



# Etalim Inc.

Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation de RNCan  
Rapport des intervenants, mai 2014

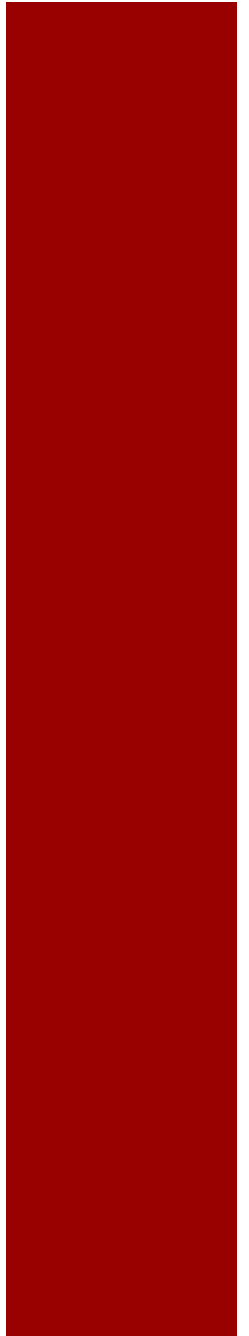
# Table des matières

- Technologie d'Etalim
- Application de la microcogénération et paysage du marché
- Réalisations et activités de projets écoÉNERGIE de RNCan
- État actuel et tâches futures



# La technologie TAC d'Etalim

Une nouvelle forme de moteur  
thermoacoustique pour la microcogénération



# Un moteur fondamentalement nouveau

- Nouveau petit moteur à combustion externe en instance de brevet.
- Produit de l'électricité à partir de tout combustible ou source de chaleur.
- Objectif d'efficacité à long terme extraordinaire de 46 % (42 % avec l'électricité).
- Petit, simple, élégant et bon marché : 0,30 \$ le watt (coût selon le volume de l'usine).
- Fiabilité extrême – 40 ans de fonctionnement sans entretien.
- Perturbateur pour plusieurs marchés de production décentralisée d'énergie, de téléalimentation et de production d'énergie renouvelable.



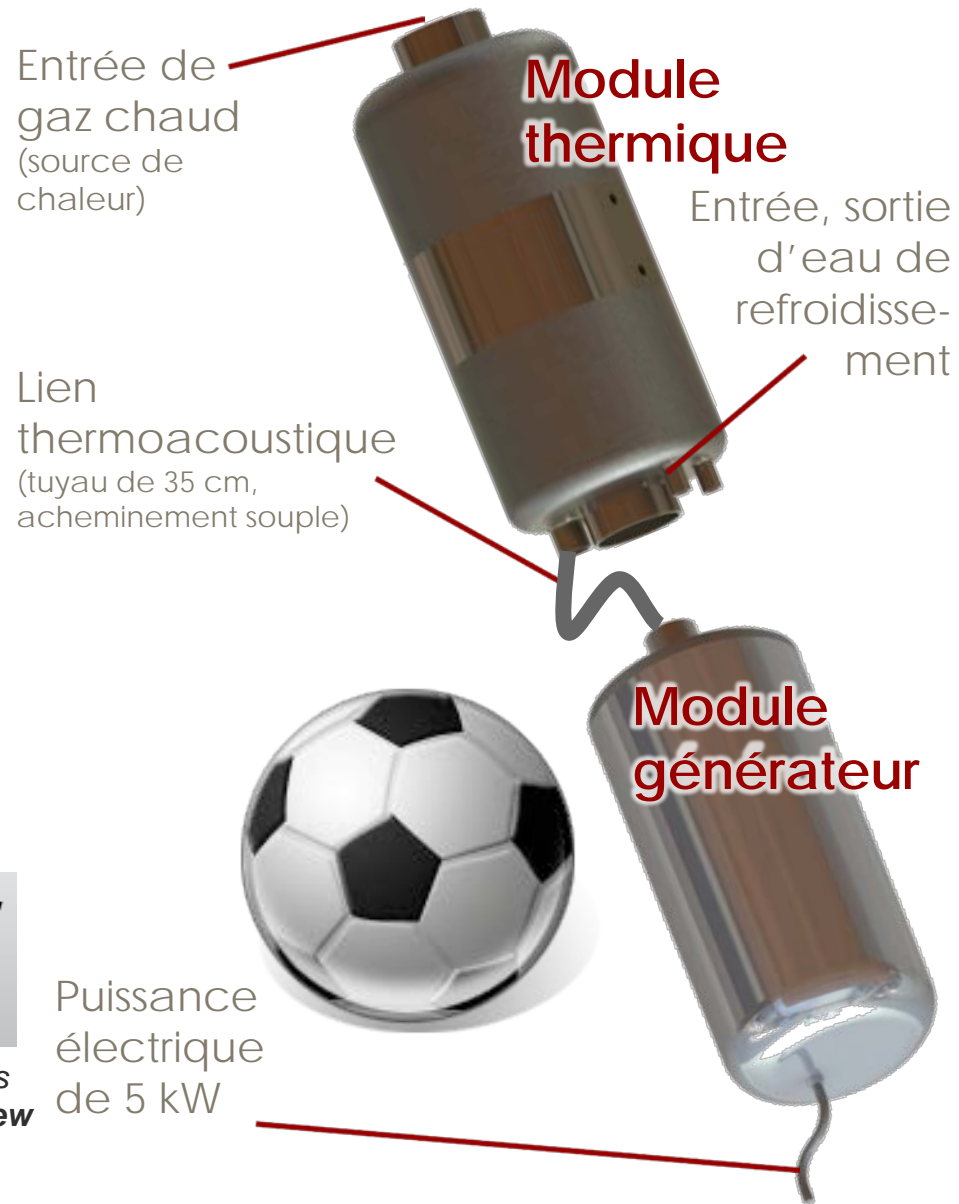
On a brossé le portrait d'**Etalim** dans **MIT Technology Review** (en anglais)

<http://www.technologyreview.com/energy/32267/>

# À propos de la technologie d'Etalim

Etalim est en train de mettre au point un générateur thermoacoustique baptisé TAC-HT. Le dispositif atteint un haut niveau d'efficacité grâce à un fonctionnement basé sur la flexion de fréquence élevée éliminant totalement le frottement mécanique et l'usure. Sa construction est très simple, presque entièrement en métal, sans piston, palier ou joints mobiles. La technologie a été démontrée en tant que prototype de démonstration; le produit commercial est en voie de développement. La technologie d'Etalim est issue de certains progrès récents dans la physique de la thermoacoustique. Etalim a cinq brevets en instance.

