

LA COGENERATION

Classes : Lycée technique et BTS
Durée : 2 heures

Disciplines : STI, SSI, Génie Electrique

Thème abordé : La cogénération

Objectifs : - A partir de la cogénération de la ville d'Amiens –

- ❑ Connaître les types de cogénérations existants.
- ❑ Identifiez les éléments fonctionnels de la chaîne de cogénération.
- ❑ Mettre en évidence les avantages en terme de rendement énergétique.
- ❑ Dimensionner la protection côté haute tension.

Pré requis :

- Notions de rendement
- Les convertisseurs d'énergie
- Les protections

Sources :

http://www.edf.com/html/panorama/production/thermique/info_cogeneration.html
http://www.industrie.gouv.fr/energie/developp/econo/textes/se_cogen2.htm
http://www.intersections.schneider-electric.fr/stock_images/telec/1/n3/GT_COGENERATION.pdf
http://www.delmasexport.com/fr/energie/produits/g3300_description.html
http://www.engineering.schneider-electric.com/Attachments/ed/guide/mt_partner_b33_choix_fusibles_pr_protection_transformateurs.pdf

Ce travail dirigé s'adresse plus particulièrement à des étudiants de BTS. Mais les parties peuvent être reprises avec des élèves de classe terminale en particulier pour l'approche fonctionnelle de la chaîne de cogénération. Les parties concernant l'alternateur et le transformateur sont plutôt destinées aux étudiants. Si on veut les traiter avec des élèves il faudra davantage les guider et leur donner des éléments de réponse supplémentaires.

Référentiel / Sciences Appliquées :

Brevet de technicien supérieur Electrotechnique

A-2. Énergie (À associer au thème électrotechnique : la distribution)	Niveau			
	1	2	3	4
A-2.1. Les différentes formes d'énergie : Quelques exemples :				
- Énergies renouvelables ;		■		
- Transformation et conservation de l'énergie ;		■		
- Pertes et rendement.				
A-2.2. Production d'énergie électrique :				
- Centrales thermique, hydraulique et nucléaire ;		■		
- Énergie éolienne ;				
- Énergie photovoltaïque ;				
- Cogénération ;				
- Sources d'énergie autonomes : piles, accumulateurs, piles à combustible.				

C- Transformateurs et redresseurs :	Niveau			
	1	2	3	4
C-1. Transformateurs : (À associer au thème électrotechnique : le transport de l'énergie électrique)				
C-1.1. Transformateur monophasé.				
- Constitution. Principe.			■	
- Schéma équivalent. Caractéristique externe. Rendement.				■
C-1.2. Transformateur triphasé :				
- Constitution et couplages, indice horaire ;			■	
- Schéma équivalent. Caractéristiques. Rendement				■

E- Machine synchrone et convertisseur de fréquence :	Niveau			
	1	2	3	4
E-1. Machine synchrone :				
E-1.1. Constitution :				
- Principe de fonctionnement ;			■	
- Réversibilité ;				
- Schéma équivalent de la machine synchrone à pôles lisses non saturée (diagramme à réactance synchrone) ;				
- Bilan de puissances.				
E-1.2. Alternateur : (À associer au thème électrotechnique : la distribution)				
- Alternateur autonome : caractéristiques électriques, détermination par méthodes directes et indirectes ;			■	
- Alternateur couplé sur un réseau : transfert des puissances active et réactive.				■

Référentiel / Génie électrique :

