

Programme Interdisciplinaire Énergie
Nantes - 16 Novembre 2009



PIE - PR 1 3 21

Étude des Spécificités Intrinsèques d'un Micro-
Cogénérateur Électro Thermique Intégré

SATIÉ

Systèmes Appliqués aux technologies de
l'Information et de l'Energie (UMR CNRS 8029)

- Pierre FRANCOIS
- Laurent PREVOND
- Bernard MULTON
- Hamid BENHAMED
- Manoj JHEELAN
- Thu Thuy DANG



ESIMCETI

femto-st
sciences & technologies
Institut FEMTO-ST CNRS UMR 6174
Département ENISYS

- Philippe NIKA
- François LANZETTA
- Guillaume LAYES
- Steve DJETEL
- Mathieu DOUBS

RENNES, CERGY PONTOISE, PARIS, BELFORT,

Interdisciplinarité...

Conservatoire
National
des Arts
et Métiers
ELECTROTECHNIQUE
292, rue Saint-Martin
75141 PARIS cedex 03


- Renaud CAPLAIN
- Nicolas COLLARD

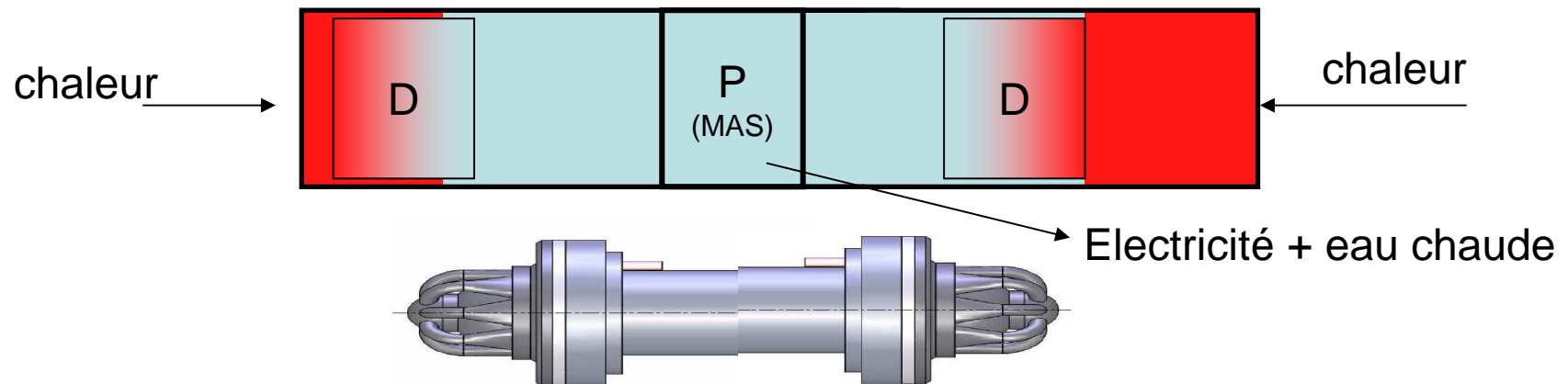


UNIVERSITÉ
de Cergy-Pontoise

- Eric MONMASSON
- Sandrine LEBALLOIS

ESIMCETI (Partie du projet global CETI)

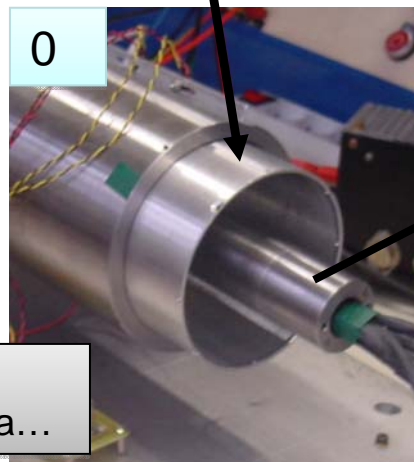
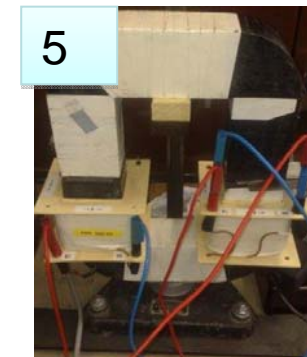
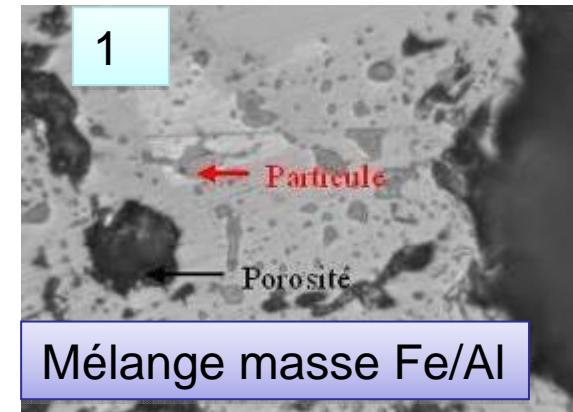
- CETI (ANR Blanc 2009-2011 avec GdF SUEZ) : 
- Chaudière électrogène 1kWe 10 kWth,
- 2 Stirling à pistons libres « double effet » (opposition directe, « duales »)
- 2 Stirling stabilisés par génératrice asynchrone.
- 1 Brevet, 4 thèses (therm, auto, électro), + 25 communications (3 thèmes)



