

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Auteur collectif - Revue
Titre	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1949-2003
Collation	167 vol.
Nombre de volumes	167
Cote	INDNAT
Sujet(s)	Industrie
Note	Numérisation effectuée grâce au prêt de la collection complète accordé par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale (S.E.I.N.)
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039224155
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT
LISTE DES VOLUMES	
	1949, n° 1 (janv.-mars)
	1949, n° 2 (avril-juin)
	1949, n° 3 (juil.-sept.)
	1949, n° 4 (oct.-déc.)
	1949, n° 4 bis
	1950, n° 1 (janv.-mars)
	1950, n° 2 (avril-juin)
	1950, n° 3 (juil.-sept.)
	1950, n° 4 bis
	1951, n° 1 (janv.-mars)
	1951, n° 2 (avril-juin)
	1951, n° 3 (juil.-sept.)
	1951, n° 4 (oct.-déc.)
	1952, n° 1 (janv.-mars)
	1952, n° 2 (avril-juin)
	1952, n° 3 (juil.-sept.)
	1952, n° 4 (oct.-déc.)
	1952, n° spécial
	1953, n° 1 (janv.-mars)
	1953, n° 2 (avril-juin)
	1953, n° 3 (juil.-sept.)
	1953, n° 4 (oct.-déc.)
	1953, n° spécial
	1954, n° 1 (janv.-mars)
	1954, n° 2 (avril-juin)
	1954, n° 3 (juil.-sept.)
	1954, n° 4 (oct.-déc.)
	1955, n° 1 (janv.-mars)

	1955, n° 2 (avril-juin)
	1955, n° 3 (juil.-sept.)
	1955, n° 4 (oct.-déc.)
	1956, n° 1 (janv.-mars)
	1956, n° 2 (avril-juin)
	1956, n° 3 (juil.-sept.)
	1956, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° 2 (avril-juin)
	1957, n° 3 (juil.-sept.)
	1957, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° spécial (1956-1957)
	1958, n° 1 (janv.-mars)
	1958, n° 2 (avril-juin)
	1958 n° 3 (juil.-sept.)
	1958, n° 4 (oct.-déc.)
	1959, n° 1 (janv.-mars)
	1959, n° 2 (avril-juin)
	1959 n° 3 (juil.-sept.)
	1959, n° 4 (oct.-déc.)
	1960, n° 1 (janv.-mars)
	1960, n° 2 (avril-juin)
	1960, n° 3 (juil.-sept.)
	1960, n° 4 (oct.-déc.)
	1961, n° 1 (janv.-mars)
	1961, n° 2 (avril-juin)
	1961, n° 3 (juil.-sept.)
	1961, n° 4 (oct.-déc.)
	1962, n° 1 (janv.-mars)
	1962, n° 2 (avril-juin)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	1962, n° 3 (juil.-sept.)
	1962, n° 4 (oct.-déc.)
	1963, n° 1 (janv.-mars)
	1963, n° 2 (avril-juin)
	1963, n° 3 (juil.-sept.)
	1963, n° 4 (oct.-déc.)
	1964, n° 1 (janv.-mars)
	1964, n° 2 (avril-juin)
	1964, n° 3 (juil.-sept.)
	1964, n° 4 (oct.-déc.)
	1965, n° 1 (janv.-mars)
	1965, n° 2 (avril-juin)
	1965, n° 3 (juil.-sept.)
	1965, n° 4 (oct.-déc.)
	1966, n° 1 (janv.-mars)
	1966, n° 2 (avril-juin)
	1966, n° 3 (juil.-sept.)
	1966, n° 4 (oct.-déc.)
	1967, n° 1 (janv.-mars)
	1967, n° 2 (avril-juin)
	1967, n° 3 (juil.-sept.)

	1967, n° 4 (oct.-déc.)
	1968, n° 1
	1968, n° 2
	1968, n° 3
	1968, n° 4
	1969, n° 1 (janv.-mars)
	1969, n° 2
	1969, n° 3
	1969, n° 4
	1970, n° 1
	1970, n° 2
	1970, n° 3
	1970, n° 4
	1971, n° 1
	1971, n° 2
	1971, n° 4
	1972, n° 1
	1972, n° 2
	1972, n° 3
	1972, n° 4
	1973, n° 1
	1973, n° 2
	1973, n° 3
	1973, n° 4
	1974, n° 1
	1974, n° 2
	1974, n° 3
	1974, n° 4
	1975, n° 1
	1975, n° 2
	1975, n° 3
	1975, n° 4
	1976, n° 1
	1976, n° 2
	1976, n° 3
	1976, n° 4
	1977, n° 1
	1977, n° 2
	1977, n° 3
	1977, n° 4
	1978, n° 1
	1978, n° 2
	1978, n° 3
	1978, n° 4
	1979, n° 1
	1979, n° 2
	1979, n° 3
	1979, n° 4
	1980, n° 1
	1982, n° spécial

	1983, n° 1
	1983, n° 3-4
	1983, n° 3-4
	1984, n° 1 (1er semestre)
	1984, n° 2
	1985, n° 1
	1985, n° 2
	1986, n° 1
	1986, n° 2
	1987, n° 1
	1987, n° 2
	1988, n° 1
	1988, n° 2
	1989
	1990
	1991
	1992
	1993, n° 1 (1er semestre)
	1993, n° 2 (2eme semestre)
	1994, n° 1 (1er semestre)
	1994, n° 2 (2eme semestre)
	1995, n° 1 (1er semestre)
	1995, n° 2 (2eme semestre)
	1996, n° 1 (1er semestre)
	1997, n° 1 (1er semestre)
	1997, n°2 (2e semestre) + 1998, n°1 (1er semestre)
	1998, n° 4 (4e trimestre)
	1999, n° 2 (2e trimestre)
	1999, n° 3 (3e trimestre)
	1999, n° 4 (4e trimestre)
	2000, n° 1 (1er trimestre)
	2000, n° 2 (2e trimestre)
	2000, n° 3 (3e trimestre)
	2000, n° 4 (4e trimestre)
	2001, n° 1 (1er trimestre)
	2001, n° 2-3 (2e et 3e trimestres)
	2001, n°4 (4e trimestre) et 2002, n°1 (1er trimestre)
	2002, n° 2 (décembre)
	2003 (décembre)

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Titre	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
Volume	1962, n° 3 (juil.-sept.)
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1962

Collation	1 vol. (p. [67]-42 [i.e. 108]) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	54
Cote	INDNAT (60)
Sujet(s)	Industrie
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	03/09/2025
Date de génération du PDF	08/09/2025
Recherche plein texte	Non disponible
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT.60

Note d'introduction à [l'Industrie nationale \(1947-2003\)](#)

[L'Industrie nationale](#) prend, de 1947 à 2003, la suite du [Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#), publié de 1802 à 1943 et que l'on trouve également numérisé sur le CNUM. Cette notice est destinée à donner un éclairage sur sa création et son évolution ; pour la présentation générale de la Société d'encouragement, on se reportera à la [notice publiée en 2012 : « Pour en savoir plus »](#)

[Une publication indispensable pour une société savante](#)

La Société, aux lendemains du conflit, fait paraître dans un premier temps, en 1948, des [Comptes rendus de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#), publication trimestrielle de petit format résumant ses activités durant l'année sociale 1947-1948. À partir du premier trimestre 1949, elle lance une publication plus complète sous le titre de [L'Industrie nationale. Mémoires et comptes rendus de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#).

Cette publication est différente de l'ancien [Bulletin](#) par son format, sa disposition et sa périodicité, trimestrielle là où ce dernier était publié en cahiers mensuels (sauf dans ses dernières années). Elle est surtout moins diversifiée, se limitant à des textes de conférences et à des rapports plus ou moins développés sur les remises de récompenses de la Société.

[Une publication qui reflète les ambitions comme les aléas de la Société d'encouragement](#)

À partir de sa création et jusqu'au début des années 1980, [L'Industrie nationale](#) ambitionne d'être une revue de référence abordant, dans une sélection des conférences qu'elle organise — entre 8 et 10 publiées annuellement —, des thèmes extrêmement divers, allant de la mécanique à la biologie et aux questions commerciales, en passant par la chimie, les différents domaines de la physique ou l'agriculture, mettant l'accent sur de grandes avancées ou de grandes réalisations. Elle bénéficie d'ailleurs entre 1954 et 1966 d'une subvention du CNRS qui témoigne de son importance.

À partir du début des années 1980, pour diverses raisons associées, problèmes financiers, perte de son rayonnement, fin des conférences, remise en question du modèle industriel sur lequel se fondait l'activité de la Société, [L'Industrie nationale](#) devient un organe de communication interne, rendant compte des réunions, publiant les rapports sur les récompenses ainsi que quelques articles à caractère rétrospectif ou historique.

La publication disparaît logiquement en 2003 pour être remplacée par un site Internet de même nom, complété par la suite par une lettre d'information.

Commission d'histoire de la Société d'Encouragement,

Juillet 2025.

Bibliographie

Daniel Blouin, Gérard Emptoz, [« 220 ans de la Société d'encouragement »](#), Histoire et Innovation, le carnet de recherche de la commission d'histoire de la Société d'encouragement, en ligne le 25 octobre 2023.

Gérard EMPTOZ, [« Les parcours des présidents de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale des années 1920 à nos jours. Deuxième partie : de la Libération à nos jours »](#), Histoire et Innovation, carnet de recherche de la commission d'histoire de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, en ligne le 26 octobre 2024.

S. E. I. N.
Bibliothèque

L'INDUSTRIE NATIONALE

●
COMPTES RENDUS ET CONFÉRENCES
DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE
●

PUBLIÉS AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

1962

N° 3

Revue trimestrielle

SOMMAIRE ET RÉSUMÉS DES ARTICLES

**LA PRODUCTION D'ÉNERGIE
DANS LES CENTRALES NUCLÉAIRES FRANÇAISES
(Principes et matériels utilisés)**

par MM. Jean-Pierre ROUX et Jean HUSTACHE 67

L'utilisation de la chaleur produite par les réacteurs de puissance équipant les centrales nucléaires françaises conduit à une installation comprenant deux parties :

— Un circuit primaire de gaz carbonique sous pression mû par une ou plusieurs soufflantes. Ce gaz assure l'extraction de chaleur du réacteur, puis cède cette chaleur à des échangeurs, générateurs de vapeur sous pression.

— Un circuit secondaire d'utilisation de la vapeur. La vapeur, produite à un ou plusieurs niveaux de pression est, comme dans les centrales thermiques, utilisée dans des groupes turbo-alternateurs ; il convient toutefois de signaler que les caractéristiques de pression et de température de la vapeur produite sont relativement faibles.

Les schémas de production d'énergie relatifs à ces installations peuvent être assez nombreux et peuvent différer notamment par le nombre d'étages de pression, le mode d'entraînement des soufflantes et l'utilisation des moyens permettant d'assurer un meilleur rendement.

Ces schémas sont décrits pour les centrales actuellement en cours de construction. De même sont décrits les matériels utilisés les plus caractéristiques, notamment les échangeurs de chaleur, les soufflantes, les turbines à vapeur.

**LES PROBLÈMES D'AGENCEMENT MÉCANIQUE
DANS LES LABORATOIRES CHAUDS**

Par M. Yves DUVAUX 91

Les laboratoires chauds sont des laboratoires dans lesquels sont manipulées les substances radioactives. Il existe, par conséquent, un grand nombre de ceux-ci dans les installations du Commissariat à l'Énergie Atomique.

Les risques auxquels il faut faire face sont de natures diverses, risques d'irradiation et risques de contamination. Il s'en déduit une conception particulière de ces locaux, dans lesquels les accès et les circulations du personnel sont spécialement étudiés, ainsi que le maintien des différentes zones dans des conditions de dépression relative de façon à limiter les risques d'extension de la contamination.

Les enceintes de travail doivent constituer des écrans contre l'irradiation ou la contamination en fonction de la nature des matières manipulées. Ces enceintes (sorbonnes, boîtes à gants, enceintes protégées ou cellules de très haute activité) sont équipées de moyens mécaniques plus ou moins complexes pour permettre la manipulation en toute sécurité ainsi que les transferts entre enceintes ou de l'enceinte vers l'extérieur.

Des indications sont données sur les différents systèmes de manipulation et de transfert rencontrés couramment dans ce genre d'installation.

Publication sous la direction de **M. Jean LECOMTE**, Membre de l'Institut, Président, avec le concours du Secrétariat de la Société.

Les textes paraissant dans *L'Industrie Nationale* n'engagent pas la responsabilité de la Société d'Encouragement quant aux opinions exprimées par leurs auteurs.

44, rue de Rennes, PARIS 6° (LIT 55-61)

Le n° : 7,50 NF

C. C. P. Paris n° 618-48

CONTRIBUTIONS DE LA TECHNOLOGIE MÉCANIQUE CLASSIQUE A LA SOLUTION DES PROBLÈMES NUCLÉAIRES

La production d'énergie dans les centrales nucléaires françaises (Principes et Matériels utilisés) (1)

par M. Jean-Pierre ROUX, *Directeur*
et M. Jean HUSTACHE, *Ingénieur*

à la Division « Mécanique » de la Région d'Équipement thermique nucléaire n° 1
à l'Électricité de France

INTRODUCTION

Le présent exposé a trait à l'utilisation de la chaleur produite par les réacteurs nucléaires de puissance pour la production d'énergie électrique dans les centrales nucléaires françaises.

Tout d'abord, nous rappellerons quelques généralités concernant ces centrales, leurs caractéristiques et donnerons quelques indications concernant, plus particulièrement, l'extraction de chaleur des réacteurs de puissance.

Ensuite, nous examinerons le schéma général de ces installations et indiquerons les principaux choix que l'on peut faire lors de l'établissement d'un projet.

Enfin, nous décrirons les principaux matériels caractéristiques des différentes tranches de la Centrale nucléaire de Chinon et nous pourrions voir, à cette occasion, dans quelle mesure ils peuvent être rapprochés de ceux utilisés dans les centrales thermiques.

GENERALITES

Les réalisations françaises déjà engagées par l'E.D.F. sont les suivantes :

à MARCOULE :

- installation de récupération d'énergie de 5 MW associée à la pile plutonique G 1 du C.E.A. ; engagée en 1954,

cette installation a été mise en service le 28 septembre 1956 et a donc fourni les premiers kWh nucléaires de France ;

- installations de récupération d'énergie de 25 MW associée aux piles plutoniques G 2 et G 3 du C.E.A. ; engagées en 1956, leurs mises en service ont eu lieu en 1959 et 1960.

à CHINON :

- E.D.F. 1 : 1^{re} tranche de la Centrale nucléaire de Chinon, d'une puissance électrique nette de 70 MW ; engagée en 1956, cette centrale sera probablement mise en service à la fin de l'année 1962 ;
- E.D.F. 2 : 2^e tranche de la Centrale nucléaire de Chinon, d'une puissance électrique nette de 200 MW ; engagée en 1957, cette centrale sera probablement mise en service à la fin de l'année 1963 ;
- E.D.F. 3 : 3^e tranche de la Centrale nucléaire de Chinon, d'une puissance électrique de 427 MW, sera probablement mise en service en 1965.

en BRETAGNE (Brennilis) :

Une centrale appelée Centrale des Monts d'Arrée, qui sera capable d'une puissance

(1) Conférence faite le 18 janvier 1962 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

électrique nette de 80 MW ; cette centrale sera probablement mise en service en 1965.

Cette installation, dénommée EL 4, fait partie d'une chaîne de centrales expérimentales de puissance, entreprises afin de tester la filière uranium naturel-eau lourde.

E.D.F. n'y participe que pour ce qui est l'installation de production d'énergie.

E.D.F. participe également à la construction de la Centrale de Chooz, dans le département des Ardennes, conjointement avec un groupe industriel belge. Le réacteur est de la filière U enrichi eau pressurisée. La puissance électrique sera de 242 MW et la mise en service devrait avoir lieu en 1965.

D'autres projets sont actuellement à l'étude.

Les tranches E.D.F. 1 à E.D.F. 3 s'inscrivent dans le premier programme nucléaire adopté par E.D.F. en 1956, qui prévoit une puissance installée de 850 MW en 1965.

Ce programme a pour but l'exploitation du type de réacteur mis au point par le C.E.A., à Marcoule, et défini par l'utilisation :

- de l'uranium naturel comme combustible,
- du graphite comme modérateur,
- du CO_2 sous pression comme fluide de transfert.

E.D.F. 1, E.D.F. 2, E.D.F. 3 seront des réalisations entièrement françaises, tant par leur conception que leur réalisation. Elles ont été étudiées par la Région d'Équipement Thermique Nucléaire d'E.D.F., en étroite collaboration avec les équipes du C.E.A.

Nous nous bornerons à la description des Centrales de Chinon afin de limiter le sujet et aussi parce qu'elles sont de la filière U naturel graphite sur laquelle est basé un programme de production d'énergie qui représente l'effort principal d'E.D.F. dans la voie de la production d'énergie.

Il faut bien remarquer qu'il n'y a pas duplication dans la série E.D.F. 1 à E.D.F. 3. Bien au contraire, chaque installation bénéficie de l'expérience acquise sur la tranche précédente en cours d'études ou de construction ; cette conception nous a conduits à apporter de très profondes modifications tant à la conception même des

matériels, qu'à la définition des circuits et aux caractéristiques générales.

✱

L'extraction de chaleur est assurée par du gaz carbonique qui est porté à une température telle que sa chaleur sensible puisse être utilisée industriellement avec le meilleur rendement possible.

Le gaz carbonique cède sa chaleur à des échangeurs de chaleur ; il joue le rôle d'un fluide intermédiaire. Précisons néanmoins qu'il existe des types de réacteur où la production d'énergie est assurée directement par le fluide de refroidissement réacteurs bouillants, réacteurs à gaz à température élevée par exemple).

Le choix du gaz carbonique s'est justifié par l'ensemble des propriétés qu'il présente notamment dans les domaines neutronique et thermique ; sa stabilité est bonne jusqu'à des températures voisines de 500° C et il est relativement facile de se le procurer commercialement.

Le schéma général comprend ainsi deux parties :

- le circuit primaire de gaz carbonique qui comporte outre le réacteur et les tuyauteries de liaison, les échangeurs qui assurent la production de vapeur et les soufflantes dont le but est d'assurer la circulation de gaz carbonique, ce même gaz est utilisé indéfiniment en cycle fermé ;
- le circuit secondaire, qui est un circuit d'utilisation de vapeur, s'apparente à celui des centrales thermiques, mais la vapeur est produite dans les installations nucléaires à des pressions et températures relativement basses.

La division des circuits a l'avantage de bien localiser les zones où des protections contre les rayonnements doivent être installés.

Le gaz carbonique s'active relativement peu en pile, en marche normale et ce d'autant moins qu'il est exempt de poussières et d'impuretés, il subit avant son introduction dans le circuit réacteur une épuration poussée le débarrassant de tous corps étrangers ; par ailleurs, le gaz du circuit principal est filtré en permanence.

LES SCHÉMAS UTILISÉS

Nous allons examiner maintenant plus en détail le schéma des installations de production d'énergie.

Le circuit primaire est divisé, généralement pour des questions de dimensionnement du matériel, en plusieurs boucles comprenant chacune une soufflante, un échangeur de chaleur ou une portion de celui-ci.

Les caractéristiques principales sont la pression de service, le débit de CO_2 , et les températures d'entrée et de sortie du réacteur. Les températures de sortie du réacteur et d'entrée dans l'échangeur sont pratiquement égales. Les températures d'entrée dans le réacteur et de sortie dans l'échangeur ne diffèrent que par l'échauffement du gaz dans la soufflante.

Le débit de CO_2 varie proportionnellement à la charge, les températures d'entrée et de sortie sont réglées à une valeur constante.

Le circuit secondaire eau-vapeur comprend les éléments principaux suivants :

- l'échangeur de chaleur (point commun des circuits primaire et secondaire),
- le groupe turbo-alternateur et son condenseur associé,
- le poste d'eau,
- les pompes alimentaires.

Les échangeurs de chaleur, dans leur forme la plus simple à un étage de pression, comportent :

- un économiseur destiné à réchauffer l'eau de la température de sortie du poste d'eau à la température de saturation,
- un vaporisateur,
- un surchauffeur.