2	La production, le transport et la distribution de l'énergie électrique :	Niveau			
		1	2	3	4
2.1	Les différentes sources d'énergie et leurs exploitations dans les applications électriques :				
2.1.1	■ Production de l'énergie électrique :				
2.1.1.1	○ Principales sources de production de l'énergie (nucléaire, hydraulique et fossile) ;		■		
2.1.1.2	○ Principes et matériels mis en œuvre dans les autres sources d'énergie électrique (nouvelles énergies renouvelables) ;		■		
2.1.1.3	○ Classement des différentes sources de production en fonction de leurs applications.				
2.1.2	■ Transport de l'énergie électrique :				
2.1.2.1	○ Architectures des réseaux de transport et d'interconnexion ;		■		
2.1.2.2	○ Caractéristiques de l'appareillage HT ;				
2.1.2.3	○ Normes relatives aux équipements mis en œuvre.				
2.1.3	■ Distribution de l'énergie électrique :				
2.1.3.1	○ Vision globale d'une installation électrique et de son environnement ;		■		
2.1.3.2	○ Matériels permettant de générer des économies d'énergie et d'optimiser les investissements (HTA et BT) ;			■	
2.1.3.3	○ Définition graphique d'une architecture de réseau d'alimentation (HTA et BT) ;				
2.1.3.4	○ Dimensionnement, par les calculs et les outils logiciels, des différents éléments qui composent une installation électrique (transformateurs, appareils, câbles...) ;				
2.1.3.5	○ Contrôle des modifications d'une installation électrique (compensation réactif normal, ...) en toute sécurité ;				
2.1.3.6	○ Normes NFC15-100 et UTE 15-105 ;				
2.1.3.7	○ Sources de remplacement (groupes électrogènes, onduleurs,...) et équipements assurant la disponibilité de l'énergie électrique en toute sécurité ;			■	
2.1.3.8	○ Représentations graphiques utilisées dans le domaine de la distribution électrique ;				
2.1.3.9	○ Maîtrise d'un logiciel de CAO pour les représentations graphiques normalisées des installations électriques.				

Fonctions de la cogénération et réglementation

1- A partir du témoignage audiovisuel du Directeur d'Agence de la CRAM et du dossier cogénération :

- Énoncez le **principe de fonctionnement** de la cogénération :

On utilise les énergies tirées du gaz naturel, du fioul ou toute forme d'énergie locale pour faire tourner un moteur ou une turbine. échangeur. L'énergie mécanique est transformée en énergie électrique grâce à un alternateur. Elle est ensuite revendue à EDF ou consommée par l'installation. L'énergie thermique est utilisée pour le chauffage et la production d'eau chaude.

- Donnez en les **avantages** :

- Rendements très bons (pour une cogénération électricité chaleur environ 90%).
- La cogénération évite une partie de l'émission des polluants dans l'atmosphère et permet de limiter les gaz à effet de serre.
- La cogénération permet une production décentralisée d'énergie qui peut éviter de nouvelles lignes électriques.

2- A l'aide du dossier cogénération :

- Donnez les conditions d'obtention du certificat d'obligation d'achat de l'électricité par EDF :

