



Septembre 2005

NANT-DE-CHÂTILLON

Production d'électricité par ORC à partir des rejets de chaleur du site de méthanisation de Châtillon

Résumé

Préparé par :

Dr. Malick Kane & Benoit Gay
EPFL-DGM-LENI
CH-1015 Lausanne

Sur mandat de :

L'Office Cantonal de l'Energie à Genève (ScanE)



Table des matières

1. CONTENU DU RAPPORT	3
2. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	3
2.1 Schémas synoptiques	3
2.2 Fonctionnement.....	3
3. DIAGRAMME DE TUYAUTERIE ET D'INSTRUMENTATION.....	4
4. RESULTATS DES TESTS DE MISE EN SERVICE	4
4.1 Problèmes rencontrés lors des premiers mise en service	4
4.2 Observation et modification de la machine ORC1	5
4.3 Comportement de l'installation ORC1.....	5
4.4 Performances de l'installation	5
5. PROBLEMES TECHNIQUES RESTANT A RESOUDRE	6
6. CONCLUSION.....	6
7. BIBLIOGRAPHIE	7



1. CONTENU DU RAPPORT

Ce rapport a pour objet la description résumée des machines thermiques à fluide organique ORC1 et ORC2 (type mono étagé) installées sur le site de méthanisation de Châtillon ainsi que l'évaluation expérimentale des performances de l'unité ORC1. Il vient alors compléter les rapports intermédiaires précédents (annexes 1, 2 et 3), traitant les travaux de mise en service et d'automatisation de l'unité ORC1.

2. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Pour mémoire, deux machines thermiques à fluide organique de Rankine ORC1 et ORC2 (type mono étagé) sont installées sur site de méthanisation de Nant-de-Châtillon pour la valorisation des rejets thermiques provenant de moteurs de cogénération à biogaz.

ORC-1 est équipé avec une seule unité turbine scroll et ORC-2 avec deux turbines en parallèle et de même type. Ces turbines scrolls sont à l'origine des compresseurs convertis.

Les caractéristiques nominales de l'unité turbine sont les suivantes :

Puissance électrique:	7 [kWe]
Réseau électrique:	400V/50Hz
Cylindrée de la turbine:	73 [cm ³]
Rapport de volume installé:	2.4 [-]
Vitesse de rotation:	3000 [t/min]
poids net d'une turbine:	74 [kg]

La puissance électrique totale installée est de 21 kW (7 kW pour l'unité ORC1 et 14 kW pour l'unité ORC2). L'efficacité escomptée pour ces installations est de 6-7% pour des rejets de chaleur des moteurs d'environ 100°C (voir cahier des charges).

2.1 Schémas synoptiques

Les figures 1 et 2 représentent les schémas synoptiques de ces deux installations (ORC1 et ORC2). ORC-1 est équipé avec une seule unité turbine V1 et ORC-2 avec deux turbines en parallèle et de même type.

2.2 Fonctionnement

ORC-1 :

ORC1 est un cycle mono étagé simple à réfrigérant R134a. De la vapeur haute pression du réfrigérant est générée à l'évaporateur W4 (Générateur). Cette vapeur est détendue dans la turbine V1, générant de l'électricité par l'intermédiaire d'un générateur asynchrone couplé au réseaux électrique. A la sortie de la turbine, la vapeur est condensée dans le condenseur W2A en utilisant comme fluide de refroidissement, l'eau provenant des aéro-



condenseurs SF. Le liquide organique obtenu est sous-refroidi dans un échangeur W2B et est finalement pompé à l'évaporateur par la pompe PM3 pour compléter le cycle.

Pour ce cycle, l'huile de lubrification de la turbine circule à l'évaporateur en même temps que le réfrigérant, avant d'être séparée à la sortie dans le réservoir B1. Cette huile est filtrée, contrôlée par une vanne et injectée dans les paliers de la turbine V1 et, ceci par simple différence de pression entre l'entrée et la sortie de la turbine. Un trop plein d'huile au carter permet éventuellement de déverser le surplus d'huile au condenseur.

