

# Diminuer les températures d'opération dans les réseaux thermiques – un exemple pratique à Genève

*Workshop RES DHC: Réseaux thermique zéro net :  
Pics de consommations, décarbonation ou réduction ?  
Jeudi 15 Juin 2023*

**Stefan Schneider**

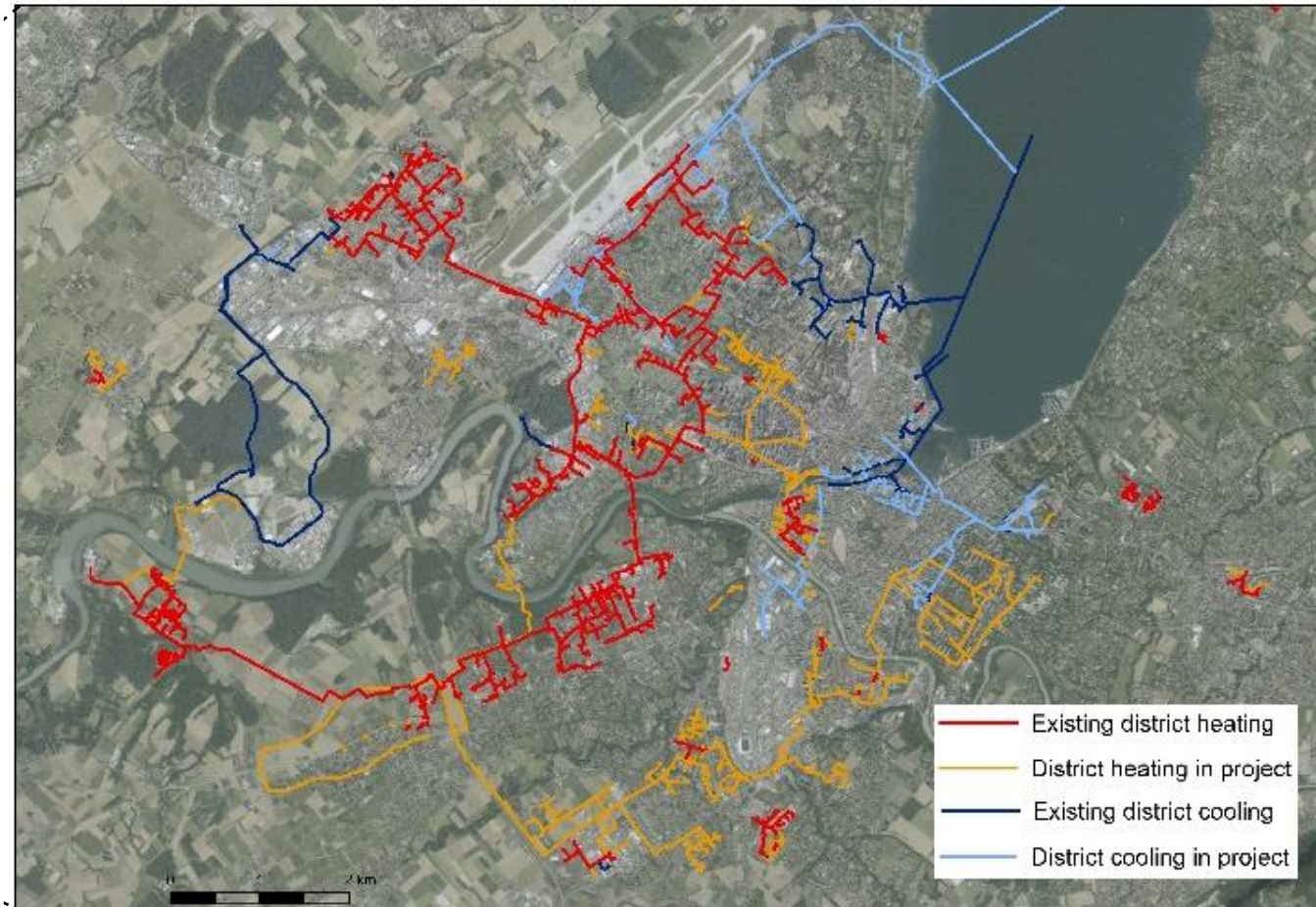
Energy System Group, Institute for Environmental Sciences (ISE)  
Department F.-A. Forel for Environmental and Aquatic Sciences (DEFSE)  
University of Geneva  
[stefan.schneider@unige.ch](mailto:stefan.schneider@unige.ch)

**Ruben Novoa-Herzog**

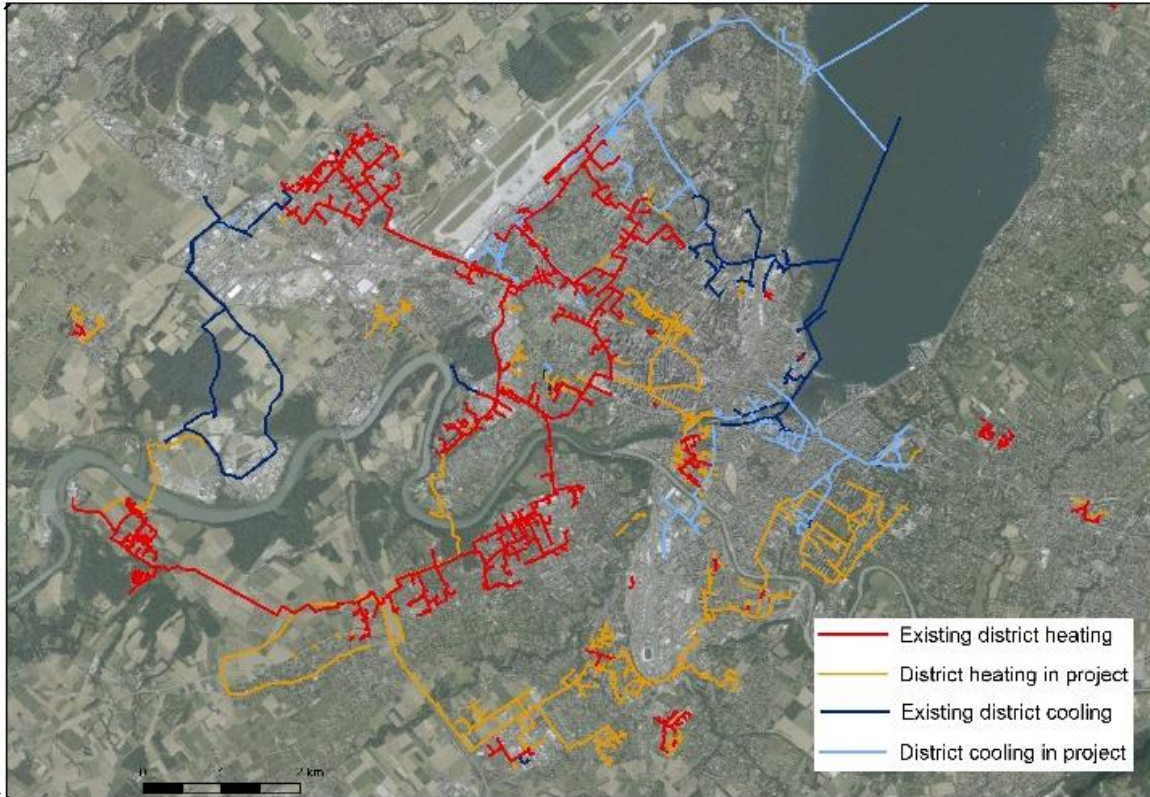
**Simon Callegari**

- Contexte de l'étude
- Diagnostic des sous-stations d'un CAD, classement selon leur influence sur la température de retour du réseau
- Cas d'étude: les sous-stations de CAD-SIG
- Mesures détaillées sur une sélection de sous-stations
- Conclusions

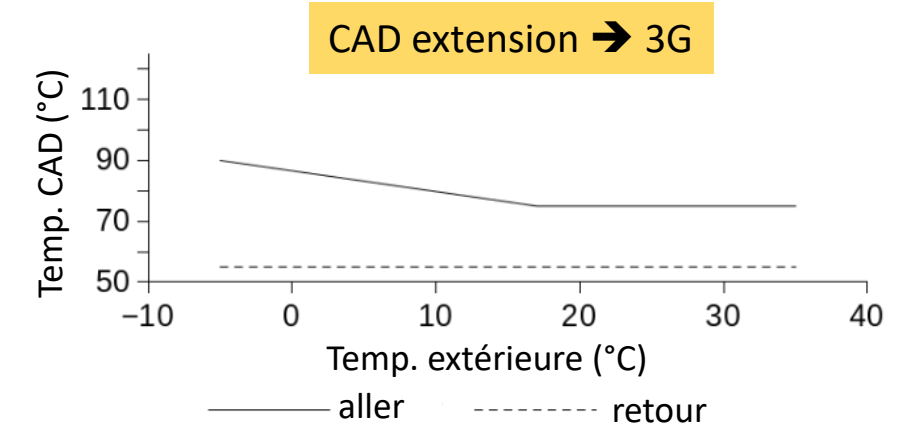
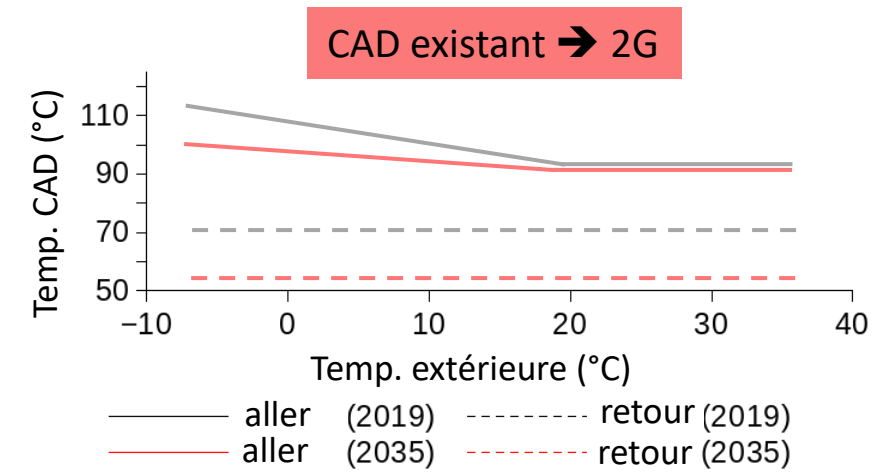
# Contexte de l'étude



