

**We will be under the same roof**

Ingénierie des Procédés- Etudes Générales  
Audits Energétiques- Cogénération

# **GUIDE COGENERATION**

**Date : 01/2008**  
**Rév. : 0**  
**Par : PARTNERS**

18, rue Nelson Mandela2045 L'Aouina-Tunis  
Tél. : (00 216) 71 724 032/760 110 – Fax : (00 216) 71948 402/71 760 110/724 032  
Mobile : (00 216) 98 270 992  
e-mail : [nejib.boujnah@partners-tun.com](mailto:nejib.boujnah@partners-tun.com)  
Site Web : [partners-tun.com](http://partners-tun.com)

# SOMMAIRE

<b>1- LE POTENTIEL :</b> .....	3
<b>2- LES TECHNOLOGIES:</b> .....	4
<b>2-1- LES TURBINES A VAPEUR</b> .....	4
<b>2-2- LES TURBINES A GAZ</b> .....	6
<b>2-3- LES MOTEURS A GAZ</b> .....	7
<b>2-4- LES MICROTURBINES</b> .....	8
<b>3- PROFILS ENERGETIQUES :</b> .....	9
<b>4- MODELISATION ET CALCULS ECONOMIQUES :</b> .....	10

## 1- LE POTENTIEL :

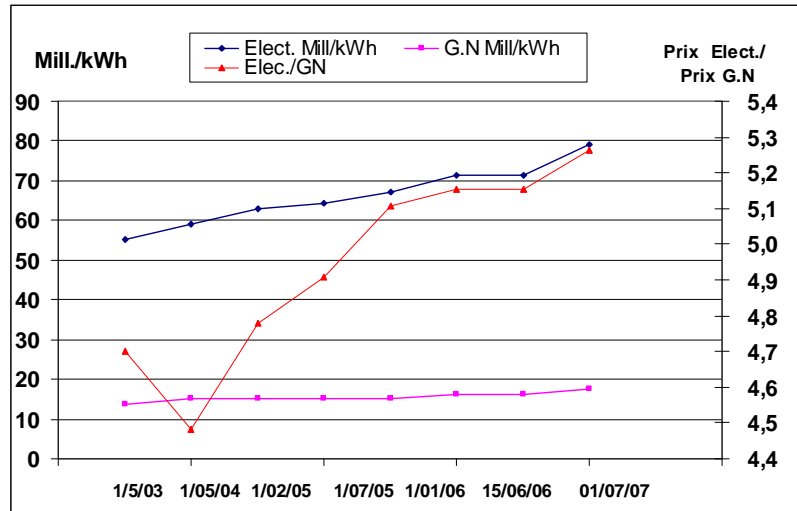
Le principe de la cogénération est de produire simultanément de l'électricité et de la chaleur. La chaleur est généralement consommée en totalité sur place et l'électricité est consommée partiellement ou totalement pour satisfaire les propres besoins de l'établissement Cogénérateur et l'excédent est revendu à une société de distribution.

En Tunisie, les systèmes de cogénération sont réglementés par le décret N°2002-3232 du 3 décembre 2002, définissant les systèmes de cogénération économes pouvant bénéficier d'un tarif de cession de l'électricité avantageux par rapport au statut d'auto producteur d'électricité.

PARTNERS a estimé le potentiel de la cogénération pour l'industrie tunisienne. Celui-ci varie entre 120 et 500 mégawatts selon que l'on dimensionne les systèmes de cogénération pour les besoins électriques ou thermiques.