La puissance nette de l'installation peut être évaluée à partir de la puissance thermique du réacteur P_t , de la puissance de soufflage P_s et du rendement thermodynamique du cycle eau-vapeur η_c par la formule suivante :

$$P_n = (P_t + P_s) \eta_c - P_s$$

La somme $P_t + P_s$ représente la puissance thermique de l'échangeur de chaleur, car la puissance de soufflage P_s est

pratiquement entièrement transformée en chaleur dans le circuit primaire. Le terme soustractif correspond évidemment à la dépense de puissance nécessaire pour assurer l'entraînement des soufflantes.

Si on désigne par ϕ le rapport de la puissance de soufflage à la puissance thermique du réacteur, le rendement net est :

$$\eta_{\text{net}} = \eta_c (1 + \phi) - \phi$$

Cette formule est une simple déduction de la formule précédente ; elle permet dans l'élaboration d'un projet, la détermination des rendements, en fonction des températures d'entrée et de sortie du gaz dans le réacteur, pour un schéma de l'installation donnée.

Le rendement net que nous avons défini peut être comparé à celui des centrales thermiques. A titre d'exemple, les rendements nets des Centrales de Chinon et d'une centrale thermique moderne sont comparés dans le tableau ci-après :

E.D.F. 1	E.D.F. 2	E.D.F. 3	Centrale thermique
22,7	26,6	30,8	38

Nous allons examiner maintenant succinctement l'influence des caractéristiques principales du circuit primaire sur le rendement et expliquer sommairement les critères du choix de ces grandeurs.

La température de sortie conditionne la température de vapeur surchauffée et par suite intervient directement dans le rendement. Cette température est à peu près fixée par la tenue des éléments combustibles dans le réacteur (tenue en température de la gaine ou du combustible proprement dit).

Les progrès recherchés dans la tenue des éléments en température contribuent donc directement à l'amélioration du rendement.

Pour une puissance de réacteur et une température maximum de gaine données, l'étude des transferts de chaleur donne, pour chaque configuration de canal envisagé, une relation entre les températures d'entrée et de sortie du réacteur. De la

		EDF 1	EDF 2	EDF 3
0- PUISSANCE ELECTRIQUE NETTE	MW.	70	200	375
1- REACTEUR				
Puissance Thermique Nominale	MW.	300	791	1250
Combustible		uranium naturel	uranium naturel	uranium naturel
Poids:	t.	140	240	390
Modérateur		graphite	graphite	graphite
Fluide de transfert de chaleur:				
Nature		CO ₂	CO ₂	CO ₂
Pression	kg/cm ²	26	26,3	27,1
CAISSON:				
Forme		cylindre à fonds hémisphériques	sphérique	
Nature		acier AMMO	acier AMMO	béton précontraint
Diamètre	m.	10	18,3	dimensions int. ^{es} D = 19 h = 21,2
Hauteur	m.	23		dimensions ext. ^{es} côté 29 h = 33
Epaisseur des tôles: cylindre ou sphère	m/m	107	95	peau d'étanchéité Ac. doux ép. 25 m/m
fonds	m/m	54 & 59		nombre de câbles de précontrainte: 8000
Poids approximatif	t.	700	~ 1320	52000
CANAUX (chargés d'uranium)				
Disposition		verticale	verticale	verticale
Nombre		1148	2000	2600
Manutention des éléments combustibles		dispositif inf. normal	par la face sup. du réacteur	par la face sup. du réacteur
2-BOUCLES DE TRANSFERT DE CHALEUR				
Nombre		1	4	8
Débit CO ₂	kg/s.	1355	4x1085	8x1053,75

Fig. 1. — Caractéristiques des

même manière, une relation existe entre ces températures et la puissance de pompage.

Il s'ensuit que, pour chaque configuration donnée, il est possible, grâce à la formule que nous avons établie précédemment, de calculer la puissance produite et le rendement de l'installation.

On conçoit très bien que cette puissance passe par un maximum et qu'il soit possible de définir des températures optimales ; en

effet, en augmentant par exemple la température d'entrée du gaz dans le réacteur, on élève d'une quantité inférieure la température de sortie, cette élévation des deux températures accroît le rendement du cycle, mais elle augmente aussi le débit de gaz qu'il est nécessaire de véhiculer, et par conséquent aussi la puissance de pompage. Il s'ensuit que la puissance nette est maximale pour une certaine valeur de la température d'entrée dans le réacteur.

3-SOUFFLANTES

	EDF 1	EDF 2	EDF 3
Nombre	1	4	4
Mode d'entraînement	moteur élect.	moteur élect.	turbine à vapeur
Puissance unitaire nominale	MW. 9,2	6	15
Mode de réglage du débit	directrices stationnaires orientables	variation des vitesses par coupleurs hydrauliques	

4-ECHANGEURS-GENERATEURS DE VAPEUR

Nombre	1	4	2
Type	multitube	multitube	multitube
Nombre d'éléments	120	4x24	2x96
Diamètre des éléments	m. 0,635	0,982	1,108/0,790
Hauteur d'un élément	m. 2,9	25,1	14,27
Poids approximatif d'un élément	t. 18	38	16,3

5-GROUPES TURBO-ALTERNATEURS

Nombre	1	2	2
Puissance nominale	MW. 83	125	250
Vapeur à l'admission HP:			
Débit	kg/s. 79,8	190	287
Pression	kg/cm ² 21,6	32,3	51,5
Température	°C 342	352	400
			(sortie surchauffeur et sortie resurchauffeur)
Vapeur à l'admission BP:			
Débit	kg/s. 29,6	104	
Pression	kg/cm ² 4,3	8,1	
Température	°C 215	352	

centrales E.D.F. 1 - E.D.F. 2 - E.D.F. 3.

En ce qui concerne le choix de la pression de fonctionnement, une valeur élevée permet de réduire le rapport ϕ que nous avons défini précédemment.

De la même manière, si l'on se fixe une puissance de soufflage, une élévation de pression permet d'augmenter la puissance extraite du réacteur par l'augmentation du débit soufflé. On voit donc l'intérêt d'une pression de fonctionnement élevée. Celle-ci est choisie à une valeur aussi élevée que

possible, compte tenu des possibilités de construction de l'enveloppe du réacteur.

La recherche des caractéristiques optimales des installations a fait l'objet pour E.D.F. 3, d'un calcul d'optimisation intéressant toute la centrale. Les paramètres communs au réacteur et à l'installation de production d'énergie étaient évidemment la pression de service, le débit CO_2 , les températures d'entrée et de sortie du réacteur et la puissance de soufflage. Ces calculs ont

pris en compte les rendements et les coûts de tous les matériels constitutifs de la centrale. Il est évidemment inutile d'insister sur l'ampleur de ces calculs qui ont été effectués après programmation sur ordinateurs.

Le schéma des circuits est fortement caractérisé par le nombre d'étage de pression de vapeur à l'échangeur, par le mode d'entraînement des soufflantes et éventuellement par les dispositifs particuliers susceptibles d'améliorer le rendement du cycle eau-vapeur.

Le choix des pressions vapeur est guidé, soit par la recherche du meilleur rendement (ce qui est le cas le plus général), soit par des considérations de principe (respect d'un certain étagement des pressions entre circuits CO_2 et eau-vapeur), soit encore par des considérations d'humidité en fin de détente dans la turbine.

Dans les réalisations actuelles, le cycle à deux pressions a été le plus généralement employé. Les pressions HP sont en général inférieures à 50 kg/cm^2 , tandis que les pressions BP sont souvent assez faibles et conduisent à des tuyauteries de vapeur de gros diamètre.

L'avantage du cycle à deux pressions résulte du fait que, toutes choses égales par ailleurs, il conduit à un meilleur rendement par la diminution de l'écart moyen dans l'échangeur. Il convient particulièrement bien dans le cas d'un écart important entre les températures d'entrée et de sortie de l'échangeur. En outre, il se prête facilement à de nombreuses variantes concernant la disposition des éléments économiseurs, surchauffeurs et l'entraînement des soufflantes s'il est assuré par turbine à vapeur. En contrepartie, il conduit à un dédoublement du circuit eau-vapeur se traduisant par une installation plus coûteuse.

L'intérêt du cycle à une seule pression résulte de sa simplicité. Il est d'autant souhaitable que l'écart entre les températures extrêmes du CO_2 est faible. En outre, il se prête bien à la résurchauffe du débit total de vapeur.

Les cycles choisis pour E.D.F. 1 et E.D.F. 2 sont à deux étages de pression. Celui choisi pour E.D.F. 3 comporte une seule pression.

L'entraînement des soufflantes peut être effectué, soit par moteur électrique, soit par turbine à vapeur.

Dans le premier cas, la solution qui a été choisie est celle du moteur asynchrone alimenté par l'intermédiaire d'un transformateur à partir du groupe turbo-alternateur principal. Ce mode d'entraînement présente les avantages de simplicité d'installation, d'entretien réduit et de facilité d'exploitation. En revanche, la réalisation de moteurs électriques asynchrones de puissance importante (disons au-delà de 5 à 6 MW) présente des difficultés de réalisation. De plus, le réglage du débit de CO_2 pour les variations de charge doit être obtenu par des dispositifs propres à la soufflante ou par l'intermédiaire d'un coupleur placé entre le moteur et la soufflante. Enfin, le fonctionnement du groupe moto-soufflante est tributaire, dans une assez grande mesure, des incidents de réseau.

Dans le cas de l'entraînement des soufflantes par turbine à vapeur, un assez grand nombre de combinaisons, correspondant à des schémas différents de l'installation, sont possibles suivant le nombre d'étages de pression de l'échangeur et l'utilisation de la vapeur dans la turbine ; turbine à condensation, turbine à détente parallèle, turbine amont.

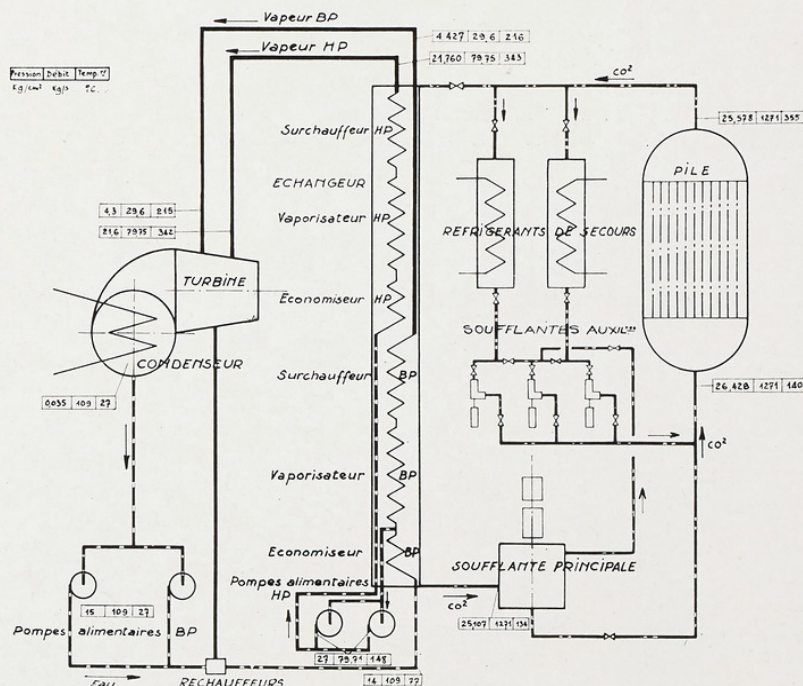
Les avantages essentiels de l'entraînement par turbines à vapeur sont qu'il permet :

- la réalisation d'un groupe de soufflage de puissance importante,
- le réglage du débit par variation de vitesse de la turbo-soufflante,
- l'adaptation immédiate de la machine à des régimes non nominaux.

Les deux modes d'entraînement sont utilisés à Chinon : moteur électrique pour les tranches 1 et 2, turbine à vapeur pour la tranche 3.

TRANCHE E.D.F. 1

Le schéma de l'installation de la tranche E.D.F. 1 est caractérisé par un circuit principal comprenant un échangeur de chaleur et une soufflante unique. Néanmoins, les tuyauteries de liaison CO_2 entre réacteur

Fig. 2. — Schéma circuits eau-vapeur et CO₂ E.D.F. 1

échangeur-soufflante ont été dédoublées ; leur diamètre est de 1,400 m.

L'échangeur de chaleur à deux étages de pression est alimenté :

- par une pompe alimentaire BP jouant aussi le rôle de pompe d'extraction et refoulant à travers un poste d'eau comprenant deux réchauffeurs ;
- par une pompe alimentaire HP dont l'aspiration est branchée à la sortie de l'économiseur BP et dont la charge à l'aspiration est réalisée par différence de niveau.

La turbine est à deux admissions ; la température de surchauffe de la vapeur BP correspond à la température de saturation de la vapeur HP.

Pour évacuer la puissance résiduelle du réacteur à la suite d'un arrêt brutal de l'installation provoquant la chute des barres dans le réacteur, un ensemble réfrigérant de secours et soufflantes auxiliaires

est branché sur le circuit primaire en dérivation sur l'ensemble échangeur-soufflante principale.

Les réfrigérants de secours sont alimentés en eau brute et dimensionnés pour la puissance maximale à évacuer lors de l'arrêt ; celle-ci est de l'ordre de 6 % de la puissance thermique du réacteur.

Précisons enfin que les soufflantes auxiliaires sont également utilisées lors du démarrage de l'installation, l'échangeur de chaleur produit alors suffisamment de vapeur pour permettre le démarrage et le couplage du groupe principal.

TRANCHE E.D.F. 2

Le circuit principal de la tranche E.D.F. 2 comprend quatre boucles, chacune d'elles comportant un échangeur de chaleur à deux étages et une soufflante entraînée à vitesse variable par un variateur hydraulique. Un ensemble de deux échangeurs alimente un groupe turbo-alternateur,

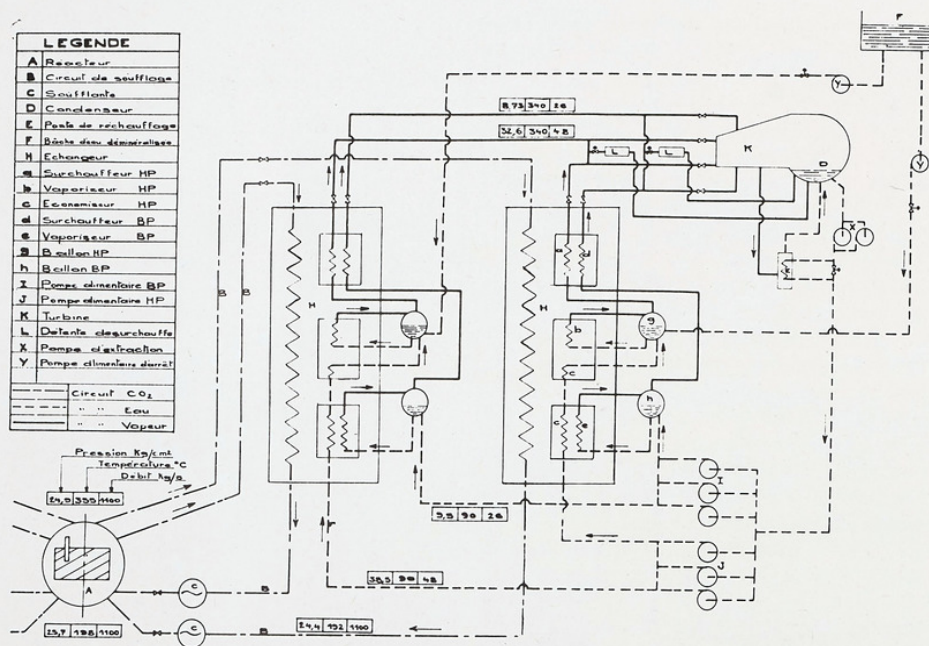


Fig. 3. — Schéma général installation E.D.F. 2.

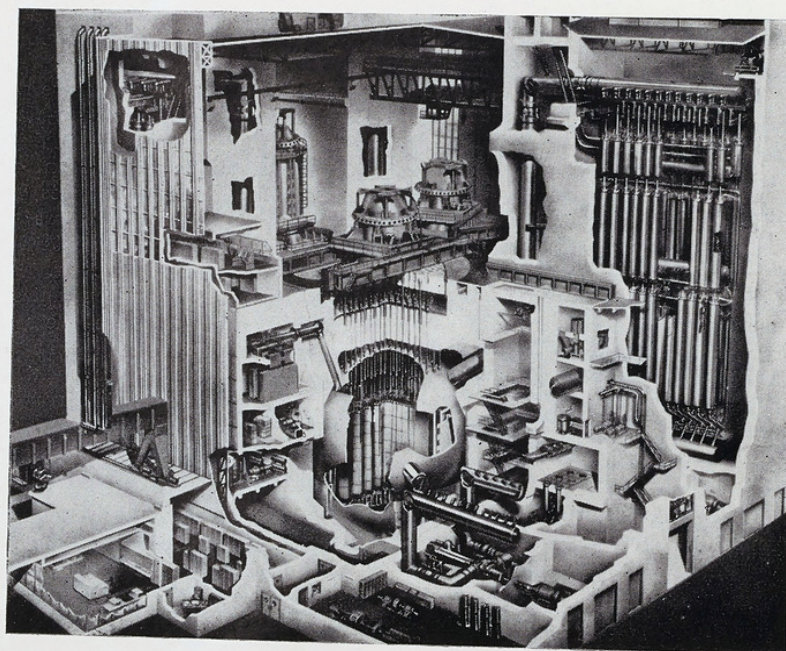


Fig. 4. — Plan écorché E.D.F. 2.

Chaque échangeur de chaleur est alimenté par des pompes BP et HP. Une pompe d'extraction refoule l'eau à travers un poste d'eau comprenant deux réchauffeurs.

Les échangeurs ne comportent pas d'économiseur BP ; en effet, il a été montré fin 1958 que le relèvement de la température d'entrée CO_2 dans le réacteur était favorable à l'atténuation de l'effet Wigner du graphite dans la partie la plus froide du réacteur ; le projet étant avancé, les pressions vapeur furent conservées et l'économiseur BP supprimé. Notons que la température de surchauffe de la vapeur basse-pression est identique à celle de la vapeur haute-pression.

La mise en service d'une soufflante, les autres étant en fonctionnement, a posé différents problèmes dus au fait que les boucles ont le réacteur pour partie commune ; en effet, la soufflante ne peut commencer à débiter que lorsqu'elle est montée suffisamment en vitesse pour équilibrer la perte de charge due aux autres soufflantes dans le réacteur ; bien entendu, la manœuvre des obturateurs du circuit principal est effectuée lorsque cet équilibre est atteint.

La puissance résiduelle du réacteur à la suite d'un arrêt brutal est ici évacuée en utilisant le principe du thermosiphon, la partie médiane des échangeurs étant placée plus haut que le plan médian du réacteur,

de façon que le débit de CO_2 pour les couples de température normaux soit de l'ordre de 6 % du débit normal ; la vapeur HP produite est évacuée par une soupape ; le ballon HP se vidant au fur et à mesure de la baisse de pression ; la réalimentation est effectuée au bout d'un certain temps, par une pompe spéciale.

L'utilisation du thermosiphon côté CO_2 présente l'avantage de la sûreté de fonctionnement. Ce principe de fonctionnement est également utilisé lors du démarrage de l'installation.

TRANCHE E.D.F. 3

Le schéma de la tranche E.D.F. 3 se distingue par les points suivants :

- utilisation d'échangeurs de chaleur à un étage de pression, qui comportent, outre le surchauffeur, un résurchauffeur ;
- soufflage assuré par quatre turbo-soufflantes (deux par groupe turbo-alternateur) ; les turbines sont des turbines d'amont à un seul étage traversé par le débit de vapeur destiné au groupe turbo-alternateur. Après la détente partielle, dans les turbines d'amont, la vapeur est résurchauffée.

