

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)
	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)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	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	1967, n° 2 (avril-juin)
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1967

Collation	1 vol. (69 p.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	80
Cote	INDNAT (79)
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.79

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.

S. E. I. N.
Bibliothèque

L'INDUSTRIE NATIONALE

*Comptes rendus et Conférences
de la Société d'Encouragement
pour l'Industrie Nationale*

*fondée en 1801
reconnue d'utilité publique*

•

Revue trimestrielle
1967 - N° 2

• •

SOMMAIRE

LES TECHNIQUES SPATIALES

- Le programme spatial français (*)

par M. Jean COULOMB p. 1

*Rapport sur l'attribution d'une Médaille d'Or
au Centre National d'Etudes Spatiales*

par M. l'Ingénieur Général Raymond MARCHAL p. 15

- Les lanceurs de satellites « Diamant » et leurs dérivés possibles (*)

par M. Roger CHEVALIER p. 17

Rapport sur l'attribution de la Médaille Giffard à la SEREB

par M. Pierre CHAFFIOTTE p. 31

LES DETONATIONS DE VOL SUPERSONIQUE (*)

par M. Théodore VOGEL p. 33

PERFORMANCES RECENTES DES TURBINES A GAZ INDUSTRIELLES

- Introduction générale

par M. l'Ingénieur Général H. de LEIRIS p. 47

- Un exemple : Deux ans d'exploitation de Centrales de production d'énergie, équipées de turbines à gaz « Astagaz » (*)

par M. l'Ingénieur Général POINCARE p. 49

NOUVELLES DIVERSES p. 69

(*) Voir les résumés des articles en page 3 de couverture.

Publication sous la direction de M. Jean LECOMTE

Membre de l'Institut, Président

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°. (Tél. 548-55-61)

Abonnement annuel : 28 F. le n° : 7,50 F. C.C.P. Paris, n° 618-48

Spécimen gratuit sur demande

Le programme spatial français ()*

par M. JEAN COULOMB

*Membre de l'Institut
Président du CNES (**)*

En janvier 1959 était créé le Comité des Recherches Spatiales. Ses débuts furent modestes. Le Comité, composé de savants, d'ingénieurs et de représentants des ministères intéressés, n'avait guère de crédits et pas de personnel propre. Il disposait déjà de fusées : Véronique, à liquide, grâce aux Armées ; Béliet et Centaure, à poudre, grâce au Centre National d'Etudes des Télécommunications. Dès 1959, le Comité organise une première campagne de tir au Sahara. 1960 et 1961 voient sortir des expériences originales. A la fin de 1961 le Gouvernement accepte le programme Diamant.

A ce moment avait déjà débuté, sous l'impulsion du Professeur Auger, président du Comité des Recherches Spatiales, une double coopération spatiale européenne qui ne prendra pas forme définitive avant mars 1964. Un premier organisme, conçu à Nice en janvier 1960, le Conseil Européen de Recher-

ches Spatiales, ou CERS, ou ESRO d'après le sigle anglais, groupe aujourd'hui dix pays pour des entreprises de recherche spatiale proprement dite.

Le second organisme, Conseil Européen pour la Construction de Lanceurs d'Engins Spatiaux (CECLES ou ELDO) groupe six pays pour la réalisation en commun d'un lanceur de satellites lourds, dont le premier étage doit être le Blue Streak, abandonné par la Grande-Bretagne comme fusée militaire. Le CECLES subit actuellement une crise grave : le coût du programme ayant doublé, la Grande-Bretagne a posé la question de son abandon.

En 1961, l'ampleur des tâches à assurer dépassait les possibilités du Comité des Recherches Spatiales et de son secrétariat. Le Gouvernement propose au Parlement une modification des structures. Le Centre National d'Etudes Spatiales naît ainsi le 1^{er} mars 1962.

(*) Conférence prononcée le 5 mai 1966, devant la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

(**) Centre National d'Etudes Spatiales.

Voir p. 15 le Rapport de M. l'Ingénieur Général Marchal, sur l'attribution d'une Médaille d'Or au CNES.

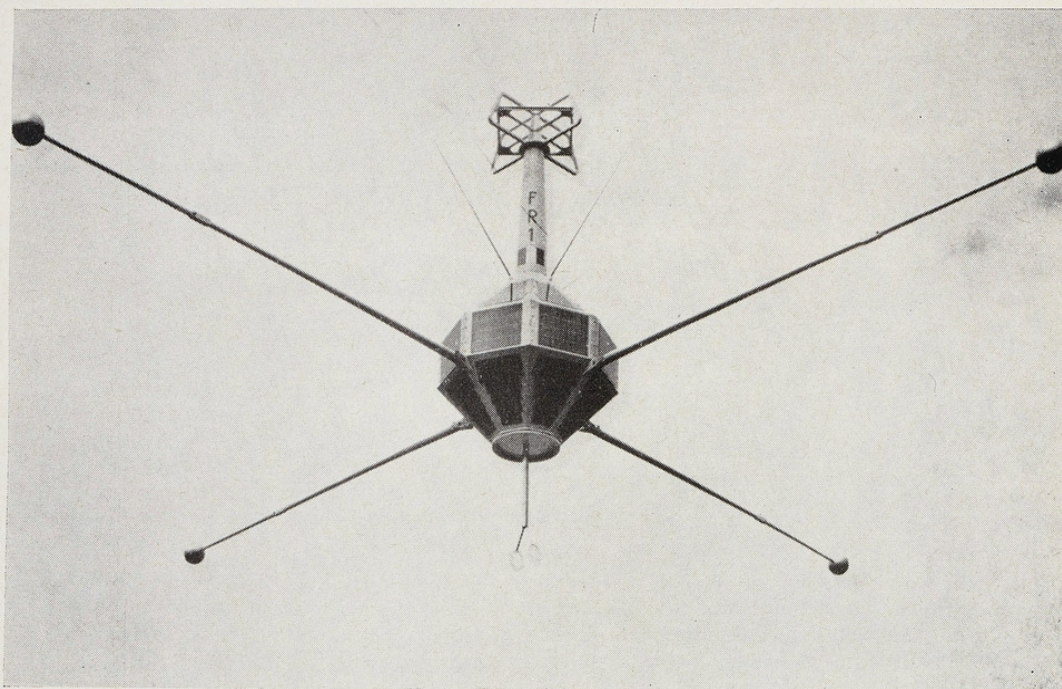


Fig. 1. — Maquette du satellite FR-1

(Photo CNES).

Voici maintenant la situation actuelle :

Il faut rappeler tout d'abord que la France a deux satellites en l'air, qu'ils se portent bien et qu'ils nous envoient régulièrement les renseignements espérés. Le premier, FR-1, c'est-à-dire France 1 (fig. 1), a été mis, le 6 décembre 1965, sur une orbite quasi circulaire de 750 km de rayon et de 76° d'inclinaison sur l'équateur par une fusée américaine Scout, en application d'un protocole reconnaissant l'intérêt mutuel de l'expérience pour la NASA et pour le CNES.

Cette expérience, d'un niveau aussi élevé que celles des Américains ou des Russes, consiste à recevoir à bord d'un satellite des ondes électromagnétiques de très basse fréquence ou de très

grande longueur provenant d'émetteurs au sol, de mesurer leurs champs magnétique et électrique, ainsi que la densité électronique locale, enfin d'en déduire les conditions de propagation de ces ondes.

Le satellite peut recevoir les ondes en passant au-dessus de la station ; elles ont alors traversé l'ionosphère qui est la couche réfléchissante pour les ondes moyennes ; le satellite peut aussi recevoir les ondes au-dessus de l'autre hémisphère, après qu'elles aient suivi la ligne de force du champ magnétique terrestre. Elles sont alors passées par la magnétosphère, qui s'étend jusqu'à une dizaine de rayons terrestres, apportant de précieux renseignements sur ses caractéristiques.

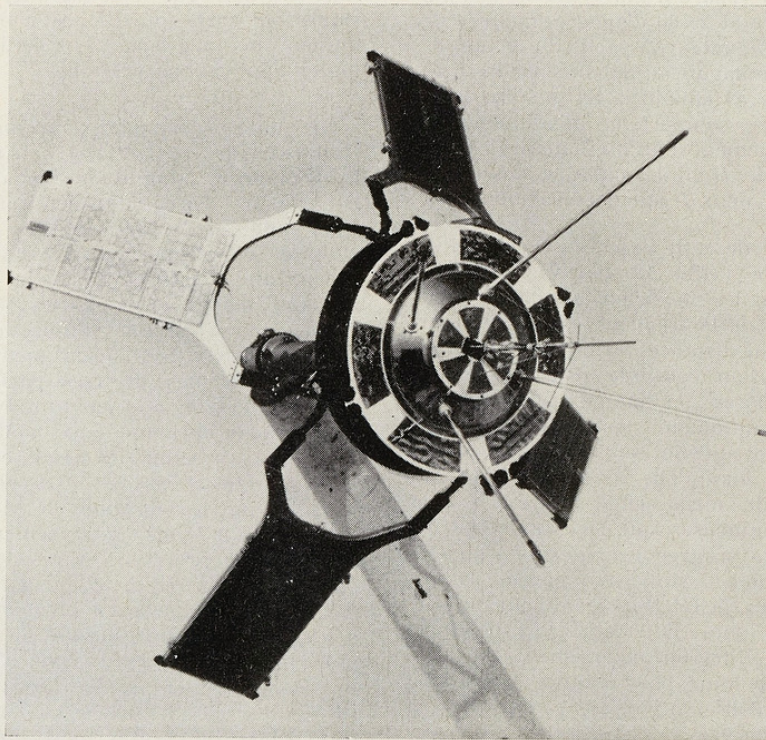


FIG. 2. — Satellite D-1A (Diapason), au banc d'essai d'antennes
(panneaux solaires déployés) (Photo CNES).

Deux émetteurs puissants : Sainte-Assise en France sur 17 kHz, Balboa au Panama sur 24 kHz participent régulièrement au programme ; d'autres épisodiquement. Les données brutes produites lors de chaque passage du satellite comprennent environ un million de nombres de trois chiffres. Après élimination des informations de contrôle, il reste environ cent mille nombres comme données scientifiques. On a donc dû organiser une chaîne de traitement automatique pour ce flot de données. En recherche spatiale, comme en recherche nucléaire, les grandes réali-

sations modernes exigent de plus en plus des méthodes industrielles de dépouillement et de calcul.

En réalisant le satellite scientifique FR-1, l'expérimentateur, qui est le Centre National des Télécommunications, les industriels français, et le CNES lui-même, ont fait leurs classes. Ils ont dû importer de l'électronique américaine. Mais le satellite suivant, appelé D-1A avant son lancement, et maintenant Diapason (fig. 2), était prévu comme « banc d'essai de l'industrie spatiale française ». Celle-ci a brillamment passé

son examen. Le satellite a été mis, le 17 février 1966, sur une orbite de 500 km de périégée et 2 700 d'apogée, inclinée de 34° sur l'équateur, à partir du champ de tir d'Hammaguir au Sahara, par la fusée française « Diamant ». Sa mission technologique comportait notamment le fonctionnement d'un oscillateur à quartz de grande stabilité pilotant des émissions sur deux fréquences harmoniques.

Le but de cette expérience est l'utilisation de l'effet Doppler-Fizeau, nom donné par les physiciens au changement apparent de la fréquence d'un émetteur lorsque sa distance varie. C'est un effet d'observation courante pour les émetteurs sonores : la hauteur du son émis par une automobile, par exemple, augmente lorsqu'elle se rapproche, puis diminue lorsqu'elle s'éloigne. C'est la théorie du même effet, appliquée aux ondes lumineuses, qui permet aux astronomes de trouver les vitesses radiales des étoiles. Aux fréquences radio-électriques, l'effet Doppler est un moyen puissant pour déterminer la position d'un satellite, ou inversement, l'orbite une fois connue, pour obtenir la position du lieu d'observation.

Diapason peut donc être considéré comme le premier d'une série de satellites géodésiques consacrés à la détermination précise de certaines positions géographiques. Nos prochains satellites de la même série sont actuellement baptisés D-1C (fig. 3) et D-1D ; ils seront probablement tirés d'Hammaguir au début de l'année 1967 ; ils comporteront, en plus des équipements de D-1A, des cataphotes permettant de déterminer leur distance par l'écho lumineux d'un laser, ainsi qu'une stabilisation magnétique orientant les cataphotes vers la Terre. Ces satellites permettront donc simultanément des déterminations de position par interférométrie à partir des stations de poursuite du réseau français, par effet Doppler, par visée optique, et par écho laser.

Les satellites *de navigation* qui permettent à des navires ou à des avions

de trouver immédiatement leur position sont très analogues aux satellites géodésiques, en sorte que Diapason ouvre, à un peu plus long terme, la voie d'importantes applications pratiques.

On peut se demander pourquoi D-1A était suivi de D-1C et D-1D ; c'est que D-1B était le satellite de rechange de D-1A, à tirer en cas d'insuccès. La coutume en matière de satellites est, en effet, de construire quatre versions de chacun afin d'assurer le succès d'expériences longues et coûteuses. La première version est une simple maquette destinée à vérifier l'agencement et la compatibilité des diverses parties. La seconde version, appelée prototype, est identique en principe aux modèles de vol, mais elle subit des essais extrêmement sévères : épreuves d'accélération, de rotation, de vibration, de vide avec échauffement sous rayonnement, etc. Même si le prototype a résisté à ces épreuves, sa durée de vie peut en avoir été affectée. On prépare alors deux modèles de vol qui sont soumis à des épreuves moins dures. Le second n'est tiré que si le premier a eu un accident, ou s'il y a intérêt à refaire l'expérience avec une orbite différente. C'est ainsi que D-1B, rechange de D-1A, ne sera pas tiré, mais que D-1D, rechange de D-1C sera tiré sur une orbite d'apogée plus élevé. Nous demanderons peut-être aux Etats-Unis de tirer le satellite de rechange de FR-1.

La collaboration des stations du réseau de la NASA était acquise au satellite FR-1. Mais pour pouvoir suivre et utiliser les satellites Diamant, le CNES a dû créer un réseau de poursuite, de télémessure et de télécommande. Une entente avec l'Organisation Européenne CERS/ESRO a permis d'éviter les doubles emplois, le réseau du CNES comprenant seulement, outre une station expérimentale à Brétigny, des stations africaines : deux stations de poursuite placées sous l'invocation de Diane chasse-resser, à Pretoria et Hammaguir, plus quatre stations de télémessure et télécom-

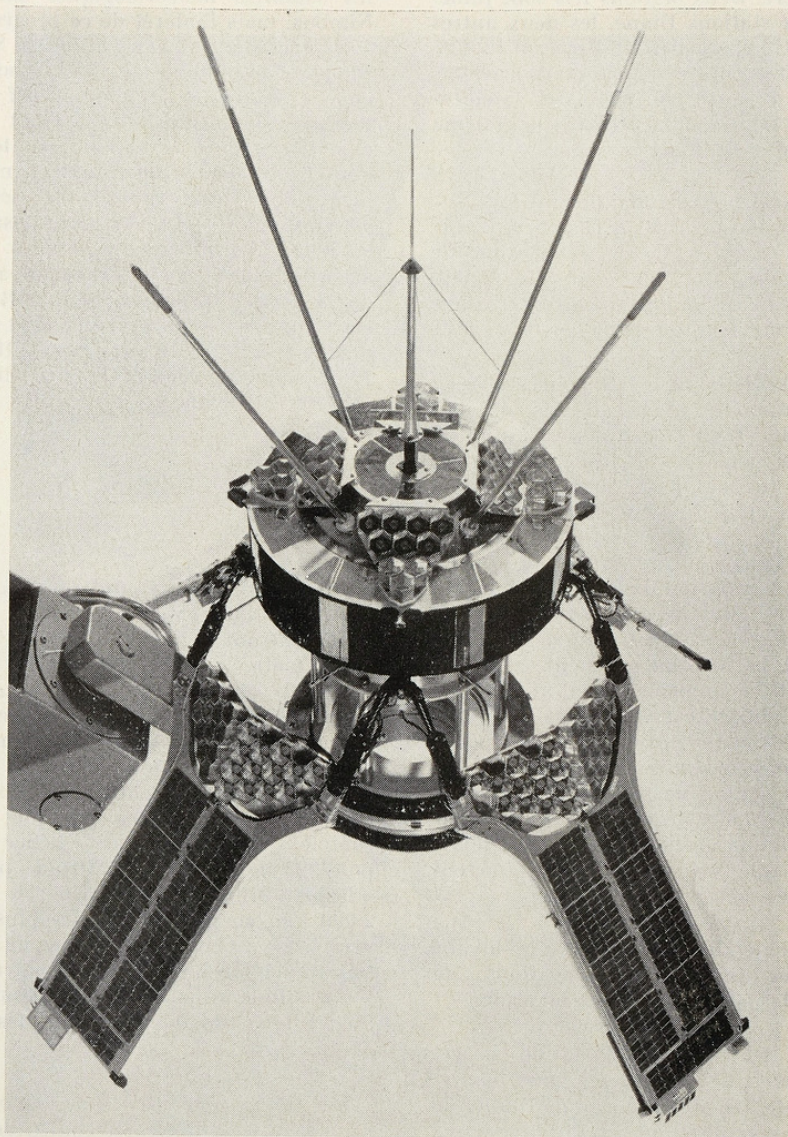


FIG. 3. — Le satellite D-1C (Diadème) (Photo CNES)

mande placées sous l'invocation d'Iris messagère. Deux stations Iris sont jumelées aux stations Diane, les deux autres sont à Ouagadougou et Brazzaville, une station temporaire située au Liban surveillant la mise en orbite des satellites D-1. Le Centre d'opérations du système est situé à Brétigny-sur-Orge.

Le CNES prépare maintenant le satellite scientifique D-2, consacré à l'étude très difficile de la répartition de l'hydrogène atomique dans le Soleil, dans l'espace interplanétaire et dans l'environnement terrestre.

Mais seule la série D-1 pourra être tirée d'Hammaguir. Les accords d'Evian prévoient, en effet, le transfert du site à l'Algérie pour le 1^{er} juillet 1967. Les Armées tireront leurs fusées d'un nouveau champ de tir situé dans les Landes, mais il n'autorise que des tirs vers l'ouest. Pour pouvoir s'aider éventuellement de la rotation de la Terre, le CNES a reconnu sur la côte de la Guyane un emplacement idéal, ouvert à l'Est et au Nord, permettant aisément de mettre des satellites en orbite équatoriale, puisque sa latitude est seulement de 5°, ou en orbite polaire, avec toutes les possibilités intermédiaires. La décision d'y faire un champ de tir a été prise le 16 avril 1964. La réalisation est commencée. Une situation aussi exceptionnelle laisse espérer que ses installations pourront attirer les usagers d'autres pays.

Bien entendu le transfert en Guyane implique quelques modifications au réseau de poursuite et de télémesure.

Après D-2 viendra D-3 peut-on penser. C'était bien le nom prévu pour le premier satellite du programme Eole, le dieu des vents étant ici invoqué parce qu'il s'agit précisément de suivre les mouvements de l'atmosphère. Pour y parvenir on projette de faire dériver des ballons à plafond constant, interrogés à chaque passage par un satellite qui déterminera leur position. C'est un programme météorologique très différent de

celui qu'ont suivi les Américains avec les satellites météorologiques Tiros et Nimbus, mais l'intérêt de ce programme a été reconnu par l'Organisation Météorologique Mondiale, sur qui reposerait en cas de succès l'emploi massif de la méthode. Pour l'instant, il s'agit d'une expérience, difficile sur le plan technique et sur le plan opérationnel, notamment pour des raisons de sécurité aérienne. Elle a paru assez intéressante à la NASA pour devenir l'objet d'un accord d'intérêt mutuel analogue à celui qui a permis le lancement de FR-1, en sorte que D-3 sera probablement remplacé par FR-2, et n'aura pas à attendre 1969 comme il aurait dû le faire s'il avait été tiré en Guyane.

*
**

Après cette longue étude de nos satellites, il ne faut pas croire que les scientifiques français ont abandonné toute autre méthode d'étudier l'espace aussitôt qu'ils ont pu disposer de satellites. Outre les satellites, la France tâche de lancer, par an, quelques dizaines de fusées-sondes, portant dans leur pointe des instruments scientifiques. Nous en avons maintenant une panoplie assez complète, depuis la fusée « Bélier » qui porte 20 kg à 100 km d'altitude jusqu'à « Rubis » (fig. 4) qui porte 50 kg à 2 000 km, en passant par les plus souvent tirées : Centaure, Dragon (fig. 5) et Véronique. On a tiré des fusées françaises de l'Inde à l'Islande, et elles ont fait l'objet de ventes importantes à des pays étrangers.

Les fusées permettent une exploration rapide, aisément renouvelable des diverses couches de l'atmosphère au-dessus d'un même point. C'est parfois un avantage par rapport aux satellites qui restent longtemps en l'air et passent en beaucoup de lieux, mais qui en chacun d'eux n'apportent d'information que sur une altitude unique.

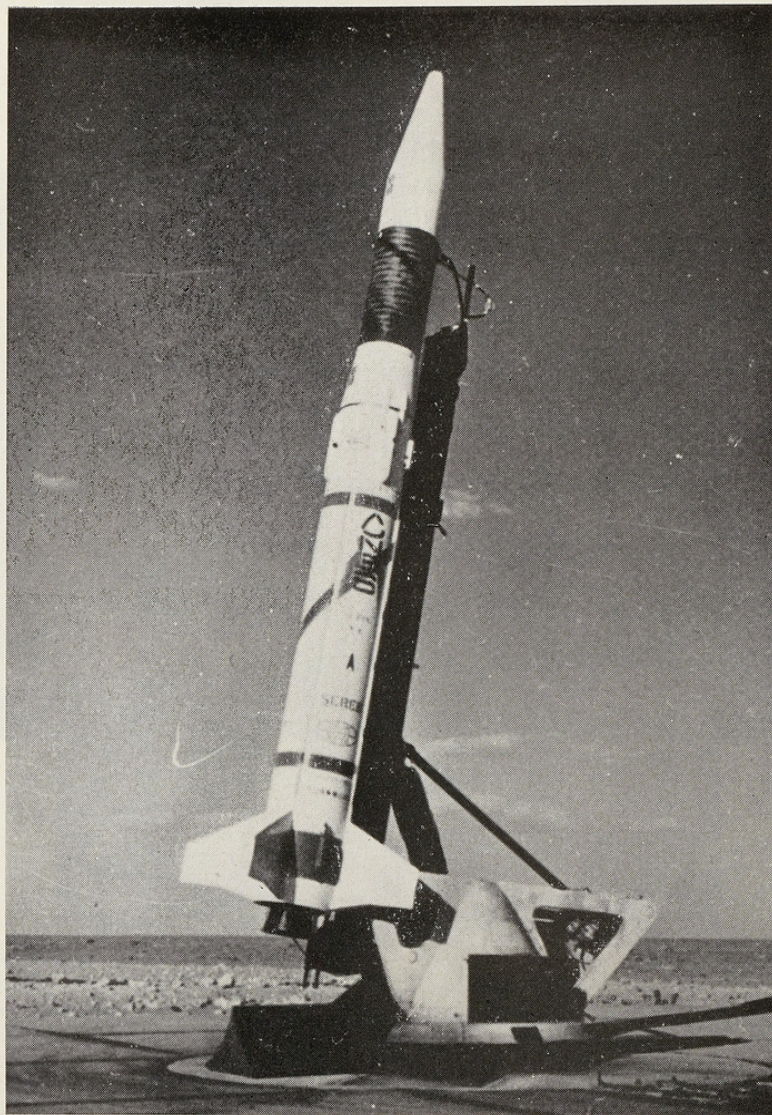


FIG. 4. — Fusée Rubis sur sa rampe de lancement (Photo CNES).

