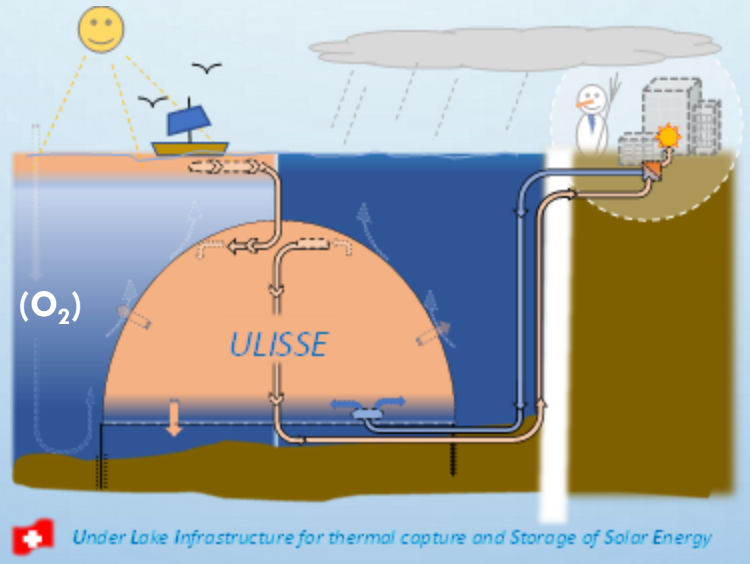
ULISSE

*(**U**nder **L**ake **I**nfrastructure for thermal capture and **S**torage of **S**olar **E**nergy)*

Quand les lacs alpins deviennent un atout clé de notre Transition Énergétique

William van Sprolant
CvS énergies sàrl



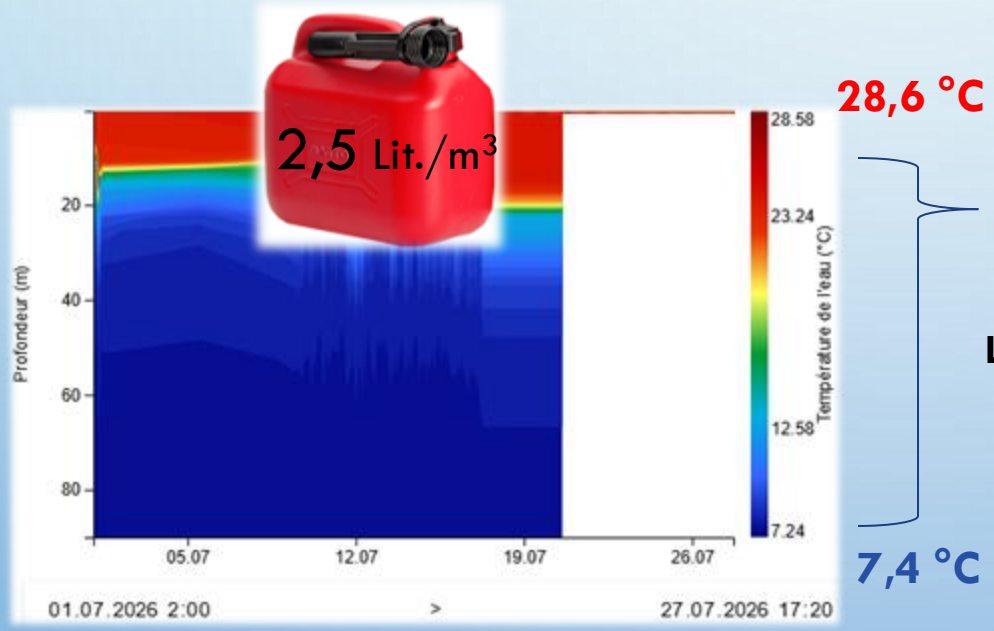
(*Image générée par **I**ntelligence **A**rtisanale*)

Présentation publique
salle du Conseil du CERN
16 septembre 2026

Plan de la présentation

1. Introduction contextuelle : Menace climatique sur les lacs Alpins
2. Accord de Paris sur le Climat et Défi de la Transition Énergétique de la Suisse 2050, (Pas tant éloigné de ses voisins)
3. Bref historique du projet ULISSE
4. Concept du système ULISSE (Étude de cas GeniLac)
5. Potentiel énergétique et environnemental pour la Suisse et ses lacs (et voisins alpins)
6. Suite de l'étude exploratoire d'ULISSE (NEXT STEP)
7. Résumé - Conclusions
8. BONUS …Genevois

Juillet 2026, Température du lac Léman ≈ **29 °C !**



28,6 °C

7,4 °C

Mesurée
à 600 m du port
de Pully (VD)

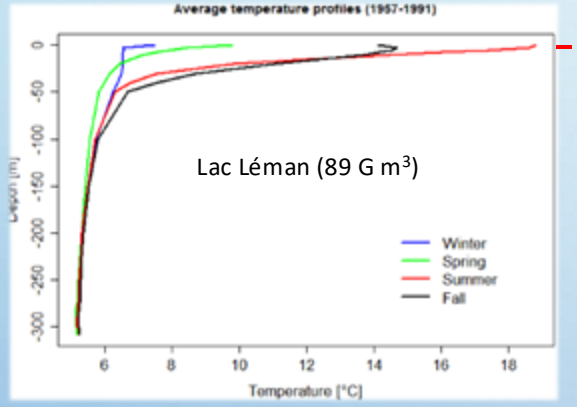
- **21,4°C de différence entre la surface et le fond lacustre**

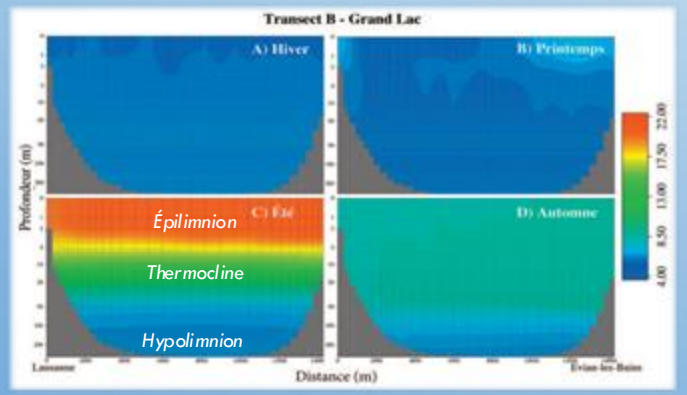
L'eau en surface versus fond lacustre (≈ 100 m à Pully) contient 90 MJ ou 25 kWh de chaleur solaire,
=
2,5 litres de mazout de chauffage par m³ d'eau…

Le Réchauffement Climatique n'affecte pas seulement les Glaciers !

Rivières, Fleuves, Lacs et Océans saignent à la même enseigne …

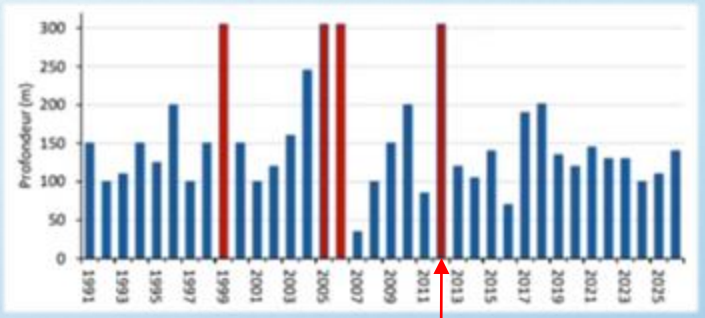
Évolution saisonnière de la stratification thermique du Léman
ARCHIVES DES SCIENCES | Arch. Ci. (2012) 65:65-80 |



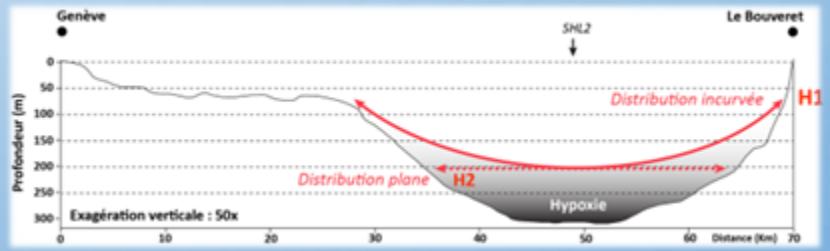


- **La température de surface (*Épilimnion*) des lacs alpins a augmenté d'environ 2°C au cours des 40 dernières années.**
  (Léman 2026 ≈ 29°C, + 3 à 4 °C d'ici fin du siècle. Source: Hydro-CH2018)
- **Le dernier brassage complet (*Hypolimnion*) du Léman date de 2012…**
- **Des hivers moins rigoureux, RÉDUISENT le mélange des eaux et L'OXYGÉNATION DES FONDS Lacustres, pourtant essentiels à la vie aquatique.**
- **Cette Asphyxie des lacs provoque leur *Eutrophisation* (proliférations d'algues bleu-vert toxiques, CO_2, CH_4, H_2S et consommation supplémentaire d'Oxygène).**

Profondeur de brassage hivernal du Léman 1991-2026,
(Salomé Boudet, UNIGE 2026)

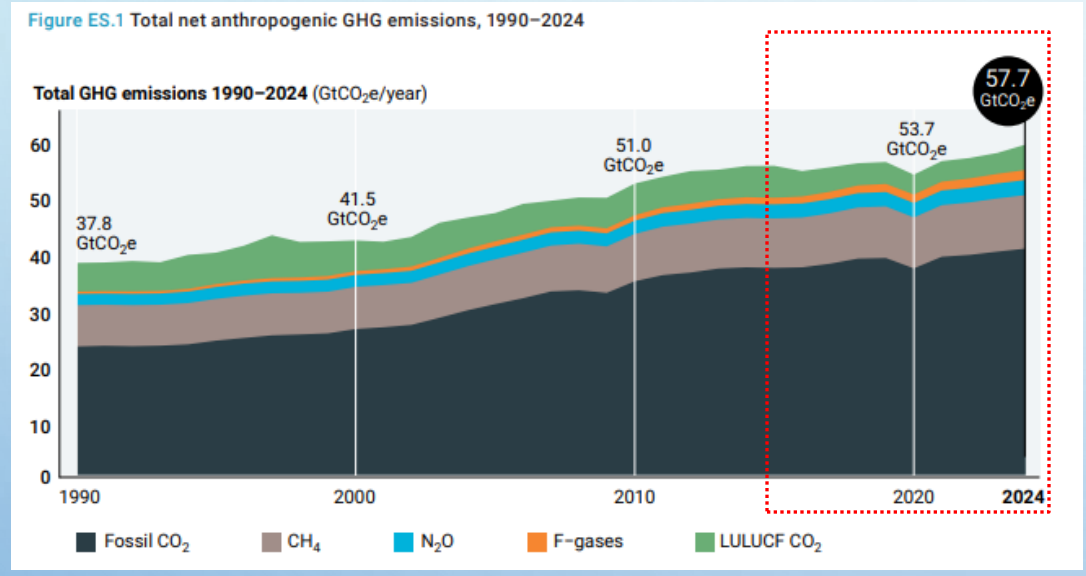


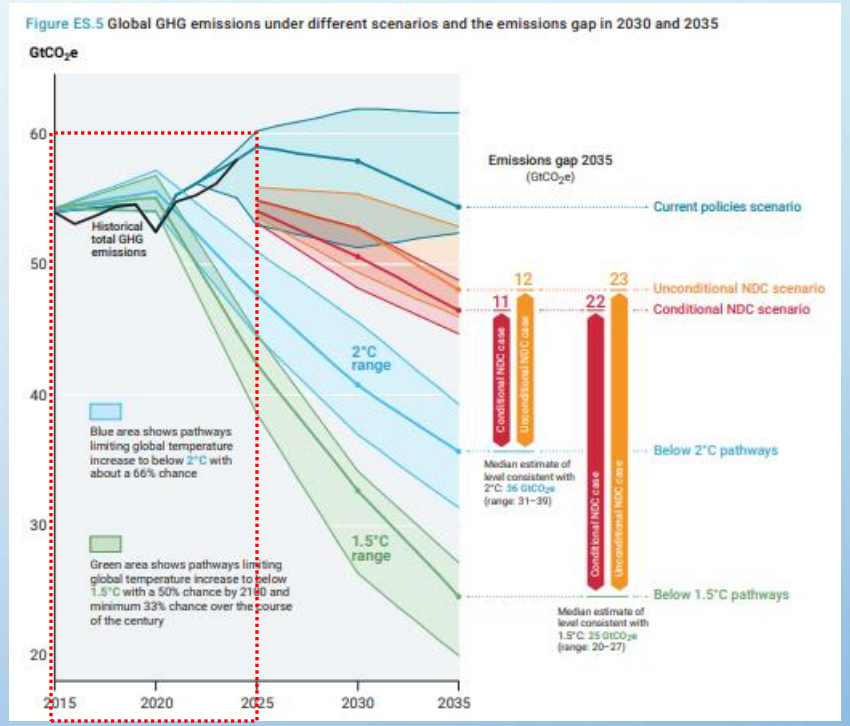
Zone hypoxique du Léman (< 4 mg/L O_2) CIPEL, campagne 2024, Uni. MB, INRAE, CARRTEL)



Émissions globales de Gaz à Effet de Serre (GES/GHG) vs *Accord Climatique de Paris* (1,5 - 2°C)

Source: *UN Emissions Gap Report 2025: Off target*





Pour respecter l'Accord de Paris sur le Climat, **l'Humanité devrait laisser dans le sol,** 60 % du pétrole et du gaz méthane fossile et 90 % du charbon. Soit une réduction annuelle de production mondiale de 3 % jusqu'en 2050.

Transition Energétique Suisse 2050

une <u>double</u> Neutralité - Carbone et - Nucléaire,
qui implique Sobriété, Efficacité (Negawatt) et Energie Renouvelable (584 PJ)

Source: **Office fédéral de l'énergie OFEN Perspectives énergétiques 2050+** Rapport succinct, Novembre 2020

l'**ÉLECTRICITÉ** « *vecteur intermédiaire idéal* »

pour la Transformation et l'Usage de l'énergie, à parts égales « *Travail & Chaleur/Froid* »,

exige Équilibre et Stabilité permanentes entre Production et Demande

50 % « *Travail* »

50 % « *Chaleur/Froid* »

- 1. Stabilité inertielle « **Primaire** » de la **Fréquence** 50 Hz du réseau électrique (Synchronisation de couplage)
- 2. Régulation « **Secondaire** » par Modulation et/ou Écrêtage de la **Production**
- 3. Régulation « **Tertiaire** » par Délestage ou Déplacement de la **Demande**

- Capacité et Efficacité de Transformation & Transport (T&T Réseaux)
- Capacité et Efficacité du Stockage Intermédiaire Local (SIL)*
  - horaire,
  - journalier,
  - hebdomadaire

  → Batteries électriques (BESS, V2G) H2, Air comprimé (CAST), etc.
  - saisonnier → Hydraulique (Barrages) Energie Thermique Terrestre(TES) ULISSE …

* Stockage Local (Suisse), ses Voisins ont des objectifs/besoins similaires d'électricité…

9 TWh électrique ≈ Capacité des barrages d'accumulation hydraulique Suisse
Potentiel d'augmentation 1,5 à 3 TWh (*) ≈ *Complexe Grande Dixence*

Barrage-poids de la Grande Dixence (Valais)

6 millions de m^3 de béton

Retenue **400 millions de m^3 d'eau**, 4 km^2

(2'000 m au dessus du Léman…)

3 Centrales hydroélectriques, Fionnay, Nendaz et Bieudron (Turbines Pelton),

1'000 h équivalent à 2 GW nominale

= puissance instantanée de 2 Centr. Nuc. de 1 GW, modulable 0-100% en quelques minutes !

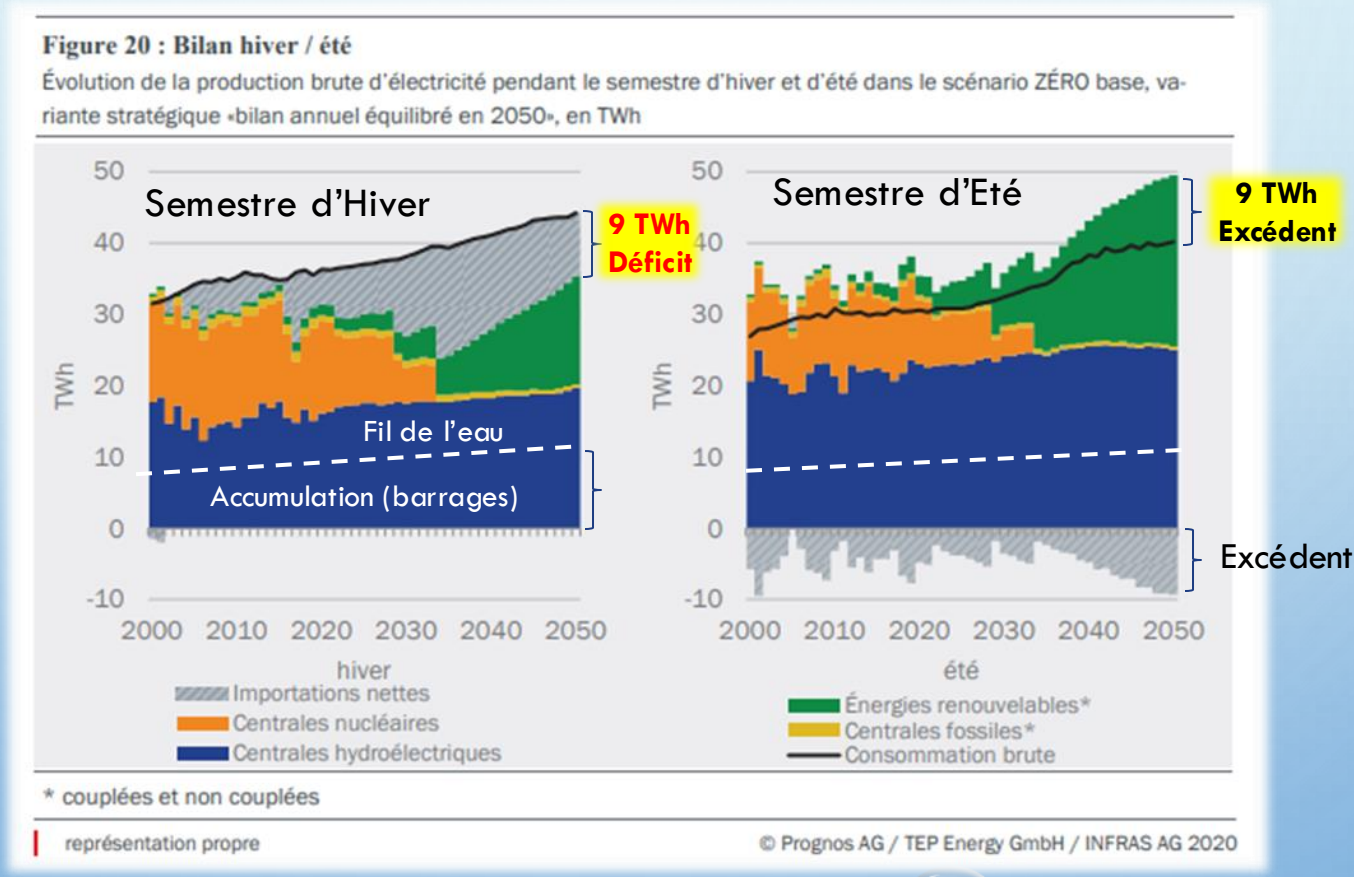
= 2 TWh de « pointe », ¼ été et ¾ en hiver

(20% de la capacité d'accumulation Suisse).