L'élévation des températures d'entrée et de sortie CO_2 du réacteur a permis le choix d'une pression de vapeur assez forte :

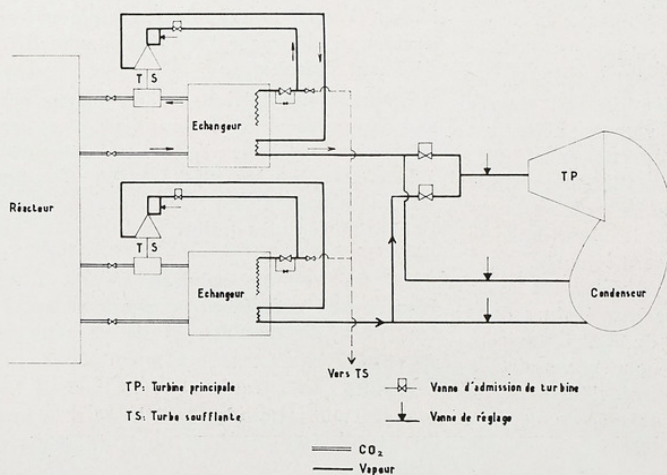


Fig. 5. — Schéma vapeur correspondant à un groupe E.D.F. 3.

52,5 hpz abs. Le débit de vapeur par groupe est de 1 000 t/h environ.

La turbine est évidemment à une seule admission. Le poste d'eau comprend trois réchauffeurs.

Comme pour E.D.F. 2, le phénomène de thermosiphon est utilisé pour assurer l'évacuation de la puissance résiduelle du réacteur ; la vapeur produite dans l'échangeur est alors dirigée sur un circuit spécial comportant un échangeur à condensation de vapeur et vaporisation d'eau brute ; ce système n'est en principe tributaire d'autre motorisation que de la commande d'une vanne ; la consommation d'eau, grâce à la vaporisation doit être très faible.

LES MATÉRIELS UTILISÉS

En ce qui concerne les matériels utilisés, nous nous bornerons à décrire les matériels caractéristiques principaux des centrales nucléaires tels que soufflante, échangeurs de chaleur. Nous indiquerons également les particularités essentielles des turbines des groupes turbo-alternateurs. Les autres matériels tels que alternateurs, condenseurs, réchauffeur, pompes, etc... ne diffèrent pas essentiellement de ceux des centrales thermiques.

ÉCHANGEURS DE CHALEUR

Les échangeurs de chaleur se caractérisent par de faibles écarts de température entre le CO₂ et l'eau ou la vapeur ; les échanges de chaleur s'effectuent uniquement par convection. L'écart moyen est de l'ordre de plusieurs dizaines de degrés alors qu'il atteint des valeurs nettement plus fortes dans les éléments constitutifs d'une chaudière ou une fraction importante de la chaleur est transmise par rayonnement. Les échangeurs de chaleur ont, de ce fait, une grande surface d'échange.

La chaleur spécifique du gaz est assez faible et son élévation de température dans le réacteur est de l'ordre de 200° C environ. Le débit massique de gaz nécessaire à l'extraction de chaleur du réacteur et à son transfert dans l'échangeur est, de ce fait, considérable ; à titre indicatif, il est de 1,3 t/s dans E.D.F. 1, de 4,3 t/s dans

E.D.F. 2 et de 8,5 t/s dans E.D.F. 3. Les pertes de charge dans le circuit étant proportionnelles au volume spécifique du gaz, on se rend compte de l'intérêt des pressions de fonctionnement élevées côté gaz.

Les échangeurs de chaleur des différentes tranches de la Centrale de Chinon ont été divisés en un grand nombre d'unités complètes dénommées tours, c'est-à-dire comportant tous les faisceaux vaporisateurs, économiseurs et surchauffeurs. Bien entendu, cette subdivision se traduit notamment par un tracé spécial des canalisations de CO₂, d'eau et de vapeur, par un système nouveau d'alimentation et de réglage d'alimentation, par des dispositifs spéciaux d'équilibrage des fluides.

Cette subdivision permet la fabrication en usine d'unités complètes de sorte que le montage sur place n'est plus qu'une mise en place. La fabrication des unités peut être une fabrication de série permettant des manœuvres faciles à tous les stades de la fabrication, un contrôle aisé des unités et l'exécution du traitement de surface en usine.

Cette subdivision poussée a aussi permis d'obtenir d'autres avantages dus au faible diamètre des enveloppes en particulier (ce diamètre est de l'ordre du mètre).

En outre, l'isolement partiel de l'échangeur en cas d'avarie est possible, l'unité défectueuse est retirée et les tubulures de raccordement de cette unité aux collecteurs CO₂ sont munies de fonds pleins ; on peut aussi envisager l'échange standard de l'élément défectueux.

Enfin, la subdivision de l'échangeur permet les essais en vraie grandeur d'un prototype sur un banc d'essai, préalablement à la construction en usine. A cet effet, une station d'essai a été construite à Saint-Denis ; différentes unités prototypes y ont déjà été essayées.

On voit qu'une solution simple a été trouvée aux problèmes de construction, de transport, de montage et de sécurité en service.

L'unité est disposée verticalement, sa hauteur peut atteindre 15 à 25 m, elle peut être subdivisée en deux ou trois éléments superposés.

Chaque élément comprend alors un ou plusieurs faisceaux de même nature ou de natures différentes ; ainsi dans E.D.F. 2, l'élément inférieur comprend :

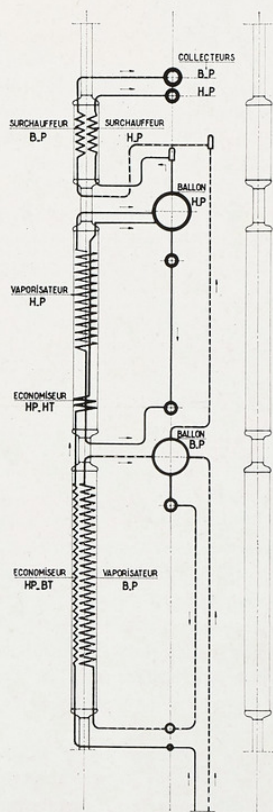


Fig. 6. — Coupe d'un élément échangeur d'E.D.F. 2.

— le vaporisateur BP et l'économiseur HP BT placés côte à côte ;

l'élément médian comprend successivement vers le haut :

— l'économiseur HP HT,

— le vaporisateur HP ;

l'élément supérieur (le plus court) comprend :

— les surchauffeurs BP et HP placés côte à côte.

Les faisceaux économiseurs et surchauffeurs sont généralement à circulation méthodique, c'est-à-dire à contre-courant.

L'écart terminal correspondant aux fluides les plus chauds est de l'ordre de 10 à 20° C.

Les faisceaux vaporisateurs sont généralement à circulation naturelle côté eau-vapeur ; ils peuvent comporter un ballon vaporisateur séparé commun à une file d'unités. Chaque unité peut néanmoins aussi être conçue avec son ballon individuel incorporé ; une telle solution a été adoptée pour les échangeurs E.D.F. 1.

Le type d'échangeur à circulation forcée se réduit à un certain nombre de tubes ailetés verticaux placés en parallèle dans la même unité. Dans chaque tube l'eau est réchauffée, puis plus haut elle est vaporisée, enfin, dans la partie supérieure, la vapeur est surchauffée. Bien entendu, il est assez difficile de contrôler le niveau dans ce type d'échangeur, il présente toutefois l'avantage d'éviter de multiples liaisons entre ballons et faisceaux vaporisateurs.

Les échanges ont lieu soit avec tubes lisses, soit avec tubes ailetés côté gaz. Les faisceaux sont soit à circulation transversale, soit à circulation longitudinale ; la technique des tubes enroulés concentriquement en hélice a souvent été utilisée.

Les échangeurs sont implantés dans de grands locaux généralement accolés au réacteur. Ils sont inaccessibles durant la marche de l'installation et accessibles seulement dans certaines conditions après arrêt du réacteur ; ils sont entourés de murs en béton d'assez forte épaisseur destinés à assurer la protection biologique du personnel contre les radiations.

L'ensemble d'une file d'unités est suspendu à des poutres reposant sur les murs en béton, la dilatation des unités s'effectue librement vers le bas. Le calorifugeage intéresse soit chaque unité individuellement, soit une file d'unités, soit l'échangeur tout entier.

La mise en place des échangeurs par rapport au réacteur peut être effectuée de façon à ce que le phénomène de thermosiphon provoque automatiquement la circulation de CO_2 nécessaire au refroidissement du réacteur dans certaines conditions. Le plan moyen des vaporisateurs est alors plus élevé de 20 m environ que le plan moyen du réacteur.

Afin d'éviter l'activation des particules solides dans le CO_2 de refroidissement du réacteur, les surfaces métalliques du circuit primaire subissent un traitement de surface destiné à les débarrasser de toute trace de rouille, de calamine susceptibles de se détacher à la suite des cyclages thermiques liés au fonctionnement de l'installation. Compte tenu des grandes surfaces d'échange, le traitement de surface des échangeurs de chaleur est une opération extrêmement importante que nous devons mentionner.

Le mode de construction particulier des échangeurs a imposé des contrôles de fabrication très sévères, contrôle de réception des tubes et des tôles constitutives des viroles, contrôle radiographique de la totalité des soudures.

Nous allons décrire maintenant de façon succincte les échangeurs des différentes tranches de la Centrale de Chinon.

E.D.F. 1

L'échangeur de chaleur E.D.F. 1 est à deux étages de pression.

Toute fuite d'eau ou de vapeur à l'intérieur du circuit du gaz carbonique étant susceptible de provoquer une détérioration rapide, en particulier des gaines en magnésium, on a estimé préférable pour « E.D.F. 1 » de limiter la pression dans le circuit eau-vapeur à une valeur inférieure à la pression du CO_2 dans l'élément considéré.

La pression du circuit HP a été limitée à $21,8 \text{ kg/cm}^2$ abs. à la sortie du surchauffeur. Le choix de la pression BP optimum a été déterminé par approximations successives à $4,45 \text{ kg/cm}^2$ abs.

Les autres caractéristiques de l'échangeur de chaleur sont :

- débit de CO_2 : $1\,300 \text{ kg/s}$;
- température d'entrée : 355°C ;
- température de sortie : 134°C ;
- perte de charge : 330 g/cm^2 ;
- surface totale d'échange : $35\,600 \text{ m}^2$.

La valeur de la perte de charge, côté CO_2 de l'échangeur a été fixée à 330 g/cm^2 , compte tenu des calculs économiques destinés à comparer l'augmentation des inves-

tissements et l'économie réalisée sur la puissance de soufflage.

L'écart terminal de l'échangeur entre la vapeur surchauffée HP et la température d'entrée du gaz carbonique a été fixée à 12° également, à la suite d'études économiques.

L'échangeur est composé de 120 tours, toutes identiques, réunies en parallèle sur les circuits de CO_2 , d'eau et de vapeur. Ces tours, disposées verticalement, ont la forme d'un long cylindre en deux parties, de diamètre extérieur de 635 mm et d'une hauteur totale de 29 m environ.

Les faisceaux de la virole inférieure se composent de :

- l'économiseur BP,
- l'évaporateur BP,
- le surchauffeur BP,
- l'économiseur HP.

Les faisceaux de la virole supérieure se composent de :

- l'évaporateur HP,
- le surchauffeur HP.

Les faisceaux sont suspendus à la partie supérieure et à l'intérieur des viroles ; leur raccordement aux tubulures traversant des fonds est fait par l'intermédiaire de tubes enroulés en spirales dont la souplesse laisse toute liberté aux différences de dilatation entre les faisceaux internes et leur enveloppe.

Le faisceau tubulaire des évaporateurs est constitué par des tubes à huit ailettes radiales. Ces tubes sont quinconcés avec des abatteurs longitudinaux ondulés suivant un profil particulier qui impriment au gaz circulant le long des tubes une succession de battements.

Les économiseurs et les surchauffeurs sont constitués par des tubes de profil spécial enroulés en spirale.

La distribution du gaz carbonique dans les éléments est faite au moyen d'un jeu de collecteurs et de sous-collecteurs. La différence maximum de répartition du gaz entre les éléments ne dépassera pas 5% , compte tenu de ce que les pertes de charge singulières d'entrée et de sortie du gaz pour chaque élément sont faibles par rapport à celles dues au passage du gaz dans les éléments.

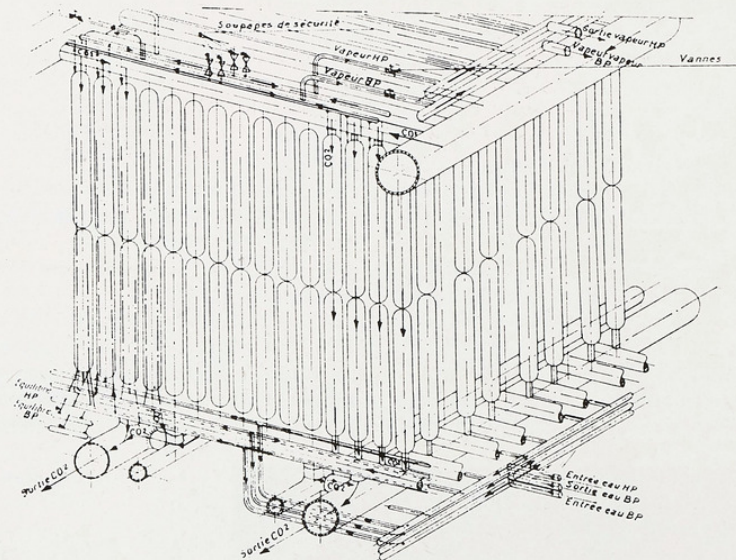


Fig. 7 a. — Vue d'ensemble échangeur E.D.F. 1.

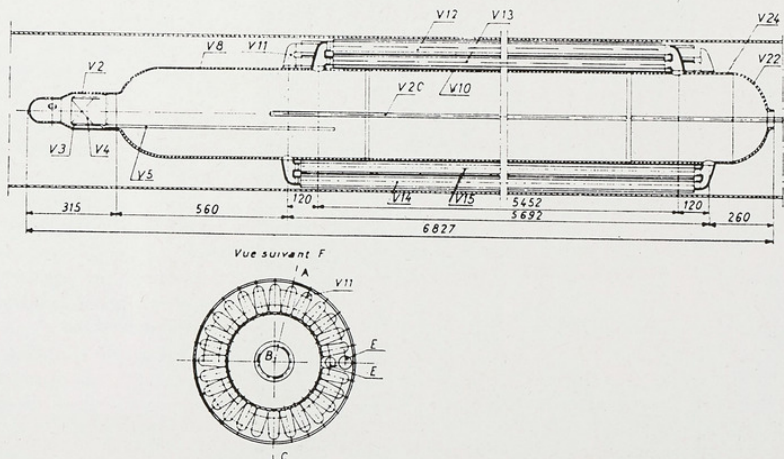


Fig. 7 b. — Coupe vaporisateur échangeur E.D.F. 1.

Les différences entre les productions unitaires de vapeur des évaporateurs élémentaires sont sensiblement du même ordre et, pour réduire les écarts de hauteur des niveaux d'eau qui s'établissent dans leur réservoir, il est prévu un réseau de tubes d'équilibrage mettant en communication la partie eau de tous ces réservoirs.

Les variations de niveau d'eau entre les évaporateurs étant ainsi limitées, le repérage du plan d'eau pour l'ensemble de chaque étage est fait sur quatre éléments témoins convenablement choisis. C'est à partir de ces quatre éléments que sont commandées les régulations automatiques de l'eau alimentaire.

E.D.F. 2

La tranche E.D.F. 2 comporte quatre échangeurs constitués chacun de vingt-quatre tours verticales réparties en deux files de douze.

Chaque échangeur élémentaire comporte les trois parties qui sont constituées par une enveloppe cylindrique en tôles soudées dont les caractéristiques sont les suivantes :

— diamètre intérieur	982 mm
— épaisseur	15 mm
— longueur des parties cylindriques :	
— supérieure	3 m
— intermédiaire	8 m
— inférieure	9 m 50

— longueur hors tout	25 m 10
— poids d'un élément	40 t.

Les fonds sont de forme elliptique. L'enveloppe est munie de tubulures d'entrée et de sortie du gaz carbonique, de l'eau et de la vapeur et, à l'intérieur des pièces de fixation, des faisceaux tubulaires.

Le supportage de chaque tour est réalisé à sa partie supérieure laissant ainsi le libre jeu des dilatations vers le bas.

Les faisceaux tubulaires sont réalisés de la manière suivante :

Surchauffeurs :

Ils sont à circulation méthodique transversale et constitués par des hélices coaxiales axées autour d'un corps central.

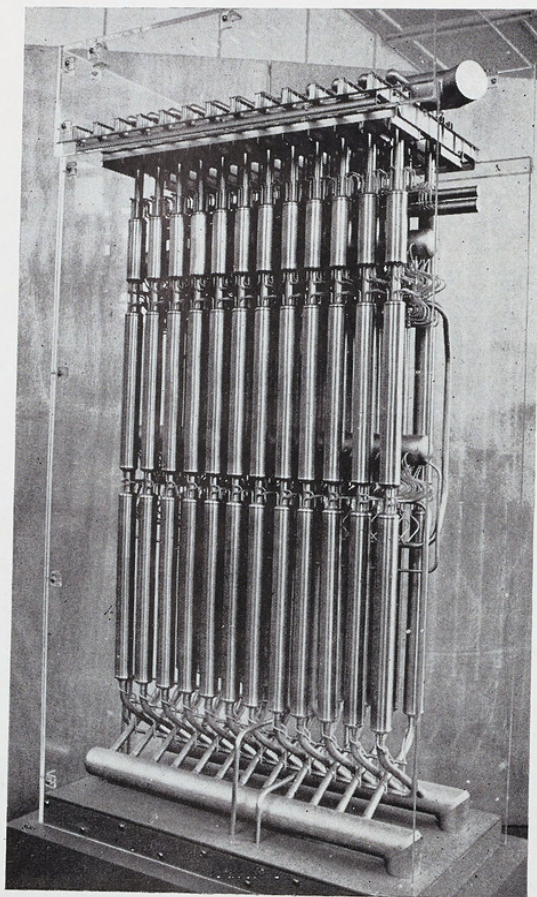


Fig. 8. — Maquette d'un échangeur E.D.F. 2.

Ils sont suspendus au fond supérieur par l'intermédiaire des collecteurs de sortie.

Vaporisateurs :

Ils sont à circulation naturelle et constitués par des hélices coaxiales à grand pas axées autour d'un corps central.

Economiseurs :

L'économiseur HP (basse température) est constitué par des tubes enroulés en hélices et imbriqués dans celle du vaporisateur BP.

Les surfaces d'échange sont les suivantes (pour un échangeur) :

— BP : vaporisateur	4 728 m ²
surchauffeur	684 m ²
— HP : économiseur (partie BT)	453 m ²
(partie HT)	677 m ²
vaporisateur	3 329 m ²
surchauffeur	893 m ²
Total	10 764 m²

Toutes les liaisons internes sont réalisées uniquement par soudures.

Les réservoirs BP et HP sont de forme cylindrique à fond elliptique. Il existe ainsi quatre réservoirs HP et quatre réservoirs BP.

Le calorifugeage est réalisé par un caisson renfermant vingt-quatre éléments et leur matériel annexe (réservoirs, tuyauteries de liaison...).

Le transport de chaque tronçon a été effectué par route. La tour élémentaire a été constituée sur le chantier par assemblage par soudure de ses trois parties. Le levage de chaque élément a été fait à l'aide de ponts roulants et de monorails, les viroles étant auparavant disposées dans un berceau afin de renforcer leur rigidité.

E.D.F. 3

Chaque échangeur comportera quatre ensembles identiques placés côte à côte et formés de vingt-quatre tours.

Chaque ensemble est raccordé par un collecteur Ø 1800, côté entrée et côté sortie CO₂. Il est formé :

- de vingt-quatre tours verticales en deux files symétriques par rapport aux tuyauteries chaude et froide de CO₂ ;

- d'un réservoir eau-vapeur commun aux vingt-quatre éléments ;
- des collecteurs et tuyauteries CO₂ et eau-vapeur ;
- des charpentes supports et des passerelles de visite.

Chaque ensemble est supporté par une poutre caisson reposant à ses extrémités sur les murs constituant la protection biologique.

Le gaz carbonique chaud, provenant de la pile parcourra successivement :

- le surchauffeur et le résurchauffeur, en parallèle, de bas en haut ;
- le vaporisateur, puis l'économiseur de haut en bas.

A. — Viroles

Les diamètres intérieurs des viroles sont les suivants :

- virole supérieure : 1 108 mm ; épaisseur : 21 mm ;
- virole inférieure : 790 mm ; épaisseur : 14,5 mm.

