

Présentation des activités du Laboratoire de Thermodynamique dans le domaine des ORC

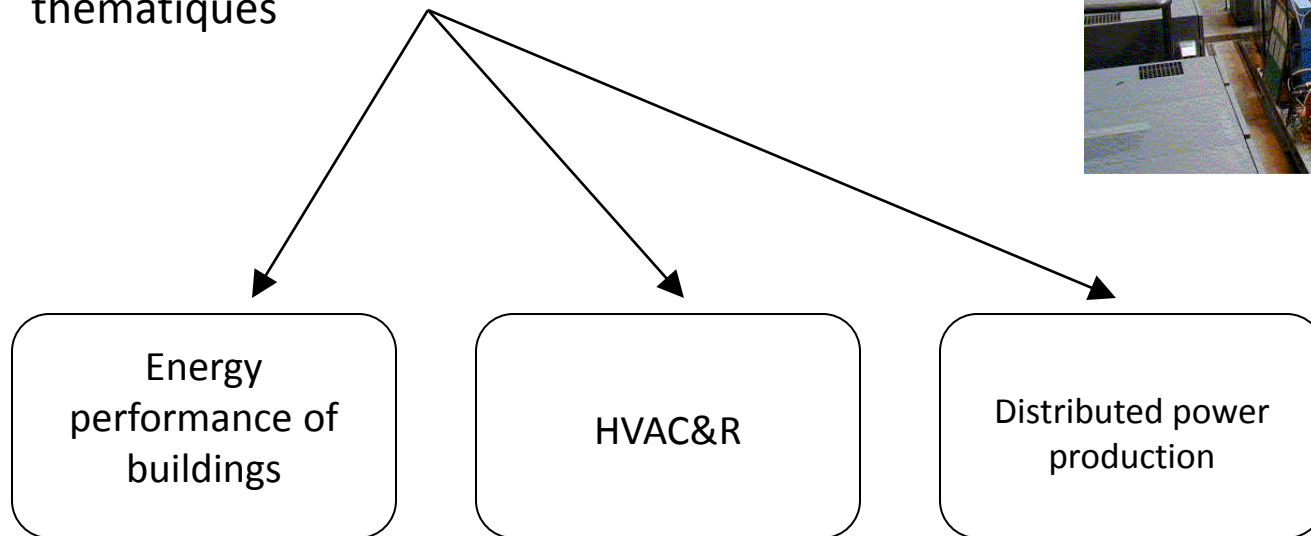
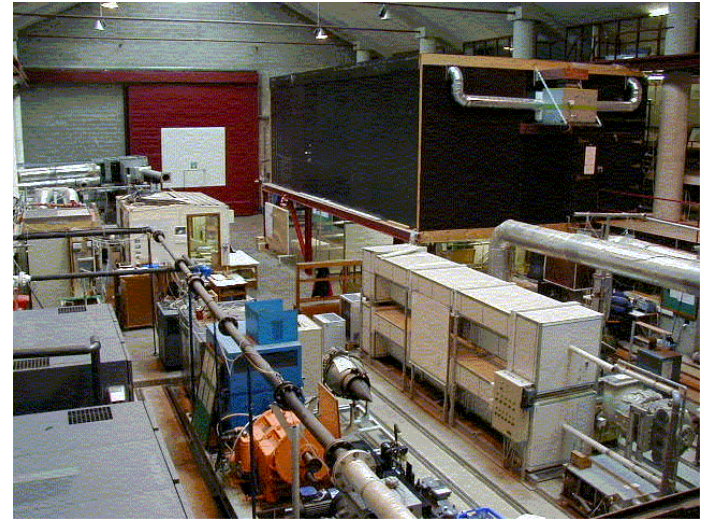
Vincent Lemort

Laboratoire de Thermodynamique, ULg

23 avril 2012

Présentation du laboratoire

- Département d'Aérospatiale et Mécanique
- Equipe de 15 personnes
- Activités de recherche orientées autour de 3 thématiques



