Cycle de formation énergie – environnement
Université de Genève
2 mai 2013, Genève

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Institut Forel / Institut des Sciences de l'Environnement

Valorisation thermique des eaux profondes lacustres: le réseau GLN à Genève et quelques considérations générales sur ces systèmes

Pierre Hollmuller

Avec la participation de
Pierre-Alain Viquerat, Jérôme Faessler, Bernard Lachal

Energie finale pour besoins thermique, Genève

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

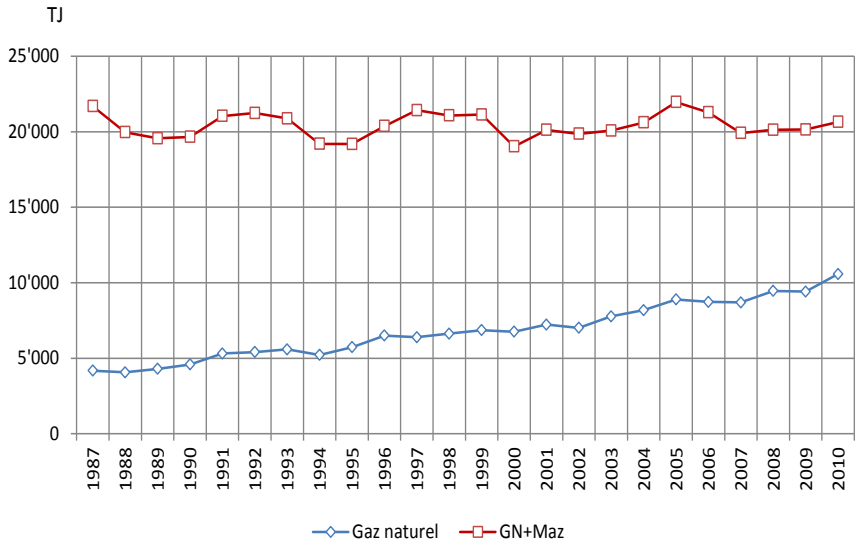
Chauffage (combustibles)

- Total: ~ 5'600 GWh/an
- Stabilité globale (substitution mazout/gaz)

Climatisation (électricité)

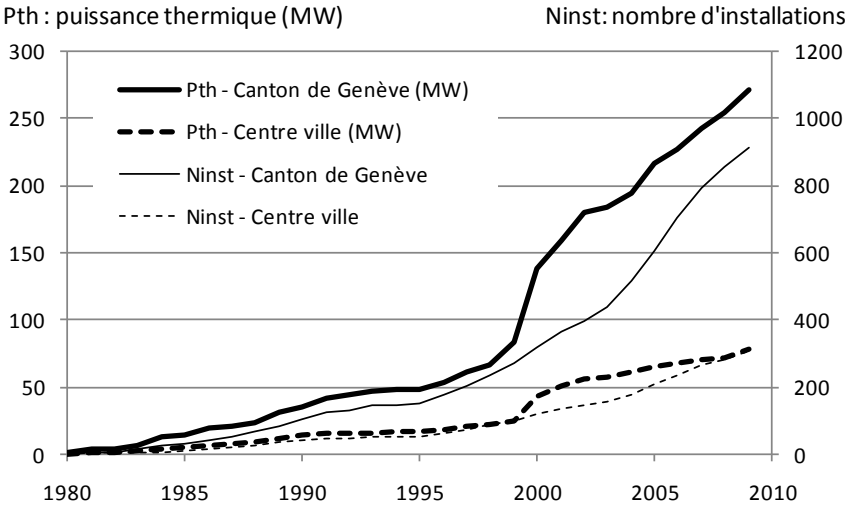
- Total: ~ 220 GWh/an
  (dont 60% pour les datacenters)
- Augmentation: ~ 10 GWh/an

Evolution des ventes de combustible, Genève



Données source: OCSTAT

Evolution des requêtes d'autorisation de climatisation



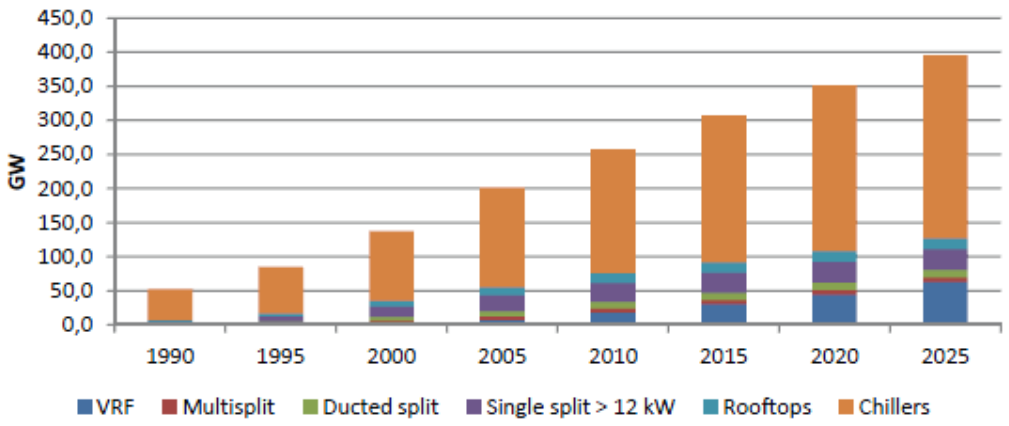
Données source: Service cantonal de l'énergie

Enjeux de la climatisation au niveau européen

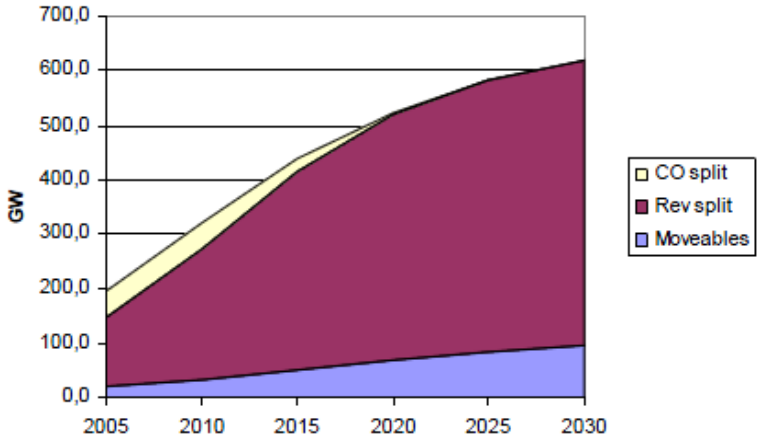
UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Evolution de la capacité installée

Climatisation centralisée (>12 kW_{th})



Climatisation individuelle (<12 kW_{th})



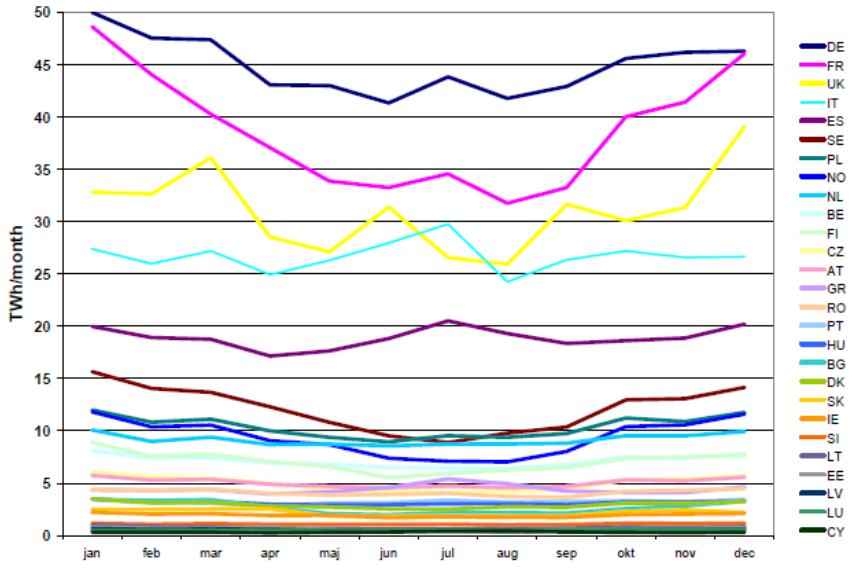
Source: Rivière et al. : a) Preparatory study on the environmental performance of air conditioning and ventilation systems (2012); b) Preparatory study on the environmental performance of residential room conditioning appliances (2008).

