

« Genève-Lac-Nation »

Retour d'expérience interdisciplinaire
sur l'implémentation d'un réseau de
froid par pompage d'eau lacustre
profonde

Pierre-Alain Viquerat

Groupe Energie

Université de Genève - Institut des Sciences de l'Environnement

pierre-alain.viquerat@unige.ch

ASPECTS ABORDES

- CADRE
- SYSTÈME ENERGETIQUE
- CONCEPT de MONITORING:
 - LAC & RESSOURCE
 - BATIMENTS
 - RESEAU
 - QUARTIER
- RESULTATS
- ET LA SUITE...

ASPECTS ABORDES

- CADRE

- SYSTÈME ENERGETIQUE

- CONCEPT de MONITORING:

- LAC & RESSOURCE

- BATIMENTS

- RESEAU

- QUARTIER

- RESULTATS

- ET LA SUITE...

CONCERTO, PROGRAMME UE



Promotion de systèmes énergétiques en zone urbaine
Energies Renouvelables & Economies d'Énergie

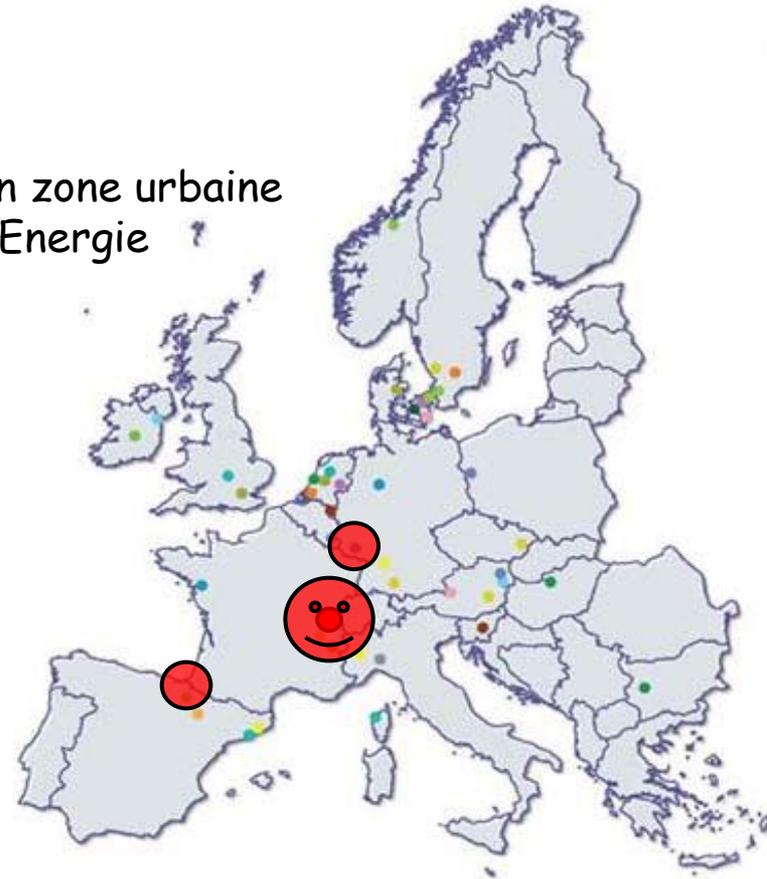
Soutien financier
Diffusion des résultats

Directives Européennes



Consortium Tetraener

Genève, Bilbao & Francfort
Subvention ~ 2 M€

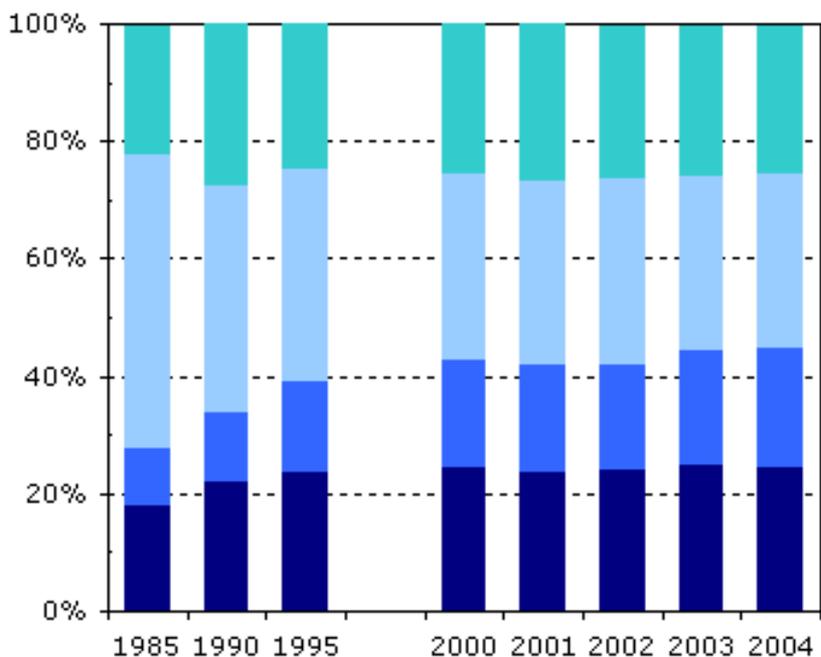


Démonstration: efficacité énergétique, environnementale et économique

Recherche: monitoring et adaptation de bâtiments existants

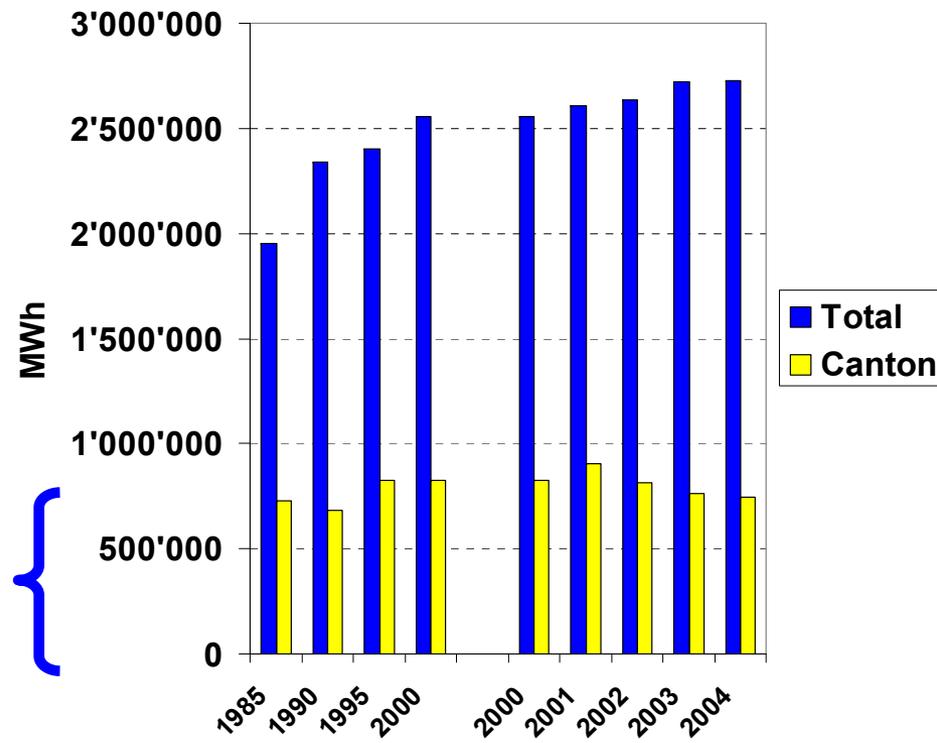
Dissémination: concerto+, conférences, visite,...

ENERGIE à GENEVE



Répartition par agent de la consommation d'énergie finale à Genève

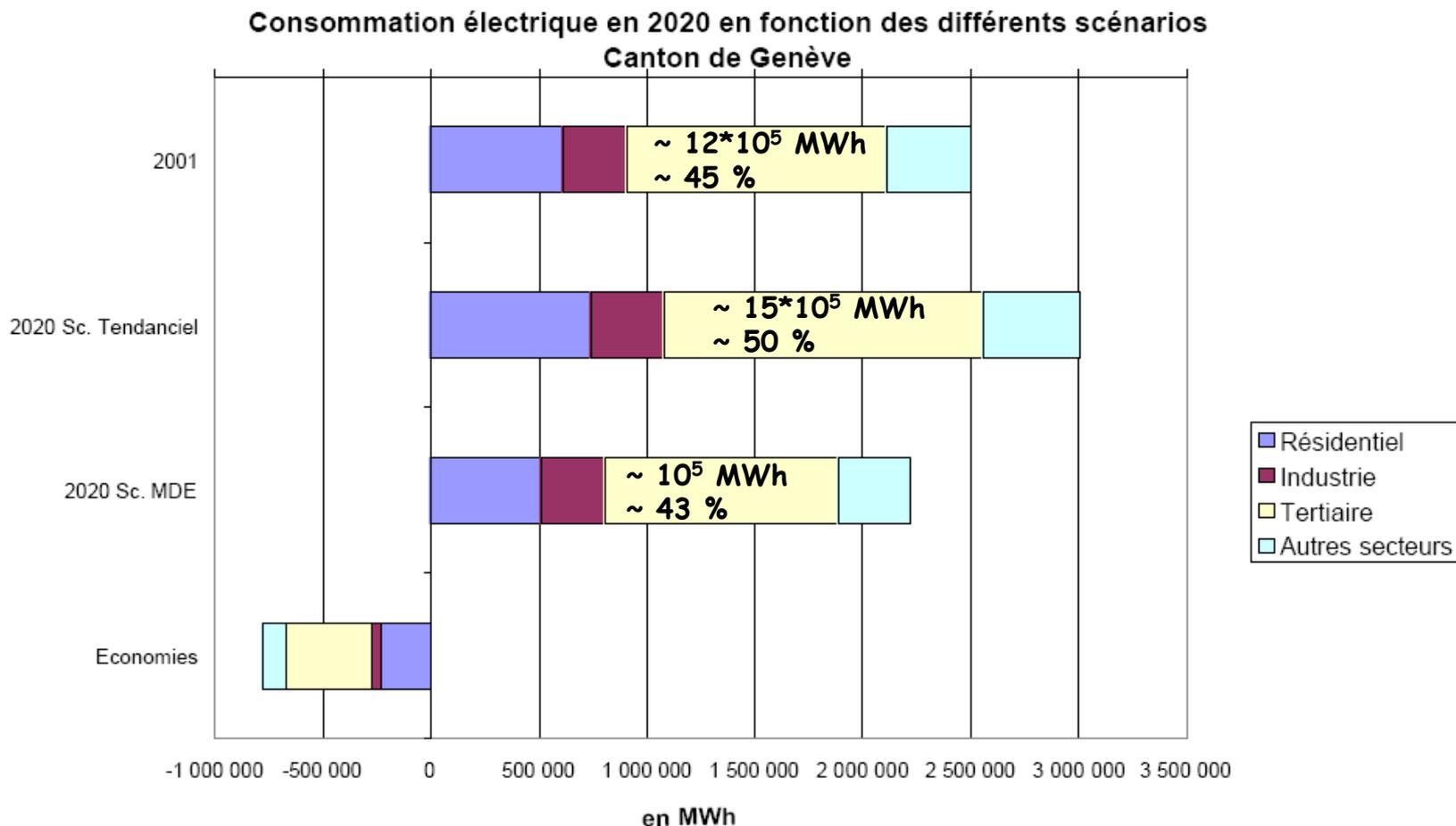
Electricité à Genève, production locale et consommation



Froid « frivole » }

Sources: Office Cantonal de la Statistique, Genève

ELECTRICITE à GENEVE



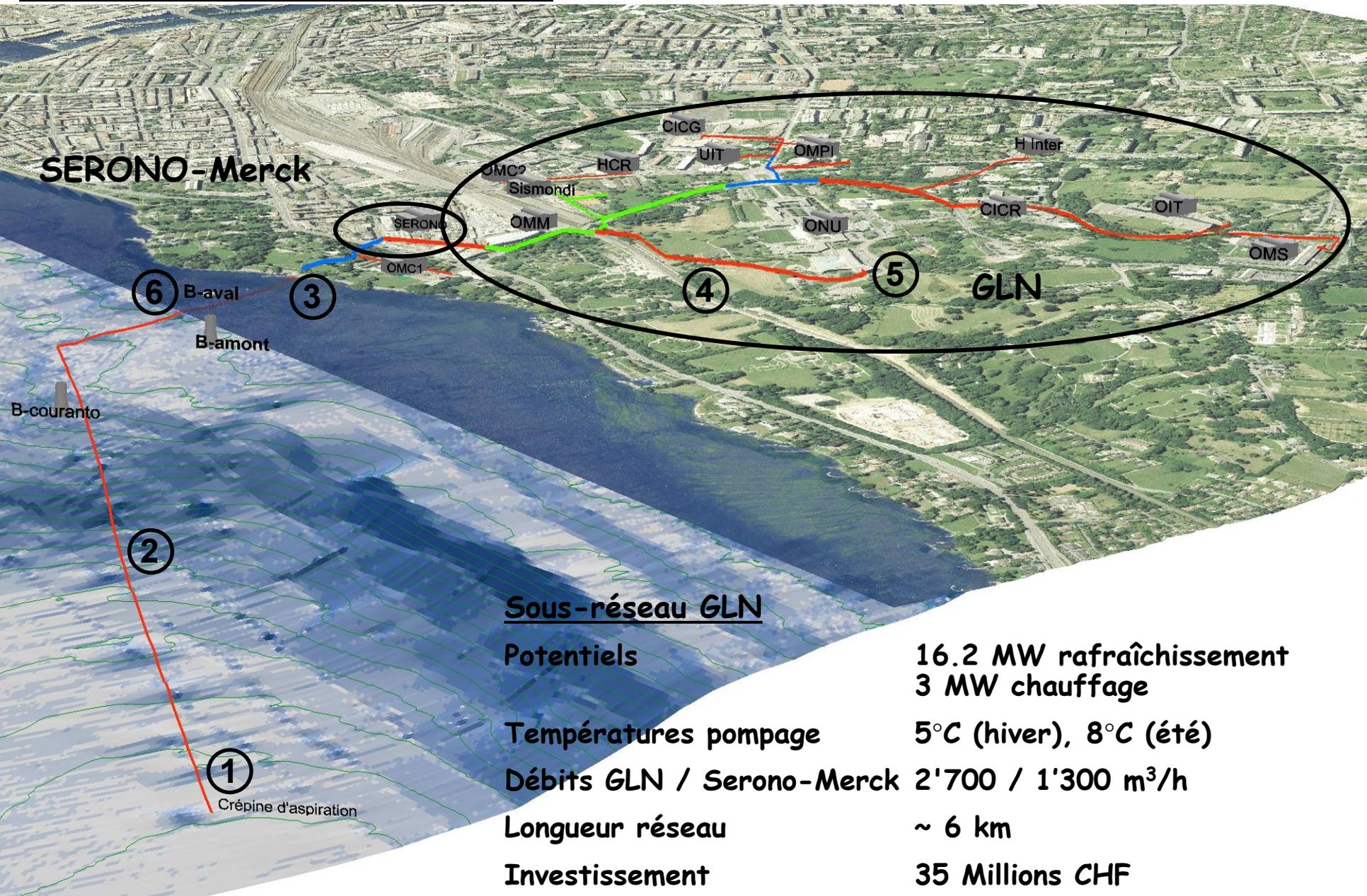
Détente - SIG - res_cons.xls

Source: Le Strat P. (2004). « Analyse de la demande d'électricité du canton de Genève », étude réalisée pour les SIG

ASPECTS ABORDES

- CADRE
- **SYSTÈME ENERGETIQUE**
- CONCEPT de MONITORING:
 - LAC & RESSOURCE
 - BATIMENTS
 - RESEAU
 - QUARTIER
- RESULTATS
- ET LA SUITE...