# CAD-SIG: enjeux autour de la réduction des températures du réseau (1/2)

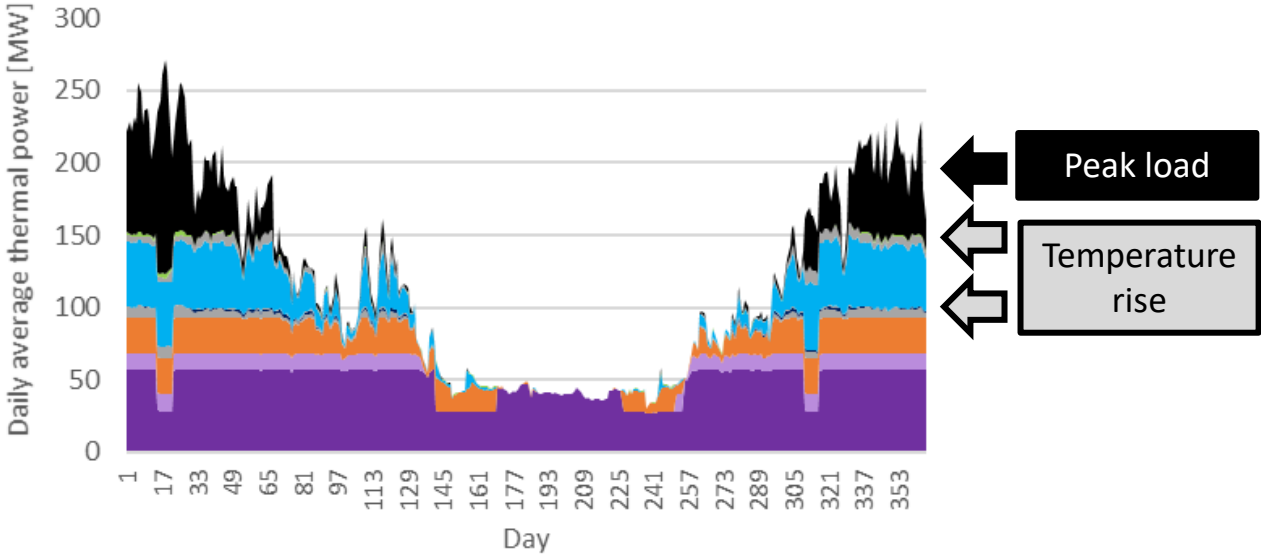
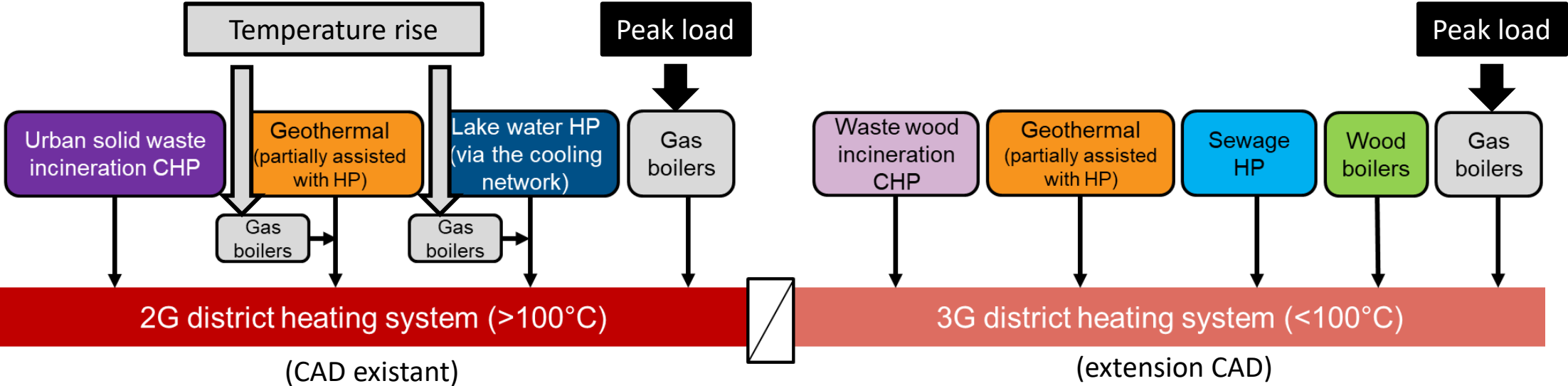


- Production de chaleur: Chaudière gaz (160 MW) & incinération (60 MW)
- Vente de chaleur annuelle : 400 GWh
- Principalement du résidentiel collectif construit avant 1980
- Actuellement: T° aller 115 (hiver) 90°C (été) T° retour: 70°C
- Objectif: T° aller: 90 °C T° retour: 55 °C (2028) 45 °C (2035)



Source: [1] QUIQUEREZ et al. (2020). Scenarios for integration of medium-depth geothermal energy in an evolving district heating system: case study in Geneva (Switzerland). <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:136510>

# CAD-SIG: enjeux autour de la réduction des températures du réseau (2/2)



DH type	Ren *)
2G (exis. + new DH)	71%
2G (exis. DH) + 3G (new DH)	80%
3G (exis. + new DH)	82%

\*) inc. HP electricity

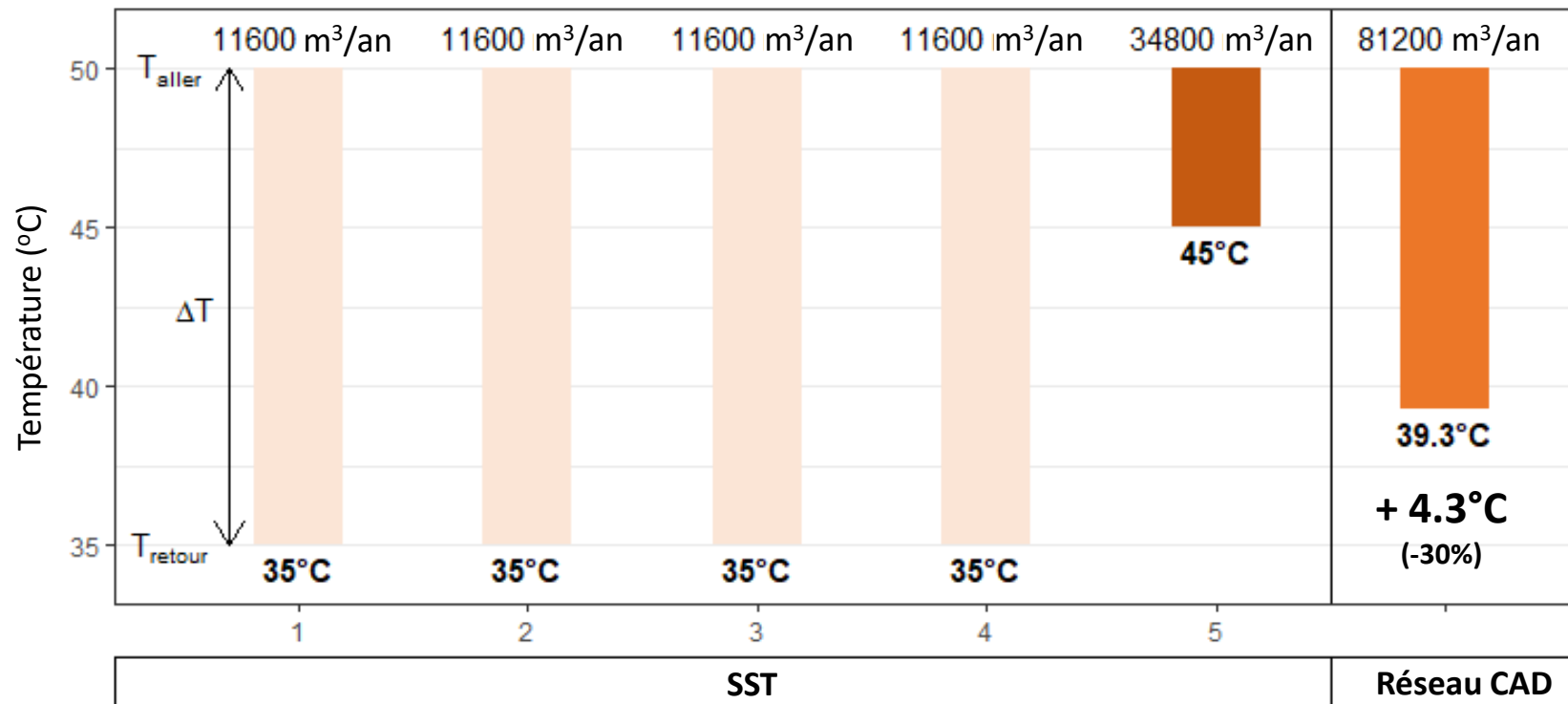
Temperature reduction (from 2G to 3G)  
 → 10% increase of renewables  
 (+ annex issues)

# Diagnostic des sous-stations d'un CAD, classement selon leur influence sur la température de retour du réseau

# Identification des sous-stations problématiques contribuant à des T° de retour élevées

## Exemple :

- Température aller CAD = 50°C
- 5 SST : 4 optimisées ( $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ ) et 1 problématique ( $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ )
- Tous les bâtiments ont la même demande: 200 MWh/année



# Identification des sous-stations problématiques: outil Excel

- **Guide de planification chauffage à distance** (chapitre 10), Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne 2018 ([www.qmchauffageadistance.ch](http://www.qmchauffageadistance.ch))
- But : analyser et optimiser les SST du CAD



## Analyse des consommateurs de chaleur

Droits d'auteur : Verenum, Langmauerstrasse 109, CH-8006 Zürich  
Version : 3.3 (Mai 2020)

Décharge de responsabilité : Toute responsabilité concernant l'application et l'exactitude est exclue.