Enjeux de la climatisation au niveau européen

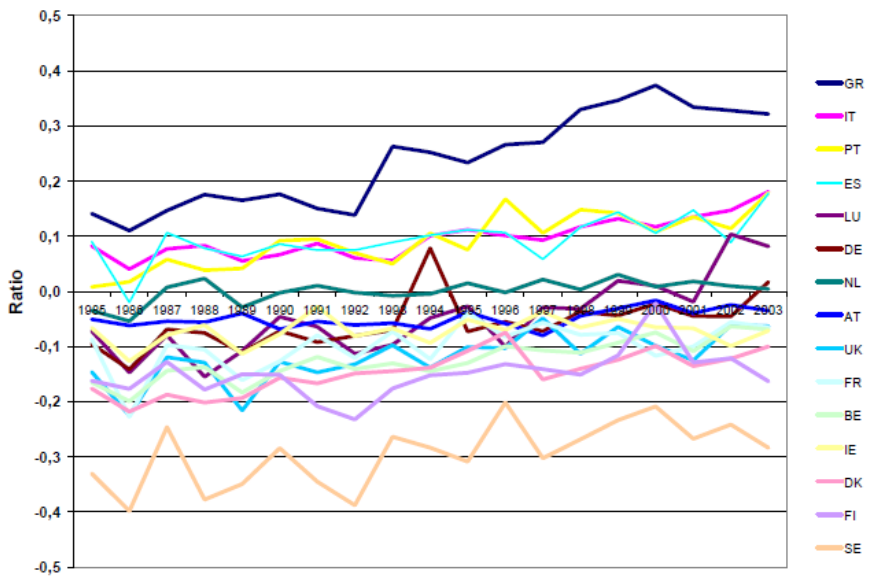
UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Evolution de la consommation électrique estivale

Consommation électrique mensuelle, 2003 (EU 27)



Ratio consommation estivale, 1985 – 2003 (EU15)



$$\frac{\Delta El_{\text{été}}}{El} = \frac{El_{juillet} - El_{avril}}{El_{\text{mensuelle moy.}}}$$

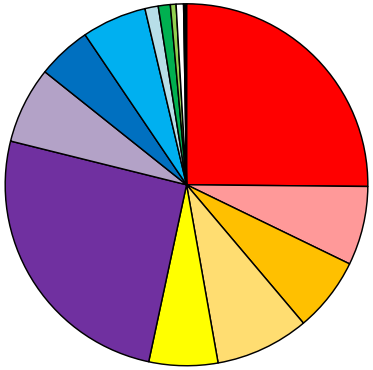
Source: Euro Heat and Power(2006). The European Cooling Market. ECOHEATCOOL Work Package 2

Enjeux de la climatisation à Genève

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

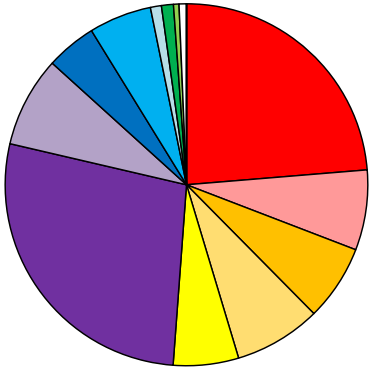
Requêtes de climatisation (Genève 1980 – 2009)

Puissance thermique: 272 MW_{th}



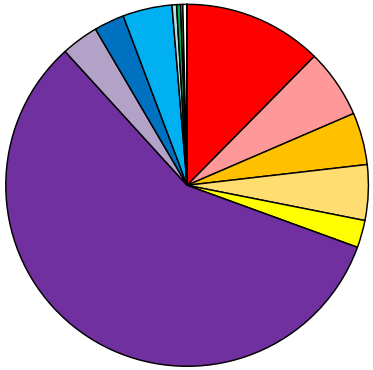
Puissance électrique: 91 MW_{el}

(18% de la pointe totale)



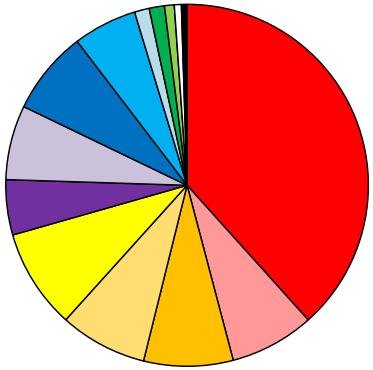
Energie électrique: 225 GWh_{el}

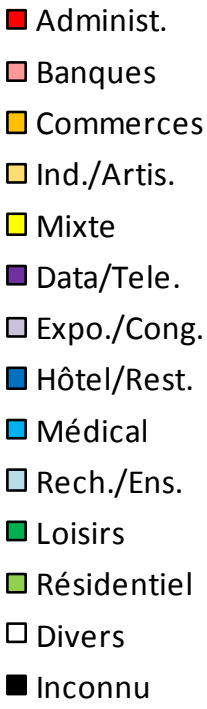
(8% de la demande totale)



Surface climatisée: 1.8 mio m2

(10% des locaux non résidentiels)



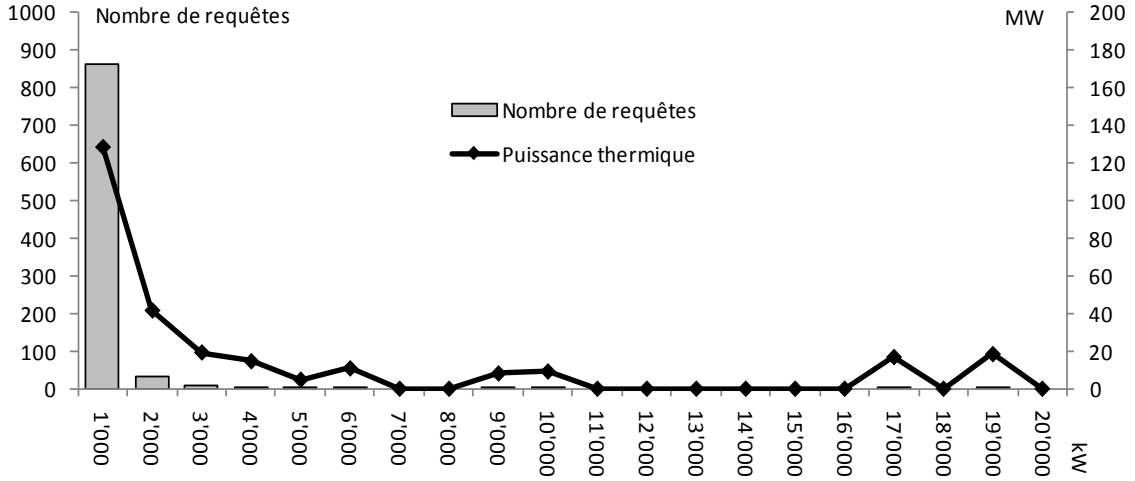


Enjeux de la climatisation à Genève

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

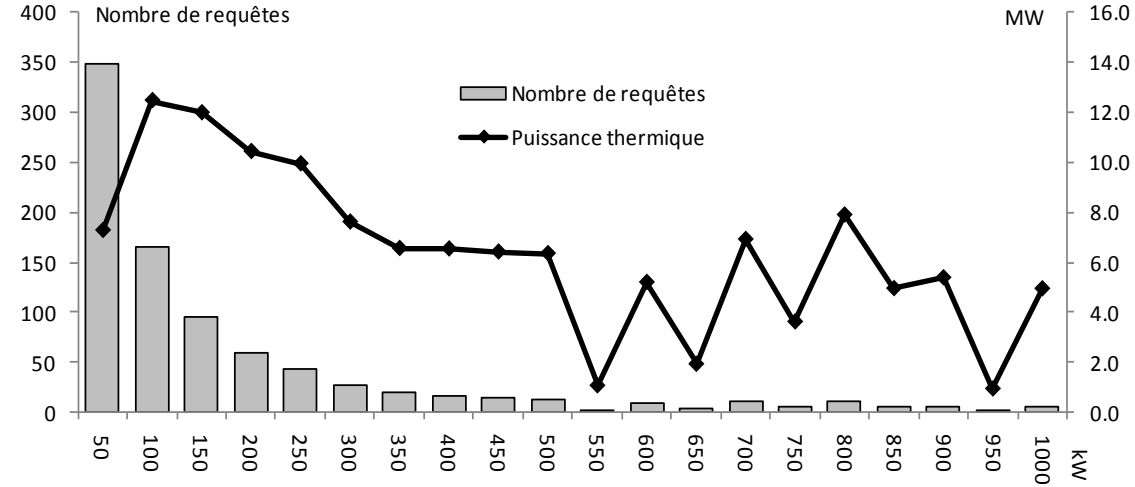
Taille des installations

Total



kW_{th}	Nb. ins.	Puiss.
< 50	38%	3%
50 - 1000	56%	45%
> 1000	5%	53%

Zoom installations < 1000 kW

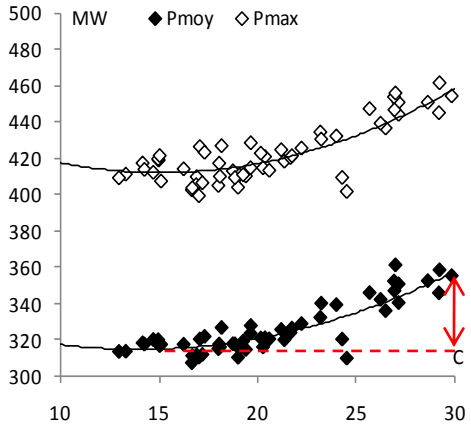


UNIVERSITÉ DE GENÈVE

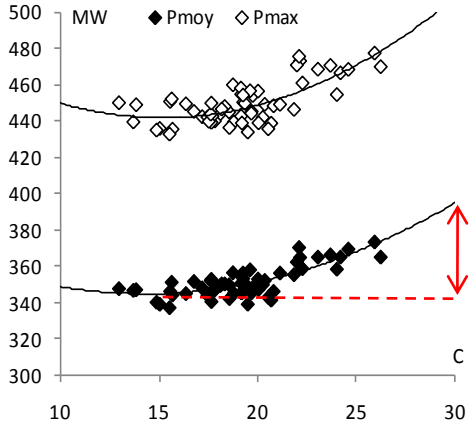
Puissance électrique pour climatisation de confort (hors datacenter)

Charge électrique en fonction de la température (été, valeurs journalières)

