



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

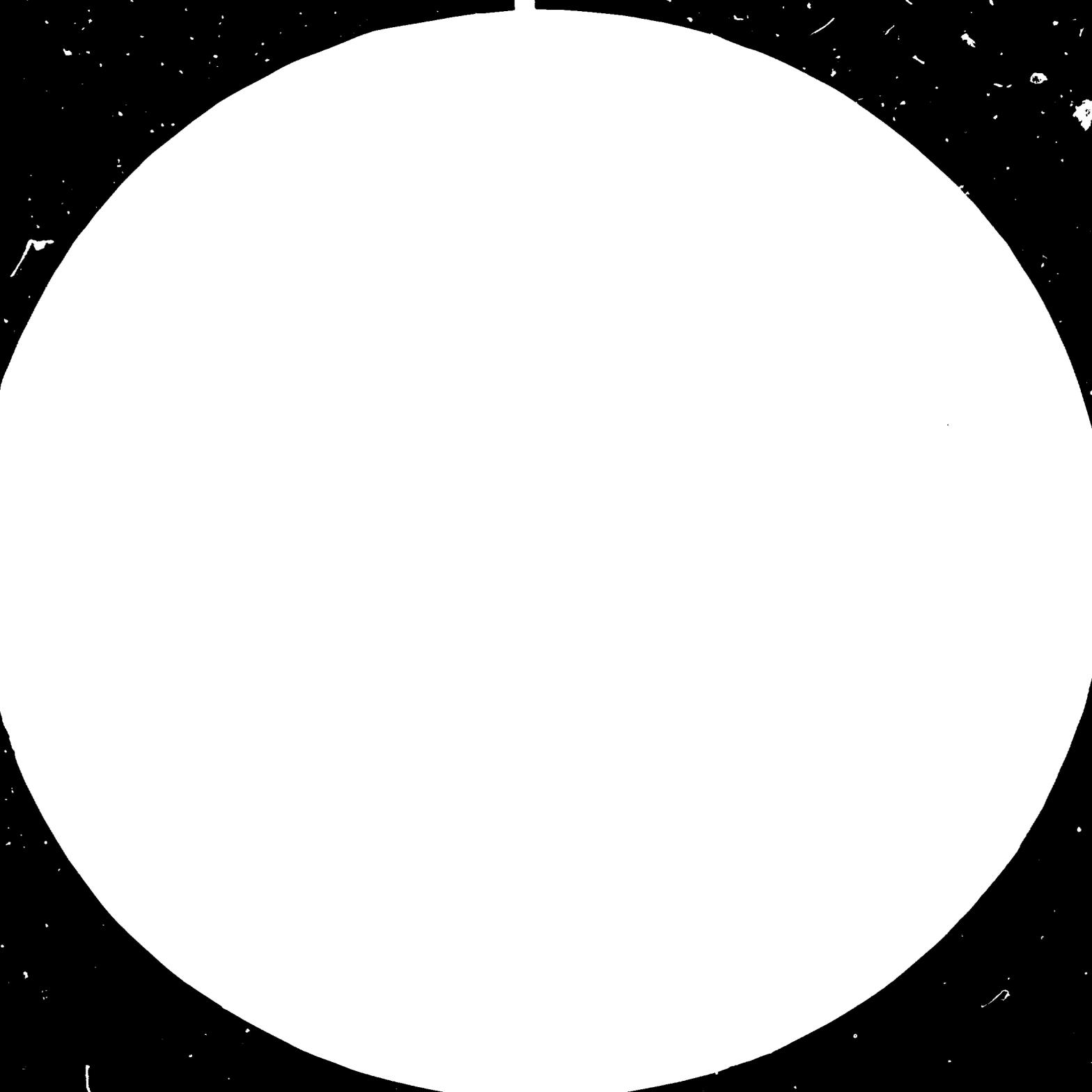
FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org





2.8



3.2



3.6

4.0



Microcopy Resolution Test Chart, NBS 1963-1968

U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE: 1968

→ P.C.-C.
for I. Lorenzo.

11608

LES DIFFERENTES FILLIERES ENERGETIQUES

DESCRIPTION ET CONDITIONS

COMMERCIALES D'ACCES

003977

J. C. TOURET

15.2.1982

PLAN-TYPE D'UNE FICHE

- I. DESCRIPTION DU PROCÉDE

- II. EQUIPEMENTS ET MISE EN OEUVRE

- III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

- IV. ACCES COMMERCIAL
 - A. PRINCIPAUX DETENTEURS

 - B. DEGRE DE PROTECTION

 - C. CONDITIONS D'ACCES

TABLES DES MATIERES

FILIERE :	CHARBON	1
FICHE :	EXTRACTION - PREPARATION DU CHARBON	27
FICHE :	GAZEIFICATION	27.
	SOUS FICHE : PRESENTATION DES PROCEDES	27.
	SOUS FICHE : PROCEDE LURGI	44.
FICHE :	GAZEIFICATION SOUTERRAINE DU CHARBON	49.
	SOUS FICHE : GAZEIFICATION SOUTERRAINE DU CHARBON A FAIBLE PROFONDEUR	49. 52.
	SOUS FICHE : GAZEIFICATION SOUTERRAINE DU CHARBON A GRANDE PROFONDEUR	52.
FILIERE :	PETROLE-GAZ	56.
FICHE :	EXPLORATION ONSHORE	56.
FICHE :	RECUPERATION ASSISTEE	59.
	SOUS FICHE : PRESENTATION DES PROCEDES	59.
	SOUS FICHE : PROCEDES THERMIQUES	61.
	SOUS FICHE : PROCEDES CHIMIQUES	68.
	SOUS FICHE : PROCEDES MISCIBLES	71.
FICHE :	OFFSHORE	76.
	SOUS FICHE : SUPPORTS DE FORAGE	76.
	SOUS FICHE : PLATEFORMES DE PRODUCTION	87.
	SOUS FICHE : MATERIEL DE FORAGE	98.
	SOUS FICHE : GEOPHYSIQUE	105.
	SOUS FICHE : ACTIVITE DE FORAGE	111.
	SOUS FICHE : INTERVENTION SOUS MARINES	119.
	SOUS FICHE : INSTALLATIONS EN MER DES STRUCTURES-POSE DE PIPES	123

FICHE :	UNITE DE LIQUEFACTION	126.
FICHE :	COMPRESSEURS	139.
FILIERE :	ELECTRICITE	143.
FICHE :	CENTRALE NUCLEAIRE	143.
FICHE :	CENTRALES THERMIQUES CLASSIQUES	157.
FICHE :	TURBINES A VAPEUR	164.
FICHE :	TURBINES A GAZ	167.
FICHE :	GENERATEURS DE VAPEUR	175.
FICHE :	CENTRALES HYDRAULIQUES (TURBINES HYDRAULIQUES)	180.
FICHE :	MINICENTRALES HYDRAULIQUES	186.
FILIERE :	ENERGIE SOLAIRE	192.
FICHE :	TRANSFORMATION THERMOCHIMIQUE	192.
	SOUS FICHE : COMBUSTION	192.
	SOUS FICHE : PYROLYSE ET GAZEIFICATION	195.
FICHE :	TRANSFORMATION BIOCHIMIQUE	201.
	SOUS FICHE : ETHANOL	201.
	SOUS FICHE : CONVERSION BIO-GAZ	204.
FICHE :	CAPTEURS PHYSIQUES	209.
	SOUS FICHE : CAPTEURS PLANS	209.
	SOUS FICHE : CAPTEURS PHOTOVOLTAIQUES	214.
	SOUS FICHE : CENTRALES SOLAIRES DE PUISSANCE	223.
FICHE :	EOLIENNES ET AEROGENERATEURS	232.

FICHES

FILIERE - CHARBON

FICHE : EXTRACTION - PREPARATION DU CHARBON

I. DESCRIPTION

A) METHODE DE DECOUPAGE PAR LONGUE TAILLE (voir figure 1)

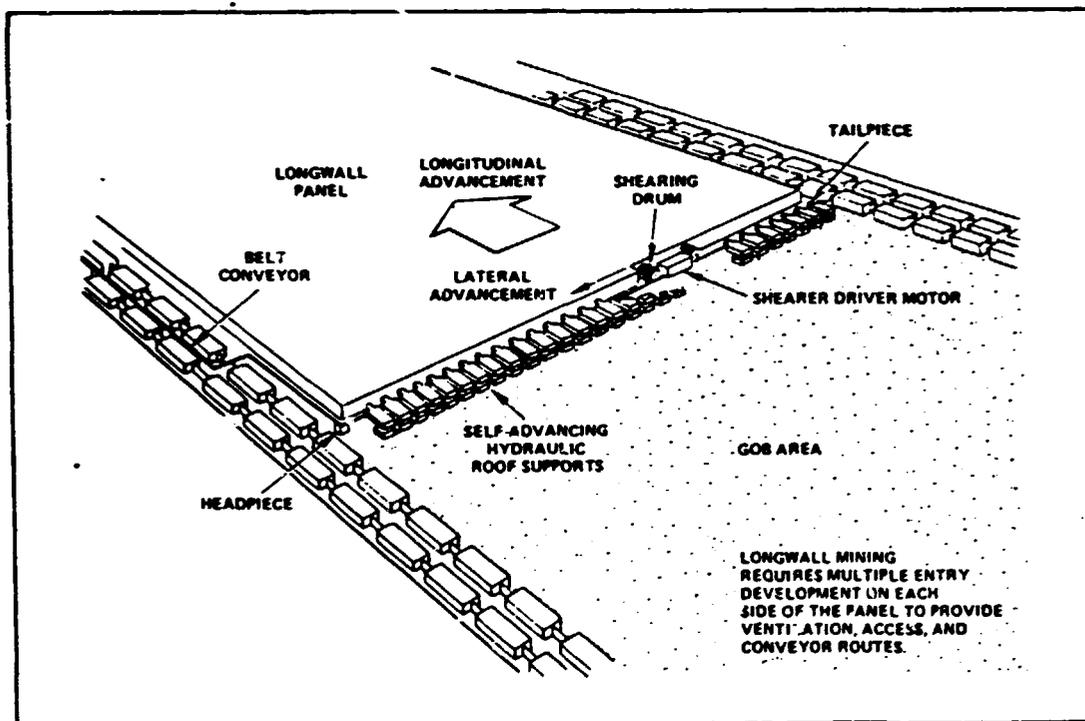
On peut définir la 'longue taille' comme une galerie ou un front d'une longueur de 100 à 250 mètres et parfois plus, qui progresse parallèlement à lui-même dans la veine entre deux galeries ou "voies". Une machine d'abattage en se déplaçant le long de ce front de taille arrache le charbon qui est évacué vers la voie inférieure par un convoyeur blindé à raclettes. Un soutènement protège le chantier des éboulements.

Ce type d'exploitation est le plus utilisé en URSS, Pologne, Grande Bretagne, Allemagne, etc...

Les matériels principaux nécessaires à l'exploitation concernent :

- l'abattage
- le transport du charbon dans le chantier
- le soutènement

FIGURE 1 : EXPLOITATION PAR LONGUE TAILLE



B) METHODE DE DECOUPAGE PAR CHAMBRES ET PILIERS (voir figure 2)

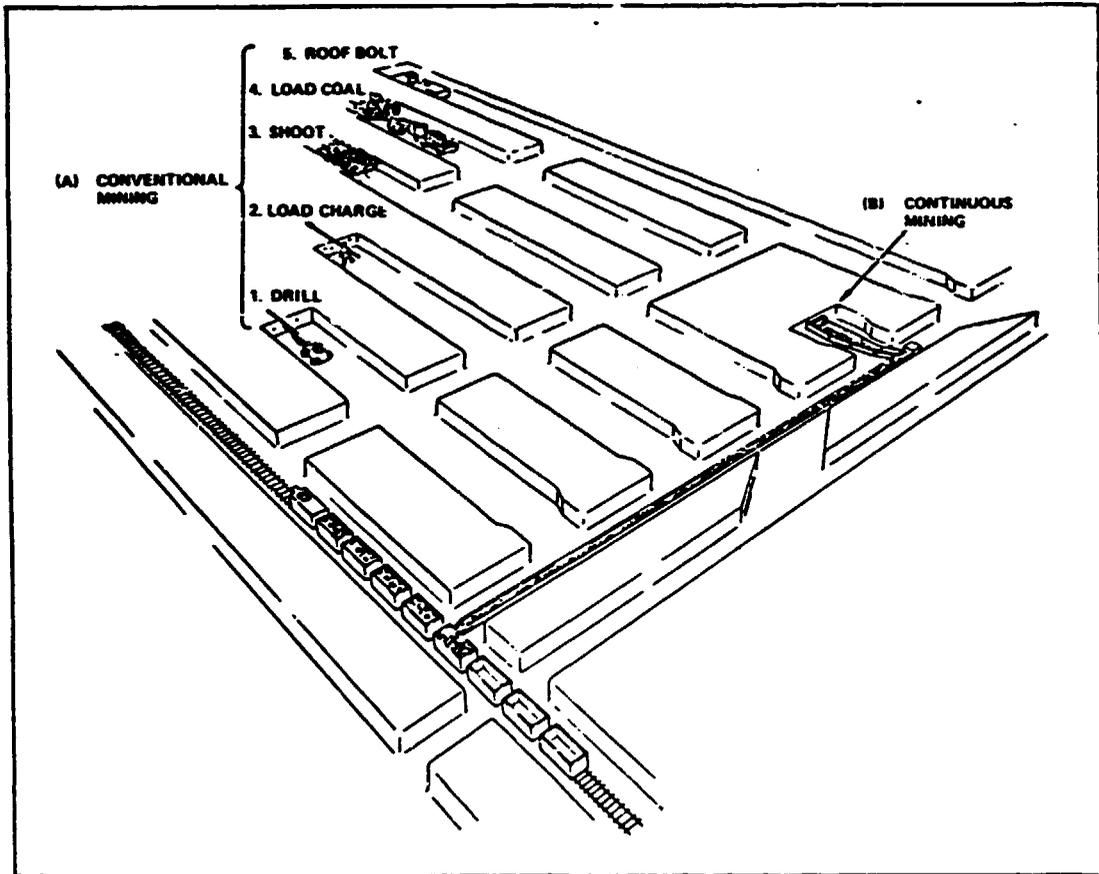
Dans cette méthode, le charbon provient du creusement de galeries parallèles dans la veine, ou chambres, découplant le massif de charbon en quadrilatères appelés piliers. La largeur des chambres et des piliers est fonction de la qualité du toit, de la profondeur et de la dureté du charbon et de son épaisseur. Une fois les chambres creusées dans un secteur, on conduit une exploitation en rabattant, visant à récupérer les piliers, le pourcentage de cette récupération dépendant essentiellement de la qualité des terrains.

Ce mode d'exploitation est le plus répandu aux Etats-Unis (97% de l'extraction au fond) et dans les pays à gisement peu profond -- jusqu'à 200 à 300 mètres - réguliers et à très bonne qualité de toit : Afrique du Sud, Australie, Canada.

Une étape importante a été franchie avec la mécanisation et en particulier l'extraction en continu qui a permis de porter le rendement à 15.6 tonnes par homme -- jour au début des années 1970 (Etats Unis).

La productivité a, depuis, chuté de près de moitié (prise en compte des nouveaux règlements de sécurité).

FIGURE 2 : EXPLOITATION PAR CHAMBRES ET FILIERS



C) CREUSEMENT DES GALERIES

Le creusement des galeries, préalable à l'abattage du charbon, occupe une part importante de l'activité des chantiers miniers.

La méthode conventionnelle de creusement des galeries, qu'elles soient des tunnels, des ouvrages de travaux publics ou des galeries de mines, consiste à forcer le front, l'abattre à l'explosif sur une certaine profondeur, charger les produits abattus et placer un soutènement. C'est la méthode utilisée le plus généralement mais qui tend à être supplantée par le creusement mécanique.

D) TRANSPORT DU CHARBON OU DEBLOCAGE

Le choix d'une technique de déblocage dépend de la surface exploitée, de la géométrie du gisement, de l'alignement du puit, du nombre de points de production, etc, Dans certaines installations, le déblocage se fait entièrement par convoyeurs à bande du chantier jusqu'au puit. Dans d'autres, des points de chargement de Wagonnets ou "berlines" sont aménagés.

Pour la remontée au jour du charbon, si elle ne se fait pas par plans à convoyeurs comme c'est souvent le cas dans les mines peu profondes, on choisit la technique des skips capables de faire remonter en vrac plusieurs dizaines de tonnes de produit. La vitesse, le débit et l'automatisation des installations, sont en voie constante d'amélioration.

E) PREPARATION DU CHARBON

La préparation est l'opération qui permet de produire un charbon adapté après différents usages. Elle comprend généralement quatre phases ;

- concassage, broyage, pulvérisation
- tri par classe de taille
- nettoyage
- séchage

- Les deux premières phases correspondent à des opérations qui, techniquement, sont stabilisées depuis plusieurs décennies.

- Le nettoyage consiste à séparer le charbon des matières étrangères (argile, shistes, pyrites, ...). Les procédés se partagent entre :

. procédés de séparation mécanique, généralement par voie humide, utilisant la différence de gravité entre le charbon et les autres matières.

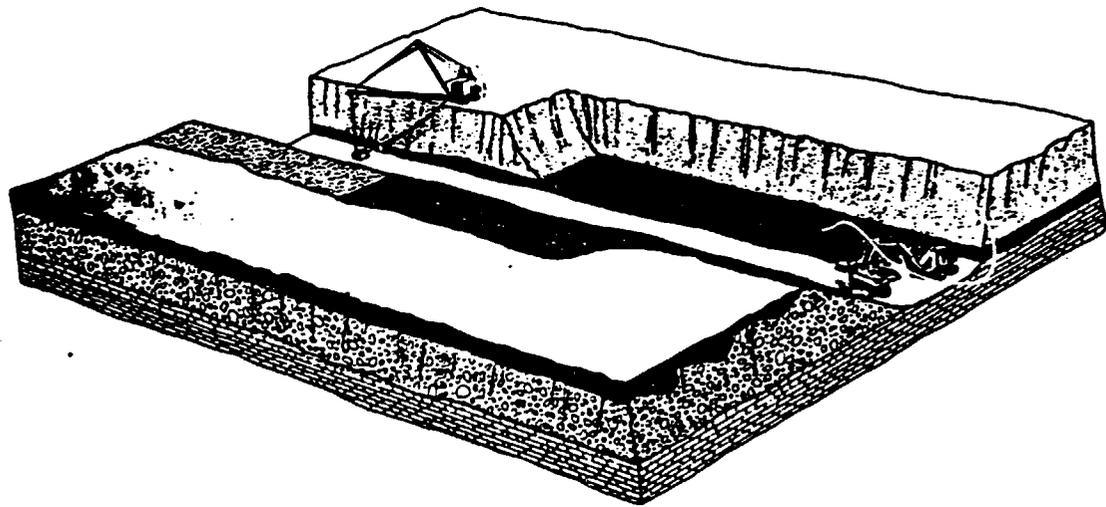
. procédés de désulfuration pour lesquels on observe, notamment aux Etats-Unis d'importants développements.

- le séchage est nécessaire au sortie de la mine ou après transport du charbon par pipe. Le procédé utilisé depend de la taille du charbon. Pour des dimensions de l'ordre du centimètre on opère par tamis vibrant ou centrifugation pour des dimensions plus faibles.

F) EXPLOITATION A CIEL OUVERT (voir figure 3)

L'exploitation a ciel ouvert s'apparente a une succession de travaux de terrassement. La couche de stériles en surface est dégagée généralement par foration et tir à l'explosif et le charbon est transporté par rail, camion ou convoyeurs a bandes. Lorsque la couche est epaisse, on a des exploitation tres mécanisées par excavateurs géants donnant des concentrations et des productivités élevées.

FIGURE 3 : EXPLOITATION A CIEL OUVERT



II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENT

A) ABATTAGE

Les équipements principaux utilisés pour l'abattage sont :

- le rabot, utilisé essentiellement dans les veines minces régulières à charbon tendre et dans celles où le charbon de front s'écaille facilement.

- la haveuse à tambour, née avant 1960, et qui a connu un développement très rapide, étendant son domaine d'application.

La tendance actuelle n'est pas axée sur le développement du rabot mais sur celui de la haveuse. Le but poursuivi est d'accroître la vitesse de havage instantanée et commerciale. On projette des machines à 2 tambours mûs par deux moteurs électriques de 300 KW. Le réglage de la gîte dans l'horizon de la couche par capteurs et électronique est à l'étude; la télécommande par radio se développe permettant d'augmenter la vitesse de machines et d'accroître en même temps la sécurité des conducteurs.

2. CHAMBRES ET PILIERS

Les équipements principaux sont les suivants :

- machines de creusement ou mineurs continus
- machines de forage des trous au toit
- chargeuses à godets diésels sur pneus
- réseaux de convoyeurs à bandes télécommandés situés derrière les mineurs continus.

L'amélioration des techniques consiste à accroître la robustesse des machines, à les télécommander et à les rendre encore plus fiables pour que, durant le poste de travail, leur temps de marche soit le plus long possible et les durées d'intervention pour l'entretien, les révisions ou les réparations soient les plus courtes possibles.

B) CRÉUSEMENT DES GALERIES

Les méthodes conventionnelles par foration et tir sont remplacées, petit à petit par des machines à attaque ponctuelle qui commencent à faire leur apparition dans les chantiers à terrains relativement tendre. Les progrès qu'accompliront ces machines dans l'abattage des roches dures et abrasives conditionnent la modernisation des creusements.

Le creusement des voies entièrement au rocher est le plus souvent réalisé par les méthodes conventionnelles avec foration au jumbo, tir à l'explosif, chargement des produits avec des chargeuses de plus en plus puissantes.

Pour le soutènement, deux procédés sont employés :

- le remblayage pneumatique ou hydraulique destiné à remplir le vide créé par le départ du charbon par des stériles ou du sable en provenance de la surface.

- le foudroyage, de loin le plus répandu, où, les terres viennent occuper les vides à l'arrière du soutènement.

Pour le soutènement proprement dit, on en est maintenant à la généralisation du soutènement marchant dans lequel de puissants étançons hydrauliques sont rendus solidaires. Un appareillage hydraulique à haute pression - 300 à 500 bars - permet d'obtenir un serrage vigoureux du chapeau contre le toit.

D) TRANSPORT DE CHARBON SUR LE CHANTIER

Les équipements principaux pour le transport du charbon sont :

- les convoyeurs à bandes
- les berlines

Actuellement, on commence à utiliser des convoyeurs à bande de 1,60 m de large se déplaçant à 5.5 m/sec, capables de transporter 60,000 tonnes brutes par jour.

Des installations de commande par ordinateur du transport du charbon par convoyeur à bande et silos sont projetées et déjà à l'essai dans certain pays, ce qui permet un contrôle automatique du déblocage et une présentation visuelle au jour sur écran de télévision.

Pour le chargement par berlines, on tend également vers l'automatisation complète et l'augmentation de la capacité des berlines (12 m^3).

E) EXPLOITATION A CIEL OUVERT

Sur terrain relativement plat, on utilise comme équipements principaux :

- . des draglines
- . des pelles à godet

Les draglines atteignent a présent des capacités de 60 m³ et des flèches de près de 100 mètres.

Sur terrain mouvementé, les équipements utilisés sont, selon le terrain, une combinaison de :

- pelles a godet
- . bulldozers
- . scrapers ou
- . draglines

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

A) MISE EN ŒUVRE ET FABRICATION

Les méthodes d'extraction et de traitement du charbon peuvent être très diverses d'un pays à un autre. Le degré de mécanisation varie selon les conditions économiques locales (coût de la main d'oeuvre), les conditions réglementaires : environnement, hygiène, sécurité, les difficultés propres au gisement, Les technologies utilisées dans les PVD sont généralement moins évoluées que celles utilisées dans les pays développés où la contrainte sociale pousse en particulier à automatiser les postes de travail les plus exposés au danger de la mine et à accroître la productivité des équipements pour compenser l'augmentation de la charge salariale.

Pour cette raison, les équipements et les qualifications requises pour les concevoir et les fabriquer, peuvent être très différents selon que l'on se réfère, par exemple, à des méthodes d'abattage manuel ou très fortement mécanisées.

Les équipements utilisés dans les pays développés exigent les qualifications traditionnelles correspondant à la construction de pièces et d'équipements de grosse et moyenne mécanique :

- ingénieurs mécaniciens et electriciens
- techniciens
- ouvriers spécialisés

Les formations de base sont très largement accessibles au travers des différentes filières de l'enseignement technique. La spécialisation est affaire d'expérience et s'acquiert sur le tas chez les constructeurs d'équipement minier.

B) EXPLOITATION

1. OUVRIERS ET TECHNICIENS

Les qualifications correspondant au travail d'extraction et de traitement du charbon sont très spécifiques et généralement dispensées par les sociétés d'exploitation minières elles-mêmes ou dans des établissements de formation qui leur sont rattachés.

- Le personnel d'exploitation se forme sur le tas aux différentes techniques minières :

- . stage d'adaptation à l'environnement minier
- . apprentissage sur chantier expérimental ou mine-école

- Le personnel des services d'entretien au fond est composé d'ouvriers et techniciens disposant d'une bonne formation de mécanique et d'électricité.

- Les mines à ciel ouvert requièrent des qualifications très différentes de celles qu'exige l'exploitation au fond. L'exploitation de mines au jour se rapproche, de l'exploitation de carrières. Les qualifications requises sont celles, principalement, de :

- conducteurs d'engins
- agents de maintenance

2. ENCADREMENT

L'exploitation minière exige un personnel d'encadrement correspondant à des qualifications très diverses :

- Ingénieurs des mines
- Ingénieurs des travaux publics
- Zoologues
- Chimistes
- Environnementalistes
- Personnels de santé et de sécurité
- Chefs de travaux
- Contremaîtres

Tous ces personnels doivent recevoir une formation spécifique adaptée à l'environnement et au travail de la mine.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Le secteur de l'équipement minier est complexe et dispersé entre un grand nombre de firmes, qui, pour la plupart sont issues ou originaires des grands pays miniers : Etats-Unis, Allemagne Federale, Royaume-Uni principalement. Certaines firmes sont spécialisées sur un seul type de matériel ou d'équipement tandis que d'autres proposent des lignes complètes correspondant à un mode d'extraction ou de traitement du charbon.

Les équipements concernés relèvent de la grosse et moyenne mécanique et demandent, pour leur fabrication, la mise en oeuvre des technologies classiques de mise en forme et d'assemblage :

- Fonderie
- Forge
- Usinage
- Mécanosoudure

L'hydraulique, comme mode de transmission des puissances, joue un rôle essentiel dans la conception et la mise en oeuvre de ces équipements. Une bonne maîtrise des technologies de l'hydraulique et des transmissions de puissance est donc indispensable pour tenir rang sur ce marché.

Mais, pour l'essentiel la maîtrise des équipements miniers repose sur un savoir faire accumulé des techniques mises en oeuvre dans l'exploitation et le

traitement du minerai, et sur l'intégration, par le constructeur, des contraintes de productivité, de fiabilité, et de sécurité.