## TAC d'Etalim de 1 kW



Vidéo de présentation du TAC (Architecture TAC-MT) (2:30)

**technology review**

Published by MIT

Article sur Etalim dans **MIT Technology Review**

# Le TAC (Convertisseur thermoacoustique)

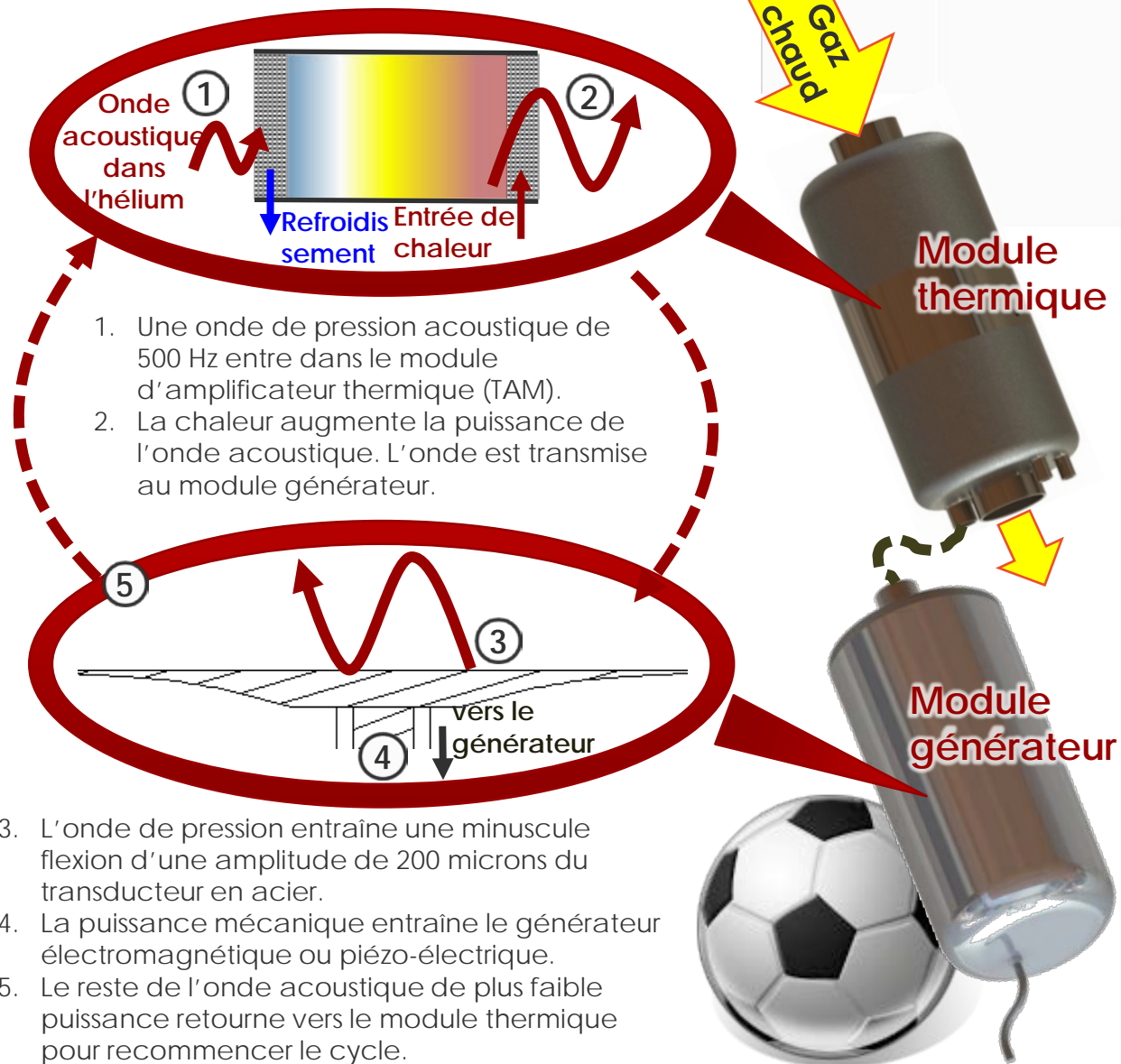
Les pièces mobiles sont à flexion sans fatigue