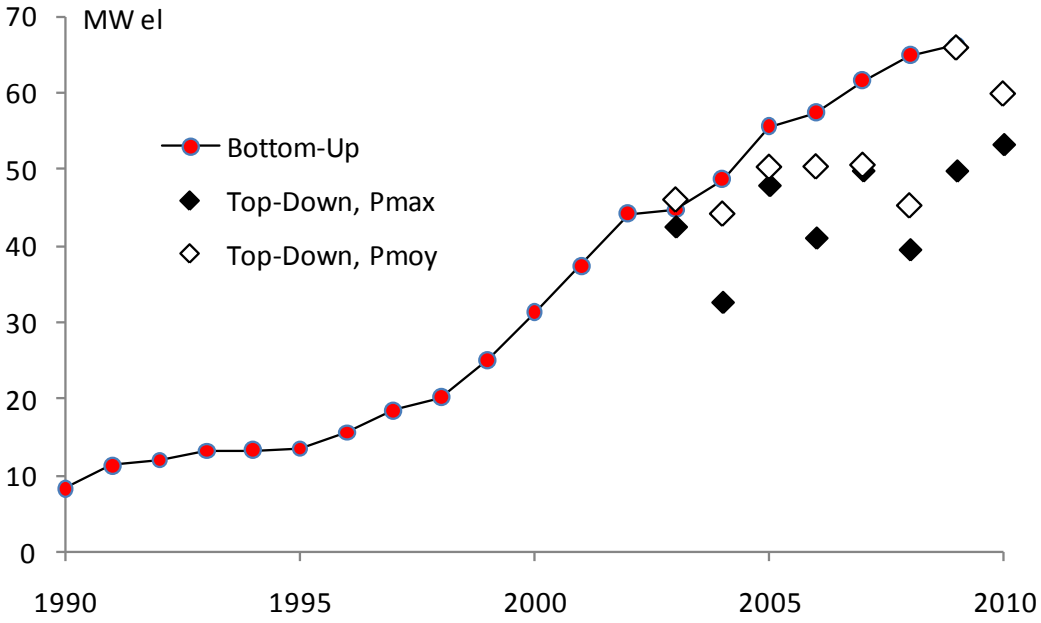
2003



2010



Puissance nominale requêtes de clim. et puissance élec. de pointe (à 30°C)

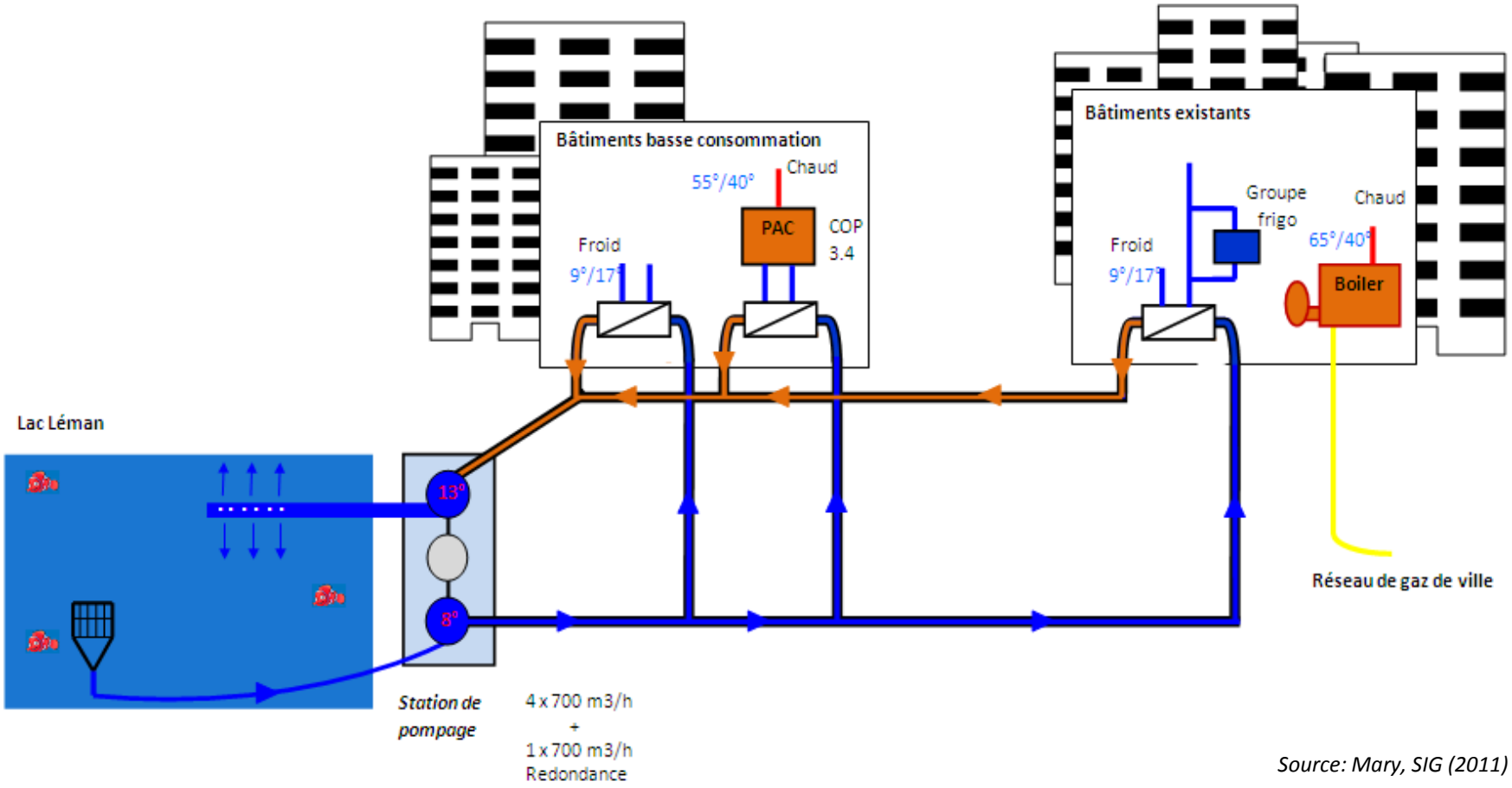


Données source:
SIG (électricité) et UNIGE (météo)

Réseaux hydro-thermique GLN (Genève-Lac-Nations)

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

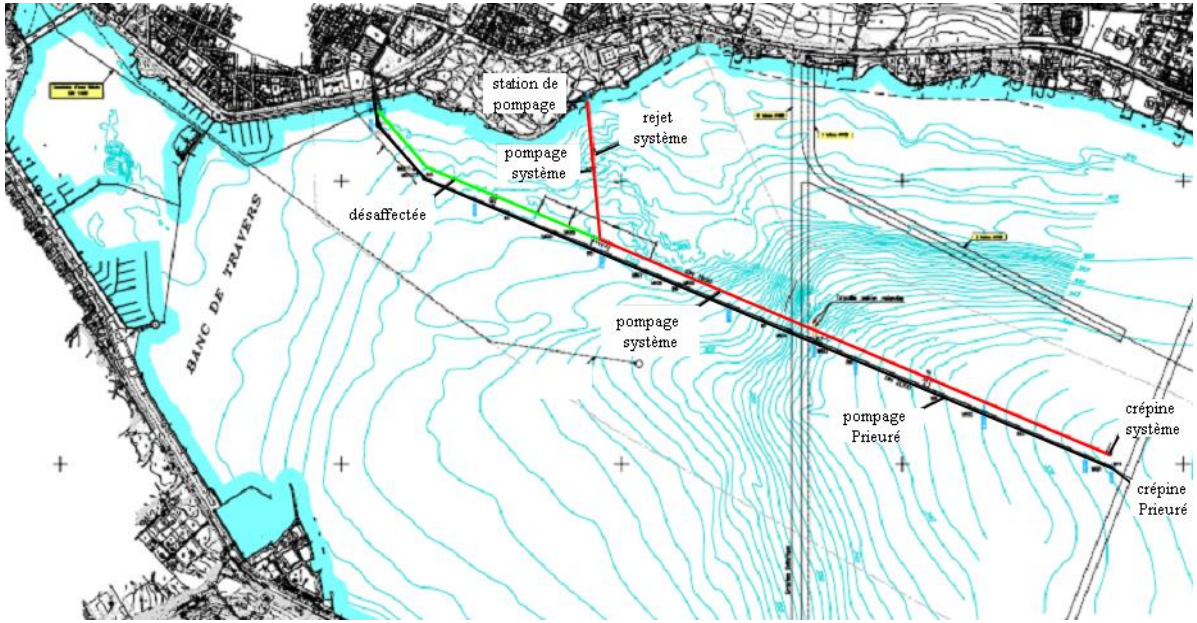
Schéma de principe



Source: Mary, SIG (2011)

Réseaux hydro-thermique GLN

Réseau lacustre (pompage / rejet)

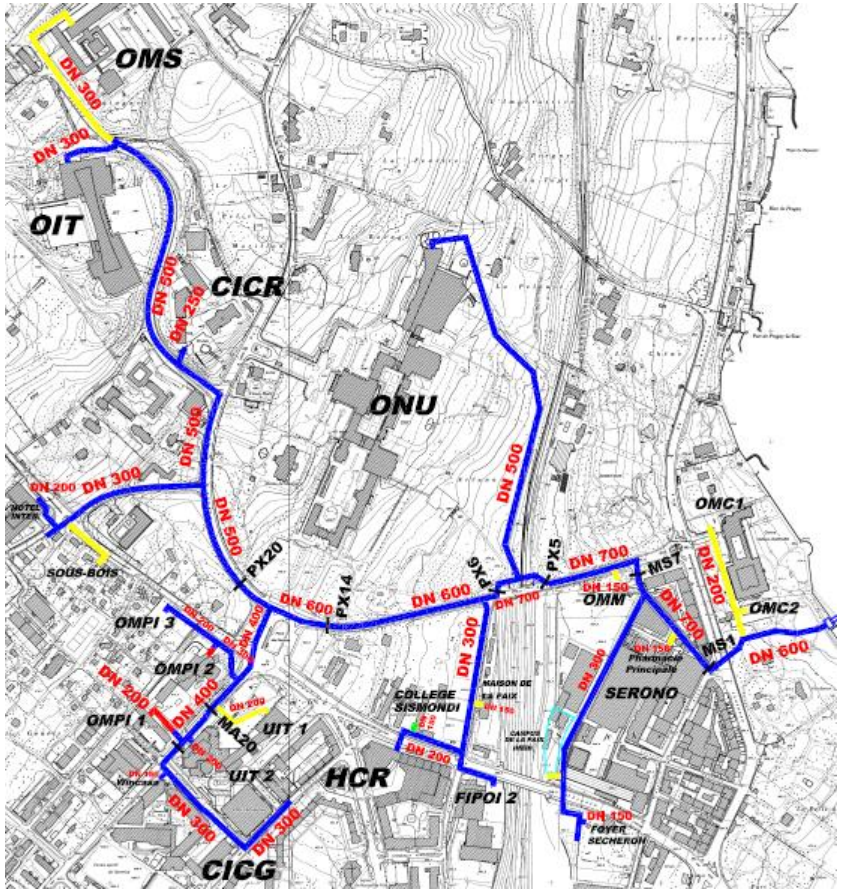


Source: Viquerat/UNIGE (2012)

