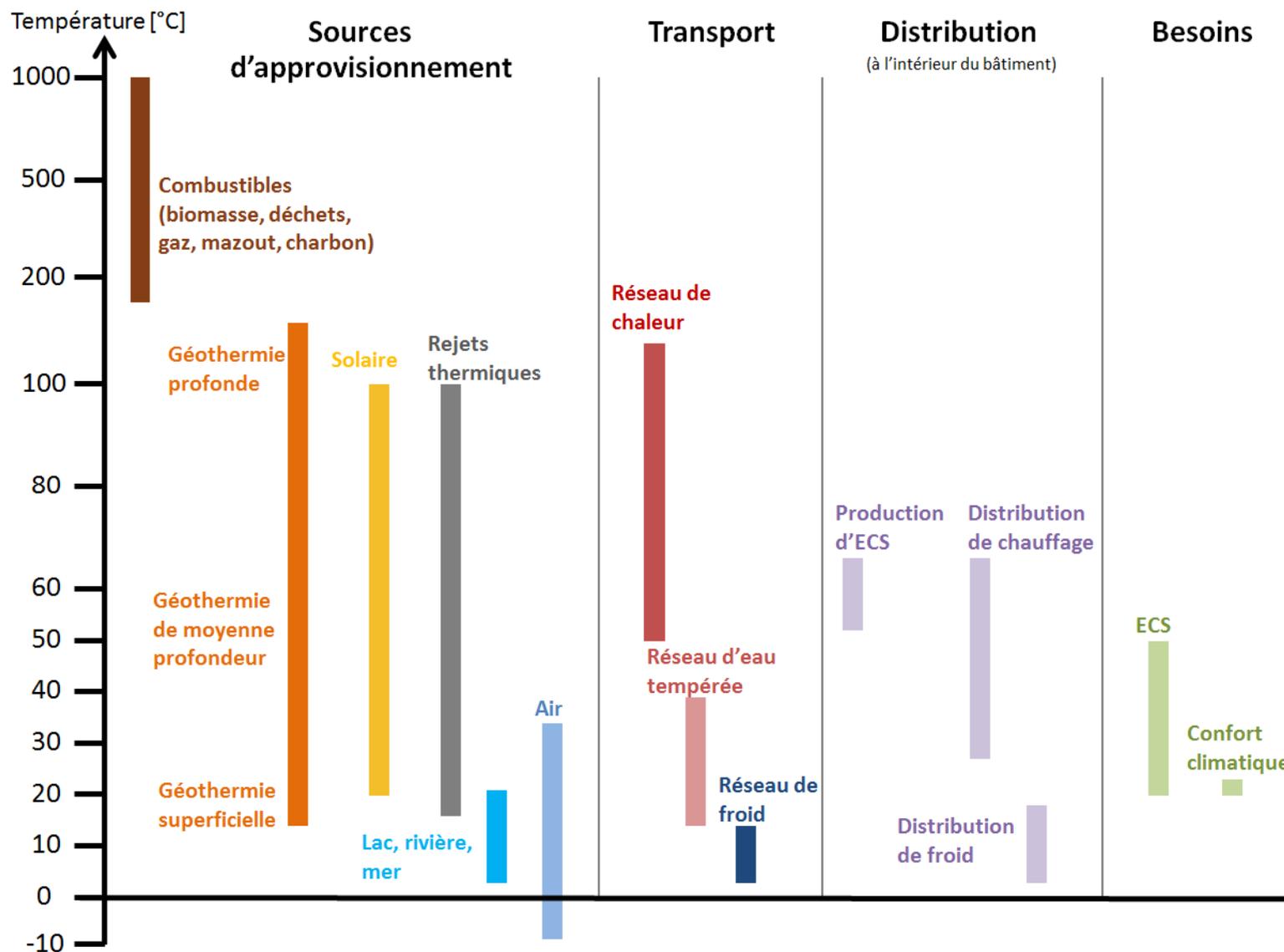
# Plan de l'exposé

---

- I. Notions fondamentales: aspects techniques, économiques et organisationnels
- II. Point sur les niveaux de température pratiqués sur les réseaux de chaleur
- III. Scénarios prospectifs de l'évolution du marché de la chaleur

# La question des températures

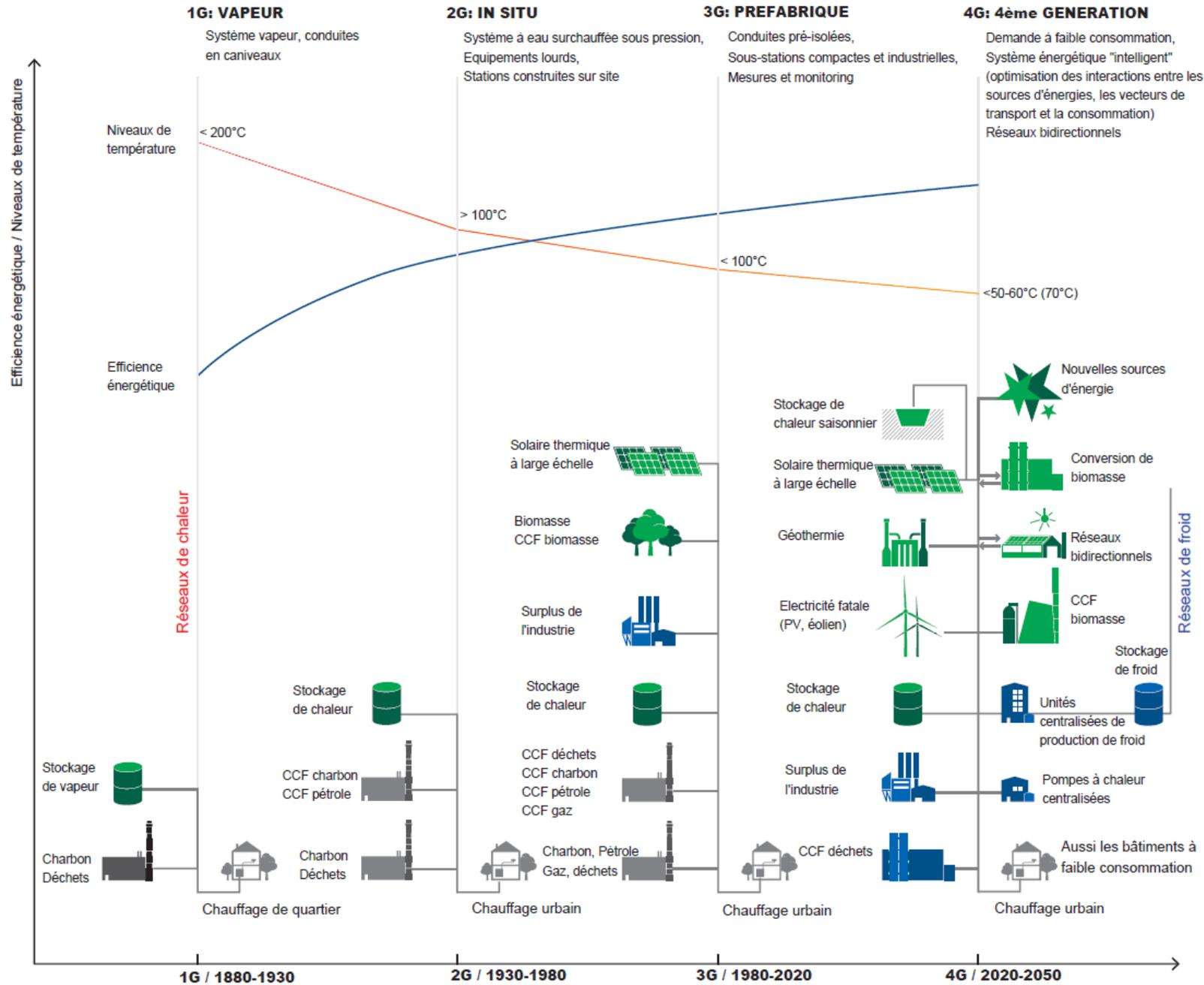
Pour améliorer l'efficacité et l'intégration de certaines EnR&R  
→ **températures de réseau les plus basses possibles**



Les réduire pour:

- Faciliter l'intégration des EnR&R à basse température
- Améliorer le rendement él. des CCF
- Améliorer le COP des PAC
- Réduire les pertes de transport

# Evolution de la technologie



Développement (Génération de réseaux de chaleur / Période de la meilleure technologie disponible)