Aucun joint, soupape ou lubrifiant

Aucun frottement mécanique

Aucun entretien

4 brevets en instance

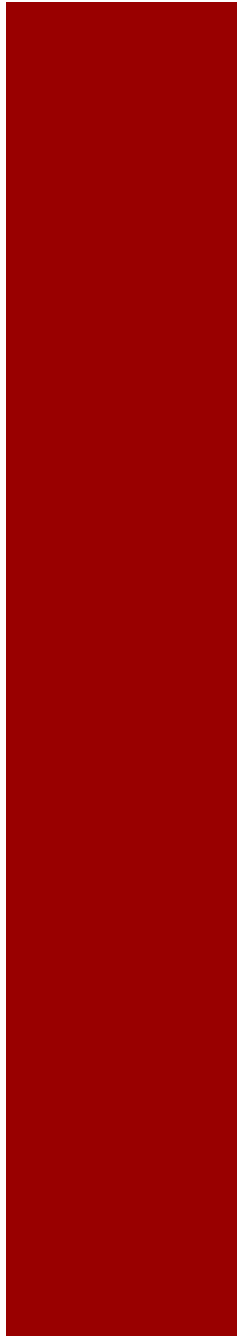


# Marchés potentiels - survol

	Micro-cogénération	Biogaz	Chaleur perdue	Énergie solaire
<b>Problème</b>	Besoin d'un haut rendement dans un petit dispositif à faible entretien.	Les moteurs normaux ne peuvent traiter le biogaz souillé, et le biogaz est coûteux à nettoyer.	Aucune solution à petite échelle ayant un bon rendement.	Faible rendement photovoltaïque. Les systèmes thermiques utilisent trop d'eau.
<b>Possibilité</b>	30 G\$ = 1/3 du marché du chauffage domestique en UE sur une période de 15 ans.	1,4 G\$ = 700 MW de biogaz non exploité en Amérique du Nord.	20 G\$ = valeur de la chaleur industrielle perdue annuellement en Amérique du Nord.	30 G\$ sur 20 ans.
<b>Compétition</b>	Piles à combustible, Stirling.	Moteurs à combustion interne désaccordés.	Cycle de Rankine à caloporteur organique et dispositifs thermoélectriques.	Énergie photovoltaïque, solaire thermique (turbine à vapeur).
<b>Stratégie</b>	Fournisseur FEO des fabricants de systèmes de CVC à compter de 2017.	Fournisseur FEO des intégrateurs à compter de 2014.	Fournisseur de moteurs.	Objectif secondaire après 2015. Fournisseur de moteurs.
<b>Progrès</b>	Fort intérêt manifesté par les chefs de file en matière de CVC en UE. Développement commun avec un petit chaudronnier et un service de distribution de gaz canadien.	Pas un centre d'intérêt à l'heure actuelle.	Programme de démonstration démarré avec un grand constructeur d'automobiles.	Pas un centre d'intérêt à l'heure actuelle.

# Application de la microcogénération

Production combinée de chaleur et  
d'électricité dans les habitations –  
Une nouvelle forme prometteuse de production  
décentralisée d'énergie





# Qu'est-ce que la microcogénération

*La microcogénération est une nouvelle forme de production décentralisée de chaleur et d'électricité, propre et efficace, au sein des habitations.*

- Les appareils de microcogénération cogènèrent de la chaleur et de l'électricité dans les habitations à l'aide d'un combustible primaire, habituellement le gaz naturel.
- La microcogénération est une nouvelle forme de chauffage domestique qui permet de réduire à la fois les coûts d'énergie et les GES. La microcogénération produit de l'électricité à un taux de rendement global de 90 %.
- La cogénération, aussi appelée la production combinée de chaleur et d'électricité, est bien établie dans les milieux industriels; ce qui est nouveau, c'est la capacité de la réduire dans un appareil de petite taille convenant à une habitation unifamiliale.

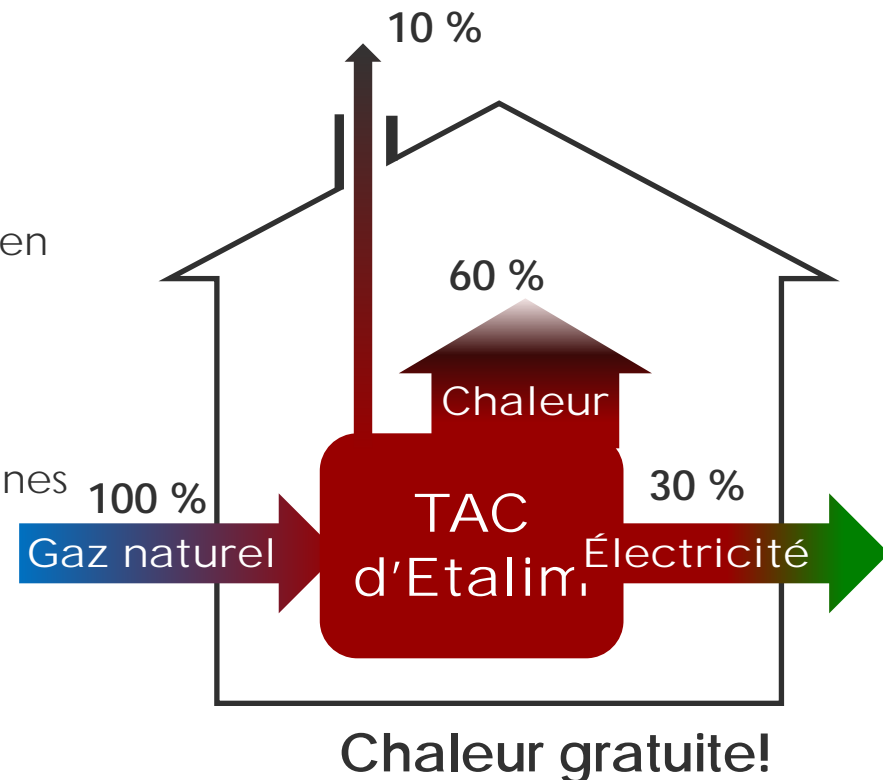


Appareil de microcogénération de 1 kW

# Microcogénération

*La microcogénération offre d'importants avantages à tous les intervenants.*

- ▶ **Avantages pour les consommateurs**
  - ▶ Réduction de la facture d'énergie
  - ▶ Réduction de l'empreinte carbonique
  - ▶ Énergie de secours en cas de panne d'électricité
- ▶ **Avantages pour le service public**
  - ▶ Nouvelle capacité de pointe à faible coût en capital
  - ▶ Optimisation de l'approvisionnement en gaz de schiste
  - ▶ Réponse à la demande d'énergie acheminable
  - ▶ La production décentralisée évite le besoin d'une infrastructure pour les lignes de transport d'électricité
- ▶ **Avantages pour le gouvernement**
  - ▶ Économies d'énergie primaire
  - ▶ Réduction des émissions
  - ▶ Diversité de l'approvisionnement



# Sommaire du marché de la microcogénération

*La microcogénération est un marché naissant représentant un changement de paradigme qui affiche une forte croissance et un très important potentiel à long terme.*