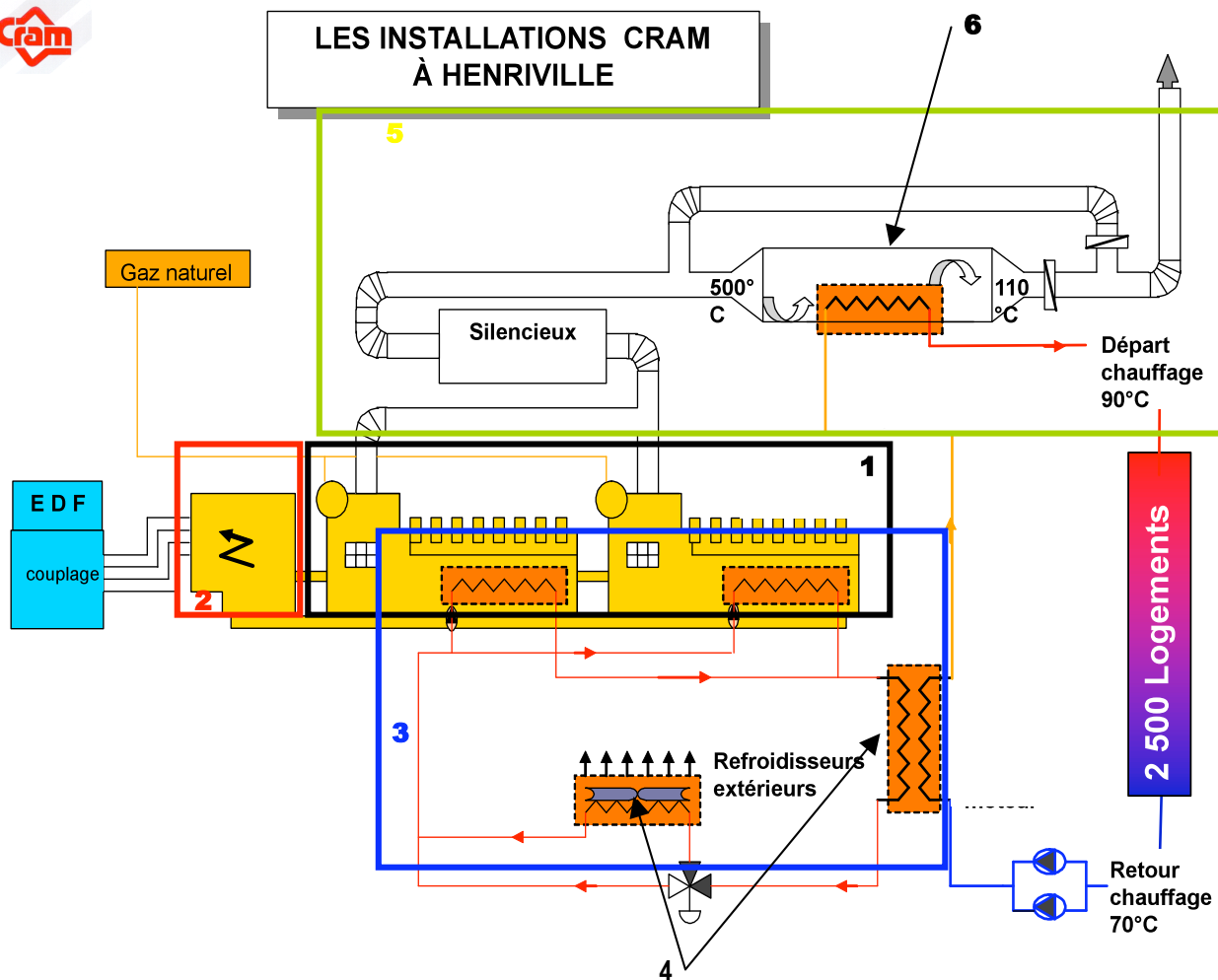
Economie d'énergie primaire supérieure à 5%
Rapport production chaleur/électricité supérieur à 50%
Utilisation de la chaleur produite

- Quel était le prix de rachat du kWh en 2005 ? : entre 6,1 et 9,15 euros
- Quels sont les avantages financiers auxquels peuvent prétendre les cogénérateurs ? :

Exonération de la TICGN et de la TIPP
Amortissement fiscal sur les matériels
Dans certains cas exonération de la taxe professionnelle

3- Sur le synoptique des installations de la CRAM page suivante, **identifiez** (en les entourant ou les pointant) les ensembles :