# Analyse comparative de plusieurs réseaux

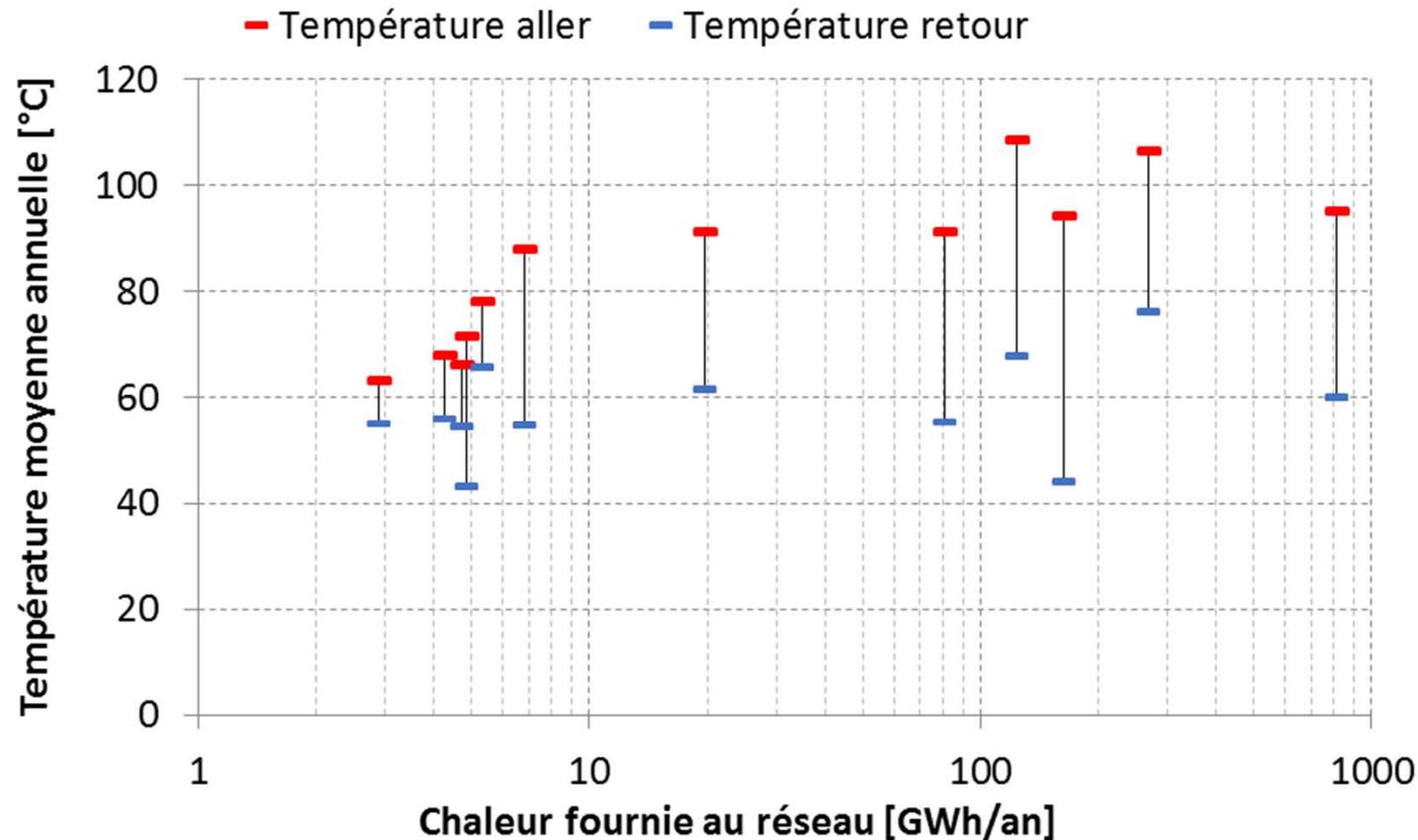
## Comparaison de 12 réseaux suisses



| Nom du réseau     | Source d'approvisionnement principale | Source des données                    | Période couverte [du - au] | Chaleur fournie [GWh/an] |
|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| CAD Zurich        | Rejets th. (UVTD)                     | Entsorgung+Recycling Zürich           | 01.01.15-31.12.15          | 813.3                    |
| CADSIG            | Chaudières gaz                        | SIG                                   | 04.06.13-03.06.14          | 243.4                    |
| CAD Dottingen     | Rejets th. (centrale nucléaire)       | REFUNA AG                             | 01.01.14-31.12.14          | 163.5                    |
| CADIOM            | Rejets th. (UVTD)                     | CGC Energie SA                        | 01.01.09-31.12.09          | 134.5                    |
| CAD St-Gall       | Rejets th. (UVTD)                     | St. Galler Stadtwerke                 | 01.01.15-31.12.15          | 81.0                     |
| CAD Colombier     | Rejets th. (UVTD)                     | Viteos SA                             | 01.01.14-31.12.14          | 19.7                     |
| CAD Zug           | Chaudières bois                       | WWZ Energie AG                        | 01.01.15-31.12.15          | 6.8                      |
| CAD Aire-la-Ville | Rejets th. (UVTD)                     | Fondation communale pour le chauffage | 01.01.15-31.12.15          | 5.8                      |
| CAD Cartigny      | Chaudières bois                       | CABC SA                               | 01.01.11-31.12.11          | 5.3                      |
| CAD Martel        | Chaudières bois                       | Masai Conseils SA                     | 29.12.14-28.12.15          | 4.8                      |
| CAD Laurana       | Chaudières gaz+PAC                    | SIG                                   | 01.10.14-30.09.15          | 4.3                      |
| CAD Fatio         | Chaudières gaz+PAC                    | SIG                                   | 01.01.15-31.12.15          | 2.9                      |

# Analyse comparative de plusieurs réseaux

## Comparaison de 12 réseaux suisses



— Départ: réglé par l'opérateur (doit assurer la prestation demandée)

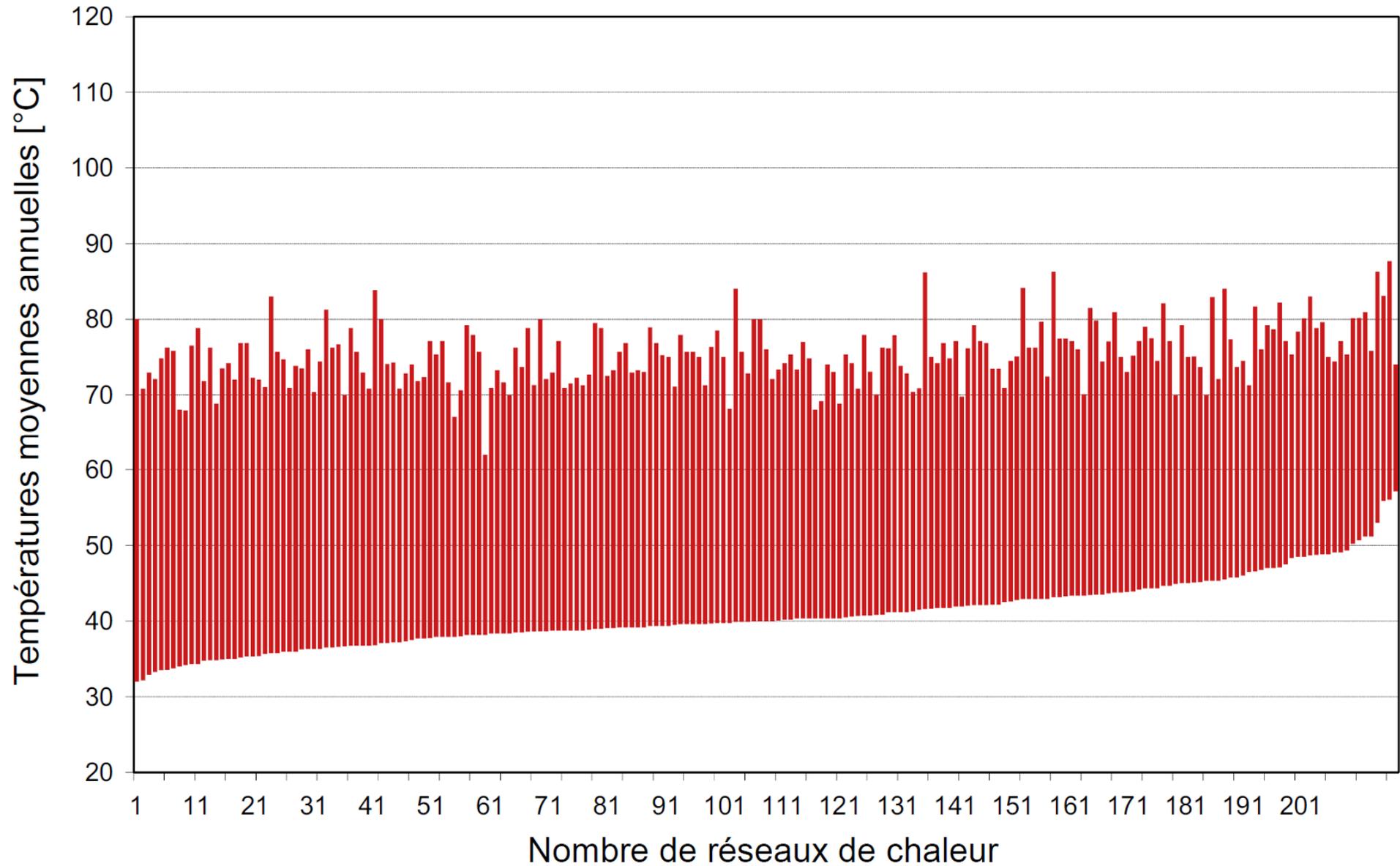
— Retour: non réglé par l'opérateur, et dépend:

- des surfaces d'échange dans les SST
- de la qualité des transferts thermiques dans les SST

→ des disparités importantes selon les réseaux

# Analyse comparative de plusieurs réseaux

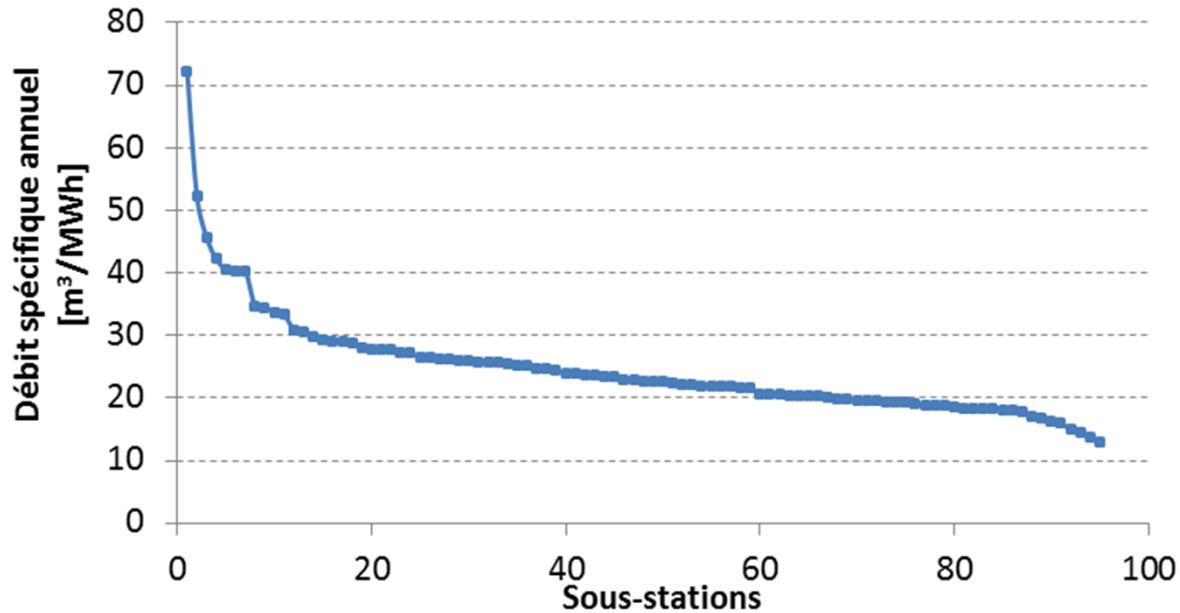
Danemark



Source: Werner S.

# Des sous-stations problématiques

Débits spécifiques annuels des sous-stations d'un même réseau



→ de fortes disparités également

Débits trop importants → des causes multiples:

## Interface primaire-second.

- Surface d'échange insuffisante
- By-pass
- Pompes inutiles
- ...

## Chauffage

- Absence de vannes thermostatiques
- Surdimensionnement des pompes
- Déséquilibre hydraulique
- ...