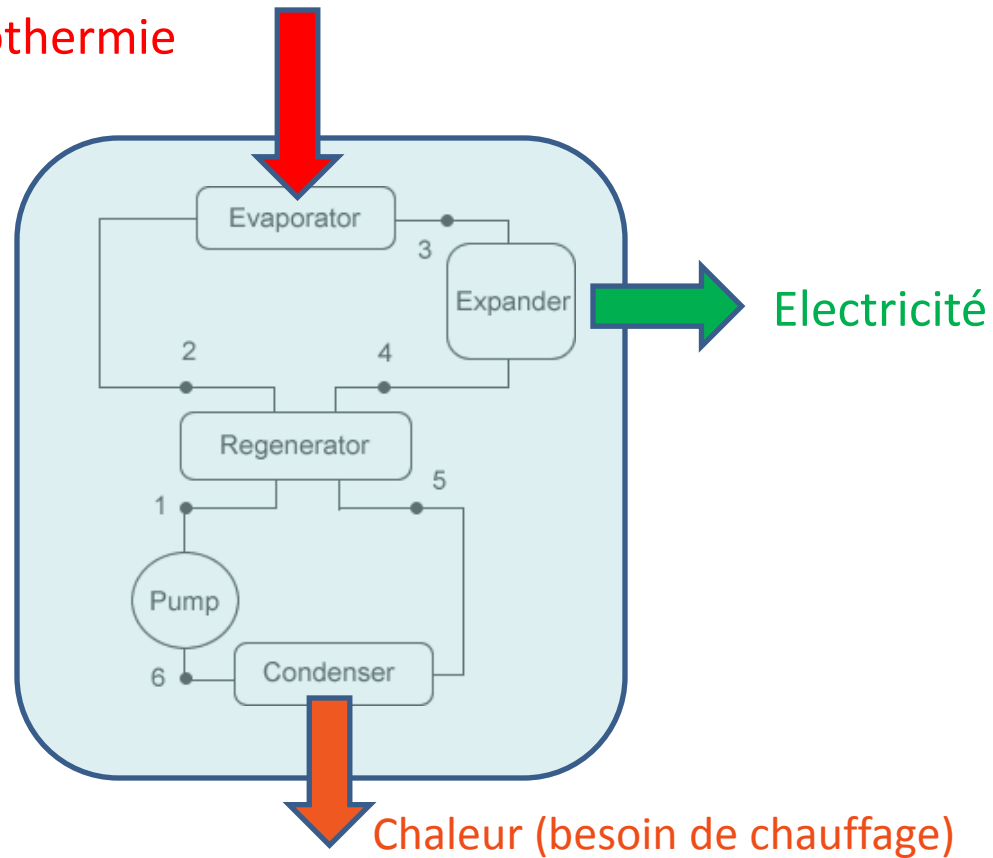
Plan de la présentation

1. Présentation du Laboratoire de Thermodynamique
2. Technologie ORC
3. Projets de recherche
4. Conclusions

Production décentralisée d'électricité

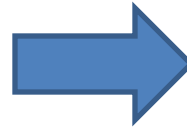
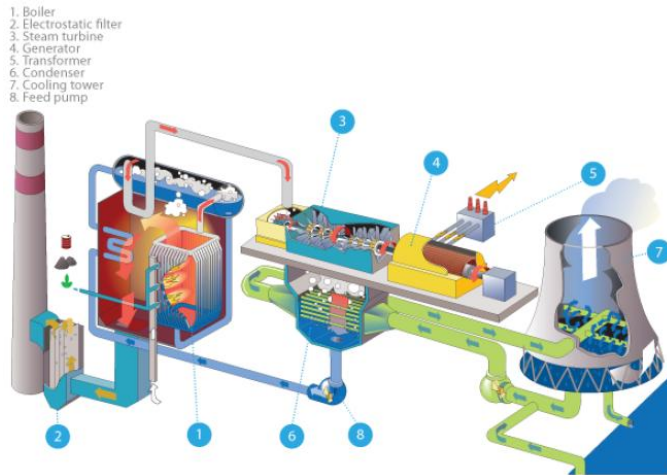
Cycles de Rankine Organiques

Récupération de chaleur ou Energies renouvelables: **solaire**, biomasse, géothermie



Cycles de Rankine Organiques

Principe de fonctionnement



(Source: ORMAT)

Cycle de Rankine conventionnel:

- ✓ Production électricité centralisée (>50MWe)
- ✓ Source à haute température
- ✓ Fluide de travail: eau

Cycle de Rankine organique:

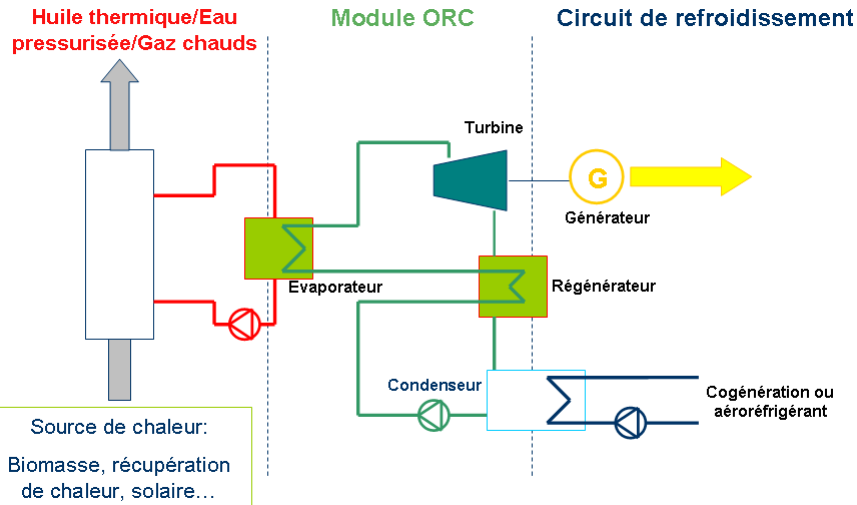
- ✓ Production électricité décentralisée
- ✓ Source à plus basse température: solaire, biomasse, récupération chaleur
- ✓ Fluide de travail: réfrigérant, hydrocarbure