Réseaux hydro-thermiques genevois

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Réseau terrestre et sous-stations (GLN)



Source: Viquerat/UNIGE (2012)

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Caractéristiques techniques

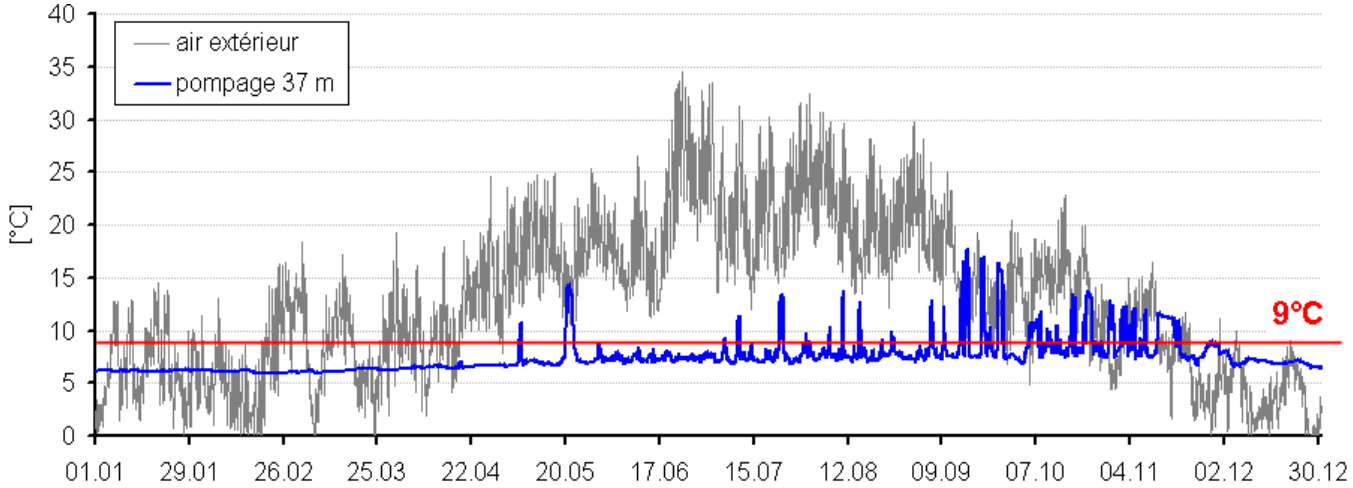
Profondeur de pompage	37	m
Profondeur de rejet	5	m
Débit nominal GLN	2700	m^3/h
Débit nominal Merk Serono	1300	m^3/h
Puissance de pompage, boucle ouverte, débit nominal	300	kW
Puissance de pompage, boucle fermée, débit nominal	20	kW
Longueur du réseau	6000	m
Puissance thermique évacuée, maximale 2009-2011	12	MW
Puissance thermique évacuée nominale	16	MW
Puissance thermique absorbée max en hiver	0.8	MW
Energie thermique nominale	16	GWh
Energie thermique valorisée 2011	5.6	GWh

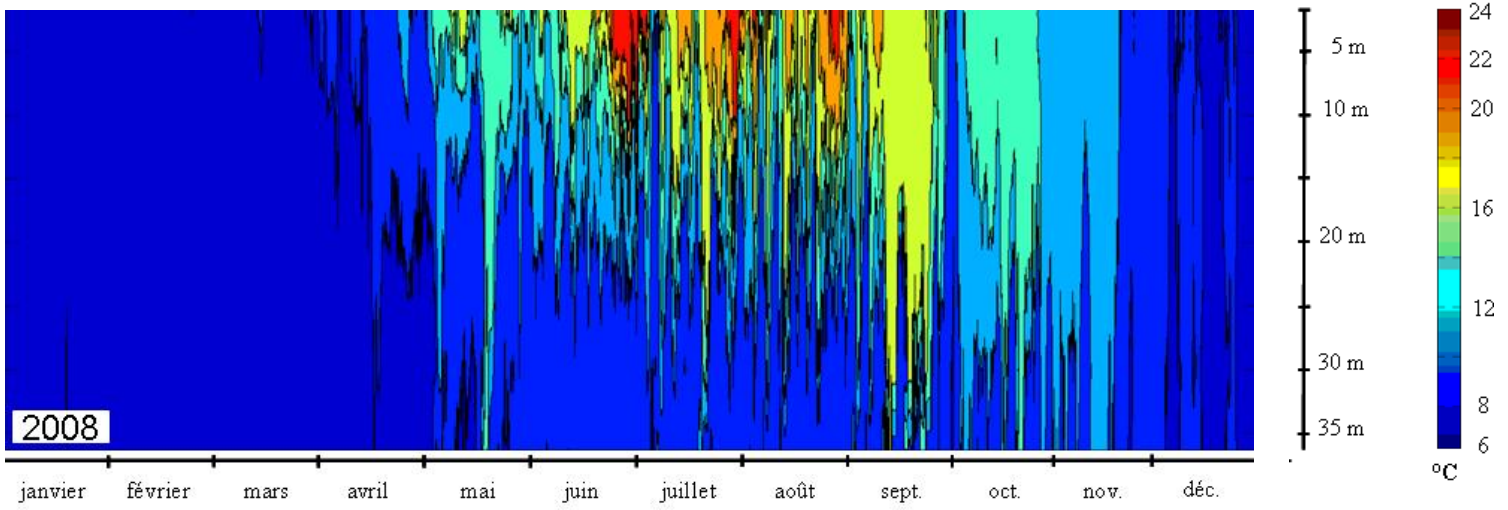
Spécificités / caractère innovant

- Taille du réseau
- Mise en œuvre et exploitation commerciale (SIG)
- Non-dédié => vente de l'énergie (aspects commerciaux, problèmes de tarification, image verte du projet, liens déjà établis par SIG pour la distribution des autres fluides, etc.)
- Température de distribution du froid non contrôlée (pas de machines de froid sur le réseau, mais uniquement chez les clients)

Ressource thermique du lac

Température de la ressource (2008)

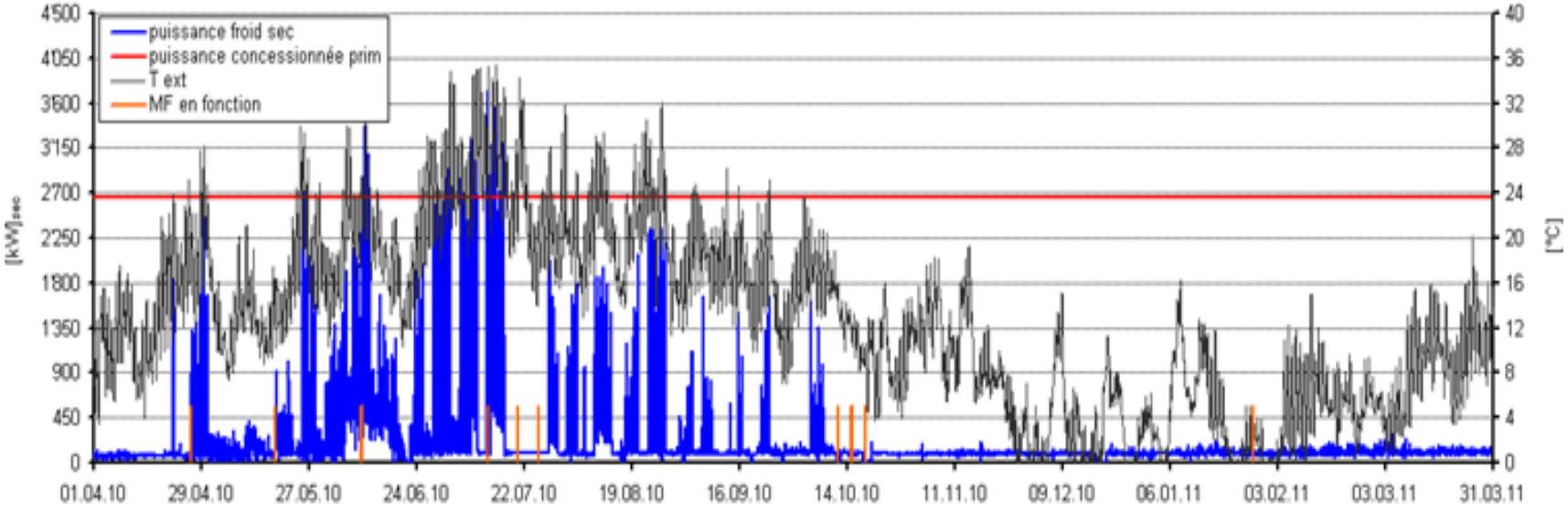




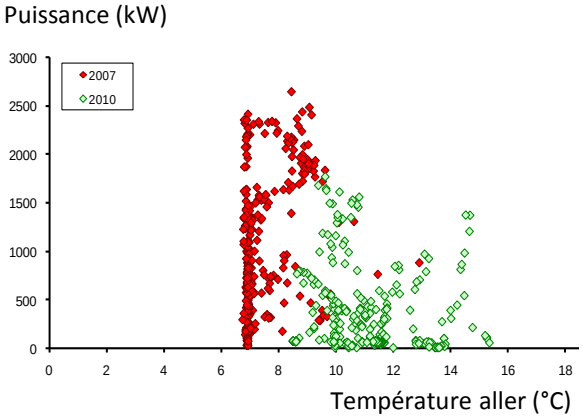
Source: Viquerat,UNIGE (2012)

