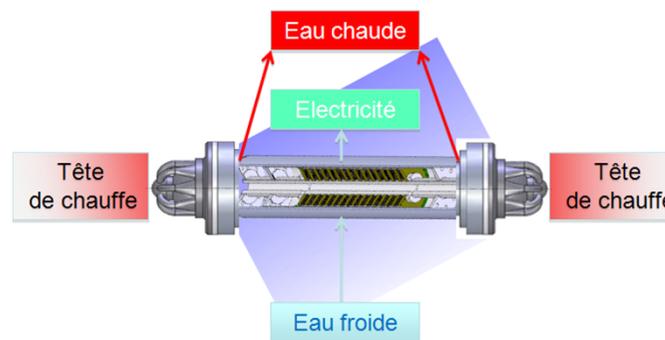
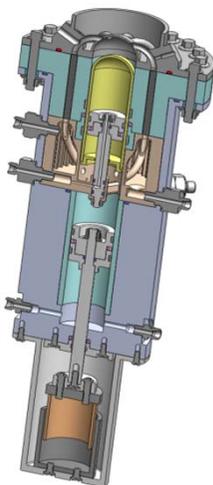


Avancement du projet CETI

F. LANZETTA, L. PREVOND, P. FRANCOIS
S. BEGOT, S. DJETEL, G. LAYES, P. NIKA
R. CONTREAU, C.E. HUBERT



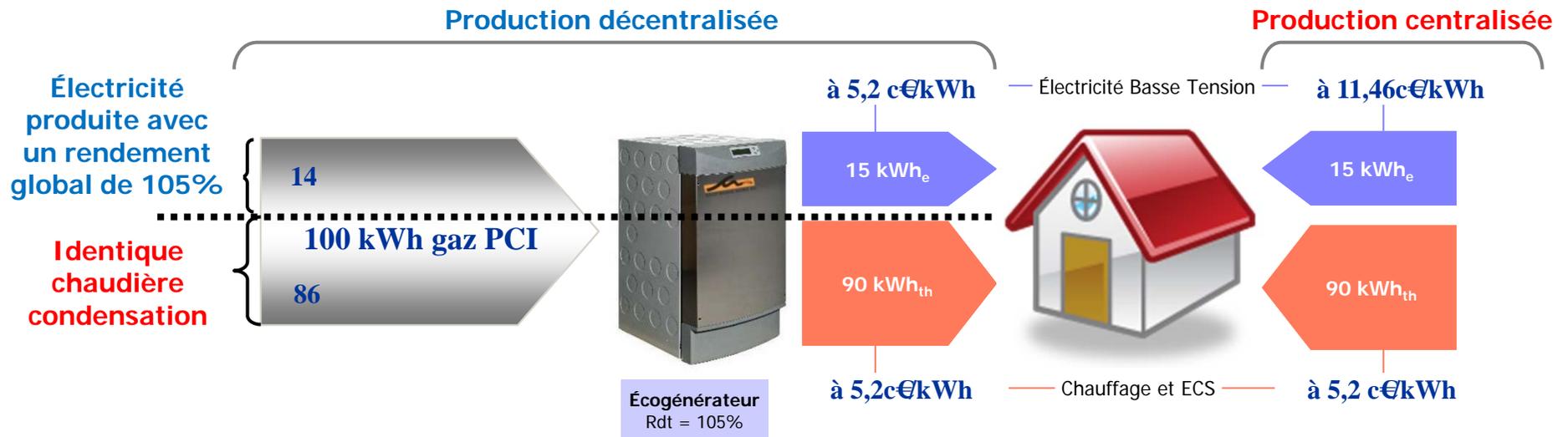
Objectif

Habitat individuel

Micro-cogénération = production simultanée de chaleur et d'électricité



Privilégier la production décentralisée



*Ayant pour bénéfice une économie en énergie primaire importante (15 à 20%)
toute la production de chaleur de l'Écogénérateur est valorisée*