Les viroles supérieure et inférieure sont constituées par un ou plusieurs tronçons assemblés par soudure électrique.

B. — Faisceaux tubulaires

1) Surchauffeur et résurchauffeur

Le surchauffeur et le résurchauffeur sont à circulation méthodique longitudinale. La vapeur circule de haut en bas.

Les faisceaux sont enfermés dans une gaine cylindrique de diamètre extérieur 644 mm, chacun des deux faisceaux surchauffeur et résurchauffeur étant placé dans une première gaine de forme appropriée.

Les faisceaux sont formés de tubes droits, diamètres extérieurs 33,7 mm et 38 mm ; épaisseur, 2,5 mm environ ; longueur, 11,35 m. Des tubes de faible épaisseur sont placés à l'intérieur des tubes des faisceaux pour accélérer la vitesse de la vapeur.

2) Vaporisateur

Le vaporisateur est à circulation naturelle, le CO₂ circulant de haut en bas. Le faisceau est constitué par des tubes portant des rainures transversales au pas de 3 mm

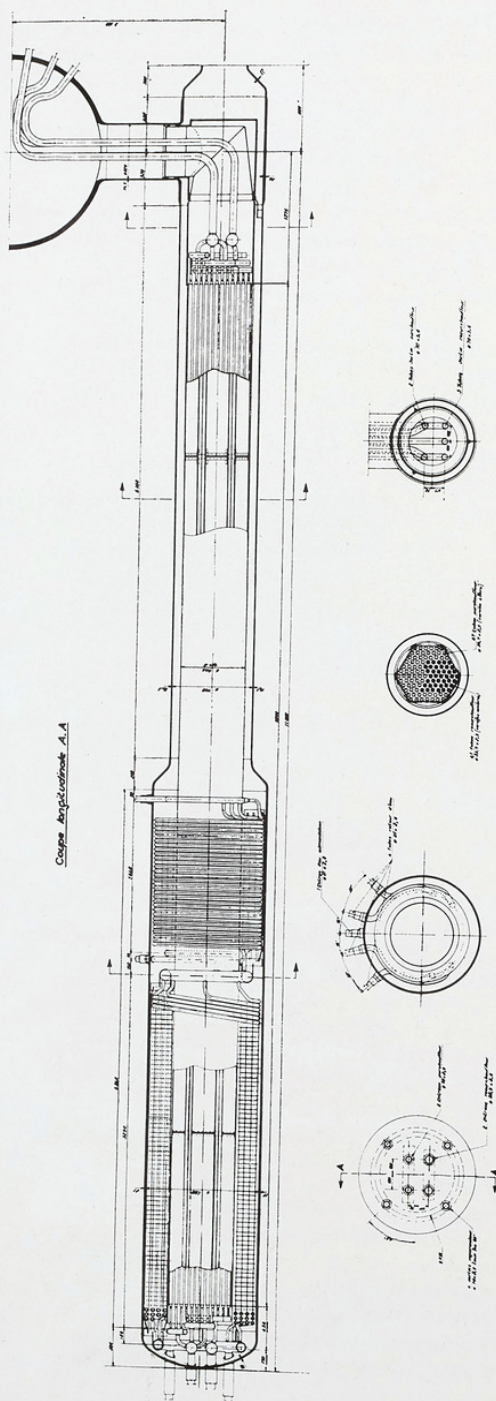


Fig. 9. — Coupe élément d'échangeur E.D.F. 3.

(hauteur des ailettes : 2 mm), disposés en quatre hélices coaxiales.

Le faisceau est raccordé par soudure :

- dans sa partie supérieure, à quatre collecteurs verticaux correspondant aux quatre tuyauteries d'évacuation d'émulsion ;
- dans sa partie inférieure, à un collecteur torique recevant, en outre, les tubes venant de l'économiseur et les tubes de retour d'eau du ballon.

Les différences de dilatation entre le faisceau et l'enveloppe seront absorbées par les spires mêmes de l'enroulement.

3) Economiseur

L'économiseur est à circulation méthodique transversale, le CO_2 circulant de haut en bas comme pour le vaporisateur. Le faisceau est de même nature que celui du vaporisateur, tant au point de vue des tubes employés que des diamètres d'enroulement des tubes ; toutefois, il n'y aura qu'un tube par enroulement.

Le faisceau est maintenu dans un cadre qui repose sur la pièce de raccordement conique des viroles supérieure et inférieure ; ce cadre supporte en même temps le faisceau vaporisateur.

Les différences de dilatation sont également absorbées par les spires mêmes du faisceau.

LES SOUFFLANTES

Les soufflantes principales assurent la circulation de l'anhydride carbonique dans les circuits principaux. Leur fonctionnement est étroitement lié à celui du réacteur : en particulier, un arrêt des soufflantes provoque, évidemment, celui du réacteur et de l'installation. A ce titre, c'est l'auxiliaire le plus important des centrales nucléaires à gaz.

Par suite du débit important de gaz à faire circuler, les puissances absorbées par ces machines sont considérables et représentent une valeur très nettement supérieure à celle qui correspond à l'auxiliaire le plus important d'une centrale thermique, c'est-à-dire la pompe alimentaire. A titre d'exemple, la puissance unitaire des quatre soufflantes E.D.F. 2 est de 6 MW pour une

puissance des deux groupes de 230 MW et une puissance thermique de 800 MW. Le rapport 6 de la puissance de soufflage à la puissance thermique du réacteur est donc de 3 % ; le rapport de la puissance de soufflage à la puissance des groupes est voisin de 10 %. Le rapport de la puissance de la pompe alimentaire à la puissance du groupe est de l'ordre de 2 à 3 % dans une centrale thermique.

On demande donc à ces machines d'avoir un fonctionnement sans défaillance et, également, un bon rendement ; notons que leur température de fonctionnement est déjà assez élevée : de 150 à 250° C environ. Le taux de compression requis est voisin de 1,06. Ces machines peuvent être soit du type axial à un seul étage, soit du type centrifuge.

Les soufflantes destinées à la Centrale de Chinon sont toutes de type axial, à axe horizontal. L'aspiration comporte deux tubulures normales ou obliques par rapport à l'axe de la machine. Le refoulement et le diffuseur sont dans l'axe de la machine.

Le réglage du débit de CO_2 qui, rappelons-le, correspond à la variation de charge de l'installation, peut être effectué, pour les soufflantes axiales, principalement de trois façons différentes :

- 1° par variation de vitesse. Ceci est possible, en particulier si la soufflante est entraînée par une turbine à vapeur, par un coupleur hydraulique ou par un moteur à vitesse variable ;
- 2° par utilisation d'aubes directrices orientables ;
- 3° par utilisation de pales mobiles orientables en marche.

Naturellement, la complexité de la soufflante est croissante suivant l'ordre envisagé précédemment.

Les caractéristiques du circuit résistant sont évaluées au moment de l'établissement du projet ; elles dépendent notamment, pour ce qui concerne la perte de charge réacteur qui est la plus importante, de la nature des éléments combustibles. Ces caractéristiques, au départ, ne peuvent qu'être évaluées approximativement ; d'autre part, le réacteur est susceptible d'être chargé au cours de la vie de la centrale

de barreaux différents de ceux qui sont prévus à l'origine. Il est donc souhaitable que la soufflante puisse s'adapter à des caractéristiques de circuit différentes.

Les soufflantes à pales mobiles, orientables en marche, possèdent à cet égard de grandes possibilités d'adaptation immédiate. Il en est de même des soufflantes entraînées à vitesse variable lorsqu'on dispose d'une marge de vitesse suffisante. Dans les autres cas, il est possible d'effectuer l'adaptation par modification du calage, à l'arrêt de la machine, des pales mobiles.

La machine doit être étanche vis-à-vis de l'ambiance extérieure, tant en marche qu'à l'arrêt. On doit éviter, également, toute admission d'huile de graissage à l'intérieur des circuits CO_2 .

L'étanchéité en marche normale de la machine est assurée par un ensemble comprenant généralement, à partir du circuit :

- une chambre de barrage alimentée en CO_2 neuf à une pression légèrement plus élevée que celle du circuit ;
- un dispositif d'étanchéité sur l'arbre tournant alimenté en huile sous pression.

La sûreté de fonctionnement de la soufflante est très liée à la bonne tenue en endurance du dispositif d'étanchéité. L'installation de la roue en porte-à-faux permet de n'installer l'ensemble d'étanchéité que d'un seul côté : c'est la raison pour laquelle cette disposition a été couramment retenue.

Pour un long arrêt de la machine, l'étanchéité vis-à-vis du circuit principal est obtenue par recul du rotor ; on provoque le plaquage de deux portées, l'une située sur le rotor, l'autre sur le corps de la machine.

Enfin, pour terminer, nous énumérerons les principaux essais qui sont effectués à propos de la construction de ces machines :

- essais aérodynamiques sur maquette. Cet essai a pour but de déterminer les formes des sections d'entrée et de sortie et de mesurer des pertes de charge ;
- essai de maquettes tournantes. Cet essai a pour but de s'assurer que la machine projetée, qui sera construite en grandeur, répond aux caractéristiques demandées. L'essai comprend la détermi-

nation des courbes caractéristiques et la mesure du rendement sur la maquette. Des formules de transposition permettent d'utiliser ces résultats pour la machine grandeur ;

- essai du dispositif d'étanchéité. Une maquette reproduisant le dispositif d'étanchéité est essayée avec son appareillage annexe ;
- essai à l'air à la pression atmosphérique de la soufflante grandeur. Cet essai est un contrôle des caractéristiques de hauteur et de débit de la machine, ces caractéristiques ne pouvant pas être pratiquement mesurées, la soufflante étant installée dans son circuit définitif.

Un banc d'essai, destiné à l'essai des soufflantes et ventilateurs, est actuellement en cours de construction à Saint-Denis.

Nous décrirons d'une façon un peu détaillée la soufflante E.D.F. 2, puis indiquerons les particularités essentielles des soufflantes destinées à E.D.F. 1 et E.D.F. 3.

SOUFFLANTE E.D.F. 2

La circulation de l'anhydride carbonique à l'intérieur des circuits principaux est assurée à l'aide de groupes moto-soufflantes. Pour ce faire, on dispose de quatre groupes à raison d'un sur chacune des quatre branches constituant le circuit principal.

Les groupes de soufflage sont constitués par des ensembles à axes horizontaux comprenant chacun :

- une soufflante,
- un variateur de vitesse (type hydraulique),
- un moteur d'entraînement.

Chaque ensemble est disposé directement sous l'échangeur correspondant.

SOUFFLANTE

La soufflante est du type axial à un seul étage. Elle comporte deux entrées latérales et une sortie axiale ; ainsi, le gaz pénètre dans la soufflante par deux orifices de $\varnothing 1\,400$ disposés dans le plan médian horizontal. Il est ensuite mis en vitesse par un convergent qui le guide à l'entrée des aubes

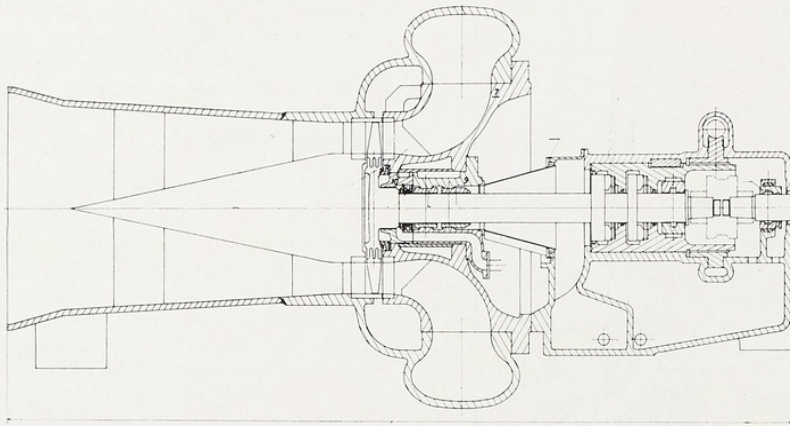


Fig. 10. — Coupe soufflante E.D.F. 2.

directrices fixes. Il est alors mis en pression par l'aubage mobile ; à la suite de celui-ci, le gaz passe à travers des aubes redresseuses avant d'être introduit dans un divergent axial de $\varnothing 1\,600$ mm.

Chaque soufflante est constituée :

- d'un corps en acier moulé formé par l'assemblage de :
 - la volute comportant ses entrées de $\varnothing 1\,400$,
 - le diffuseur constitué par un corps central et une enveloppe externe,
 - le convergent ;
- d'un rotor en acier forgé de construction monobloc, comprenant la roue destinée à recevoir les dix aubes mobiles ;
- d'un palier porteur disposé à proximité de la roue ;
- d'un ensemble palier-butée comprenant le deuxième palier porteur et la double butée, ainsi que le mécanisme du déplacement du mobile ;
- des dispositifs d'étanchéité.

La roue est située en porte-à-faux par rapport aux deux paliers porteurs.

Le rotor de la soufflante est entraîné par le coupleur hydraulique au moyen d'un arbre intermédiaire, supporté lui-même par deux paliers et comportant à chacune de ses extrémités un manchon d'accouplement. En outre, sur cet arbre intermédiaire, destiné à faciliter les opérations de montage, est disposé un frein anti-dévireur.

L'étanchéité aux sorties d'arbre est réalisée à l'aide de CO_2 de barrage provenant d'un circuit où règne une pression supérieure à celle du circuit principal. Ce CO_2 est injecté dans une rainure circulaire située entre des lamelles (dummies). Ainsi, le CO_2 s'échappe d'une part dans le circuit principal, d'autre part, vers une chambre où il se mélange avec l'huile en provenance de la bague d'étanchéité.

Cette étanchéité est disposée entre la roue et le premier palier porteur.

Ce dispositif d'étanchéité est normalement utilisé lors du fonctionnement ou en cas d'arrêts de courte durée.

Lors d'arrêts prolongés, le mobile de la soufflante est déplacé et vient s'appliquer sur une portée ménagée sur le stator de la soufflante. Cette portée comporte une rainure circulaire dans laquelle est injecté du CO_2 de barrage.

Les caractéristiques principales sont les suivantes :

— débit nominal	1 075 kg/s
— pression à l'aspiration ..	24,5 hpz
— pression au refoulement ..	25,8 hpz
— température du CO_2 à l'entrée	190° C
— température du CO_2 à la sortie	195,6° C
— puissance nominale à l'accouplement	5 760 kW
— rendement global	80,8 %
— vitesse en charge	2 910 tr/mn

COUPLEUR

Le coupleur du type hydraulique est destiné à obtenir la variation de vitesse nécessaire au réglage du débit.

MOTEUR

L'entraînement des soufflantes est réalisé à l'aide d'un moteur asynchrone triphasé, à simple cage.

Le moteur démarre à tension réduite par l'intermédiaire d'une self de point neutre mise hors service au bout de 15 secondes. Ainsi, l'intensité de démarrage est réduite de moitié par rapport à l'intensité atteinte lors d'un démarrage normal sans ce dispositif.

SOUFFLANTE E.D.F. 1

La roue est précédée d'aubes directrices orientables et suivie d'aubes redresseuses fixes.

La variation de débit est obtenue par action d'un cercle de vannage commandé hydrauliquement et en liaison par l'intermédiaire de biellettes aux aubes directrices orientables.

L'adaptation de la soufflante à des conditions de marche différentes de celles prévues se fait par calage à l'arrêt des aubes mobiles. La plage d'adaptation permet tous les débits compris entre 1 365 et 1 800 kg/s.

L'étanchéité à l'arrêt est obtenue par déplacement de l'ensemble bloc palier et rotor, grâce à un certain nombre de pistons hydrauliques fixés à un cône solidaire du corps de la machine.

TURBO-SOUFFLANTES E.D.F. 3

E.D.F. 3 comprend quatre groupes turbo-soufflantes de puissance unitaire importante : 15 MW.

La soufflante présente peu de particularités marquantes. Signalons, cependant, que le débit de CO_2 est séparé en deux après le diffuseur dans une culotte de bifurcation solidaire du corps de la machine.

La turbine d'entraînement est une turbine à contre-pression du type à action, à axe horizontal, accouplée directement à la soufflante et comportant un seul étage.

Elle est alimentée par la vapeur provenant des surchauffeurs, la vapeur à la sortie de la turbine est ensuite resurchauffée avant d'alimenter la turbine principale. Les deux turbines d'amont, associées à un échangeur, utilisent donc le même débit vapeur que la turbine principale correspondante.

Le corps, divisé en deux parties, est à simple enveloppe. Le rotor est du type massif en acier forgé, le disque étant taillé dans la même masse que l'arbre.

L'admission comprend quatre secteurs partiels. Les organes de réglage comprennent deux soupapes indépendantes placées sur les deux tuyauteries vapeur d'arrivée $\varnothing$ 450 mm. Deux soupapes additionnelles sont placées sur deux secteurs d'admission. Cette disposition permet d'assurer le réglage du débit de CO_2 en fonction du débit vapeur pour différentes charges de l'installation et quel que soit le régime de chacun des deux groupes turbo-alternateurs.

Bien entendu, l'ouverture des soupapes d'admission des turbines principales est liée à celle des turbines d'amont.

L'adaptation des groupes turbo-soufflantes à d'autres régimes d'exploitation est obtenue par modification à l'arrêt du calage des aubes mobiles de la soufflante et, pour la turbine, par ouverture ou obturation de tuyères.

LES TURBINES

Les caractéristiques principales des turbines sont essentiellement liées à la qualité de la vapeur utilisée, au nombre d'admissions de vapeur et à leur possibilité d'adaptation.

1° Qualité de la vapeur utilisée

Celle-ci est à basse pression et surchauffée jusqu'à une température de l'ordre de 300 à 400° C ; il s'ensuit que le débit de vapeur nécessaire à l'obtention d'une puissance donnée est notablement supérieur à celui d'une turbine de centrale thermique moderne.

A puissance unitaire égale, les turbines ont des dimensions plus importantes. Compte tenu des gros débits volumes à

l'entrée de la turbine, les organes d'admission ont de grandes dimensions, il en est de même des gaines de liaison et des corps BP dans lesquels les sections d'échappement sont importantes. Les machines sont donc plus lourdes mais leur construction ne pose pas les problèmes liés à l'utilisation d'une vapeur à pression et température élevées.

2° Nombre d'admissions de vapeur

Le nombre d'admissions de vapeur est déterminé par le choix du cycle eau-vapeur et notamment par le nombre d'étages de pression à l'échangeur.

3° Possibilité d'adaptation

Les turbines peuvent s'adapter aux variations de charge grâce aux organes de réglage placés à l'admission qui sont adaptés aux particularités d'alimentation : rapport des flux HP et BP, pression, etc...

La régulation d'ensemble de la tranche permet d'assujétir la puissance du groupe turbo-alternateur soit à une demande du réseau, soit à la puissance thermique du réacteur ; ce dernier cas correspond à un fonctionnement en « déverseur ».

Enfin, pour tenir compte des incertitudes concernant la température de sortie du CO_2 de refroidissement du réacteur, les turbines sont prévues pour pouvoir fonctionner à des températures inférieures et supérieures à la valeur nominale.

Signalons, pour terminer ces généralités, que le taux d'humidité en fin de détente est assez fort et que la turbine peut comporter des dispositifs spéciaux pour le réduire.

Les groupes turbo-alternateurs de Chinon sont du type out-door.

Nous décrirons les turbines destinées à la tranche E.D.F. 2, qui sont pratiquement identiques du point de vue conception à celles de la tranche E.D.F. 1 ; nous terminerons enfin par la description sommaire des turbines prévues pour E.D.F. 3.

TURBINE E.D.F. 2

La turbine est du type à action à deux étages de pression et à quatre échappements.

Elle est à axe horizontal, accouplée directement à un alternateur triphasé.

Après avoir traversé les organes d'arrêt et de réglage, les flux de vapeur (HP et MP) sont admis dans la turbine. Ils s'y détendent séparément jusqu'au niveau BP, grâce à un dispositif placé sur la MP constitué par deux secteurs d'admission desservis chacun par une soupape. Au niveau BP, les deux flux sont mélangés et le flux résultant, ainsi constitué, se détend à travers les étages BP.

La turbine est donc constituée :

- d'un corps HP/MP comportant :
 - en HP : une roue de tête à action huit étages,
 - en MP : cinq étages ;
- d'un corps BP quadruple de trois étages chacun.

