

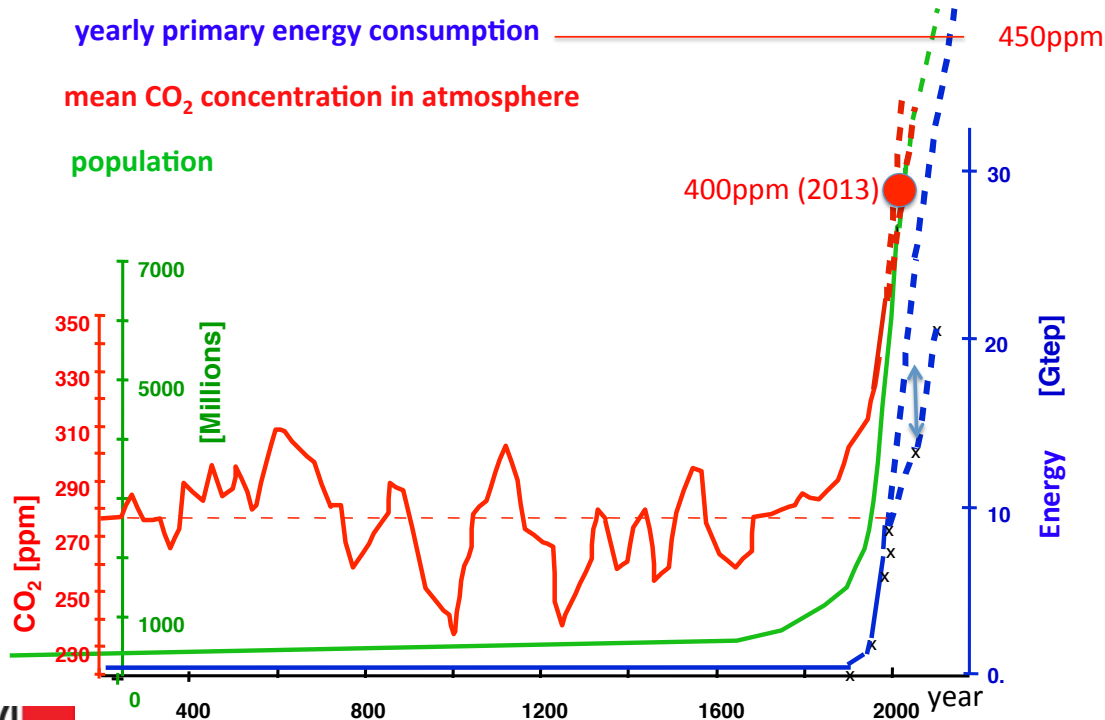
Pompes à chaleur: technologies et perspectives

Prof Daniel Favrat

Sommaire

- Introduction
 - Importance de l'efficacité énergétique
 - Le rôle des pac
- Les filières de pac
- Comment améliorer les pac à compression
- Les pac de réseaux urbains
- Les pac domestiques
- Concepts avancés de composants et de pac
 - Pac biétagées avec ou sans huile
- Nouveau concept de réseau urbain avec pac
- Conclusions et perspectives

