

LES CENTRALES A CHARBON A LIT FLUIDISÉ CIRCULANT (LFC)

CONTEXTE

Le charbon est actuellement le combustible le plus employé dans le monde pour la production d'électricité. Pour l'an 2000, on s'attend à ce que sa consommation annuelle, dans les centrales électriques, atteigne 3 milliards de tonnes. Cet appel massif au charbon devra être fait, de plus en plus, en harmonie avec notre environnement.

En France, l'ensemble du parc thermique existant (1) d'EDF et CdF arrivera en fin de durée de vie entre 2000 et 2020. De nouvelles centrales de semi-base seront alors nécessaires en complément des centrales nucléaires utilisées en base. Parmi les techniques de combustion "propre" du charbon, les centrales à Lit Fluidisé Circulant (LFC) devraient être les mieux adaptées aux besoins futurs du réseau français, car elles semblent présenter le meilleur compromis coût/dépollution pour les usages de semi-base.

Cependant, pour pouvoir disposer de centrales LFC de grande taille (400-600 MWe) d'importants efforts de recherche et de développement restent à faire, et c'est dans le but d'acquérir une compétence et une expérience de niveau international que la DER a engagé un important programme de recherches portant sur tous les aspects de cette nouvelle technique : hydrodynamique, thermique, combustion et pollution.

(1) représentant environ 20 GWe de centrales brûlant du fuel et du charbon

PRINCIPE

Dans un LFC, une masse importante de particules solides (généralement des cendres) est mise en suspension dans un foyer par un fort débit d'air provenant d'une grille de fluidisation. Cette masse chaude en mouvement, où sont introduites des particules de charbon et de calcaire, est entraînée continuellement vers l'extérieur du foyer par l'air de combustion et doit être séparée des fumées par un séparateur cyclone afin d'être recyclée. Cette recirculation dans le foyer permet une combustion satisfaisante du charbon, malgré la relativement basse température qui est maintenue à 850 °C afin de favoriser la captation du SO₂ par le calcaire et pour minimiser la formation des oxydes d'azote. Les cendres extraites périodiquement du foyer sont pulvérulentes et en quantité plus importante que pour les chaudières classiques à charbon pulvérisé.

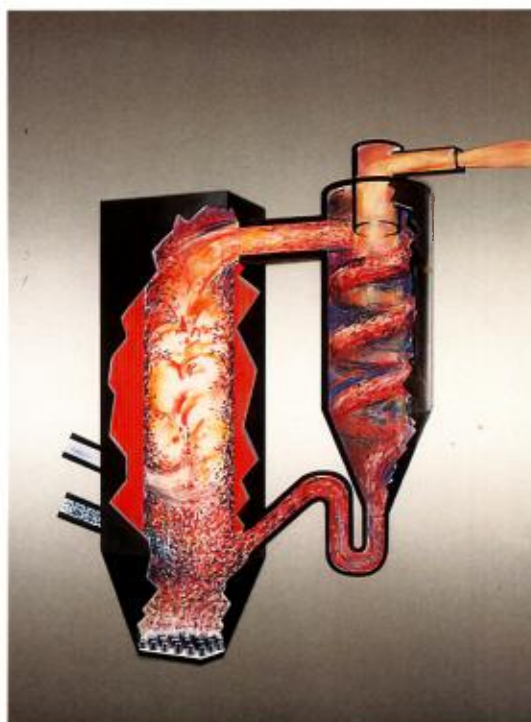


Figure 1 : Représentation schématique d'un foyer à lit fluidisé circulant.

INSTALLATIONS INDUSTRIELLES

On dénombre une dizaine de procédés LFC dans le monde dont les plus connus sont ceux développés par les sociétés LURGI et AHLSTRÖM, proposés respectivement en France par STEIN-INDUSTRIE et CNIM.

Il y a tout juste 5 ans, la plus importante unité LFC au monde avait une puissance de 100 MWe. Aujourd'hui, deux tranches au lignite de 150 MWe sont en exploitation à Robertson (TEXAS) et une de 165 MWe au charbon est en construction à Point Aconi (CANADA). Au total, 240 unités ont été vendues dans plus de 15 pays différents.