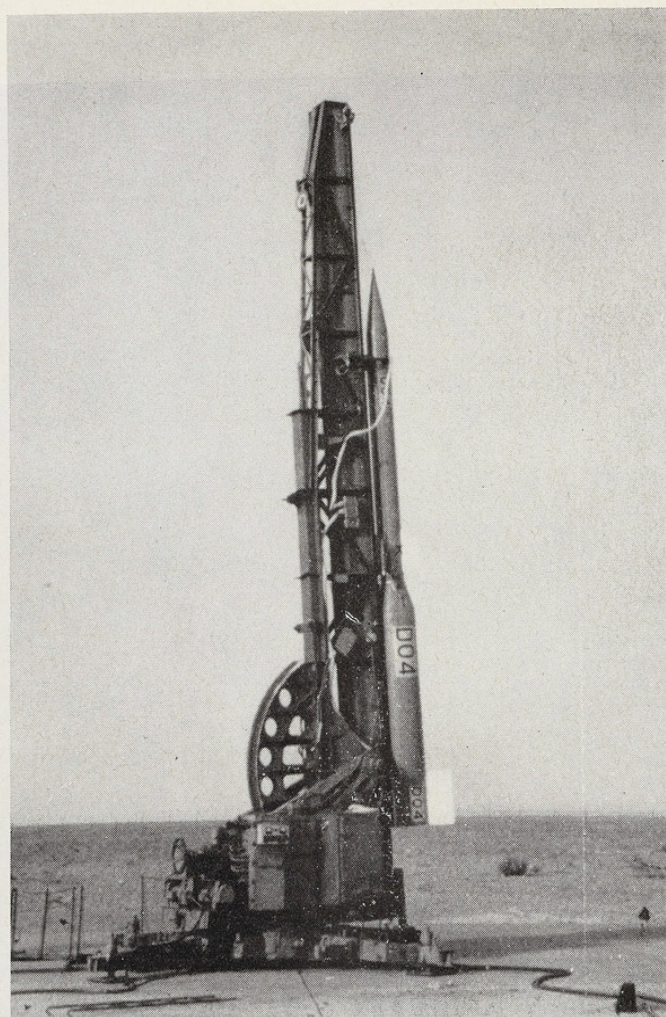


Fig. 5. — Fusée Dragon sur sa rampe de lancement (Photo CNES).

Et puis les fusées permettent aux équipes scientifiques d'acquérir aux moindres frais la maîtrise des techniques spatiales. Sans être en général aussi avancée que pour un satellite, la qualité de l'électronique contenue dans une pointe de fusée est déjà très supérieure

à la meilleure qualité courante, et la complexité des opérations peut être très grande.

Parmi les expériences couramment faites au moyen de fusées, mentionnons notamment une grande spécialité des

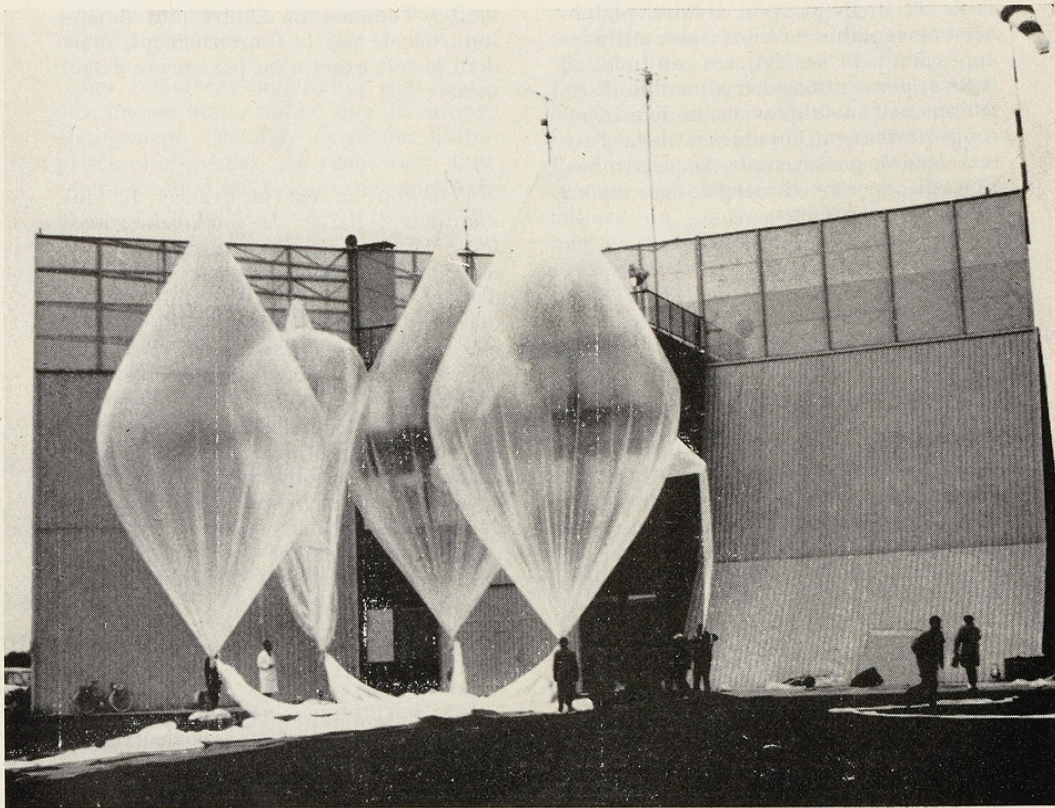


FIG. 6. — Gonflage de ballons, devant le Centre de lancement de ballons
d'Aire-sur-l'Adour (Landes) (Photo CNES).

scientifiques français : la détermination des propriétés physiques de la haute atmosphère par l'observation de nuages artificiels créés par émission de produits variés, en général de métaux alcalins. Mais ce n'est qu'un exemple. Des résultats aussi importants ont été obtenus dans les domaines de l'astronomie en lumière ultra-violette, de la détection des particules cosmiques, dans l'étude de l'inonosphère, etc. Des progrès sont en cours en radioastronomie spatiale.

Après avoir dit que les recherches

spatiales devaient leur essor à l'apparition de nouveaux outils, fusées ou satellites, on doit à la vérité d'ajouter qu'une partie, progressivement décroissante mais non encore négligeable, de notre activité concerne des expériences faites en ballons ou même au sol, dont il serait absurde d'interdire l'utilisation aux scientifiques. Les ballons français, qui vont de 5 000 à 100 000 m³ sont excellents et relativement bon marché. Lancés en général de notre site d'Aire-sur-l'Adour dans les Landes (fig. 6), ou parfois de Gap pour profiter de certains

vents d'Est, ils arrivent à faire plafonner une centaine de kilos à des altitudes approchant 40 km. A ces altitudes il reste si peu d'atmosphère que des observations astronomiques en lumière infrarouge deviennent possibles, et bien d'autres études, par exemple la détermination du spectre d'énergie des rayons cosmiques primaires.

**

Pour assurer l'ensemble de ses tâches techniques, le CNES a construit à Brétigny-sur-Orge un Centre sans équivalent européen, dont je voudrais vous préciser le rôle.

La charte du CNES lui permettrait d'entretenir des laboratoires propres et des ateliers de construction. Mais sa politique a toujours été de refuser ces tentations qui l'obligeraient à s'alourdir. Il subventionne les équipes de recherche dépendant de l'Université, du C.N.R.S., ou des grands services français désireux de faire des recherches spatiales, après avoir reconnu l'intérêt de leurs projets et la présence d'hommes capables de les mener à bien. A l'heure actuelle, quatre ou cinq de ces équipes ont pris une importance internationale.

Le CNES confie ensuite à l'industrie privée la construction des véhicules spatiaux. Mais il se réserve *l'intégration*, c'est-à-dire le regroupement des expériences au sein du véhicule (nacelle de ballon, pointe de fusée, ou satellite) afin d'assurer la compatibilité entre les divers appareils. Il se réserve également les *essais* sur modèles dans les conditions extrêmement dures du vol spatial : vibrations, vide élevé, variations de température, etc. ; enfin les lancements. Certaines de ces opérations peuvent être elles-mêmes sous-traitées, le CNES gardant toujours leur direction et leur contrôle.

Ce sont les tâches ci-dessus énumérées qui sont assurées par le Centre Spatial de Brétigny, en attendant que soit cons-

truit à Toulouse un Centre plus important, décidé par le Gouvernement, mais dont le rôle exact n'est pas encore déterminé.

**

Voilà où en est la France. Il faut maintenant parler de son avenir, avec toute la prudence nécessaire quand on n'a pas qualité pour engager le Gouvernement. Et cela oblige à revenir sur la dernière des motivations de la recherche spatiale, ses possibilités *d'applications*. En dehors des deux grands pays qui tiennent à jalonner leur avance de réussites spectaculaires, ce sont, en effet, les questions pratiques qui préoccupent aujourd'hui les gouvernements, hésitant devant le prix de l'espace. Deux aspects du problème sont à considérer : ce qu'on appelle couramment la question des retombées, et celle des satellites d'application.

Qu'est-ce que l'on entend par *retombées techniques* ?

Les scientifiques veulent obtenir, à tout prix, des résultats nouveaux. Les *techniciens*, eux, seraient plutôt portés à choisir des solutions éprouvées en leur faisant seulement subir des perfectionnements raisonnables. C'est l'habitude dans les réalisations industrielles courantes. Mais en matière spatiale il n'en est pas question. On doit faire beaucoup mieux que ce que l'on sait faire, et on doit y arriver très vite. Les ingénieurs jugent que c'est impossible, mais ils essaient, et généralement ils réussissent. L'Espace, où chaque expérience diffère de la précédente et où aucune ne peut être réparée en vol, rend à l'industrie ce service de refuser toute médiocrité. Le résultat, c'est la mise au point de matériaux, d'outils, de procédés, possédant des propriétés extraordinaires et qui trouvent ensuite des applications totalement différentes. La NASA a créé en diverses villes des Etats-Unis des bureaux de diffusion où les industriels américains, après avoir payé une cotisation élevée, peuvent savoir si

l'espace n'a pas déjà trouvé une solution à leurs problèmes.

Ces *retombées matérielles* sont peut-être moins importantes que le simple *changement d'attitude* exigé des entreprises elles-mêmes. La réalisation d'un satellite, ou d'un lanceur de satellites, exige la conduite synchrone d'un nombre incroyable d'opérations. Par exemple, avant le tir de Diamant, le nombre de vérifications à faire était de l'ordre de quarante mille. Mais c'est bien pis au cours de la fabrication. De nouvelles méthodes de gestion ont dû être introduites, permettant de déceler les obstacles à l'avance et de les éliminer à temps.

Les firmes spatiales ont ainsi maîtrisé les problèmes d'organisation les plus complexes. Cette maîtrise a conduit le Département de la Défense des Etats-Unis à les utiliser pour repenser les méthodes de construction navale, au prix d'une véritable révolte des amiraux, ou encore l'Etat de Californie à leur confier la planification de ses transports.

Il y a là une véritable mutation, déjà perceptible en France malgré l'échelle réduite de notre budget spatial (*). En 1964, par exemple, où nos autorisations de programme ont été de 161 millions de francs, 81 % de ces crédits sont allés à l'industrie nationale (dont plus de 64 % pour l'électronique et la construction aéronautique) ; leur action d'orientation nous a paru significative, mais il ne faut pas se dissimuler que les industriels, pour se décider au virage spatial, ont envisagé au-delà des recettes immédiates les espoirs de développements futurs, et qu'ils se lasseraient assez vite si ces développements tardaient trop.

Les retombées mises à part, les économistes s'intéressent dans la recherche spatiale aux *satellites d'application*. Les satellites de navigation ont déjà été mentionnés à propos de D-1 et les satellites météorologiques à propos du projet Eole. La prévision météorologique à échéance assez longue serait pour l'agriculture un énorme bienfait, en sorte que les satellites météorologiques qui la préparent seront probablement les plus importants pour l'humanité. Pourtant, parmi les applications actuellement envisagées, celle qui soulève l'intérêt le plus vif, c'est l'application aux télécommunications. Tout le monde a entendu parler de Telstar, du succès de Pleumeur-Bodou, et de la Mondiovision. Mais ce n'était que des expériences, et les événements vont vite.

Les Etats-Unis ayant reconnu que les satellites feraient face plus économiquement que les câbles à l'accroissement du trafic télégraphique et téléphonique international, ont proposé, en 1963, la création d'un système de communications dont la gestion serait assurée par la Communication Satellite Corporation ou COMSAT, Société américaine d'économie mixte. De longues négociations s'ensuivirent, au cours desquelles les Européens, principaux correspondants de l'Amérique, réussirent à faire reconnaître leurs droits à participer à la gestion du système et à la fourniture du matériel nécessaire. L'accord signé en août 1964 est provisoire ; l'accord définitif sera discuté en 1969 et signé en 1970. Les Européens espéraient profiter de ce délai pour faire la preuve de leur capacité technique. Il faut malheureusement avouer que les dates fatidiques s'approchent sans que rien de sérieux ait été fait dans cette voie.

(*) Les budgets d'investissements du CNES, en autorisations de programme (AP) et en crédits de paiement (CP), sont donnés en millions de francs, dans le tableau suivant :

Programme national. — AP : 1963 : 109 ; 1964 : 161 ; 1965 : 205 ; 1966 : 220.
CP : 1963 : 77 ; 1964 : 125 ; 1965 : 178 ; 1966 : 193.

Programme international. — AP : 1963 : 65 ; 1964 : 99 ; 1965 : 81 ; 1966 : 140.

CP : 1963 : 65 ; 1964 : 70 ; 1965 : 81 ; 1966 : 140.

Total AP — 1963 : 174 ; 1964 : 260 ; 1965 : 286 ; 1966 : 360.

Total CP — 1963 : 142 ; 1964 : 195 ; 1965 : 259 ; 1966 : 333.

Le problème est difficile. Financièrement d'abord, techniquement ensuite : Un satellite de télécommunications doit fonctionner sans faiblir pendant des périodes très longues. Mais surtout un tel satellite demande pour être lancé des fusées importantes. Ni l'Amérique ni la Russie, quels que soient leurs désirs de coopération dans le domaine scientifique, ne sont prêts à fournir les fusées qui permettraient de concurrencer leurs industries. La seule grosse fusée dont pourrait disposer l'Europe serait la fusée du CECLES, Eldo A, mais nous avons vu que son sort était incertain ; à plus forte raison celui de la fusée Eldo B qui serait nécessaire pour mettre un satellite de télécommunications important sur l'orbite circulaire équatoriale, à 36 000 km d'altitude, qui permet à un satellite de suivre la Terre dans son mouvement et d'apparaître ainsi fixe dans le ciel. Or, il semble de plus en plus probable que ces satellites stationnaires s'imposeront par leur simplicité d'emploi.

Faute d'une décision rapide des principaux pays européens, il sera impossible d'empêcher l'établissement d'un quasi-monopole industriel dans le domaine des télécommunications, monopole qui serait d'ailleurs, il faut bien le dire, une juste récompense des efforts et des dépenses faits par l'Amérique, le gain de son extraordinaire pari sur l'avenir.

Voyons un peu plus loin : la diffusion directe des programmes de télévision à partir des satellites était considérée, il y a peu de temps encore, comme une lointaine éventualité, mais elle s'approche rapidement malgré des obstacles techniques considérables. Si l'on voulait utiliser les récepteurs actuels, les puissances nécessaires dans la gamme des ondes décimétriques — la plus prometteuse malgré son encombrement — atteindraient plusieurs centaines de Kw, ce qui est possible si on utilise un réacteur nucléaire embarqué, mais ce qui pose de gros problèmes de financement et de sécurité.

On diminue la puissance à émettre en

adoptant la modulation de fréquence et en munissant les récepteurs d'une antenne parabolique. Leur prix actuel s'en trouverait doublé ou triplé. Dans un projet américain d'alphabétisation de l'Inde par télévision, chaque village serait doté d'un poste public : le satellite stationnaire recevrait son énergie de grands panneaux solaires. Pour une efficacité supposée comparable, le coût de l'opération serait très inférieur à celui de la formation d'un nombre suffisant d'instituteurs.

Le jour où on s'adresserait aux pays développés, on pourrait faire organiser dans les villes une réception collective par immeuble, avec distribution aux étages. Dans les campagnes, l'absence de parasites industriels permettrait d'utiliser des postes plus simples. L'émission serait reçue même en zone de relief accidenté.

Passons sur les difficultés énormes dues aux différences de caractéristiques entre les diverses télévisions nationales, ou aux bouleversements à craindre dans la police des ondes. Peut-être commencera-t-on par la seule radiodiffusion sonore en modulation de fréquence. Mais les intérêts financiers, dans les pays capitalistes, et en tous pays les intérêts politiques sont tels que le problème se posera dans très peu d'années. Un projet américain vient d'être cité. Du côté soviétique les satellites Molniva ou Eclair, dont les fréquences de télécommunications se trouvent dans la partie supérieure de la bande 470-960 MHz qui est certainement la plus favorable, ont déjà permis les essais de télévision en couleur par le procédé Secam. D'un côté ou de l'autre, probablement des deux, il faut s'attendre à un développement rapide de la télédiffusion, permettant à tous les pays de profiter des spectacles offerts par les Grands, spectacles qui seront relativement peu coûteux, mais qui engageront beaucoup.

Devant de telles perspectives, que doit faire la France ? De toute façon, pour suivre ses réalisations scientifiques, les

plus riches en retombées et les seules qui garantissent contre la routine toujours menaçante. Nos relations avec la NASA, qui nous a apporté une aide précieuse pour la mise en route de notre programme spatial, sont restées extrêmement cordiales, et nous pouvons penser que cette aide nous serait maintenue si nous désirions lancer des satellites scientifiques si ambitieux soient-ils. Comme la presse l'a annoncé récemment, le Président Johnson offre à l'Europe une participation à l'exploration des planètes lointaines, Jupiter ou Mercure, et plus généralement l'utilisation des énormes lanceurs américains pour n'importe quel grand projet dont pourraient rêver sérieusement nos scientifiques les plus exaltés. D'autre part, les bonnes relations entre la France et l'U.R.S.S. pourraient nous permettre également d'espérer le lancement de satellites scientifiques français par des fusées russes pour des missions lointaines. Bien entendu, le coût de tels programmes et leur signification politique seraient à examiner soigneusement par le Gouvernement. Mais on peut dire qu'une collaboration internationale dans le domaine scientifique, quelle que soit son ampleur, ne rencontrerait sans doute pas d'obstacles majeurs.

La France peut-elle aller au-delà d'un grand programme scientifique joint à des expériences techniques modestes réalisées à l'aide de son lanceur Diamant ? Peut-elle se proposer une politique opérationnelle d'applications techniques, ce qui implique un effort soit national, soit européen, dans le domaine des gros lanceurs ? Une opinion couramment exprimée, devant l'importance de ce qui se fait aux Etats-Unis ou en Union Soviétique, est que notre pays, quoi qu'il fasse, verra s'accroître la distance qui le sépare des deux Grands. L'intérêt d'une politique de qualité vient d'être montré, même si la quantité restait faible ; mais il faut, bien entendu,

qu'elle ne le soit pas trop. Le budget de la NASA pour 1965 était de 24 milliards de F, alors que la France envisage de consacrer 2 milliards à l'espace au cours de tout le V^e Plan, soit un rapport de un à soixante.

Mais on peut dévaloriser du budget spatial américain les sommes énormes consacrées au programme de vols habités, qui exige non seulement la mise au point de très gros lanceurs, mais surtout la fiabilité extraordinaire nécessaire à la sécurité des cosmonautes. Abandonner un tel programme n'est pas grave, car le vol humain ne jouera, tout au moins dans la prochaine décennie, qu'un rôle secondaire dans le domaine des applications. Laissons donc de côté les 17,5 milliards de francs correspondant aux projets Gemini et Apollo, ainsi qu'à la mise au point des lanceurs qu'ils exigent. Le rapport des budgets n'est plus que de un à seize. Encore faut-il observer que la NASA engage, sur la fraction de son budget qui ne concerne pas le vol humain, ses grandes opérations d'exploration lunaire et planétaire, qui ont un immense intérêt scientifique, mais auxquelles nous pourrions cependant renoncer sans que la cohérence et l'efficacité de notre effort en soient affectés. Bref, la disproportion des moyens reste sérieuse ; elle n'est pas désespérante.

La France, tout en conservant la place enviable qui est déjà la sienne dans le domaine scientifique spatial et en étant par-là même assurée d'éviter la sclérose que produisent les programmes purement industriels, doit pouvoir prendre une place analogue dans le domaine des satellites d'application. Il reste, bien entendu, des choix à faire au point de vue financiers. Mais ces choix ne consistent pas à arbitrer entre le prestige et les réalités, entre le nécessaire et le superflu. Il nous faut choisir entre les grandes missions vitales d'un Etat moderne, soucieux de préparer l'avenir le plus matériel.

*Rapport de M. l'Ingénieur Général Raymond Marchal
sur l'attribution d'une Médaille d'Or
au Centre National d'Etudes Spatiales
au titre de l'année 1966*

Le Centre National d'Etudes Spatiales a été créé par la loi n° 61-1382 du 19 décembre 1961.

Son domaine d'activité a été défini comme suit :

Il est notamment chargé :

- 1° de recueillir toutes informations sur les activités nationales et internationales concernant les problèmes de l'espace, son exploration et son utilisation ;*
- 2° de préparer et de proposer à l'approbation du Comité interministériel de la recherche scientifique et technique les programmes de recherche d'intérêt national dans ce domaine ;*
- 3° d'assurer l'exécution desdits programmes, soit dans les laboratoires et établissements techniques créés par lui, soit par le moyen de conventions de recherche passées avec d'autres organismes publics ou privés, soit par des participations financières ;*
- 4° de suivre, en liaison avec le Ministère des affaires étrangères, les problèmes de coopération internationale dans le domaine de l'espace et de veiller à l'exécution de la part des programmes internationaux confiée à la France ;*
- 5° d'assurer soit directement, soit par des souscriptions ou l'octroi de subventions, la publication de travaux scientifiques concernant les problèmes de l'espace.*

Toutes les missions proposées au CNES ont été remplies de la façon la plus brillante.

L'effectif, qui s'élevait à 75 personnes un an après sa création, dépasse maintenant 600 personnes réparties à Brétigny (le centre de Toulouse est en construction) et dans un certain nombre de stations des réseaux de poursuite, de télémesures et de télécommande. En particulier, la création en cours du Centre spatial de la Guyane dotera bientôt la France d'un moyen exceptionnel de classe internationale, tant en raison de son implantation près de l'équateur que de l'importance des installations qui y seront réalisées.

Les résultats globaux les plus remarquables sont :

- le lancement le 6 décembre 1965, par une fusée américaine « Scout », du satellite français FR-1 dont le but était l'étude de l'ionosphère et qui a montré une endurance exceptionnelle puisque, un an après sa mise sur orbite, il continuait à exécuter et à transmettre correctement les mesures pour lesquelles il avait été conçu ;
- le premier essai de la fusée « Diamant » qui, le 26 novembre 1965, a placé en orbite le satellite passif A-1 destiné seulement à vérifier le comportement de la fusée ;
- le lancement le 17 février 1966, au moyen d'une fusée « Diamant », du satellite D-1A destiné à des expériences de géodésie spatiale. Avec ce dernier lancement, la France devenait la troisième puissance spatiale au monde, puisque aussi bien le moyen de lancement que le satellite et les moyens de repérage et de télémesures étaient entièrement de conception française ;
- les deux lancements réussis, des 8 et 15 février 1967, qui portent à quatre succès sur quatre lancements le bilan du fonctionnement des lanceurs « Diamant », montrant ainsi que, grâce à l'action du CNES et de ses coopérateurs, la France a atteint, avec une rapidité exceptionnelle, le stade de la fiabilité spatiale.