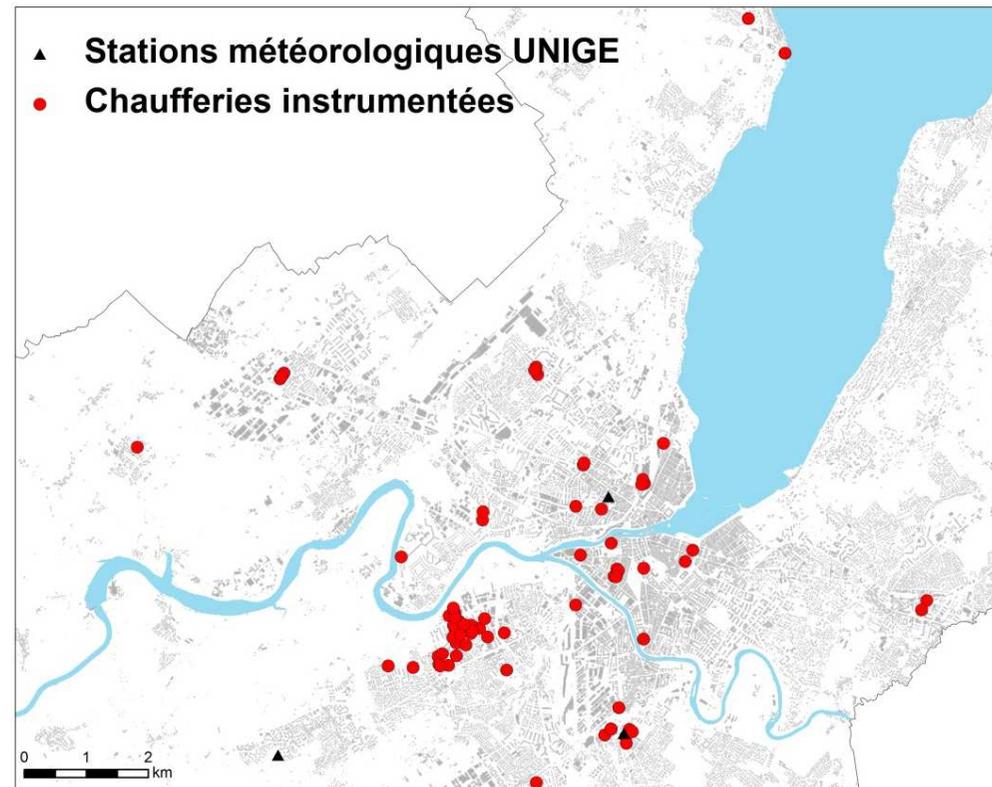
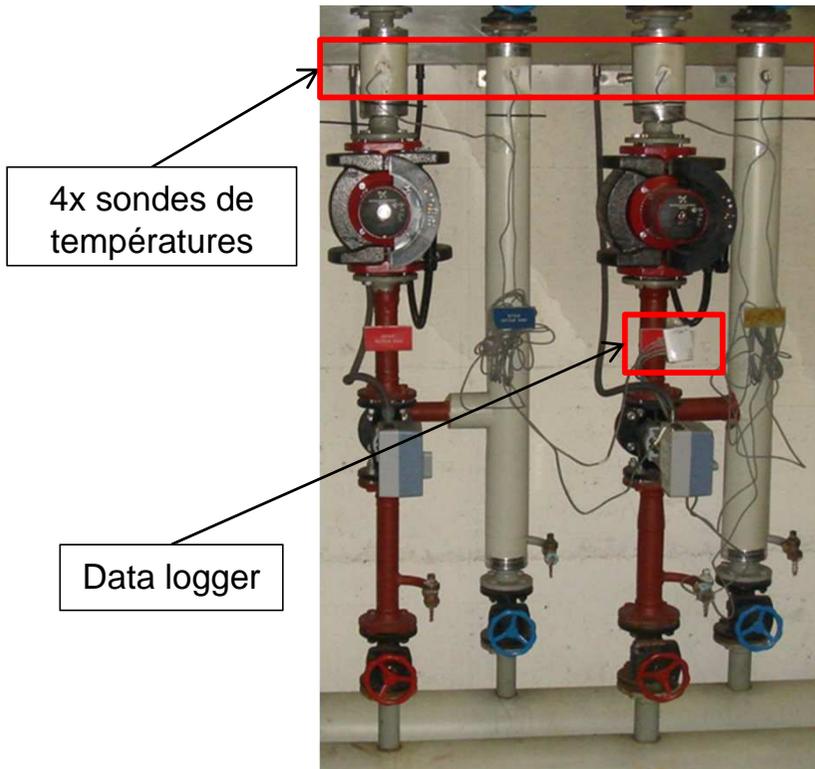
## ECS

- Surface d'échange insuffisante
- Echangeurs entartrés
- Sondes de température mal placées
- ...

# Températures requises par les consommateurs

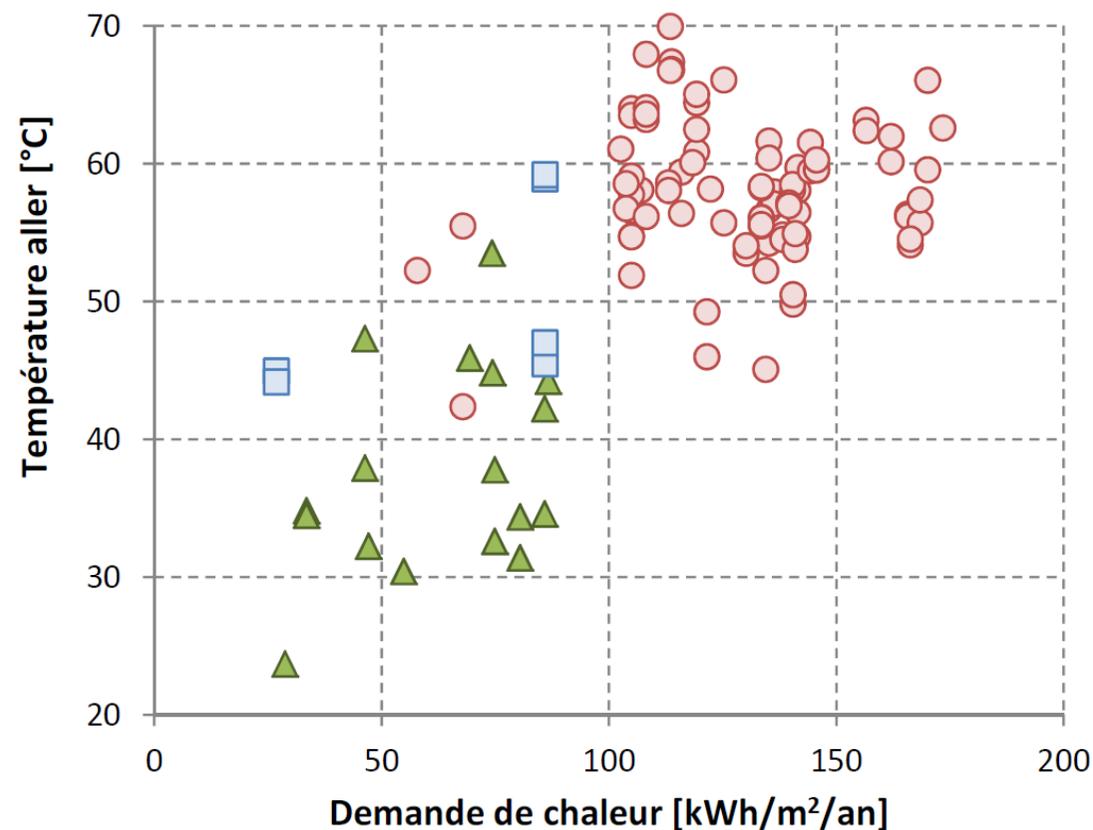
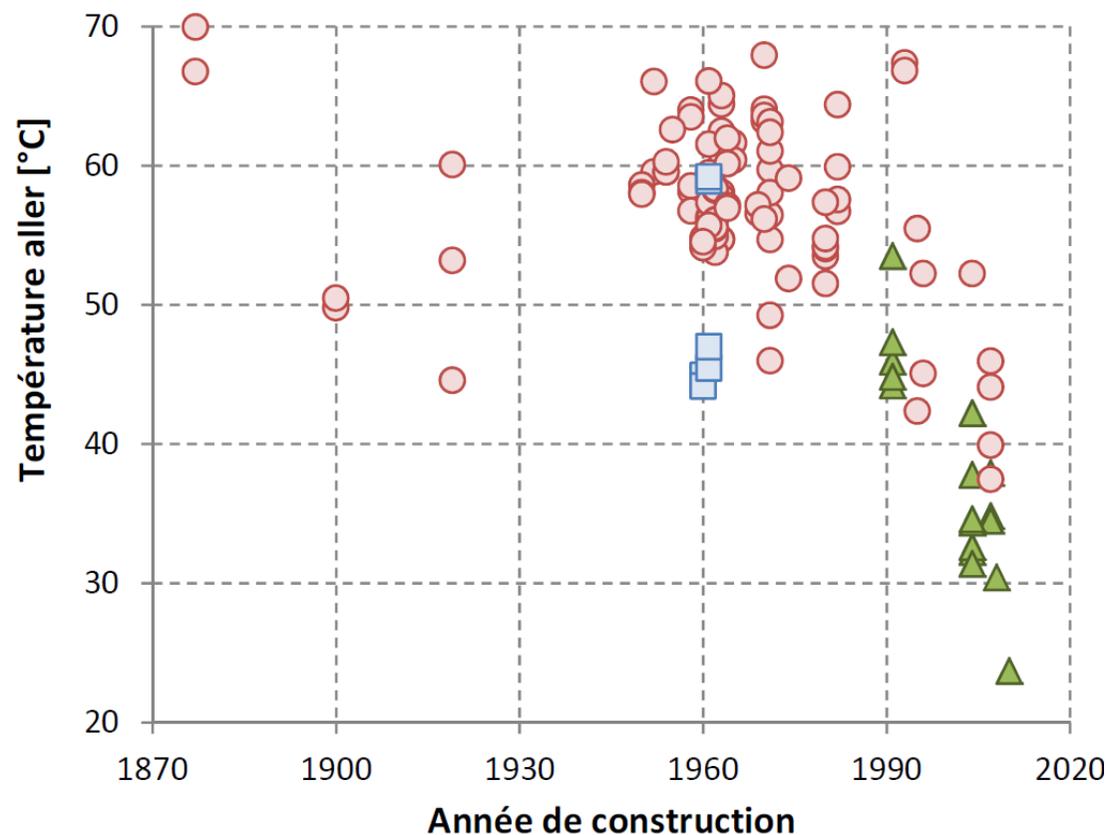
**Production d'ECS: 55-60°C** pour éviter les légionelles

**Distribution de chauffage:** mesures in situ sur un échantillon de 70 chaufferies instrumentées (128 boucles de distribution de chauffage)



# Temp. chauffage à text = -5°C

▲ Chauffage au sol    ○ Radiateurs    □ Radiateurs (bâtiment rénové)