- **ESIMCETI** : 2 ans, levée des verrous : matériaux, contraintes thermo mécaniques, lois de commande spécifiques => micro-cogénérateur final.
- - Études, réalisation de matériaux spécifiques (magnétique / thermique)
- - Réalisations : maquettes, bancs d'essais, instrumentation, interfaces informatiques, métrologie spécifique, validation modèles + réalisations.
- - Étude couplages 2 moteurs Stirling à Pistons libres en opposition + MAS.

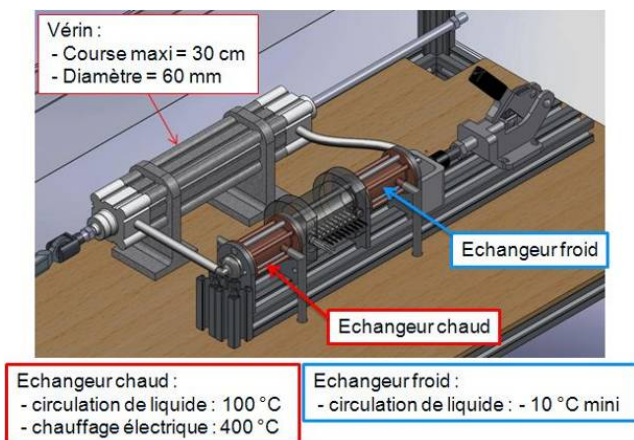
Matériaux pour Électromagnétisme et banc

- « Mover » en Aluminium (σ, μ) massif
- Avantages : sustentation naturelle, masse en mvt
- Optimisation $\mu \Rightarrow$ performances ++
- Solution ? Al+Fe ? + Mn4N ? Réalisations ?
- Renaud CAPLAIN, Nicolas COLLARD



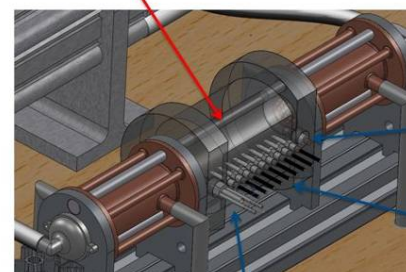
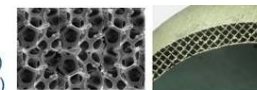
Banc de test d'échangeurs/régénérateurs

Principe



Régénérateur :

- mousses métalliques
- céramique poreuse (Société HARDEX)
- matrices métalliques (Société BVProto)



Capteur de pression
(Kulite)

9 microthermocouples
(Femto) : Tgaz

Capteur de pression
avec refroidisseur
(Kulite)



Type K
(Chromel/Alumel)
diam = 7,6 µm,
12,7 µm, 25,4 µm

Banc réalisé



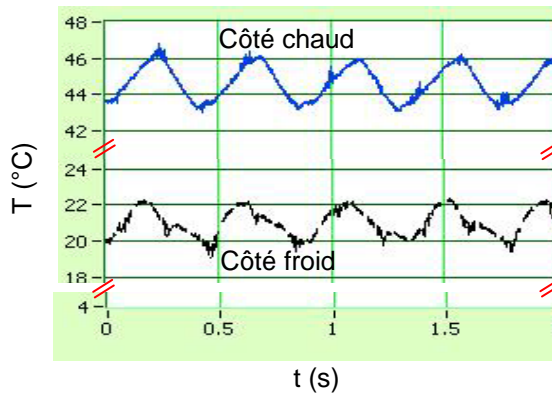
**Acquisition : logiciel Labview + carte
National Instruments**

