

## Valorisation énergétique : la cogénération/trigénération

### Définition .

On parle de **cogénération** (ou production combinée chaleur-force) quand en brûlant un combustible on produit simultanément de **l'énergie mécanique et de l'énergie thermique** .

### Objectifs de la cogénération :

- produire de l'énergie,
  - utiliser au mieux la chaleur résiduelle,
  - rejeter le moins possible de calories dans l'atmosphère.
- Elle permet de réduire les coûts globaux , de préserver les ressources de la planète et de limiter les rejets à « effet de serre ».

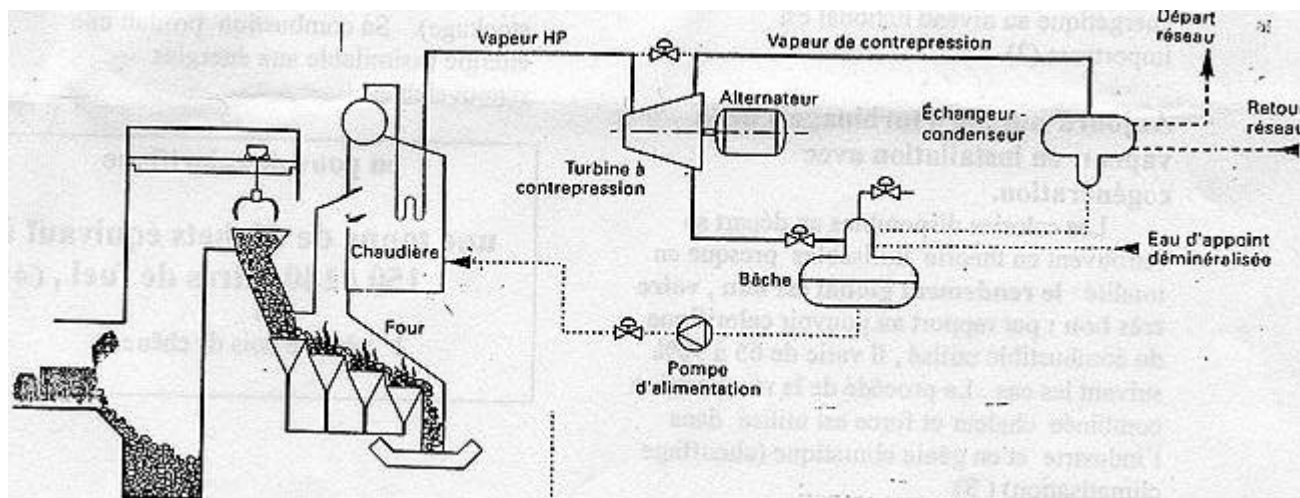
**Le combustible** peut être du charbon, du gaz naturel, du GPL , du fuel, du bois, du biogaz,

ou **des ordures ménagères et des déchets industriels.**

**Principe de fonctionnement :** le combustible quel qu'il soit active un moteur ou une turbine qui produit à la fois de :

- → **l'énergie mécanique**, on s'en sert, soit pour entraîner un alternateur qui fournit du courant électrique, soit un compresseur frigorifique, soit des pompes, des ventilateurs...
- → **l'énergie thermique**, elle est récupérée sous forme de vapeur, d'eau surchauffée, ou d'eau chaude, elle alimente des installations industrielles ou un réseau de chauffage(1).

### Schéma d'une installation de cogénération à partir d'un incinérateur



UIOM : schéma simplifié

**Les déchets chauffent de l'eau ; la vapeur haute pression fait tourner une turbine; la vapeur moyenne et basse pression (de contrepression) alimente un réseau de chauffage.**

(1) Plusieurs centaines de cogénérations industrielles fonctionnent en France sur ce principe, des dizaines de milliers dans le monde, on en trouve aussi une cinquantaine dans les centrales de chauffage urbain, dont 30 en UIOM brûlant des déchets. ( Techn Ingén B 8 910).

Selon le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution de l'Atmosphère, CITEPA: Etude relative au plan de protection de l'atmosphère, rapport intermédiaire, récupéré sur le Club de Cogénération ADEME : « en juin 2002, on dénombre 125 réseaux de chaleur importants utilisant la cogénération à partir de moteurs thermiques dont Paris, Metz, St Denis, Lille, Grenoble... »

Depuis 1995, contrairement à ce qui se passait autrefois, les nouvelles installations de cogénération se trouvent dans le tertiaire, en « génie climatique » sans doute soutenues par le « club cogénération » de l'ATEE et de l'ADEME, « Mission Cogénération » de GAZ de France, et par des aides fiscales de l'Etat (détaxation de combustibles).