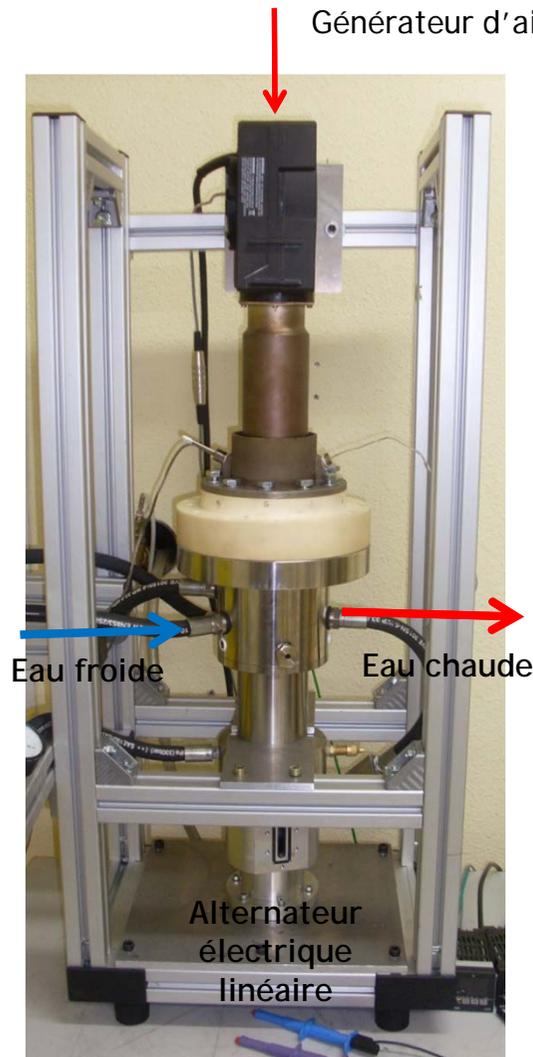
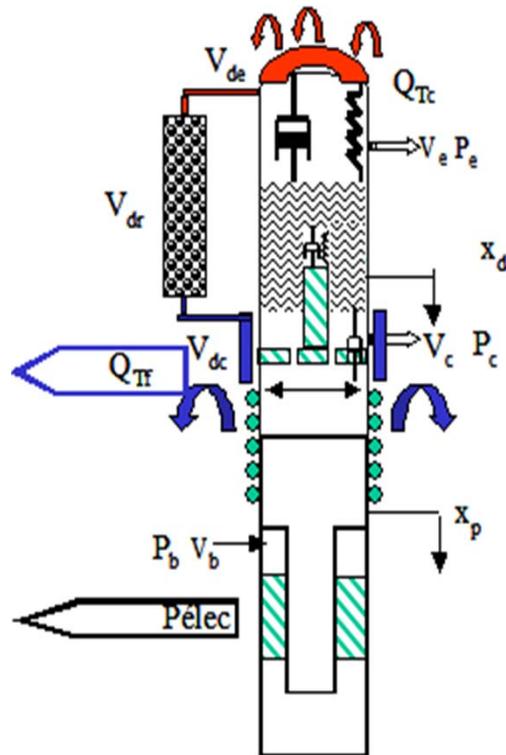
Plan

- 1 – Conceptions mécanique/thermique
- 2 – Modélisation du moteur Stirling à pistons libres CETI

1 – Conceptions mécanique/thermique

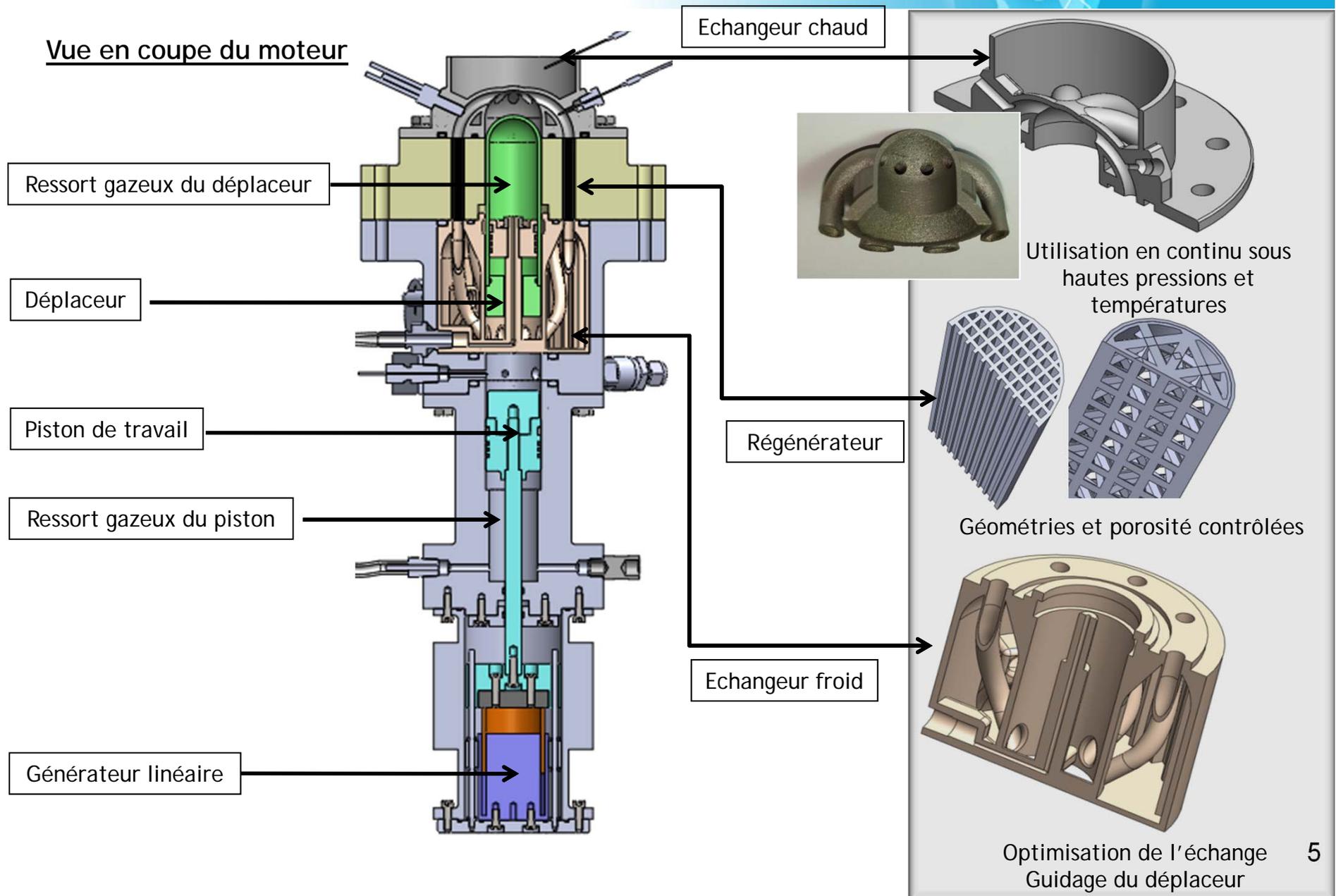
1.1 - Prototype de Moteur Stirling à Pistons Libres 100 W