SYSTEME ENERGETIQUE

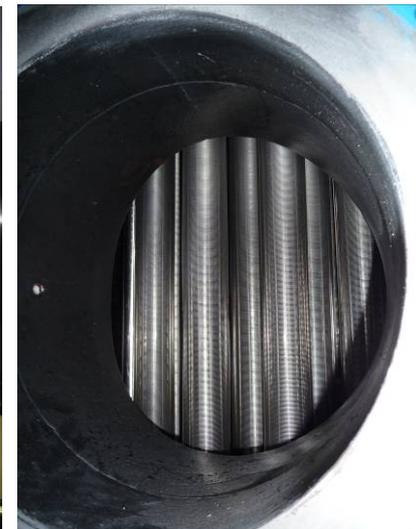


POMPAGE ①

② Réseau « aquatique »



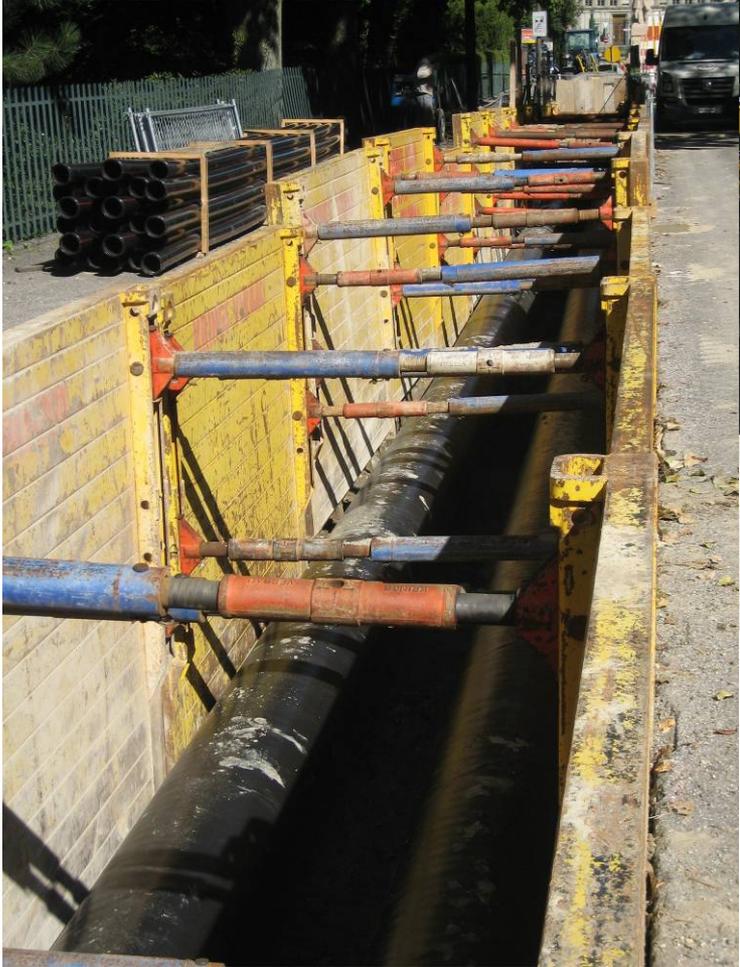
STATION de POMPAGE (3)



RESEAU TERRESTRE (4)



Av. Appia DN500



Av. de France DN700



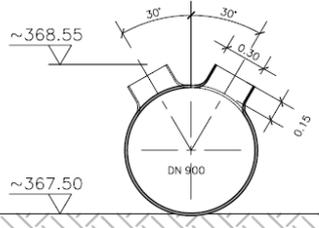
SOUS-STATION(S) (5)





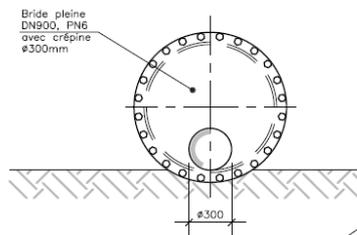
COUPE A - A

Ech. 1/20



COUPE B - B

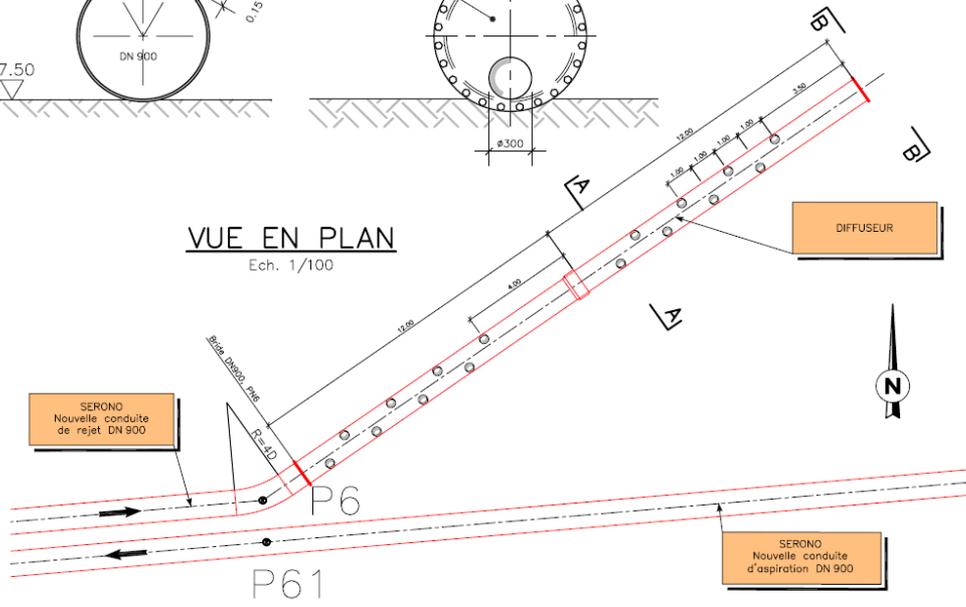
Ech. 1/20



Buses:
Débit max = 120 l/s
Vitesse max = 1.7 m/s

VUE EN PLAN

Ech. 1/100



PRESTATIONS du GLN

Rafraîchissement direct

Via les échangeurs de chaleur

Chauffage de bâtiments neufs

Via des PAC à haute performance

Arrosage

Eau de retour

... et OBJECTIFS

2009 (~30 %)

2 bâtiments

2010 (~ 50 %)

~ 300'000 m²

~ 12'000 MWh

~ 500 MWh

↓ 20 % conso. E_{finale}

↓ 6'900 ToCO₂équ/an

2015 (100%)

~ 900'000 m² (10 existant, 11 eco)

~ 25'000 MWh

1'500 MWh

↓ 30 % conso. E_{finale}

↓ 12'900 ToCO₂équ/an

100 % Electricité certifiée

↓ 75'000 m³/an (arrosage)

ASPECTS ABORDES

- CADRE
- SYSTÈME ENERGETIQUE
- **CONCEPT de MONITORING:**
 - LAC & RESSOURCE
 - BATIMENTS
 - RESEAU
 - QUARTIER
- RESULTATS
- ET LA SUITE...

RETOUR D'EXPERIENCE: QUELQUES OBJECTIFS...

CONNAISSANCES INDUITES

**CONFRONTATION OBJECTIFS -
REALITE**

CONFORMITES ???

DECALAGES ??? POURQUOI ???

5. Généralisation : Léman et/ou plan d'eau

- Inventaire / Projets de rejets thermiques
- Potentiels et limites

**RECOMMANDATIONS &
PROJECTIONS**

CONCEPT de MONITORING (2006-2011)

1/ Niveaux

Europe vs Académique vs Concession

2. Aspects

Energétiques, Environnementaux, Socio-économiques

3. Sous-systèmes

Etat actuel

Suivi annuel (5 ans)

Lac



Réseau hydraulique



Bâtiments existants

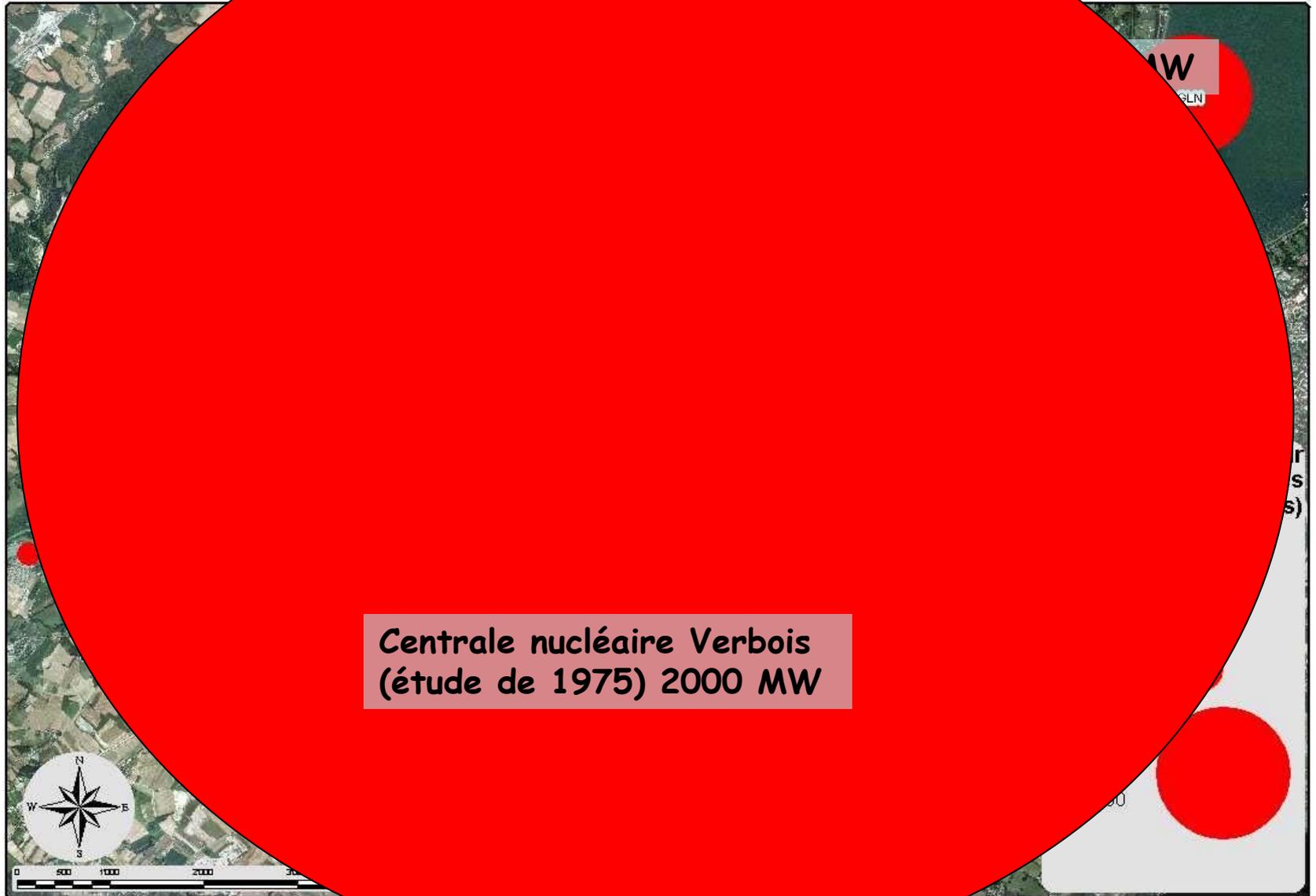


Nouveaux bâtiments



CONCEPT

CONCESSION: PUISSANCE



CONCESSION: DEBIT

Art. 7 al.1 RUESS

« Toute utilisation de l'eau à des fins hydrothermiques d'une capacité égale ou supérieure à 10'000 l/min (600 m³/h ou 0.167 m³/s) est soumise à une concession délivrée par le Conseil d'Etat quelle que soit sa durée. »

[m ³ /s]	Rhône	GLN + Merck-Serono	Rhône urbain	Cheneviers	Concession
étiage (été)	50	1.11 (0.75 GLN)	1.16	2.83	> 0.167
étiage (hiver)	100				
moyen	251				
maximum	550				



Source: Faessler J. (2008). « Evaluation des impacts des rejets thermiques des climatiseurs », projet VIRAGE, Université de Genève

CONCESSION: QUALITE DES EAUX

LEaux (1991), OEaux (1998)

But : protection de l'intégrité de l'habitat aquatique (...) besoins et exigences de la faune et de la flore aquatique

11 Exigences générales

¹ La qualité des eaux (...):

- a. (...) ni se produire de proliférations (...) d'algues (...);*
- b. (...) eaux propices au frai des poissons (...);*
- c. (...) satisfasse (...) aux exigences fixées (...) sur les denrées alimentaires; (...)*
- e. (...) conditions d'hygiène requises pour la baignade soient remplies (...).*

² Les déversements d'eaux à évacuer ne doivent pas entraîner dans les eaux:

- a. (...)formation de boues;*
- b. (...) turbidité, coloration (...);*
- c. (...) altération de l'odeur naturelle de l'eau;*
- d. (...) manque d'oxygène ni altération du pH.*

CONCESSION: QUALITE DES EAUX

LEaux (1991), OEaux (1998)

But : protection de l'intégrité de l'habitat aquatique (...) besoins et exigences de la faune et de la flore aquatique

13 Exigences supplémentaires pour les étendues d'eau

³ Pour les lacs, il faut également que:

a. « (...) l'utilisation de l'eau pour le refroidissement et pour le prélèvement de chaleur n'altèrent pas, dans le plan d'eau,

le régime naturel des températures,

la répartition des nutriments,

Les conditions de vie et de reproduction des organismes, en particulier dans la zone littorale; »

CONCESSION: EXIGENCES DU SUIVI

Systeme hydrothermique (pompage, rejet)

En continu

- Débit
- Température

Mensuel

- Cl₂actif résiduel, pH

Evaluation de l'impact sur le lac

En continu

- Température (proximité du rejet, référence)

Mensuel

- Température (25 et 50 m du rejet)
- Phosphore (pompage, rejet)

Annuel

- Macrophytes, macrofaune benthique (proximité du rejet, référence)

ASPECTS ABORDES

- CADRE
- SYSTÈME ENERGETIQUE
- CONCEPT de MONITORING:
 - LAC & RESSOURCE
 - BATIMENTS
 - RESEAU
 - QUARTIER
- RESULTATS
- ET LA SUITE...

LAC: MESURES PERMANENTES/MENSUELLES/PONCTUELLES

Température

- Pompage (10, 15, 20, 25, 30 et 35 m), rejet, lac (surface, 0.5, 1, 2, 3, 3.5, 4 et 4.5 m, référence et zone du rejet)
- Dispersion thermique: maillage / cercles autour du rejet au rejet