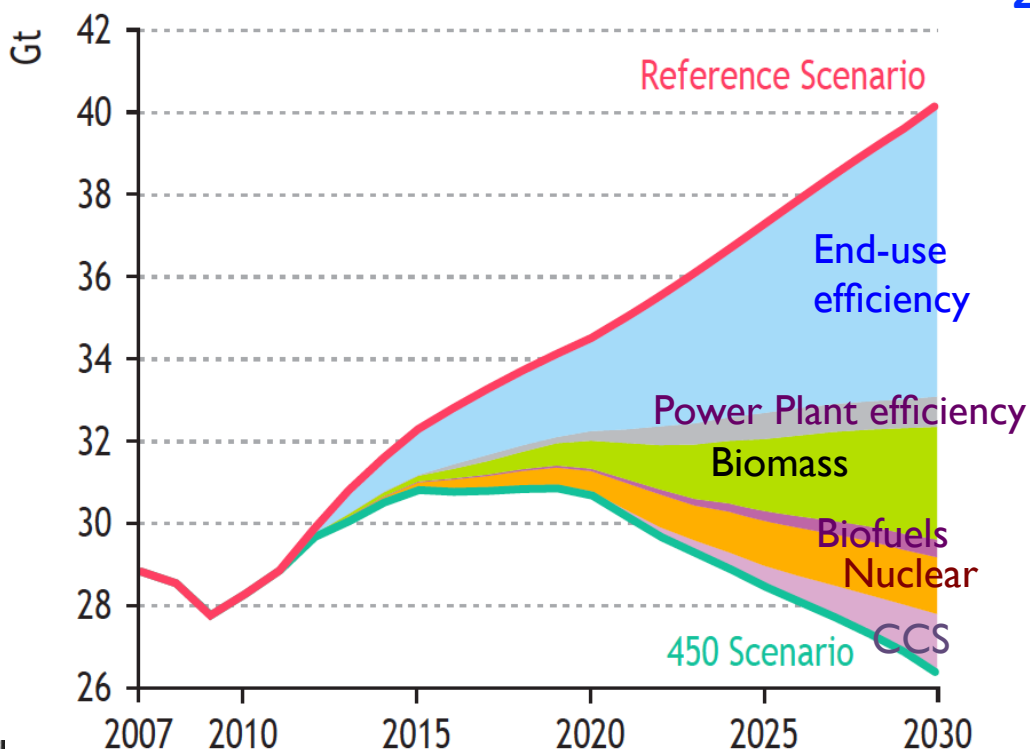
Major trends Worldwide



Pac Genève2013 Favrat
<http://energycenter.epfl.ch>



Main action domains to reduce CO₂

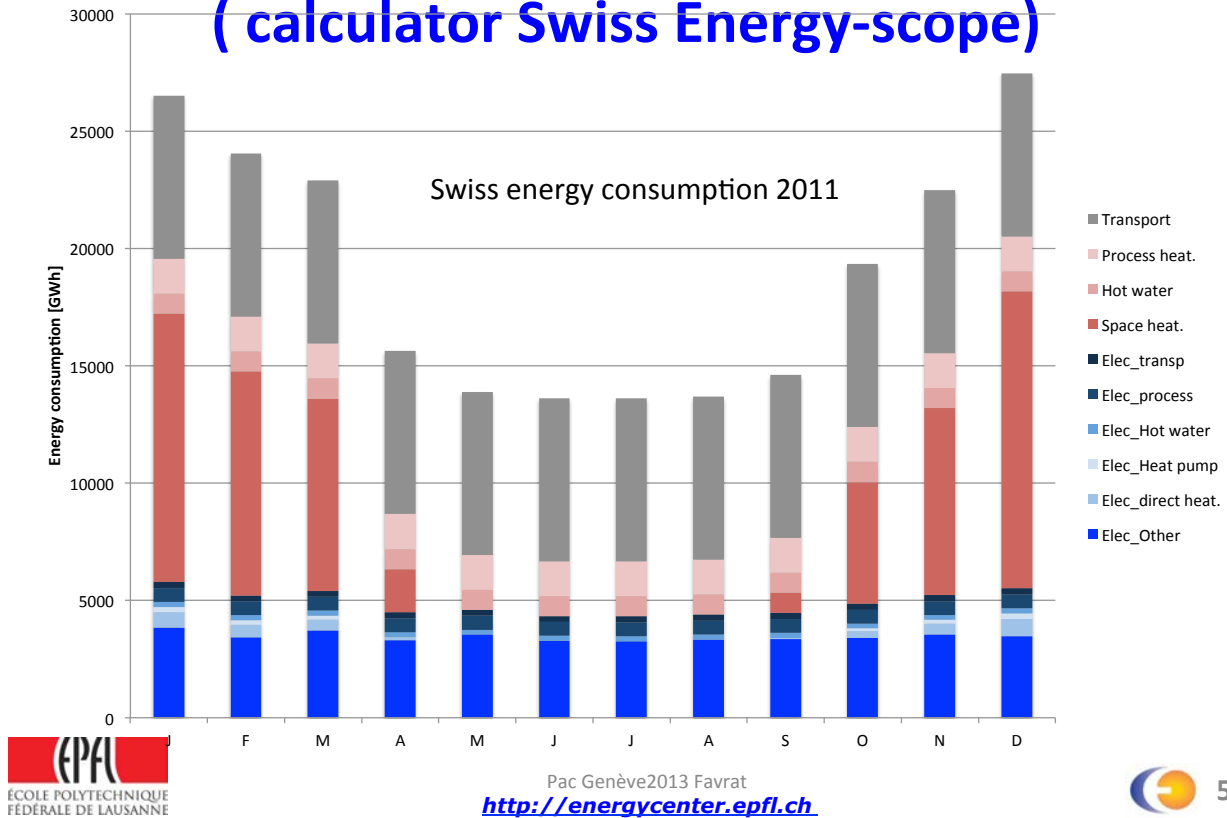


Pac Genève2013 Favrat
<http://energycenter.epfl.ch>

IEA Outlook 2009

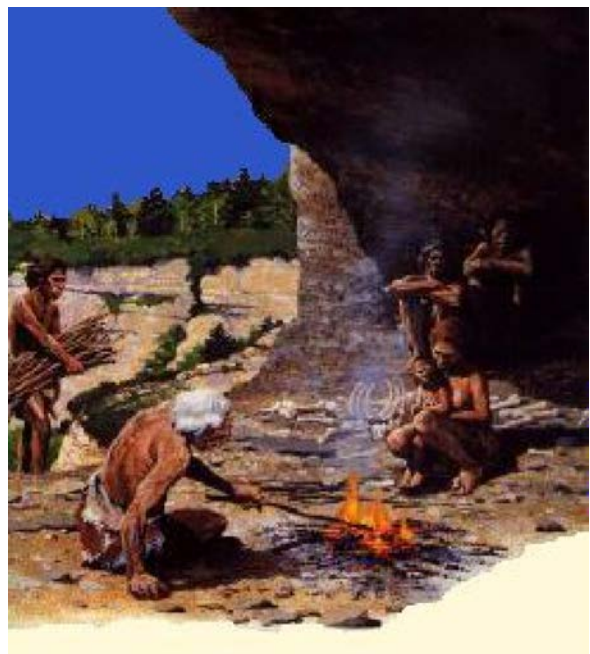


Accounting for seasonal demand variation (calculator Swiss Energy-scope)



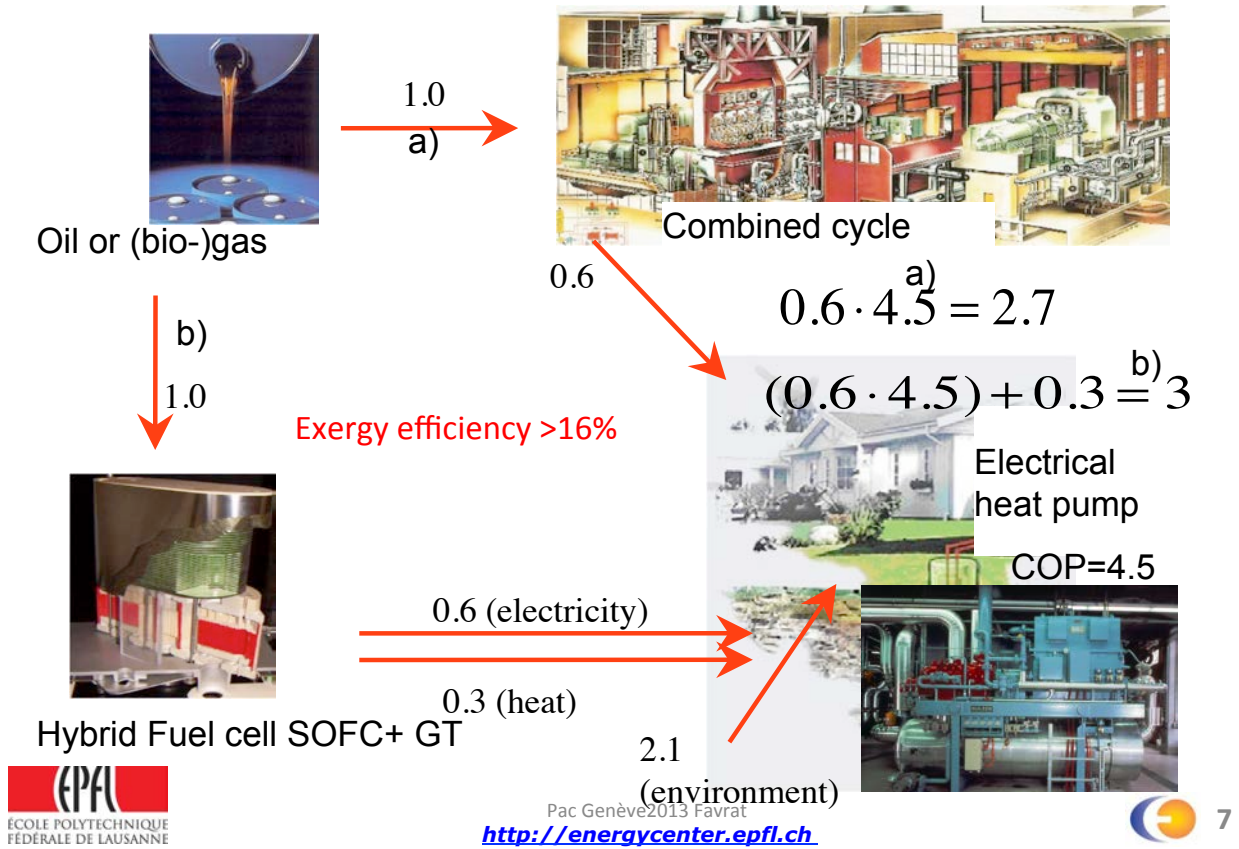
Ex: Combustion and heating

- Simple combustion for heating since around 400'000 years
- Still today the majority of heating systems (boilers)
- Boilers = Energy efficiency close to 100%!
(sometimes >100%!!)
- Is it really a 21st century technology ?