(*) Selon l'assouplissement des dispositions de protection. Source OFEN 2012b.

Défi structurel majeur pour la Transition Énergétique Suisse en 2050

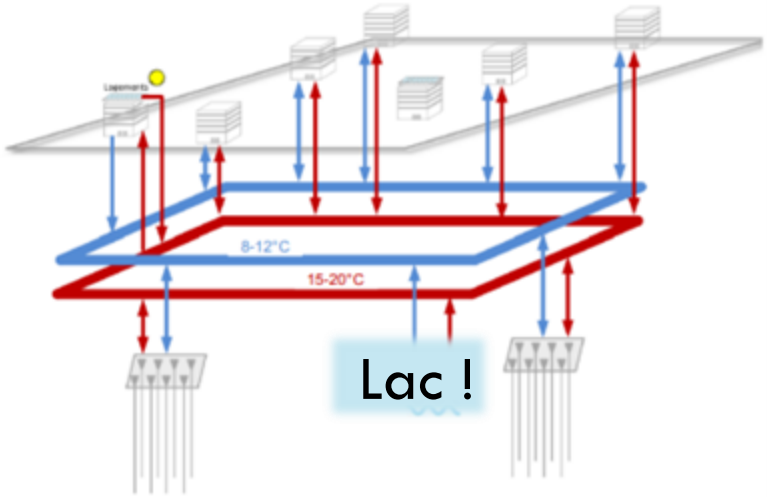
Déficit hivernal d'électricité de 20 % ou 9 TWh ≡ potentiel actuel Hydroélectrique d'Accumulation (barrages)



Développement des réseaux basse température

Contexte propice à Genève (et ailleurs)

- Politique énergétique cantonale et évolution des bâtiments
- Réseaux de chaleur à distance :
  - permettent une meilleure gestion de l'énergie
  - Utilisent de multiples vecteurs énergétiques (incinération, géothermie, hydrothermie,…)
- Des besoins de la planification énergétique territoriale :
  - Le bon réseau au bon endroit
  - Recherche de synergie des besoins entre preneurs
  - Valorisation des rejets de chaleur



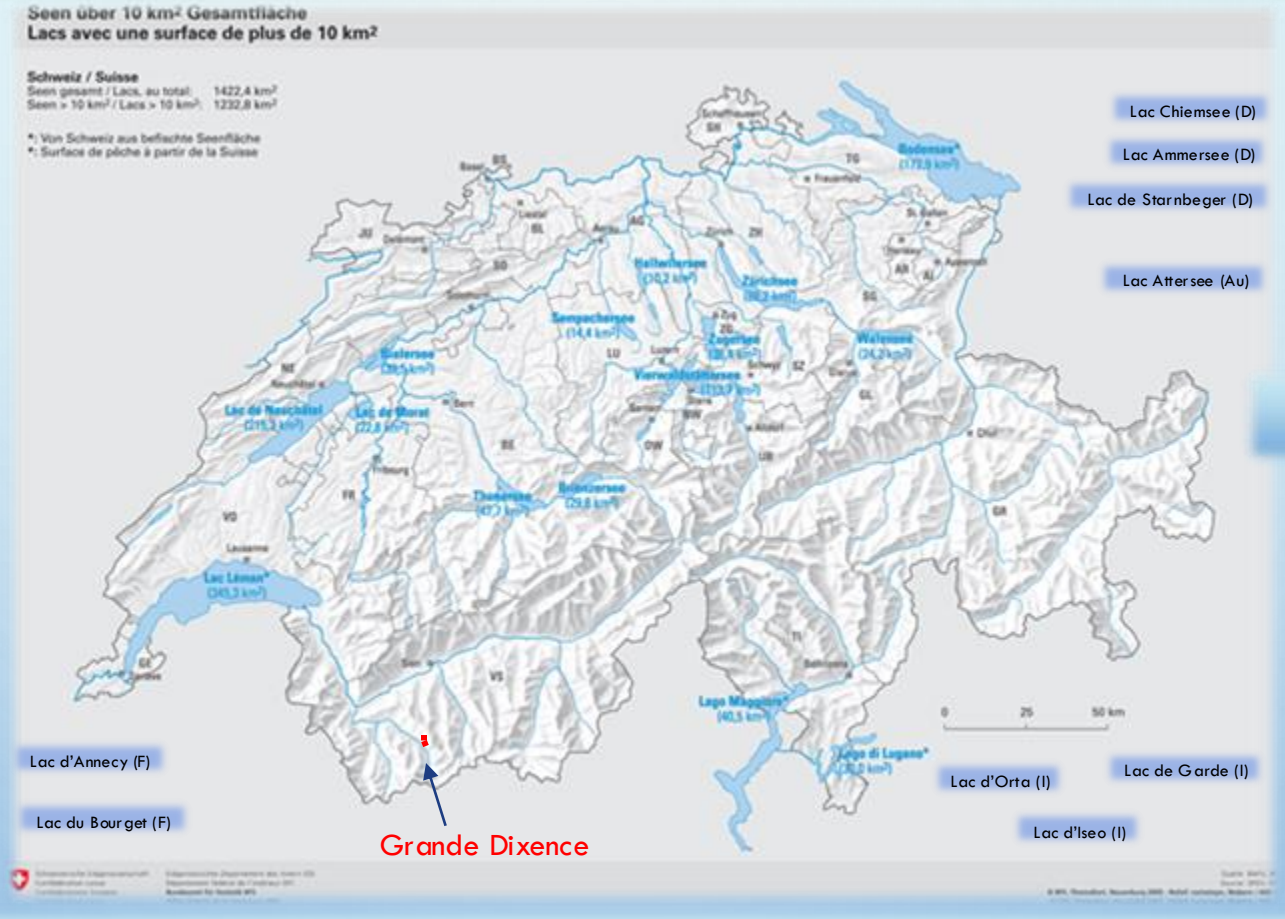
Conception de réseaux Basse Température (BT) et / ou boucle d'Anergie

= « *Bourse d'échanges Thermiques* » (BET)

Bourse d'échanges Thermiques (BET), dans les réseaux à basses températures, pour les besoins de Froid par « *Free-Cooling* » (sans PAC) ou par Pompes à Chaleur (PAC) pour le Chauffage.
Le **Stockage intermédiaire (sol, lac),** réduit aussi l'apport externe d'énergie.

Potentiel Thermo Lacustre Suisse mais pas que sur l'Arc Alpin (A, D, F, I)

Les grands lacs alpins se sont formés avec le retrait des glaciers à la fin de la dernière aire glacière il y a 10 à 20'000 ans …



Allemagne

Autriche

France

Italie

Chaleur & Froid (CH)

Potentiel ≈ 3 x Demande

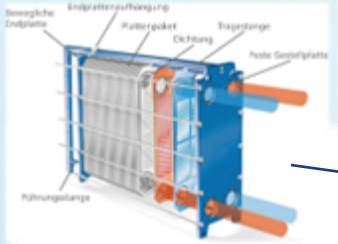
400 PJ / 135 PJ Chaleur

70 PJ / 25 PJ Froid

La Suisse compte 175 lacs dont 15 ont plus de 10 km^2, totalisent 1233 km^2 et des profondeurs dépassant souvent les 60 m. **1/4 à 1/3 de la population suisse (2,3 M hab.), habite en bordure de ces 15 plus grands lacs** et pourrait potentiellement être raccordé à un système de

Réseau Thermo Lacustre (RTL) à basse température.

Réseau Thermo Lacustre MorgesLac - EnerLac



Free Cooling ou *Refroidissement Libre* (sans PAC)

« Descente Thermique »

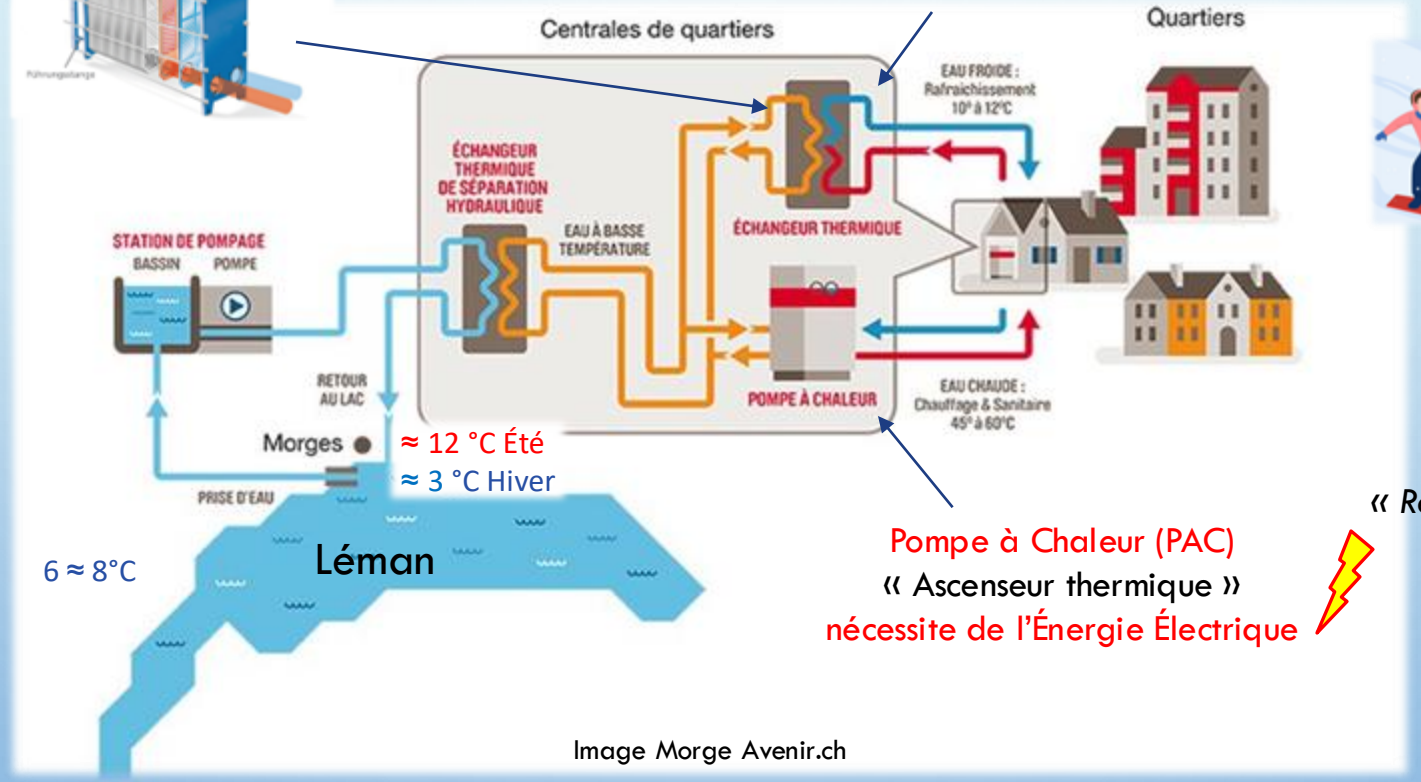


Image Morge Avenir.ch

Genève

Pompe à Chaleur (PAC)

« Ascenseur thermique »

nécessite de l'Énergie Électrique

« Descente Thermique»

Image Magnific

$T_{amb} > T_{lac}$

« Remontée Thermique »

Pompe à Chaleur (PAC) « Réversible » (PAF)

« *Ascenseur Thermique (du **Froid Tf** => **Chaud Tc**)* »

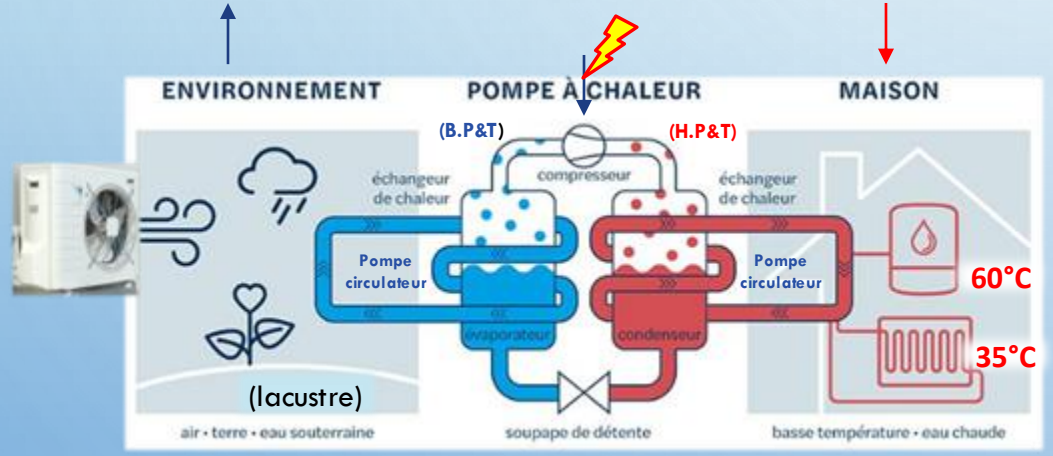
Coefficient de Performance COP = Chaleur Q / Travail W

PAC chauffage (production de Chaleur)

$COPc = Qc_+ / W = 3 = E_T \times Tc / (Tc - Tf)$ (*)

Chaleur Q_f + **Travail W** => **Chaleur Q_c**

2 kWh-t + **1 kWh-é** = **3 kWh-t**



« Source froide » Tf
Température (en °K)
dans circuit froid !

Flux de chaleur

Tc « Source chaude »
Température (en °K)
dans circuit chaud !

$T_{Environnement} > Tf$

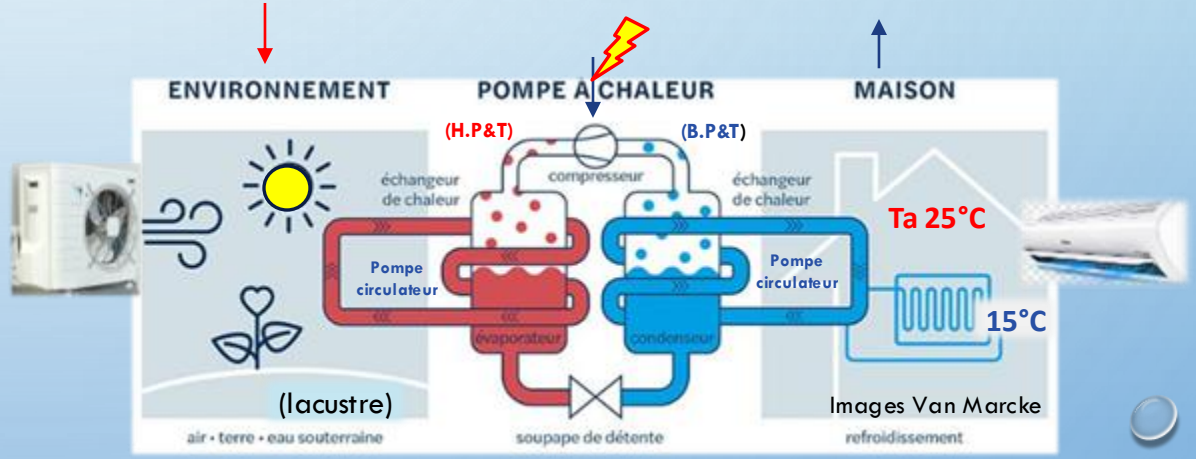
$Tc > T_{ecs}, T_{Chauffage}$!!