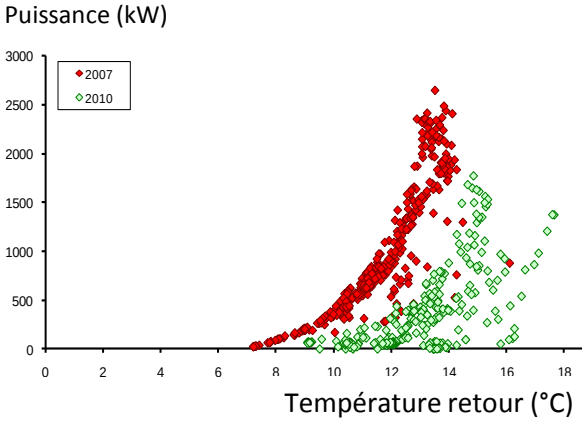
Fonctionnement d'une sous-station

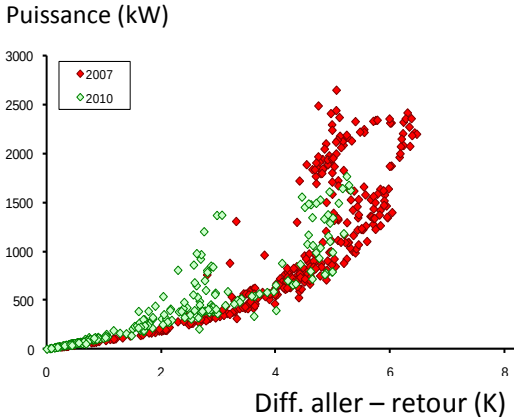
Profil de la demande



Régimes de température circuit secondaire (bâtiment)



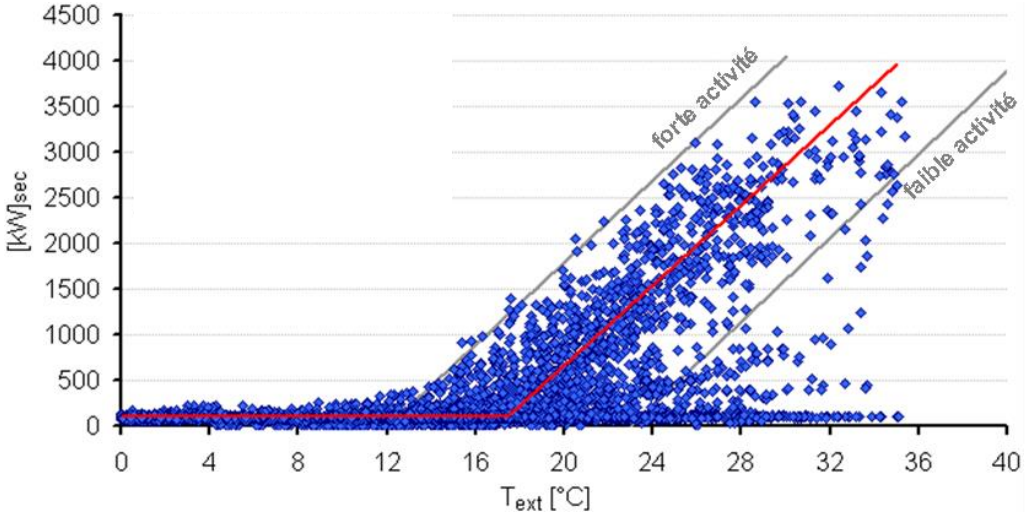




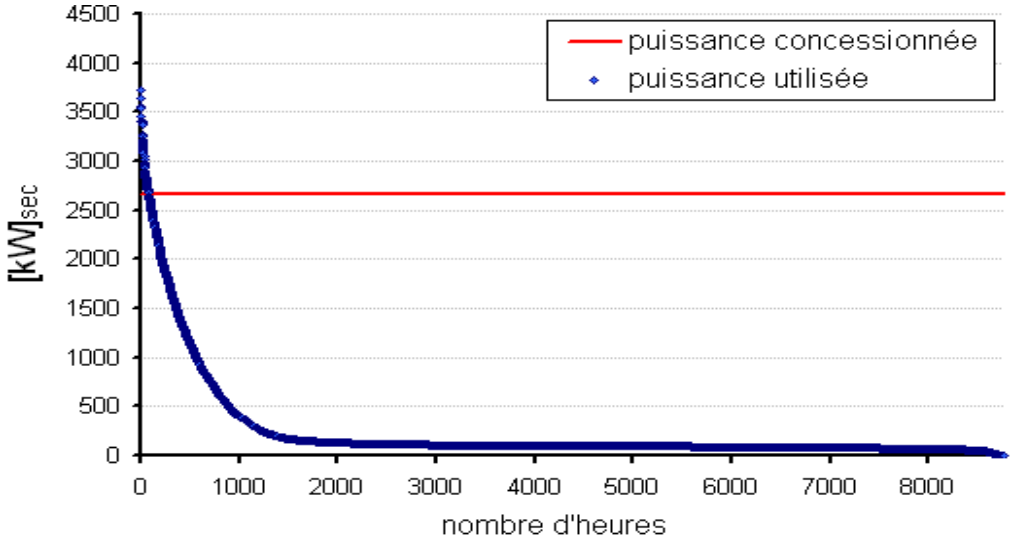
Fonctionnement d'une sous-station

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Signature énergétique et monotone de charge



- 100% de la demande couverte (sans machine de froid)
- Confort assuré

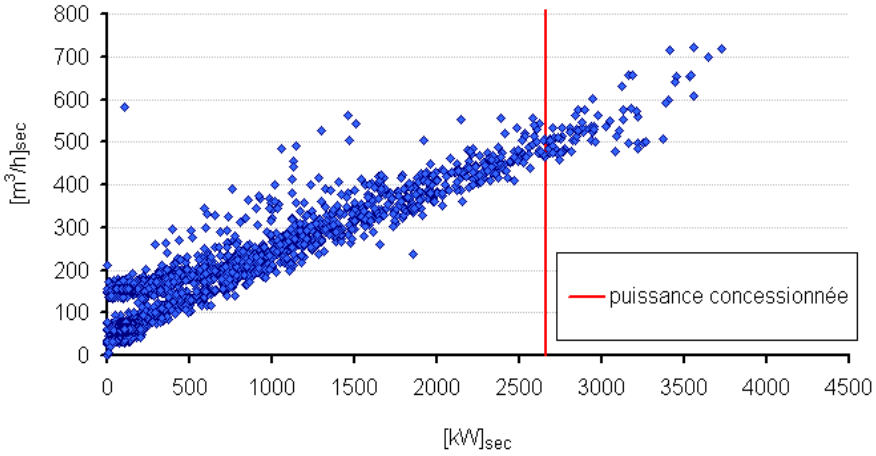


- Pointe vs ruban

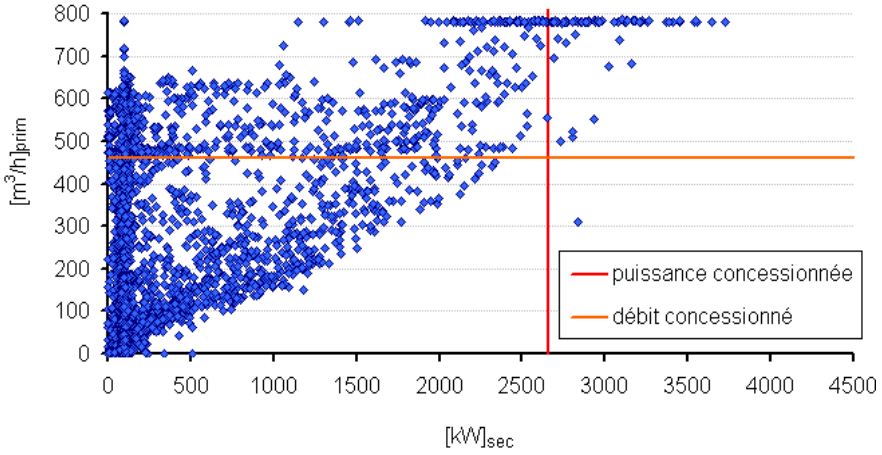
Fonctionnement d'une sous-station

Gestion des débits

Côté secondaire (bâtiment)

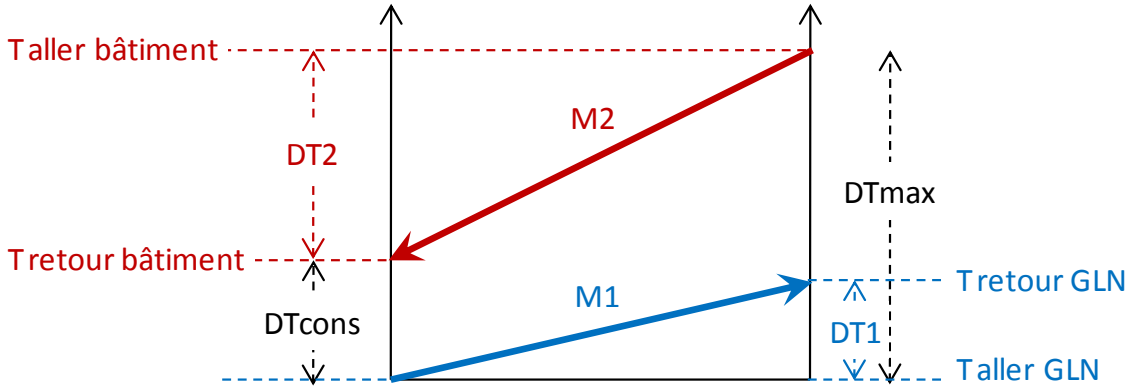


Côté primaire(GLN)