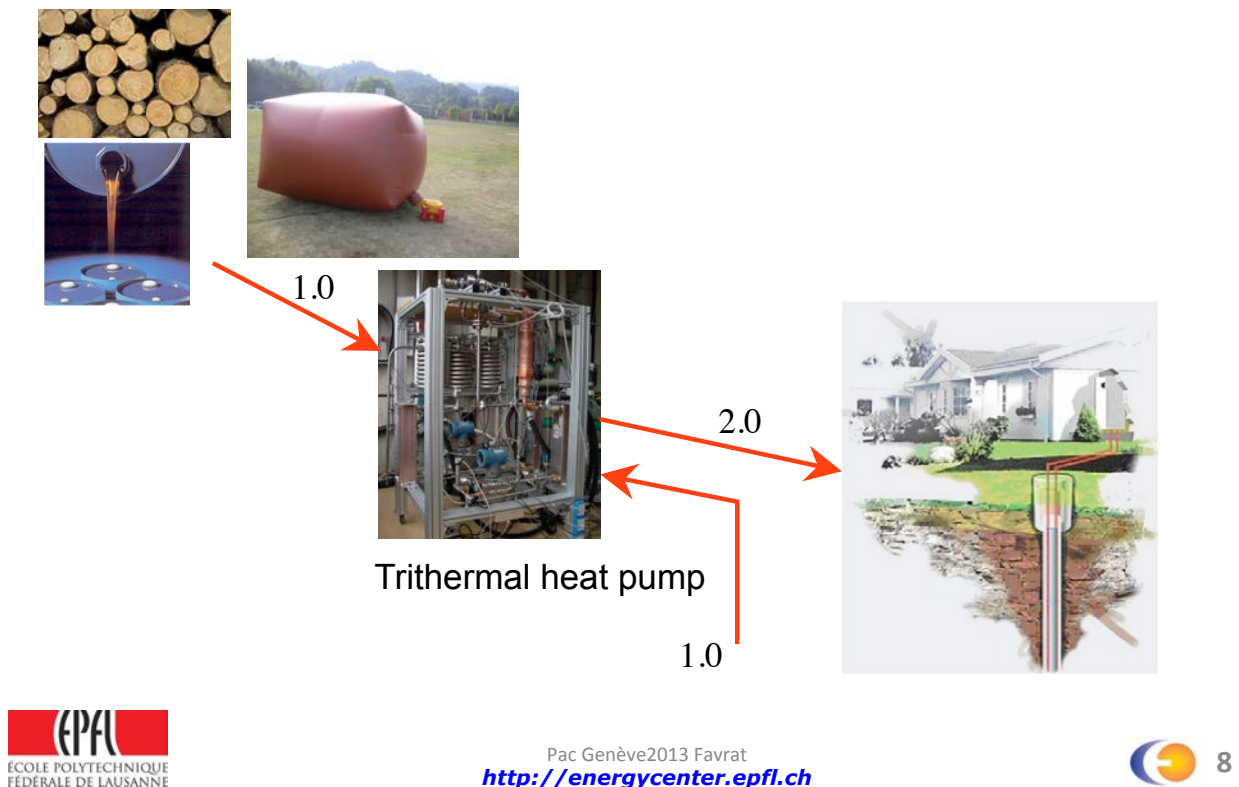


Of course not: exergy efficiency of around 6%

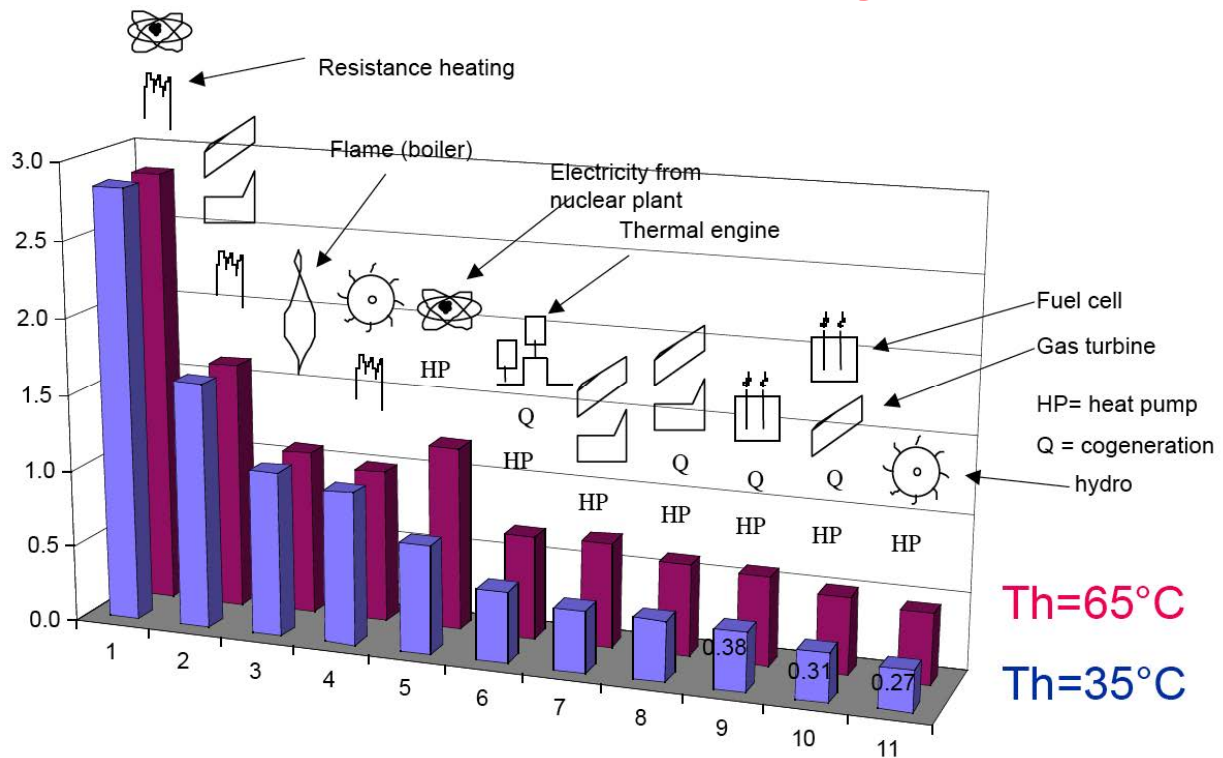
Alternative for heating with the same fuel



Alternative: Thermal heat pumps



Relative consumption of technology combination for heating



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

<http://energycenter.epfl.ch>

9

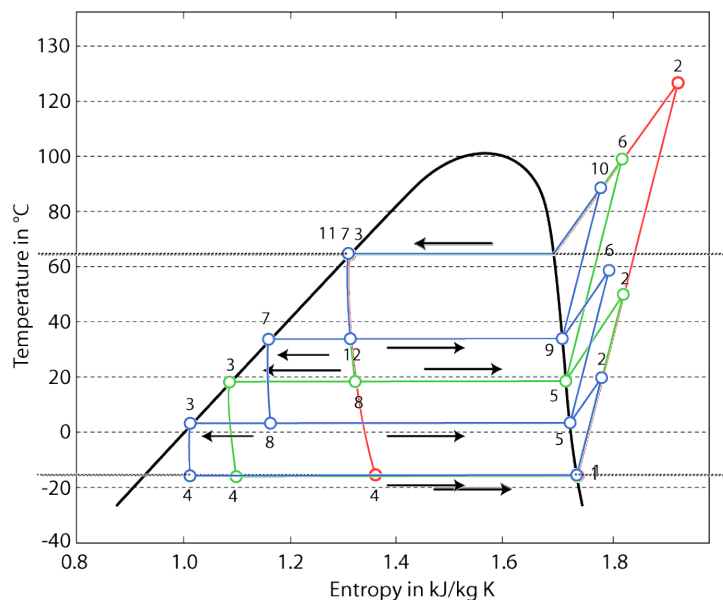
Heat pumping technology families

- Compression
 - of vapor (reversed Rankine)
 - of gas (ex: Stirling)
- Chemical (absorption with fluid or solid)
- Thermoelectric (Peltier effect)
- Magnetic (pseudo Stirling, etc.)