PAF climatisation (production de Froid)

$COPf = Qf_- / W = 2 = E_T \times Tf / (Tc - Tf)$ (*)

Chaleur Q_c <= **Travail W** + **Chaleur Q_f**

3 kWh-t = **1 kWh-é** + **2 kWh-t**



« Source chaude » Tc

Tf « Source froide »

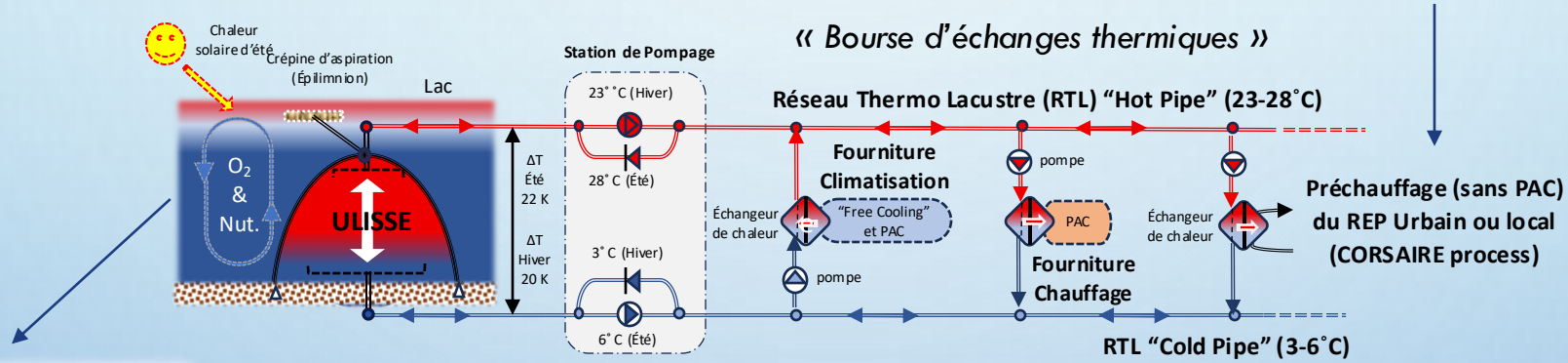
(*) **E_T**: efficacité technique PAC (≈ 0,5)

$Tf < T_{amb}$!!

ULISSE

Infrastructure sous-Lacustres de capture thermique et de Stockage d'Énergie Solaire pour les Fournitures de Climatisation et de Chauffage

- Semestre d'Été : Stockage Chaleur Solaire Directe (lac) & Indirecte (Climatisation) + Rejets de Chaleur (p.ex. Datacenters, CERN …)
- Semestre d'Hiver : Booster du Réseau Thermo Lacustre (RTL) + Préchauffage (déglaçage) du Réseau d'Eau Potable (CORSAIRE)



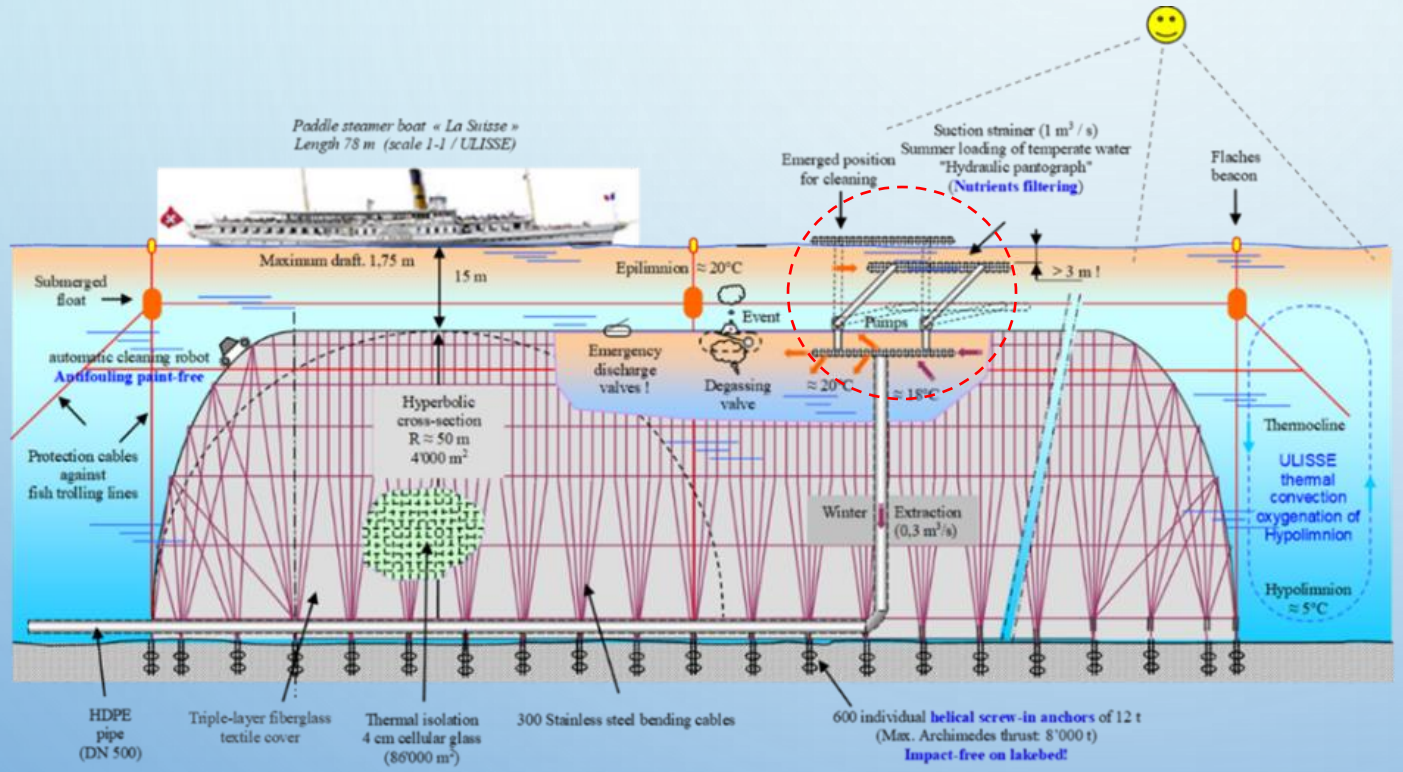
COPsys
Été *sans PAC* : 18
(free cooling)
Été *avec PAC* : 9-10
Hiver *avec PAC* :
3 => 6

Au profit potentiel du Lac :

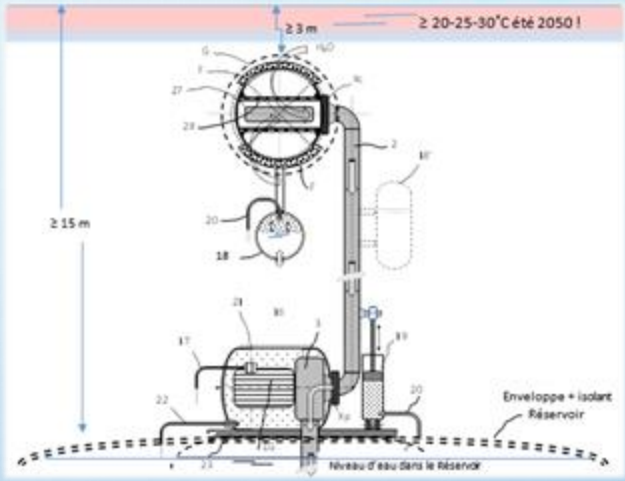
- La CAPTURE de chaleur dans le réservoir, réduit la température de surface du lac et en AUGMENTE SA TENEUR EN OXYGÈNE.
- Le CONFINEMENT des rejets thermiques (Climatisation) dans le réservoir en réduit la dilution de la charge thermique, et RÉDUIT LA PROLONGATION DE LA STRATIFICATION.
- Les pertes thermiques (≈ 20 %) d'ULISSE induisent une CONVECTION THERMIQUE dans le lac, ce qui pourrait améliorer le brassage, l'oxygénation (O_2), la circulation des nutriments (N, P). => Protection contre la stratification thermique persistante et l'eutrophisation aggravées par le réchauffement climatique.
- Le circuit fermé entre ULISSE et le RTL protège contre l'invasion de la moule Quagga.

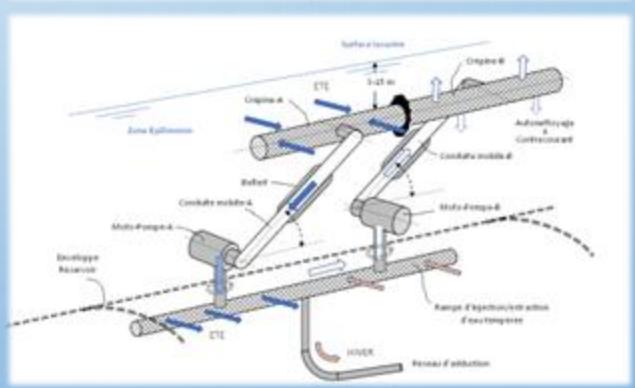
Obstruction du RTL de l'EPFL par les moules Quagga !

Réservoir ULISSE
avec chargement solaire directe (lacustre) en circuit ouvert connecté au RTL



Pantographe d'aspiration





Réservoir de stockage thermique sous-lacustre ULISSE (volume unitaire 1million m³)

*Capacité thermique **Brute** (ÉTÉ): **100 TJ** @ ΔT 25 K (27 GWh-t), **Nette** (HIVER ≈ 80%): **84 TJ** (23 GWh-t) @ ΔT 20 K*

*En « circuit fermé » adaptée pour le stockage de **Rejets de chaleur, p.ex. Datacenters, Climatisation (solaire indirecte)***

(23 millions kWh-t)

Interconnexion au RTL
en circuit fermé
PEHD pré-isolé DN 500 mm
(COOL-FIT) +GF+

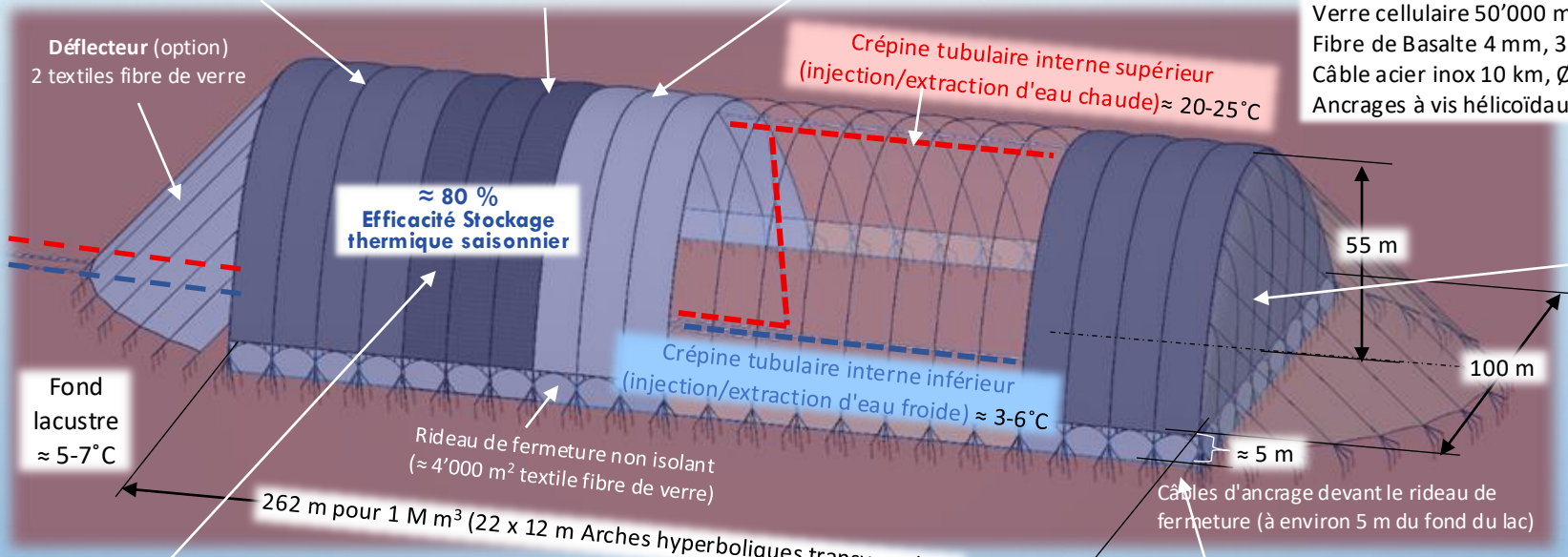
ÉTÉ	HIVER
⇨ 28°C	⇦ 23°C
⇦ 6°C	⇨ 3°C

Couche externe
double textile fibre de verre
(2 x 41'000 m²)

Isolation thermique ép. 5-10 cm
pavés en verre cellulaire (41'000 m²)
+ Manteau fibre de basalte (85'000 m²)

Couche interne
textile fibre de verre

Déflecteur (option)
2 textiles fibre de verre



Constitution de l'Enveloppe en « sandwich » 3 couches :
Textile fibre de verre 3 x 50'000 m², 108 t **KLEVERS GmbH**
Verre cellulaire 50'000 m², 2'500 m³, 500 t **FOAMGLAS**
Fibre de Basalte 4 mm, 340 m³, 41 t **Final Advanced Materials**
Câble acier inox 10 km, Ø 6-10 mm, 2,5 t **FATZER AG**
Ancrages à vis hélicoïdaux 270 pc., 27 t **Marine Flex Ltd**

Panneau d'extrémité isolé
Pavés de verre cellulaire ép. 5 cm
(+ 3 textiles en fibre de verre)
Section hyperbolique : 3 800 m²

Câbles acier inox
Jonctions arches 9 km Ø 6 mm
Ancrages 1 km Ø 10 mm

Enveloppe Isolante
(λ = 0,07 W/m k)
Semi Rigide
Autoportante
Ép. ≈ 5 cm, 50'000 m²
(≈ 13 kg/m², 650 t)

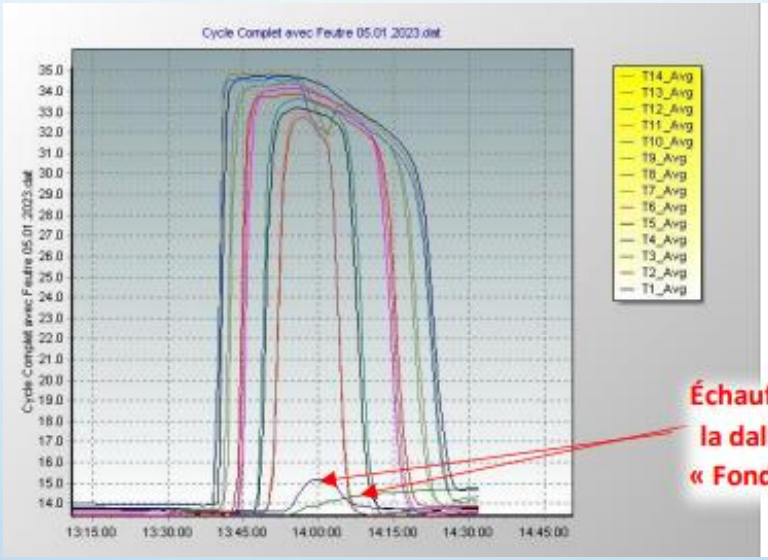
Flottabilité variable
2'000 t – fixe (isolant) +
0 - 2'600 t – variable (eau)
∑≈ 1'400 t ⇔ 4'000 t
(@ 6°C) ⇔ (@ 28°C)

Empreinte
fond lacustre
(*footprint*)
26'000 m²
(3 à 4 terrains FIFA)

270 Ancrages hélicoïdaux
réversibles
Capacité totale d'ancrage
7'000 t
Impact lacustre minimal

Étude de l'Efficacité du stockage saisonnier d'ULISSE (≈ 80 %)

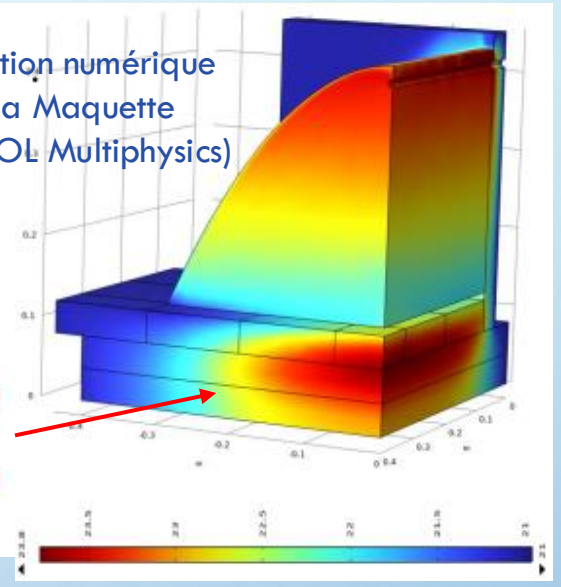
Maquette expérimentale
Facteur d'Échelle Temporel: 13715
(1 min Maquette = 10 jours réels)

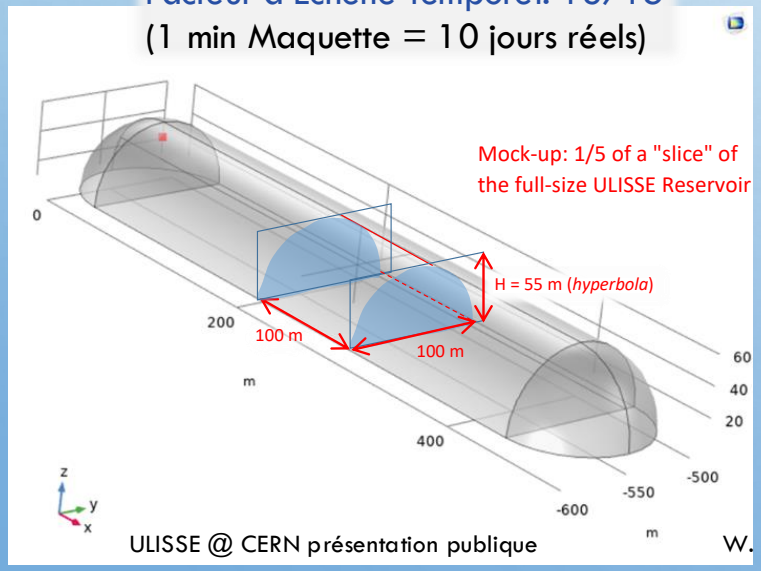


Reproduction du cycle
Charge/Stagnation/Décharge
sur la maquette

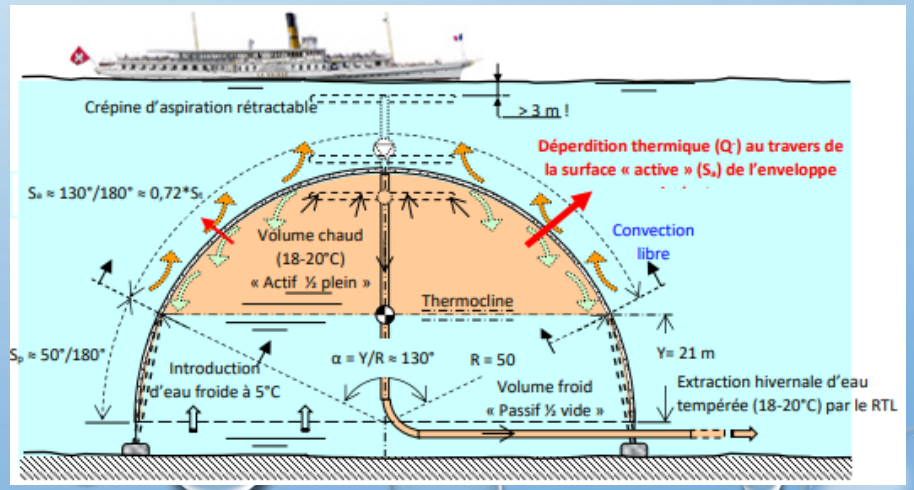
Échauffement de
la dalle de fond
« Fond lacustre »