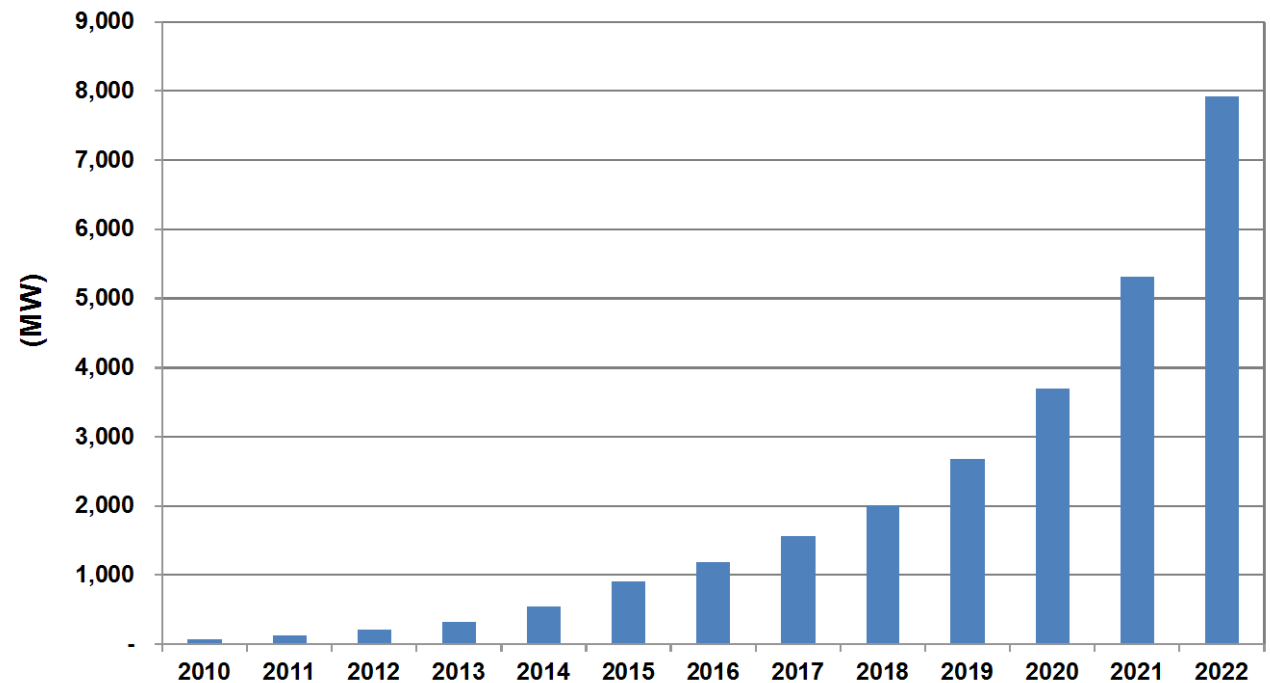
- La microcogénération est définie comme ayant une capacité maximale inférieure à 5 kWé, quoique tous les produits domestiques ont une capacité inférieure à 2 kWé.
- Les ventes mondiales de microcogénération en 2013 étaient de 55 MWé et d'environ 500 M\$.
- Le marché est naissant : les produits de la 1<sup>re</sup> génération ont été lancés au cours des deux dernières années. Comparable au marché de l'énergie photovoltaïque en 1995.
- Les principaux marchés géographiques aujourd'hui sont le Japon, l'Allemagne, le R.-U. (solides tarifs de rachat garanti ou subventions). Les marchés secondaires sont d'autres pays du nord de l'EU, la Corée, le marché à créneaux en Amérique du Nord.
- Acheté pour remplacer une chaudière de chauffage domestique ou pour une maison neuve.
- Les technologies dominantes sur le marché aujourd'hui indiquent peu de possibilités d'atteindre la viabilité économique.
- Les prix et les frais d'exploitation sont élevés pour les technologies existantes, ce qui se traduit par une lente adoption par le marché.
- Environ 200 000 appareils vendus jusqu'à présent dans le monde entier.
- Le marché représente moins de 1 % le marché global du chauffage domestique.
- Potentiel des marchés de masse (5 à 25 % du marché du chauffage domestique dans les climats tempérés) si on peut atteindre les objectifs de prix et de fiabilité.

# Prévisions mondiales en matière de microcogénération

*Marché mondial annuel d'environ 8 milliards de \$ pour la microcogénération d'ici 2021<sup>1</sup>. Marché mondial de plus de 15 millions de remplacements par année de générateurs d'air chaud et de chaudières domestiques au gaz naturel<sup>2</sup>.*



Prévisions mondiales de la base installée pour la micro-cogénération<sup>3</sup>



(Source: Pike Research)

Sources : 1. Selon les prévisions de la base installée de Pike Research, à 3 \$ le watt. 2. BSRIA, marché mondial du chauffage, Bracknell, R.-U., 2011. 3. Pike Research.

# Le TAC d'Etalim pour la microcogénération – spécifications recherchées

*Le système d'Etalim offre une combinaison unique de rendement et de souplesse de fonctionnement.*

- Alimenté au gaz naturel. D'autres combustibles peuvent être acceptés avec des brûleurs à combustion externe modifiés.
- Capacité: 1-2 kWé.
- Rendement électrique net du système : 31,5 % PCI /28,5 % PCS (première génération).
- Rendement thermique : 69,0 % PCI/63,5 % PCS (première génération).
- Température de l'eau chaude : 40-80 °C.
- Aucun entretien et aucune dégradation du moteur ne sont prévus pendant la durée de vie utile de 40 ans et de nombreux cycles thermiques.
- Modulation du rapport de réglage jusqu'à 50 % (avec un rendement réduit).
- Démarrage à froid dans les 10 minutes.
- Mise en marche/arrêt quotidiens ou fonctionnement continu.
- Etalim fournira le composant TAC aux fabricants de systèmes de CVC.