Manipulations : caractérisations thermofluidiques en régime d'écoulements oscillants

Echangeurs chaud/froid

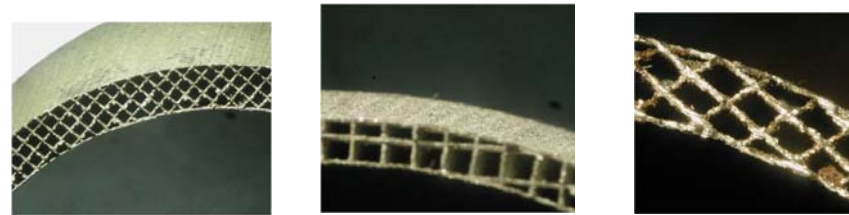


2 dimensions réalisées



Evolutions $T_{\text{gaz}}(t)$: entrée/sortie régénérateur
Fréquence = 2 Hz (essais préparatoires, octobre 09)

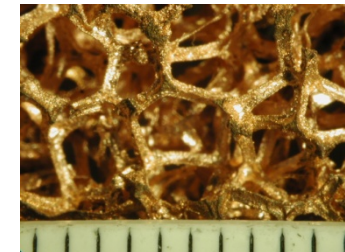
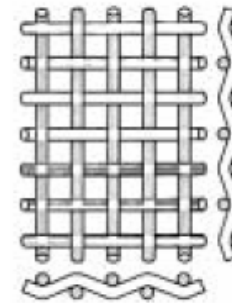
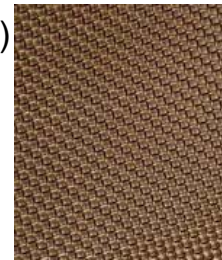
Régénérateurs



Réalisations

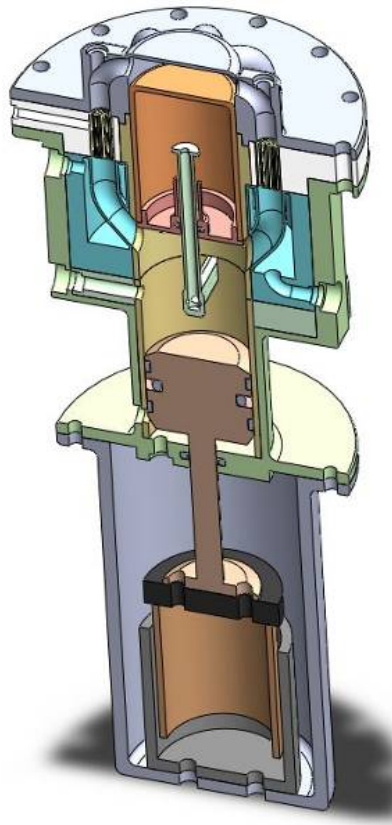
- prototypage rapide (contrôle de la porosité et de la géométrie)
- découpe et assemblage de grillages métalliques
- découpe et assemblage de mousses et tissus poreux
- céramiques poreuses

1^{ers} essais T(t)



Matrices testées = tissus maille carrée

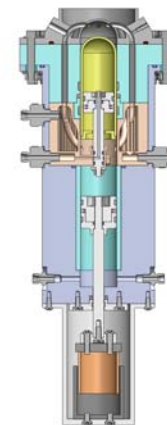
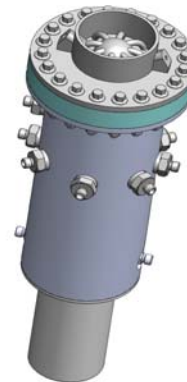
Maquette Stirling + Générateur



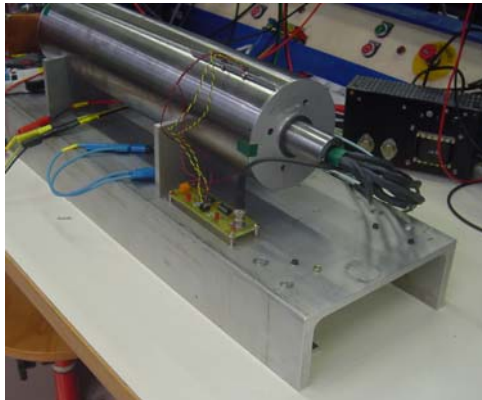
Dessin 3D maquette Moteur Stirling et générateur synchrone