Sprache/Langue/Langl Français

Cellule d'entrée pour la valeur ou la formule  
Valeur de calcul

\* Le nombre d'heures de fonctionnement à pleine charge est extrapolé vers le haut si la période d'évaluation est courte, plus l'erreur de calcul est importante.

\*\* t se réfère à la période d'observation définie.

### Hypothèses et situation initiale

Différence de température de référence	K	30
Capacité thermique spécifique	kJ/(kg K)	4.185
Densité de l'eau	kg/m <sup>3</sup>	980
Période d'évaluation		
Début	Date	31.01.2016
Fin	Date	30.05.2016
Nombre de jours	d	120
Nombre d'heures	h	2880
Demande totale de chaleur / Vente totale de chaleur	kWh/t**	1 848 043
Volume total d'eau	m <sup>3</sup> /t**	63 853
Différence de température moyenne	K	25.4

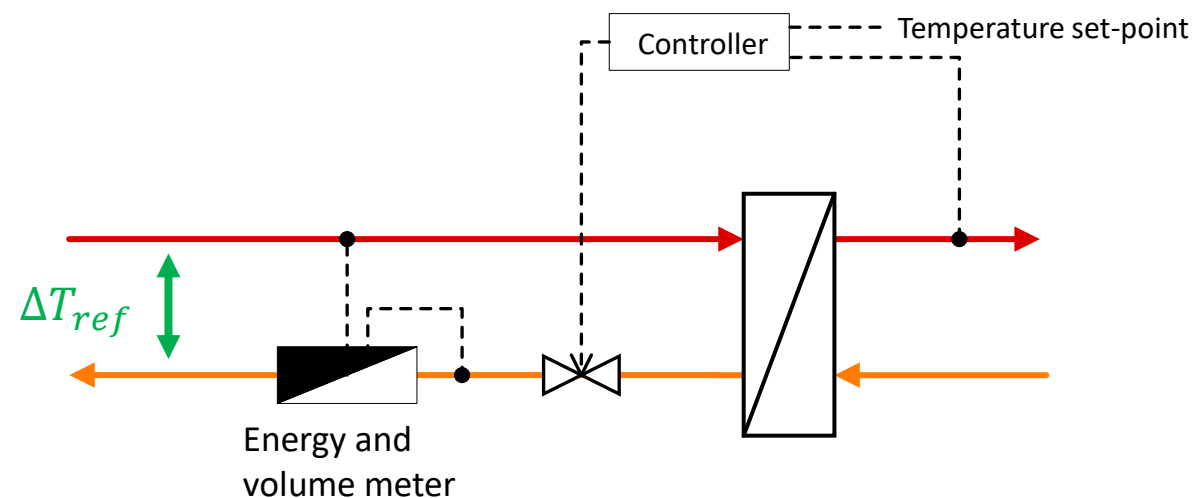
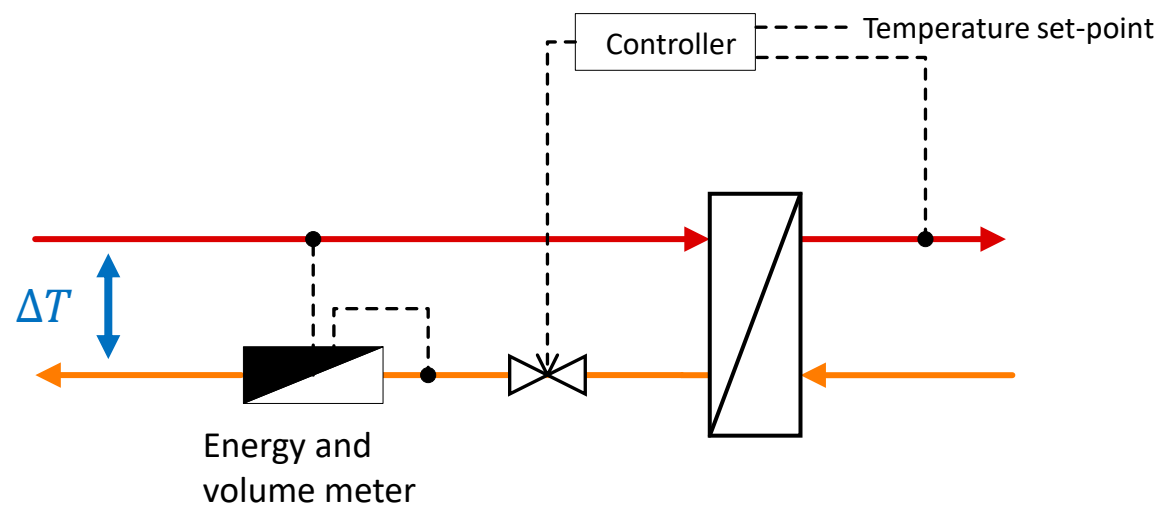
Demande totale de chaleur / Vente totale de chaleur de tous les clients. L'entrée de formule est possible.  
Volume d'eau total de tous les clients de chaleur. Possibilité d'introduire des formules.

Numéro de client	Description du client	Capacité thermique contractuelle (puissance connectée)	Quantité de chaleur	Volume d'eau	Heures de fonctionnement à pleine charge*	Consommation d'eau supplémentaire	Différence de température moyenne	Classement	Influence sur la température de retour primaire	Classement	Consommation d'eau supplémentaire pondérée
		kW	kWh/t**	m <sup>3</sup> /t**	h/a	m <sup>3</sup> /t**	K	-	°C	-	m <sup>3</sup> /(t** K)
20	Wärmeabnehmer/Consommateur/Heat custom	375	299 890	12 563	2 432	3 788.51	21.0	1	1.6	3	180.81
19	Wärmeabnehmer/Consommateur/Heat custom	275	157 535	7 863	1 742	3 253.68	17.6	2	1.4	2	185.01
30	Wärmeabnehmer/Consommateur/Heat custom	18	15 412	2 547	2 604	2 096.06	5.3	3	0.9	1	394.63
43	Wärmeabnehmer/Consommateur/Heat custom	65	60 787	2 398	2 845	618.93	22.3	4	0.2	4	27.81
29	Wärmeabnehmer/Consommateur/Heat custom	75	81 245	2 774	3 295	397.15	25.7	5	0.2	5	15.45
33	Wärmeabnehmer/Consommateur/Heat custom	31	27 976	1 144	2 745	325.35	21.5	6	0.1	6	15.16
38	Wärmeabnehmer/Consommateur/Heat custom	141	127 429	4 015	2 749	286.85	27.9	7	0.1	8	10.30
27	Wärmeabnehmer/Consommateur/Heat custom	30	33 210	1 256	3 367	284.41	23.2	8	0.1	7	12.26
39	Wärmeabnehmer/Consommateur/Heat custom	61	63 688	2 074	3 176	210.55	27.0	9	0.1	10	7.81
15	Wärmeabnehmer/Consommateur/Heat custom	30	23 597	892	2 392	201.58	23.2	10	0.1	9	8.68
9	Wärmeabnehmer/Consommateur/Heat custom	51	41 122	1 394	2 453	190.71	25.9	11	0.1	11	7.36



# Identification des sous-stations problématiques: outil Excel

- Données requises pour effectuer l'analyse:
  - ✓ Pour chaque SST: **demande de chaleur** ( $Q$  en kWh) et **le volume total consommé** ( $V$  en m<sup>3</sup>)
  - ✓ Une valeur cible pour la différence de température entre l'aller et le retour ( $\Delta T_{ref}$  en °C)



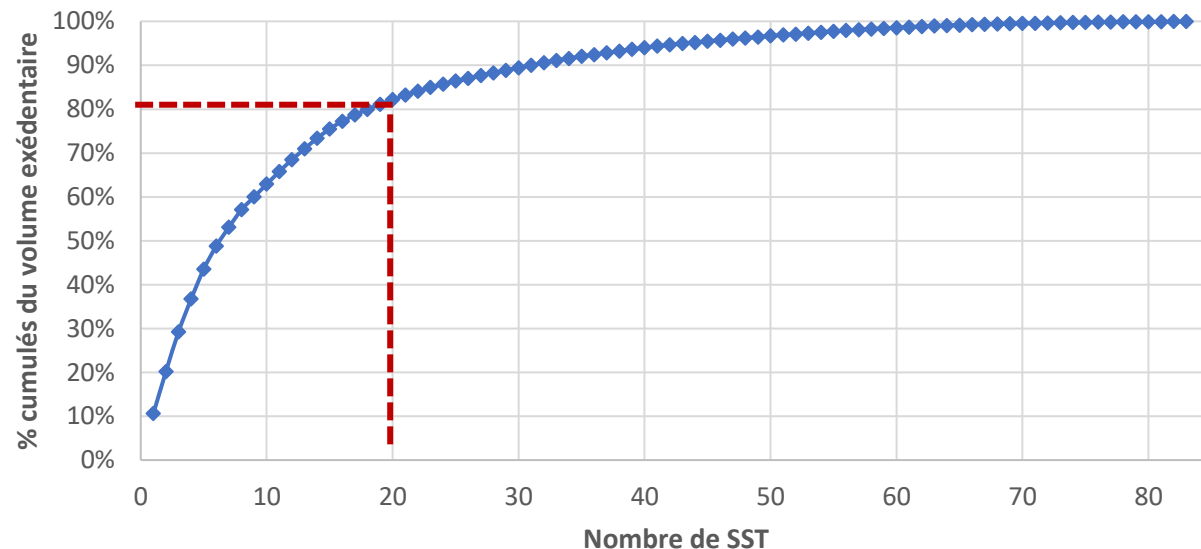
- Méthode : comparer les volumes **réel** ( $V$ ) et **optimisé** ( $V_{ref}$ ) ainsi que les différences de températures moyennes

$$Q = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T = V_{ref} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T_{ref} \rightarrow V_{sup} = V - V_{ref} \rightarrow \text{classement par } V_{sup}$$