**Autrefois, la machine à vapeur.  
Hier, le « turbinage » de la vapeur en  
installation classique ( sans  
cogénération):**

Au début du siècle dernier, le charbon brûlé dans des chaudières donnait de la vapeur ( 10 à 20 bars) qui activait un piston lequel entraînait poulies, engrenages, courroies : c'était la glorieuse «machine à vapeur ». Par la suite les pressions sont montées (120 bars) , la turbine à vapeur a remplacé la machine à pistons.

La turbine est plus fiable, plus économique, lâche une vapeur plus propre ; la turbine a l'avantage d'être extrêmement robuste (certaines marchent depuis 50 ans !), mais l'inconvénient d'être gourmande et gaspilleuse en calories ; quand on a récupéré l'énergie mécanique ( souvent transformée en l'électricité), on perd l'énergie thermique : c'est à dire qu' **on rejette dans l'environnement la vapeur inutilisée ; la perte calorique est très importante au moins 75% des calories.**

Ces faibles rendements font que la perte énergétique au niveau national est importante.(2)

**Aujourd'hui : le « turbinage » de la  
vapeur en installation avec  
cogénération.**

Les calories disponibles au départ se retrouvent en théorie utilisables presque en totalité : **le rendement global est bon , voire très bon** : par rapport au pouvoir calorifique du combustible utilisé , il varie de 65 à 90% suivant les cas . Le procédé de la récupération combinée chaleur et force est utilisé dans l'industrie et en génie climatique (électricité, chauffage, climatisation) ( 3)

**Principe de fonctionnement :**

- **la vapeur « haute pression »** est envoyée dans une turbine où sa détente est transformée en énergie mécanique qui active un générateur électrique, un compresseur frigorifique, etc.

- **la vapeur de « contre-pression »** (moyenne et basse pression) passe dans un « échangeur » pour réchauffer un fluide colporteur, en général de l'eau **pour alimenter un réseau.** Le système est simple, fiable, performant . **On ne rejette dans l'atmosphère que très peu de calories.**

**Les rendements :**

**Avec les déchets de 7 familles,  
on en chauffe une...**

( Club de cogénération, Ademe)

Aujourd'hui, à partir du moment où on choisit l'incinération comme mode de traitement, **le déchet n'est plus un rebus, il est un combustible ; il est même un combustible garanti pour longtemps et qu'on aura nécessairement à gérer** (incinération ou stockage). Sa combustion produit une énergie assimilable aux énergies renouvelables.

**en pouvoir calorifique**

**une tonne de déchets équivaut à  
150 / 180 litres de fuel , ( 4)**

ou  
1 stère de bois de chêne.

**Par an**

**Les déchets de la Dordogne = 20 millions de litres de fuel**

**ou un tas de bois de chêne , d'un mètre de haut sur 130 Km de long**

2) ( Techn Ingén B 8 910), l'ADEME annonce des rendements plus faibles ; cf.infra.

3) Consulter le site de la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain : [www.cpcu.fr](http://www.cpcu.fr) ou celui de la Société Industrielle d'Applications Thermiques [www.siat.fr](http://www.siat.fr)

4) « Les techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et assimilés » Rapport du Sénat et de l'Assemblée Nationale ; 1999 la valorisation énergétique p.151, sq.

« une tonne d'ordures ménagères fournit dans certains cas autant d'énergie que 200 kg de pétrole » R. Presle directeur technique de TIRU, exploitant d'incinérateur. (le Monde)

**Les rendements des incinérateurs : taux de valorisation énergétique , publiés par l'ADEME : « traitement thermique des déchets ménagers » septembre 2002.**

- « Les taux de valorisation énergétique sont conformes à ce qui était prévu :
- En valorisation thermique, les taux de valorisation prévu et réalisé sont de **plus de 90 %**
  - En valorisation combinée ( cogénération), le taux de valorisation moyen prévu est de 58 % en moyenne et **le réalisé de 54 %**, avec un maximum de 80 % pour une unité ;
  - En valorisation « tout électrique », les taux moyens de valorisation prévus sont de 22.5 % et **le réalisé de 21.8 %**, avec un maximum de 26 %. (6)

**traduisons en litres de fuel :**

(une tonne de déchets équivalent = 150 litres de fuel domestique)

Si un incinérateur produit

→ de la **chaleur** uniquement : rendement de **90 %** soit l'équivalent de **130 litres de fuel**

→ de l'**électricité** uniquement : « de **22,5 %** « « **33** « «

→ en **cogénération** : « **58 %** « « **87** « «

**en Dordogne,**

**Si on produit**

→→→→→→→→→→

**on récupère l'équivalent de**

→ de la chaleur uniquement : .....