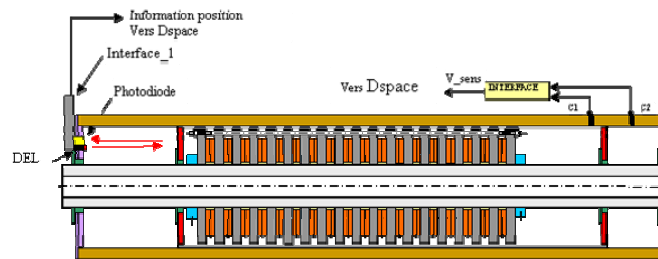
Photographie
Tête chaude obtenu par fusion laser



Maquettes pour l'électrotechnique (SATIE CNAM)



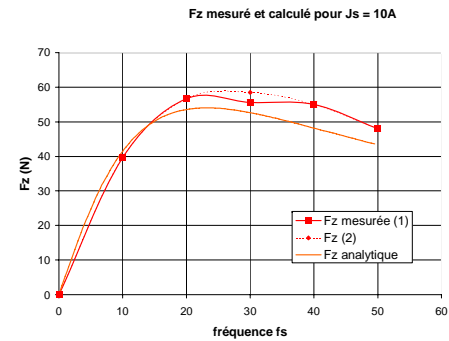
1ère version



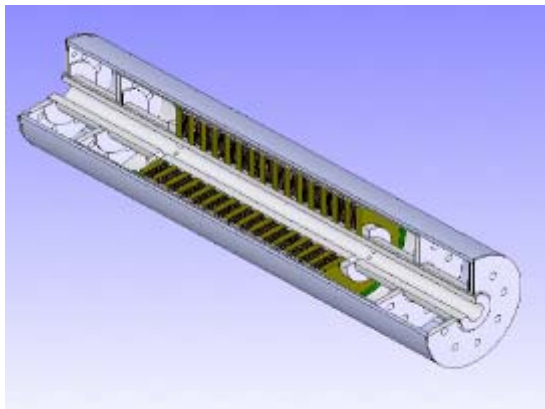
Capteur de position original

Mesure d'éclairement réflectif

Comparaison mesure / modèle Effort statique

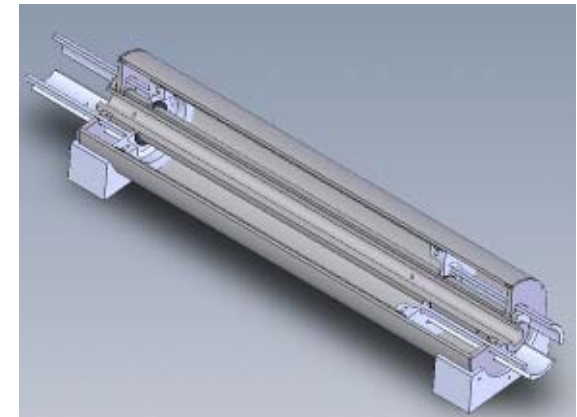


2ème version (option GAZ)



Générateur et moteur

2ème version (option vérin)



Résultats obtenus PR

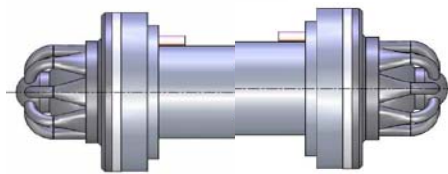


- *Réalisation + essais de 2 maquettes électriques.*
- *Réalisation de bancs d'essai électrotechnique.*
- *Développement d'un capteur de position analogique original pour la machine électrique (piston, déplaceurs?).*
- *Réalisation + essais d'une maquette thermique instrumentée, 100W en cours.*
- *Réalisation banc d'essais en microfluidique, gaz alternés avec métrologie spécifique (Pression, température,..)*
- *Réalisation de matériaux spécifiques pour les régénérateurs et pour conversion électromagnétique*
=>2 enveloppes SOLEAU (dépôt de brevet CNRS en cours)
+ Article 2009 revue 3EI, ...
+ présentations aux journées microcogénération

Résultats en cours

- Mesures sur le banc thermique/gaz pulsés
- Matériaux innovants, essais,
- Fin PIE 2009 puis.....Travaux sont poursuivis