# Cas d'étude: les sous-stations de CAD-SIG

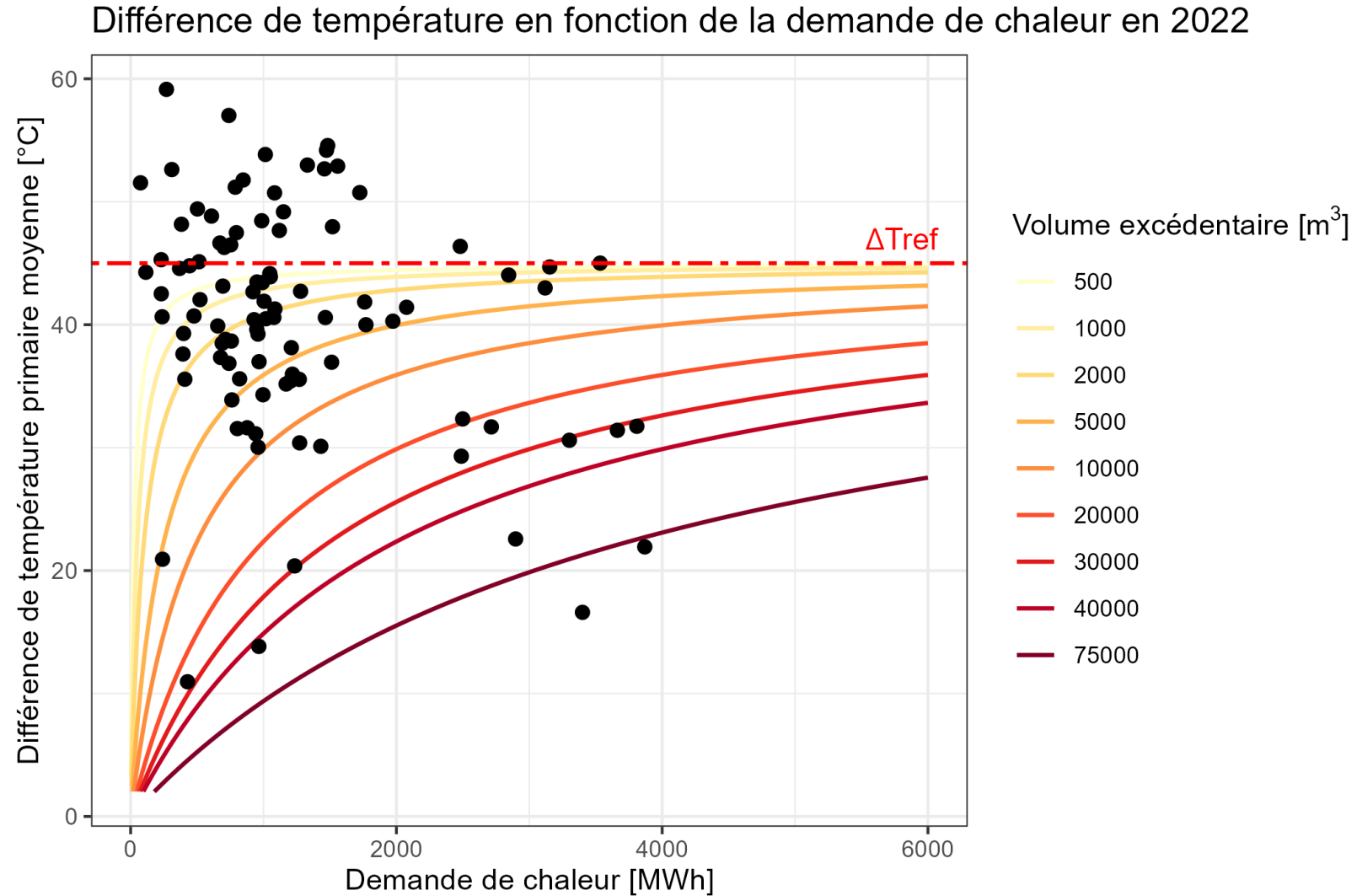
# Classement des SST de CAD-SIG: $\Delta T_{ref} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$

Nbre	Conso annuelle mesurée kWh	Delta T $^\circ\text{C}$	Volume m3	Volume excédentaire m3	Impact sur T retour CADSIG $^\circ\text{C}$	Taux de complétude %	Cumul impact T retour CADSIG %
1	3 399 680	16,60	182 058	114 893	0,58	99,44	0,58
2	3 717 434	18,69	176 862	103 420	0,52	86,45	1,10
3	1 836 422	12,19	133 883	97 602	0,49	83,90	1,58
4	3 868 586	21,93	156 839	80 411	0,40	99,97	1,99
5	3 583 224	22,08	144 245	73 455	0,37	80,03	2,35
6	2 896 611	22,57	114 098	56 873	0,28	99,97	2,64
7	3 758 191	27,73	120 466	46 219	0,23	82,81	2,87
8	964 746	13,83	62 007	42 948	0,21	99,97	3,08
9	3 808 610	31,74	106 694	31 451	0,16	91,78	3,24
10	3 662 631	31,41	103 663	31 303	0,16	99,91	3,39
11	3 301 767	30,60	95 924	30 694	0,15	91,15	3,54
12	1 234 269	20,38	53 842	29 458	0,15	97,00	3,69
13	2 488 079	29,30	75 490	26 335	0,13	99,97	3,82
14	428 111	10,96	34 738	26 280	0,13	99,97	3,95
15	2 713 921	31,69	76 140	22 523	0,11	99,97	4,06
109	1 045 365	53,37	17 415	-3 237	-0,02	88,14	5,23
110	1 013 592	53,84	16 736	-3 288	-0,02	95,33	5,22
111	1 724 277	50,74	30 210	-3 855	-0,02	99,97	5,20
112	1 117 398	54,71	18 157	-3 918	-0,02	55,71	5,18
113	1 329 910	52,98	22 315	-3 959	-0,02	97,64	5,16
114	1 458 231	52,67	24 612	-4 197	-0,02	99,97	5,14
115	1 557 680	52,90	26 179	-4 594	-0,02	99,97	5,12
116	1 473 686	54,19	24 177	-4 938	-0,02	94,34	5,09
117	1 482 700	54,57	24 156	-5 137	-0,03	99,97	5,07
118	1 350 847	62,23	19 299	-7 389	-0,04	70,39	5,03

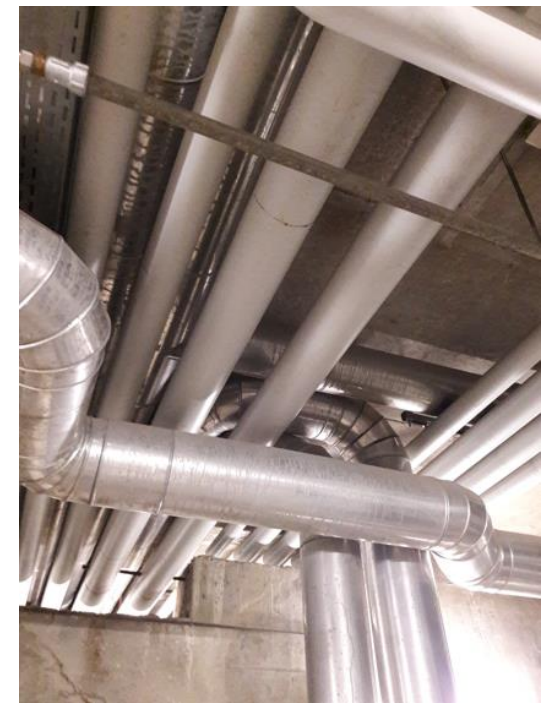


→ En optimisant les 20 SST qui ont le plus d'impact, on évite 80% du volume excédentaire