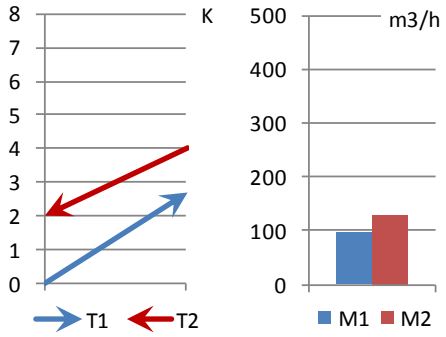
Fonctionnement d'une sous-station

Echangeur de chaleur GLN – bâtiment

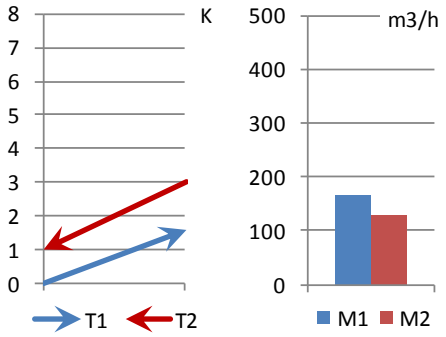


Exemple (demande de 300 kW = 2 K sur le réseau de distribution bâtiment)

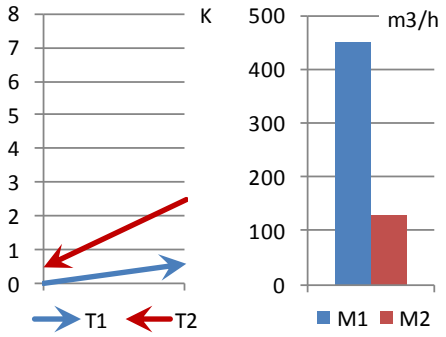
DTcons = 2K



DTcons = 1K



DTcons = 0.5K



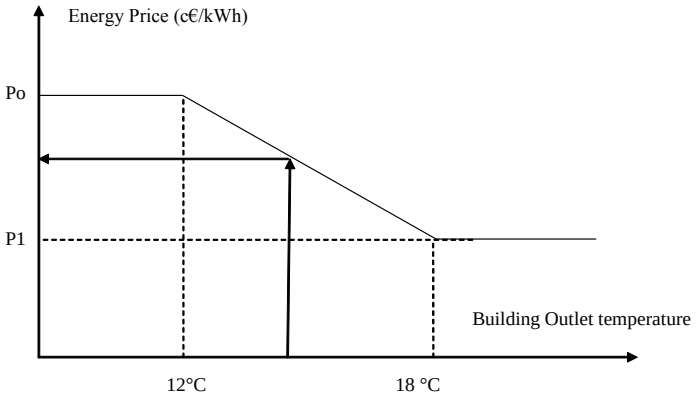
Aspects économiques

Tarification

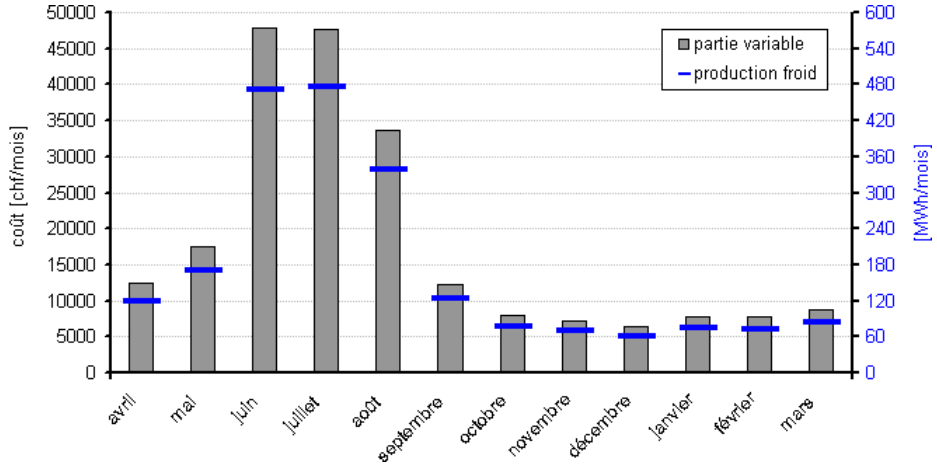
- Coût fixe (prime de puissance): 40 CHF/kW par an
- Coût variable (énergie): fonction de la température de retour

  Façon <u>indirecte</u> de tenir compte du débit d'eau utilisé

  (grand débit = petit ΔT = Tretour faible)



Coûts pour une sous-station

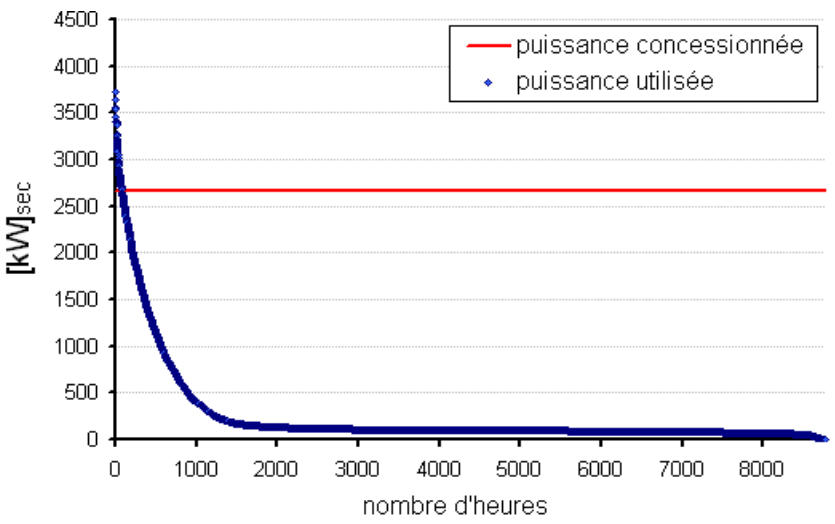


- Coût annuel moyen: 14.6 ct/kWh
- 70% en coût variable, 30% en coût fixe

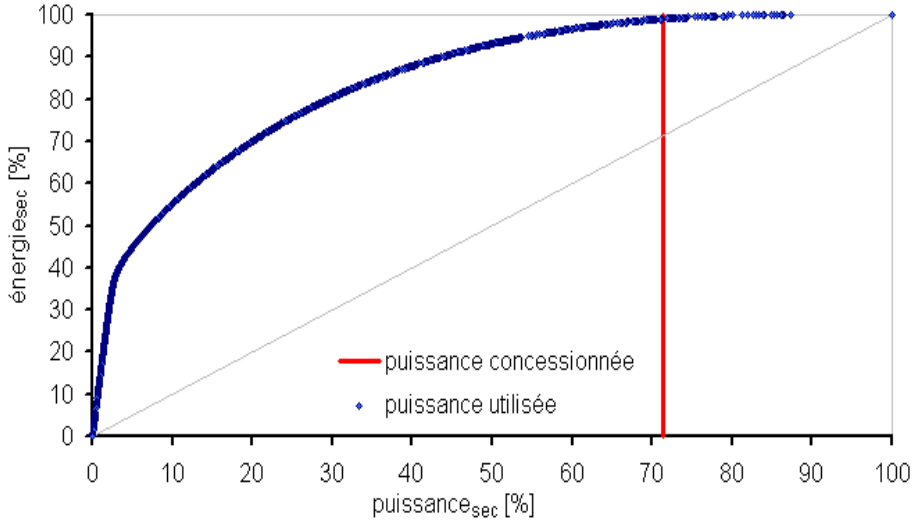
Aspects économiques

Dimensionnement: 100% renouvelable ?

Monotone de charge (ONU)



Puissance / Energie (ONU)



- Puissance ruban (130 kW): 3% de la pointe, 40% de la demande annuelle en énergie !
- Puissance concessionnée: 70% de la pointe, 99% de la demande annuelle en énergie
- Dimensionnement à 50% de la puissance concessionnée: 85% de la demande d'énergie annuelle

Consommation électrique

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Energy Efficiency Ratio (EER)

$$EER = \frac{Energie\ froid}{Electricité}$$

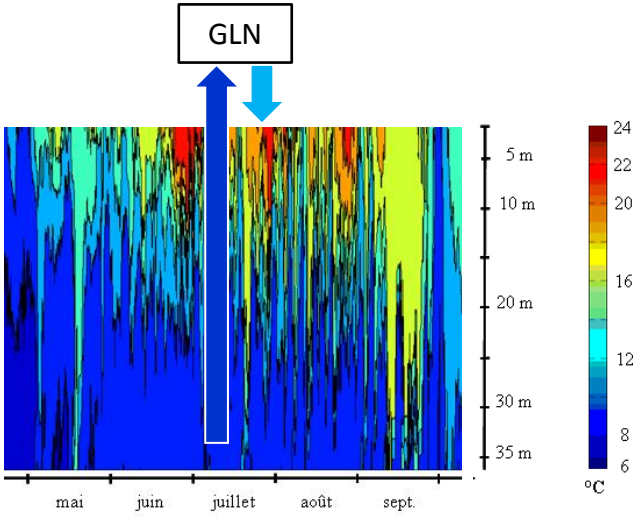
		2009	2010	2011	2012
Ventes de froid	[MWh]	2'005	5'428	11'166	14'119
Electricité pompage	[MWh]	377	854	1'218	1'003
EER	[-]	5.3	6.4	9.2	14.1