L'image de marque du constructeur s'associe au caractère éprouvé des techniques et des équipements qu'il propose, ce qui rend difficile l'accès de ce marché à des sociétés ne disposant pas de très larges références dans le domaine minier. Les principaux constructeurs d'équipement minier sont :

- EICKHOFF (RFA)
- ANDERSON (US)
- JEFFREY (US)
- WESTFALIA (RFA)
- MARION POWER (US)
- SALZGITTER (RFA)
- SAGEM (FR)
- FRIDERICH (RFA)

dans le forage, le creusement et le soutènement :

- VOEST ALPINE (AUT)
- INGERSOLL RAND (USA)
- ATLAS COPCO (USA)
- DOWTY (UK)
- TAMPLA (Suede)
- MONTABERT (FR)

dans le transport et le traitement du charbon :

- ROBERT SCHAEFFER (RFA)
- MANNESMAN DEMAG (RFA)
- LONG AIRDOX (USA)
- MAN (RFA)
- INTEGRATED HANDLING (UK)
- MITSUBISHI (JAP)
- PROGOINVEST (RDA)

dans les matériels d'exploitation à ciel ouvert :

- CATERPILLAR (USA)
- WABCO (USA)
- KOMATSU (JAP)
- KUBOTA (JAP)
- BUCKAU-WALTHER (RFA)

B) DEGRE DE PROTECTION

Les sociétés citées couvrent le développement de nouveaux équipements par des brevets. La meilleure protection reste cependant pour eux le savoir faire intégré à l'équipement, produit de l'expérience acquise à une échelle internationale dans des conditions d'exploitation de leur matériel très variées :

- connaissance des méthodes d'exploitation et de leur évolution,
- capacité de mise en oeuvre, à leurs limites, des techniques de base de la construction mécanique et en particulier l'hydraulique de puissance.

A ces considérations techniques s'ajoutent, en terme de protection, la position commerciale acquise et le bénéfice, en terme d'économie d'échelle, qu'apporte l'accès à un marché étendu.

C) CONDITIONS D'ACCES

1. CONDITIONS PREALABLES

L'accès aux technologies minières pour un pays en voie de développement qui dispose de ressources charbonnières, suppose, au préalable, l'existence d'un tissu d'entreprises possédant le potentiel humain et les moyens techniques correspondant à des fabrications de moyenne et grosse mécanique :

- personnel qualifié en bureau d'étude (ingénieurs, techniciens)
- ouvriers professionnels
- moyens d'usinage lourds
- matériels de manutention adaptés
- moyens de traitement thermique

2. TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

L'intégration de la technologie peut être progressive et passer par les phases suivantes :

a) sous traitance à des entreprises locales, avec éventuellement complément de leurs moyens, d'une partie des fabrications des équipements destinés à l'exploitation minière et charbonnière dans le pays.

b) achat de licences par les entreprises locales. Les licences incluent généralement :

- . la cession des plans et du savoir faire de mise en oeuvre correspondant au processus de fabrication

- . la formation ou la mise à disposition de personnel qualifié.

En échange, le bailleur de licence peut, selon le cas :

- . limiter le champ commercial de la firme qui a acquis la licence (cas général)

- . se réserver la fourniture des constituants 'nobles'

La rémunération du bailleur peut prendre la forme :

- d'un contrat d'assistance technique signé avec le gouvernement local, la société locale d'exploitation de la ressource charbonnière ou l'équipementier du pays d'accueil.

- d'un contrat de fourniture :

. fourniture des constituants 'nobles' du matériel considéré

. fourniture d'une ligne d'équipements complémentaires

- d'un montant de redevances attaché à la production de l'équipement (de l'ordre de 3 à 5% du chiffre d'affaire réalisé pour quelques cas connus).

C) LA CONSTRUCTION D'EQUIPEMENTS

Conçus à partir d'une technologie propre. L'acquisition progressive des sciences peut conduire à un certain degré d'autonomie pour des matériels de plus en plus complexes. C'est le cas pour l'Inde qui est capable de concevoir, dès à présent, un grand nombre d'équipements pour les mines souterraines, et qui est en train de conquérir son autonomie pour les équipements de mines à ciel ouvert.

FILIERE : CHARBON
FABRIQUE : GAZEIFICATION
SOUS FICHE : PRESENTATION DES PROCEDES

I. DESCRIPTION

La figure 4 donne le schéma d'ensemble des différentes opérations de conversion du charbon conduisant à du gaz ou du liquide. Les quatre étapes réactionnelles mises en jeu sont :

- l'oxyvapo-gazéification
- la méthanisation
- l'hydrogazéification

La première étape conduit à un gaz à faible ou moyen pouvoir calorifique.

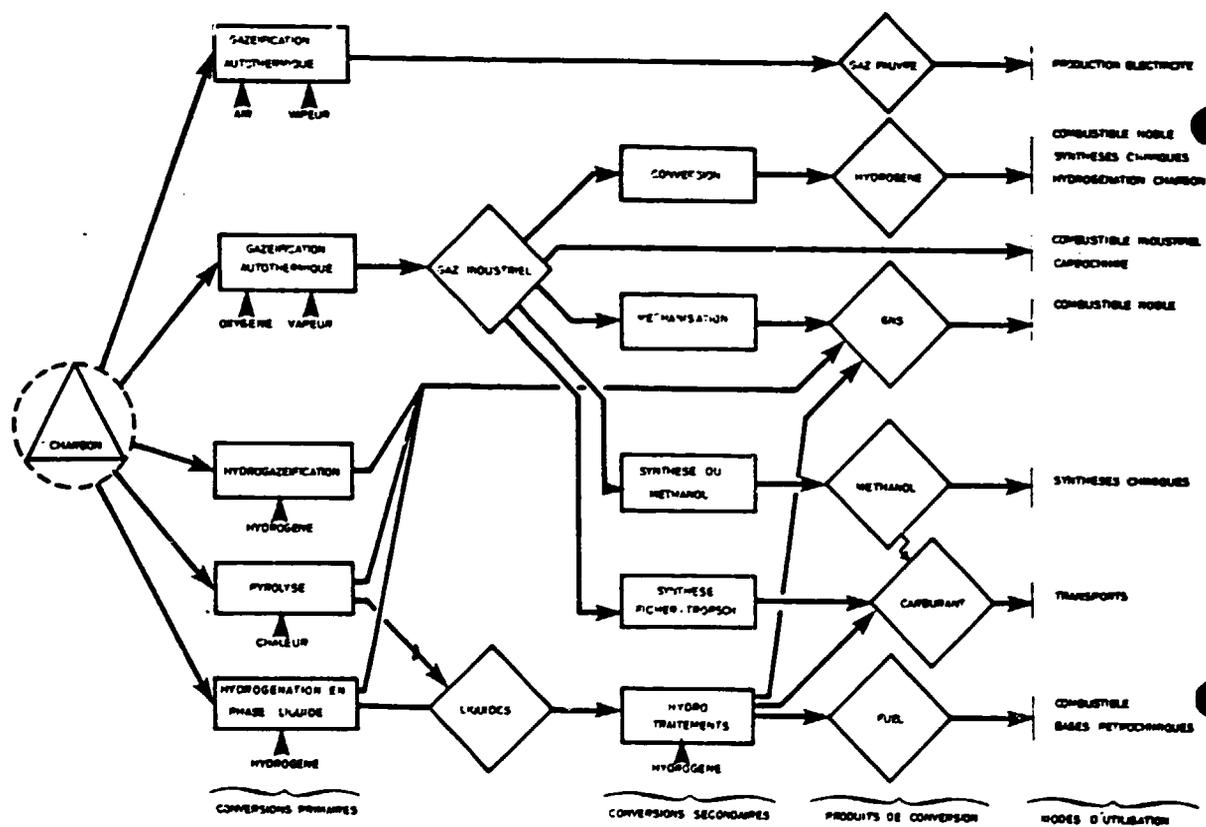
La méthanisation est indispensable si l'on veut produire un gaz substituable au gaz naturel, à fort pouvoir calorifique (GNS).

L'hydrogénation, qui peut se pratiquer en phase liquide, en présence d'un solvant, débouche sur des produits gazeux et liquides

Les activités déployées en matière de gazéification concernent :

- la conversion du charbon uniquement en gaz

FIGURE 4 : OPERATIONS DE CONVERSION PRIMAIRE DU CHARBON ET DE CONVERSIONS SECONDAIRES DES PRODUITS



- la méthanisation du gaz pour production de gaz
substituable au gaz naturel

- la conversion du charbon en gaz et liquides (pétrole
synthétique)

La figure 5 décrit un schéma type d'installation de gazeification.

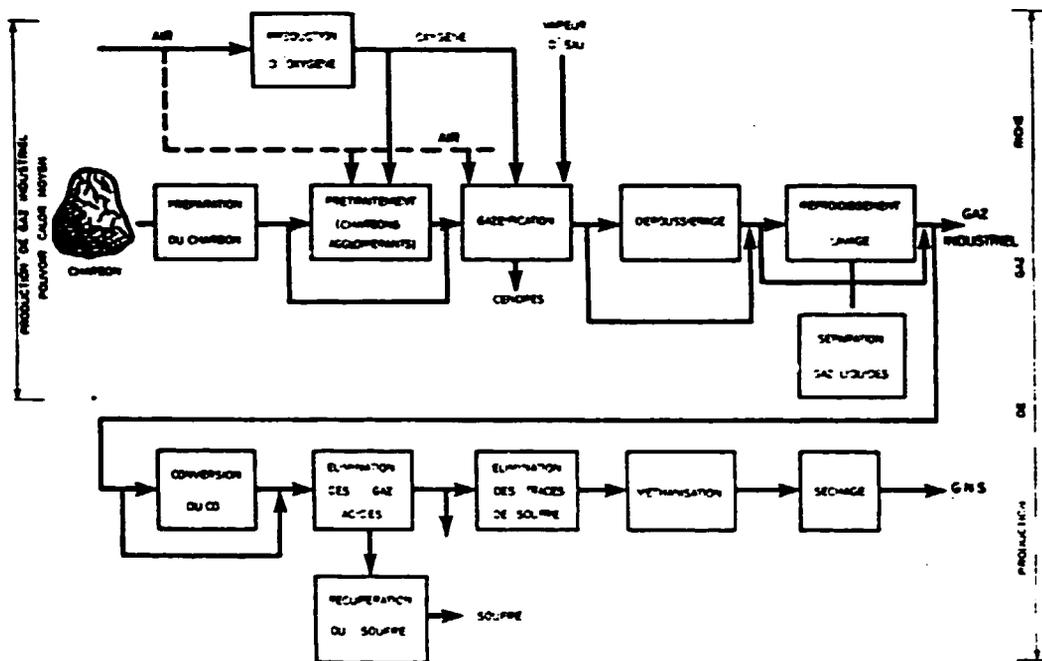
II. MISE EN ŒUVRE

A. CONVERSION DU CHARBON EXCLUSIVEMENT EN GAZ

Actuellement, trois procédés sont éprouvés à l'échelle industrielle pour la production, à partir de charbon, de gaz industriel à pouvoir calorifique moyen. Il s'agit des procédés :

- LURGI
- KOPPERS
- WINKLER

FIGURE 5 : GAZEIFICATION DU CHARBON. SCHEMA DE PRINCIPE D'INSTALLATION



Les schémas des différentes conceptions sont indiquées - figure 6.

A ces trois procédés s'ajoute celui développé par :

- TEXACO

industriellement éprouvé pour la production de gaz industriel à partir de produits pétroliers lourds et en voie de l'être à partir de charbon.

De nombreuses activités sont déployées sur la gazéification du charbon pour susciter une deuxième génération de procédés dont il est rendu compte au Tableau III - 1. Aucun de ces procédés pilotes n'a, cependant, à ce jour, débouché sur des succès majeurs malgré les aides massives apportés dans les différents pays concernés.

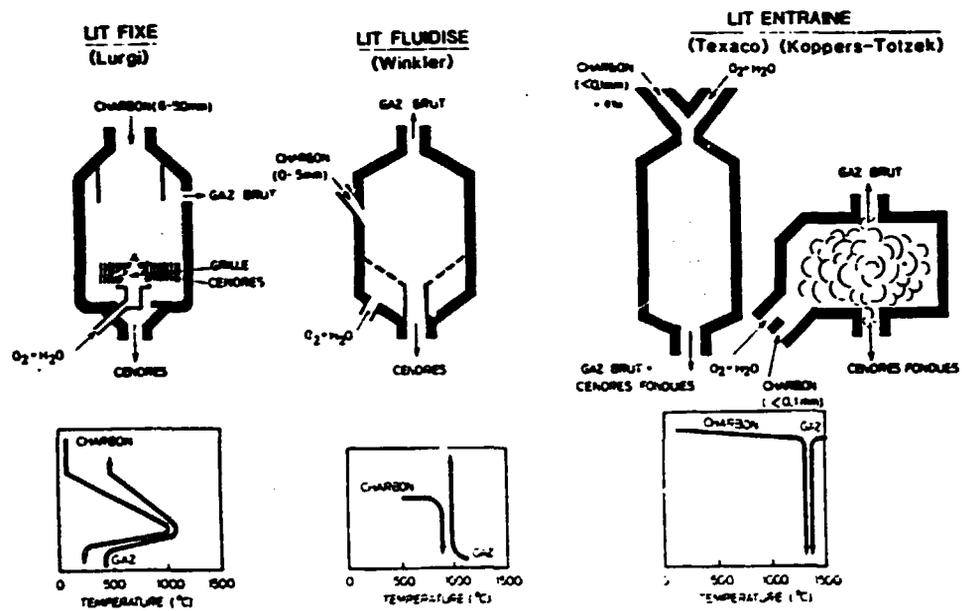
D'autres procédés sont à l'étude pour une hydrogénation orientée directement vers le GNS (tableau III - 2).

B. METHANISATION DU GAZ

Les procédés de gazéification du charbon expérimentés ou en cours d'essai ne conduisent pas à un gaz interchangeable avec le gaz naturel car leur teneur en méthane est trop faible.

Les procédés en cours d'étude sur la méthanisation sont indiqués au tableau III - 3.

FIGURE 6 : GAZEIFICATION DU CHARBON. DIFFERENTES CONCEPTIONS DU REACTEUR



Seuls les procédés LURGI et CONOCO sont, à ce jour, opérationnels bien qu'aucune unité de grande taille n'ait été encore construite. Une inconnue subsiste donc.

C. CONVERSION DU CHARBON EN GAZ ET LIQUIDE

La principale motivation de cette conversion est l'espoir de créer une industrie de "pétrole synthétique" issue du charbon; projets SYNCRUDE ou SYNFUEL.

La plupart des procédés en cours d'étude mettent en jeu, à des titres divers, l'hydrogénation directe ou indirecte du charbon en produits liquides intermédiaires.

Les procédés peuvent se classer en :

- procédés de liquéfaction par conversion indirecte :

tableau III - 4

- procédés de liquéfaction par conversion directe :

tableau III - 5.

Le procédé FIDUCER TROPSCH est le seul véritablement opérationnel.

Parmi les procédés au stade de développement, les plus prometteurs sont :

- H-COAL
- SOLVENT REFINED
- EXXON DONOR SOLVENT

TABLEAU III - 1

PROCEDES D'OXYVAPOGAZEIFICATION AUTOTHERMIQUE
ORIENTES VERS LES GAZ INDUSTRIELS ET LES GNS (1)

PROCEDE		CARACTERISTIQUES		ETAT DE DEVELOPPEMENT
DESIGNE PAR	ETUDIE PAR	PROCESS	GAZ	
LURGI (RFA)	BASF GMBH (RFA)	LIT FIXE	25 A 30 BARS (10% METHANE) POUVOIR CALOR- IFIQUE MOYEN	OPERATIONNEL. UNE QUINZAINES D'INSTALLATIONS DANS LE MONDE) 900T/J
LURGI-PHUR 100 (RFA)	LURGI (RFA) RUFURGAS (RFA) RUFURKOHLE (RFA)	LIT FIXE	100 BARS	INSTALLATION PILOTE
BRITISH GAS-LURGI (RFA, RU, RU)	BRITISH GAS (R.U) LURGI (RFA) CONOCO (EU)	LIT FIXE ET FUSION DE CENDRES	250 BARS	INSTALLATION PILOTE 250 T/J
KOPPERS TOTZEK (RFA)	KOPPERS TOTZEK (RFA)	COURANT FLUIDE	PRESSION ATMOSPHERIQUE	OPERATIONNEL PRINCIPALEMENT UTILISE POUR LA FABRICATION DE GAZ DE SYNTHESE POUR LA PRODUCTION D'AMMONIAC 550 T/J
SHELL KRUPP KOPPERS (HOLL.-RFA)	SHELL (HOLL) KOPPERS (RFA)	COURANT FLUIDE	40 BARS	STATION D'ESSAI - USINE PILOTE 150 T/J

(1) GNS : GAZ substituabile au gaz naturel

TABLEAU III - 1 (suite)

PROCEDES D'OXYVAPOGAZEIFICATION AUTOTHERMIQUE
ORIENTES VERS LES GAZ INDUSTRIELS ET LES GMS

PROCEDE		CARACTERISTIQUES		ETAT DE DEVELOPPEMENT
DESIGNE PAR	ETUDIE PAR	PROCESS	GAZ	
WINKLER (RFA)	WINKLER (RFA)	LIT FLUIDISE	PRESION ATMOSPHERIQUE	OPERATIONNEL. 200 T/J
	DAVY POWERGAS (US) PHILIPS PETROLEUM (US)	LIT FLUIDISE	15 BARS	INSTALLATION PILOTE 3 T/HEURE
	THEINISCHE BRAUNKOHLENWERKE (RFA)	LIT FLUIDISE	10 BARS	INSTALLATION PILOTE 24 T/JOUR
COGAS	COAL GAZIFICATION GROUP (EU)	LIT FLUIDISE	NA	INSTALLATION PILOTE 36T/JOUR
HYGAS (EU)	INSTITUTE OF GAS TECHNOLOGY (EU)	LIT FLUIDISE	70 BARS	INSTALLATION PILOTE (1972) 75T/JOUR
TEXACO (EU)	TEXACO INC. (EU)	COURANT FLUIDE	15 - 90 BARS	INSTALLATION PILOTE (1978) 15T/JOUR

TABLEAU III - 1 (suite)

PROCEDES D'OXYVAPOGAZEIFICATION AUTOINTERMIQUE
 ORIENTES VERS LES GAZ INDUSTRIELS ET LES GNS (suite)

PROCEDE		CARACTERISTIQUES		ETAT DE DEVELOPPEMENT
DESIGNE PAR	ETUDIE PAR	PROCESS	GAZ	
SYNTIANE (EU)	BUREAU OF MINES (EU)	LIT FLUIDISE	70 BARS	INSTALLATION PILOTE (1976) 70 T/JOUR
BI-GAS (EU)	BITUMINOUS COAL RESEARCH (EU)	COURANT FLUIDE FUSION DE CENDRES	70 BARS	INSTALLATION PILOTE (1977) 120 T/J
SAARBERG-OTTO (PFA)		LIT EN FUSION	25 BARS	INSTALLATION PILOTE 260 T/JOUR
EXXON CATALYTIC PROCESS (EU)	EXXON	LIT FLUIDISE	70 BARS	INSTALLATION DE CARBONATION 10 KG/HEURE

TABLEAU III - 1 (suite)

PROCEDES D'OXYVAPO GAZEIFICATION AUTOTHERMIQUE
ORIENTES VERS LES GAZ INDUSTRIELS

PROCEDE		CARACTERISTIQUES		ETAT DE DEVELOPPEMENT
DESIGNE PAR	ETUDIE PAR	PROCESS	GAZ	
BARCOCK & WILCOX (EU)	BARCOCK & WILCOX (EU)	COURANT FLUIDE ET FUSION DE CENDRES	1 A 20 BARS	USINE PILOTE
BITUMINOUS COAL RESEARCH (EU)	BITUMINOUS COAL RESEARCH (EU)	COURANT FLUIDE	16 BARS BAS POUVOIR CALORIFIQUE	INSTALLATION DE DEMONSTRATION PREVUE
COMBUSTION ENGINEERING (EU)	COMBUSTION ENGINEERING (EU)	COURANT FLUIDE		INSTALLATION PILOTE PREVUE 5 T/HEURE
DOE (EU)	DEPARTMENT OF ENERGY- (EU)	LIT FIXE	20 BARS BAS POUVOIR CALORIFIQUE	INSTALLATION DE DEMONSTRATION 20T/HEURE
FOSTER-WHEELER (EU)	FOSTER-WHEELER (EU)	COURANT FLUIDE FUSION DE CENDRE	20 BARS BAS POUVOIR CALORIFIQUE	INSTALLATION PILOTE EN PROJET 500 T/JOUR

TABLEAU III - 1 (suite)

PROCEDES D'OXYVAPO GAZEIFICATION AUTOTHERMIQUE
 ORIENTES VERS LES GAZ INDUSTRIELS
 (suite)

PROCEDE		CARACTERISTIQUES		ETAT DE DEVELOPPEMENT
DESIGNE PAR	ETUDIE PAR	PROCESS	GAZ	
GENERAL ELECTRIC (EU)	GENEREI. ELECTRIC (EU)	LIT FIXE	14 BARS	INSTALLATION PILOTE 0.75 T/H
ROCKGAS-ATOMIC INTERNATIONAL (EU)	ROCKGAS-ATOMIC INTERNATIONAL (EU)	LIT FIXE BAIN DE CARBONATE DE SOUDRE	20 BARS BAS POUVOIR CALORIFIQUE	INSTALLATION PILOTE A L'ETUDE 5T/H
U-CAS (EU)	INSTITUTE OF CAS TECHNOLOGY (EU)	LIT FLUIDISE	24 BARS BAS POUVOIR CALORIFIQUE	INSTALLATION D'ESSAI
VEN (RFA)	VEREINIGTE ELECTRIZITAT WERKE WESTFALEN (RFA)	?	GAZ DESULFURISE POUR TURBINES A GAZ	EN COURS DE DEVELOPPEMENT
WESTINGHOUSE (EU)	WESTINGHOUSE (EU)	LIT FLUIDISE	14 BARS BAS POUVOIR CALORIFIQUE	INSTALLATION PILOTE 15T/JOUR

TABLEAU III - 2

PROCEDES D'HYDROGENATION
ORIENTES VERS LE GNS

(Substitut de gaz naturel)

PROCEDE		CARACTERISTIQUES		ETAT DE DEVELOPPEMENT
DESIGNE PAR	ETUDIE PAR	PROCESS	GAZ	
HYDRANE (FI)	BUREAU OF MINES	ALLOTHERMIQUE	NA	ETUDE LABORATOIRES PROJET D'INSTALLATION PILOTE : 20 T/JOUR
BERGBAU FORSCHUNG (RFA)	BERGBAU FORSCHUNG (RFA)	CHALEUR (900°C) FOURNIE PAR DE L'HELIUM A HAUTE TEMPERATURE CHAUFFE PAR UNE REACTEUR NUCLEAIRE HTR ALLOTHERMIQUE		INSTALLATION PILOTE 5 T/JOUR
STONE ET WEBSTER (EU)	STONE ET WEBSTER (EU)	CHALEUR (900°C) FOURNIE PAR DE L'HELIUM A HAUTE TEMPERATURE CHAUFFE PAR UNE REACTEUR NUCLEAIRE HTR ALLOTHERMIQUE	NA	ETUDE
RHEINISCHE BRAUNKOHLWERKE (RFA)	RFA : BERGBAU FORSCHUNG RHEINISCHE BRAUNKOHL- WERKE GHI	LIT FLUIDISE CHALEUR (850-950°C) FOURNIE PAR REACTEUR HTR	50 A 100 BARS	INSTALLATION PILOTE 2 T/JOUR

TABLEAU III - 3
 PROCÉDES DE METHANATION (GNS)

PROCEDE	CARACTERISTIQUES	ETAT DU DEVELOPPEMENT
LURGI (RFA)	LIT FIXE RECYCLAGE GAZ CHAUD	OPERATIONNEL 450 M ³ /J DANS L'UNITE SASOL II D'AFRIQUE DU SUD
CONOCO (EU)	LIT FIXE RECYCLAGE GAZ 20 BARS	OPERATIONNEL 60 x 10 ³ M ³ / JOUR DE GNS DAN L'UNITE DE WESTFIELD (ECOSSE)
CHEM SYSTEMS (EU)	METHANATION EN PHASE LIQUIDE	INSTALLATION PILOTE
BUREAU OF MINES (EU) PROCEDE : HOT GAS RECYCLE PROCEDE : TUBE WALL REACTOR	LIT FIXE RECYCLAGE GAZ CHAUD VAPORISATION LIQUIDE 70 BARS	INSTALLATION PILOTE
CHEM SYSTEMS (EU)	METHANATION EN PHASE LIQUIDE	INSTALLATION PILOTE

TABLEAU III - 3 (suite)

PROCEDES DE METHANATION (GNS)

PROCEDE	CARACTERISTIQUES	ETAT DU DEVELOPPMENT
BITUMINOUS COAL RESEARCH (EU)	METHANATION EN LIT FLUIDISE - TEMPERATURES MAINTENUES A 400°C - METHANISATION COMPLEMENTAIRE AU LIT FIXE NECESSAIRE	INSTALLATION PILOTE
THYSSENGAS-DIDIER (RFA)	CONVERSION ET METHANISATION PARTIELLE EN LIT FLUIDISE	INSTALLATION PILOTE 100 A 200 M ³ /H
CONOCO COAL DEVELOPMENT (EU)	LIT FIXE RECYCLAGE GAZ ET/OU EVAPORATION LIQUIDE	ESSAIS MENES PENDANT PLUS DE 800 HEURES
I G T (EU)	LIT FIXE RECYCLAGE GAZ FROID ET TREMPE	ESSAIS MENES PENDANT PLUS DE 1000 HEURES 22.000 M ³ /J

TABLEAU III - 4

LIQUEFACTION DU CHARBON

par CONVERSION INDIRECTE

PROCEDE		CARACTERISTIQUES	ETAT DE DEVELOPPEMENT
DESIGNE PAR	ETUDIE PAR		
SYNTHESE FISCHER-TROPSCH	KELLOG (EU)	COURANT FLUIDE	OPERATIONNEL. PROCEDE UTILISE POUR SASOL I ET SASOL II (AFRIQUE DU SUD)
SYNTHESE FISCHER-TROPSCH PROCEDE ARGE		23 BARS 230°C REACTEUR TUBULAIRE - LIT FIXE PRODUIT : HYDROCARBON LIQUIDE (ESSENCE PRINCIPALEMENT)	OPERATIONNEL. PROCEDE UTILISE POUR SASOL I

TABLEAU III - 5

LIQUEFACTION DU CHARBON
par HYDROLIQUEFACTION

PROCEDE		CARACTERISTIQUES	ETAT DE DEVELOPEMENT
DESIGNE PAR	ETUDIE PAR		
DONNOR SOLVENT (EU)	EXXON RESEARCH ENGINEERING (EU)	140 bars 450°C REACTEUR A FLOT TUBULAIRE	INSTALLATION PILOTE (1980) -- PARTICIPATION RFA ET JAPON 250T/jour
H-COAL (EU)	HYDROCARBON RESEARCH INC. (EU)	PROCEDE CATALYTIQUE 210 bars 450°C	INSTALLATION PILOTE (1977) 6T/JOUR 600 T/jour
	ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE	NA	INSTALLATION PILOTE (1980) 600 T/JOUR
SOLVENT REFINED	GULF OIL CO.	120 - 150 bars 400 - 470°C	INSTALLATION PILOTE (1975) 50 T/jour
SAARBERG FARBEN (RFA)	SAARBERG FARBEN (RFA)	PROCEDE CATALYTIQUE 300 bars	INSTALLATION PILOTE 200T/jour

FILIERE : CHARBON

Fiche : GAZEIFICATION DU CHARBON

Sous fiche : PROCEDE LURGI

I. DESCRIPTION

Le procédé LURGI a lit fixe produisant un gaz sous pression jusqu'à 30 bars environ, avec une dizaine de pour cent de méthane a donné lieu depuis de nombreuses années a de multiples réalisations industrielles dans de nombreux pays.