<b>PORTEFEUILLE TOTAL</b>						
<b>Secteur</b>	<b>POTENTIEL SELON EL ECTRICITE</b>	<b>POTENTIEL SELON THERMIQUE 80%</b>	<b>POTENTIEL SELON THERMIQUE 60%</b>	<b>POTENTIEL SELON CESSION</b>	<b>POTENTIEL OPTIMAL</b>	<b>REPARTITION</b>
	<b>MW</b>	<b>MW</b>	<b>MW</b>	<b>MW</b>	<b>MW</b>	<b>%</b>
<b>PLASTIQUE</b>	-	-	-	-	-	
<b>PAPIER</b>	17	32	55	33	33	13%
<b>TEXTILE</b>	13	26	45	33	30	12%
<b>IME</b>	1	5	8	4	4	2%
<b>IMCCV</b>	41	114	195	104	99	40%
<b>Cimenteries</b>	-	-	-	-	-	0%
<b>Céramique</b>	7	26	44	18	16	6%
<b>Briqueteries</b>	30	76	130	72	71	28%
<b>Divers</b>	5	12	21	14	12	5%
<b>DIVERS</b>	2	3	5	5	3	1%
<b>CHIMIE</b>	14	50	86	32	32	13%
<b>AGRO</b>	27	55	94	64	50	20%
<b>TOTAL</b>	<b>117</b>	<b>285</b>	<b>488</b>	<b>276</b>	<b>251</b>	<b>100%</b>

### Evolution du coût de l'énergie en Tunisie



## 2- LES TECHNOLOGIES:

Il existe principalement deux technologies de cogénération :

- Technologie par combustion externe, comprenant les turbines à vapeur à contre pression
- Technologie par combustion interne, comprenant les turbines et les moteurs à gaz

### 2-1- LES TURBINES A VAPEUR

Ce type d'installation comprend en général :

- Une chaudière Moyenne ou Haute Pression
- Une turbine à Vapeur
- Un alternateur

La taille de ces systèmes, à l'échelle industrielle, varie entre 500 et 4 000 kW.

Les performances de ces systèmes dépendent principalement

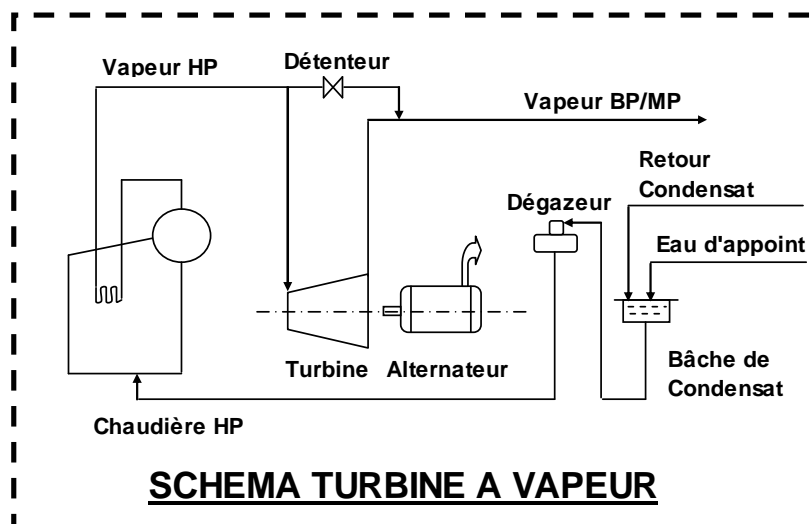
- des conditions d'admission de la vapeur (pression et température)
- des conditions d'échappement de la vapeur (pression et température)
- du rendement isentropique de la turbine

En général ces systèmes sont adoptés lorsque les besoins thermiques sont importants et pour la récupération des détenteurs perdus. En effet pour la production d'un MWe, il faudrait détendre plus de 13 tonnes de vapeur de 40 bars et 425°C à 3 bars.

Ces systèmes sont installés chez STS, SNCPA et STIR.

La consommation spécifique de ces systèmes est de l'ordre de 1 thermie par kWe.