18 millions de litres. /an

→ de électricité uniquement : .....

4 millions de litres /an

→ en cogénération : .....

11 millions de litres / an

En cogénération avec débouché assuré on peut atteindre des rendements de 90% : électricité 14 % + chaleur 76 % , = 90 % du pouvoir calorifique des déchets (6).

Quelques cas concrets d'installations de cogénération ( utilisant divers combustibles donc des technologies voisines) : Centrale de

la Poterne du chauffage urbain de Grenoble, Renault à Cléon, Centrale thermo-frigo-électrique de la Défense, UIOM de Sarcelles, Centre international de Paris, Hôpital de Pithiviers, Centre hospitalier de Poitiers, centrale thermique de Vélizy III, Aérospatiale à Meaulte (7)...

**Chaque fois qu'on utilise rationnellement le combustible « déchets » gratuit, on économise les autres combustibles qui à l'évidence ne sont pas inépuisables et on participe à la limitation de « l'effet de serre ».**

Visitez le copieux site de l'Ademe, source de réflexion pour l'avenir : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr) rubrique « à la une » : gaz à effet de

serre : coup d'envoi au marché européen des quotas d'émission. Rubrique : accès thématiques : les énergies renouvelables.

(6) ( septembre 2002, note de synthèse : récupéré sur le site de l'ADEME : le club de cogénération) p.6

(7) cas concrets étudiés in : tech. de l'Ingénieur, cogénération en génie climatique, aspects techniques BE 9 340 43 pages.

## La trigénération .

On appelle ainsi les installations de Génie climatique qui peuvent **produire simultanément du chaud, du froid et de l'électricité**.

Là où il peut y avoir besoin à la fois de chaleur, de froid et d'électricité, (hôpitaux, immeubles, bureaux, administrations, grands magasins...) **la trigénération à partir des déchets est appelée à un solide avenir**.

On installe sur l'arbre de sortie de la turbine à vapeur un alternateur et un compresseur frigorifique, indépendants l'un de l'autre grâce à un jeu d'embrayage et de débrayage. On enclenche l'alternateur quand on veut de l'électricité, le compresseur quand on veut du froid. Ce montage du compresseur directement sur l'arbre de la turbine a l'intérêt d'éviter la double transformation de l'électricité (intermédiaire inutile et coûteux). On estime à 15% l'énergie ainsi économisée.

**Les deux principes de génération de froid** (chacun avec de nombreuses variantes),  
→ **Les machines à compression mécanique** : le principe est celui du compresseur frigorifique qui équipe notre réfrigérateur domestique ; un moteur électrique fait circuler un fluide qui dégage du froid.

→ **machines thermofrigorifiques** : le principe du refroidisseur à absorption est celui des réfrigérateurs de caravane ou c'est la chaleur de la combustion du gaz domestique qui en agissant sur un autre gaz produit du froid.

**La commercialisation du froid est souple** : la circulation de l'eau (départ/retour) se fait en circuit avec des pompes ; l'eau glacée part à 4° C, elle est stockée dans des cuves isothermes, d'où on l'exploite avec des échangeurs. L'installation fonctionne en continu : la réserve se refroidit la nuit et se

décharge aux heures de pointe.

**Anticiper l'évolution des besoins thermiques**. En France, la demande de confort est de plus en plus grande, la « climatisation » se banalise ; les étés sont de plus en plus chauds.

Le « génie climatique » en France est à ses débuts : les besoins de confort, l'architecture, le changement du climat, obligent à une réflexion méthodique et sur le long terme, aussi loin qu'on peut prévoir, sans tomber dans l'utopie.

La multiplication d'appareils individuels de production de froid n'est pas sans conséquences sur l'environnement ; les CFC (gaz des anciens réfrigérateurs) accusés d'attaquer la couche d'ozone ne sont plus utilisés, mais les gaz qui les remplacent ne sont pas neutres. **Il a intérêt à centraliser la production de froid pour la contrôler**.

Le principe de la trigénération implique le choix entre la priorité à la production électrique ou à la priorité à la production thermique ; on dit alors que l'installation fonctionne « au fil du besoin électrique », « au fil du besoin de chaleur » ou « au fil du besoin du froid ».