ORC-2 :

Le cycle ORC2 est identique à celui de ORC1 avec la différence qu'il possède deux unités de turbines en parallèle et que le séparateur d'huile est placé à la sortie BP des turbines pour un fonctionnement optimal des échangeurs. Une pompe à huile externe devrait normalement être utilisée pour alimenter les paliers ainsi que les scrolls des turbines.

3. DIAGRAMME DE TUYAUTERIE ET D'INSTRUMENTATION

Afin de connaître le comportement de l'installation en temps réel, des capteurs pression et température ont été installés avant et après chaque composant du système. Des débitmètres, compteurs de chaleur et autres wattmètres permettent en outre d'évaluer les performances. Les valeurs de ces différents capteurs sont visualisées dans des VIs du logiciel Labview spécialement conçu pour cette application.

Les figures 3 et 4 représentent les diagrammes de mesure et de l'instrumentation des deux installations (ORC1 et ORC2).

Pour des informations concernant le système d'acquisition ainsi du traitement des données nous vous prions de se référer au rapport SIG.

4. RESULTATS DES TESTS DE MISE EN SERVICE

4.1 Problèmes rencontrés lors des premiers mise en service

Les tests de mise en service ont duré plus longtemps que prévu et ceci pour plusieurs raisons :

- D'abord à cause des problèmes techniques de blocage au démarrage des turbines qui ont engendré par la suite des tests supplémentaires de démarrage de ces turbines en laboratoire,
- En suite à cause de rupture de production de biogaz due à des pannes répétées du digesteur et donc à l'indisponibilité des moteurs de congénération,
- Et d'autre part à cause de la multiplicité de la sous-traitance qui rend cependant difficile l'organisation et la coordination des travaux sur le site.

Face à l'ampleur des problèmes et des interrogations qui étaient principalement basées sur le fonctionnement des turbines, il a été décidé de se concentrer d'abord sur



l'installation ORC1 afin de valider la turbine Scroll sur site et en site et en suite d'utiliser les résultats pour la mise en service de l'ORC2.

4.2 Observation et modification de la machine ORC1

La construction des machines ORC 1 et ORC2 ainsi que les procédures de démarrage et d'arrêt, proposées au départ dans le cahier des charges du projet, étaient essentiellement basées sur l'expérience du LENI sur le prototype de laboratoire développé dans le cadre du projet SPS (Se référer au cahier des charges du projet ORC de Châtillon).

Malheureusement les machines Scroll utilisées pour Châtillon sont différentes de celles qui étaient installées au laboratoire. Le producteur de ces compresseurs Scroll avait lui-même simplifié son design en utilisant un système de palier lisse à couple de démarrage très élevé comparé au couple des turbines SPS qui ont un système de palier à billes plus favorable en mode turbine.

Suite aux observations menées en laboratoire sur une turbine qui a subi les mêmes modifications que les turbines type « châtillon » et suite à la l'analyse des problèmes rencontrés lors du fonctionnement en mode manuel sur le site de Châtillon, des changements ont été apportés quant aux séquences de mise en route des machines ORC :

La conduite de by-pass de la turbine a été modifiée pour favoriser en démarrage le cheminement d'une partie de la vapeur en direction de la turbine.

La procédure de démarrage a été modifiée notamment au niveau du couplage réseau. De même, les procédures de réglage ont été simplifiées au maximum pour assurer un comportement fiable des machines ORC. Un protocole détaillé de l'automatisation des machines ORC est donné en annexe 1 de ce rapport.

4.3 Comportement de l'installation ORC1

Après une série de tests, où la température des rejets thermiques des moteurs était environ de 90-95°C, la machine ORC1 a été plusieurs fois couplée au réseau électrique.

Ces nombreux tests pratiques aussi bien en manuel qu'en mode automatique ont permis de montrer le bon comportement de la machine ORC1. La turbine scroll obtenu sur la base de conversion de compresseur fonctionne donc de manière très satisfaisante.