Le CNES prend également une part active aux programmes internationaux, tant par des liaisons bilatérales comme celle qui a permis le lancement du satellite FR-1 que comme participant financier aux programmes des organismes internationaux : Centre Européen de Recherches Spatiales (CERS ou ESRO) et Centre Européen de Construction et de Lancement d'Engins Spatiaux (CECLES ou ELDO) et comme contrôleur de l'exécution des travaux correspondants.

Enfin le CNES a entrepris un effort considérable de diffusion des connaissances, tant en publiant de nombreux documents qu'en subventionnant des bourses pour des étudiants, en organisant des expositions et en patronnant la formation de groupes de jeunes auxquels il apporte ses conseils afin d'éviter les dangers d'une expérimentation trop sommaire.

Pour tous ces motifs je propose l'attribution, au Centre National d'Etudes Spatiales, de la Médaille d'Or du Comité des Arts Mécaniques de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

Les lanceurs de satellites « Diamant » et leurs dérivés possibles ()*

par M. ROGER CHEVALIER

*Ingénieur en Chef de l'Air
Directeur Technique de la SEREB (**)*

Ainsi qu'on me l'a demandé, je vais vous parler du programme des lanceurs français, de Diamant en particulier, et vous dire ce qu'on pourrait faire dans l'avenir. Je dirai aussi quelques mots du programme européen.

I. — HISTORIQUE DU PROJET DIAMANT

C'est à la fin de l'année 1960 que le projet Diamant est né. Le lanceur de satellite Diamant était basé sur l'engin Saphir qui venait d'être décidé depuis quelques mois dans le cadre des programmes militaires afin de disposer d'un véhicule d'essai dans le but de mettre

au point les techniques de propulsion, de pilotage, de guidage et de rentrée des véhicules balistiques.

L'engin Saphir est un engin à deux étages dont le premier (Emeraude) est un étage à propulsion liquide utilisant l'essence de térébenthine et l'acide nitrique. Il est propulsé par une chambre unique de 25 tonnes de poussée, mobile sur deux degrés de liberté et consommant 12,8 t de propergol en 93 secondes.

Le deuxième étage (Topaze) est un étage à poudre Isolane en structure acier Vascojet 1000 renfermant 2,3 t de propergol et muni de quatre tuyères mobiles.

(*) Conférence prononcée le 2 juin 1966, devant la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

(**) Société pour l'Etude et la Réalisation d'Engins Balistiques.

Voir p. 31 le rapport de M. Chaffiotte, sur l'attribution de la Médaille Giffard à la SEREB.

Cet engin Saphir est, en gros, capable d'amener vers 4 000 m/s une charge de l'ordre de 750 kg.

Il s'agissait donc, pour constituer un lanceur de satellite, de remplacer cette charge utile de 750 kg par un troisième étage et par un satellite, ce troisième étage devant donner un gain de vitesse de l'ordre de 4 000 m/s.

Fallait-il réaliser ce troisième étage en acier de façon à avoir un niveau technique homogène pour l'ensemble de l'engin ? Dans ce cas, les performances auraient été relativement faibles.

Fallait-il, au contraire, étudier un troisième étage très poussé, puisqu'on disposait, en tout état de cause, des délais nécessaires pour étudier, réaliser et essayer l'engin Saphir ?

Fallait-il même essayer d'améliorer les performances du deuxième étage ?

Des études furent effectuées au cours de l'année 1961 sur ces diverses hypothèses, et ce n'est qu'en fin 1961 que la décision était prise. Nous maintenions les deux premiers étages dans leur définition Saphir et, par contre, nous décidions de réaliser le troisième étage à poudre en fibre de verre en logeant 650 kilos de poudre dans une enveloppe dont le poids ne devait pas dépasser 65 kg.

C'était donc choisir une solution technique relativement poussée. Pour mettre au point ce troisième étage, nous proposons de réaliser un véhicule Rubis à deux étages utilisant en premier étage un propulseur à poudre de 2 t non piloté (Agate) et en deuxième étage, le troisième étage de Diamant. Cette mise au point en vol du troisième étage aurait également pour but d'essayer en vol : d'une part, la case des équipements spécifiques du Diamant et, d'autre part, la capsule A1 qui n'avait d'autre but que de renfermer les moyens de mesures et de trajectographie nécessaires à la mise au point du Diamant lors de ses premiers essais en vol.

En début 1962, la SEREB recevait le premier contrat Diamant de la part

de la Délégation ministérielle pour l'Armement qui s'était mise préalablement d'accord avec le Ministère de la Recherche Scientifique. Ce dernier participait financièrement à l'opération Diamant tout en laissant la responsabilité de la gestion technique industrielle et contractuelle au Ministère des Armées.

Le travail effectif commençait et, en avril 1962, le véritable projet Diamant était établi et donnait une description à peu près définitive de l'engin qui devait voler le 26 novembre 1965.

II. — DEROULEMENT DU PROGRAMME DIAMANT

Comment s'est déroulé, depuis avril 1962, le développement de ce programme Diamant ?

En ce qui concerne le premier étage, l'effort essentiel était celui à faire porter sur la propulsion.

La mise au point du propulseur Vexin a été réalisée au moyen de 234 essais dont :

- 114 au sol de durée inférieure à 25 s
- 112 au sol de durée 90 s
- 8 en vol

et de 131 essais de générateur de gaz dont :

- 36 essais à l'air libre
- 55 dans des réservoirs lourds
- 32 essais en réservoirs réels
- 8 essais en vol.

Les principales difficultés rencontrées furent au nombre de trois :

- 1) instabilité de combustion dans la phase allumage ;
- 3) réaction entre les gaz du générateur et l'acide nitrique.
- 2) période vibratoire par couplage entre structure et propulsion ;

Les instabilités de combustion étaient des instabilités à haute fréquence qui provoquaient une destruction très rapide des systèmes d'injection. Le remède

à ces inconvénients fut obtenu par une modification de l'alimentation :

- 1° adoption d'un injecteur à gicleurs plus écartés et en nombre réduit ;
- 2° adoption d'ailettes anti-tourbillon dans le couvercle de l'éjecteur ;
- 3° réduction de la distance entre couvercle et injecteur.

En ce qui concerne la seconde difficulté, nous savions depuis le début et surtout depuis les premiers essais de générateurs dans des réservoirs lourds qu'une réaction exothermique apparaissait entre les gaz de chasse et l'acide nitrique qui provoquait une augmentation importante de la température et aussi de la pression. Cette réaction, de caractère quasi systématique, se produisait entre les gaz de poudre réducteurs et les vapeurs de N_2O_4 dégagées par l'acide nitrique qui était en particulier chauffé en surface par le contact avec l'eau mélangée aux gaz de poudre.

On ne trouva pas de remède facile pour éliminer cette réaction sans modifier profondément l'engin et on se contenta, à l'époque, de vérifier qu'elle n'avait pas d'effet trop néfaste sur la tenue des réservoirs.

En fait, dès le premier essai en vol du premier étage, *Emeraude*, le problème prenait une tournure aiguë puisque lors de ce vol la réaction des gaz sur l'acide était telle qu'une augmentation de pression extrêmement importante se produisait et qu'elle entraînait la rupture du réservoir en vol. Jamais, au sol, une telle réaction n'avait été observée.

Le vol avait apporté, par rapport aux essais au sol, un certain nombre de différences qui allaient, en fait, toutes dans le sens de l'augmentation de la réaction :

- a) des vibrations plus importantes qui avaient pour effet de renouveler la couche superficielle de l'acide génératrice de vapeurs de N_2O_4 et également d'augmenter les surfaces de contact entre le milieu liquide et le milieu gazeux ;

b) les mouvements de l'engin en vol qui tendaient aux mêmes effets ;

c) une température plus élevée des ergols due au fait que ce tir s'était déroulé en période d'été en Afrique.

Pour remédier à cette soudaine difficulté, il fut décidé, au cours de l'été 1964 :

- 1° à court terme, d'écrêter à l'aide d'un clapet de décharge l'excès des gaz produits par la réaction. Ce clapet était taré à 26 bars, c'est-à-dire à 2 bars au-dessus de l'écrêtage fin produit par la soupape normale qui existait déjà, mais dont le débit s'était avéré insuffisant.

- 2° à court terme également, d'agir de façon à diminuer les vibrations, raison probable essentielle de l'augmentation de cette réaction.

- 3° à plus long terme d'envisager, en cas d'échec des modifications précédentes, le remplacement du générateur de gaz à poudre par un générateur à liquide fournissant des gaz non réducteurs. Il fut donc étudié une solution de générateur pratiquement identique à celle du deuxième étage *Eldo Coralie*.

Le clapet de décharge fut essayé au sol au cours de trois essais sur réservoir lourd au sein desquels une super-réaction était provoquée par injection d'acide vaporisé au sommet du réservoir.

Un essai en vol suivit et fut négatif, le clapet s'ouvrant intempestivement à cause de ruptures dues à une résonance de vibrations autour d'une fréquence de 50 Hz.

Le clapet et sa fixation furent alors modifiés et renforcés, qualifiés par trois essais nouveaux au sol et également au cours de six essais d'ensemble au sol ayant pour but de diminuer les vibrations.

La troisième difficulté importante rencontrée fut celle des phénomènes vibratoires qui apparaissaient généralement vers la 25^e seconde de propulsion, disparaissaient aux environs de la 45^e seconde après être passés par un maximum vers la 30^e seconde. La fréquence croissait à peu près linéairement avec la vidange des réservoirs ; elle était égale à 50 Hz au moment du régime vibratoire maximum.

Les vibrations provenaient d'un couplage entre la structure et le système propulsif ; le mode principal incriminé était le premier mode longitudinal de l'engin, dans lequel l'ensemble de la structure et la masse de l'essence sont en contrephase avec la plus grande partie de la masse acide, le réservoir acide prenant une déformée en bulbe.

Un schéma simplifié fut établi, en représentant les divers éléments de l'engin par des ensembles de masses et ressorts dont les coefficients furent ajustés en fonction des divers essais, en particulier l'évolution des amortissements.

Le dépouillement des calculs effectués sur machine analogique montra le rôle prépondérant de la canalisation acide (son débit-masse était près de trois fois et demie celui de l'essence).

Plusieurs versions modifiées furent envisagées en commençant par celles qui étaient technologiquement les plus faciles et en avançant prudemment en s'assurant de l'efficacité des remèdes les moins brutaux.

On s'arrêta finalement à la solution n° 3 qui fut mise au point au cours de six essais au sol.

Les principes de cette modification étaient les suivants :

- 1) diminuer fortement la capacité inférieure de la canalisation d'acide,
- 2) réduire son élasticité en supprimant le soufflet de dilatation,
- 3) la rigidifier en renforçant les parois.

L'apparition des vibrations était retardée à la 70^e seconde, la fréquence montait à 90 Hz et l'amplitude des vibrations ne dépassait pas en moyenne ± 2 g (alors qu'on était parti de ± 10 g) au niveau du bâti moteur.

Les couplages structure-propulsion étaient donc pratiquement éliminés.

En combinant ces améliorations de vibrations et de clapet de décharge, on put alors effectuer deux tirs en vol réussis de l'engin *Emeraude* et dans la foulée trois tirs de *Saphir* (avec le deuxième étage), tous entièrement satisfaisants en ce qui concerne le premier étage.

Pendant tout ce temps-là, le développement au sol et en vol du deuxième étage se déroulait normalement, sans difficulté importante. La mise au point des tuyères mobiles s'effectuait normalement.

La série des essais au sol se terminait par un essai complet de l'étage sur un banc à entraves dynamiques, banc sur lequel l'engin possédait 5 degrés de liberté, les trois mouvements angulaires et les deux mouvements latéraux du centre de gravité. Cet essai permettait à la fois une vérification technologique complète de l'engin et une expérimentation du pilotage et de la stabilisation de l'engin.

Dix essais en vol étaient ensuite effectués, tous réussis, entre juillet 1962 et fin 1963.

Les six premiers essais avaient été effectués avec un propulseur court de 1 800 kg de poudre, les quatre derniers avec un propulseur long de 2 300 kg de poudre, afin d'augmenter les performances.

Le deuxième étage était donc pratiquement prêt dès le début 1964.

La mise au point en vol du troisième étage, combinée avec celle de la case des équipements et de la capsule A 1, après sa qualification au sol qui se déroula sans difficulté majeure, fut réalisée au moyen du véhicule *Rubis*.

Huit vols de Rubis furent effectués : six parfaitement réussis (dont les quatre derniers) et deux demi-échecs (un non allumage du deuxième étage et une rupture du deuxième étage).

Le non allumage nous amena à étudier de très près le problème de l'allumage dans les conditions de vol du Rubis et du Diamant et à apporter un certain nombre de modifications de détail qui amélioreraient la sûreté de fonctionnement.

La destruction de la structure lors du deuxième échec était due à un choc sur la tuyère du deuxième étage au moment de la séparation. Nous entreprîmes une amélioration de la séparation (raccourcissement de la tuyère, changement de diverses cotes) de façon à annuler le risque de contact au moment de la séparation.

En fait, la mise au point du troisième étage, de la case des équipements et de la capsule A 1 se déroula normalement.

La seule chose qui ne pouvait pas être essayée en vol sur Rubis, à cause de l'altitude, était le basculement.

On réalisa de nombreux essais au sol et après s'être orienté sur l'azote pour effectuer le basculement, nous décidâmes de choisir le fréon 14 qui présentait un très grand intérêt du point de vue des consommations.

Une difficulté apparut au moment des essais en vibration de l'ensemble du dispositif de basculement qui nécessita de revoir la fixation des sphères de stockage du fréon.

Après la mise au point des divers étages séparément, au mois de juin 1965, nous effectuâmes deux essais de l'engin Saphir (premier + deuxième étages).

Le premier essai fut une réussite complète, le deuxième fut une demi-réussite car, après la séparation des étages, un relais bloqué ne permit pas au deuxième étage d'avoir un pilotage normal. Cependant, tout était normal du point de vue propulsion, séparation et

pilotage du premier étage. Nous décidâmes alors de confirmer la première réussite du Saphir par un troisième tir en septembre 1965 et, en cas de réussite, d'effectuer le premier lancement de Diamant le 25 novembre 1965.

Ce troisième tir de Saphir fut parfait et le feu vert tant attendu était enfin là pour le premier Diamant.

III. — LE LANCEMENT DE DIAMANT DU 26 NOVEMBRE 1965

Diamant n° 1 avait subi ses premiers contrôles d'ensemble en Métropole, à Bordeaux, dans le Centre d'assemblage de la SEREB (fig. 1), entre octobre et début novembre. Nous effectuâmes une répétition exacte de la séquence de tir, puis l'engin fut envoyé par morceaux à Hammaguir, en Algérie, où devait s'effectuer le lancement (fig. 2).

Lors de la préparation à Hammaguir, nous eûmes, bien entendu, quelques difficultés.

En particulier au cours du contrôle de l'ensemble premier et deuxième étages sur rampe de lancement, une faible tension résiduelle était apparue sur une des voies de pilotage. Avant d'effectuer le démontage complet qui aurait pu nous retarder beaucoup plus, l'équipe d'essai se livra à une analyse détaillée théorique qui permit d'établir le seul schéma qui pouvait expliquer quantitativement cette tension résiduelle et qui permit de déterminer au bout de quelques heures que deux fils (sur, bien entendu, des centaines existants) voisinaient dans une prise. Nous ne démontâmes donc qu'à l'endroit où cette prise était accessible et nous eûmes la joie de constater que le diagnostic avait été parfait.

Avant cela, nous avions dû changer une pompe sur le bloc de puissance hydraulique du deuxième étage. C'était la première fois que nous avions à effectuer une telle opération sur le champ de tir pour un organe que nous considérions comme très sûr.

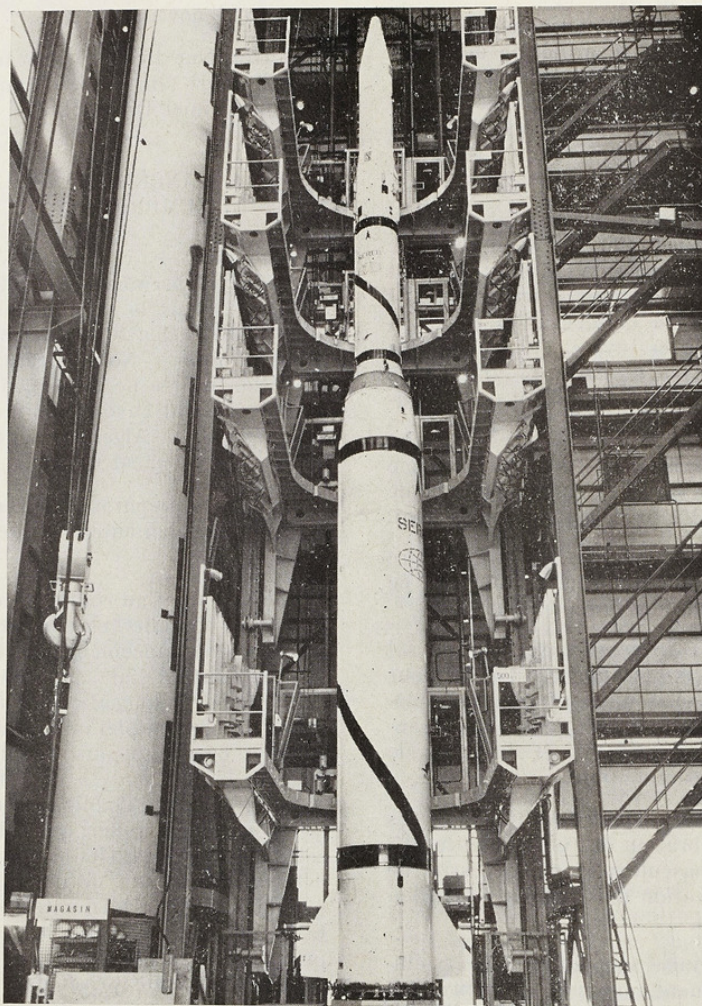


FIG. 1. — Montage à Saint-Médard-en-Jalles. Diamant 1

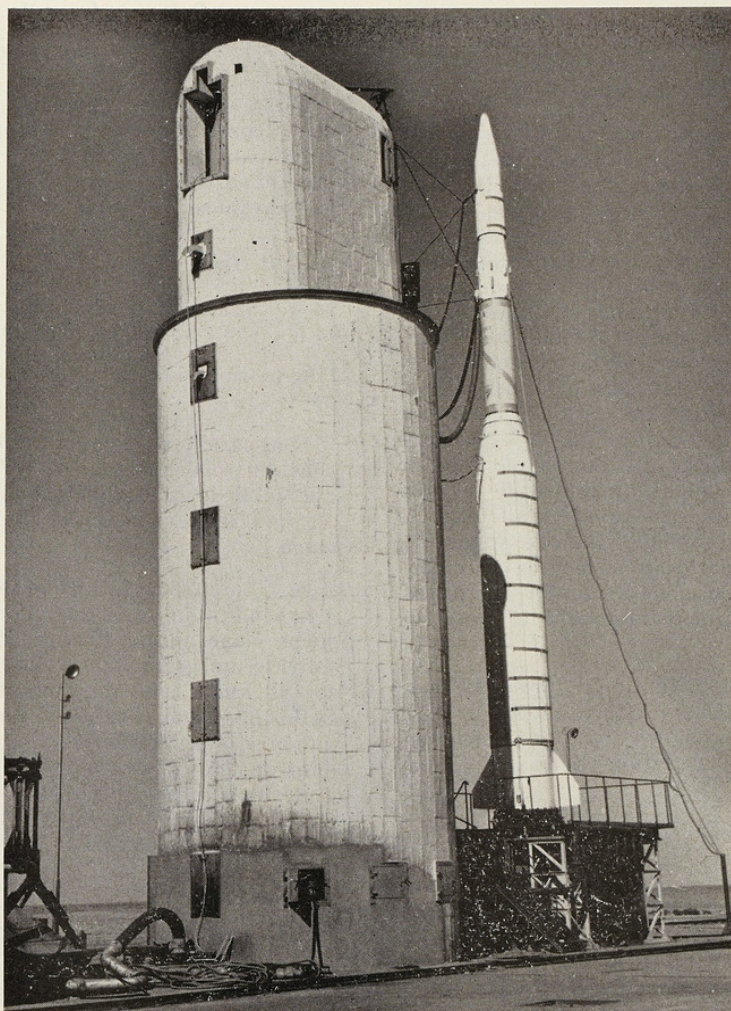


FIG. 2. — Tour de contrôle. Diamant 1 sur sa plateforme à Hammaguir

Après tout cela, nous prîmes la décision de tirer le 26 novembre. La veille du tir, au cours d'un ultime contrôle de la case à équipements, nous constatons une augmentation sensible d'une constante de temps sur une des huit servovalves du système de basculement à fréon. C'était l'effondrement et le spectre d'un redémontage de l'engin.

Heureusement, les contrôles effectués permettaient d'établir sans démontage de l'engin le diagnostic exact. Il s'agissait de la détérioration d'une simple diode de protection. Le raisonnement et surtout des essais de confirmation, effectués le matin même du 26 novembre à Paris avec lequel nous étions en liaison téléphonique quasi permanente, nous permirent de prendre la décision d'effectuer le lancement sans modifications et avec la certitude que la diode détériorée n'avait qu'une chance infime de produire un incident en vol. Un redémontage de l'engin, en dehors du retard de trois ou quatre jours (ce qui n'aurait pas été grave) et du risque de faire apparaître d'autres détériorations à force de contrôler un engin et de démonter des prises, aurait certainement touché le moral de l'équipe.

La décision du tir fut prise. Le lancement s'effectua à 15 h 47 (fig. 3) et, 8 minutes 3 secondes après, A 1 atteignait la vitesse d'orbitation nécessaire. C'était la réussite probable.

Mais la balise 136 Mc, qui devait être suivie par les stations du CNES Diane et Iris, ne répondait plus après quelques minutes (à cause d'une détérioration d'antenne à la mise en rotation). Nous disposions heureusement du répondeur Radar Aquitaine sur 5 cm. Les informations fournies par le radar permirent aux calculateurs d'Hammaguir et de Brétigny de calculer l'orbite et, en particulier, les éléments de rendez-vous pour le premier passage après la première révolution par les divers moyens de trajectographie.

Nous dûmes attendre 1 h 50 avant de savoir si, vraiment, le satellite allait

repasser sur les éléments calculés. Tout se passa parfaitement et nous pouvions alors extérioriser notre joie.

Orbites de A 1 et du troisième étage

Le 15 décembre 1965, les orbites des deux corps satellisés, la capsule A 1 d'une part, baptisée 96 A et le troisième étage d'autre part, baptisé 96 B, étaient les suivantes :

	<i>Périgée</i>	<i>Apogée</i>	<i>Excentricité</i>	<i>Période</i>
96 A.	527,2	1800,7	0,0844	6520
96 B.	530,7	1808,6	0,0849	6526

l'inclinaison des deux orbites étant de $34^{\circ}21'$.

Il apparaît, en comparant les grands axes du troisième étage et de la capsule, que celui de la capsule est inférieur de 10 km environ à celui du troisième étage.

Or, l'impulsion théorique de 2 m/sec à la séparation de la capsule et du troisième étage aurait dû donner, pour le satellite, un grand axe supérieur d'environ 10 km à celui du troisième étage. Cette inversion s'explique par le fait qu'après la séparation, il se produit pendant un temps assez long un dégazage à l'intérieur du propulseur qui correspond à une poussée supplémentaire donnant un gain de vitesse de l'ordre de 4 m/sec correspondant à une masse de poudre éjectée de l'ordre de 200 g.

Il a été établi, à partir de ces données, des éphémérides qui ont permis à l'Observatoire d'Alger de voir les deux corps.

La capsule se comporte comme un corps de magnitude 8 continue.