Schéma du principe



Caractéristiques du moteur:

- puissance électrique 100 W
- puissance thermique 1000 W
- fréquence du piston 15 Hz
- Gaz de service: azote
- Sans lubrification
- Dimensions (mm): 560 x 220 x 220



1.2 - Moteur Stirling à Pistons Libres 1000 W (CETI)

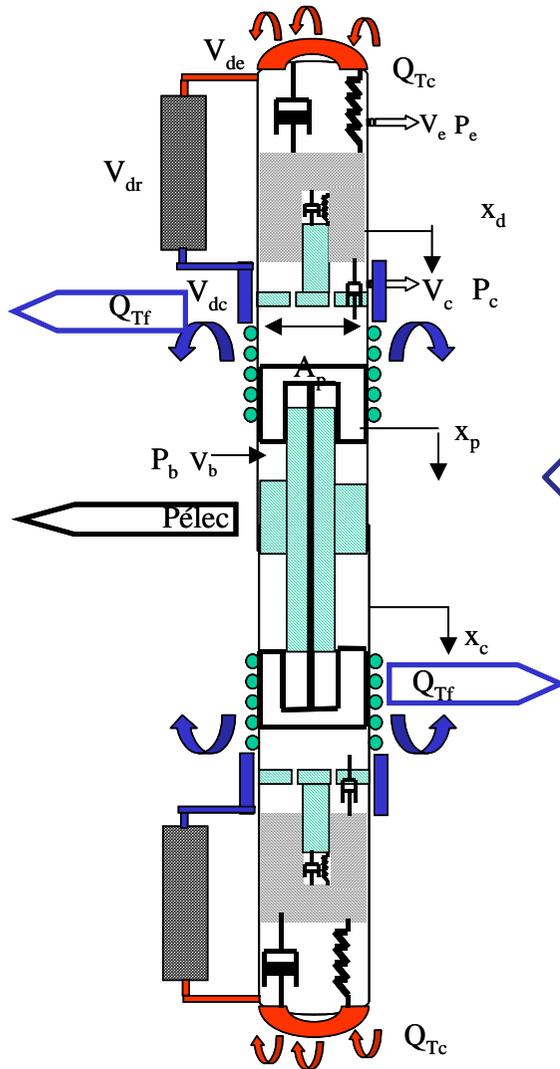
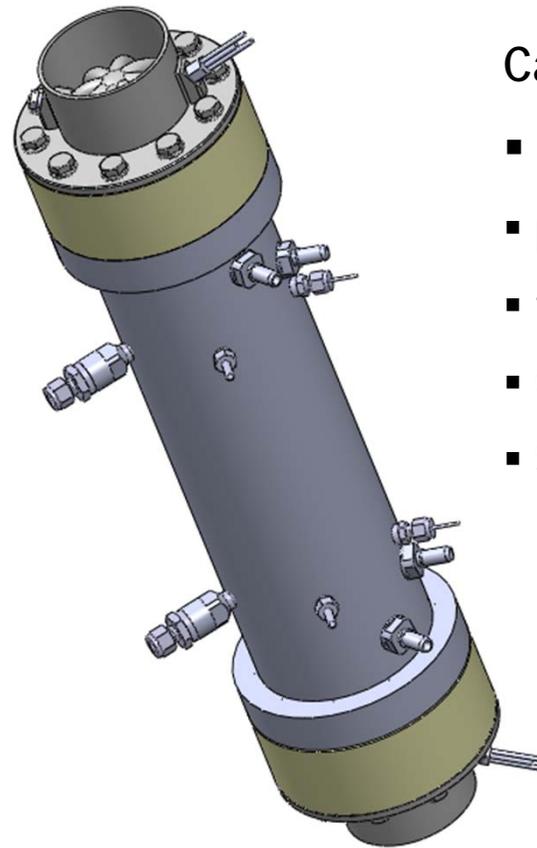
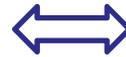


