



Solagro

agriculture
énergie

Etat de l'art des moteurs et turbines à biogaz et gaz de synthèse

CONTRAT 07 - 0226




Programme 2007, réponse à l'appel à projet n° 2-13

Nom du proposant : Christian COUTURIER
SOLAGRO



Adresse : 75 Voie du TOEC,
31076 TOULOUSE CEDEX 3

Tél : 05 67 69 69 69
Fax : 05 67 69 69 00
E-Mail : christian.couturier@solagro.asso.f



Le moteur à gaz

- Technologie dominante : plusieurs GW en Europe
- Offre industrielle et commerciale mature et bien établie
- Gamme large de 30 à 3000 kW el.
- Rendements en progression : jusqu'à ~41%
- Flexibilité moyenne : perte de rendement à faibles teneurs en méthane, arrêt des machines au dessous de 50% de charge
- Entretien élevé, consommation d'huile
- Valorisation thermique
 - sous forme d'eau chaude ;
 - vapeur possible sur récupération gaz de combustion, max. 20% de l'énergie du combustible
- Variante : moteur dual-duel
 - Aujourd'hui par d'intérêt technico-économique et environnemental

2

La turbine à gaz

- ❑ Offre industrielle et commerciale mature et relativement bien établie
- ❑ Deux gammes : microturbinés (<200 kW) et turbines de forte puissance > 1000 kW el.
- ❑ Rendements nets jusqu'à ~25%
 - forte autoconsommation pour la compression du gaz
- ❑ Flexibilité élevée : rendement peu sensible à la charge (jusqu'à 20%) et à la teneur en méthane
- ❑ Entretien moins onéreux, pas de consommation d'huile
- ❑ Valorisation thermique
 - Haute température (génération de vapeur ou gaz chauds)
- ❑ **Domaine d'application conseillé :**
 - Sites avec forte variation de charge ou de qualité du gaz (décharges avec confinement défaillant)
 - Sites avec valorisation thermique HT (IAA, séchage thermique de boues urbaines...)



3

La microturbine

- ❑ Mêmes avantages et contraintes que la TAG
- ❑ Offre industrielle et commerciale en plein développement
- ❑ Gamme de 30 à 200 kW
- ❑ Modularité par mise en batterie mais au détriment de l'effet d'échelle
- ❑ Marché potentiel important en CET de petite et moyenne capacité, y compris réhabilitation



4

La turbine à vapeur

- Cas très rares en Europe
- Réservé aux fortes puissances > 10.000 kW el.
- Rendements nets jusqu'à ~25%
- Moindre sensibilité de la chaudière vapeur aux impuretés du biogaz
- Energie thermique résiduelle
 - Conflit rendement électrique / température condensation (fonction soutirage vapeur)
 - => moins intéressant que TAG pour besoins thermiques HT
- Domaine d'application recommandé :**
 - couplage avec TAG ((cycle combiné)
 - => rendement global > 40% dans les gammes de puissance rencontrées



Technologies en développement

Pile à combustible

- Réalisations existantes : Europe, USA
- Différentes voies : épuration préalable, reformage externe, reformage interne

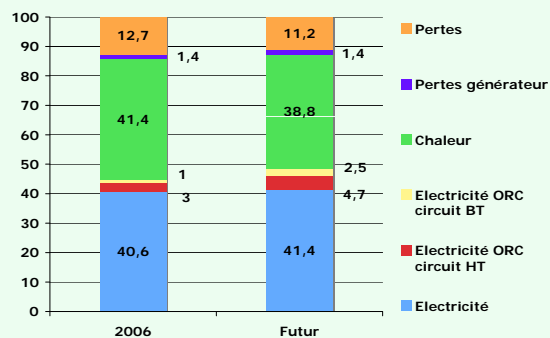
Moteur Stirling

- Pas de procédé commercial établi

Cycle Organique de Rankine

- Réalisations existantes en Europe, aucune en France
- Couplage avec MAG (ou μ TAG) : récupération sur circuit thermique
- Gain rendement électrique : actuellement +4%, perspectives +7% (global 48,6%)