# Classement des SST de CAD-SIG: $\Delta T_{ref} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$

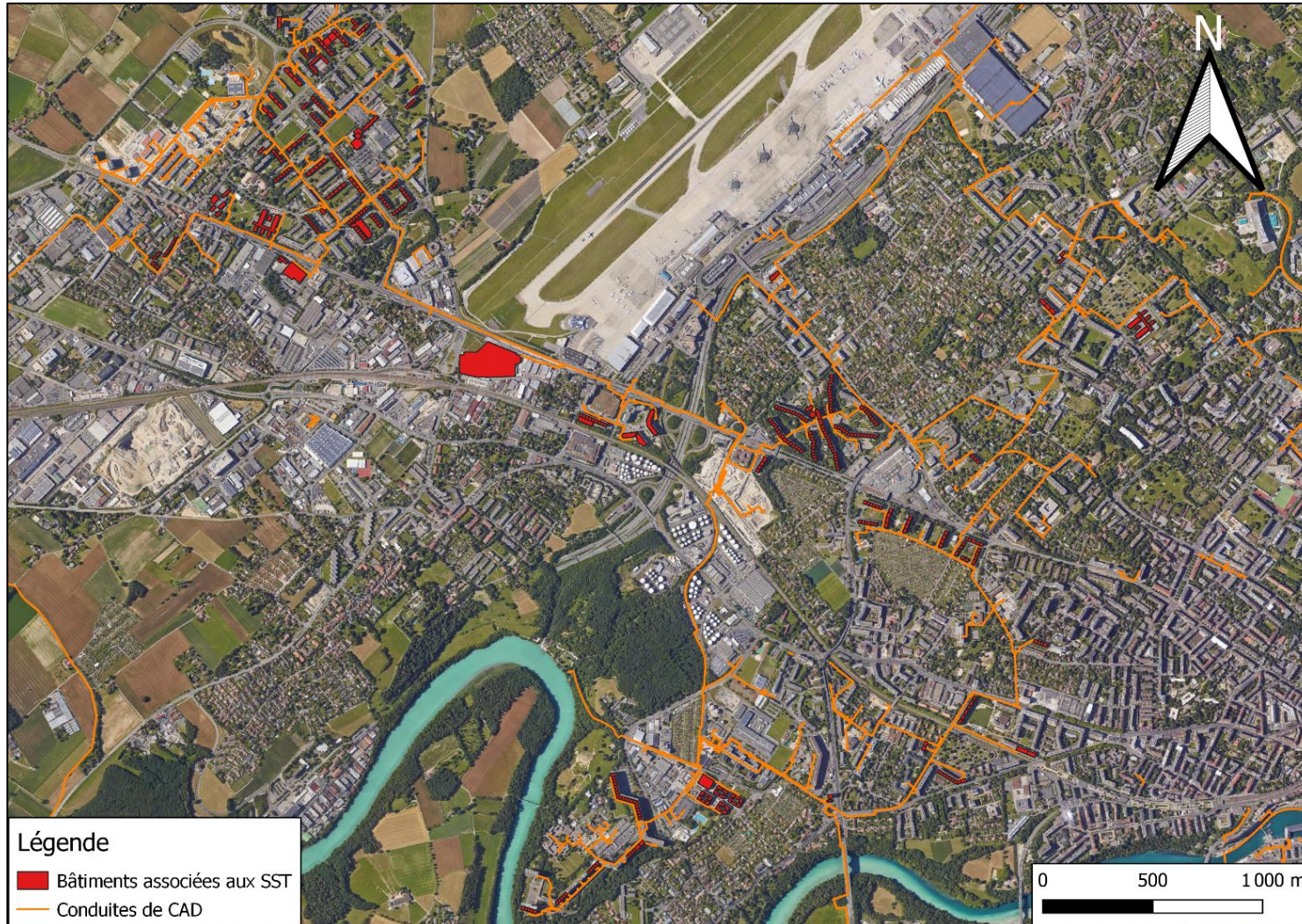


# Mesures détaillées sur une sélection de sous-stations

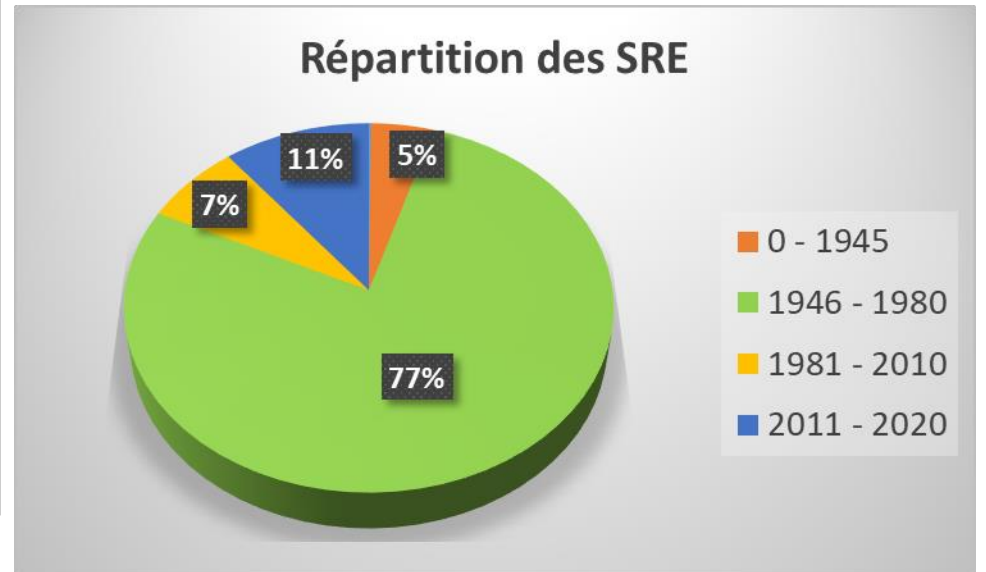


# Focus sur les SST avec des données complètes – Etat des lieux (1/2)

419 EGID pour 73 SST



Catégorie SIA	SRE m <sup>2</sup>	%
Habitat collectif	827 078	84,4%
Administration	77 991	8,0%
Ecoles	33 901	3,5%
Dépôts	21 712	2,2%
Industrie	8 202	0,8%
Lieux de rassemblement	6 404	0,7%
Commerce	3 802	0,4%
Hôpitaux	992	0,1%
Restauration	379	0,0%
<b>Total</b>	<b>980 461</b>	<b>100%</b>



# Typologies de connexions au CAD («sous-station»): plusieurs échangeurs

Sous-station avec plusieurs échangeurs sur CAD

- un seul point de comptage/facturation/contrat...

Points de mesures UNIGE

● : T° froid prim.

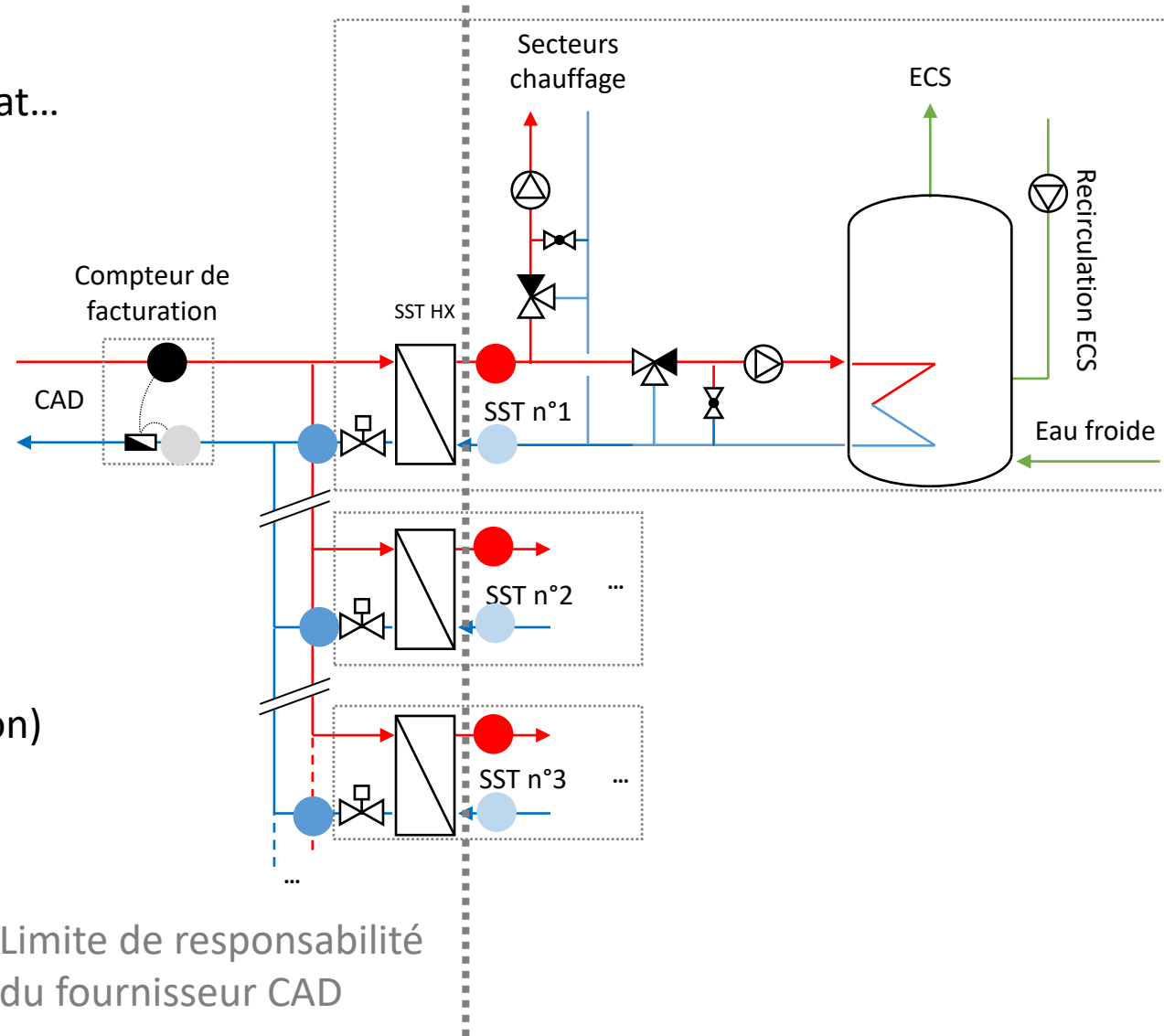
● : T° chaud sec.

● : T° froid sec.

Points de mesures SIG (compteur de facturation)