Le troisième étage se comporte comme un corps dont la magnitude oscille entre 6 et 10 avec une période de l'ordre de la seconde. Cette oscillation correspond à la précession du troisième

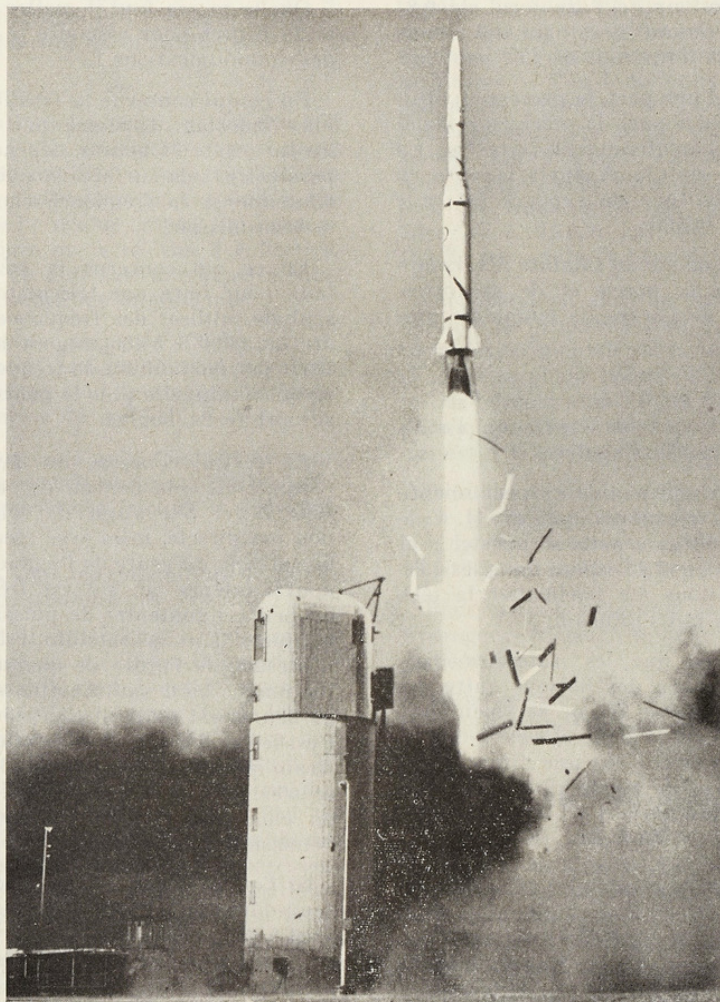


FIG. 3. — *Diamant 1 en vol*

étage qui présente alternativement sa face arrière plus réfléchissante que le reste du corps.

L'orbite des deux corps tourne dans son plan autour de l'axe focal de $6,8^\circ$ par jour et autour de sa ligne des nœuds dans le sens rétrograde de $4,6^\circ$ par jour.

Ce sont, d'une part, la précession apsidale et, d'autre part, la précession nodale dues à l'aplatissement terrestre. En gros, vingt-sept jours après la mise en orbite, la latitude de l'apogée est celle du périégée initial.

La durée de vie du satellite A 1, compte tenu de sa masse et de sa forme, devra être de l'ordre de cinquante ans.

**

Ceci dit, comment se présente l'utilisation des lanceurs spatiaux ?

Je ne parlerai pas de l'aspect scientifique qui a été développé par M. Coulomb. Je voudrais surtout insister sur le rôle possible de l'espace dans les télécommunications, en particulier la télévision et la radiodiffusion.

Vous savez que les satellites permettent de faire des liaisons entre des points de la terre qui ne se voient pas. Le satellite dit 24 heures, c'est-à-dire le satellite qui évolue sur une orbite située à une distance de 36 000 kilomètres de la terre, a la propriété d'avoir une période de 24 heures. C'est-à-dire que le satellite tourne à la même vitesse angulaire que la terre et il se situe toujours au même endroit par rapport aux habitants de la terre. Comme il est assez loin il voit des points diamétralement opposés ou presque. Donc le satellite 24 heures résout un problème fondamental. Avoir un satellite 24 heures, c'est disposer d'une tour Eiffel haute de 36 000 km. Si on voulait construire une telle tour on rencontrerait sans doute quelques difficultés !

Un satellite de 24 heures exige bien entendu des lanceurs beaucoup plus importants que Diamant et une précision de lancement considérable pour qu'il

soit effectivement sur une orbite 24 heures. Il faut même corriger de temps à autre sa position de façon à être certain qu'il reste au-dessus d'un point donné.

Quelle masse faut-il mettre sur orbite 24 heures pour résoudre ce problème des communications ?

En ce qui concerne la télédiffusion, le plus important, la masse qu'il faut mettre sur orbite 24 heures, dépend de trois paramètres : la surface, la puissance de l'antenne et la fréquence choisie pour la transmission.

En ce qui concerne la fréquence il faut, pour faire une télécommunication spatiale, utiliser des fréquences de l'ordre de 2 000 à 5 000 mégacycles et procéder par modulation de fréquence, c'est ce qui diminue le plus le poids à mettre sur orbite 24 heures.

En ce qui concerne les deux autres paramètres, cela dépend de ce que l'on veut faire. S'il s'agit de télédiffusion non pas directe, mais avec réception sur une station du genre de Pleumeur-Bodou dont l'antenne au sol est très grande, on peut se contenter de puissances embarquées sur le satellite relativement modestes, de l'ordre de quelques watts. La masse qu'il faut mettre sur orbite 24 heures est de l'ordre de 40 à 50 kg ; c'est le cas d'Early Bird, le satellite américain qui pèse 40 et quelques kilos. Mais ce n'est pas de la télévision domestique où chacun peut effectivement recevoir l'émission qui lui plaît.

Si l'on veut faire de la télé-diffusion semi-domestique collective, dirons-nous, c'est-à-dire amener les usagers à avoir, en commun sur les immeubles, des antennes de l'ordre de 4 à 5 mètres pour fixer les idées, qui conduiraient à des postes de télévision qui coûteraient plus cher que ceux que nous avons actuellement, c'est-à-dire de l'ordre de 4 à 500.000 F, on peut se contenter de masses de l'ordre de 400 kg sur orbite 24 heures.

Si, au contraire, on voulait faire de véritables télécommunications en direct,

avec une antenne individuelle de 0,50 m², pour recevoir sur toute l'Europe n'importe quelle émission d'un satellite, il faudrait des satellites qui atteignent des masses de l'ordre de 800 à 1 000 kg. Il faudrait atteindre 1 500 kg si l'on voulait inonder tout un hémisphère.

Quelles sont les étapes à franchir ? Il y a une étape souhaitable pour nous, Européens, car il faut passer à l'échelon européen : cette étape correspond à des masses de l'ordre de 200 kg qui permettent de faire de la télévision collective. Ce serait, en tous cas, une expérimentation importante et intéressante.

Ensuite, une étape de 400 kg permettrait de faire quelque chose d'opérationnel qui dépasserait le stade expérimental à l'échelon du collectif.

Enfin, je crois qu'il faudrait automatiquement aboutir un jour à 800 ou 1.000 kilos pour arriver à faire de la télévision en direct.

Quelles sont les possibilités de lancement pour atteindre ces objectifs ?

D'abord, il est envisagé de faire ce que nous appelons le super-Diamant. Un super-Diamant, c'est essentiellement le remplacement du premier étage liquide dont nous parlions tout à l'heure, par un étage plus puissant permettant de satelliser 150 kg. Et même avec un moteur d'apogée on arriverait à 250 ou 260 kg. Ceci répondrait à l'ensemble des problèmes scientifiques qui intéressent le Centre National d'Etudes Spatiales, les tirs de super-Diamant pouvant intervenir, au début de 1969, à partir de la base de Guyane.

(J'ai oublié de vous dire qu'il était prévu d'utiliser deux autres Diamant au début de l'année 1967 pour lancer des satellites scientifiques).

Pour arriver à des masses de l'ordre de 200 kg sur orbite 24 heures, c'est un tout autre problème. La France participe à la réalisation d'un lanceur européen dont le deuxième étage est français et

le troisième allemand. Le premier étage anglais a été essayé il y a quinze jours en Australie et cela a assez bien réussi.

Avec ce lanceur — cet Europa 1, capable de satelliser des masses de l'ordre de 800 kg sur orbite basse — et un système de deux propulseurs supplémentaires — l'un fonctionnant au péri-gée de la première orbite basse pour l'amener sur une orbite elliptique de 36 000 km d'apogée, l'autre fonctionnant à l'apogée de cette nouvelle orbite pour la transformer en orbite circulaire — à 36 000 km, on obtiendrait 180 kg sur orbite 24 heures.

On répondrait ainsi au premier objectif que je proposais tout à l'heure, la phase expérimentale de la télé-diffusion, et aussi la phase opérationnelle de toutes les télécommunications spatiales téléphoniques. C'est une étape remarquable qui est à la portée de l'Europe.

Il faudrait ensuite envisager une dernière génération de lanceurs européens afin de viser la mise en orbite de 1 000 à 1 500 kg sur orbite 24 heures.

Pour cela, la technique de propulsion hydrogène-oxygène liquides semble indispensable.

Voilà ce que peut être l'avenir des techniques spatiales européennes.

Questions posées par les auditeurs

— Les lancements qui ont été prévus jusqu'en 1967 pour la période 1965-1969, auront-ils lieu à partir du Centre de Biscarosse ?

M. CHEVALIER. — Il est exact qu'on organise à Biscarosse une activité sur le plan militaire et qui continuera normalement la mise au point de tous les étages et de tous les lanceurs d'ordre militaire.

En ce qui concerne les lanceurs véritablement spatiaux, il se pose pour Biscarosse, le problème de la direction de

tir. On ne peut tirer que vers l'Ouest, autrement dit on tire à l'inverse de la rotation de la terre. Si on voulait tirer dans l'autre sens, il faudrait prendre des risques — qui demeureraient cependant très faibles.

En fait — compte tenu des délais de préparation de super-Diamant — début 1969, la Guyane arrivera à temps, mais c'est une gêne de ne pas disposer d'un champ de tir.

— Les super-Diamant seront-ils essayés avant la Guyane ?

M. CHEVALIER. — Des étages séparés pourront être tirés avant la Guyane. Mais la satellisation véritable ne sera pas tentée de Biscarosse, elle le sera de Guyane.

— Est-ce qu'il n'a pas été envisagé d'acheter des lanceurs américains ?

M. CHEVALIER. — Les satellites se classent en trois catégories : les scientifiques, les militaires et disons ceux qui intéressent les télécommunications, dont on a parlé tout à l'heure.

En ce qui concerne les scientifiques, c'est possible. C'est intéressant mais on peut, à la limite, se demander s'il ne vaut pas mieux acheter les résultats, les comptes rendus des tirs, pour en apprendre autant. Sur le plan télécommunication, il paraît exclu d'en acheter pour des télécommunications opérationnelles ; cela a été dit par les Américains, il n'y a aucun doute là-dessus.

— Quelle pourrait être la durée d'un satellite de télécommunications, d'après les expériences ?

M. CHEVALIER. — Vous parlez de la durée de vie mécanique ? C'est plusieurs dizaines d'années, mais cela dépend de ce qu'on veut en faire. La durée de vie dépend de deux choses, d'une part la longévité des éléments électroniques que l'on met à bord et aussi des stocks de fréon ou de n'importe quels autres moyens de correction pour tenir un poste sur orbite 24 heures. Disons qu'actuellement, compte tenu des problèmes financiers, compte tenu de l'intérêt de remplacer de temps en temps le

satellite par quelque chose de plus moderne, par exemple la télévision en couleurs, le délai optimum semble être de l'ordre de trois ou quatre ans. En général on estime que la durée de vie est de l'ordre de quatre ans. C'est donc un bilan qu'il faut faire ; ce n'est pas l'aspect technique seul qui doit être considéré, mais l'aspect industriel et commercial, pour savoir au bout de combien de temps les remplacements sont à faire et quels remplacements il faut faire. Mais, déjà, pour le satellite de télécommunications, je voudrais préciser qu'on obtient des prix de revient qui sont inférieurs au prix des câbles, c'est-à-dire qu'aux 300 000 F par voie pour l'entretien d'un câble téléphonique, il faut comparer les 150 000 F par canal pour un satellite.

— Est-il exact que nous soyons en avance, en France, en ce qui concerne la combustion oxygène-hydrogène ?

M. CHEVALIER. — L'avance est quelque chose de relatif, il s'agit de savoir par rapport à qui et à quoi ? Par rapport aux Américains nous ne sommes pas en avance et par rapport aux Russes je ne saurais le dire parce qu'à ma connaissance, il n'y a pas d'informations publiées sur la combinaison oxygène-hydrogène en Russie. Par rapport aux Américains, nous sommes en retard puisqu'ils réalisent un étage qui fait 500 t. Nous avons des liaisons avec les Américains sur ces projets-là et nous voyons ce qu'il faut faire. Mais quand on parle d'engins de 500 tonnes et d'enveloppe de 10 mètres de diamètre, cela suppose des moyens industriels que nous n'avons pas. Le retard que nous avons sur l'Amérique est beaucoup plus un retard industriel qu'un retard technique. En fait, si nous comparons sur le plan européen, nous pouvons dire que nous sommes effectivement en avance par rapport aux autres pays européens, que ce soit les Anglais, les Allemands et les autres.

— Quel est l'ordre de précision nécessaire pour une orbite de 24 heures. Faut-il maintenir de façon rigoureuse la verticale ?

M. CHEVALIER. — Si on ne fait pas une orbite rigoureusement de 24 heures, au lieu d'avoir un point dans le ciel on aura une espèce de 8, un satellite qui décrit un 8. Le fait de décrire un 8 n'est pas tellement gênant pour communiquer entre deux points, mais si on doit avoir les antennes pointées au sol d'une façon définitive pour réduire la complexité des antennes au sol et même celle de l'engin, il est souhaitable que le poste soit fixe. On pourrait concevoir des antennes suivantes au sol mais ce n'est pas le cas de la télévision domestique où il y a intérêt à avoir les antennes le plus simple possible.

— Quel était le programme d'Eldo ?

M. CHEVALIER. — Dans un premier stade Eldo ne prévoyait que 800 kg sur orbites basses. On ramènera peut-être autre chose que ce qu'on attend aujourd'hui de l'espace, mais je pense quand même qu'on ne se trompe pas quand on met l'accent sur les télécommunications. Si l'Eldo, le 8 ou 9 juin, va de l'avant, ce sera avec un système d'apogée-périgée, c'est-à-dire capable de tenir 180 kg sur orbite 24 h.

— Quels sont les avantages de l'essence de térébenthine ?

M. CHEVALIER. — Aucun. Si on a choisi l'essence de térébenthine, c'est qu'on était obligé d'opter entre ce qu'on estimait être le mieux d'une part, et ce dont on disposait d'autre part. En 1964, quand on a monté ce programme, il fallait partir sur des choses relativement sûres et connues et on est parti sur un

couple propergol acide nitrique/térébenthine qui avait été expérimenté déjà. Ce n'est pas le couple le plus avantageux, à cause de l'acide nitrique qui ne peut rester plus de quelques jours dans l'engin. En effet, si l'acide nitrique reste en contact longtemps avec l'acier, des corrosions peuvent apparaître. Je ne peux pas dire qu'il y ait un avantage, sinon un avantage de simplicité et surtout l'avantage d'exister et d'être disponible.

— Le régime des télécommunications spatiales par satellite doit entrer en vigueur au 1^{er} janvier 1970 ; l'Europe aura-t-elle une chance de lancer un satellite 24 heures avant, ce qui lui permettrait de prendre une part active aux conférences ?

M. CHEVALIER. — L'Europe est capable de mettre 180 kilos sur orbite 24 heures, à mon avis, fin 1969. Elle est capable de le faire si elle veut bien s'organiser dans ce domaine.

— A condition que l'Eldo ne soit pas abandonné.

M. CHEVALIER. — Oui, ou à condition que, si les Anglais se retiraient, les autres Nations décident de continuer. Il a même été envisagé d'acheter le premier étage aux Anglais. Cette formule me déplaît, parce que, pour éviter d'affecter de nouvelles équipes à la mise au point de cet étage, on demandera aux Anglais de suivre leur fourniture. Cela reviendra à les payer et à continuer comme si de rien n'était, la participation anglaise devenant 0 %.

*Rapport de M. Pierre Chaffiotte
sur l'attribution de la Médaille Giffard
à la Société pour l'Etude et la Réalisation d'Engins Balistiques
au titre de l'année 1966*

La Société pour l'Etude et la Réalisation d'Engins Balistiques (SEREB) fut créée en 1959, à la diligence de la Direction Technique et Industrielle de la Délégation Ministérielle à l'Air. Trois Sociétés Nationales — Sud-Aviation, Nord-Aviation et Snecma — y détiennent la moitié du capital, l'Onéra, les Avions Marcel Dassault, la Matra et la Société d'Etudes pour la Propulsion par Réaction se partageant les cinquante pour cent restants.

Quatre dates prestigieuses ont jalonné l'activité de la SEREB dans le domaine spatial :

- 26 novembre 1965 — lancement du satellite A-1 « Astérix », destiné à mettre au point le lanceur Diamant ;*
- 17 février 1966 — lancement de D-1 A « Diapason » ;*
- 8 février 1967 — lancement de D-1 C « Diadème 1 » ;*
- 15 février 1967 — lancement de D-1 D « Diadème 2 » ;*

Mais tandis qu'une publicité exceptionnelle et méritée a pu être donnée au très grand succès que représentent ces quatre lancements réussis sur quatre tentatives et la mise en orbite de satellites scientifiques dès le deuxième tir, portant ainsi la France au troisième rang des puissances spatiales, les exigences du secret militaire interdisent de faire connaître les autres mérites de la SEREB, en particulier ceux des engins qui ont servi de base à la constitution du lanceur Diamant.

Par exemple, entre les deux doublets Diamant, la SEREB n'a pas lancé moins de douze « Saphirs » (constitués des premier et deuxième étages Diamant, pour la pro-

pulsion). Elle mène d'autre part, avec diligence, l'étude et la mise au point des engins balistiques SSBS et MSBS, ayant déjà enregistré de nombreux succès dans des lancements à partir de silos aussi bien qu'à partir de plates-formes sous-marines.

Les succès spatiaux qui ont fait connaître la SEREB au grand public sont le fruit d'un travail d'équipe auquel ont concouru, avec les deux Directions spécialisées — Etudes et Affaires spatiales, Programme militaire — celle des Essais, le Groupe « Mise en œuvre et Déploiement », de même que le Centre technique de Contrôle et d'Assemblage final, leurs techniciens ayant été aidés et appuyés par une Direction administrative et financière efficace.

C'est pourquoi la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale — qui a été honorée de compter parmi ses conférenciers, en 1966, Monsieur Roger Chevalier, Directeur Technique de la SEREB — est fière de pouvoir attribuer à cette Société la Médaille Giffard, destinée à récompenser les progrès accomplis dans le domaine des machines motrices.

Les détonations de vol supersonique (*)

par M. THÉODORE VOGEL

Directeur du Centre de Recherches Physiques du C.N.R.S., Marseille

Tout le monde a entendu parler des détonations provoquées par le vol des avions supersoniques, et a pu lire dans les journaux des informations sur les dommages qu'elles causeraient. Les unes sont pessimistes, voire effrayantes : des vitres se briseraient, des immeubles se lézarderaient, des vaches avorteraient, des poules cesseraient de pondre, que sais-je encore ? On a même parlé récemment de brûlures graves causées à l'homme. D'autres, et qui émanent de sources qu'on pourrait espérer sérieuses, sont lénitives : les 9/10^{es} d'une population abondamment arrosée de détonations n'y auraient rien trouvé à redire, et, pour tout résumer, l'effet est comparable à celui d'une porte qu'on fermerait brusquement.

Je suis heureux que la Société d'Encouragement ait désiré une mise au point sur une question aussi controversée, au moins dans la littérature de vulgarisation ; cette façon sereine de ne pas esquiver les aspects inquiétants du progrès technique marque sa confiance dans le bilan de ce progrès. Je me propose d'abord d'expliquer la nature du phénomène, puis d'examiner ses effets avérés, et enfin de donner mon opinion sur la vraisemblance ou la possibilité de ceux qui ne sont pas attestés de façon irréfutable ; je crois pouvoir le faire sans passion, n'ayant été et n'étant lié en aucune façon avec les constructeurs, ni avec l'Armée de l'Air, ni avec l'Aviation civile.

(*) Conférence faite à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, le 27 octobre 1966.

I. — ORIGINE DU BRUIT DE DETONATION EN VOL SUPERSONIQUE

Les sensations sonores sont produites par les ébranlements de l'air qui viennent frapper l'oreille. Celle-ci n'est pas impressionnée par n'importe quel ébranlement, de même que l'œil n'est pas sensible à n'importe quelle lumière, mais il ne faut pas croire que seules des condensations et raréfactions périodiques sont audibles. La notion de spectre sonore, familière à quiconque s'est intéressé à la musique, est la même que celle de spectre lumineux : tout comme le prisme décompose la lumière en ondes de fréquences déterminées, correspondant à des sensations colorées bien définies, on peut considérer tout ébranlement de l'air comme composé d'ébranlements périodiques de fréquences déterminées. Parmi elles, l'oreille ne perçoit que celles qui ne sont ni trop basses ni trop élevées (sons « audibles », par opposition aux « infrasons » que l'organisme perçoit autrement que par l'oreille — courants d'air dus à l'ouverture ou à la fermeture d'une porte, etc. — et aux ultrasons, dont l'action sur l'organisme est plus subtile). Un ébranlement transitoire brusque de faible durée possède un spectre étendu, en partie audible, où l'accumulation des composantes produit la sensation d'un claquement ou d'une détonation, suivant son intensité : ce phénomène sonore *sui generis* accompagne toute discontinuité brusque de pression qui vient frapper l'oreille.

Or, considérons un mobile ponctuel fendant le fluide compressible qu'est l'air : son mouvement trouble le champ des pressions, ce qui se traduit par la naissance d'ondes aériennes en chaque point de la trajectoire, et par leur propagation ultérieure suivant les lois propres à l'acoustique. En atmosphère parfaitement homogène, l'onde qui a pris naissance en un point P possède au temps t un front qui est la surface de la sphère S de rayon ct centrée sur P ; c est la vitesse du son, de l'ordre de 340 m/s. Mais au temps t , le mobile est en P' distant de P de la longueur vt

comptée le long de la trajectoire (v vitesse du mobile) ; tout point de la trajectoire situé entre P et P' aura émis, au moment t' du passage, une onde sonore dont le front à l'instant t est la surface d'une sphère de rayon $c(t-t')$. Il est clair que si P' est à l'intérieur de S (c'est-à-dire si $v < c$), toutes ces sphères seront entièrement intérieures à S (fig. 1) : un observateur situé en un point Q quelconque percevra successivement les arrivées des fronts d'onde correspondant aux positions successives du mobile, et l'apport d'énergie acoustique sera à chaque instant en raison de la perturbation de pression sur la trajectoire, perturbation qui variera assez

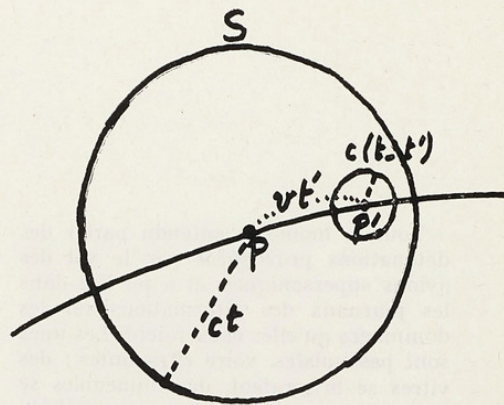


FIG. 1. — Mouvement subsonique

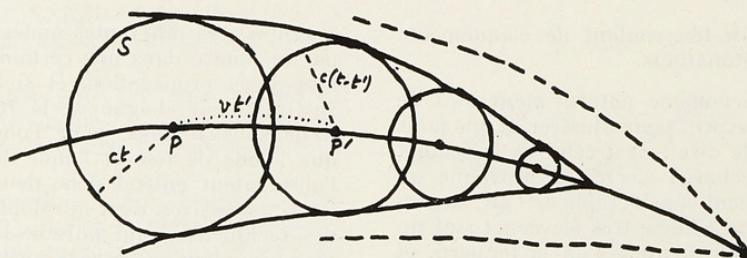


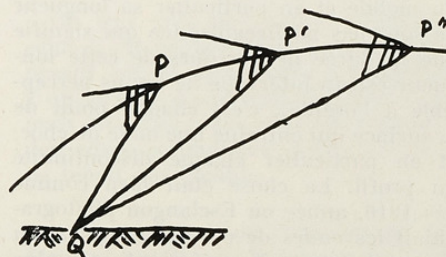
FIG. 2. — Mouvement supersonique ; formation d'une onde de choc

lentement puisque v est relativement faible. Si la trajectoire est continue, on percevra un sifflement de fréquence relativement basse (« bruit aérodynamique » du mobile) ; cette fréquence pourra éventuellement être affectée d'une variation par effet Doppler lorsque le mobile passera au droit de l'observateur.