Courant

- Benne et zone de rejet + modélisation

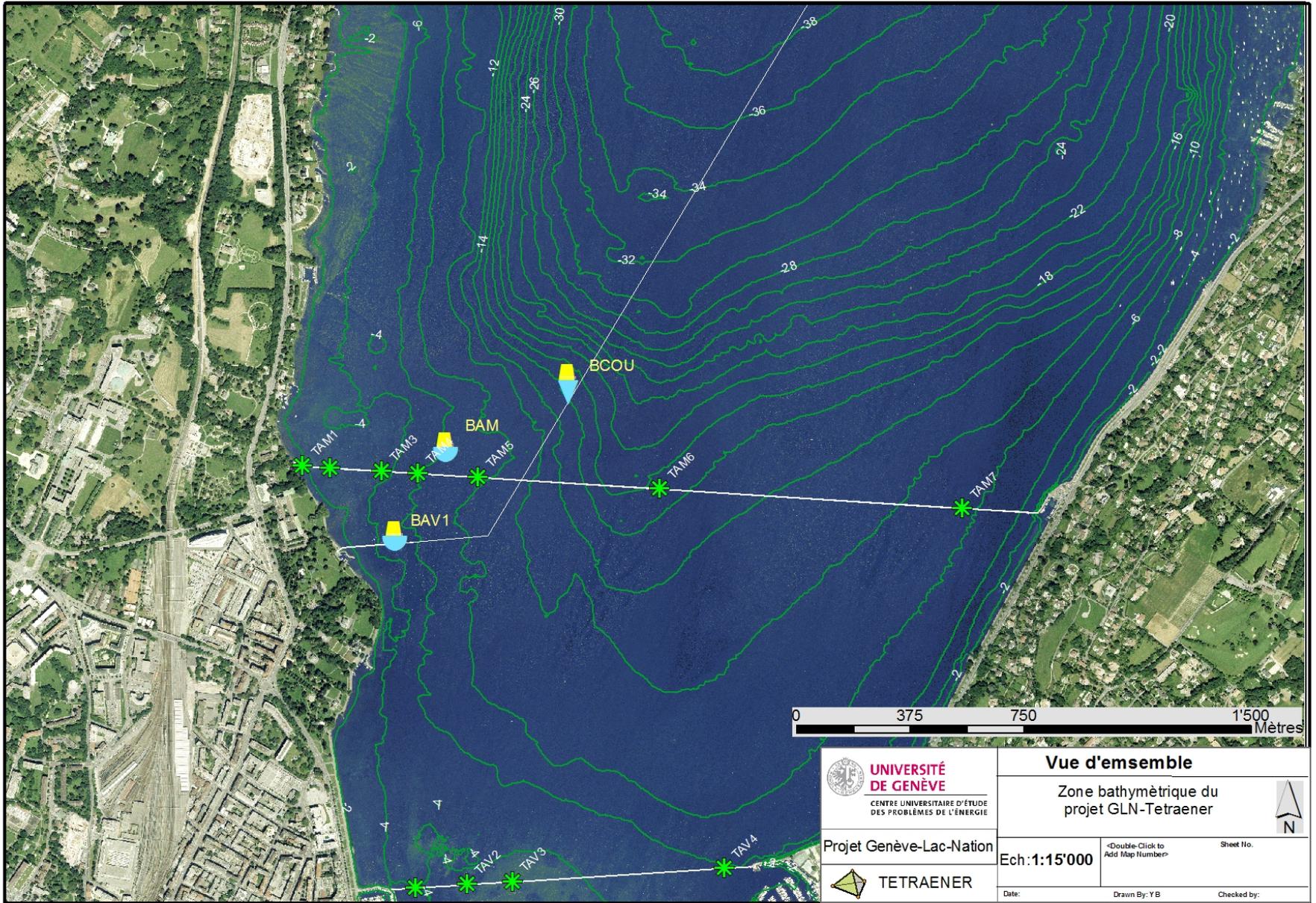
Chimiques

- Phosphore, chlore, pH

Physiques

- *Température, turbidité, transparence, courant de surface*

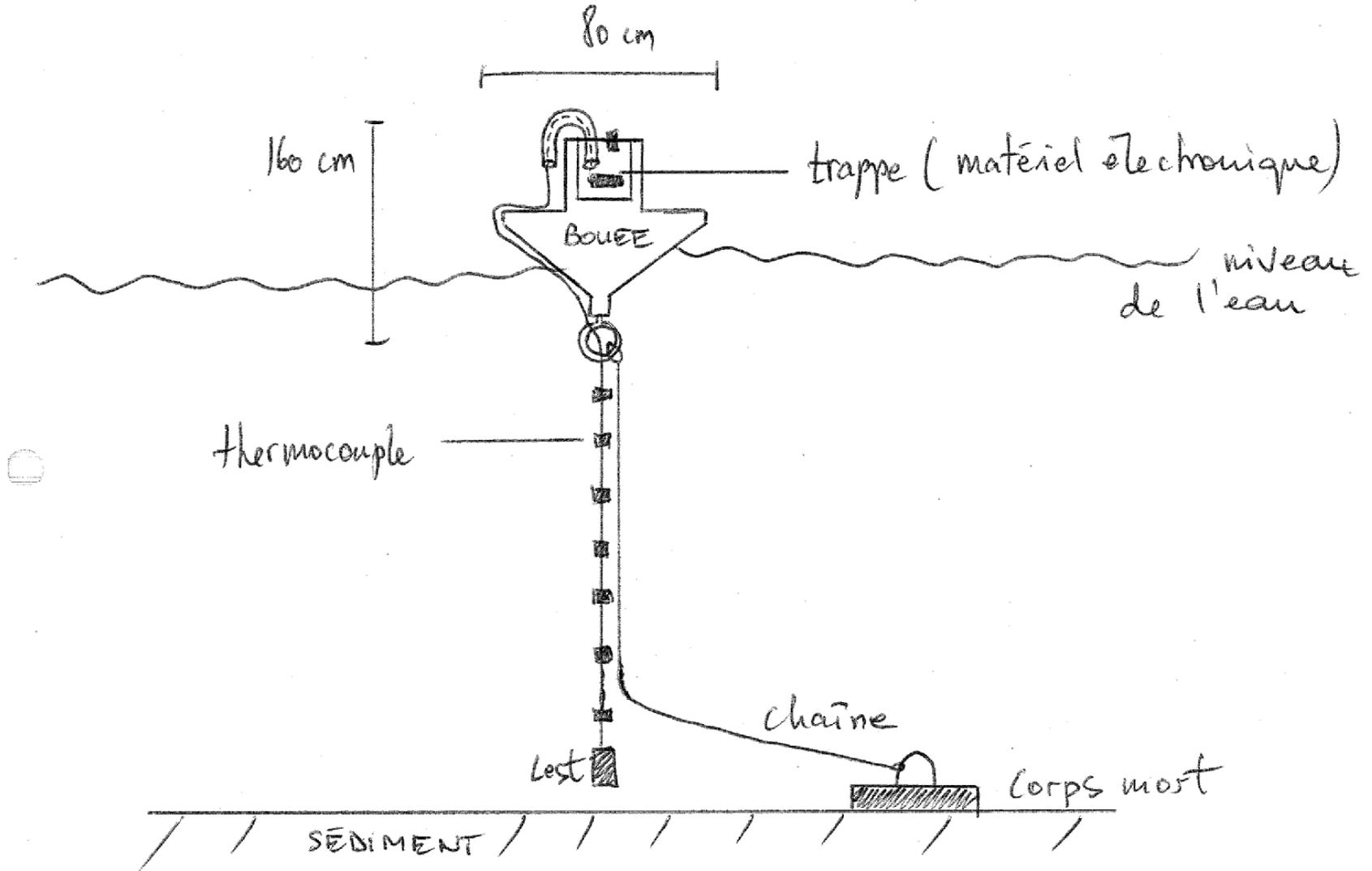
EMPLACEMENTS



INSTALLATIONS PERMANENTES



BOUEES



ASPECTS ABORDES

- CADRE
- SYSTÈME ENERGETIQUE
- CONCEPT de MONITORING:
 - LAC & RESSOURCE
 - **BATIMENTS**
 - RESEAU
 - QUARTIER
- RESULTATS
- ET LA SUITE...

BATIMENT - CONNECTABILITE

Ressource énergétique

Utilisation d'une *ressource renouvelable* : $T_{lac} > 6^{\circ}\text{C}$, variable

Transformation énergétique & prestation

- 1/ *Système innovant* : absence de méthode d'audit « connectabilité » spécifique (rafraîchissement)
- 2/ Détermination du *profil de charge de froid* et du pic de charge réels (réalité vs. Puissance installée)
- 3/ *Débit de distribution limité* (concession)
- 4/ *Système non-dédié* : difficultés provenant de conflits d'intérêts entre acteurs (niveaux variables de compréhension du système)
- 5/ *Modèle de tarification* (énergie vs volume)

 *Optimisation du système*

ESCO
orientée
« système »



Bâtiment
orientée
« prestation »

BATIMENT - OUTIL « CONNECTABILITE »

Résultats: Bilan de l'utilisation du lac pour la climatisation des bâtiments

Cette feuille propose le bilan énergétique et économique de l'utilisation du lac pour la climatisation des bâtiments connectés à GLN.

Demande puissance froid

Q froid	1702 MWh/an	Energie de froid totale sur l'année
Fonct. P variable	2716 heures/an	Temps de fonctionnement au dessus de P fixe
Equiv. P nominale	896 heures/an	Temps de fonctionnement équivalent à P nominale

Lac

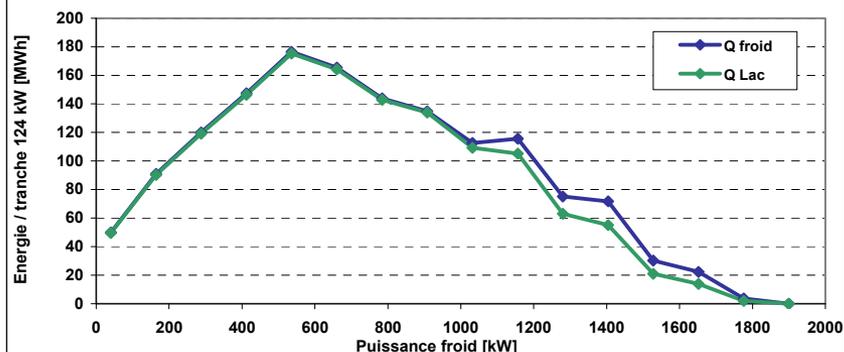
Q lac	1632 MWh/an	Energie de froid issue du lac
% lac	96%	Taux de couverture des besoins du bâtiment en froid par le lac
V lac	284 10 ³ m ³ /an	Volume d'eau du lac nécessaire
% Débit souscrit	29%	Débit moyen utilisé par rapport au débit souscrit (au dessus de P fixe)
Equiv. P souscrite	859 heures/an	Temps de fonctionnement équivalent à P souscrite

Coûts indicatifs du froid GLN

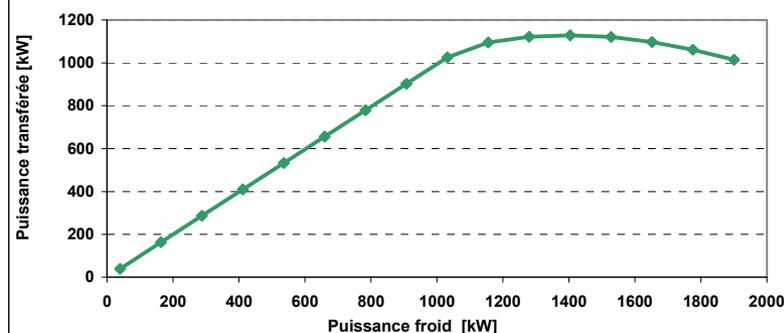
Coût total	227'912 CHF/an	Coût total pour la fourniture de l'énergie du lac
dont :	76'000 CHF/an	Coût de l'abonnement (part fixe)
	151'912 CHF/an	Coût de la consommation d'énergie GLN (part variable)
Coût/kWh	14.0 ct/kWh	Coût du kWh fourni par le lac
dont :	4.7 ct/kWh	Part fixe par kWh
	9.3 ct/kWh	Part variable par kWh

en considérant un abonnement à 40 CHF/kW
avec un prix de base de l'énergie de 10.5 ct/kWh
dégressif de -0.5 ct/kWh/K
au dessus d'une température de retour de 14 °C

Energie de froid nécessaire et fourniture par le lac



Energie tirée du lac



ASPECTS ABORDES

- CADRE
- SYSTÈME ENERGETIQUE
- CONCEPT de MONITORING:
 - LAC & RESSOURCE
 - BATIMENTS
 - RESEAU
 - QUARTIER
- RESULTATS
- ET LA SUITE...

RESEAU: MESURES PERMANENTES

OBJECTIFS *Retour d'expérience*

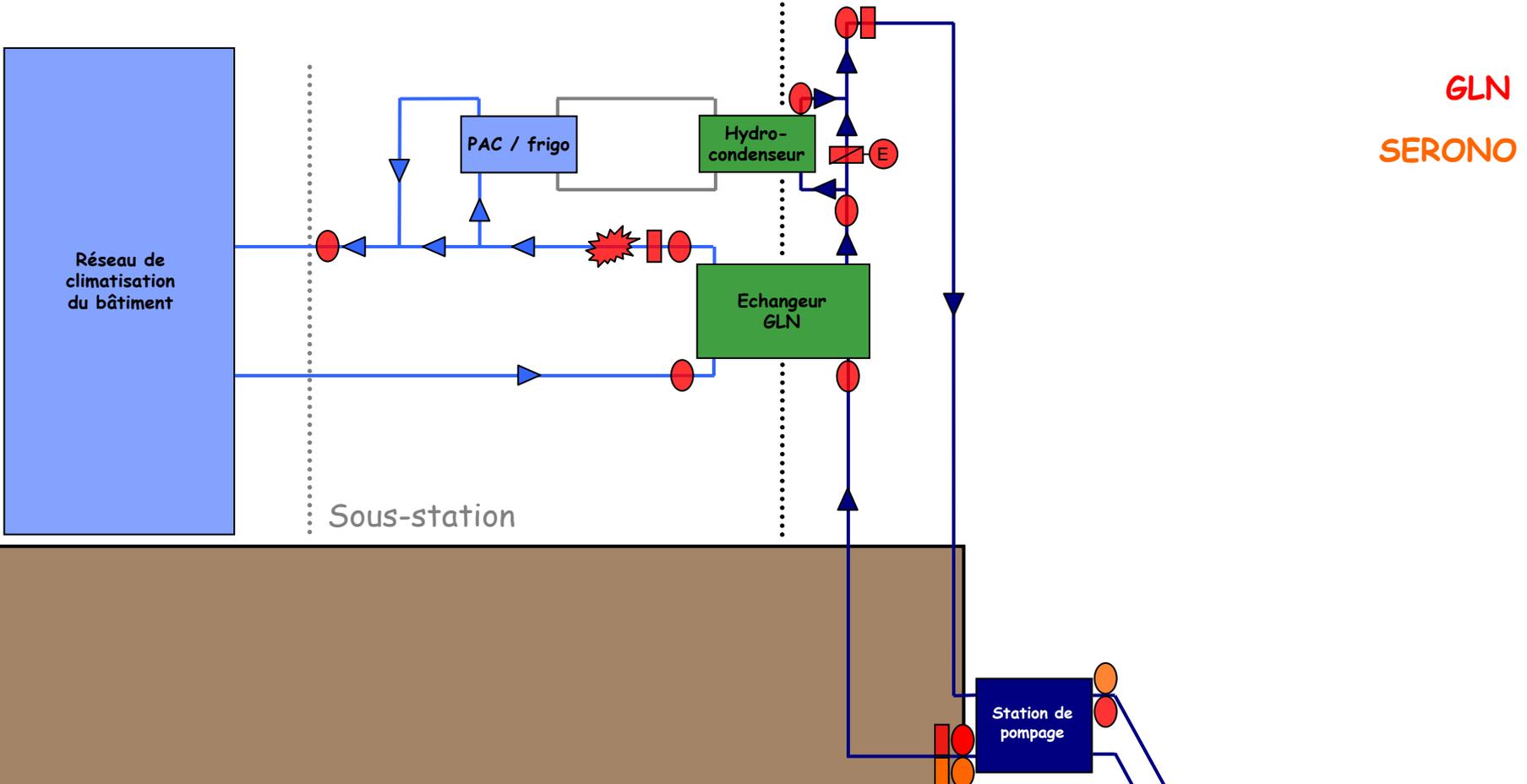
- Etude du système (global), aspects déterminants, points durs, ...
- Connectabilité & implémentation (installations, opérations)
- Performances (efficacité, benchmarking)
- Potentialités, limites

Température, Débit, Energie, Régulation

- Lac
- Réseau côté lac / Réseau côté bâtiment
- Distribution bâtiment
- Transferts thermiques réseau-sol

RESEAU BATIMENT

RESEAU LAC



GLN

SERONO

⊠(E) Vanne (état)