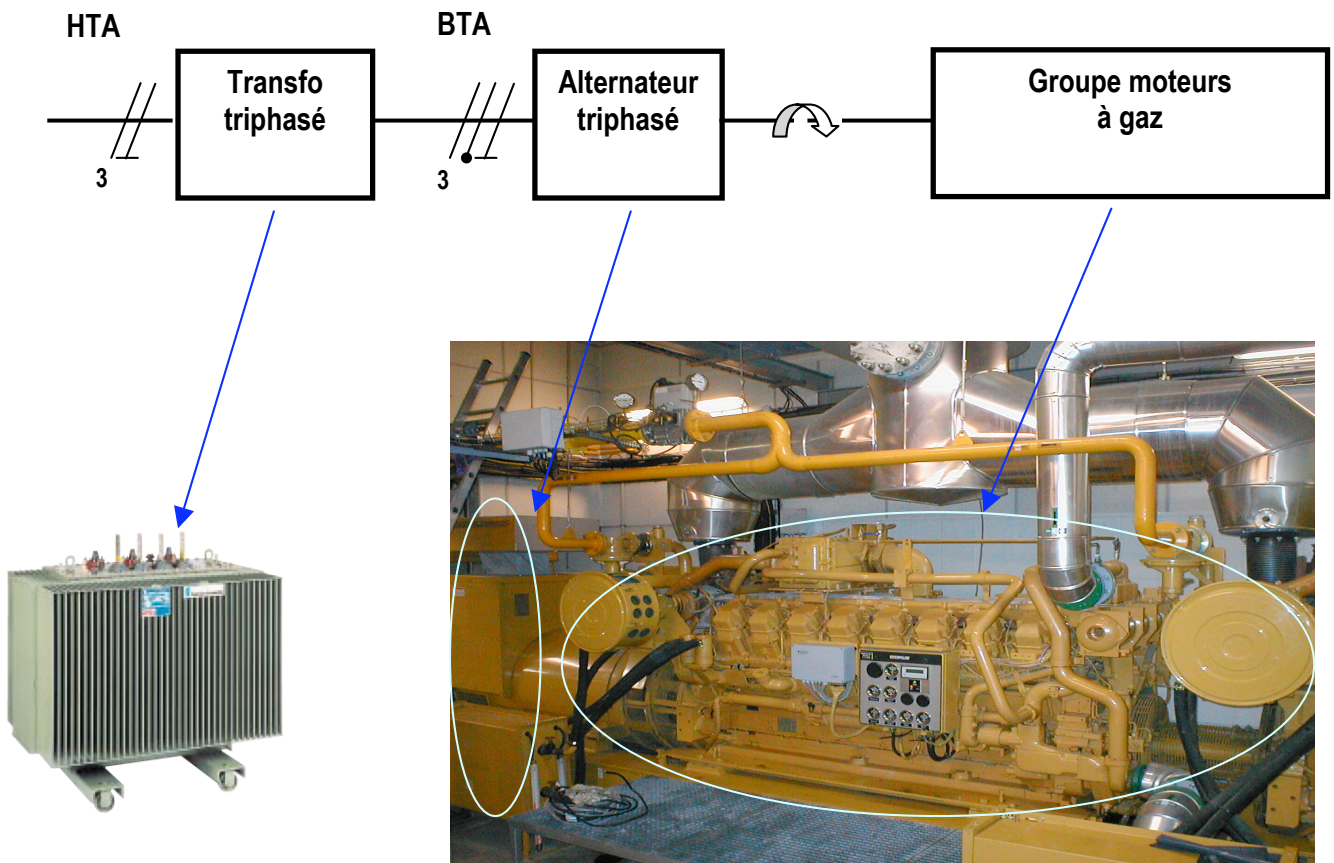
- ◆ Bloc moteur thermique (1)
- ◆ Alternateur (2)
- ◆ Circuits de refroidissement moteur (3)
- ◆ Échangeur de chaleur sur le circuit de refroidissement (4)
- ◆ Évacuation des gaz d'échappement (5)
- ◆ Échangeur de chaleur sur circuit d'échappement (6)



ENSEMBLES FONCTIONNELS	FONCTIONS
Bloc moteur thermique	Fournir une énergie mécanique
Alternateur	Fournir une énergie électrique (sur un réseau triphasé)
Réseau électrique	Distribuer l'énergie électrique
Circuits de refroidissement moteur	Refroidir la culasse du moteur
Echangeur de chaleur sur le circuit de refroidissement	Récupérer la chaleur du liquide de refroidissement
Echangeur de chaleur sur circuit d'échappement	Récupérer la chaleur des gaz d'échappement

Puissances mises en jeu

L'alternateur est de marque Caterpillar. Sa puissance nominale est de 2000kVA. Il fournit une tension de 400V sous 50Hz, son rendement est de 95%. Le facteur de puissance est maintenu à 0,93. Un transformateur de marque France Transfo et de 2500kVA, rendement 98%, permet ensuite d'élever la tension à 15kV. Cet ensemble est doublé et comprend donc au total 2 groupes moteurs, 2 alternateurs et 2 transformateurs.



1- Rappeler les conditions nécessaires pour coupler un alternateur au réseau électrique et le moyen pratique d'obtenir chaque condition :

CONDITIONS DE COUPLAGE	MOYENS POUR OBTENIR LA CONDITION
Même ordre des phases	Inverser les phases
Tension alternateur = tension réseau (mêmes valeurs efficaces)	Régler le courant d'excitation de l'alternateur
Fréquence alternateur = fréquence réseau	Vitesse de rotation du groupe moteurs à gaz constante

2- Calculez la puissance électrique **Pe** fournie en sortie d'alternateur :

$$P_e = S \cdot \cos\phi = 2000 \cdot 0,93 = 2150 \text{ kW}$$

3- Calculez la puissance **Pméca** en sortie du groupe moteurs à gaz :

$$\eta_{\text{alt}} = P_{\text{alt}} / P_{\text{méca}}$$

$$P_{\text{méca}} = P_{\text{alt}} / \eta_{\text{alt}} = 2150 / 0,95 = 2263 \text{ kW}$$