Cycles de Rankine Organiques

Principe de fonctionnement



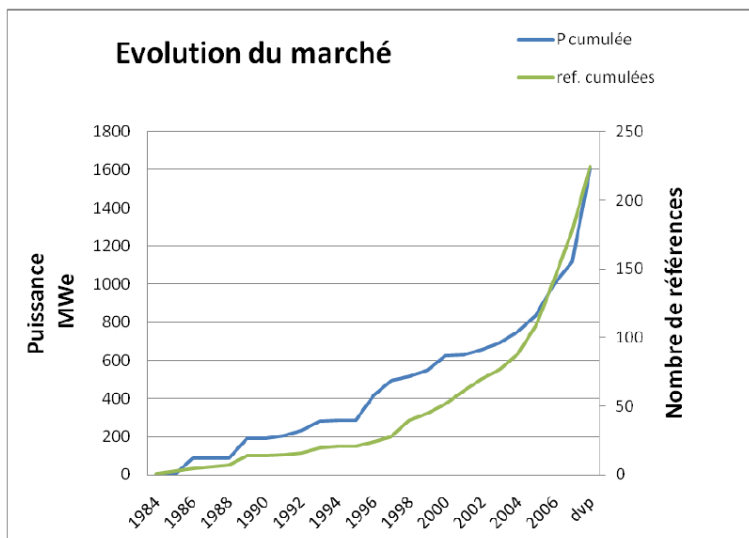
1 Regenerator	5 Circulation pump	9 Hot water outlet
2 Condenser	6 Pre-heater	10 Thermal oil inlet
3 Turbine	7 Evaporator	11 Thermal oil outlet
4 Electric generator	8 Hot water inlet	



- ✓ Systèmes ORC : économiquement plus rentable que les cycles à vapeur pour des puissances **inférieures à 3MWe** (cycles à vapeur nécessitent P et T élevées)
- ✓ T° source de chaleur entre **100°C et 450°C**
- ✓ **Facile à installer** (en un module pré-assemblé), compact et fiable
- ✓ Chaudière moins complexe et moins chère, car
 - Chauffe une huile thermique à basse pression jusque 350°C
 - Cycle à vapeur: haute pression (60-70 bar) et nécessité de surchauffer (450°C)
- ✓ **Fluide** de travail à **basse pression** (<20 bar)
- ✓ Système autonome
- ✓ Pression au condenseur supérieure à la pression ambiante (**pas d'infiltration**)
- ✓ Fluides secs => pas de risque d'endommagement de la turbine
- ✓ **Rendement** électrique: $\eta \sim 18-24\%$

Cycles de Rankine Organiques

Marché



Manufacturer	Applications	Power range	Heat source temperature	Technology
ORMAT, US	Geothermal, WHR, solar	200 KWe – 72 MWe	150° - 300°C	Fluid : n-pentane
Turboden, Italy	CHP, geothermal	200 KWe – 2 MWe	100 - 300°C	Fluid : silicon oil Axial turbines
Adoratec, Germany	CHP	315 – 1600 KWe	300°C	
GMK, Germany	WHR, Geothermal, CHP	50 KWe – 2 MWe	120° - 350°C	
Koehler-Ziegler, Germany	CHP	70 – 200 KWe	150 – 270°C	Fluid: Hydrocarbons Screw expander
UTC, US	WHR, geothermal	280 KWe	>93°C	
Cryostar	WHR, Geothermal	n/a	100 – 400 °C	Radial inflow turbine, R245fa, R134a
Freepower, UK	WHR	6 KWe - 120 KW	180 - 225 °C	
Tri-o-gen, Netherlands	WHR	60 - 160 kWe	>350°C	Turbo-expander
Electratherm, US	WHR	50 KWe	>93°C	Twin screw expander

Sources: Manufacturers websites; Citrin, 2005; Gaia, 2006; Lorenz, 2006; Holdmann, 2007; Schuster, 2009

✓ Marché en expansion

✓ 3 marchés importants:

- récupération de chaleur (WHR): 20%
- Cogénération biomasse (CHP): 48%
- Géothermie: 31%

✓ Encore peu d'applications solaires

✓ Maturité technologique >50 kWe

✓ **Puissances <50 kWe: principalement en R&D**

Cycles de Rankine Organiques

Applications solaires

Saguaro Solar Trough Power Plant (Arizona)



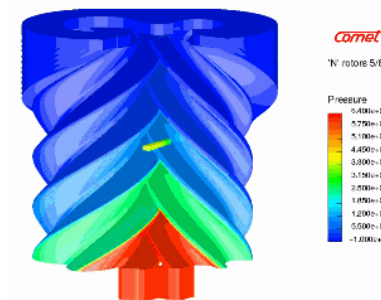
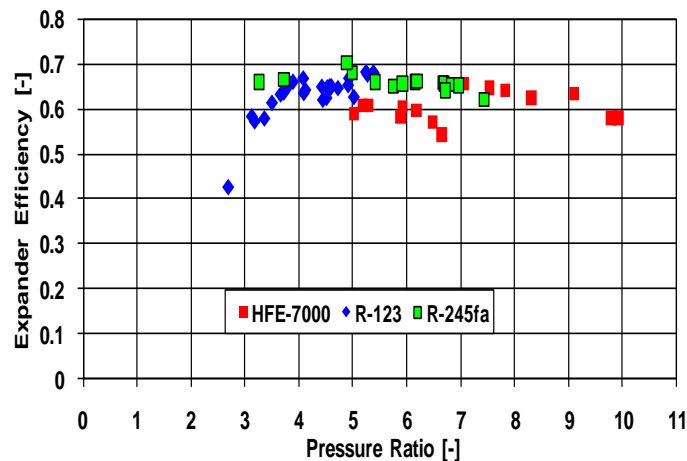
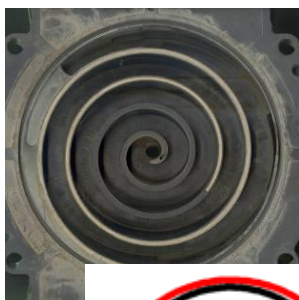
- ✓ Depuis 2006
- ✓ 1 MWe
- ✓ Fluide de travail: pentane
- ✓ 12% (électrique/solaire)

Projets de recherche

Axe 1: machines de détente

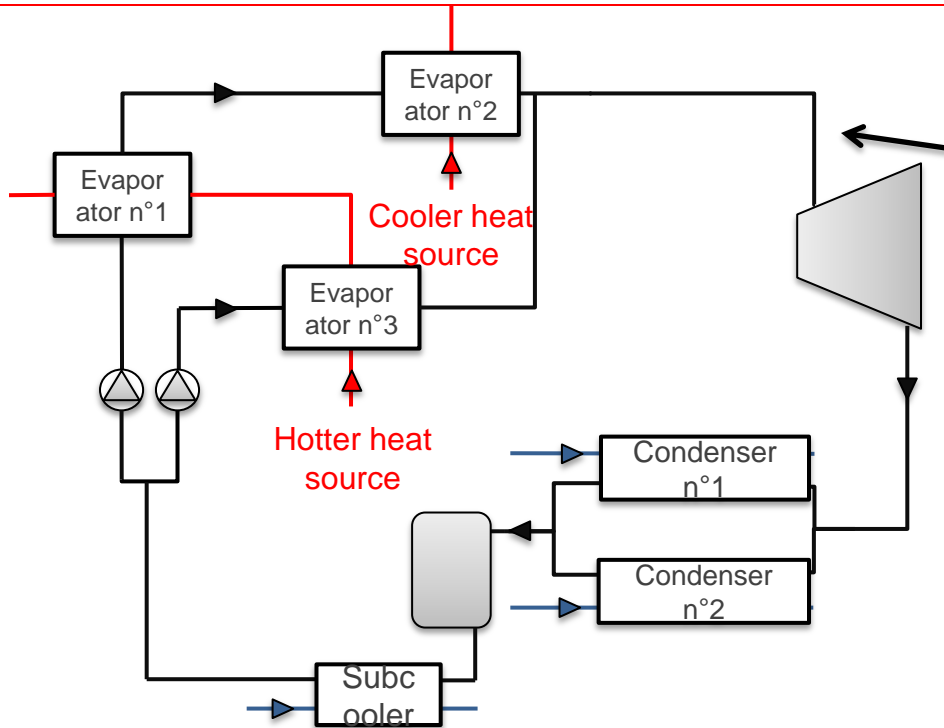
- Etude et développement d'expandeurs volumétriques (ORC petites tailles):