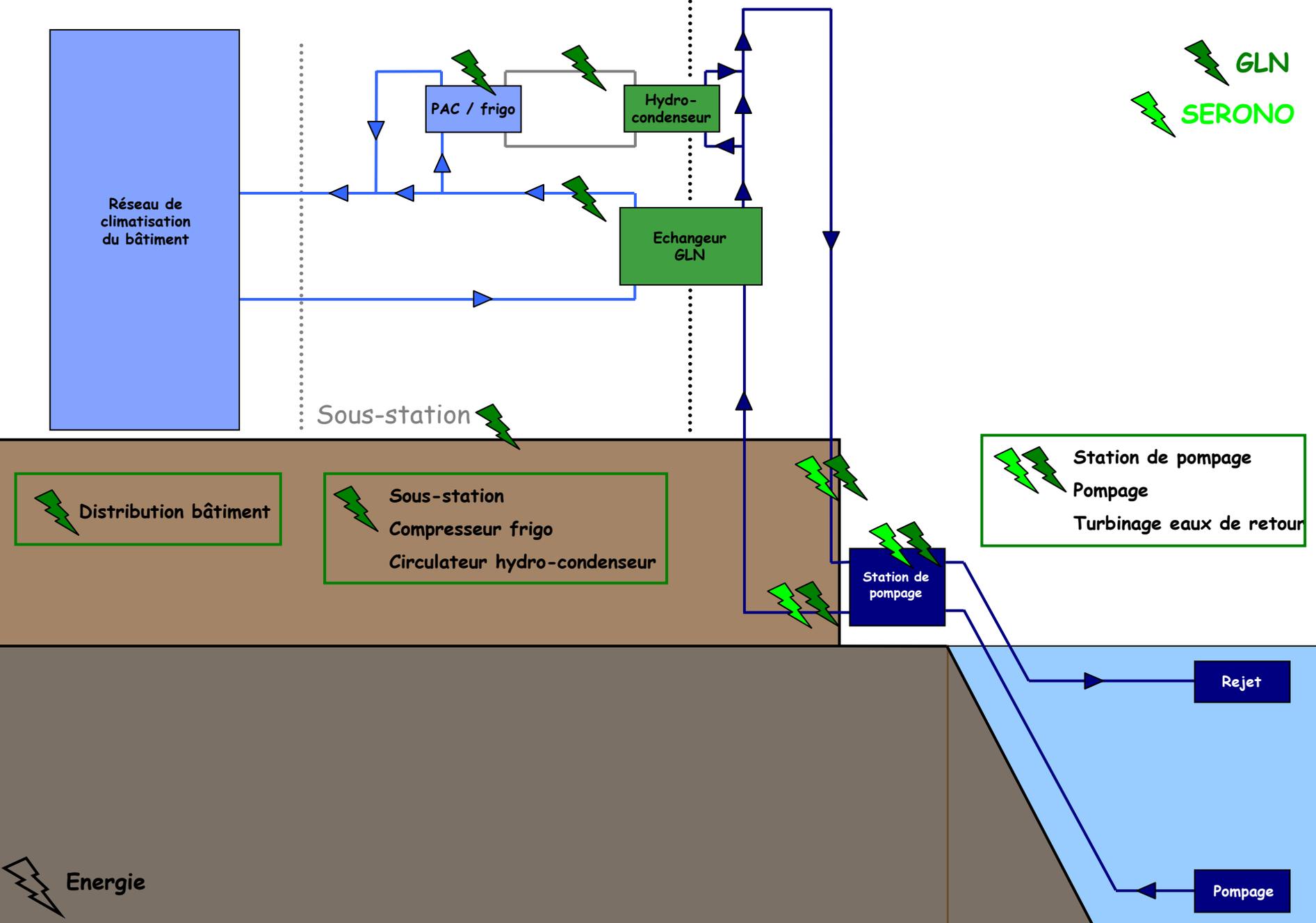
☀ Chaleur

□ Débit

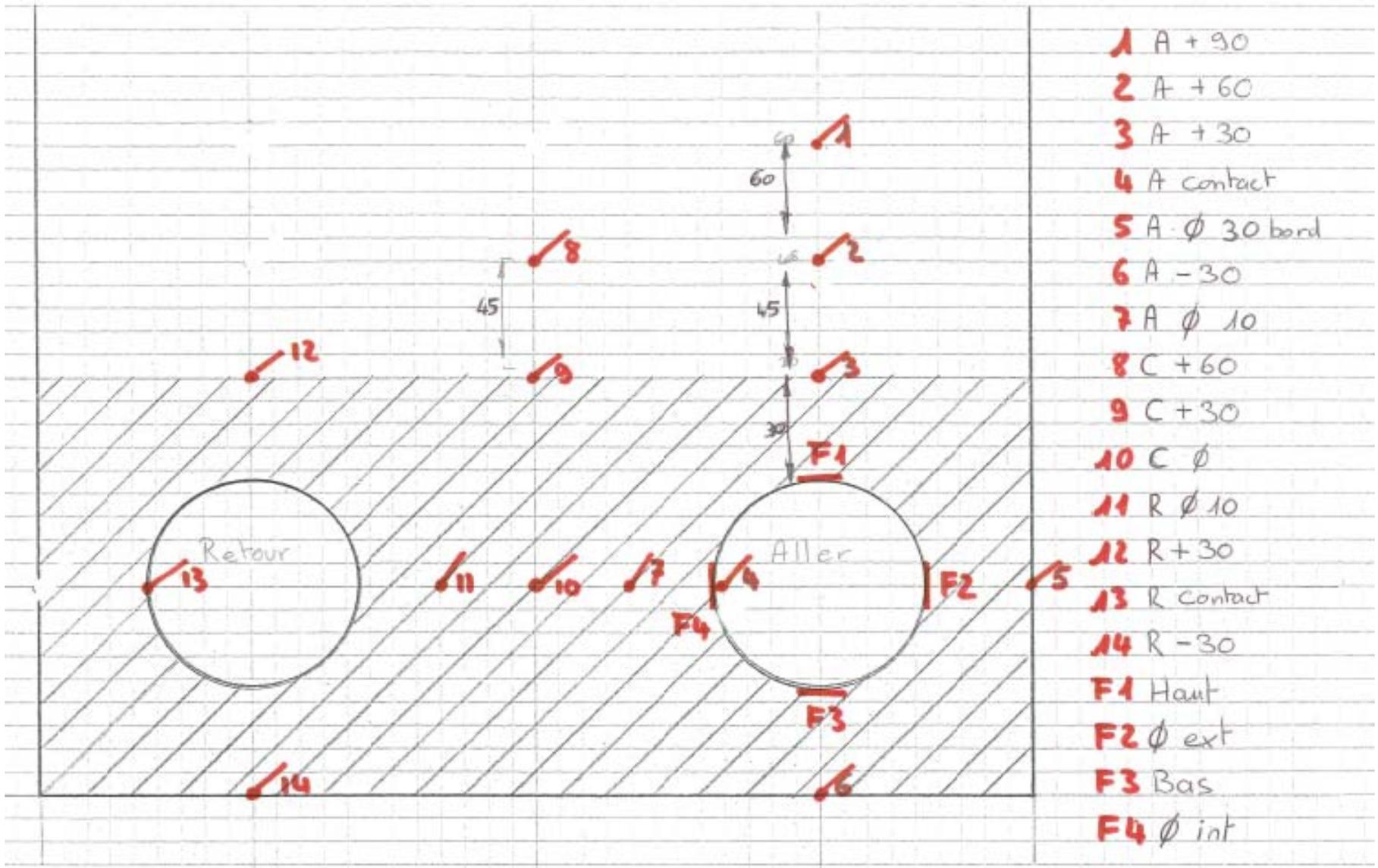
○ Température

RESEAU BATIMENT

RESEAU LAC



ECHANGES THERMIQUES SOL-RESEAU



- 1 A + 90
- 2 A + 60
- 3 A + 30
- 4 A contact
- 5 A · ϕ 30 bord
- 6 A - 30
- 7 A ϕ 10
- 8 C + 60
- 9 C + 30
- 10 C ϕ
- 11 R ϕ 10
- 12 R + 30
- 13 R contact
- 14 R - 30
- F1 Haut
- F2 ϕ ext
- F3 Bas
- F4 ϕ int

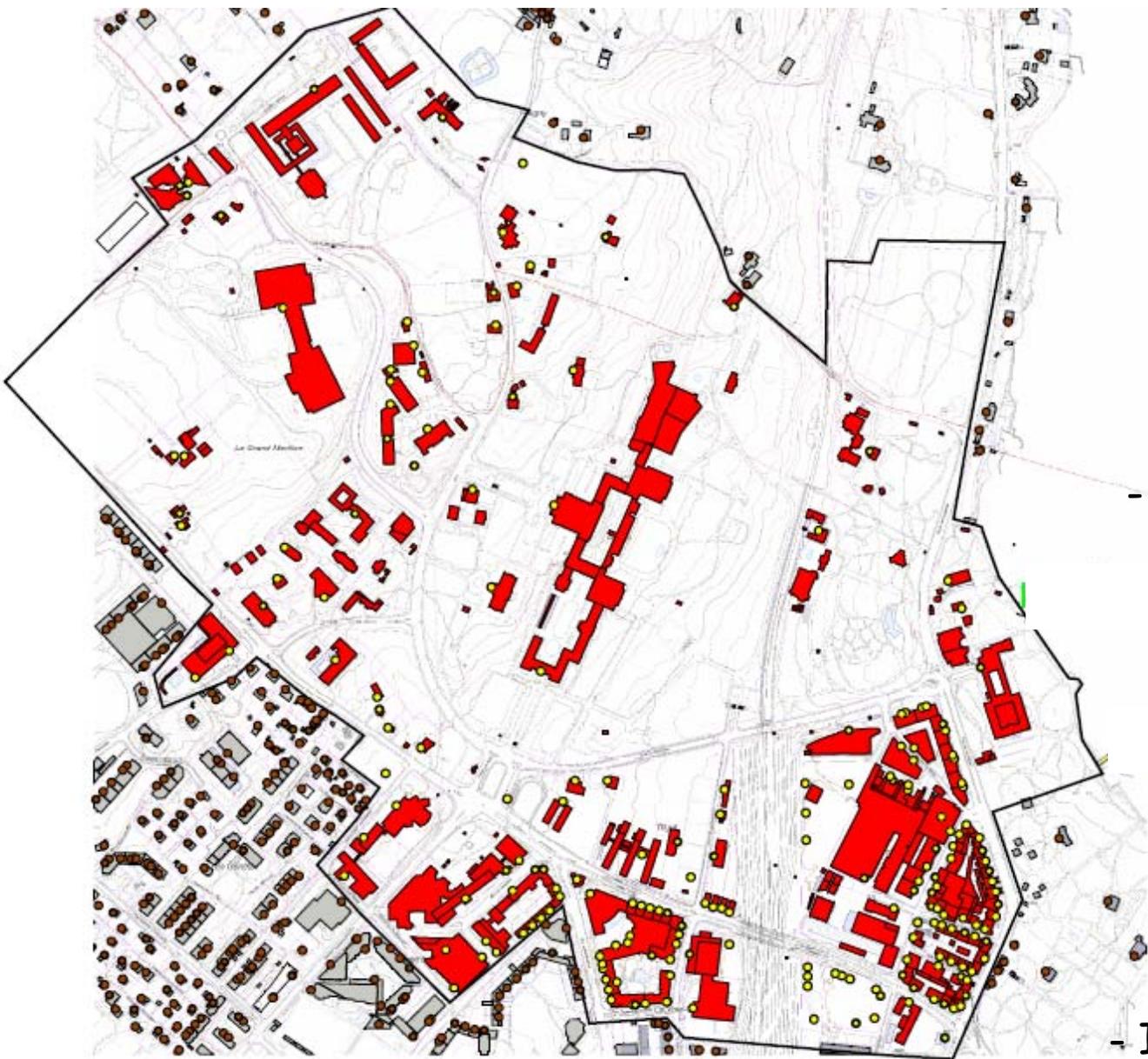
ECHANGES THERMIQUES SOL-RESEAU



ASPECTS ABORDES

- CADRE
- SYSTÈME ENERGETIQUE
- CONCEPT de MONITORING:
 - LAC & RESSOURCE
 - BATIMENTS
 - RESEAU
 - QUARTIER
- RESULTATS
- ET LA SUITE...

QUARTIER SECHERON-NATIONS



Bilans de consommation

- Catégories d'usage
- Electricité, Gaz, Eau
- Fct. surface, utilisateurs

Catégories

- Evolution (5 ans)
- Evolution du quartier
- Efficience du système
- Indicateurs (CO_2 , NO_x , ...)

ASPECTS ABORDES

- CADRE
- SYSTÈME ENERGETIQUE
- CONCEPT de MONITORING:
 - LAC & RESSOURCE
 - BATIMENTS
 - RESEAU
 - QUARTIER
- RESULTATS
- ET LA SUITE...

ENERGIE RENOUVELABLE - SYSTÈME COMPLEXE ?

Caractéristiques naturelles

Météo

Dynamiques saisonnières
(débit, températures, ...)

Usages/valeurs

Loisirs

Voie de communication

Ressource matière/énergétique

Valeurs paysagère/patrimoine

Ecosystème

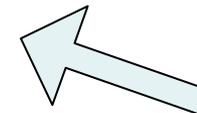
Régulation

Législation (LEaux)

Taxes (éco.)

Concessions (adm.)

Ressource naturelle
Rivière, lac, aquifère



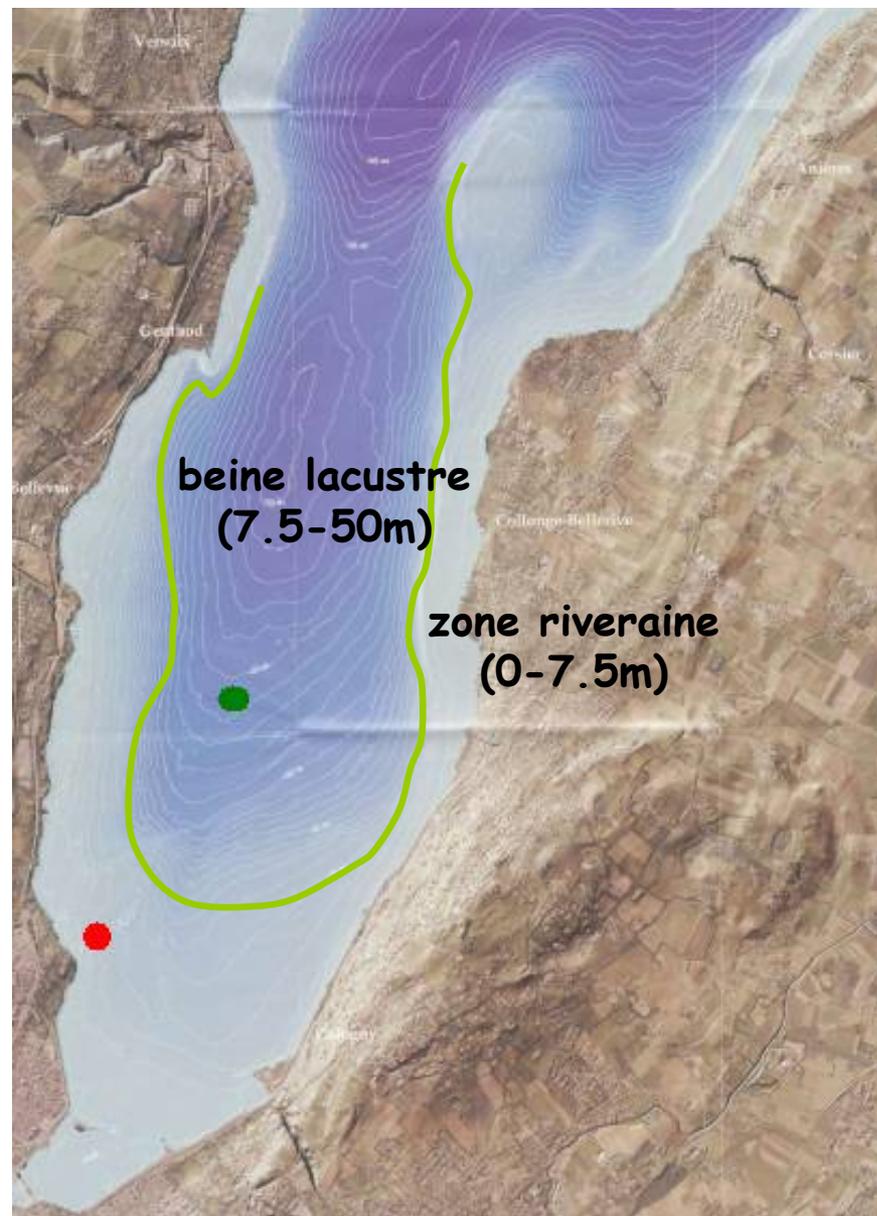
Acteurs multiples

Intérêts divergents

Compréhension du système

Bâtiments

SYSTEME GLN, PARTIE LACUSTRE



Pompage GLN (vert)

Longueur aquatique: env. 2'600 m

- 2'061 m, $\varnothing = 1'600$ mm, acier

- 517 m, $\varnothing = 900$ mm, fibre

Profondeur: 37 m (beine lacustre)

Rejet (rouge)