Paramètre	Turbine 1	Turbine 2
Pression admission :	28 b.a.	10 b.a.
Température admission :	300°C	180°C
Pression échappement :	1 b.a.	0,2 b.a.
Débit vapeur :	11,5 t/h	5 t/h
Puissance mécanique :	1 051 kW	435 kW
Puissance sortie alternateur :	1 004 kW	405 kW



## 2-2- LES TURBINES A GAZ

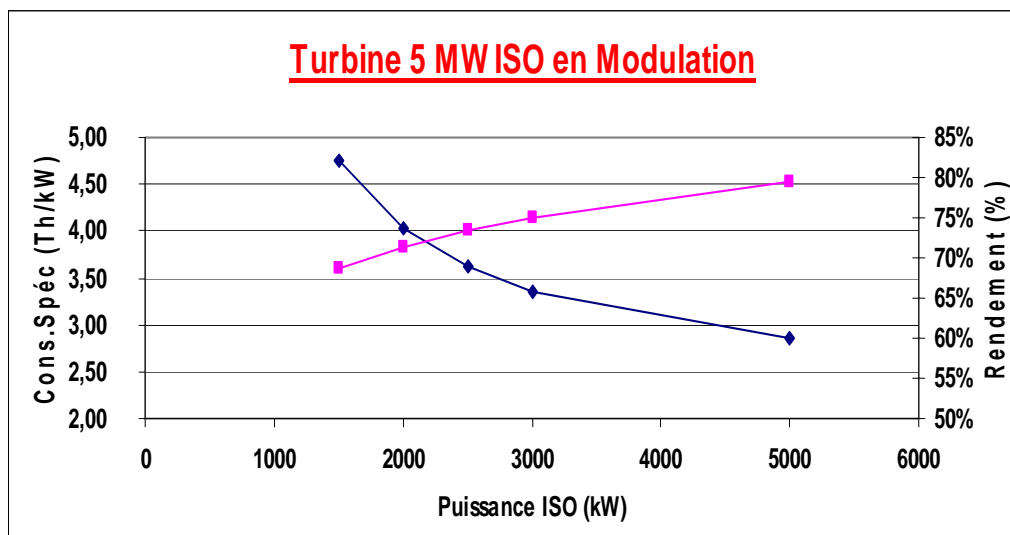
Les turbines à gaz permettent d'émettre toute la chaleur récupérable sous forme de gaz chauds, pouvant être utilisés pour la production de vapeur, d'eau surchauffée, d'huile thermique, ou utilisés directement dans des séchoirs. La température de ces gaz est souvent entre 450 et 550°C.

Les performances électriques de ces turbines dépendent de la température de l'air ambiant.

La consommation spécifique de ces turbines est de l'ordre de 3 thermies/kWe, mais dépend de la taille de la turbine (plus la puissance est élevée, meilleure est la consommation spécifique.)

Les turbines à gaz travaillent avec du gaz entre 18 et 20 bars, ce qui n'est pas le cas de tous les industriels qui sont souvent raccordés à une pression de 4 bars. Dans ce cas un surpresseur du gaz naturel est nécessaire.

Les turbines à gaz exigent un entretien rigoureux pour garder les mêmes performances. Les fournisseurs de ces turbines fournissent des contrats de maintenance de différents niveaux.



INFLUENCE DES CONDITIONS CLIMATIQUES							
Température °C	Puiss. Développée kW	Consommation Spécifique Th/kWh	Gaz Chauds		Rendement Electrique %	Rendement Thermique %	Rendement Global %
			kg/s	°C			
0	5 512	2,80	21,6	507	31%	48%	78%
5	5 351	2,82	21,2	509	31%	48%	79%
10	5 173	2,84	20,8	512	30%	49%	79%
<b>15</b>	<b>4 993</b>	<b>2,86</b>	<b>20,3</b>	<b>514</b>	<b>30%</b>	<b>49%</b>	<b>79%</b>
20	4 807	2,89	19,9	517	30%	50%	80%
25	4 600	2,92	19,4	520	29%	51%	80%
30	4 366	2,97	18,8	524	29%	52%	81%
35	4 102	3,04	18,1	529	28%	52%	81%
40	3 819	3,13	17,5	534	27%	53%	81%
45	3 569	3,23	16,9	539	27%	54%	81%