C'est une installation semblable qui climatise les locaux de Météo-France à Toulouse depuis 82, à cette réserve près que le combustible est du fuel.

Dans la partie chaude des Etats unis, là où il y a demande importante d'air conditionné, des machines thermiques produisent directement du froid en entraînant des compresseurs frigorifiques (énergie mécanique), et utilisent la chaleur cogénérée (énergie thermique) dans des refroidisseurs à absorption (8) ; la trigénération de Chicago assure un stockage d'eau glacée de 32.000 m<sup>3</sup> (9).

**« La production d'électricité ... ne présente guère d'intérêt économique . Par contre l'utilisation directe de la chaleur présente un plus grand intérêt économique et environnemental : rendre possible l'utilisation de cette chaleur relève de la politique de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire » .**

( www. environnement .gouv.fr → la récupération de l'énergie issue du traitement des déchets, juillet 2000)

(8) Technique de l'Ingénieur : machines à compression mécanique B 9 340 et suite, ; machines thermofrigorifiques :BE 9 734,755, 756 etc .)

(9) En Amérique, Trigen Energy Corp. conçoit des machines produisant électricité, vapeur et eau glacée ainsi que des réseaux de distribution de chaud et de froid (cf.le site web).

### **La cogénération/trigénération : une réduction des coûts par la maîtrise de l'énergie.**

Il y a quelques années, le déchet était un rebut que l'incinération avait pour but de brûler, à fonds perdus. Puis on a rentabilisé une petite partie de l'énergie dégagée pour faire de l'électricité ; aujourd'hui on cherche à avec la cogénération à augmenter les recettes sur le long terme pour diminuer le prix du traitement des déchets urbains.

La chaleur est un sous-produit inévitable qu'il convient de gérer au mieux ; elle est quasi gratuite, mais elle a ses contraintes :

- le débouché doit être proximité : les pertes de charge du réseau de distribution limitent la distribution à un rayon de 2 Km.
- les équipements doivent être prévus au départ, les rendements calorifiques sont supérieurs et la rentabilité mieux assurée (performance d'un réseau neuf.) (10)

### **La cogénération/trigénération : une économie des ressources de la planète.**

Le déchet est un combustible (une tonne de déchets = 150/180 litres de fuel). Ce produit, comme un autre combustible prend sa place sur le marché économique et mérite d'être traité de façon comptable.

Nous avons converti, page 3, les chiffres donnés par l'ADEME à l'échelle de la Dordogne, (de façon théorique puisque nous n'intégrons pas les pertes : pertes en réseau, échangeur... et que nous prenons une valeur moyenne.)

Partons de ce chiffre arrondi : en pouvoir calorifique les déchets de la Dordogne annoncés par le SMD 3 équivalent à 20 millions de litres de fuel/an (11). Est-ce peu ou beaucoup ? Faut-il négliger ou prendre au

sérieux ?

Où en sont nos réserves énergétiques sur la planète ? Pétrole, 50 ans. Gaz, 50 ans. Charbon, 200 ans. Le nucléaire conventionnel n'atteindra pas la fin du siècle. (12)

Ne finira-t-on pas par trouver d'autres sources d'énergie ? Hubert Rives répond : « Il me paraît fort peu sage de trop compter là-dessus. C'est encore « la fuite en avant ». Il faut éviter de laisser à l'avenir le soin hypothétique de trouver des solutions à nos problèmes contemporains. On ne peut s'appuyer fortement que sur le présent ». (12)

### **La cogénération/trigénération : une limitation de « l'effet de serre ».**

Les alertes climatiques sont sérieuses : sécheresse, inondations, tempêtes et cyclones... Aujourd'hui, une des priorités du Ministère de l'Ecologie et du Développement durable est de limiter les rejets atmosphériques (13) « **Le paramètre « effet de serre » est à prendre en compte à chaque décision.** »

Si on n'utilise pas les calories/frigoriques apportées par des déchets à bon escient, les besoins de confort font qu'on aura recours à d'autres combustibles qui auront leur propres rejets ; **on crée une seconde source de rejets dans l'atmosphère ; la planète a largement assez d'une seule.**

La demande mondiale d'énergie devrait doubler d'ici 2050, puis se stabiliser (12).

A la question « Quelle énergie pour demain ? » Le commandant Coustaud et Hubert Rives ont répondu : « que voulez-vous dire par demain ?... dans dix ans, cent ans, mille ans ? ». Sur quelle échelle de temps caler nos choix départementaux ?