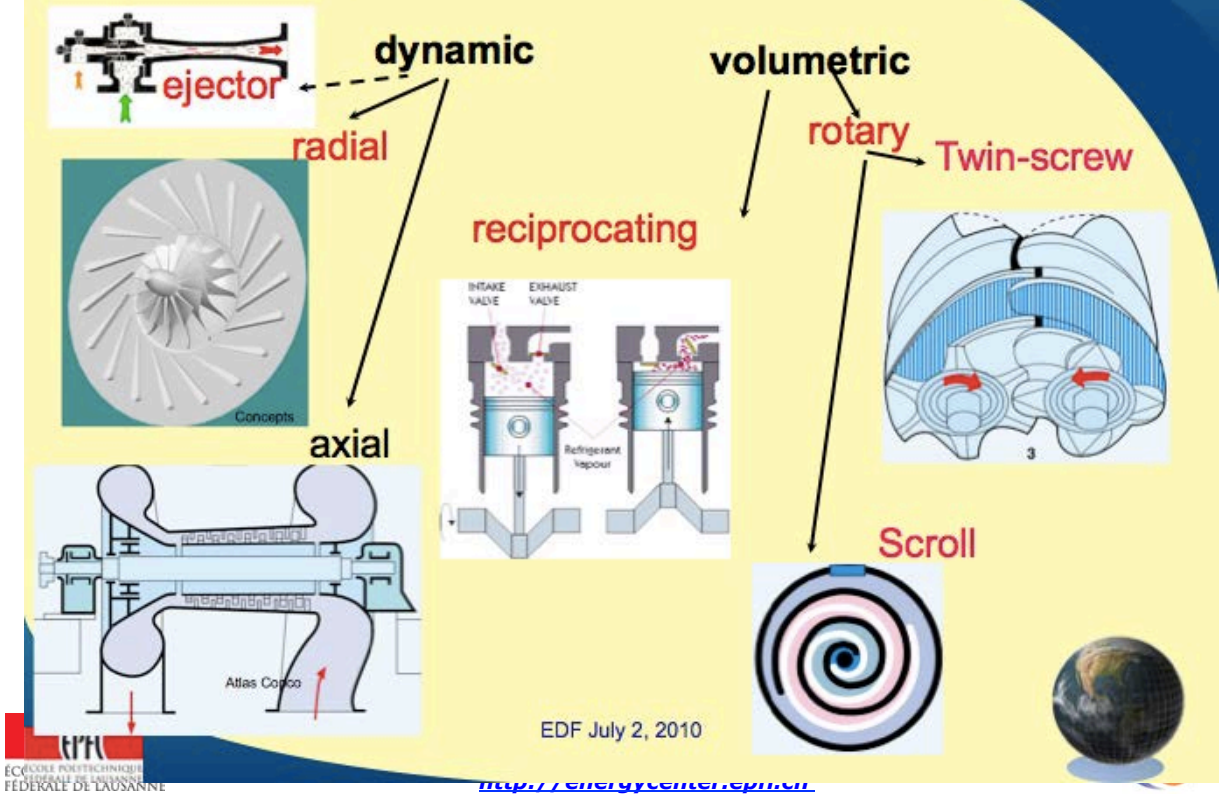
Vapor compression heat pumps

- The most efficient today (by far when using a high exergy supply)
- Now: Exergy efficiency (COP/COP_{theoretical}) varying between 35 et 65%
- The main losses for high temperature lift heat pumps (boiler substitution) are in:
 - Compressor (around 50%)
 - Expansion valve (around 35%)
 - Heat exchangers (around 15%)

Vers des cycles multi-étagés et, si possible, sans huile



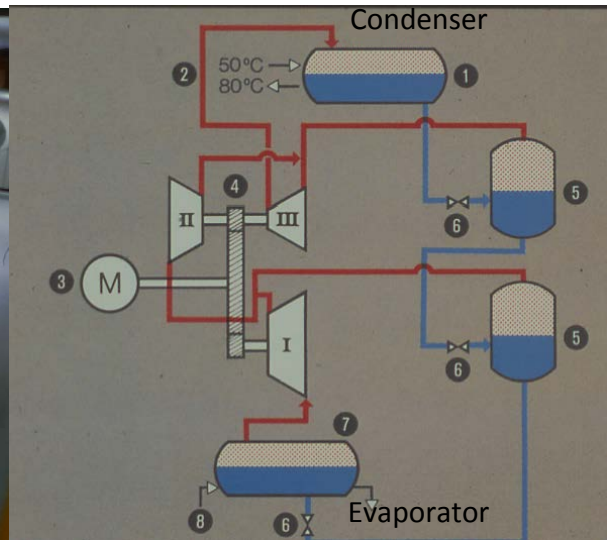
Oil-free compressors?