Le procédé, employé pour la gazéification sous pression, conduit a des gaz de pouvoir calorifique faible ou moyen, au plus de l'ordre de 4 th/m^3 , produits à une pression maximum de 50 bars.

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

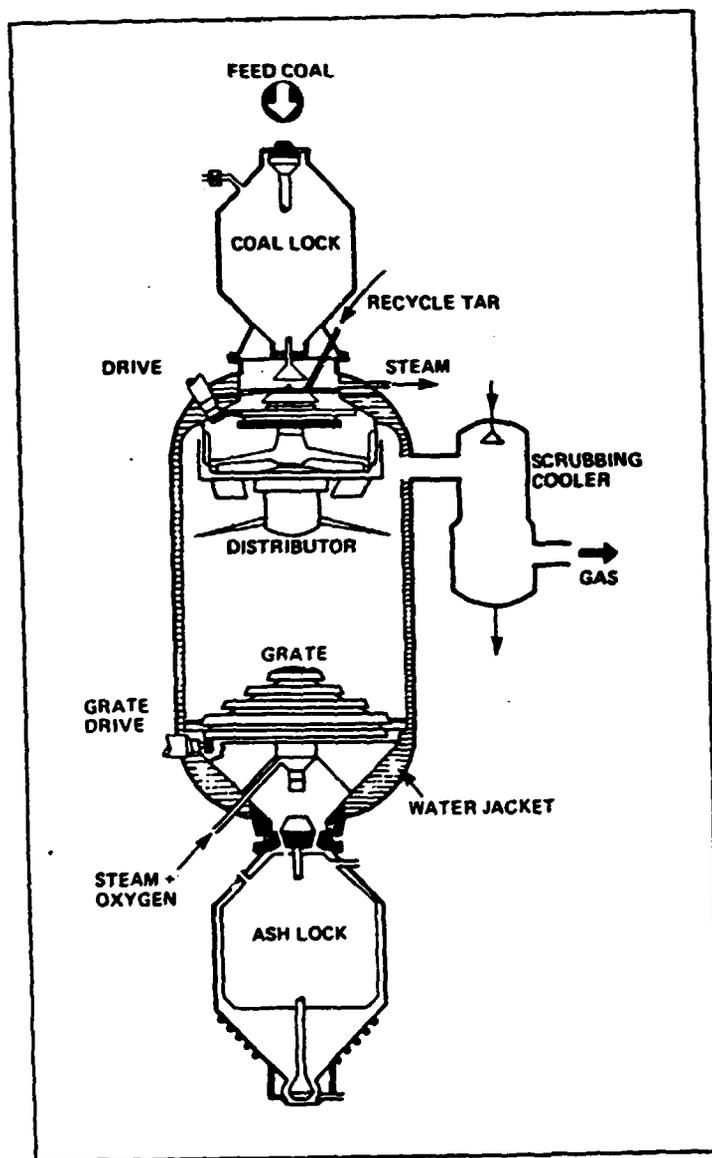
Le principal élément constitutif du procédé est le réacteur LURGI, crée en Allemagne pour le charbon et le lignite, il y a plusieurs dizaines d'années et progressivement amélioré. Le réacteur est de taille importante : près de 4 mètres de diamètre pour plus de 10 m de haut, et permet de traiter 800 tonnes/jour de charbon. Chaque installation comprend plusieurs réacteurs : L'unité de SASOL II en Afrique du Sud en possède 36 avec une capacité combinée de 30 millions de m³ de gaz de synthèse par jour.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

A. MISE EN OEUVRE ET FABRICATION

Le réacteur et les autres équipements qui composent une unité de gazéification LURGI exigent un savoir faire l'on peut assimiler à celui de la grosse et moyenne chaudronnerie. La température de la réaction et la réactivité du gaz exigent une nuance spéciale d'acier.

FIGURE 7 : REACTEUR LURGI



B. EXPLOITATION

L'exploitation d'une unité de gazéification exige un personnel technicien spécialement entraîné à la surveillance des différents paramètres de la réaction et capable de réagir aux aléas.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEUR

La firme allemande LURGI est seule détentrice du procédé.

B. DEGRE DE PROTECTION

Le procédé LURGI est couvert par des brevets correspondants aux différentes étapes d'évolution du procédé depuis son origine. S'ajoute à cela le savoir faire des ingénieurs de la firme qui sont parmi les rares à disposer d'une expérience de construction d'une unité gazéification de grande échelle.

C. CONDITIONS D'ACCES

LURGI assure l'ingénierie du procédé et sous traite à une ou plusieurs entreprises générale la construction de l'unité.

FILIERE : CHARBON

49.

FICHE : GAZEIFICATION SOUTERRAINE DU CHARBON

SOUS FICHE : GAZEIFICATION SOUTERRAINE DU CHARBON

A FAIBLE PROFONDEUR

I. DESCRIPTION

L'accès au gisement est réalisé par des sondage d'assez faible diamètre distants entre eux de 15 à 30 m.

Une première communication en veine est établie entre deux trous voisins en profitant de la perméabilité naturelle du gisement et en s'aidant d'injection d'eau ou d'air à haute pression. La fissuration ainsi obtenue est élargie en utilisant une injection d'air et en provoquant une combustion à contre courant, à travers les fissures. Après ce stade préliminaire, des débits d'air beaucoup plus importants peuvent être insufflés et la gazéification peut se développer par progression du front de gazéification dans le sens d'écoulement du courant gazeux.

Développement :

Cinq installations sont en fonctionnement en URSS, dans des gisements de charbon et de lignite.

La technologie développée par les techniciens soviétiques fait l'objet de différents brevets et en 1975, un contrat a été négocié entre l'URSS et une association de producteurs d'électricité du TEXAS en vue de l'utilisation du savoir faire soviétique pour la gazéification d'un gisement de lignite.

D'autres projets, autonomes ceux là, sont en cours de développement aux Etats-Unis depuis 1973.

Le développement du procédé se heurte, cependant, à certains inconvénients et notamment :

- les problèmes écologiques posés par l'interférence inévitable entre le gazogène souterrain et la nappe aquifère.

- le faible rendement de récupération de l'énergie : le pouvoir calorifique du gaz produit dépasse rarement 50% du potentiel énergétique du gisement et une partie non négligeable de cette énergie est consommée pour assurer la circulation de l'air et du gaz dans le circuit souterrain.

II. MISE EN ŒUVRE ET EQUIPEMENTS

La gazéification souterraine exige un important savoir faire relatif
notamment :

- aux techniques de fissuration et de mise en communication des puits
- à l'allumage du charbon
- à la récupération du gaz

L'équipement requis, bien que très spécifique, n'est pas très important, et peut donc être déplacé au fur et à mesure de l'épuisement, par gazeification, de la veine. L'espacement entre les points de sondage est de quelques dizaines ou centaines de mètres. Les équipements utilisés sont, principalement :

- des sondeuses
- du matériel d'impulsion hydraulique haute pression pour la fracturation des roches
- un dispositif électrique d'allumage du charbon
- le matériel d'injection d'un mélange sous pression d'air, d'oxygène et de vapeur d'eau
- des équipements de récupération et de nettoyage du gaz

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Le procédé, bien que déjà mis en oeuvre en URSS, est encore expérimental. Les études qui se poursuivent, notamment aux Etats-Unis réunissent des compétences de géologie, de thermique et d'ingénierie minière.

FILIERE : CHARBON

52.

FICHE : GAZEIFICATION DU CHARBON

SOUS FICHE: GAZEIFICATION SOUTERRAINE DU CHARBON

A GRANDE PROFONDEUR

I. DESCRIPTION (PROCEDE INIEX)

Le procédé INIEX exploite la possibilité de disposer d'un gazogène souterrain sec, étanche, et résistant à des pressions élevés, en exploitant le gisement à plus de 6 à 700 mètres de profondeur, limite à partir de laquelle les schistes houilliers acquièrent un comportement plastique sous l'effet de la pression. C'est, en effet, à partir de ce moment qu'ils peuvent jouer le rôle de joints autoclaves, en assurant le colmatage rapide des cassures produites par l'exploitation.

Dans le procédé INIEX, la gazéification souterraine est associée à une centrale électrique à cycle combiné turbine à gaz + turbine à vapeur, en vue de produire de l'électricité à partir d'un gaz pauvre.

Dans un premier sondage d'exploitation, l'air sous haute pression filtre à travers la couche de base du gisement. Il est repris à l'état de gaz pauvre par le sondage de captage du gaz.

Le gaz pauvre arrive en surface sous haute pression et à une température de l'ordre de 250 à 300°C. Il est lavé dans un scrubber avant d'être brûlé dans la chambre de combustion d'une chaudière à foyer sous pression.

Une partie de la chaleur est utilisée à la production et à la surchauffe de vapeur, après quoi, les fumées, ramenés à une température de l'ordre de 800°C, sont détendus dans une turbine à gaz suivie d'un économiseur ou d'une

chaudière de récupération.

Une installation permettant d'alimenter une centrale de 300 MW utiliserait 30 à 40 couples de sondage de gazéification fonctionnant en parallèle.

Outre le projet belge INIEX, des études sur la gazéification souterraine sont menées en Allemagne Fédérale et en France. Les caractéristiques des procédés mis en oeuvre sont très voisines (voir tableau V - 1).

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENT

La plupart des équipements mis en oeuvre dans le procédé INIEX sont spécifiques et appellent des développements liés au procédé :

- matériel de sondage
- matériel d'impulsion pour la fracturation des roches
- matériel d'injection d'un mélange d'air et d'eau (pompes, compresseurs)
- matériel de lavage du gaz (scrubber)
- chaudière à foyer sous pression
- turbines à gaz et turbine à vapeur (cycle combiné)

TABLEAU V - 1

GAZEIFICATION SOUTERRAINE

ORIGINE DU PROCÉDE	CARACTERISTIQUES	DEVELOPPEMENT
URSS	FAIBLE PROFONDEUR 200 - 300 M BASSE PRESSION (2 - 3 BARS) GAZ A BAS POUVOIR CALORIFIQUE RENDEMENT THERMIQUE FAIBLE (50%)	- OPERATIONNEL (1928) - DEVELOPPEMENT LIMITE DU FAIT . DE LA RARETE DES GISEMENTS A LA FOIS . PEU PROFONDS, IMPORTANTS ET VIERGES . DES RISQUES DE FUITE DE GAZ INCON- TROLEES ET DE POLLUTION HYDROLOGIQUES
BELGIQUE : PROJET INIEX	GRANDE PROFONDEUR (> 1000 M) PRESSIONS ELEVEES : 20 - 60 BARS GAZEIFICATION ASSOCIEE A UNE CENTRALE ELECTRIQUE A CYCLE COMBINE TURBINE A GAZ + TURBINE A VAPEUR RENDEMENT THERMIQUE ELEVE (70%)	- INSTALLATION PILOTE -- EMPLOI D'AIR
RFA : . UNIVERSITE D'AIX LA CHAPELLE . MINES DE LA SARRE . KFA - FULICH	GRANDE PROFONDEUR (> 1000 M) PRESSION ELEVEE : 20 - 60 BARS GAZEIFICATION DESTINEE A LA PRODUCTION DIRECTE D'UN SUBSTITUT DE GAZ NATUREL PAR GAZEIFICATION A L'HYDROGENE RENDEMENT THERMIQUE ELEVE (70%)	- INSTALLATION PILOTE -- EMPLOI D'HYDROGENE
ETATS-UNIS	GRANDE PROFONDEUR	- INSTALLATION PILOTE -- EMPLOI D'AIR ET DE VAPEUR D'EAU

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

La gazéification souterraine à grande profondeur est encore à l'état expérimental. Les compétences requises pour mener les recherches se situent à la pointe des connaissances dans des disciplines comme la géologie, la thermique et l'ingénierie mécanique.

IV. ACCES COMMERCIAL

Aucun procédé de gazéification souterraine à grande profondeur n'est, à ce jour, commercialisé.

FILIERE : PETROLE-GAZ

FICHE : EXPLORATION ONSHORE

I. DESCRIPTION

Le forage d'un puit repose sur le principe de rotation d'un trépan sur lequel on appuie et que l'on fait tourner. L'action combinée du poids et de la rotation permet aux dents des trépan à molette d'ecailler la roche ou aux trépan diamantés de strier et de détruire celle-ci.

On agit sur le trépan au moyen de tubes très épais appelés "masses-tiges" exerçant une force de 100 à 300 da N par mètre et de diamètre voisin de celui du trépan pour maintenir la verticalité du trou.

Les débris de roches sont éliminés par une circulation de fluides ou boues qui ont également pour fonction de refroidir le tricot et d'exercer une pression hydrostatique destinée à empêcher une éruption subite de gaz, de pétrole ou même d'eau.

La conduite du forage, c'est à dire le choix du trépan et des paramètres du forage, en particulier poids et vitesse de rotation, qui fourniront le prix de revient minimum au mètre foré, est une opération délicate qui nécessite une main d'oeuvre entraînée.

L'évolution va vers des systèmes permettant, à l'aide de capteurs, de mesurer les paramètres du forage et de les transmettre directement en surface pour définir, à chaque instant, par ordinateur, les paramètres optimaux.

Le forage est une activité généralement confiée à des sociétés spécialisées qui coordonnent les activités de services complémentaires et notamment la diaggraphie (cf. fiche : Activité de forage)

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

Une installation de forage onshore est prévue pour permettre :

- la manoeuvre de la garniture du forage
- le changement des trépons
- la rotation de la garniture
- l'injection et la récupération du fluide de forage

Cette mise en oeuvre nécessite un équipement diversifié spécifique ou du moins adapté aux conditions imposées par l'activité de forage. Les équipements sont sensiblement les mêmes qu'il s'agisse de forage onshore ou offshore.

Les équipements dits spécifiques du forage sont décrits dans la fiche "matériels de forage".

Parmi les équipements non spécifiques, on note :

- la ou les centrales d'énergie : généralement un ensemble diésel-électrique
- des pompes pour aspirer la boue des bacs et la refouler a l'intérieur des tiges de forage. Les pompes sont capables de fournir des débits de 1000 a 4000 l/mn sous des pression de 100 a 250 bars. Leurs puissance est de l'ordre de 700 a 1500 CV.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

(cf fiches : "Activité de forage" et "Materiel de forage"

IV. ACCES COMMERCIAL

(cf fiches : "Activité de forage " et "Materiel de forage"

FILIERE : PETROLE - GAZ

FICHE : RECUPERATION ASSISTEE

SOUS FICHE : PRESENTATION DES PROCES

I. DESCRIPTION

La production de pétrole et de gaz dite non assistée repose sur l'action des pressions élevées du gisement (de l'ordre de la pression hydrostatique) pour 'pousser' l'huile dans le puits. Après quelques mois, la pression baisse et la récupération, par rapport aux réserves totales, est faible : de l'ordre de 5 à 20%. Depuis très longtemps, les producteurs ont donc eu l'idée de maintenir par injection d'eau ou de gaz dans le gisement, la pression du puits. Les techniques dites de 'récupération secondaire' représentent actuellement près de 50% du pétrole américain et la majorité du pétrole Russe, mais n'ont été que peu utilisées dans les autres pays producteurs.

D'autres techniques sont venues améliorer les performances de récupération du pétrole présent dans un gisement. Ces techniques se rattachent à trois grands axes :

- balayage par l'eau ou les gaz et ses variantes améliorées par l'injection de solvants miscibles,
- procédés thermiques,
- procédés chimiques.

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

La récupération assistée, qui est coûteuse en investissement, implique un matériel et des équipements sophistiqués. Pour autant, cette récupération assistée est devenue, avec la hausse du prix du pétrole, une activité rentable. Des montants d'investissement très importants sont prévus dans ce domaine qui pourraient dépasser les investissements prévus dans les autres segments de l'industrie.

L'enjeu économique et technologique pour les pays producteurs de pétrole est très important puisque une part croissante de la production pétrolière sera issue des méthodes de récupération assistée.

FILIERE : PETROLE -- GAZFiche : RECUPERATION ASSISTEESous fiche : PROCESSES THERMIQUESI. DESCRIPTION

Il existe deux procédés principaux :

- l'injection de vapeur
- la combustion in-situ

A. Injection de vapeur (cf. figure 8)

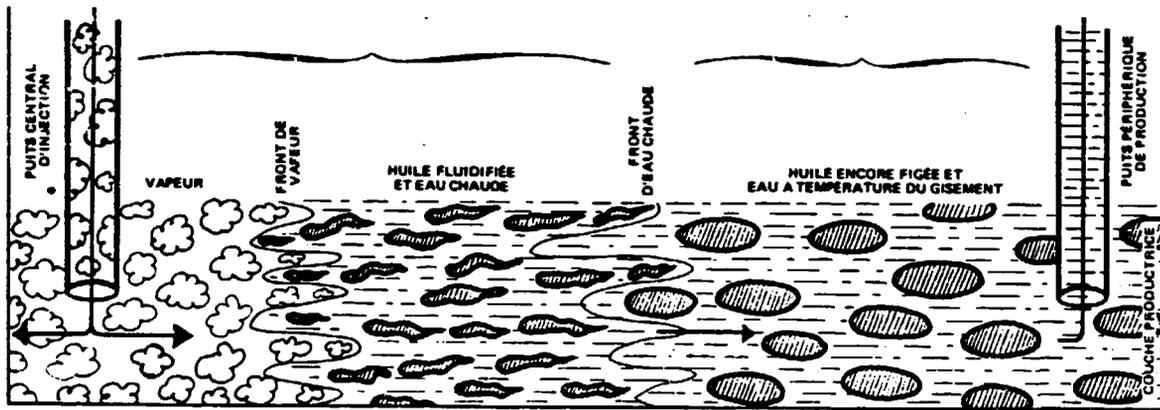
Le procédé consiste à injecter sous pression de la vapeur d'eau créée en surface dans des générateurs de vapeur qui, en se condensant dans le gisement, en élève la température et réduit la viscosité de l'huile. Celle-ci, extrêmement sensible à la température, peut être abaissée considérablement.

Deux variantes sont pratiquées :

- l'injection cyclique
- l'injection continue de vapeur

Plusieurs installations pilotes fonctionnent sur ce procédé, notamment aux Etats-Unis. Les difficultés proviennent, outre de la maîtrise des conditions d'opérations, des débits très importants nécessitant l'emploi de batteries de générateurs de vapeur capables de fournir plusieurs centaines de tonnes de vapeur par jour.

FIGURE 8 : RECUPERATION ASSISTEE PAR VOIE THERMIQUE :
INJECTION DE VAPEURS



B. Combustion in-situ

La combustion in-situ consiste à engendrer la chaleur, dans le gisement même, par combustion in-situ d'une partie du brut au contact d'air injecté sous pression dans un certain nombre de puits injecteurs. Il se développe un front de combustion lente, dont la température est de 400 à 600°C, qui se déplace vers les puits producteurs et pousse devant lui un mélange complexe de gaz de combustion, de vapeur d'eau et d'hydrocarbures vaporisés puis condensés et, enfin, l'huile vierge du gisement, réchauffée.

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

L'injection de vapeur est celui des procédés de récupération assistée qui met en oeuvre l'instrumentation la plus lourde et la plus complexe.

Les principaux équipements nécessaires à la mise en oeuvre du procédé sont :

- les puits d'injection
- les générateurs de vapeur
- les équipements de traitement des eaux et des fumées

Les générateurs de vapeur sont de conception particulière et permettent d'injecter d'importantes quantités de vapeur dans le puits : environ 15m³ d'eau injectée convertie en vapeur à la pression d'injection peuvent être nécessaires pour 'sortir' une tonne pétrole. Les chaudières ont également la particularité de brûler le brut disponible sur le champ.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Les études sont menées par les personnels de recherche des sociétés pétrolières,
principalement :

- pétrochimistes
- géologues
- géophysiciens

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Les expériences menées sur la récupération assistée par voie thermique le sont principalement aux Etats-Unis sous l'impulsion et la conduite des grandes sociétés pétrolières qui maîtrisent, dans ce domaine, le progrès des connaissances. Le savoir faire porte sur l'optimisation technique et économique de l'injection de vapeur dans le puits et la maîtrise des différents paramètres : quantité de vapeur, température, pression,

Concernant le générateur de vapeur, qui est au coeur du procédé, on observe un quasi monopole de la société américaine STRUTHER WELLS qui fournit aux sociétés pétrolières la chaudière et les constituants périphériques principaux : traitement des eaux, traitement des fumées,

B. DEGRE DE PROTECTION

La protection s'identifie au savoir faire accumulé par les sociétés pétrolières sur des champs d'expériences très divers.

C. CONDITIONS D'ACCES

Le procédé n'a pas encore atteint sa pleine maturité commerciale et il est donc, pour cela, difficile de prévoir les conditions spécifiques d'accès. Mais il est probable que les sociétés pétrolières chercheront, pour un temps tout au moins, à monnayer un savoir faire qui, pour certains pays, peut correspondre à une multiplication par 2 ou 3 de leurs ressources pétrolières exploitables.

FILIERE : PETROLE -- GAZ

Fiche : RECOUPERATION ASSISTEE

Sous Fiche : PROCESSES CHIMIQUES

I. DESCRIPTION

Les procédés dits 'chimiques' de récupération assistée sont basés sur le même principe que l'injection d'eau si ce n'est qu'ici sont dissous et injectés divers additifs chimiques.

Les techniques actuellement en développement concernent :

- des solutions aqueuses de polymères
- des solutions aqueuses de tensio-actifs
- des microémulsions, très fines emulsions eau-huile stabilisées par des tensio-actifs et généralement des alcools
- des solutions aqueuses de soude

Aucune de ces techniques n'est encore appliquée à grande échelle mais toutes sont en expérimentation. L'un des principaux obstacles rencontrés est le prix élevé des produits chimiques utilisés (4 à 8 dollars U.S. / kg pour les polymères; 0.5 à 1 U.S. dollars / kg pour les tensio-actifs), compte tenu des tonnages considérables à envisager pour exploiter un champ .

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

L'équipement, dans la mise en oeuvre de procédés de récupération par voie chimique, est peu conséquent et se réduit, pour l'essentiel :

- aux moyens de stockage
- aux matériels d'injection des produits

Toutefois, comme pour tout procédé de récupération assistée, un grand nombre de forages est à prévoir, plus important que pour une installation classique (2 à 3 fois plus en moyenne).

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Les expériences menées sur la récupération assistée par voie chimique le sont aux Etats-Unis sous l'impulsion et la conduite des grandes sociétés pétrolières.

Les produits chimiques utilisés sont des produits connus mais qui ne sont fabriqués qu'en très faible quantité et par quelques uns des grands chimistes mondiaux : DU PONT, HOESCHT, BAYER

B. DEGRE DE PROTECTION

La protection s'identifie au savoir faire accumulé par les sociétés de pétrole sur des champs d'expérience très divers.

C. CONDITIONS D'ACCES

Le procédé n'a pas encore atteint sa pleine maturité commerciale.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Les études sont menées par les personnels de recherche des sociétés pétrolières, principalement :

- petrochimistes
- géologues
- géophysiciens

FILIERE : PETROLE--GAZ

Fiche : RECUPERATION ASSISTEE

Sous fiche : PROCEDES MISCIBLES

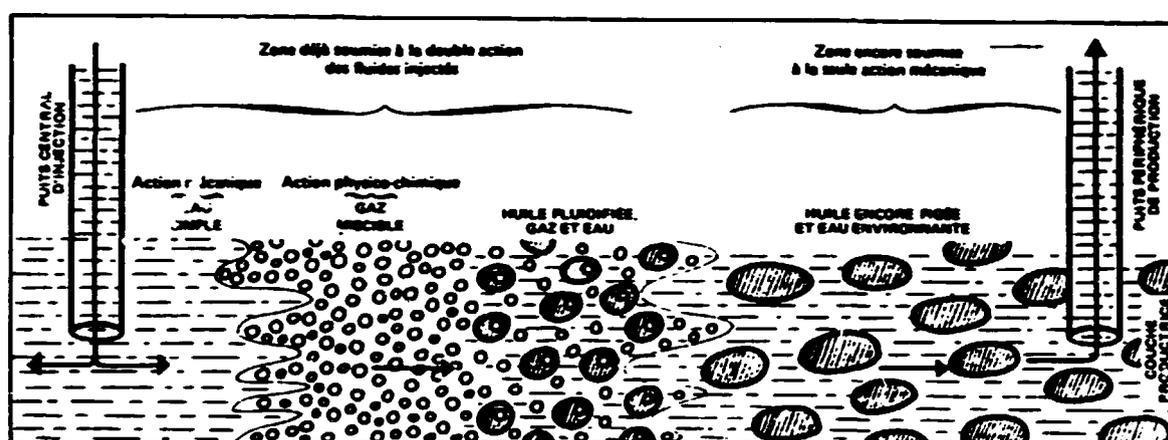
I. DESCRIPTION

Les procédés par gaz hydrocarbonés consistent à déplacer le brut par un gaz de composition adaptée à celle du brut de manière à permettre le maximum d'échanges de composants (par dissolution ou vaporisation) entre le brut et le gaz. Il se développe ainsi, à l'interface entre les deux fluides, une large zone de mélange qui assure en quelque sorte une 'continuité' de composition entre le brut à déplacer et le gaz injecté, et est responsable d'un déplacement microscopique du brut pratiquement total.

Une variante consistant à injecter du CO₂ apparaît intéressante dans la mesure où elle nécessite des critères d'emploi moins sévères. Mais elle suppose la possibilité de disposer d'importantes quantités de gaz carbonique à proximité, ce qui peut en limiter l'application au cas des régions industrielles, en dehors du cas favorable où il existe une source de CO₂ naturel à proximité du gisement.

FIGURE 9 : RECUPERATION ASSISTEE PAR BALAYAGE :

INJECTION DE CO₂



II. MISE EN ŒUVRE ET EQUIPEMENTS (injection de gaz)

La contrepartie des performances observées de procédés de récupération assistée par balayage est un équipement complexe et un coût de récupération généralement élevé.

Les installations de surface, au niveau des puits producteurs et surtout des puits injecteurs, sont importantes. Elles comprennent :

- les équipements de collecte et de traitement du gaz injecté :

- . réservoirs
- . tuyauterie
- . vannes

- les stations de compression :

- . compresseurs
- . tuyauterie sous pression

- les unités de séparation :

L'ensemble doit assurer l'injection de quelques millions de m³ de gaz solvant par jour sous des pressions allant de 50 à 400 bars.

