



Intégration massive de ressources renouvelables dans les réseaux de chaleur : opportunités et contraintes

Loïc Quiquerez

Services industriels de Genève

Université de Genève - Cycle de formation Energie – Environnement

17.10.2019



1. Notions de base sur les CAD
2. CAD dans les contextes EU et CH
3. Focus sur les enjeux de température
4. Evolutions du CAD à Genève



Notions de base sur les CAD

1

Éléments de définition



Définition technique:

Réseau de conduites permettant de **déplacer de la chaleur** d'un endroit où elle est disponible/générée vers des sites de consommation

Les trois composants techniques de base :

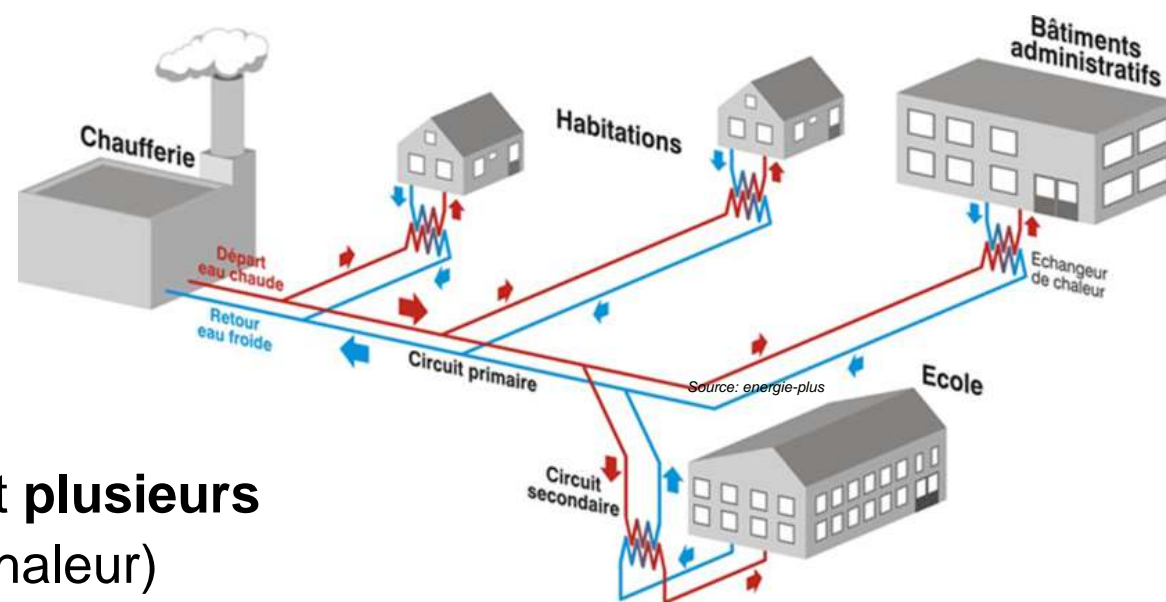
- Unités de production
- Conduites de transport
- Sous-stations

Autre aspect:

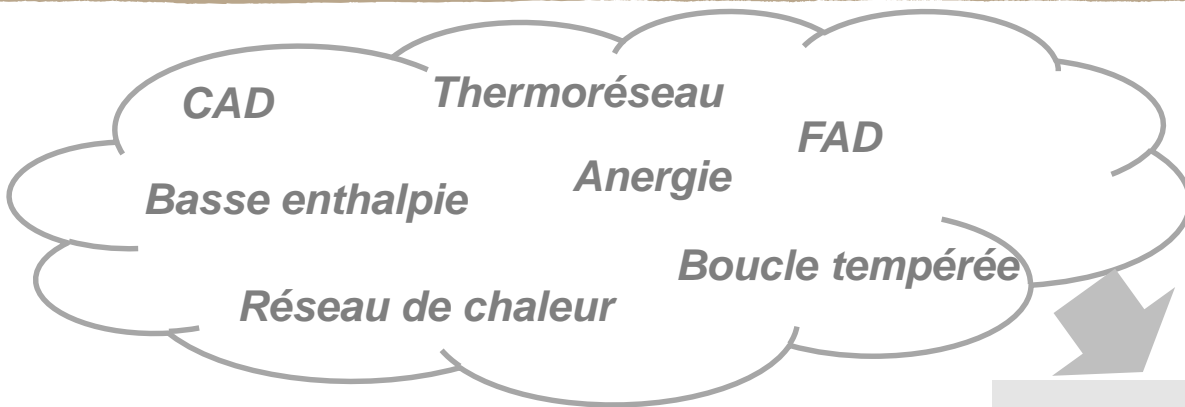
Un réseau qui met en relation un maître d'ouvrage et **plusieurs acheteurs tiers** -> notion de contracting (vente de chaleur)

Particularité vis-à-vis d'autres réseaux énergétiques

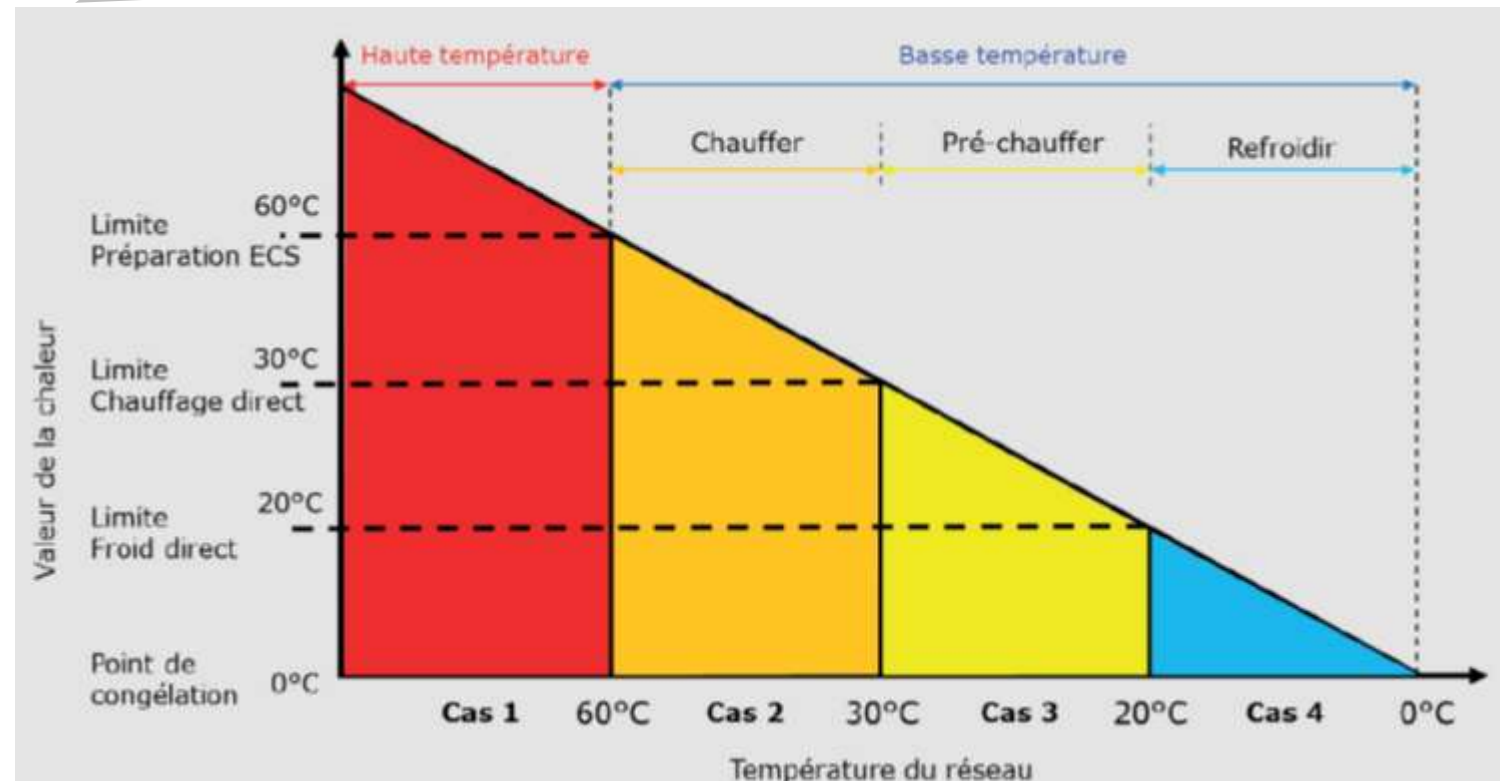
La chaleur se transporte difficilement → des systèmes intrinsèquement locaux et isolés (échelle quartier-ville)



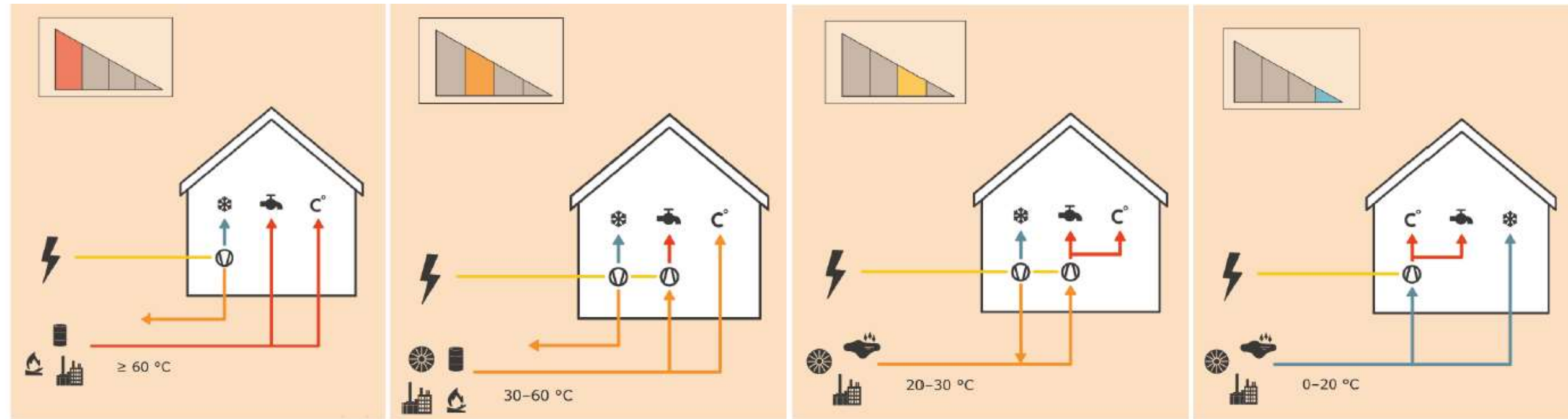
Typologie de réseaux thermiques



Nomenclature «réseaux thermiques» OFEN



Typologie de réseaux thermiques



Source: HLU (2018) Grundlagen und Erläuterungen zu Thermischen Netzen

BUT: avoir un réseau avec des températures adaptées à la ressource à disposition et aux besoins

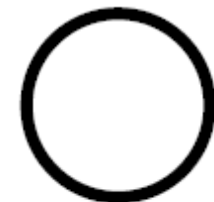
Typologie de réseaux thermiques

- 1 tube : boucle fermée (consommateurs et producteurs en séries)
- 2 tubes: 1 x aller + 1 x retour
- 3 tubes: 2 x aller + 1 x retour ou 1 x aller + 2 x retour
- 4 tubes: 2 x aller + 2 x retour (CAD + FAD)

Rappel: $P = q_m c \Delta T$

1 MW =

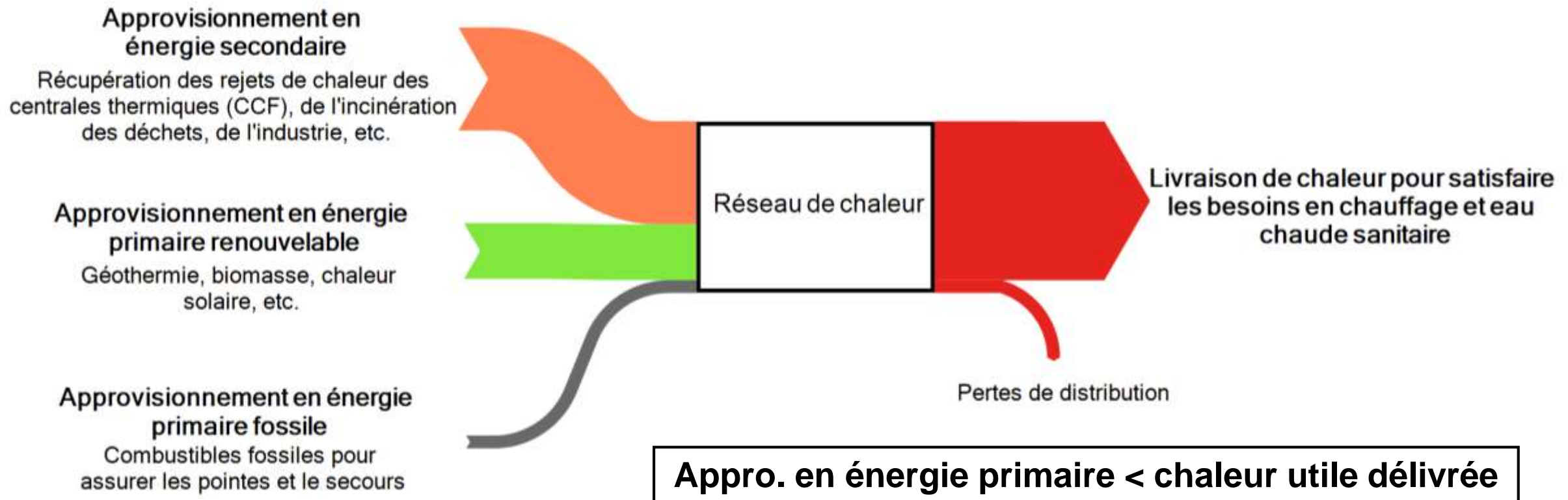
| Températures | 150/70 | 90/60 | 40/30 | 8/5 |
|---------------|--------|-------|-------|-----|
| Diamètre (mm) | 50 | 80 | 125 | 200 |



Bilan typique

Idée de base:

Valoriser des sources de chaleur locales qui, sinon, seraient rejetées ou non utilisées pour des raisons techniques et/ou économiques



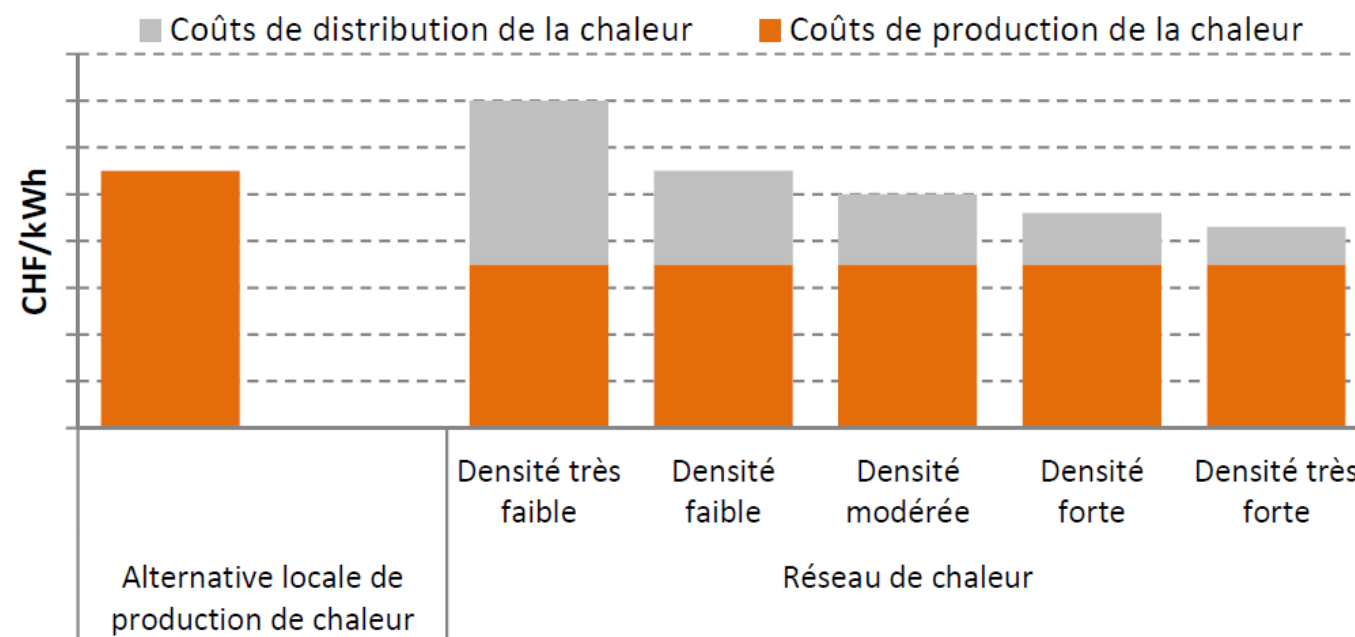
Enjeux de compétitivité pour les CAD



En concurrence avec des solutions décentralisées (PAC, chaudières individuelles)

Pour être compétitif:

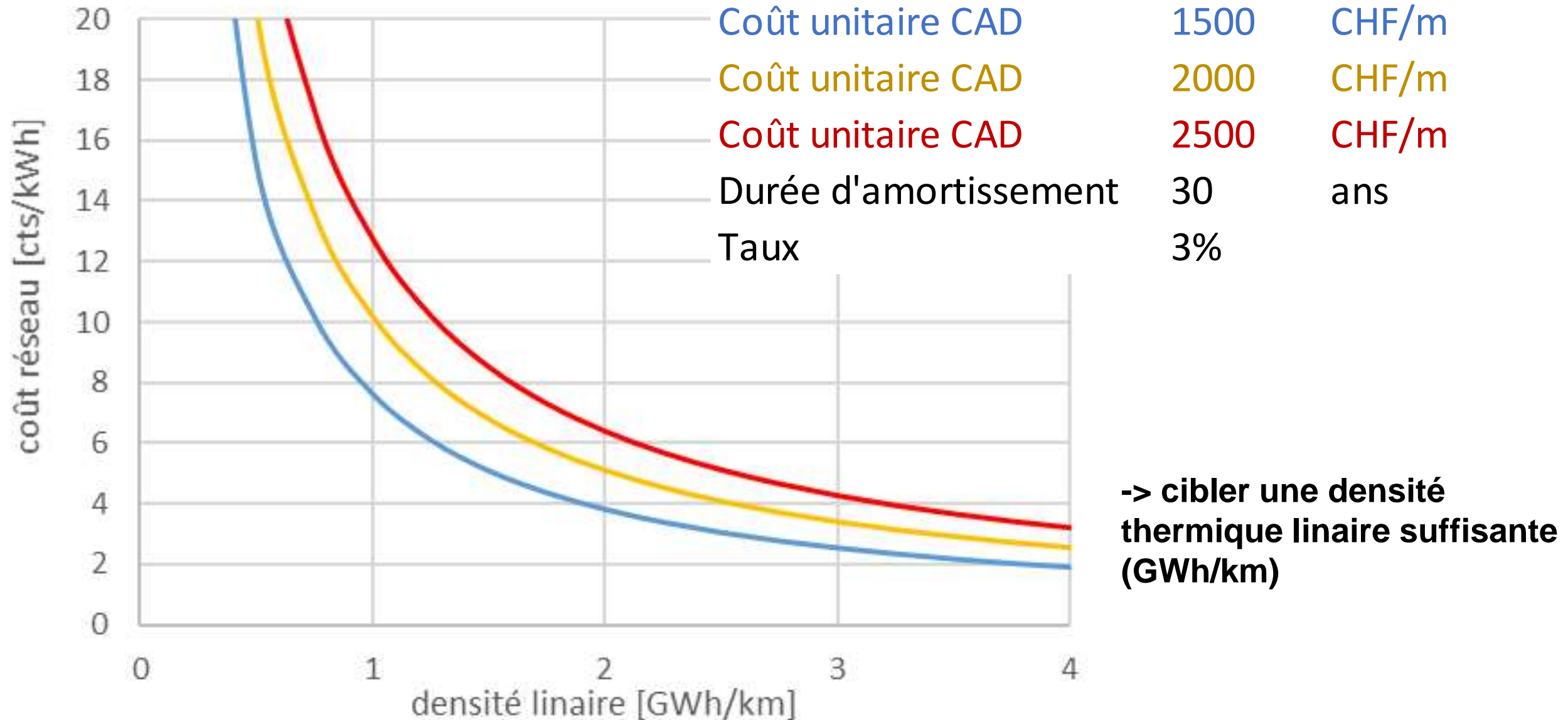
- Cibler des **sources de chaleur bon marché**
- Viser **une densité suffisante** (MWh vendu / mètre de réseau)



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

Eviter la concurrence entre solutions renouvelables décentralisées et centralisées -> importance de la planification énergétique territoriale