EPFL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

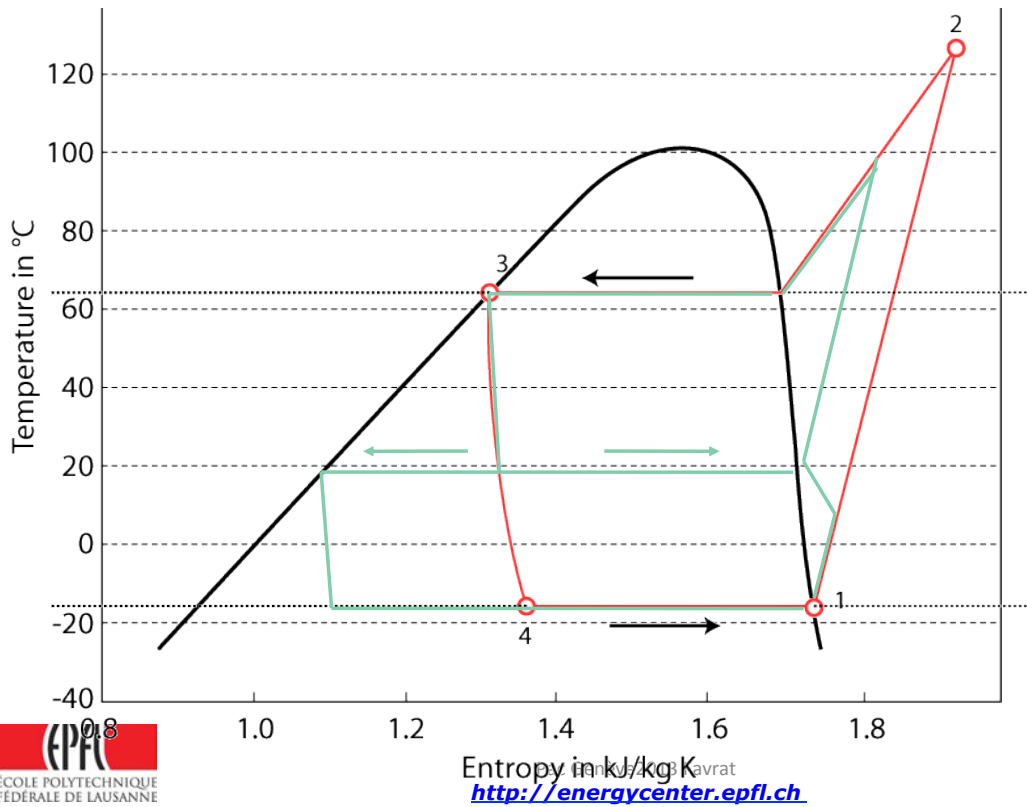
1

The largest heat pump (for District heating): 3 compression stages

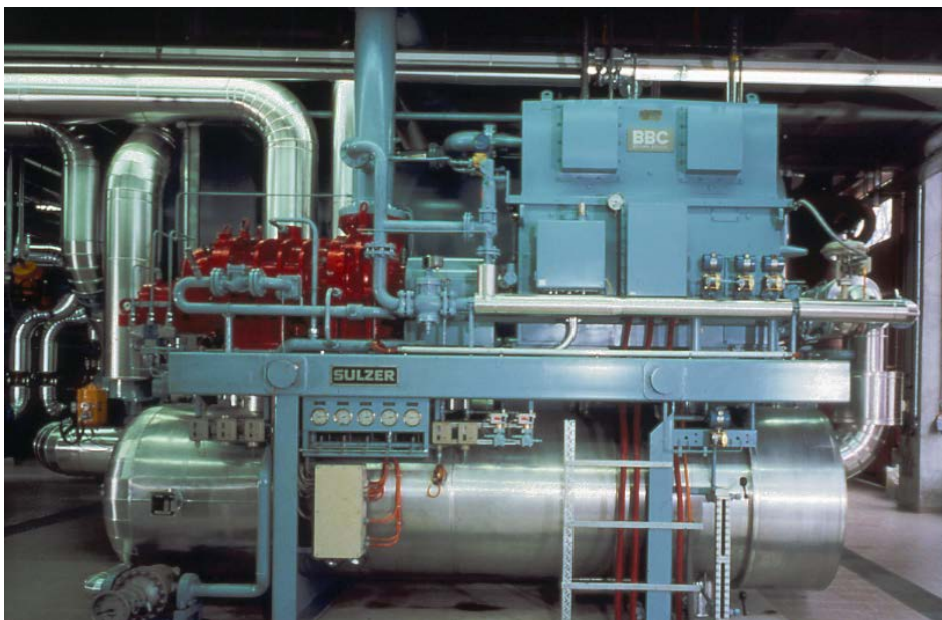


Goteborg: 45 MW_{th}

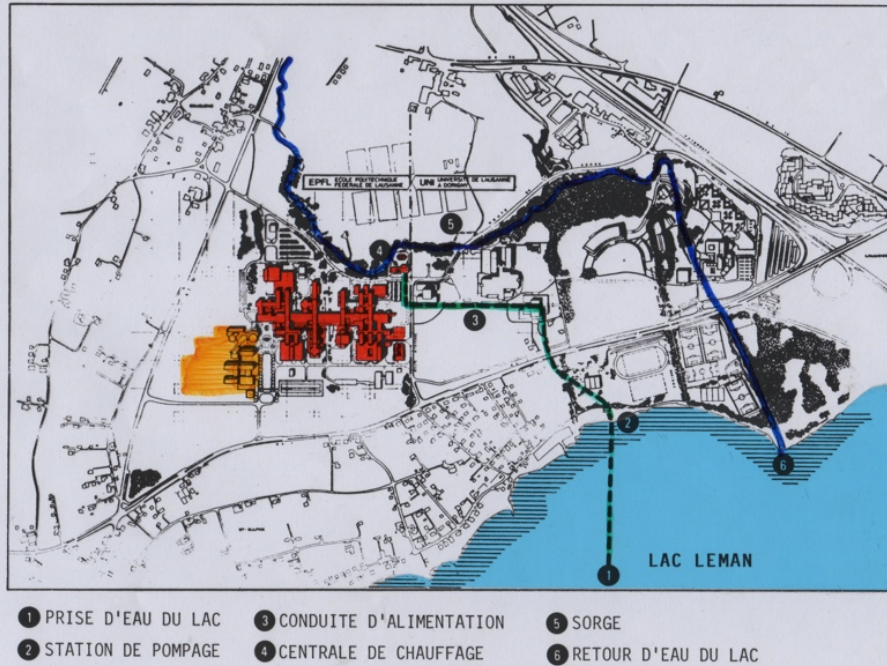
The two-stage cycle of the poor: single stage compression with intermediate vapor injection (economizer cycle)



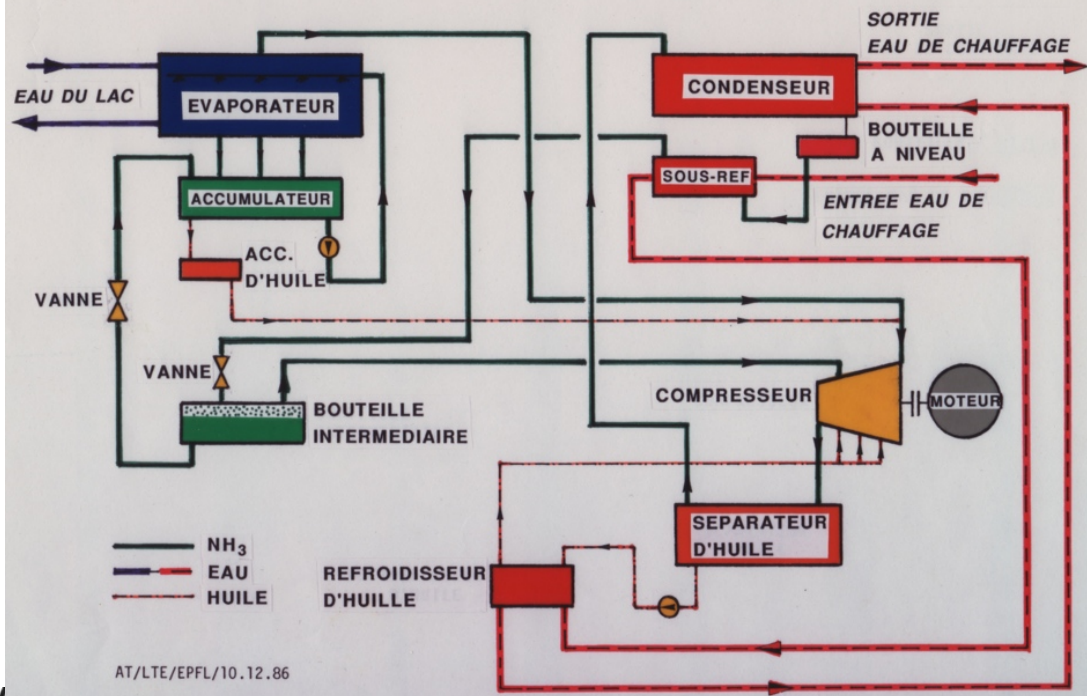
A practical example: Ammonia heat pump of EPFL (twin-screw with economizer port, 3.5 MW_{th})



