



CPTF et CSC

---

CYCLES COMBINÉS À GAZ (CCG)

---

COGÉNÉRATION

---

DÉVELOPPEMENT DES RENOUVELABLES

---

SOLUTIONS DE STOCKAGE

## CPTF ET CSC

Le parc thermique est un outil essentiel pour ajuster l'offre et la demande, indispensable au bon fonctionnement du parc. En contribuant à la diversité des moyens de production, le parc charbon présente l'avantage d'apporter au parc de production plus de flexibilité et de sécurité d'approvisionnement.

L'inconvénient majeur d'un parc charbon est qu'il émet des **polluants atmosphériques** (oxydes de soufre SO<sub>2</sub>, oxydes d'azote NO<sub>x</sub> et poussières) et de **grandes quantités de CO<sub>2</sub>**.

Les réglementations environnementales visent à limiter ces émissions (Directive Grandes Installations de Combustion (GIC) 2001/80/CE du 23 octobre 2001 et Paquet "Energie Climat", 17 décembre 2008 au niveau européen, et Schéma National de Réduction des émissions (SNR), du 31 octobre 2007)

Ces polluants atmosphériques présentent deux types de risques :

- des **risques écologiques** de pluies acides : SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> se transforment dans l'atmosphère en acides, qui, en retombant avec la pluie, dégradent directement les milieux vivants : mort des forêts, acidification des eaux, modification de la faune et de la flore...
- des **risques sanitaires** pouvant affecter la **santé humaine** (appareil respiratoire, système immunitaire, cancers).

Une fois émis, il n'est plus possible d'en limiter les impacts. La meilleure stratégie est donc la prévention à la source, grâce aux **technologies de charbon pulvérisé avec traitement des fumées (CPTF)**, permettant la désulfuration et la dénitrification des fumées, soit la réduction des émissions de SO<sub>x</sub> et NO<sub>x</sub>.

Cependant, le CPTF ne résout pas le problème du CO<sub>2</sub>. Une **centrale à charbon récente**, considérée comme **propre et supercritique** (soit présentant un **rendement élevé** et des **systèmes de dépollution des fumées**), émet encore de l'ordre de **800 kg CO<sub>2</sub>/MWh**, soit **le double d'une centrale au gaz à cycle combiné**. Des anciennes installations du parc actuel peuvent quant à elles émettre jusqu'à 1000 kg de CO<sub>2</sub>/MWh.

Le maintien du parc charbon à l'avenir dépendra du développement des technologies de **séquestration du CO<sub>2</sub>**, comprenant son **captage, son transport et son stockage**. Il reste aujourd'hui des incertitudes quant à la date de disponibilité de ces techniques de **captage et stockage** du carbone (**CSC**).





## CYCLES COMBINES A GAZ (CCG)

En associant deux types de turbines, cette technologie permet une augmentation importante de l'**efficacité énergétique** (ou rendement) du système de production.

Cette filière de production dispose d'un **grand potentiel de développement**, car elle constitue un **bon moyen d'ajustement** de l'offre et de la demande, permettant le bon fonctionnement du système électrique, tout en **réduisant considérablement les émissions de CO2**, par rapport aux autres centrales thermiques utilisant les énergies fossiles.

Cependant, en fonction du nombre de centrales construites, il faudra gérer les **possibles problèmes d'approvisionnement** en gaz, dans la mesure où la demande de pointe pour la consommation de gaz et la demande de gaz pour la production électrique pourraient être concomitantes.

## COGÉNÉRATION

(co = ensemble ; génération = production)

La cogénération est une technique qui permet de **produire simultanément et dans une même installation de l'énergie thermique** (chaleur) et de **l'énergie mécanique** (le plus souvent **convertie en électricité**), à partir d'une **même source d'énergie**.

C'est un dispositif d'**économie d'énergie** : en récupérant l'énergie thermique perdue d'ordinaire lors de la production électrique (jusqu'à 60 %), le **rendement global peut atteindre 90%** (contre à peine 40 % de rendement pour une centrale classique fonctionnant au combustible nucléaire ou fossile). La chaleur produite approvisionne soit des industries dont les procédés de fabrication utilisent l'eau chaude, la vapeur ou l'air chaud, soit des réseaux de chaleur urbains, desservant des logements, des bâtiments collectifs, des hôpitaux.