Coûts de distribution

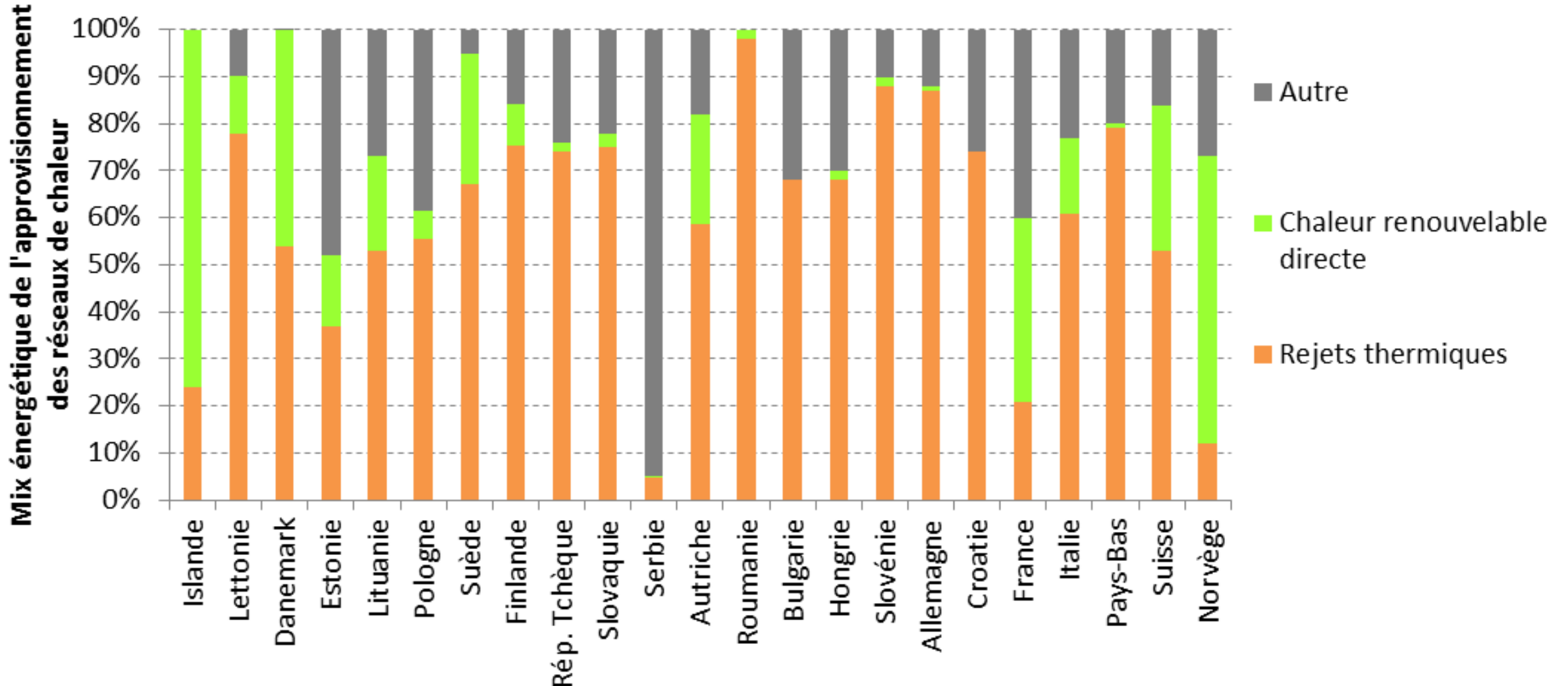




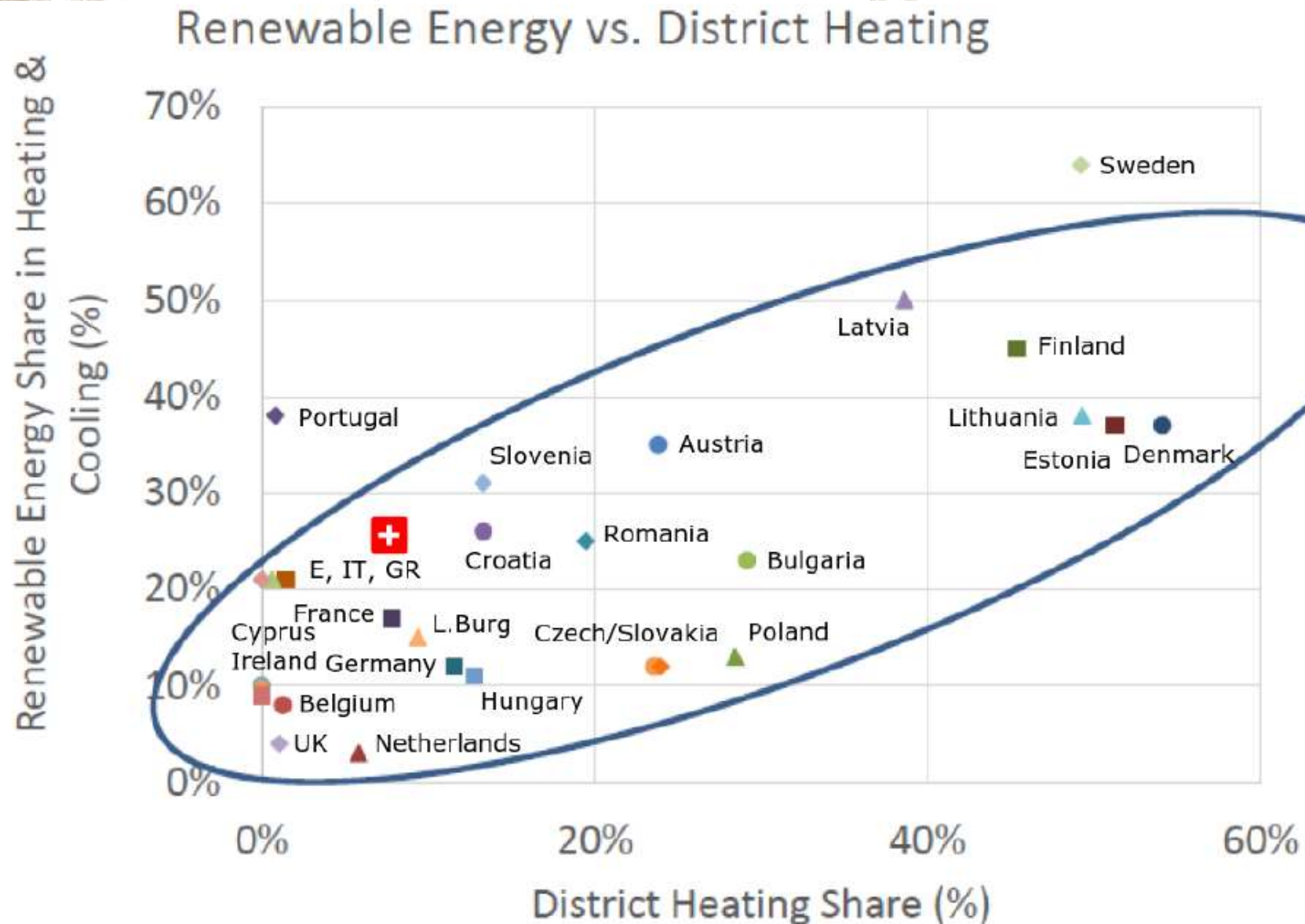
CAD dans les contextes EU et CH

2

CAD en Europe



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



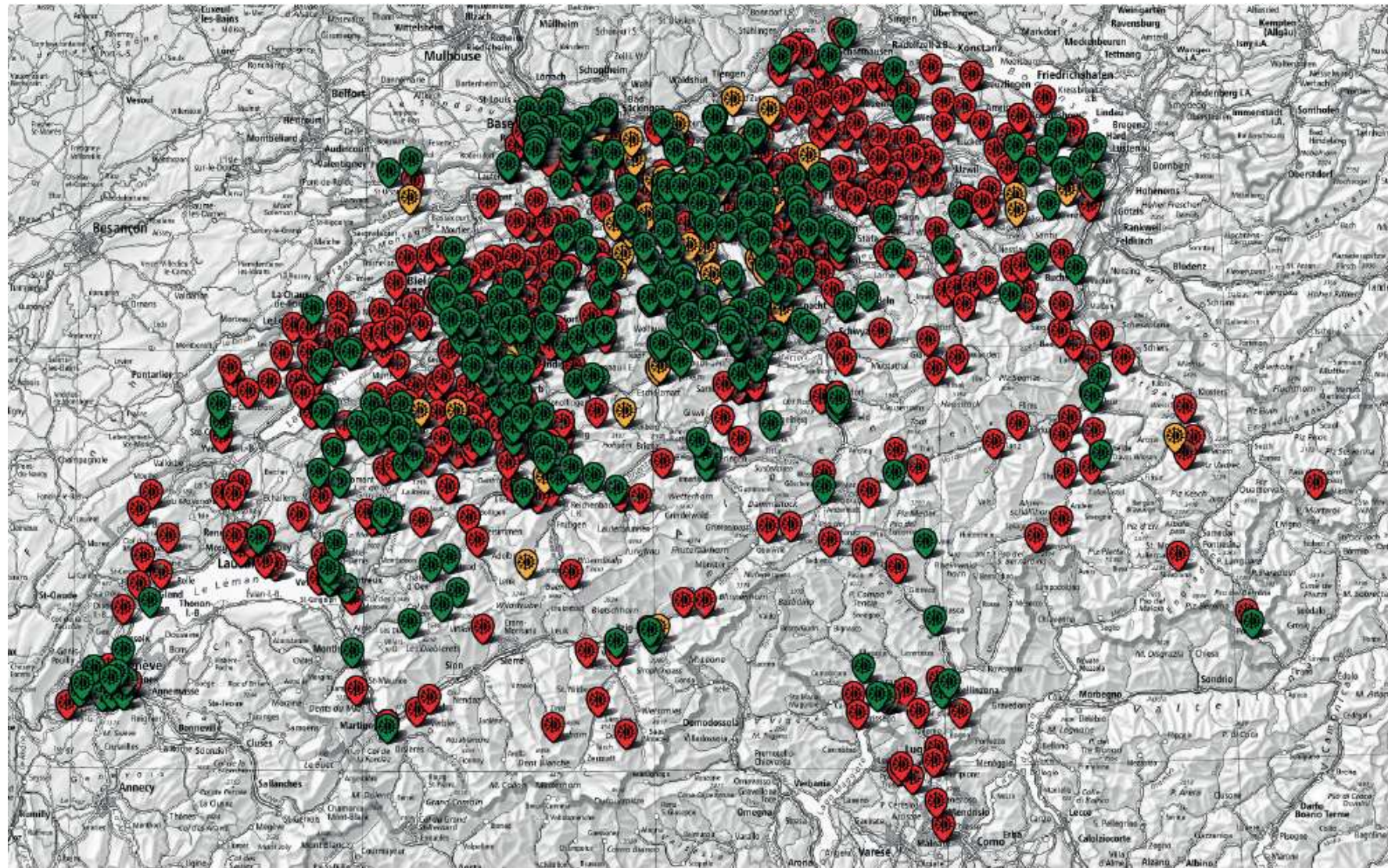
CAD en Suisse



Base de données CAD en cours d'élaboration

Près de 160 systèmes (+?),
environ 5 TWh/an

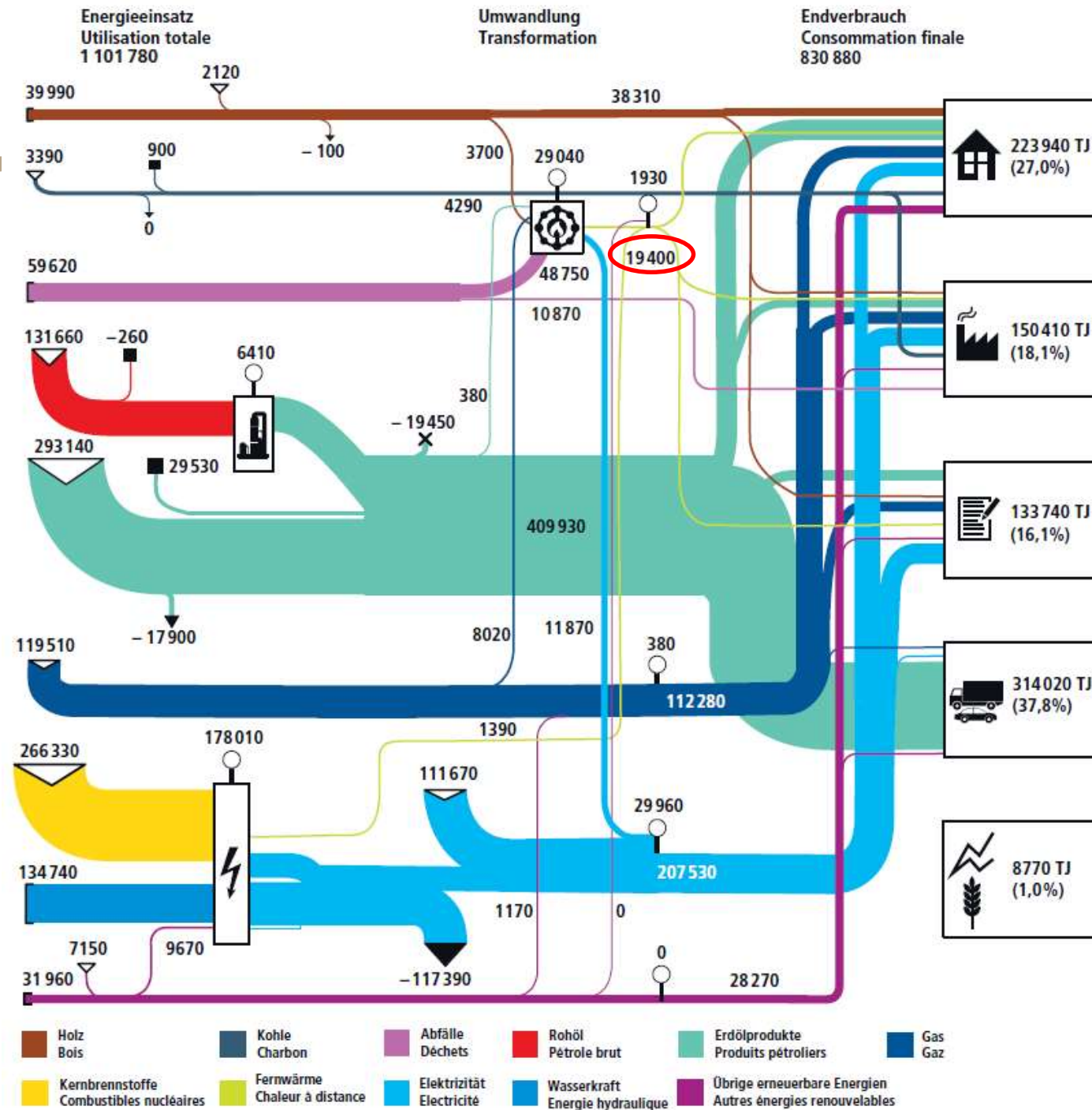
Les 4 plus grands: Bâle,
Zurich, Lausanne, Genève



CAD en Suisse



Flux énergétiques de la Suisse en 2018 (TJ)



Prix CAD en Suisse

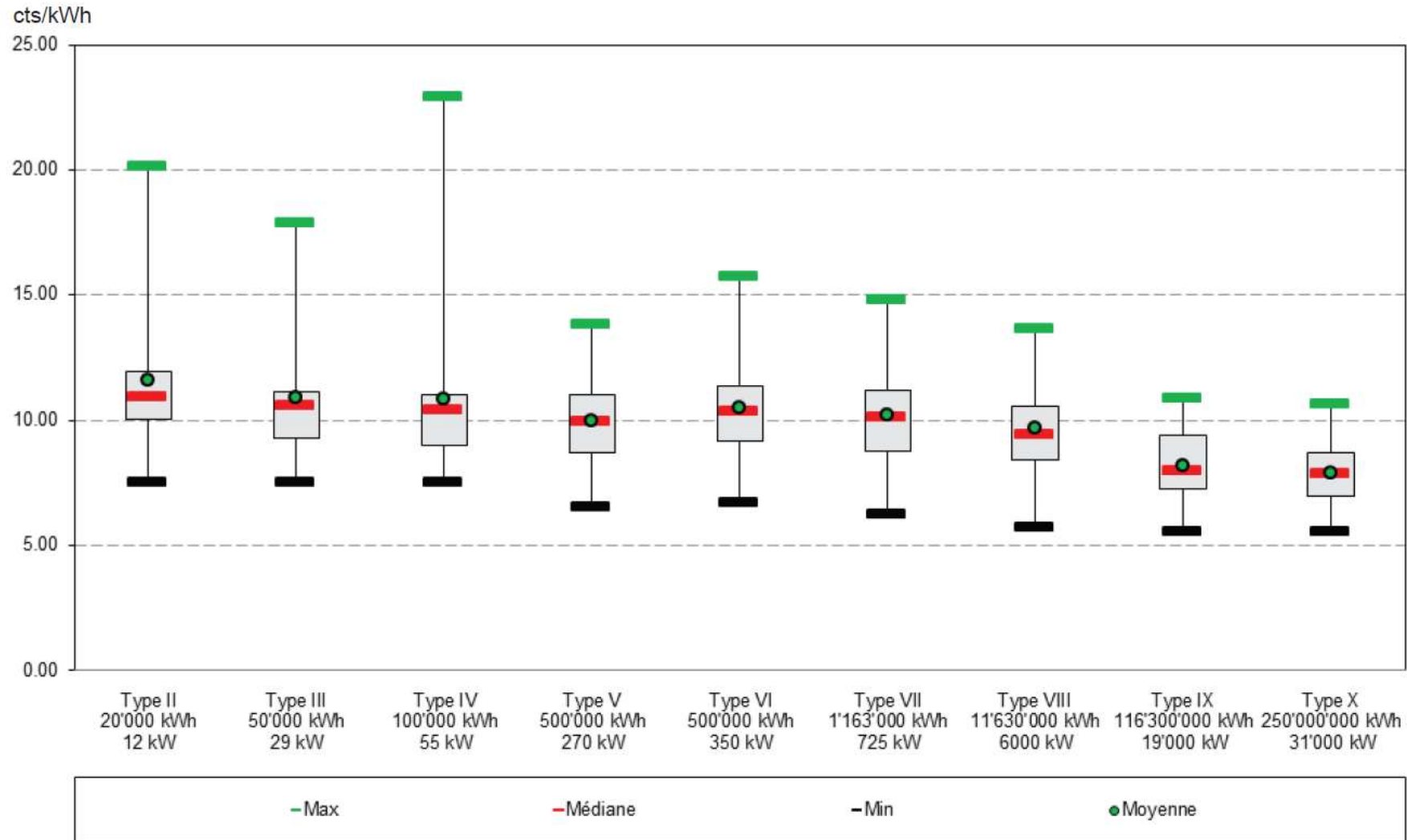


Figure 2.12 – Prix de la chaleur à distance en cts/kWh sur 29 réseaux de chaleur suisses en 2014. Distinction selon le type de consommateur. Taxe CO₂ incluse, sans TVA – tiré du rapport annuel du Surveillant des prix 2014-15 [57]

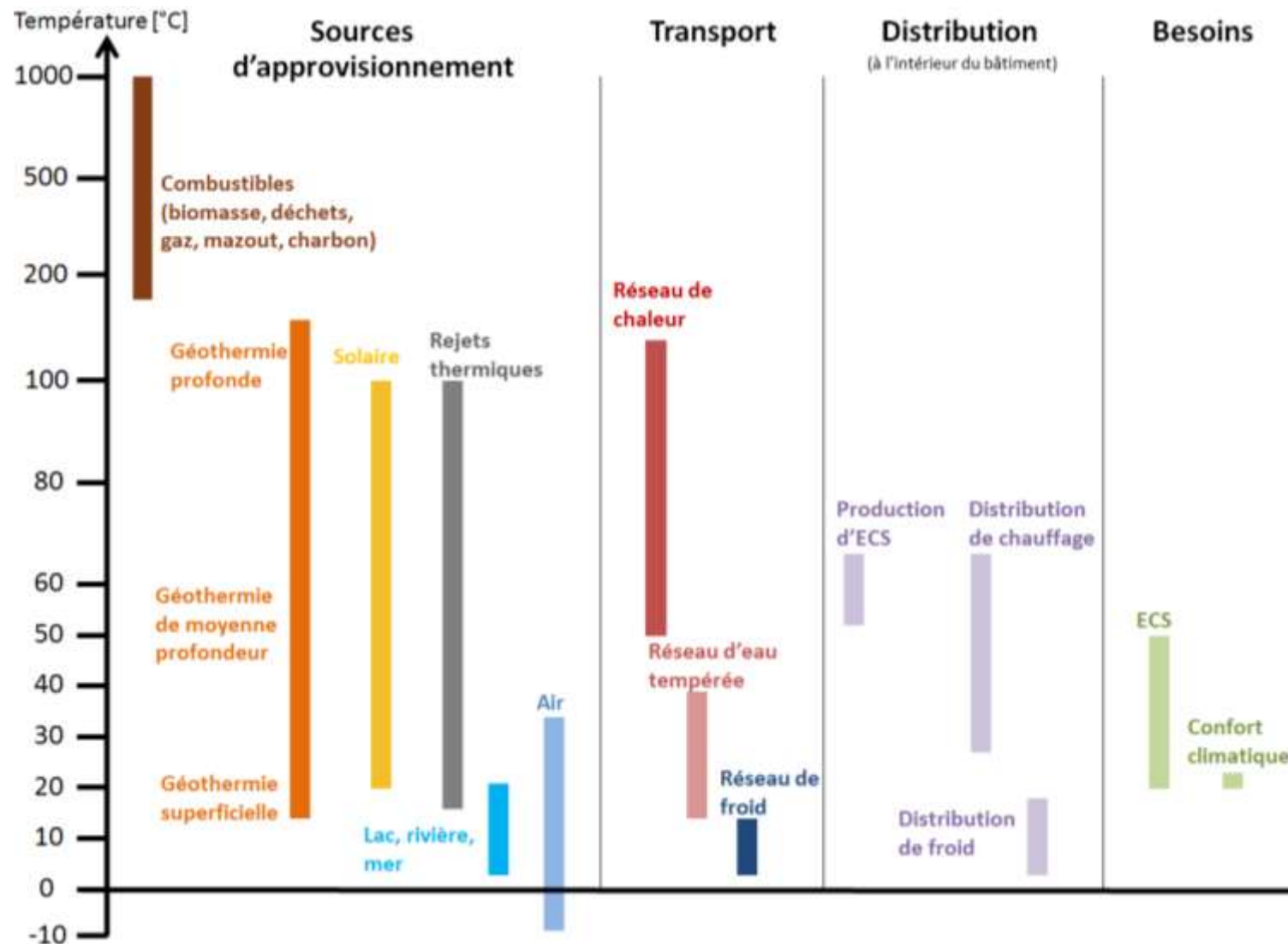


Focus sur les enjeux de température

3

Enjeux liés aux niveaux de température

→ températures de réseaux les plus basses possibles



- Faciliter l'intégration des EnR à « faible » température
- Améliorer le rendement él. des CCF
- Améliorer le COP des PAC
- Réduire les pertes de distribution

Gestion des températures CAD

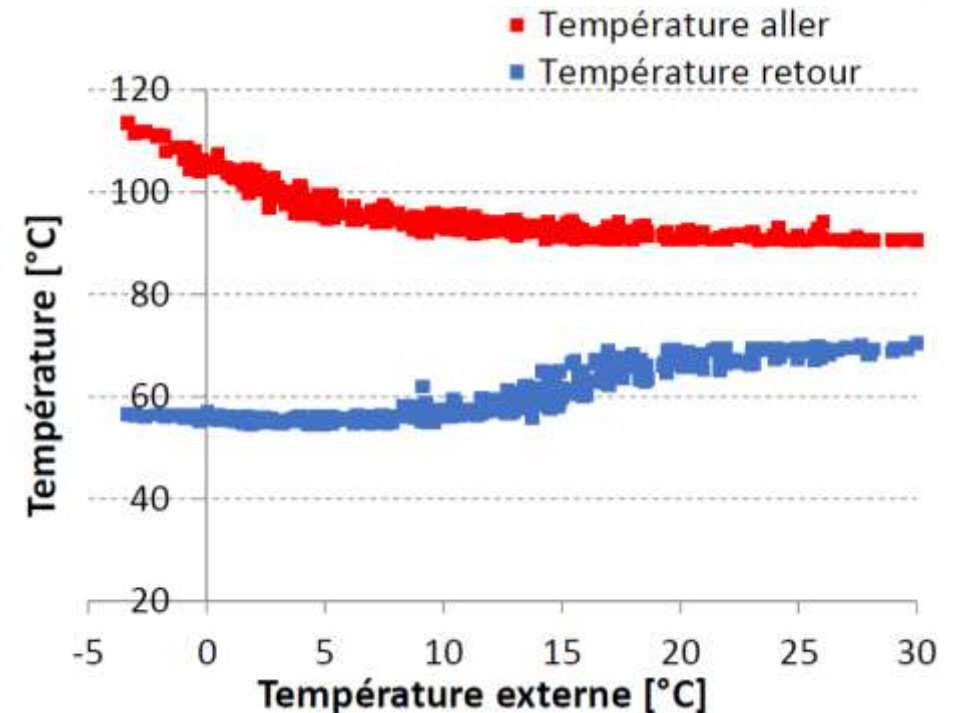
La température aller est paramétrée par l'opérateur