Le corps HP/MP est à simple enveloppe. Il est réalisé en acier coulé. Il porte à son extrémité HP, deux boîtes à soupapes situées l'une au-dessus, l'autre au-dessous du tore d'admission.

L'admission de la vapeur MP se fait par deux tubulures situées sur le dernier corps inférieur.

Le corps BP est constitué par un ensemble symétrique donc équilibré, comportant deux alimentations de vapeur et quatre échappements au condenseur. Il est réalisé en tôle d'acier soudée. En outre, l'alimentation des soutirages est effectuée à partir de ce corps.

Les distributeurs situés sur le corps HP et les premiers étages du corps BP sont en acier soudé, les autres de plus grandes dimensions situés sur le corps BP en fonte avec aubage encastré.

La turbine comprend deux rotors correspondant l'un au corps HP et l'autre au corps BP. Ces deux rotors sont reliés par un accouplement rigide. Le rotor BP est lui-même divisé en deux parties assemblées par manchon.

Les aubes mobiles sont fixées dans la jante du disque par un assemblage en T, ou pour les aubes de grande hauteur, par fixation par broche. La dernière roue a des aubes de 700 mm de hauteur ; son diamètre moyen est de 2 mètres.

Les paliers porteurs et butée sont répartis de la manière suivante :

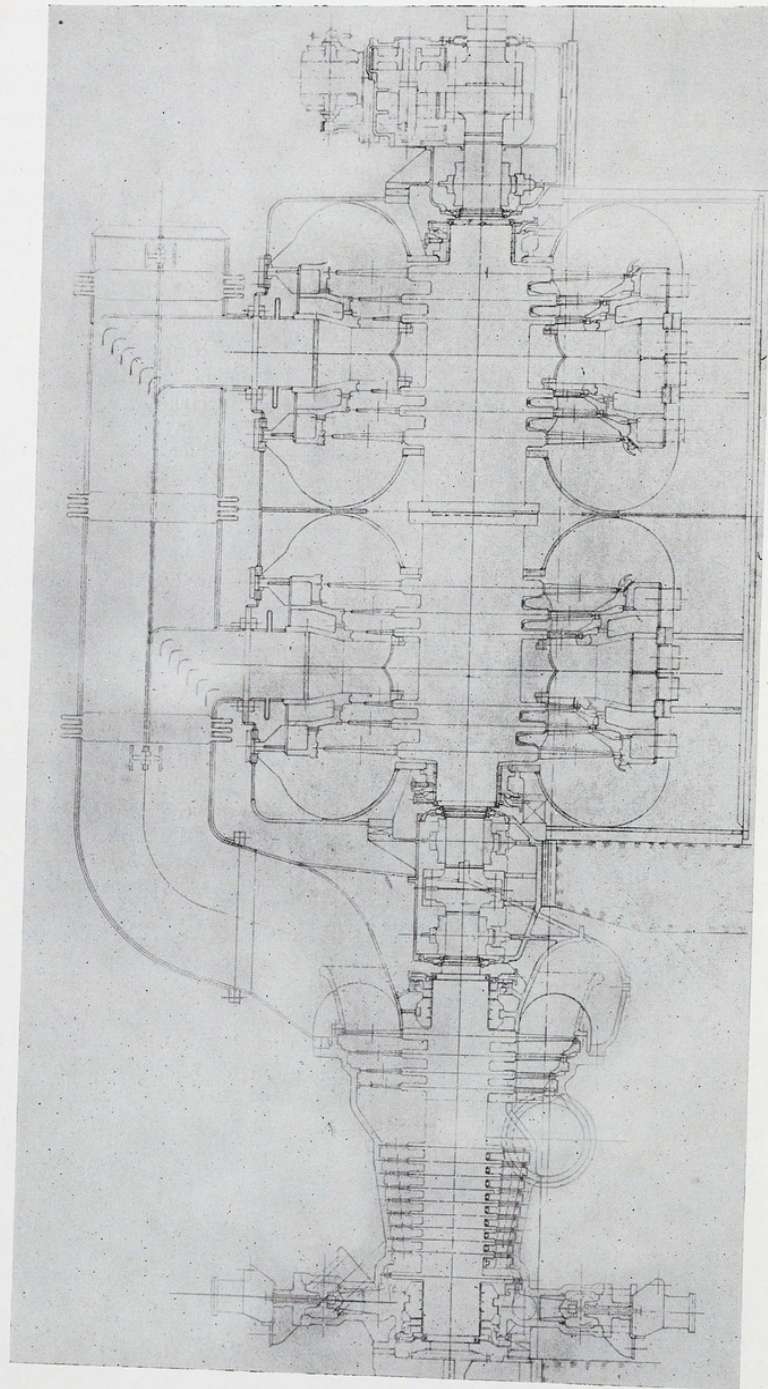


Fig. 11. — Coupe turbine à vapeur E.D.F. 1.

- à l'extrémité avant de la turbine : un palier et une butée Mitchell ;
- entre corps HP/MP et BP : deux coussinets porteurs de part et d'autre du manchon d'accouplement ;
- à l'extrémité de la turbine (côté alternateur) : un coussinet porteur.

Les auxiliaires nécessaires au fonctionnement de la turbine sont classiques et comprennent essentiellement :

- les circuits d'huile permettant d'assurer les fonctions suivantes :
 - soulèvement du mobile,
 - graissage du palier et de la butée,
 - fonctionnement des organes d'admission de régulation et de sécurité ;
- un vireur capable d'assurer la rotation du mobile à vitesse réduite lors des périodes de démarrage et d'arrêt du groupe.

Les caractéristiques principales sont les suivantes :

- Puissance :
 - Nominale 115 MW
 - Maximum 125 MW
- Caractéristiques de la vapeur à l'admission :

HP	{	Pression	32,3 hpz
		Débit	95,5 kg/s
BP	{	Température	339,5° C
		Pression	8,1 hpz
		Débit	52,2 kg/s
		Température	339,5° C
- Caractéristiques de la vapeur à l'échappement :
 - Pression au condenseur 0,035
 - Débit 131 kg/s

TURBINE E.D.F. 3

Description d'ensemble

La turbine est du type à action à arbre horizontal et accouplée directement à un alternateur.

Elle comprend :

- un corps HP dédoublée de 2×8 étages ;
- deux corps BP comportant chacun 12 étages.

La chute de pression est fractionnée en 13 détentes élémentaires.

Après détente dans le corps HP, la vapeur est canalisée dans quatre gaines de liaison puis admise dans les deux corps BP.

A l'entrée de chaque corps, la valeur est répartie en deux flux opposés représentant respectivement $1/3$ et $2/3$ du débit total ; le premier de ces deux flux se détend à travers cinq étages et s'échappe à l'une des deux extrémités du corps.

Après une première détente à travers trois étages, le second des flux est divisé en deux parties égales, dont la première achève sa détente à travers deux étages situés à la suite des trois premiers, tandis que la seconde est canalisée par une gaine disposée à l'intérieur de la boîte d'échappement puis se détend dans deux étages identiques aux précédents.

Stators

Les distributeurs sont en acier du type soudé, divisés en deux parties ; ils sont conçus de façon à réserver les libres dilatations.

Le corps HP est à simple enveloppe ; l'admission est disposée dans la partie centrale du corps et elle est formée par deux boîtes à tuyères, ce qui permet l'adaptation de la turbine à d'autres régimes de vapeur.

Les deux parties de l'enveloppe s'appliquent sans interposition de joints.

Les corps BP sont en tôle d'acier type soudé ; chacun des deux corps BP comporte trois échappements au condenseur, réunis dans la même manchette, le raccordement au condenseur est effectué par bords soudés.

Rotors

La turbine comporte trois rotors de type massif, en acier forgé, avec disques taillés dans la même masse que l'arbre et reliés par accouplement rigide.

Les aubes mobiles sont taillées dans les barres en acier traité et sont fixées dans la jante du disque par assemblage en T ou, pour les aubes de grande hauteur, par fixation par broches.

La dernière roue a des aubages de 700 mm de hauteur. La section totale d'échappement de la turbine est de $27,7 \text{ m}^2$.

Palier et butée

Le point fixe de la turbine est situé au

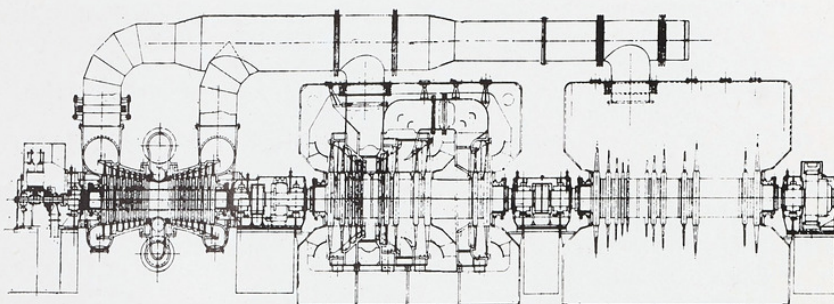


Fig. 12. — Coupe turbine à vapeur E.D.F. 3.

niveau du palier HP/BP. Les boîtes d'échappement comportent chacune un point fixe.

Vannes d'arrêt et soupapes de réglage

Chaque tuyauterie d'alimentation comporte une vanne d'arrêt et une soupape de réglage. Les soupapes sont indépendantes et permettent le réglage par injection partielle.

Des vannes additionnelles permettent de modifier le nombre des secteurs d'alimentation desservis par chaque soupape afin de pallier les variations de pression à l'admission dues aux différents régimes de fonctionnement des soufflantes.

Soutirages

Les soutirages sont au nombre de trois, le dernier étant à mélange : sa pression de vapeur est de 2 hpz abs.

Le premier soutirage permet, d'autre part, d'extraire de l'eau obtenue par des rainures tracées sur l'extrados des aubes de l'étage précédant le premier soutirage.

Organes de régulation

La régulation est du type électronique analogue à celle des turbines de la 2^e tranche E.D.F. 2.

Cette régulation permet le démarrage, la conduite et l'arrêt du groupe, ces opérations étant assurées par un automate.

Vireur

Le vireur de type électrique est constitué par un moteur asynchrone dont le rotor est le manchon d'accouplement entre turbine et alternateur. Son démarrage est

effectué par mise directe sous pleine tension.

La vitesse de virage est de 70 tr/mn environ. Il n'est pas nécessaire d'attendre l'arrêt du groupe avant de procéder au virage.

CONCLUSION

Ainsi que nous avons pu le voir, les solutions adoptées dans les installations de production d'énergie associées aux réacteurs nucléaires de puissance s'apparentent grandement à celles utilisées dans les centrales thermiques, pour ce qui concerne l'utilisation de la vapeur.

Le circuit primaire est constitué de matériels particuliers répondant à des conditions de fonctionnement sévères, imposées par la marche du réacteur. La définition de ces matériels nécessite d'importantes études concernant tant les principes de réalisation que les conditions de fonctionnement. En outre, des problèmes particuliers d'essais, des réalisations, de contrôle se posent à propos de ces matériels généralement importants.

Les solutions apportées aux problèmes qui se sont posés sont le résultat des travaux effectués par Electricité de France et les constructeurs ; cette collaboration doit aboutir au choix des solutions les plus intéressantes, tant au point de vue technique qu'au point de vue économique.

Enfin, ces réalisations constituent un banc d'essai à l'égard de ces problèmes nouveaux et doivent contribuer à l'amélioration des fabrications nationales.

CONTRIBUTIONS DE LA TECHNOLOGIE MÉCANIQUE CLASSIQUE À LA SOLUTION DES PROBLÈMES NUCLÉAIRES

(Suite)

Les Problèmes d'Agencement Mécanique dans les Laboratoires Chauds (1)

par M. Yves DUVAUX,

Chef du Service des Constructions Spéciales au Commissariat à l'Énergie Atomique.

Je dois dire d'abord que je n'envisage pas en si peu de temps de m'étendre en détail sur les différents problèmes de mécanique pouvant se rencontrer dans tous les laboratoires chauds. Je limiterai donc mon exposé à un type particulier de laboratoire, celui qui exige la solution de problèmes de manipulation et de transfert sur lesquels je donnerai un bref aperçu.

Du fait des risques présentés par les substances manipulées, risque d'irradiation et risque de contamination, il sera nécessaire de les confiner dans des enceintes étanches ou maintenues à une forte dépression et isolées de l'extérieur par interposition d'écrans de protection quand il s'agit de rayonnement $\beta\gamma$. Nous laisserons tout à fait de côté ici les laboratoires purement α pour nous intéresser plus particulièrement aux laboratoires nécessitant de fortes protections γ . Nous supposerons, par ailleurs, connus les principes présidant à la conception de ces laboratoires chauds.

A partir d'une certaine activité, ordre de grandeur une centaine de curies, il y a, en général, intérêt à construire des cellules solides réalisées en béton. Ces cellules ont couramment 1 m d'épaisseur de béton lourd (par exemple : baryte $d = 3,5$) pour une activité de 10 à 100.000 curies environ ; elles posent donc des problèmes plus ardues de manipulation et de transfert.

Elles ont, en moyenne, de 2 à 3 m de

large sur 2,5 m de profondeur, sont équipées soit de télévision ou de périscope, soit, de préférence, de fenêtre en verres spéciaux de densité correspondant à celle des matériaux de protection. Des accès sont ménagés vers la zone arrière, accès de grandes dimensions fermés par des portes lourdes ou des dalles de toit ou de plus petites dimensions appelés transferts soit vers la zone arrière, soit entre cellules. Ces transferts permettent des entrées et sorties rapides pour les substances radioactives manipulées tout en conservant l'intégrité de la protection biologique et de la protection contamination (fig. 1 et 2).

Ces cellules sont, en général, disposées en ligne, ce qui a pour avantage de faciliter les transferts de cellule à cellule et elles sont encadrées par une zone de travail dans laquelle se tient le personnel manipulant et une zone arrière ou de déchargement où se font les entrées et sorties de matériel. Ces dispositions permettent une différenciation très efficace des zones de danger différent (fig. 3, 4 et 5).

Je parlerai essentiellement des cellules conçues pour une activité $\beta\gamma$. Cependant, il est possible également de concevoir des cellules avec, en plus, une étanchéité totale pour la manipulation de plutonium irradié, par exemple. Mais les problèmes posés sont beaucoup plus complexes en matière de transferts en particulier. Je n'aborderai donc que très rapidement ce dernier sujet.

(1) Conférence faite le 22 février 1962 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale

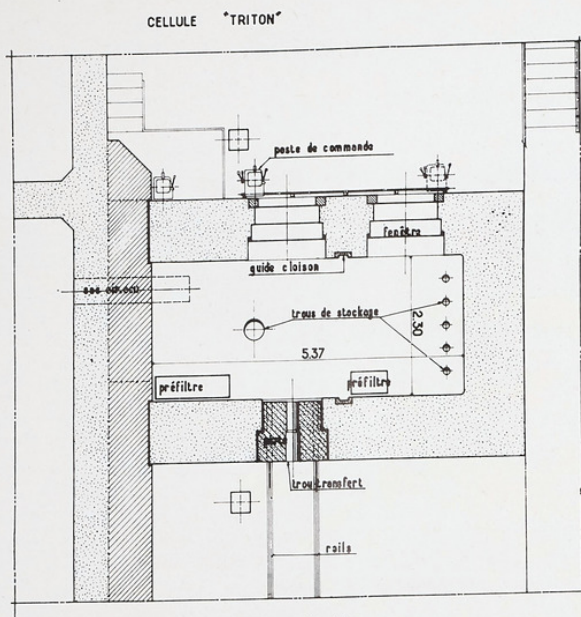


Fig. 1. — Cellule associée à la pile Triton, à Fontenay-aux-Roses — Plan.

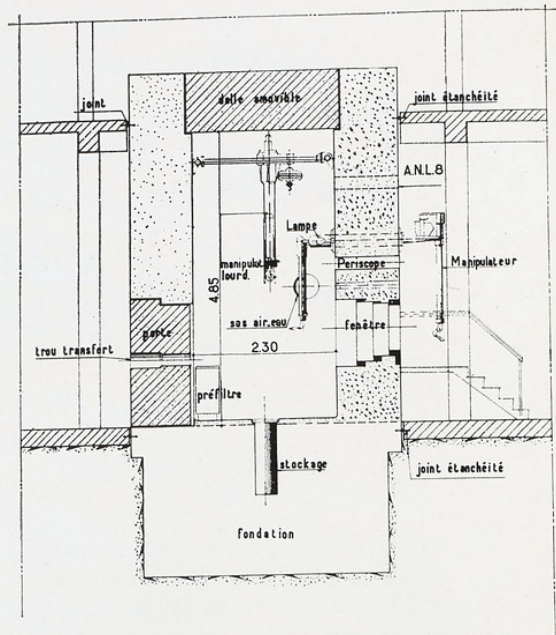


Fig. 2. — Cellule associée à la pile Triton, à Fontenay-aux-Roses. — Coupe verticale.

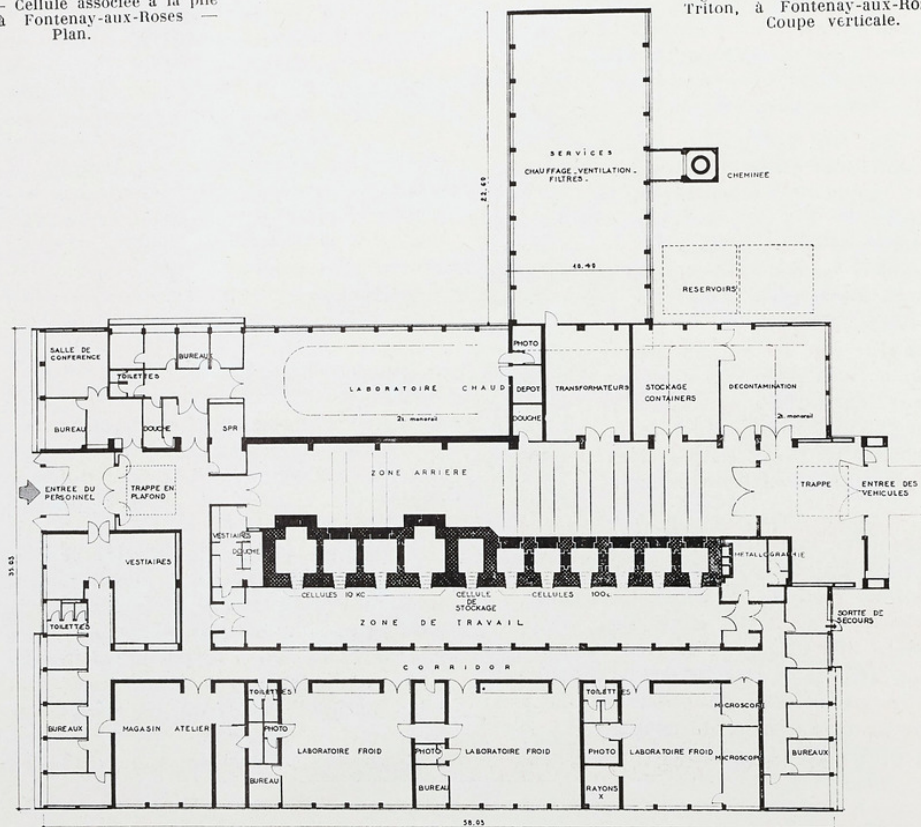


Fig. 3. — Laboratoire d'Examen des Combustibles Irradiés, à Saclay. — Plan du rez-de-chaussée montrant la ligne de cellules.



Fig. 4. — Laboratoire d'Examen des Combustibles irradiés, à Saclay. — Zone arrière des cellules.

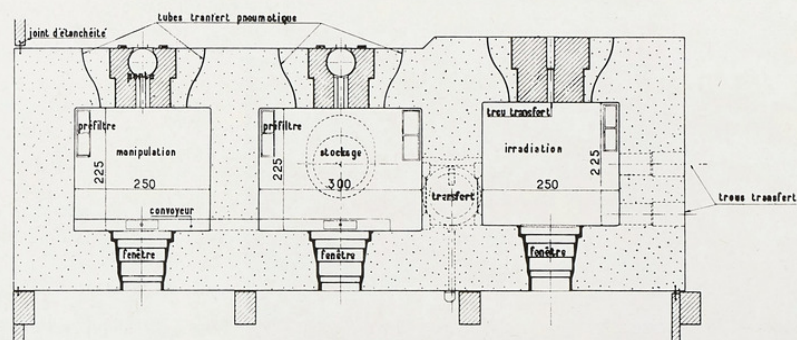


Fig. 5. — Ligne de cellules du Bâtiment des Radioéléments, à Saclay. — Coupe horizontale.