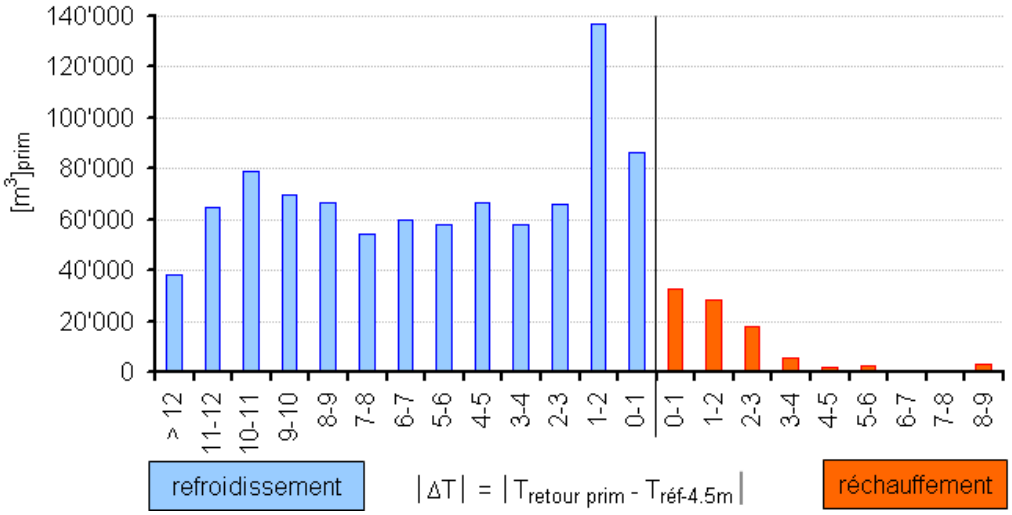
Source: SIG

- Optimisation du système en cours depuis fin 2011 (limitation température de consigne secondaire, coordination accrue entre SIG et clients, optimisation utilisation en boucle fermée, ...)
- Objectif à terme: EER = 18

Effet thermique du rejet

Effet global

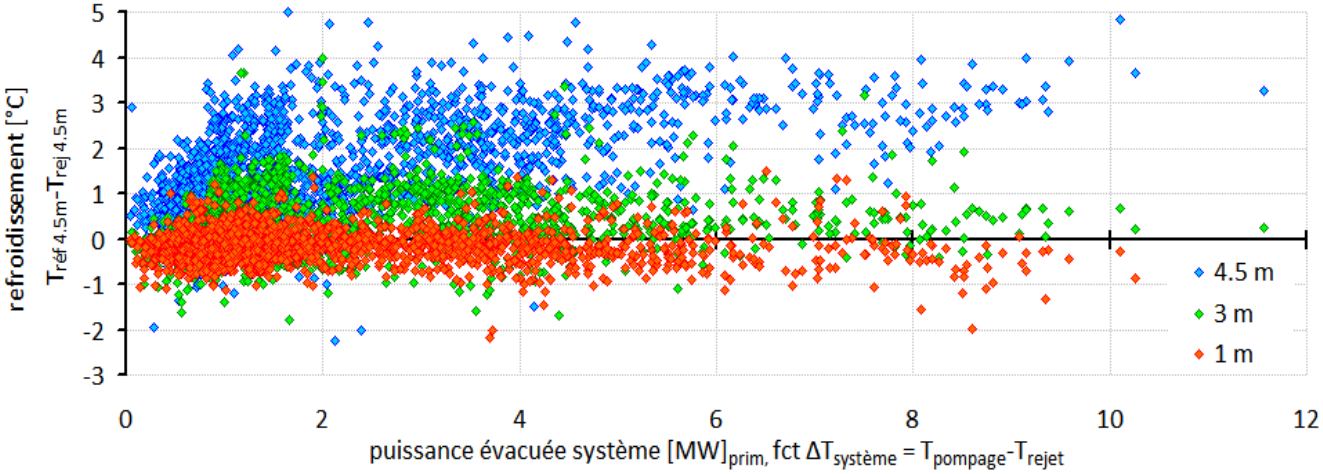




- Transfert des couches profondes vers les couches superficielles
- Eau rejetée réchauffée, mais plus froide que le milieu récepteur
- Refroidissement localisé (« plume ») dans la couche superficielle
- Augmentation du volume de la couche intermédiaire (métalimnion) et diminution de la couche inférieure qui constitue la ressource

Effet thermique du rejet

Effet local (plume)

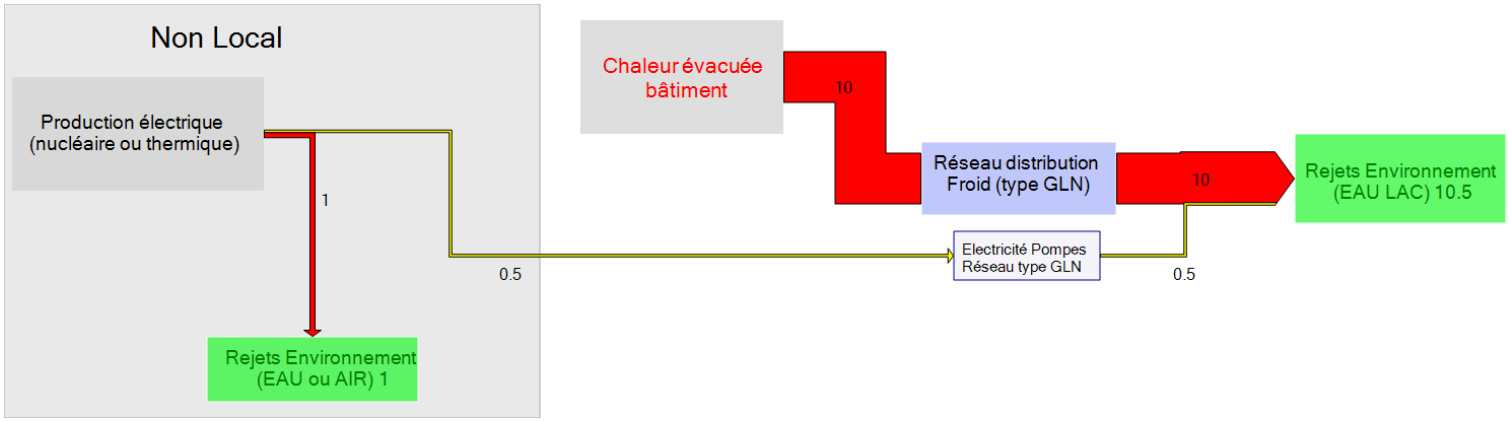


- Refroidissement local effectif uniquement sur les couches situées plus bas que 4m de profondeur
- Stabilisation de l'effet dès 2 MW (10% de la puissance nominale du système)
- Dans un rayon de 50 m, les effets thermiques sont le plus souvent du temps confondus avec la fluctuation thermique spontanée du milieu

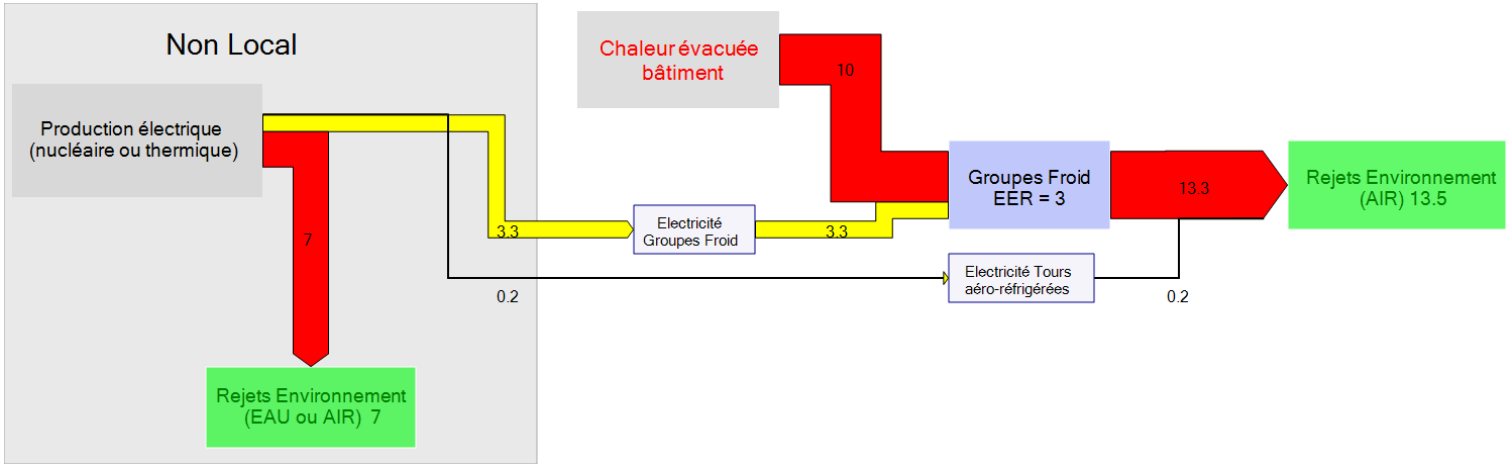
Réseau hydro-thermique vs groupes de froid