A l'origine, les LFC ont été développés pour brûler des charbons de médiocre qualité afin de mieux valoriser les productions locales. C'est en particulier le cas en France à Carling (125 MWe), avec l'emploi de résidus charbonniers très cendreux, et bientôt à Gardanne (250 MWe) pour pouvoir poursuivre l'utilisation du charbon de provenance à forte teneur en soufre. D'autres combustibles, comme les déchets urbains, sont également à l'étude et pourraient éventuellement faire l'objet de réalisations en France dans un avenir proche. Il est donc vraisemblable que l'utilisation principale des LFC restera encore pendant plusieurs années la combustion des combustibles difficiles et ceci dans le respect de la protection de l'environnement.

Pour la combustion du charbon importé, le principal avantage du LFC est qu'il présente un bon compromis coût/dépollution. Mais son principal inconvénient est qu'il ne dispose pas aujourd'hui d'un rendement très élevé par rapport aux technologies concurrentes en développement, comme les centrales à gazéification du charbon, dont le rendement dépasse largement 40 %, mais qui demeurent encore très chères. Cependant, des améliorations du cycle thermodynamique des centrales LFC sont encore à attendre (cycle supercritique ou couplage avec une turbine à gaz) qui pourraient favoriser à terme son développement pour les utilisations en base.

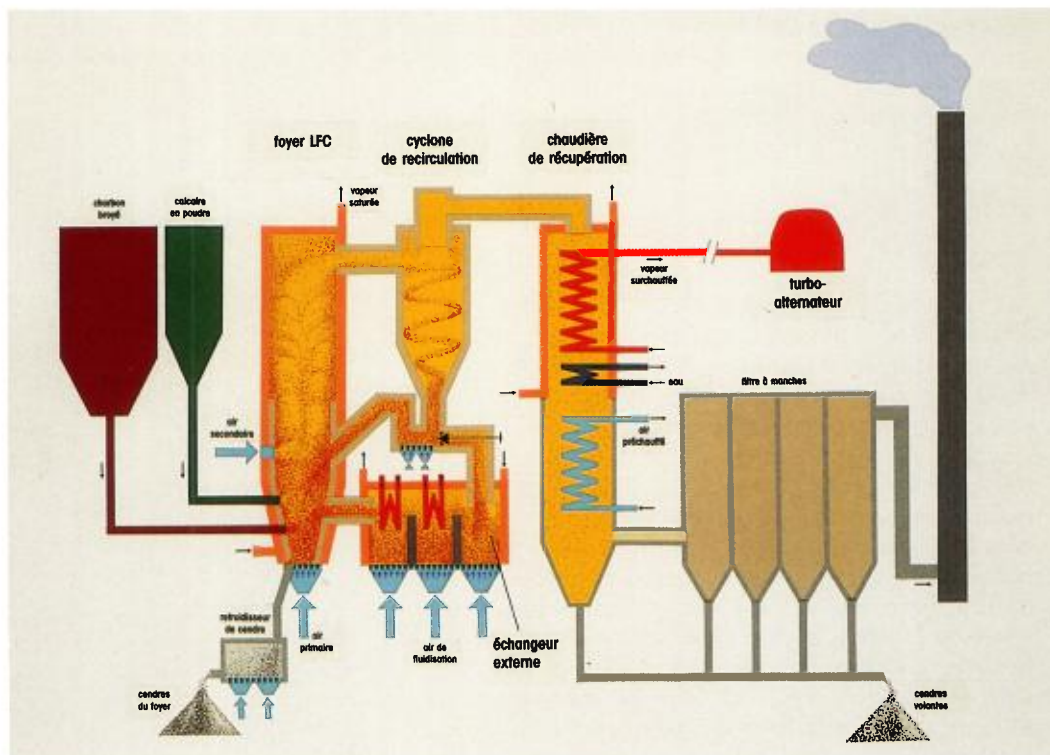


Figure 2 : Schéma de principe de la tranche LFC 125 MWe de Carling (Lorraine).