Rendements MAG + ORC (source Jenbacher)



❑ **Traitements inutiles**

- Elimination du CO₂

❑ **Traitements recommandés**

- Elimination des condensats
 - Refroidissement par groupe frigorifique + pompe ; simple, efficace et peu couteux
- Abatement de l'hydrogène sulfuré
 - Petites installations : traitement biologique (conversion H₂S en soufre élémentaire, addition d'oxygène)
 - Grandes installations : charbon actif , 0,5 kg S/ kgCA ; coût élevé du renouvellement
- Eliminations COV
 - Charbon actif



7

❑ **Origine et effets**

- Composés gazeux volatils, incondensables, issus de la chimie du silicium (silicones...)
- Présents principalement en gaz de décharge (mais aussi parfois en digesteur) ; composé redouté des exploitants
- Impacte aussi bien les turbines que les moteurs

❑ **Mesurer les siloxanes**

- Problèmes de fiabilité de la mesure, pas de protocole standardisé

❑ **Elimination des siloxanes**

- charbon ou graphite actif / granulaire ou tissu : 0,05 kg SI/kg CA
- coût élevé, parfois équivalent aux opérations de maintenance
 - En général élimination CA en centres agréés
 - Solutions avec régénération in situ
- Cryogénie (-25° C)



QualiTime™ est un
géocompresseur
sans regard pour visionner cette image.



QualiTime™ et un
géocompresseur
sont requis pour visionner cette image.



Photos : PpTek, Power, Prochaska

8

Le bilan environnemental des moteurs à gaz

☐ Rejets gazeux (NOx, CO)

- Méthodes primaires
 - Limitation des émissions : réglage mélange pauvre, Lambda ~1,4 : faibles émissions NOx, émissions CO à contrôler ; régulation selon la charge ; affecte les performances énergétiques
- Méthodes secondaires
 - Réduction des émissions : réduction sélective par injection d'ammoniac, voie catalytique (risque d'empoisonnement dû au soufre) ou non catalytique ; procédés de recombustion des NOx ; procédés d'oxydation du CO

Comparer émissions du biogaz et émissions incinération ?

- Réglementation
 - VLE moteur biogaz, circulaire 6/12/2003 installations de combustion de biogaz : 525 mg NOx/m³ (2 à 20 MWth), 5% O₂
 - VLE incinération : 200 mg/m³, 11% O₂
- Comparaison sur base PCI combustible :
 - 840 mg/kWh PCI pour le biogaz,
 - 1152 mg/kWh PCI pour l'incinération

☐ Le bilan énergétique

- En % de la production d'électricité :
 - Autoconsommation (auxiliaires) 5,0 %
 - Huile 0,3 %
 - Energie grise 0,1 %
 - Charbon actif 0 à 0,5 %

Bilan turbines : 15% d'autoconsommation d'électricité (compression 9 bar + refroidissement + traitement)

Les brevets des 10 années récentes

	Épuration	Moteurs	Turbine	Pile à combustible	TOTAL
Nombre de brevets recensés	15	2	3	4	24
Pays acteurs	Allemagne : 5 Japon : 6 USA : 4	Allemagne	Japon	Japon : 2 USA : 2	Allemagne : 7 Japon : 11 USA : 6
Commentaires	purification, élimination H ₂ S élimination de siloxanes	Essentiellement sur le biogaz	2 sur le biogaz 1 sur le gaz de synthèse	2 sur le biogaz 2 sur le gaz de synthèse	

France : pas de brevet identifié, peu de recherche (travaux sur siloxanes, INSA Lyon et Ecole des Mines de Nantes), pas d'équipementier (sauf Air Liquide pour épuration qualité gaz naturel)