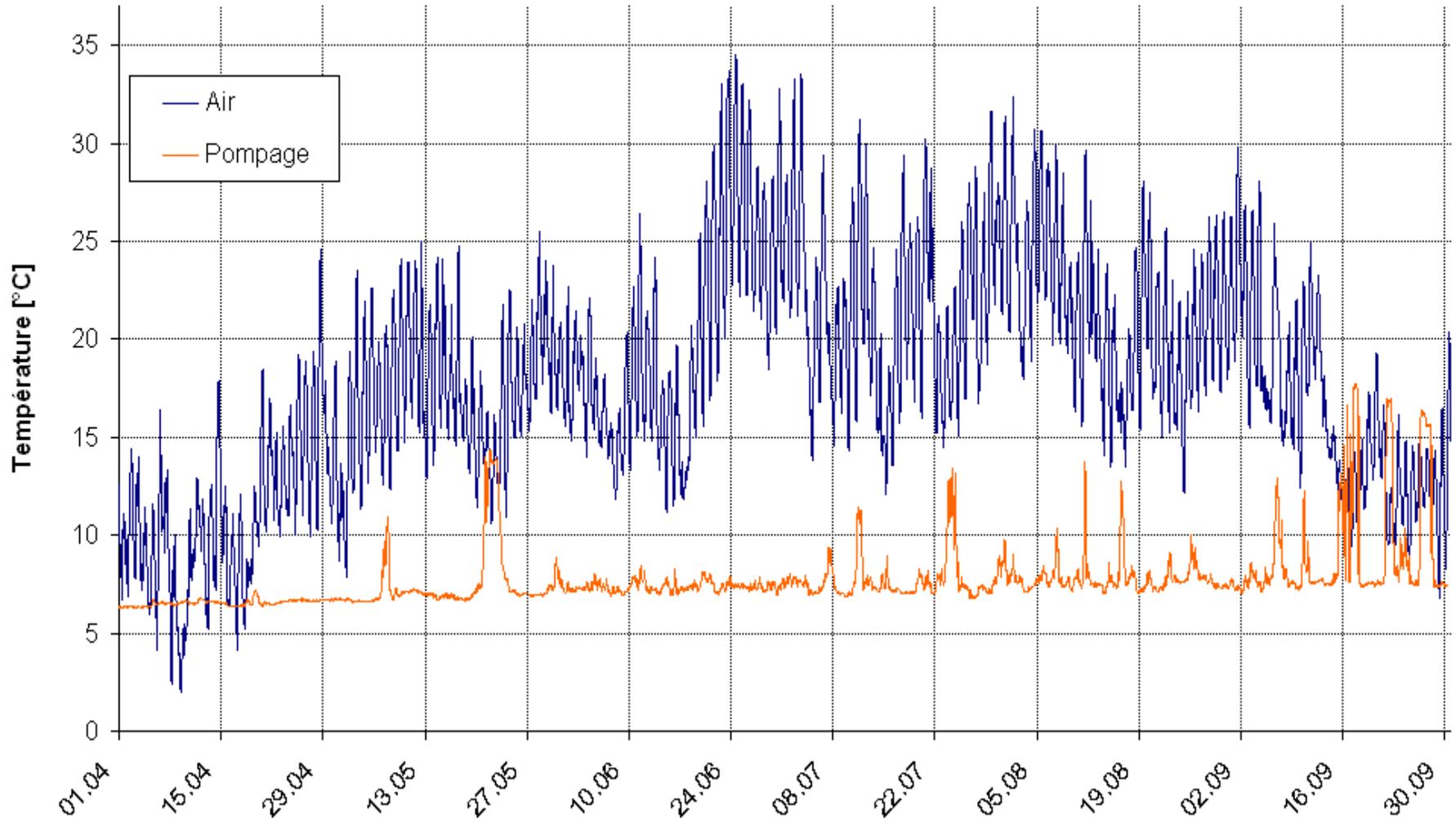
Longueur aquatique: env. 150 m
de la rive droite

$\varnothing = 900$ mm, fibre

Profondeur: 4.5 m (zone
riveraine)

TEMPÉRATURES: RESSOURCE & AIR

Températures de l'air et au pompage GLN du 1^{er} avril au 29 septembre 2008, données horaires



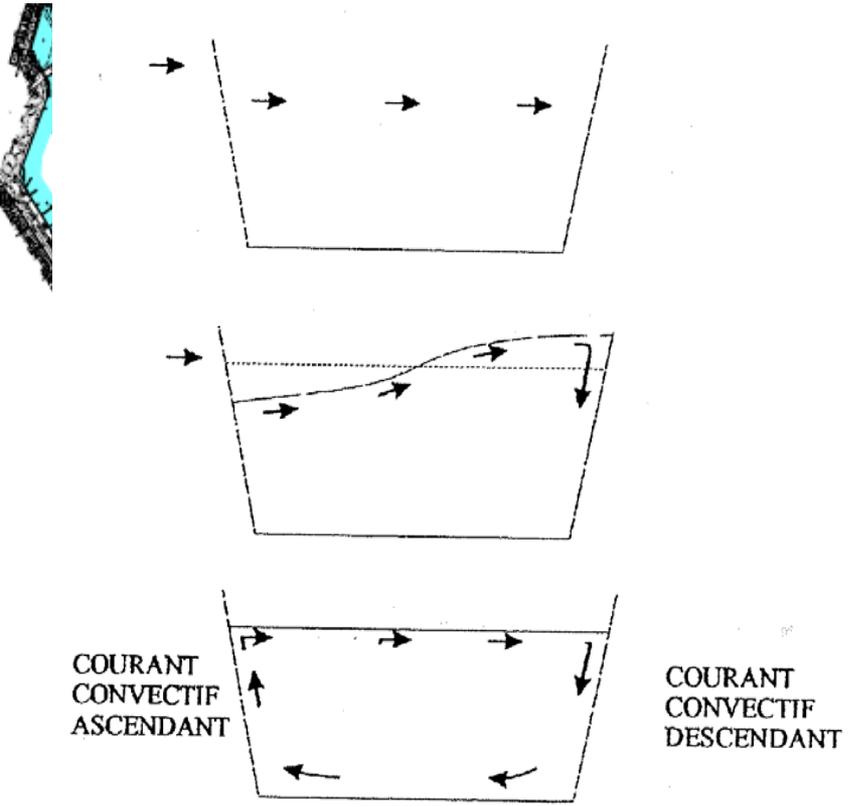
STABILITE de la RESSOURCE THERMIQUE

Lorsque $T_{\text{Ressource}} > 9 \text{ }^\circ\text{C}...$

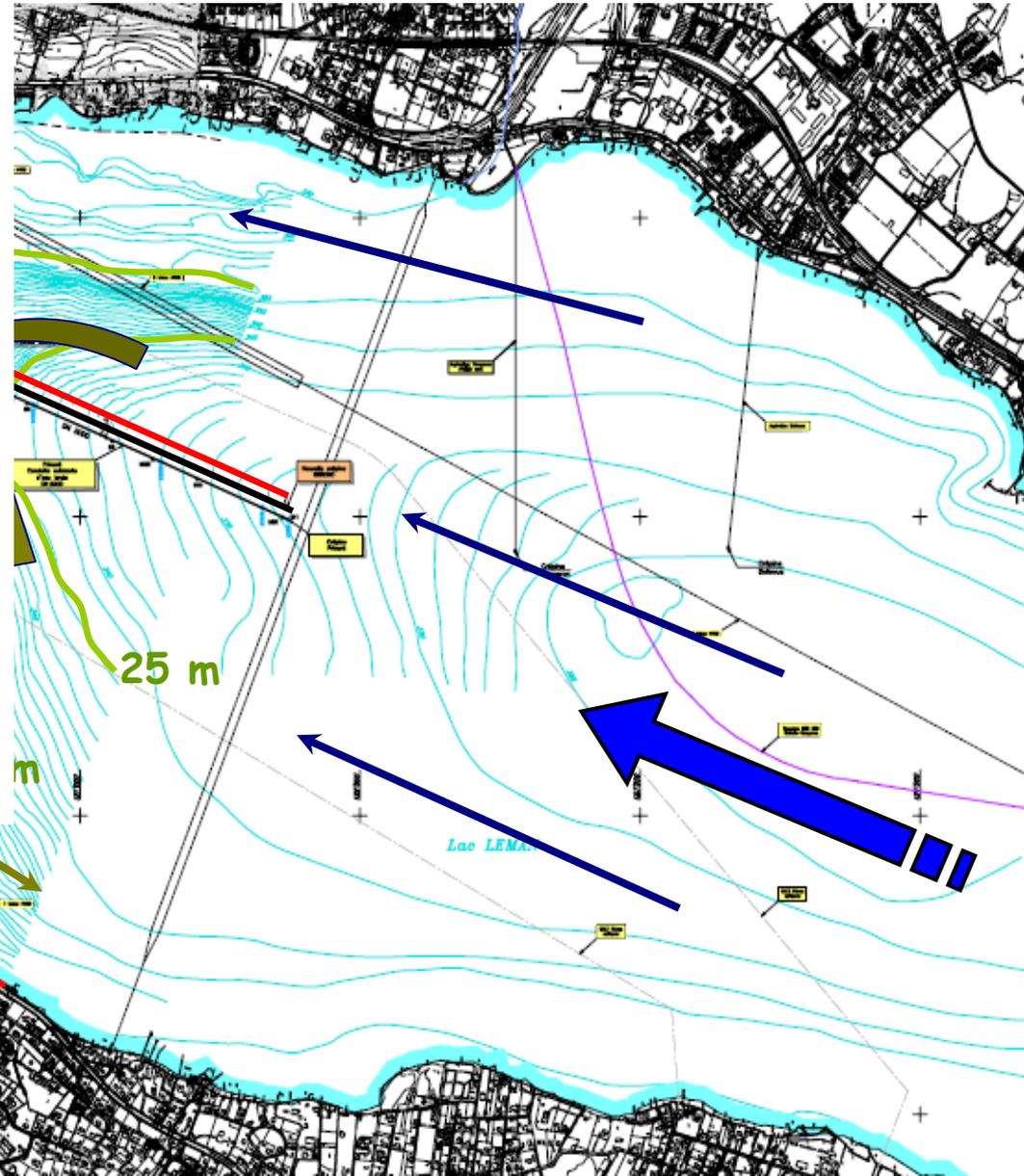
	Tendance météorologique	Nbre évé.	Nbre évé. > 10 h (saison de clim.)	Nbre évé. > 10 h (juin, juillet, août)
2006	stable, relativement chaud	18	5	2
2007	instable, relativement froid	39	20	15
2008	Cas intermédiaire	26	10	4

$T_{\text{Ressource}} = 9 \text{ }^\circ\text{C}$

COURANT: FORCAGE par le VENT (1^{er} PHENOMENE)



Lemmin, 1995



*Pendant un événement de « Bise »...
(froid, Nord-Est)*

COURANT: SEICHE INTERNE (2^{ème} PHENOMENE)

Après un événement de « Bise »...



Genève

t0

t1

t2

t3

t4

7.5 m

15 m

37 m

Profondeur de la thermocline

15 m

18 m

22 m

27 m

37 m

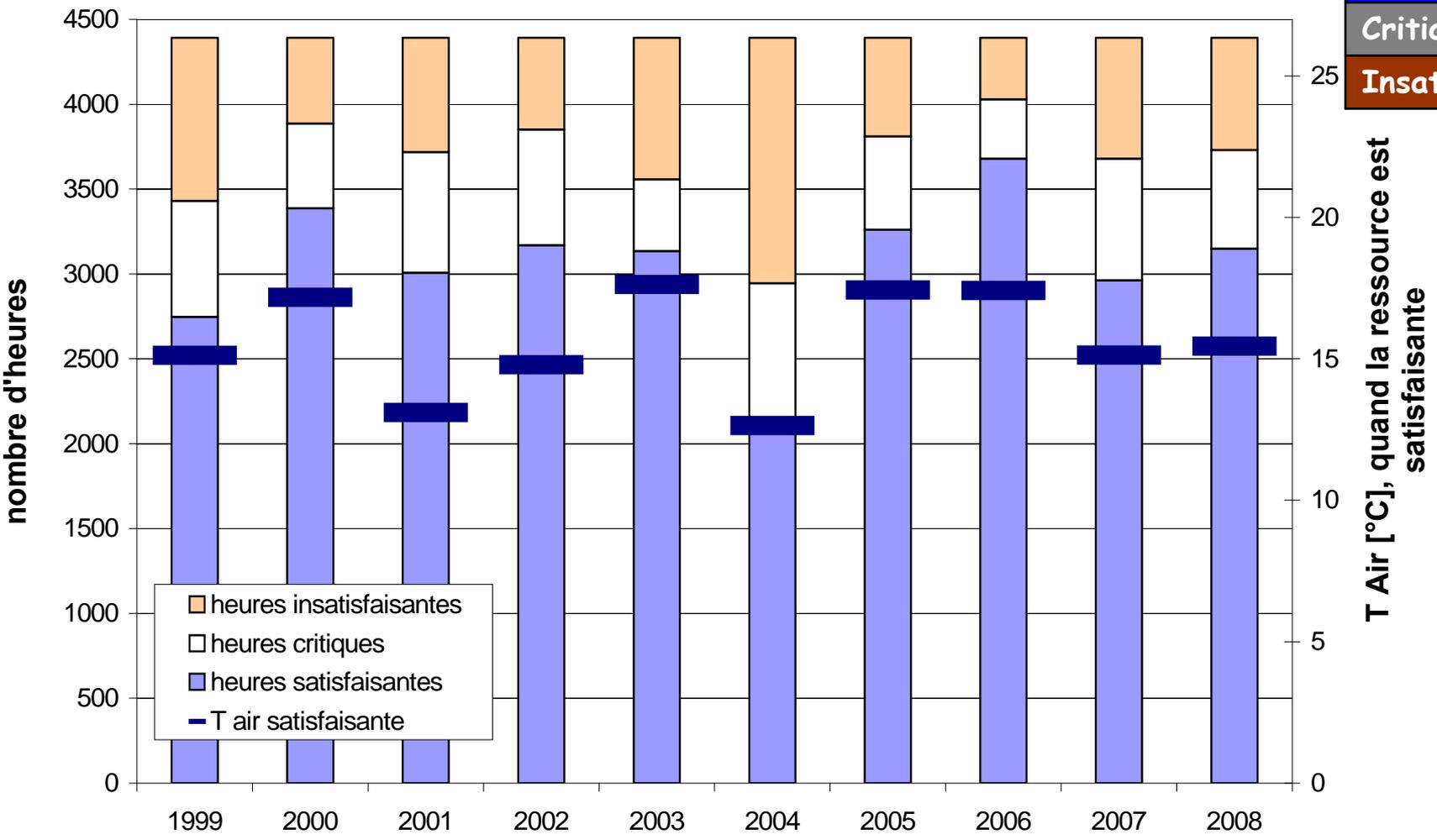
Pompage GLN

TEMPERATURE_{RESSOURCE} VS TEMPERATURE_{AIR}

T_{AIR}
correspondant
aux heures
durant
lesquelles la
ressource est:

Satisfaisante
Critique
Insatisfaisante

Cumul des heures de ressource thermique,
1^{er} avril- 1^{er} octobre, Prieuré



EFFETS DU REJET & IMPACTS

A. MESURE ET ANALYSE

1. Etat de référence

- Dynamique naturelle ?
 - tendances saisonnières
 - changements brusques

2. Effets mesurés

- Perceptibles ?
- Dynamique lacustre ou effet du système ?
- Proportionnalités ?

3. Cas typiques

- Printemps \neq Eté (période chaude) \neq Fin été-automne (transition)

B. INTERPRETATION^(s) ET DISCUSSION

(S)

1. Impact

- Ordre(s) de grandeur ?
- Positif, Négatif ?
- Biologique: espèces, nombre d'individus, durée, ... ?
- Courantologie / régimes naturels / sédimentologie ?

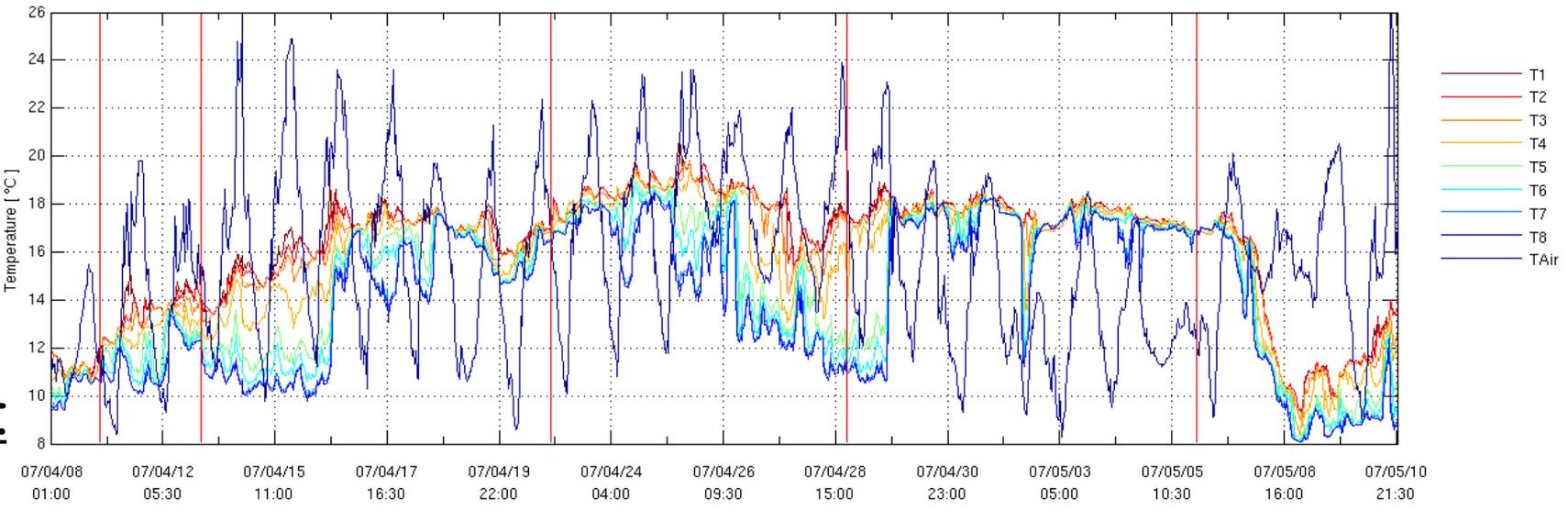
2. Discussions / Questions

- Acceptable ? Pour qui ?
- Seuil(s); Extrapolation / Généralisation ?
- Caractérisation du type d'étendue d'eau ?
- Enjeux énergétiques vs écologie ? Pesée des intérêts; subjectivités; intérêt(s) du plus grand nombre ?
- Législation(s) adéquate(s) ?