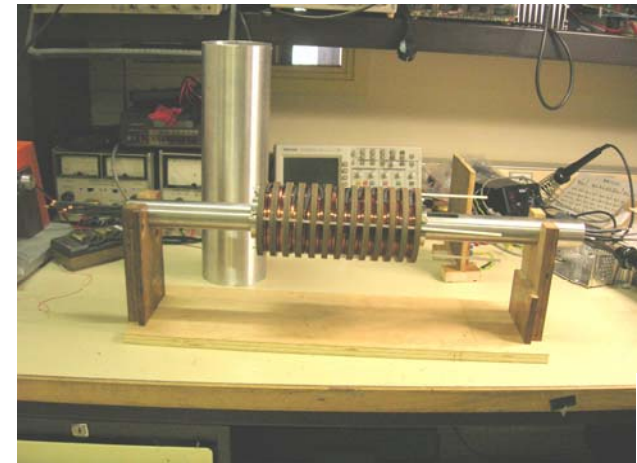
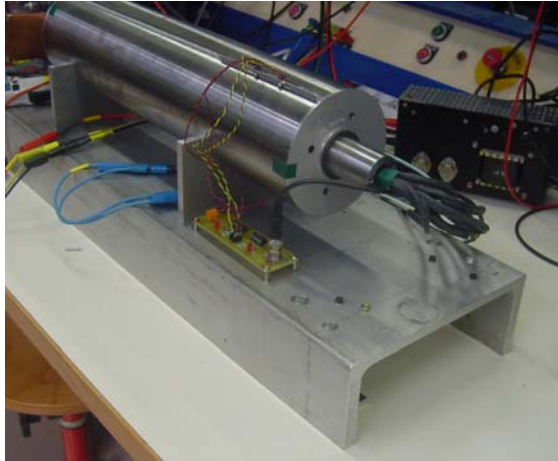
=> CETI (ANR Blanc... fin 2011) + GDF SUEZ



- MERCI pour votre attention



Maquette MAS sur le banc piloté par PC + simulink +Dspace



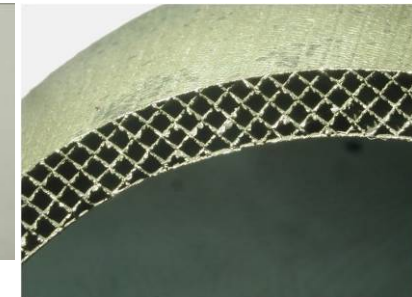
Les personnes **ESIMCETI**

<p>SATIE CNAM -</p> <ul style="list-style-type: none"> - Chaire de machine thermique - Service recherche - Matériaux 	<p>Pierre FRANCOIS (+Thèse 2008) Laurent PREVOND Manoj JEEHLAN Georges DESCOMBES Gérard LEBUZIT Renaud CAPLAIN Nicolas COLLARD</p>	<ul style="list-style-type: none"> - électrotechnique, générateur asynchrone Porteur du projet -Réalisations techniques et essais -Thermodynamique -Gestion des brevets -Etude de matériaux spéciaux
<p>SATIE - Rennes</p>	<p>Bernard MULTON Hamid BENAHMED</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Projet global, aspects énergétiques -Calculs électromagnétiques
<p>SATIE - Ens-Cachan - Cergy</p>	<p>Eric MONMASSON Jean Paul LOUIS Sandrine LEBALLOIS Thu Thuy DANG (thèse 1^{ère} année)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Commande global du cogénérateur et Pilotage du générateur asynchrone.
<p>FEMTO ST – ENISYS Belfort</p>	<p>Philippe NIKA Francois LANZETTA Guillaume LAYES Steve DJETEL Mathieu Doubs</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Aspects thermiques, étude du moteur Stirling, optimisation

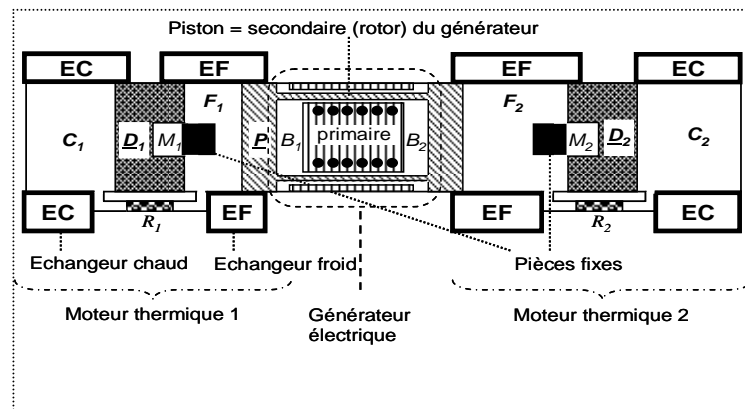
Ont participé au projet :
 Jean Luc BERARD CATELO (Tech. mutation)
 Fouad ELKOULALI (CDD CNRS)
 Isabel GARCIA-BURREL (Thèse 2007 EdF)
 Julien BOUCHER (Thèse 2007Ademe/EdF)