Un grand nombre de forages est également à prévoir : 2 à 3 fois plus en moyenne que pour une exploitation normale.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

La mise en oeuvre est généralement confiée par les sociétés pétrolières à des firmes d'ingénierie spécialisées dans le développement des champs et qui disposent du savoir faire nécessaire pour une implantation optimale d'une unité de récupération assistée. Ces firmes, parmi lesquelles :

- BROWN & ROOT (USA)
- MAC DERMOTT (USA)
- SAIPEM (IT)
- TECHNIP (FR)

ont une position dominante, au niveau mondial dans l'ensemble des activités d'ingénierie et de construction pour l'exploitation et la production de pétrole et de gaz. L'activité de ces firmes est "coordonnée" par les sociétés pétrolières clientes.

B. EXIGENCES DE QUALIFICATION

La mise en oeuvre d'une unité de récupération assistée exige les qualifications habituellement requises pour le développement des champs :

- géologues
- pétrochimistes
- ingénieurs du pétrole
- mécaniciens, électriciens
- automaticiens

C. CONDITIONS D'ACCES

L'avantage des compagnies pétrolières transnationales et des firmes d'ingénierie pétrolière fait obstacle à l'arrivée de nouveaux venus dans le domaine.

Le transfert de la technologie suppose, de la part du pays d'accueil, un effort soutenu de formation de ses cadres et la création de structures de recherches adaptées.

Un potentiel technologique local peut alors se développer par :

- la création de sociétés mixtes d'exploitation et de développement des champs pétroliers.
- la conclusion d'accords de coopération techniques négociés au coup par coup.

FILIERE : PETROLE - GAZ

FICHE : OFFSHORE

SOUS FICHE : SUPPORTS DE FORAGE

I. DESCRIPTION

Le forage offshore s'effectue à partir de :

- plateformes fixes dites autoélévatrices
- plateformes semi-submersibles
- bateaux de forage

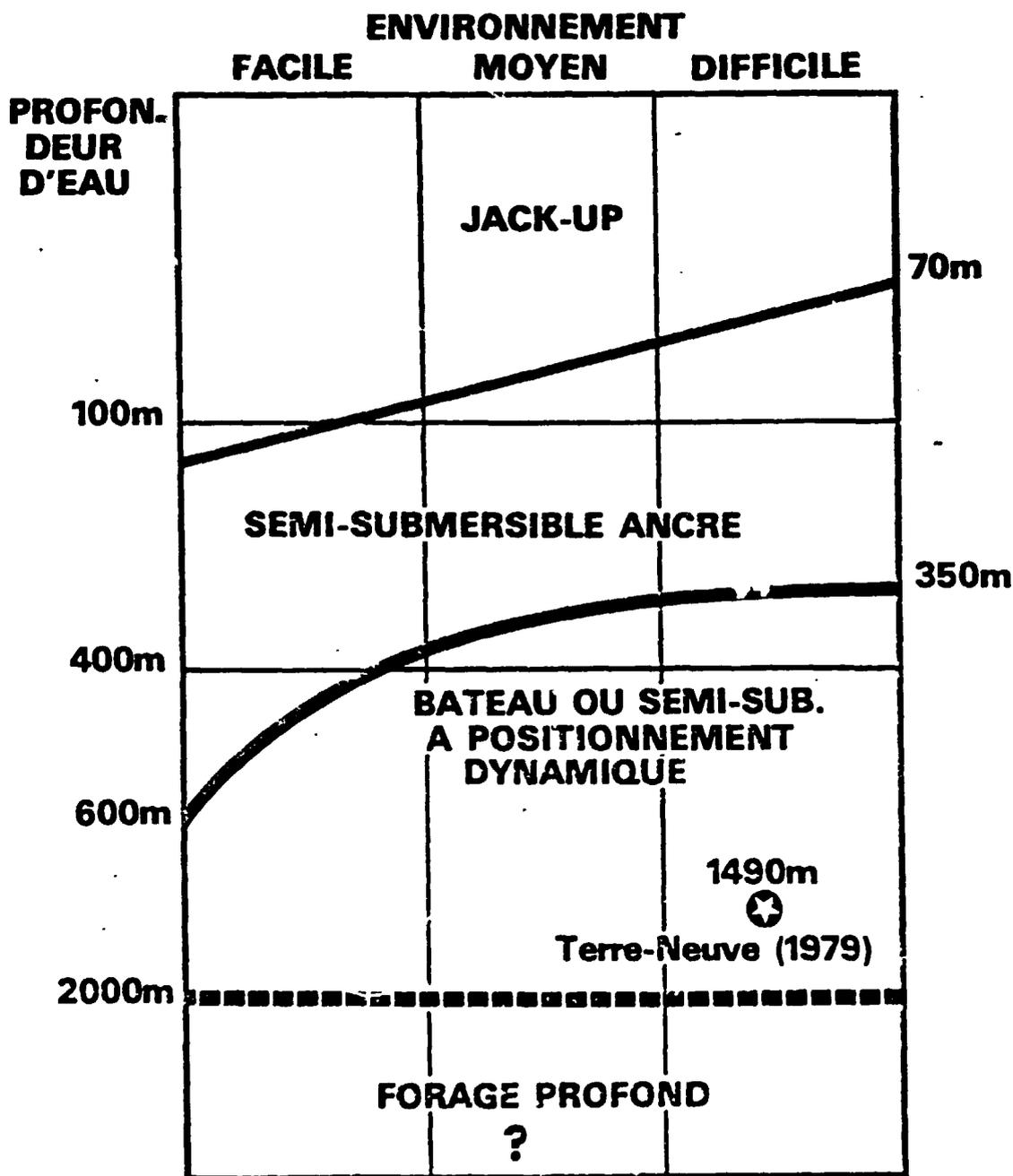
L'exploration à partir de bateaux est limité par la houle. En cas de mer agitée, le train de tiges et les tubes conducteurs qui relie le bateau au puit supportent des efforts très importants. Des dispositifs anti-roulis permettent une stabilisation partielle mais limitée.

Pour palier les inconvenients resultant de la houle, il a été conçu des plateformes "auto-elevatrices" sur des pieds posés au fond de l'eau. Il est difficile, cependant, de les utiliser au delà de 100 metres de fond.

Pour les profondeurs superieures, il a fallu concevoir des plateformes beaucoup plus sophistiquées, dites semi submersibles qui sont supportées par des flotteurs munis de ballasts qu'on peut lester lorsque la plateforme a atteint sa position de forage; plusieurs ancres permettent à la plateforme de conserver cette position.

La figure 10 rappelle les domaines actuellement accessibles aux trois types d'engins de forage utilisés. L'accession à des profondeurs supérieures nécessite des sauts technologiques (matériaux) et devra donc faire l'objet de programmes de recherche avant d'être industriellement utilisable.

FIGURE 10 : CAPACITE MAXIMALE DES SUPPORTS DE FORAGE



II. MISE EN CEUVRE ET EQUIPEMENTS

Une plateforme de forage est composée de plusieurs parties :

- l'ensemble des ponts, supports aériens des équipement
(Deck)
- le treillis assurant la raideur de l'ensemble des piles
et sa stabilité
- les installations d'injections
- un ou deux derrick de forage
- les utilités :
 - . production d'énergie
 - . traitement des eaux
 - . production d'eau douce
 - . quartiers d'habitation
 - . helideck
 - . radio

La conception d'une plateforme fait appel à des méthodes de calcul complexes : action des forces dynamiques, stabilité générale, composition de tous les cas de sollicitation (houle, marée, vents, courants,

La construction pose également des problèmes complexes et exige des moyens de production exceptionnels. Les noeuds d'assemblage des tubes ou des poutres qui composent la structure spatiale sont des pièces très délicates qui nécessitent une main d'oeuvre hautement qualifiée et un outillage de qualité (contrôle notamment). Pour éviter la fissuration, de minutieux processus de soudage, préchauffage, post-chauffage, doivent être mis au point, de même la conception des assemblages doit être soigneusement étudiée.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

A. CONCEPTION

La conception d'une plateforme exige des qualifications recouvrant les disciplines de :

- construction métallique et
- architecture navale

B. FABRICATION

La main d'oeuvre nécessaire à la construction d'une plateforme se partage entre l'usine où sont produits les éléments de préfabrication et le montage sur chantier.

Une usine-type qui construit en moyenne une plateforme de 10.000 tonnes par an occupe 300 personnes. Pour le montage, 200 personnes interviennent pendant 6 mois environ. La main d'oeuvre est, pour l'essentiel, constituée de :

- soudeurs qualifiés
- conducteurs d'engins de levage
- contrôleurs d'état des soudures

IV. ACCES COMMERCIALA. PRINCIPAUX DETENTEURS

La construction de plateformes d'exploration peut être réalisée :

- par des chantiers spécialisés tels que :

. MARATHON LETOURNEAU (USA), qui a conçu
l'ingénierie des plateformes auto-élevatrices.

. BETHLEHEM STEEL (USA)

- par des chantiers navals ou des arsenaux :

. LEVINGSTON SHIPBUILDING (USA)

. IHC (Hollande)

. AVONDALE SHIP (USA)

. AKER (Norvege)

- par des entreprises de construction :

. UIE (FR)

. ETPM (FR)

Ces entreprises disposent toutes des équipements et du savoir faire indispensable pour l'ingénierie et la construction des supports de forage. L'essentiel de leur clientèle est constituée par les "drilling contractors" lesquels, dans certains cas, conçoivent l'ingénierie des plateformes d'exploration dont ils sous traitent ensuite la construction. Les sociétés pétrolières, qui décident de l'exploration ou de la mise en exploitation de gisements, complètent le tryptique des détenteurs des technologies pour la conception et la fabrication des supports de forage.

B. DEGRE DE PROTECTION

La protection réside, pour l'essentiel dans le savoir faire accumulé des sociétés qui construisent les plateformes résultant d'années d'expériences dans différentes régions géographiques.

Ce savoir faire s'exprime par :

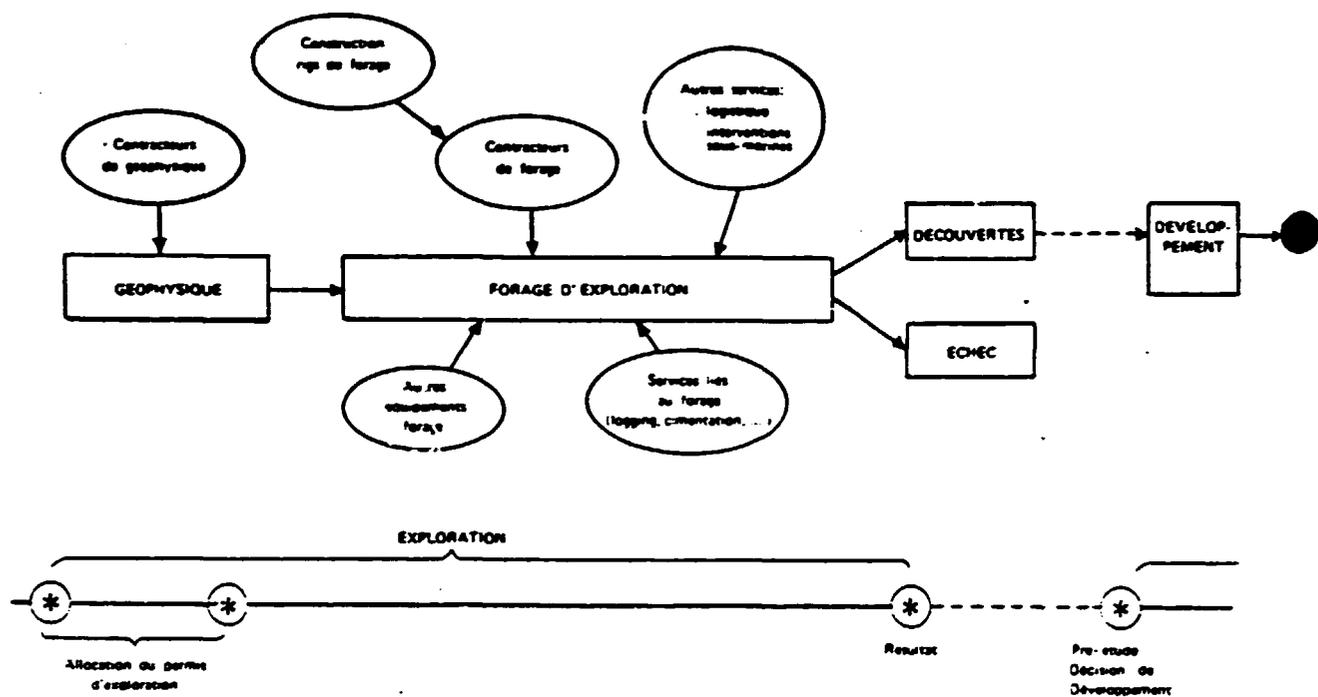
- la maîtrise des algorithmes et des programmes de calcul des plateformes,
- la disponibilité des données sur le comportement des plateformes en opération dans le monde,
- la disponibilité d'équipements lourds de chantiers nécessaires à la construction des plateformes
- la capacité de gestion de chantiers de grande taille

C. CONDITIONS D'ACCES

Les constructeurs de plateformes tendent à implanter leurs chantiers de construction sur les lieux proches de leur utilisation. Ce phénomène est très marqué concernant les plateformes fixes de production mais l'est beaucoup moins concernant les plateformes d'exploration qui sont appelées à se déplacer d'un champ à un autre (cf. fiche : plateforme de production).

L'organisation du marché de l'exploration offshore (figure 11) ne favorise pas les transferts de technologie vers le pays d'accueil du fait de la segmentation du domaine en un grand nombre d'activités spécialisées, chacune étant partagée entre quelques firmes qui se répartissent généralement l'ensemble du marché.

FIGURE 11 : MARCHÉ OFF-SHORE: EXPLORATION



FILIERE : PETROLE - GAZ

Fiche : OFFSHORE

Sous Fiche : PLATEFORMES DE PRODUCTION

I. DESCRIPTION

A. Differents types de plateforme

Les differentes types de plateforme de production ou de developpement sont :

- les plateformes puits/puits sous marins
- les plateformes de traitement/traitement + puits
- les plateformes de compression/recompression/injection
- les plateformes quartier
- les plateformes hybrides comprenant 2 ou plusieurs des éléments ci dessus.

B. Description d'une plateforme de traitement

Une plateforme de traitement comprend :

- les têtes de puits
- les installations de séparation
 - . boues
 - . eau
 - . huile
 - . gaz + séchage glycol
- les piles, support du pont lui même, fichées dans le sol marin.

II. EQUIPEMENTS

A. Superstructure (deck)

Le 'deck' est composé de modules correspondant aux différentes fonctions assurées sur la plateforme :

- derrick de forage
- station de compression
- génération d'électricité
- levage
- logement des personnels
-

1. Equipements mécaniques

De nombreux équipements mécaniques sont nécessaires pour les travaux sous-marins. Parmi les principaux, on peut citer :

- les compresseurs
- les pompes
- les unités de traitement
- les têtes de puit
- les équipements de completion
- les vannes, t et outils de forage

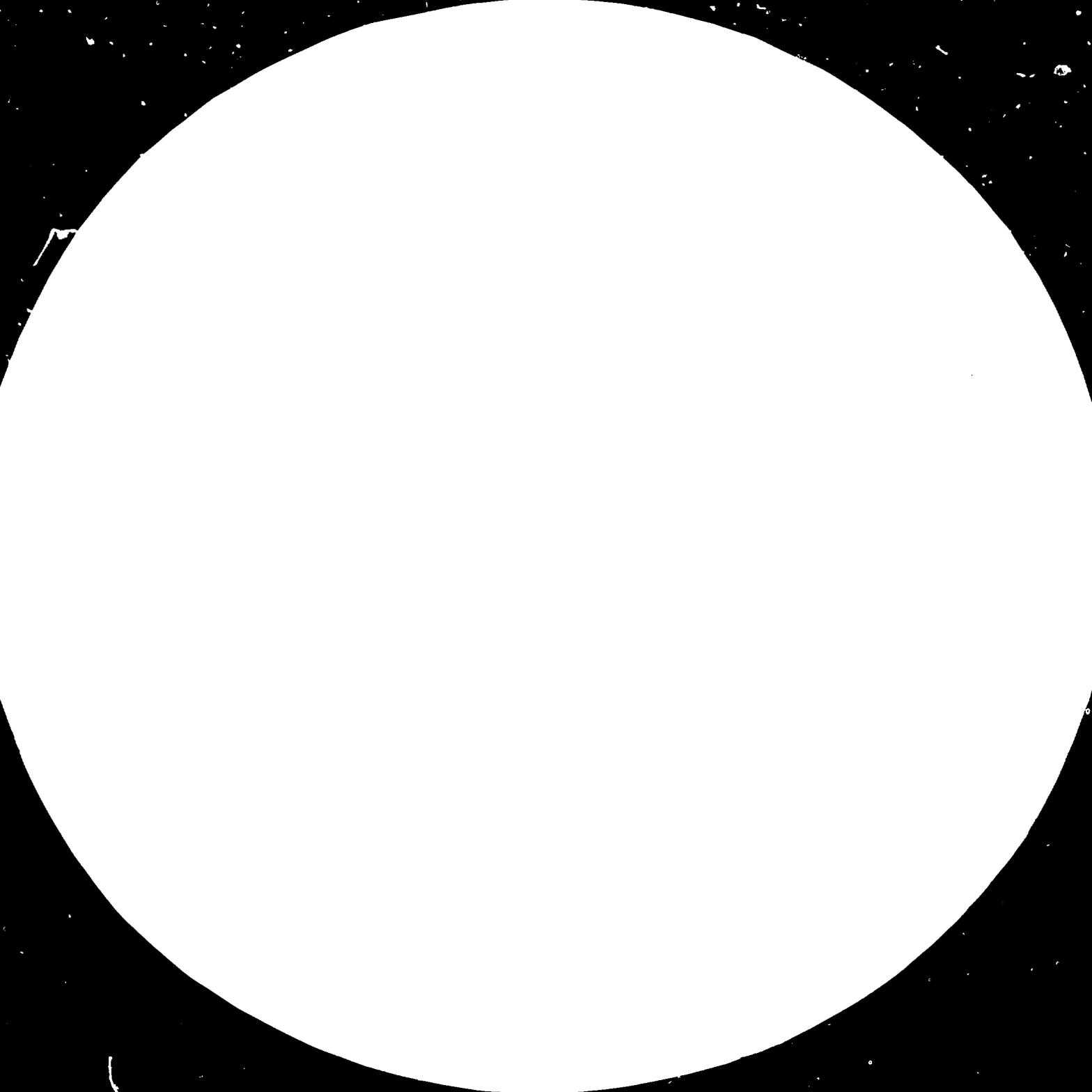
- les treuils d'ancrage, câbles, chaînes, ...
- les moteurs diesel
- les turbines à vapeur

2. Equipements électriques et électroniques

Les équipements électriques et électroniques se regroupent en :

- centrales d'énergie : alternateurs, moteurs électriques,
- systèmes de télécommande et de contrôle (positionnement dynamique)
- systèmes de télécommunication

82 10 27





2.8



3.2



3.6



MICRO COPY RESOLUTION TEST TARGET

3510 MITCHELL AVENUE, NEWTON, MASSACHUSETTS 02459

B. Infrastructure (Jacket)

Le jacket est une structure en treillis dont la conception et la construction se situent à l'intersection des techniques de la construction navale et de la construction métallique.

La dimension et l'architecture du jacket dépendent de la profondeur d'eau à atteindre et des équipements devant être installés sur le puit. Si la plateforme est destinée au forage et à la production, le poids des équipements nécessaires à ces opérations qui comprennent le forage de plusieurs puits (24 ou plus) peut dépasser 15.000 tonnes. Par contre, si la plateforme ne sert qu'à la production, elle est équipée d'une station de dégazage et d'une centrale d'énergie, le poids de l'ensemble ne dépasse généralement pas 5000 tonnes.

La conception d'un jacket fait appel à des méthodes de calcul complexes tenant compte, outre de l'architecture de la plateforme, des conditions d'exploitation et d'environnement sur le ou les sites d'implantation. Ces conditions se caractérisent par les efforts résultant de l'action

- des vagues
- des courants et marées
- du vent
- éventuellement des séismes

La fabrication et l'érection d'un jacket exigent des moyens de manutention et de levage exceptionnels et sont réalisés sur des chantiers le plus souvent spécialisés. La charpente métallique tubulaire pour l'offshore est un produit noble et cher :

- aciers à forte résilience
- paramètres de sondage proches de ceux utilisés dans l'industrie nucléaire
- soudages de forte épaisseur (rarement inférieur à 40 mm)
- traitements thermiques sur le site

C. Piles

Les plateformes sont fixées au sol par des piles enfilées dans les jambes et enfoncées profondément dans le sol soit

- par battage, soit
- par forage, soit
- par battage et forage

Les piles sont simplement guidées par des fourreaux au niveau des entretoises horizontales et transmettent au sol les réactions de la plateforme.

Diverses solutions existent pour l'enfoncement des piles qui toutes exigent des équipements de levage et de manutention exceptionnels portés soit par la structure, soit suspendus au crochet d'un bateau grue.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Les exigences de qualification pour la conception et la fabrication de plateformes fixes de production sont proches de celles exigées pour la conception et la fabrication des plateformes de forage (cf. fiche : plateformes de forage).

S'y ajoute la nécessaire maîtrise de l'ingénierie et des techniques de développement des champs marins.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Le développement d'un champ pétrolier est généralement confié à des sociétés spécialisées qui réalisent l'ingénierie de leurs équipements : plateformes d'exploitation, stockages sous marins, conduites... Les entreprises peuvent construire et mettre en oeuvre elle mêmes des plateformes d'exploitation mais elles sous traitent également la construction à des chantiers situés à proximité du lieu de leur mise en place définitive. Les solutions adaptées varient selon les situations particulières de chaque gisement.

La construction de plateformes de production est répartie, pour l'essentiel entre une dizaine de firmes. Parmi les plus importantes :

- MAC DEKHOFF (USA)
- BROWN & ROOT (USA)
- AVONDALE (USA)
- JOHN LAING (UK)

qui couvrent toutes un champ très large d'activités dans les travaux offshore.

B. DEGRE DE PROTECTION

La protection réside, pour l'essentiel, dans un savoir faire accumulé résultant d'années d'expériences dans différentes régions géographiques.

Ce savoir faire s'exprime par :

- la maîtrise de conception des plateformes
- la capacité de gestion de chantiers de grande taille
- la maîtrise de l'ingénierie de développement et de mise en exploitation des champs sous marins (cf. figure 12).

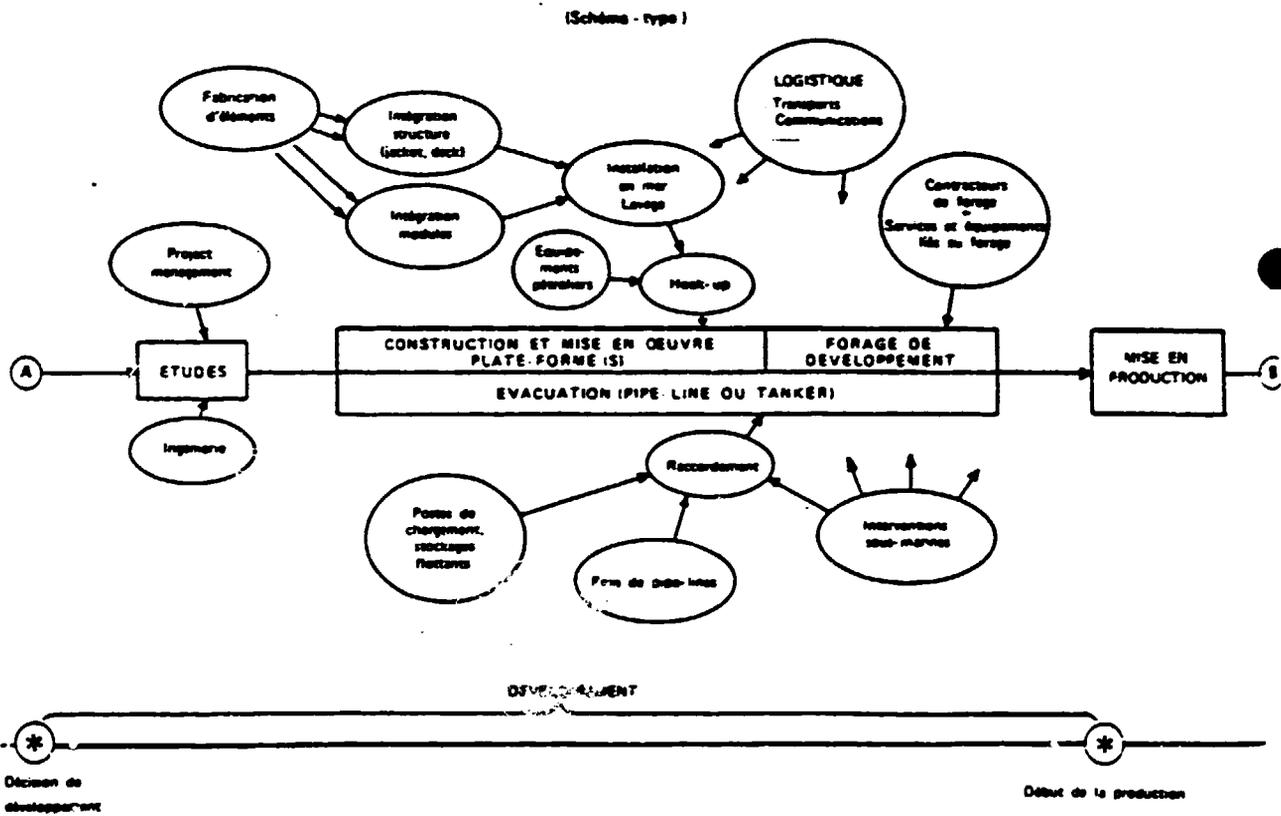
C. CONDITIONS D'ACCES

Un phénomène d'importance croissante est la nécessité pour les grands constructeurs américains et européens de s'implanter localement dans les pays clients

Pour :

FIGURE 12 :

MARCHE OFF-SHORE : DEVELOPPEMENT



- bénéficier des coûts de main d'oeuvre en général inférieurs
- éviter les coûts et les aléas d'un long transport, et
- satisfaire, quelquefois les souhaits et parfois même les règlements du gouvernement local.

Le maintien de leur suprématie dépend alors de leurs capacités à trouver de bons partenaires et à s'adapter à l'environnement et à la main d'oeuvre du pays.

Le pays d'accueil, propriétaire des gisements, peut imposer l'ouverture, dans le pays, d'un chantier de construction de plateformes pour la mise en production de ses champs.

Il peut également conclure avec les sociétés détentrices du savoir faire :

- des contrats d'assistance technique et de formation de ses cadres.
- la création d'entreprises mixtes associant des entreprises locales
- l'obligation de sous traitance de certains équipements à des entreprises du pays d'accueil.

FILIERE : PETROLE-GAZ

FICHE : PRODUCTION - OFFSHORE

SOUS FICHE : MATERIEL DE FORAGE

I. DESCRIPTION

Les équipements de forage comprennent :

- des équipements spécifiques
- des équipements utilisés pour le forage mais qui ne sont pas spécifiques de l'exploitation offshore : moteurs, pompes, compresseurs, centrales d'énergie

Pour les équipements spécifiques de forage, on distingue :

- le derrick
- les treuil et diverses transmissions
- les tubes de forage
- les trépan
- les têtes de puit

II. EQUIPEMENTS ET MISE EN OEUVRE

Parmi les équipements principaux, on note :

- les têtes de puit
- les crépans
- les tubes de forage

A. Têtes de puit

Pour les eaux peu profondes, la tête de puit est incorporée au support.