Simulation numérique
de la Maquette
(COMSOL Multiphysics)

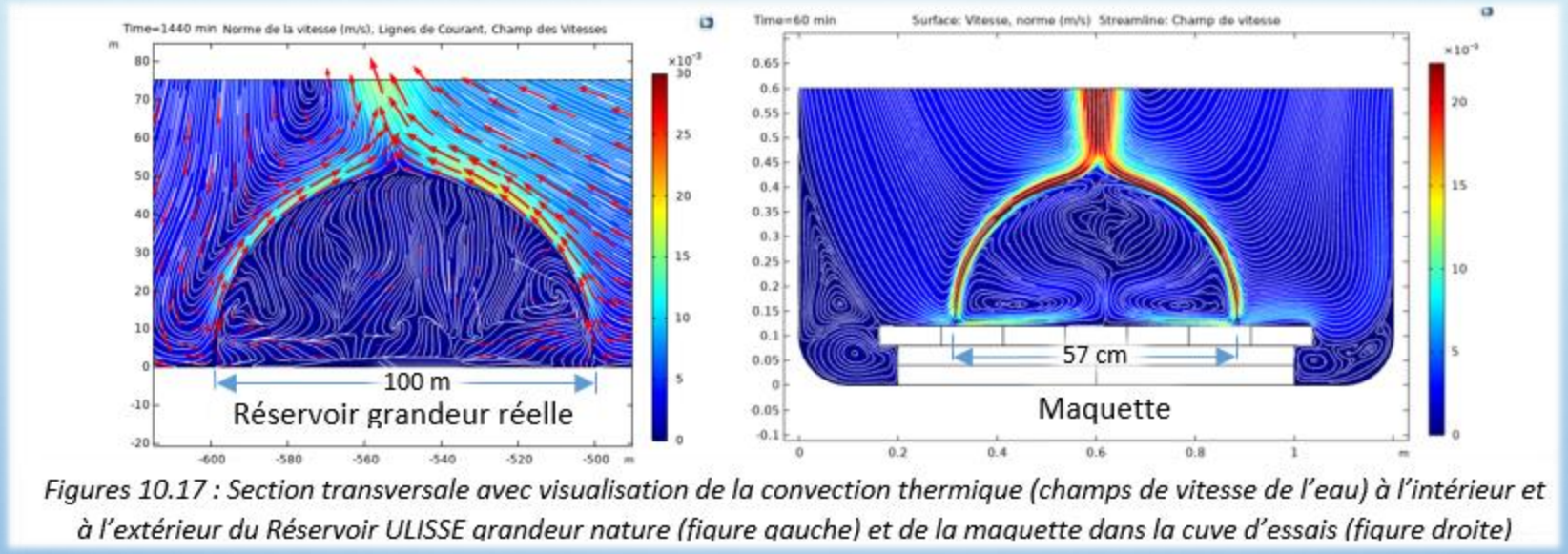




Modélisation de la Maquette
et du Réservoir en taille réelle



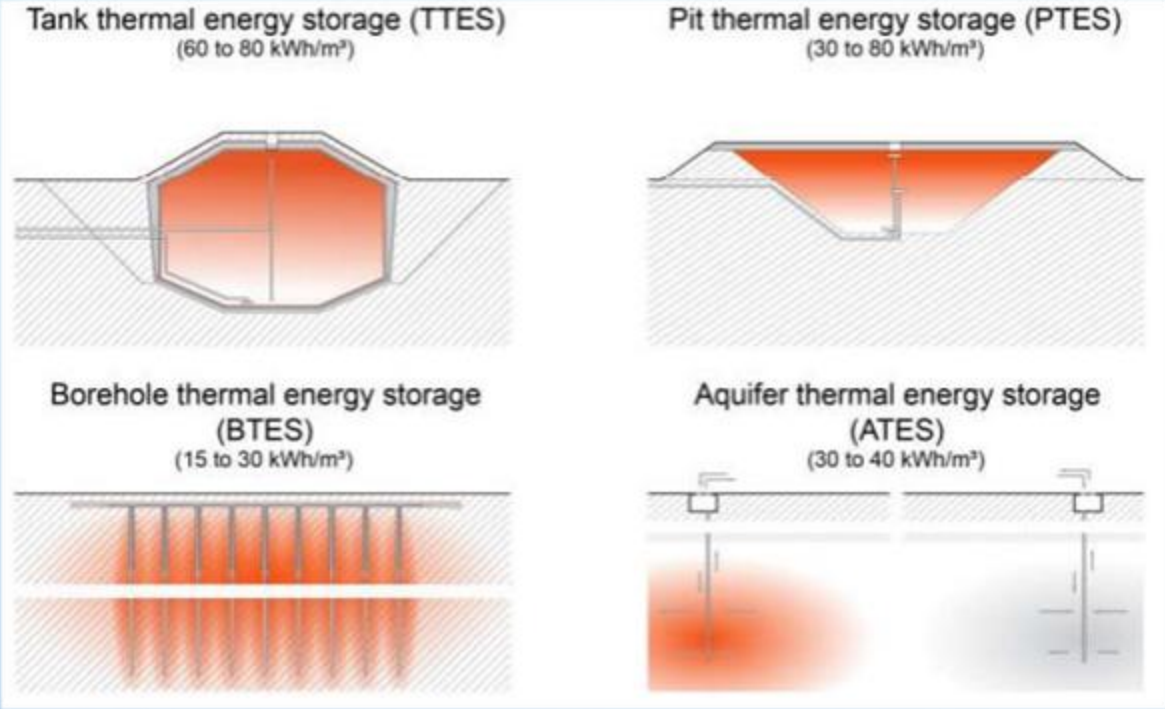
Résultats de la simulation numérique pour les courants de convections thermiques (champ de vitesses) internes au Réservoir ULISSE et externes (lac)



Figures 10.17 : Section transversale avec visualisation de la convection thermique (champs de vitesse de l'eau) à l'intérieur et à l'extérieur du Réservoir ULISSE grandeur nature (figure gauche) et de la maquette dans la cuve d'essais (figure droite)

Logiciel: COMSOL Muliphysics (simulation réalisée par Dr. Roland Rozsnyo/HEPIA)

Types de Stockage d'Energie Thermique Terrestre (*Thermal Energy Storage TES*)

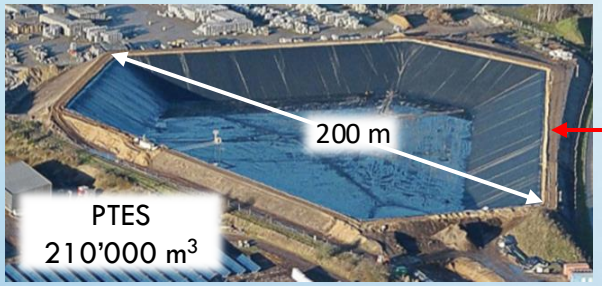


+ Réservoirs de Surface ou hors sol (famille des TTES)
Exemple de Jenni Energietechnik AG
(Illustration sans isolation thermique)

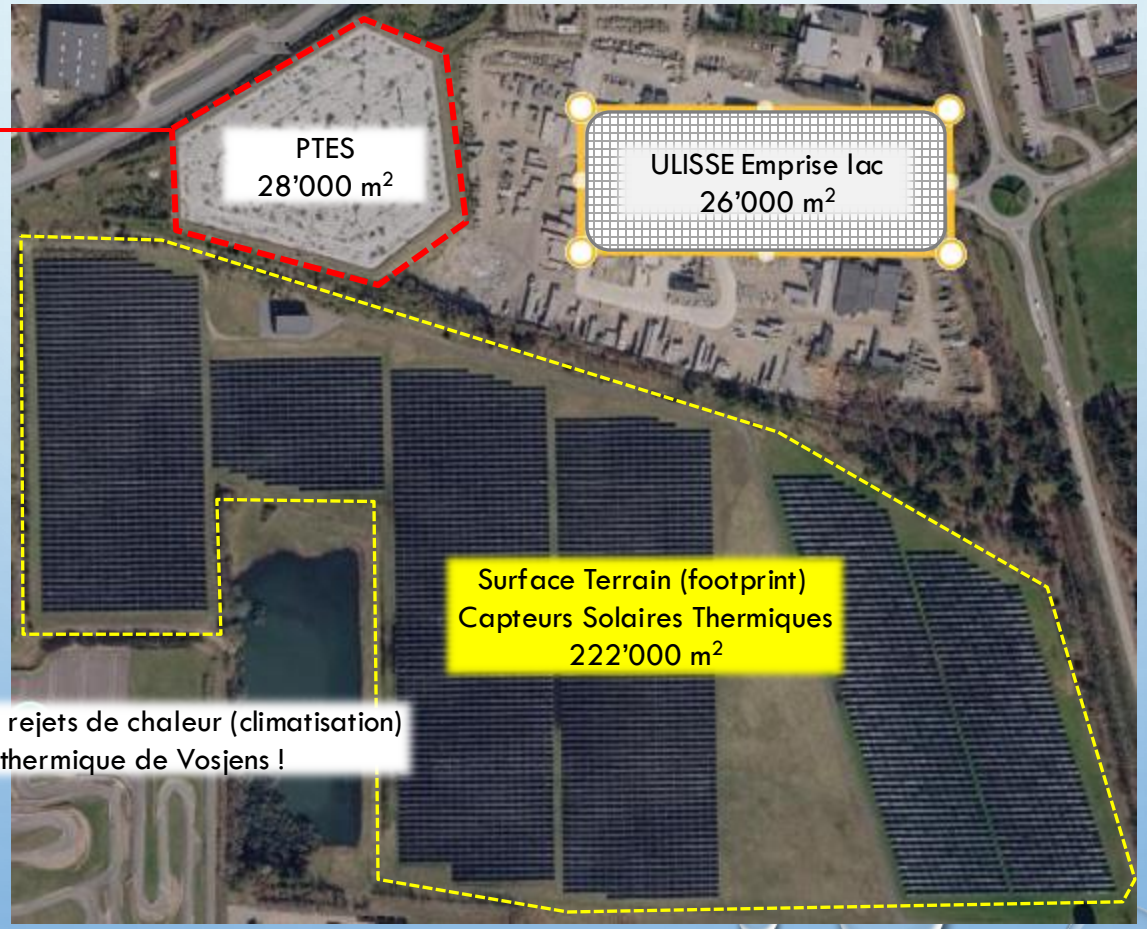
Image: Jenni.ch

2 x 180 m³
Diamètre 4,8 m
Hauteur 10,8 m
Capacité thermique
2 x 12,5 MWh
@ $\Delta T \approx 60$ °K
(70 kWh/m³)

Emprise au sol (Footprint) du système PTES de Vojens (Danemark) (Champ Solaire + Stockage 200'000 m^3) ⇔ ULISSE (1'000'000 m^3)



Système de chauffage urbain de Vosjens (DK)
Plus grand PTES de DK
Capacité brute 44 TJ @ ΔT 50 K
Emprise **Totale** terrain **250'000 m²**
Capteurs Solaires Th. 222'000 m²
Bassin de Stockage Saisonnier
28'000 m², volume 210 000 m³,
***Emprise totale spécifique* 5'700 m²/TJ**



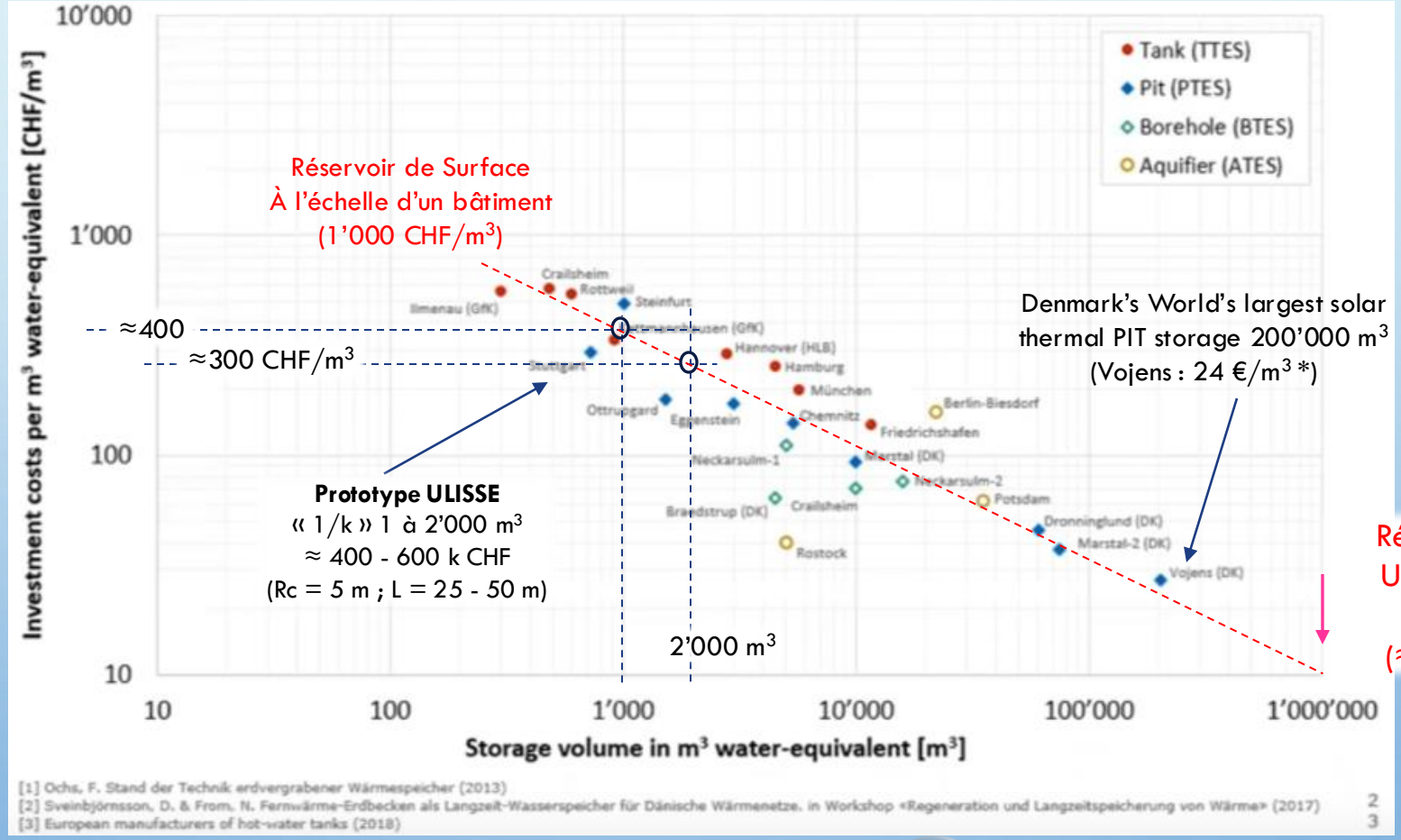
Pas de récupération de rejets de chaleur (climatisation) par le réseau thermique de Vosjens !

ULISSE 1 million m^3
Capacité brute 100 TJ @ ΔT 25 K
Emprise fond lacustre 26'000 m^2
(eq. 3 à 4 terrains FIFA)
(**Emprise spécifique 260 m^2/TJ**)

ULISSE à une emprise (footprint) spécifique sur le fond lacustre 22 fois inférieure au PTES de Vosjens !