La température retour dépend principalement :

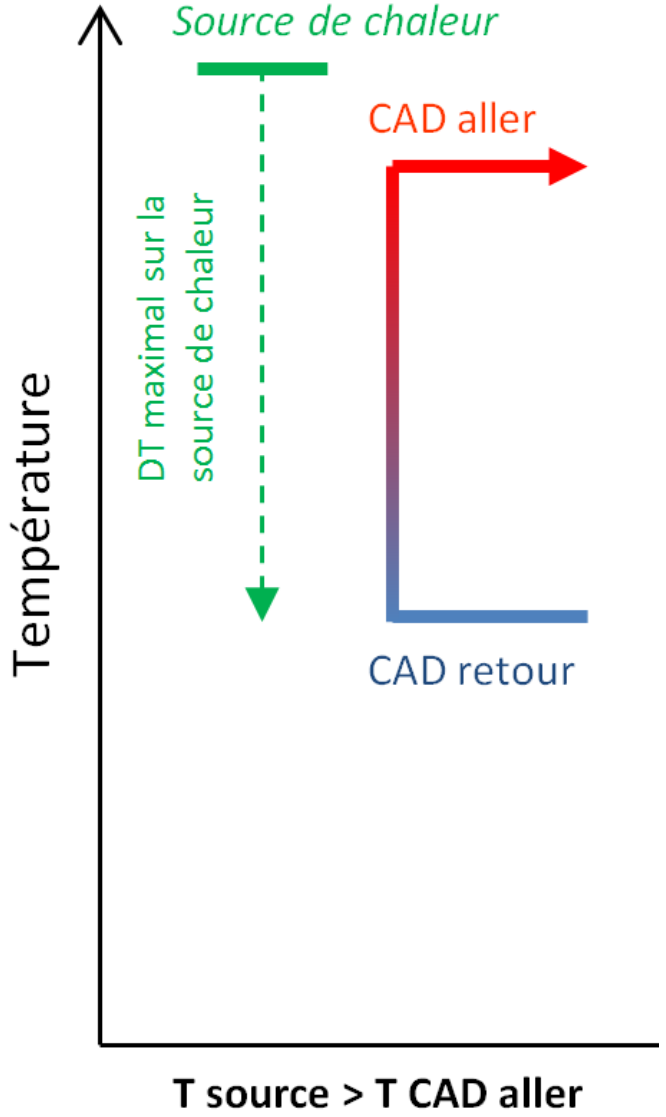
- Des surfaces d'échange thermique dans les bâtiments
- De la qualité des transferts thermiques

Contrainte opérationnelle sur la régulation de la température de départ:

- *Réseaux*: assurer la capacité de transport sur l'ensemble du CAD ($P = q_m c \Delta T$)
- *Bâtiment*: assurer la température requise dans le «pire» bâtiment

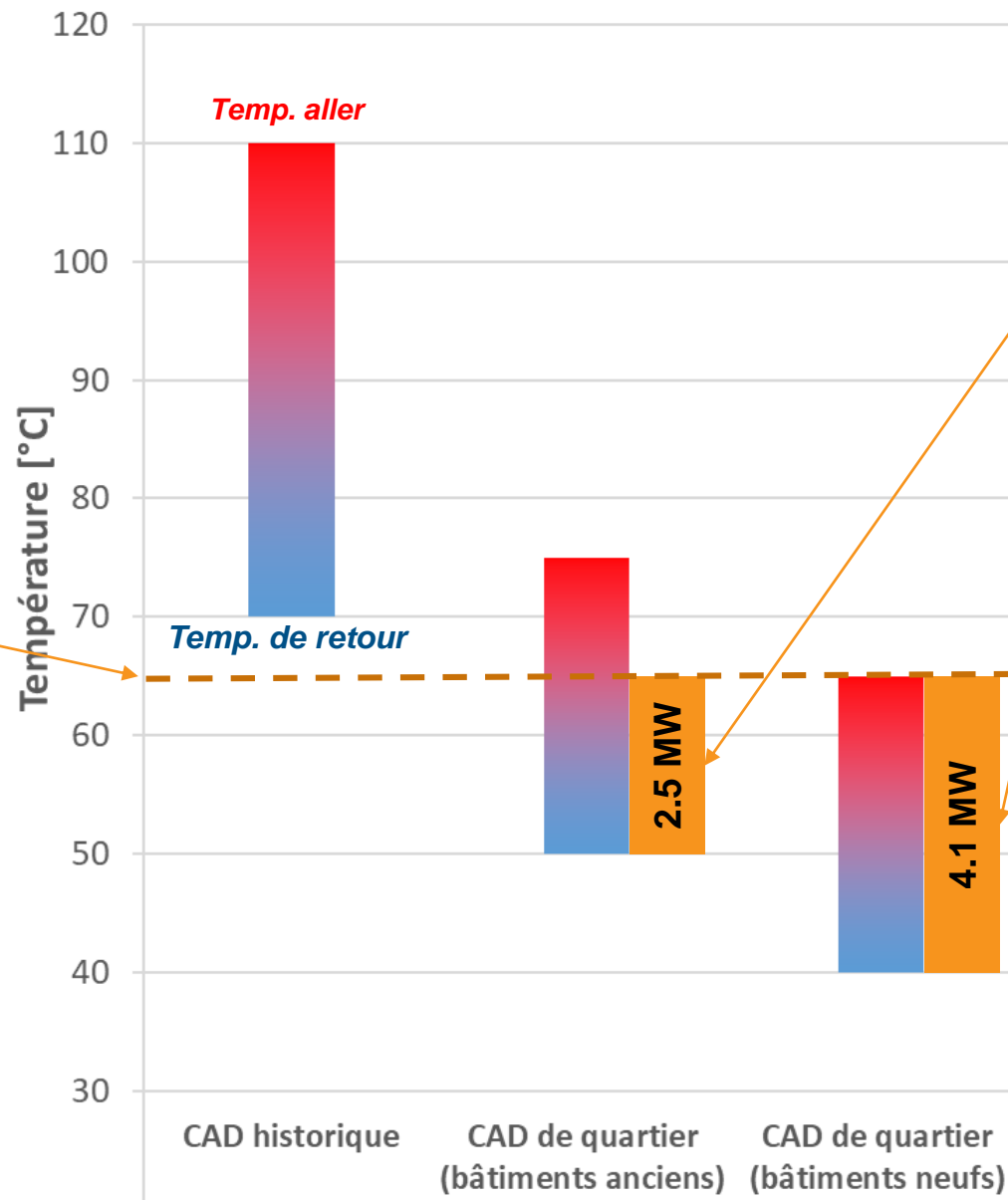


Températures et intégration des EnR



Températures et intégration des EnR – exemple géothermie

Exemple:
Doublet à 1700m
40l/s à 65°C

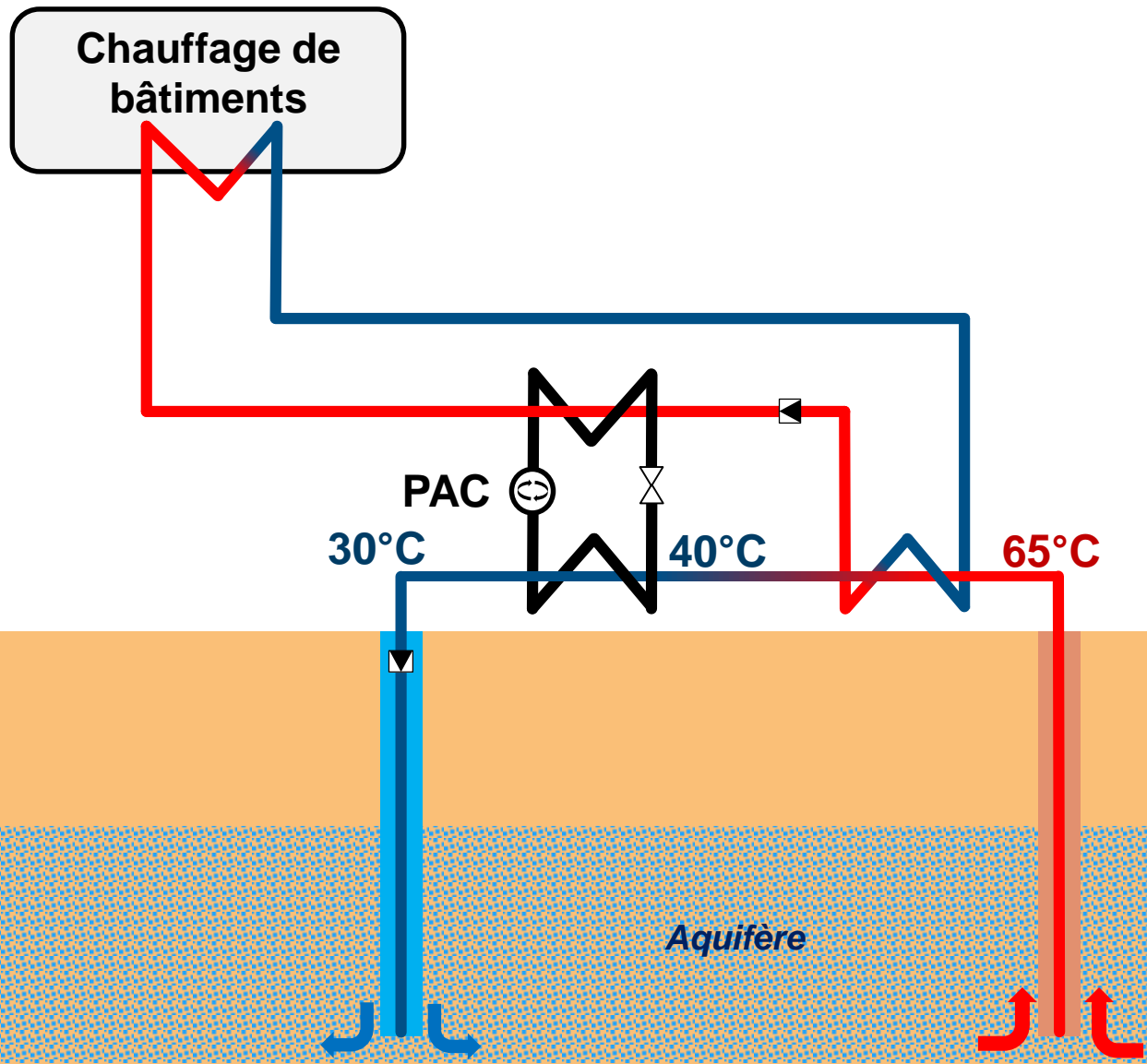


Puissance géothermique valorisable en direct

(rappel: puissance géo : $P = q_m c \Delta T$)

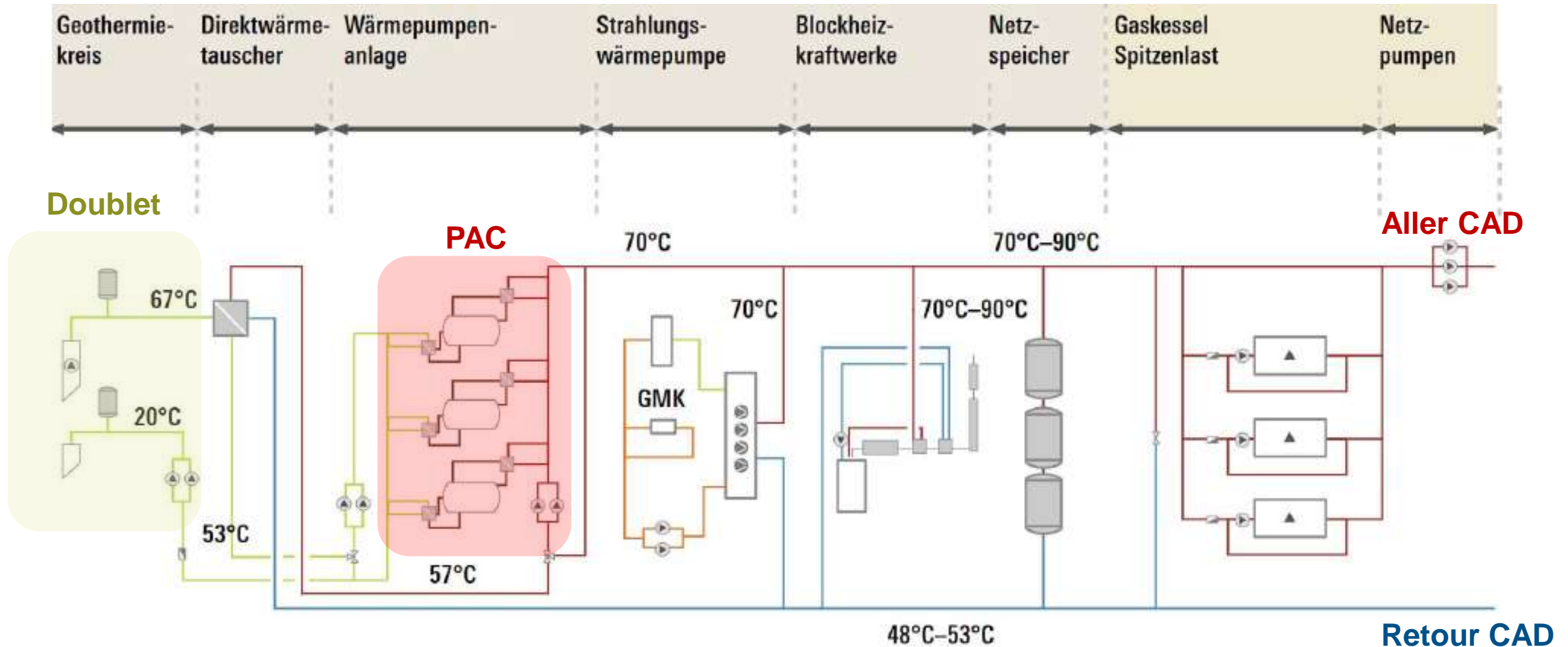
-> Importance d'avoir les températures de retour les plus basses possibles

Températures et intégration des EnR – exemple géothermie



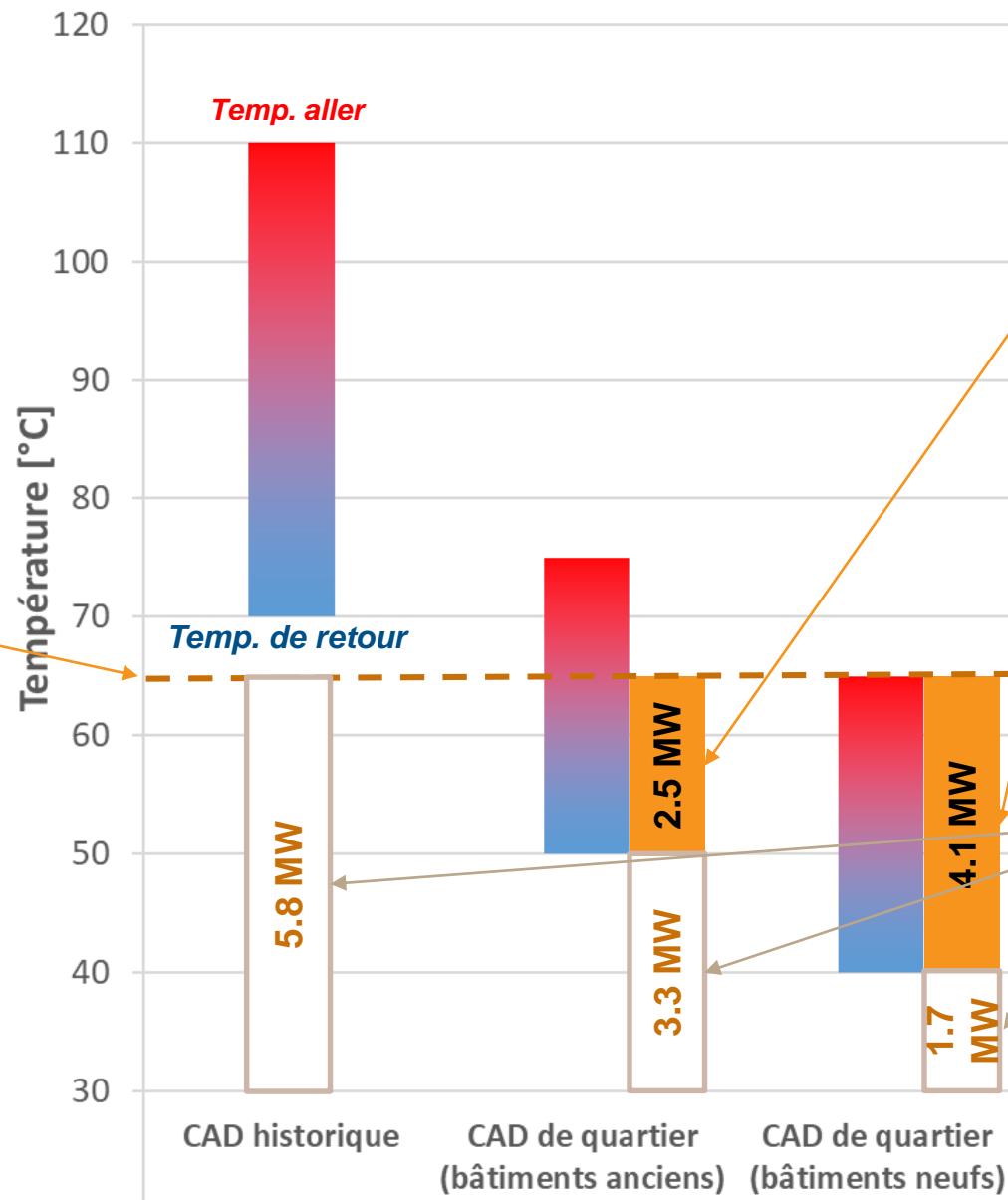
Intégration PAC: exemples Riehen & Plessis-Robinson

Exemple CAD Riehen (Bâle) – ressource géothermique à 1500m
 -> Valorisation directe + PAC



Températures et intégration des EnR – exemple géothermie

Exemple:
Doublet à 1700m
40l/s à 65°C



Puissance géothermique valorisable en direct

(rappel: puissance géo : $P = q_m c \Delta T$)

-> Importance d'avoir les températures de retour les plus basses possibles

Puissance géothermique valorisable via une PAC avec (réinjection sous-sol à 30°C)

(avec une consommation électrique associée!)

Température et COP des PAC

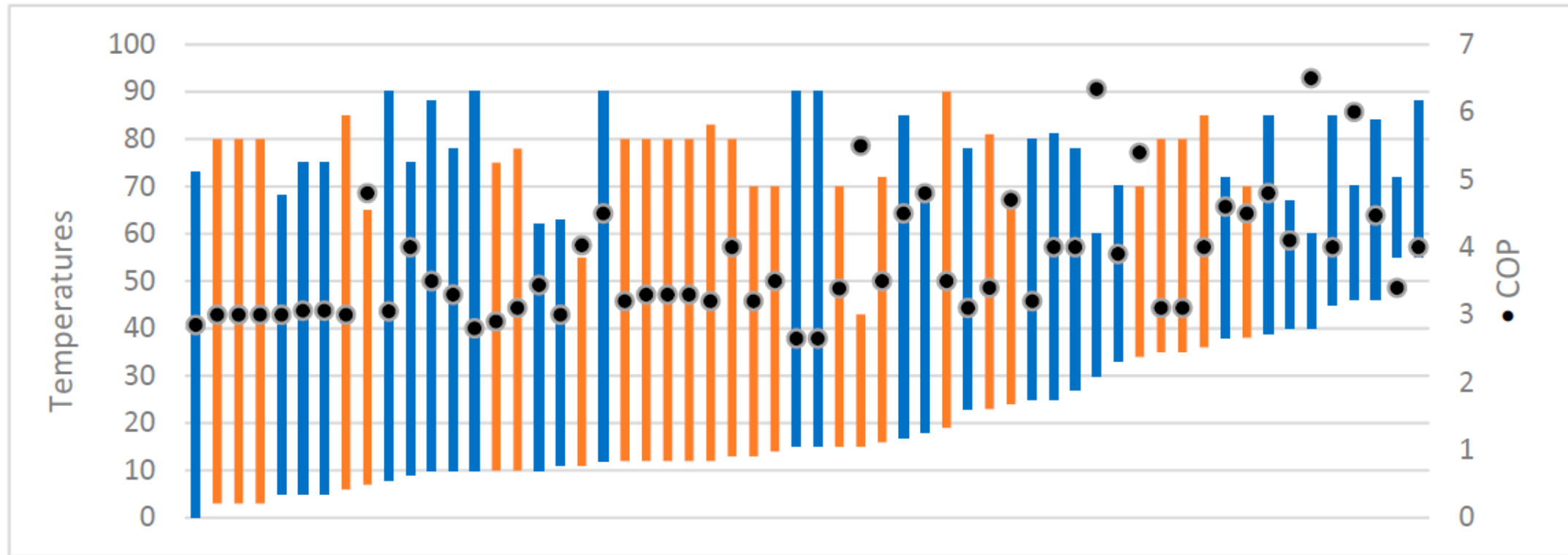
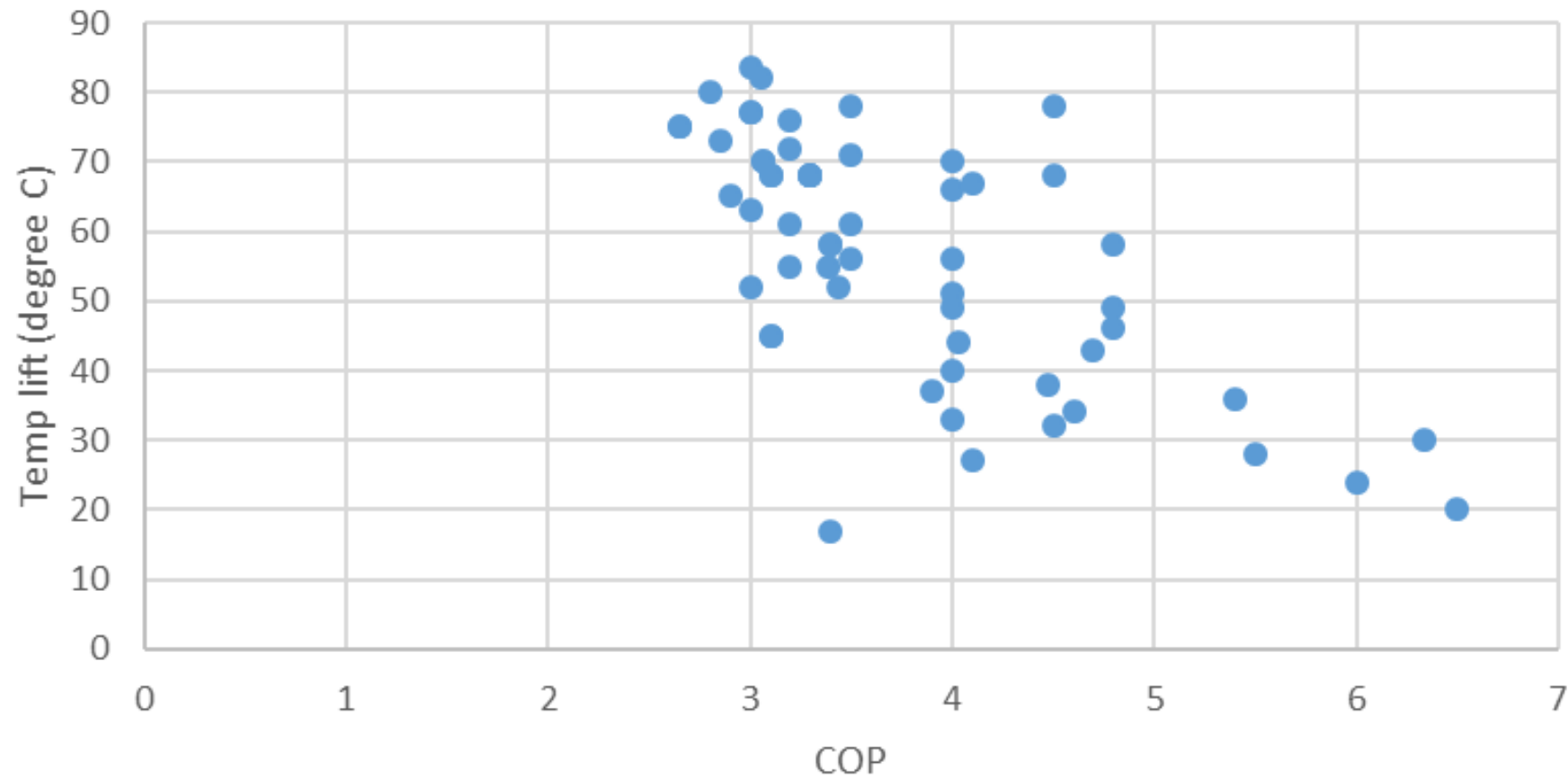