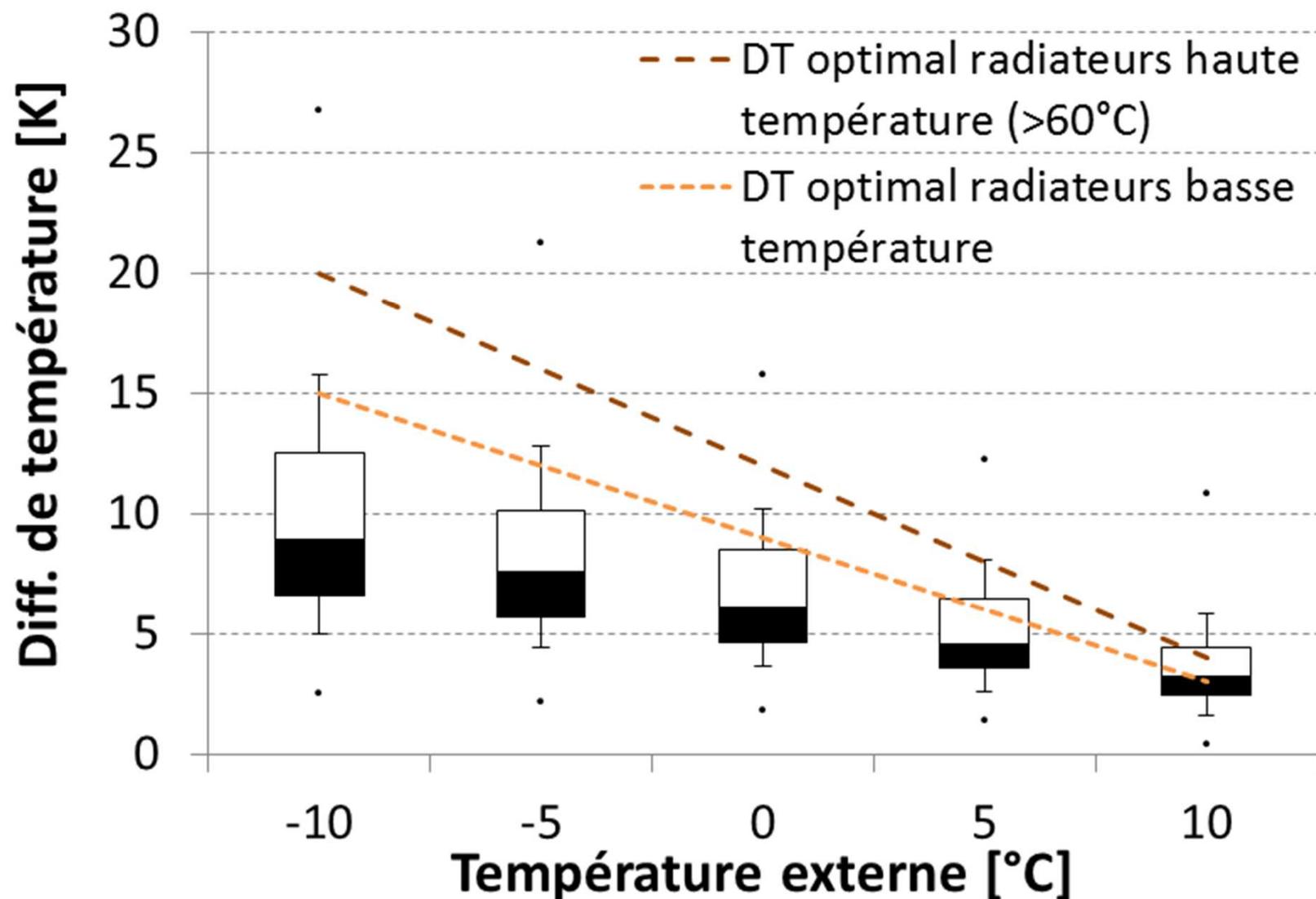
→ radiateurs: aller 50-65°C

→ chauffage au sol: aller 30-45°C



**La plupart du temps:  
temp. chauffage ≤ temp. ECS**

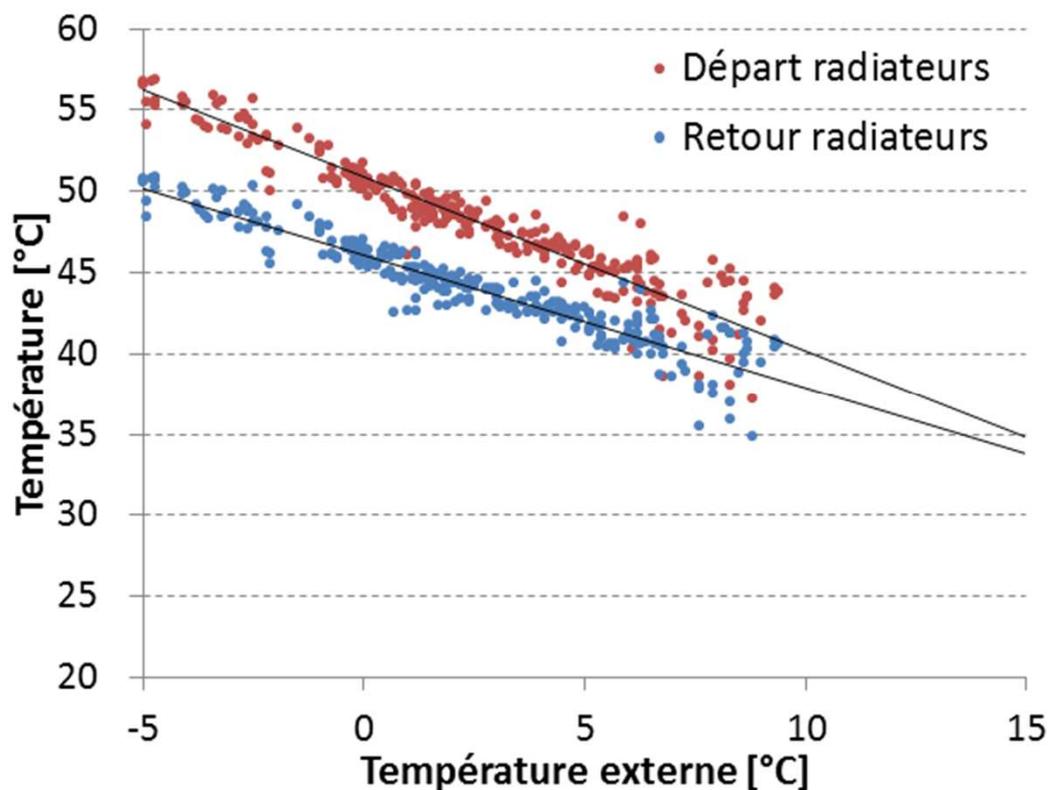
# Différence de température aller-retour



→ Valeurs inférieures à ce qui est attendu

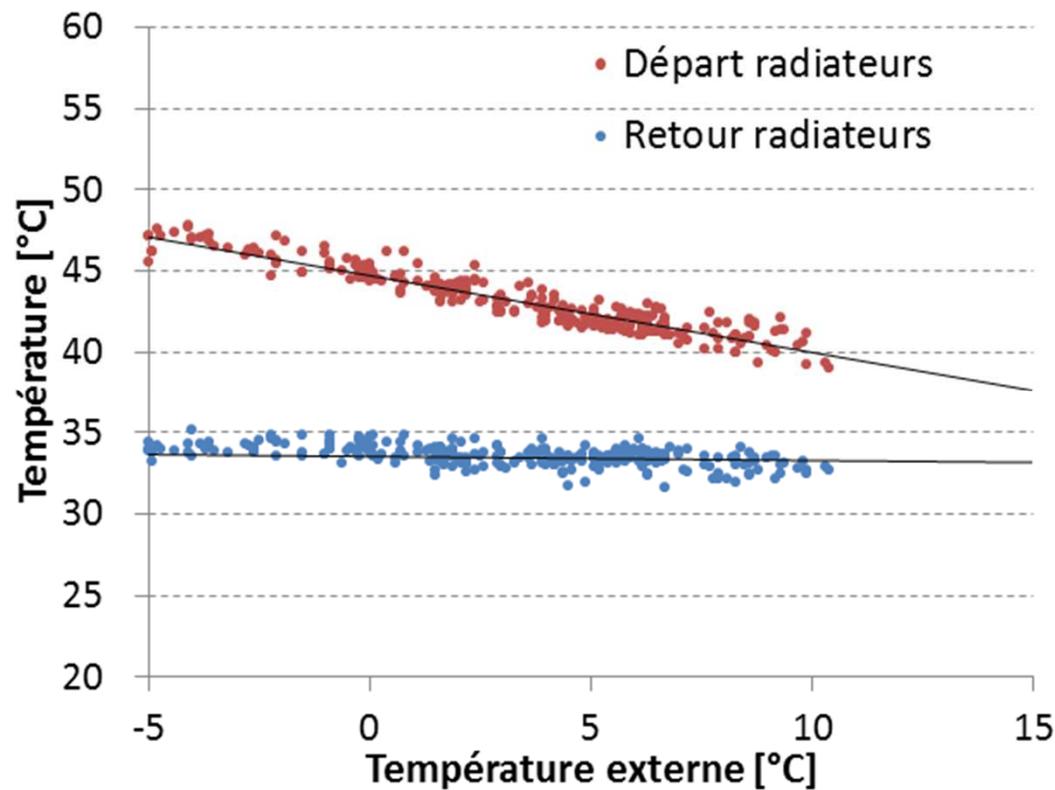
# Quel potentiel d'amélioration sur le chauffage?

Bâtiment des années 60  
non rénové



Bâtiment des années 60 après:

- rénovation de l'enveloppe
- changement des pompes de circulation
- pose de vannes thermostatiques
- équilibrage hydraulique



# Enseignements et perspectives

---

Problématique qui concerne **l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement** → besoin d'une **gestion intégrée**

Grand potentiel d'amélioration

Difficultés :

- **Différents acteurs** pour la gestion du primaire et du secondaire
- **Frais de l'optimisation/adaptation** du secondaire à la charge du propriétaire du bâtiment
  - incitations économiques dans les tarifs ?
  - programme de sensibilisation/formation ?

Challenge pour le futur: **production d'ECS**

→ appoint décentralisé ? / production instantanée ?

Piste à creuser: quelles **architectures de sous-stations** utiliser ?

# Plan de l'exposé

---

- I. Notions fondamentales: aspects techniques, économiques et organisationnels
- II. Point sur les niveaux de température pratiqués sur les réseaux de chaleur
- III. Scénarios prospectifs de l'évolution du marché de la chaleur

# Quel rôle pour l'avenir ?

---

Illustration à partir de l'étude de cas du canton de Genève

Démarche prospective entreprise par les SIG avec appui de l'UNIGE concernant l'évolution du marché de la chaleur

