

ON  
F  
E  
R  
R  
A

OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES AÉROSPATIALES

1184-28814

TM-77482

LA SOUFFLERIE F2 DU CENTRE DU FAUGA-MAUZAC

par AFCHAIN D., BROUSSAUD P., FRUGIER M. et RANCARANI G.

20ème Colloque d'Aérodynamique Appliquée AAAF,  
Toulouse, 8-10 novembre 1983.

## LA SOUFFLERIE F2 DU CENTRE DU FAUGA-MAUZAC

par D. AFCHAIN, P. BROUSSAUD, M. FRUGIER et G. RANCARANI

Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales (ONERA)

BP 72 92322 CHATILLON CEDEX (France)

### S O M M A I R E

La soufflerie subsonique de recherche F2, dont le début d'implantation sur le site du FAUGA-MAUZAC remonte à mars 1982, a effectué sa première rotation le 12 juillet 1983.

L'exposé décrit tous les éléments de cette soufflerie à retour, à forte contraction, de section de veine 1,8 m X 1,4 m, vitesse maximale 100 m/s.

Les choix effectués lors de la conception sont justifiés.

Les premiers résultats d'accordage sont présentés.

L'attention est attirée sur la conception particulière de la zone veine équipée d'un dispositif de vélocimétrie laser.

### S U M M A R Y

The french subsonic research wind tunnel F2, the erection of which began at Fauga-Mauzac center in March 1982 made its first run on July, 12 1983.

This paper describes all the components of this return windtunnel with a high contraction ratio, a test section size of 1,8 m X 1,4 m and a maximal velocity of 100 m/s.

Technical choices made during the design are presented the first test results are shown.

The special concept of the test section equipped with a laser velocimeter is pointed out.

## I INTRODUCTION

Dans le domaine de l'aérodynamique théorique l'accroissement considérable de la puissance de calcul des ordinateurs et les progrès dans l'efficacité des méthodes numériques permettent d'aborder l'étude d'écoulements, bi et tridimensionnels, de plus en plus compliqués. Les modélisations retenues et les résultats obtenus doivent cependant être validés par des essais en soufflerie utilisant eux-mêmes des techniques d'essais de plus en plus perfectionnées indispensables pour effectuer une analyse fine des écoulements. Ainsi l'interaction calcul - expérience devient un moyen enrichissant pour aider à la détermination des meilleures formes des aéronefs mais aussi pour la compréhension des phénomènes fondamentaux.

Ces considérations ont montré qu'il était nécessaire de compléter les moyens disponibles pour les essais de recherche par une soufflerie bien adaptée à l'emploi des techniques de mesures modernes.

Ceci a conduit l'ONERA à entreprendre la construction de la soufflerie F2 afin de répondre aux besoins, en moyens de recherches expérimentales, exprimés tant par la Direction de l'Aérodynamique que par le Département d'Aérodynamique (DERAT) du CERT.

La conception du circuit aérodynamique et des bâtiments a été guidée par les impératifs suivants :

- permettre un accès rapide aux montages d'essais en veine,
- offrir des dimensions de veine autorisant des tailles de maquette suffisantes,
- permettre des montages sur n'importe quelle paroi de la veine,
- disposer de zones d'observation étendues grâce à des parois transparentes et à une disposition adaptée de la salle de commande,
- intégrer un banc de vélocimétrie laser capable d'un grand volume d'exploration,
- offrir un écoulement de très bonne qualité,
- éviter les transmissions de vibrations mécaniques entre les éléments du circuit,
- rendre très simple la conduite et la surveillance de la soufflerie, qui doit être assurée par un personnel peu nombreux, permettant ainsi au personnel de se consacrer à la tâche essentielle de suivi et compréhension de l'essai en cours.

Les caractéristiques de la soufflerie subsonique de recherche F2 sont :

- circuit à retour, non pressurisé,
- veine d'essai de hauteur 1,8 m, largeur 1,4 m, longueur 5 m,

- rapport de contraction du convergent 12,
- chambre de tranquillisation équipée d'un nid d'abeille, précédé d'un grillage et suivi de trois grillages,
- vitesse maximale en veine 100 m/s,
- ventilateur à vitesse variable par moteur à courant continu de puissance électrique 683 kW, puissance disponible sur l'arbre du moteur 635 kW.