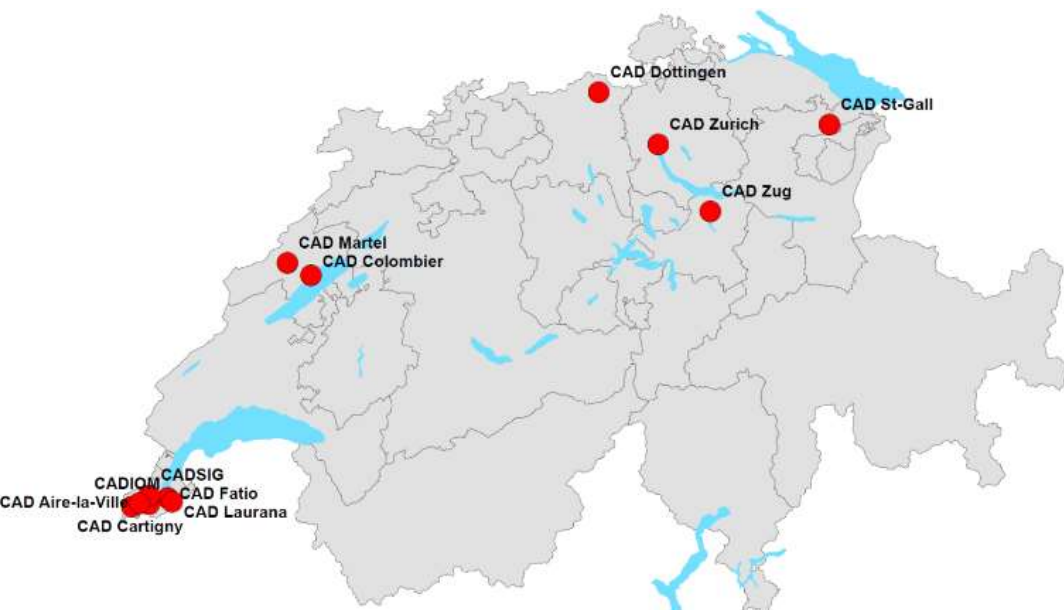
Figure 3. Operating temperatures for the heat pumps built before 2006 (orange) and beyond 2006 (blue), for the units where all the data was available (input and output temperature, coefficient of performance (COP) and establishment year). Each bar represents one heat pump.

Température et COP des PAC

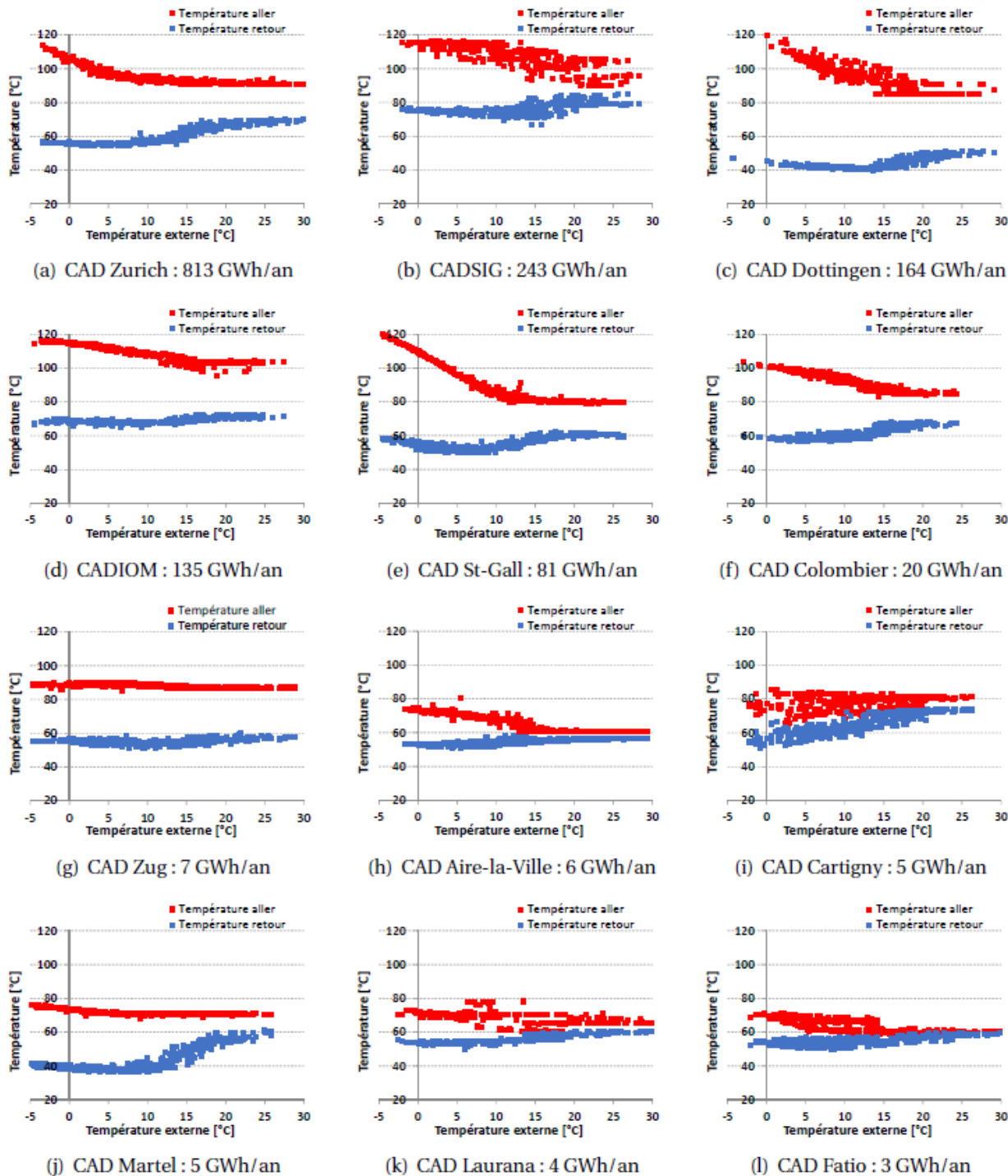
Relationship between COP of heat pumps and different temp. lifts (n=60)



Benchmark CH

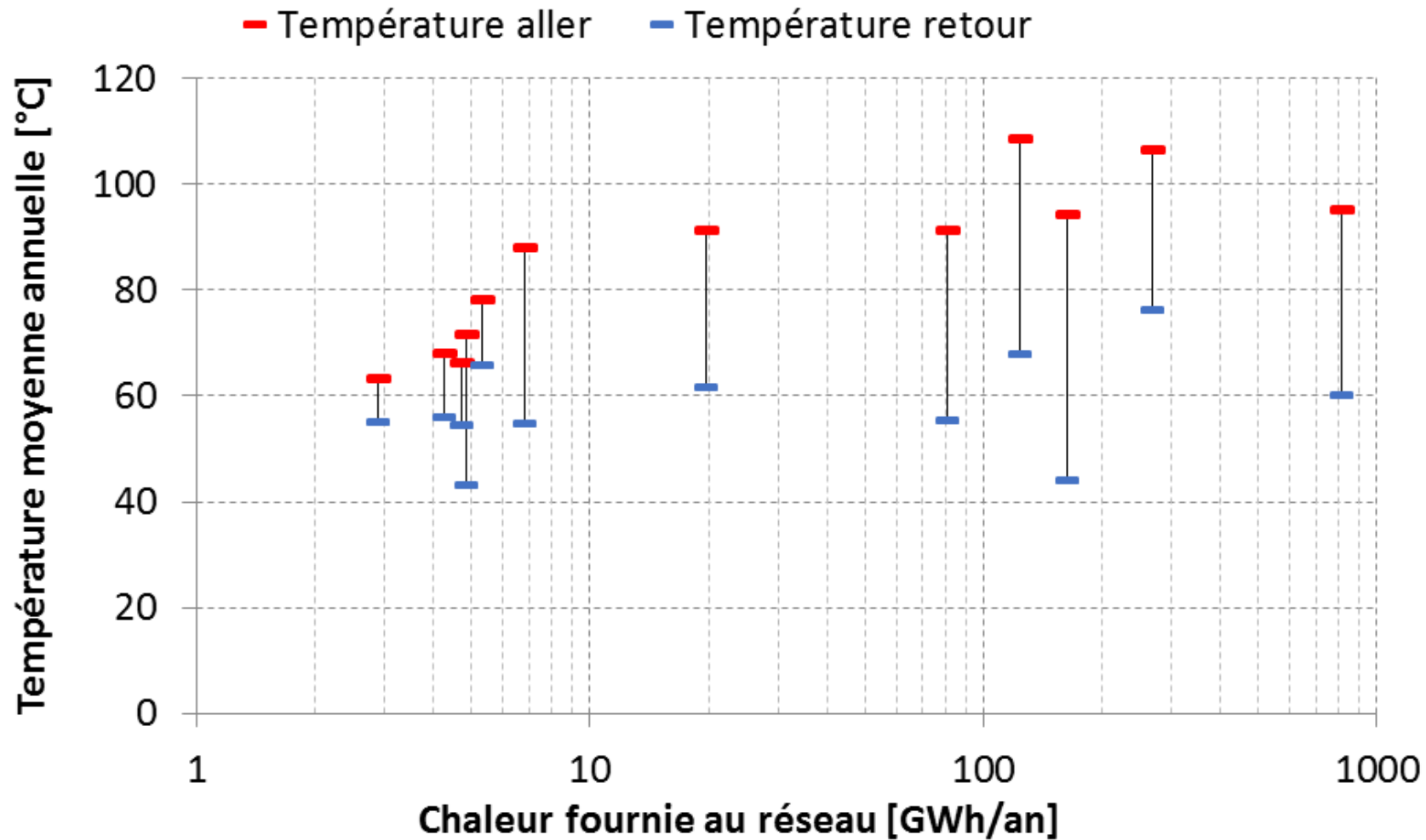


| Nom du réseau | Source d'approvisionnement principale | Source des données | Période couverte (du - au) | Chaleur fournie (GWh/an) |
|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| CAD Zurich | Rejets th. (UVTD) | Entsorgung+Recycling Zürich | 01.01.15-31.12.15 | 813.3 |
| CAD SIG | 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 Cornells 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 |



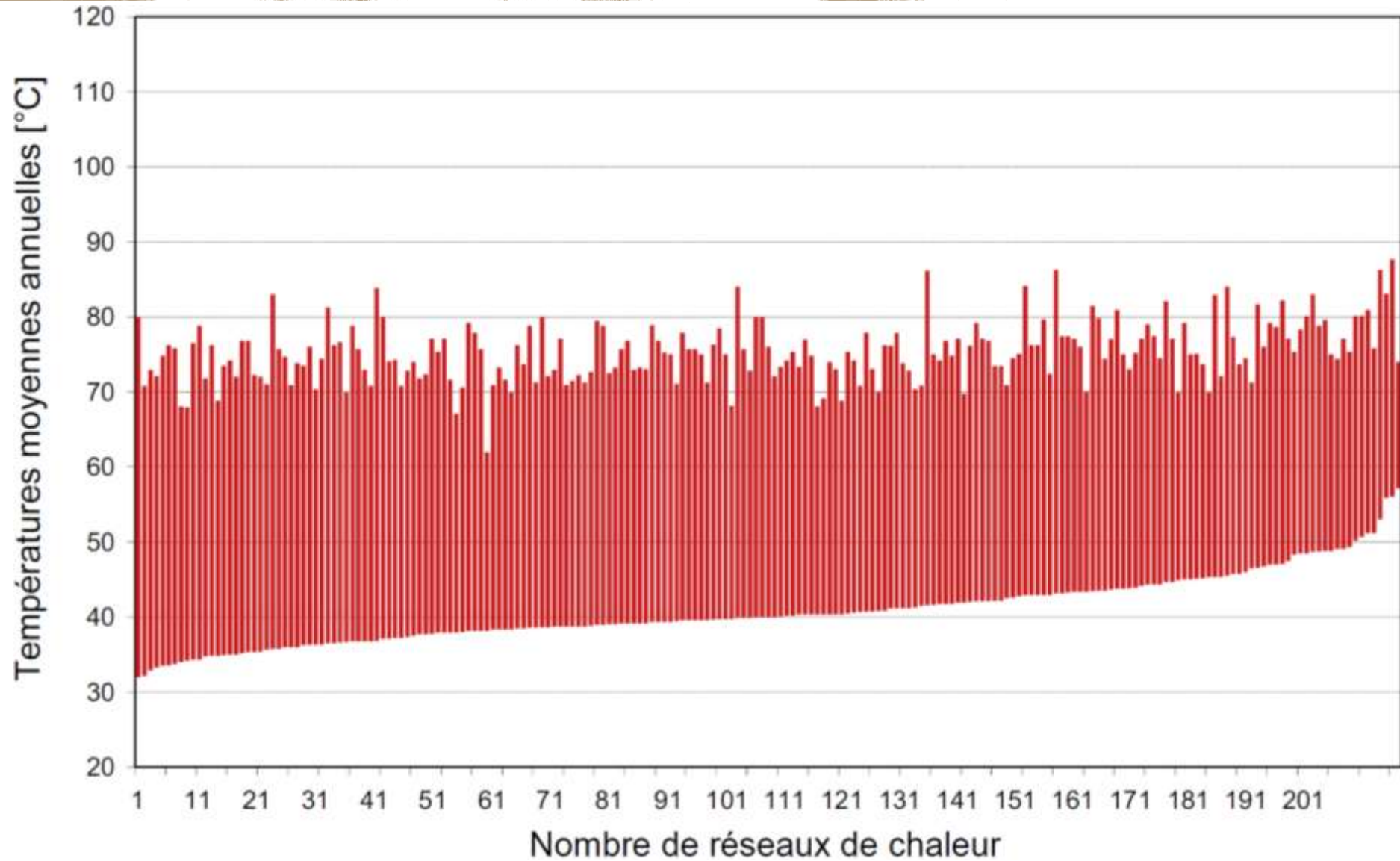
Source: Quiquerez (2017) Décarboner le système énergétique à l'aide des réseaux de chaleur: état des lieux et scénarios prospectifs pour le canton de Genève.

Benchmark CH



→ des disparités importantes selon les réseaux

Benchmark Danemark

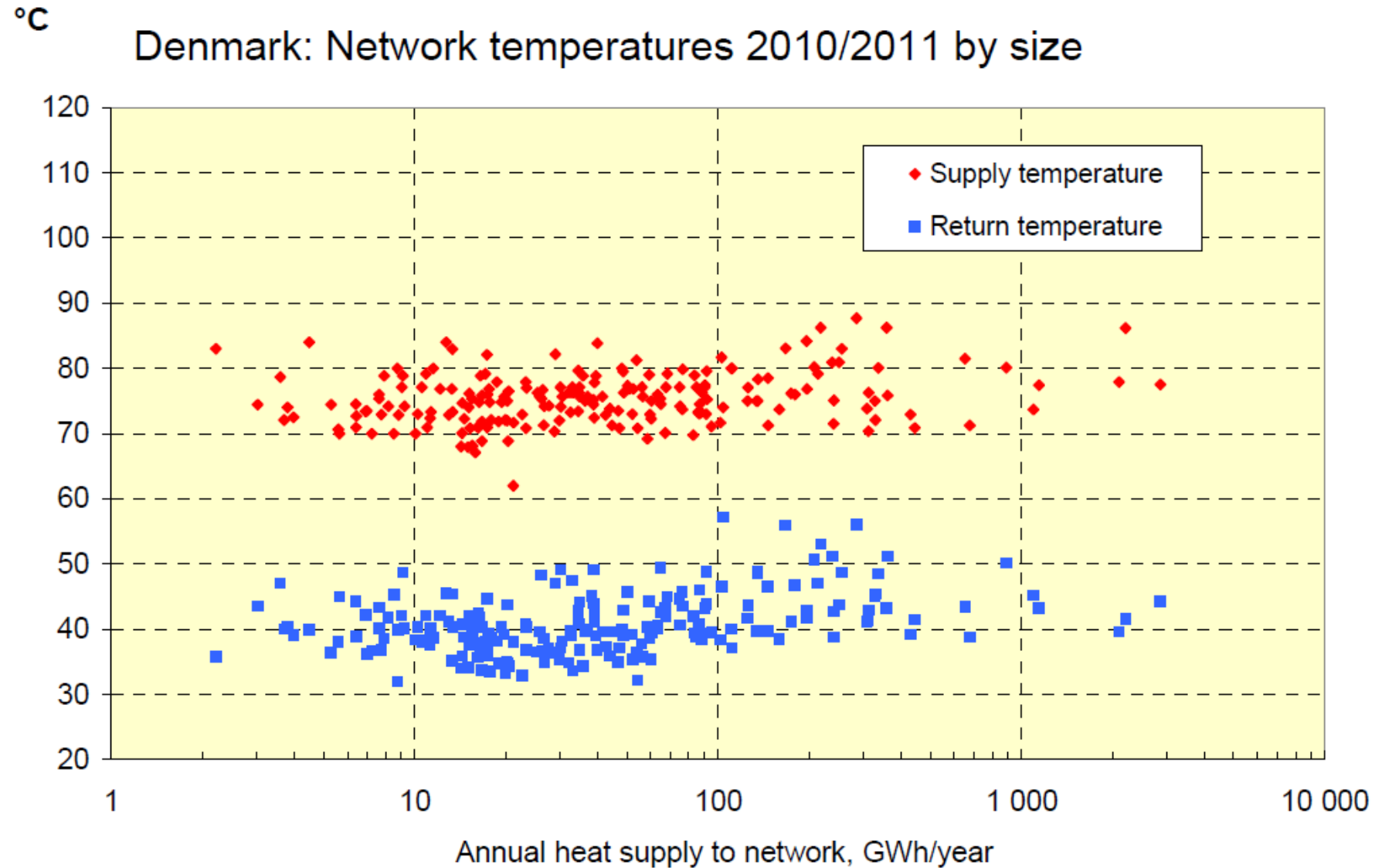


Source: Averfalk et al. (2017) Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems.