Pour les eaux profondes, la production se fait à partir de têtes de puit sous marines.

Les éléments principaux d'une tête de puit sous marine sont :

- le BOP (Blow-out preventer)
- les systèmes de télécommande
- le riser

1) BOP (Blow-out preventer)

Le BOP est une des pièces maîtresses de la production offshore.

Il permet .

- de fermer le puit avant d'y maintenir le fluide de forage
- de contenir et contrôler les fluides issus du puits, en cas d'incident.

Le BOP constitue donc le moyen de fermeture et de contrôle de l'éruption.

La manoeuvre des obturateurs et vannes du BOP est assurée par une télécommande hydraulique ou électrohydraulique.

2) Télécommande

Le BOP se manoeuvre et se contrôle à distance par une télécommande agissant hydrauliquement et individuellement sur chaque composant, obturateur, vanne ou connecteur.

Un système de télécommande comprend :

- des équipements de surface :
 - . centrale hydraulique
 - . manifold de contrôle hydraulique et panneaux de commande

- des équipements de liaison surface-fond

- . tourets de stockage des flexibles hydrauliques
- . flexibles de transmission
- . liaisons électrohydrauliques

- des équipements de fond

- . accumulateur sur BOP
- . boîtiers sous-marins de distribution

3) Riser

Le riser regroupe les liaisons entre puits et appareil flottant, à savoir :

- la canalisation de retour de boue servant également au guidage des trains de tiges (ou 'casing') descendus dans le puit.

- les conduites permettant de contrôler toute venue de fluide issues des puits : choke-line et kill-line.

Le riser doit encaisser avec une bonne souplesse et un maximum de sécurité les déplacements du support de forage dus à l'action des éléments marins.

Les principaux composants d'un riser sont :

- le connecteur hydraulique de raccordement au bloc d'obturation
- puits
- le joint flexible encaissant les débattements angulaires du riser
 - le joint télescopique encaissant les mouvements verticaux de l'appareil
- de forage
- les tubes de riser

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Les matériels spécialisés pour l'offshore exigent, pour leur fabrication, des niveaux de qualification très élevés dans les domaines, principalement de :

- la métallurgie
- la mécanique de précision
- l'hydraulique
- l'électronique de télécommande

IV. ACCES COMMERCIAL

A. Principaux détenteurs

Un petit nombre de sociétés se partagent le marché des équipements spécifiques de forage qui, pour la plupart, sont américaines.

- Pour les BOP, quatre entreprises se partagent le marché :

- CAMERON IRON WORKS (USA)
- HYDRIL (USA)
- REGAN (USA)
- SHAFER (USA)

- Pour les risers (connecteurs, joints flexible, joints telescopiques ..),
on trouve :

- CAMERON IRON WORKS (USA)
- NATIONAL SUPPLY (USA)
- REGAN (USA)
- VETCO (USA)

- Pour les trépan, l'essentiel du marché se partage entre :

- HUGHES TOOLS (USA)
- SMITHS INTERNATIONAL (USA)
- DRESSER INDUSTRIES (USA)
- BAKER INTERNATIONAL (USA)

- Pour les tiges de forage le marché est dominé par :

- SMITHS INTERNATIONAL (USA)

B. Degré de protection

La protection, pour ces différents équipements, est assurée par :

- des brevets couvrant les technologies ou les procédés mis en oeuvre
- un savoir faire et une avance technologique reconnue au plan international.
- l'accès à un marché américain qui représente à lui seul plus de 50% de l'activité de forage offshore (30% pour les Etats-Unis seuls).

C. Conditions d'accès

Les équipements de forage sont livrés par les fabricants aux 'drillings contractors' qui les mettent en oeuvre sur leurs plateformes. La fabrication est localisée, pour l'essentiel, aux Etats-Unis.

Les accords de licence sont exceptionnels.

Filiere : PETROLE GAZ

Fiche : OFFSHORE

Sous Fiche : GEOPHYSIQUE

I. DESCRIPTION

La recherche du pétrole en mer pose, en premier lieu, un problème d'exploration. La sismique réflexion bénéficie, pour les activités de reconnaissance en mer, de conditions particulièrement favorables du fait de la facilité de propagation des ondes dans le milieu marin. D'autres méthodes sont également utilisées mais l'activité sismique représente environ 80 à 90% de l'activité totale de la géophysique. La mise en oeuvre des méthodes de sismique classique est souvent précédée d'explorations préalables par :

- méthode magnétométrique consistant à mesurer les variations du champ magnétique causées en surface de la mer par les différentes roches se trouvant sous les terrains sédimentaires.

- méthode gravimétrique qui consiste à mesurer les variations de la force d'attraction terrestre qui est influencée par les différences de densité des roches se trouvant dans les terrains sous la mer.

Enfin, intervient la sismique classique; seule capable de donner des renseignements plus détaillés. Elle emploie toute une gamme d'émetteurs à basse fréquence, basés sur :

- des impulsions électriques (boomer)
- des étincelles (sparker)
- des explosions (gaz-exploder)
- l'émission d'air comprimé

Ces echos sont produits à partir de navires d'exploration spécialement adaptés, puis récupérés et analysés.

II. EQUIPEMENTS ET MISE EN OEUVRE

A. EQUIPEMENTS DE MESURE

Les équipements pour la mesure sont embarqués sur le navire d'exploration : Il s'agit, pour l'essentiel, d'équipements électroniques adaptés à leur utilisation : capteurs, analyseurs d'information, moyens de stockage de l'information.

Concernant la saisie, l'évolution se fait au niveau des sources et non des capteurs. La source traditionnelle ('Air gun') tend à être concurrencée par de nouvelles sources ("Vapor choc", "Flexi choc", "Water choc"). Ces sources constituent les composants critiques et évoluent sous l'impulsion des sociétés d'exploration géophysique qui leur consacrent des moyens de R & D importants.

B. INTERPRETATION

L'interprétation se fait de plus en plus à l'aide de programmes informatiques développés par les sociétés d'exploration.

La sophistication croissante de ces programmes permet d'obtenir une meilleure définition (modèles itératifs) et l'introduction d'analyses à trois dimensions.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Les équipements pour la reconnaissance géophysique sont conçus et mis au point par un personnel hautement qualifié de :

- géologues
- électroniciens
- informaticiens

La mise en oeuvre sur le site est le fait d'opérateurs spécialisés.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Concernant la Géophysique marine, trois entreprises, dont deux américaines et une française se partagent plus de 50% du marché. Ces entreprises sont, dans l'ordre :

- WESTERN GEOPHYSICAL (USA) : 20 navires
- GEOPHYSICAL SERVICES INC. (USA) : 20 navires
- COMPAGNIE GENERALE GEOPHYSIQUE : 6 navires

B. DEGRE DE PROTECTION

La technicité croissante, notamment au niveau de l'acquisition et du traitement des données, rend l'activité géophysique difficile d'accès.

Les compagnies pétrolières possèdent le savoir faire indispensable aux opérations de mesure et à leur interprétation. Mais souvent, elles ne détiennent pas les technologies correspondantes et font, pour cela, appel à des sociétés spécialisées à qui est donc donnée la possibilité d'enrichir leur expérience et de progresser sur le plan technique.

La protection tient plus du savoir faire de ces sociétés que de l'existence de barrières techniques ou brevets. La mise en oeuvre exige comme on l'a vu :

- un matériel spécialisé
- un personnel hautement qualifié (conception des équipements, interprétation des données ...)

S'ajoute à cela, et peut être le plus important, l'accumulation des connaissances et du savoir faire résultant d'années d'expérience et d'activité dans différentes régions du globe et dans des conditions variées qui confère aux sociétés pétrolières et aux 'contractors' spécialisées un avantage presque exclusif qu'il s'agisse

- de l'acquisition et du traitement des données, ou
- de leur interprétation

C. CONDITIONS D'ACCES

Les sociétés spécialisées travaillent à la demande, généralement pour le compte des sociétés pétrolières à qui elles louent leurs moyens.

Des brevets couvrent les différents types de capteurs utilisés.

La pratique du transfert de technologie est exceptionnelle.

FILIERE : PETROLE GAZ
FICHE : OFFSHORE
SOUS FICHE : ACTIVITE DE FORAGE

I. DESCRIPTION

Le forage est l'activité qui, dans l'offshore, a jusqu'ici le plus bénéficié de l'effort d'innovation. Le graphique 10 rappelle les domaines actuellement accessibles aux trois types d'engins de forage.

Il est clair que la profondeur d'eau maximale accessible est insuffisante pour couvrir l'ensemble des zones à explorer. Cependant; l'accession à des profondeurs supérieures nécessite des sauts technologiques (matériaux) et devra donc faire l'objet de programmes de recherche avant d'être industriellement stable. Le programme IPOD, consacré au thème des forages par grands fonds réunit autour des Etats Unis, la République Fédérale d'Allemagne, la Grande Bretagne, le Japon, l'Union Soviétique et la France.

L'activité de forage représente environ 40% du marché total de l'activité offshore. Elle se décompose à peu près pour moitié entre :

- la location des supports
- les équipements et services annexes (cf. fiche : matériels de forage)

II. EQUIPEMENT ET MISE EN OEUVRE

Pour le forage, l'équipement mis en oeuvre est évidemment la plateforme ou support de forage (cf. fiche : plateformes de forage).

La diagraphe fait appel à une instrumentation de mesure complexe à base d'électronique. Les instruments sont descendus dans le puit en cours de forage et doivent donc résister à des conditions extrêmement sévères de température et de pression.

Le forage est une activité de service confiée généralement à des sociétés spécialisées qui disposent des supports, des moyens techniques et du personnel pour le forage offshore. Ces sociétés coordonnent les activités de services liées au forage et notamment la diaggraphie.

La diaggraphie est la mesure que l'on effectue dans le puit en cours de creusement, pour détecter la présence d'huile ou de gaz par des méthodes électriques (mesure de résistivité,), sonique (mesure d'écho), ou faisant appel à des réceptions de signaux issus de pastilles nucléaires. Cette mesure, ou 'logging', donne ensuite lieu à interprétation par des moyens informatiques.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATIONS

Le forage demande des opérateurs très entraînés capables d'appliquer les procédures de forage mise en oeuvre et de réagir avec le maximum de sécurité aux différents aléas.

Une 'équipe' de forage comprend les spécialités de :

- 'driller' ou foreur qui tient lieu de chef d'équipe
- 'tool pusher'
- 'roughneck'
- 'derrickman'

La responsabilité qui repose sur l'équipe exige un personnel très entraîné.

La formation est prise en charge par le 'drilling contractor'.

L'équipe de forage est complétée par le personnel d'entretien de la plateforme :

- soudeurs,
- mécaniciens,
- electriciens

Les sociétés de forage consacrent, pour les plus importantes, en tout cas, une part significative de leurs ressources à la recherche et au développement de nouvelles technologies, pour lesquelles est exigé un personnel d'ingénieurs et de chercheurs qualifiés sur l'activité.

La diaggraphie exige, outre des opérateurs très entraînés sur le champs, un personnel très qualifié d'ingénieurs pour la conception des équipements et l'interprétation des mesures. Les spécialités requises sont celles d'électroniciens, d'informaticiens et, à un degré moindre, de géologues.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

1. Forage

Les foreurs ou 'drilling contractors' nord-américains détiennent la plus importante flotte mondiale d'engins mobiles de forage : 80% du parc de jack ups et 70% du parc des semi-submersibles et bateaux. En 1980, le parc était d'environ 450 supports de forage qui donc, se déplacent d'un champ à un autre en fonction des contrats passés avec les sociétés pétrolières opératrices.

Les huit premiers 'drilling contractors' sont américains :

ODECO :	40 supports
PENROD :	20 supports
SEDCO :	25 supports
OFFSHORE CO. :	23 supports
READING & BATES :	22 supports
TRANSWORLD :	17 supports
ZAPATA :	16 supports
GLOBAL MARINE :	14 supports

Le premier contractor non américain est FOREX NEPTUNE (FR) : 11 supports

2. Diagraphie

SCHLUMBERGEN est leader mondial des services du 'logging' avec plus de 80% de ce marché.

B. DEGRE DE PROTECTION

La protection des foreurs tient à leur implantation internationale qui leur permet d'entretenir un parc important de supports de forage. S'ajoute à cela la connaissance des techniques opératoires et le maintien d'un personnel très entraîné.

En diagraphie, la protection principale repose sur la capacité de développer et de mettre en oeuvre une instrumentation très complexe travaillant dans des conditions d'environnement souvent très délicates.

C. CONDITIONS D'ACCES

Les services des contractors sont loués par les sociétés pétrolières nationales ou internationales. Des contrats d'assistance technique peuvent

être conclus avec des sociétés locales disposant de leurs propres équipements. La mise à disposition de certains équipements spéciaux est également envisageable : instrumentation de mesure par exemple (diagraphie).

FILIERE : PETROLE - GAZ
Fiche : OFFSHORE
Sous fiche : INTERVENTIONS SOUS MARINES

I. DESCRIPTION

Deux types de moyens se partagent les différentes tâches à réaliser dans le domaine de l'intervention sous marine :

- l'intervention sous-marine humaine
- l'intervention par engins

A - L'INTERVENTION HUMAINE

L'intervention directe en pression (plongée) est historiquement la plus ancienne. Son créneau se situe au niveau de la mise en production, en particulier pour le raccordement ou la réparation des conduites d'évacuation de la production, pour lesquelles elle restera le moyen d'intervention privilégié jusqu'à 300 mètres environ.

B - L'INTERVENTION PAR ENGIN

Un nombre grandissant de tâches ne nécessitant pas l'intervention humaine directe est réalisé par l'intermédiaire d'engins allant de la simple camera TV,

mobile ou non, jusqu'aux engins encore expérimentaux capables de manipulations relativement sophistiquées (robots sous marins). Cette tendance va se développer car ces engins représentent pour un grand nombre de tâches une alternative économique, quoique moins flexible d'emploi, à l'intervention humaine. Il est par ailleurs certain que pour les très grandes profondeurs (au delà de 600 m par exemple), de tels systèmes devront être utilisés, mais les développements nécessaires sont tels qu'une utilisation courante ne peut être envisagée avant 1985 au plus tôt.

II. EQUIPEMENTS ET MISE EN OEUVRE

L'intervention humaine exige des équipements de plongée très spécifiques et notamment des tourelles d'intervention adaptées au travail sous marin.

S'ajoute à cela les divers équipements correspondant aux tâches à réaliser pendant l'intervention. Dans le cas d'un raccordement de pipes et pour des profondeurs de l'ordre d'une centaine de mètres et au delà, on utilise des équipements de soudure très particuliers .

En 'soudure hyperbare', par exemple, on dispose d'un 'ligneur' qui saisit, grâce à des pinces hydrauliques, les deux extrémités du pipe pour en réaliser l'alignement. La chambre de soudure mobile au centre du ligneur coiffe les deux extrémités en maintenant une bulle de gaz à la pression 'hyperbare' du fond.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Pour la conception et la construction des équipements, les qualifications requises sont celles de

- mécaniciens
- electriciens et electroniciens
- specialistes d'architecture navale sous marine

La mise en oeuvre est faite par des plongeurs qui suivent un entraînement très spécialisé.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

L'activité d'intervention sous marine se partage entre un nombre très restreint d'entreprises (contractors) qui conçoivent, le plus souvent, leurs équipements et en déterminent la mise en oeuvre. Les principales d'entre elles sont :

- COMEX (France)
- TAYLOR (USA) filiale de BROWN AND ROOTS
- OCEANEERING (USA)
- SUB SEA (R.U.) filiale de BP

Ces quatre sociétés détiennent près des trois quarts du marché.

B. DEGRES DE PROTECTION

Des brevets couvrent les équipements et les éléments critiques de la mise en oeuvre, notamment les dispositifs de soudure HYPERBAPE.

Les sociétés détentrices possèdent, et c'est vraisemblablement l'essentiel, le savoir faire indispensable aux opérations : procédures de plongée, procédures de travail sous marin.

C. CONDITIONS D'ACCES

Les sociétés d'intervention sous marine travaillent à la demande pour le compte des sociétés pétrolières.

Le transfert de technologie est exceptionnel.

FILIERE ; PETROLE-GAZ

Fiche : OFFSHORE

Sous fiche : INSTALLATIONS EN MER DES STRUCTURES-POSE DE PIPES

I. DESCRIPTION

L'installation en mer des structures de production nécessite en général trois types d'intervention :

- le remorquage et la mise en place du jacket
- les opérations de levage des modules de production
- le raccordement de ces modules entre eux.

Ces opérations nécessitent l'intervention de bateaux grues puissants avec des équipages particulièrement entraînés pour manoeuvrer en mer.

Les canalisations sous marines en tube d'acier de haute qualité et lestées par un enrobage, sont posées à l'aide de bateaux de travaux spéciaux.

Diverses techniques de pose de canalisation sont utilisées.

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

Les équipements principaux sont ici :

- les bateaux grues servant à la mise en place des charges des ponts, des modules ou même des plateformes. Ces bateaux atteignent des capacités de levage de l'ordre de plusieurs de milliers de tonnes.

- les bateaux spéciaux pour la pose de pipes sous marins.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Il n'y a pas, pour les travaux en mer d'exigence très particulière de qualification, qu'il s'agisse de la construction des équipements ou de leur mise en oeuvre.

La nature particulière du travail en mer exige toutefois, en exploitation, des personnels très entraînés aux techniques mises en oeuvre.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Quelques sociétés disposent des moyens en navire et des équipages capables d'intervenir à peu près en n'importe quel endroit et qui se déplacent d'un

lieu de production à un autre. Quatre d'entre elles représentent, réunies, près des deux tiers de ce marché :

- BROWN & ROOT (USA)
- McDERMOTT (USA)
- SAIPEM (Italy)
- ETPM (France)

B. DEGRE DE PROTECTION

Les techniques de base utilisées sont, au moins en théorie, accessibles et relativement peu sophistiquées. La protection s'exerce de par :

- la lourdeur des investissements (navire)
- le savoir faire et l'expérience de mise en oeuvre

C. CONDITION D'ACCES

Les sociétés mentionnées mettent, en fonction des besoins, leurs navires à la disposition des sociétés pétrolières d'exploitation.

Le transfert de technologie est exceptionnel.

FILIERE : PETROLE - GAZ

126.

FICHE : UNITE DE LIQUEFACTION

1. DESCRIPTION

L'usine de liquéfaction n'est qu'un maillon d'une chaîne qui comprend

- les installations de production et de collecte sur le champ
- le pipeline amenant le gaz à l'usine de liquéfaction
- l'usine de liquéfaction proprement dite avec ses stockages de GNL
- les aménagements portuaires
- les méthaniers
- les stockages terminaux et les installations de regazéification.

Le gaz est généralement pas ou faiblement purifié au niveau du puit et arrive à l'usine de liquéfaction contenant des impuretés diverses (gaz acides, hydrogene sulfureux,) dont il doit être purifié avant de subir le process de liquéfaction.

Plusieurs procédés de liquéfaction sont appliqués dans les usines actuellement en fonctionnement. Le principe reste, cependant toujours le même à savoir que pour liquéfier le gaz naturel, on le refroidit dans des échangeurs à l'aide d'un gaz frigorigène dont la température est progressivement abaissée par des opérations de compression, de refroidissement et de détente. Les procédés alternatifs utilisés sont :

- la "cascade" classique constituée par trois cycles utilisant le propane, l'éthylène et le méthane comme fluides frigorigènes.
- la "cascade incorporée" utilisant un fluide frigorigène unique.
- la cascade incorporée précédée d'un cycle au propane.

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENT

Compte tenu du procédé, il n'est pas étonnant que les équipements principaux, qui sont au cœur du procédé, soient :

- les échangeurs cryogéniques
- les turbo compresseurs
- les stockages de GNL

Ces équipements sont très spécifiques du process et ne sont pas utilisés dans d'autres industries, ou tout au moins ne le sont pas avec les caractéristiques qui leur sont imposées dans les usines de liquéfaction.

A. Les échangeurs de chaleur

La tendance aux fortes capacités conduit à rechercher des échangeurs de chaleur constituant de grandes surfaces d'échange en matériaux non fragiles à basse température. Les surfaces unitaires des échangeurs sont de l'ordre de 20.000 m² alimentés par un fluide se présentant sous les deux phases liquide et vapeur à température pouvant atteindre - 160°C.

Plusieurs types d'échangeurs peuvent être envisagés parmi lesquels

- les échangeurs à plaques en aluminium brasé
- les échangeurs bobinés

Les plus utilisés sont les échangeurs bobinés, constitués de couches cylindriques successives de tubes enroulés en hélice dans lesquels circule le gaz à liquéfier et autour duquel se vaporise le fluide frigorigène. Leur fabrication exige des moyens spécifiques importants (manutention, soudure, ...) ainsi que des procédures de fabrication très astreignantes.

B. Les groupes turbo-compresseurs

1 - Compresseurs

Les impératifs des installations de GNL conduisent au choix de compresseurs permettant un débit important avec le rapport de compression désiré.

Les caractéristiques des compresseurs sont très nombreuses (pression amont et aval, puissance, vitesse, débit, nombre de roues ou de cylindres,)

On les classe généralement en

- compresseurs centrifuges

. à joint vertical (haute pression)

. à joint horizontal (basse pression)

- compresseurs alternatifs

Chaque solution présente une combinaison d'avantages et d'inconvénients.

Les compresseurs centrifuges, de par leurs caractéristiques, s'adaptent avec souplesse aux variations de régime de fonctionnement des unités de liquéfaction. Leur puissance supérieure est toutefois limitée.

Les compresseurs axiaux présentent l'inconvénient d'offrir une souplesse de fonctionnement moindre. Toutefois, la limite supérieure des possibilités des compresseurs centrifuges se trouve à la limite inférieure des compresseurs axiaux.

2. Les turbines

Les turbines d'entraînement sont des turbines issues de l'une des trois grandes technologies qui, à l'heure actuelle, dominent ce marché:

- Westinghouse
- General Electric
- Brown-Boveri

C. Réservoirs de stockage

Un bac de stockage de GNL a plusieurs fonctions à remplir :

- une fonction de résistance à la pression
- une fonction calorifuge
- une fonction d'étanchéité à basse température

Plusieurs techniques de réalisation ont été mises au point, différentes tant par la façon d'assurer ces diverses fonctions que par la possibilité de réaliser simultanément plusieurs de ces fonctions au moyen d'un même matériau.

Toutefois, la plupart des stockages réalisés peuvent se rattacher à deux grandes familles.

- celle des stockages dits "métalliques à double paroi", dont l'espace entre parois est garni de calorifuge et dont la cuve interne est réalisée en un matériau non fragile qui résiste à la hauteur hydraulique du G.N.L.
- celle des stockages dits "en béton précontraint" dans lesquels les efforts hydrauliques supportés par la membrane interne d'étanchéité sont reportés à travers le calorifuge sur la cuve externe en béton précontraint.

Ces deux solutions ont leurs avantages et leurs inconvénients. Elles sont à égalité en ce qui concerne la capacité maximum réalisée. Toutefois, les bacs métalliques bénéficient d'un nombre de réalisations considérablement plus important, et la sécurité qu'on peut en attendre est mieux garantie du fait de l'existence de codes de construction précis qui n'existent pas encore pour les bacs en béton précontraint.

TABLEAU 1

LES DIFFERENTS PROCEDES UTILISES POUR LA LIQUEFACTION DU GAZ

PROCEDE		CARACTERISTIQUES
<u>Designé par</u> (sous designations multiples)	<u>Mis en oeuvre par</u>	
	TECHNIP/PRITCHARD PHILIPS/BECHTEL	Cycle à cascade
TEAL ARC	TECHNIP/AIR LIQUIDE	Cycle à cascade incorporée
MRC	BRITISH OXYGEN/AIR	Cycle à cascade incorporée
PRICO	PRITCHARD	Cycle à cascade incorporée
MRC	AIR PRODUCTS & CHEMICALS	
CPC	AIRCO/BRITISH OXYGEN	Turbo-expander
ROTOFLOW	ROTOFLOW-FLUOR	Turbo-expander
PHILIPS	PHILIPS	Cycle Stirling

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

A. CONCEPTION

La mise en place d'une unité de liquéfaction exige des investissements importants. L'étude et la construction de ces installations font appel à toute une gamme de spécialistes du génie civil, de la chaudronnerie, de la métallurgie, des industries mécaniques et électriques, de la planification, de la mise au point du matériel et de la gestion des projets.

B. FABRICATION

La construction des unités de liquéfaction est confiée à des 'contractors' spécialisés qui cumulent ou non les fonctions d'ingénierie.

Le matériel, construit en usine, est amené et monté sur le chantier. Les principales qualifications requises sont celles de :

- soudeurs qualifiés
- mécaniciens
- électriciens
- automaticiens
- conducteurs d'engins

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Les différents procédés mis en oeuvre sont détenus par un petit nombre de sociétés (cf. tableau 1) qui :

- soit concèdent leur licence à l'entreprise générale choisie pour la construction de l'usine
- soit assurent directement la construction 'clef en main' de l'unité.

La construction des échangeurs cryogéniques et des réservoirs de stockage relèvent de la chaudronnerie lourde de haut de gamme. Un nombre limité de firmes ont eu, jusqu'ici, accès à ce marché parmi lesquelles :

- CHICAGO BRIDGE (USA), leader mondial dans la construction d'appareils sous pression.
- TOYO KANETSU (JAP)
- IHI (JAP)

B. DEGRE DE PROTECTION

Les procédés de liquéfaction sont couverts par brevets. S'y ajoute un savoir faire de construction extrêmement particulier et spécialisé.

C. CONDITIONS D'ACCES

L'accès à la technologie est assortie de redevances payées au détenteur du procédé.

Il ne semble pas qu'il y ait eu, à ce jour, du fait, probablement, de l'étroitesse du marché, de tentative de transfert de technologie.

FILIERE : PETROLE GAZ

FICHE : COMPRESSEURS

I. DESCRIPTION

A. PRINCIPE

Les compresseurs représentent l'un des constituants importants de l'équipement de production d'hydrocarbures liquides ou gazeux. On les classe généralement en :

- compresseurs centrifuges
- compresseurs alternatifs

L'énergie peut être communiquée au compresseur par :

- un moteur thermique
- une turbine à gaz ou à vapeur, ou
- un moteur électrique

Cette énergie cinétique est communiquée au gaz ou elle se transforme en pression par un procédé différent selon le type de compresseur choisi.

B. AVANTAGES - INCONVENIENTS

Chaque solution présente une combinaison d'avantages et d'inconvénients.

Les compresseurs alternatifs sont les seuls qui permettent d'atteindre de très hautes pressions. Ils offrent toutefois un souplesse de fonctionnement moindre que les compresseurs centrifuges, à axe vertical ou horizontal.

Les compresseurs centrifuges à axe horizontal sont bien adaptés à la compression de grands volumes de gaz à pression modérée. Les compresseurs à axe vertical permettent d'atteindre des pressions plus élevées.