### 2-3- LES MOTEURS A GAZ

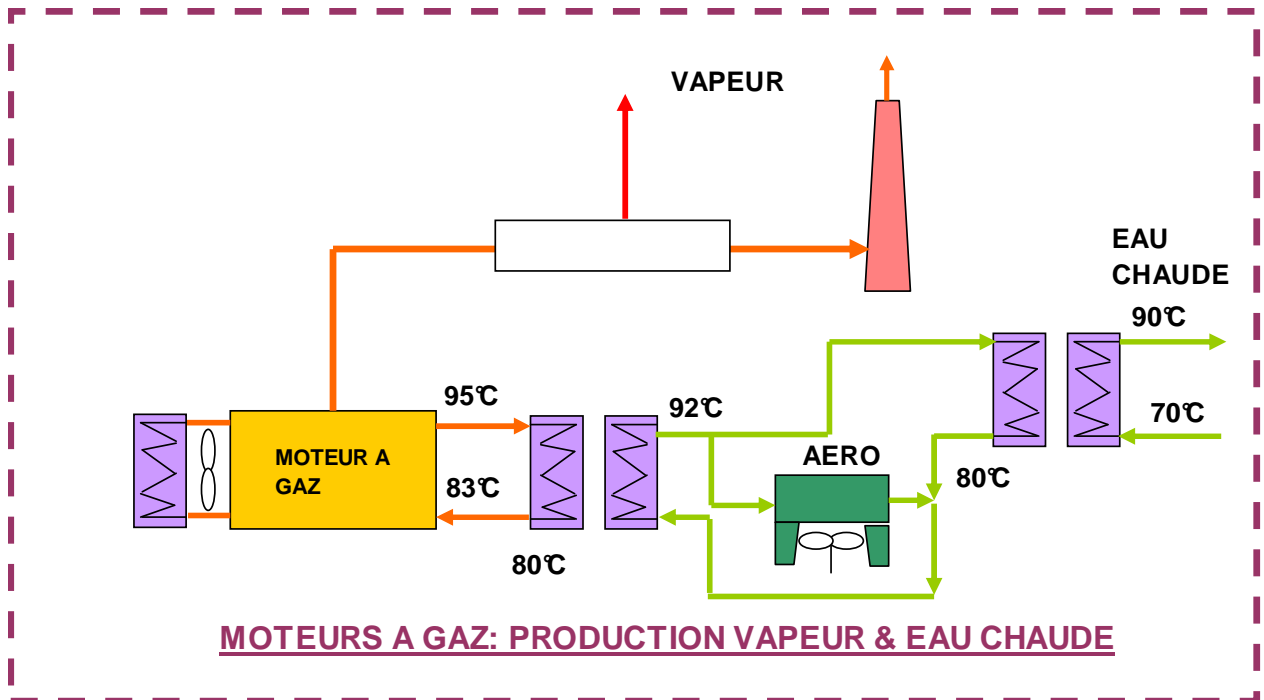
Les moteurs à gaz (Moteurs Alternatifs) sont des équipements donnant des rendements mécaniques nettement plus élevés que les turbines à gaz (35 à 45%). D'autre part, le rendement mécanique de ces moteurs varie peu avec la variation de l'allure et ne dépend pas des conditions climatiques.

Le gaz naturel doit être entre 3 et 4 bars.

Les puissances disponibles sont souvent limitées à 2,4 MWe.

La chaleur thermique récupérable sur les moteurs à gaz est fournie sous forme d'eau chaude à différentes températures et de gaz chauds à près de 450°C.

Certains fournisseurs proposent de fournir toute la chaleur sous forme de gaz chauds pour s'adapter aux besoins de certaines industries notamment les briqueteries.



