



CONCEPTION D'UN MICRO-COGÉNÉRATEUR AUX GRANULÉS DE BOIS

ASSOCIATION D'UNE CHAUDIÈRE ET D'UNE MICROTURBINE

Gaëtan RIVIERE
(Ingénieur ENSTIB 2013)
Doctorant CIFRE

Du 01-02-2014 au 31-01-2017

DIRECTEUR : YANN ROGAUME

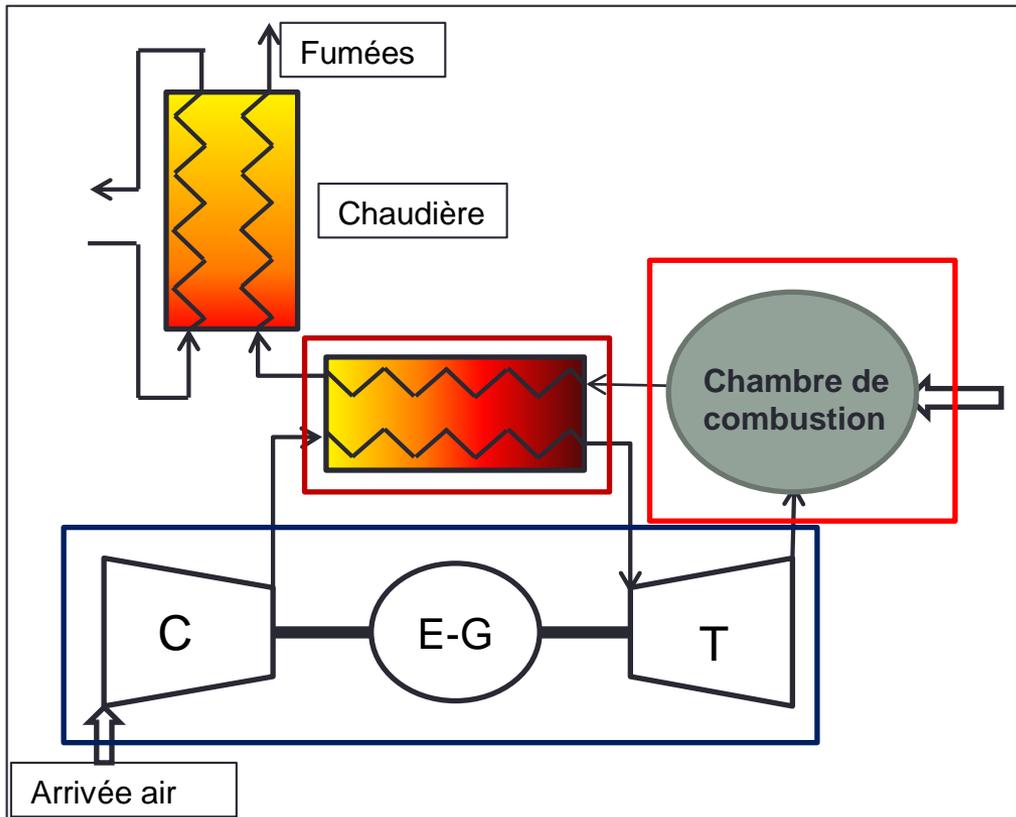
CO-DIRECTEUR: PIERRE GIRODS

FINANCEMENT: Cifre (SelfClimat MORVAN / ANR)