Cette soufflerie est implantée au Centre du FAUGA-MAUZAC à proximité de la soufflerie subsonique pressurisée F1. Le projet a débuté en avril 1981 par l'établissement d'un dossier de faisabilité qui a conduit à l'accord du Conseil d'Administration de l'ONERA, le 23 juin 1981, puis au lancement de l'étude détaillée et de la construction. Une première présentation du projet a eu lieu en août 1981, en même temps était lancée une série de préconsultations afin de mieux cerner les coûts et délais des divers éléments. La solution finale était présentée en février 1982. En mars 1982 débutait le chantier de génie civil avec mise en route prévue fin juillet 1983 [1] [2] (fig. 1 a, b, c). La première rotation a eu lieu le 12 juillet 1983, elle a été suivie des premiers essais d'accordage du 27 au 29 juillet. La première phase d'accordage s'est terminée en septembre 1983 confirmant que les performances prévues étaient atteintes.

## II PRESENTATION DE LA SOUFFLERIE

Le schéma d'ensemble de la soufflerie (fig. 2a) permet de distinguer le circuit aérodynamique, le hall et le bâtiment.

Le circuit aérodynamique dont les distances d'axes sont respectivement 8 m et 32 m comporte : la veine d'essai de section 1,4 m X 1,8 m et de longueur 5 m, le premier diffuseur de 1,4 m X 1,9 m à 2,2 m X 2,6 m, le coude 1 de 2,2 m X 2,6 m, le coude 2 de 2,6 m X 2,6 m, le ventilateur de diamètre 3,15 m avec bulbe de diamètre 1,40 m, le coude 3, le réfrigérant de 4 m X 4 m, le coude 4, la "rapide expansion", la chambre de tranquillisation de 5,5 m X 5,5 m, le convergent.

Le hall soufflerie (fig. 2b) bâtiment métallique de type industriel recouvre la veine d'essai, le premier diffuseur et le coude 1. Le sol est à 1,3 m en dessous de l'axe veine sauf dans la zone du convergent et de la veine d'essai où un important dégagement est ménagé pour le système de vélocimétrie laser. Ce hall est desservi sur toute sa surface par un pont roulant de 5 000 daN. Une zone de déchargement a été prévue à une extrémité communiquant avec l'extérieur par une large porte. Le hall abrite en outre le local électrique, les armoires ventilateur et réfrigérant. Une passerelle métallique enjambe le circuit pour permettre l'accès à ces auxiliaires.

Le bâtiment soufflerie (fig. 2c) en construction traditionnelle comporte :

- . la salle de commande et de mesure, en regard de la veine d'essai, munie de larges baies vitrées,
- . un local technique contigu à la salle de commande pour l'ordinateur d'acquisition,
- . une zone comportant deux bureaux pour le personnel, à gauche de l'entrée,
- . une zone modifiable à la demande par des cloisons mobiles à droite de l'entrée, en communication avec le hall soufflerie,
- . une zone commune comportant le hall d'entrée, les sanitaires et un local destiné à l'outillage et aux petits travaux.

Cette organisation permet de regrouper les zones autour de la partie commune tout en séparant les mouvements du personnel de ceux des montages d'essais, ainsi que la partie préparation de la partie conduite des essais.

Enfin la situation et la disposition du bâtiment ont été étudiées afin de relier F2 par une galerie technique aux différentes servitudes déjà mises en place pour la soufflerie F1 (courant électrique et air comprimé).

### III CHOIX DES TYPES DE STRUCTURE

Une étude comparative a été faite lors du projet en vue de définir pour chaque partie du circuit le type de structure à adopter. Il a été particulièrement tenu compte des impératifs suivants :

- simplicité de montage et de fabrication (coût et délais),
- possibilité de préfabrication des éléments en usine ou sur le site,
- protection extérieure,
- état du terrain pour les fondations.