Tel est l'effet acoustique d'un mouvement en régime subsonique $v < c$; on remarquera que le mobile n'est nullement supposé être le siège d'une source sonore, comme l'est un avion ; s'il l'était, les ondes émises par la source mobile se superposeraient à celles que provoque la perturbation de l'air par le mouvement. L'hypothèse d'une atmosphère homogène est sans importance, nous ne l'avons faite que pour pouvoir raisonner simplement sur des fronts d'onde sphériques et pour négliger les affaiblissements variables suivant la position du mobile, le vent, etc.

Supposons maintenant que v soit supérieure à c (régime supersonique) : les choses se passent tout autrement, comme on s'aperçut dès qu'on eût fabriqué, il y a une centaine d'années, des armes lançant des projectiles à plus de 340 m/s de vitesse initiale. Quelle que soit la valeur de t , les ondes émises sur le parcours PP' auront des parties extérieures à S (fig. 2), et leur famille admettra pour enveloppe une surface conoïde ayant son sommet au point où se trouve le mobile à l'instant considéré : le mo-

bile traîne en quelque sorte derrière lui cette queue, à l'intérieur de laquelle l'air est troublé alors qu'il ne l'est pas à l'extérieur, de sorte qu'une discontinuité de pression se manifeste en tout point de sa surface. Cette enveloppe est dite « onde de choc attachée au mobile ». Lorsqu'au cours de son déplacement l'onde de choc passe par le point Q où se trouve l'observateur, celui-ci perçoit, suivant l'énergie apportée et la nature du spectre déterminée par les circonstances du mouvement, un « claquement » ou une « détonation », comme on l'avait dit il y a un instant. Suivant l'allure de la trajectoire, il pourra arriver que le point Q soit atteint plusieurs fois par l'onde de choc (fig. 3). L'effet sonore sera

FIG. 3. — L'observateur en Q perçoit successivement trois détonations qui correspondent aux passages du mobile par P , P' et P''

celui d'un feu roulant de claquements ou de détonations.

Un phénomène naturel vient tout de suite à l'esprit, pour illustrer ce que nous venons de dire : c'est celui de la foudre, où la décharge électrique provoque un ébranlement considérable de l'air, se propage à une vitesse très élevée, et suit un chemin tourmenté : d'où le tonnerre et ses roulements. Il est extraordinaire qu'un effet acoustique aussi notable et aussi fréquent n'ait jamais été étudié du point de vue purement sonore.

Lorsque le mouvement du mobile n'est pas uniforme, l'onde de choc naît à l'instant et au point où la vitesse du mouvement dépasse celle du son, et cesse d'être entraînée par le mobile dès que la vitesse de celui-ci devient inférieure à c : elle se détache alors de lui (« onde de choc détachée »), et continue à se propager comme le ferait toute perturbation sonore, à partir de la configuration qu'elle affectait au moment où elle s'est détachée ; cette propagation a naturellement lieu à la vitesse du son. En mouvement varié, on conçoit que le mobile puisse émettre ainsi une succession d'ondes de choc détachées, qui viendront frapper l'oreille de l'observateur à des instants qui dépendront des distances des différents points où elles se seront détachées.

Nous avons envisagé jusqu'ici le cas d'un mobile perturbateur ponctuel. Si l'on passe au cas réel, où les dimensions du mobile et en particulier sa longueur ne sont pas négligeables (ce qui signifie que la durée de parcours de cette longueur est un intervalle de temps perceptible à l'oreille), c'est chaque point de la surface qui entraîne une onde de choc, et en particulier chaque discontinuité du profil. La chose était bien connue dès 1916, année où Esclançon photographiait les ondes de choc attachées à un obus, et montrait nettement, en plus de celle de l'ogive, des ondes attachées à la ceinture et au culot [1]. Pour un avion, chaque modèle possède un train caractéristique d'ondes de choc, qu'on appelle sa « signature » (fig. 4) ;

toutefois, ces différentes ondes finissent par se fondre dans une certaine mesure lors de la propagation, et si le sol est suffisamment éloigné de la trajectoire, il ne subsiste plus, pour l'observateur, que l'onde de tête et l'onde de queue : l'observateur entend donc deux détonations successives, c'est le « double bang » des techniciens, qui puisent leurs onomatopées dans le langage américain.

On voudra bien retenir de ces explications que le phénomène dure autant que le mouvement supersonique ; il n'est nullement limité aux instants où l'avion « traverse le mur du son », comme on l'a souvent dit. L'origine de l'erreur commune tient sans doute au fait que la « traversée du mur du son » a été au début une acrobatie, le régime supersonique ne pouvant être atteint qu'en piqué sur les avions anciens, donc pendant un instant très court. Si certains d'entre vous croyaient qu'il serait efficace de donner aux pilotes des instructions pour qu'ils ne traversent pas le mur du son au-dessus des lieux habités, comme il a été suggéré, j'espère vous avoir montré que c'est une illusion à abandonner.

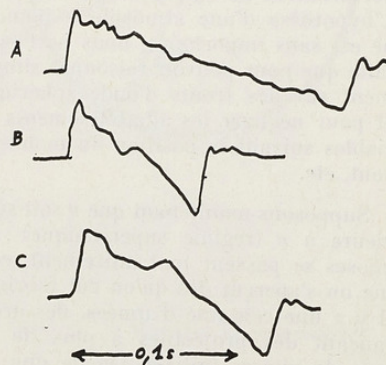


FIG. 4. — Signatures de quelques avions à réaction

II. — DONNEES QUANTITATIVES SUR LES DETONATIONS DE VOL

Pour aller plus loin dans l'étude de notre phénomène, il faut en donner maintenant une description quantitative.

1° L'intuition, parfaitement confirmée par l'expérience, permet de prévoir que le front du mobile comprimerait l'air, et que la queue laissera derrière elle une dépression. L'onde de détonation au voisinage de la trajectoire doit donc présenter une surpression à front raide, suivie d'une décroissance graduelle de la pression, jusqu'à une dépression dont l'ordre de grandeur en valeur absolue est celui de la surpression ; cette dépression disparaît brusquement lorsque l'onde est passée. En schématisant quelque peu, on dit que l'onde affecte la forme d'une N ; en fait, voici le résultat typique d'une observation faite à 15 m au-dessus du sol (fig. 5) [2].

La durée et l'étendue du processus sont faciles à évaluer : il s'étendrait sur la longueur de l'avion au voisinage de la trajectoire, ce qui correspondrait à 0,1 s pour un avion de 35 m volant à 350 m/s. La propagation des ondes de surpression et de dépression étant inégalement affectée par l'atmosphère, il y a un certain étalement au sol, variant entre 100 et 300 m environ et de 0,05 à 0,4 s (rappelons que le Concorde doit avoir 55 m de long, et une vitesse de croisière de l'ordre de 850 m/s).

2° Le second point, et le plus important, concerne l'amplitude de la surpression. La théorie assez compliquée, dont les bases ont été jetées par Whitham en 1952 [3], et à laquelle des contributions importantes ont été apportées récemment, notamment par M. Guiraud, de l'ONERA, en 1964 [4], conduit à des résultats qui ont été assez bien vérifiés par l'expérience en vol et en soufflerie. « Grosso modo », $\Delta p_{\max} = A p h^{-3/4} B^{1/8}$, où A est un facteur qui dépend de la forme, des dimensions et du poids de l'avion ; p est la pression atmosphérique

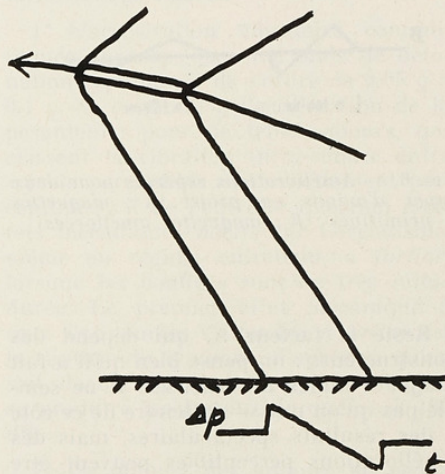


FIG. 5. — Onde en N au sol

que ambiante (comme elle varie avec l'altitude, on prend en première approximation la moyenne géométrique entre ses valeurs sur la trajectoire et au sol), h est l'altitude, et $B = (v^2 - c^2)/c^2$ le facteur de vitesse.

On voit tout de suite que l'effet de celui-ci est négligeable : du fait de l'exposant $1/8$, la surpression s'élèverait de 2 dB lorsque v passerait de $1,25 c$ à $3 c$; mais même ce faible effet est annulé par des effets secondaires dont la formule ne tenait pas compte.

L'augmentation de l'altitude est doublement bénéfique : le facteur en h diminue de 4,5 dB lorsque h double ; et de plus la raréfaction croissante de l'air diminue p : au total, on gagne 6 dB environ en passant de 9 000 à 18 000 m.

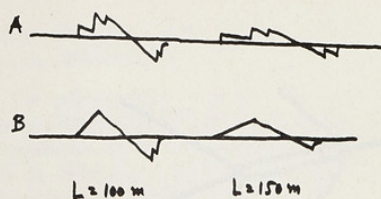


FIG. 6. — Améliorations espérées pour deux types d'avions en projet (A : maquettes primitives ; B : maquettes améliorées)

Reste le facteur A, qui dépend des constructeurs : on pense bien qu'il a fait l'objet d'études minutieuses. Il ne semble pas qu'on puisse s'attendre de ce côté à des résultats spectaculaires, mais des améliorations perceptibles peuvent être attendues en ce qui concerne les fuselages longs et minces, comme le sont ceux des longs-courriers supersoniques actuellement en projet (fig. 6) : ces améliorations seraient, dans les conditions les plus favorables, de l'ordre de 6 dB. De plus, pour ces avions le champ aérodynamique « proche » s'étendrait jusqu'au sol : les ondes de choc attachées aux différentes parties du fuselage n'auront donc pas eu le temps de se fondre et de s'accumuler, l'onde de détonation aura de ce fait, peut-on présumer, une forme

moins abrupte ; cet avantage est sans doute plus important dans ses effets que le gain de 6 dB. Tous ces pronostics sont en accord avec les résultats obtenus en soufflerie sur maquettes, ils seront donc très vraisemblablement vérifiés [5].

Voici donc les gains que l'on escompte obtenir. Mais que sont les niveaux atteints dans la pratique actuelle ? Je dois signaler d'abord que l'usage est de les noter en surpressions maximales ; c'est un usage que je crois critiquable, et que je ne suivrai pas. En effet, il est bien connu que les effets acoustiques suivent une loi approximativement logarithmique, et c'est en décibels qu'on les exprime ; je rapporterai donc les surpressions de choc au seuil universellement admis de 2.10^{-4} dy/cm² : les décibels ainsi obtenus pourront être comparés à ceux que donnent d'autres bruits, étant entendu que, s'agissant de perturbations très brèves, leur effet acoustique ne pourra qu'être inférieur à celui d'un bruit continu de même niveau. L'évaluation de l'intensité des détonations en unités (linéaires) de pression dérouta le lecteur, même s'il est averti des questions d'acoustique usuelle, et ne lui permet pas de faire la comparaison avec des bruits connus ; elle incite certains auteurs à présenter comme effrayante la perspective d'une augmentation de niveau de l'ordre de 150 % (soit 3,5 dB), ce qui est un éclairage au moins partial.

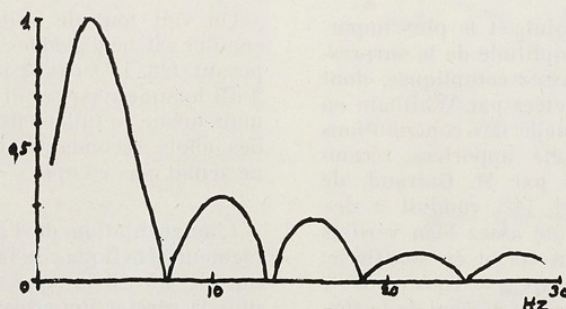


FIG. 7. — Spectre de l'onde A de la figure 4

Ceci dit, le bruit total perçu lors d'un vol normal en altitude est de l'ordre de 130 dB, niveau qui peut se trouver majoré de 6 à 10 dB par suite de focalisation ou d'incidents de vol : le spectre de la perturbation est, pour une détonation typique de 0,2 s, 115 dB à 3 Hz, 105 à 10,95 à 15, puis une décroissance de 6 dB par octave : on voit que la majeure partie de l'énergie est concentrée dans la bande des fréquences infra-sonores ou à peine audibles. L'impulsion $I = \int_0^t p dt$ correspondante est de 0,5 à 1 kg-s/m² (fig. 7).

J'ai mentionné des majorations sensibles de niveau qui peuvent se produire s'il y a une caustique, mais surtout si la vitesse de vol varie fortement. Des vols d'entraînement un peu acrobatique et à basse altitude pourront donner lieu à des surpressions cent fois plus grandes, donc à des niveaux de l'ordre de 175 dB : nous sommes là dans une zone de nocivité bien différente de la précédente, et j'y reviendrai [6].

Lorsqu'on s'écarte de la projection de la trajectoire, les détonations ne décroissent pas rapidement en intensité : si dans la formule que j'ai donnée tout à l'heure on remplace $h^{3/4}$ par $l^{3/4}$, avec $l = h/\cos \theta$, on voit qu'il y aura une décroissance de 6 dB lorsque θ atteindra 53°. On en conclut qu'un vol à 20 000 m d'altitude crée un couloir de 50 km de large environ, où les détonations ne sont pas inférieures de 6 dB à ce qu'elles sont sous la trajectoire. Si les vols supersoniques devenaient la règle dans l'Aviation civile, les couloirs où les détonations sont sensibles couvriraient tout le territoire de la France.

III. — EFFETS NOCIFS DES DETONATIONS SUR LES PERSONNES

Nous allons maintenant examiner les effets nocifs éventuels des détonations dont les caractéristiques ont été précisées ; nous passerons successivement en revue les effets sur la santé et sur le

confort des personnes, sur les immeubles et sur les animaux domestiques, dans la mesure où nous possédons des informations fiables.

1° L'accélération vibratoire communiquée au corps par une onde de détonation typique est de l'ordre de 0,05 *g* à 0,1 *g*, en dénotant *g* l'accélération de la pesanteur : pour de telles valeurs, qui classent la vibration infra-sonore entre « juste perceptible » et « nettement perceptible », il ne peut être question d'effets mécaniques nocifs sur l'organisme, même en régime entretenu, *a fortiori* lorsque les bouffées sont de très faible durée. Le premier effet mécanique à quoi l'on puisse s'attendre *a priori* est la rupture du tympan : d'après ce qu'on sait de cet accident, il ne devrait pas se produire au-dessous de quelques 190 dB.

2° La plupart des auteurs ne signalent que des effets physiologiques bénins : un bourdonnement d'oreilles passager à partir de 160 dB, mais apparemment aucune perte d'acuité auditive (audiogrammes relevés un instant après le passage d'une onde à 155 dB, ou trois heures après une détonation à 170 dB). L'accélération communiquée à l'organisme provoque un effet otologique désagréable, mais qui disparaît immédiatement : au cours de la détonation, les contours des objets environnants semblent se déformer légèrement [7].

Il faut citer ici les travaux récents de B. Metz et de ses élèves, qui ont trait à des bruits industriels, mais parmi eux à des chocs se rapprochant beaucoup de nos détonations (fondamental à 7 Hz, niveau allant jusqu'à 90 dB) : ces chocs provoquent un pincement passager du cardiogramme et un ralentissement du rythme cardiaque. Il ne serait donc pas superflu d'examiner soigneusement les effets possibles des détonations sur les sujets atteints d'affections cardiaques [8].

3° Il ne suffit pas de ne pas infliger de lésions aux gens, il faut encore considérer leur confort, évaluer la gêne causée. Il faut d'abord souligner que nous

abordons des questions mal connues, gouvernées par des sentiments subjectifs ; tout ce qu'on peut en dire est discutable et discuté. Les organismes nationaux et internationaux se sont à peine mis d'accord sur un projet d'évaluation de la gêne due au bruit, que déjà leurs propositions sont battues en brèche : or, il s'agit du cas, bien plus simple que le nôtre, où les bruits ont un niveau constant pendant des heures. Il est à peu près certain que des perturbations brèves sont jugées moins gênantes par la plupart des sujets, à moins de circonstances aggravantes et notamment d'effet de surprise ; une enquête en Angleterre montrerait que des détonations de 134 dB de surpression instantanée sont jugées par le public comme équivalentes, du point de vue de la gêne, à des bruits continus de 100 à 105 dB [7]. On serait sans doute davantage dans le vrai si l'on comparait ces détonations au bruit du tonnerre, qui est sensiblement de même nature ; malheureusement les données sur le tonnerre sont quasi inexistantes. Il semblerait que la surpression qu'il provoque soit de l'ordre de 130 dB lorsque la foudre tombe « très près » du point d'observation.

Parmi les effets gênants possibles, il convient sans doute de mentionner en premier lieu le trouble de sommeil, et on va voir dans un instant que c'est un des sujets de plainte les plus fréquemment exprimés par une population qui n'a pourtant été soumise qu'à des détonations de jour (mais il faut penser aux personnes travaillant la nuit et se reposant le jour). Ici encore, les recherches de l'école de B. Metz ont fait apparaître une amplification très nette des mouvements musculaires des dormeurs lors des chocs mentionnés plus haut ; or, ces mouvements sont un indice du degré de profondeur du sommeil. Il est assez vraisemblable que des personnes ayant le sommeil léger (ce qui n'était pas le cas des jeunes étudiants qui ont servi de sujets dans les expériences citées) seraient réveillées par les détonations, et auraient de la peine à se rendormir. On peut donc tenir pour plausible l'affirma-

tion de Lundborg (adversaire farouche des vols supersoniques, et dont les affirmations sont peut-être parfois exagérées) [13], selon qui le trouble causé au sommeil des populations serait un des effets les plus néfastes des détonations de nuit.

On peut faire quelques réserves sur les résultats d'enquêtes, lorsqu'elles sont financées par un organisme intéressé dans le débat ; il serait cependant exagéré de ne pas tenir compte d'expériences faites avec beaucoup de soin. Nous avons des comptes rendus détaillés de celles d'Oklahoma City (1964, Office Fédéral de l'Aviation civile américaine et N.O.R.C.) [9] et de Saint-Louis (1961-62, Armée de l'Air américaine et N.A.S.A.) [7], et des informations plus sommaires sur des expériences et enquêtes anglaises [10].

Voici en gros les résultats d'Oklahoma City (3 000 personnes interrogées après un régime de huit détonations par jour pendant six mois, à 130 dB environ) :

a) Résultats globaux : plus de 50 % des sujets trouvent les détonations « plus qu'un peu irritantes » ; la légère variation de niveau dans les quartiers éloignés de la trajectoire n'a pas à cet égard d'effets marqués. On notera que 70 % des sujets pensent qu'ils « pourraient s'y faire à la longue » ; mais on tiendra compte du fait qu'un tiers de la population de la ville vit plus ou moins de l'aviation.

b) Les aspects gênants mentionnés par les personnes interrogées sont les bruits et les vibrations des ustensiles et des meubles (cités par 90 % des sujets ; 33 % en sont irrités « plus qu'un peu ») ; l'effet de surprise (cité par 40 % des sujets, dont 20 % en sont irrités « plus qu'un peu ») ; la gêne au sommeil ou au repos (18 %, dont 10 % sont irrités) ; la gêne à la conversation ou à l'écoute de la radio (14 %, dont 5 % irrités).

c) 46 % des personnes habitant dans un couloir de 20 km de large axé sur la projection de la trajectoire ont estimé avoir subi des dommages mobiliers ou

immobiliers (la plupart une fois au cours des six mois, d'aucuns deux ou même trois fois) ; mais 5 % seulement ont porté plainte. J'ignore la suite qui a été donnée aux plaintes, mais vais revenir dans un instant sur la question des dommages probables, qui est très importante.

A Saint-Louis, l'enquête a porté sur les effets d'une soixantaine de détonations (entre 120 et 155 dB) dues à des vols militaires d'entraînement ; 1 145 personnes ont été interrogées. Elles se sont révélées de moins bonne composition que les habitants d'Oklahoma City (il est vrai que certaines détonations furent plus fortes que dans cette ville), mais les causes de gêne indiquées sont les mêmes et dans le même ordre de fréquence. Un certain nombre de plaintes a fait l'objet d'une enquête technique de l'Armée. Je cite le rapport : « En l'absence de critères architecturaux ou techniques pour juger du bien-fondé des plaintes, les experts se sont fondés sur leurs connaissances techniques, sur leur expérience, et ont jugé de leur mieux. » En somme, 35 % des plaintes ont été considérées comme sans fondement, 45 % comme dénuées de preuves, 20 % comme peut-être dues aux détonations. Finalement, les auteurs du rapport croient qu'il n'y a pas d'effets dommageables aux constructions au-dessous de 137 dB ; les protestations de la population commencent vers 130 dB, et prennent de la force vers 134 dB.

IV. — DOMMAGES AVERES ET POSSIBLES

Il n'y a pas de difficulté de principe à traiter *a priori* de la question des dommages aux habitations : l'impédance d'une structure déterminée est en principe connue, la forme de l'excitation (onde en N) l'est également, la réponse doit donc pouvoir être déterminée sans difficulté, et comparée aux échelles admises en matière de sécurité. En fait, les impédances des immeubles réels sont inconnues, et d'ailleurs extrêmement diverses ; nous sommes donc réduits, pour

fixer nos idées, à recourir aux mesures publiées, assez rares, et qui portent d'ailleurs sur des types d'habitations assez particuliers. Nous connaissons trois rapports assez détaillés pour être utilisés ici : ceux du F.A.A. pour Oklahoma City 1964 (réponses de onze types d'immeubles, en briques ou en bois, du genre pavillon résidentiel modeste très répandu aux Etats-Unis) [2] et pour White Sands, N.M. en 1964/65, sur des maisonnettes et des baraquements militaires [11] ; celui de la Building Research Station britannique (1957) sur des bâtiments ruraux à étage et sans étage, en briques et à charpente de bois [10]. Il semble qu'on puisse résumer tous ces résultats, assez concordants, en disant :

a) que les vibrations excitées ont des fronts relativement mous, et des fréquences fondamentales de l'ordre de 3 à 10 Hz ;

b) que les amplitudes maximales sont de l'ordre de 100 μ pour les murs, et peuvent aller jusqu'à 600 μ pour les tuiles des toits, avec des accélérations maximales de 0,1 g et de g respectivement.