Présentation du projet

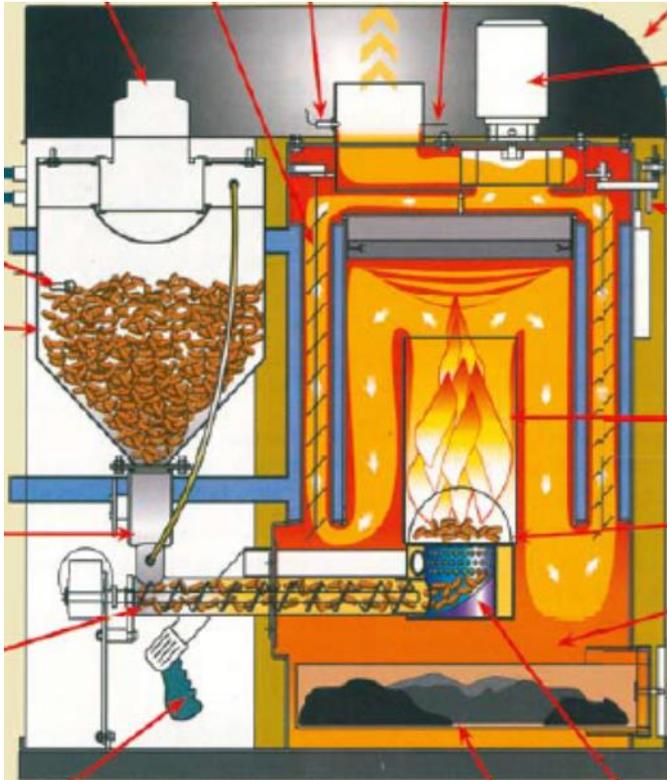
- Financement ANR: Projet AGATCO (03-12-2012 à 02-12-2016)
 - Advanced gas turbine for cogeneration
- Objectifs:
 - Concevoir une chaudière capable de fournir de la chaleur et de l'électricité:
 - Production électrique par une micro-turbine ($P_{elec} = 1,5kW$)
 - Production de chaleur par combustion de granulés de bois ($P_{th} = 15kW$)
- Partenaires:
 - ARIAMIS: Bureau d'ingénierie thermique
 - ENISE: Ecole nationale d'ingénieur de Saint-Etienne
 - SILENE, remplacé par SELF CLIMAT MORVAN : Fabricant français d'appareils de chauffage au bois
 - LERMAB: Laboratoire d'études et de recherches sur le matériau bois (équipe énergie)

Principe de fonctionnement



- Conception d'un système de combustion de granulés à haute température
- Conception d'un échangeur de chaleur air/fumées haute température
- Conception d'une micro turbine

Chaudière utilisée : ARMOR de SILENE



Caractéristiques	
Puissance nominale	15kW
Rendement	>90%
Emissions CO	<300 mg/Nm ³ à 10% d'O ₂
Température des fumées en sortie du brûleur	750°C
NF EN 303.5	Classe 5

Choix du combustible

- Granulés de bois
 - Granulométrie maîtrisée
 - Faible taux d'humidité : <8%
 - Faible teneur en cendres : <0,5%
 - Pouvoir calorifique élevé:
PCIh>17 000 kJ/kg
 - Combustible très homogène et de haute qualité

Analyse du combustible			
Analyse élémentaire			Normes
Carbone total	50,0	% sec	NF EN 15104
Hydrogène total	6,36	% sec	NF EN 15104
Azote total	<0,3	% sec	NF EN 15104
Soufre total	73	mg/kg sec	EN 15289
Chlore total		mg/kg sec	EN 15289
Métaux			
Calcium total	1315,4	mg/kg sec	EN 15289
Potassium total	444,46	mg/kg sec	EN 15289
Sodium total	9,96	mg/kg sec	EN 15289
Silicium total	83,00	mg/kg sec	
Caractéristiques			
PCS	20300	kJ/kg	EN 14918
Humidité sur brut	6,90%	%	EN 14774-3