Benchmark Danemark



-> Pas de lien évident entre températures et tailles des CAD

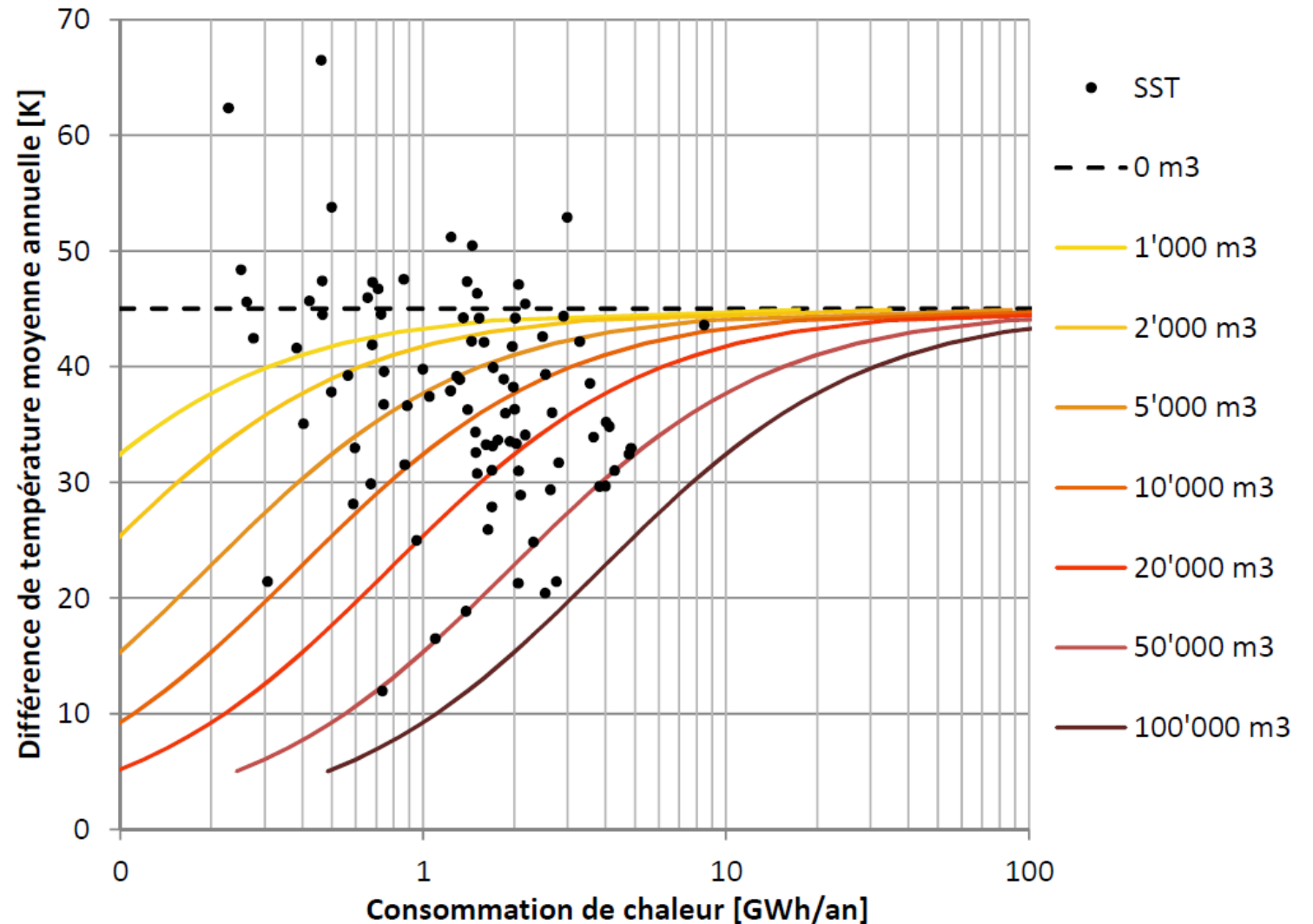


Optimisation température réseau

**Des SST plus problématiques
que d'autres**

**Enjeu: optimiser les installations
du côté secondaire (client)**

-> optimisation régulation +
éventuelles adaptations
hydrauliques

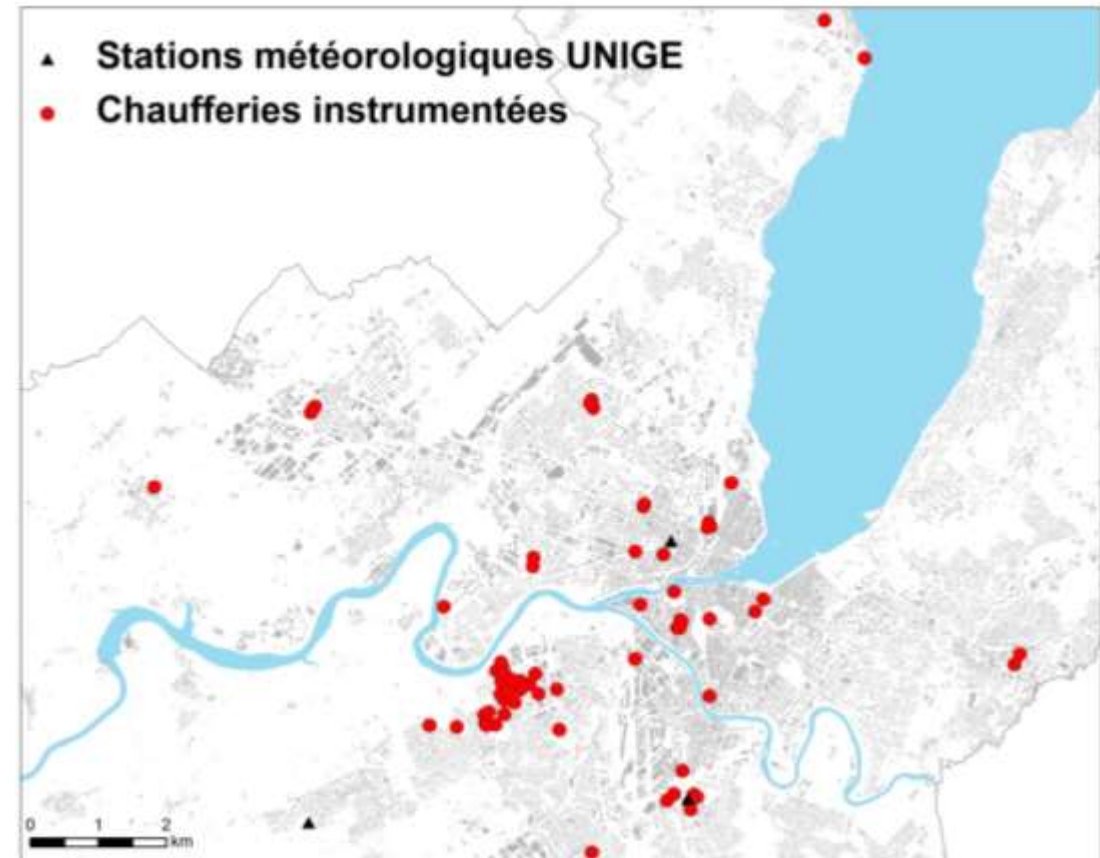
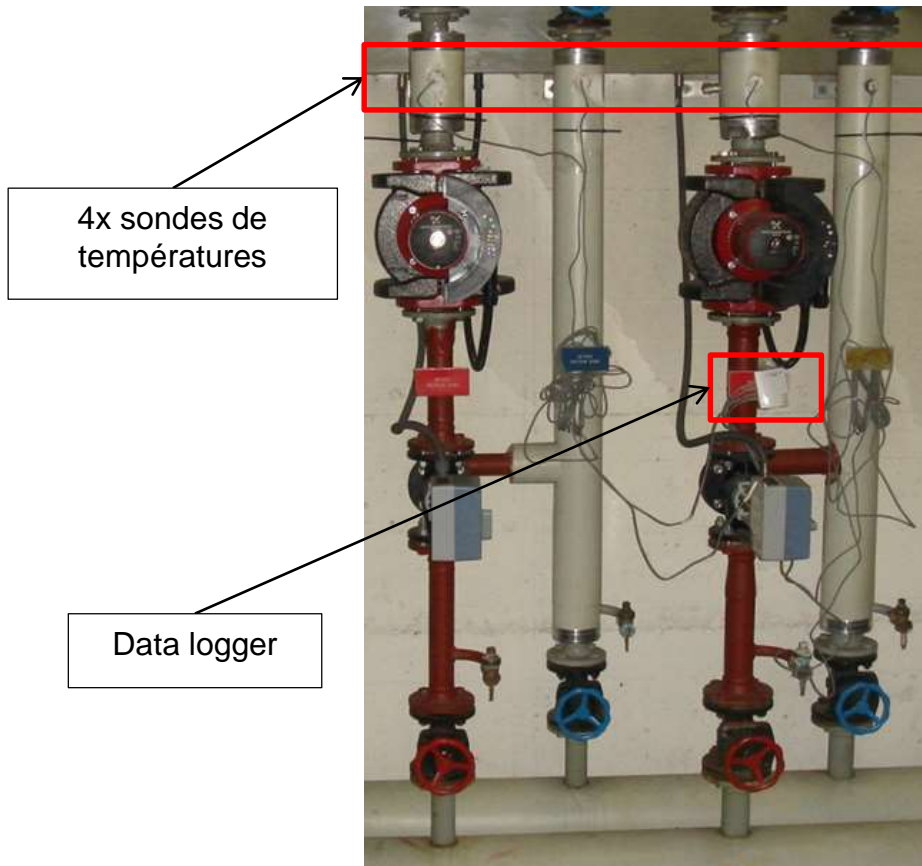


Températures requises dans le bâtiment

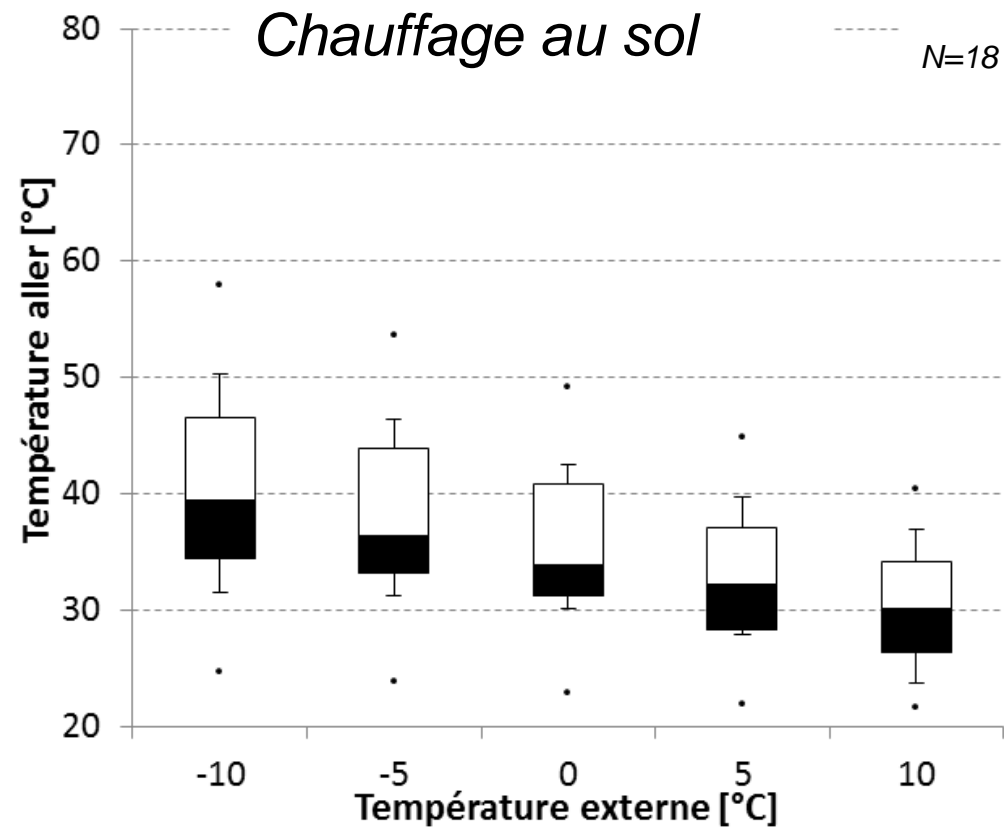
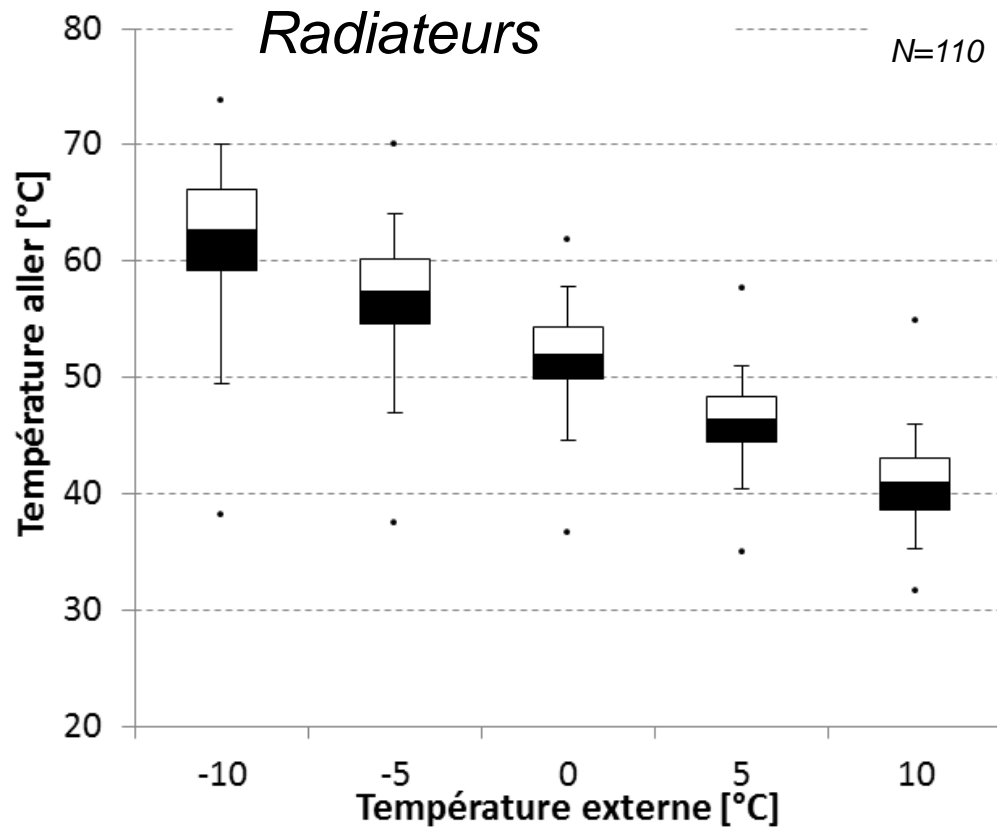


Production d'ECS: 55-60°C pour éviter les légionelles

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



Distribution de chauffage



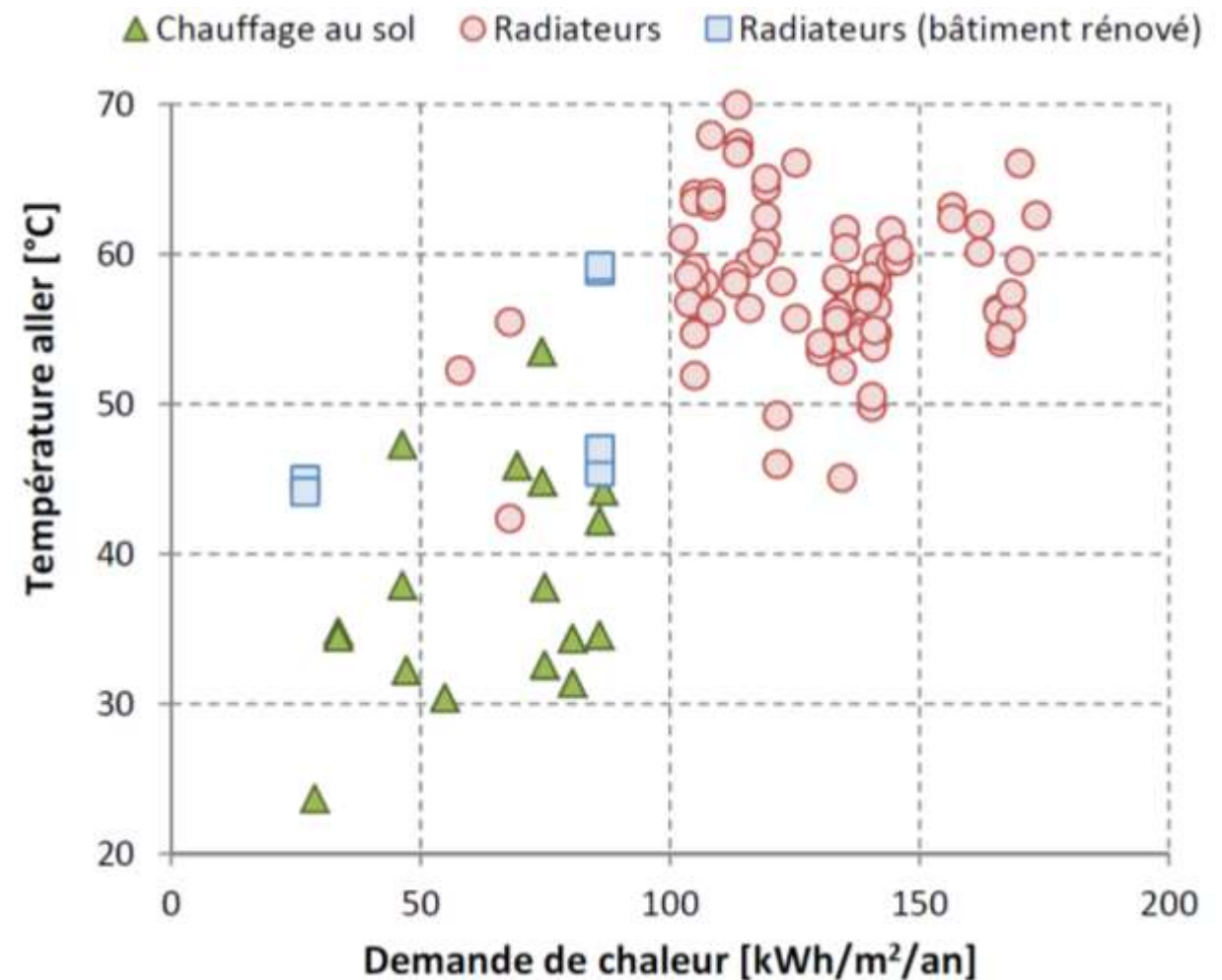
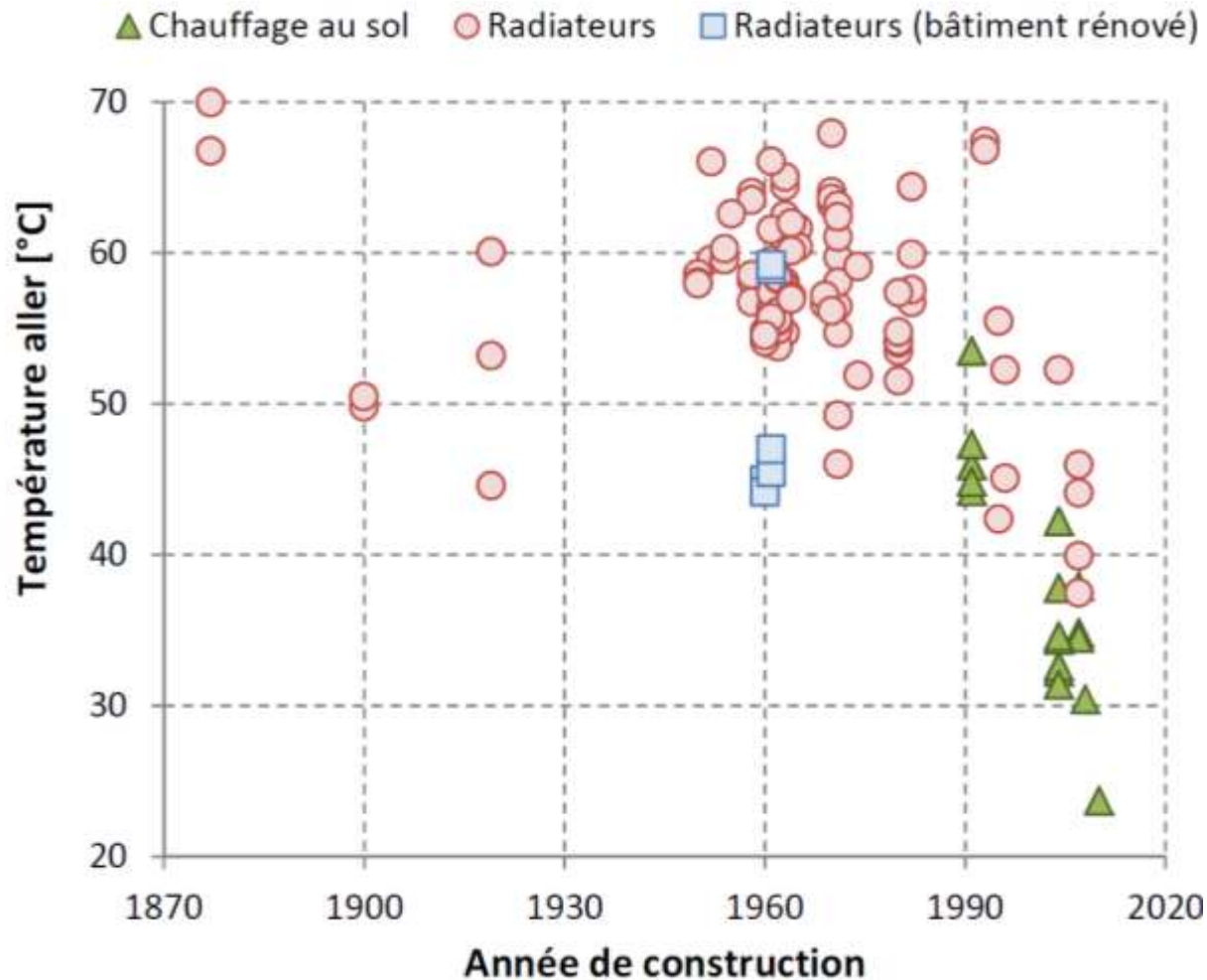
Avec Text = -5°C:

→ radiateurs: aller 50-65°C

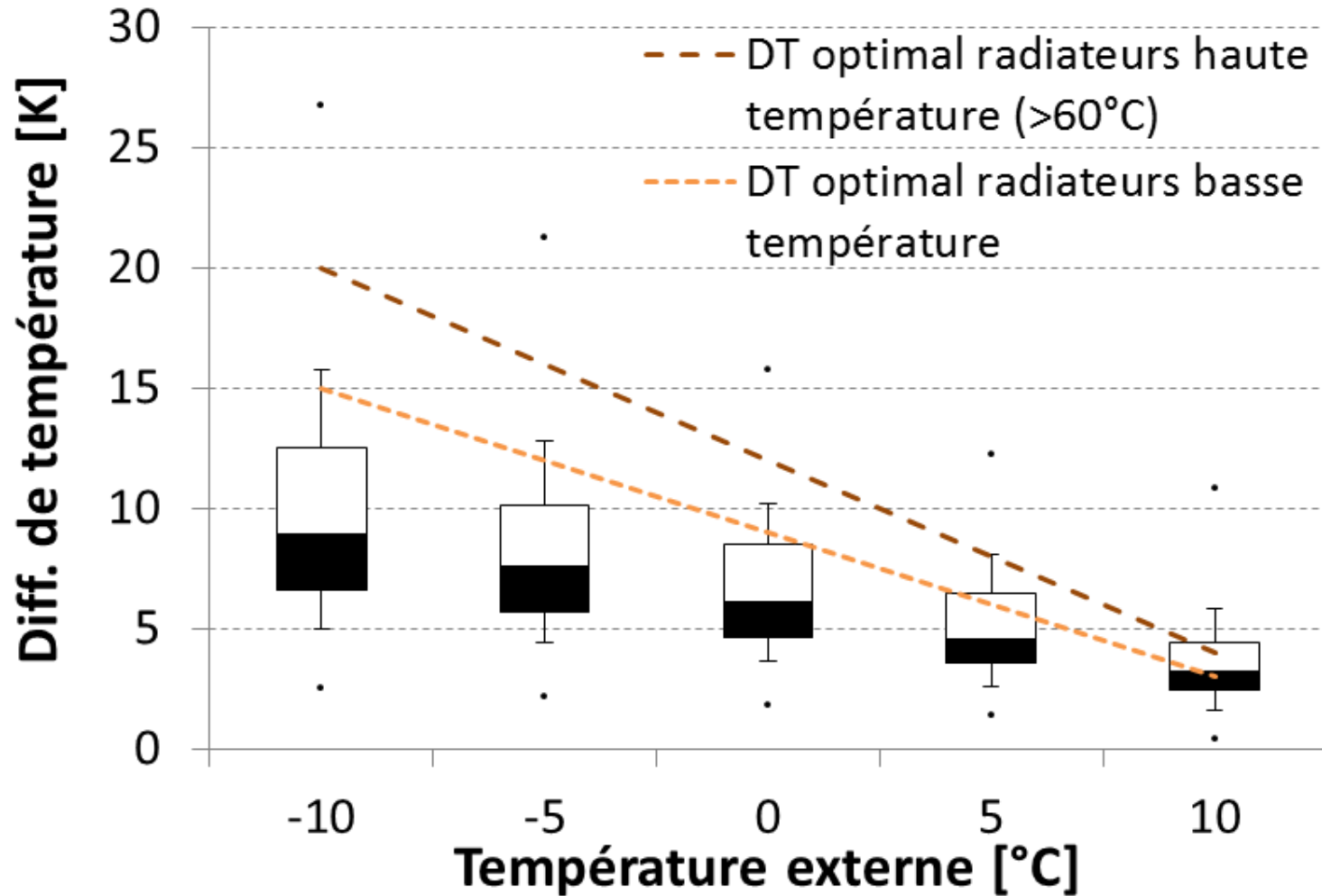
→ chauffage au sol: aller 30-45°C

La plupart du temps:
temp. chauffage \leq temp. ECS

Distribution de chauffage



Distribution de chauffage



→ Valeurs inférieures à ce qui est attendu

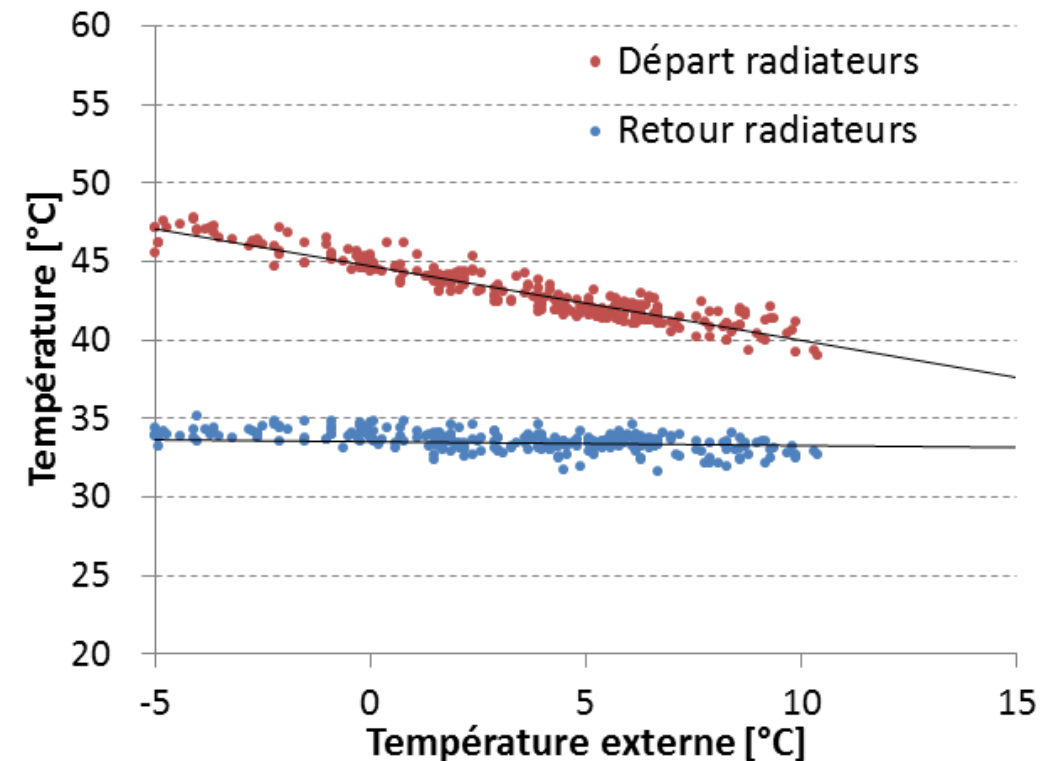
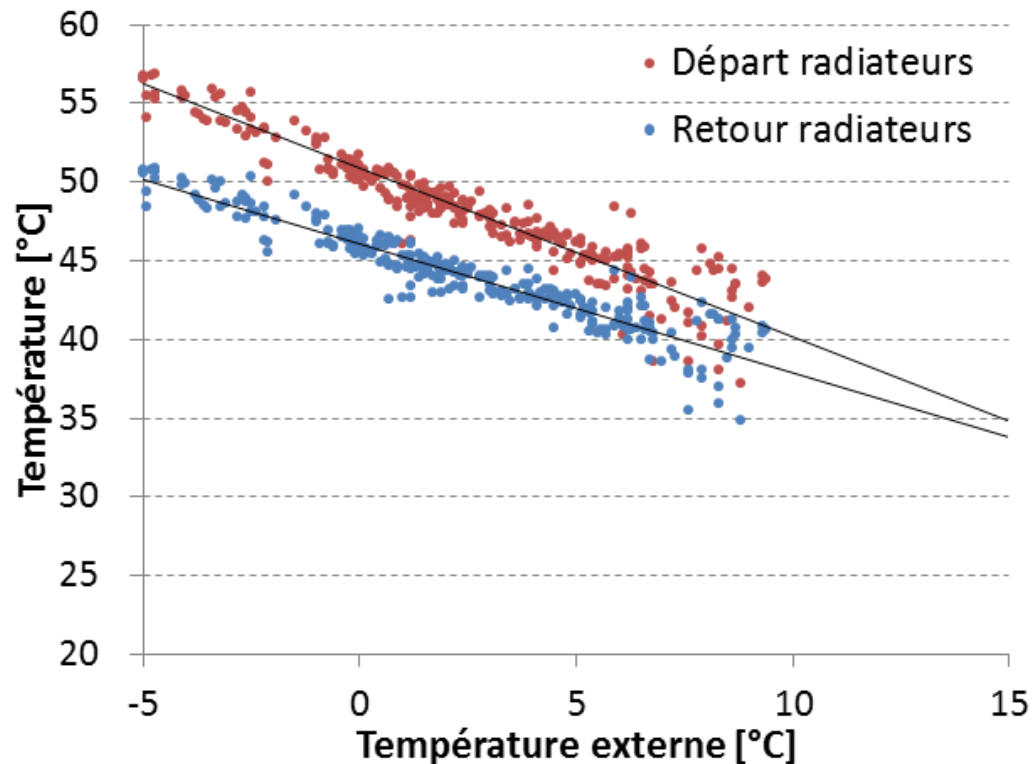
Potentiel d'optimisation: exemple

Bâti existant
typique années 60-70

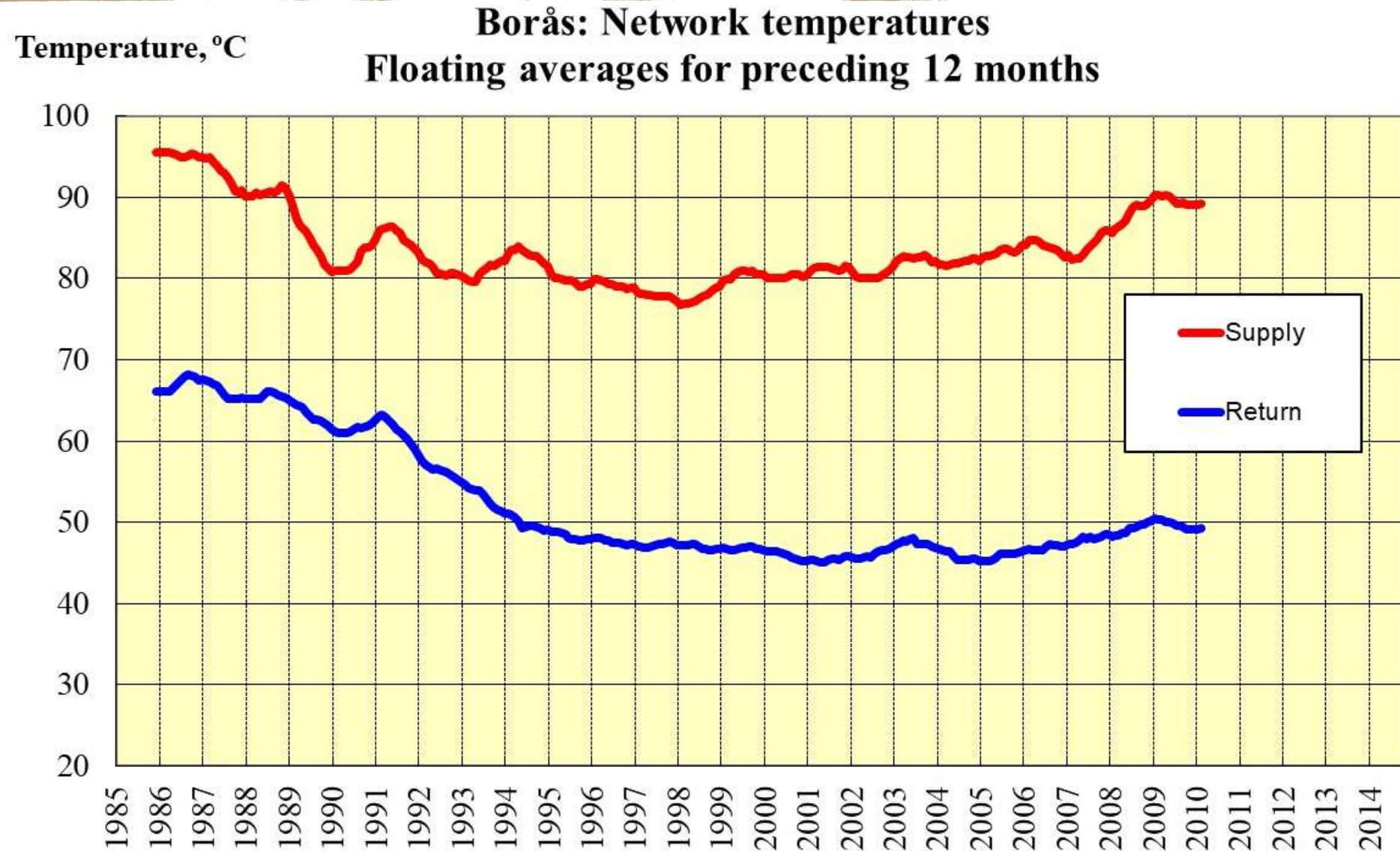


Après assainissement:

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



Exemple optimisation température réseau Borås (Suède)

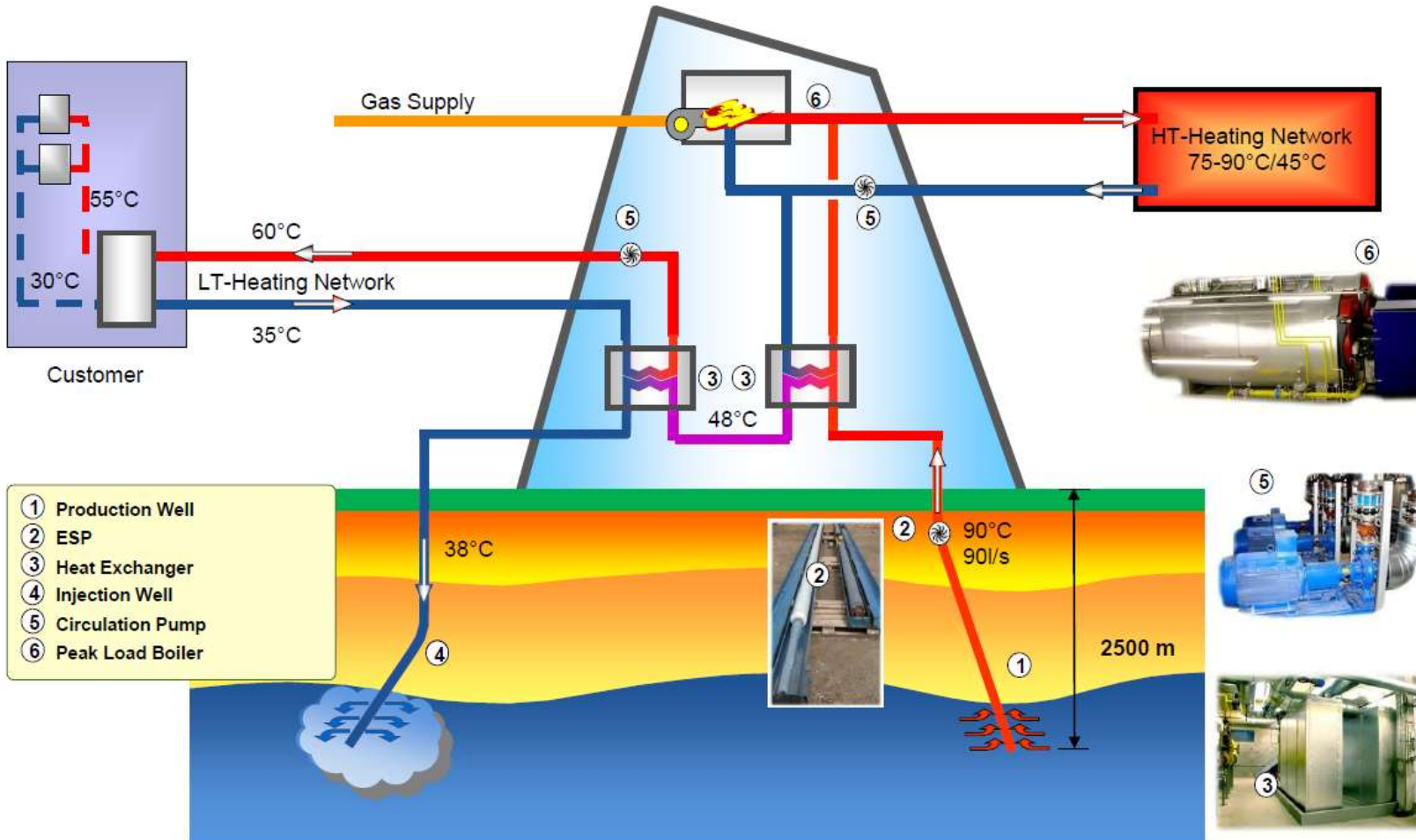


Cascade : échelle quartier

Sous-réseau sur les quartiers neufs



Exemple réseau Freiham (Munich)



- ① Production Well
- ② ESP
- ③ Heat Exchanger
- ④ Injection Well
- ⑤ Circulation Pump
- ⑥ Peak Load Boiler

High and Low Temperature Network

LT- Heating Network: Freiham
2+3 Realisation Phase

LT- Heating Network: Freiham
1. Realisation Phase
ST: 60°C, RT: 35...30°C
approx. 3.000 Residential Units



HT - Heating Networks :
ST: 90 ... 75° C , RT: 45° C
Freiham Commercial Area
Neuubing Housing
Neuubing DB

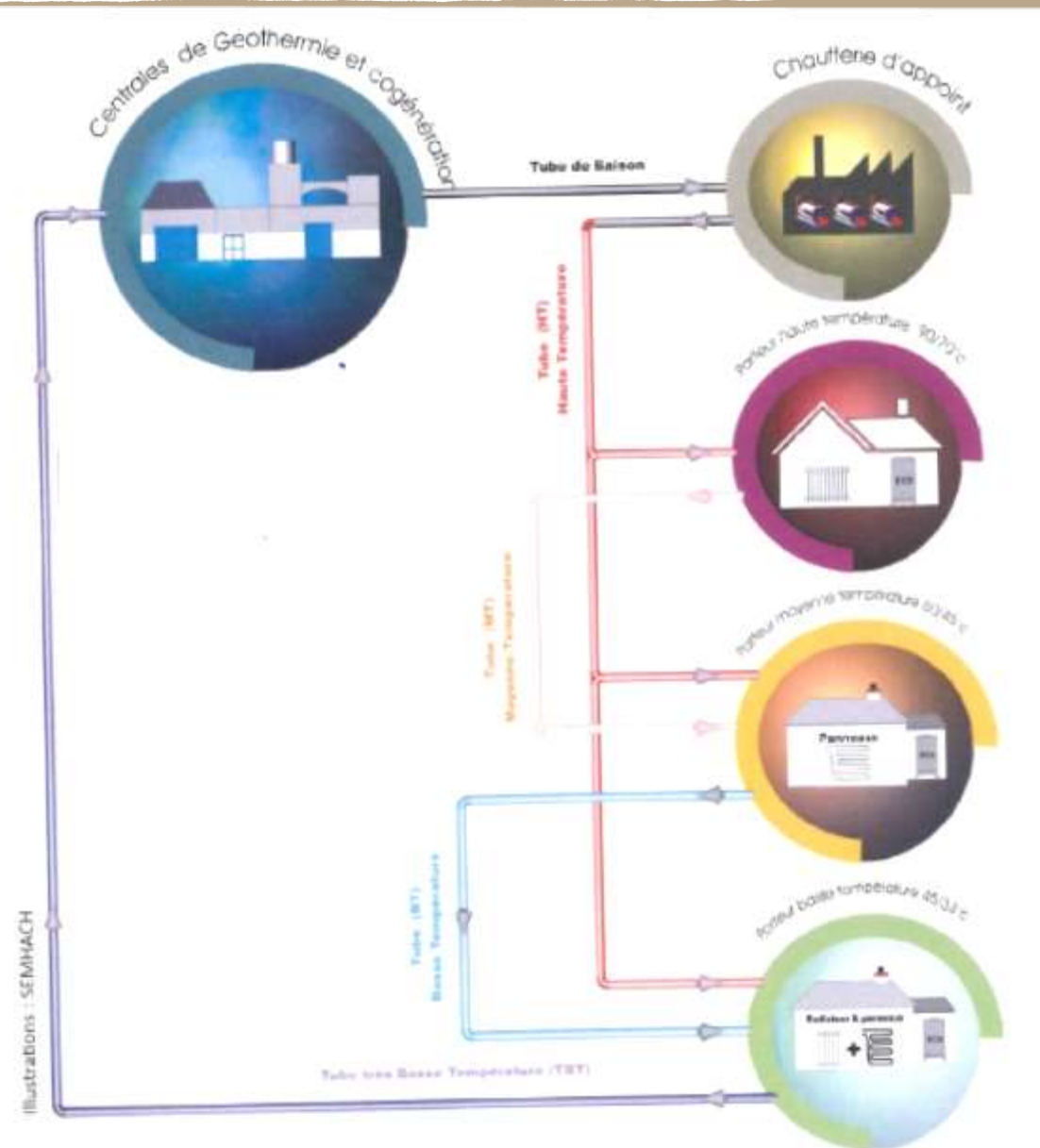
Cascade : échelle quartier (multi-tubes)



CAD multi-tubes Exemple réseau Semach (Paris)



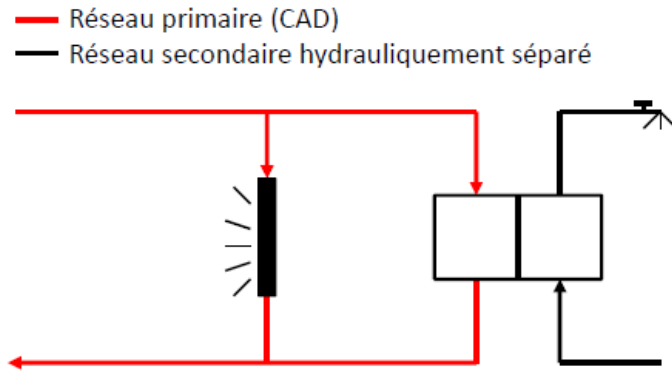
Source: Faessler et Lachal (2017)



Cascade: à l'intérieur du bâtiment

Architectures de sous-stations

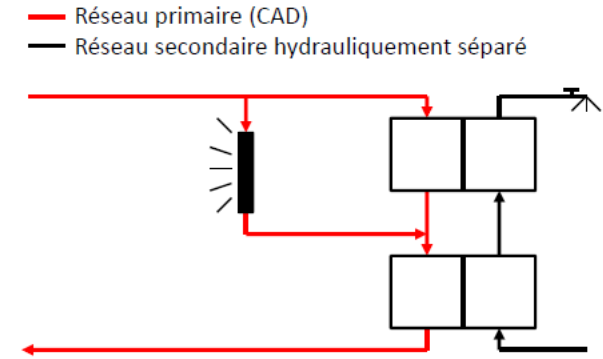
Sans cascade



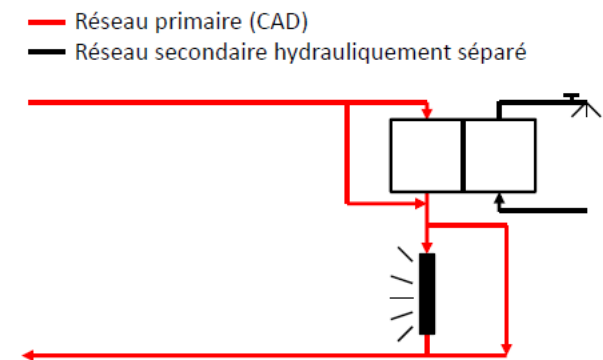
(a) Connexion directe : pas d'échangeur pour le chauffage et un échangeur pour la production d'ECS

Adapté de: Frederiksen S. et Werner S. *District heating and cooling*, 2013

Avec cascade



(a) Connexion directe. Cascade : utilisation du retour de chauffage pour préchauffer l'ECS

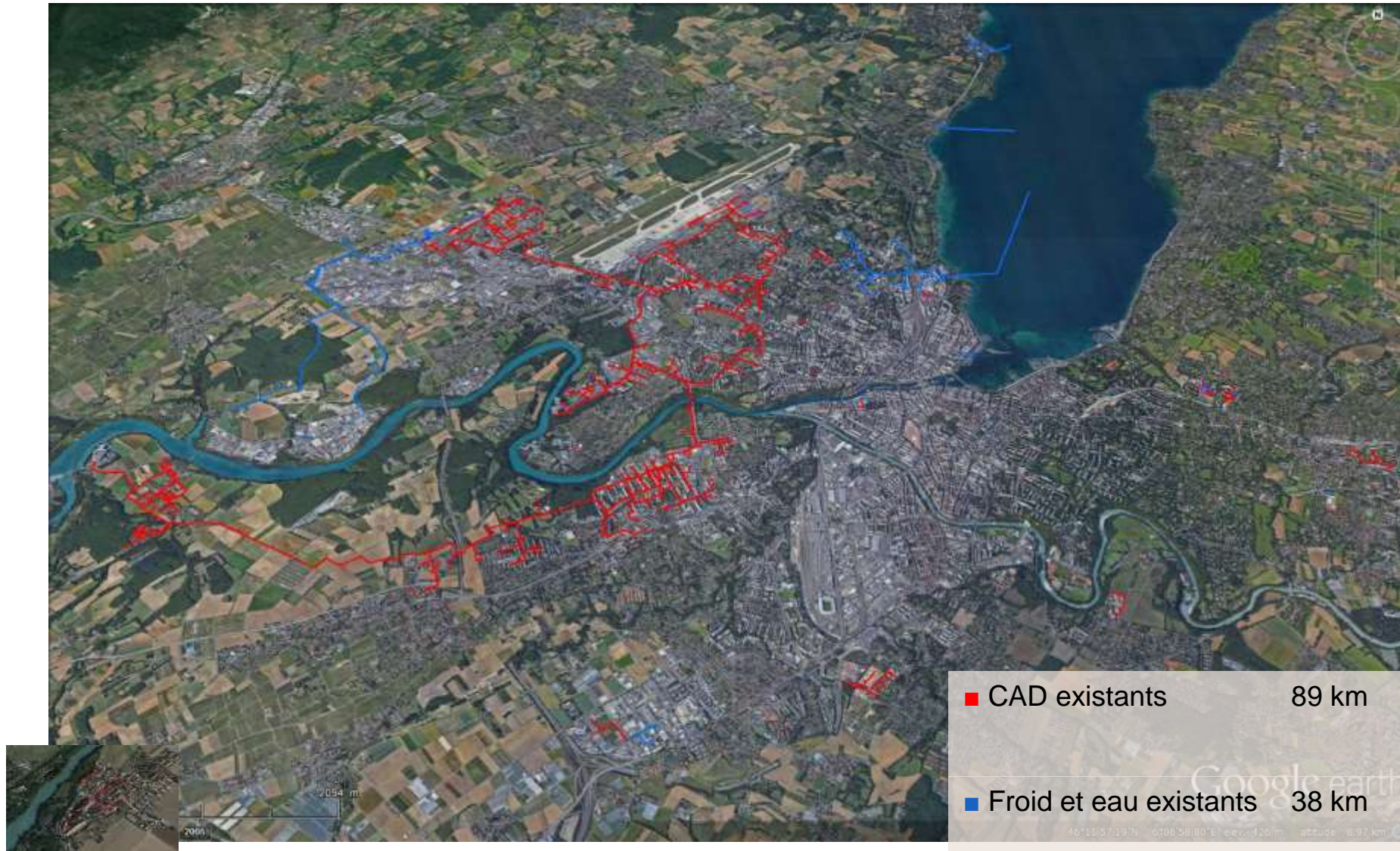


(d) Connexion directe. Cascade : utilisation du retour ECS pour alimenter le circuit de chauffage