Coût des différents types de stockage d'eau chaude (source : HSLU, haute école de Lucerne)

Effet de taille qui, selon une régression linéaire-logarithmique, tend vers 10 CHF/m³ pour 1 M m³ ≈ ULISSE



[1] Ochs, F. Stand der Technik erdvergrabener Wärmespeicher (2013)
[2] Sveinbjörnsson, D. & From, N. Fernwärme-Erdbecken als Langzeit-Wasserspeicher für Dänische Wärmenetze. in Workshop «Regeneration und Langzeitspeicherung von Wärme» (2017) 2
[3] European manufacturers of hot-water tanks (2018) 3

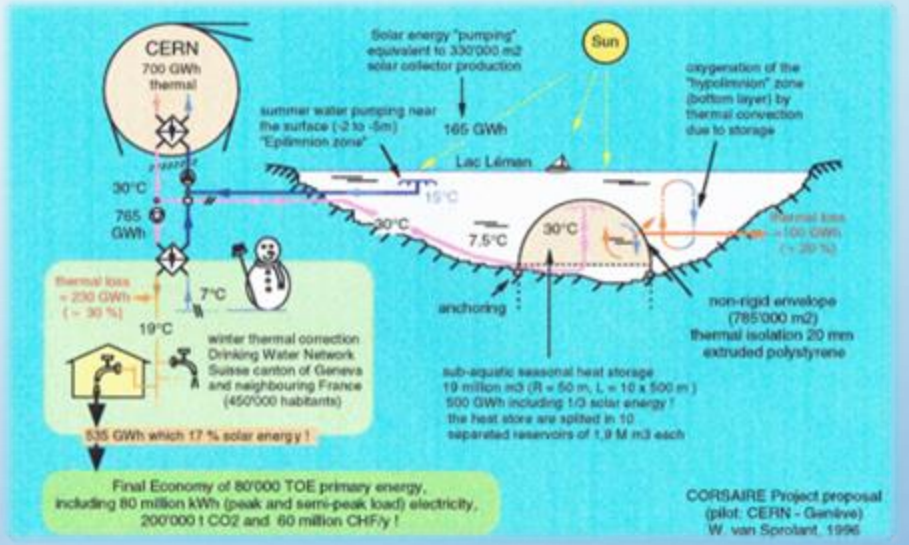
Origine : des projets VERCAD et CORSAIRE à ULISSE

- **1992,** proposition (WvS) projet « VERCAD » pour la région du « Grand Genève » (premier réseau de chauffage urbain à basse température alimenté par les rejets de chaleur du CERN, de l'usine d'incinération des déchets de Chêneviers, etc.).

- **1995** Mémoire de master (WvS) à l'EPFL : *Valorisation des rejets thermiques du CERN dans la CORrection SAIsonnière de la température (hivernale) du Réseau d'Eau potable de Genève* (projet CORSAIRE *préchauffage* du REP sans PAC).

- **1996** Adition d'un **stockage sous-lacustre** de l'eau de refroidissement du CERN et de chaleur solaire à CORSAIRE. Proposition (WvS) à la *10e Conférence générale de la Société européenne de physique* (EPS), Séville, Espagne, 9-13.9.1996.

- **2001-2005** Inscription **du Projet CORSAIRE au Plan Directeur de l'Energie du canton de Genève et** planification d'une expérience pilote (abandonnée).

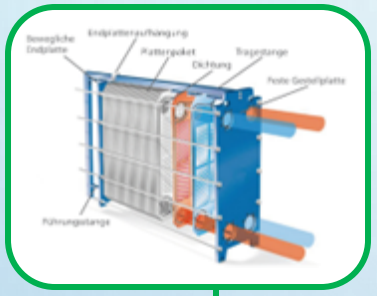


- **2021-2023** Étude exploratoire du projet ULISSE, réalisée (WvS) en collaboration à l'institut hôte l'HEPIA et subventionnée par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) dans le cadre du programme SWEET pour la Transition Énergétique Suisse 2050. Meilleur score parmi les 77 propositions de l'appel à projets SOUR Call 1-2021 (*Sweet OUtside de box Rethinking*). sweet swiss energy research for the energy transition

Le procédé CORSAIRE *(1995)*

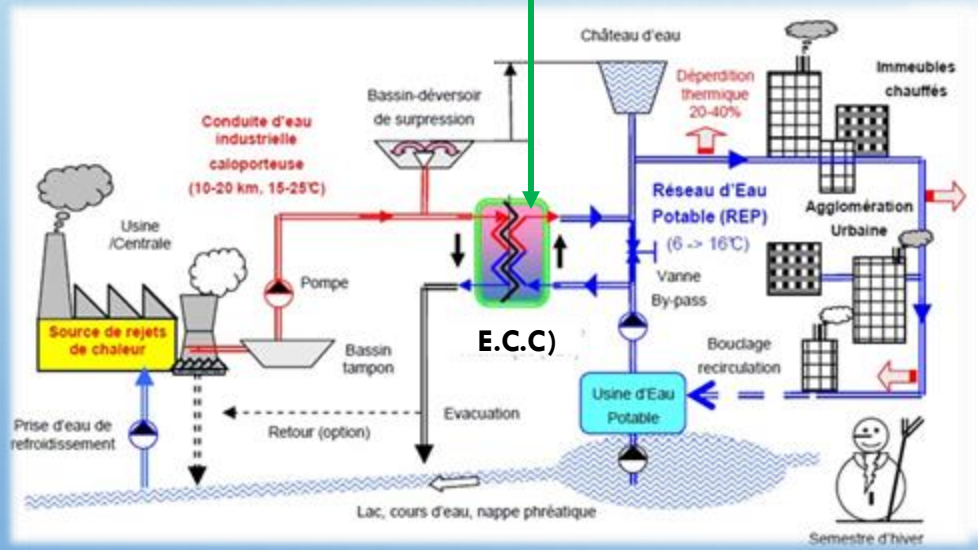
CORrection SAIsonnière (hivernale) de la température du Réseau d'Eau Potable (REP)

Centralisée au niveau du REP urbain ou Local au niveau des Immeubles (moins de pertes thermiques)
y compris HORS régions lacustres

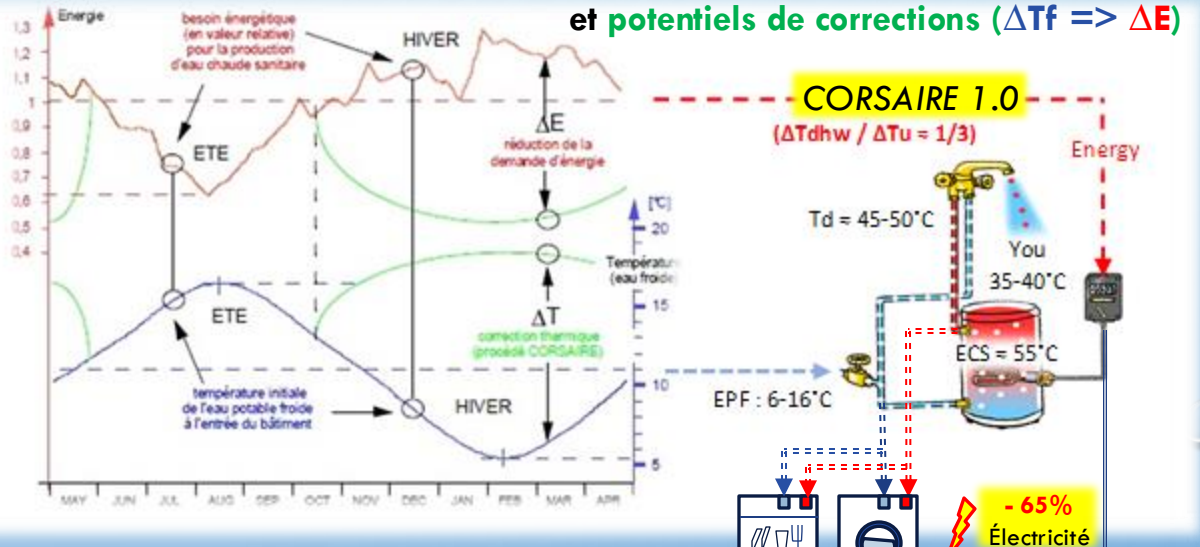


Échangeur de **C**haleur **C**ORSAIRE (**E.C.C**)
Préchauffage du REP « *free preheating* »
Sans Pompe à Chaleur (PAC)

CORSAIRE 1.0



Évolution saisonnière de l'énergie pour l'Eau Chaude Sanitaire (ECS)
en fonction de la température de l'eau froide (Tf)
et potentiels de corrections (ΔTf => ΔE)



CORSAIRE 2.0

Depuis 2004 le système ***Deep Lake Water Cooling*** **(DLWC) de Toronto** utilise le principe CORSAIRE

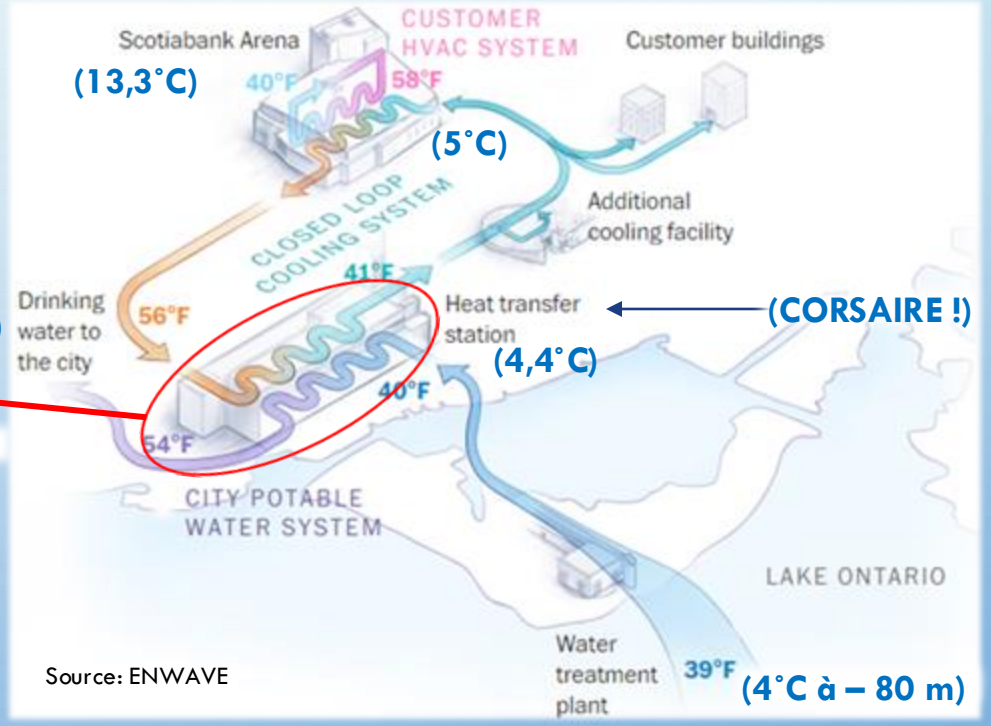
360 MW de chaleur de Climatisation du centre-ville transférée dans le Réseau d'Eau Potable (REP)

(Supprime la charge thermique de la Climatisation estivale sur le Lac Ontario)

Batterie d'Échangeurs de chaleur
sur le REP de Toronto (2004)
(400'000 m^3/j @ ΔT 8 K : 13,4 TJ/j , 155 MW)

(12,2°C)

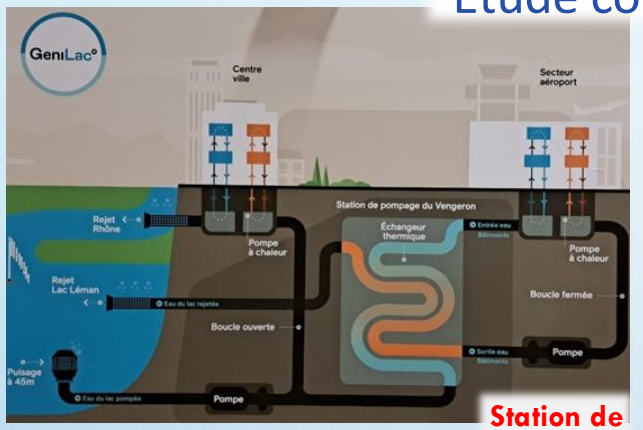
(ΔT REP + 8°C)



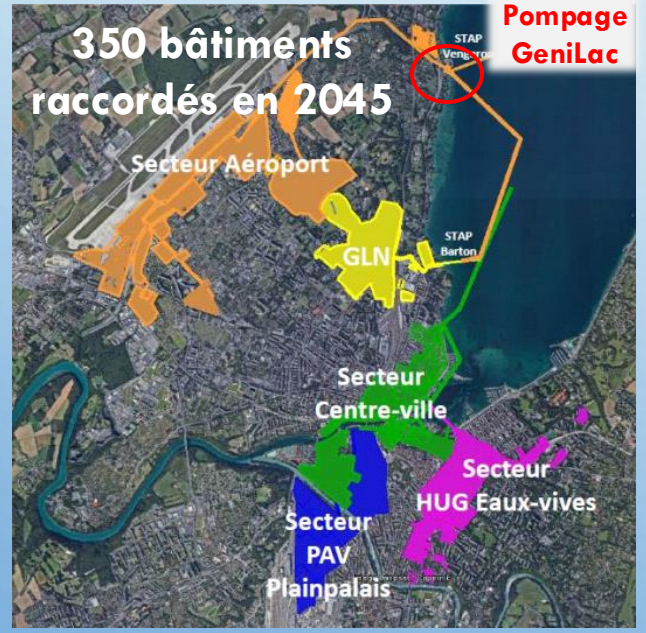
Réseau Thermo Lacustre (RTL) GeniLac de Genève

Fournitures 245 GWh de Froid et 250 GWh de Chaleur (*)

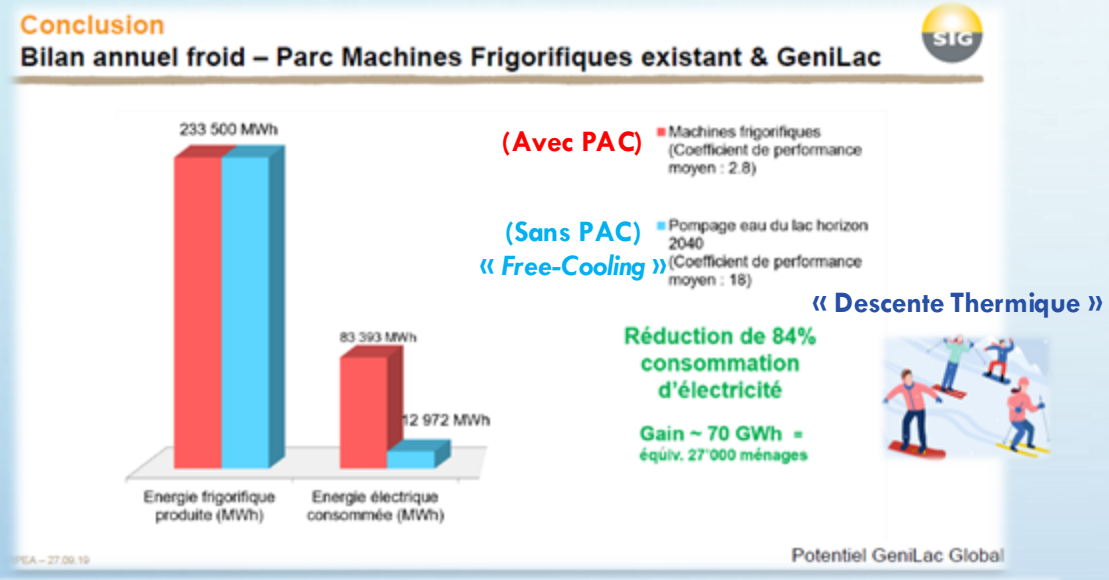
Étude comparative avec ULISSE & CORSAIRE

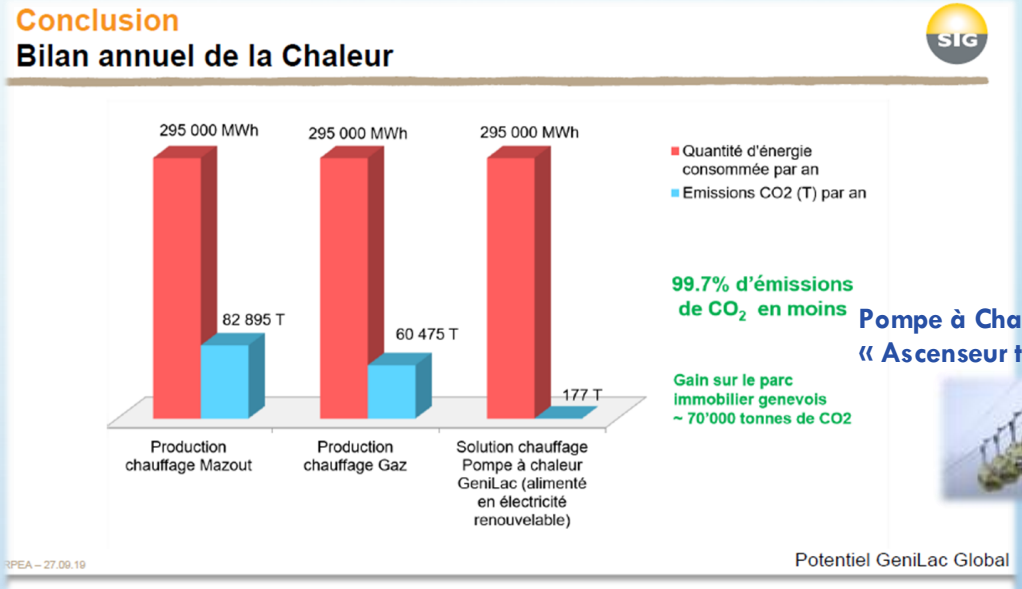


Station de Pompage GeniLac



Bilans Énergies et Eau du RTL GeniLac, sans vs avec ULISSE (+CORSIRE)





Chaleur Injectée dans le Lac = 245 GWh-t + 13 GWh-é = 258 GWh-t ≈> COPsys 18 (FC)
Volume d'Eau Lacustre = 44 millions m³ @ ΔT 5 K (7 => 12°C)

Chaleur Extrait du lac = 250 GWh-t – 79 GWh-é = 171 GWh-t => COPsys 3,2
Volume d'Eau Lacustre = 49 millions m³ @ ΔT 3 K (6 => 3°C)

Chaleur injectée dans ULISSE = 245 GWh-t + 27 GWh-é = 273 GWh-t => COPsys 9
Volume Eau ULISSE @ 28°C = 11 millions m³ @ ΔT 21 K (7 °C => 28°C)
COPsys Chargement ULISSE = 273 GWh-t / 27 GWh-é = 10

Chaleur Extrait d'ULISSE = 250 GWh-t – 39 GWh-é = 211 GWh-t => COPsys 6,3
Volume d'eau ULISSE @ 18 °C = 12 millions m³ @ ΔT 15 K (18 => 3°C)
@ 25 °C = 8 millions m³ @ ΔT 22 K (25 => 3°C)