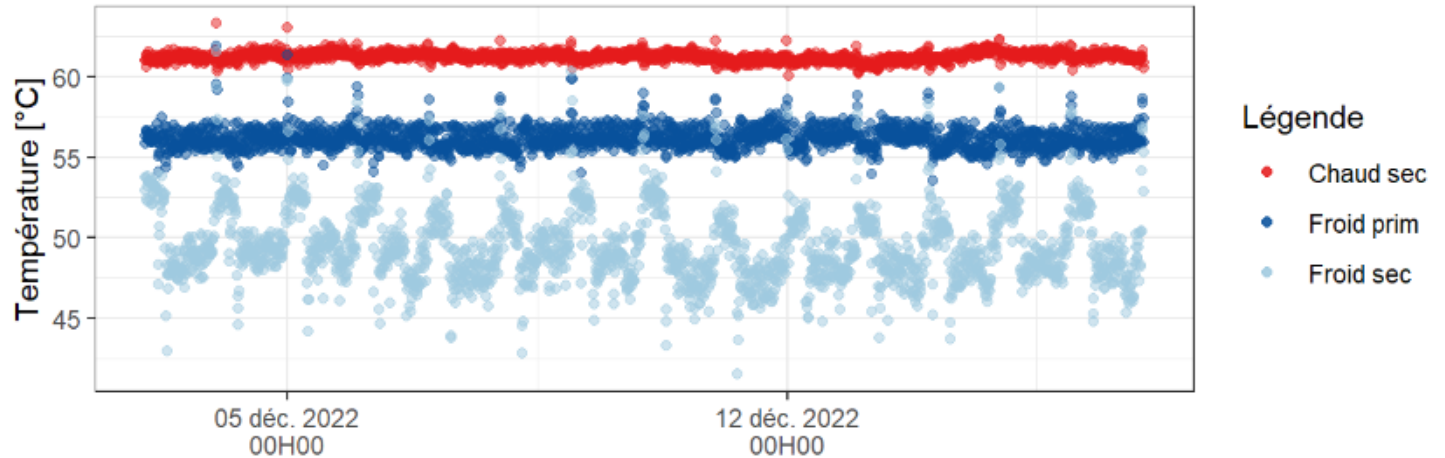
● : T° CAD aller

● : T° CAD retour



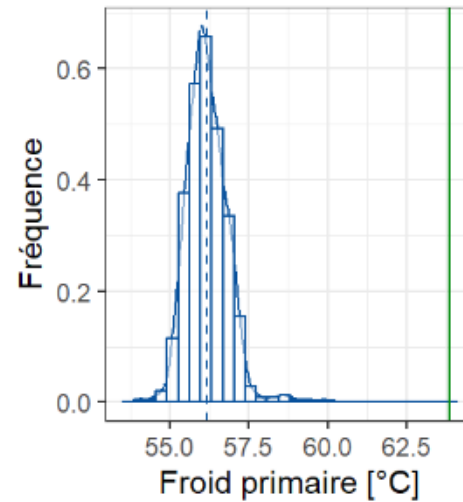
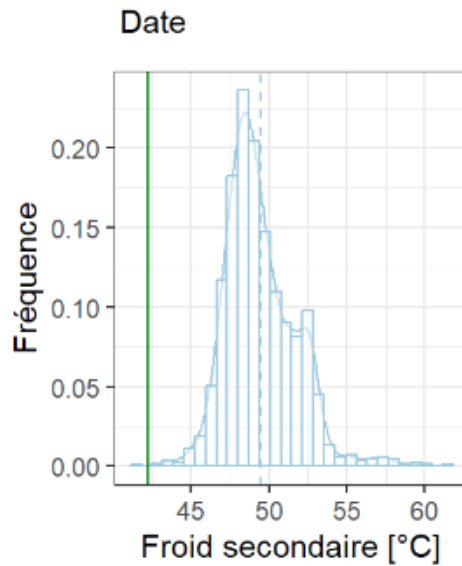
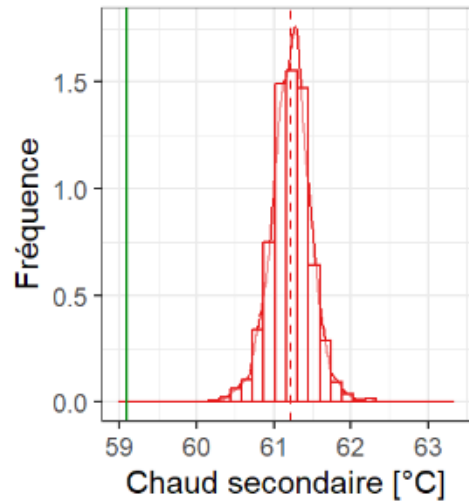
Limite de responsabilité  
du fournisseur CAD

# Exemple d'un échangeur SST avec une bonne performance



## Légende

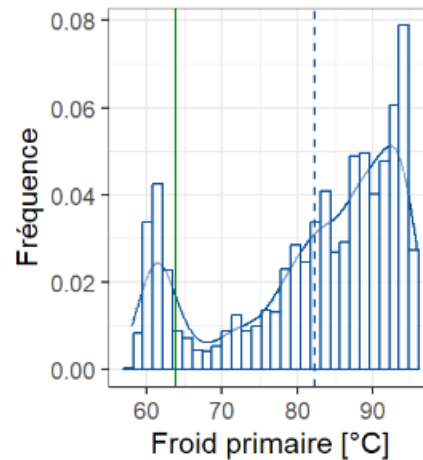
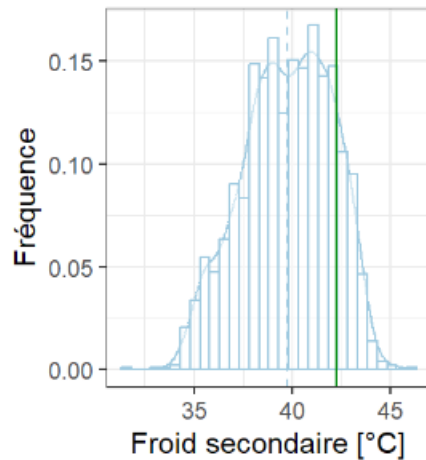
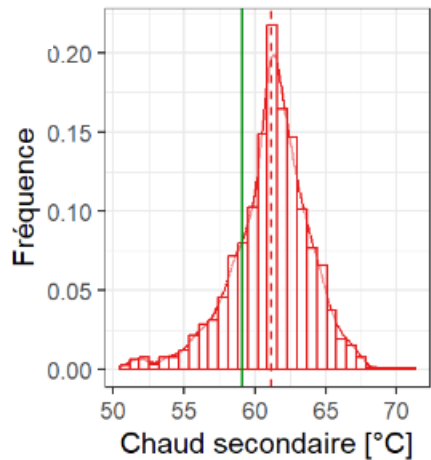
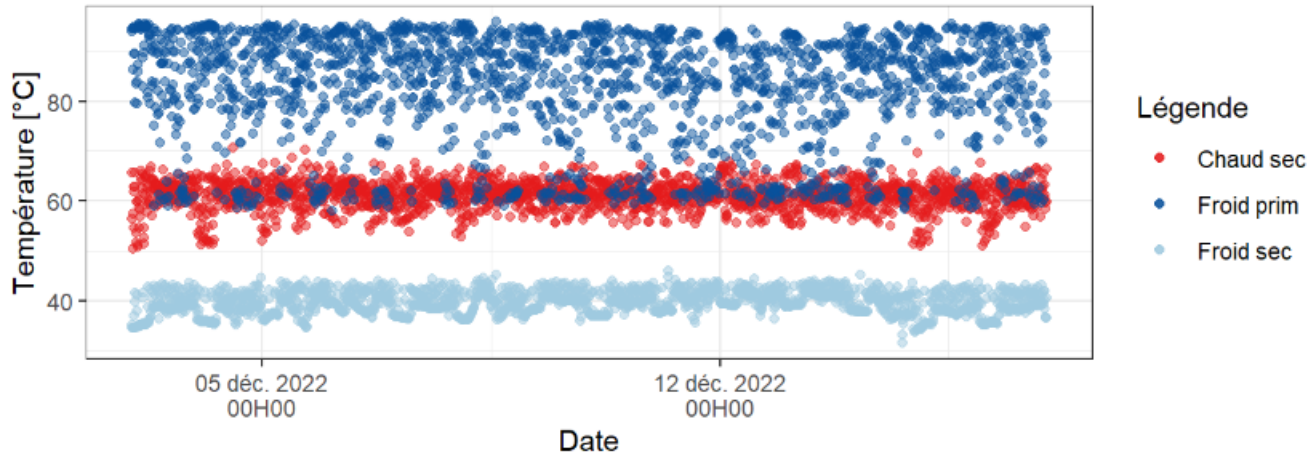
- Chaud sec
- Froid prim
- Froid sec



- Températures de retour du côté secondaire ( $T^\circ$  Froid sec.) bonnes, entre 45 et 53 °C
- Températures de retour du côté primaire ( $T^\circ$  Froid prim.) bonnes, entre 55 et 58 °C
- Le « pincement » de l'échangeur est faible  $\sim 8^\circ\text{C}$ . Bon dimensionnement.

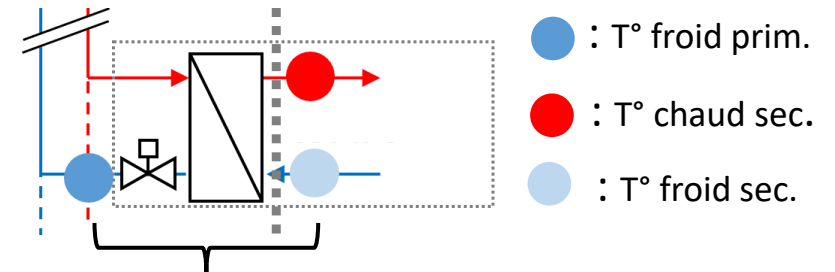


# Exemple d'un échangeur SST avec une mauvaise performance



- Température de consigne ( $T^\circ$  Chaud sec.) normale, entre 55 et 67 °C
- Températures de retour du côté secondaire ( $T^\circ$  Froid sec.) très bonnes, entre 34 et 44 °C
- Températures de retour du côté primaire ( $T^\circ$  Froid prim.) très élevées, entre 60 et 95 °C
- Le « pincement » de l'échangeur est important  $\sim 30 - 40^\circ\text{C}$ . Mauvais dimensionnement ou encrassement