Schéma du principe

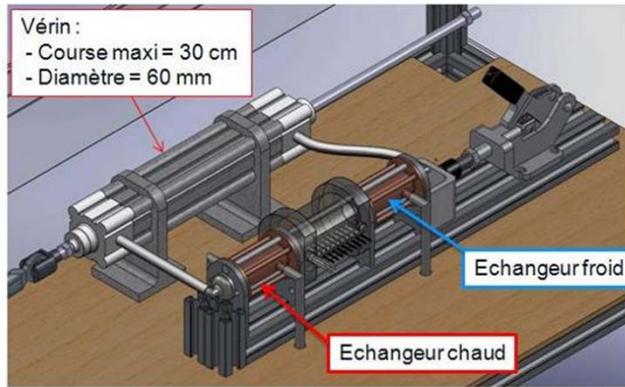


Caractéristiques du moteur :

- puissance électrique : 1000 W
- puissance thermique : à définir
- fréquence du piston : 30 Hz
- Gaz de service: azote
- Sans lubrification

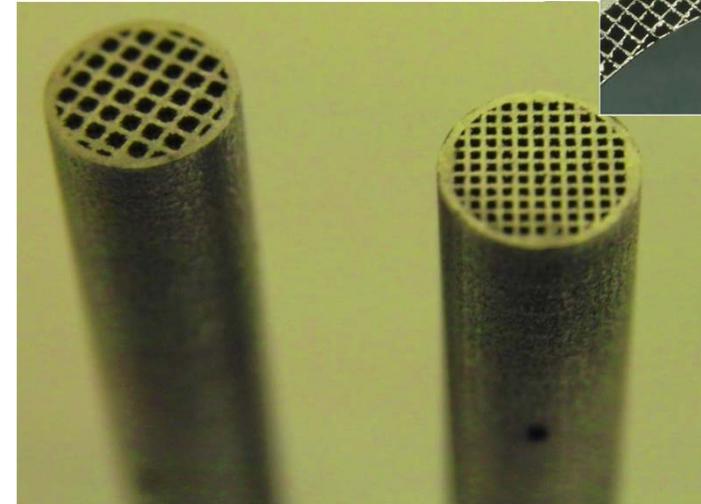
1.3 - Banc de test d'échangeurs/régénérateurs

Principe



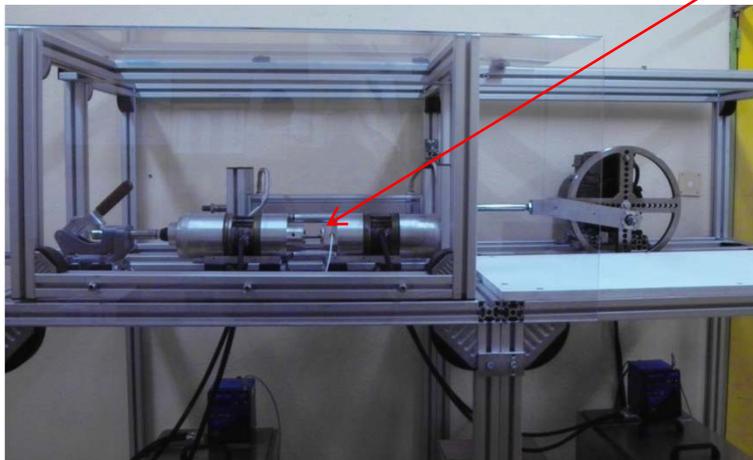
Echangeur chaud :
- circulation de liquide : 100 °C
- chauffage électrique : 400 °C

Echangeur froid :
- circulation de liquide : - 10 °C mini



Différentes géométries de régénérateurs

Banc réalisé



Acquisition : logiciel Labview + carte National Instruments

Expérimentations sur régénérateurs

Mesures instationnaires :

- Variations de pression : entrée-sortie, interne
- Variation de température :
 - du gaz
 - de la matrice solide