ETAT de REFERENCE: T_{AIR}

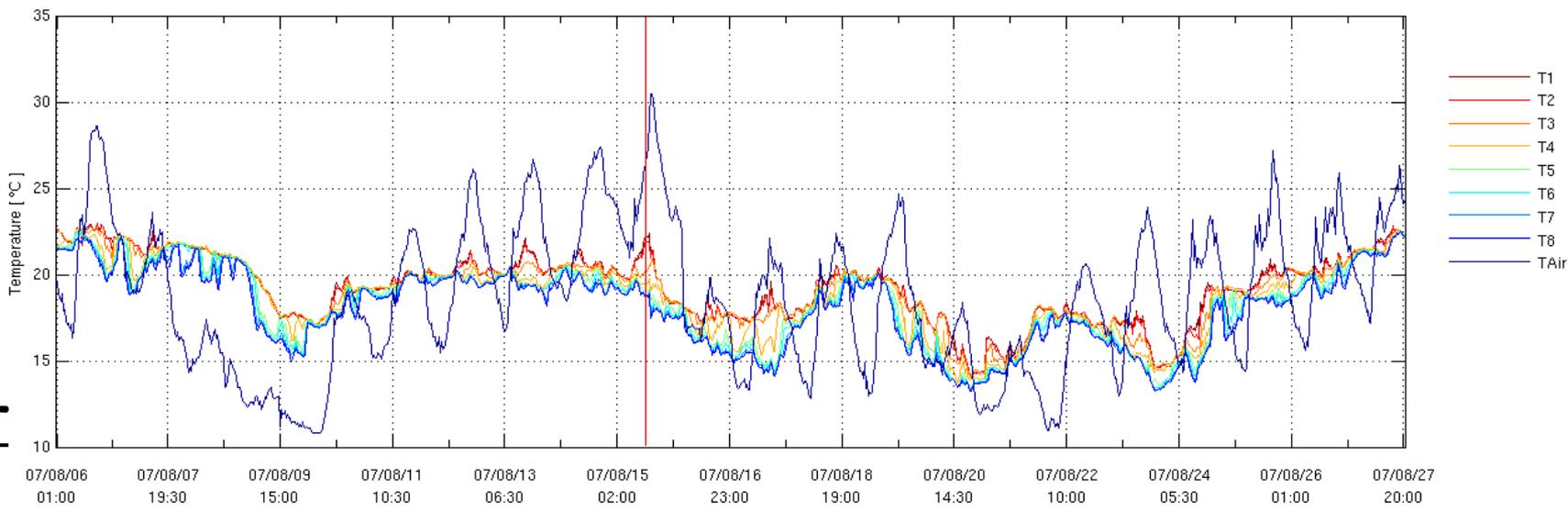
Buoy Upstream (bam): Water Temperatures Compared with Air Temperatures from 2007/05/11 to 2007/04/07

MAI



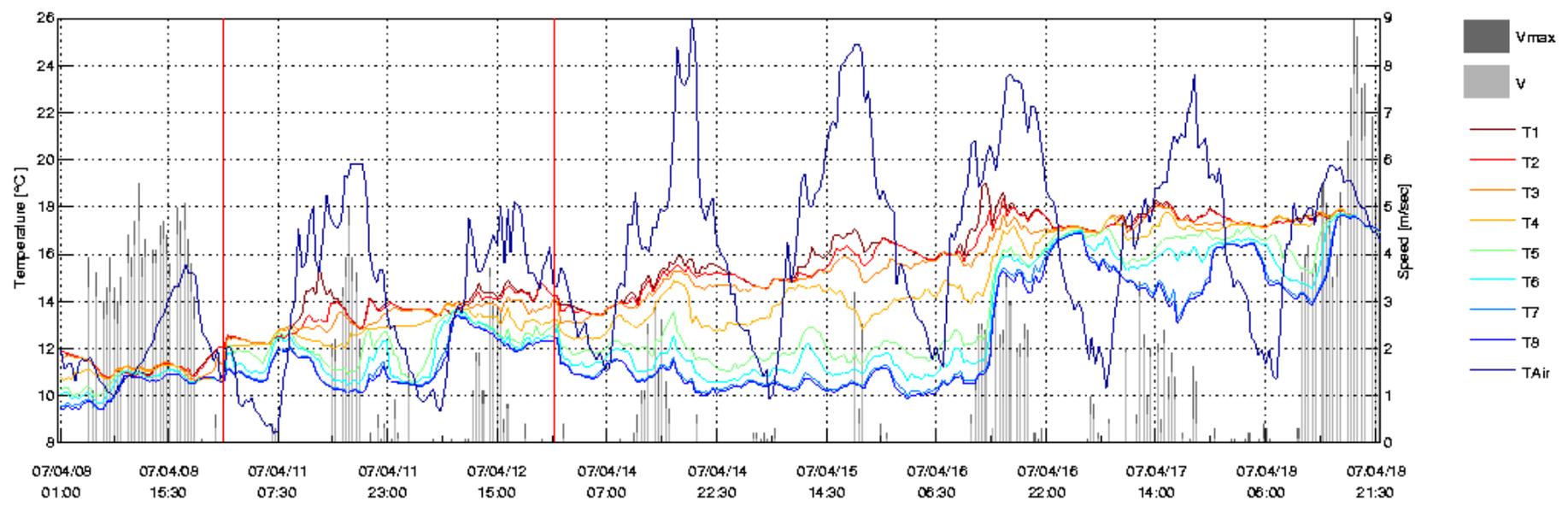
Buoy Upstream (bam): Water Temperatures Compared with Air Temperatures from 2007/08/28 to 2007/08/06

AOUT



ETAT de REFERENCE: VENT

Buoy Uptream (bam): Water and Air Temperatures Compared with Wind Speeds from 2007/04/19 to 2007/04/08

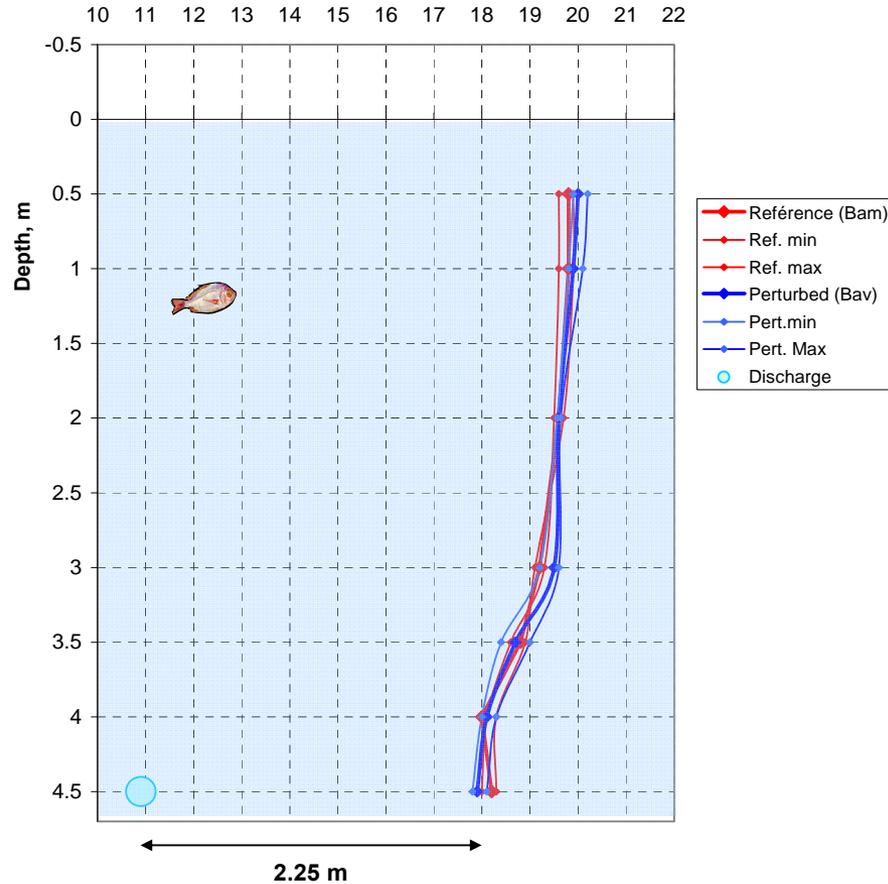


THERMIQUE de la ZONE du REJET

Référence (non-perturbé)

18 - 08 - 2007, 17h45-18h00

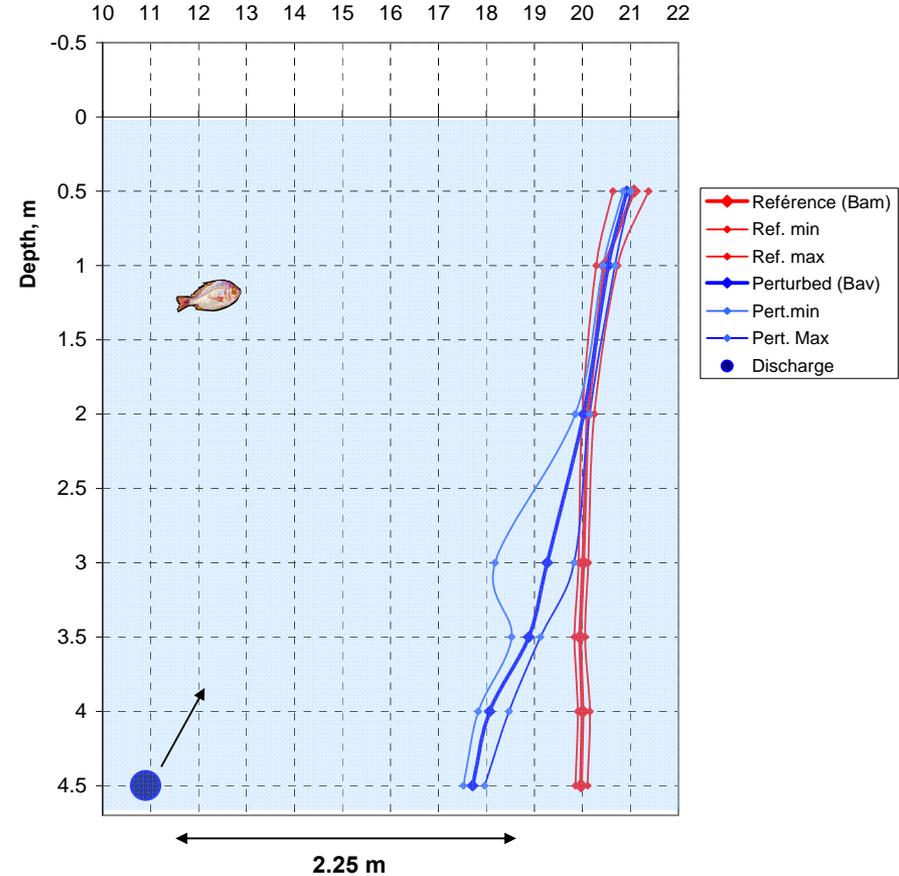
Water Temperature, °C



Zone du rejet (perturbé)

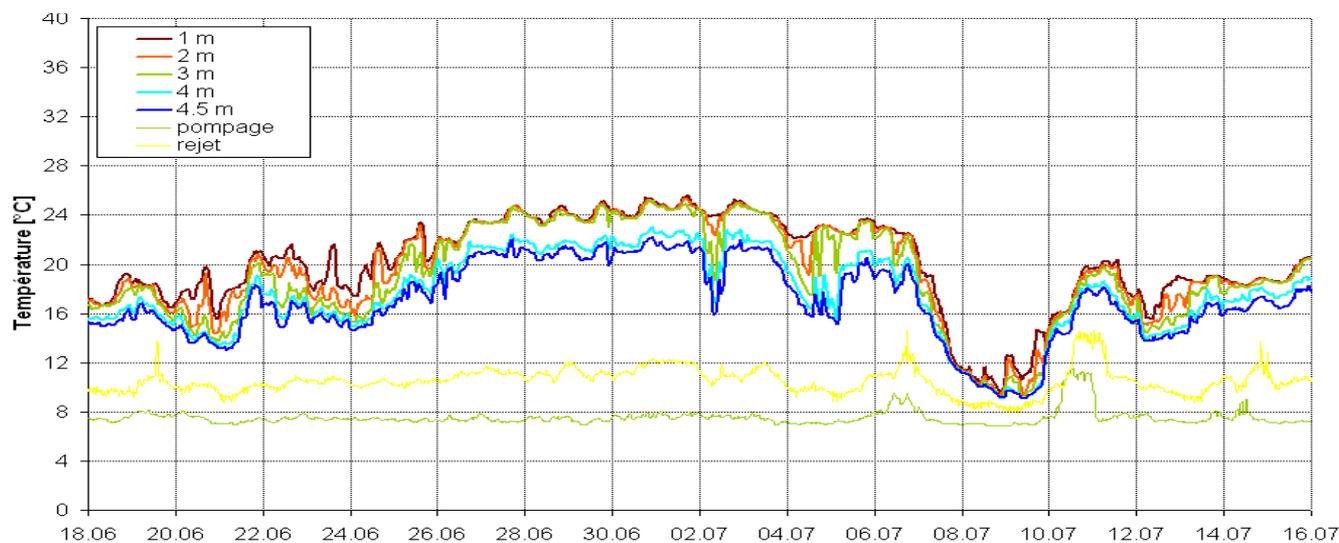
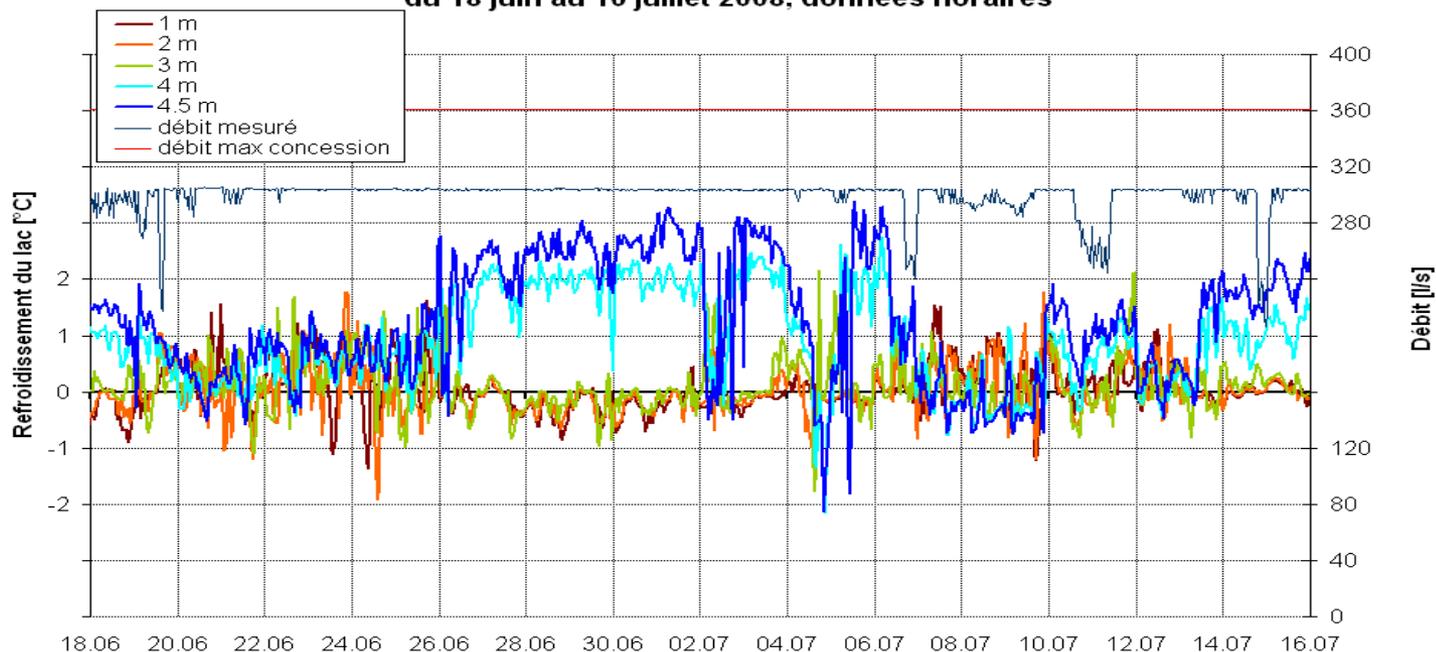
14 - 08 - 2007, 11h15-11h30