C. UTILISATION

Les compresseurs trouvent de nombreuses applications dans l'équipement énergétique. Parmi les plus importantes, il faut citer :

- le transport du gaz sur longue distance (gazoduc)
- la liquéfaction du gaz naturel
- la réinjection de gaz dans les puits (récupération assistée)
- la production d'air comprimé comme énergie de base de nombreux équipements et outillages sur les puits de pétrole ou dans les mines (atmosphères explosives).

II. MISE EN ŒUVRE ET EQUIPEMENTS

La conception et la fabrication de compresseurs exige un important savoir faire et des ateliers bien équipés en moyens de :

- fonderie
- forge
- usinage de précision sur grosses pièces
- traitement thermique
- manutention
- contrôle
- test-banc d'essai

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Les exigences de qualification recourent, pour la conception et la fabrication des compresseurs, celles observées pour les turbines à gaz .
(cf. fiche 'Turbines à gaz').

On retrouve d'ailleurs une majorité de constructeurs dans les deux activités.

I. DESCRIPTION

Une centrale nucléaire comprend deux parties :

- un 'ilot' nucléaire dont le rôle est de produire de la vapeur.
- une partie conventionnelle de génération d'électricité à partir de vapeur, que l'on trouve également dans les centrales au fuel ou au charbon.

Les centrales se classent en deux grandes catégories, selon que la fission de l'uranium s'accompagne de l'émission de neutrons lents ou de neutrons rapides

Le développement actuel de l'énergie nucléaire s'effectue essentiellement à partir de trois technologies dominantes :

- la filière à eau légère
- la filière canadienne à eau lourde CANDU
- les surrégénérateurs

La filière à eau légère se partage entre (tableau 1) :

- le PWP (eau pressurisée) mis au point par
WESTINGHOUSE
- le BWR (eau bouillante) mis au point par
GENERAL ELECTRIC

La filire PWR compte pour environ 70% des centrales en fonctionnement et en commande dans le monde.

TABLEAU 1FILIERES NUCLEAIRES ET
DETENTEURS DE PROCEDES

FILIERE	CONSTRUCTEUR		NBR. DE REACTEURS INSTALLES AU 1.1.81.
B W R	GENERAL ELECTRIC (USA)		56
	LICENCIES G.E.	TOSHIBA (JAP)	6
		HITACHI (JAP)	2
		AMN (ITALIE)	2
	ASEA (SUEDE)		9
P W R	WESTINGHOUSE (USA)		68
	LICENCIES W.	FRAMATOME (FR)	22
		MITSUBISHI (JAP)	6
	BABCOCK-WILCOX (USA)		14
	COMBUSTION-ENGINEERING (USA)		12
	KWU (RFA)		12
	AEE (URSS)		34

II. MISE EN ŒUVRE ET EQUIPEMENTS

Une centrale nucléaire est composée d'un très grand nombre de constituants qui tous, à des degrés divers, exigent des moyens de production sinon exceptionnels, tout au moins adaptés au nucléaire. Au coeur du process, on trouve :

- les cuves de réacteur
- les générateurs de vapeur
- les pompes primaires
- les mécanismes de commande des grappes
- les groupes turbo alternateurs

A. Cuves de reacteur

La cuve d'un reacteur nucléaire est un ensemble mecano-soudé entièrement construit en atelier. Une cuve de réacteur PWR (900 MWE) a les caractéristiques suivantes :

- poids : 330 tonnes
- hauteur : 12 m
- diamètre : 4 m
- épaisseur : 23 cm

La cuve est calculée pour supporter une pression de 155 bars, une température du fluide réfrigérant de plus de 300°C et l'action des rayonnements gamma et neutronique issus du coeur.

La réalisation de la cuve pose des problèmes :

- de métallurgie : les haut niveaux de résilience spécifiés par des considérations de sûreté nécessitent une qualité exceptionnelle du métal de base.

- de soudure : pour lesquelles des moyens exceptionnels sont mis en oeuvre : procede dit 'multipasse sous flux', par exemple.

- de mise en forme et de travail du métal : capacités de forgeage de pièces de grandes dimensions (brides, viroles, emboutissage des fonds), capacités de traitement thermique, capacité d'usinage (tours verticaux, ...)

- de manutention et d'assemblage des pièces

- de contrôle : contrôle radiographique,

La réalisation d'une cuve exige environ 150.000 heures de travail.

L'intérieur de la cuve est tapissé d'éléments servant à canaliser la circulation de l'eau, à supporter le combustible et à guider les barres de commande : ces éléments exigent autant d'heures de travail que la cuve elle même.

La cuve du réacteur de BWR soulève des problèmes légèrement distincts de ceux posés pour le PWR : pression plus basse (70 bars), mais dimension plus importante, obligeant à effectuer le montage sur le site.

B. Générateurs de vapeur (PWR)

Une générateur de vapeur de réacteur PWR a les caractéristiques suivantes :

- poids : 300 tonnes
- hauteur : 20 m
- diamètre : 4 m

La fabrication de l'ensemble vaporisateur, constitué par un faisceau d'environ 3.500 tubes en INCONEL 600 disposés en U renversé revêt beaucoup d'importance. Les tubes doivent être d'une qualité parfaite et avec une épaisseur et un diamètre très précis.

L'opération de soudure des tubes sur les plaques tubulaires est délicate compte tenu de la faible épaisseur des tubes et des critères de contrôle très sévères.

C. Pompes primaire

L'eau primaire sortant du générateur de vapeur est renvoyée par une pompe vers la cuve où elle se rechauffe; le groupe moteur - pompe a les caractéristiques suivantes :

- poids : 90 tonnes
- hauteur : 8,5 m
- diamètre : 3 m
- débit : 20000 m³/h

Ces pompes sont animées par un moteur asynchrone à axe vertical de forte puissance : 5 à 6000 KW.

D. Mécanismes de commande des grappes

L'accent a été mis jusqu'ici sur la puissance exceptionnelle des moyens industriels à mettre en oeuvre pour la fabrication des composants nucléaires lourds. Pour autant, la réalisation des autres équipements relève de techniques également très élaborées. Les mécanismes de commande des grappes de contrôle de réacteur à eau pressurisé sont un exemple parmi d'autres de matériels dont la construction exige des moyens inhabituels -- machines-outils très spécialisées, hall de montage en propreté nucléaire et tours d'essais. Les mécanismes de commande doivent être éprouvés suivant des spécifications très précises dans une station spécialisée validée à cet effet, permettant d'effectuer des essais à la température et à la pression de fonctionnement en centrale.

E. Les groupes turbo-alternateurs

Les puissances considérables produites par les centrales nucléaires influencent directement la dimension et la vitesse des turbines avec, par rapport aux centrales classiques, un bond spectaculaire des puissances atteignant à présent 1.300 MW.

1. La turbine à vapeur

Les caractéristiques de la vapeur produite par les réacteurs à eau légère (PWR et BWR) sont très différentes de celles des chaudières classiques.

L'une des pièces maîtresse de la turbine est le rotor basse pression (un à trois corps B.P. par turbine) qui exige, pour sa fabrication, des moyens exceptionnels.

Le rotor B.P. est une pièce qui, avec ses ailettes, pèse 150 à 200 t, pour les turbines actuellement fabriquées, et atteindra probablement 300t pour 2000 ou 3000 MW. Les dimensions dépassent les possibilités des acieristes et il faut recourir à un mode de réalisation composite :

- soit par frettage de disques sur un arbre central
- soit par un procédé métallurgique réunissant par soudure des tranches successives de rotors.

Une fois fabriquées, les pièces en question sont usinées sur des machines puissantes et doivent être manipulées avec des moyens de levage assez puissants dans des bâtiments suffisamment grands.

2. L'Alternateur

Par rapport aux alternateurs de centrales classiques, les alternateurs de centrales nucléaires posent des problèmes très particuliers de conception et de réalisation. Le choix de la vitesse de 1500 t/mn qu'impose la turbine (au lieu des 3000 t/mn classiques) entraîne pour les alternateurs une conception de machines à 4 pôles pour lesquelles les conditions sont naturellement modifiées par suite de l'abaissement de la vitesse.

La fabrication du rotor et du stator exige des moyens ici aussi tout à fait exceptionnels. Le rotor de l'alternateur, pour les rotors monoblocs se situe, avec un poids de 180t, à la limite des possibilités de réalisation actuelles des plus grandes forges mondiales. Les grandes pièces ne peuvent être fabriquées que par un nombre réduit de forgerons aux Etats-Unis, au Japon et en Europe.

Le stator qui n'est, en début de cycle de fabrication, qu'une carcasse mécanosoudée d'une centaine de tonnes, s'alourdit de 200 t de tôles magnétiques et de plus de 30 t d'enroulement. Tantôt en position verticale, tantôt en horizontale, elle doit être levée, retournée, transférée avec des moyens de levage puissants dans des bâtiments de grande dimension.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Les descriptions qui précèdent montrent le très haut niveau de qualification nécessaire pour la construction de centrales nucléaires.

L'option nucléaire est, pour un pays, subordonné à des dispositions institutionnelles dont l'implication politique est souvent évidente.

La formation de chercheurs et de scientifiques spécialisés dans le nucléaire constitue un préalable au développement d'une industrie nucléaire dotée d'une certaine capacité d'autonomie. L'apprentissage n'est possible que par le biais d'accords de coopération passés avec l'un des pays détenteurs.

Le 'génie nucléaire' constitue une discipline de synthèse où chaque domaine est poussé à l'extrême limite des connaissances. Les spécialités y sont nombreuses :

- métallurgie
- chimie
- génie civil
- mécanique
- électricité
- automatisation
- informatique
- contrôle et sûreté nucléaire

Le contrôle de qualité s'applique à pratiquement tous les composants d'une centrale. Il nécessite la mise en place de procédures extrêmement précises

sur l'approvisionnement, la fabrication, et la montage des différents éléments. Il représente à lui seul environ 15% des personnels affectés à la construction.

Constituant	Fournisseurs
<p>Cuves de reacteur et generateurs de vapeur</p>	<p>BABCOCK & WILCOX (USA - RU) CHICAGO BRIDGE IRON (USA) CBI Nuclear (USA) COMBUSTION ENGINEERING (USA) KWU (RFA) FRAMATOME (FR) LARSEN AND TROUBO (INDE) TOSHIBA (JAP)</p>
<p>Generateur electrique</p>	<p>GENERAL ELECTRIC (USA) WESTINGHOUSE (USA) KWU (RFA) ALSTHOM (FR) MITSUBISHI (JAP) HITACHI (JAP) BHARAT ELECTRICALS LTD. (INDE) ELECTRICAL EQUIPMENT CO. (CANADA)</p>
<p>Pompes Primaires</p>	<p>INGERSOLL RAND CO. (USA) PACIFIC PUMPS INC. (FR) JEUMONT SCHNEIDER (FR) BRYON JACKSON (USA)</p>

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Le marché de la technologie nucléaire et des équipements qui lui sont associés est entre les mains d'un petit nombre de fournisseurs. Seuls quelques firmes sont, au niveau mondial, capables de fournir les constituants principaux d'une centrale nucléaire (cf. tableau 2).

Le marché du procédé se partage, pour l'essentiel, entre :

- WESTINGHOUSE, et
- GENERAL ELECTRIC

Il est à noter que l'URSS a développé plusieurs types de centrales selon un principe qui lui est propre. A l'avenir, deux types de centrales seront construits en URSS :

- des réacteurs VVER : refroidis et modérés à l'eau ordinaire sous pression (équivalent du PWR)
- des réacteurs RBMK : refroidis à l'eau ordinaire et modérés au graphite.

B. DEGRE DE PROTECTION

La protection, pour les détenteurs de procédé dans le domaine nucléaire se mesure :

- au montant considerable de capitaux
- et aux qualifications necessaires pour prendre pied sur le marché

- à l'écart qui sépare les pays dans le domaine de la recherche - développement.

C. CONDITIONS D'ACCES

L'accès au nucléaire est subordonné à un accord passé sur l'une des grandes filieres en concurrence, avec le detenteur du procédé.

L'accord passé par FRAMATOME avec WESTINGHOUSE incluait, à titre d'exemple :

- une redevance évaluée à 4% sur le chiffre d'affaire réalisé
- la fourniture par WESTINGHOUSE de certains composants 'strategiques'
- certaines clauses, enfin, de limitation commerciale.

FILIERE : ELECTRICITE

FICHE : CENTRALES THERMIQUES CLASSIQUES

I. DESCRIPTION (voir figure 14)

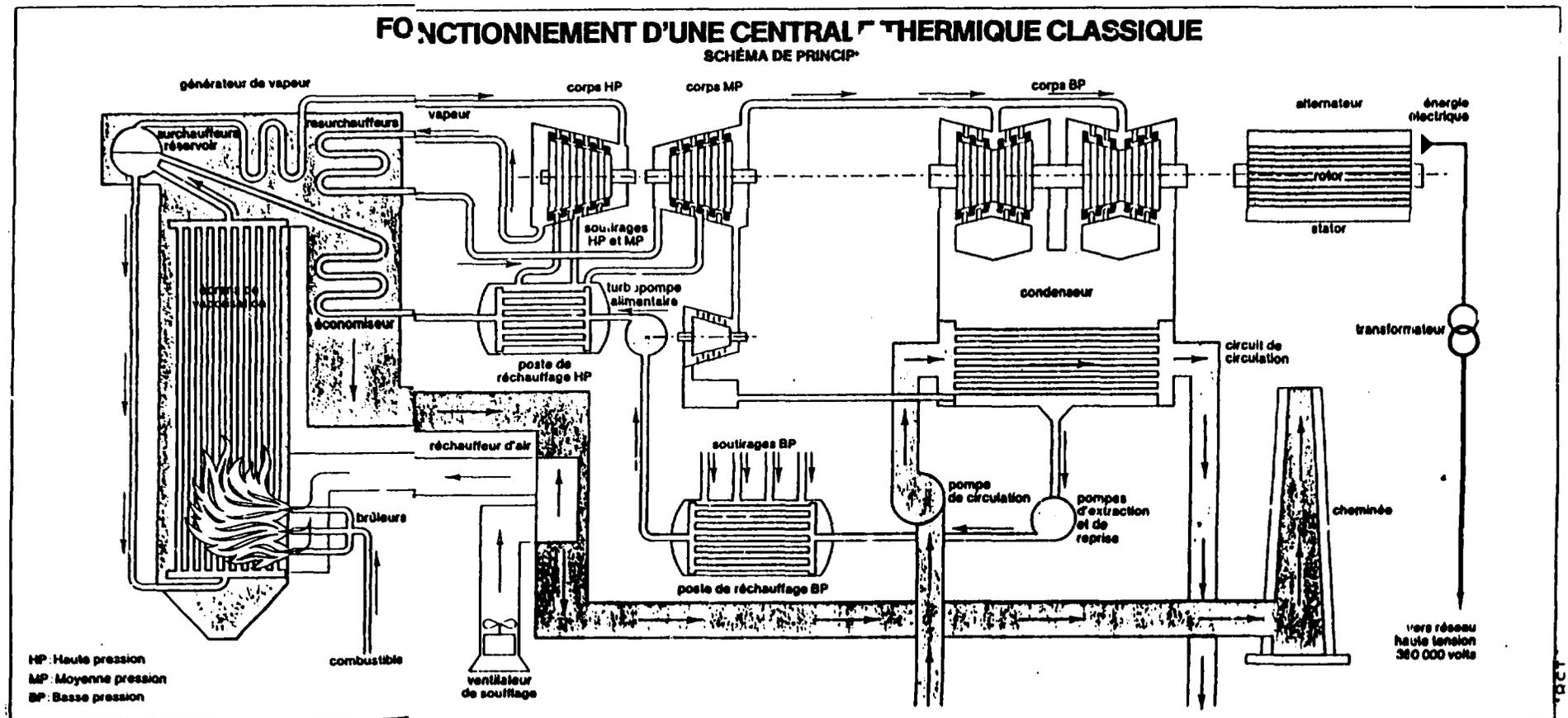
Une usine thermique produit de l'énergie électrique à partir de l'énergie calorifique obtenue en brûlant du charbon, du fuel ou autres combustibles.

Si le combustible est du charbon, celui-ci est extrait mécaniquement du parc de stockage puis transformé dans les broyeurs en poussière impalpable mélangé préalablement à de l'air réchauffé, il est injecté ensuite dans la chambre de combustion du générateur de vapeur.

Si le combustible est du fuel, celui-ci est réchauffé pour accroître sa fluidité et injecté dans des brûleurs de type adapté.

La chaleur dégagée par la combustion vaporise l'eau qui circule dans les tubes tapissant les parois de la chambre de combustion. Cette vapeur se détend ensuite progressivement dans les trois corps, haute, moyenne et basse pression de la turbine, pour aller se liquéfier dans le condenseur. L'énergie mécanique engendrée dans la turbine se transforme, dans l'alternateur, en énergie électrique. Un transformateur élève la tension au niveau de celle du réseau de transport.

FIGURE 14



II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

L'une des étapes décisives de la construction des centrales thermiques a été, vers les années 50, l'adaptation du 'palier technique' et la mise en chantier d'équipements de tranches normalisées, c'est à dire d'équipements conçus non plus à la demande mais en grande série.

Le tableau 1 présente une liste des principaux équipements mis en oeuvre pour la construction d'une centrale thermique. Les composants clefs, dont les performances déterminent la productivité d'ensemble de l'installation, sont :

- la chaudière, et
- la turbine thermique

TABLEAU 1 : LISTE DES PRINCIPAUX EQUIPEMENTS D'UNE CENTRALE
THERMIQUE A FUEL OU A CHARBON

- Parc à charbon (centrale à charbon)
- Stockage du combustible (centrale à fuel)
- Générateur de vapeur
- Condenseur
- Turbopompe alimentaire
- Tuyauterie haute pression
- Dépoussiéreur
- Robinetterie
- Turbine thermique
- Alternateur

III. EXIGENCE DE QUALIFICATION

A. INGENIERIE DE LA CENTRALE

Pour l'implantation d'une centrale thermique ou distiguée, comme pour tout grand projet de ce type :

- l'ingénierie d'avant projet ou de process qui concerne le choix et la description du procédé de fabrication
- l'ingénierie mécanique ou de projet qui fixe les grandes lignes des besoins en équipement, génie civil, et services de montage
- l'ingénierie d'exécution qui détaille les grandes lignes précédentes.

Les premières et deuxièmes phases sont les plus exigeantes en terme de qualification et concernent principalement des ingénieurs ayant déjà une longue pratique dans le domaine de centrales thermiques et donc capables de définir la configuration optimale, fonction des conditions imposées localement :

- matière première
- situation par rapport au réseau de distribution
- niveau souhaité d'automatisation
- mode de fonctionnement requis par le client
- etc.....

Les qualifications requises a ce stade sont celles de :

- ingénieurs thermiciens
- ingénieurs mecaniciens
- ingénieurs electriciens
- ingénieurs automaticiens

Les études de detail sont confiées a des :

- techniciens spécialisés (tuyauteries, combustion, échangeurs, automatismes,)
- projetteurs et dessinateurs

B. FONCTIONNEMENT

Le personnel necessaire pour le fonctionnement d'une centrale thermique classique depend de taille de la centrale et de son niveau d'automaticite.

Dans les centrales modernes, la simplification des schémas et le développement des automatismes a eu d'importantes conséquences sur l'organisation des services chargés de la conduite de l'exploitation. Où plusieurs agents etaient necessaires pour contrôler les tableaux de commande des anciennes centrales, il suffit aujourd'hui :

d'un chef de bloc, assiste de
- rondiers

pour surveiller le fonctionnement de la centrale.

IV. ACCES COMMERCIAL

(cf. fiches : 'chaudieres' et 'turbines à vapeur')

FILIERE : ELECTRICITE

FICHE : TURBINES A VAPEUR

I. DESCRIPTION

A. PRINCIPE

La turbine a vapeur constitue la source industrielle de puissance la plus importante. La vapeur d'eau est produite a partir d'un fluide condensable, donc récupérable, ne faisant pas défaut dans le monde et le combustible utilisé est tres varie : charbon, fuel, gaz naturel ou source calorifique d'un réacteur nucléaire.

Une turbine a vapeur comprend un nombre variable d'étages, dont chacun est constitué :

- d'un distributeur et
- d'une roue

L'ensemble des roues est généralement monté sur un arbre unique, en bout duquel est fixée une machine réceptrice telle qu'un alternateur électrique.

B. AVANTAGES - INCONVENIENTS

La turbine a vapeur permet, a partir de combustibles variés, brulés dans une chaudière, d'obtenir des puissances tres importantes.

Elle n'a toutefois pas la souplesse d'utilisation des turbines a gaz et supporte difficilement un emploi dans des conditions géographiques ou d'environnement difficiles et variées.

C. UTILISATIONS

La turbine a vapeur est un constituant indispensable des centrales thermiques a fuel, charbon ou gaz, et des centrales nucléaires pour l'entraînement d'un alternateur et la production d'électricité.

D'autre part, on trouve de très nombreuses centrales utilisant un combustible non vendable, provenant de résidus de consommation (ex : ordures ménagères) ou de diverses industries, qui ont pour objet de fournir, a l'aide d'une turbine a vapeur, de la chaleur ou de l'énergie mécanique, ou d'entraîner une pompe ou un compresseur. La turbine est la aussi, un constituant indispensable de la transformation energetique.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Les principales sociétés detentrices des techniques dominantes, dans le domaine des turbines à vapeur sont

- GENERAL ELECTRIC (USA)
- WESTINGHOUSE (USA)
- BROWN BOVERI (Suisse)

auxquelles s'ajoutent un certain nombre de constructeurs disposant de leur propre technologie :

- SIEMENS (RFA)
- AEG (RFA)
- PARSONS (U.K.)
- SKODA (Tche)
- RATEAU (Fr)

B. DEGRE DE PROTECTION

L'avance et la prédominance technologique dont disposent les producteurs cités, rendent très difficiles l'accès à ce marché.

C. CONDITIONS D'ACCES

L'accès à la technologie des turbines à vapeur se fait par acquisition de :
licence auprès de l'un des grands bailleurs internationaux, et accord de coopération.

FILIEPE : ELECTRICITE

FICHE : TURBINES A GAZ

I. DESCRIPTION

A. PRINCIPE

- La turbine a gaz est un moteur thermique a combustion interne constitué, essentiellement :

- d'un compresseur
- d'une ou plusieurs chambres de combustion
- d'une turbine

Le cycle comporte la compression et l'échauffement du gaz, puis sa détente a travers la turbine avec production d'énergie utile mécanique égale a la différence entre la puissance développée par la détente et celle qui est absorbée pour l'entraînement du compresseur.

Le principe est analogue a celui des turbines a vapeur a ceci près que les turbines a gaz fonctionnent :

- a des pressions plus basses
- a des températures plus élevées (1800 - 2000°C)

B. AVANTAGES - INCONVENIENTS

Les turbines à gaz présentent, par rapport aux moteurs diesels et aux groupes à vapeur de grandes puissances, l'inconvénient :

- d'un rendement énergétique inférieur,
- la nécessité de brûler un combustible noble et onéreux (distillat moyen ou gaz naturel)

L'avantage des turbines à gaz se retrouve dans :

- une moindre dépense d'investissement au KW installé
- des délais réduits de réalisation
- un encombrement réduit
- une endurance et une grande facilité d'entretien, même dans des conditions d'opération défavorables ou dans des zones géographiques difficiles.

C. UTILISATION

Les grands domaines d'utilisation des turbines à gaz sont :

- la production d'électricité pour la couverture des pointes de consommation et les utilisations de secours
- la production d'énergie pour la recherche et la production d'hydrocarbures :

- . centrale d'énergie (ex : plateformes offshore)
 - . système d'entraînement des compresseurs
- (ex : transport du gaz par gazoduc, réinjection de gaz dans le puit)

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENT

L'une des points les plus délicats de la fabrication des turbines a gaz concerne la réalisation des ailettes.

Le fonctionnement a haute temperature implique l'emploi d'alliages réfractaires a base de nickel, de chrome, de cobalt, difficiles a travailler. Les methodes utilisees par :

- forgeage, ou
- fonderie de precision

exigent une mise en oeuvre complexe, des connaissances approfondies sur le plan metallurgique et des moyens de production (forge, materiel de fonderie) à la pointe des techniques disponibles.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

La turbine à gaz partage avec les autres machines tournantes de l'industrie énergétique : compresseurs, turbines à vapeur, la particularité d'une très grande difficulté de conception et de réalisation, notamment pour des pièces importantes.

- Les constructeurs doivent maintenir un important potentiel de recherche dans les domaines de :

- métallurgie fine
- aérodynamique
- mécanique vibratoire
- thermique et thermodynamique
- contrôle non destructif

Cet effort de recherche répond au progrès constant des machines en :

- compacité
- fiabilité
- capacité à brûler des combustibles de qualité diverses
- souplesse d'utilisation : démarrage, adaptation à la charge
- réduction du bruit
- réduction des émissions
- capacité à travailler dans des conditions climatiques difficiles
- économie de combustible

- facilité d'entretien

- La fabrication d'une turbine exige une qualification et une grande qualité de moyens en :

- forge
- fonderie
- usinage de grande précision
- assemblage de grosses pièces

L'élément clef de la fabrication réside dans un contrôle rigoureux de chaque pièce.

Chaque turbine subit, en usine, une longue période de test avant d'être expédiée sur son lieu d'exploitation.

Aux compétences de constructeurs, les sociétés doivent allier celles d'installateur et d'ingénieur. Les caractéristiques du marché et de la concurrence obligent le constructeur à proposer des formules de 'clef en main' ou, tout au moins, d'être capable d'intervenir et d'apporter son assistance aux différentes étapes d'un projet d'installation d'une turbine à gaz :

- études préliminaires d'implantation
- définition du cahier des charges
- construction et mise en place sur le site
- financement
- formation des personnels
- maintien d'une capacité d'assistance et de
fourniture apres vente.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Les principales sociétés bailleurs de licence, dans le domaine des turbines a gaz sont :

- GENERAL ELECTRIC (USA)
- WESTINGHOUSE (USA)
- BST (BROWN-BOVERIE ET SULZER) (Suisse)
- SIEMENS et AEG (RFA)
- STAL LAVAL (Suede)

B. DEGRE DE PROTECTION

Les trois premières sociétés citées contrôlent, a travers leurs licenciés respectifs, la quasi totalité du marche mondial, tandis que les trois dernières n'ont pratiquement pas cédé de licence. Le tableau 1 reprend les plus importants licenciés des trois technologies dominantes.

L'avance dont dispose les producteurs cités, leur prédominance technologique, les brevets couvrant toute nouvelle innovation, rendent tres difficile l'accès a ce marché. S'ajoutent a cela les moyens importants de R & D qui permettent de maintenir l'avance acquise.

C. CONDITIONS D'ACCES

L'accès a la technologie des turbines a gaz se fait par acquisition de licence et accord de cooperation.