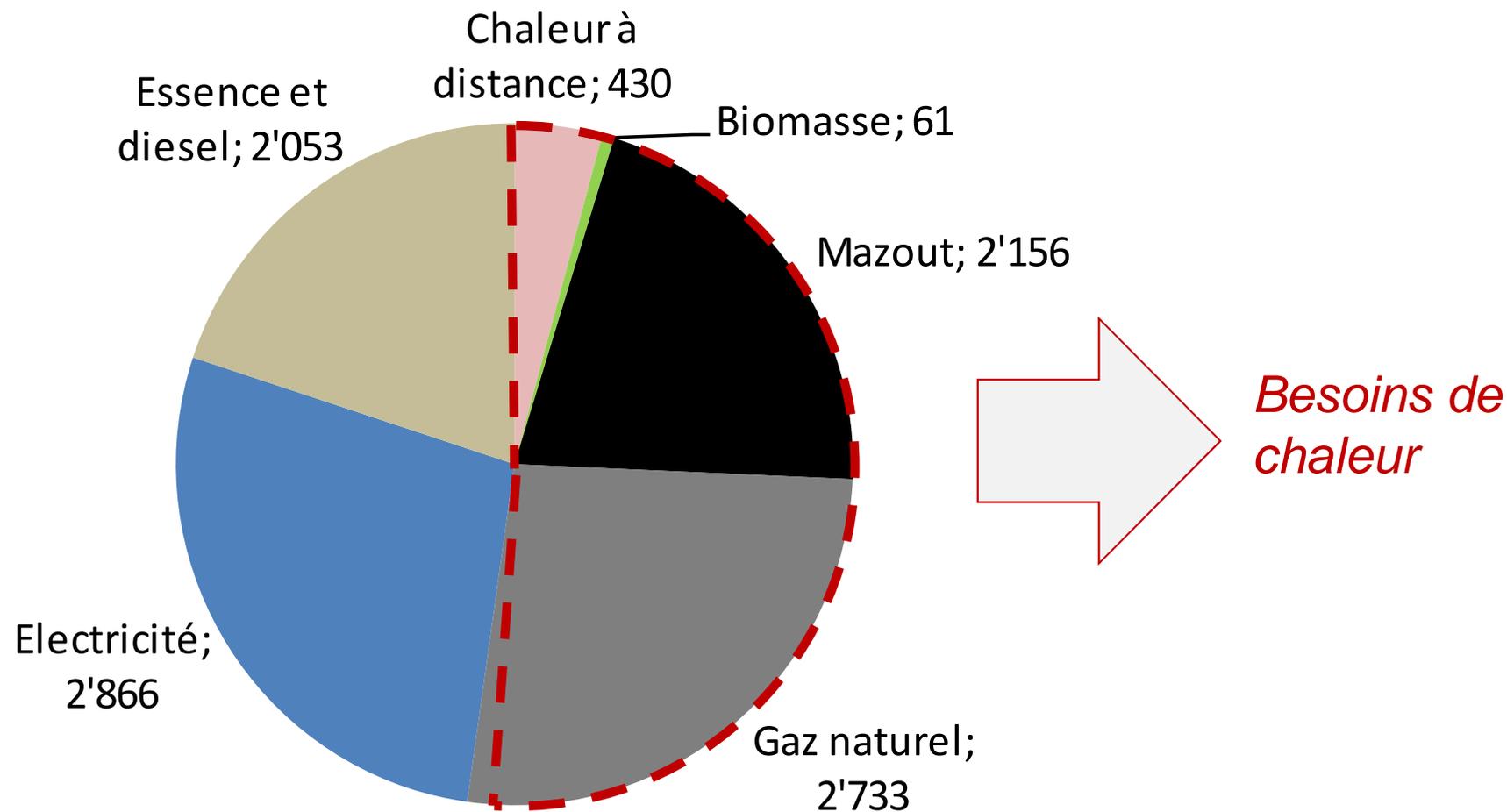
- Etat des lieux
- Elaboration de scénarios
- Quantification d'un scénario «souhaitable-probable» à l'horizon 2035 à l'aide d'un modèle

Quelques précisions / limites concernant l'exercice:

- Prospective: offrir des visions du futur, **pas de la prédiction**
- Scénario: jeux cohérent d'hypothèses, **traduit une vision**
- Quantification: valeur indicative, **illustre un scénario**

# Contexte énergétique genevois

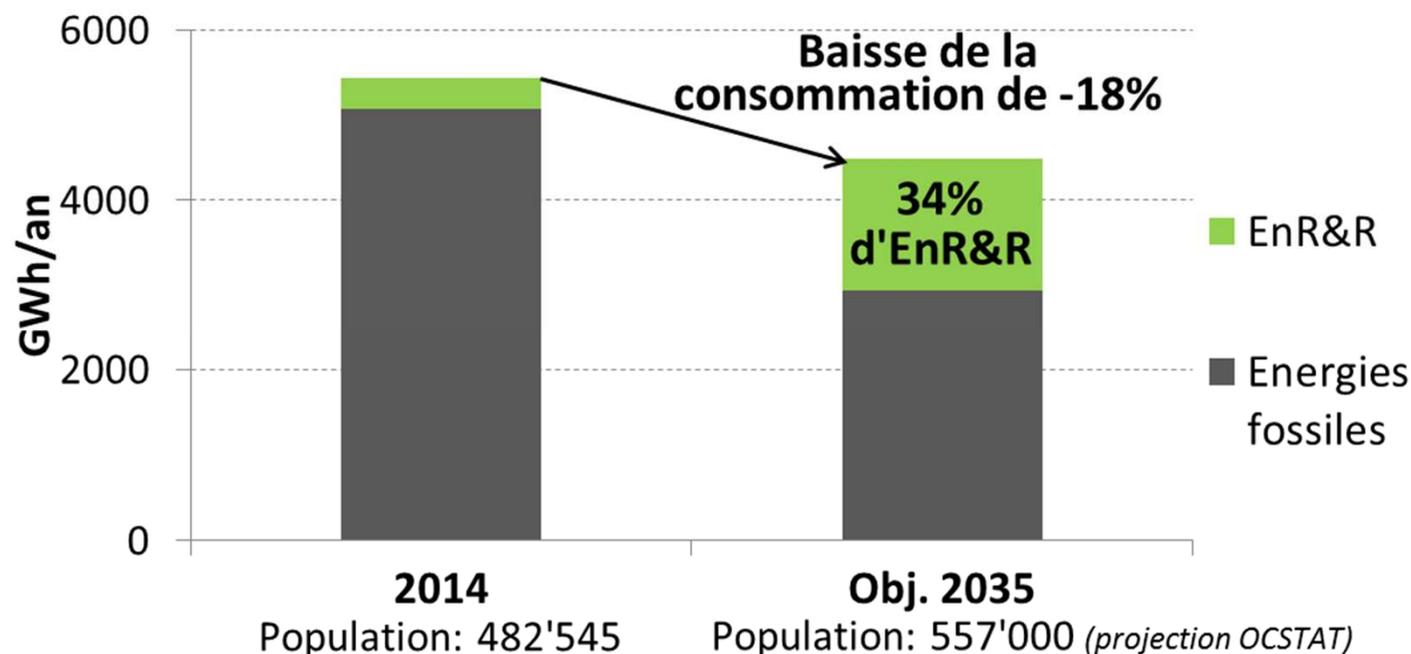
Consommation d'énergie finale dans le canton en 2014 (GWh/an)



# Objectifs de la politique énergétique cantonale

Vision long terme: société 2000W et 1tCO<sub>2</sub> par hab. sans nucléaire

Objectifs 2035 pour le secteur chaleur



Un territoire riche en EnR&R potentiellement valorisables: géothermie, lac, rejets thermiques, biomasse, solaire, etc. (J. Faessler, 2011)

- Certaines d'entre elles nécessitent des réseaux de chaleur
- Volonté politique de les développer / plusieurs projets en cours

# Potentiel de déploiement pour les réseaux

— Réseaux de chaleur actuels

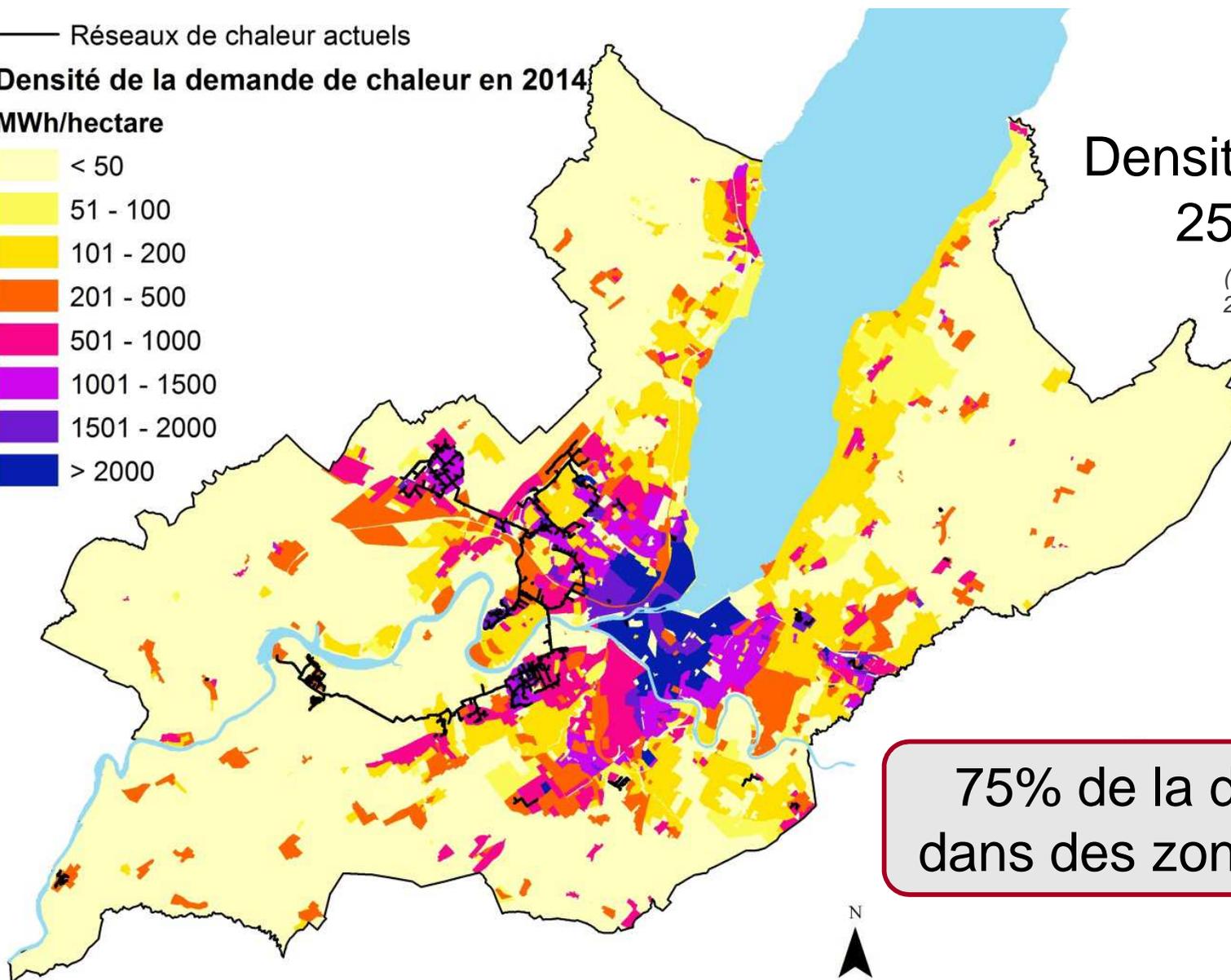
Densité de la demande de chaleur en 2014

MWh/hectare



Densité min. recommandée:  
250-500 MWh/ha/an

(Frederiksen et Werner, 2013; Persson et Werner, 2010; Darmayan et al., 2012)