Water Temperature, °C



EFFETS DU REJET

Refroidissement de l'eau à 2.25 m du rejet (BAV) et débits SERONO-Merck, du 18 juin au 16 juillet 2008, données horaires

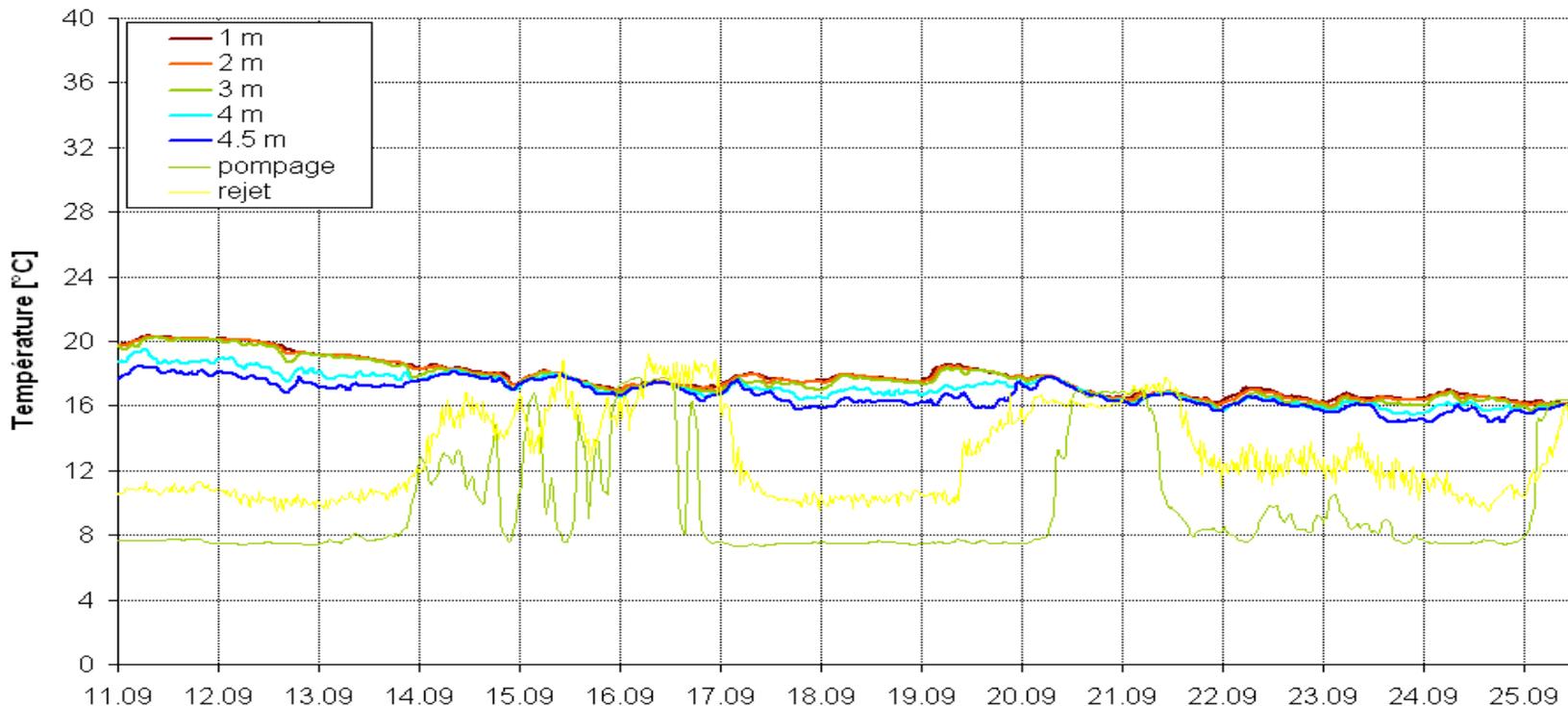


Effets du rejet

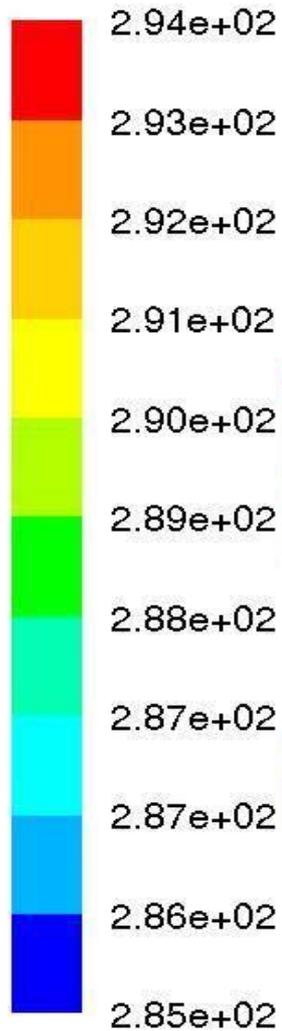
Périodes critiques = printemps et fin de l'été - automne

- Dynamique lacustre importante (thermique)
- Période biologiquement active (sensibilité)
- T_{rejet} proche de T_{lac} naturelle
- Demande peut être importante: printemps chaud et/ou conférences

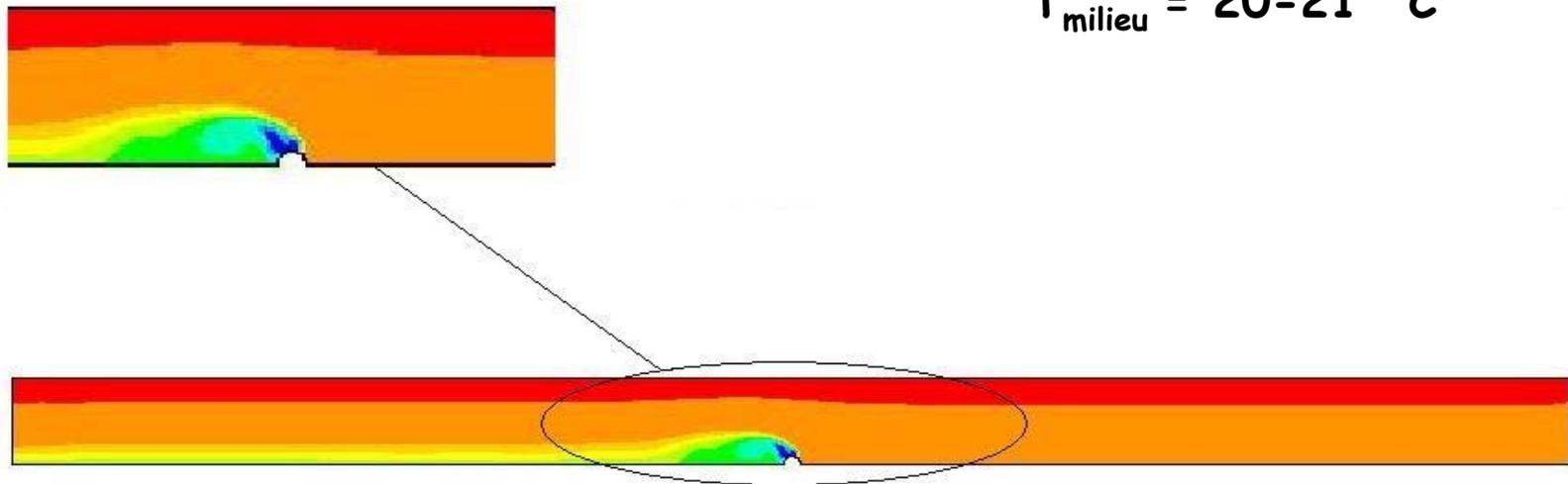
**Température de l'eau du lac à 2.25 m du rejet (BAV) et des eaux de pompage & rejet,
du 11 au 25 septembre 2008, données horaires**



MODELISATION THERMIQUE 2D



Contour de température



Conditions:

$$V_{\text{courant}} = 0.10 \text{ cm/s}$$

$$V_{\text{rejet}} = 0.18 \text{ m/s}$$

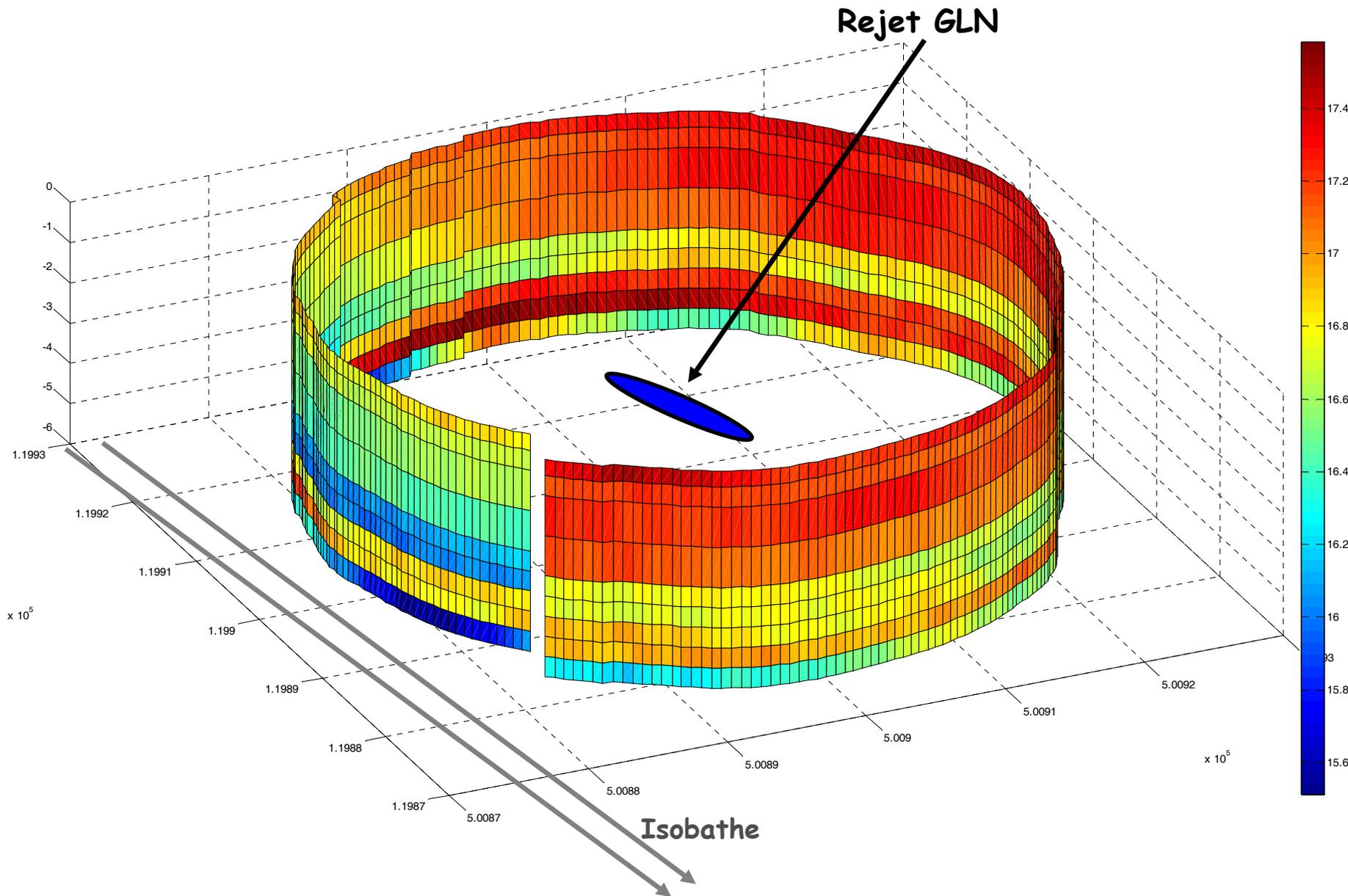
$$T_{\text{rejet}} = 11 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{milieu}} = 20\text{-}21 \text{ }^\circ\text{C}$$

Contours of Static Temperature (k)

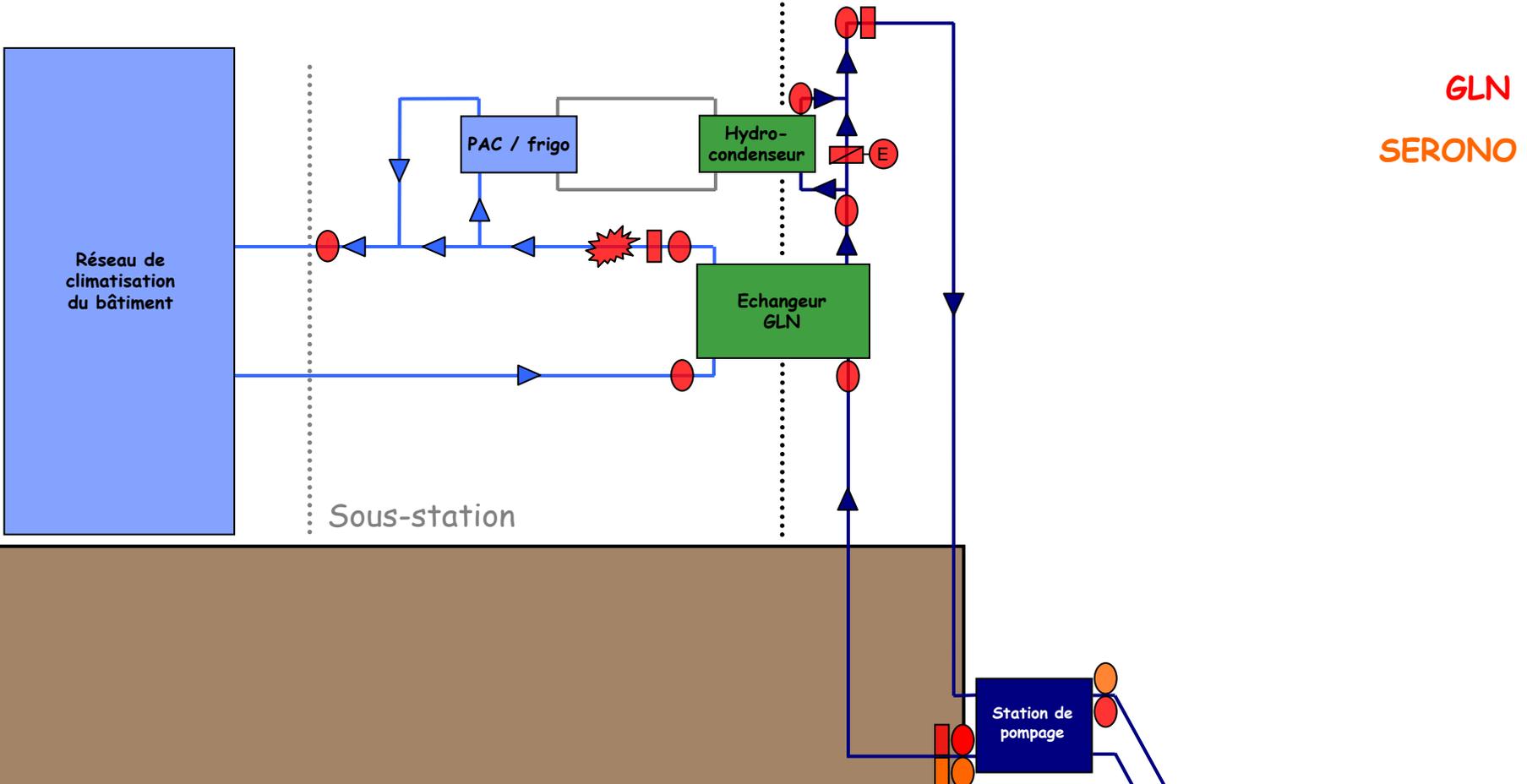
Apr 15, 2008
FLUENT 6.2 (2d, segregated, ske)

RAYONS 25 m (et 50 m)