(*1) Données SIG 2021 pour l'étude exploratoire ULISSE :

-	Froid Estival par free-cooling	(Qf)	**245**	GWh-t
-	Chauffage Hivernal par PAC	(Qc)	**250**	GWh-t
-	Électricité Pompe RTL Annuel	(EPA)	23	GWh-é
-	Électricité PAC Chauffage	(EPac)	69	GWh-é

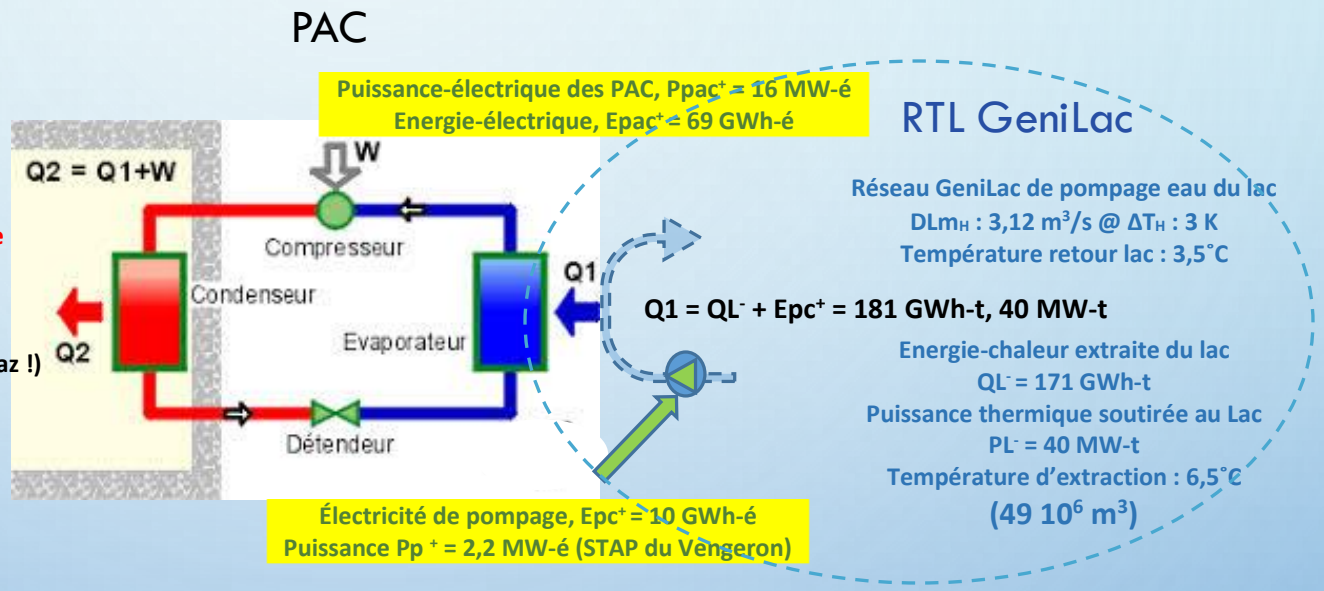
(*2) Hypothèse simplificatrice : Séparation semestrielle des fournitures Froid (Été) et Chaleur (Hiver)
Et hors bourse d'échanges thermiques (chaud & froid) dans le RTL (entre consommateurs non comptabilisés ici)

Flux d'Eau et d'Énergie pour les PAC du RTL de GeniLac en Semestre d'Hiver (sans ULISSE ni CORSAIRE)

PAC seul → COPac = **3,6**

Avec Pompe de Circulation RTL → COPac+pc = **3,2**

Puissance-chaleur
PU⁺ = 57 MW-t
Energie-chaleur Utile
QU⁺ = 250 GWh-t
55% Chauffage
45% ECS
(hors 27 GWh appoint gaz !)



Consommation d'électricité en Semestre d'Hiver (PAC + Pompe de Circulation) : 69 + 10 = **79 GWh**

Flux d'Eau et d'Énergie pour les PAC du RTL GeniLac en Semestre d'Hiver
Avec ULISSE & CORSAIRE (interne bâtiments)

PAC avec ULISSE → COPac = (3,6) => **5,5 (=> +40%)**

Avec Pompe de Circulation RTL → COPac+pc = (3,2) => **5,4 (=> +70%)**

Avec Pompe de Circulation RTL + CORSAIRE → **COPac+pc+cor = (3,2) => 6,3 (=> +100%)**

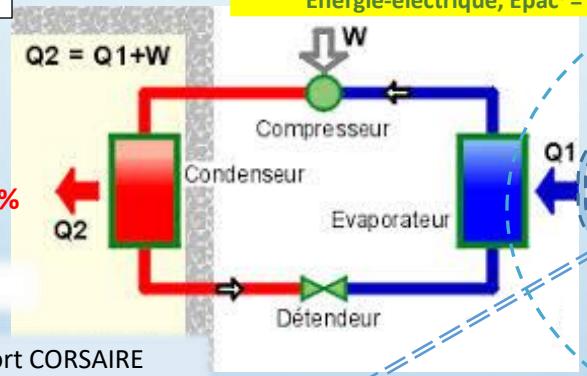
Doublement du COPsys !
40 % par les PAC
30 % par la Pompe
30 % par le REP (COR.)
=>

Réduction électrique 50 %

PAC

Puissance-électrique des PAC, P_{pac}^{+} = 9 MW-é
Energie-électrique, E_{pac}^{+} = 39 GWh-é

Puissance-chaleur
PU^{+} = 49 MW-t
Energie-chaleur Utile
QPAC = 215 GWh-t
MIX PAC C/E : 63 %/37 %



Qtot = 250 GWh-t

REP

ECI

Apport CORSAIRE
(30% ECS) 35 GWh-t

« Préchauffage » EPF
via Échangeur Interne

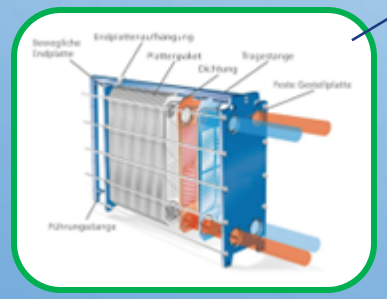
RTL GeniLac

Réseau GeniLac pompage Lacustre
DLM : 0,74 m³/s @ ΔT_H : 15,5 K
Température retour lac : 3,5°C

$Q1 = QL^{-} + Epc^{+}$ = 176 GWh-t, 42 MW-t

Energie-chaleur extraite Lacustre
QL^{-} = 211 GWh-t
Puissance thermo Lacustre
PL^{-} = 48 MW-t
Température extraction : 6,5°C
(12 10^6 m³)

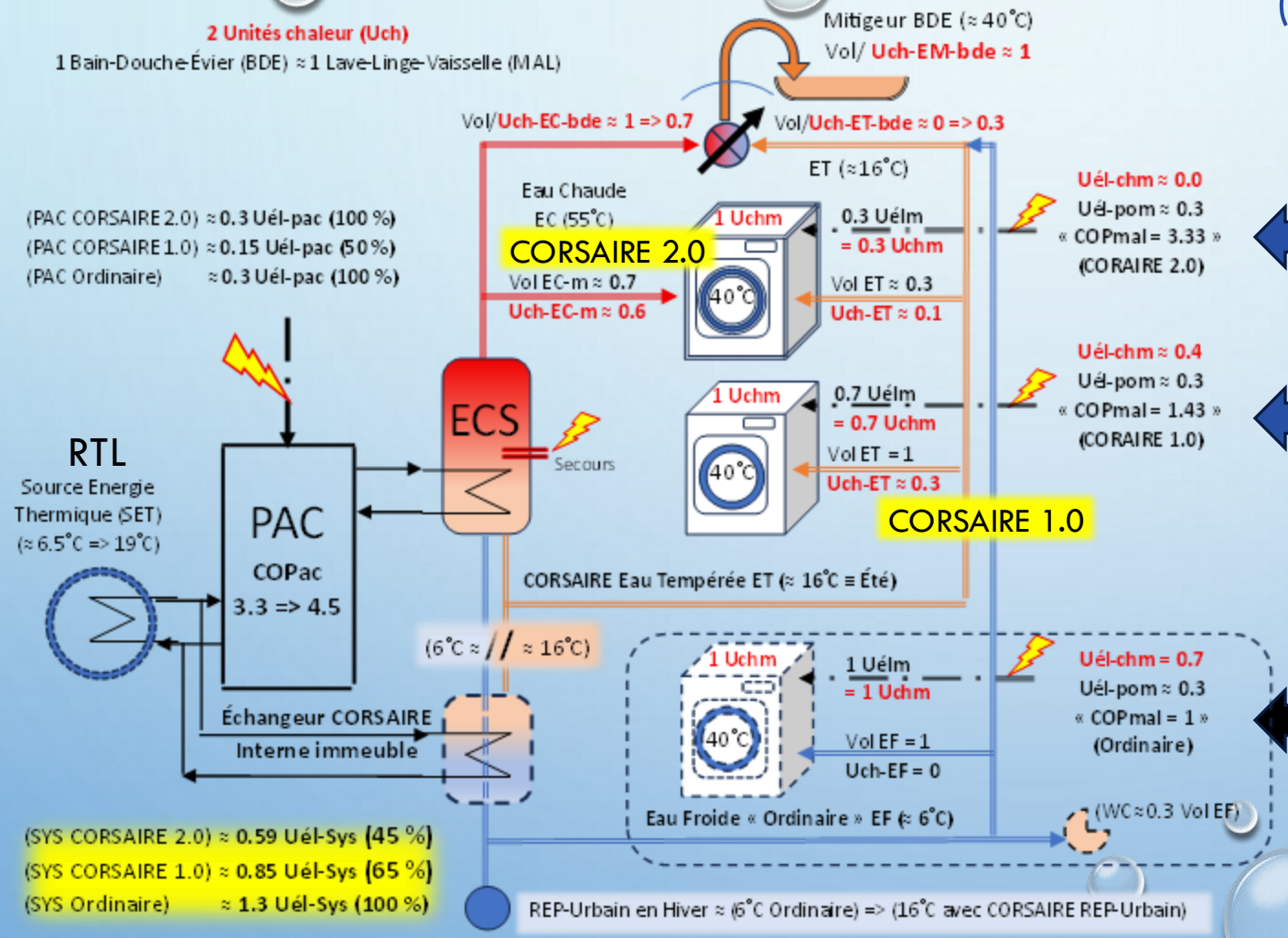
Électricité pompe, Epc^{+} = 0,5 GWh-é
Puissance Pp^{+} = 0,1 MW-é
(SPL GeniLac du Vengeron)



Consommation électrique en Semestre d'Hiver (PAC + Pompe de Circulation) : 39 + 0,5 = **39,5 GWh**

Consommation électrique en Semestre d'Hiver (**Sans ULISSE ni CORSAIRE**) : 69 + 10 = **79 GWh**

Impact Électrique de **CORSAIRE** pour l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) et les Machines à Laver (MAL) (Y compris hors région lacustre !)



CORSAIRE 2.0 (+ MAL à l'ECS !)
=> Suppression 100% chauffage électrique MAL

Réduction Tot. Élec. : 65% ! COPsys ≈ 2.9 (188 %)

CORSAIRE 1.0
=> Réduction 30% chauffage électrique MAL

Réduction Tot. Élec. : 45% ! COPsys ≈ 2 (130 %)

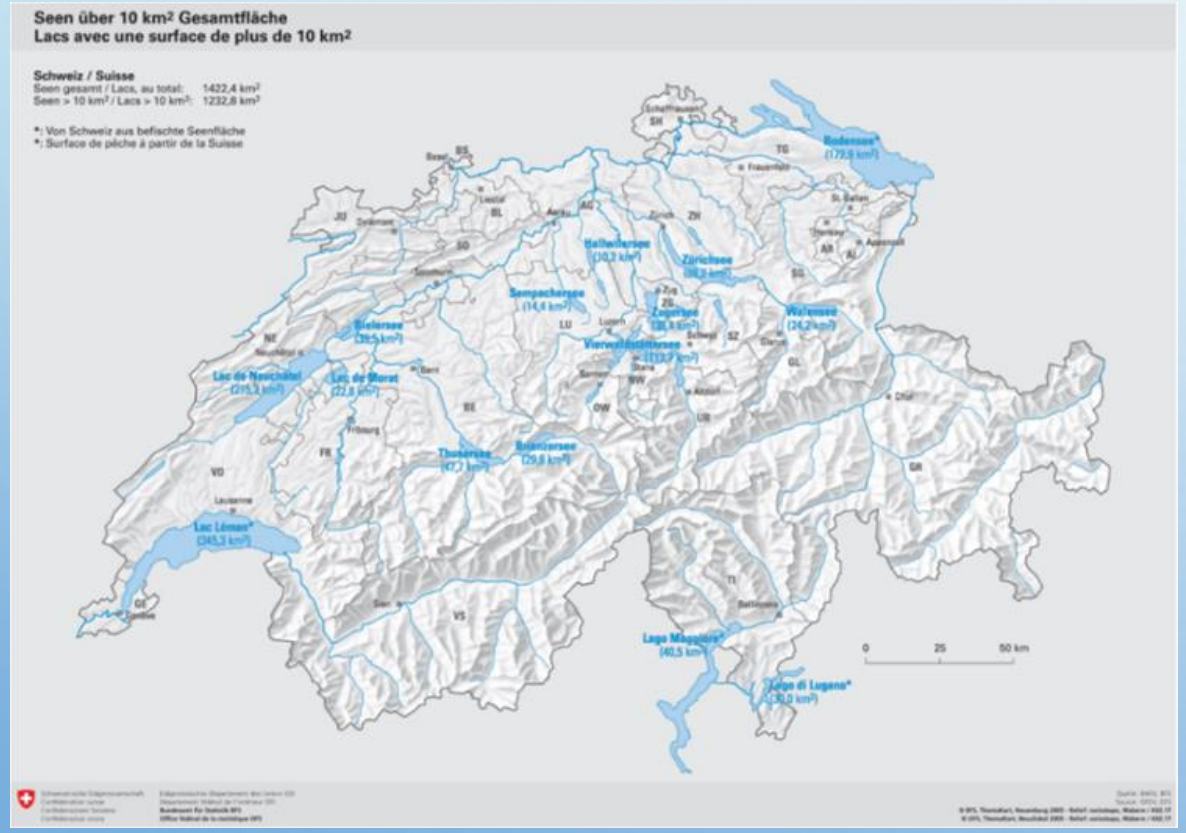
Sans CORSAIRE (Ordinaire)
⇒ **Chauffage MAL 100% électrique**

Total Électricité BDE+MAL : 100 % « Ordinaire »
COPsys ≈ 1.54 (100 %)

Potentiel National d'économie d'électricité Hivernale d'ULISSE et CORSAIRE via RTL

≈ 50 x RTL GeniLac (40 GWh*) ≈ 2,2 TWh nette, ≈ 2,4 TWh production brute (**)

(≈ 30% de la population Suisse habite dans la région des 15 plus grands lacs > 10 km² @ 2050)



Hypothèses conservatrices @ 2050 (Sans ULISSE):

- Besoin national de chaleur hivernale 200 PJ
- 1/4 de la population Suisse raccordé au RTL (Qc = 0,25 x 200 PJ)
- Usage généralisé du Chauffage + ECS via RTL
- Fourniture de Chaleur Qc = 50 PJ/an @ **COP-0 = 3,2 (*)**
- Électricité hivernale (E-0) pour PAC et Pompe RTL:

  E-0 =Qc/COP-0 = 50 PJ/**3,18** = 15,7 PJ (**4,4 TWh**)

Avec ULISSE & CORSAIRE (COP-1 = 6,3 *)

- E-1 =Qc/COP-1 = 50 PJ/**6,32** = 7,9 PJ (2,2 TWh)

Économie nette éclectique ΔE:

ΔE = E-0 – E-1= 7,8 PJ (**2,2 TWh**), **2,4 TWh production brute (**)**

(*) Étude de cas GeniLac

(**) ≈ 10% pertes hivernales T&T (transformation & transport)

Potentiel National CORSAIRE d'économie d'électricité @ 2050 (**hors régions lacustres !)**

≈ 0,7 TWh nette, ≈ 0,8 TWh production brute (**)

- **Hypothèses conservatrices en 2050 :**
- La moitié des bâtiments (P1=0,5), hors régions lacustres (P2 = 0,25), bénéficies du préchauffage (CORSAIRE) du REP (Interne et/ou Urbain). La fourniture de 6,75 PJ (*) de chaleur pour l'ECS, éviterait ainsi de 0,69 TWh nette d'électricité hors régions lacustres.
- 6,75 PJ **sans CORSAIRE** alimentés par PAC (avec un COPac-ecs de 2,73 @ Ef = 6,5°C) nécessiteraient 2,47 PJ => **0,69 TWh-e (nette)**
- 6,75 PJ = 200 PJ x (P1-P2) x P3 x P4 = 200 PJ x 0,25 x 0,45 x 0,3
- 200 PJ : Demande national de chaleur pour le Chauffage (DC) et (ECS); Ratio DC/ECS = 0,45 (part ECS: P3 = 0,45)
- P4 = 0,3 part de l'énergie pour l'ECS sont fournie par préchauffage CORSAIRE.
- **L'économie d'électricité sur les Lave-linges et vaisselles (MAL) n'est pas comptabilisée ici. Son intégration ajouterait ≈ 0,5 TWh brute (*).**

Potentiel National d'économie d'électricité ULISSE+CORSAIRE @ 2050 (**y compris hors régions lacustres)**

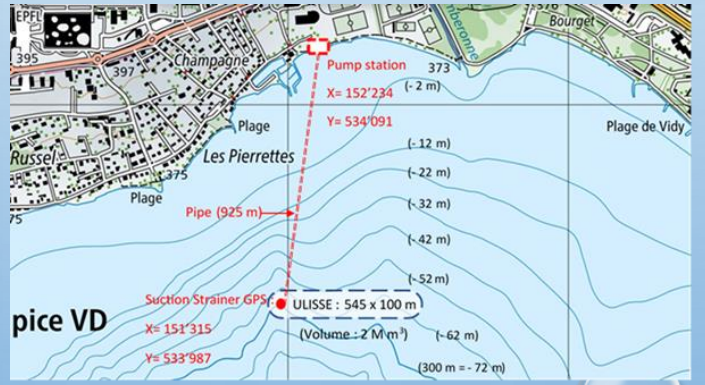
≈ 2,9 TWh nette, ≈ 3,2 TWh production brute (**) = 1/3 déficit hivernal national 2050!