L'étude du circuit aérodynamique s'est faite sur deux parties distinctes :

- la partie centrale incluant convergent, veine et début du premier diffuseur, cette partie devant être aisément modifiable ;
- le reste du circuit hormis les éléments énumérés ci-dessous qui, par nature, ne pouvaient être qu'en construction métallique conventionnelle et rester accessibles pour démontage :

- . aubes directrices des coudes,
- . ventilateur,
- . réfrigérant,
- . grillages, filtre alvéolaire et leurs fixations.

Le tableau de la figure 3 donne la comparaison effectuée.

Le choix définitif s'est porté sur un circuit en béton armé formé d'éléments préfabriqués, ceci après que les revêtements de protection appropriés aient été recherchés. La partie centrale a été réalisée en acier ainsi que tous les autres éléments métalliques précités. Pour des raisons de simplicité inhérentes au choix effectué, le circuit est, hormis dans la zone ventilateur, de section carrée ou rectangulaire.

Le circuit aérodynamique repose sur des massifs de fondation particuliers distincts des fondations du hall qui le recouvre partiellement. De même pour la partie centrale et le ventilateur. De cette façon un découplage vibratoire entre les éléments est obtenu.

La photo de la figure 4 montre l'ensemble des fondations en cours de réalisation.

#### IV ELEMENTS EN BETON DU CIRCUIT AERODYNAMIQUE (fig. 5 et 6)

Les figures 5a et 6 montrent les tronçons réalisés en béton armé au moyen de panneaux préfabriqués (fig. 5b). Cette technique a permis une réalisation rapide et d'excellente qualité. Seuls les coudes et les poutres de liaisons, au droit du réfrigérant, ont été coulés sur place avec les chapes inférieures servant de parois basses.

Les figures 5c et 5d illustrent le procédé d'assemblage des panneaux liés entre eux par des poteaux latéraux faisant saillie extérieurement.

Il est à noter que cette partie du circuit aérodynamique se compose de deux éléments indépendants. L'un comprend la fin du premier diffuseur et les premiers coudes. Les points d'appuis principaux sont au droit des coudes, le point fixe étant le coude 1, l'autre étant glissant sur des appuis néoprène. L'autre élément est formé du second diffuseur, des coudes 3 et 4 et de la chambre de tranquillisation. Le point fixe est situé au coude 4. Une coupure du circuit aérodynamique située entre les coudes 3 et 4, longue de 2 m, sert à loger le réfrigérant ; dans cette zone, la continuité des efforts est assurée par 4 poutres situées au sommet et à la base du circuit.

## V CHAMBRE DE TRANQUILLISATION

La recherche d'une bonne qualité d'écoulement a conduit au rapport de contraction 12 pour le convergent. Les parois de la chambre de tranquillisation (5,5 m X 5,5 m) sont en contreplaqué recouvert d'un matériau acoustique absorbant (mousse Resobson). La figure 7b donne la caractéristique acoustique de ce matériau.

Pour réduire la turbulence de l'écoulement, l'équipement mis en place comporte :

- un grillage métallique (maille de 4 mm Fil  $\varnothing$  1 mm) placé en fin "d'expansion rapide" avant le nid d'abeille,
- un filtre alvéolaire en nid d'abeille sous expansé (épaisseur 99 mm alvéoles de 9,52 mm) réalisé en clinquant aluminium de 0,48 mm,
- deux grillages (maille 4 mm fil  $\varnothing$  1 mm),
- un grillage fin (maille 1 mm fil  $\varnothing$  0,25 mm).

Le premier grillage évite la dégradation de l'écoulement dans "l'expansion rapide". Le filtre alvéolaire sert à réduire la turbulence transversale en combinaison avec les grillages en aval. Bien qu'apportant une réduction de turbulence homogène dans le sens axial et transversal, la disposition adoptée est volontairement plus efficace pour la composante transversale car le convergent amortit bien l'autre concourant ainsi à un résultat isotrope au niveau de la veine (fig. 7c, d, e) [3] [4].

Le calcul du convergent a été effectué par la Direction de l'Aérodynamique de l'ONERA. Il a été réalisé en deux parties liées entre elles par une manchette souple en néoprène. L'une est fixée de façon rigide à la chambre de tranquillisation en béton, l'autre étant rigidement solidaire de la veine d'essai (fig. 6).