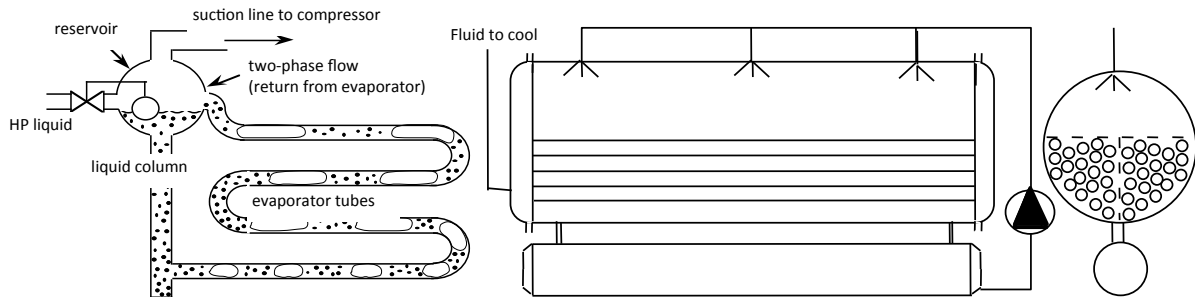
CENTRALE D'ENERGIE DE L'EPFL



CENTRALE DE CHAUFFAGE DE L'EPFL PAR THERMOPOMPES Schéma simplifié des circuits d'eau et de NH₃



Types of evaporators for large units



Conversion de l'énergie:



Solaire

Vent

Hydro

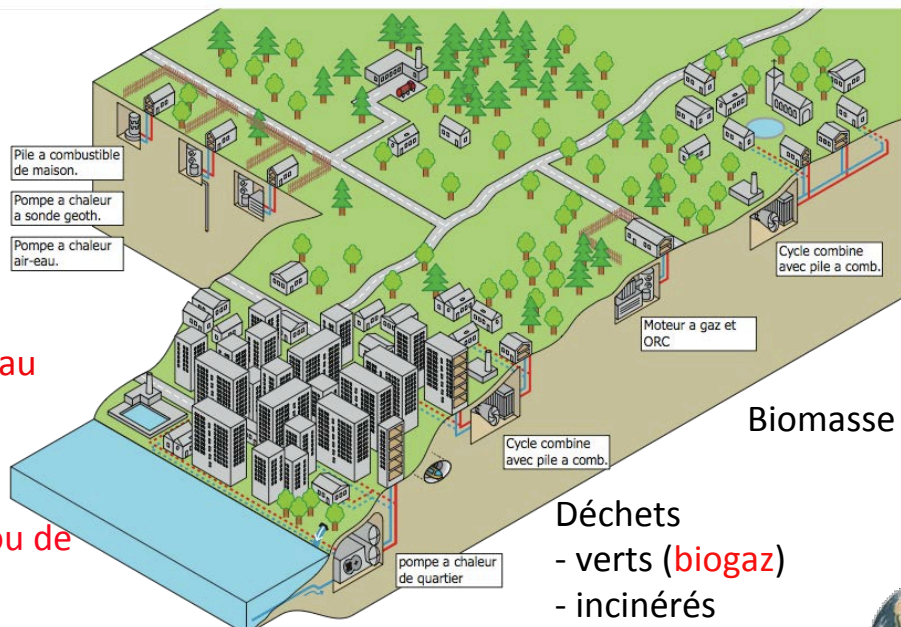
Air

Géothermie

- proche
- profonde

Chaleur d'eau
épurée

eau de lac ou de
rivière



Biomasse

Déchets
- verts (biogaz)
- incinérés



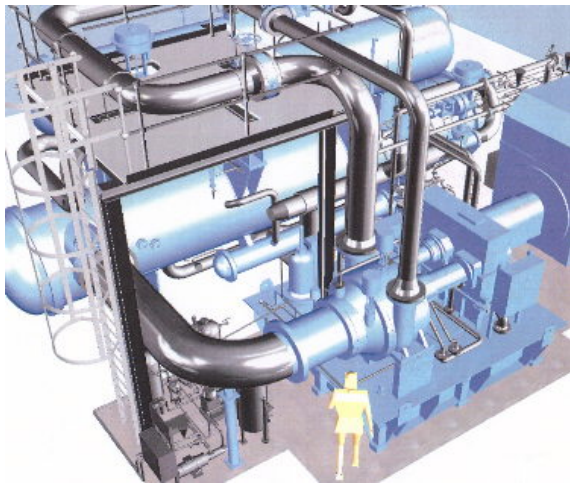
Population suisse de long de lacs ou de rivières



EPFL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Genève 2007 Prof.
<http://energycenter.epfl.ch>

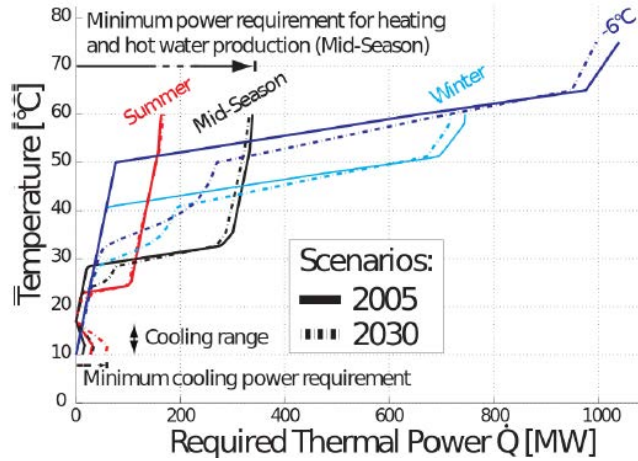
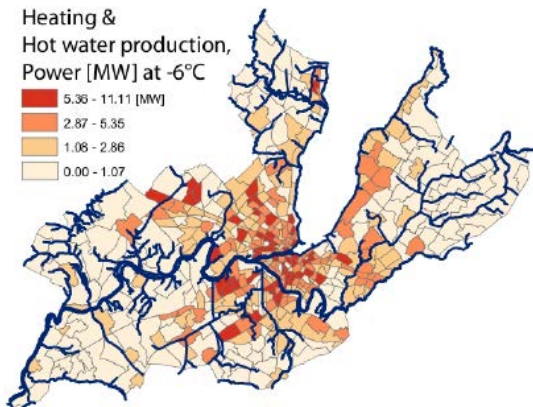
Les grosses pompes à chaleur: une fabrication suisse



Puissances thermiques jusqu' à 35 MW



Application à la Suisse: Synthèse de la demande en chauffage de Genève (logiciel Energis)

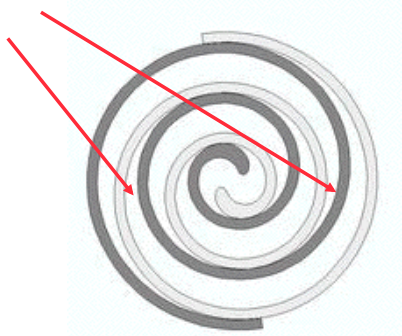


La température est importante:
chauffer le plus froid possible et refroidir le plus chaud possible