Une centrale de cogénération électricité-chaleur fonctionne grâce à des turbines (ou à des moteurs).

De **nombreuses énergies primaires**, renouvelables ou non, **peuvent être utilisées** pour faire de la cogénération (gaz, fioul, biomasse, déchets, géothermie), ce qui améliore la sécurité de l'approvisionnement.

La cogénération, en améliorant notablement le rendement énergétique, permet un **gain important d'énergie primaire**. Elle permet une **réduction des émissions de CO2**, plus particulièrement encore lorsqu'elle se substitue aux productions d'électricité à partir de combustibles fossiles. Elle permet de **réduire les pertes électriques en ligne**, car les centrales de cogénération sont généralement plus proches des lieux de consommation. La proximité des consommateurs, et notamment des besoins de chaleur, est en effet une contrainte pour l'implantation des centrales de cogénération, dans la mesure où le transport de chaleur sur de longues distances génère trop de pertes thermiques.





## DÉVELOPPEMENT DES RENOUVELABLES

Depuis l'ère industrielle (fin XIX<sup>ème</sup>), le développement économique de notre monde moderne s'est basé sur l'utilisation des énergies fossiles non renouvelables, qui étaient abondantes, performantes et peu coûteuses.

Les énergies fossiles représentent la moitié de la consommation d'énergies primaires en France, et 80 % de la consommation mondiale.

Notre consommation d'énergie a augmenté de façon exponentielle, et elle est appelée à augmenter encore à l'avenir :

- sous l'effet de la **croissance démographique** : de 7 milliards de terriens aujourd'hui, nous passerons à 9 milliards en 2050
- sous l'effet de nos **modes de vie** : nous possédons de plus en plus d'objets et de biens de consommation dont la fabrication et l'utilisation consomment de l'énergie
- sous l'effet de la **croissance économique des pays émergents**

Or, cette utilisation des énergies fossiles n'est **pas durable** :

→ elle **augmente les émissions de CO2 et autres GES**, causes du **dérèglement climatique**

→ elle **accélère l'épuisement des réserves, l'augmentation des prix** liés à leur raréfaction, et l'éventualité d'une **crise énergétique** aux impacts économiques et sociaux inévitables

→ elle augmente notre **taux de dépendance énergétique vis-à-vis des pays étrangers**, et les tensions géopolitiques et économiques liées à la sécurité de l'approvisionnement

A l'inverse des énergies fossiles, les énergies renouvelables constituent une **ressource abondante et durable, disponible en tous lieux, et qui se renouvelle en permanence**. Leur **diversité et leur complémentarité** permettent d'envisager de nombreux développements.

Pour s'assurer un mode de développement durable à la hauteur des enjeux énergétiques et environnementaux, il faudra donc :

- **Améliorer les performances** des énergies renouvelables (rendement, coûts) en investissant dans la recherche et le développement des technologies
- **Développer les technologies de stockage de l'électricité** pour compenser l'intermittence de certaines énergies renouvelables
- **Décentraliser la production électrique grâce à la multiplication de petites unités** installées sur les toitures, les bâtiments (autoproduction, bâtiments à énergie positive)
- Accompagner le développement des énergies renouvelables d'une **réduction importante de nos consommations d'énergie**





## DÉVELOPPEMENT DES RENOUVELABLES

**Nous sommes encore loin, en France, d'utiliser pleinement le potentiel des énergies renouvelables** (leur part dans la consommation finale d'énergie n'est que de 13,1 % en 2011).

Le plan d'action national (PNA) en faveur des énergies renouvelables prévu par la directive européenne 2009/28/CE (Paquet Energie Climat) fixe l'objectif de **23 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'ici 2020**. Certains pays, comme la Suède, approchent déjà les 50 % d'énergies renouvelables.

## SOLUTIONS DE STOCKAGE

### **Pourquoi le stockage est-il une des solutions d'avenir ?**

Les réglementations nationales et européennes imposent de réduire les émissions de GES, d'utiliser moins d'énergies fossiles et plus d'énergies renouvelables dans notre bouquet énergétique.

**Donner une part plus importante à l'électricité** pourrait faire partie des solutions pour **atteindre ces objectifs**.