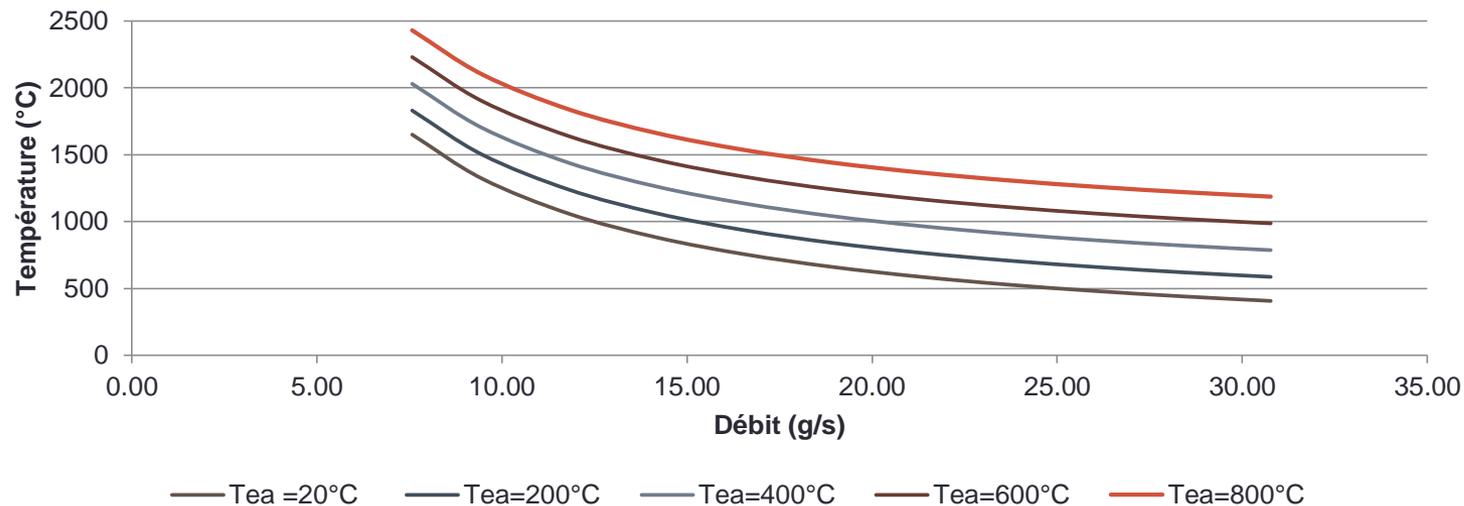
Objectif 1200°C

- Moyen théorique d'atteindre la température:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{comb} * PCI_h + \dot{m}_{comb} * Cp_{comb} * (T_{ec} - T_{ref}) + \dot{m}_e * Cp_e * (T_{ea} - T_{ref}) \\ = \dot{m}_s * Cp_s * (T_{adia} - T_{ref}) \end{aligned}$$

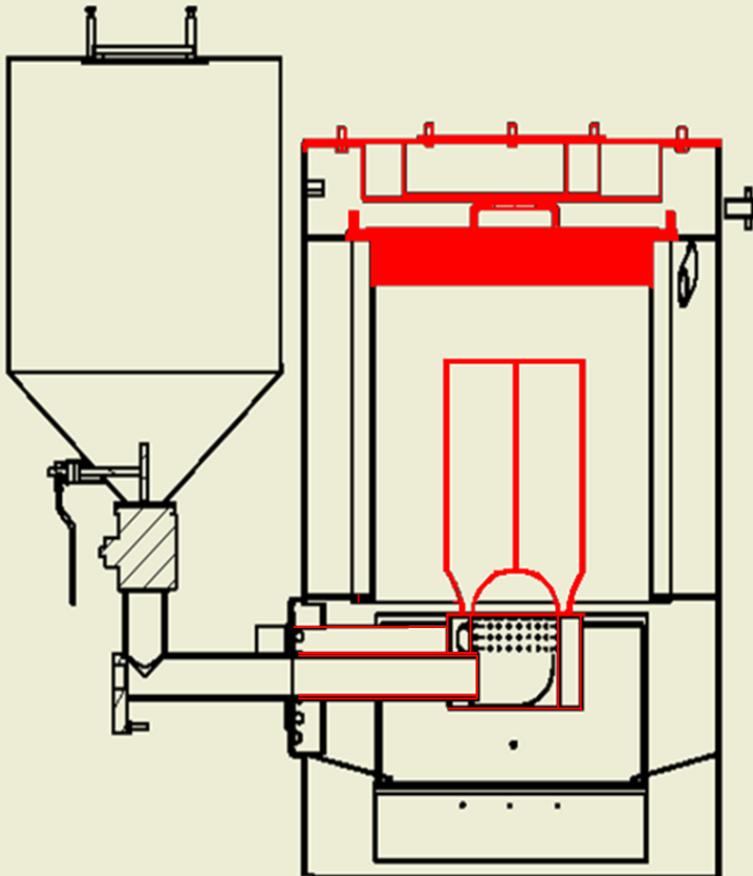
$$\Rightarrow T_{adia} \cong \frac{\dot{m}_{comb} * PCI_h}{\dot{m}_s} + T_{ea}$$