4- En utilisant le diaporama, calculez la puissance **Pgaz** (pour les 2 ensembles de cogénération) amenée au dispositif de cogénération :

$$0,35 \cdot P_{\text{gaz}} = 2150 \cdot 2 = 4300 \text{ kW}$$

$$P_{\text{gaz}} = 4300 / 0,35 = 12286 \text{ kW}$$

5- Calculez maintenant la puissance thermique **Pth** fournie par les 2 ensembles de cogénération :

$$P_{\text{th}} = 0,50 \cdot P_{\text{gaz}} = 0,5 \cdot 12286 = 6143 \text{ kW}$$

6- Calculez la puissance perdue par les 2 ensembles de cogénération :

$$\text{Pertes} = 0,15 \cdot P_{\text{gaz}} = 0,15 \cdot 12286 = 1843 \text{ kW}$$

7- Récapitulez les différentes puissances de la source à l'arrivée :

Puissance gaz	12286 kW
Puissance électrique fournie	4300 kW
Puissance thermique récupérée	6143 kW
Pertes	1843 kW

8- Calculez le rendement sans récupération thermique puis avec :

Rendement sans récupération thermique	$\eta = 4300/12286 = 0,35 = 35\%$
Rendement avec récupération thermique	$\eta = (4300+6143)/12286 = 0,85 = 85\%$

Protection côté haute tension

La protection du transformateur côté HTA est assurée par un disjoncteur motorisé disposé dans une cellule de type **SM6** (photo à droite).



1- Calculez le courant nominal en sortie de transformateur :

$$I = 2500\ 000 / 400 \cdot 1,732 = 96A$$

2- Rappelez le rôle du disjoncteur côté HT:

Protection contre les surintensités des câbles et récepteurs

3- Déterminez le calibre de la cartouche équivalente type FUSARC CF :