Evolutions du CAD à Genève

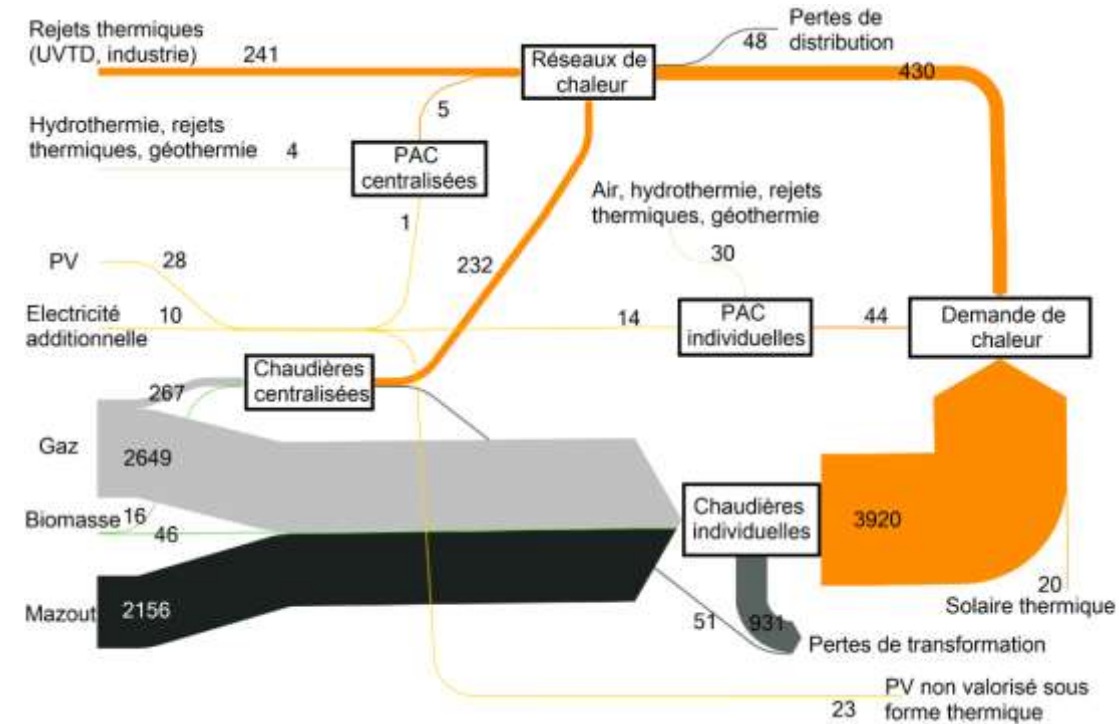
4

Réseaux thermiques SIG existants

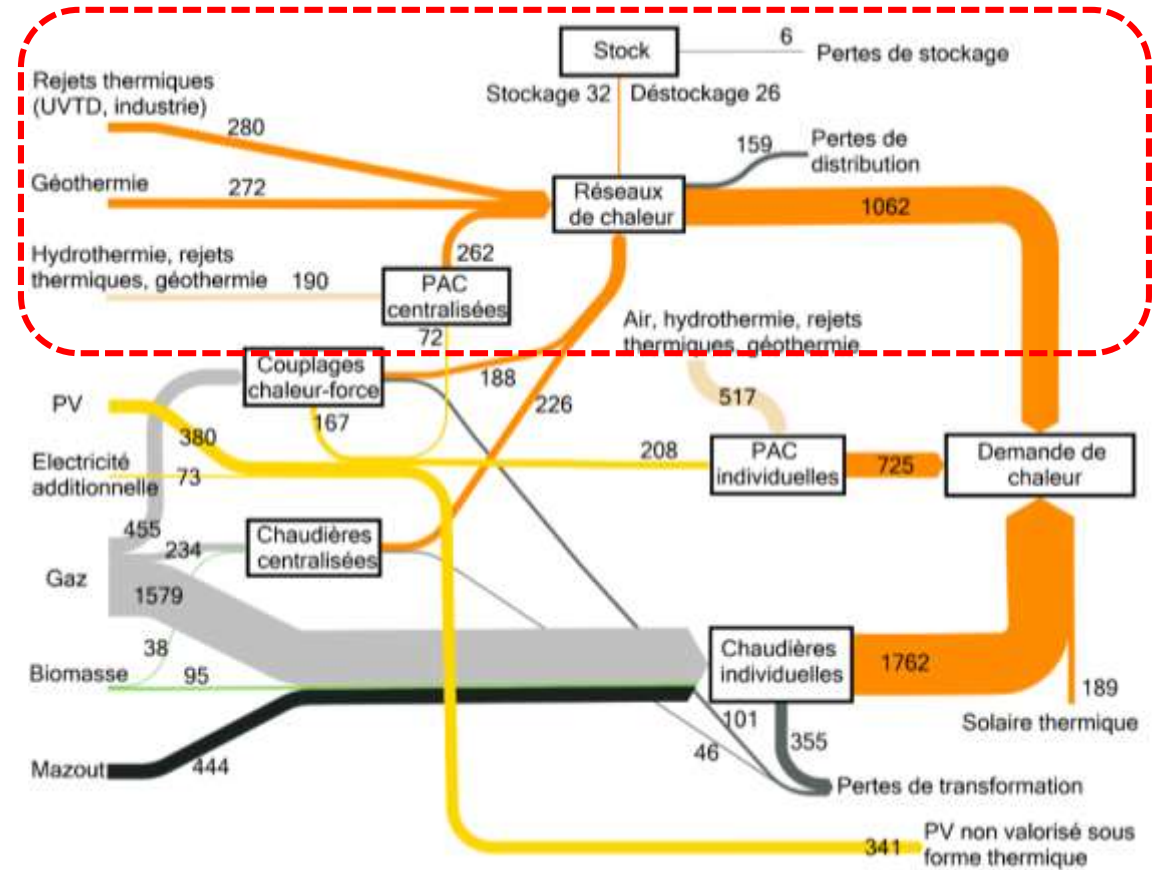


Scénarios prospectifs

Approvisionnement chaleur des bâtiments du canton (GWh/an)



2014



2035

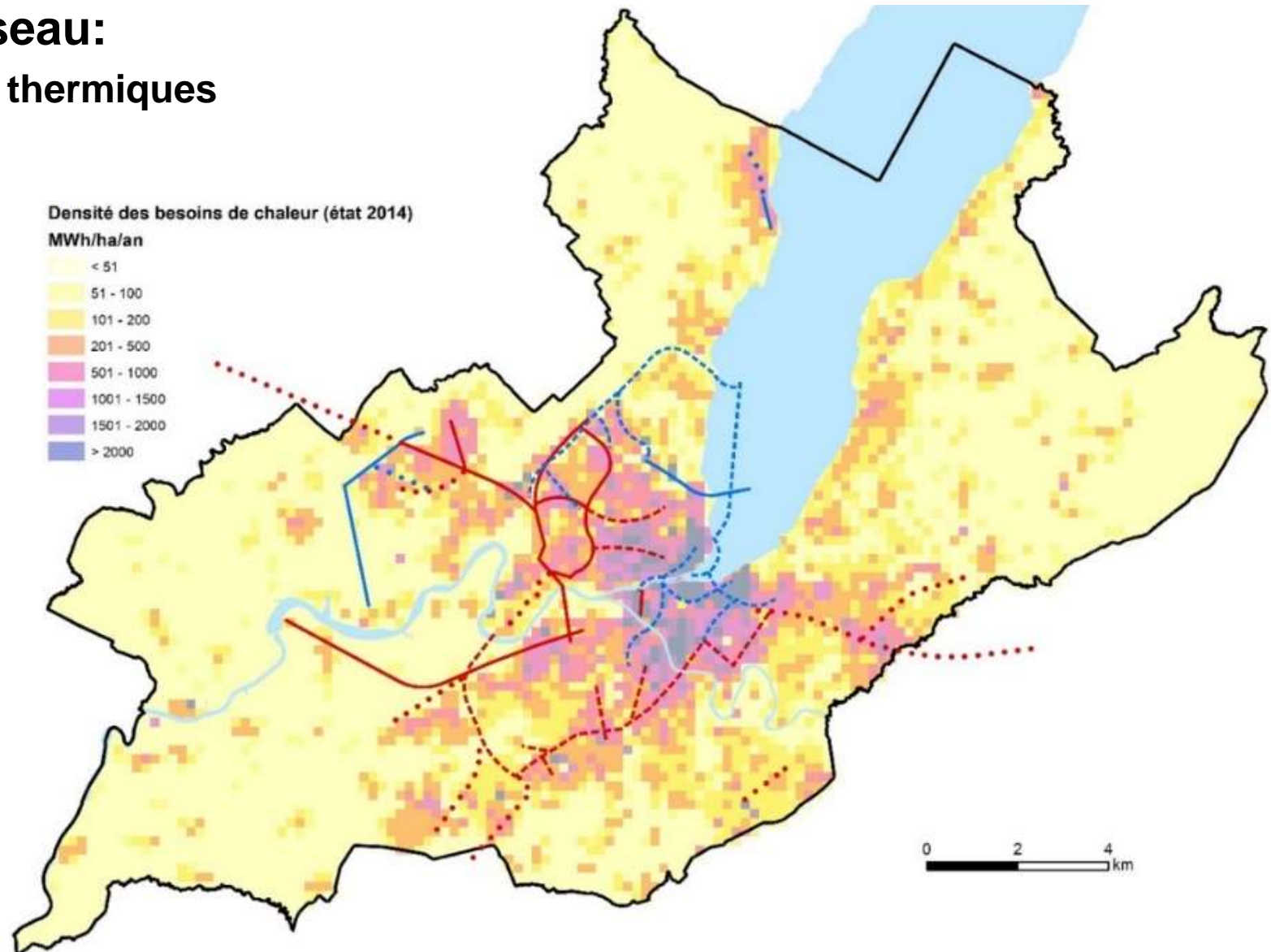
Rôle stratégique des CAD pour décarboner le canton.
Le double challenge à venir:

- Déploiement réseau
- Déploiement des moyens de production renouvelables

Planification territoriale des réseaux

Drivers de la planification réseau:

- Densité et typologie des besoins thermiques
- Nbre de preneurs
- Planning acteurs - opportunités
- Localisation ressources
- Contraintes territoriales
- ...



Planification territoriale des réseaux



Quartier neuf



Quartier existant

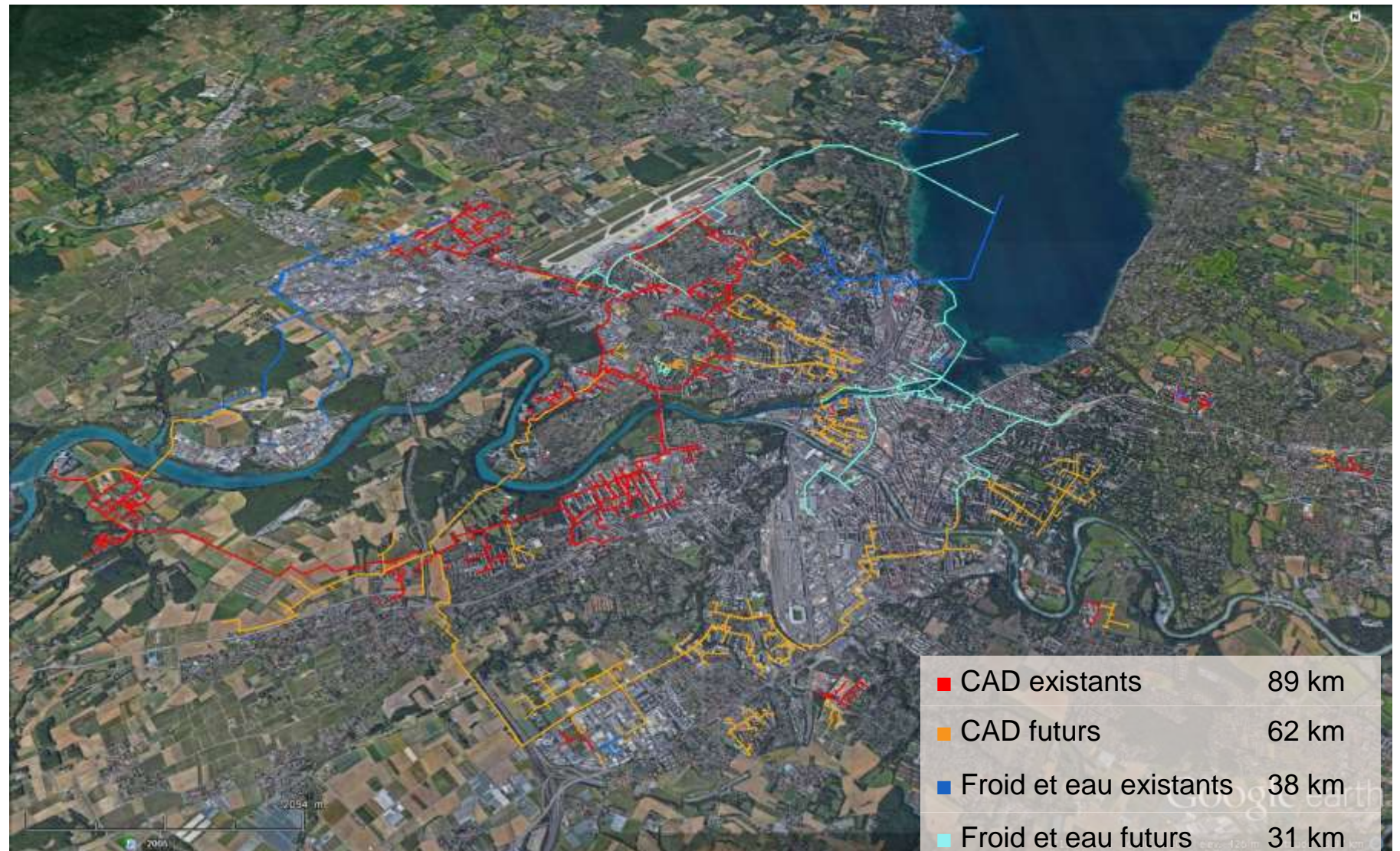


**Pas les mêmes contraintes pour le
déploiement de nouvelles infrastructures**

Réseaux thermiques SIG existants et extensions en études

Objectifs d'ici 2035 :

- Couvrir 40% de la demande de chaleur du canton
- Avec un mix EnR&R de 80%

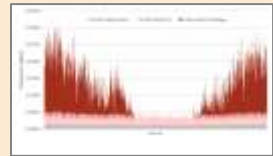
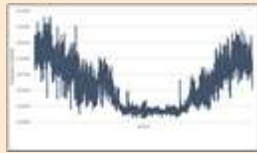


Scénarios prospectifs approvisionnement CAD

INPUT

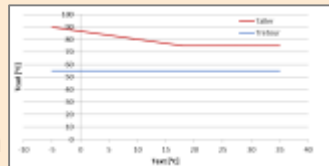
Demande

- Volumes annuels
- Ratio neuf/existant
- Ratio ECS
- Profils dynamiques



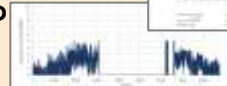
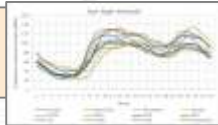
Réseaux

- Températures
- Pertes de distribution



Production

- Capacités installées
- Profils dynamiques
- Temp. de prod max
- Pmin
- Rendement / COP



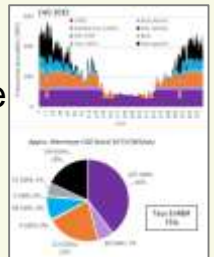
Equilibrage demande-production Pas de temps horaire

Ordre d'appel des moyens de production

OUTPUT

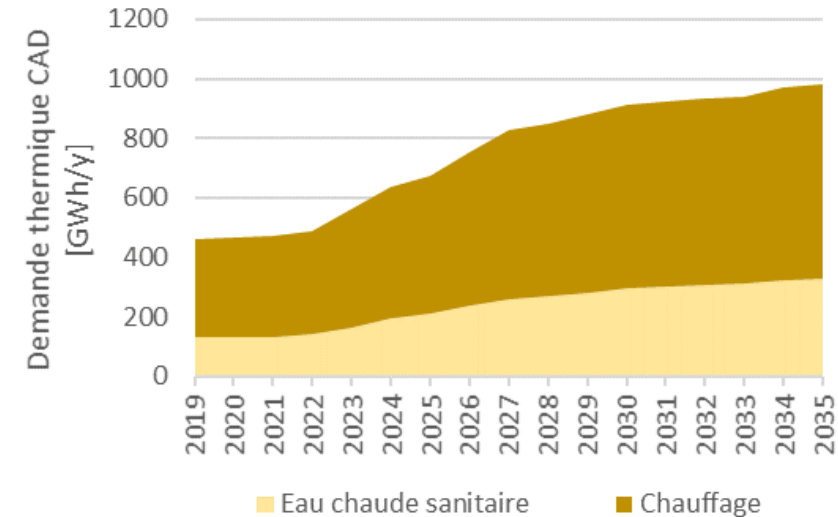
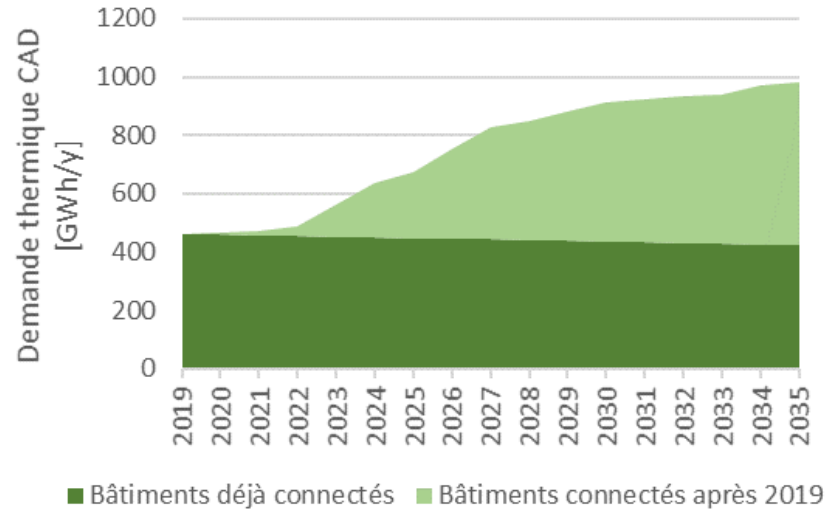
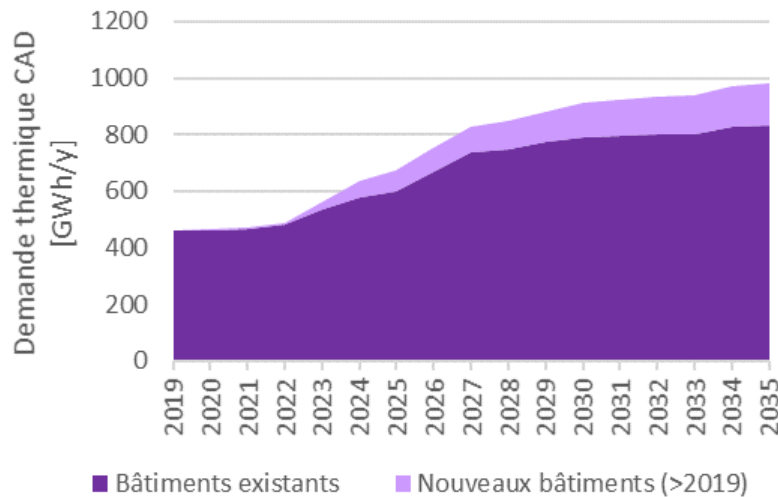
Indicateurs

- Mix énergétique
- DUP
- CO2
- ...