LFC

LE LIT FLUIDISÉ CIRCULANT : UNE TECHNIQUE
DE COMBUSTION "PROPRE" DU CHARBON

CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Depuis 1990, des obligations réglementaires fixent des valeurs limites pour les émissions en SO_2 , NO_x et poussières par des nouvelles installations de combustion de puissance thermique ≥ 50 MW. Elles découlent de la Directive Européenne 88/609 qui sert de cadre à l'établissement des diverses législations nationales. Les chaudières à lit fluidisé entrent dans le champ d'application de ces obligations.

La valeur limite d'émission d'une substance contenue dans les fumées rejetées dans l'atmosphère est déterminée en masse par volume de gaz résiduaires. Elle est exprimée en milligrammes par mètre cube (mg/Nm^3), rapportée, dans le cas du charbon, à une teneur en O_2 dans les gaz résiduaires fixée arbitrairement à 6 % en volume.

Pour une installation de puissance thermique P brûlant du charbon, les valeurs limites sont les suivantes :



P	Poussières	Oxydes de soufre (équivalent SO_2)	Oxydes d'azote (équivalent NO_2)
$P \geq 500 \text{ MW}$	$50 \text{ mg}/\text{Nm}^3$	$400 \text{ mg}/\text{Nm}^3$	$650 \text{ mg}/\text{Nm}^3$
$300 \text{ MW} \leq P \leq 100 \text{ MW}$	$100 \text{ mg}/\text{Nm}^3$	$(2400 - 4 P) \text{ mg}/\text{Nm}^3$	
$P < 100 \text{ MW}$	$100 \text{ mg}/\text{Nm}^3$	Arrêté préfectoral	

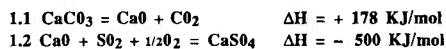
UNE TECHNIQUE DE COMBUSTION "PROPRE" DU CHARBON

Les charbons contiennent outre les éléments chimiques C, H, O, des éléments tels que S, N, Cl, F, certains métaux alcalins et alcalino-terreux (Na, Ca, Mg...) et des métaux en trace (Ni, As, Cd, Cr, Pb, Hg...). Ces éléments sont présents dans la matière organique ou combinés à des sels minéraux. Lors de la combustion, ils sont plus ou moins "libérés" à des degrés d'oxydation divers.

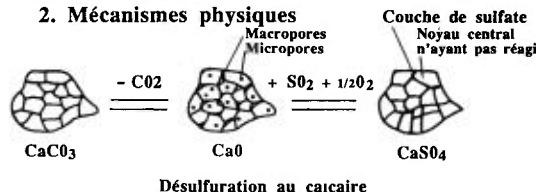
De faibles émissions en SO_2 et NO_x

Lors de la combustion, soufre et azote du charbon sont oxydés respectivement en SO_2 (marginale en SO_3) et oxydes d'azote. L'injection d'un absorbant (du calcaire par exemple) dans le lit circulant permet de réduire la production de SO_2 . Il se forme du sulfate de calcium (gypse) éliminé avec les cendres. Le degré de désulfuration dépend de la quantité de calcaire introduit : il varie en fonction du rapport molaire Ca/S dans le lit. La recirculation de la masse de solides conduit à une utilisation optimale du calcaire.

1. Réactions chimiques



2. Mécanismes physiques



L'efficacité de la désulfuration est meilleure vers 840-870° C (cf réactions chimiques).

Cette plage de température permet de limiter la formation d'oxydes d'azote dont la production ne dépend alors que de l'azote contenu dans le charbon et non de l'air de combustion (contrairement aux chaudières classiques à charbon pulvérisé). Par ailleurs, la répartition de l'injection de l'air de combustion à divers niveaux du foyer (combustion "étagée") crée des zones réductrices et oxydantes dans le lit, ce qui défavorise également la formation de NOx.

De faibles émissions en composés halogénés

L'injection de calcaire se combinant partiellement aux composés halogénés permet d'en retenir une partie dans les cendres sous forme de chlorures et fluorures.

De faibles émissions en poussières

Des filtres à manches efficaces permettent de retenir la plus grande partie des poussières et des composés piégés dans les cendres volantes (métaux par exemple).