A – Matériaux pour la thermique

- FEMTO-ST ENISYS Belfort
- Régénérateurs : (R1, R2)
- Echangeurs : (EC, EF)
- => Modèles



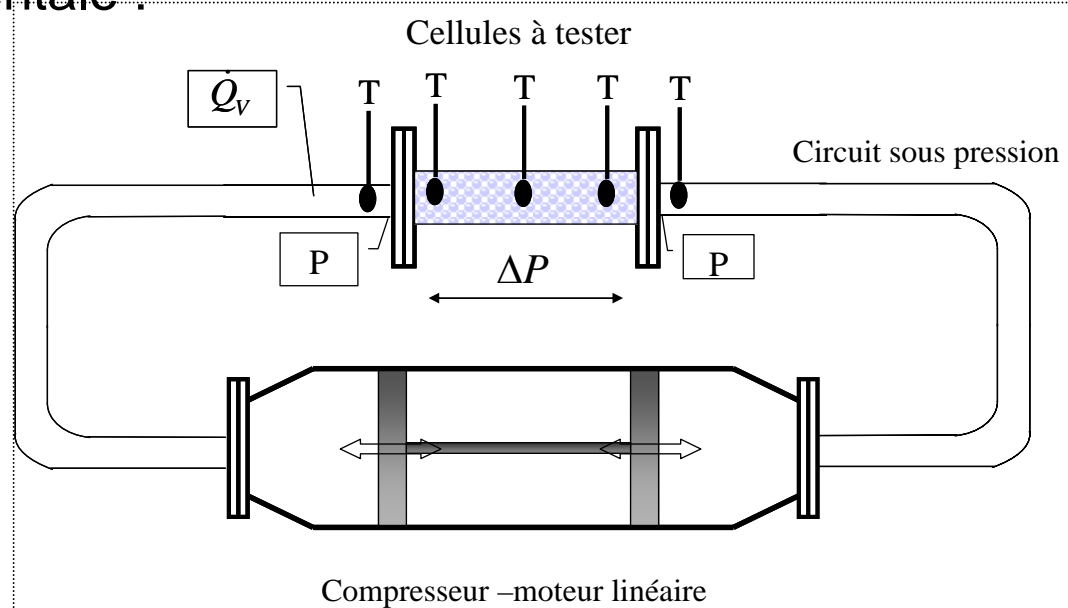
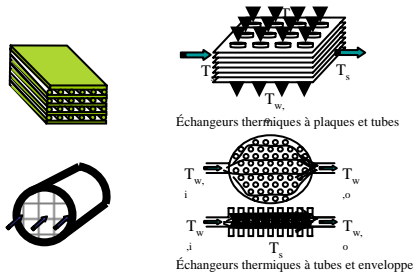
Régénérateur à canaux métalliques (chrome cobalt par fusion laser)



B- Bancs d'essai gaz pulsés

- Caractérisation expérimentale :

- régénérateurs
- échangeurs



- Ecoulements périodiques
- Transfert de chaleur instationnaire
- Fréquence variable



Extrait Biblio

- 3 thèses

- 1 Brevet

- Pierre FRANCOIS, Laurent PRÉVOND, Georges DESCOMBES « Groupe électrogène à mouvement linéaire alternatif à base de moteur Stirling et procédé de mise en œuvre ». 2002, Extension internationale n° PCT-FR02-00173 du 17.01.02 du brevet initial France IFB 00 CNA LIN du 14.11.2000.

- Publications

- Pierre FRANCOIS, mémoire ingénieur CNAM : Les groupes électrogènes de 50 kW, solutions existantes et solutions nouvelles', mars 2002.