# Concurrents de la microcogénération

*Le système Etalim possède de solides avantages concurrentiels fondamentaux.*

- Les systèmes de microcogénération sont définis dans une grande mesure par le générateur de force motrice (moteur ou pile à combustible) en leur cœur.
- Dans tous les cas, les offres actuelles ne sont pas économiques. Par exemple, les systèmes de piles à combustible de 700 watts coûtent 20 000 \$ et n'offrent aucun RCI ou délai de récupération.
- Moteurs Stirling
  - Le composant à pistons libres doit être fabriqué avec précision à un coût élevé, puis contrôlé et équilibré soigneusement pour éviter l'usure des parois du cylindre ou une course de piston excessive.
  - Les approches existantes ne sont pas fiables et sont coûteuses.
- Piles à combustible
  - Nécessitent des sous-systèmes d'organes auxiliaires coûteux tels que des reformeurs, des désulfurants, des déshumidificateurs ou des dispositifs de postcombustion.
  - Dégradent la performance de 0,5 % par année (typique). La durée de vie est de 5 à 10 ans.
  - Ne peuvent fonctionner qu'au gaz naturel très pur (le réseau de gaz allemand pose un problème en raison de l'injection de biogaz).
- Moteurs à combustion interne (CI)
  - Requièrent une mécanique de précision coûteuse pour satisfaire aux exigences en matière de cycle de vie. Dans un appareil de microcogénération, un moteur à CI doit survivre à des heures de fonctionnement équivalant à un parcours de plus de 7 millions de milles sur l'autoroute avec un moteur à CI d'automobile.
  - Nécessitent des vidanges d'huile et d'autres travaux d'entretien – visites de réparation à domicile coûteuses.
  - Évacuent la chaleur perdue provenant de leur liquide de refroidissement ainsi que de leur échappement, ce qui rend complexe le captage de la chaleur pour la microcogénération.

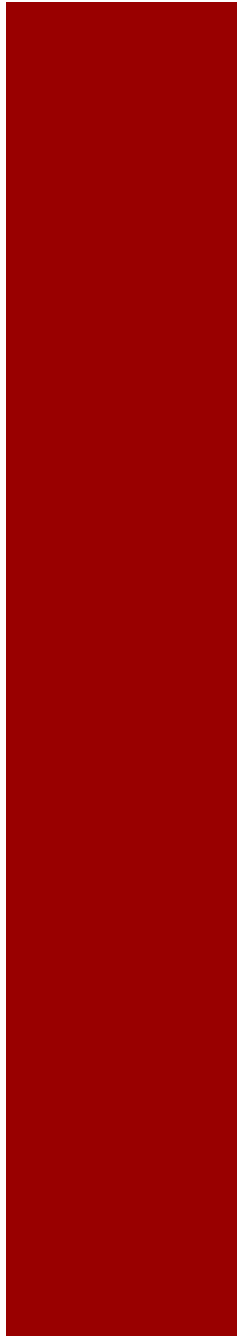
# Comparaison de la technologie de la microcogénération



4 Bon 0 Médiocre	Etalim v1 (MT)	Etalim v2 (HT)	Moteur Stirling	Moteur à CI	Pile à combustible
Coût	4	4	2	3	1
Rendement (électrique net)	29 %	35 %	15 %	26 %	30-45 %
Fiabilité	4	4	3	2	2
Durée de vie	4	4	3	2	0
Fréquence d'entretien	4	4	4	0	2
Souplesse en matière de combustible	4	4	4	1	2
Émissions	3	3	3	2	4
Simplicité du système	4	4	4	2	0
Temps de mise en marche	4	4	4	4	1
Nervosité ou sensibilité	2	2	2	4	2

# Projet de RNCan

Faire progresser le TAC d'Etalim par l'entremise  
d'une démonstration complète du bien-fondé  
de la conception de la microcogénération





# Résumé du projet

Ce projet avait pour objectif de faire évoluer le TAC de son état initial de prototype de laboratoire vers une unité bêta précommerciale capable de fonctionner avec plusieurs combustibles. Le TAC doit également être intégré dans un système prototype de microcogénération et mis à l'essai comme tel en laboratoire.

Le projet a été réalisé entre janvier 2011 et mars 2014. L'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation de RNCAN a assuré le financement du projet entre octobre 2012 et mars 2014. TDDC, IBC Technologies et Union Gas ont fourni le financement en espèces ou en nature pendant la durée du projet.