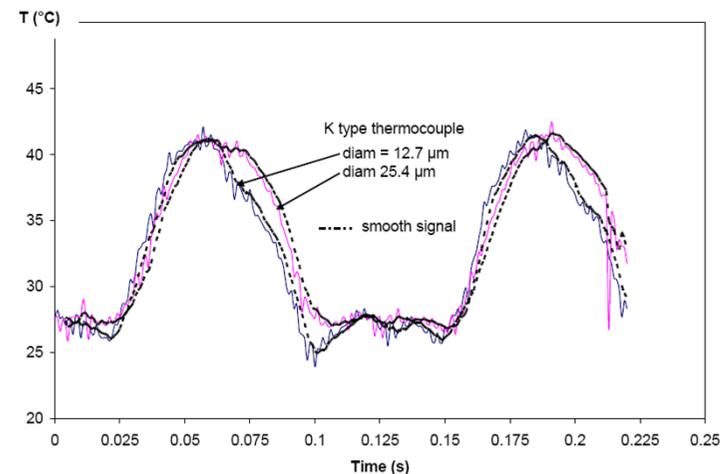
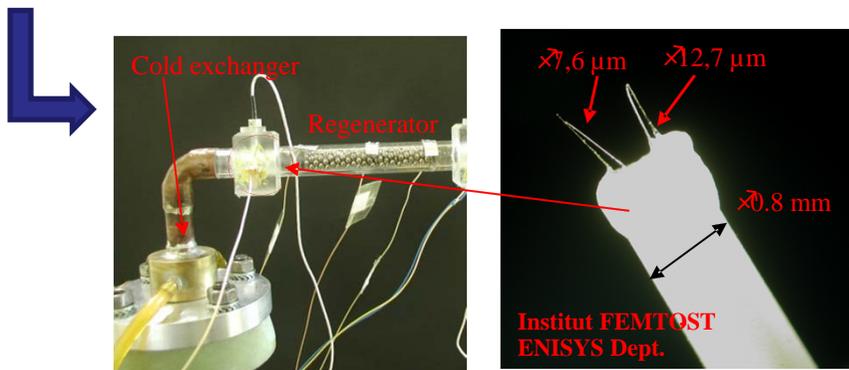
Mesures de températures :

- Microthermocouples : diamètres = 25,4 μm ; 12,7 μm ; 7,6 μm ; 1,27 μm ; 0,5 μm
- Mesures prospectives : thermoanémomètres pour mesures locales, couplées vitesse/température

Objectif =

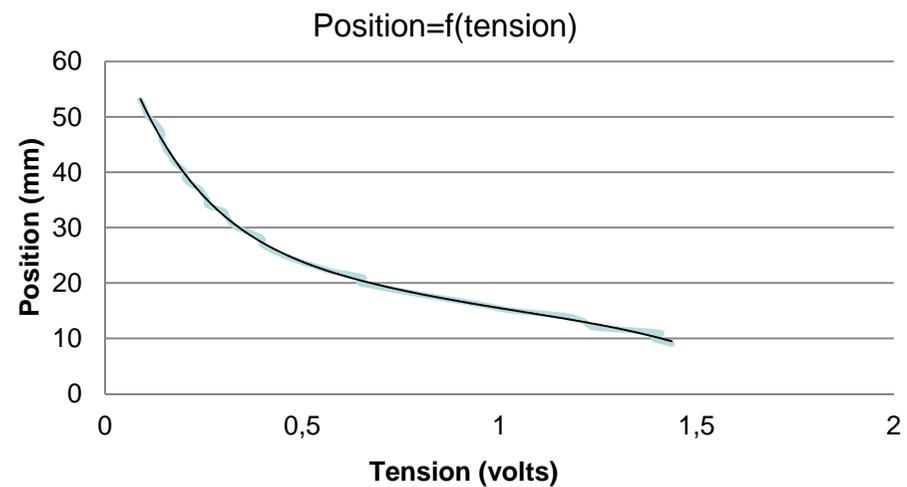
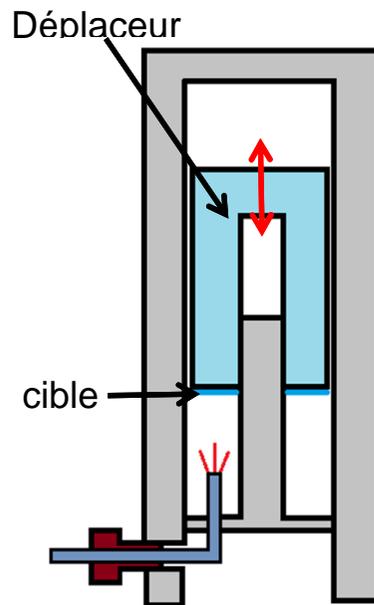
Loi d'échange thermique en fonction de la vitesse de rotation :

- pertes de charge (\diamond) = ?
- coeff. échange thermique (\diamond) = ?
- frottements (\diamond) = ?



1.4 - Détection de la position du déplaceur en temps réel

Solution = capteur de position à fibre optique



Courbe d'étalonnage du capteur optique
(Incertitude = \pm 2 % P.E.)