TABLEAU 1 : LES DIFFERENTS CONSTRUCTEURS
DE TURBINES A GAZ

BAILLEURS	LICENCIES
LICENCE GENERAL ELECTRIC (USA)	NUOVO PIGNONE (It) ALSTHOM (Fr) JOHN BROWN (UK) THOMASSEN (Holl) HITACHI (Jap)
LICENCE WESTINGHOUSE (USA)	FIAT (It) WERSPOOR (Holl) MITSUBISHI (Jap) CREUSOT LOIRE (Fr)
LICENCE B.S.T. (Suisse)	CEM (Fr) WORTHINGTON (USA) TOSHIBA (Jap) COCKERILL (Belg)

FILIERE : ELECTRICITE

FICHE : GENERATEURS DE VAPEUR

I. DESCRIPTION

Les générateurs de vapeur de centrale thermique peuvent brûler des combustibles très variés : solides, comme le charbon, le lignite, liquides, comme le fuel oil, gazeux, comme le gaz naturel ou le gaz provenant des hauts fourneaux.

La chaleur dégagée par la combustion est utilisée successivement :

- pour surchauffer la vapeur ou sortir du
générateur de vapeur
- pour réchauffer l'eau revenant du condenseur à la
chaudière
- enfin, pour réchauffer l'air extérieur destiné à la
combustion

II. EQUIPEMENT ET MISE EN OEUVRE

Un générateur de vapeur est un dispositif complexe incluant :

- la cuve en tôles épaisses soudées
- les réseaux de tuyauterie :
 - tuyauterie de vapeur
 - tuyauterie d'eau condensée
- les pompes alimentaires
- les surchauffeurs - resurchauffeurs.

L'essentiel de la fabrication relève de la gross et moyenne chaudronnerie et de la tuyauterie haute et moyenne pression.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Pour les chaudières de centrale thermique, il existe trois grandes techniques, d'origine américaine, mondialement répandues :

- COMBUSTION ENGINEERING (USA)
- BABCOCK & WILCOX (USA)
- FOSTER WHEELER (USA)

auxquelles on doit ajouter quelques techniques propres dont la diffusion reste marginale.

La concurrence s'élargit pour les chaudières de récupération ou les chaudières industrielles ou s'affrontent des firmes de dimension plus modeste.

Le tableau 1 fournit la liste des principaux licenciés dans les technologies dominantes.

TABLEAU : PRINCIPAUX CONSTRUCTEURS DE CHAUDIERES

BAILLEURS	LICENCIES
LICENCE COMBUSTION ENGINEERING	JOHN TOMSON (U.K.) MITSUBISHI (Jap) STEIN (Fr)
LICENCE BABCOCK (USA)	DEUTSCHE BABCOCK (USA) BABCOCK G.B. (USA) HITACHI (Jap)
LICENCE FOSTER WHEELER	I.H.I. (Jap)

B. DEGRE DE PROTECTION

Les dispositifs correspondant aux filieres dominantes sont brevetées.

C. CONDITIONS D'ACCES

L'accès se fait par acquisition de licence et accord de cooperation.

FILIERE : ELECTRICITE

FICHE : CENTRALE HYDRAULIQUE (TURBINES HYDRAULIQUES)

1. DESCRIPTION

La turbine hydraulique transforme en énergie mécanique utilisable toute l'énergie, cinétique ou potentielle contenue dans une chute d'eau.

Les éléments essentiels d'une installation sont :

- la bêche d'alimentation destinée à permettre l'écoulement de l'eau en amont de la turbine.
- le distributeur fixe, destiné à diriger le jet d'eau afin qu'il pénètre dans la roue avec le minimum de pertes.
- une roue munie d'ailettes ou d'aubes à sa périphérie et maintenue en rotation grâce à la force centrifuge de l'eau.

La roue de turbine entraîne en rotation l'arbre sur lequel elle est montée, arbre sur lequel est fixé un alternateur, une pompe, une soufflante ou toute autre machine réceptrice.

II. EQUIPEMENTS ET MISE EN OEUVRE

Il existe essentiellement quatre types de turbines hydrauliques
(voir tableau 1) :

- la turbine PELTON, a action pour les hautes chutes
- la turbine FRANCIS, a réaction, pour les chutes moyennes
- la turbine KAPLAN ou hélice et le groupe bulbe,
également a réaction, pour les basses et très basses chutes (mini-
centrales , usines marémotrices ...)

L'étude des turbines hydrauliques obéit a des lois bien connues et est dominée par des règles de similitude permettant d'adapter un écoulement quelconque a une réalisation existante.

TABLEAU 1
DOMAINE D'UTILISATION DES DIFFERENTS
TYPES DE TURBINES

Types de turbine	Turbine a Helice Kaplan (et groupe bulbe)	Turbine Francis	Turbine Kelton
Hauteur de chute recommandee	2 -- 25 m	5 -- 150 m	> 150 m
Puissance minimum des turbines commercialisees	depuis 1 KW	depuis 5 KW	> 100 KW

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

- Les constructeurs de turbines doivent maintenir un important potentiel de recherche et des équipes d'ingénieurs rompus aux techniques de :

- l'hydraulique et l'hydrodynamique,
- la métallurgie
- la mécanique vibratoire
- le contrôle non destructif

- La fabrication exige le niveau traditionnel de qualification de la chaudronnerie lourde et de la grosse mécanique :

- forge
- fonderie
- usinage de pièces complexes de grandes dimension
- contrôle

- Le constructeur exerce, enfin, un rôle d'assistance et de conseil à son client, exigeant donc des compétences complémentaires correspondant à :

- l'étude d'implantation
- la fourniture et la mise en place sur le site
- le financement de l'opération
- la formation des personnels
- le maintien d'une capacité d'assistance et de fourniture

après-vente.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Le marché des turbines hydraulique se partage, dans le monde, entre un petit nombre de constructeurs parmi lesquels :

- ALLIS CHALMER (USA)
- VOIGT (RFA)
- NEYRPIC (FR)
- SULZER (Suisse)
- RIVA (IT)
- KMW (Suede)
- BOWING (R.U.)
- LMZ (URSS)

B. DEGRE DE PROTECTION

La protection dont beneficent les differents constructeurs repose sur :

- les brevets couvrant différents constituants principaux et en particulier les vannes et distributeurs

Mais cette protection n'est, en tout état de cause, pas très élevée, la fabrication étant accessible à toute entreprise disposant d'un atelier de grosse mécanique et de chaudronnerie bien équipé. Les principaux constructeurs ont d'ailleurs développé une politique très large de cession de licence, la concurrence des pays en voie d'industrialisation rapide les amenant à se spécialiser sur le haut de gamme et à sous traiter localement une bonne part du volume des travaux.

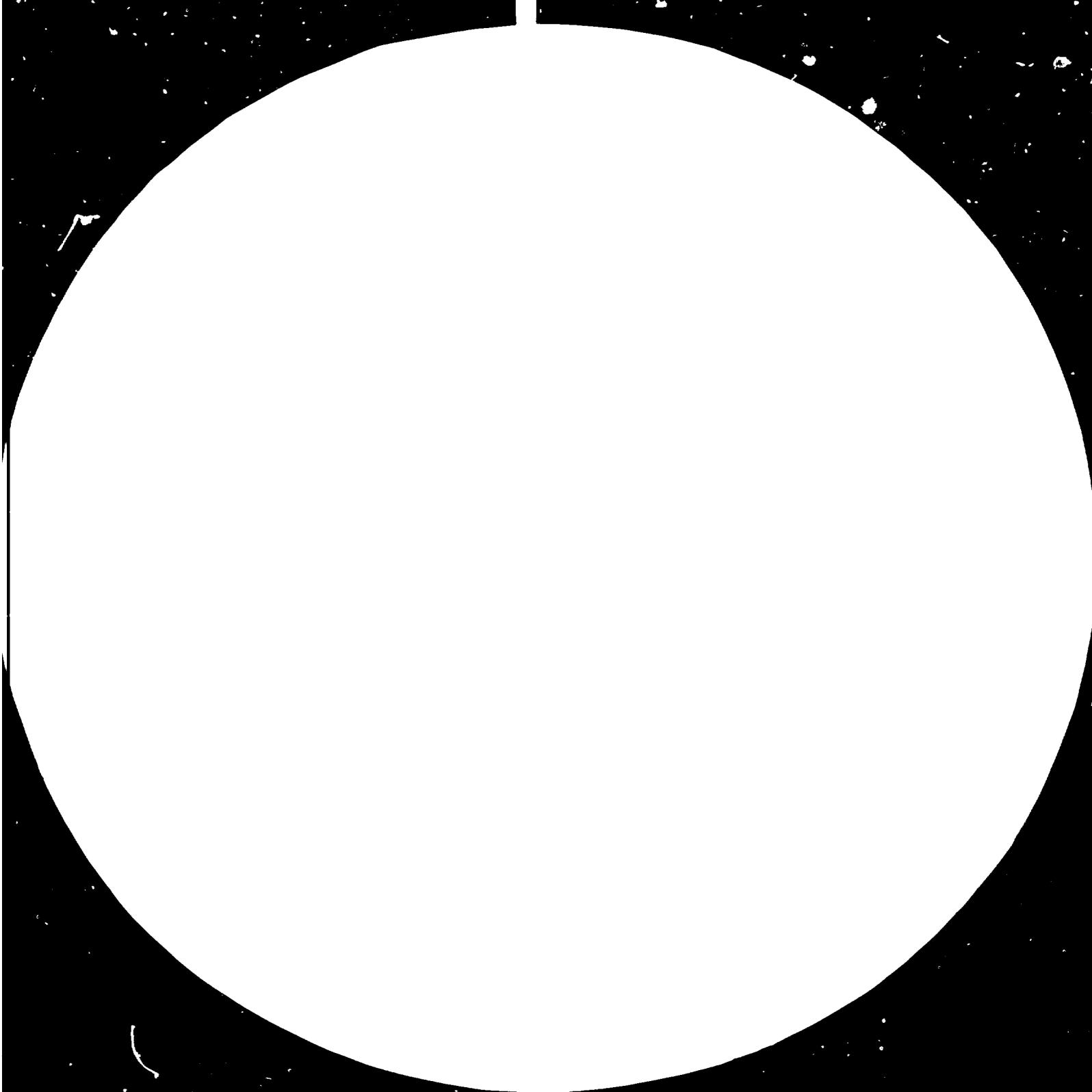
C. CONDITIONS D'ACCES

L'accès à la technologie se fait par voie :

- d'acquisition de licence et
- d'accord de coopération pouvant inclure un partage des fabrications



82 10 27





2.8



MP Resolution Resolution Test Chart

www.mitsumi.com

FILIERE : ELECTRICITE

FICHE : MINICENTRALES HYDRAULIQUES

I. DESCRIPTION

Les minicentrales hydrauliques permettent, dans les pays développés et les pays en voie de développement l'aménagement des très nombreux sites hydrauliques potentiels de petite ou moyenne capacité dont ces pays disposent : 10 à 500 KW environ. Outre leur intérêt propre, elles présentent également l'avantage d'éviter les difficiles transports de combustibles.

Une minicentrale comprend généralement :

- un barrage
- un canal d'aménée
- une grille
- une ou plusieurs turbines entraînant chacune un alternateur
- un poste d'évacuation de l'énergie

Chaque site demande un aménagement particulier et il existe rarement de solution toute faite. L'art de l'hydraulicien réside ici dans :

- le tracé de la roue
 - un aménagement de l'écoulement de l'eau
- réduisant les pertes d'énergie et minimisant les travaux de génie civil.

II. EQUIPEMENTS ET MISE EN OEUVRE

L'équipement d'une minicentrale est composé de :

- la turbine
- l'armoire de commande
- les composants externes

La plupart des machines exécutées jusqu'à présent ont été étudiées individuellement en fonction des caractéristiques propres du site. Cependant, le coût important des calculs et des études de détail pour chaque installation rend de moins en moins rentable cette conception. Les constructeurs ont donc décidé d'aborder le marché avec des produits normalisés permettant, du même coup de réaliser des conceptions les plus économiques et robustes possibles.

La fabrication des différents équipements ne pose pas de problèmes particulier et est accessible à de nombreux pays en voie de développement disposant déjà d'un tissu d'entreprises de petite et moyenne mécanique et d'une capacité industrielle dans le domaine de la régulation électrique et électronique.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

A. CONCEPTION DES EQUIPEMENTS

Les qualifications exigées pour la conception des équipements sont celles

- d'hydrauliciens
- d'ingénieurs mécaniciens et électriciens

- d'ingenieurs du genie-civil.

B. MISE EN OEUVRE

L'exploitation d'une minicentrale et sa maintenance ne demandent qu'une main d'oeuvre reduite de :

- techniciens (maintenance)
- agents de maitrise et agents d'exploitation

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Tous les fabricants de turbines hydrauliques, ou presque, ont manifesté un interêt pour les minicentrales et l'equipement de chutes de faible puissance.

D'autres sociétés, issues de la construction électrique (LEPOY-SOMER, SIEMENS,) tentent également de pénétrer ce marché.

B. DEGRE DE PROTECTION

La technologie des turbines et de minicentrales est, au moins en théorie, largement accessible. Les moyens de fabrication exigés sont également assez traditionnels et ne posent pas de difficultés particulière d'accès. Les minicentrales représentent toutefois un produit relativement nouveau qui demande encore une expérimentation préliminaire sérieuse avant d'être lancé sur le marché. Une mise en oeuvre ou une diffusion trop rapide de produits mal étudiés risquerait de conduire à des échecs très préjudiciables à la diffusion progressive des énergies nouvelles.

L'avantage dont disposent encore, à l'heure actuelle, les firmes des pays développés réside dans :

- la disponibilité d'ingénieurs de conception rompus à leur technique,
- la possibilité financière et matérielle de mener des études sur longue durée dans des environnements variés et peu favorables (maintenance, climatologie),
- la possibilité de maîtriser une production de qualité.

C. CONDITIONS D'ACCES

Un transfert des connaissances et du savoir faire vers des pays en voie de développement est possible et peut être organisé sous la forme :

- d'accords de coopération portant sur :

. la formation des scientifiques des pays

en voie de développement

. l'aménagement de centres de recherche et d'essai

appropriés

. le recensement des sites et des ressources

naturelles disponibles

- de joint-venture industrielle visant un niveau élevé

d'intégration locale.

FILIERE : ENERGIE SOLAIRE

FICHE : TRANSFORMATION THERMOCHIMIQUE

SOUS FICHE : COMBUSTION

I. DESCRIPTION

La combustion de matières végétales sèches constitue le moyen le plus ancien de production d'énergie. Dans les pays en voie de développement c'est la source la plus importante d'énergie traditionnelle pour les usages domestiques.

Dans les pays développés, un regain d'intérêt se manifeste pour la production d'énergie à partir de biomasses sèches, notamment le bois et les déchets d'exploitation agricole. L'idée du chauffage à la paille est, en particulier, nouvelle et on trouve encore peu de chaudières adaptées aux caractéristiques de ce combustible (faible densité).

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

Un accroissement d'efficacité de la combustion du bois de feu peut être obtenu grâce à la conception et la diffusion de fourneaux améliorés. Divers modèles simples et peu coûteux ont été mis au point mais aucun n'est encore répandu.

Pour des puissances plus importantes, des chaudières à bois existent permettant de réaliser des installations de chauffage collectif. Ces chaudières sont à feu continu et, si possible, polycombustibles (bois et fuel). Les puissances couramment atteintes sont de

- 250 th/h (0,025 Tep/h) pour des brûleurs à bûches

- 600 th/h (0,06 Tep/h) pour des brûleurs à sucre

Des puissances supérieures peuvent être obtenues à partir de bois pour du chauffage industriel. Les chaudières restent néanmoins encore très rustiques et ont des rendements énergétiques faibles.

Des chaudières expérimentales ont été développées pour brûler la paille qui devraient être bien adaptées pour satisfaire les besoins énergétiques que l'on rencontre au voisinage des entreprises agricoles : chauffage domestique, serres; séchage de produits agricoles, production de vapeur pour l'agro-industrie.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

- L'utilisation du bois de chauffe comme combustible peut, dans certains pays, contribuer à accélérer les déséquilibres entre la production naturelle de bois et la consommation et accroître le processus de desertification.

Des mesures simples permettraient de réduire la consommation en bois par une amélioration des conditions de combustion :

- construction de foyers en matériaux traditionnels
- adoption de récipients adaptés

L'effort se situe ici au niveau de la vulgarisation et la stabilisation des populations rurales au problème posé.

- L'utilisation de chaudières brûlant des matières végétales peut être dans certains cas envisagée. Ces chaudières ne présentent que de très faibles exigences de qualification, qu'il s'agisse de leur conception ou de leur fabrication.

IV. ACCES COMMERCIAL

La technologie considérée est, pour l'essentiel, très largement accessible.

FILIERE : ENERGIE SOLAIRE
FICHE : TRANSFORMATION THERMOCHIMIQUE
SOUS FICHE : PYROLYSE ET GAZEIFICATION

I. DESCRIPTION

A. PYROLYSE

La pyrolyse est un procédé de carbonisation de masses végétales à l'abri de l'air permettant d'obtenir trois sous-produits :

- du charbon de bois (carbone relativement pur)
- du gaz pauvre (essentiellement CO et H_2)
- du jus pyroligneux

La pyrolyse présente peu d'intérêt dans les pays développés où il est plus facile de produire de l'énergie calorifique par gazéification ou combustion.

Par contre, dans les pays en voie de développement, l'usage du charbon de bois est déjà très répandu et pourrait être étendu.

B. GAZEIFICATION

La gazéification utilise un système de combustion incomplète pour transformer la matière végétale en gaz combustible. Les gaz produits peuvent être éventuellement utilisés pour produire du méthanol.

Les techniques en concurrence sont :

- les gazogènes à l'air : technique stabilisée, du moins pour les petites capacités
- les gazogènes à l'oxygène : technique en développement ou l'oxygène est utilisé comme comburant, et permettant de construire des capacités plus importantes que pour les gazogènes à l'air.

La gazéification peut conduire, en outre, à la production d'électricité par couplage avec un groupe électrogène dual-fuel utilisant le gaz pauvre produit.

II. EQUIPEMENTS ET MISE EN OEUVRE

A. MATIERE PREMIERE

Les techniques de pyrolyse et de gazéification sont très prometteuses pour la valorisation des déchets végétaux.

- déchets agro-industriels
- déchets d'industries du bois
- déchets de complexes agricole :
 - balles de riz
 - parches de café
 - coques de tournesol
 - bourres de coco
 - etc

B. EQUIPEMENTS

Une installation - type de gazéification comprend :

- un dispositif de compression des déchets avant introduction dans le gazogène (presse)
- un gazogène (boucle de synthèse)
- une tour de lavage du gaz
- un groupe électrogène dual-fuel

La partie la plus importante est, évidemment, le gazogène dont la conception détermine l'efficacité d'ensemble de l'unité.

L'essentiel de l'équipement est constitué de pièces chaudronnées et mécano-soudées reliées entre elles par une tuyauterie basse ou moyenne pression ; interviennent également des équipements annexes tels que :

- vannes
- échangeurs
- pompes
- etc.....

La mise en oeuvre ne pose donc pas de problème spécifique particulier et peut être réalisée dans à peu près n'importe quel atelier de chaudronnerie.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

A. CONCEPTION - FABRICATION

La conception exige, comme pour tout procédé d'exploitation des énergies renouvelables, une longue période de recherche, d'essai et de mise au point sur des unités pilotes, au cours de laquelle doivent coopérer des chercheurs et ingénieurs issus de disciplines différentes :

- chimistes
- agronomes
- énergéticiens

Une fois arrêtée la configuration optimale, le dessin de l'unité et les études de détail ne posent, en principe, pas de difficulté majeure.

Pour la fabrication, les qualifications sont celles que l'on trouve dans un atelier traditionnel de chaudronnerie.

B. EXPLOITATION

L'exploitation et la maintenance exigent une main d'oeuvre réduite de

- techniciens (mécánicoien, soudeur) et
- agents d'exploitation

IV. ACCES COMMERCIAL

La technologie correspondant à la pyrolyse et la gazéification des biomasses ne pose pas de difficulté majeure d'accès.

La technologie mise en oeuvre pour les gazogènes à l'air est largement disponible.

La gazéification à l'oxygène en est encore à un stade expérimental ou une collaboration est nécessaire entre centres de recherche des pays développés et des pays en voie de développement. Il est peu probable que les procédés à l'étude puissent déboucher sur une protection particulière, qu'il s'agisse de brevets couvrant tout ou partie du procédé ou qu'il s'agisse de la

nécessité de faire appel a des équipements spécifiques qui ne seraient pas largement disponibles sur le marché international.

FILIERE : ENERGIE SOLAIRE
FICHE : TRANSFORMATION BIOCHIMIQUE
SOUS FICHE : ETHANOL

I. DESCRIPTION

La fermentation alcoolique, connue depuis l'Antiquité, peut s'effectuer à partir de matières premières contenant du sucre, de l'amidon ou de la cellulose.

L'intérêt de cette filière est qu'elle permet de récupérer sous forme d'un combustible liquide pratique l'énergie qui a été accumulée par la matière végétale dans le cadre de la photosynthèse.

L'alcool, sous forme d'éthanol, peut avoir trois utilisations :

- comme substitut partiel ou total à l'essence
- comme produit intermédiaire pour la chimie
- comme solvant industriel

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

Les équipements d'une unité de fabrication d'éthanol sont les suivants :

- Préparation de la matière végétale (broyeur)
- Tour de lavage
- Cuve de fermentation
- Colonne de distillation
- Chaufferie-chaudière
- Tuyauterie basse pression

Tous ces équipements sont en acier noir, acier inox ou cuivre (tuyauterie). Leur fabrication ne pose pas de problème spécifique et peut être confiée à un atelier traditionnel de chaudronnerie.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Les procédés de fermentation éthylique sont très largement disponibles. Leur mise en oeuvre et la fabrication des différents équipements relèvent d'une activité traditionnelle de chaudronnerie.

D'autres filières plus prometteuses sont en expérimentation permettant de déboucher sur un mélange d'alcool lourd (alcool butylique) et d'acétone dont les propriétés sont voisines de l'essence. Pour cela, une

experimentation est à prévoir sur plusieurs années exigeant des qualifications de chercheurs (agronomes, chimistes,

IV. ACCES COMMERCIAL

La technologie est d'ores et déjà disponible et exploitée dans certains pays en voie de développement (dont en particulier le BRESIL).

Les procédés actuellement à l'étude ne devraient pas non plus poser, une fois mis au point, de problème spécifique d'accessibilité commerciale. Une coopération n'en est pas moins hautement souhaitable, au stade actuel de la recherche, entre laboratoires et centres d'essais de différents pays.

FILIERE: ENERGIE SOLAIRE

Fiche : Transformation biochimiques -- Conversion BIO-GAZ

Sous Fiche : Conversion BIO-GAZ

I. DESCRIPTION

Les procédés déjà en exploitation et susceptibles de développement à court et moyen terme sont basés sur le phénomène de la fermentation. On envisage ici le cas de la production de méthane par conversion énergétique microbienne à partir de déchets organiques dans des installations dites de conversion bio-gaz.

Dans ces installations, des matières organiques mélangées à de l'eau, sont mises en fermentation anaérobie (c'est à dire en absence d'air et d'oxygène). Pendant la fermentation, un gaz, constitué de 60% de méthane est produit. Les résidus gardent l'azote. Par conséquent, les composants utiles des déchets agricoles, c'est à dire les hydrocarbures et l'azote, sont utilisés de façon appropriée comme combustibles et comme engrais respectivement.

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

L'avantage technico-économique de la fermentation méthanique est qu'elle peut s'effectuer dans de nombreuses petites installations, évitant ainsi un des inconvénients majeurs d'autres systèmes de conversion : la nécessité de rassembler des matières premières en quantité suffisantes pour créer des installations de traitement à des conditions économiques acceptables.

L'installation-type comporte deux parties principales :

- un digesteur dans lequel les matières qui vont être fermentées en mélange avec de l'eau sont introduites.

- un collecteur de gaz destiné à recevoir le gaz produit.

Les résidus, après fermentation, sont collectés dans une fosse. Ils sont utilisés comme engrais, soit directement, soit après transport dans une fosse pour utilisation ultérieure.

Les dimensions du digesteur dépendent du nombre de jours pendant lesquels les matières doivent fermenter et de la quantité de matières alimentées chaque jour. De même les dimensions du collecteur de gaz dépendent de la période pendant laquelle le gaz doit être stocké.

En Inde où plus de 40.000 installations familiales ont été installées dans les villages depuis une quinzaine d'années, le digesteur est simplement une fosse creusée dans le sol et habillée d'une maçonnerie en brique.

Le collecteur de gaz est en acier et il flotte sur de l'eau contenue dans une cuve étanche. Ce collecteur de gaz flottant permet selon un moyen simple de conserver le gaz à une pression constante (10 cm d'eau).

Lorsque le collecteur de gaz est plein et que la production de gaz continue, l'excédent passe simplement à travers la cuve étanche.

Avec les rendements obtenus, une famille doit disposer de trois à cinq animaux pour alimenter l'installation si on veut que celle-ci satisfasse les besoins de la famille en matière de cuisine et d'éclairage. Cette exigence est, en pratique, très limitative : seules quelques familles (15% en Inde) peuvent les construire et les entretenir.

Pour surmonter ces difficultés, on a pensé construire dans les villages des installations d'une capacité plus importante pouvant desservir une centaine de familles (170 m³/j).

INVESTISSEMENT REQUIS POUR UNE
INSTALLATION DE BIO-GAZ DE 170m³
DE GAZ/JO'R

	<u>U.S.dollars</u>
Installation de production du gaz (1 tonne ³ /j)	4.000
Cuisine commune de l'installation	500
Lavoir commun de l'installation	200
Compresseur	300
Bouteilles (250)	2.500
Brûleurs (100)	1.000
Divers	1.500

TOTAL	10.000
	=====

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Le procédé ne pose pas d'exigences en terme de qualification et est accessible, moyennement un effort de vulgarisation aux populations rurales traditionnelles.

IV. ACCES COMMERCIAL

Le procédé, sous sa forme décrite, est très largement accessible.

FILIERE : ENERGIE SOLAIRE

209.

FICHE : CAPTEURS PHYSIQUES

SOUS FICHE : CAPTEURS PLANS

I. DESCRIPTION

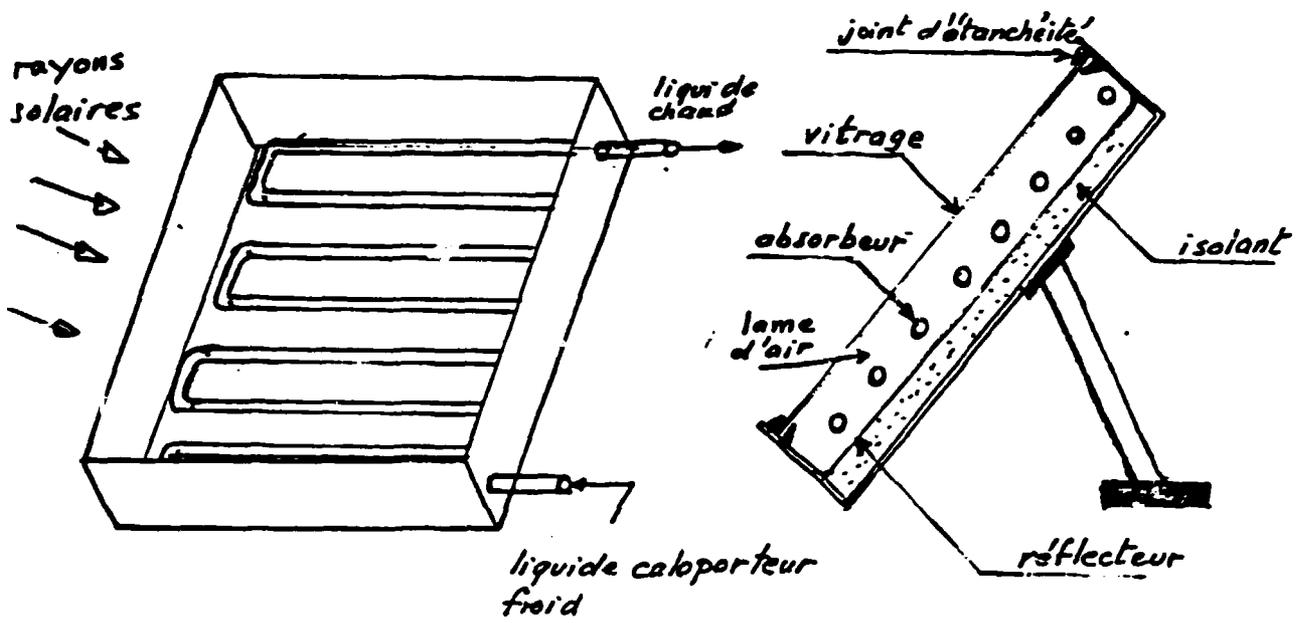
La technologie des capteurs plans est actuellement la plus répandue, chez celle des cellules photovoltaïques. Un capteur plan transfère l'énergie du rayonnement solaire sous forme de chaleur à un liquide (fluide caloporteur) qui est utilisé ensuite par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur.