- Scroll, vis, piston
- Modélisation
- Prototypage

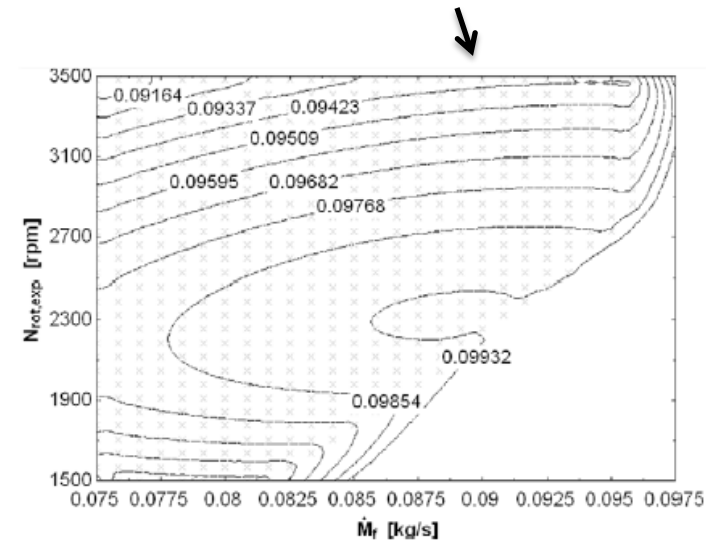


Projets de recherche

Axe 2: Architecture des ORC



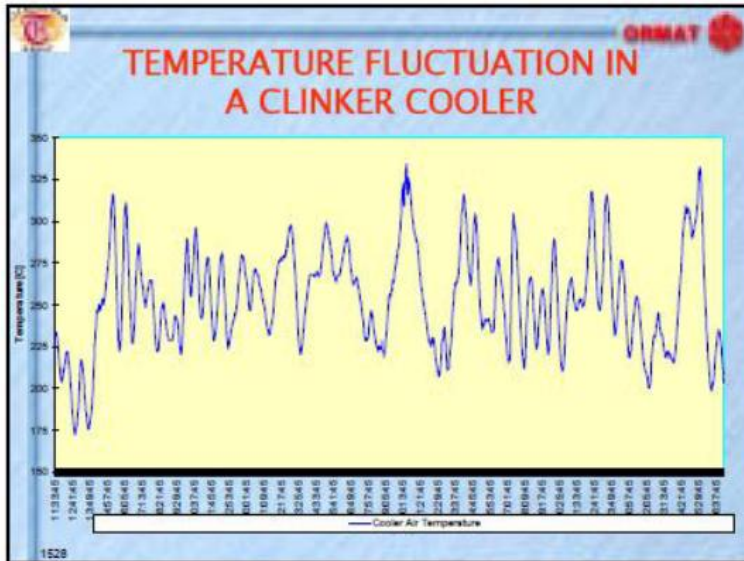
- ✓ Exploiter au mieux les sources chaudes et les sources froides
- ✓ Déterminer les conditions opératoires optimales



- ✓ Choix des échangeurs de chaleur
- ✓ Fluide de travail

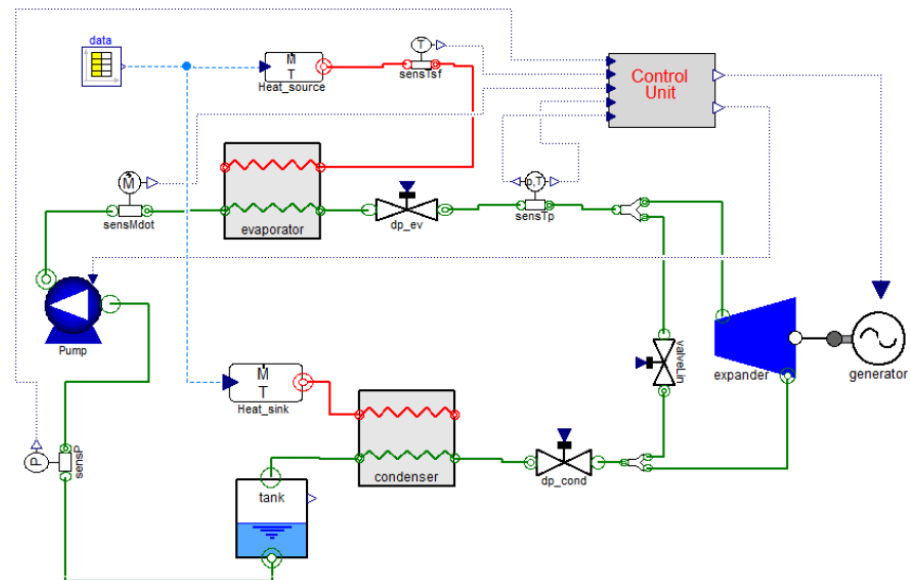
Projets de recherche

Axe 3 - régulation



Temperature evolution in a clinker cooler, the temperature changes from about 175°C to about 325°C (Source ORMAT)