# Points saillants du projet

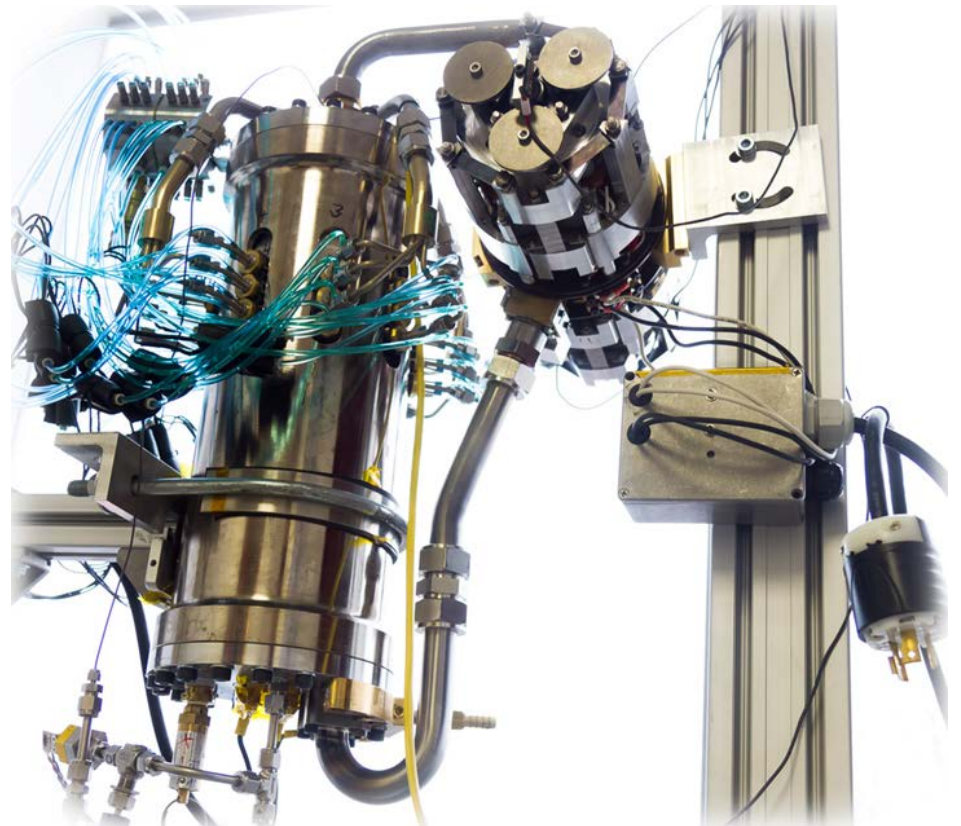
- Une nouvelle architecture TAC, surnommée le HT, a été conçue au début de 2012 et construite pendant le reste de 2012 et 2013.
- Un nouveau brevet sur ce concept de TAC a été déposé.
- Le premier HT prototype a été terminé en avril 2013 et les essais ont commencé.
- On a démontré que le HT pouvait fonctionner à 700° C et accepter la chaleur provenant d'une source externe (à l'extérieur de la paroi du récipient sous pression du TAC) – une première pour Etalim.
- Jusqu'à présent, le HT a atteint une puissance mécanique de 860 watts (crête) à une température de 700° C et plus de 40 heures de temps de fonctionnement, avec huit heures en continu.
- Le premier moteur HT n'a pas donné un bon rendement jusqu'à présent (atteignant seulement 18 % par rapport à l'objectif de 27 %), mais on s'attend à corriger cette lacune au cours des trois prochains mois.
- Un brûleur récupérateur à gaz naturel à rendement élevé a été développé pour la microcogénération, puis mis à l'essai pour démontrer un rendement de 70 %.
- On a conçu et assemblé un système complet de démonstration du bien-fondé de la conception pour la microcogénération.

# Réalisations techniques de projet

- Le développement de régénérateurs thermoacoustiques avancés construits de verre haute température et revêtus pour minimiser les pertes thermiques radiatives à des températures de fonctionnement élevées.
- La conception et la mise en œuvre de liens thermoacoustiques appelés tubes d'inertance et tubes amortisseurs.
- La conception et construction couronnées de succès d'uniports dans le HT GM, des côtés compression et expansion, pour simplifier la construction tout en augmentant la souplesse d'implantation et en réduisant le coût .
- Le développement d'un processus d'électro pour permettre la fabrication de composants d'échangeur de chaleur en velours cuivre au sein du moteur TAC. Ces composants offrent une résilience et une fiabilité supérieures à un coût inférieur à celui de notre version antérieure en fibre de carbone.
- La reprise de la conception des échangeurs de chaleur internes avec répartition du débit sous le velours.
- La conception, la fabrication et la démonstration d'un générateur électromagnétique de 1 kW à équilibrage mécanique pour le moteur thermoacoustique TAC-HT. Ce générateur atteint un rendement de 88 %, soit un niveau de rendement très proche de l'objectif du produit au niveau commercial. Un nouveau brevet a été déposé au titre de la propriété intellectuelle relativement à ce nouveau générateur.
- Le développement d'un brûleur récupérateur à gaz naturel à rendement élevé, étroitement intégré au moteur TAC-HT.
- La conception et le montage d'un banc d'essai de la microcogénération, représentant l'architecture de système complète d'un appareil de microcogénération de base.
- Le développement d'un concept de boucle à autocirculation thermoacoustique pour la transmission de la source de chaleur vers le moteur TAC à partir d'une source de chaleur éloignée (telle que la chaleur des gaz d'échappement). Ce concept a été modélisé et démontré avec succès dans du matériel en fonctionnement, ce qui ouvre la porte à de nombreuses applications supplémentaires de récupération de la chaleur perdue pour notre TAC. Ce concept est digne d'une autre demande de brevet.

# Prototype du TAC-HT

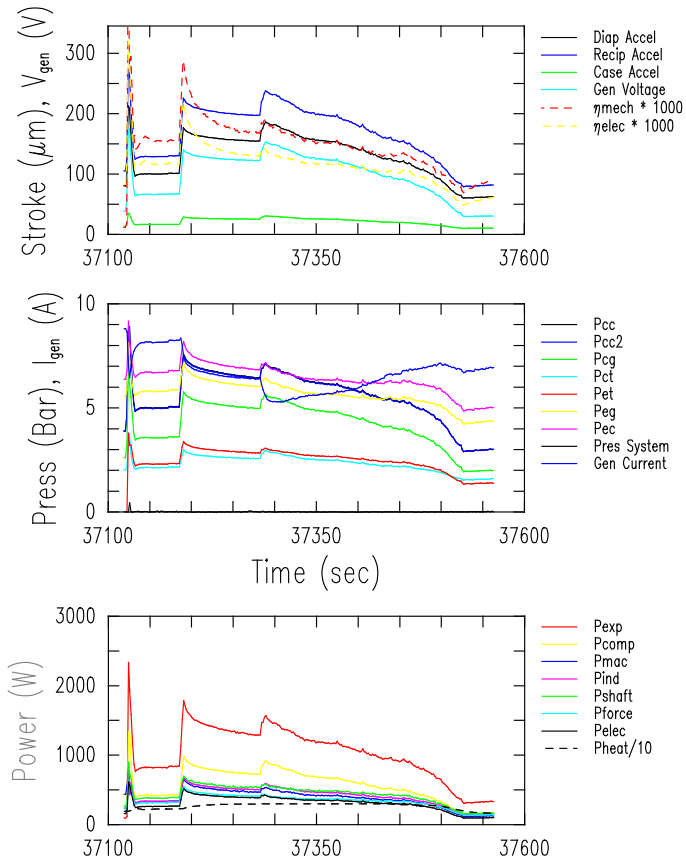
- Les essais combinés du HT TM avec générateur équilibré H10 GM ont commencé (6 janvier 2014).
- Démontré le fonctionnement avec une vibration de carter très faible ( $< 1 \mu\text{m}$ ).
- Couplé acoustiquement avec succès les deux moitiés du transducteur de puissance équilibré avec uniports à des conduits acoustiques simples.