# Performance des SST, vue d'ensemble sur toutes les mesures

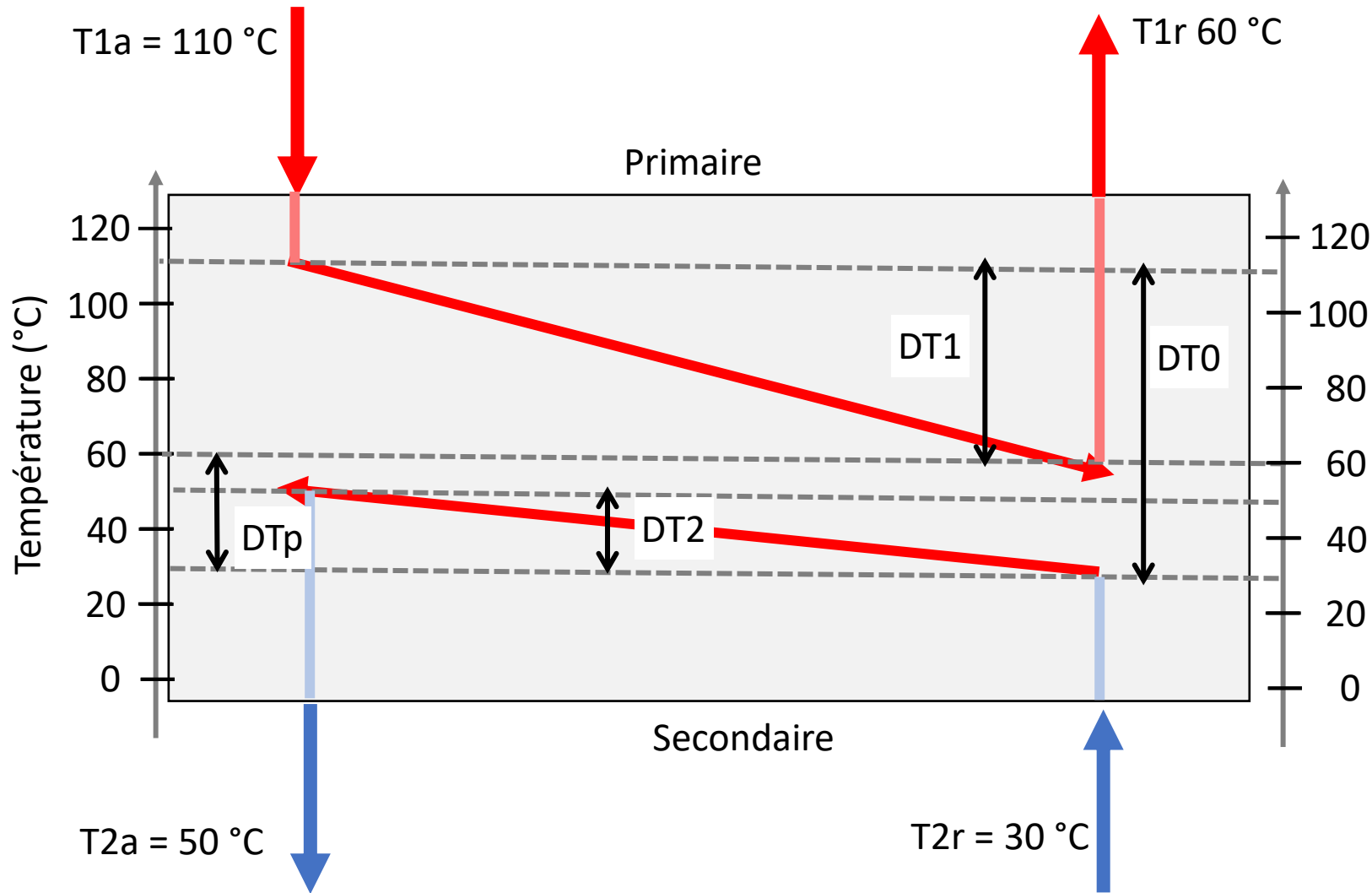


« pincement » de l'échangeur

- Mesures 10 minutes sur 6 SST et 13 échangeurs
- Pour tous les échangeurs, sauf SST\_4\_1, la température T° froid sec est proche de 40 °C
- Dans tous les cas , sauf SST\_4\_1, un écart important entre T° froid sec et T° froid prim → **pincement important (20 – 46°C)**

SST/échangeur	Période de monitoring (du 15.09.2022 au 01.02.2023)					
	T° chaud sec.		T° froid sec.		T° froid prim.	
	Médiane SST	écart	Médiane SST	écart	Médiane SST	écart
	°C		°C		°C	
SST_1_1	58.7	-1.2	39.9	-1.2	53.2	-9.0
SST_1_2	59.1	-0.8	46.6	5.5	65.2	3.1
SST_2_1	65.2	5.3	44.7	3.6	71.7	9.6
SST_2_2	60.4	0.5	41.6	0.5	63.8	1.7
SST_2_3	56.8	-3.1	41.2	0.0	70.8	8.7
SST_3_1	60.2	0.3	39.0	-2.2	53.7	-8.4
SST_3_2	55.6	-4.3	40.5	-0.6	68.8	6.7
SST_3_3	59.9	0.0	39.2	-1.9	58.3	-3.8
SST_4_1	61.6	1.7	51.5	10.3	56.7	-5.5
SST_5_1	60.0	0.1	41.2	0.0	61.7	-0.4
SST_5_2	54.6	-5.3	39.5	-1.6	65.0	2.8
SST_6_1	58.1	-1.8	40.2	-0.9	70.4	8.2
SST_6_2	61.0	1.1	38.9	-2.3	85.0	22.9
<b>Médiane échantillon</b>	<b>59.9</b>		<b>41.2</b>		<b>62.1</b>	

# Analyse de sensibilité en fonction de la taille de l'échangeur (Débit secondaire > Débit primaire)



$$DT0 = T1a - T2r = 100 - 30 = 70\text{ °C}$$

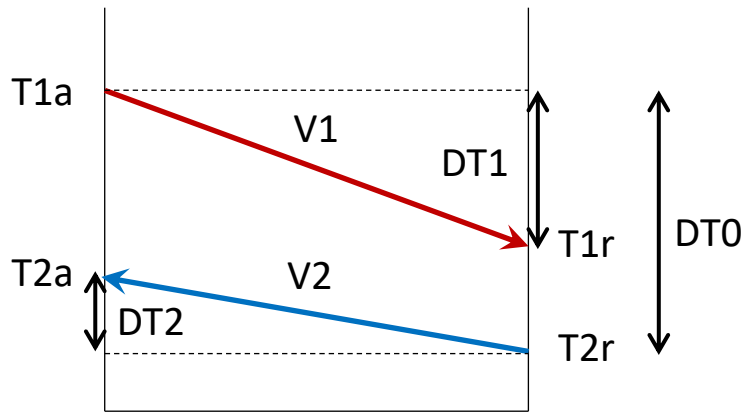
$$DT1 = T1a - T1r = 100 - 60 = 50\text{ °C}$$

$$DTp = T1r - T2r = 60 - 30 = 30\text{ °C}$$

$$E = DT1 / DT0 = 50 / 70 = 71\%$$

Un échangeur de « taille » infinie a une efficacité **E** de 100% et un pincement **DTp** de 0 °C

# Calcul des NTU «taille de l'échangeur»

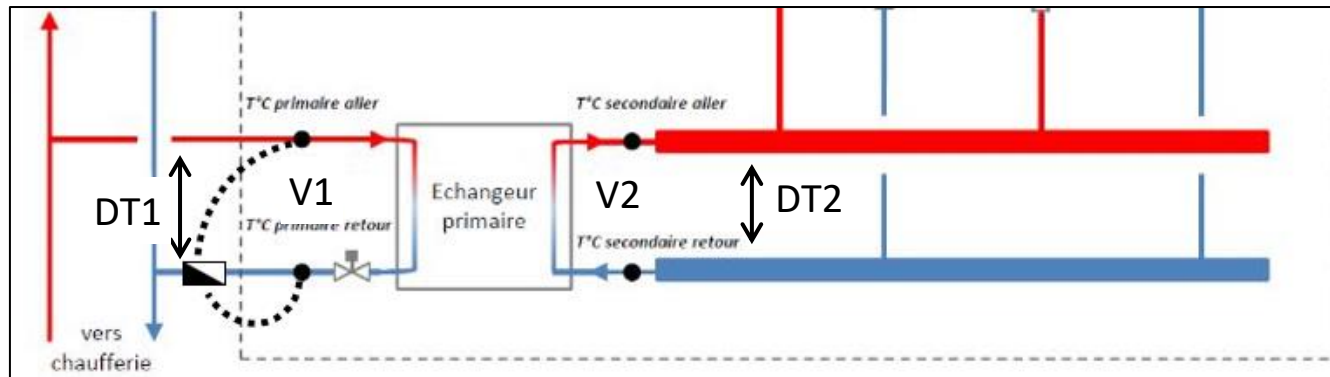


$$Q = C \cdot V1 \cdot DT1 = C \cdot V2 \cdot DT2$$

$$Vr = V1/V2 = DT2/DT1$$

$$E = DT1/DT0 \quad (\text{pour } V1 < V2 \Leftrightarrow DT1 > DT2)$$

$$\mathbf{NTU} = \text{Ln}((1 - Vr \cdot E)/(1 - E)) / (1 - Vr)$$

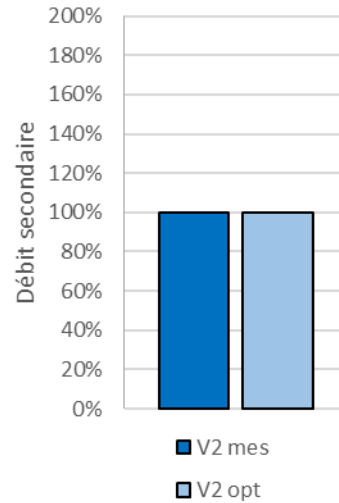
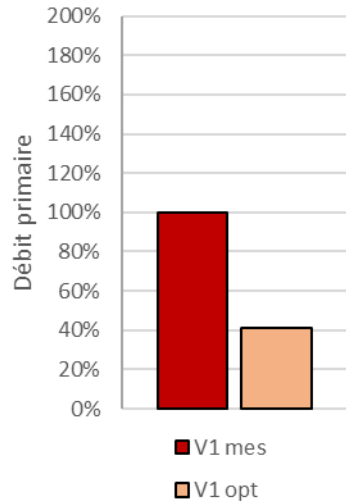
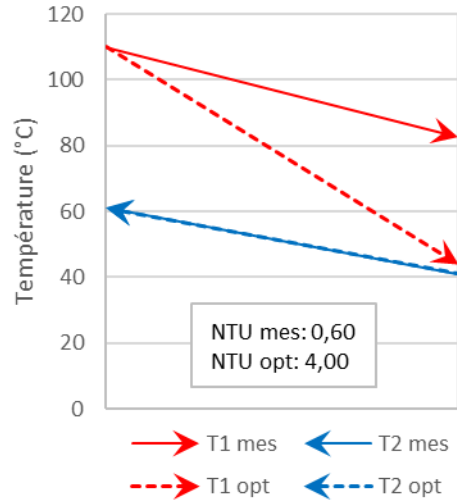


NTU observés: 0.8 à 1.5. NTU recommandés <sup>[2]</sup> : 3 à 4

[2] S. Frederiksen, S. Werner, District heating and cooling, Studentlitteratur AB, Lund, 2013.