On voit que les structures légères telles que les toits en tuiles sur charpentes de bois sont rudement secouées ; on peut prévoir des chocs bruyants, sinon des dommages. Les parties plus lourdes, elles, subissent des déplacements qu'il paraît légitime de considérer, vu leur forme, comme moins dangereux, mais du même ordre que des vibrations harmoniques permanentes de mêmes amplitudes et accélérations.

Comme vous le savez, des échelles nombreuses et imparfaitement concordantes ont été proposées pour juger de la sécurité des constructions soumises à des vibrations permanentes ; j'ai cru, après réflexion, pouvoir m'arrêter à l'une des plus récentes, le SWD1, proposée par M. Ciesielski au colloque international de la R.I.L.E.M. qui s'est tenu en 1963 à Budapest [12].

Dans cette échelle, les vibrations que l'on vient de décrire se classeraient en

général dans la catégorie II, ainsi libellée :

« Vibrations sensibles mais inoffensives ; la sécurité de la construction n'est pas en danger, mais des répétitions fréquentes conduiraient à un vieillissement accéléré »,

et exceptionnellement dans la catégorie III :

« Début de fissures et quelques dégâts locaux, réduction de la vie utile du bâtiment, mais aussi réduction de sa sensibilité aux vibrations dans l'avenir. Pas de risque de dommage immédiat. »

Ces conclusions tirées des mesures sont en bon accord avec les constatations que les experts anglais et américains ont faites sur les maisons témoins :

1° Les enduits de plâtre sur le bois commencent à présenter des craquelures de l'épaisseur du cheveu au-delà de 140 dB, de même pour les couches de peinture sur les têtes de pointes ; les lézards existants sont nettement agrandies.

2° Les vitres présentant de légères fentes sont en général brisées au-dessus de 146 dB, des vitres intactes mais minces peuvent l'être parfois.

3° Ustensiles et meubles bien fixés ne bougent pas, mais les équilibres instables sont détruits ; des bibelots négligemment posés sont tombés et se sont brisés.

L'importance des dégâts est évidemment accrue par toute résonance entre l'excitation et une partie de la structure : sur le nombre immense de bâtiments qui seront compris dans les couloirs de détonation si les vols supersoniques civils se généralisent, il est bien évident qu'il y en aura qui comprendront des parties ayant une fréquence propre entre 1 et 20 Hz : il y aura donc ici et là des dégâts plus forts ; en moyenne, il n'y a pas de catastrophe à prévoir pour les constructions en bon état, mais telles seront condamnées en tout ou en partie qui eussent peut-être pu durer longtemps encore.

Dans quelle mesure les détonations sont-elles alors responsables du dommage ? La question est délicate, car les circonstances possibles sont infiniment variées. Une structure (y compris d'ailleurs un être vivant) peut se trouver dans un état latent d'insécurité par l'effet du vieillissement naturel (usure ou diminution de résistance de ses parties constitutives), par celui de traumatismes antérieurs (début de criques, de dislocations, etc.), ou par suite d'un défaut dans sa conception même ; une perturbation d'une certaine amplitude et ayant telle caractéristique causera alors sa destruction, et il s'agit de savoir si cette perturbation est de l'ordre de celles à quoi il faut s'attendre (vibrations dues à la circulation normale de véhicules, contraintes dues au vent ou aux variations diurnes de température, etc.) ou non. Dans le premier cas, la responsabilité de l'accident incombe, semble-t-il, plutôt à ceux qui auraient dû se rendre compte de l'état d'insécurité (dans la mesure où nos connaissances le permettent), et consolider ou détruire délibérément la structure ; dans le second, elle incombe évidemment à qui a provoqué la perturbation exceptionnelle. Il n'est pas facile de trancher, pour tel monument qui se serait effondré lors d'une détonation, faute d'une expertise sérieuse de son état antérieur ; paradoxalement, ce sont les dégâts mineurs, qui laissent intacte une grande partie de la structure (enduits craquelés, tuiles brisées) qui sont le plus aisément attribués à une cause déterminée.

Parmi les perturbations naturelles comparables à la détonation, nous avons cité le tonnerre : ses effets, généralement plus faibles, ne semblent cependant pas (dans la mesure où ils sont connus) différer d'un ordre de grandeur : les accélérations communiquées aux parois d'un immeuble par un coup de tonnerre proche sont de l'ordre de 0,05 g.

Rappelons enfin que tous les essais dont nous venons de parler concernent des vols « normaux », causant des surpressions de quelque 130 à 140 dB.

Il resterait à parler des effets des détonations sur les animaux domestiques, de basse-cour, et d'élevage, ainsi que sur le gibier : nous ne disposons malheureusement d'aucune donnée fiable ou concluante. Des témoignages convergents sembleraient montrer que la ponte est affectée par l'effroi que causent les détonations, mais nous ignorons dans quelle mesure elle l'est ; l'éclosion des poussins (en couveuse) n'a pas été troublée à White Sands. D'autre part, Lundberg mentionne [13] les dommages causés aux élevages d'animaux à fourrures, apparemment très craintifs, mais nous ne connaissons pas de rapport circonstancié sur la question.

V. — CONCLUSIONS

On peut résumer comme suit les conclusions qu'appellent les informations que nous venons de donner sur les détonations de vol supersonique et sur leurs effets :

1° La détonation est un effet naturel du vol à vitesse supersonique ; on ne peut la supprimer, et il semble peu probable qu'on puisse l'atténuer de façon notable. Il faut donc accepter l'idée que si les vols supersoniques se généralisent, toute la population du pays subira, plusieurs fois par jour, de telles détonations, et qu'il n'y aura, en ce qui les concerne, ni quartiers ni régions calmes, où l'on pourrait installer hôpitaux ou maisons de repos.

2° Aux vols réguliers à haute altitude

correspondent des détonations qui ne causent, en général, que des dégâts mineurs. Il peut, au contraire, en résulter de notables s'il y a une focalisation importante des ondes de choc, et surtout si des vols ont lieu à basse altitude. Il est bon de noter que, loin de minimiser la chose, l'Armée de l'Air américaine impose à ses pilotes de ne dépasser la vitesse du son qu'au-dessus de 9 000 m d'altitude, ou dans les zones destinées aux essais, et situées dans les régions désertiques du pays [6].

3° Il faut donc envisager séparément la question des vols supersoniques, selon qu'il s'agit d'appareils militaires ou civils : pour les premiers, une réglementation sévère s'impose, qui ne manquera pas d'entraîner des difficultés, car nous ne disposons pas, comme les Américains, de vastes régions désertiques ; pour les seconds, il faut bien peser le pour et le contre, avant de décider si les effets désagréables ou nocifs dont nous avons parlé sont un prix raisonnable du progrès technique ou s'il vaut mieux renoncer aux avantages (qu'il faudrait bien expliciter) de liaisons aériennes plus rapides, vu les inconvénients qu'elles entraîneraient.

Nous n'avons, sur ce point, montré qu'un des volets du dyptique, et nous nous garderons donc de conclure ici ; mais il ne faudrait pas que les développements de la technique nous mettent devant le fait accompli, comme cela a été le cas pour les problèmes de la circulation routière et urbaine, sans que la question ait été envisagée sous tous ses aspects et une décision prise à bon escient.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ESCLANGON (E.). — L'acoustique des canons et des projectiles. *Mémorial de l'Artillerie française*, 4 (1925), 3^e fasc., 1-388.
- [2] *Final Report, Structural Response to Sonic Booms*, F.A.A. Rept S.S.T.-65-1, vol. 1 et 2 (fév. 1965).
- [3] WHITHAM (G.B.). — The flow pattern of a supersonic projectile. *Comm. on pure and appl. math.*, 5 (1952), 301-348.
- [4] GUIRAUD (J.-P.). — Théorie du bruit balistique provoqué en atmosphère non homogène par le vol

- d'un avion supersonique. Note O.N.E. R.A. n° 79 (1964). Bruit balistique et focalisation. *C.R. Acad. Sc.*, 258 (1964), 5148.
- Cf. aussi LILLEY (G. M.). — The structure of shock waves at large distances from bodies travelling at high speeds. *5^e Congrès int. d'acoustique* (Liège), 1 (1965), 109-162.
- [5] CARLSON (H. W.) et McLEAN (F. E.). — The sonic boom. *Intern. sc. and technol.*, n° 55 (juillet 1966), 70-80.
- [6] Von GIERKE (H. E.). — The Air Force program on aircraft noise control, in *Alleviation of Jet Aircraft Noise near airports*, Rept. J.A.N.P. (mars 1966).
- [7] Sonic-boom Symposium. *J.A.S.A.* 39 (mai 1966), S1-S79.
- [8] METZ (B.) et coll. — Présentation d'une recherche expérimentale sur les effets du bruit au cours du travail et au cours du sommeil. *IV^e Congrès d'ergonomie de langue française*, Marseille, octobre 1966.
- [9] BORSKY (P. N.). — Community reactions to sonic booms in the Oklahoma City area. *Aerospace medical res. labs.*, Rept. n° A.M.R.L.-T.R.-65-37 (fév. 1965).
- [10] NEWBERRY, C. W. Measuring the sonic boom and its effects on buildings. *Materials res. and standards*, 4 (11), (1964), 601-611 ; et *Bldg. Res. Station Current Papers*, Res. Series, 32.
- [11] *Preliminary data Sonic boom structural response test program*, White Sands, N.M., F.A.A. Rept., n° SST 65-4 (17 mars 1965).
- [12] CIESIELSKI (R.). — Barèmes pour la taxation de l'influence des vibrations et des chocs dus aux causes extérieures sur les constructions de brique. *Rapports du colloque Rilem sur la mesure et l'interprétation des effets dynamiques et vibrations des constructions* (Budapest 1963), 19-30.
- [13] LUNDBERG (Bo). — Anticipated sonic boom noise disturbances due to supersonic transports, judged in relation to the possible gains by supersonic aviation. *3^e Congrès intern. pour la lutte contre le bruit* (Paris 1964), 69-75.

Performances récentes des turbines à gaz industrielles

Performances récentes des turbines à gaz industrielles

Performances récentes des turbines à gaz industrielles ^{)}*

I

INTRODUCTION GÉNÉRALE

par M. l'Ingénieur Général H. DE LEIRIS

Président du Comité des Arts Mécaniques de la Société d'Encouragement

Pour cette ultime séance de notre série de conférences 1965-1966, nous allons, si vous le voulez bien, reprendre une question où l'industrie française a, ces derniers temps, incontestablement marqué des points, tant dans notre pays qu'à l'étranger : cette question est celle de la turbine à gaz industrielle.

Je dis bien *reprendre*, car je n'aurais garde d'oublier que, voici à peine plus de deux ans, un de nos collègues du Comité des Arts Mécaniques, M. Chaffiotte, présentait ici même une turbine à gaz industrielle à hautes performances, étroitement inspirée des techniques aéronautiques en la matière.

Deux ans, c'est à la fois *long* et *court*. C'est *long*, parce que, l'évolution étant rapide dans le domaine dont il s'agit, on

peut en deux ans voir apparaître nombre de modèles nouveaux. C'est *court*, parce que la sanction de l'expérience en service ne saurait être définitivement acquise en deux ans pour du matériel industriel, et que, par conséquent, le moment n'est pas encore venu de dresser un bilan final, assignant sa juste place à chacune des constructions en présence.

Aussi bien n'est-ce pas un tel bilan d'ensemble qui vous sera présenté ce soir, mais seulement celui de deux années d'exploitation aux Etats-Unis d'une série de turbines à gaz industrielles *de la même construction*. Ainsi limitée, cette présentation ne doit cependant pas faire oublier les autres constructions françaises de turbines à gaz industrielles, que vous me permettrez de rappeler brièvement à présent.

(*) Séance de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, le 9 juin 1966.

La Société d'Exploitation des Matériels Hispano-Suiza a réalisé une série de turbines à gaz industrielles, dont plus de trente unités ont été vendues à l'étranger en deux ans. Utilisant la veine aérodynamique du turboréacteur axial R 804, homologué en 1958, ces turbines bénéficient de l'expérience de la production en série des turbines aéronautiques de la firme. Quant à la machine à trois arbres THM 1300, présentée ici en 1964 par M. Chaffiotte, sa réalisation, qui se poursuit avec l'aide de l'Etat, doit représenter une substantielle avance sur la concurrence étrangère.

La Société Alsthom et la Compagnie Electro-Mécanique construisent respectivement des turbines des types General Electric et Brown-Boveri. La première en particulier a installé à partir de 1961 en Afrique du Nord, pour des services variés (station de pompage télécommandée sur le pipe-line Hassi-Messaoud - Bougie ; production de courant sur le champ d'Hassi-Messaoud même ; usine de liquéfaction de gaz d'Arzew), six machines de 6 MW chacune, brûlant les unes du pétrole, les autres du gaz. La seconde a fourni depuis 1956, pour des centrales à gaz de haut fourneau, à gaz naturel ou à fuel, une douzaine de turbines de 7 à 20 MW, ayant dès à présent produit au total plus de 2.10^6 MWh.

Les turbines à gaz industrielles dérivées par Turboma des réacteurs aéronautiques de la S.N.E.C.M.A., sa société-mère, ont fait leurs débuts plus récemment avec une centrale « clé en main », commandée par Electricité de France pour la production à Villemandeur d'énergie en « pointe programmée » : d'une puissance de 10 MW, l'installation fonctionne automatiquement, la mise en route et l'arrêt étant commandés par une horloge préréglée et la montée à pleine charge se

faisant en trois minutes. D'autre part, tandis que se poursuit l'équipement de centrales pour l'usine de Corbeil de la S.N.E.C.M.A. et pour Electricité de France, un groupe propulsif marin, associant un moteur diesel avec une turbine à gaz de 12 MW, est de son côté en essai au banc à l'Etablissement des Constructions et Armes Navales d'Indret ; la « navalisation » de ce groupe suppose d'ailleurs une adaptation propre à lui assurer une résistance suffisante aux chocs dus à des explosions sous-marines, un fonctionnement correct en atmosphère humide et saline et une réduction à un niveau convenable des bruits émis de toute nature.

L'exposé plus détaillé qui va maintenant vous être présenté sera consacré aux réalisations de la Société Turboméca dans ce même domaine des turbines à gaz industrielles. Turboméca n'est, certes, pas inconnu dans cette maison, puisque son actuel Président, M. Szydlowski, a été lauréat de notre Société en 1950 ; mais bien entendu ce sont jusqu'ici ses réalisations en matière de turbomoteurs d'aviation qui ont fait sa réputation. Il appartient à l'Ingénieur Général Poincaré de nous montrer comment on peut passer de là à la turbine à gaz industrielle.

Avant de donner la parole à M. l'Ingénieur Général de l'Air Poincaré, je ne lui ferai pas l'injure de vous le présenter longuement : il est trop connu pour cela. Vous me permettrez cependant de saluer respectueusement en lui, non seulement le fils de l'illustre mathématicien, mais encore le polytechnicien de la promotion 1913 avec les titres de guerre que cela comporte, l'ancien ingénieur de ce corps du Génie Maritime dans lequel j'ai servi moi-même plus de quarante ans, enfin l'Ingénieur de l'Air à la longue et féconde carrière.

II

UN EXEMPLE :

Deux ans d'exploitation de centrales de production d'énergie équipées de turbines à gaz « Astagaz »

par M. l'Ingénieur Général POINCARE
Directeur à la Société Turboméca

PREMIERE PARTIE

I. — AVANT-PROPOS

Je voudrais aujourd'hui vous présenter quelques résultats obtenus, pendant plus de deux ans d'exploitation en service normal, dans des centrales de production d'énergie constituées aux U.S.A. avec des turbines à gaz conçues et construites en France.

Pour démontrer la rentabilité de petites centrales de production d'énergie alimentées au gaz naturel, et la possibilité de concurrencer un réseau de distribution électrique par un réseau de distribution de gaz, et pour promouvoir ainsi les ventes directes de gaz à la clientèle, des compagnies gazières américaines ont réalisé des centrales témoins, utilisées pour fournir à de grands buildings toute l'énergie dont ils ont besoin, sous quelque forme que ce soit.

Si, à côté de l'énergie mécanique fournie sur l'arbre d'un moteur thermique, on peut recueillir, et on sait utiliser l'énergie calorifique restant dans les gaz

d'échappement, on peut obtenir des rendements énergétiques élevés, puisque l'énergie calorifique ainsi récupérable peut, théoriquement, dépasser le double de l'énergie mécanique produite sur l'arbre.

Notre but n'est pas de décrire les solutions adoptées pour réaliser cette « utilisation intégrale » de l'énergie produite par un moteur thermique, que les Américains ont appelé : « Total Energy System ». Il n'est pas même de dresser un bilan complet de deux ans d'exploitation ; nous n'avons pas tous les éléments nécessaires pour cela, en particulier en ce qui concerne l'aspect financier du problème, éléments qui peuvent différer beaucoup d'une installation à l'autre par le degré d'automatisme que l'on se propose de réaliser.

Aussi voulons-nous nous limiter aux résultats techniques concernant les turbines à gaz utilisées, et au cas des seules turbines françaises pour lesquelles nous avons quelques chiffres relevés en cours d'exploitation.

II. - REALISATION DES CENTRALES TEMOINS

En collaboration avec Thompson Ramo Wooldridge pour l'installation générale, les Sociétés « Northern Illinois Gas Cy » et « Consolidated Gas Cy » ont décidé chacune de créer une centrale témoin. Connaissant les résultats obtenus en France, elles se sont adressées, pour les turbines à gaz, à « Continental Aviation », alors licencié de la Société française « Turboméca », qui venait de réaliser une turbine à gaz dérivée de son « turbomoteur Astazou », en remplaçant le système d'alimentation d'origine pour carburant liquide, par un dispositif nouveau, indépendant du précédent, spécialement conçu pour l'utilisation d'un combustible gazeux.

Ainsi équipé, l'Astazou III a pris le nom « d'Astagaz », et est devenu une turbine industrielle de 350 kW sur l'arbre. Aujourd'hui, profitant des modifications et perfectionnements apportés à l'Astazou dans ses versions X et XII, un Astagaz XII a été mis au point ; il développe 400 kW et peut être poussé à 440 kW. Avec une masse de moins de 200 kg il tient dans un cylindre de 1,50 m de long sur 0,50 m de diamètre, et, compte non tenu d'un surpresseur éventuel si le gaz n'est pas distribué à une pression suffisante, son rendement théorique dépasse 22,5 % à 400 kW et 23 % à 440 kW. Ce nouvel Astagaz peut prendre la place des anciens, mais ici, c'est bien de l'Astagaz 350 kW qu'il s'agit.

Compte tenu des pertes de charge de l'installation, à l'admission et à l'échappement, la puissance électrique de ces centrales n'était que de 310 kW par Astagaz. Deux centrales ont ainsi été réalisées en 1963, — l'une, « A », de 1 240 kW qui comporte quatre postes de travail identiques (turbine, alternateur, échangeurs, etc.), — et l'autre, « B », de 930 kW, qui n'en comporte que trois, pratiquement semblables à ceux de la centrale « A ».

Au total, sept postes de travail étaient ainsi à pourvoir, et onze Astagaz, parmi les tout premiers, ont été livrés par Turboméca à Continental. Les numéros de

ces moteurs, que nous utiliserons par la suite pour les désigner, ayant été donnés dans la série des Astazou, sont : 291, 292, 293 et 294, puis 300, 301, 302, 303, et enfin 310, 311 et 312.

De façon à utiliser ces turbines à leur régime économique, donc au voisinage de leur puissance maximale, un dispositif automatique était prévu pour couper un moteur dès que la puissance demandée peut être obtenue sans surcharge avec un moteur de moins, et inversement, lorsque la puissance demandée dépasse 310, 620 ou 930 kW, un dispositif automatique met un moteur de plus en marche. L'automatisme est même poussé si loin qu'un sélectionneur choisit le moteur à arrêter ou à remettre en route : celui qui a le plus tourné dans un cas, celui qui a le moins tourné dans l'autre ; ce luxe peut paraître un peu superflu, et risque d'amener simultanément tous les moteurs à fin de potentiel.

Par la suite, début 1965, une nouvelle installation a été réalisée à « l'Institute of Gas Technology » (I.G.T.), et le nombre des postes à pourvoir est passé à huit, sans qu'il ait été nécessaire pour cela de faire appel à un douzième moteur. Pour désigner ces huit postes, nous utiliserons les symboles : A₁, A₂, A₃ et A₄, pour la centrale A, puis B₁, B₂, B₃ et enfin C, pour le poste de travail de l'I.G.T., dit aussi centrale C.

La centrale A ayant commencé à tourner en juillet, et la centrale B en septembre 1963, avaient au 1^{er} janvier 1966 respectivement trente et vingt-huit mois d'existence, tandis que la centrale C n'en avait, elle, que douze.

III. - TERMINOLOGIE ET SYMBOLES

Les documents dont nous disposions consistaient surtout en deux séries de courbes : l'une de huit planches pour les postes de travail, l'autre de onze pour les moteurs pris individuellement.

Ces courbes s'étendent sur les trente ou vingt-huit mois, mais on peut dire que la fin de 1963 a été une période de mise au point générale de l'installation,

permettant au personnel de se familiariser avec des matériels et des équipements nouveaux. Nous considérerons donc surtout la période de deux ans qui correspond aux années 1964 et 1965, et les comparaisons en seront facilitées.

Nous avons cependant relevé aussi les heures faites avant le 1^{er} janvier 1964, qui seront pour nous les « heures antérieures » par opposition à celles dont peuvent être créditées les deux années de référence, que nous appellerons « heures normales », et à celles faites en janvier 1966, ou « heures suivantes » auxquelles nous aurons aussi à nous reporter. La somme — « heures antérieures » + « heures normales », et, éventuellement + « heures suivantes » — correspond au temps réel de fonctionnement de l'unité considérée (poste de travail ou moteur) : nous l'appellerons « heures totales », en précisant si besoin est « à telle date ».

Pour clarifier le langage, et simplifier les écritures, il faut aller plus loin. En premier lieu, pour serrer le problème de plus près, nous avons été amenés à décomposer la période de référence de deux ans en huit périodes trimestrielles ; nous les avons numérotées de 1 à 8, le chiffre 0 correspondant au début du premier trimestre (et à la fin des heures antérieures), et les chiffres 1, 2, etc. à la fin de chaque trimestre. Cela nous a permis d'étendre la notion d'heures totales ou d'heures normales à des périodes de moins de deux ans, et, par différences, de mettre en évidence des « heures par trimestre », d'où nous avons déduit des « cadences journalières moyennes » par trimestre, pour chaque unité (poste de travail ou moteur).

Nous désignerons alors les « heures totales » à une certaine date par le symbole H affecté d'un indice qui corresponde au trimestre auquel nous voulons nous arrêter ; nous ferons de même pour les « cadences journalières moyennes » par trimestre, qui seront repérées par la lettre k , et exprimées en heures et minutes, (les cadences sont calculées par trimestre pris uniformément à 91 jours, et pour un fonctionnement dimanches et fêtes compris).

Enfin, pour distinguer à quelle unité (poste de travail ou moteur), se rapportent les heures ainsi désignées, nous ferons suivre le symbole, H_3 par exemple, du symbole du poste de travail, ou du moteur placé entre parenthèses. Nous rencontrons donc des désignations comme $H_3(294)$, ou $k_3(A_2)$.

Il faut encore convenir que les symboles A ou B non affectés d'indices, désigneront l'ensemble des quatre postes de la centrale A, ou celui des trois postes de la centrale B, et que pour désigner l'ensemble des huit postes des centrales A, B et C nous emploierons la lettre P, et pour l'ensemble des onze moteurs la lettre M.

Précisons aussi la notion « d'étape » ; dans la carrière d'un moteur, les « étapes » seront pour nous des périodes continues pendant lesquelles ce moteur est resté monté sur le même poste de travail, sans rien préjuger d'ailleurs de la raison pour laquelle, en fin « d'étape », il a été descendu du poste de travail qu'il occupait pour être remplacé par un autre moteur.