- Température liée au débit d'entrée d'air:



Les modifications

A-A (1 : 8)



Conception d'un brûleur pour atteindre des températures de combustion élevées (1200°C)

Contraintes:

- Démarrage à froid
- Utilisation de l'air chaud de la turbine
- Limiter les envols de particules
- Limiter la fusion des cendres

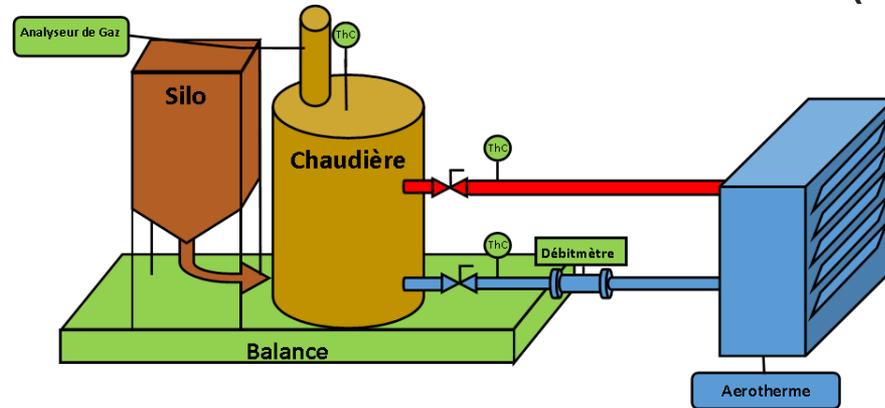
Conception d'une chambre de combustion adaptée aux températures élevées

Contraintes:

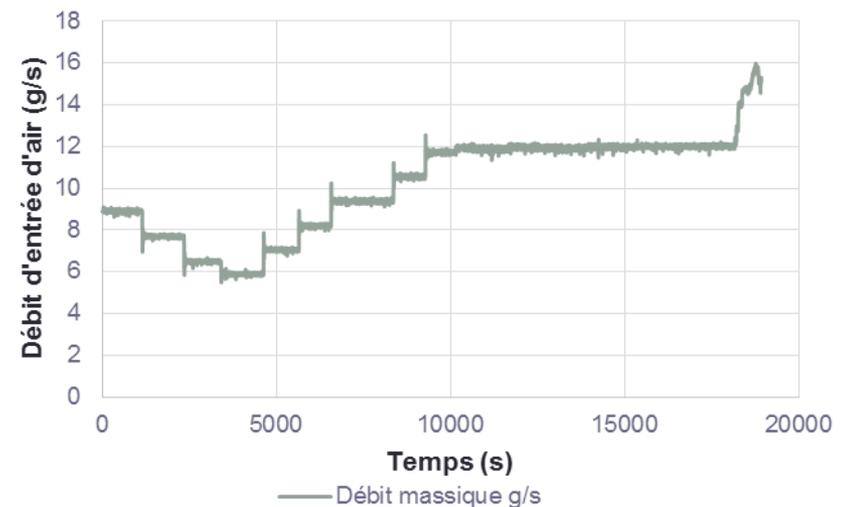
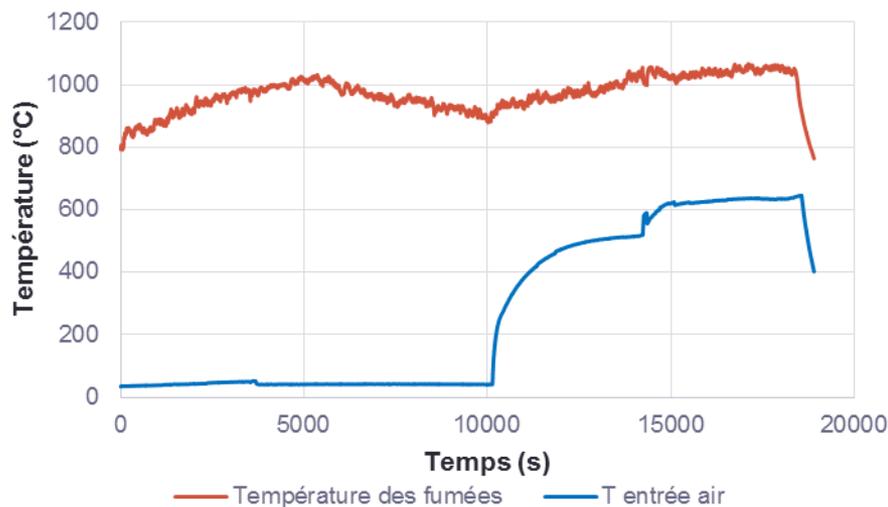
- Résister aux contraintes thermiques
- Permettre un temps de séjour suffisant
- Arrivée d'air sur plusieurs niveaux
- Support de l'échangeur de chaleur

Essais en combustion

- Réalisation d'un banc d'essais chaudière (NF EN 303.5)



Résultat d'une combustion avec air préchauffé et modulation du débit d'air entrant



Conception d'un échangeur de chaleur

- Objectifs:
 - Dimensions faibles pour une intégration dans la chaudière
 - Résistance à des contraintes thermiques fortes
 - montée rapide en température
 - température de service 1200°C
 - Efficacité minimale de 0,86 et pertes de charges inférieures à 7%.



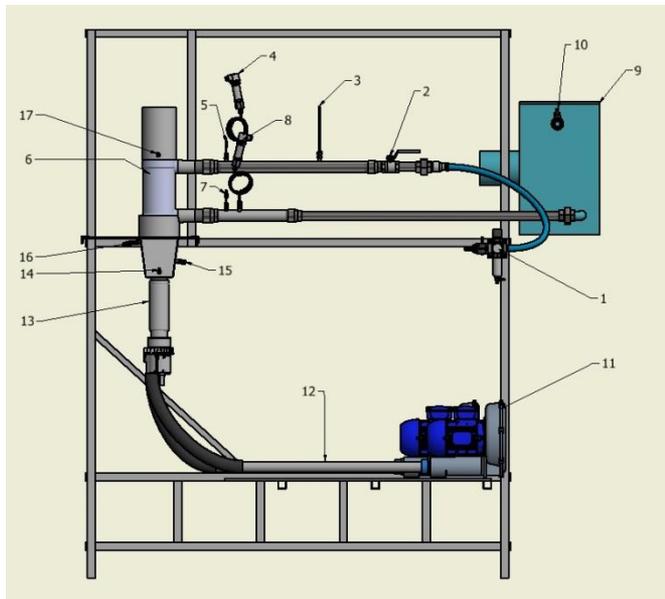
Conception de l'échangeur de chaleur

- Utilisation de matériaux spécifiques : alliage Nickel Alloy Hx
 - Nickel Alloy Hx testé jusqu'à 1200°C
- Fabrication par frittage laser (pas de fuites + précision des cotes)
 - Echangeur testé de 20°C à 900°C