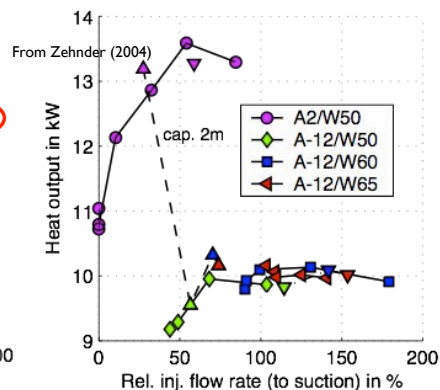
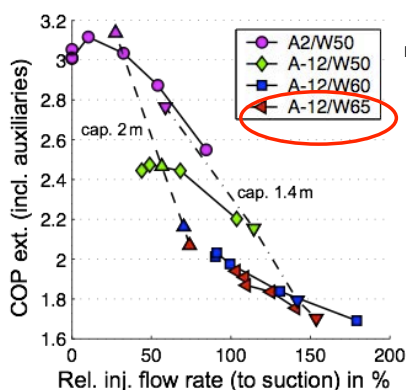
Scroll compressors or expanders

orbital
Economizer ports



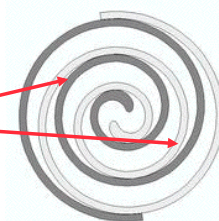
Corotating
(oil-free?)





COP +
Chaleur +++
 ΔT ++

Economizer
ports

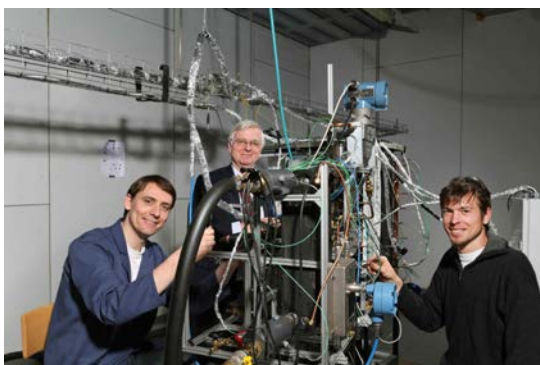
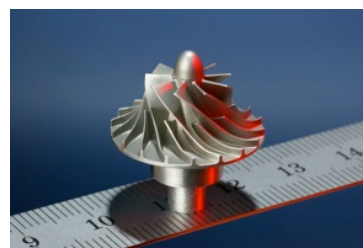


Scroll
orbital

Turbo sans huile avec entrainement électrique à haute vitesse

Objectifs

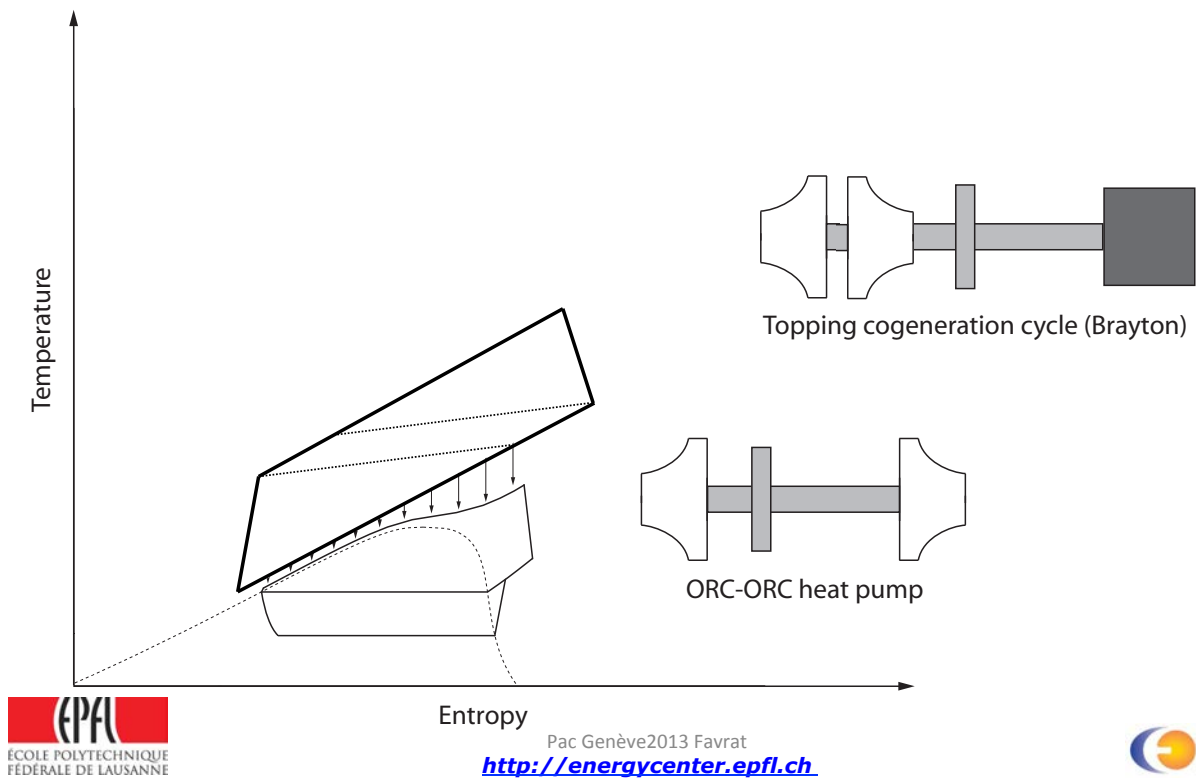
- Meilleure efficacité (à 2 étages)
- Régulation continue de la puissance (moteur à aimants permanents)
- Pas d'huile, recyclage de frigorigène facilité, ...
- Miniature, peu de matériaux
- Évaporateur plus compact, meilleur (meilleur coefficient de transfert de chaleur sur surfaces améliorées)



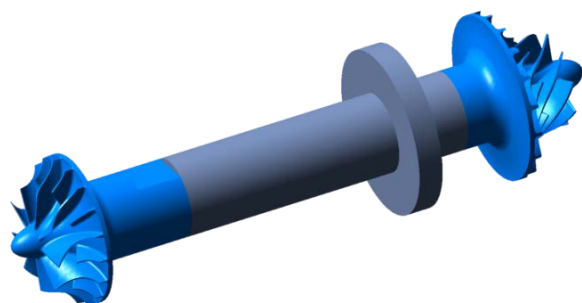
Equipe du LENI participant aux essais en cours (en chambre froide)



Pac tritherme (voir Demierre) avec une microturbine à gaz éventuelle?