- Pierre FRANCOIS, Laurent PRÉVOND, Hamid BEN AHMED, Bernard MULTON,

'Générateur tubulaire asynchrone pour cogénérateur Stirling', Communication Electrotechnique du Futur, Supelec, déc 2003

- [S. BOUDIGUES](#), [G. DESCOMBES](#), [P. NEVEU](#), [L. PRÉVOND](#), Septembre 2001 « Contribution à l'optimisation des performances d'unités de production d'énergie cogénérées », 2th International Heat Powered Cycles Conference Cooling, Heating and Power Generation systems [HPC'01](#), University of Nottingham et Conservatoire National des Arts et Métiers.

- P. Nika P., Bailly Y., 2005 ; Thermoacoustics and related oscillatory heat and fluid flows in micro heat exchangers, IJHMT, Vol. 48, pp. 3773-3792.- P. Nika, Y. Bailly., F. Lanzetta, 2005 : Heat transfer during incompressible oscillating laminar flow, Int J. of Refrigeration, Vol. 28, pp. 353-367,

- J. Boucher, F. Lanzetta, P. Nika, Optimization of a dual free piston Stirling engine, Applied Thermal. Engineering, 27, (2007), 802-811

- F. Lanzetta, J. Boucher, E. Gavignet, 2006 ; Two-microthermocouple probe for temperature and velocity measurements in an oscillating flow in a heat exchanger of Stirling machine, ASME ATI Conference, Energy: Production, distribution and conservation, Milan, Italy, , p. 633-642.- P. Nika, Y. Bailly, M Delabacherie, J.C. Jeannot, J. Delalée, 2003 : An Integrated Microscale Refrigerator Devise with micro exchangers. Design and experiments, Int. Journal of Thermal Sciences, 42, 1029-1045.

Revue internationale avec comité de lecture (4)

Controller design for a Stirling cogenerator

I. Garcia Burrel, S. Le Ballois, L. Prévond et E. Monmasson

Soumission à la revue Control Engineering in Practice, première étape de sélection passée. En attente de la réponse finale.

Energy Performance of a new Stirling micro-cogenerator

I. Garcia Burrel, S. Le Ballois, L. Prévond et E. Monmasson

Article accepté dans la revue « European Power Electronics »

Comparison of Controller Designs for a Stirling Co-generator

I. Garcia Burrel, S. Le Ballois et E. Monmasson

Suite à la conférence IFAC CAO'06 (Control Applications of Optimisation), l'article a été sélectionné à paraître dans la revue « International Journal of Tomography and Statistics », Vol.6, n°S7, pp. 57-62, 2006

Commande d'un micro-cogénérateur Stirling.

I. Garcia Burrel, J. Boucher, S. Le Ballois, F. Lanzetta, E. Monmasson, P. Nika et J.P. Louis

Journal Européen des Systèmes Automatisés, n° spécial "Mécatronique et Systèmes Complexes Pilotés" Revue JESA, Vol. 40, No. 3, pp. 323-352

Congrès internationaux avec actes (6)

Optimization of a Linear Induction Oscillatory Machine in a Stirling Cogeneration system

I. Garcia Burrel, P. François, H.B. Ahmed, E. Monmasson et B. Multon

IEEE Conférence EPE'07 (European Conference on Power Electronics and Applications) – Septembre 2 – 5 2007, Aalborg, Danemark

Controller Design for a Stirling Micro-Cogenerator Emulator

I. Garcia Burrel, S. Le Ballois, L. Prévond et E. Monmasson

EUCA Conférence (avec IFAC, ACPA and IEEE) ECC'07 (European Control Conference) – Juillet 2-5 2007, Kos, Greece

Comparison of Controller Designs for a Stirling Co-generator.

I. Garcia Burrel, S. Le Ballois et E. Monmasson, IFAC Conférence CAO'06 (Control Applications of Optimisation) – Avril 26-28 2006, Paris, France

Robust Pole Placement for a Stirling Co-generator

I. Garcia Burrel, S. Le Ballois et E. Monmasson, IFAC Conférence ROCOND'06 (Robust Control Design) – Juillet 5-7 2006, Toulouse, France

Energy Performance and Stability of a Stirling Micro-cogeneration System

I. Garcia Burrel, S. Le Ballois, E. Monmasson et L. Prévond

IEEE Conférence EPE-PEMC'06 (European Power Electronics - Power Electronics and Motion Control) – Août 30 - Septembre 1 2006, Portoroz, Slovenia

A Stirling micro-cogenerator emulator

I. Garcia Burrel, S. Le Ballois, E. Monmasson et L. Prévond