(*) source OFEN: consommation 1,21 TWh/an d'électricité pour l'ensemble du parc des machines lave-linges et vaisselles

Next Step !
Suite de l'étude exploratoire d'ULISSE - CORSAIRE

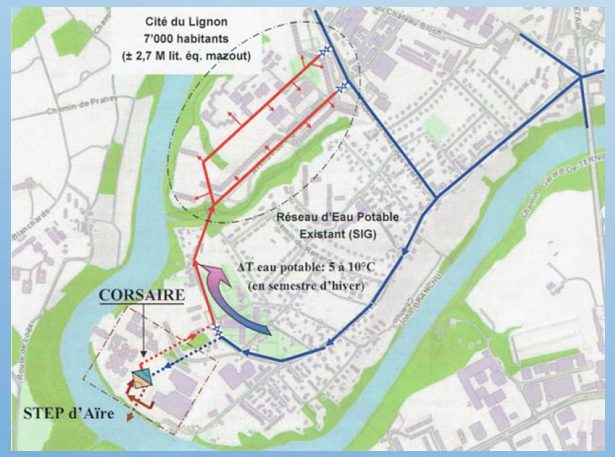
ULISSE: Phase de Recherche Avancée (PRA) et Phase Pilote & Démonstration (PDP)

- **Impacts environnementaux lacustres et vis-à-vis des usagers du lac**
- **Comportement hydrodynamique face aux courants lacustres**
- Simulation numérique du réservoir sous-lacustre ULISSE
- Robot sous-marin d'inspection et de nettoyage de l'enveloppe (moules quagga)
- Potentiel d'implantation dans les 15 plus grands lacs suisses
- Prototype taille réduite (1/1'000, R=5 m, 1-2 K m^3) dans lac + prototype 1 secteur grandeur nature (R=50 m)
- **PDP grandeur nature (1 M m^3), proposition de connexion au RTL de l'EPFL – UNIL avec observation similaire à LéXPLORE.**



CORSAIRE

- **Reprise du projet CORSAIRE (Plan Directeur de l'Énergie de Genève 2001-2005)**
- Acceptation sociale de la modification hivernale de la température de l'eau au robinet
- Intégrité sanitaire de l'eau au robinet soumise à une correction de la température en hiver
- Intégrité physique du REP-Urbain en hiver sous préchauffage CORSAIRE
- Pertes thermiques du REP-Urbain et amélioration de l'isolation de secteurs critiques (extrémités)
- **Proposition de la Phase Pilot + Demonstration (PDP) de CORSAIRE sur la Cité du Lignon (Genève)**
- Essais avec CORSAIRE (1.0 et 2.0) sur REP Urbain et Local (échangeur CORSAIRE placé dans l'Immeuble Pilote).



Cité du Lignon à Genève
2'780 logements,
6'500 habitants

Calendrier du Projet ULISSE

- **2026 Constitution du Consortium ULISSE pour la Phase de Recherche Avancée (PRA)**
- **2027-2028 (PRA) => Budget estimatif provisoire (Bep): 2 - 3 M CHF**
  - ULISSE Prototypes 1/1'000 et études associées au RTL,
  - CORSAIRE et études associées au REP.
- **2029-2030 (PDP) => Bep : 10 M CHF (@ pilote 1 M m^3) - 20 M CHF (@ pilote 2 M m^3)**
  - ULISSE réservoir pilote grandeur nature **(1 ou 2 M m^3)** raccordé au RTL & REP des campus EPFL-UNIL (proposition)
  - CORSAIRE 1.0 et 2.0 sur l'Immeuble pilote de la Cité du Lignon (proposition).
- **2031-2050+ Phase Implementation Nationale (PIN) + Internationale (?)**
  - ULISSE 600 ou 300 réservoirs (1 ou 2 M m^3/pc) réparties dans les 15 grands lacs suisses (relié aux RTL), **=> Bep : 3 G CHF** (*)
  - CORSAIRE raccordé aux RTL et REP (avec ULISSE et hors régions lacustres). **=> Bep : 1 G CHF** (1 CHF/kWh)

(*) Hypothèse Coût volumique réduit de 50% lié à la production en série (600 unités de 1 M m^3 : 10 => **5 CHF/m^3**

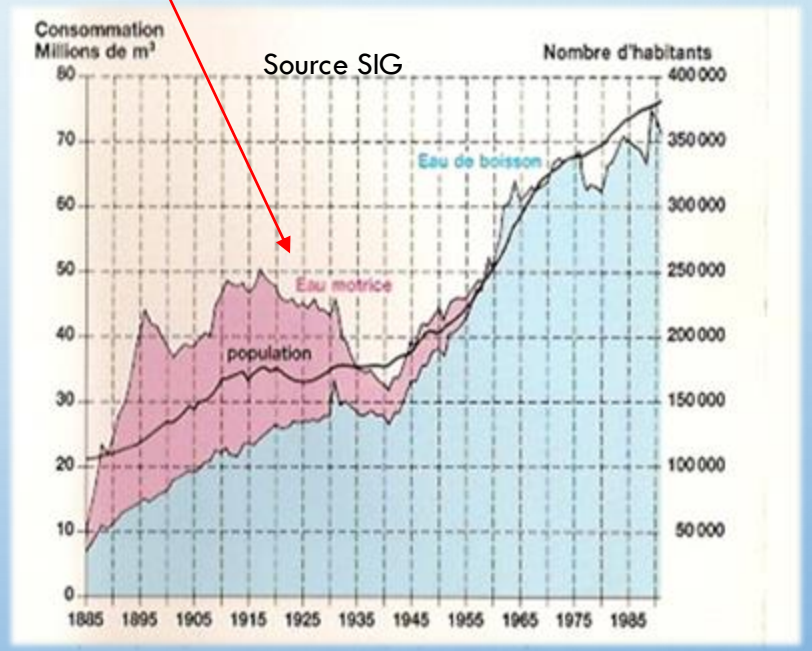
Résumé-Conclusion

- **L'Accord de Paris sur le Climat** nous engage à une **véritable Transition Énergétique du Fossile au Renouvelable**.
- Décarbonation de l'industrie, Mobilité électrique, Climatisation et Chauffage par Pompe à Chaleur, **défient la fourniture d'électricité en semestre hiver (Déficit Suisse de 20% au semestre d'hiver 2050).**
- Le ***Réseau Thermique basse température*** permet l'échange (bourse) de Chaleur (**Chauffage & Climatisation**) plutôt que de la rejeter.
- Le **Réseau Thermo Lacustre** (RTL) ajoute le potentiel thermique des lacs, néanmoins, **qui sont menacés d'asphyxie** par le réchauffement climatique.
- Le **Réseau d'Eau Potable** (REP) est un Réseau Thermique **Négligé** ! Sa chute hivernale de température (≈ 10°c) augmente la consommation d'électricité (ECS, machine à laver, etc.).
- Plutôt que de produire davantage d'électricité, **le système combiné ULISSE** (RTL) **+ CORSAIRE** (REP) permettrait de **réduire de moitié la consommation d'électricité hivernale** (lorsque le prix est au sommet) !
- **ULISSE pourrait protéger le lac conter le réchauffement climatique,** en favorisant l'oxygénation et la circulation des nutriments.
- Au regard de l'Urgence climatique et des conclusions encourageantes de l'Étude exploratoire du Projet ULISSE (+ CORSAIRE), il est opportun de constituer un **Consortium pour l'Étude de Recherche Avancée** avec **Prototype**, suivit d'un **Pilote** (P+D) grandeur nature à l'horizon 2030. Un Programme d'implantation nationale en Suisse pourrait **répondre au 1/3 du déficit hivernal d'électricité d'ici 2050.**

BONUS …Genevois

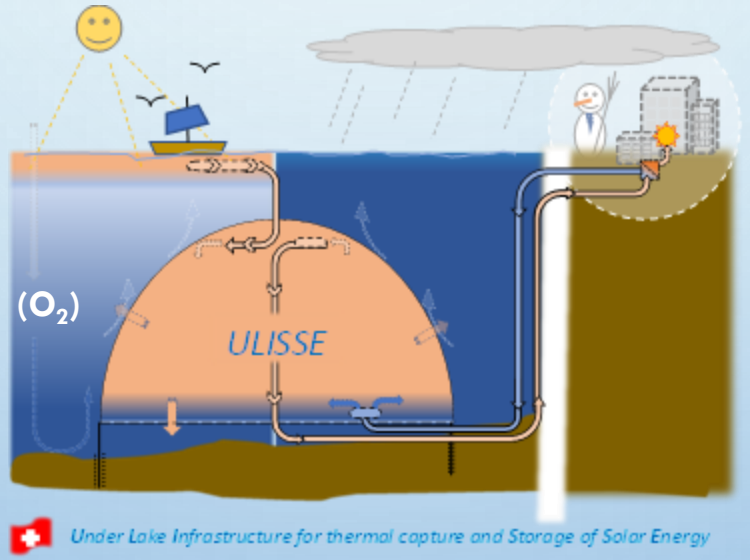
Avant le développement des réseaux électriques, le **Jet d'eau de Genève** est à l'origine d'une **co-fourniture d'eau et d'Énergie-mécanique** par le Réseau d'Eau Potable (REP), pour alimenter les machines des artisans genevois de 1886 à 1960 (**Eau motrice**).

Le « *déglaçage hivernal* » du REP, sans PAC (CORSAIRE), en co-fournissant à l'eau potable de l'**Énergie-chaleur**, renouerait Genève avec son Histoire industrielle et artisanale…



Le premier jet d'eau de Genève à l'emplacement de l'usine de la Coulouvrenière (Bâtiment des *Forces Motrices* BFM)
© Livre « Genève – Passée et présent sous un même angle » de Nicolas Crispini et Jean-Claude Mayor

Merci de votre attention
Thank you for your attention



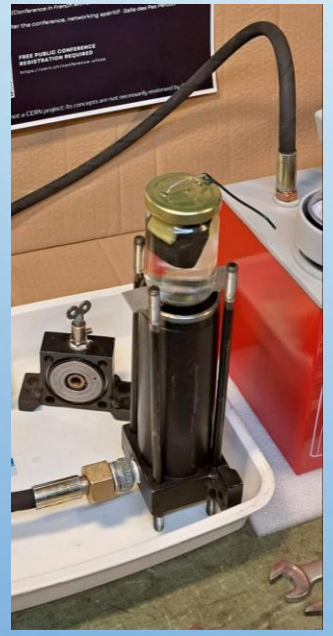
(*Image generated by **A**rtisanal **I**ntelligence*)

Essai Hydrostatique du Verre Cellulaire FOAMGLAS

Pression nominale de test ≥ 25 bar (kg/cm^2,10^5 Pa)

≥ 250 m de profondeur lacustre !

Échantillon FOAMGLAS type F (≈ 165 kg/m^3) placée à l'intérieure d'un flacon (ouvert) dans l'enceinte hydrostatique



Mise sous pression de l'enceinte hydrostatique par la pompe à épreuve (**durée plusieurs semaines**)

≥ 25 bar (10^5 Pa)

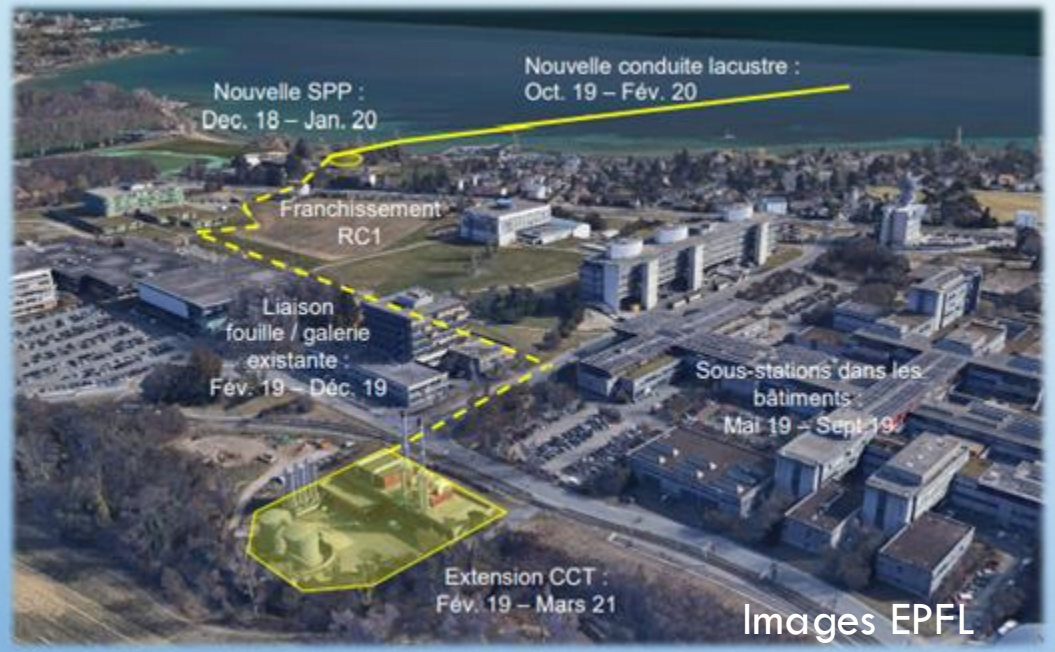
Sortie de l'échantillon de l'enceinte hydrostatique après l'essai sous pression

Résultat:
Intégrité totale de l'échantillon
(zéro résidu de particules de verre dans le flacon récepteur)

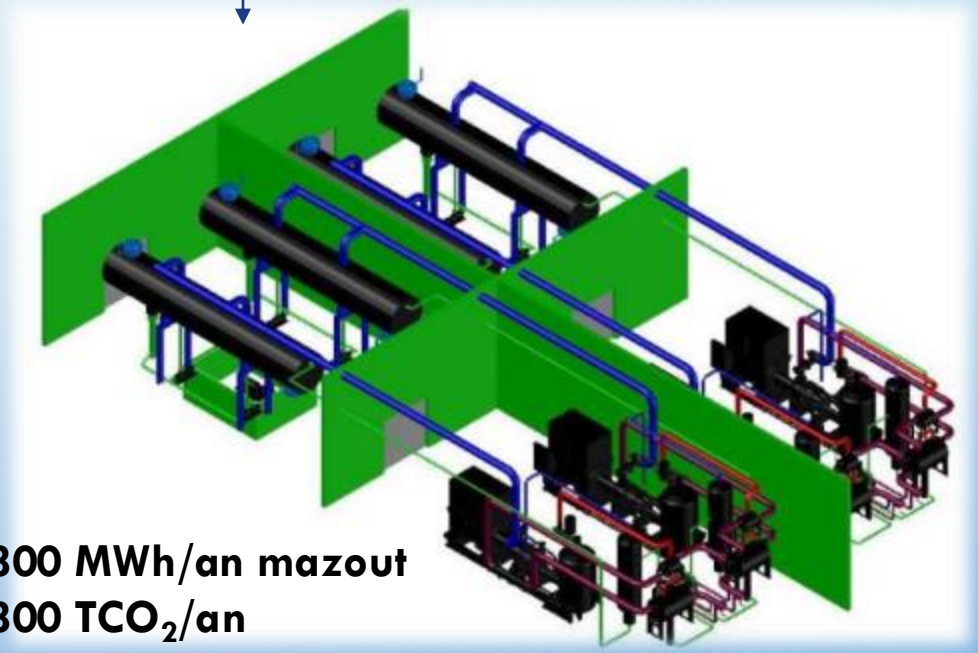
Nouveau réseau hydrothermique lacustre de l'EPFL (& UNIL)
(Climatisation en « Free Cooling » et Chauffage par « PAC »)
(mise en service : 2021)

Échanges avec le Lac : 109 GWh (32 GWh Chauffage + 77 GWh Froid)

Pompe À Chaleur (PAC) 4 x 6 MW
+ 4 MW rejets chaleur Data Center
+ 18 MW Chaudières à gaz (secours)



Images EPFL



- 6'800 MWh/an mazout
- 1'800 TCO_2/an

Annexes pour Q&R ULISSE @ CERN

Chaleur de **CLIMATISATION Injectée dans ULISSE (FC + PAC !)**

(*3): Température ambiante source froide Tf = 28 °C (298 K) ; ΔTf = 19 K , ΔTc = 21 K , Tpitch = 2K

Fraction ULISSE-FC (16K/19K) = 206 GWh-t + 13 GWh-é = 219 GWh-t => COPfc 15,8 (FC !)

Fraction ULISSE-PAC (3K/19K) = 39 GWh-t + 14 GWh-é = 53 GWh-t => COPfc 2,8 (PAC*1)

Total Chaleur injectée ULISSE = 245 GWh-t + 27 GWh-é = 273 GWh-t => COPsys Froid 9 (!)