Verrous levés :

Mécanique:

- Fabrication de pièces complexes
- Étanchéité à haute température

Méetrologie:

- Microthermocouples : $T(t)$
- Capteur de pression (refroidi côté chaud) : $P(t)$
- Capteur de position à fibres optiques : $y(t) \Rightarrow \dot{y}(t)$
Volume $V(t)$

Variables
thermodynamiques !!
 $P(t), V(t), T(t)$

Matériaux:

- Céramique technique
- Température et pression

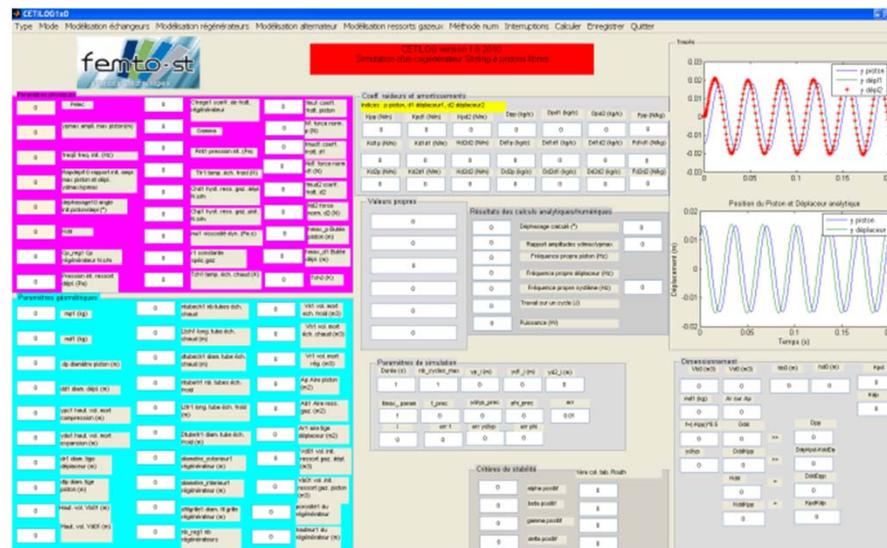
Points difficiles :

- Étanchéité dynamique
- Frottements

2 – Modélisation d'un moteur Stirling à pistons libres CETI

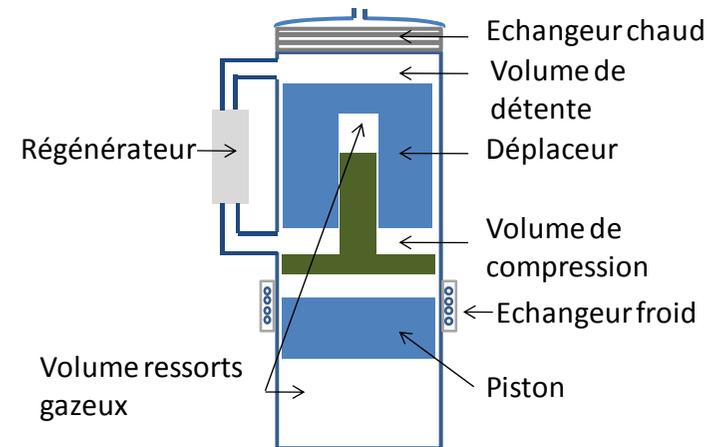
2.1 Objectif : avoir un outil de dimensionnement et de simulation

- Dimensionner des machines
- Modifier des paramètres pour optimiser des caractéristiques
- Simuler les performances de la machine associée à un générateur électrique pour différents modes de fonctionnement
- Interface utilisateur simple



2.2 Grandeurs d'entrée

- **Données géométriques**
 - 30 paramètres environ
 - Dimensions chambres, échangeurs,...
- **Données physiques**
 - Paramètres du gaz
- **Caractéristiques du point de fonctionnement**
 - Température, pression



2.3 Equations

- **Equations mécaniques du mouvement du piston et du déplaceur**
- **Transformations thermodynamiques dans les volumes compression, détente, ressorts gazeux**
 - **Hypothèses**
 - ✓ **chambres de compression et détente : transformation isotherme**
 - ✓ **ressorts gazeux : transformation adiabatique**
 - ✓ **Pression chambres et ressort gazeux : linéarisable**
 - ✓ **Ecoulements mono-directionnels**
 - ✓ **Frottements mécaniques type secs**
 - ✓ **Efficacité thermique régénérateurs totale**
- **Générateur électrique**
 - **Force de frottement fluide appliquée au piston**

2.4 Résolution

$$\ddot{x}_p = K_{pp}x_p + K_{pd}x_d + D_{pp}\dot{x}_p + D_{pd}\dot{x}_d + F_{pp}$$

$$\ddot{x}_d = K_{dp}x_p + K_{dd}x_d + D_{dp}\dot{x}_p + D_{dd}\dot{x}_d + F_{dd}$$