# Performance du HT

Les figures montrent les résultats expérimentaux de la performance réellement obtenue jusqu'à présent.

- Puissance de crête ~800 W avec un régime constant ~500 W (graphiques inférieurs). Le régime constant est limité par l'apport de chaleur disponible.
- Rendement ~15 % (ligne rouge tiretée dans le graphique supérieur. Valide seulement à l'état stable).
- Encore besoin d'améliorer sensiblement le rendement. Un certain nombre de problèmes ont été cernés et les corrections sont en cours.

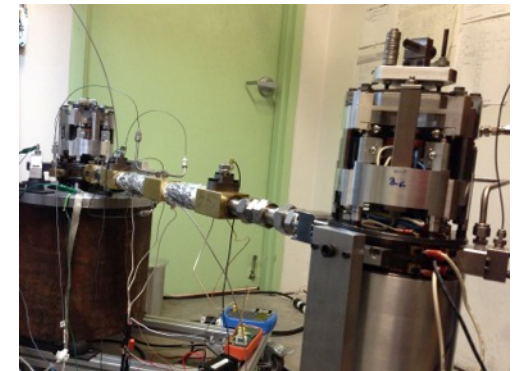
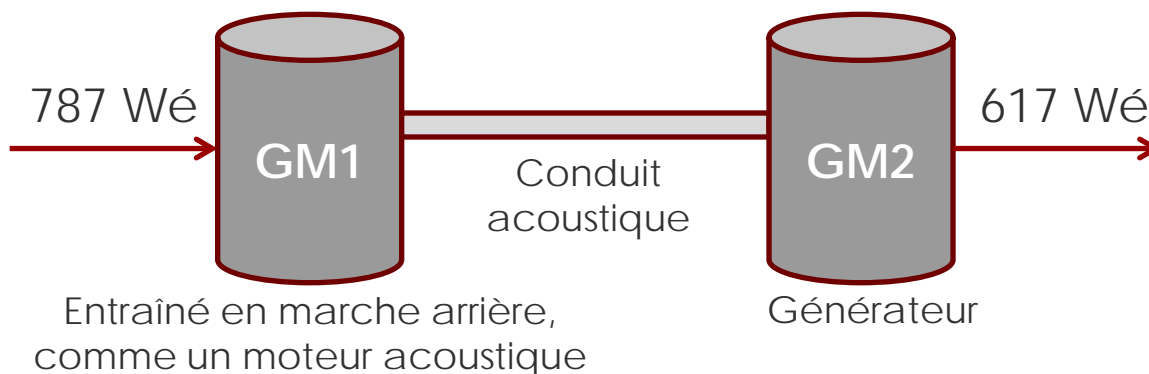


Z:\Testing\HT01\build8\13-05-30\burst\_only.fft  
z:\code\data\_acquisition\plotallfft\_ht.spt