DES PERFORMANCES FACILEMENT COMPATIBLES AVEC LA NOUVELLE RÉGLEMENTATION

A partir des résultats publiés et d'un compromis entre une bonne combustion et des émissions minimales de polluants, les performances suivantes sont généralement atteintes :

100 à 300 mg/Nm³ pour SO₂ et NO₂

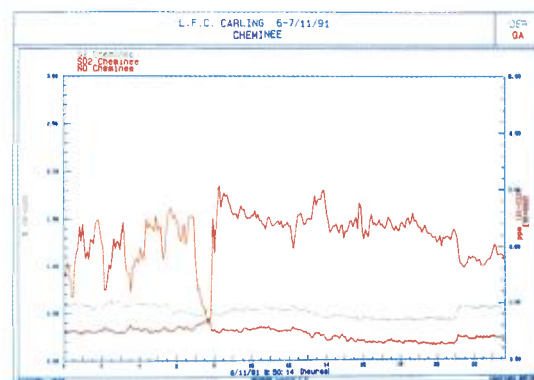
moins de 50 mg/Nm³ pour les poussières (fonction du système de filtration).

La tranche LFC de CARLING ne doit pas émettre contractuellement plus de :

- 330 mg/Nm³ de SO₂
- 300 mg/Nm³ de NOx
- 50 mg/Nm³ de poussières

Cette tranche fait l'objet d'une étude approfondie par diverses équipes de la DER.

Elle concerne notamment l'influence de divers paramètres (Ca/S, excès d'air, étagement de l'injection d'air, type de calcaire...) sur l'évolution des concentrations en SO₂, NOx, N₂O, CO, HCl, HF etc. dans les fumées.



CENTRALE EMILE HUCHET : UN LABORATOIRE INDUSTRIEL SUR LA CHAUFFERIE A LIT FLUIDISE CIRCULANT DE 125 MWE

CONTEXTE

La Société de Développement du Lit Fluidisé Circulant (SODELIF) dont E.D.F est actionnaire a fait réaliser sur le site de la Centrale Emile Huchet de CARLING (MOSELLE) la chaufferie L.F.C de plus forte puissance actuellement en service en FRANCE et l'une des plus puissantes dans le monde. Cette chaufferie de 125 MWe, mise en service fin 1990, est depuis cette date le lieu de réalisation d'un important programme d'essais mené par les Directions des Etudes et Recherches et de l'Équipement d'Electricité de France visant à approfondir leurs connaissances dans cette «nouvelle technologie» de combustion «propre» du charbon.

Ce programme est réalisé en étroite collaboration avec Charbonnage de France exploitant cette installation et STEIN INDUSTRIE qui l'a réalisée. Il se déroulera dans une première phase jusqu'à fin 1993 et est l'un des plus importants actuellement mené sur cette technologie à travers le monde.

LES MOYENS

650 paramètres mesurés reliés à des systèmes d'enregistrement à cadence d'acquisition rapide ainsi que des programmes de traitement en temps réels et différés permettent à une dizaine d'ingénieurs d'E.D.F de suivre en permanence le fonctionnement de la chaufferie L.F.C en phase normale d'exploitation ou en régime d'essais programmés.

Les principaux paramètres de pilotage sont ainsi modifiés sur de larges plages de variation tout en restant dans les limites de sécurité d'exploitation de l'installation.

Sont entre autre étudiées l'influence du calcaire, la répartition des différents débits d'airs de fluidisation, la température de combustion, l'influence du combustible utilisé, la charge de la chaudière...

Outre le foyer proprement dit, les mesures portent également sur les parties plus classiques de la chaufferie (chaudière arrière, dépoussiéreur à manches, ventilateur de tirage...)

Ces essais ont donné lieu au développement d'instrumentations spécifiques (manchettes de mesure de flux thermique, sondes de prélèvement non refroidies, mesure de débit solide...)



LES OBJECTIFS

E

lectricité de France a fixé plusieurs objectifs à ces essais réalisés à CARLING :

- améliorer la connaissance des phénomènes chimiques, thermiques, aérauliques...d'une chaufferie L.F.C
- caractériser les performances de cette installation
- augmenter la fiabilité et la souplesse d'exploitation de ce type de centrales
- affiner les valeurs permettant le dimensionnement de futures installations de grande puissance
- valider par les informations recueillies, les codes de calcul mathématiques développés par E.D.F qui permettront, dans un proche avenir, l'aide à la conception de telles chaufferies

Précisons enfin que les enseignements issus de CARLING peuvent s'appliquer à tout type de chaufferie L.F.C quelque soit son principe.