La durée d'une étape peut être exprimée en mois de calendrier, ou, mieux, en heures de fonctionnement effectif ; elle fait alors connaître le temps de marche du moteur sans aucune autre intervention que celles, mineures, qui ont pu être effectuées sur le poste de travail lui-même sans l'immobiliser trop longtemps.

La notion « d'étape » s'apparente à la notion de « potentiel entre révisions générales », avec laquelle elle ne s'identifie cependant pas : les parties vitales peuvent ne pas avoir été touchées au cours d'une intervention, même faite en usine.

IV. - DOCUMENTS DE TRAVAIL

Un travail de dépouillement, suivi d'un travail de synthèse, nous a permis de remplacer les dix-neuf courbes d'origine par cinq planches d'une exploitation plus immédiate et plus facile, et finalement d'établir les documents de travail ci-après :

PLANCHE I
Calendrier d'utilisation des moteurs

Moteur N°	1 9 6 4				1 9 6 5			
	1 J F M	2 A M J	3 J A S	4 O N D	5 J F M	6 A M J	7 J A S	8 O N D
291	<u>A₂</u>							<u>B₂</u>
292			3 5 1 0		<u>3 3 2 0</u>	<u>A₁</u>		
293					<u>B₁</u>	<u>B₁</u>		
294			5 2 9 7	<u>B₂</u>		<u>B₂</u>		<u>A₃</u>
300		<u>A₄</u>	3 5 3 2				5 3 5 2 +	<u>A₂</u>
301	<u>B₁</u>	<u>A₃</u>			<u>B₂</u>	<u>A₃</u>	<u>A₄</u>	<u>C</u>
302						<u>C</u>	<u>B₂</u>	<u>A₄</u>
303					7 4 8 8			<u>B₃</u>
310			5 0 2 8	<u>A₁</u>			<u>A₃</u>	<u>A₁</u>
311		<u>A₃</u>	5 2 1 0					<u>B₁</u>
312			3 7 5 5				<u>A₁</u>	<u>B₁</u>
					<u>A₂</u>			<u>C</u>

PLANCHE I

GRAPHIQUE DIT : « CALENDRIER D'UTILISATION DES MOTEURS », FAISANT CONNAÎTRE, MOIS PAR MOIS, LES MOTEURS QUI OCCUPAIENT LES SEPT OU HUIT POSTES DE TRAVAIL, ET CEUX QUI ÉTAIENT EN VOLANT OU EN RÉPARATION.

Chaque ligne correspond à un moteur, et ses « étapes » sont représentées par un trait fort, interrompu pendant les mois où le moteur n'était pas en service. Pour les « étapes » de plus de 3 000 heures, la durée en heures a été inscrite en dessous du trait correspondant.

P L A N C H E II

Diagramme de fonctionnement des Moteurs

N°	Heures antérieures	1964						1965			1966	
		1	2	3	4	5	6	7	8		Janv.	
291	/128/ 1037	1805/ 11480	1805	1805	/2142	3500 3320	5125/ 5125	/5599	5953 981+		6106	
292	/205/ 850/	/1240	2300	3069 3510	3625	4360/ 4360	/5255 1000	5360/ 5360	5360		5360	
293	/511/ 825	2050	3175 5297	4723	5808/ 5808	/6375	7197 1762	7570/ 8290			10034	
294	/205/ 1750	1830 1715	1920/ 2700	4300 3532	5452/ 5452	/5819	7719	9816 5352+	10675		10804	
300	/182/ 825	1150 1408	1590/ 1590	1590	/1669 424	2014/ 2600/ 586	/3349 1825/ 1825	4425/ 2868	/5283 958+		5383	
301	/800/ 994	994	994	994	994	/1842 1684	2678/ 2678	4766 2668+			5346	
302	/350	1200	1700	2331	3468 7482+	4440 5450	5212	5951	7153		7482	
303	/422/ 2100	1200	3120 5088	4274 5210	5450/ 5450	5450	/6466 2216/ 2216	7666/ 144	8272 1024+		8690	
310	/1552/ 1552	1552	/2300 4046	4046 5210	5553	6665	6762/ 6762	/7836 1444	8206/ 8206		8206	
311	/1216/ 1216	1216	/1394 178	1394	1394	/2465/ 1031	/2928/ 463	/3891/ 963	/4500 1012+		4903	
312	/336/ 1160	1160	2440	3455 3755	3798	4091/ 4091	/4460	5410 1569	5660/ 5660		5660	

PLANCHE II

TABEAU A DOUBLE ENTRÉE (MOTEURS SUR UNE LIGNE, TRIMESTRES DANS LES COLONNES), DIT : « DIAGRAMME DE FONCTIONNEMENT MOTEURS », DONNANT POUR CHAQUE MOTEUR, ET A LA FIN DE CHAQUE TRIMESTRE, LE NOMBRE « D'HEURES TOTALES » EFFECTUÉES.

Pour bien mettre en évidence la longueur des étapes, les heures correspondant à une même étape sont comprises dans un cadre en dessous duquel la durée de l'étape a été portée en italique. Le signe + porté à la suite de la durée d'une étape veut dire que l'étape n'était pas terminée, et se poursuit dans les « heures suivantes ».

P L A N C H E III
Heures totales par poste de travail

Poste de travail	Heures antérieures	1964					1965			
		1	2	3	4	5	6	7	8	
A ₁	1900	3600	4500	5781	7205	8799	10250	11216	11817	
A ₂	1700	3000	4000	5104	5447	6082	7922	10019	10882	
A ₃	1400	2400	3350	5114	6241	7678	8785	10662	12131	
A ₄	2200	3200	4150	5884	7391	8483	9283	10579	12480	
"A"	7200	12200	16000	21883	26284	31042	36240	42476	47310	
B ₁	700	1400	2500	3212	3748	4487	5835	6950	8030	
B ₂	350	1300	2300	4379	5328	6520	7197	7907	8461	
B ₃	350	1200	1700	2331	3442	4435	5207	5956	7158	
"B"	1400	3900	6500	9922	12518	15442	18239	20813	23649	
C						814	1920	2800	4010	
"P" = A + B + C	8600	16100	22500	31205	38802	47298	56399	66089	74969	
H _n (P) - H ₀ (P)		7500	13900	22605	30202	38698	47799	57489	66369	
Comparaison avec les heures totales "Moteur"										
H _n (M)	8806	16297	23518	31981	39353	47607	57151	67112	75587	
H _n (P)	8600	16100	22500	31205	38802	47298	56399	66089	74969	
H _n (M) - H _n (P)	206	197	1018	776	551	309	752	1023	618	

PLANCHE III

TABEAU A DOUBLE ENTRÉE (POSTES DE TRAVAIL SUR UNE LIGNE, TRIMESTRES DANS UNE MÊME COLONNE), DIT : « HEURES TOTALES PAR POSTE DE TRAVAIL », DONNANT POUR CHAQUE POSTE DE TRAVAIL, ET POUR LA FIN DE CHACUN DES HUIT TRIMESTRES, LE NOMBRE D'HEURES TOTALES EFFECTUÉES SUR LE POSTE CORRESPONDANT.

Théoriquement, le chiffre global des « heures totales » effectuées à chaque instant par l'ensemble de onze moteurs - H_n (M) - devrait être égal au chiffre global des « heures totales » effectuées sur l'ensemble des postes de travail au même instant - H_n (P). Le tableau annexe du bas de la planche III fait ressortir des différences - H_n (M) — H_n (P) - qui ne sont pas nulles, anomalie sur laquelle nous allons revenir.

P L A N C H E IV
Cadences journalières moyennes par trimestre

C e n t r a l e " A "

Postes	1 9 6 4						1 9 6 5					
	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12
k _N (A ₁) moteurs k _N (xxx)	18h41m (303) 18h26m	9h53m (303) 11h42m	14h04m (303) 12h40m	15h39m (303) 12h45m	17h31m (291) 16h55m	15h56m (291) 17h45m	10h37m (311) 10h35m	6h37m (303) 6h39m				
k _N (A ₂) moteurs k _N (xxx)	11h17m (294) 12h24m	10h59m (312) 14h04m	12h08m (312) 11h09m	3h39m (312) 3h46m	6h59m (312) 7h15m	20h13m (294) 20h52m	23h26m (294) 23h26m	9h29m (294) 9h26m				
k _N (A ₃) moteurs k _N (xxx)	10h59m (300) 19h34m	10h26m (300) 8h47m	10h23m (294) 11h34m	12h23m (294) 12h39m	15h47m (311) 18h40m	12h09m (303) 10h56m	20h37m (303) 21h19m	16h08m (293) 16h08m				
k _N (A ₄) moteurs k _N (xxx)	10h59m (294) 11h52m	10h26m (294) 9h19m	10h03m (310) 19h44m	16h33m (310) 16h33m	12h00m (310) 12h13m	8h47m (310) 9h15m	11h11m (300) 13h54m	20h53m (301) 20h54m				
k _N (A)	18h41m	10h59m	10h23m	16h33m	17h31m	20h13m	23h26m	20h53m				

P L A N C H E V
Cadences journalières moyennes par trimestre
C e n t r a l e "B"

Postes	I 9 6 4					I 9 6 5		
	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈
k _n (B ₁) moteurs :	7h41m (304) (292)	12h05m (292)	7h49m (292)	5h53m (292)	8h07m (292)	11h48m (314) (292)	12h15m (292) (310)	11h52m (310) (314)
k _n (B ₂) moteurs :	6h25m (304) (292)	11h39m (292)	8h27m (292)	6h06m (292)	8h04m (292)	14h55m (314) (292)	12h55m (292) (310)	10h45m (310) (314)
k _n (B ₃) moteurs :	10h26m (293)	10h59m (293)	22h50m (293)	10h25m (293)	13h06m (300) (293)	7h02m (293)	7h48m (293) (294)	6h05m (294)
k _n (B ₄) moteurs :	13h21m (293)	12h20m (293)	17h (293)	12h47m (293)	15h04m (300) (293)	9h02m (293)	9h48m (293) (294)	3h53m (294)
k _n (B ₅) moteurs :	9h20m (293)	5h30m (293)	6h56m (293)	12h12m (293)	10h54m (300) (293)	8h29m (293)	8h13m (293) (294)	13h12m (294)
k _n (B ₆) moteurs :	9h20m (293)	5h29m (293)	7h (293)	12h29m (293)	10h40m (300) (293)	8h29m (293)	8h07m (293) (294)	13h12m (294)
C e n t r a l e "C"								
k _n (C) moteurs :					8h56m (304)	12h09m (304) (302)	9h40m (312)	13h17m (312) (300)
k _n (C) moteurs :					9h19m (304)	13h14m (304) (302)	10h26m (312)	12h10m (312) (300)

Il ne faut pas attribuer aux chiffres de ces tableaux plus de valeur qu'ils n'en ont. Nous avons pu redresser quelques erreurs manifestes, mais d'autres ont pu passer inaperçues. Les fins d'étapes ne coïncident pas nécessairement avec les fins de mois, les relevés mensuels peuvent ne pas avoir été faits à intervalles réguliers, et, même, il est arrivé que des portions de courbes aient été décalées de un mois, par suite d'une confusion entre le début et la fin d'un même mois.

C'est là qu'il faut chercher l'explication de l'anomalie du tableau annexe de la planche III ; nous avons même trouvé des différences - $H_n(M) - H_n(P)$ - négatives, alors qu'elles devraient être nulles, ou en tout cas positives, et aller

en croissant en passant d'un trimestre au suivant. On peut, en effet, imaginer que des moteurs aient tourné en dehors des postes de travail, ou des heures de travail ; il est inconcevable que des postes aient tourné, même à vide, sans que l'un au moins des onze moteurs ait fait des heures en même temps.

De toute façon, si les heures totales en fin d'étape, transcrites directement d'après les documents chiffrés d'origine, sont assez sûres, d'autres, les heures totales en fin de trimestre, lues sur les courbes ne résultent jamais que d'une interpolation, tandis que les cadences journalières, quotient de deux différences, cumulant trois erreurs possibles, ne peuvent prétendre qu'à une précision très relative.

DEUXIEME PARTIE

V. - RESULTATS D'ENSEMBLE

Au premier examen de la planche I, les quatre ou cinq faits suivants sautent aux yeux :

1° A chaque instant, il y a toujours eu un moteur de réserve prêt à prendre la relève d'un moteur déficient : *les postes de travail ont été disponibles à 100 %.*

2° Du milieu de mai au milieu de novembre 1964, les sept postes alors en service sont restés occupés par les sept mêmes moteurs : *pendant six mois consécutifs aucune descente de moteur de l'un quelconque des postes de travail n'a été enregistrée.*

3° Monté sur le poste B₃ au milieu de septembre 1963, à la mise en route de la centrale B, le moteur n° 302 n'a pas quitté ce poste, et, continuant son service, il y était encore le 1^{er} février 1966 ; la planche II confirme ce fait et apporte les précisions suivantes : *Après vingt-huit mois et demi, le moteur 302 totalisait 7 482 heures d'endurance, dont 6 803 heures pendant les deux années 1964 et 1965. (Au 1-5-66, ce moteur avait franchi le cap des 8 000 heures, avec 8 800 heures).*

4° Pour un chiffre global de 77 974 heures pendant deux ans et demi, *certains moteurs dépassent 10 000 « heures totales » au 1^{er} février 1966, tandis que*

d'autres restent plus près de 5 000 heures ; on peut alors être tenté de parler de « dispersion » dans les résultats.

Il n'y a pourtant là rien qui puisse nous surprendre ; pour un total donné « d'heures demandées », tout dépassement de la moyenne, ici 7 088 heures, se compense par un effet inverse sur les autres moteurs. Avec onze moteurs pour sept postes de travail, il y a nécessairement quatre moteurs qui ne tournent pas ; à la limite, si les moteurs montés à l'origine s'étaient tous comportés comme l'Astagaz 302, sept moteurs se seraient partagé les 78 000 heures, et trois autres n'auraient pas même fait une heure.

Il ne s'agit donc que d'une dispersion apparente, qui témoigne au contraire de la bonne tenue des moteurs en service. Seules les heures des révisions ou des réparations sont à porter au débit des moteurs qui ne tournent pas, les autres sont plutôt à porter au crédit des moteurs en service.

5° Mais il ne faut pas voir la *dispersion* des résultats, seulement sur les heures totales, il faut regarder aussi le *nombre et la longueur des étapes.*

On constate alors que pendant la période de deux ans, 1964-1965, en dehors du moteur n° 302, qui en est toujours à sa première étape :

— trois moteurs, les n° 292, 310, 312, ne comptent que deux étapes ;

— cinq moteurs, les n° 291, 293, 294, 301, 303, en comptent trois ;

— deux moteurs en comptent cinq (les n° 300 et 311), et, à l'étape de 994 heures, au moteur n° 301 près, totalisent à eux seuls toutes les étapes terminées de moins de 1 000 heures, et n'ont à leur actif que des étapes de moins de 2 000 heures.

Ces derniers moteurs, qui ont pourtant cumulé les chances en entamant plus d'étapes que les autres, apparaissent donc comme des cas aberrants dans l'ensemble des onze moteurs.

On peut calculer aussi :

6° Un *rendement en heures des centrales A et B*, qui serait défini comme étant le rapport des heures effectuées pendant une certaine période, au nombre d'heures « offertes » pendant cette même période (produit du nombre d'heures de calendrier par le nombre de postes).

Ce rendement résulte directement de la planche III. Compte tenu de ce que l'année 1964 était bissextile, le nombre d'heures de calendrier, pour les deux ans, est de 17 544 heures, le nombre d'heures « offertes » est alors de 70 176 heures pour la centrale A, et de 52 632 pour la centrale B. Les « heures normales » totalisées dans chacune de ces centrales étant respectivement de 40 110 (47 310 - 7 200), et de 22 249, le rendement en heures ressort à : 57,15 % pour la centrale A, et 42,27 % pour B.

7° Un « *coefficient d'utilisation* » de ces centrales, défini comme étant le rapport du nombre d'heures pendant lesquelles ces centrales étaient en service, au nombre d'heures de calendrier.

Ce coefficient d'utilisation diffère du rendement en heures du paragraphe précédent ; ce dernier compare, en fait, le nombre moyen d'heures effectuées, au nombre d'heures de calendrier ; nous

avons raisonné comme si les quatre moteurs de la centrale A (ou les trois de la centrale B) tournaient toujours tous les quatre (ou tous les trois) en même temps.

Ce n'est pas le cas, et pour chaque période, la centrale A, prise comme un tout, est restée en service au moins aussi longtemps que le moteur qui, pendant cette même période, a le plus tourné ; si la centrale n'avait été équipée que d'un gros moteur unique, nous aurions bien compté dans ses heures de fonctionnement toutes les heures pendant lesquelles le moteur tournait, quelle que soit la puissance réelle qui lui était demandée, même inférieure à 25 %.

C'est d'ailleurs cette considération qui nous a amenés à découper la période de deux ans considérée en huit périodes trimestrielles, et à inscrire sur la planche IV comme « cadence journalière moyenne » du trimestre de l'ensemble de la centrale A, la valeur la plus élevée des cadences journalières moyennes de chacun des postes de travail : $k_n(A_1)$, $k_n(A_2)$, $k_n(A_3)$, $k_n(A_4)$, et de même pour la centrale B sur la planche V.

Tous les trimestres ayant été uniformément pris égaux à 91 jours, nous arrivons à la cadence journalière moyenne de la centrale pour les deux ans, en prenant simplement la moyenne arithmétique, et nous obtenons :

18 h 27 mn pour la centrale A
ou 76,87 % ;

et 13 h 51 mn pour la centrale B
ou 57,70 %.

A côté des chiffres de 60 à 80 % dont on entend parler pour des turbines de plusieurs MW, ou même 90 % comme c'est le cas pour une turbine qui est en service depuis 2 ans 1/4, ces chiffres ne font pas trop mauvaise figure, compte tenu qu'il s'agit des premiers Astagaz de la série, et, surtout, du fait qu'ils constituent des minima.

En effet, la centrale A a pu tourner aussi à un seul poste, avec n'importe lequel de ses trois autres moteurs, à une autre heure, ou un autre jour. Aussi,

quand on relève, pour les trois derniers trimestres de 1965, des cadences journalières moyennes de plus de vingt heures (83,3 %), on est en droit de penser, sans pouvoir l'affirmer, que le coefficient d'utilisation de la centrale A était de 100 %.

Etant données les réserves que nous avons faites sur la valeur absolue des chiffres exprimant les cadences, nous n'oserions pas tirer la même conclusion en ce qui concerne la centrale B, sur le vu d'un unique trimestre dont la cadence calculée dépasse vingt heures.

8° Un « coefficient de pleine utilisation » de ces centrales, c'est-à-dire avec, pour l'une ou pour l'autre, tous ses postes tournant simultanément.

Par un raisonnement analogue à celui du paragraphe précédent, nous obtenons une valeur maximum de ce coefficient en prenant, comme cadence de la centrale, celle de celui de ses postes qui a le moins tourné.

On trouve alors des cadences de : 8 h 42 mn pour A, et de 5 h 40 mn pour B. Rapporté aux 18 h 27 mn (ou 13 h 51 mn) de la durée minimale de service, cela donne 47 % (ou 41 %) ; rapporté aux vingt-quatre heures de la journée, cela représente 36 % (ou 23 %).

Rappelant qu'il s'agit de maxima, nous pouvons dire que ces centrales n'ont fonctionné à plein, que moins du tiers (ou moins du quart) de la journée. Ce fait n'est pas pour nous surprendre ; on sait bien que la « puissance installée » n'est que rarement utilisée à plein, mais nous avons là une indication permettant de chiffrer un ordre de grandeur de l'économie de carburant que peut procurer le fractionnement de la puissance entre plusieurs groupes unitaires semblables.

VI. - POTENTIEL ENTRE REVISIONS GENERALES

Les conclusions pratiques de cette étude, qui, avec sept postes de travail

pendant deux ans, et un poste pendant un an, porte sur une expérience équivalant à quatorze ou quinze ans de fonctionnement, doivent être de dégager des données sur la vie totale d'un moteur, et sur le « potentiel possible » entre révisions générales.

Nous nous sommes volontairement tenus jusqu'ici à la notion « d'étape » qui nous paraît avoir un caractère indiscutable, mais, pour aboutir à la notion de « potentiel » qui est à la base de tout jugement sur l'aptitude d'un moteur à assurer tel ou tel service, nous sommes obligés d'interpréter les faits, donc de sortir de la stricte objectivité.

Les causes qui peuvent amener à arrêter une étape, et à descendre un moteur du poste de travail qu'il occupait, sont en effet multiples, et d'importances très variables. Certaines décisions, certains incidents, ne seront en aucune manière imputables au moteur, d'autres, une pièce à changer par exemple (surtout s'il existe plusieurs pièces de même nature dans le moteur), s'ils ont interrompu l'étape, ne sont pas pour autant « interruptif de potentiel », à moins qu'un démontage total n'ait été effectué. Il serait injuste de ne pas compter aux pièces vitales (donc au moteur, dans son ensemble) les heures qu'elles avaient à leur actif avant l'incident dont elles ne sont pas cause.

Nous sommes donc conduits à relever les causes auxquelles sont imputables les fins d'étapes, et à supputer l'importance des opérations faites à l'occasion des remises en état.

Les données dont nous disposons sont trop succinctes (trois ou quatre mots à côté des courbes d'origine), ou trop dispersées pour être d'une exploitation facile. En particulier, nous ne pouvons pas distinguer dans les périodes d'attente entre deux étapes les durées des opérations de révisions, et celles des séjours au magasin des moteurs en volant de remplacement.

Nous pouvons cependant dresser un tableau très sommaire des causes des fins d'étapes (tableau ci-contre), indiquant pour chacun des onze moteurs : le nombre d'heures totales à la fin de l'étape (la mention HA à côté des chiffres d'heures voulant dire « heures antérieures »), la cause de l'arrêt, et un numéro de classement renvoyant aux notes du bas du tableau.

Nous avons ainsi classé les fins d'étapes en trois catégories :

Première : causes non imputables au moteur.

Deuxième : causes ne touchant pas de pièces vitales.

Troisième : avaries plus graves susceptibles d'exiger des démontages et remontages pouvant provoquer « interruption de potentiel ».

Dans la seconde catégorie nous trouvons surtout des incidents intéressant le

circuit d'huile, ou le palier arrière ; dans la troisième se classent évidemment les révisions générales, et nous y avons mis aussi les incidents aux roulements qui soutiennent l'arbre moteur.

Nous avons toutefois fait deux exceptions à cette règle, pour la révision (sans autre précision) du moteur 291 à 1 805 heures, et pour l'incident de roulement du moteur 303 à 5 450 heures : Il semble que la révision à 1 805 heures ait été décidée par mesure de prudence pour voir l'état du premier moteur qui atteignait ce chiffre, en tout cas aucune cause n'est précisée ; d'autre part, l'incident à 5 450 heures du moteur 303 n'avait pas été retenu comme « interruptif de potentiel », puisque 2 216 heures plus tard, pour une légère fuite d'huile, ce moteur est passé en révision.