- pour réchauffer de l'eau chaude à usage sanitaire ou de chauffage central
- comme source chaude pour un moteur thermique
- comme source chaude pour un système de réfrigération à absorption.

L'énergie du rayonnement solaire est collectée suivant le principe de l'effet de serre dans des capteurs fermés dont le schéma est donné ci-après .

(cf. figure 14).

FIGURE 14 : CAPTEURS PLANS



Suivant les solutions techniques adoptées, on distingue :

- les capteurs a basse température qui sont les plus simples et les moins coûteux qui fournissent des températures de 40 à 60° C.

- les capteurs a moyenne température (80 à 120°C) qui sont dotés de dispositifs anti-pertes, surfaces sélectives, structures anti-rayonnantes et anti-correctives.

Les capteurs plans utilisent a la fois le rayonnement direct et le rayonnement diffus, sans concentration. Il n'est donc pas nécessaire de prévoir un dispositif d'orientation au cours de la journée. Ces capteurs sont fixes et peuvent être intégrés a une construction (en general en toiture).

Le rendement de captation (1) de ce type est assez bon (45 a 60° pour les capteurs a basse température, 40 a 45° pour les capteurs à moyenne température). Ils ont cependant l'inconvénient de fournir de la chaleur a basse temperature difficilement utilisable pour produire de l'électricité ou de l'énergie mécanique avec un rendement acceptable des machines thermiques.

Cependant, leur prix relativement réduit (100\$ environ par m² en 1980) les rend compétitifs et leur technologie assez souple permet une production industrielle dans de nombreux pays. Leur durabilité est par ailleurs bonne et leur maintenance simple.

II. EQUIPEMENT ET MISE EN OEUVRE

Les capteurs plans sont des produits de conception simple pouvant être fabriqués dans un très grand nombre de pays. Les principaux constituants d'un collecteur plan type sont :

- du verre plat (épaisseur 3 mm)
 - . verre ordinaire pour le vitrage extérieur
 - . verre spécial pour l'intérieur du collecteur,capable de supporter d'importants écarts de température.

- de la tôle d'acier galvanisée de différentes épaisseurs (0.75 à 5 mm)

- des tubes ou plaques d'absorption en cuivre (épaisseur 0.5 mm) ou en aluminium.

- des tubes collecteur en acier (tubes non soudés) de diamètre extérieur 60 mm et d'épaisseur 4 mm.

- différents matériaux isolants tels que verre, matériau textile ou plastique.

Les équipements nécessaires pour fabriquer des capteurs plans à partir de ces matériaux sont des équipements classiques sans grande sophistication: machines outils, presses

III. EXIGENCES DE QUALIFICATIONS

La conception et la fabrication de capteurs plans ne pose pas d'exigences sévère de qualification.

La production en série du capteur peut être confiée à un atelier de type 'mecanique generale' sans spécificité particulière.

IV. ACCES COMMERCIAL

La technologie des capteurs plans est, des à présent, très largement accessible. Un transfert de technologie peut être, toutefois nécessaire concernant l'implantation de l'unité de fabrication et la mise en place d'un contrôle rigoureux de la production.

FILIERE : ENERGIE SOLAIRE

FICHE : CAPTEURS PHYSIQUES

SOUS FICHE : CAPTEURS PHOTOVOLTAIQUES

I. DESCRIPTION

L'utilisation des rayons solaires pour la production d'électricité par l'intermédiaire de composants semi-conducteurs met en jeu des phénomènes physiques complexes. Lorsqu'un matériau semi-conducteur reçoit un rayonnement présentant certaines caractéristiques, on observe un courant pouvant être stocké et utilisé à des fins domestiques ou commerciales.

L'énergie produite est fonction de multiples paramètres :

- rayonnement solaire
- incidence
- température ambiante

Différents matériaux sont utilisés pour le capteur (cf. tableaux 1, 2, et 3) :

- Les photopiles au silicium ont des possibilités d'augmentation de rendement mais surtout de baisse de coût.

- Les photopiles à arseniure de gallium permettent d'obtenir des rendements très élevés mais leur coût actuel est encore trop élevé.

- Les photopiles à sulfure de cadmium sont relativement simples à produire mais leur rendement est faible.

Tableau 1 Fabrication de photopiles au silicium

- Caracteristiques :
- Fort potentiel d'abaissement des coûts
 - Rendements élevés : 18% (en laboratoire)
- Materiau : Silicium monocristallin
- Procede :
- réduction de la silice — Si impur
 - chloruration du Si
 - distillations successives des chlorines
 - reduction par l'hydrogene des chlorures purifiés — Si polycristallin pur
 - fusion du Si
 - tirage (methode de CZOCHRALSKI) d'un lingot de monocristal de diametre 50 à 100 mm
 - sciage du lingot en tranches d'epaisseur 0,3 à 0,5 mm
- Evolution :
- reduction du coût du materiau
 - amelioration du tirage et du sciage des lingots
 - filière du Si en rubans (TYCO-USA)
WESTINGHOUSE-USA)
 - filière du Si polycristallin (AEG-RFA)
(SOLAREX-USA)

- reduction de coût de la technologie des photopiles

- . progrès sur la formation des contacts
- . progrès sur la formation des jonctions

- réduction du coût de la technologie d'encapsulation

Tableau 2 : Fabrication de photopiles à arseniure de gallium (très haut rendement)

Caracteristiques :	Rendement élevé : 22% (en laboratoire) Seul semi conducteur à avoir permis de construire des photopiles de rendement plus élevé que le silicium. - prix très élevé (x 10 par rapport au silicium). - peut être utilisé sous forte concentration solaire
Materiau :	Arseniure de gallium
Procede :	Realisation d'une jonction P-N de GA-AS sur laquelle a été déposé une "fenêtre" d'Alliage $Ga_{0,2} Al_{0,8} A_o$ (procede IBM).
Evolution :	- Interet pratique encore limité du fait du coût élevé - Fiabilité non encore déterminée
Developpement :	- Production de laboratoire - Aucune commercialisation amorcée

Tableau 3

Fabrication de photopiles au sulfure de CADMIUM.

Caracteristiques : Rendement faible : 10% maxi environ
Prix faible

Materiau : Sulfure de cadmium

Procede : Elément photosensible : sulfure de cuivre
Barrière de potentiel : heterojonction entre Cu, S et CdS

Les deux materiaux sont obtenus en grains fins
par des techniques très simples mettant en jeu
l'évaporation sous vide et les réactions chimiques
en phase liquide.

Evolution : Accroître la stabilité des cellules

Developpement : Production de laboratoire
Aucune commercialisation

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

Un générateur photovoltaïque est formé de quatre parties :

- . les modules-capteurs
- . le cadre support
- . la batterie
- . l'électronique de contrôle et de sécurité

Pour la fabrication des modules-capteurs, une étape essentielle est l'encapsulation. Le cadre support est généralement de type métallique (aluminium, acier galvanisé).

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

La conception et la fabrication des capteurs mobilise le savoir faire de laboratoires réputés comme les plus avancés dans la physique des cristaux et les recherches sur les semi-conducteurs.

La construction du générateur à partir des cellules, est, à l'inverse peu exigeante de qualification si ce n'est l'encapsulation dont plusieurs pays en voie de développement revendiquent la fabrication.

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

La technologie des photopiles est, à l'heure actuelle, détenue par un petit nombre de firmes dont la plupart sont filiales de grandes groupes qui ont bénéficié pour leurs recherches, d'importants fonds publics, en particulier aux USA. Parmi les plus importantes :

- MOBIL-TYCO (USA)
- MOTOROLA (USA)
- IBM (USA)
- SOLAR POWER , filiale d'EXXON (USA)
- SOLAREX (FR)
- SPECTROLAB , filiale de HUGHES AIRCRAFT (USA)
- CGE (FR)

B. DEGRE DE PROTECTION

La protection des sociétés citées reside dans leur capacité de recherche et la possibilité de mobiliser des équipes dont les travaux se situent à la pointe des progrès les plus récents.

- S'ajoute à cela les brevets qui protègent les procédés où certaines étapes clef de la fabrication.

C. CONDITIONS D'ACCES

Le photovoltaïque n'a pas encore atteint sa pleine maturité commerciale. Pour l'heure, l'accès des pays en voie de développement aux recherches menées est limité au courant d'information que génèrent les différents projets expérimentaux ou de démonstration des différentes techniques en présence.

Dés à présent, certains pays fabriquent des générateurs photovoltaïques mais à partir de cellules importées. Une revendication de ces pays, qui pourrait être satisfaite dans un proche avenir, est d'intégrer une partie de la fabrication des cellules et particulièrement l'encapsulation. Certains pays peuvent viser une intégration encore plus poussée : sciage des lingots, fabrication de silicium cristallin (accords de coopération).

FILIERE : ENERGIE SOLAIRE

FICHES : CAPTEURS PHYSIQUES

SOUS FICHE : CENTRALES SOLAIRES DE PUISSANCE

I. DESCRIPTION

Le concept de centrale solaire de puissance consiste à collecter le rayonnement solaire sur une très grande surface à l'aide d'un champ de miroirs orientables à héliostat et, après réflexion, à le concentrer sur une chaudière portée par une tour. La hauteur de la tour doit être suffisante pour limiter l'importance des pertes dans le champ par ombre portée des héliostats les uns sur les autres.

La chaudière solaire transfère l'énergie sous forme de chaleur à un fluide caloporteur qui assure son évacuation vers le système de conversion thermodynamique en passant éventuellement par un système de stockage thermique.

II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS

Les éléments principaux de la mise en oeuvre d'une centrale solaire de puissance concernent :

- le système optique
- la chaudière solaire
- le système de stockage
- le système de conversion thermodynamique

A - Le système optique

Le système optique est constitué par le champ d'héliostats qui réfléchit le rayonnement incident et le focalise sur la chaudière centrale. Dans les projets actuels, la surface de verre installée par KW de puissance nominale varie de $6.7 \text{ m}^2/\text{KW}$ à $12 \text{ m}^2/\text{KW}$.

Les points clés de la mise en oeuvre touchent à :

- l'implantation optimale du champ de miroirs
- la conception et la qualité du miroir :
 - . coefficient de réflexion élevé
 - . bonne focalisation
 - . précision de pointage satisfaisante
 - . investissement faible

Un élément important concerne, au plan technologique, la surface réfléchissante.

Le matériau le plus souvent choisi est le verre float argente ou aluminisé face arrière. Il est à noter que la société BOEING a développé un héliostat de conception particulière : la surface réfléchissante est une feuille de MYLAR aluminisée et tendue sur un cadre très léger servant de panneau support.

B. - LA CHAUDIERE SOLAIRE

Les projets mettent tous en oeuvre une conception originale et différente de chaudière solaire. Les principaux choix technologiques relatifs à la chaudière solaire concernent :

- sa géométrie ou configuration
 - . en cavité (cavité couronne, cavité cylindrique, ...)
 - . ouverte
- le fluide thermique : On distingue :
 - . les chaudières à fluide diphasique (eau vapeur haute pression)
 - . les chaudières à fluide monophasique basse pression : sodium, sels eutectiques, gilotherm TH, ..
 - . les chaudières à gaz à haute température (pour utilisation couplée avec une turbine à gaz)

C - LE STOCKAGE

Le stockage "chimique" pose le problème essentiel du choix de la réaction chimique utilisée. Les efforts n'en sont ici qu'à leur début.

Le stockage thermique pose le problème du choix du matériau de stockage.

Parmi les matériaux à l'étude :

- . Gilotherm TH
- . Sels eutectiques
- . Sodium liquide
- . Sables
- . Lits de pierre
- . Briques de magnésie

D - LA CONVERSION THERMODYNAMIQUE

La conversion thermodynamique nécessite des recherches et un équipement spécifique. L'alternative se pose sur le choix du cycle thermodynamique, le fluide utilisé et la configuration de la turbine qui convertira la chaleur transférée au fluide caloporteur en énergie mécanique.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Les recherches sur les centrales solaires de puissance mobilisent d'importants potentiels de chercheurs :

- thermiciens et thermodynamiciens
- métallurgistes
- physiciens
- chimistes

IV. ACCES COMMERCIAL

Le procédé est encore expérimental et n'a pas atteint sa phase commerciale.

La liste des opérateurs dans la conception et la mise au point des différents constituants est indicative des futurs détenteurs de procédés.

	OPERATEUR - PROMOTEUR	CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES
<u>SYSTEME OPTIQUE</u>	MARTIN MARIETTA (USA)	VERRE ARGENTE
	BOEING (USA)	PERILLE PLASTIQUE METALISEE
	MACDONNEL-DOUGLAS (USA)	VERRE ARGENTE
	SNIAS-SOTEREM (FR)	VERRE ARGENTE
	CETHEL (CEE)	VERRE ARGENTE
<u>CHAUDIERE SOLAIRE</u>	MACDONNEL DOUGLAS (USA)	- FLUIDE : EAU VAPEUR SURCHAUFFEE (100 BARS) - GEOMETRIE : EXTERNE - CYLINDRE
	BOEING (USA)	- FLUIDE : HELIUM (35 BARS) - GEOMETRIE : CAVITE CYLINDRIQUE
	CETHEL - INTI (CEE)	- FLUIDE : GILOTHERM TH (1 BAR) - GEOMETRIE : CAVITE
	CNRS - EDF (FR)	- FLUIDE : SEL ENTECTIQUE (1 BAR) - GEOMETRIE : CAVITE-COURONNE

OPERATEUR - PROMOTEUR

METREK

STOCKAGE

MACDONNEL DOUGLAS (USA)

MARIEN MARIETTA (USA)

CNRS - EDF (FR)

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

STOCKAGE ACIER

LIQUIDES ORGANIQUES ET PIERRES

SELS FONDUS

SELS EUTECTIQUES

FILIERE : ENERGIE SOLAIRE

FICHE : EOLIENNES ET AEROGENERATEURS

I. DESCRIPTION

La production d'énergie mécanique par le vent est, aujourd'hui, essentiellement destinée au pompage de l'eau. Cette application, bien que très ancienne, continue à être utilisée et connaît même depuis quelques années un regain d'intérêt avec l'incitation à l'utilisation des énergies renouvelables.

Une autre possibilité réside dans l'utilisation de l'énergie mécanique du vent pour produire de l'électricité. Les constructions d' "aérogénérateurs" sont encore peu nombreuses mais le processus amorcé de relance des programmes d'étude devrait déboucher sur des réalisations d'unités de grande puissance capables, dans certaines conditions, de rivaliser avec les énergies "classiques".

Un grand nombre de "capteurs" d'énergie éolienne ont été brevetés, parfois mis au point et réalisés au niveau du prototype, mais finalement, assez peu ont été généralisées.

En effet, à partir du moment où l'on a un dispositif permettant de créer des forces symétriques par rapport à un axe, on peut obtenir un mouvement pouvant produire de l'énergie mécanique transformable en énergie électrique. Les questions à résoudre concernent :

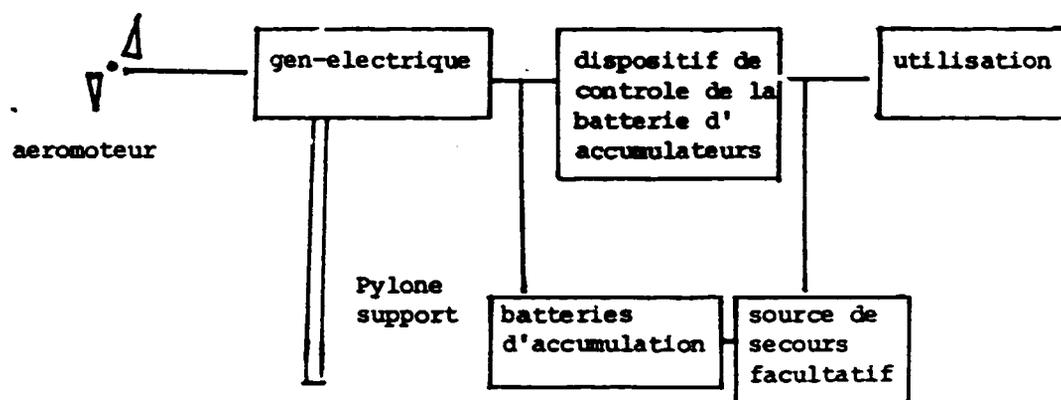
- la taille du dispositif
- son coût
- sa durée de vie
- les limites de force des vents entre lesquelles une énergie peut être récupérée.

Différents dispositifs existent définis par l'orientation de leur axe par rapport à la direction du vent :

- aeromoteurs à axe horizontal
 - . axe parallèle à la direction du vent
 - . axe perpendiculaire à la direction du vent
- aeromoteurs à axe vertical

Les stations éoliennes destinées à la production d'électricité ont une configuration correspondant à la figure 15.

FIGURE 15 : SCHEMA D'AEROGENERATEUR



II. MISE EN OEUVRE ET EQUIPEMENTS :

Un aerogénérateur à deux ou trois pales, pourvu d'une fréquence (vitesse) de rotation stable à partir d'une certaine vitesse du vent, et éventuellement un système de sécurité destiné à arrêter la machine en cas de tempête si le système de régulation est inopérant au delà d'une certaine vitesse du vent.

un générateur électrique qui peut être :

- . soit directement accouplé à l'aéromoteur
- . soit entraîné par un multiplicateur de vitesse placé entre l'aeromoteur et le générateur électrique.

Un pylone support d'aérogénérateur qui, bien que mécaniquement simple, est une partie importante de l'installation de par :

- . sa hauteur
- . sa fréquence propre
- . sa robustesse

Un dispositif de stockage de l'énergie produite, généralement constitué de batteries d'accumulateurs au plomb :

- une source de secours
- un dispositif de contrôle de la batterie d'accumulateurs

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

De nombreux modèles d'éolienne faible puissance, réalisables avec de faible moyens, ont été mises au point dans le monde. Plusieurs dizaines de fabricants ont été recensés proposant un matériel peu coûteux et, semble-t-il robuste. Les éoliennes, calculées pour une utilisation en zone tempérée, conviennent mal, par contre, au régime des vent plus contrasté de beaucoup de pays en voie de développement.

Des recherches sur des machines de forte puissance se poursuivent dans différents pays :

- Les Etats-Unis ont, sous l'impulsion de la NASA, entrepris un important programme de développement des aérogénérateurs, dont un expérimental de 3 MW (diamètre du rotor bipale de 90 m).

- le gouvernement suédois a fait entreprendre la construction de machines développant une puissance nominale entre 2 et 4 MW.

- Les Pays-Bas, le Canada et la France poursuivent également d'importants programmes de recherche.

En France, l'EDF a fait construire et installer par la société AEROWATT un aérogénérateur de 100 KW qui alimente le réseau de l'île d'OUESSANT.

B. DEGRE DE PROTECTION

Les recherches menées depuis quelques années dans le domaine des aérogénérateurs ont permis d'importants progrès techniques dont ont bénéficié les constructeurs

d'appareils commerciaux. Pour autant, ces constructeurs ne paraissent pas, pour l'instant, bénéficier d'une réelle protection sur le marché.

Seuls les aérogénérateurs de caractéristique élevée peuvent présenter une technicité ne favorisant pas la construction et l'entretien par des moyens locaux.

C. CONDITIONS D'ACCES

Les brevets déposés par les différents constructeurs d'aérogénérateur ne devraient pas poser d'obstacle majeur à l'accès de cette technologie par les pays en voie de développement.

Il faut toutefois signaler que la technologie des aérogénérateurs s'exporte mal. La prise en compte des conditions locales d'utilisation est primordiale dans le dessin de la machine la mieux adaptée : conditions climatiques, régime des vents, Le domaine des aérogénérateurs est un de ceux où un effort d'autonomie doit être entrepris, qui n'exclut pas une coopération entre laboratoires et centres d'essais des différents pays.

FILIERE : ENERGIE SOLAIRE

FICHE : CENTRALES GEOTHERMIQUES

SOUS FICHE CENTRALES A EAU CHAUDE

I. DESCRIPTION

Les eaux à température modérée (de 60 à 150°C) sont très répandues dans le sous-sol. Ces eaux ont été jusqu'à présent utilisées pour le chauffage urbain. Mais elles peuvent aussi fournir de l'énergie électrique.

Les deux étapes de la mise en valeur sont :

- la prospection des sites favorables
- la mise en place des équipements de récupération de l'énergie géothermique.

Une fois le site identifié, on procède aux forages permettant d'extraire puis de réinjecter l'eau géothermale. Leur implantation doit être calculée pour qu'il n'y ait pas de baisse de température aux puits de production pendant la durée de l'exploitation.

La production de chaleur peut être assurée par :

- des échangeur de chaleur qui transfèrent vers le réseau de chauffage les calories contenues dans l'eau géothermale salée.

- des pompes à chaleur

L'association de pompes à chaleur et d'échangeurs géothermiques permet
d'abaisser la température de réinjection de l'eau de forage.

II. EQUIPEMENTS ET MISE EN OEUVRE

La technique de réalisation des forages se rapproche de celle utilisée dans l'industrie pétrolière.

Les équipements principaux, pour une installation-type, sont :

- les échangeurs
- les condenseurs
- les pompes de circulation
- les pompes à chaleur eau-eau
- la tuyauterie

Pour les matériels en contact avec l'eau du forage, on doit utiliser un matériau capable de résister à la corrosion : généralement le titane.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Pour la prospection, les qualifications exigées sont celles :

- vulcanologues
- géophysiciens
- géochimistes
- hydrogéologues

La conception d'une unité d'exploitation géothermique exige des qualifications de :

- thermiciens
- mécaniciens
- automaticiens

IV. ACCES COMMERCIAL

A. PRINCIPAUX DETENTEURS

Il est, à priori, difficile, dans le domaine de la géothermie, d'identifier les 'détenteurs' de procédé. L'expérience de ces installations est partagée entre les sociétés d'ingénierie qui ont dû les concevoir et les réaliser, et les fabricants d'équipements 'nobles' qui ont su trouver une réponse spécifique au problème qui leur était posé.

L'étroitesse du marché n'a pas, d'autre part, permis l'émergence d'un véritable secteur spécialisé.

Pour autant, la construction d'une unité d'exploitation géothermique n'en exige pas moins une réelle capacité d'ingénierie dans le domaine de l'exploitation thermique.

La prospection et le recensement des sites favorables relève des organismes spécialisés dans la recherche et la prospection géologique et minière.

B. DEGRE DE PROTECTION

La protection des sociétés d'ingénierie réside, pour l'essentiel, dans un savoir faire accumulé sur la ou les réalisations qu'elles comptent à leur actif et sur l'expérience de fonctionnement de ces installations sur plusieurs années.

C. CONDITIONS D'ACCES

Certains pays en voie de développement disposent déjà d'organismes capables d'assurer la prospection et le recensement des sites favorables. Le développement de tels organismes et la formation de chercheurs nationaux entre dans le cadre d'accords de coopération entre pays en voie de développement et pays développés.

La construction des unités exigera le plus souvent l'intervention d'une société d'ingénierie ayant déjà une expérience du domaine. Dans certains cas; le savoir faire pourra être transféré au pays d'accueil en prévoyant un accord de coopération avec une société d'ingénierie locale.

FILIERE : ENERGIE SOLAIRE

FICHE : ENERGIE THERMIQUE DES MERS

I. DESCRIPTION

La différence de température entre les eaux chaudes en surface et froides en profondeur entraîne un potentiel énergétique considérable localisé dans les mers en zone intertropicales.

Malgré plusieurs tentatives (Cuba, Côte d'Ivoire), ce potentiel n'a encore jamais été exploité. Mais le coût croissant des énergies classiques, la plus grande maîtrise des travaux en mer (due notamment aux prodigieux développements des recherches pétrolières en mer) devrait rendre plus attrayante cette forme d'énergie.

Les études de faisabilité réalisées jusqu'ici laissent encore ouvertes de nombreuses options technologiques :

- centrales flottantes ou centrales à terre
- centrales à cycle fermé (avec fluide thermodynamique)
ou à cycle ouvert, où l'eau chaude est évaporée sous vide et directement utilisée comme fluide thermodynamique.

plusieurs projets ont été étudiés dont ceux de TRW (USA), LOCKHEED (USA), ...

L'étape suivante sera la réalisation d'usines de démonstration.

Des centrales de quelques dizaines de MW pourraient intéresser un grand nombre de pays en voie de développement qui disposent de site favorables.

La difficulté technique réside dans le très faible écart de température entre les sources froide et chaude qui oblige à pomper de très grandes quantités d'eau. L'énergie du pompage doit être, bien entendu, soustraite de la puissance extraite totale. Dans les systèmes à cycle fermé, s'ajoute la difficulté de transférer efficacement la chaleur sur des surfaces d'échangeur importantes. Les systèmes à cycle ouvert requièrent, de leur côté, des turbines à vapeur basse pression de conception très particulière et de grande taille

II. EQUIPEMENT ET MISE EN OEUVRE

Les équipements principaux d'une centrale fonctionnant sur l'énergie thermique des mer seraient :

- les échangeurs de chaleur
- le support flottant
- les turbines

- Les échangeurs de chaleur posent les problèmes de conception et de matériaux utilisés. Les solutions à l'étude portent sur l'utilisation d'échangeurs à plaque ou d'échangeurs tubulaires. Les matériaux envisagés sont le titane, l'aluminium, le cupronickel et le plastique.

- Le support flottant relèverait d'une technologie similaire à celle des plateformes de forage.

- Les turbines seraient, pour tenir compte des faibles caractéristiques du fluide d'entrée, de grande dimension.

III. EXIGENCES DE QUALIFICATION

Les qualifications seraient de même nature, pour la construction et la mise en place, que celles exigées pour l'offshore et la construction de machines tournantes.

IV. ACCES COMMERCIAL

Il est encore trop tôt pour pouvoir désigner la ou les sociétés qui, les premières, seront en mesure de construire des unités de taille industrielle.