LES PREMIERES RETOMBEES

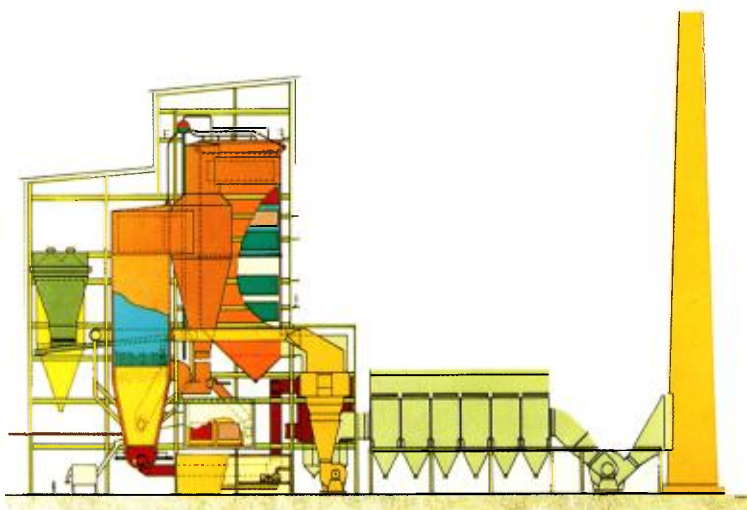
L

es nombreux enseignements recueillis grace à ces essais ont été déjà valorisés par E.D.F

Provence L.F.C 250 MWe : sur le site de la centrale de PROVENCE à GARDANNE (Bouches du Rhône), sera mise en service fin 1995, la chaufferie L.F.C la plus puissante au monde. EDF Maître d'oeuvre de cette réalisation s'appuie dès à présent sur les résultats de CARLING pour la vérification du dimensionnement de l'installation, l'optimisation des auxilliaires et les choix de la conception.

TERUEL L.F.C 175 MWe : E.D.F participe en collaboration avec l'électricien espagnol ENDESA, à l'étude d'une tranche L.F.C sur le site de la centrale de TERUEL (Espagne, Province d'ARAGON). L'équipe E.D.F installée à MADRID bénéficie de l'expérience acquise par le Centre National d'Équipement Thermique pour mener à bien ce projet.

NEIJANG L.F.C 100 MWe : E.D.F a réalisé pour le compte du S.C.E.P.A (Sichuan Electric Power Administration), l'étude de faisabilité pour l'installation d'une chaufferie L.F.C à NEIJANG (République Populaire de Chine, Province du SICHUAN). L'acquis technologique d'E.D.F a dans ce cas été également mis à profit pour mener à bien ce travail.



EDF

Electricité
de France

**Direction
de l'Équipement**

Centre National d'Équipement Thermique

Les Collines de l'Arche - Immeuble Concorde
La Défense 7 - Cedex 24 - 92057 Paris La Défense
Tél. : 49 02 80 80 - Fax : 49 02 66 99

CHAUDIERES A LITS FLUIDISES CIRCULANTS A CHARBONNAGES DE FRANCE

En service depuis 1990, la chaudière à lit fluidisé circulant (LFC) de la centrale Emile-Huchet à Carling (Lorraine) a permis aux techniciens du Groupe CdF d'acquérir la maîtrise de l'ingénierie et de l'exploitation d'un LFC de grande puissance. Un deuxième projet a été réalisé sur le site de Gardanne-Meyreuil (Provence), en partenariat avec EDF. Avec 250 MWe, cette installation, mise en service industriel fin 1995, est la plus puissante de ce type au monde.