RESEAU BATIMENT

RESEAU LAC



GLN

SERONO

Réseau de climatisation du bâtiment

PAC / frigo

Hydro-condenseur

Echangeur GLN

Sous-station

Station de pompage

Rejet

Pompage

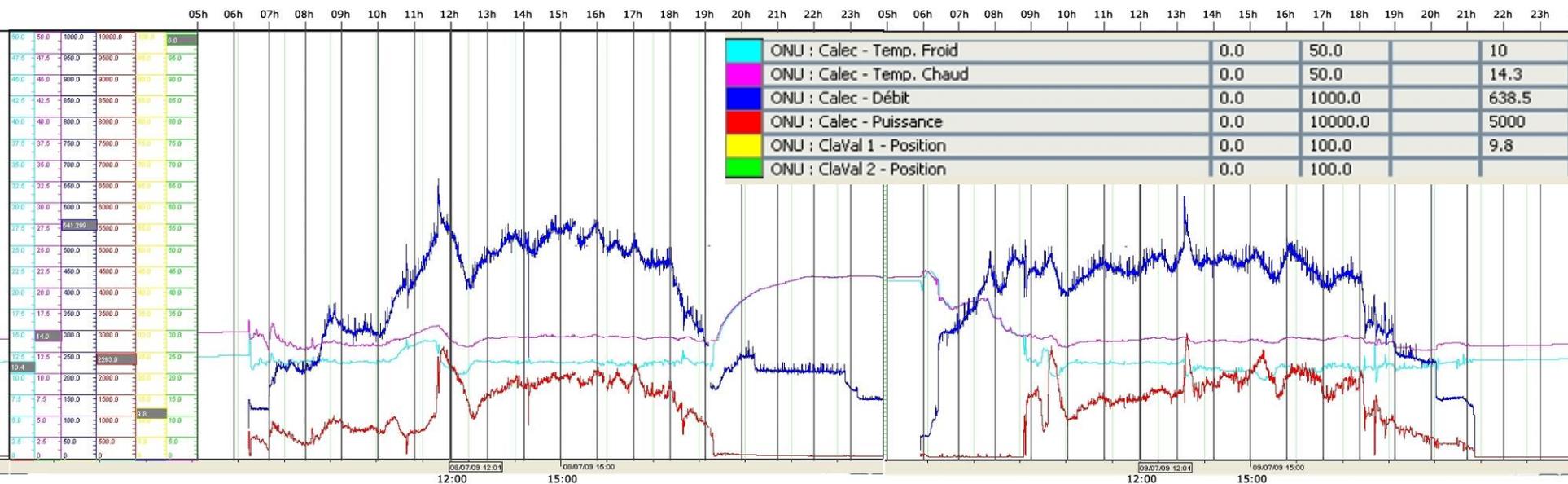
☒(E) Vanne (état)

☀ Chaleur

□ Débit

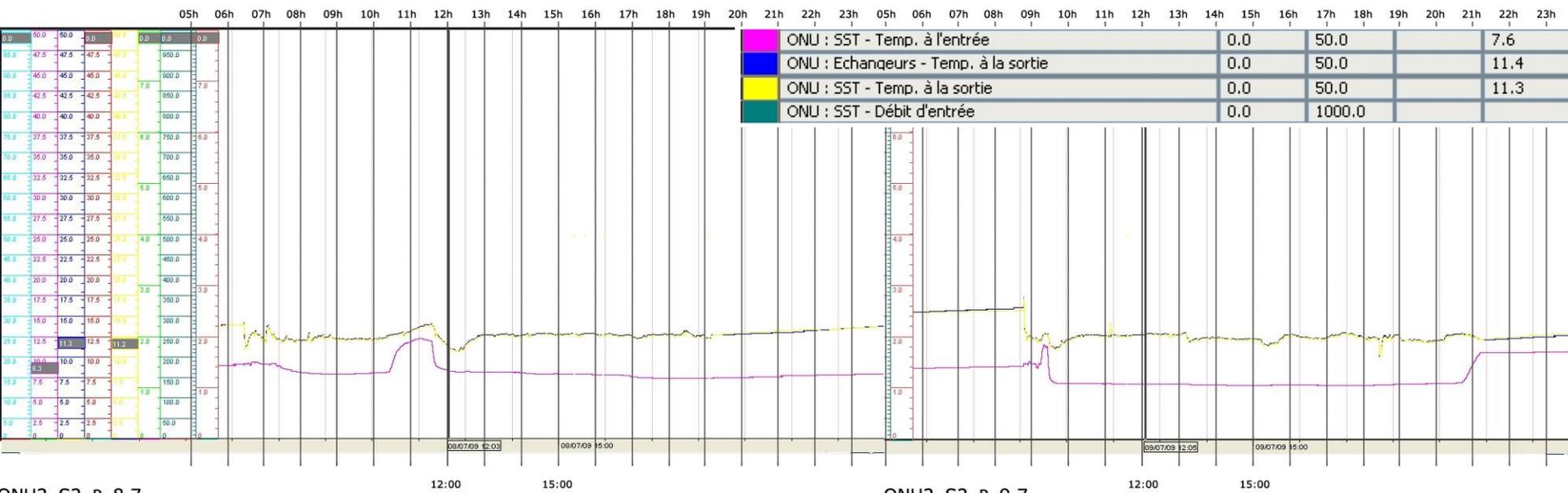
○ Température

MONITORING RESEAU



ONU1_S2_S_8.7

ONU1_S2_S_9.7

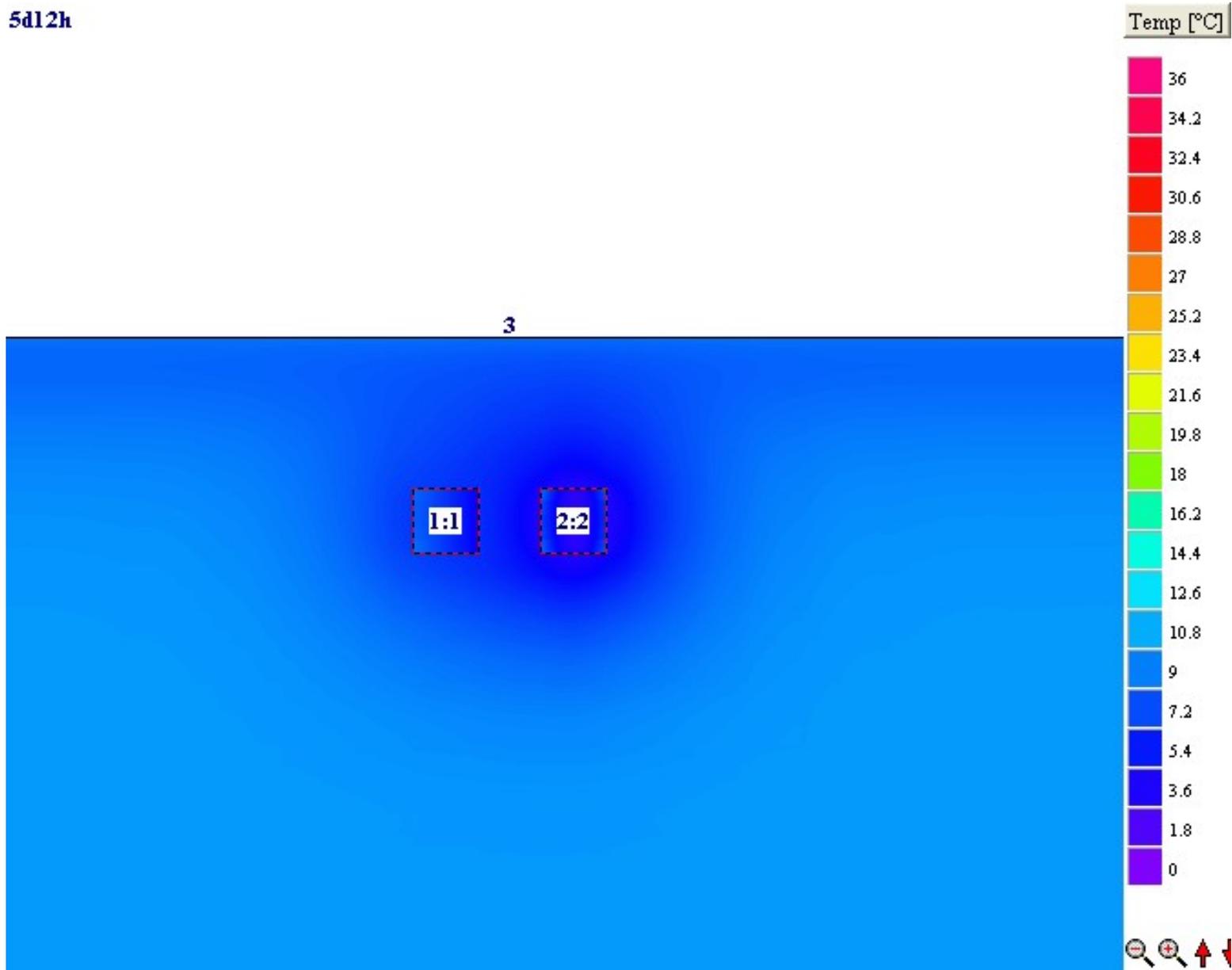


ONU2_S2_P_8.7

ONU2_S2_P_9.7

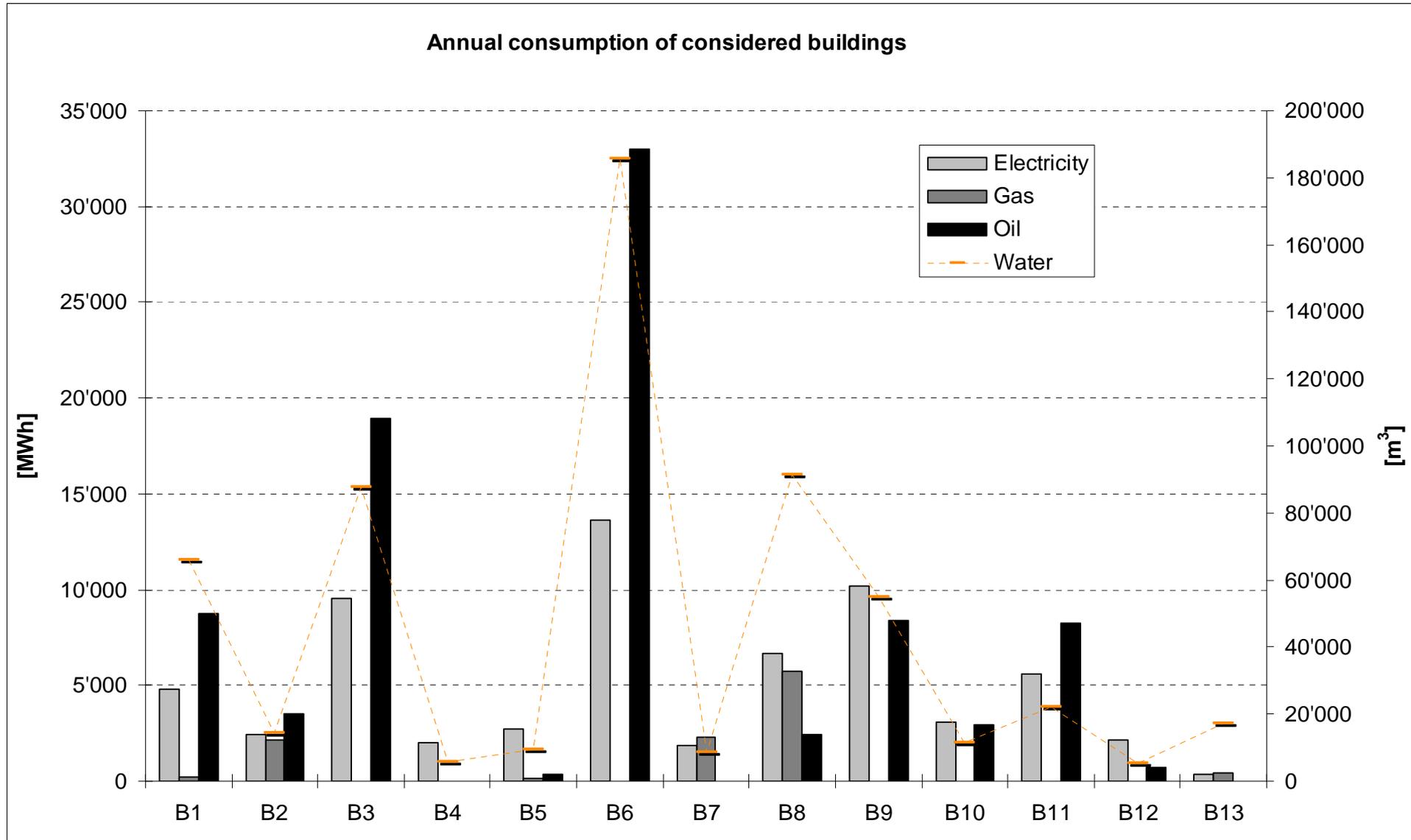
ECHANGES THERMIQUES SOL-RESEAU

5d12h



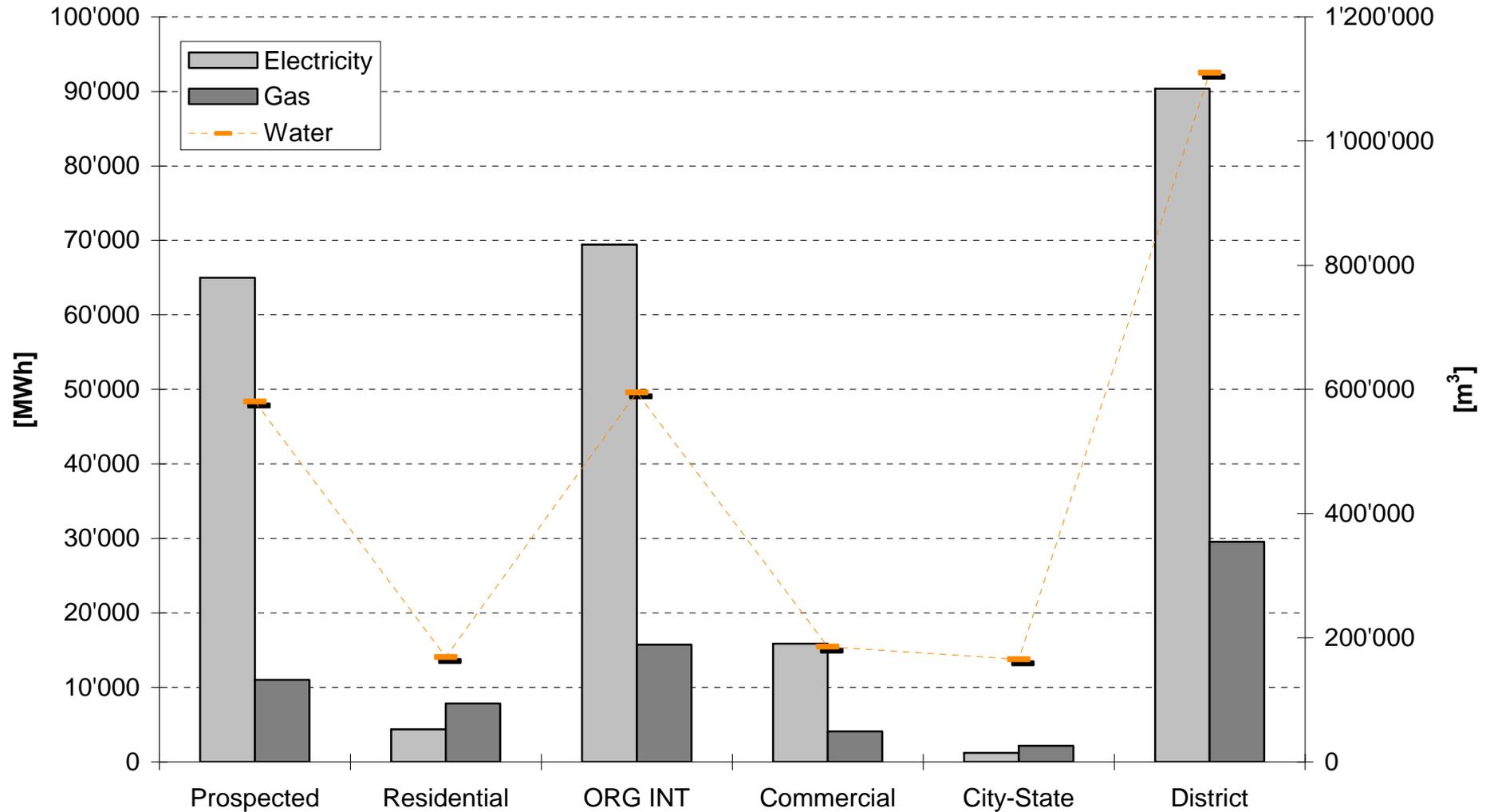
QUARTIER SECHERON-NATIONS: PROSPECTS

Annual consumption of considered buildings



QUARTIER SECHERON-NATIONS: CATEGORIES

Annual consumptions



CONCLUSIONS

???????? *partielles*

Perspectives 2011 ...

- Achèvement du retour d'expérience
- Analyse énergétique: mise en route GLN, année typique
- Thermique lacustre / impacts
 - *Rapport final Union Européenne (déc 2010)*
 - *Thèse de Doctorat (2011)*

Perspectives à 10 ans ...

- Reproductibilité de GLN: station de pompage du Prieuré (?)
- Faisabilité d'un Genève-Rhône-Urbain-Environnement (GRUE)



Merci de votre attention...