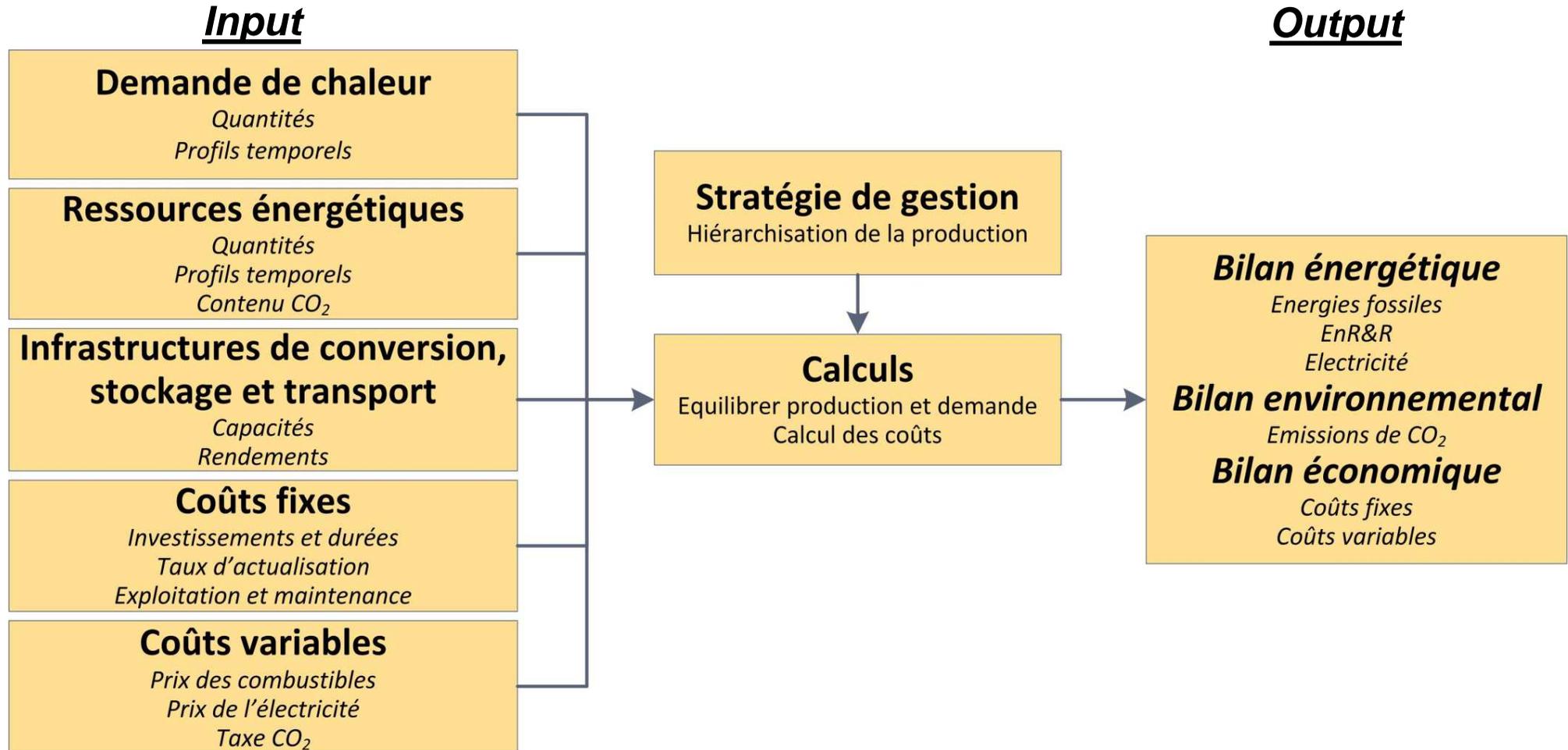


75% de la demande de chaleur  
dans des zones > 500 MWh/ha/an



Données sources: SITG et travaux de J. Khoury, 2014  
+ S. Schneider et al., 2016

# Modèle input-output (adapté de EnergyPLAN)



- Approche **systemique**: modélisation des fonctions et de leurs couplages
- Unités production-transport-stockage-consommation **agrégées par groupes**
- Temporalité: simulation **horaire** sur une année (8760h)

# Positionnement des scénarios 2035 (input)

## BAU

«Business As Usual»

## EE&RE (base)

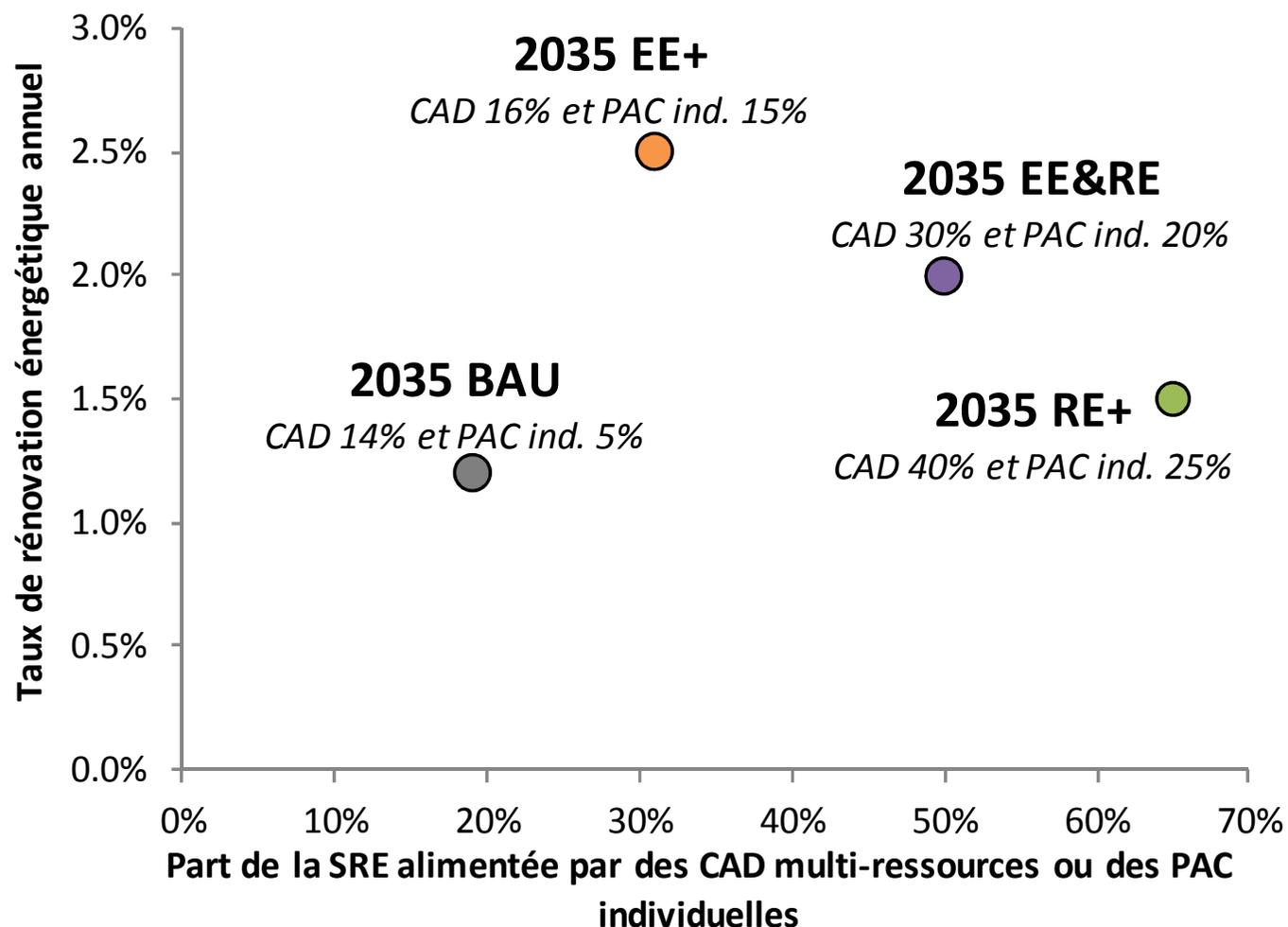
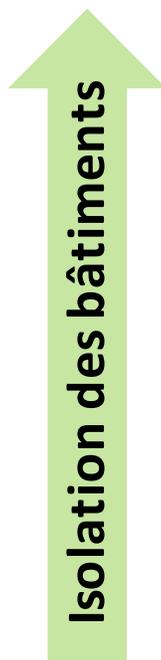
«Energy Efficiency & Renewable Energy»

## EE+

«Energy Efficiency+»

## RE+

«Renewable Energy+»

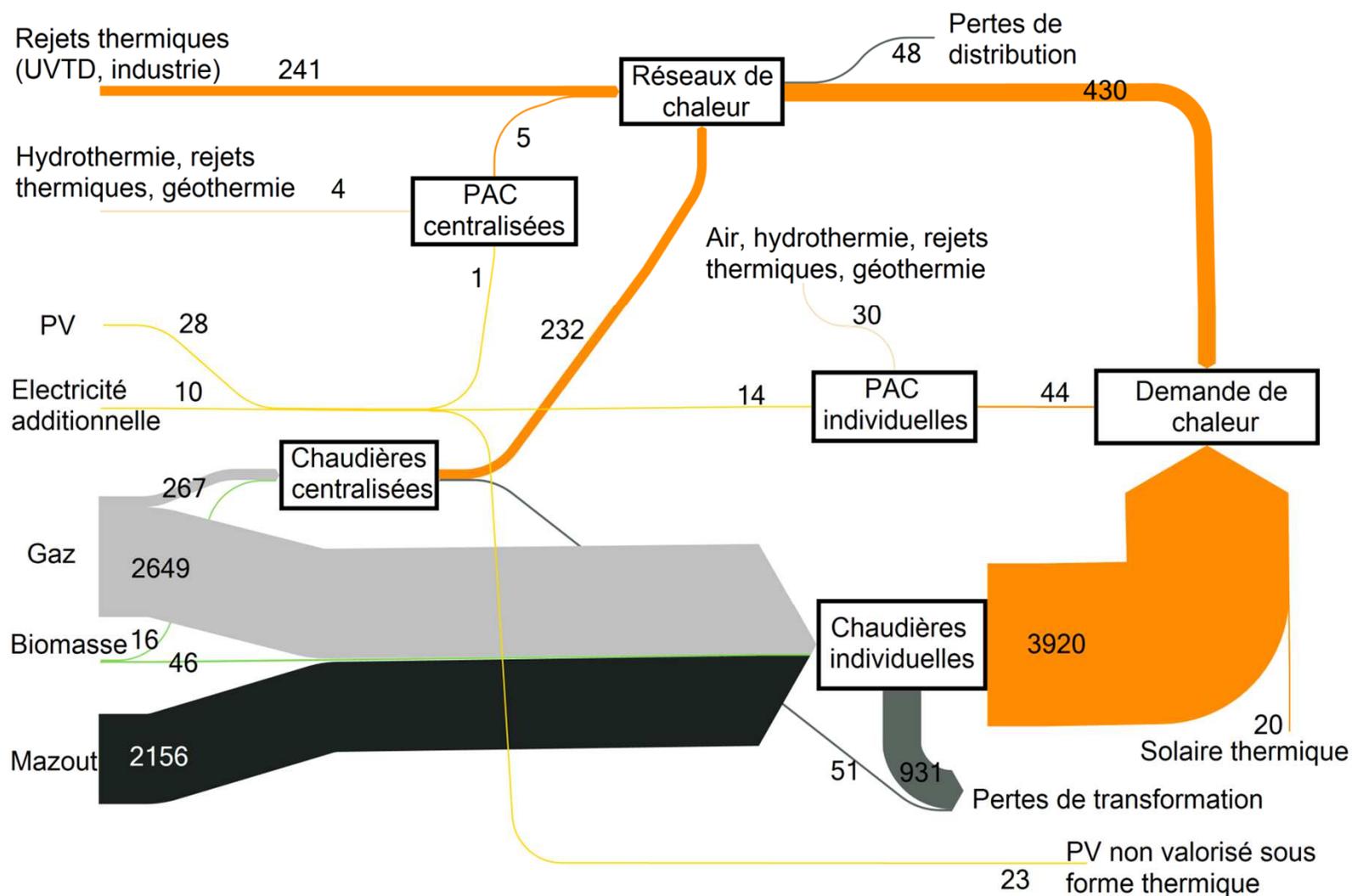


Développement des EnR&R

# Bilan annuel 2014 référence

Approvisionnement chaleur des bâtiments du canton (GWh/an)