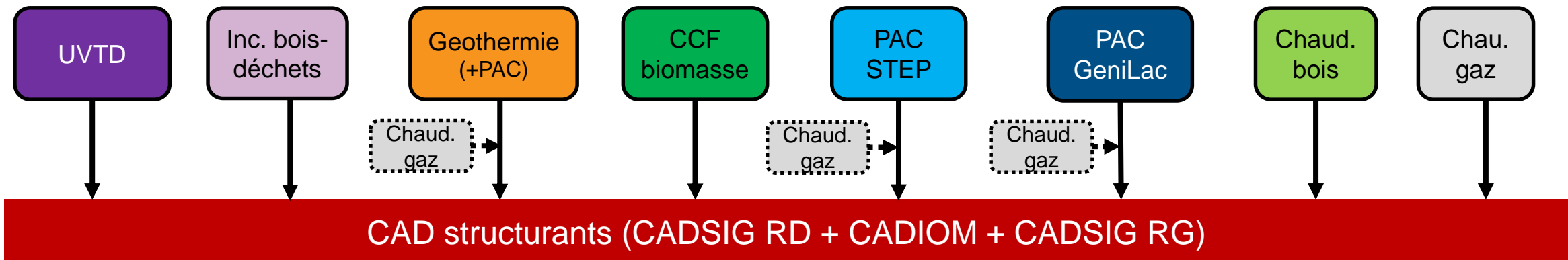


Scénarios prospectifs approvisionnement CAD

Projection déploiement réseau et évolution demande



Projection déploiement moyens de production (multiples scénarios analysés)



Merit-order considéré

Ordre d'appel des moyens de production considéré en première approche:

1. UVTD
2. Incinérateur bois-déchets
3. Géothermie (+PAC)
4. CCF bois
5. PAC STEP
6. PAC Genilac
7. Chaudière Bois
8. Chaudière Gaz

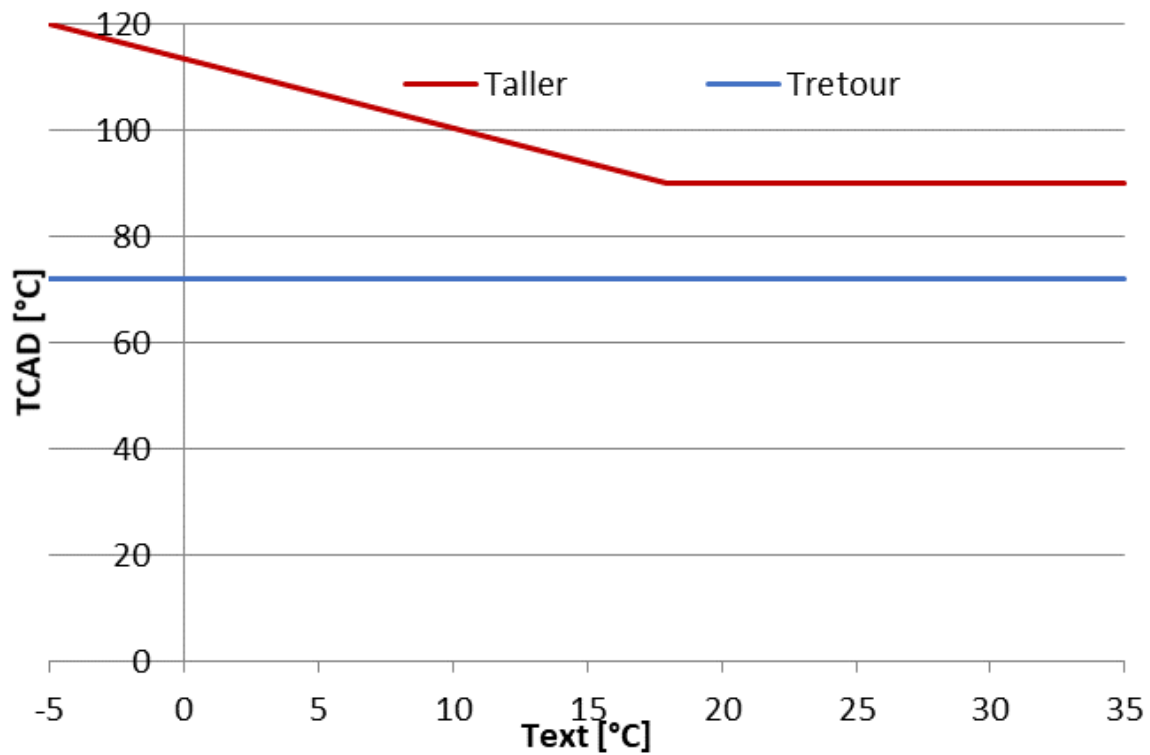
Complexité:

- Enjeux énergétiques vs environnementaux vs enjeux économiques
- Intégration marché électrique



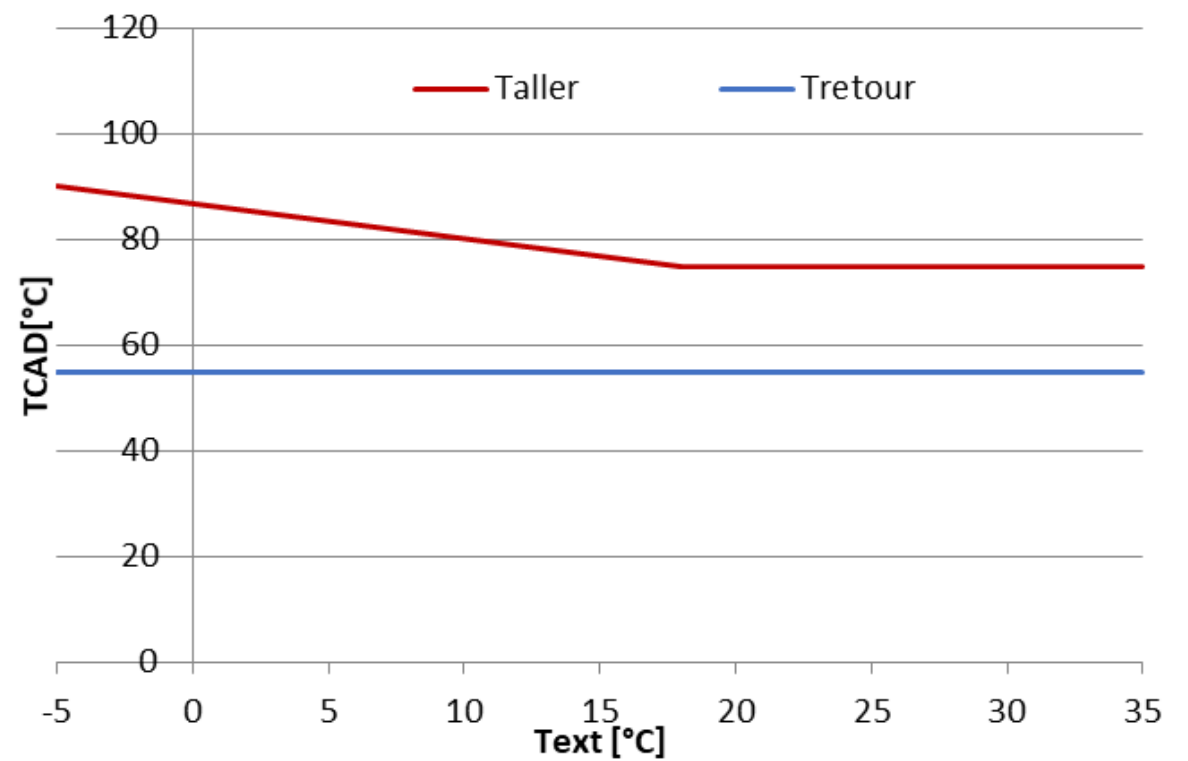
Scénarios prospectifs approvisionnement CAD

Scénario 120-70°C



vs

Scénario 90-55°C

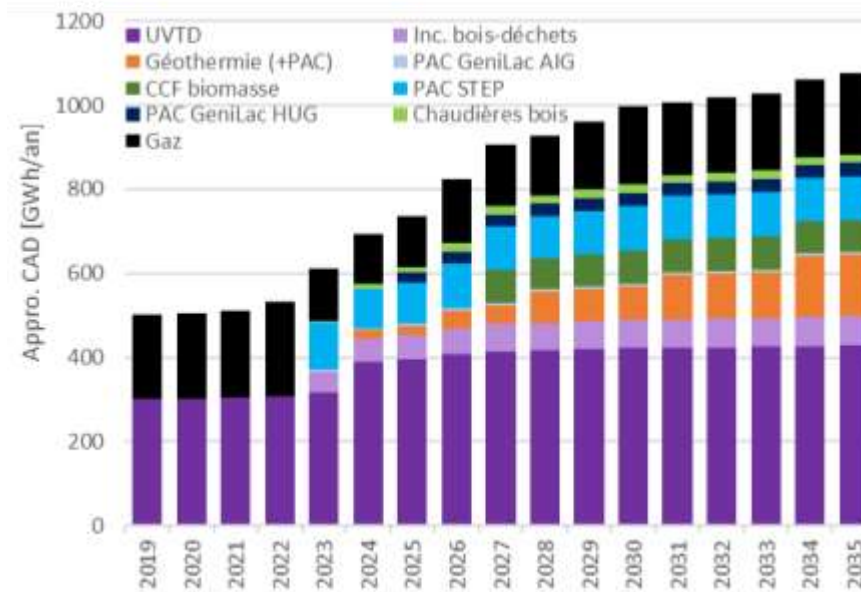
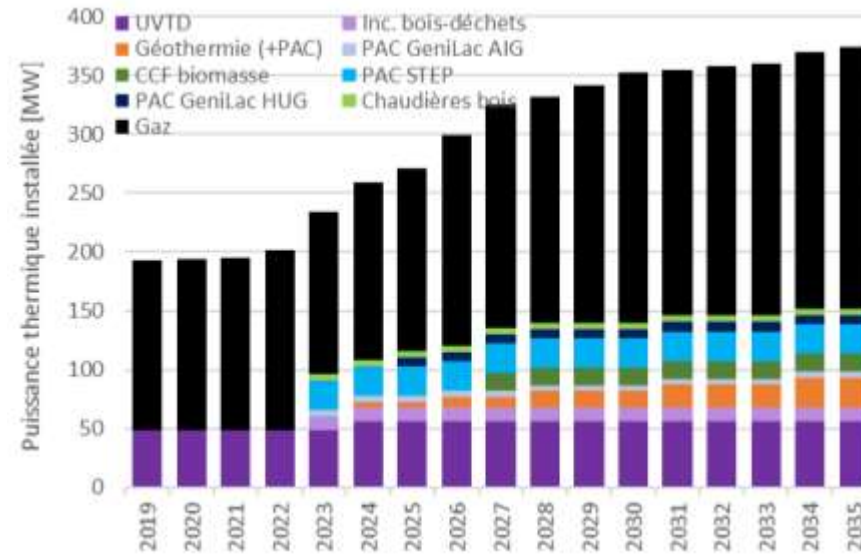


Scénarios prospectifs approvisionnement CAD

1 exemple de scénario simulé (prospective)

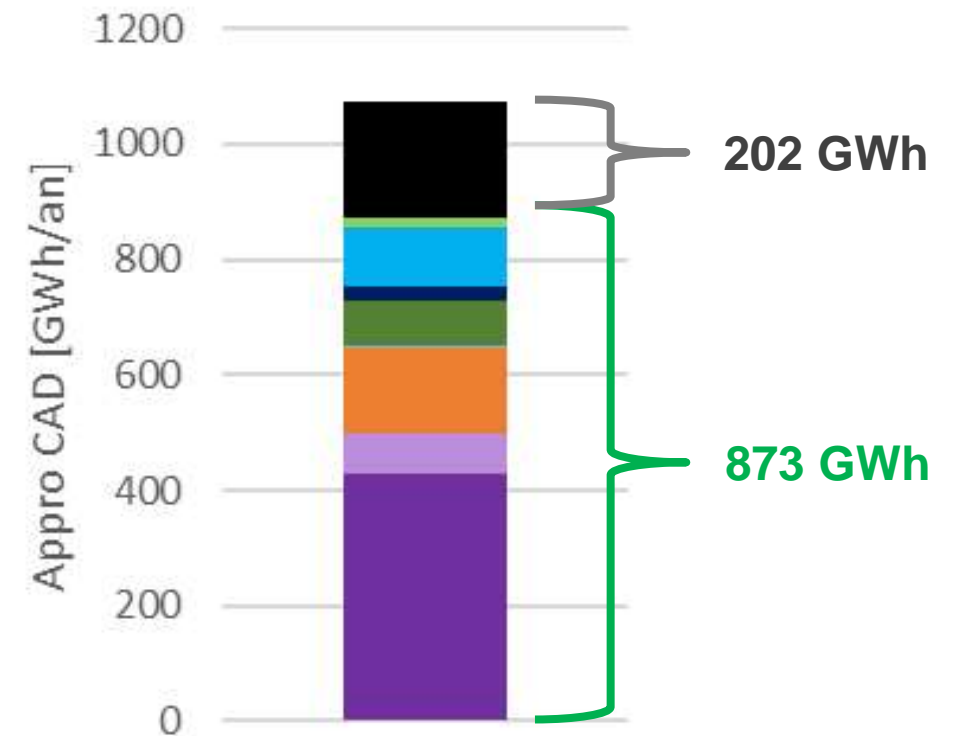
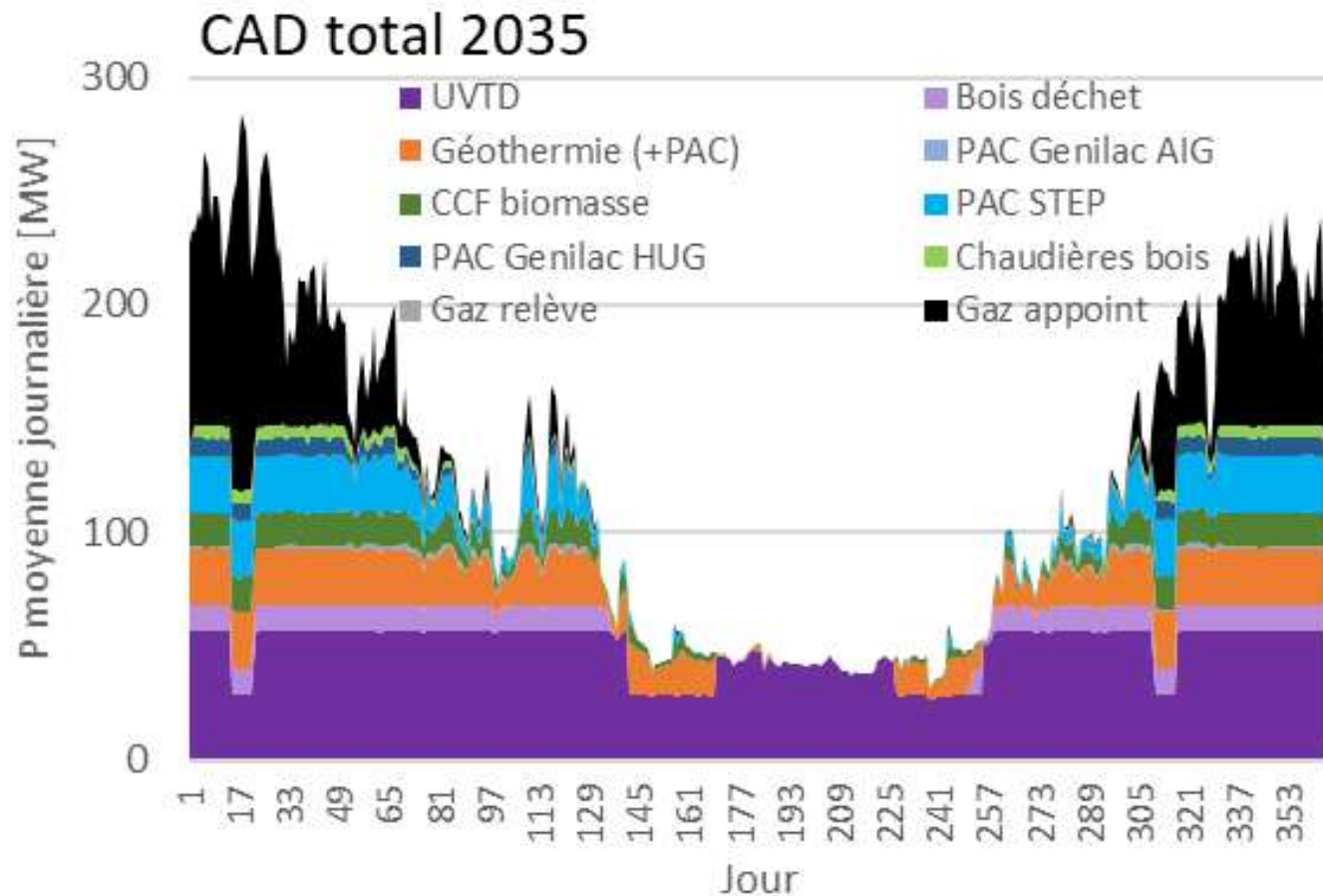
Tous les réseaux à 90°C dès 2023

Potentielles contraintes hydrauliques non prise en compte



Scénarios prospectifs approvisionnement CAD

Scénario Tcad 90-55°C

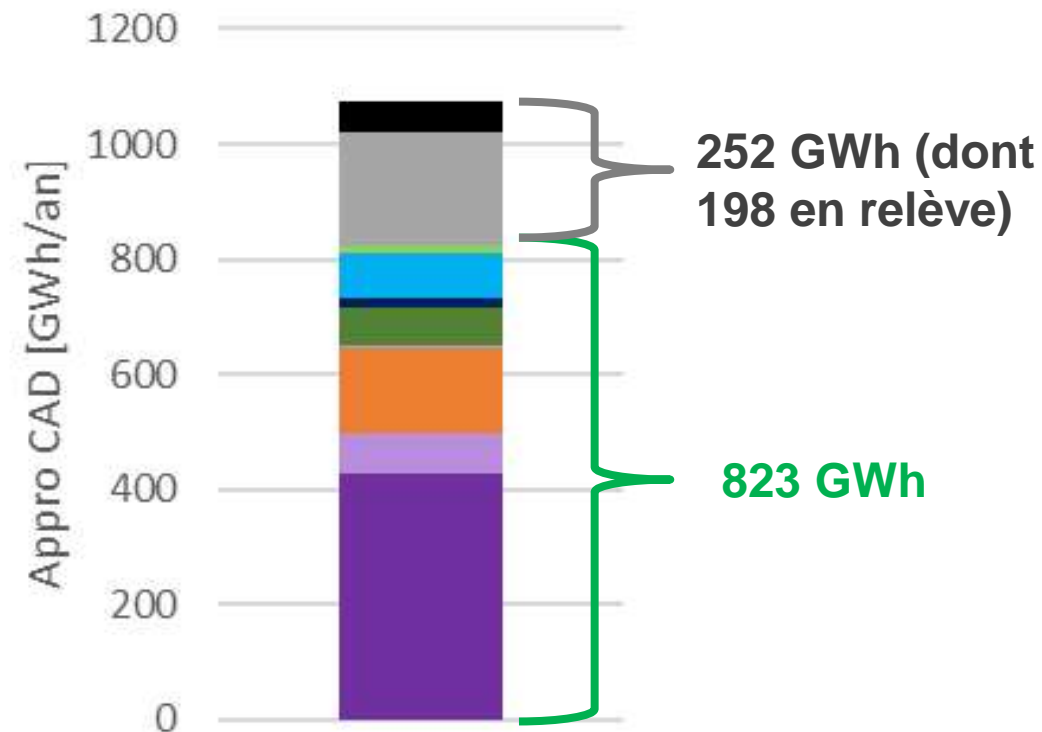
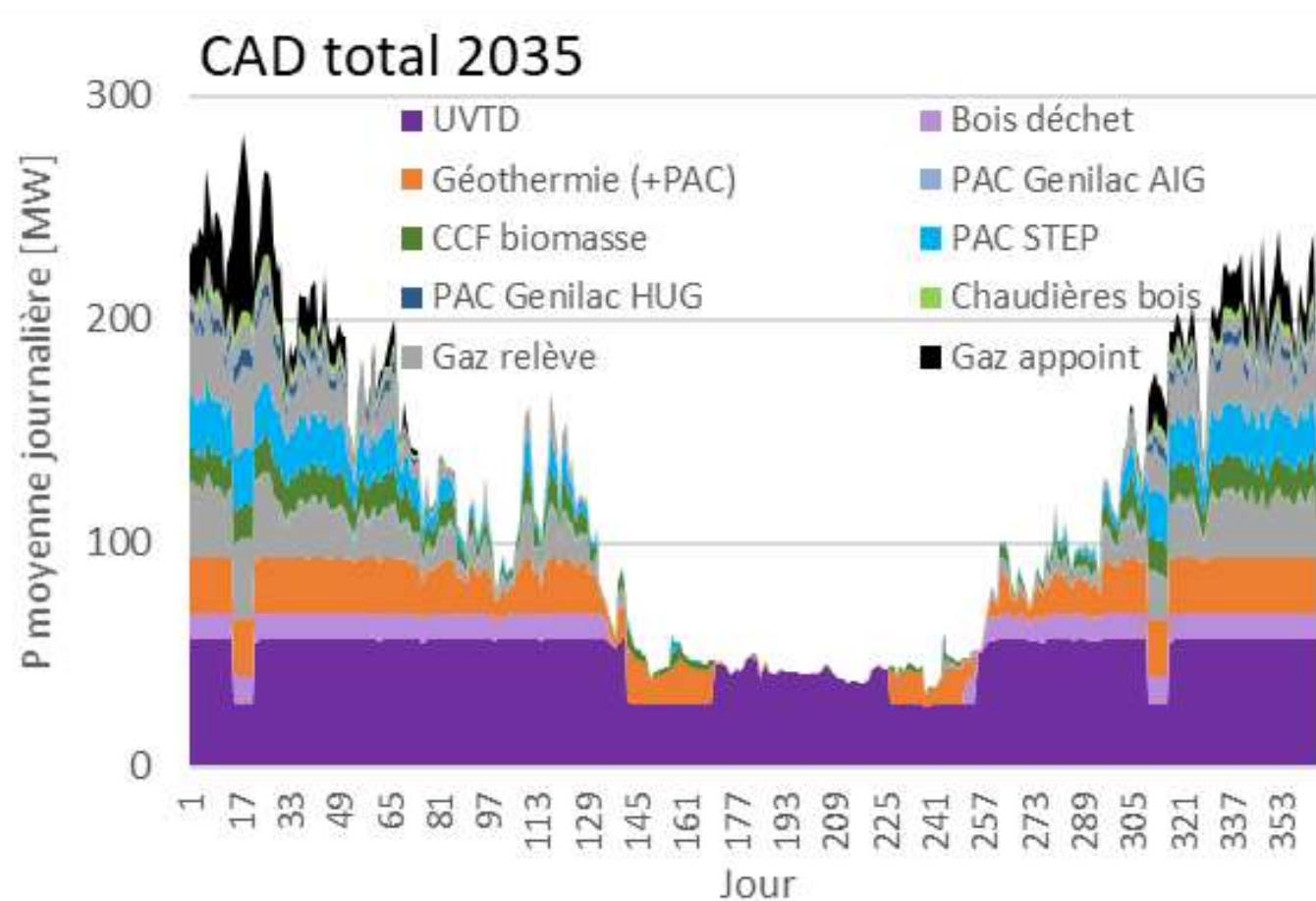


Taux EnR&R 81%*

*Prise en compte rendement chaudière, électricité 100% renouvelable

Scénarios prospectifs approvisionnement CAD

Scénario Tcad 120-70°C



Taux EnR&R 75%*

*Prise en compte rendement chaudière, électricité 100% renouvelable

Avantages des CAD :

- Récupération de rejets thermiques (CAD=«système de recyclage» du système énergétique)
- Intégration des énergies renouvelables dans le chauffage en milieu urbain
- Mutualisation des infrastructures et des investissements

Contraintes principales :

- Investissements importants («capital cost»)
- Nécessité d'une densité énergétique minimale
- Beaucoup d'acteurs à fédérer & complexité des projets

Les principaux challenges à venir :

- Réduire les niveaux de température
- Planifier et coordonner au niveau local/régional le déploiement des infrastructures énergétiques (éviter la concurrence entre solutions renouvelables)
- Renforcer les instruments de soutien



Merci de votre attention

Contact: loic.quiquerez@sig-ge.ch