(10) Exemple : l'UIOM de Lons le Saunier produit environ 80.000 MWh par an dont plus de la moitié sont valorisés, 1/3 chauffage urbain, 15% dans le centre de tri et l'usine elle-même, 8% en électricité ; de nouveaux raccordements sont envisagés(piscine...)

(11) ce qui représente le tiers de ce que le Prestige a largué ; ou une noria de 750 semi-remorques/an ; ou un tas de bois d'un mètre de haut de Périgueux à Bordeaux. Le Prestige représente 3 ans de déchets de la Dordogne et l'Amoco Cadix 10 ans.

(12) **Hubert Rives : Mal de Terre ; le Seuil 2003 ; ouvrage incontournable : le sort de l'aventure humaine va-t-il se jouer en quelques décennies ?**

(13) Conseil des Ministres du 04.06.2003) : « développer la récupération d'énergie à partir de l'incinération des déchets ou de la combustion du biogaz, dès lors qu'elle permet de limiter la consommation d'énergie fossile ».Communication en Conseil des Ministres « la politique des déchets ménagers et assimilés » dossier de Presse 04.06.03.

## Les conditions de rentabilité

- **L'assurance de la pérennité du site** : infrastructures, réseau de distribution., équipements à long terme ou définitifs... Le chantier se conçoit alors par tranches, au fil des besoins de renouvellement d'installations existantes.
- **L'assurance de la pérennité du marché** : pas de risque de délocalisation des acheteurs, pas de modification brutale de la nature de la demande (eau surchauffée, vapeur, eau glacée), assurance du chauffage 220 jours/an environ, production d'eau chaude sanitaire toute l'année, demande de froid de confort.
- **une juste définition du projet** : sachant que l'énergie qui n'est pas transformée en force motrice se retrouve sous forme de vapeur. Ce qu'on prend d'un côté n'est plus disponible de l'autre.
- **une organisation modulable** et des techniques qui permettent de conduire l'installation « au fil des besoins de chaleur, de froid ou d'électricité » en particulier de faire fonctionner les moteurs au plus près de leur charge nominale pendant les 3600 h d'hiver tarifaire et de limiter toute perte de chaleur à l'atmosphère.(13)
- **Utilisation sans transport de la production autonome d'électricité** ;
  - un courant de grande qualité, sans microcoupures, particulièrement intéressant pour des utilisations spécifiques : matériel médical, salles d'ordinateurs, commandes et gestion informatisées).
  - : → un gain financier : le kilowattheure électrique acheté à EDF coûte en France 3 à 5 fois plus cher que le kilowattheure (thermique auto-produit) , provenant de combustibles classiques. L'intérêt est donc encore accru si ce sont des déchets qu'on brûle, et si le courant est utilisé sur place , surtout sur une très longue durée (investissements, amortissement) (14)

## Conclusion.

**Les préoccupations environnementales sont devenues majeures ; les textes évoluent très vite. La direction est clairement indiquée par le gouvernement français et les instances européennes ; principes de solidarité, principe de précaution et principe de participation.(15)**

**Un engagement du gouvernement : « un nouveau principe : celui du développement durable. Défini comme un développement répondant aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Ce concept est désormais placé au cœur de l'action publique » ( 15 , p.1).**

(13) L'Ademe note « la généralisation récente d'équipements qui permettent d'optimiser le fonctionnement des installations : stockage temporaire en balles de déchets secs , broyage d'encombrants....( ib.) pour produire de l'énergie pendant les périodes de forte demande.

(14) prix de l'électricité en France : la majorité de la production EDF est faite par des centrales nucléaires ; elles sont peu adaptées aux variations de charge aussi le coût de l'énergie varie-t-il énormément suivant la période tarifaire, variation qui peut atteindre un rapport de 1 à 9 entre pointes d'hiver et heures creuses d'été.

(15) **Séminaire gouvernemental du 28 novembre 03** : « en rupture avec le modèle suivi par les pays industrialisés au cours des cinquante dernières années a arrêté , à partir des propositions de la Commission Coppins un concept de développement durable répondant à trois principes :

**principe de solidarité** :solidarité entre les peuples et les générations.

**principe de précaution** : se donner la possibilité de revenir sur des actions lorsque leurs conséquences sont aléatoires ou imprévisibles.

**principe de participation** : associer la population aux prises de décision. ( [www.premier-ministre.gouv.fr](http://www.premier-ministre.gouv.fr)) et pour en savoir plus : la stratégie du développement durable sur le site du Ministère.