Consommation électrique et rejets thermiques

Réseau hydro-thermique vs groupes de froid



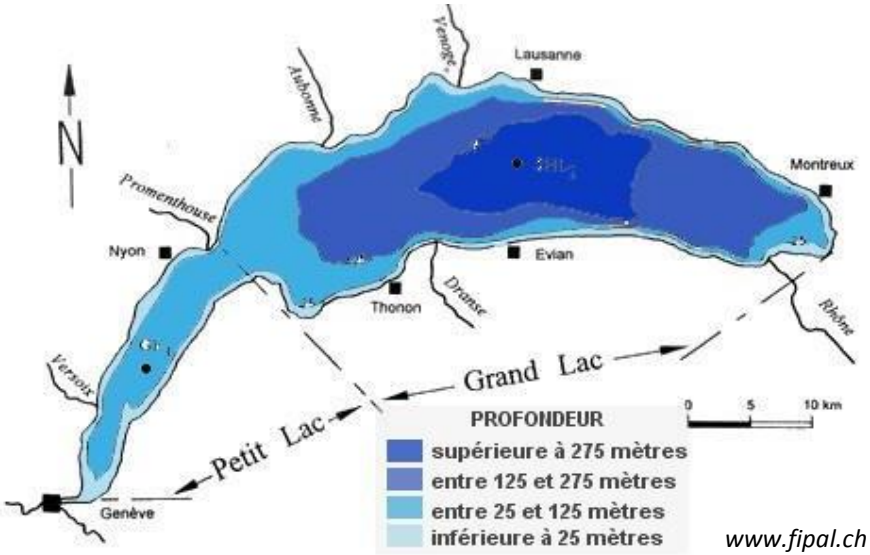
Groupes de froid



Potentiel hydro-thermique

Potentiel régional brut (ressource)

Potentiel petit lac		Froid	Chaud
Ressource	milion m3	1000	1000
Durée nominale (100% couverture)	h	1000	2000
Débit nominal	m3/s	278	139
ΔT	K	5	3
Soutirage lac	MW	5833	1750
	GWh	5833	3500
COP PAC			3
Bâtiments	MW	5833	2625
	GWh	5833	5250
Fraction demande Canton		26.5	0.9

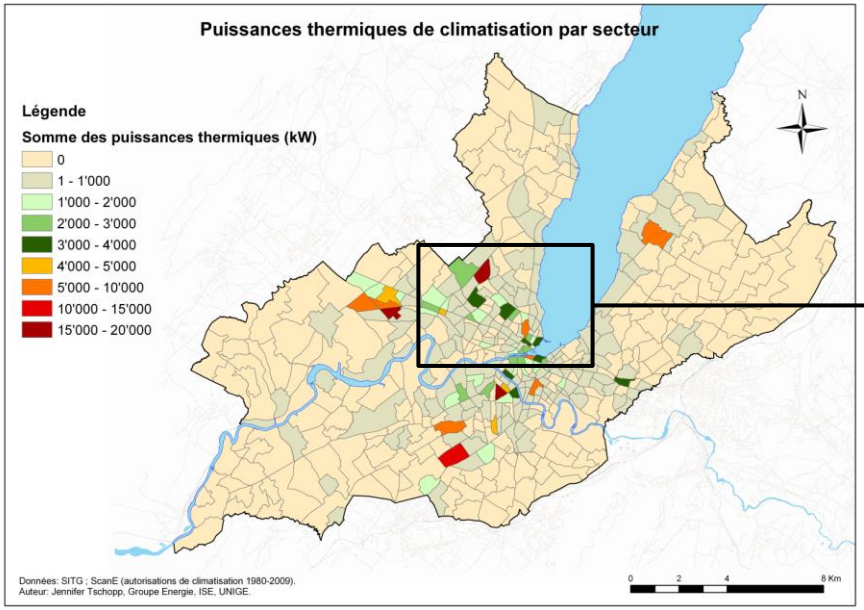


www.fipal.ch

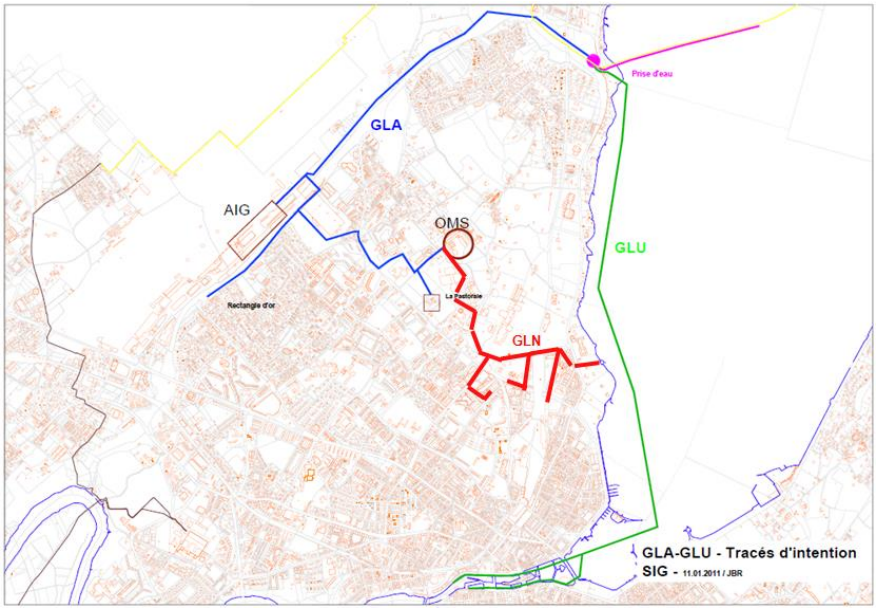
Pour comparaison:
Rhône: 250 m3/s (débit annuel moyen)

Potentiel hydro-thermique

Localisation de la demande de froid



Projets d'extension de GLN

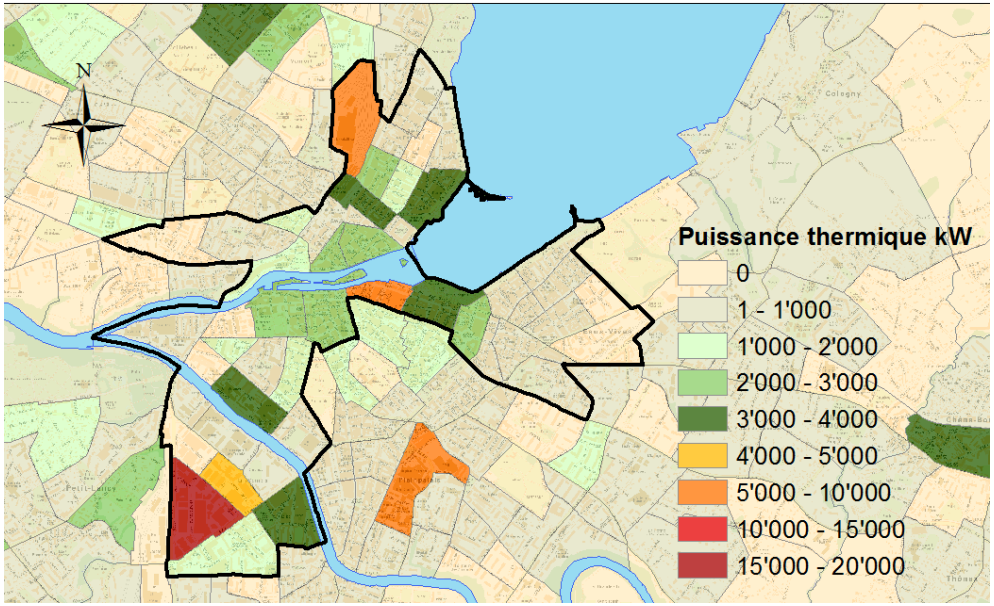


Potentiel hydro-thermique

Zoom sur le Centre Ville (projet GLU)

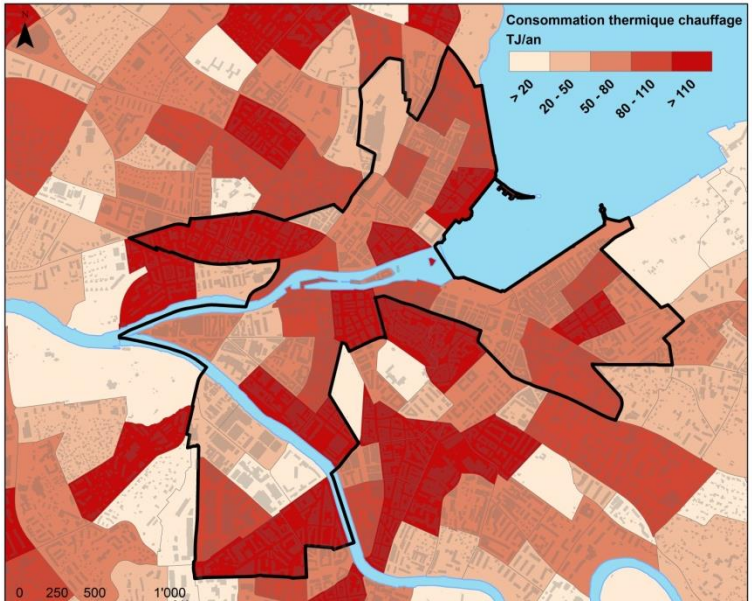
- 2% du territoire du Canton
- 29 % de la surface de locaux non résidentiels

Demande de froid
- 60 GWh_{th}
- 27% de la demande du canton



Débit nominal (<u>pour 100% couverture</u>)
- 3.3 m3/s = 13’000 m3/h

Demande de chaud
- 1000 GWh_{th}
- 17% de la demande du canton



Débit nominal (<u>pour 100% couverture</u>)
- 26.5 m3/s = 95’000 m3/h

Contraintes technico-économiques et organisationnelles

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Réseau commercial et multi-usagers

- Connexions en fonction du démarchage auprès des clients potentiels
  - Promesse de connexion des gros clients avant le démarrage du projet
  - Connexion de l'ensemble de la demande illusoire (petites installations, …)
- Prise en compte raisonnable de l'évolution de la demande
- Couverture de 100% de la demande connectée ?
- Intégration de groupes de froid déjà existants ?
- Développement de la valorisation chaud (mutualisation de l'investissement)
- Tarification

Conclusions

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Ressource

- Très bonne qualité
- Quantité plus que suffisante
- Impact minime / positif

Enjeux

- Caractérisation de la demande, dimensionnement raisonnable
- Phasage du projet
- Gestion du système (technologie simple, suivi exigeant)
- Incorporation de la prestation chaud (avec pour contrainte une intégration soignée du côté bâtiment / distribution).