125A

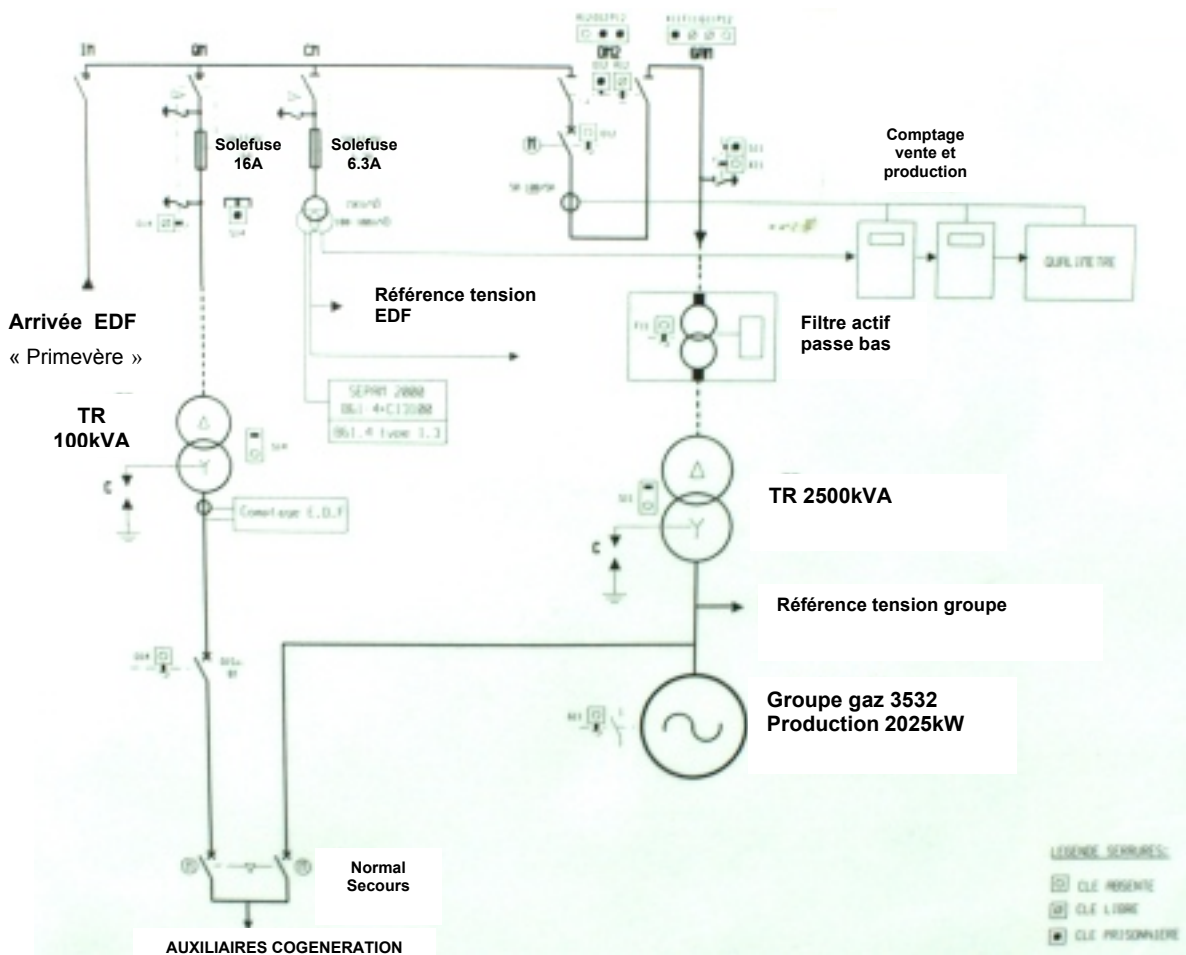


TABLEAU DE CHOIX DE CARTOUCHE FUSIBLE POUR CELLULE SM6

- Calibre en A, utilisation sans surcharge à température comprise entre -5°C et 40°C -
En cas de surcharge ou au delà de 40°C, nous consulter

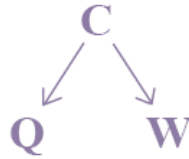
type de fusible	tension de service (kV)	puissance du transformateur (kVA)												tension assignée (kV)					
		25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800		1000	1250	1600	2000	2500
normes UTE NFC : 13.100, 64.210																			
Soléfuse																			
	5,5	6,3	16	31,5	31,5	63	63	63	63	63									7,2
	10	6,3	6,3	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	63	63							24
	15	6,3	6,3	16	16	16	16	16	43	43	43	43	43	63					
	20	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	43	43	43	43	43	63				
cas général, norme UTE NFC : 13.200																			
Soléfuse																			
	3,3	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	100	100									7,2
	5,5	6,3	16	16	31,5	31,5	63	63	63	80	80	100	125						
	6,6	6,3	16	16	16	31,5	31,5	43	43	63	80	100	125	125					
	10	6,3	6,3	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63	80	80	100				12
	13,8	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	63	63	80				17,5
	15	6,3	6,3	16	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63	80				
	20	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63				24
	22	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	31,5	43	63	63			
Fusarc CF																			
	3,3	16	25	40	50	50	80	80	100	125	125	200	200						7,2
	5,5	10	16	31,5	31,5	40	50	50	63	80	100	125	125	160	160				
	6,6	10	16	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	125	125	160				
	10	6,3	10	16	20	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	100	125	200		12
	13,8	6,3	10	16	16	20	25	31,5	31,5	40	50	50	63	80	80	100	125	125	17,5
	15	6,3	10	10	16	16	20	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	125	125	
	20	6,3	6,3	10	10	16	16	25	25	31,5	40	40	50	50	63	80	100	125	24
	22	6,3	6,3	10	10	10	16	20	25	25	31,5	40	40	50	50	80	80	100	

- DOSSIER COGENERATION -

DEFINITION

La cogénération consiste à produire en même temps et dans la même installation de l'énergie thermique (chaleur) et de l'énergie mécanique (travail).