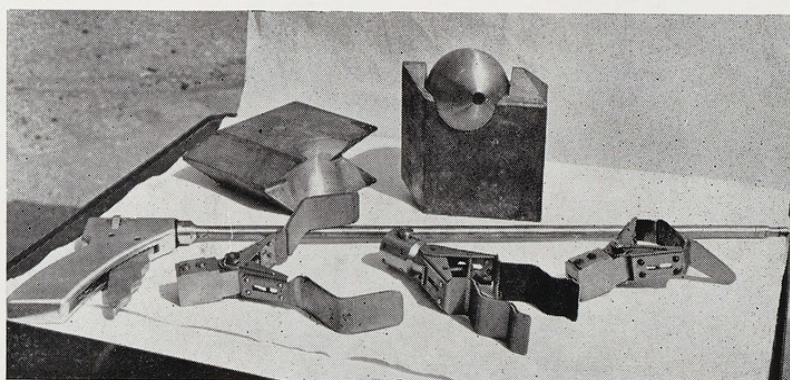


Fig. 6. — Pince à rotule.

Ces cellules que nous appellerons cellules de très haute activité n'ont été rendues possibles que par la conception de moyens de manipulation spécialement étudiés qui vont être décrits maintenant.

MANIPULATEURS

Le manipulateur constitue l'outil indispensable des cellules de très haute activité, car du fait que le travail se fait à l'échelle laboratoire, il n'est pas souhaitable d'aboutir à un automatisme intégral, sans parler des inconvénients que celui-ci présenterait par des risques de pannes et des difficultés d'entretien accrues. Il faut, en effet, agir à la demande, pouvoir intervenir rapidement en cas d'incident et procéder avant une intervention humaine à certains travaux de prédécontamination, c'est-à-dire essen-

tiellement de démontage et de décontamination sommaire.

Je voudrais d'abord passer très rapidement sur le système le plus simple, celui de la pince à rotule qui dispose d'un nombre de degrés de liberté assez réduit mais qui peut toutefois être efficace pour des travaux simples et lorsque la protection biologique est de faible épaisseur. Ce système est donc fréquemment utilisé pour des enceintes protégées par des briques de plomb (fig. 6 et 7).

Nous parlerons maintenant des manipulateurs.

Il y a essentiellement deux grandes familles de manipulateurs : les manipulateurs à action directe et les manipulateurs à action indirecte.

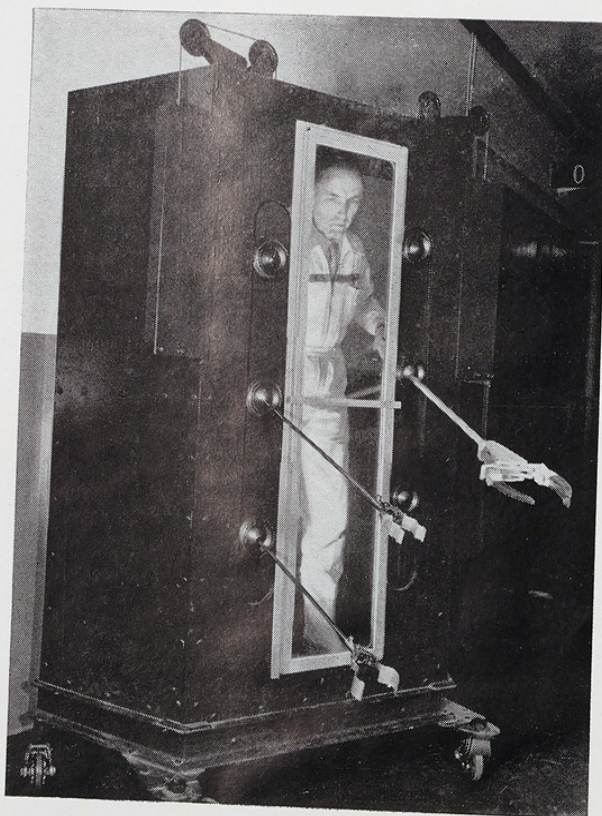


Fig. 7. — Exemple d'utilisation de pince à rotule dans une enceinte blindée.

ACTION DIRECTE

Ce sont des systèmes asservis mécaniquement sur la base d'un parallélisme intégral entre les mouvements effectués par la main d'un opérateur et la pince asservie située à l'intérieur de l'enceinte.

ACTION INDIRECTE

Ces manipulateurs sont mus, au contraire, par moteurs ou vérins actionnés électriquement, hydrauliquement ou à air comprimé à partir d'un pupitre de commande.

Ils comportent un bras avec poignet, coude et épaule ou suivant les modèles un nombre limité de ces articulations, bras qui est supporté par des systèmes divers augmentant son autonomie (ponts, potences, etc...); l'ensemble permet d'obtenir 7 à 8 degrés de liberté au moins.

Avant de parler un peu plus en détail des principaux modèles existants, je crois utile de résumer très rapidement les avantages ou inconvénients de ces deux types de manipulateurs.

I. — ACTION DIRECTE

D'une façon générale, la force de ces manipulateurs est assez limitée étant donné que les efforts développés sont de l'ordre de grandeur des possibilités humaines.

L'avantage essentiel réside dans le fait que par suite de la réversibilité exacte des transmissions, la main de l'opérateur a la sensation très exacte de la résistance rencontrée (véritable sensation tactile) et ceci est d'autant plus réel que la force appliquée par l'opérateur n'a pas été amplifiée et que les transmissions se font sans frottement. Ces manipulateurs sont donc essentiellement destinés à du travail fin et délicat. Ils seront donc, en général, associés à des manipulateurs à action indirecte lorsque les travaux envisagés comme de l'usinage, par exemple, nécessiteront des forces accrues.

Par contre, les inconvénients de ce type de manipulateur sont les suivants :

— d'une part, comme nous l'avons déjà exprimé, force limitée à quelques kilos ;

— d'autre part, du fait du passage des transmissions mécaniques, volume d'action assez réduit parce qu'étant identique ou très légèrement supérieur à celui des bras d'un opérateur obligé de rester devant une fenêtre de vision pour contrôler son travail.

D'une façon générale, il est difficile de rendre absolument étanche ce type de manipulateur.

II. — ACTION INDIRECTE

Les avantages et inconvénients sont évidemment inversés par rapport au type précédent. Son volume d'action peut être très grand puisque l'opérateur restant devant son pupitre de commande fixe, à condition d'avoir des moyens de vision appropriés, le manipulateur peut balayer une cellule de très grandes dimensions. En effet, le bras du manipulateur qui constitue l'essentiel du problème étant mis au point, différents types de supports peuvent être utilisés qu'il s'agisse de ponts roulants, de potences, de chariots, de fenwicks, etc... et les câbles de transmission souples ne limitent pas la distance entre pince et opérateur.

Un autre avantage et inconvénient à la fois est celui d'une force accrue par rapport aux manipulateurs à action directe, cette force variant suivant les modèles en fonction de leur usage. Ces manipulateurs sont donc essentiellement destinés à des opérations de manutention ou à des manipulations lourdes, etc..., mais ne peuvent être utilisés pour des manipulations délicates étant donné la difficulté de contrôler l'effort développé.

Un autre avantage est l'étanchéité totale de ces systèmes puisque les liaisons entre intérieur et extérieur de l'enceinte se font par câbles électriques ou canalisations.

**

Je vais maintenant passer en revue quelques-uns des manipulateurs les plus couramment utilisés et qui sont en exploitation en France ou à l'étranger. Je précise tout de suite que je n'entrerai pas dans les détails techniques concernant chaque modèle,

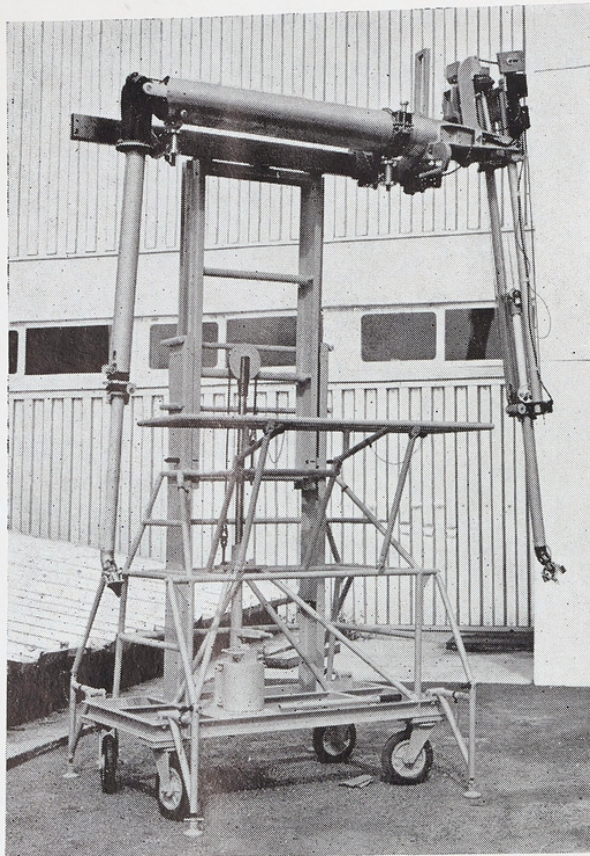


Fig. 8. — Manipulateur Argonne, modèle 8 sur support.

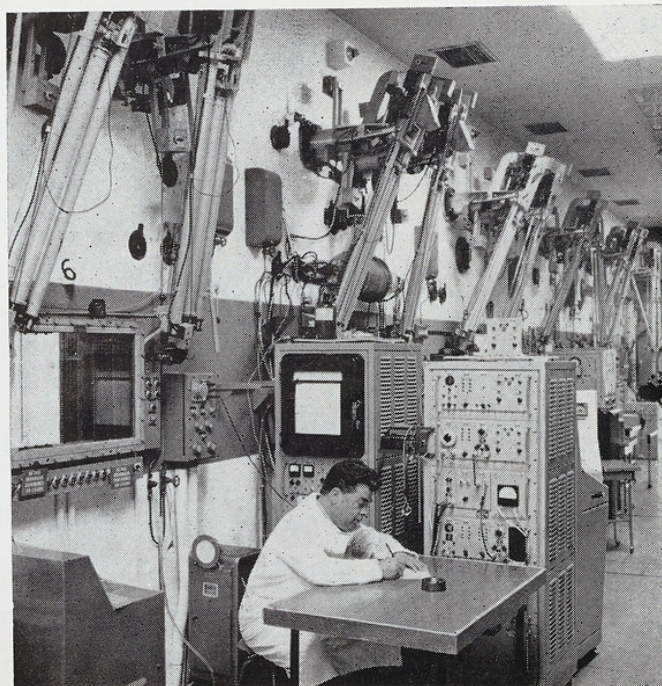


Fig. 9. — Zone de travail du Laboratoire d'Examen des Combustibles Irradiés, à Saclay. — Groupe de manipulateurs Argonne, modèle 8.

I. — ACTION DIRECTE

Argonne

Dans ce domaine, il est permis de regretter, du fait de l'avance prise au départ par les Etats-Unis, que les manipulateurs les plus répandus actuellement soient des manipulateurs mis au point aux Etats-Unis et vendus actuellement sous licence aux Etats-Unis ou en Angleterre. Il s'agit des manipulateurs de la série « Argonne » dont trois modèles principaux existent actuellement, les modèles 7, 8, 9, sans parler des modèles étanches (fig. 8 et 9).

Ces manipulateurs sont arrivés à un degré élevé de mise au point. Partis du parallélisme exact des mouvements entre main et pince asservie, beaucoup de perfectionnements y ont été apportés pour en augmenter le volume d'action tout en permettant à l'opérateur de rester fixe. Ceci a été obtenu par l'introduction de petits moteurs pour rompre le parallélisme dans deux directions x et y et pour augmenter considérablement l'extension du manipulateur en z . Les transmissions se font par rubans ou câbles passant dans un trou de 25 cm de diamètre situé en face avant du mur de travail pour les modèles 8 et 9. Le modèle 7 est destiné à des cellules dont le toit peut être ouvert, les transmissions se faisant par celui-ci. Des perfectionnements ont également été apportés en créant les modèles 9 qui peuvent développer un effort plus grand, une quinzaine de kilos au lieu de 3 à 5 kilos.

Barras-Pesenti TME 3

Ce manipulateur est français. Les bras supportant la main et la pince sont fixés à deux parallélogrammes articulés se déformant dans un plan parallèle à la face avant de la cellule. Les transmissions se font par des câbles et des tubes concentriques passant dans un trou en partie haute du mur. Sa force est de 1 à 3 kilos, son volume d'action est plus réduit que l'« Argonne ». Il existe déjà en quelques dizaines d'exemplaires et équipe de nombreuses enceintes protégées (fig. 10).

Siersatom

C'est un autre manipulateur français à transmission par câbles dont la force est de 1 à 5 kilos (fig. 11).

II. — ACTION INDIRECTE

General Mills

Ce manipulateur est américain. De nombreux modèles existent actuellement. On en montrera un en fonctionnement dans le film qui sera présenté sur une maquette de cellule pour un atelier-pilote de traitement de combustibles irradiés. Ce sont des manipulateurs électriques développant une force comprise entre 18 et 45 kilos suivant les modèles. Ils constituent assez souvent, aux Etats-Unis, les compléments naturels des manipulateurs « Argonne ».

Lee

C'est un petit manipulateur américain de force 13 kilos intéressant par la conception de son bras qui possède de nombreuses articulations et peut ainsi être utilisé avec beaucoup de souplesse.

ERTN

Ces manipulateurs français utilisent en complément de moteurs électriques des moteurs ou vérins à air comprimé, ces derniers notamment pour le serrage de la pince et quelquefois pour le tube télescopique. En fonction des modèles, la force est comprise entre 50 et 100 kilos. Ces manipulateurs sont utilisés couramment dans des cellules de très haute activité (fig. 12).

SOM

Ces manipulateurs sont français également et actionnés par des vérins et moteurs hydrauliques. La force peut être de 50 ou de 300 kilos. Le modèle de la photo est celui de 50 kilos. Ils existent à un petit nombre d'exemplaires dans les installations françaises (fig. 13).

OTER

Cette marque française dispose d'une gamme étendue de modèles. Certains modèles sont hydrauliques avec une force de

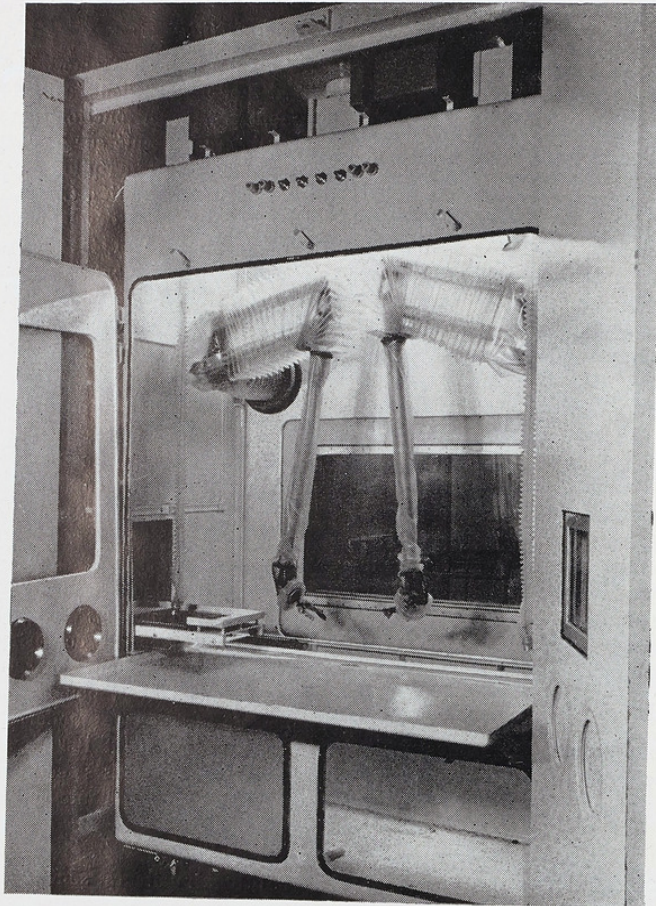


Fig. 10. — Manipulateur BARRAS-PESENTI.

Fig. 11. — Manipulateur SIERSATOM (au 1^{er} plan).

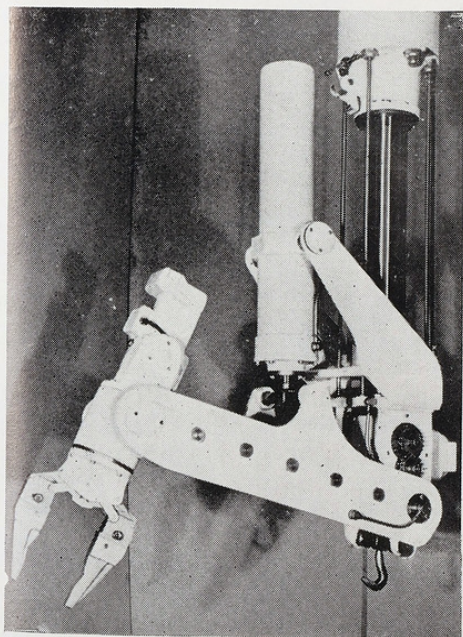
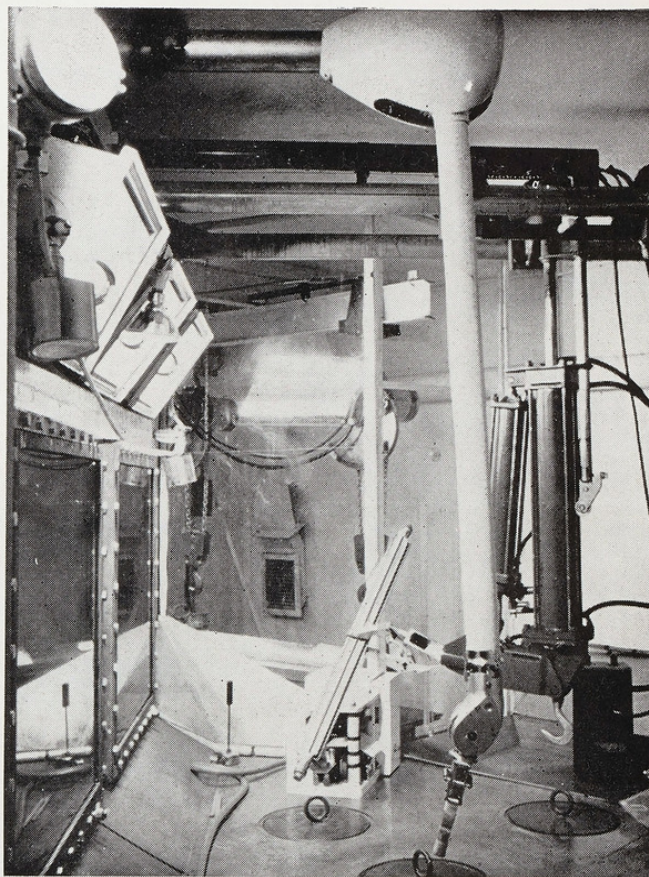


Fig. 12. — Manipulateur ERTN.