Qualification de l'échangeur

- Conception et réalisation d'un banc d'essais
 - Test de l'échangeur jusqu'à 900°C avec préchauffeur d'air et tests à venir à 1200°C avec brûleur gaz



Quelques résultats:

Pertes de charges à 900°C :

Fluide chaud : 150 Pa (0,15%)

Fluide froid : 1650 Pa (0,7%)

Efficacité : 0,75

Mauvaise répartition de l'air

Optimisation en cours

Conception d'une micro turbine

- Conception d'un compresseur et d'une turbine avec un design innovant doté de micros canaux hélicoïdaux

Avantages :

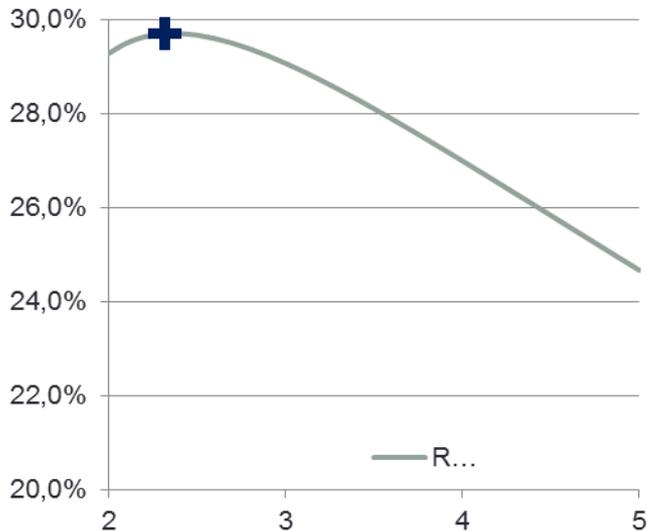
- Baisse importante du jeu entre les ailettes et le carter
- Suppression des fuites inter aubes
- L'axe sert de rotor



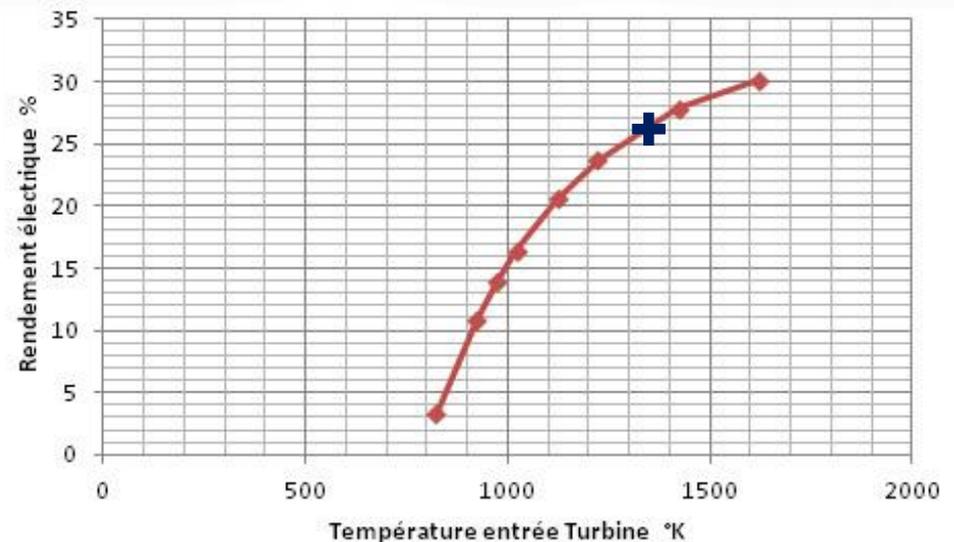
Conditions requises au bon fonctionnement de la turbine