COGENERATION

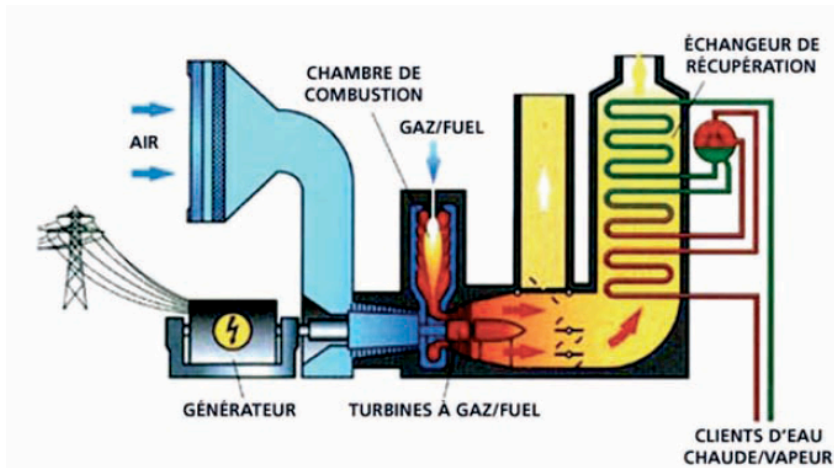


*une même source
pour un double effet*

UTILISATIONS

L'énergie thermique est utilisée pour le chauffage et la production d'eau chaude à l'aide d'un échangeur. L'énergie mécanique est transformée en énergie électrique grâce à un alternateur. Elle est ensuite revendue à EDF ou consommée par l'installation.

Pour faire fonctionner les installations de cogénération, on utilise les énergies tirées du gaz naturel, du fioul ou toute forme d'énergie locale (géothermie, biomasse) ou liée à la valorisation des déchets (incinération des ordures ménagères...). Cette source d'énergie fait fonctionner une turbine ou un moteur.



LES DIFFERENTS TYPES DE COGENERATION

	Habitat et tertiaire	Réseaux de chaleur	Industrie
Moteurs à gaz	Cogénération climatique	Cogénération climatique	Cogénération process
Turbines à gaz		Cogénération climatique	Cogénération process
Turbines à vapeur		Cogénération climatique	Cogénération process

Cogénération climatique : la chaleur récupérée est utilisée pour un besoin de chauffage.

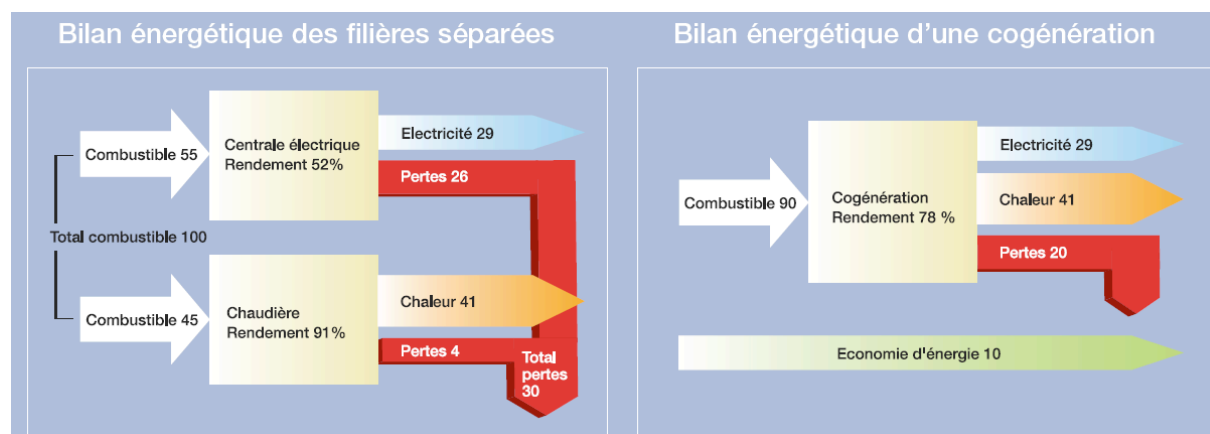
Cogénération process : la chaleur récupérée alimente un process industriel.

- ❑ La **turbine à vapeur** : depuis de nombreuses décennies, cette technique est utilisée couramment par les industriels qui ont des besoins importants simultanés de chaleur et d'électricité (chimie, papeterie, sucrerie,...).
- ❑ Le **moteur thermique** : il fonctionne généralement au fioul domestique ou au gaz et est particulièrement adapté au chauffage de locaux pour des puissances limitées.
- ❑ La **turbine à combustion** : c'est à partir du milieu des années 80 que cette technique (turbine aérodérivée) s'est développée, essentiellement dans l'industrie et les réseaux de chaleur ou les hôpitaux ayant des besoins énergétiques importants.