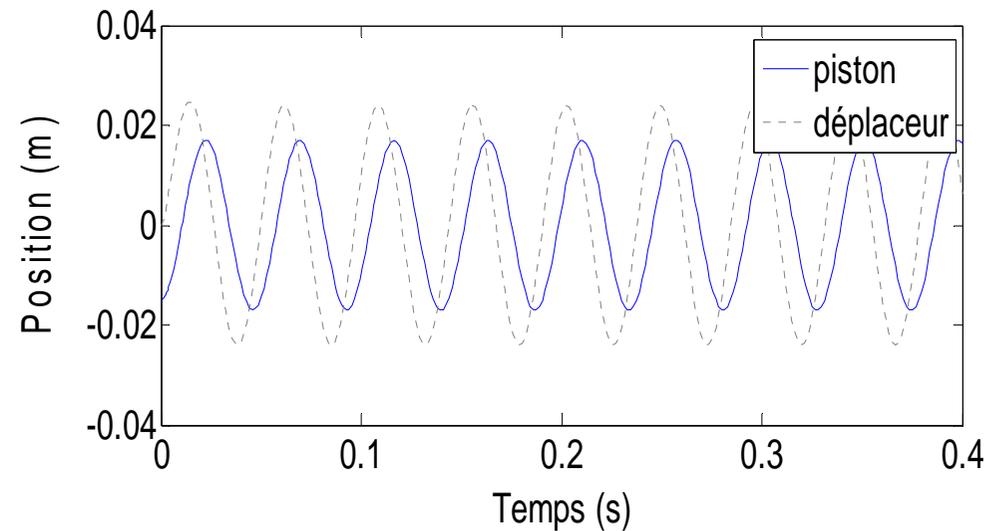
- Itérative
- Non linéarités : certains coefficients K et D dépendent du point de fonctionnement
- Ex : $D_{dp} = \frac{C_p}{m_d}$ Cp coefficient de pertes lié au débit (pertes de charge)

$$K_{pp} = -\frac{P_{mean}}{m_p} \left(\frac{A_p^2}{T_k S} + \frac{A_{BY}^2}{V_b} \right)$$

S dépend des volumes morts donc de la course effective

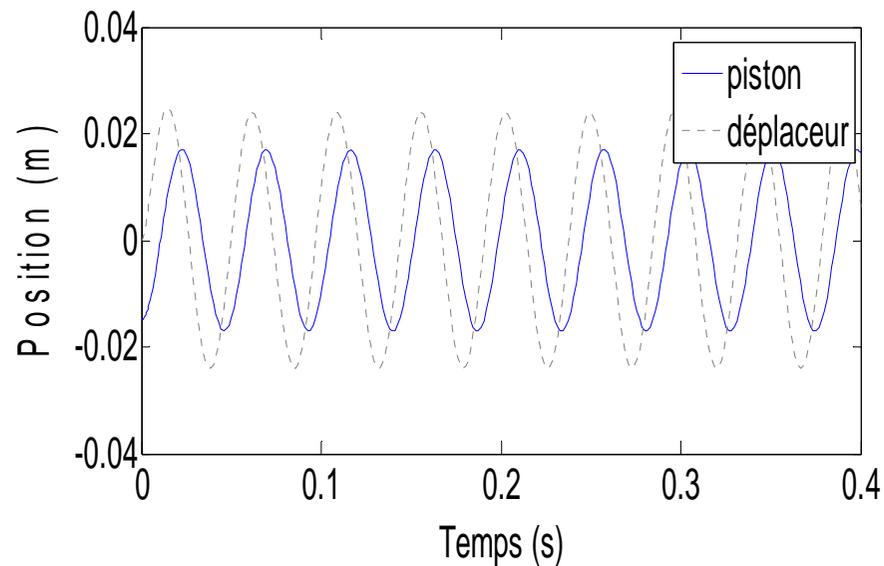
2.5 Grandeurs de sortie

- Positions et vitesses du piston et du déplaceur
- Critère numérique caractérisant l'auto-entretien du mouvement périodique de la machine