LA CHAUDIÈRE LFC (125 MWE) DU GROUPE 4 BIS DE LA CENTRALE ÉMILE HUCHET : VALORISER LES SCHLAMMS

Le projet de cette installation est né de l'idée de CdF d'utiliser les propriétés des chaudières à lit fluidisé circulant (LFC) pour valoriser de grandes quantités de schlamms (fins résidus de lavage du charbon) accumulés dans d'anciens bassins de décantation des lavoirs des Houillères du Bassin de Lorraine (HBL). Les schlamms sont des produits à faible pouvoir calorifique, très cendreux, argileux et d'humidité variable, mais souvent très élevée.

Auparavant, seuls les schlamms produits par les principaux lavoirs des Houillères étaient consommés dans les chaudières à charbon pulvérisé de la centrale Émile Huchet, après transport hydraulique par carboduc, concentration (cyclones, décanteurs et filtres sous vide), séchage (fours tournants) et broyage. Un traitement de ce type, par ailleurs onéreux, est cependant difficilement applicable aux schlamms déposés dans les bassins de décantation, en raison de l'argile qu'ils contiennent qui complique le séchage et le broyage.

Les chaudières LFC ouvrent de nouvelles perspectives : elles peuvent d'une part brûler de tels produits sans broyage, d'autre part accepter sans difficulté des combustibles extrêmement humides. Grâce à l'importante masse de solides chauds présents dans le foyer ainsi qu'à l'intense brassage caractéristique des LFC, l'évaporation de l'eau ne risque pas - au contraire de ce qui se passe dans une flamme de charbon pulvérisé - de compromettre l'allumage des grains de charbon, notamment lors des variations de charge. Ceci a conduit CdF, compte tenu également de l'expérience des HBL et du CERCHAR pour le transport du charbon par voie hydraulique, à imaginer de récupérer ces schlamms de bassin en les brûlant sous forme d'une pulpe eau-charbon à 33 % d'eau, directement injectée dans le foyer d'une chaudière LFC.



Ce projet a pu se réaliser à la centrale Émile Huchet, où une tranche de 125 MWe datant de la fin des années 50, mais dont le groupe turbo-alternateur pouvait encore assurer une vingtaine d'années de services après une remise en état limitée, pouvait être transformée en une tranche LFC de même puissance à coût réduit en réutilisant la salle des machines.

La maîtrise d'œuvre du projet a été assurée par CdF INGÉNIERIE, filiale du Groupe Charbonnages de France et la réalisation de la chaudière confiée à Stein-Industrie (licence Lurgi). Le premier allumage de la chaudière a eu lieu le 4 avril 1990, conformément au calendrier initial, et la mise en service industrielle prononcée le 20 novembre 1990. Une part de son financement a été assurée par la Commission des Communautés Européennes dans le cadre du programme « Thermie ».

UNE PREMIÈRE MONDIALE : LA CHAUDIÈRE LFC 250 MWE DE PROVENCE

La réussite de la réalisation de Carling a conforté la décision prise par EDF et Charbonnages de France de construire une autre unité de combustion LFC plus puissante.

Située dans le Sud de la France à Gardanne-Meyreuil, la Centrale de Provence comprend deux tranches en activité (250 et 600 MWe). Le projet a consisté à remplacer la chaudière existante de la tranche n° 4 (250 MWe) par une chaudière à lit fluidisé circulant. Les autres installations, notamment la salle des machines, ont été conservées après adaptation. L'objectif était de prolonger la durée de vie de cette tranche (la chaudière remplacée était en fin de vie), et de réduire de façon importante les émissions de SO₂ et NO_x. Pour améliorer son rendement global, cette chaudière LFC est associée à un ensemble turbine à combustion-chaudière de récupération pour former un cycle mixte.

La Société Provençale du Lit Fluidisé Circulant (SOPROLIF) a été le maître d'ouvrage de cette réalisation dont la maîtrise d'œuvre a été assurée conjointement par le CNET d'EDF et par CdF INGÉNIERIE. La chaudière a été fournie par la société Stein-Industrie sous licence Lurgi.

Mise en service industriel fin 1995, cette unité est équipée du LFC le plus puissant au monde.