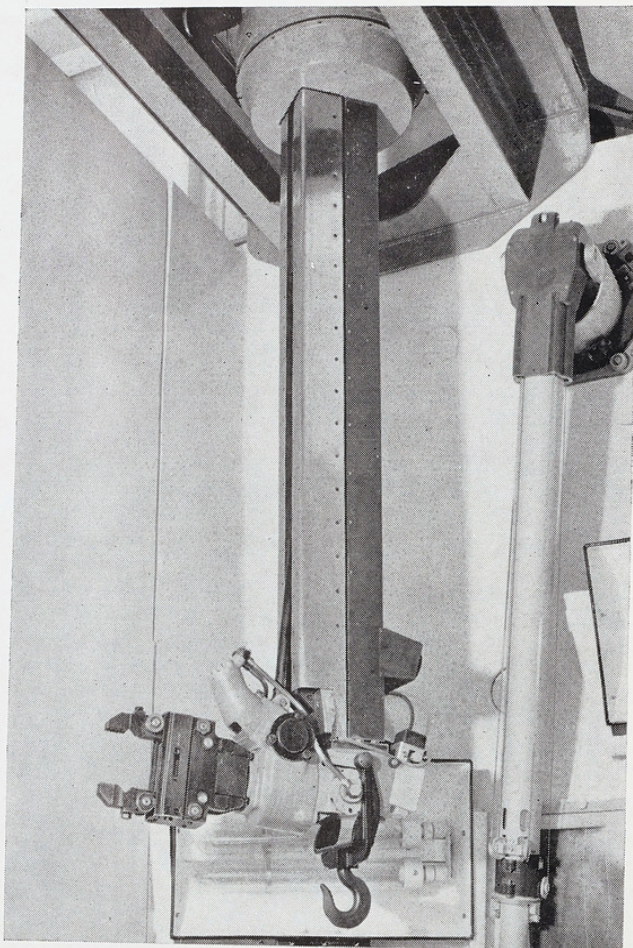
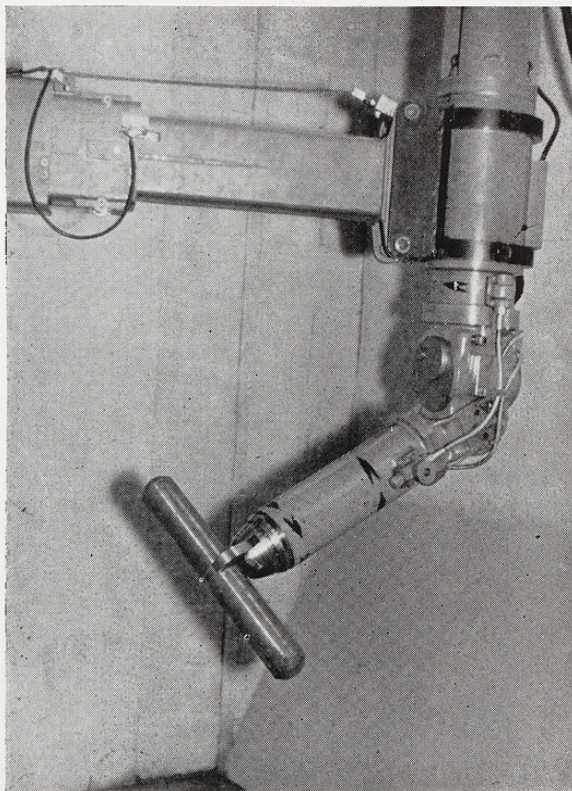


Fig. 13. — Manipulateur SOM.

Fig. 14. — Manipulateur OTER.



1.000 kilos, d'autres électriques avec une force comprise entre 250 et 500 kilos. Il existe un modèle avec une articulation d'une force de 300 kilos et un modèle avec deux articulations avec des forces de 500 et 250 kilos pour l'épaule et le coude respectivement. Un autre modèle de 100 kilos est en cours de mise au point, ainsi qu'un modèle étanche de 300 kilos (fig. 14).

Le modèle de la photo est celui de 300 kilos à un coude. Ce type de manipulateur est très intéressant par ses caractéristiques. Il est prévu être utilisé pour des cellules lourdes comme celles associées à des réacteurs.

Huques

Ce manipulateur américain à bras à trois articulations, supporté par un chariot et contrôlé par télévision stéréoscopique, a une force de l'ordre de 11 kilos. C'est un nou-

veau modèle présenté il y a un an environ. Le bras peut être utilisé de nombreuses façons. Il dispose de 10 degrés de liberté. Je ne pense pas qu'il ait cependant une expérience suffisante d'exploitation (fig. 15).

En passant, je voudrais mentionner les ponts télécommandés équipant les cellules. Ils ne présentent pas beaucoup de particularités, sauf le modèle de la photo qui se meut à air comprimé, ce qui présente comme avantage la résistance aux radiations et avec un capotage de vinyle la protection contre la contamination, l'enveloppe plastique étant en permanence sous la pression de l'échappement des moteurs (fig. 16).

MANIPULATEURS ÉTANCHES

Je dirai maintenant quelques mots des manipulateurs étanches. Jusqu'à présent, ces manipulateurs n'étaient pas absolument

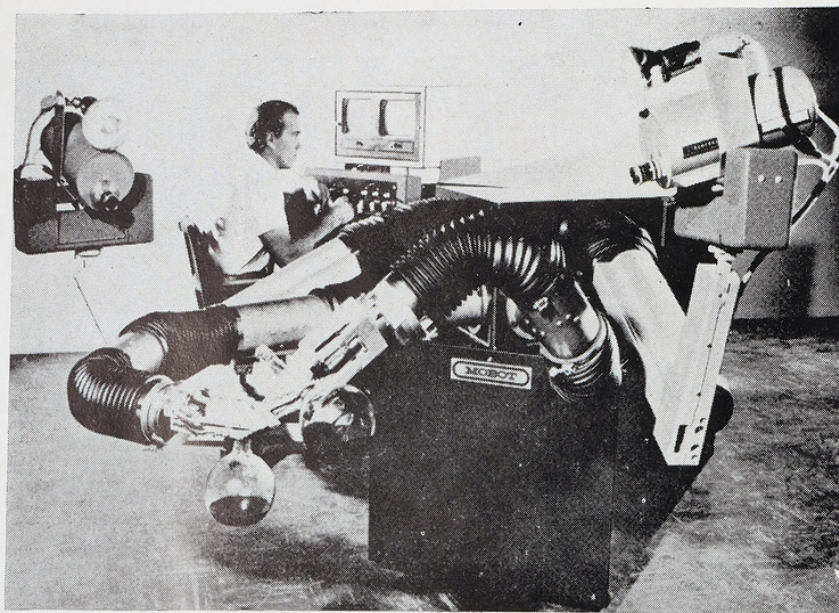


Fig. 15. — Manipulateur HUGUES.

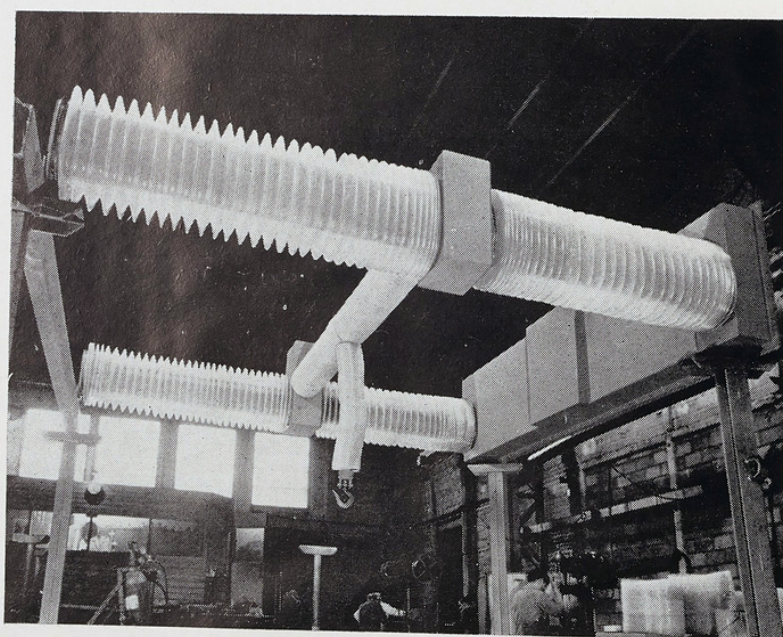


Fig. 16. — Pont télécommandé à air comprimé T.P.L.M.

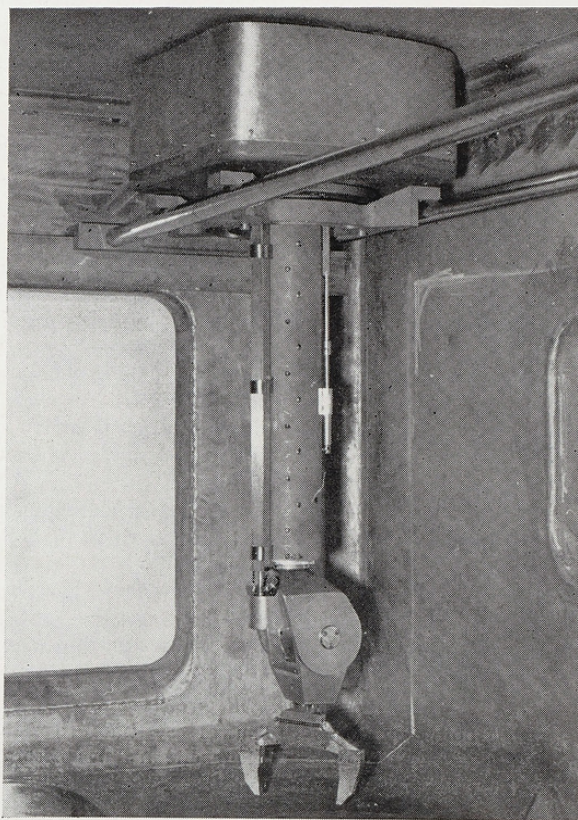


Fig 17. — Manipulateur LIP à transmission électromagnétique.

nécessaires et l'on se contentait de manipulateurs non étanches protégés par des bottes plastiques avec tous les inconvénients que cela comportait étant donné la fragilité de celles-ci. Le développement des cellules $\alpha\gamma$ les rend toutefois maintenant nécessaires.

En matière de manipulateurs étanches, il y a d'abord les manipulateurs indirects puisque les transmissions par câbles permettent l'isolement parfait du manipulateur de la zone de travail de l'opérateur. il y a également dans cette catégorie un manipulateur français dont il me reste à parler, c'est le modèle Lip qui équipe actuellement la ligne $\alpha\gamma$ de Saclay. C'est

un système avec transmission électromagnétique et, par conséquent, une étanchéité totale de l'enceinte de travail. Sa force est malheureusement limitée à 2 à 3 kilos avec un couple très faible (fig. 17).

Comme modèle direct particulièrement étudié pour les cellules étanches, il y a, aux Etats-Unis, le nouveau modèle « Argonne » A dont le bras asservi situé dans l'enceinte, peut complètement se déconnecter du bras de commande tout en étant séparé de façon étanche de celui-ci.

Enfin, pour terminer, je voudrais parler d'un nouveau type de manipulateur qui est étudié actuellement aux Etats-Unis et en Italie et qui est un véritable robot, mani-

pulateur électrique contrôlé électronique-ment. Ce système allie les avantages des différents systèmes à action directe à ceux des systèmes à action indirecte en ce sens qu'il a un grand volume d'action et qu'il peut être complètement étanche puisque la transmission se fait par des câbles électriques mais qu'il conserve la sensation tactile des modèles à action directe et le système de commande par la main de l'opérateur. L'inconvénient majeur de ce type de manipulateur est son prix qui le rend actuellement inabordable.

TRANSFERTS

Une deuxième famille de dispositifs mécaniques rencontrés dans les laboratoires chauds est constituée par les transferts.

Il est nécessaire, en effet, d'introduire dans les cellules de très haute activité les substances radioactives qui doivent y être découpées, examinées, etc... comme il est nécessaire d'effectuer des passages de cellule à cellule et d'évacuer en fin d'opération les mêmes matières ou les déchets produits au cours de l'opération.

Je ne parlerai pas des hottes ou containers de transfert.

I. — TRANSFERT ENTRE CELLULES

La caractéristique essentielle de ces transferts est qu'ils peuvent être plus simples que les transferts vers l'extérieur parce que la protection entre cellules peut être supprimée pendant l'opération de transfert. Il est nécessaire de concevoir des dispositifs permettant, au travers d'une protection épaisse, de faire passer un objet depuis le volume d'action d'un manipulateur dans une cellule jusqu'à celui de l'autre dans la cellule voisine.

Dans ce groupe de dispositifs, on trouve un certain nombre de systèmes. Celui du convoyeur d'abord qui se présente sous la forme d'un petit chariot mû mécaniquement, électriquement ou magnétiquement et desservant une ligne de cellule.

Un deuxième système est celui du tiroir, un plateau extensible pouvant se développer alternativement à l'intérieur de l'une et l'autre des cellules, la protection étant assurée de chaque côté de façon partielle.

Un autre système est celui du barillet qui peut être amélioré par un tiroir pour faciliter la préhension de l'objet (fig. 18).

On peut également imaginer beaucoup d'autres systèmes de transfert lorsque l'étanchéité n'a pas besoin d'être parfaite.

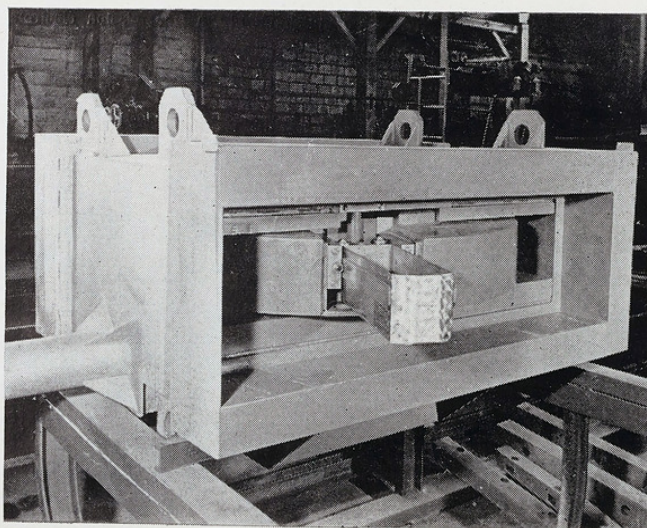


Fig. 18. — Barillet pour transfert entre cellules avec tiroir sortant automatiquement.

II. — TRANSFERTS VERS L'EXTÉRIEUR

Dans ce cas, le problème se complique, la protection devant être assurée entre intérieur et extérieur de cellule.

On retrouve toutefois dans ce groupe tous les systèmes de barillets et de tiroirs dans la mesure où la protection intégrale est assurée pendant le transfert (fig. 19).

Je voudrais mentionner également un transfert spécial air-eau qui a été mis au point spécialement pour l'entrée dans une cellule accolée à une pile piscine. Le système retenu est un sas genre tube lance-torpille possédant un tiroir pouvant se développer de part et d'autre du mur. De nombreux asservissements et sécurités ont dû être mis au point au cours de cette étude (fig. 20).

Tous les systèmes décrits sont des systèmes non étanches. Lorsque les cellules doivent être prévues pour la manipulation des substances radioactives α , les systèmes sont beaucoup plus compliqués. Ils consistent, en général, en une décomposition des mouvements entre le franchissement de la barrière α d'une part, qui est une barrière d'étanchéité et le franchissement de la bar-

rière γ , d'autre part, qui est une barrière épaisse, les deux pouvant rarement être franchies simultanément.

Un film intitulé « Cellules expérimentales de télémanipulation » va être présenté maintenant. Il montre des manipulateurs en action dans une cellule-maquette et explique comment des adaptations d'équipement sont nécessaires pour travailler avec sécurité dans des enceintes actives.

**

En conclusion, j'ai essayé de donner un aperçu très rapide des problèmes d'agencement mécanique dans les laboratoires chauds. Vous avez constaté qu'il a été nécessaire de mettre au point des matériels spécialisés tels que les manipulateurs et il est incontestable que les cellules de très haute activité sont dessinées autour de ces possibilités de télémanipulation.

Cependant, tous ces équipements mécaniques doivent conserver un caractère aussi traditionnel que possible en ce sens qu'il est absolument indispensable que le matériel soit très robuste, d'un entretien facile et démontable à distance. En effet, le

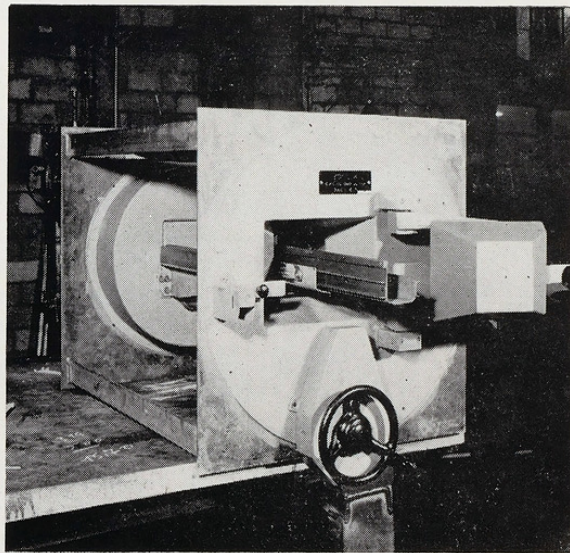


Fig. 19. Transfert à tiroir.

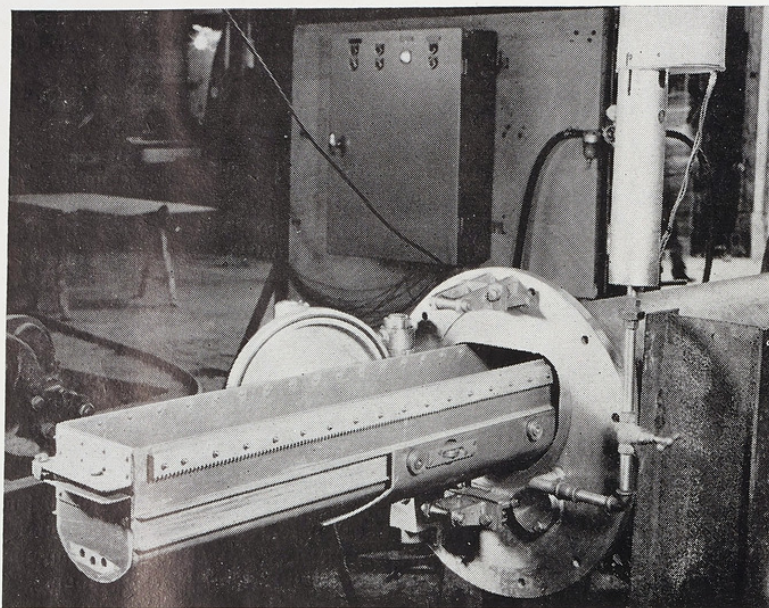


Fig. 20. — Sas air-eau en atelier avant la mise en place dans la cellule.

temps est précieux et le pourcentage du temps total en travail réel effectué dans des installations de ce genre est assez faible. Il est donc indispensable d'éviter les pannes qui sont beaucoup plus gênantes que dans l'industrie classique puisqu'il n'est pas possible de réparer autrement que par télémanipulation si l'on veut éviter une décontamination poussée et que tout ceci conduit à une immobilisation longue des cellules. Il faut donc avoir présent à l'esprit que là où la télémanipulation est néces-

saire, tout le travail se fera en télémanipulation, y compris une partie de l'entretien.

Je ne saurais donc trop insister sur le besoin d'une conception simple et robuste des outils de travail afin d'éviter le plus possible les incidents et d'une prévision à l'avance de la façon de les réparer, ce qui peut être obtenu en rendant les équipements facilement démontables ou décontaminables avec les moyens du bord, c'est-à-dire le ou les manipulateurs choisis.

NÉCROLOGIE

PHILIBERT GUINIER (1876-1962)

par M. P. VAYSSIÈRE,
Membre du Comité d'Agriculture.

La Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale a perdu un de ses membres les plus éminents en la personne de Philibert Guinier. Notre collègue s'est éteint en avril dernier, après une très courte maladie, à l'étonnement attristé de ses amis que nous étions et qui l'identifiaient quelque peu à cette Forêt bien vivante dont il était le très actif défenseur depuis plus d'un demi-siècle.

Ph. Guinier naquit le 21 juin 1876, à Grenoble, au pied de ces Alpes dont il savait si agréablement exalter les beautés, qu'il s'agisse de leur aspect physique ou de leur faune ou de leur flore. Ingénieur agronome en 1897, il sortait de l'Ecole des Eaux et Forêts en 1899. Après son service militaire, il retournait à Nancy en qualité d'assistant à la Station de Recherches forestières et ne quitta plus son Ecole jusqu'à sa retraite en 1941, après avoir assumé successivement les fonctions de chargé de cours, de Professeur de Botanique forestière et de Directeur.