- ✓ Etude du **contrôle** du système
 - Optimisation sur cycles d'utilisation
 - Stratégie de mise en marche/arrêt
 - Protection système/utilisateurs (défaillances)
- ✓ Meilleur dimensionnement des composants



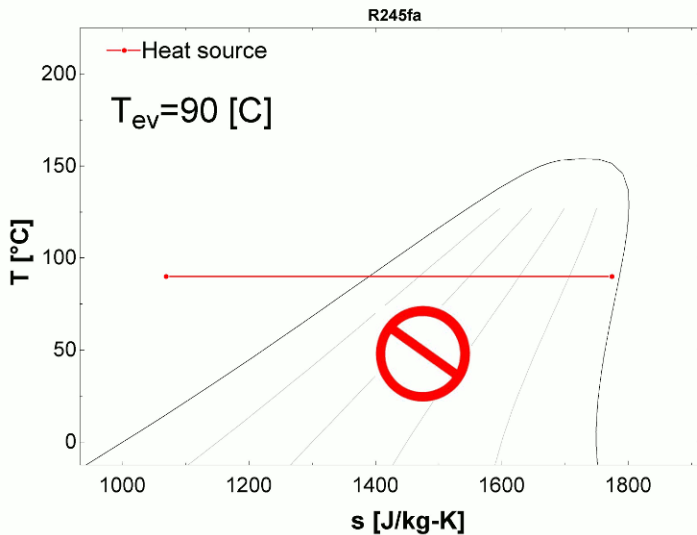
- ✓ Utilisation du langage Modelica
- ✓ Etude de contrôleurs prédictifs

Projets de recherche

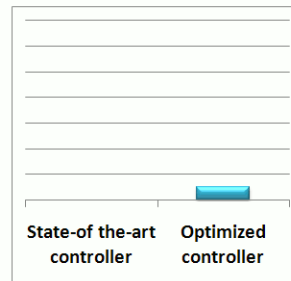
Axe 3 - régulation

⇒ Paramètre d'optimisation principal: pression d'évaporation (contrôle de la vitesse de rotation de l'expandeur)

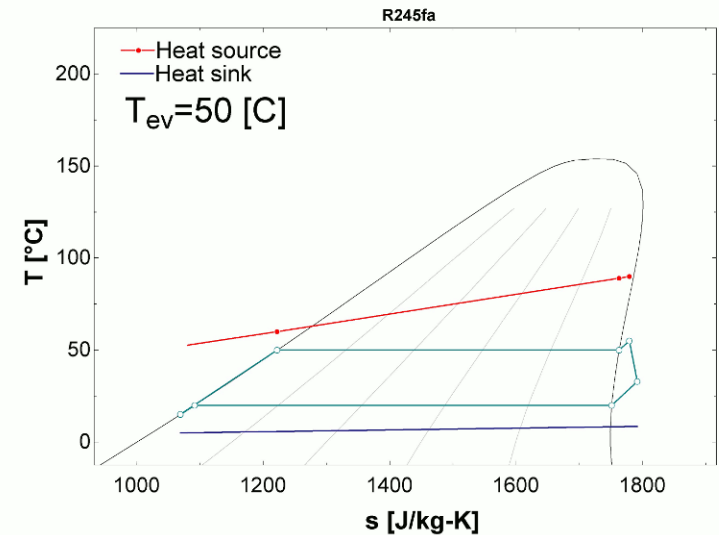
ORC traditionnels:



Output power:



Meilleurs ORC



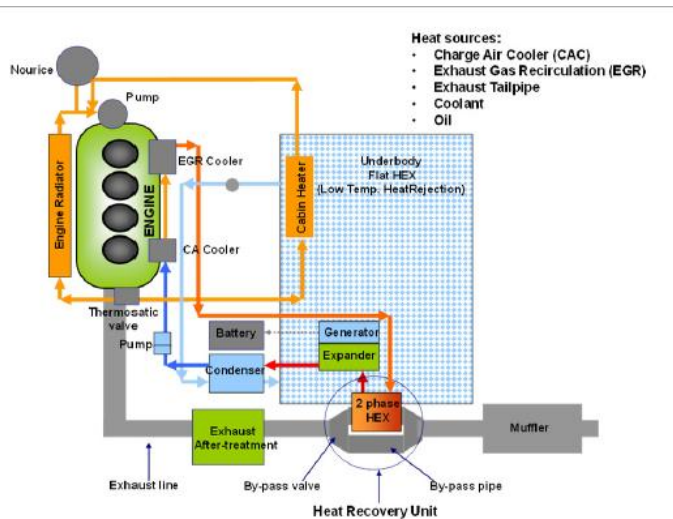
Projets de recherche

Application 1- récupération d'énergie

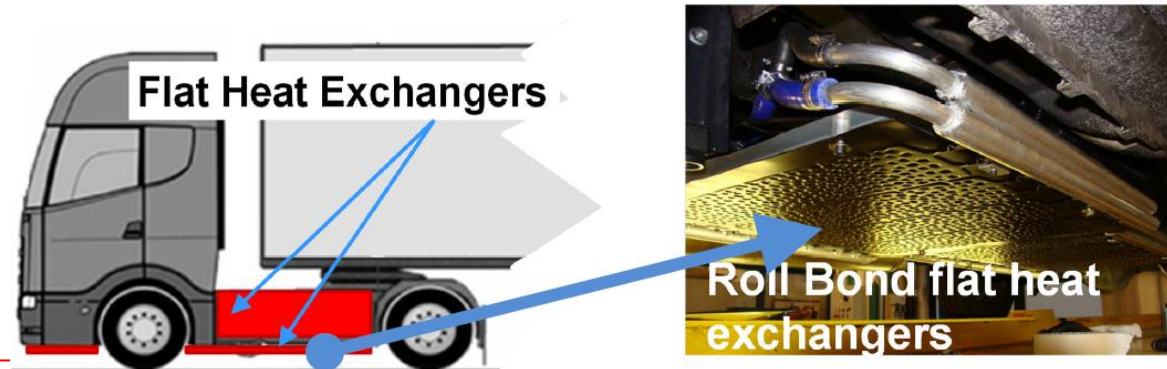


Projet NoWASTE (FIAT, Volvo, AVL, Faurecia, Dellorto, ULg):
1^{er} octobre 2011.

- ✓ Target: augmenter de 12% efficacité énergétique véhicule
- ✓ Optimisation en transitoire/charge partielle
- ✓ Stratégie de contrôle
- ✓ Machine de détente
- ✓ Système de rejet de chaleur innovant



Simplified scheme of one the system architectures that will be considered



Projets de recherche

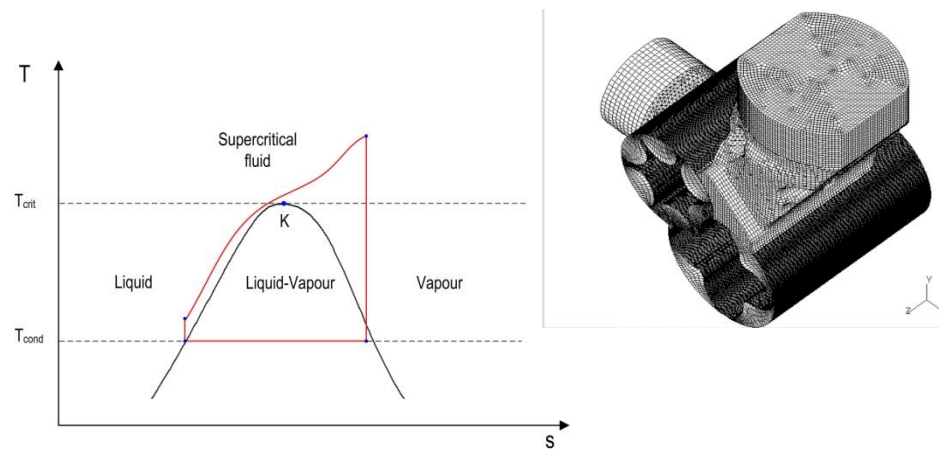
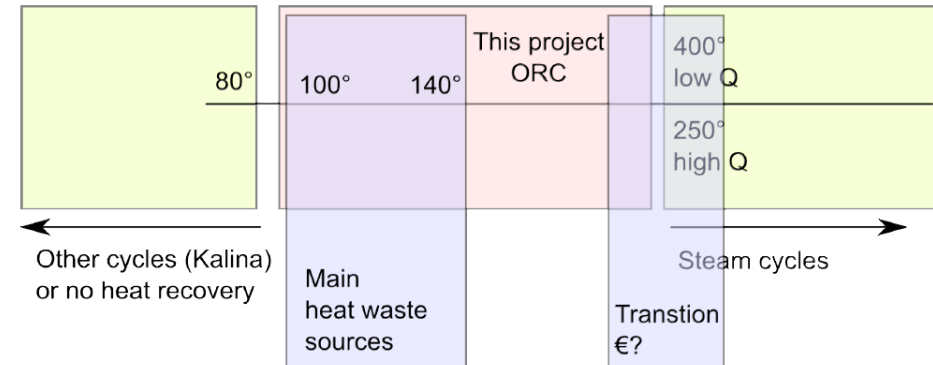
Application 1 -récupération d'énergie