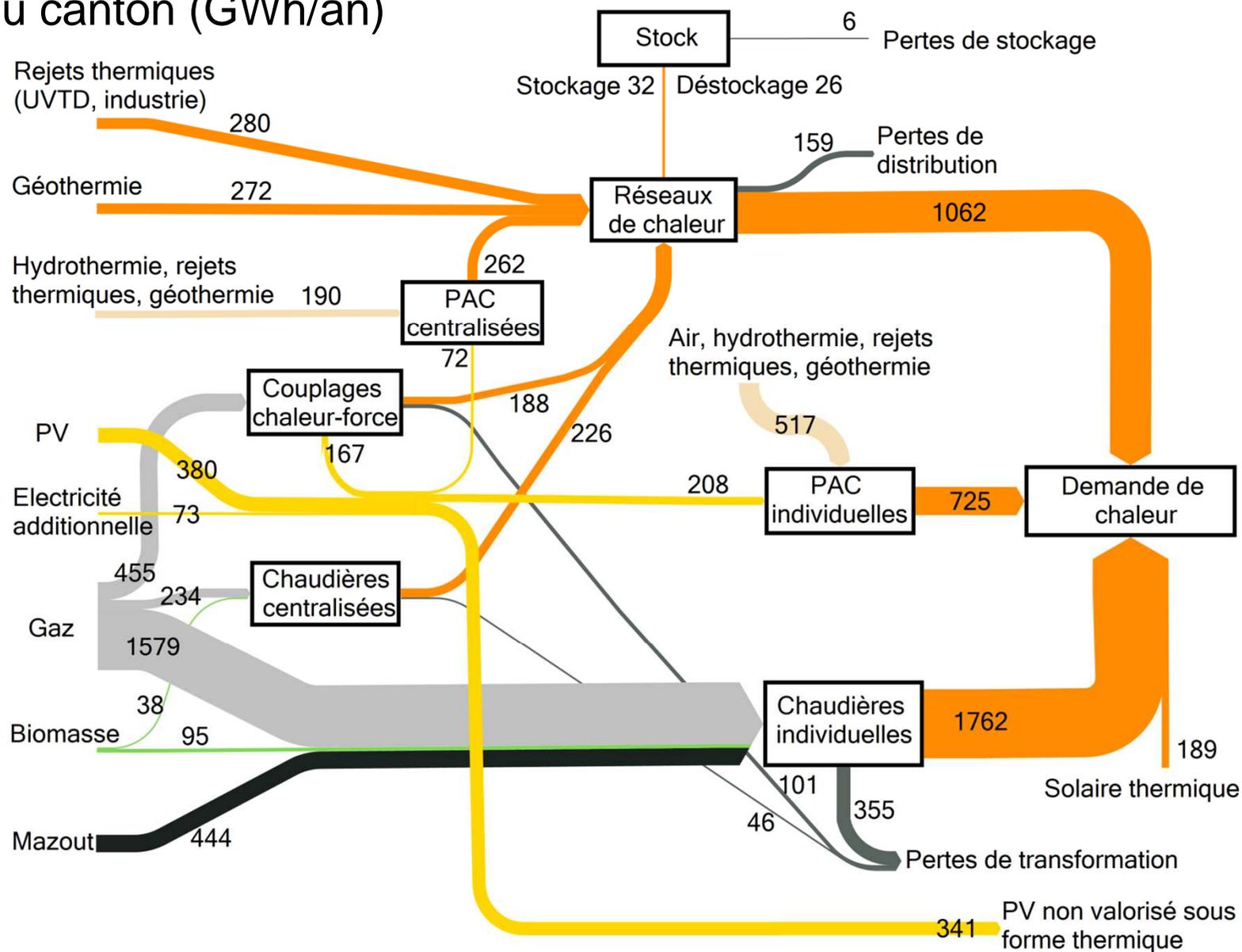
482'545 habitants



# Bilan annuel 2035 (scénario EE&RE)

Approvisionnement chaleur des bâtiments du canton (GWh/an)

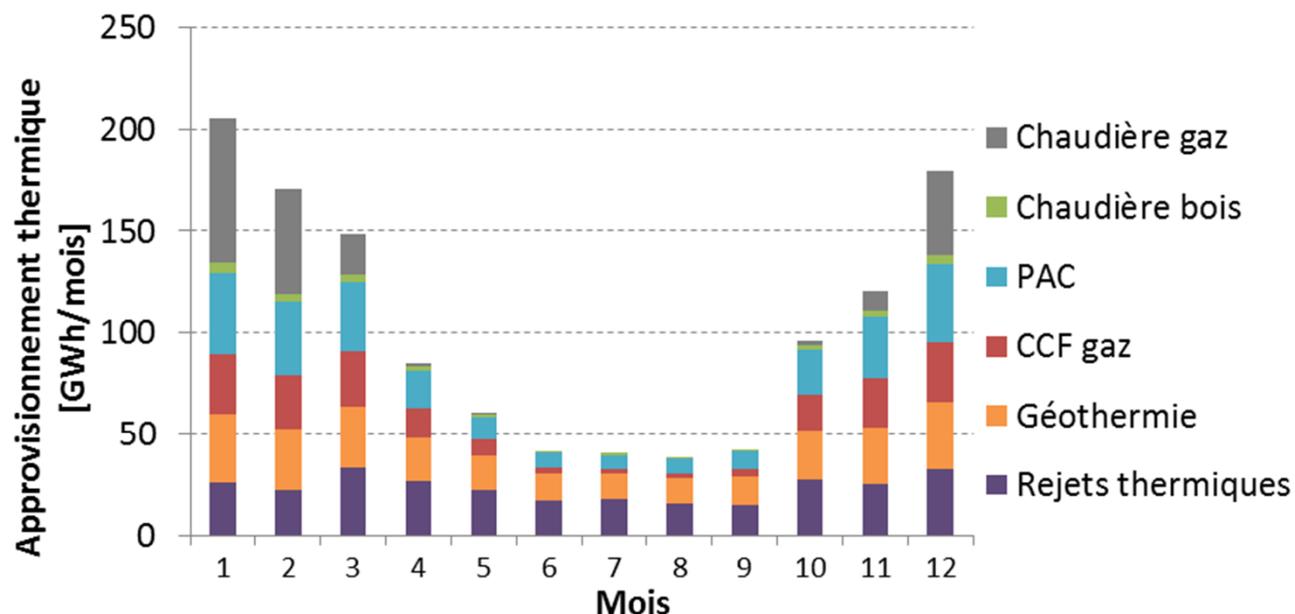
557'000 habitants



# Saisonnalité (scénario EE&RE)

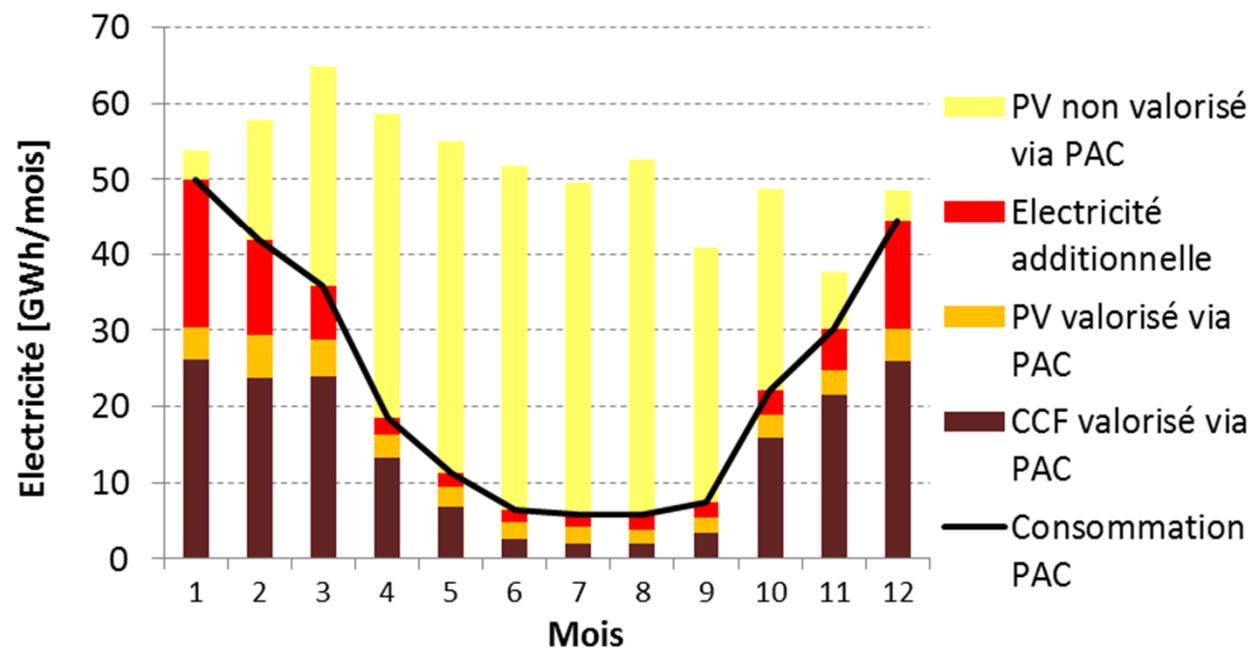
## Chaleur à distance

- Priorité à la chaleur fatale utilisable directement (ruban)
- CCF en simultané aux PAC
- Gaz en appoint