L'application des règles ci-dessus, avec ces deux exceptions, permet de donner la répartition suivante des 77 974 heures totalisées au 1^{er} février 1966 :

TABLEAU DES « VIES » DES ONZE MOTEURS

Moteur N°	Première vie	Deuxième vie	Total au 1-2-66
291	5 125	981 +	6 106
292	5 360	pas commencée	5 360
293	7 570	2 464 +	10 034
294	5 452	5 352 +	10 804
300	2 014	3 369 +	5 383
301	2 678	2 668 +	5 346
302	7 482 +	pas commencée	7 482
303	7 666	1 024 +	8 690
310	6 762	1 444	8 206
311	2 465	2 438	4 903
312	4 091	1 569 +	5 660
Total	56 665	21 309 +	77 974
pour moyenne	11 moteurs 5 151	9 moteurs 2 367 +	11 moteurs 7 088
Le signe + indique que la vie du moteur n'est pas terminée			

N° moteur	A heures totales	Cause de la fin de l'étape	Notes
291. . . .	728 HA 1 805 5 125	remplacement systématique roue axiale révision (sans autre précision) révision suite à rupture roule- ment AV	1 a) 2 3
292. . . .	205 HA 850 HA 4 360 5 360	survitesse cause extérieure moteur boulon palier AR rupture roulement AV centrifuge	1 c) 1 b) 2 3
293. . . .	511 HA 5 808 7 570	remplacement systématique roue axiale arbre à brides rupture arbre pompe à huile ; avarie roulement AV centrifuge	1 a) 2 3
294. . . .	205 HA 1 920 5 452	difficulté de démarrage grippage palier AR (mauvais alignement) avarie labyrinthe plateau porte diffuseur (distributeur endom- magé)	1 c) 2 3
300. . . .	182 HA 1 590 2 014 2 600 4 425	cause extérieure moteur arbre à brides avarie roulement AV révision régulation rupture pompe à huile	1 b) 2 3 1 c) 2
301. . . .	994 2 678	avarie (sans autre précision) avarie roulement butée AV cen- trif.	2 3
302. . . .		« pour mémoire »	
303. . . .	422 HA 5 450 7 666	remplacement systématique roue axiale roulement AV centrifuge fuite huile palier AR, <i>révision</i>	1 a) 3 (?)
310. . . .	1 552 HA 6 762 8 206	cause extérieure au moteur révision générale à fin de poten- tiel rupture roulement AV centrifuge	1 b) 3 3
311. . . .	1 216 HA 1 394 2 465 2 928 3 891	cause extérieure au moteur cause extérieure au moteur rupture arbre pompe à huile et roulement AV rupture boulon palier AR rupture tuyauterie d'huile palier AR	1 b) 1 b) 3 2 2
312. . . .	336 HA 4 091 5 660	cause extérieure au moteur fuite d'huile, rupture roulement AV centrifuge cause non signalée	1 b) 3 2

1) Arrêts qui ne sont pas à prendre en considération dans le calcul du potentiel, avec : 1 a) Changement résultant d'une décision de principe prise en août ou septembre 1963, alors que la centrale A était encore seule en service, et qui avait pour but de remplacer les roues de compresseur axial par des roues taillées dans un acier amélioré ; 1 b) Un défaut de conception du système d'accouplement entre moteur et alternateur a provoqué des avaries de réducteurs début novembre et début décembre 1963 ; ces incidents, attribués à une cause électrique, sont imputables à l'installation générale ; ils ne se sont plus reproduits après modifications de celle-ci ; 1 c) Reprises de divers réglages qui tiennent plus de la mise au point et de l'entretien du moteur, que d'une avarie véritable ; 2) Arrêts dus à des pièces facilement accessibles, dont le changement éventuel n'entraîne que des démontages partiels limités ; 3) Arrêts dus à des pièces plus difficilement accessibles, entraînant presque nécessairement un démontage plus complet.

Ainsi la vie moyenne des onze moteurs ressort, pour la première vie, à 5 151 h et la moyenne atteinte actuellement pour la deuxième dépasse 2 000 h, ce qui, avec sept moteurs encore en course et les deux qui n'ont pas encore commencé leur seconde vie, permet d'escompter des durées de vie du même ordre que pour la première.

Quant au nombre de vies possibles, l'expérience ne pourra, avec des vies de l'ordre de huit ou dix mois de calendrier, confirmer, ou infirmer les hypothèses que l'on peut faire actuellement, que dans plusieurs années.

Quoi qu'il en soit, nous voyons que, au cours de leurs premières vies, les onze moteurs se classent de la manière suivante :

— trois moteurs ont dépassé 7 000 h, totalisant 27 718 h, soit 40 % des 56 665 heures ;

— un moteur a dépassé 6 000 h, avec 6 762 h soit 12 % (52 % avec les moteurs précédents) ;

— trois moteurs ont dépassé 5 000 h, totalisant 15 937 h, soit plus de 28 % (80 % au total) ;

— un moteur a dépassé 4 000 h, soit 7 % (87 % au total) ;

— trois moteurs enfin n'ont pas dépassé 4 000 h, totalisant 7 157 h, soit 12,6 % (99,6 %).

Il n'est donc pas déraisonnable de fixer le potentiel entre révisions à au moins 5 000 h : il n'est pas non plus ridicule de parler de potentiels de 7 000 heures, au moins pour l'avenir, quand les études en cours pour améliorer la tenue des roulements auront porté leurs fruits.

On peut discuter du classement des avaries de palier AR en 2^e catégorie, celles concernant l'arbre à brides en particulier. Mais, tous calculs faits, si on avait classé ces incidents en 3^e catégorie, la durée globale des premières vies de nos onze moteurs n'aurait diminuée que de 4 000 h au plus, ce qui ne représente que 370 h sur la moyenne, qui serait tombée à 4 800 h environ, ce qui nous permet encore de parler de 5 000 heures.

VII. - DERNIERS COMMENTAIRES

Nous avons jusqu'ici parlé des incidents relevés au cours de ces deux ans et demi. Mais, plus peut-être que la fréquence de ces incidents, ce qui paraît devoir être souligné, c'est l'absence d'incidents causés par des éléments réputés délicats.

Il n'apparaît pas, en effet, de criques se propageant dangereusement sur les parties chaudes telles que la chambre de combustion, pas d'avaries aux roues de turbine ou de compresseur, pas d'arrêt dû au réducteur incorporé, dont le rapport était de 12 à 1, puisqu'il s'agit de courant à 60 périodes.

Certes, des criques se sont produites qui n'ont été décelées qu'au cours de démontages en usine, mais elles n'ont jamais été incriminées par les services de contrôle.

Jamais non plus des incidents, bénins en soi, n'ont entraîné d'avaries majeures aux pièces essentielles voisines ; on dira que c'est de la chance, mais n'est-ce pas plutôt grâce à la réponse immédiate et efficace des sécurités automatiques, qui, par exemple, ont stoppé le moteur avant qu'un manque de graissage ne produise ses ravages un peu partout.

Chose remarquable enfin, le système nouveau d'alimentation en gaz, qui a remplacé le circuit de carburant liquide du moteur d'origine n'a pas fait parler de lui.

Avant de terminer, un mot sur l'avenir. Aujourd'hui, dans le cadre de l'opération de reconversion des Forges de l'Adour, une centrale de production d'énergie fonctionne dans la nouvelle usine Turboméca du Boucau-Tarnos. Elle comprendra quatre postes de travail identiques, équipés d'Astazax XII de 400 - 440 kW, et même cinq, un poste de réserve ayant été prévu, toujours prêt à démarrer à la première demande pour parer aux incidents survenant même aux heures de pointe. Trois postes sont déjà

en service, qui ont permis d'enregistrer une production simultanée :

- d'une puissance de 1 000 kW,
- d'un débit d'air de 400 g/s à une pression absolue de 6,5 kg par prélèvement sur le refoulement du compresseur d'un des moteurs,
- et, environ, de 2 000 000 de kilocalories-heures, en récupérant aussi la chaleur contenue en fin de compression dans l'air prélevé.

Alimentée avec le gaz venant de Lacq, cette centrale permettra, tout en fournissant l'énergie dont l'usine a besoin, d'accumuler des heures d'une expérience précieuse qui profitera, non seulement aux turbines à gaz et aux problèmes que pose le fonctionnement de plusieurs groupes accouplés sur un même réseau, mais aussi aux turbomoteurs ou turboréacteurs et aux turbomachines en général,

au moins pour tout ce qui ne touche pas directement au combustible utilisé.

« Outil de travail » pour l'atelier de production, cette centrale sera aussi « banc d'essais » pour le bureau d'études et le service technique, auxquels elle fournira d'utiles enseignements.

Pour clore cette étude, nous nous féliciterons que, sur le vu de la première épreuve d'endurance du prototype, dérivé il est vrai d'un turbopropulseur d'aviation déjà connu, il se soit trouvé des industriels décidés à engager les frais des immobilisations nécessaires pour soumettre les premiers Astagaz sortis à une exploitation industrielle « en vraie grandeur », et un constructeur français pour accepter de courir les risques d'une opération qui pouvait paraître prématurée, et que beaucoup auraient, à l'époque, qualifiée d'osée.

NOUVELLES DIVERSES

Conseil National des Ingénieurs français

Nous avons été heureux d'apprendre la nomination de M. Julien BRUNHES, Ingénieur de l'Ecole Navale et de l'Ecole Supérieure d'Electricité, Sénateur de la Seine, comme Président du C.N.I.F. pour l'année 1967.

Les Vice-présidents sont MM. Antonin DOUGEROLLE, Charles GALVAING et Gérard LEHMANN.

Nous leur adressons nos très vives félicitations.

Le Président de la Société, Directeur de la publication : J. LECOMTE, D.P. n° 1080

I.F.Q.A.-CAHORS. — 70.595, — Dépôt légal : III-1967

LANDENATU



SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES

RHÔNE POULENC

- PRODUITS CHIMIQUES ORGANIQUES DE SYNTHÈSE
- PRODUITS MINÉRAUX PURS
- MATIÈRES PLASTIQUES

La Société des Usines Chimiques RHÔNE-POULENC fabrique environ 3.000 produits chimiques : produits organiques industriels, produits minéraux fins, produits pharmaceutiques, matières plastiques, etc...

Elle fait partie du groupe Rhône-Poulenc S.A. qui comporte de nombreuses sociétés chimiques, pharmaceutiques et textiles, en France et à l'étranger.

A elle seule, elle dispose de 8 usines, d'une surface totale de 500 hectares et emploie 13.000 personnes. Ses Services de Recherches sont particulièrement importants, répartis en des centres spécialisés (chimie organique pure et des hauts polymères, chimie pharmaceutique, matières plastiques, etc...) dans lesquels travaillent environ 1.600 personnes.

22 AV. MONTAIGNE
PARIS - ALM. 40-00

63 DIV. 10 019

SOCIÉTÉ D'ÉLECTRO-CHIMIE
D'ÉLECTRO-MÉTALLURGIE
et des
ACIÉRIES ÉLECTRIQUES D'UGINE

ACIERS
PRODUITS CHIMIQUES
ALUMINIUM
MAGNÉSIUM
FERRO-ALLIAGES
ÉTAIN

SIEGE SOCIAL : 10, RUE DU GENERAL-FOY - PARIS (8^e)

TELEPHONE : EUROPE 31-00

ADRESSE TELEGRAPHIQUE : TROCHIM PARIS

MAISON FONDÉE EN 1895

“ LES ÉLECTRICIENS DE FRANCE ”

Ets JULES VERGER & DELPORTE

Société Anonyme, au Capital de 10.000.000 de F

ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES, ÉLECTRONIQUES ET TÉLÉPHONIQUES

Siège Social, Bureau d'Etudes, Service : 141 bis, 141 ter, rue Saussure, PARIS-17*

TEL. (1) 267-18-51 - 20 lignes groupées - TELEX. JULES 28482

Usine et Départements : Réparations — Bobinage — Radio — Télévision — Electronique — Automation
53, rue Maurice-Bokanowski, ASNIERES - Tél. 473 39-90, 62-28

Département : ELECTRO-VAPEUR - 92, avenue des Ternes, PARIS-17* - Tél. 380 42-70

Agence de VERSAILLES : 2, place Gambetta - Tél. 950-53-50 950-17-75 - Mag. 21, rue d'Anjou - Tél. 950-01-10

Agence de CANNES : 3, pas. Ste-Catherine - LE CANNET Tél. 39-58-71 Cannes (A.-M.)

MAGASIN DE VENTE : Radio — Télévision — Electro-Ménager — Froid :

92, Avenue des Ternes, PARIS-17* - Tél. 330 42-70

53, Rue Maurice Bokanowski, ASNIERES - Tél. 473- 39-90, 62-28.

EN AFRIQUE : SENEGAL - DAKAR

- SAINT-LOUIS

Côte-d'Ivoire

Dahomey

Mauritanie

Haute-Volta

Togo

- ABIDJAN

- COTONOU

- PORT-ETIENNE

- OUAGADOUGOU

- LOME

Bureaux-Magasins : 164, rue Blanchot - B. P. 968 - Tél. 227-26, 227-29.

Ateliers : Km 6,5, route de Rufisque, Hann - 451-39.

B. P. 101 - Tél. 51.

B. P. 4140 - Tél. 553-95.

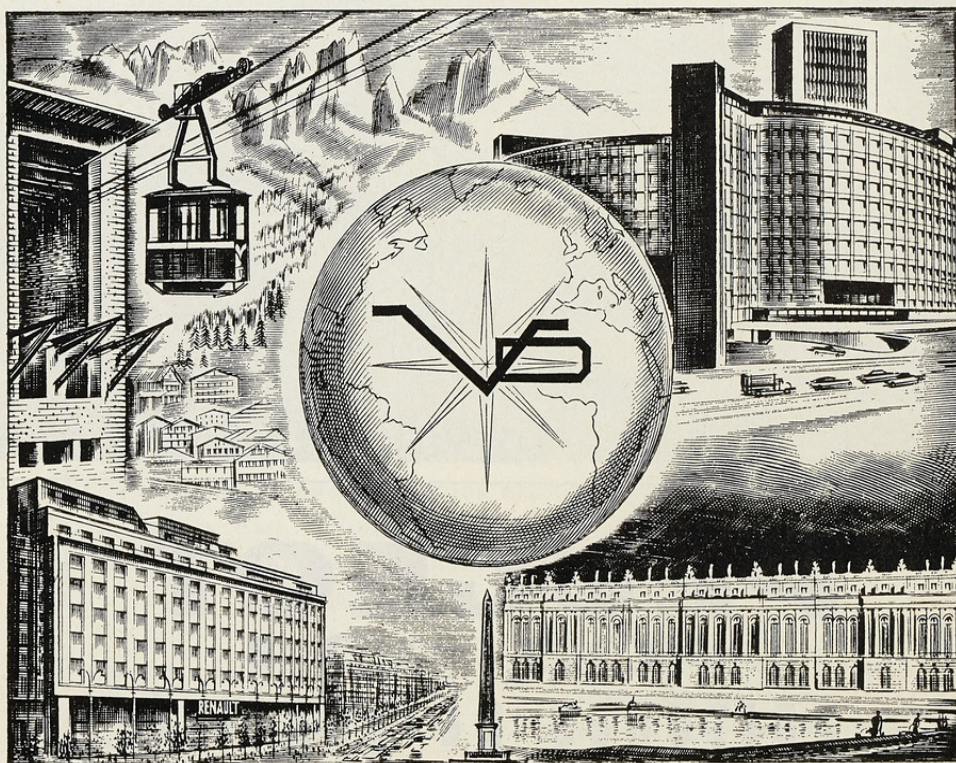
B. P. 184 - Tél. 27-76.

B. P. 68 - NOUAKCHOTT : B. P. 3 - Tél. 23-06.

B. P. 394 - Tél. 23-54 - BOBO DIOULASSO : B. P. - Tél. 26.

B. P. 1147.

VAL D'ISERE — Téléphérique. *quelques réalisations récentes* MAISON DE LA RADIO



RENAULT (Champs-Élysées)

PALAIS DE VERSAILLES

« LES ELECTRICIENS DE FRANCE » SONT JOUR ET NUIT
DIMANCHE ET FETES A LA DISPOSITION DE LEUR CLIENTELE



PEUGEOT

403.404

VOITURES DE QUALITÉ

L.P.F. 0,285.

VENTE A CRÉDIT PAR LA **Din**

L.P.F. 306

SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE LA GRANDE PAROISSE

AZOTE ET PRODUITS CHIMIQUES

Société Anonyme au capital de 19.595.800 F.

8, Rue Cognacq-Jay - PARIS-7^e - Tél INV. 44-30

AMMONIAQUE - ALCALI - ENGRAIS AZOTÉS

•

**ENGINEERING - CONSTRUCTIONS D'USINES
HYDROGÈNE**

GAZ DE VILLE - GAZ DE SYNTHÈSE

AMMONIAQUE

ACIDE NITRIQUE

ENGRAIS AZOTÉS

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'ENTREPRISES

Société Anonyme au Capital de 36.160.000 F

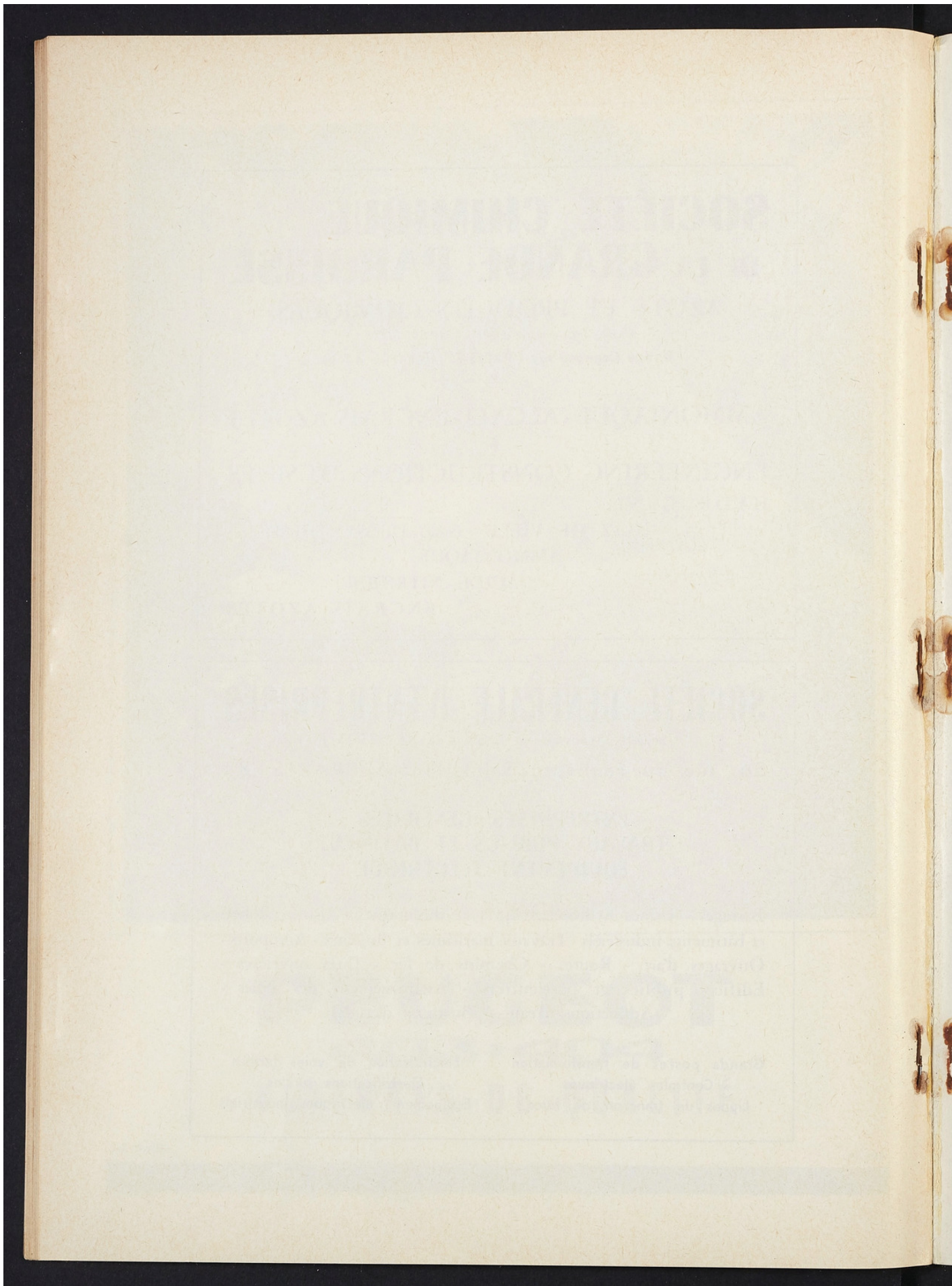
56, rue du Faubourg Saint-Honoré - PARIS (8^e)

**ENTREPRISES GÉNÉRALES
TRAVAUX PUBLICS ET BATIMENT
ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE**

Barrages - Usines hydro-électriques et thermiques - Usines, ateliers
et bâtiments industriels - Travaux maritimes et fluviaux - Aéroports -
Ouvrages d'art - Routes - Chemins de fer - Cités ouvrières -
Edifices publics et particuliers - Assainissement des villes -
Adductions d'eau - Bureaux d'études

Grands postes de transformation
Centrales électriques
Lignes de transport de force

Électrification de voies ferrées
Electrifications rurales
Equipements électriques industriels



RÉSUMÉS DES ARTICLES

LE PROGRAMME SPATIAL FRANÇAIS

par M. Jean Coulomb, p. 1

L'Espace, où chaque expérience diffère de la précédente et où aucune ne peut être réparée en vol, rend à l'industrie ce service de refuser toute médiocrité. Le résultat, c'est la mise au point de matériaux, d'outils, de procédés, possédant des propriétés extraordinaires et qui trouvent ensuite des applications totalement différentes.

La France, tout en conservant la place enviable qui est déjà la sienne dans le domaine scientifique spatial et en étant par-là même assurée d'éviter la sclérose que produisent les programmes purement industriels, doit pouvoir prendre une place analogue dans le domaine des satellites d'application.

LES LANCEURS DE SATELLITES « DIAMANT » ET LEURS DERIVES POSSIBLES

par M. Roger Chevalier, p. 17

Après avoir fait l'historique de la naissance du projet « Diamant », l'auteur décrit le lanceur de satellite « Diamant » et passe en revue les différents problèmes qui se sont posés au cours de son développement et de sa mise au point au sol et en vol.

L'auteur décrit ensuite le déroulement du premier lancement de « Diamant ».

Dans une troisième partie, l'auteur analyse les besoins et les buts spatiaux sur le plan européen et insiste en particulier sur la nécessité, pour l'Europe, de s'orienter vers la réalisation d'un lanceur capable de mettre sur orbite 24 h, des masses de l'ordre de la tonne, de façon à pouvoir réaliser des relais pour la télé-diffusion domestique.

LES DETONATIONS DE VOL SUPERSONIQUE

par M. Théodore Vogel, p. 33

Les détonations dues au vol à des vitesses supérieures à celle du son ont causé quelque émotion dans les régions où ont lieu les exercices d'entraînement de l'Armée de l'Air ; aujourd'hui que l'on projette d'établir des lignes régulières d'Aviation civile desservies en régime supersonique, la question intéresse toute la population du pays, voire celles de l'Europe et de l'Amérique entières.

M. Vogel se propose donc d'examiner le mécanisme de formation de ces détonations, l'amplitude et la configuration du phénomène, les facteurs qui le déterminent, ainsi que les effets probables sur la santé et le confort des personnes, sur la stabilité des constructions et sur les exploitations agricoles.

La plupart de ces effets sont encore insuffisamment connus ; l'auteur analyse les résultats des essais et des enquêtes publiés à l'Etranger, et discute les conclusions qui semblent s'en dégager.

PERFORMANCES RECENTES DES TURBINES A GAZ INDUSTRIELLES

par M. l'Ingénieur Général Poincaré, p. 49

Plus de deux ans et demi (juillet 1963-février 1966) d'exploitation de deux centrales réalisées aux U.S.A., avec des turbines à gaz conçues et construites en France, ont permis de mettre en évidence quelques résultats techniques qu'il est intéressant de faire connaître.

L'auteur commente l'établissement d'un graphique dit « Calendrier d'utilisation des moteurs » et discute l'interprétation des résultats, portés sur des tableaux qui accompagnent ce graphique.