Système ORC-ORC (2)



Turbomachines sur paliers à gaz

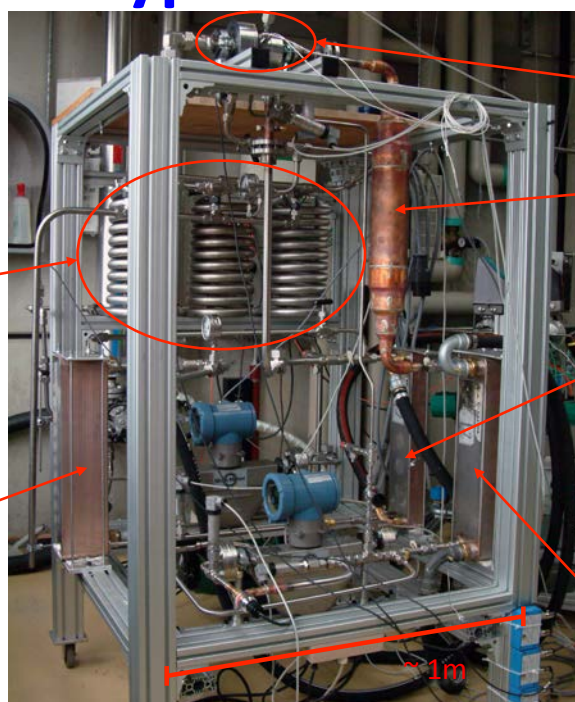
- > compact
- > vitesse variable (charge variable)
- > sans huile
- > coûts de maintenance faible
- > permet une évaporation (côté PAC) directe dans le sol

Prototype d' ORC-ORC

- Fluide de travail: R134a
- Source chaude: huile thermique

Evaporateur supercritique (3 x DTC)

Condenseur ORC



Groupe compresseur-turbine

Séparateur PAC

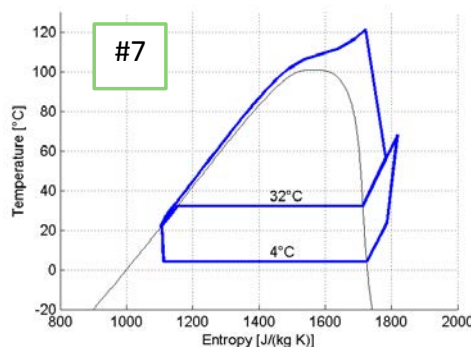
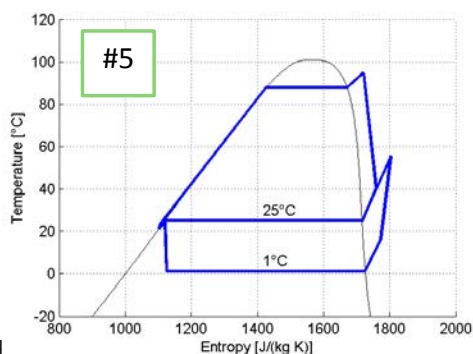
Condenseur PAC

Evaporateur PAC

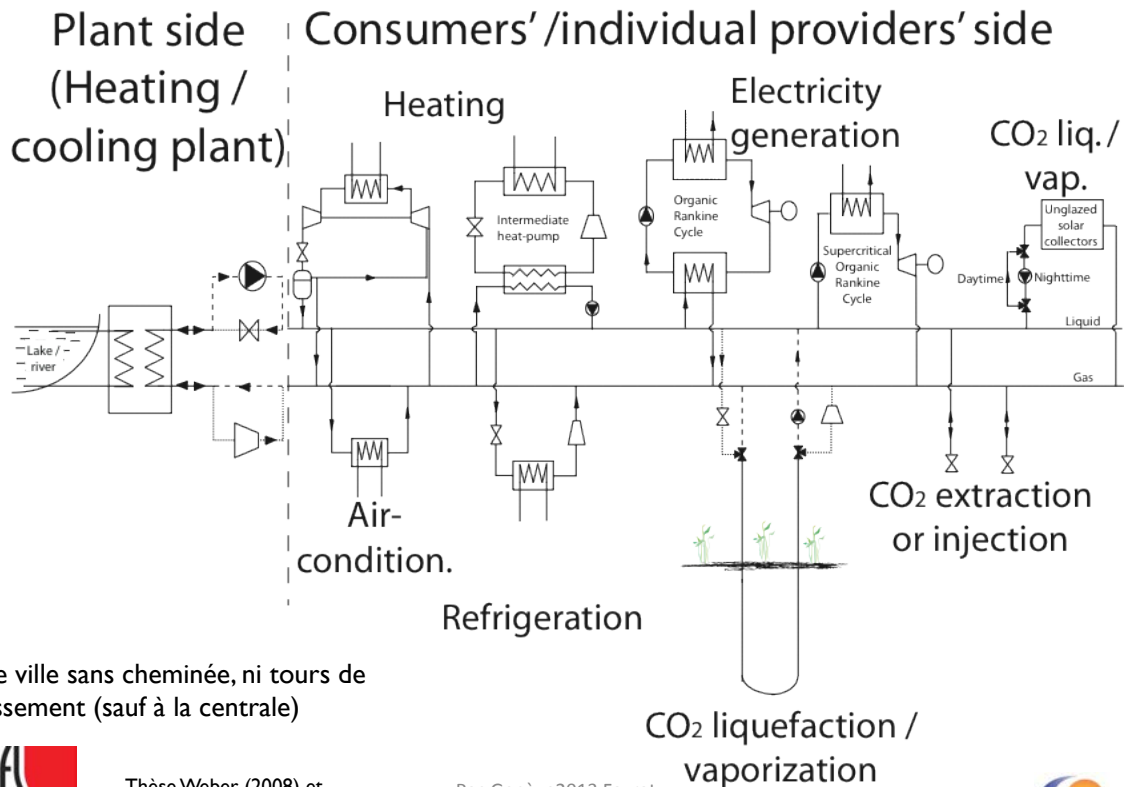
Mesures sur le prototype d' ORC-ORC

- Rapport de pression au compresseur jusqu' à 2.8
- Rapport de pression à la turbine jusqu' à 4.5
- Différence de température côté PAC jusqu' à 31°C
- Vitesse de rotation >200' 000 tr/min
- Température d' entrée turbine jusqu' à ~120°C
- Bonne correspondance des modèles avec les mesures

#	N	PR _T	PR _C	T _c	T _{e,PAC}	ΔT _{PAC}	E _T	η _T	η _C	COP
	[10 ³ tr/min]	[-]	[-]	[°C]	[°C]	[°C]	[kW]	[-]	[-]	[-]
1	147	3.1	1.7	36	20	16	1.53	0.74	0.73	1.80
2	156	3.2	1.9	35	16	19	1.54	0.71	0.71	1.66
3	161	3.3	2.0	35	14	21	1.60	0.72	0.69	1.59
4	175	3.7	2.2	27	5	22	1.55	0.69	0.68	1.53
5	182	3.8	2.3	25	1	24	1.58	0.68	0.66	1.49
6	190	4.2	2.4	32	6	26	2.21	0.66	0.69	1.48
7	201	4.3	2.7	32	4	28	2.55	0.67	0.68	1.44
8	206	4.5	2.8	34	3	31	2.56	0.62	0.65	1.39



Nouveau concept de réseau urbain



Vers une ville sans cheminée, ni tours de refroidissement (sauf à la centrale)

Conclusions

- Les pompes à chaleur sont une composante essentielle vers la réduction de la consommation d'énergie fossile et des émissions
- Les pompes à chaleur domestiques vont être améliorées en concepts bi-étagés et plus flexibles (sans huile)
- Les réseaux urbains avec pompe à chaleur vont se répandre
- Les pompes à chaleur font partie intégrante des techniques de conversion d'énergie renouvelable