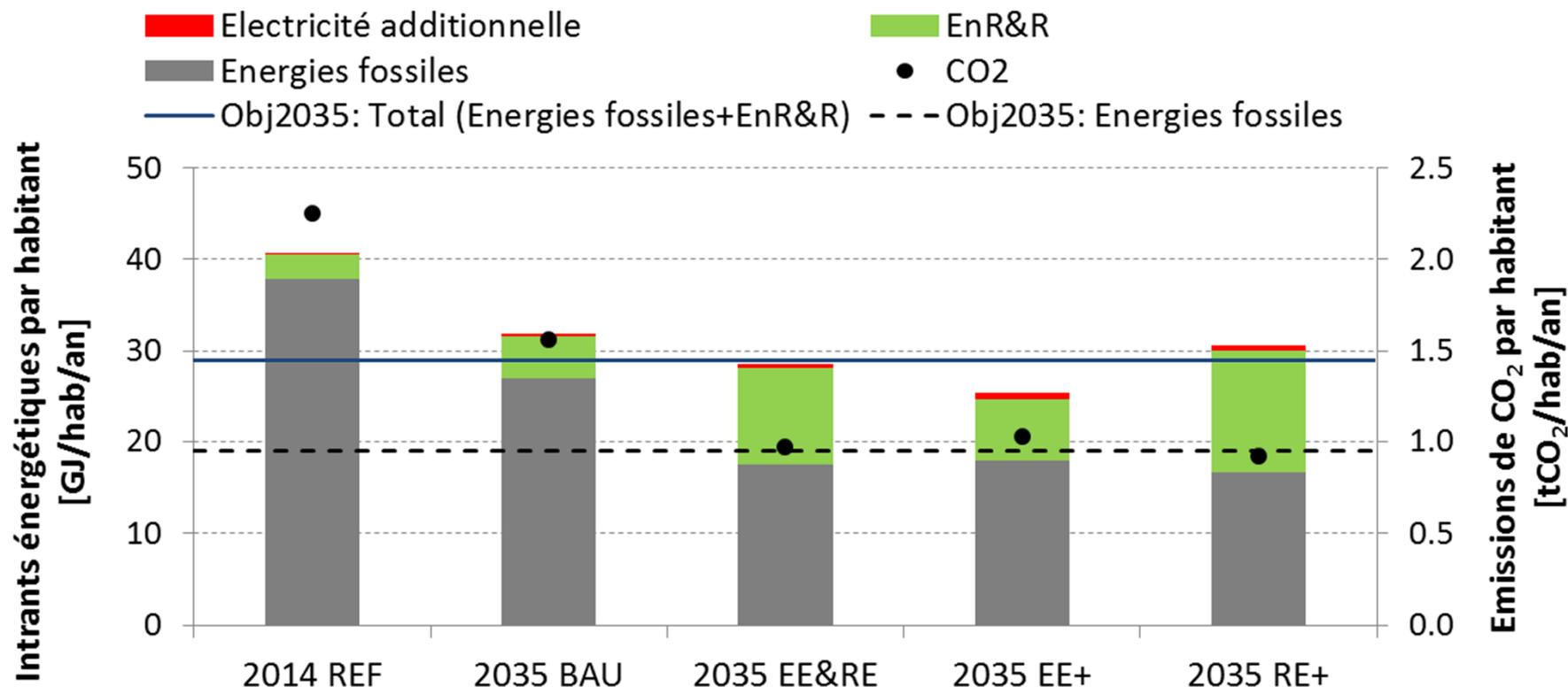


## Electricité en jeu

- Le CCF limite l'électricité supplémentaire requise en hiver par les PAC (ind. et centralisées)
- Mauvaise concordance temporelle PV – PAC

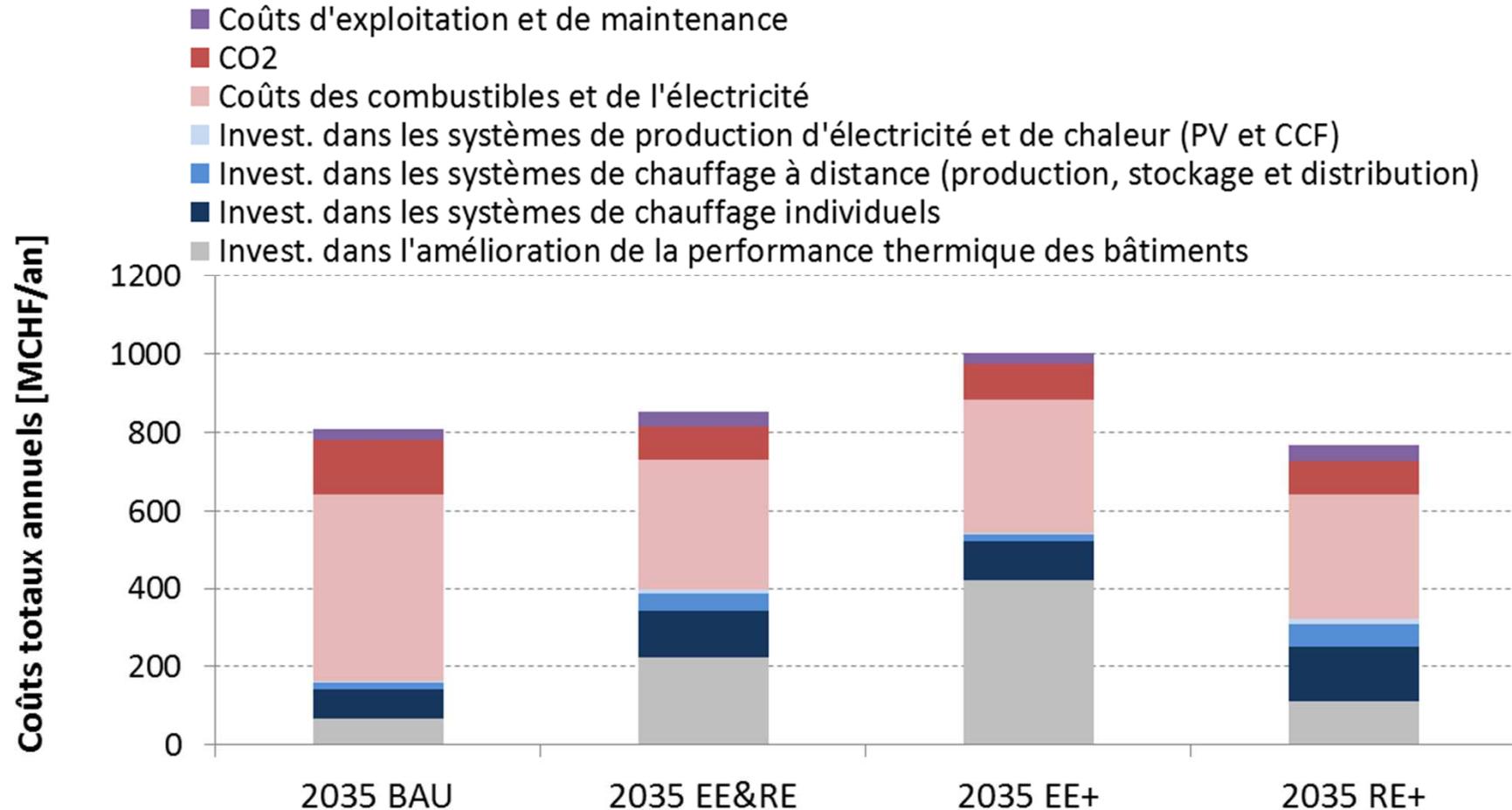


# Intrants énergétiques



- Trois variantes **compatibles avec les objectifs** de la politique énergétique cantonale → une certaine **marge de manœuvre**
- De **2.2 tCO<sub>2</sub>/hab** (2014) à **1 tCO<sub>2</sub>/hab** (2035) pour l’approvisionnement chaleur des bâtiments

# 1<sup>ère</sup> évaluation des coûts totaux annualisés



- Hausse des coûts fixes et baisse des coûts variables  
→ bénéficie à l'économie locale, investissements importants requis
- Importance du coût de la rénovation énergétique des bâtiments
- Des acteurs différents impliqués

# Enseignements et perspectives

---

## Recommandations principales pour la **planification**:

- CAD dans les contextes territoriaux qui leur sont favorables
- PAC ind. dans les contextes défavorables aux CAD

## Importance de la complémentarité **CCF-PAC**

- Relocalisation (transitoire) des émissions de CO<sub>2</sub> pour une meilleure efficacité d'un point de vue global

## CAD “oubliés” dans la **Strat. éneg. suisse 2050** (10% de l'appro. chaleur)

- Réduction de la demande de chaleur (-58% p/r à 2010)  
→ Réaliste ? un «plan B» en cas de non atteinte ?
- Massification des PAC ind. (45% du marché de la thermique)  
→ Quelle électricité en période hivernale avec la sortie du nucléaire ?
- Des centrales thermo-électriques envisagées  
→ Des rejets de chaleur à valoriser !

# Conclusions générales

---

Les réseaux de chaleur: un **levier stratégique pour décarboner** le système énergétique

Cela étant, il sera nécessaire de :

- **Optimiser la gestion des installations techniques** sur toute la chaîne pour réduire les niveaux de température  
→ **Améliorer l'efficacité et l'accès à certaines sources de chaleur renouvelables ou de récupération**
- **Planifier et coordonner** au niveau local/régional le déploiement des infrastructures énergétiques (dans le temps et l'espace)  
→ **Assurer un développement cohérent des réseaux, éviter les doublons («sur-investissements»), engager les acteurs-clés**
- **Renforcer les instruments de soutien** économiques/financiers, réglementaires et informationnels  
→ **fournir des conditions-cadres favorables / améliorer l'attractivité des réseaux**

# Références

---

- L. Quiquerez, *Décarboner le système énergétique à l'aide des réseaux de chaleur: état des lieux et scénarios prospectifs pour le canton de Genève*. Thèse de doctorat, Université de Genève, 2017.
- S. Frederiksen et S. Werner, *District heating and cooling*. Studentlitterature AB, Lund, 2013.
- L. Quiquerez, J. Faessler et B. Lachal, *Réseaux thermiques multi-ressources efficaces et renouvelables: étude de cas de la connexion des réseaux CADIOM et CADSIG à Genève et perspective d'évolution*. Université de Genève, 2015.
- B. Aronsson et S. Hellmer, *An international comparison of district heating markets*. Swedish district heating association, 2009.
- H. Lund, S. Werner, R. Wilthshire, S. Svendsen, J.E. Thorsen, F. Hvelplund et B.V. Mathiesen, *4th generation district heating (4GDH): integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems*. Energy (68), pp 1-11, 2014.
- L. Quiquerez, D. Cabrera, B. Lachal et P. Hollmuller, *Températures de distribution de chauffage du parc immobilier genevois: état des lieux et évaluation du potentiel d'optimisation à partir de mesures in situ sur un échantillon de bâtiments*. Université de Genève, 2013.
- J. Faessler, *Valorisation intensive des énergies renouvelables dans l'agglomération franco-valdo-genevoise dans une perspective de société 2000W*. Thèse de doctorat, Université de Genève, 2011.
- U. Persson et S. Werner, *Heat distribution and the future competitiveness of district heating*. Applied Energy (88), pp 568-576, 2010.
- J. Khoury, *Rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs: état des lieux, retours d'expérience et potentiels du parc genevois*. Thèse de doctorat, Université de Genève, 2014.
- S. Schneider, J. Khoury, B. Lachal et P. Hollmuller, *Geo-dependent heat demand model of the swiss building stock*. In Proc. Sustainable built environment regional conference, Zurich, 2016.
- H. Lund, *EnergyPLAN: advanced energy systems model computer model*, Aalborg University, 2008.



**Merci de votre attention!**

loic.quiquerez@unige.ch