Wed Jun 26 15:46:05 2013

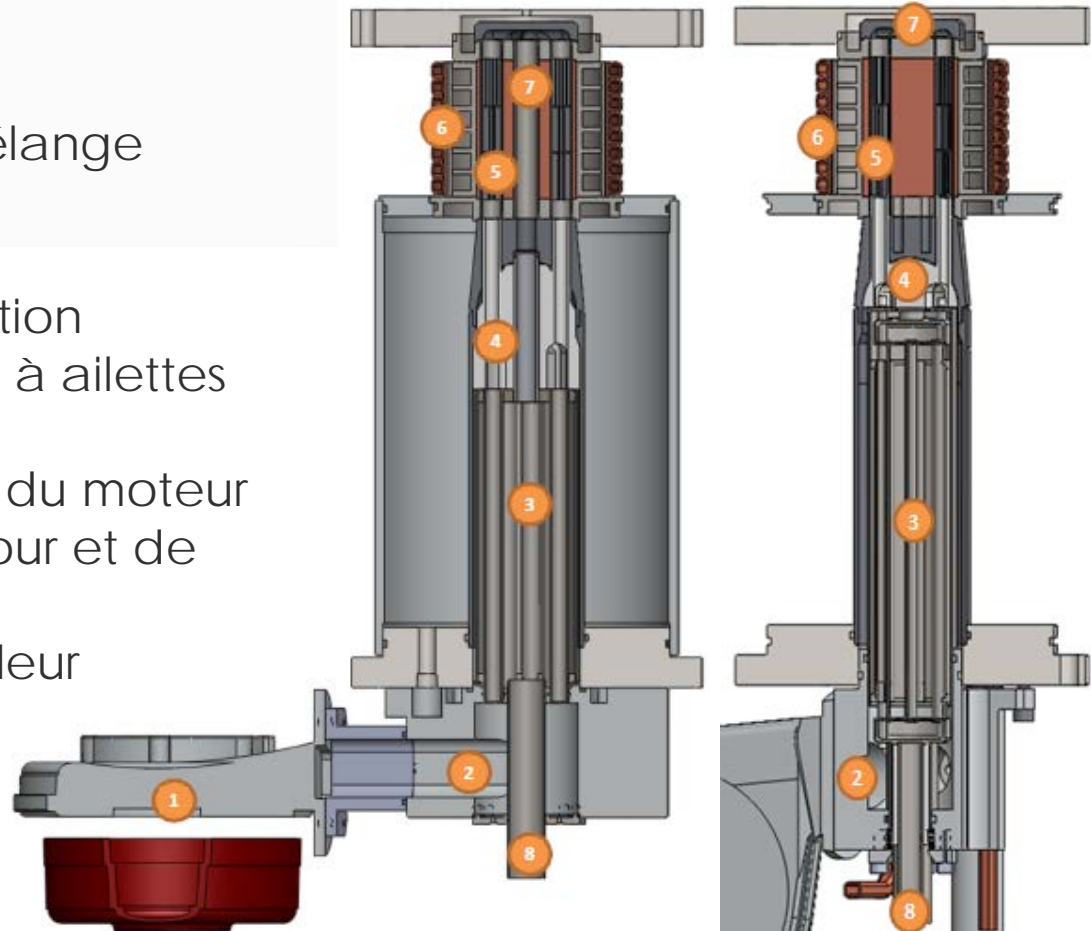
# Rendement du module générateur

- Évalué en couplant acoustiquement deux générateurs.
  - Un générateur entraîné, l'autre attaché à une charge résistive.
  - Mesuré l'énergie électrique d'entrée et de sortie, de même que la puissance acoustique dans le conduit de couplage.
- Rendement minimum de 88 % par générateur à une puissance d'entrée de 800 W.
  - Présume des pertes égales dans les deux générateurs.
  - Non corrigé pour les pertes acoustiques dans le conduit et les couplages; le rendement réel est donc légèrement mieux.
  - Se conforme à l'évaluation de la conception quant au rendement des générateurs.



# Prototypes de brûleur

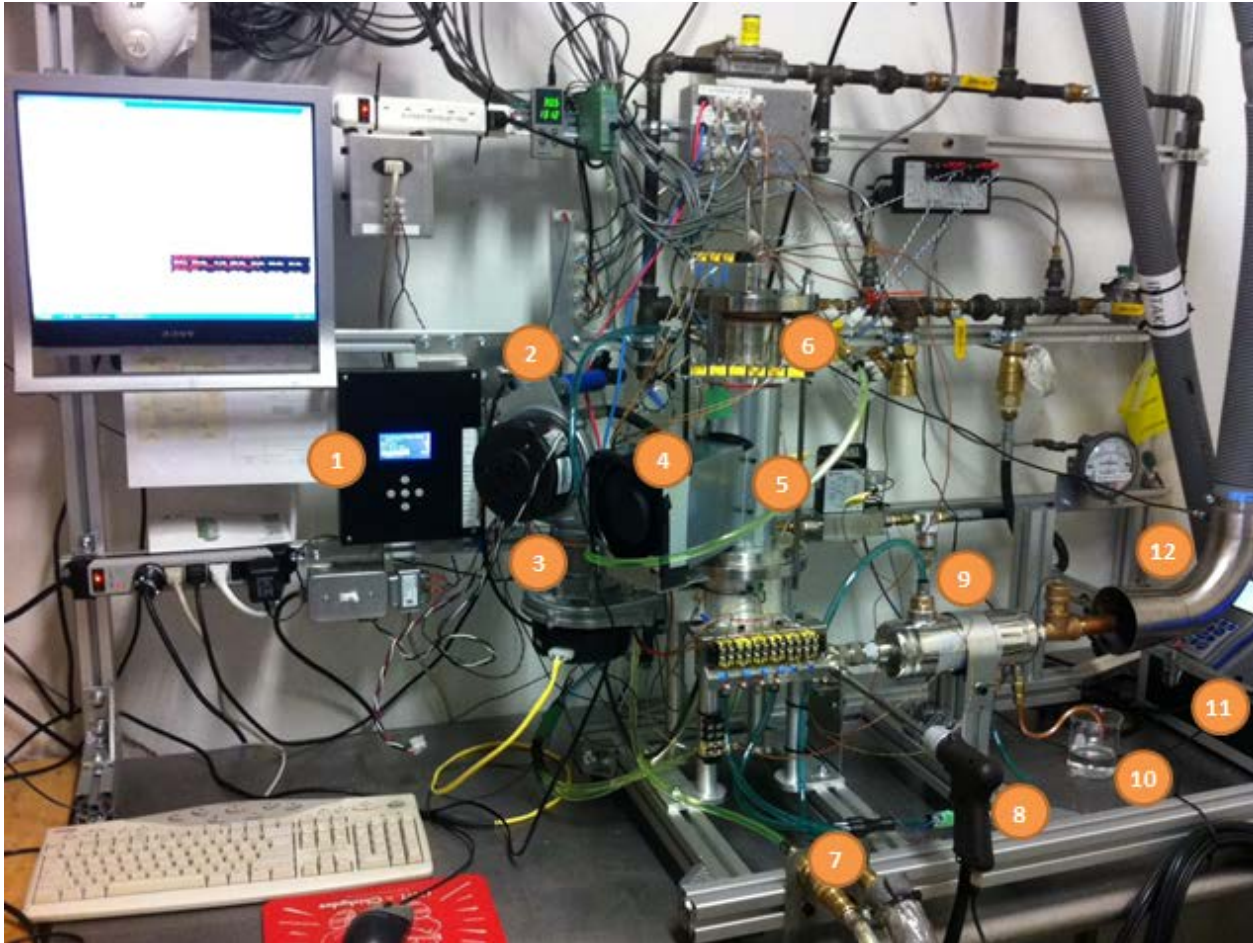
1. Ventilateur de pré-mélange
2. Tubulure d'admission
3. Récupérateur
4. Chambre de combustion
5. Échangeur thermique à ailettes (3 étages)
6. Simulation de charge du moteur
7. Échappement de retour et de charge
8. Échappement du brûleur



V1

V2

# Démonstration du bien-fondé de la conception pour la microcogénération



1. Contrôleur
2. Soupape de gaz
3. Ventilateur
4. Récipient de pression
5. Récupérateur
6. Charge du moteur
7. Compteur de froid
8. Analyseur de gaz d'échappement
9. Condensateur
10. Tuyau d'écoulement
11. Analyseur de gaz
12. Évacuation des gaz d'échappement



# Microcogénération – système de base