4.4 Performances de l'installation

Les tests effectués sur l'unité ORC1, dont les résultats sont disponibles en annexe 4, ont permis de quantifier les performances de la machine.

Les résultats suivants correspondent à un point de fonctionnement nominal mesuré en période d'été (Août 2004)

Température de la source chaude:	95 [°C]
Puissance électrique nette:	5.0 [kWe]
Efficacité nette:	6.3 [%]
Pression d'évaporation:	22.2 [bars]



Pression de condensation: 8.1 [bars]

La puissance consommée dans l'installation est soustraite à la puissance produite.

L'efficacité maximale obtenue (durant ces tests) est de **6.64%**, et ceci pour une température de la source chaude de l'ordre de **95°C**. Elle correspond bien à nos attentes si l'on compare avec les résultats de calcul qui ont été donnés dans le cahier des charges du projet.

Il convient de noter que pour une valeur de température de 95°C, l'efficacité théorique maximum (Carnot) est de 17%. Le rendement exergetique prenant en compte les niveaux de température des sources est environ 40%.

Il est également important de noter que pour l'ensemble des mesures, la pression de condensation reste supérieure à 8 bars. Ceci est dû à la limitation de la puissance de refroidissement mais également au fait que la surface dimensionnée du condenseur a été réduite dès le départ du projet et ceci en fonction du budget. L'efficacité du cycle pourrait donc être améliorée si l'on arrive à fixer la pression de condensation à 6 bars comme prévu dans le dimensionnement.

Ces mesures ont permis également de mettre en évidence l'influence des divers paramètres sur les performances du système. Les courbes suivantes montrent l'efficacité du cycle respectivement en fonction de la surchauffe, du sous-refroidissement et du rapport de pression.

Il est à remarquer que l'efficacité augmente bien avec la diminution du sous-refroidissement mais également avec la surchauffe. En effet, la limitation de ces grandeurs (surchauffe et sous-refroidissement) permet de faire passer un plus grand débit de réfrigérant, et donc de tirer maximum de puissance.

Cependant, pour des questions de stabilité du cycle, la limite de fonctionnement est fixée à 6°C pour sous-refroidissement et à 15°C pour la surchauffe (se référer à l'annexe 1).

5. PROBLEMES TECHNIQUES RESTANT A RESOUDRE

Avant de pouvoir laisser l'installation tourner toute seule sans présence personnelle sur site, il serait néanmoins nécessaire de :

Mettre en place un système de contrôle à distance pour les mesures.

- Procéder à des tests complémentaires de mise au point notamment sur les séquences d'arrêt et de contrôle de sécurité de la machine ORC
- Etablir le dialogue entre l'automate ORC et le moteur pour donner l'ordre de démarrer ou d'arrêter les ORCs en fonction de l'état du moteur.
- Résoudre les problèmes du système de refroidissement en fonction des problèmes de gel.

6. CONCLUSION

Les cycles ORC1 et ORC2 ont été développés dans le cadre d'un projet de démonstration permettant la valorisation des rejets thermiques provenant de moteurs à biogaz installés sur le site de Nant-de-Châtillon.



En dépit de quelques ennuis de mise en service qui ont retardé le projet, les essais sur l'unité ORC1 ont apporté une satisfaction opérationnelle au niveau du concept.

Au niveau des performances, les premiers résultats obtenus sont conformes aux espérances mais des améliorations sont encore possible et devront être poursuivies.

7. BIBLIOGRAPHIE

- [1] **M. KANE, F.BRAND, D. FAVRAT** : Projet mini-centrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kWe : Partie A : Centrale solaire hybride, OFEN, LENI-EPFL., -1999. -120p.
- [2] **M. KANE** : Cahier des charge projet pilote de production d'électricité – Nant-de-Châtillon, LENI-EPFL., Mai -2000.
- [3] **B. GAY** : Automatisation des cycles ORC – Nant-de-Châtillon, LENI-EPFL, juillet – 2004.