#### 2-4- LES MICROTURBINES

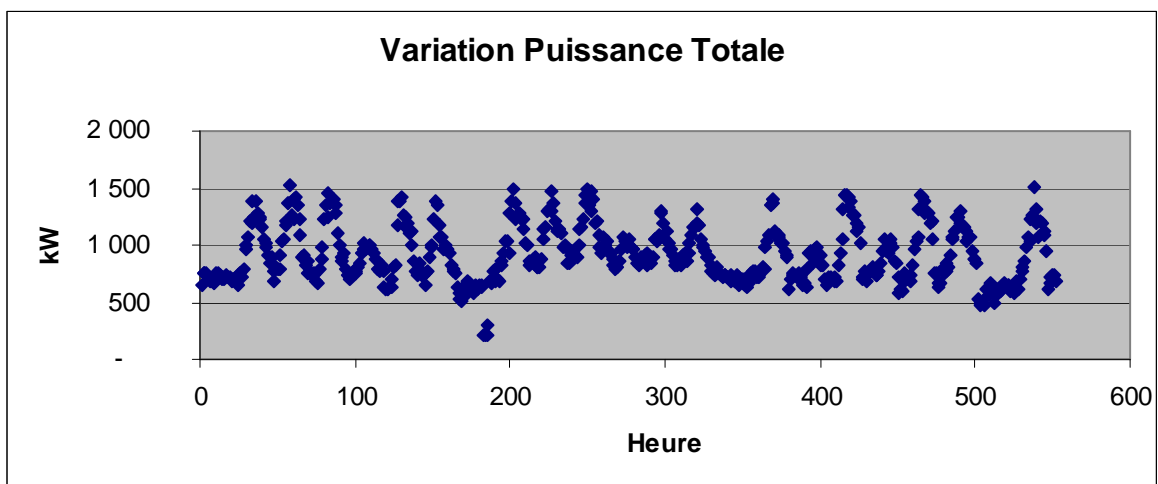
- Gaz Naturel à 5 bars
- Modulaire : n x 60 kW - Souplesse pour coller au profil énergétique → îlotage
- Coût élevé ( 20 à 30% sup. aux turbines à gaz)
- Coût maintenance comparable aux turbines à gaz
- Débit d'air chaud important mais à faible température ( 300°C)
- Application: Briqueteries/Laminoir/ Tertiaire
- Disponibilité > 95%



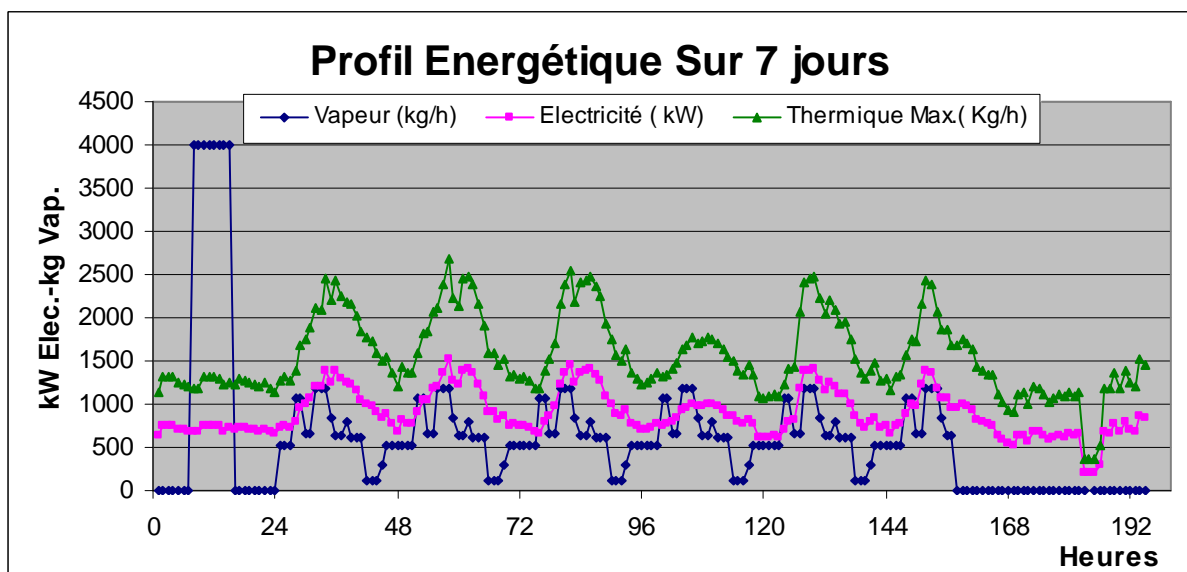
### 3- PROFILS ENERGETIQUES :

La réussite du dimensionnement et du calcul économique d'un système de cogénération dépend beaucoup de la maîtrise du profil énergétique. Celui-ci doit être évalué par des analyses du passé énergétique de la société, par des mesures instantanées ainsi qu'une compréhension des procédés de fabrication.