Cependant, le point faible de l'utilisation de l'électricité est **l'insuffisance des possibilités de stockage**, ce qui oblige à produire en temps réel pour équilibrer l'offre et la demande.

Le développement des technologies de stockage de l'électricité pourrait avoir un **impact positif sur l'environnement et la réduction des gaz à effet de serre**. Il contribuerait également à **réduire les coûts de l'énergie** lors des pointes de consommation, et la **précarité énergétique**.

Comment ?

→ L'énergie stockée peut permettre de fournir de **l'électricité moins chère** lors des pointes de consommation, tout **en luttant contre les émissions de GES**, en **se substituant aux centrales thermiques utilisant les combustibles fossiles**.

→ L'énergie stockée peut servir à **compenser l'intermittence de certaines productions renouvelables**, et permettre d'en intégrer davantage dans le réseau, ou favoriser **l'autoproduction d'électricité**.

→ Le développement du stockage peut favoriser l'utilisation de **véhicules propres**, hybrides ou tout-électrique, **réduisant l'utilisation du pétrole dans les transports, et donc les émissions de CO2**





## SOLUTIONS DE STOCKAGE

Les **technologies diffèrent** selon qu'on a besoin de stocker de **grandes** ou de **petites quantités d'électricité** (de quelques kWh à quelques centaines de MWh). Elles diffèrent également **en fonction de l'énergie primaire utilisée**.

On ne peut pas stocker directement l'électricité :

- Soit **on stocke le combustible** nécessaire pour la produire
- Soit **on la transforme en d'autres formes d'énergie stockables**, que l'on reconvertit en électricité au besoin

### Stockage de combustible

Les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) et fissile (uranium) sont des **énergies de stock**. Elles ne se renouvellent pas, et disparaîtront une fois le stock épuisé.

Elles constituent un **stock d'énergie chimique** : leur combustion crée une agitation des molécules qui permet de récupérer l'énergie sous forme de chaleur. Elles sont **très pratiques à utiliser**, car il est facile de puiser dans le stock dès qu'on en a besoin.

A l'inverse, les **énergies renouvelables** sont des **énergies de flux**, elles sont **plus difficiles à collecter et à stocker**, et nécessiteront le **développement de technologies radicalement différentes**.

### Autres formes de stockage

**Stockage sous forme d'énergie mécanique potentielle** : l'énergie est stockée sous forme d'eau ou d'air comprimé.

- **Eau** : les centrales hydrauliques de pompage (STEP) stockent l'eau
- **Air comprimé** : l'électricité en surplus sert à comprimer de l'air, qui est stocké. Pour restituer l'électricité, il est brûlé avec du gaz grâce à une turbine à gaz. Cette solution est à haut rendement, car elle peut fonctionner en cogénération (chaleur + électricité), et consomme moins de gaz et rejette moins de CO<sub>2</sub> que des turbines à gaz classiques.

### Stockage sous forme d'énergie mécanique cinétique

- Il s'agit d'un stockage d'énergie cinétique accumulée dans un volant d'inertie, couplé à un alternateur.





## Stockage électrochimique

- Piles (non rechargeables) et batteries (rechargeables) : il existe des batteries de petite puissance utilisées pour les transports (véhicules), ou de grande puissance (100MWh) pour secourir localement le réseau lors des variations jour/nuit.
- Piles à combustible : le combustible (hydrogène) subit une réaction électrochimique en présence d'oxygène, qui produit de l'eau, de la chaleur et de l'électricité.

Des développements technologiques sont attendus pour améliorer la performance de ces systèmes.

## Stockage électromagnétique

- Les bobines supraconductrices : la supraconductivité permet de stocker de grandes quantités d'énergie (1 à 10 MWh), avec un rendement très élevé (90%). Cette technologie, très coûteuse, en est actuellement à un stade expérimental.

## Stockage d'énergie thermique

- L'énergie géothermique est un stock de chaleur emmagasiné dans la croûte terrestre, que nous pouvons récupérer.
- La chaleur peut être stockée dans des matériaux dont on élève la température, ou qui subissent un changement d'état (fusion, vaporisation) : ballon d'eau chaude, briques réfractaires, ou systèmes tels que pompe à chaleur.