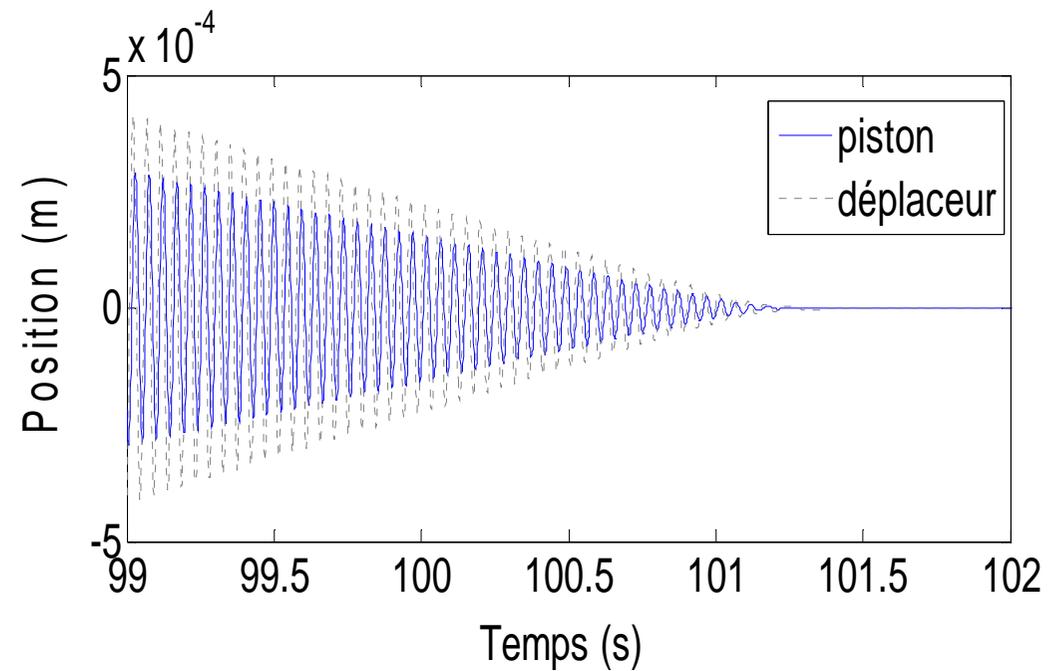


2.6 Exemples de résultats

- ✓ **Piston course 30 mm, masse 6 kg**
- ✓ **Déplaceur : course calculée, masse 200g**
- ✓ **Température chaude 810 K, température froide 320 K**
- ✓ **Résultats :**
 - **Oscillations auto-entretenues pour une puissance mécanique de 1200 W**
 - **Fréquence 21 Hz**

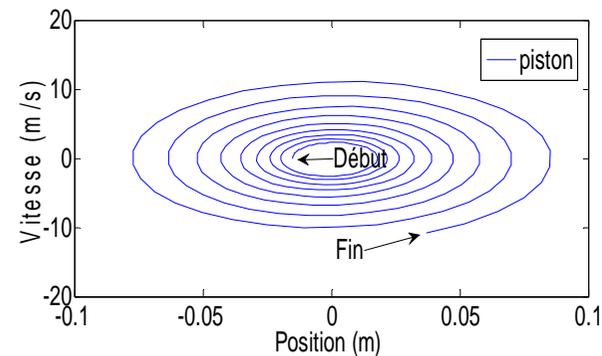
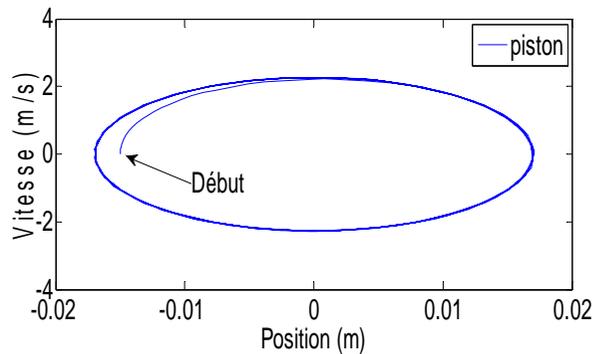
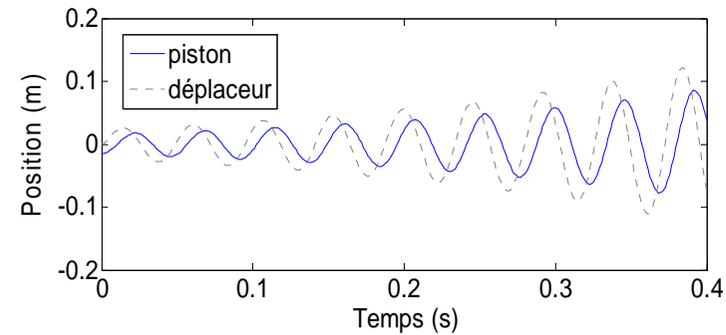
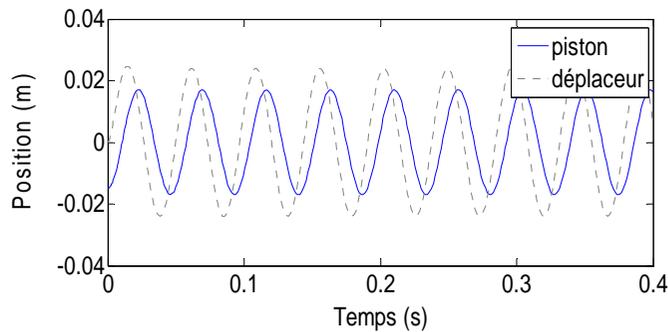


- **Influence du frottement mécanique de type sec**
 - ✓ **Sans compensation, arrêt de la machine en quelques minutes**



2.7 Stabilité de la machine

- Comportement semblable à celui d'un système masse-ressort oscillant
- Oscillations peuvent être d'amplitude constante, en augmentation, en diminution
- Machine stable : oscillations d'amplitude constante
- Approche qualitative : tracé dans le plan de phase



2.8 Perspectives

- Dimensionnement de prototypes
- Couplage avec le modèle de machine électrique puis de l'électronique de puissance
- Simulation de différents modes de fonctionnement
- Evaluation des performances de la technologie Stirling dans une application de micro-cogénération

Merci pour votre attention