- Taux de compression de 2,3 et T entrée turbine 1100°C minimum
- Le débit d'air dans le circuit compresseur/turbine devient 15 g/s

Rendement en fonction du taux de compression

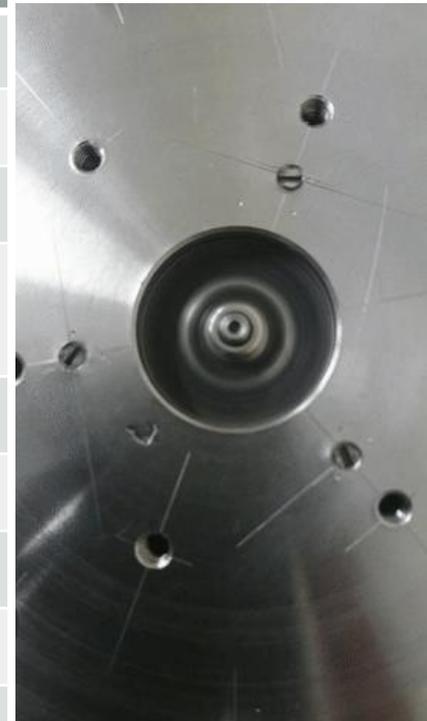


Rendement en fonction de la température entrée turbine



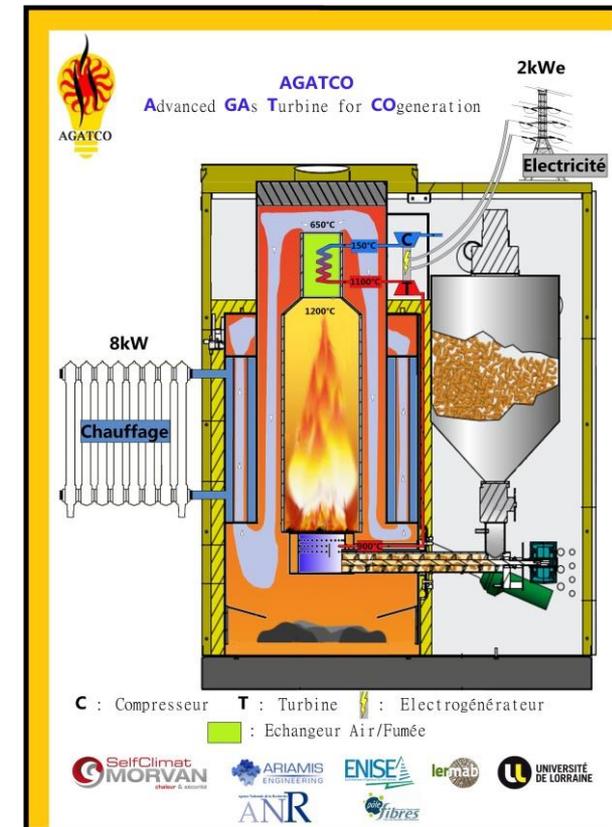
Propriété de la turbine AGATCO

Débit entrant dans le microcompresseur	g/s	15
Rendement mécanique	%	99
Rendement électrique	%	90
Rendement isentropique turbine	%	73
Rendement isentropique compresseur	%	71
Puissance électrique maximale	kW	1,5
Taux de compression		2,3
Température d'entrée turbine	°C	1100
Température d'entrée compresseur	°C	20
Vitesse de rotation	Rpm	200 000



Conclusion

- Résultats démontrés :
 - Maîtrise de la combustion du bois à très haute température
 - Maîtrise du frittage laser pour la fabrication précise des pièces avec poudre céramique et métallique (pas de fuites)
 - Réalisation d'une turbine de 1,5kW sur paliers à air.
- A conforter :
 - Réalisation d'un second proto en prenant en compte les améliorations notées
 - Optimisation de l'échangeur de chaleur (principalement répartition des flux)





Merci de votre attention