COPsys Chargement ULISSE = 273 GWh-t / 27 GWh-é = 10 (COPsys Froid +1)

Volume Eau ULISSE @ 28°C = 11 millions m³ @ ΔT 21 K (7 °C => 28°C)

Température moyenne 6-7 °C
au captage (- 45 m)

Données de bases Étude de cas GeniLac avec ULISSE

Fourniture de Froid inchangée 233 GWh (en free cooling, donc chaleur résiduelle non chargés dans les réservoirs ULISSE)

Fourniture de Chaleur 250 GWh hors appoint gaz (2050)

- Sans ULISSE ni CORSAIRE, via le RTL, la chaleur est extraite directement de l'eau du lac à une température moyenne de 6°C et restituée à 3°C (ΔT 3 K).
- Avec ULISSE et CORSAIRE, via le RTL, l'eau est extraite des réservoirs ULISSE à une température moyenne de 19°C et restituée à 3°C (**ΔT 15 K**).
- **Le volume total des réservoirs est de 12 M m³.**

La chaleur nette extraite des réservoirs est de **200 GWh** (17'200 tep), **équivalent à 215 wagons-pétroliers de 95 m³, convois de 4 km.**

Consommation électrique (Réduction de 50 %)

Sans ULISSE : ≈ 80 GWh (COPsys = 3,2)

avec ULISSE : ≈ 40 GWh (COPsys = 6,3)

Réduction du volume d'eau pompée : 49 => 12 M m³ (75 %)

Performances du système GeniLac

Coefficients de performance des pompes à chaleur

Sélection chauffage 35°C et ECS 65°C :

Données de la PAC									
Nom et type de PAC									
Données de puissance de la PAC		Pompes:	Consenseur	inclus dans le COP		Evaporateur	inclus dans le COP		
				Données introduites en ordre croissant selon la température de la source					
Chauffage	T Dep °C	Température de la source de chaleur:	°C	3	5	8	12	15	
		Puissance therm.	kW	352.65	375.4	410.3	459.6	498.96	
T Dep 35 °C	35	COP	-	4.614	4.801	5.076	5.432	5.689	
ECS eau chaude sanitaire	T Dep °C	Température de la source de chaleur:	°C	3	5	8	12	15	
		Puissance therm.	kW	313	330.72	357.8	397.04	428.8	
T Dep 65 °C	65	COP	-	2.561	2.659	2.808	3.013	3.172	

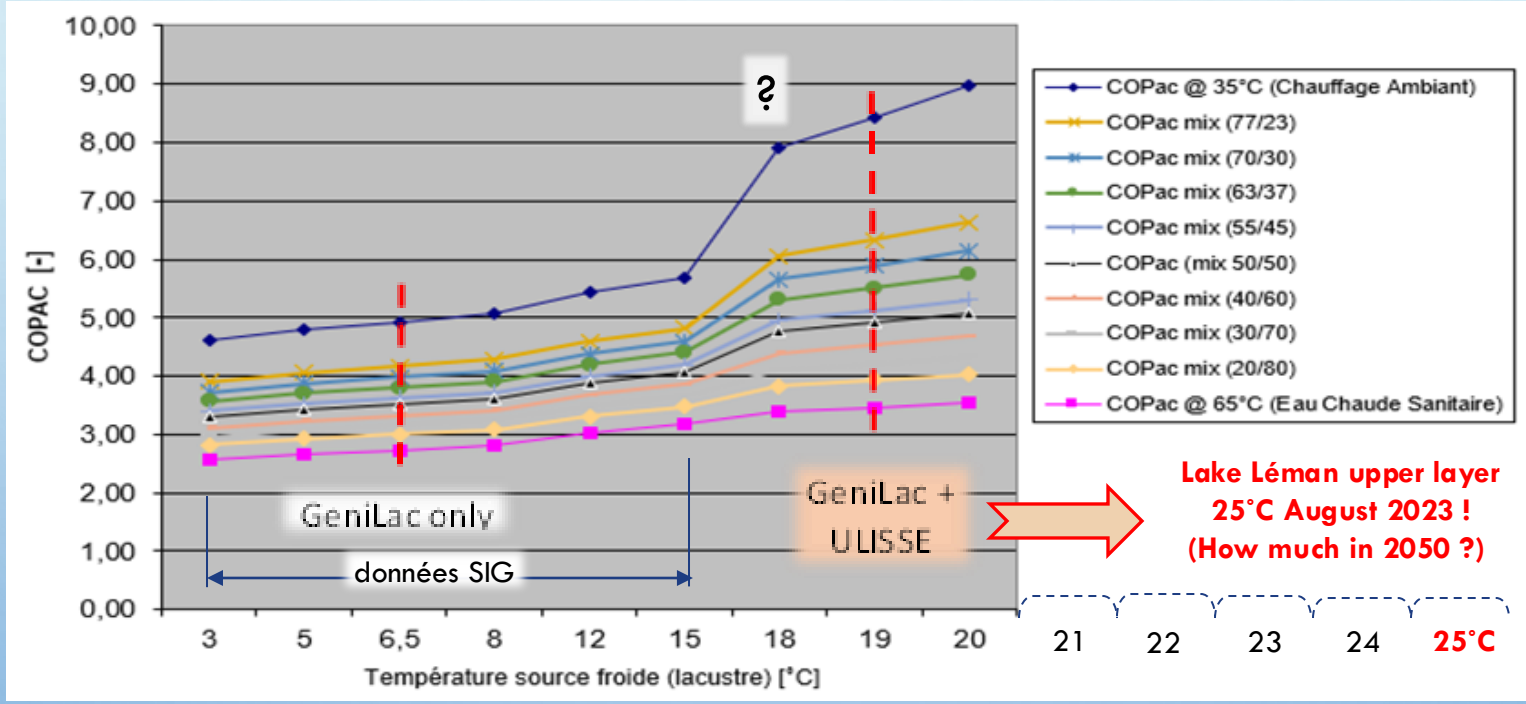
COPac ULISSE

18 – 20…25 °C

≈ + 60%

≈ + 30%

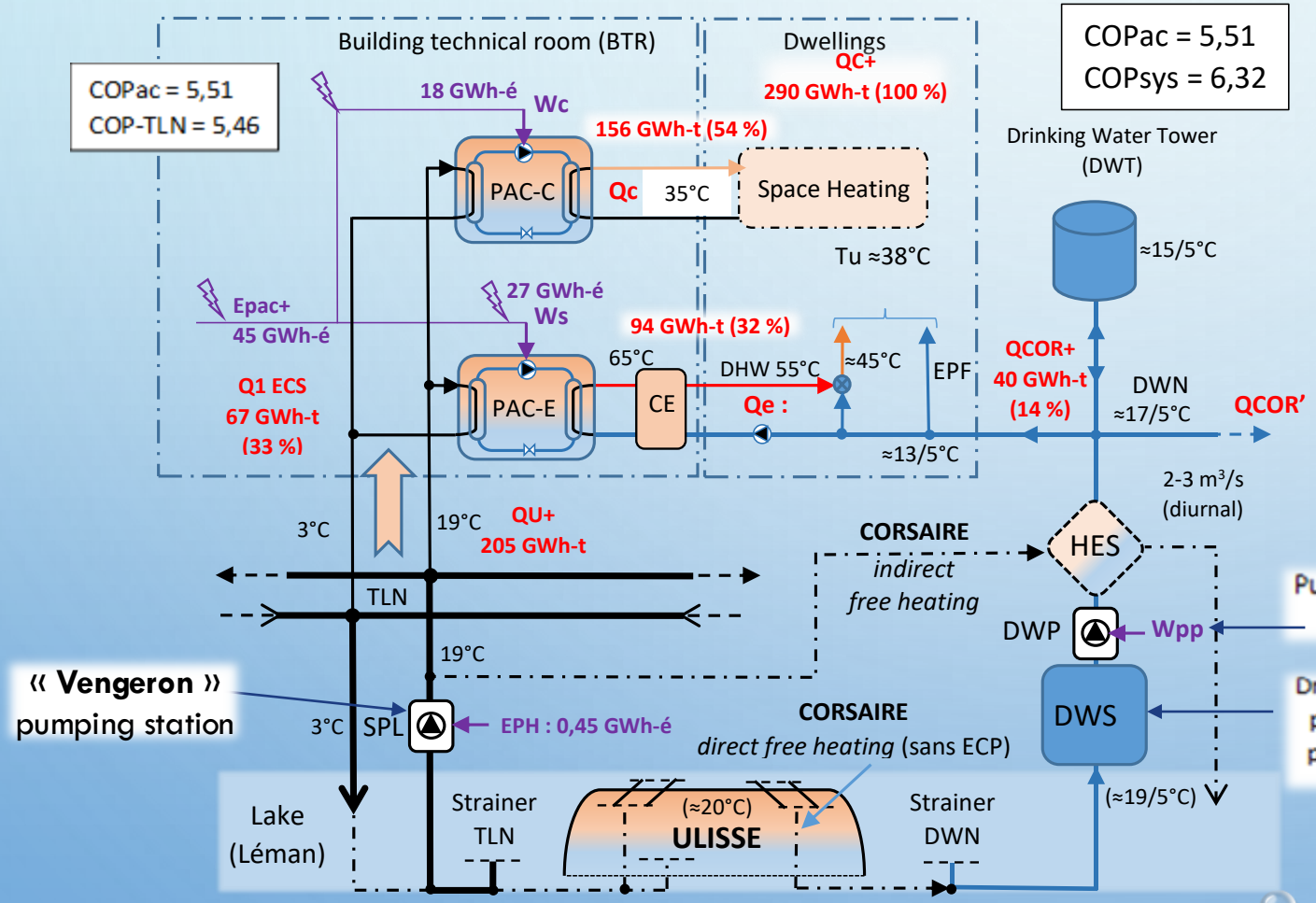
Heat pump efficiency (COP) vs lake water temperature by ULISSE & (GeniLac case study)



<= 100% @ 35°C
Room heating

<= 100% @ 65°C
Domestic Hot water

TLN GeniLac in winter semester 2050
ULISSE & CORSAIRE free heating of urban PWN



In 2050, ULISSE & CORSAIRE free heating can potentially half the Winter electricity consumption of the TLN networks such as GeniLac : COPsys: 3,18 => 6,32

Distribution of 300-310 ULISSE Reservoirs of 2 M m^3/unite in the15 largest Swiss lakes in proportion of surfaces (distribution in function of lake surface, not the local population)

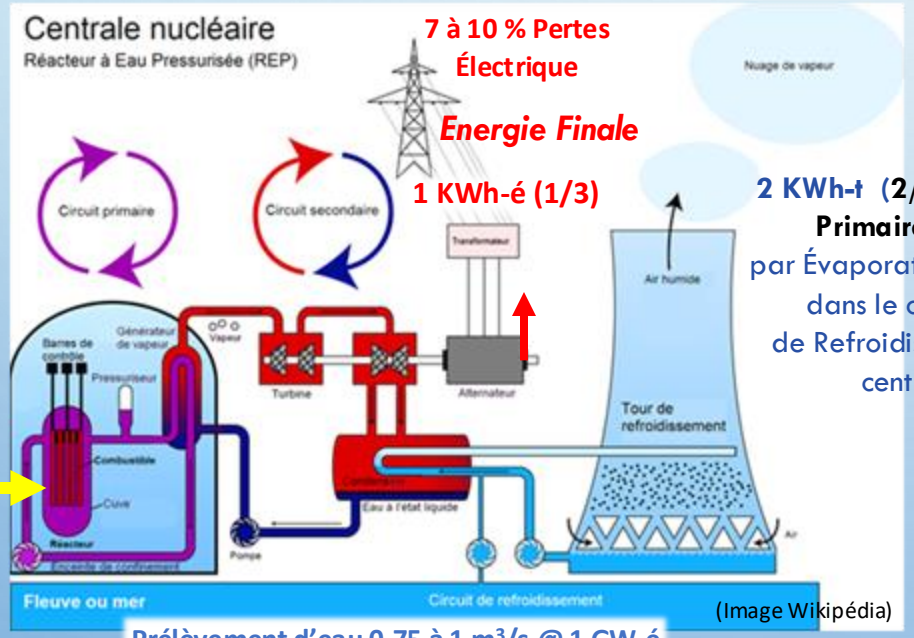
	Nom	Volume par lac (km^3)	Surface totale (km^2)	Surface Suisse (km^2)	Surface Suisse (% vs les lacs)	Répart. ULISSE (NRU/surf.CH. lac)	Répart. ULISSE (NRU / habitans)	Volume ULISSE (% vs lac)	Surface ULISSE (% vs lac)
1	Lac Léman (CH, FR)	89	580	345,3	28,7	87	?	0,20	0,81
2	Lac de Constance (CH, D, AT)	48	539	172,9	26,6	43	?	0,18	0,44
3	Lac de Neuchâtel	14	215	215	10,6	54	?	0,77	1,36
4	Lac Majeur (CH, IT)	37	212	40,5	10,5	10	?	0,06	0,26
5	Lac des Quatre Cantons	11,8	114	114	5,6	29	?	0,49	1,36
6	Lac de Zurich	3,9	88	88	4,3	22	?	1,13	1,36
7	Lac de Lugano (CH, IT)	6,5	49	30	2,4	8	?	0,23	0,83
8	Lac de Thoune	6,5	48	48	2,4	12	?	0,37	1,36
9	Lac de Bienne	1,1	40	40	2,0	10	?	1,80	1,36
10	Lac de Zoug	3,2	38	38	1,9	10	?	0,60	1,36
11	Lac de Brienz	5,2	30	30	1,5	8	?	0,29	1,36
12	Lac de Walenstadt	2,5	24	24	1,2	6	?	0,48	1,36
13	Lac de Morat	0,6	23	23	1,1	6	?	2,10	1,36
14	Lac de Sempach	0,7	14	14	0,7	4	?	1,07	1,36
15	Lac de Hallwil	0,3	10	10	0,5	3	?	1,80	1,36
	Totaux :	**230,2**	**2 024**	**1 233**	100,00%	310	310	0,20	0,83

= 600 - 620 M m^3 ≈ 1,5 Grande Dixcence (GD) water storage volume (400 M m^3)

2 TWh electricity saving = 2 GD winter semester electricity production (2 x 1,5 TWh) !

Avec le réchauffement climatique, le Nucléaire (bas-carbone, non-renouvelable) devient une source d'énergie *intermittente en saison d'été* … (Stress hydrique estival systémique et conflits d'usages de l'eau douce)

Refroidissement par *Tour Humide* 2,5 litres d'eau évaporée par kWh d'électricité
ou **2,5 millions de m³/TWh = 1'000 piscines olympiques** (source: EDF)



(Image Wikipédia)

Energie Primaire
Nucléaire (3/3)
3 kWh-t

2 KWh-t (2/3 de l'Energie Primaire Rejetée)
par Évaporation ou Dissipée dans le cours d'eau de Refroidissement de la centrale…

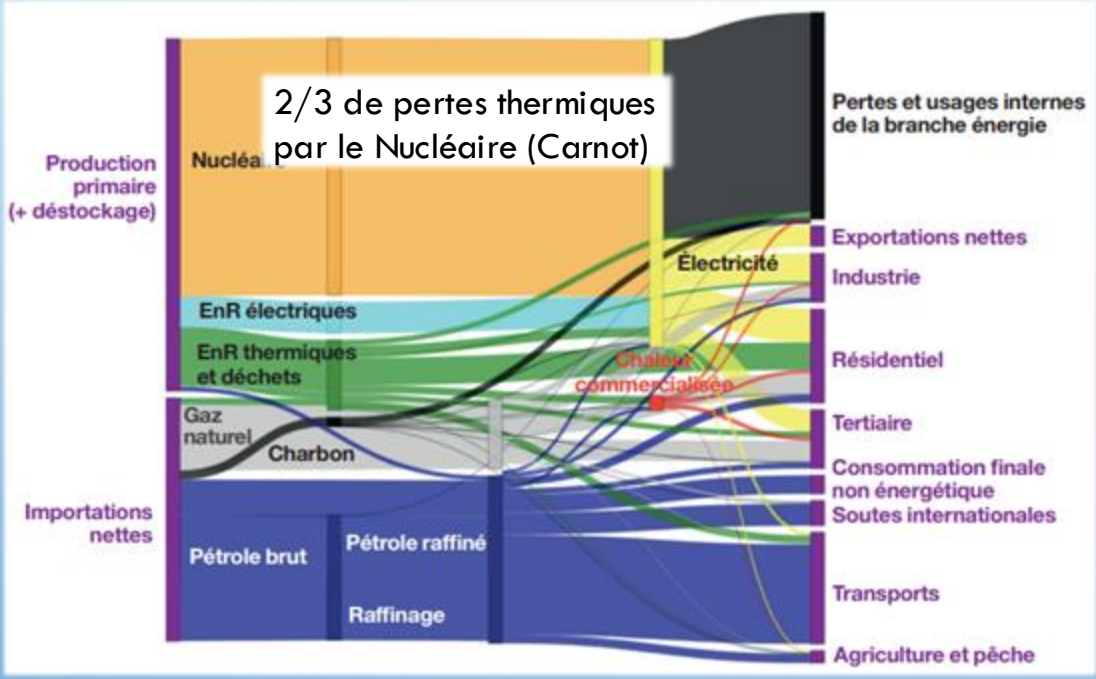
Centrale nucléaire de Gösgen sur l'Aar (Suisse)
900 MW-é avec son panache de vapeur d'eau
(0.75 m³/s : 10 millions m³ d'eau pris sur l'Aar en semestre d'été)

Flux de l'Énergie « *Primaire à Finale* » de la France (2025)

(Sources: SDES, Bilan de l'énergie & RTE)

Energie Primaire (EP)
2'734 TWh (9'842 PJ)

Energie Finale (EF)
1'609 TWh (5'792 PJ) ≈ 7 x Suisse !



547 TWh d'électricité (1/3 de l'Energie Primaire)
dont:

373 TWh	**Nucléaire**	(**68.1**%)
62 TWh	Hydraulique	(11.4 %)
33 TWh	Photovoltaïque	(6 %)
50 TWh	Éolien	(9.1 %)
11 TWh	Th.Ren.+Déch.	(2 %)
16,4 TWh	Gaz	(3 %)
1,6 TWh	Fioul	(0.3 %)
0.7 TWh	Charbon	(0.1 %)