Projet SBO-ORC next (IWT)

- ✓ Rejets de chaleur industriels en EU: 140 TWh/a
- ✓ Solutions ORC actuelles ne sont pas toujours économiquement rentables

Objectifs du projet:

- ✓ ↑ performances des ORC en étudiant des configurations alternatives (transcritiques)
- ✓ Développer des ORC de tailles moyennes (expandeur vis)
- ✓ Développer des stratégies de contrôles optimales
- ✓ Développer des outils d'analyses technico-économiques

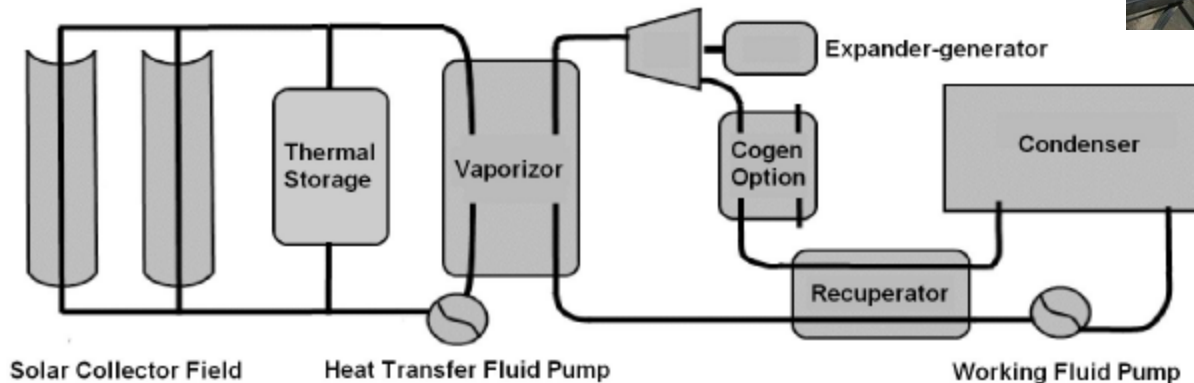


Projets de recherche

Application 2- micro-centrales solaires (1)



Développement d'une micro-centrale solaire en collaboration avec le MIT et STG International

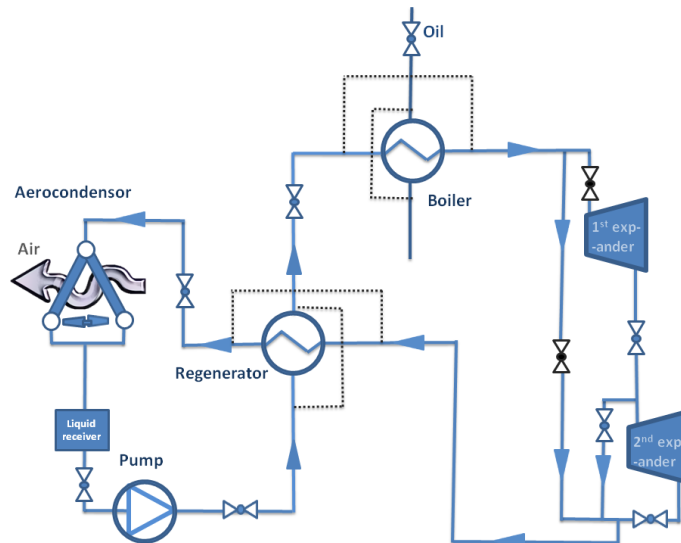


- ✓ Puissance de 3 kWe
- ✓ Pour populations non connectées au réseau (Lesotho)

Projets de recherche

Application 2- micro-centrales solaires (2)

- ✓ Projet pédagogique/recherche de développement d'une micro-centrale solaire
- ✓ Puissance nette: 3 kWe, rendement ORC: 10-12%, $T_{ev}=141C$ et $T_{cd}=35C$
- ✓ Installation dans le sud de la France
- ✓ Opportunité d'étude des stratégies de régulation



Conclusions

- ✓ Intérêt croissant pour les centrales solaires ORC de moyennes puissances
- ✓ En termes de R&D, liens à établir avec les systèmes ORC pour la récupération de chaleur
- ✓ Compétence du Laboratoire de Thermodynamique dans le domaine des ORC:
 - Expertise particulière dans le domaine des turbines volumétriques
 - Recherche expérimentale: 6 bancs d'essais construits depuis 2005
 - Recherche numérique: simulations stationnaires (EES) et dynamiques (Modelica)
 - 3 thèses soutenues sur le sujet depuis 2008, 5 autres thèses en cours