LE GROUPE 4BIS LFC DE 125MW À LA CENTRALE EMILE HUCHET DE CARLING

Caractéristiques générales

Le cycle thermodynamique est imposé par la réutilisation de la salle des machines existante : 367 t/h de vapeur à 134 bars et 545°C sortie chaudière, avec resurchauffe à 540°C. Le combustible de dimensionnement est la pulpe de schlamms (33 % d'eau, 30% de cendres, 0,9 % de soufre, 2 500 kcal/kg PCI). En cas d'indisponibilité de l'installation de préparation de la pulpe, la chaudière peut aussi être alimentée en schlamms séchés à 8-10 % d'eau (4 850 kcal/kg PCI).

Concernant l'environnement, les émissions sont limitées à 330 mg/Nm³ pour le SO₂ (par injection de calcaire dans le foyer et maintien de la température à 850°C), à 300 mg/Nm³ pour le NO_x (grâce à la basse température de fonctionnement à la combustion étagée, avec réglage du rapport optimum air primaire/air secondaire) et à 50 mg/Nm³ pour les poussières en sortie du filtre à manches, toutes ces valeurs s'entendant pour des fumées sèches à 6 % d'O₂.

La chaudière

Elle comporte un foyer unique de taille record, puisque sa capacité est d'environ 320 MWh et qu'elle utilise un combustible de qualité médiocre. Il faut aussi remarquer que, du fait de l'humidité très élevée de la pulpe de schlamms, le débit de fumées est près de 20 % supérieur à celui que donnerait un combustible plus classique à 10 % d'eau par exemple.

Cette chaudière Stein Industrie comporte une particularité avec la présence des deux "échangeurs extérieurs" à lit fluidisé dense, placés dans le circuit de réinjection des solides retenus dans les cyclones. Par ajustement du débit de solides les traversant, ces échangeurs externes permettent la régulation de la température du foyer et le réglage de la température de la vapeur resurchauffée.

La station de préparation de pulpe

Les charbons utilisés pour la préparation de la pulpe proviennent d'anciens bassins de décantation. Ces produits très cendreux ont une humidité inférieure à 30 % et sont additionnés d'eau afin d'être transformés en une pulpe pompable à 33 % d'eau. Ils sont aussi mélangés avec des schlamms fraîchement produits dans les lavoirs pour améliorer la qualité et la régularité de leur pouvoir calorifique.

La pulpe préparée est transportée dans un carboduc jusqu'à des silos de stockage proches de la chaudière, dans laquelle elle est ensuite injectée au moyen de pompes à piston. (6 pompes)

La réalisation de la station de préparation de pulpe a tenu compte de la très grande finesse des schlamms, de leur contenu en argile ainsi que de leur humidité très variable, qui rend difficile la régulation du rapport eau-solide de la pulpe.



LE GROUPE 4 LFC 250 MWE DE LA CENTRALE DE PROVENCE

La chaufferie comporte :

- un foyer LFC à deux grilles de fluidisation,
- deux refroidisseurs de cendres,
- quatre cyclones refractorisés,
- une chaudière convective, 700 t/h pression 165 bars et 565°C sortie chaudière, avec resurchauffe à 565°C,
- quatre lits extérieurs.

La puissance totale est de 250 MWe en cycle simple (turbine à vapeur seule) et de 303 MWe en cycle mixte dont 38 MWe pour la turbine à combustion.

La réduction des émissions polluantes est de 95 % pour le SO₂ et 60 % pour les NO_x par rapport aux procédés de combustion traditionnels. Quant aux rejets de poussières, ils sont inférieurs à la limite de 50 mg/Nm³, imposée aujourd'hui aux installations les plus performantes.

Le combustible de base est le charbon à pouvoir calorifique faible (PCI sur brut = 3 500 kcal/kg), à haute teneur en soufre (4 %) et en cendres (35 % dont 57 % de chaux). Un autre combustible, le brai pétrolier (viscosité importante et haute teneur en soufre) est également utilisé en complément du charbon.

L'installation est mise en service depuis novembre 1995.

SNET

85, avenue Victor Hugo
92563 RUEIL-MALMAISON CEDEX
Tél. 33 1 47 52 39 98 - Fax 33 1 47 52 39 99

CDF INGENIERIE

85, avenue Victor Hugo
92563 RUEIL-MALMAISON CEDEX
Tél. 33 1 47 52 39 55 - Fax 33 1 47 52 39 33