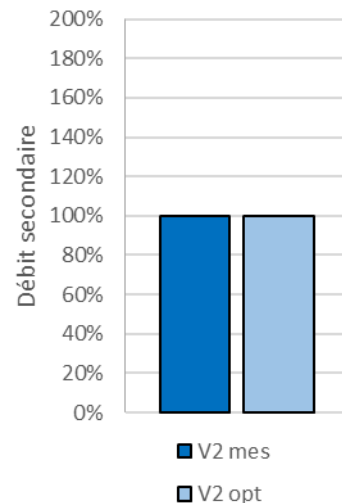
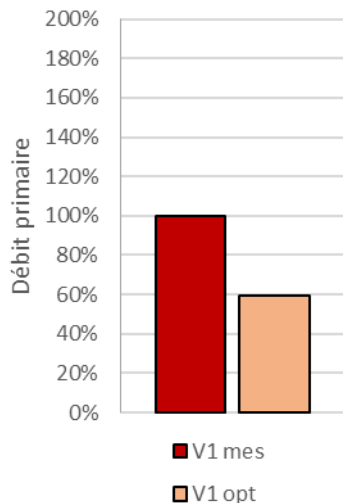
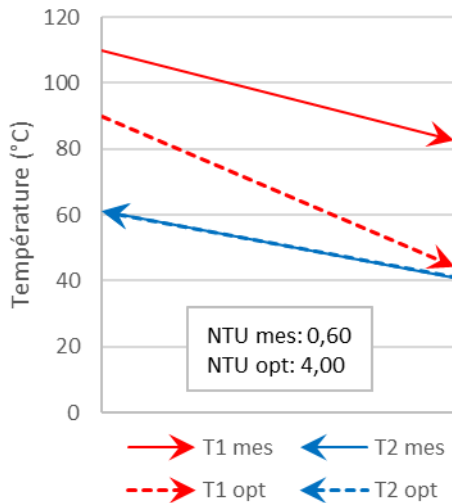
# Analyse de sensibilité en fonction de la taille de l'échangeur

Tcad = 110°C



- En passant d'un NTU de 0,6 à 4 T1r passe de 80 à 43 °C
- Le débit primaire est 2.2 x plus faible (DT1 passe de 30 à 67)

Tcad = 90°C



- Même si on baisse la température du CAD de 110 à 90°C le débit avec l'échangeur optimisé reste plus faible que le débit initial

# Conclusions

# Conclusions

---

- L'abaissement des températures des CAD est un enjeu de taille pour l'intégration de la chaleur renouvelable dans les réseaux
- Un premier diagnostic avec des données simples permet d'identifier les sous-stations (SST) prioritaires pour une optimisation
- Sur le cas d'étude du réseau CAD-SIG 20 (SST) sont identifiées comme prioritaires pour supprimer 80% du volume excédentaire annuel
- Pour la majorité des cas étudiés en détails, le problème se situe au niveau de l'échangeur primaire et peut être résolu sans intervention au niveau secondaire de la distribution de chaleur
- Il existe des cas « complexes » avec des sous-réseaux de quartier (cascade d'échangeurs ) qui nécessitent des interventions plus difficiles à mettre en œuvre. Dans ce cas une coordination entre de multiples acteurs est requise

# Références

---

- [1] QUIQUEREZ et al. (2020). Scenarios for integration of medium-depth geothermal energy in an evolving district heating system: case study in Geneva (Switzerland). <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:136510>
- [2] S. Frederiksen, S. Werner, District heating and cooling, Studentlitteratur AB, Lund, 2013.

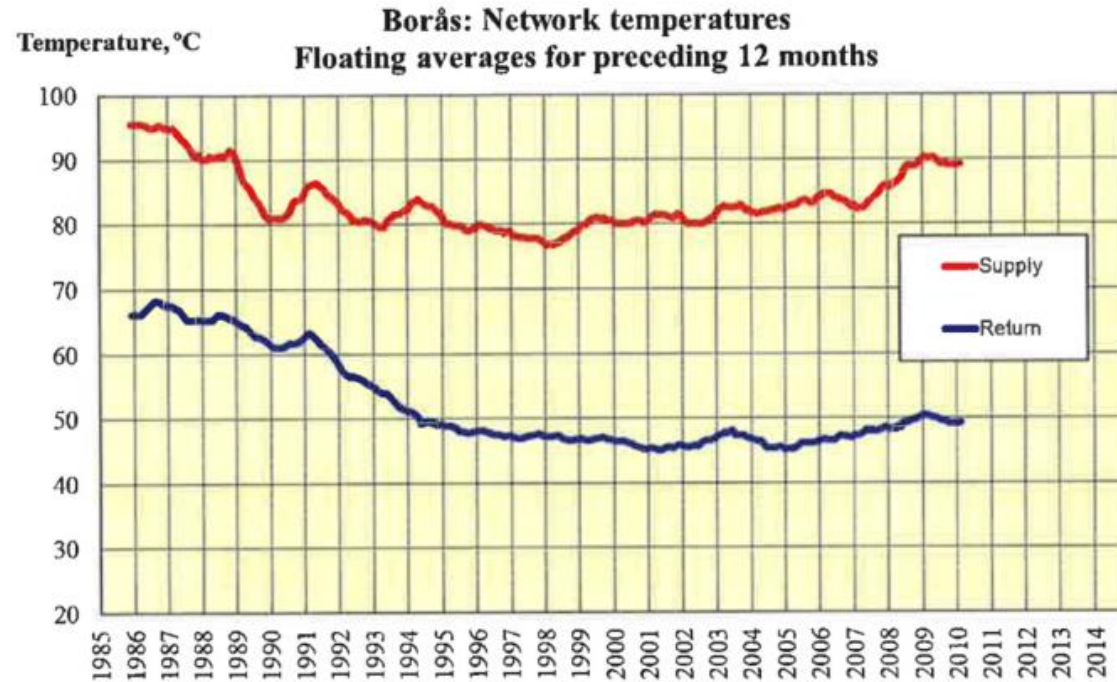


# Annexes

# Annexe 1: exemple de l'évolution des températures d'un CAD

Source: S. Werner, SVGW symposium Bern 2019

## Reduction of temperature level in current 3GDH network: Borås case



Total cost for eliminating  
identified operation errors:  
**About 1.5-2 million euro**

Annual benefit of reduced  
temperature level:  
**About 1 million euro**

Hence, simple payback time  
of **1.5-2 years**

2019-10-31

SVGW Symposium, Bern

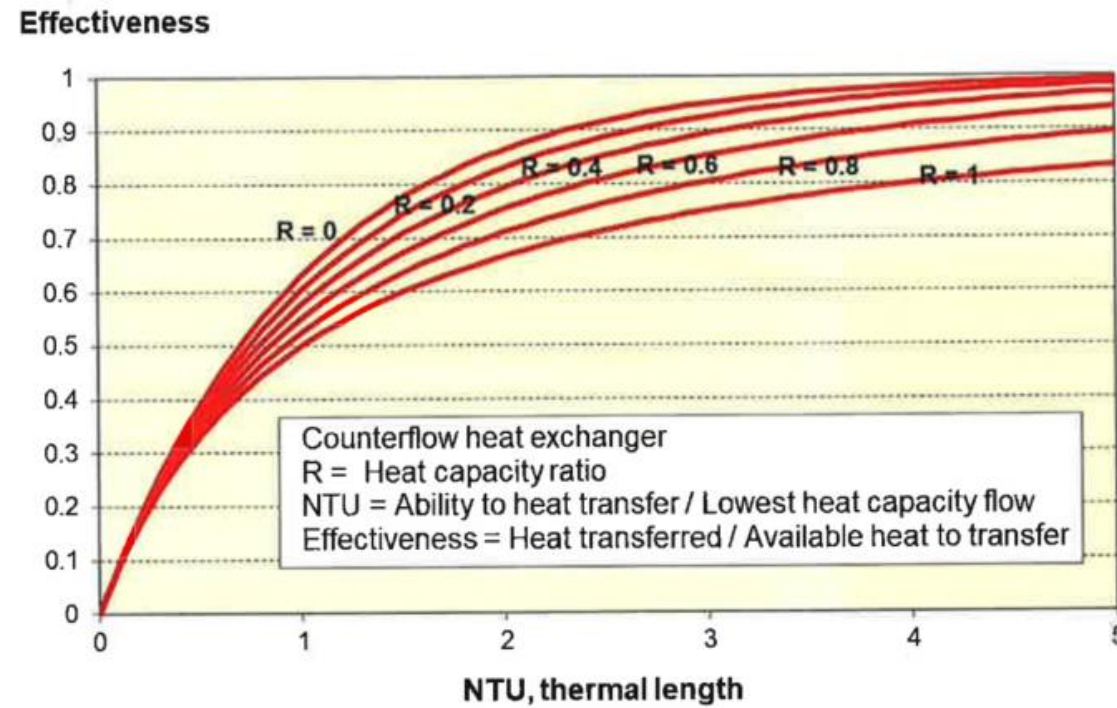
19

# Annexe 2: effets de l'augmentation de la taille de l'échangeur (NTU)

Source: S. Werner, SVGW symposium Bern 2019

## Longer thermal lengths in heat exchangers

The thermal length as driver for higher effectiveness for a heat exchanger :



2019-10-31

SVGW seminar, Bern

11