Ces différentes techniques produisent de façon simultanée de l'énergie thermique et de l'énergie mécanique :

- l'énergie thermique est récupérée sur les gaz d'échappement et les circuits de refroidissement des moteurs ou turbines à gaz ou sur la vapeur détendue dans les turbines à vapeur ;
- l'énergie mécanique qui est aujourd'hui, dans la quasi-totalité des cas, transformée en électricité par couplage avec un alternateur, peut également entraîner directement des compresseurs, ventilateurs, pompes ...

COMPARATIF DES BILANS ENERGETIQUES



Les avantages

- Les rendements sont très bons. Les centrales de cogénération électricité chaleur peuvent atteindre un rendement énergétique de l'ordre de 90%. Environ 30% à 40% de l'énergie primaire sont transformés en énergie électrique, tandis que 50 à 60% se retrouvent sous forme de chaleur, utilisable pour alimenter un industriel ou un réseau urbain de chauffage. À titre d'exemple, le rendement d'une grande centrale de production fonctionnant au combustible nucléaire, au fioul ou au charbon ne dépasse guère les 40%.
- La cogénération, utilisée à la place des centrales au fioul ou au charbon, évite une partie de l'émission des polluants dans l'atmosphère et permet de limiter les émissions de gaz à effet de serre.
- La cogénération permet une production décentralisée d'énergie qui peut éviter des lignes électriques supplémentaires.

Les limites

- La contrainte majeure de la cogénération est d'avoir un ou plusieurs consommateurs pour la chaleur ou la vapeur produite proche de la centrale, car le transport est impossible.

La réglementation

Une obligation d'achat par EDF de l'électricité produite par les cogénérateurs

Le cogénérateur dépose une demande de certificat d'obligation d'achat auprès de la DRIRE, qui l'instruit et délivre un certificat d'obligation d'achat si l'installation prévue est conforme aux exigences réglementaires, dont par exemple :

- une économie d'énergie primaire supérieure à 5%,
- un rapport entre la production de chaleur et la production d'électricité supérieur à 50%,
- une utilisation effective de la chaleur produite.

L'obtention de ce certificat permet au cogénérateur de conclure, avec EDF, un contrat d'achat de l'électricité pour une durée maximale de 12 ans, à un tarif fixé par arrêté. Ce tarif était, en 2005, compris entre 6,1 et 9,15 centimes d'euros par kWh.

Avant sa mise en service, une installation doit en outre obtenir les autorisations nécessaires relevant des domaines de l'environnement (autorisation d'exploiter une installation classée pour la protection de l'environnement), de l'énergie (autorisation d'exploiter une installation de production d'électricité délivrée par le ministère en charge de l'énergie) ...

Les textes réglementaires en vigueur

Loi du 10 février 2000 :

elle précise, dans son article 10, les types d'installations susceptibles de bénéficier de l'achat par EDF de l'électricité produite.

Décret du 6 décembre 2000 :

il fixe, par catégorie d'installation, les limites de puissance des installations pouvant bénéficier de l'obligation d'achat.

Décret du 10 mai 2001 :

il précise les modalités de délivrance du certificat d'obligation d'achat.

Arrêté du 3 juillet 2001 :

il fixe les caractéristiques techniques des installations de cogénération pouvant bénéficier de l'obligation d'achat.

Arrêté du 31 juillet 2001 :

il donne le mode de calcul du prix de rachat par EDF de l'électricité produite par les cogénérateurs et précise les termes des contrats d'achat entre EDF et les cogénérateurs.

Une politique en faveur du développement de la cogénération

Les cogénérateurs bénéficient des avantages suivants :

- depuis 1993 : les installations mises en service avant le 31 décembre 2007 sont exonérées pendant 5 ans de la TICGN (taxe intérieure sur la consommation de gaz naturel) et de la TIPP (taxe intérieure sur les produits pétroliers) sur les livraisons de gaz et fioul lourd destinées à alimenter les cogénérations,
- les équipements acquis ou fabriqués avant le 1^{er} janvier 2007 bénéficient d'un amortissement fiscal accéléré sur un an,
- ils peuvent être exonérés de la taxe professionnelle dans certains cas.