Fils de forestier, il consacra toute sa vie à la Forêt et il fut considéré, tant en France qu'à l'étranger, comme « un des créateurs et des maîtres de la Science forestière moderne » ainsi que le dit et le montre fort bien notre collègue et ami Lemoigne dans la notice qu'il lui a consacrée à l'Académie des Sciences (séance du 7 mai 1962).

D'autres, beaucoup plus qualifiés que moi, ont retracé les grandes lignes de son œuvre scientifique qui donnera encore sou-

vent matière à des travaux sur l'exploitation rationnelle des forêts. Je rappellerai seulement ses recherches écologiques sur le peuplement végétal des massifs forestiers dont il a étudié non seulement les ligneux mais également toute la végétation basse. C'est à Ph. Guinier que l'on doit l'organisation de la récolte des semences des espèces ligneuses avec garantie d'origine et d'une façon générale il est à l'origine des applications de la Génétique à la culture forestière.

Nous nous devons de rappeler que le 14 décembre 1950, il avait bien voulu accepter de faire, devant notre public habituel de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, une conférence sur « l'Avenir de la Forêt française ». Sa conclusion est toujours valable et particulièrement opportune. « La forêt française qui, depuis des siècles a suffi aux besoins du pays, qui, actuellement, répond encore dans une large mesure aux exigences de l'économie nationale, qui, en des périodes critiques, durant deux guerres, a pu fournir les ressources indispensables, peut produire davantage et faire mieux face aux besoins de l'avenir. Cette usine à bois, cette usine vivante, dont nous pouvons, dans une assez large mesure, modifier l'outillage et changer les fabrications, peut remplir de mieux en mieux son rôle dans la vie économique du pays. C'est affaire de compréhension de la part de l'industrie, qui doit s'efforcer de tirer meilleur parti de certains produits ou sous-produits, d'appli-

cation d'une bonne technique forestière, de développement de la mentalité forestière du pays, d'adoption de sages mesures d'ordre surtout fiscal. Mais la croissance des arbres demande du temps ; la forêt évolue lentement, alors que le rythme des transformations de l'industrie est beaucoup plus rapide. C'est là l'origine de sérieuses difficultés. Il faut d'abord savoir profiter au mieux de bois éduqués par nos prédécesseurs en vue de certains usages dont l'industrie moderne s'est détournée...

Et quelques années plus tard, en 1955 (sauf erreur), nous le vîmes arriver à l'Académie d'Agriculture avec un quotidien du soir qui, pour la première fois, venait d'utiliser une pâte à papier fabriquée, à son instigation, avec du peuplier. Il soulignait qu'en Italie, on fabrique du papier-journal avec 70 % de pâte mécanique de peuplier et qu'en France, au contraire, on considère volontiers (à tort) qu'il faut mettre au plus 15 à 20 % de bois de peuplier.

D'ailleurs, l'industrialisation des bois fut toujours pour lui une préoccupation importante et il joua un rôle fondamental, trop discret, dans le développement rationnel de la profession du bois. Son action, très certainement, n'a pas encore pris toute son ampleur, mais elle est en profondeur : elle est en effet matérialisée d'une part dans l'enseignement qu'il a prodigué à l'Ecole forestière à des centaines de futurs ingé-

nieurs des forêts, d'autre part dans les exposés clairs et précis qu'il faisait au cours des manifestations nationales et internationales auxquelles il prenait toujours une part active, dès qu'il s'agissait des peuplements forestiers et de l'utilisation des bois.

Et qui l'a connu et aimé comprend ce propos qu'il aimait tenir, à la fin de sa vie et que Lemoigne rappelle. « J'ai agi plus que je n'ai écrit. Des idées émises verbalement sont devenues banales, des résultats de recherches ou d'observations personnelles sont tombées dans le domaine public, des manières de voir originales sont propagées de façon anonyme. Peu importe l'anonymat, seul doit compter le résultat ».

Guinier a été élu membre de l'Académie d'Agriculture en 1943 et de l'Académie des Sciences en 1953. Il apportait son concours éclairé depuis 1943 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale où ses avis furent toujours très écoutés et appréciés. Ils nous a quittés sans avoir eu le temps de mettre au point le colloque sur la sauvegarde et la protection de la Nature, dont il nous avait suggéré la réalisation et dont il devait établir le programme. Respectant sa mémoire et son désir, nous nous efforcerons de le remplacer pour cette manifestation consacrée à une meilleure connaissance de la Nature, à la défense de laquelle il s'employait.

Le Président de la Société, Directeur-Gérant : J. LECOMTE.

D.P. n° 1080

Imprimé en France à l'IMPRIMERIE DE PERSAN-BEAUMONT, Persan (S.-et-O.)

Le CENTRE de DOCUMENTATION du CENTRE NATIONAL de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE

15, quai Anatole-France, PARIS-VII* - Tél. : SOLfério 93-39 +

Le Centre de Documentation du C.N.R.S. publie mensuellement un « BULLETIN SIGNALÉTIQUE » en plusieurs fascicules dans lesquels figurent sous la forme de courts extraits classés par matières, tous les travaux scientifiques et techniques publiés dans le monde entier.

Quatre fascicules d'entre eux sont consacrés à la Philosophie et aux Sciences Humaines et paraissent trimestriellement.

Cette revue bibliographique, l'une des plus importantes du monde signale, chaque année, 250.000 articles et mémoires. On trouvera ci-dessous le détail de ces fascicules.

Le Centre de Documentation du C.N.R.S. fournit également la reproduction sur MICROFILM ou sur PAPIER des articles analysés dans le « BULLETIN SIGNALÉTIQUE » ou des articles dont la référence bibliographique précise lui est fournie.

Expérimentateurs, Ingénieurs et Techniciens peuvent ainsi bénéficier, sans quitter leur laboratoire ou leur bureau, d'une documentation abondante et rapide.

TARIF DES ABONNEMENTS AU BULLETIN SIGNALÉTIQUE

Année 1961

FASCICULES

PRIX

		France	Etranger
		30 NF	35 NF
MENSUELS	1. MATHÉMATIQUES	40 -	45 -
	2. ASTRONOMIE, ASTROPHYSIQUE, PHYSIQUE DU GLOBE	50 -	55 -
	3. PHYSIQUE I. Généralités. Physique mathématique. Mécanique. Acoustique. Optique. Chaleur. Thermodynamique	40 -	45 -
	4. PHYSIQUE II. Electricité	40 -	45 -
	5. PHYSIQUE NUCLÉAIRE. Noyaux. Particules. Energie atomique	40 -	45 -
	6. STRUCTURE DE LA MATIÈRE. Cristallographie. Solides. Fluides. Atomes. Ions. Molécules	40 -	45 -
	7. CHIMIE I. Chimie générale. Chimie physique, Chimie minérale. Chimie analytique. Chimie organique	100 -	105 -
	8. CHIMIE II. Chimie appliquée. Métallurgie	80 -	85 -
	9. SCIENCES DE L'INGÉNIEUR	60 -	65 -
	10. SCIENCES DE LA TERRE I. Minéralogie. Géochimie. Pétrographie	25 -	30 -
	11. SCIENCES DE LA TERRE II. Physique du Globe. Géologie. Paléontologie	40 -	45 -
	12. BIOPHYSIQUE. BIOCHIMIE. Chimie analytique biologique	40 -	45 -
	13. SCIENCES PHARMACOLOGIQUES, TOXICOLOGIE	40 -	45 -
	14. MICROBIOLOGIE. VIRUS. BACTÉRIOPHAGES. IMMUNOLOGIE. GÉNÉTIQUE ..	40 -	45 -
	15. PATHOLOGIE GÉNÉRALE ET EXPÉRIMENTALE	60 -	65 -
	16. BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES	100 -	105 -
	17. BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES	50 -	55 -
	18. SCIENCES AGRICOLES. ZOOTECHNIE. PHYTIATRIE ET PHYTOPHARMACIE. ALIMENTS ET INDUSTRIES ALIMENTAIRES	60 -	65 -
TRIMESTRIELS	19. PHILOSOPHIE. SCIENCES HUMAINES. Philosophie. Sciences religieuses. Archéologie et Histoire de l'Art. Psychologie. Pédagogie. Sociologie. Sciences du Langage. Histoire des Sciences et des Techniques	80 -	85 -
	20. PSYCHOLOGIE. PÉDAGOGIE (1)	30 -	35 -
	21. SOCIOLOGIE ET SCIENCES DU LANGAGE (1)	30 -	35 -
	22. HISTOIRE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES (1)	20 -	25 -
	Abonnement pour les fascicules groupés 1 à 11	250 -	290 -
	Abonnement pour les fascicules groupés 12 à 18	250 -	290 -

- Dans ces prix sont compris les index « auteurs » et « matières » correspondant à chacune des rubriques.
- Une réduction de 25 % sera accordée sur le montant des abonnements à 2 fascicules et plus.
- La même remise sera consentie aux abonnés qui désirent plusieurs exemplaires d'un même fascicule.
- Une remise de 50 % sur le tarif des abonnements est accordée aux personnels du C.N.R.S. et des Etablissements universitaires français. Pour en bénéficier, les abonnés doivent adresser leur commande directement à nos bureaux. Cependant cette réduction ne peut être cumulée avec la remise de 25 % indiquée ci-dessus.
- Lorsqu'il s'agit d'un abonnement réglé par un Laboratoire ou un Institut, la commande doit être accompagnée d'un bon de commande de l'établissement.

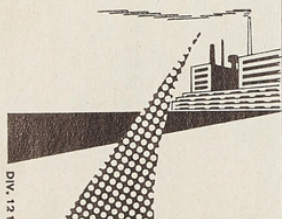
(1) Les fascicules spécialisés, numérotés 20-21-22, sont regroupés dans le fascicule 19.

PRODUITS CHIMIQUES

pour
**INDUSTRIE
PHARMACIE
PARFUMERIE
AGRICULTURE**

MATIÈRES PLASTIQUES

"RHODOÏD" Acétate de Cellulose
"RHODOPAS" Résines vinyliques
"RHODORSIL" Silicones
"RHODESTER" Résines polyesters
"MANOLÈNE" Polyéthylène basse pression
(FABRIQUÉ PAR LA MANUFACTURE NORMANDE DE POLYÉTHYLÈNES)
"ALAMASKS" Agents neutralisants des mauvaises odeurs
PIGMENTS MINÉRAUX pour matières plastiques



SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES

**RHÔNE
POULENC**

21, RUE JEAN-GOUJON, PARIS VIII^e - TÉL. : ALMa 40-00 3

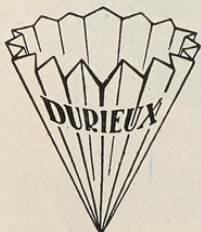
**SOCIÉTÉ CHIMIQUE
DE
LA GRANDE PAROISSE**
AZOTE ET PRODUITS CHIMIQUES

Société Anonyme au capital de 15.997.000 NF
8 RUE COGNACQ - JAY - PARIS 7^e - TEL. INV 44-30

AMMONIAQUE - ALCALI - ENGRAIS AZOTES

ENGINEERING - CONSTRUCTION D'USINES
HYDROGENE
GAZ de VILLE - GAZ de SYNTHÈSE
AMMONIAQUE
ACIDE NITRIQUE
ENGRAIS AZOTES

LES FILTRES DURIEUX



PAPIER A FILTRER

En disques, en filtres plissés, en feuilles 52X52

SPECIALITÉS :

FILTRES SANS CENDRES

N^{os} 111, 112 et Crêpé N^o 113 extra-rapide

Filtres Durcis n^o 128 & Durcis sans cendres n^o 114

Cartouches pour extracteurs de tous systèmes

PAPIER "CRÊPÉ DURIEUX"

Toutes Dimensions, pour Filtres-Presses. (Envoi d'échantillons sur demande)

Registre du Comm. de la Seine N^o 722.521-2-3

Téléphone : ARCHIVES 03-51

MÉDAILLE D'OR de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (Juillet 1918)

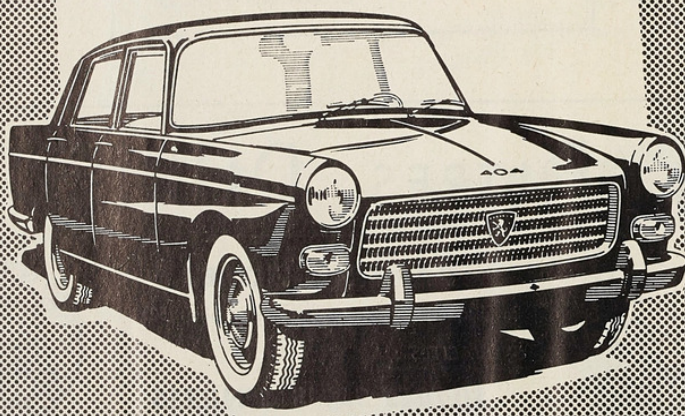
20, rue Malher. PARIS (4^e)

Demandez le Catalogue donnant toutes les explications sur les emplois de mes différentes sortes





**LA QUALITÉ QU'ON
NE DISCUTE PAS**



PEUGEOT

LA PUBLICITE FRANÇAISE D.142

SOCIÉTÉ D'ÉLECTRO-CHIMIE
D'ÉLECTRO-MÉTALLURGIE
ET DES
ACIÉRIES ÉLECTRIQUES D'UGINE

ACIERS
PRODUITS CHIMIQUES
ALUMINIUM
MAGNÉSIUM
FERRO-ALLIAGES
ÉTAIN

SIÈGE SOCIAL : 10, RUE DU GÉNÉRAL-FOY - PARIS (8°)
TÉLÉPHONE : EUROPE 31-00
ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : TROCHIM PARIS

E N T R E P R I S E S
BOUSSIRON

10, Boulevard des Batignolles, PARIS-17°
ALGER - CASABLANCA

S. E. T. A. O. à ABIDJAN Côte d'Ivoire)

TRAVAUX PUBLICS
BÉTON ARMÉ ET PRÉCONTRAIT
CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES

0000000000

**machines à écrire
machines comptables
duplicateurs
photocopie**

JAPY

A toute entreprise qui modernise
son équipement mécanographique

offre la solution rationnelle et
économique.

Des spécialistes sélectionnés et formés par JAPY assurent l'entretien des machines dans le monde entier.
Société de Mécanographie JAPY
6, rue de Marignan - PARIS 8^e -
BAL. 44-94

**APPAREILS DE LABORATOIRE
ET MACHINES INDUSTRIELLES**

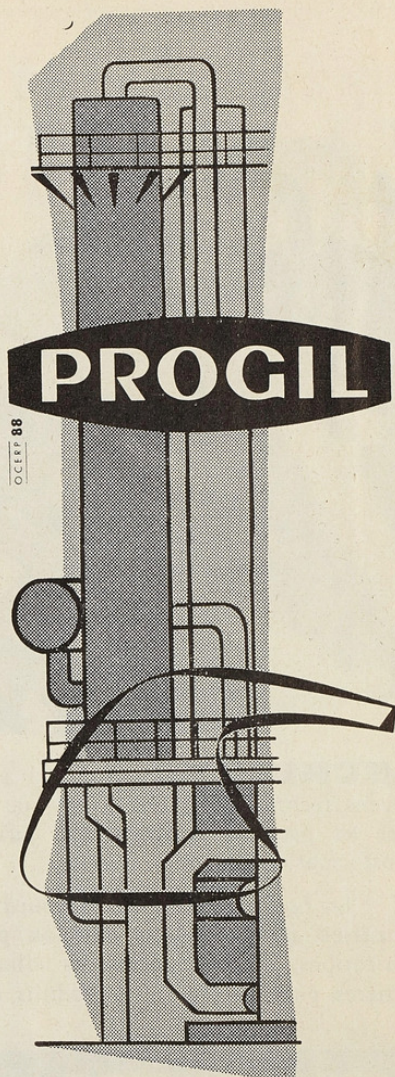
P. CHEVENARD

- pour l'analyse dilatométrique et thermomagnétique des matériaux ;
- pour l'essai mécanique et micromécanique des métaux à froid et à chaud ;
Essais de traction, de flexion, de compression, de dureté ;
Essais de fluage (Traction-Relaxation) et de rupture ;
Essais de torsion alternée ;
Etude du frottement interne ;
- pour l'étude des réactions chimiques par la méthode de la pesée continue ;
- pour la mesure des températures et le réglage thermostatique des fours.



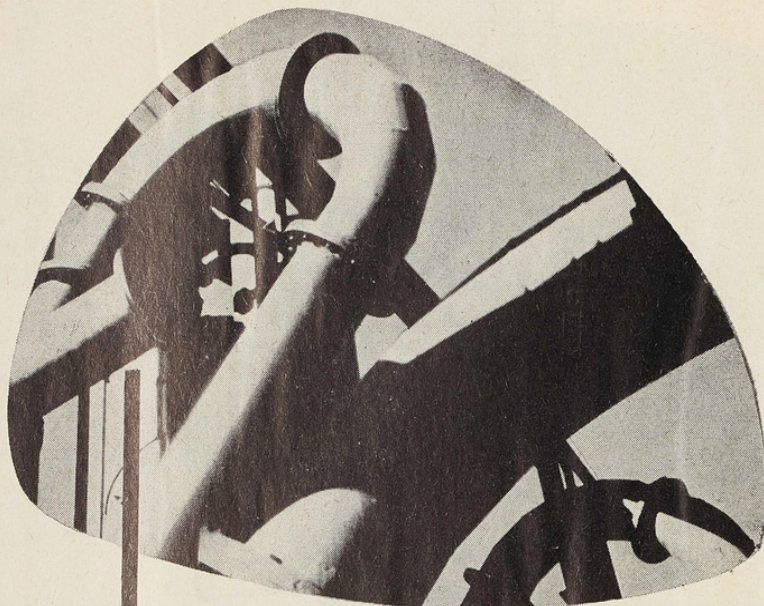
A. D. A. M. E. L.

4-6, Passage Louis-Philippe
PARIS (11^e)



Produits
chimiques
industriels

77-79, RUE DE MIROMESNIL, PARIS 8°
LAB. 91-60



PECHINEY, grâce à l'ampleur de ses moyens techniques et industriels, ne cesse de multiplier les produits indispensables aux industries de transformation les plus diverses.

En fait, il n'est guère aujourd'hui de secteurs industriels qui n'utilisent une ou plusieurs de ses fabrications, qu'il s'agisse des alliages légers, des matières plastiques ou des produits chimiques.

PECHINEY

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 423 304 600 NF
23, RUE BALZAC - PARIS 8^e - CARNOT 54-72

COMMUNIQUE

ÉTABLISSEMENTS
KUHLMANN

SOCIÉTÉ ANONYME au CAPITAL de 187 477 800 NF
Siège Social : **25, Boul. de l'Amiral-Bruix, PARIS (16^e)**



PRODUITS CHIMIQUES

DÉRIVÉS DU SOUFRE - DÉRIVÉS DU CHLORE - PRODUITS
AZOTÉS - DÉRIVÉS DU BARYUM - DÉRIVÉS DU BROME
DÉRIVÉS DU CHROME - DÉRIVÉS DU COBALT - DÉRIVÉS
DU NICKEL - DÉRIVÉS DU CÉRIUM - DÉRIVÉS DU PHOS-
PHORE - LESSIVES - SILICATES - DÉRIVÉS DE L'ÉTHYLÈNE
DÉRIVÉS DU PROPYLÈNE - ALCOOLS DE SYNTHÈSE
HYDROCARBURES DE SYNTHÈSE



PRODUITS POUR L'AGRICULTURE

ENGRAIS PHOSPHATÉS - ENGRAIS AZOTÉS - ENGRAIS
COMPLEXES - PRODUITS INSECTICIDES ET ANTICRYPTO-
GAMIQUES - PRODUITS POUR L'ALIMENTATION DU
BÉTAIL - AMENDEMENTS - HERBICIDES - DÉSINFECTANTS



PRODUITS CHIMIQUES ORGANIQUES

RÉSINES SYNTHÉTIQUES - COLLES SYNTHÉTIQUES
MATIÈRES PLASTIQUES - TANINS SYNTHÉTIQUES
PRODUITS INTERMÉDIAIRES - PRODUITS AUXILIAIRES
INDUSTRIELS - PRODUITS R. A. L.



TEXTILES CHIMIQUES

RAYONNE VISCOSE - FIBRANNE VISCOSE - CRINODOZ