#### Exemple de profil électrique



#### Exemple de corrélation entre le profil électrique et le profil thermique



## 4- MODELISATION ET CALCULS ECONOMIQUES :

PARTNERS dispose de l'expérience et des moyens pour une modélisation précise des systèmes de cogénération.

### Exemple de modélisation d'un système de cogénération :

	Unité	1 er cas	2ème cas	3ème cas	4ème cas
		Réseau STEG	Réseau STEG	ILOTAGE	ILOTAGE
Besoins Electrique	kWh	10 000 000	10 000 000	10 000 000	10 000 000
Besoins Gaz	Th PCS	55 280 519	55 280 519	55 280 519	55 280 519
Coût Base 1er Juillet 2007		0,09	0,09	0,09	0,09
<b>Consommation annuelle</b>	<b>TND</b>	<b>900 000</b>	<b>900 000</b>	<b>900 000</b>	<b>900 000</b>
Puissance Installée	kW	3 000	2 000	2 000	1 200
Besoins électriques	kW	10 000 000	10 000 000	10 000 000	10 000 000
Electricité Produite	kWh	24 000 000	16 000 000	10 000 000	8 000 000
Taux de couverture	%	100%	100%	100%	80%
Electricité cédée à la STEG	kWh	14 000 000	6 000 000	-	
Electricité Achetée à la STEG					2 000 000
Rendement Moteurs		40%	40%	40%	40%
<b>Consommation Gaz</b>	<b>Th PCI</b>	<b>51 600 000</b>	<b>34 400 000</b>	<b>21 500 000</b>	<b>17 200 000</b>
	<b>Th PCS</b>	<b>57 333 333</b>	<b>38 222 222</b>	<b>23 888 889</b>	<b>19 111 111</b>
	<b>TND/Th PCS</b>	<b>0,021</b>	<b>0,021</b>	<b>0,021</b>	<b>0,021</b>
	<b>TND/an</b>	<b>1 204 000</b>	<b>802 667</b>	<b>501 667</b>	<b>401 333</b>
<b>Revenu STEG</b>					
Prix de cession	TND/kWh	0,052	0,052	0,052	0,052
Revenu STEG	TND/an	728 000	312 000	-	-
Achat STEG		-	-	-	200 000
<b>Gain sur la facture Electrique</b>	<b>TND</b>	<b>424 000</b>	<b>409 333</b>	<b>398 333</b>	<b>298 667</b>
Maintenance	TND/kWh	0,015	0,015	0,015	0,015
Maintenance	TND/an	360 000	240 000	150 000	120 000
<b>Gain Net</b>		<b>64 000</b>	<b>169 333</b>	<b>248 333</b>	<b>178 667</b>
Gain Thermique					
Rendement Système	%	78%	82%	86%	90%
Energie Thermique Disponible	kWh	22 800 000	16 800 000	11 500 000	10 000 000
	Th PCI	19 608 000	14 448 000	9 890 000	8 600 000
Rendement Chauffage	%	85%	85%	85%	85%
Energie Récupérée	Th PCI/an	23 068 235	16 997 647	11 635 294	10 117 647
Energie Récupérée	Th PCS/an	24 862 431	18 319 686	12 540 261	10 904 575
Taux de couverture	%	45%	33%	23%	20%
Coût Gaz Substitué	TND/an	522 111	384 713	263 345	228 996
Gain Total		586 111	554 047	511 679	407 663
Investissement		3 900 000	2 600 000	2 400 000	1 440 000
Subvention	%	20%	20%	20%	20%
	TND	780 000	520 000	480 000	288 000
Investissement Net	TND	3 120 000	2 080 000	1 920 000	1 152 000
<b>Temps de retour</b>	<b>Ans</b>	<b>5,323</b>	<b>3,754</b>	<b>3,752</b>	<b>2,826</b>