## VI VEINE D'ESSAI - PARTIE CENTRALE DU CIRCUIT (Fig. 6 et 8)

La zone de la veine d'essai devait présenter une grande souplesse d'emploi, permettre une excellente vision de la maquette en essai et être conçue pour la mise en oeuvre d'un vélocimètre laser à grand volume d'exploration. La structure porteuse se compose de quatre poutres longitudinales creuses liées à deux portiques caissons transversaux reposant sur les fondations et espacés de 6 m. Le portique aval sert de mise à l'atmosphère de la soufflerie, réalisée ainsi en fin de veine, grâce à une fente périphérique. Cette mise à l'atmosphère s'effectue grâce aux poutres et à une ouverture située sur le sommet du portique amont.

Les parois latérales de la veine sont constituées par un jeu de panneaux amovibles et permutables entre eux permettant de réaliser de nombreuses combinaisons opaques ou transparentes sur une longueur de 5 m. Un panneau métallique de 1 m est prévu de chaque côté pour servir de support de maquette.

Les parois haute et basse sont en contreplaqué et possèdent chacune une vitre de 0,6 m X 2 m. Le calage des parois haute et basse permet de régler la divergence de veine.

Ces parois sont constituées d'un panneau de 5 m de longueur prolongé par un volet de 1 m assurant le raccordement avec le diffuseur de 1,4 m X 1,9 m.

Le dégagement sous la veine dit "fosse laser" est recouvert, pour permettre l'accès à la veine, par une plateforme mobile motorisée. Côté salle de mesure, cette plateforme peut refermer complètement l'ouverture lorsque le portique laser est repoussé contre le convergent. De l'autre côté, seule une petite surface permet l'accès.

Le premier diffuseur est lié à la veine par des manchettes en néoprène et sert de support à la passerelle qui surplombe le circuit. Dans sa première partie, métallique, qui fait passer la section de 1,4 m X 1,9 m à 1,8 m X 2,2 m, est ménagée la porte d'accès à la veine.

## VII COUDES

Les quatre coudes sont équipés d'aubes directrices à profils identiques réalisées en tôles d'acier mécano-soudées.

Le coude 1 a 4 aubes, le coude 2, 5, les coudes 3 et 4 en ont 8. Cette disposition a permis de notables économies de réalisation en standardisant les dimensions (hauteur 2,6 m pour coudes 1 et 2, 4 m pour 3 et 4) et le système de fixation.

Les figures 9a et 9b montrent, pour le coude 3, les aubes en cours de montage (le dégagement dans le béton permet la fixation par des fers Halfen intégrés) et l'ensemble monté.

## VIII VENTILATEUR (fig. 2b, 6 et 10)

Le ventilateur est du type axial à pales fixes et vitesse variable. Les études préliminaires ont permis de déterminer que, pour les performances souhaitées, cette solution conduirait à un coût plus faible qu'un ventilateur à pas réglable des pales et vitesse constante.



En effet, un dispositif de variation du pas des pales en marche entraîne un surcoût notable de la roue que ne compense pas, dans cette gamme de puissance, le coût plus faible d'un moteur asynchrone par rapport à un moteur à vitesse variable.

Les ventilateurs à vitesse variable présentent par ailleurs des qualités intéressantes :

- bruit parasite dans l'écoulement réduit à faible régime de la machine,
- rendement pratiquement constant en fonction de la vitesse,
- conception d'ensemble simple.

Le niveau de performance demandé autorisait l'emploi de matériels déjà définis chez les constructeurs (roue, moteur, armoire électrique) ce qui s'est traduit par une adaptation de matériels standards existants.

Les caractéristiques principales du groupe moto ventilateur sont :

- roue à 12 pales en alliage léger coulé (montée en porte à faux sur l'arbre moteur par un cône dilaté par pression d'huile),
- diamètre extérieur 3,15 m
- diamètre du moyeu 1,4 m,
- moteur courant continu 0-750 t/mn - 683 kW - 400 mm de hauteur d'axe, logé dans le moyeu,
- élévation de pression maximale nominale 2 250 Pa,
- débit volume nominal 252 m<sup>3</sup>/s,
- structure entièrement métallique.

La zone ventilateur, de longueur 9,5 m, possède une fondation particulière, indépendante de celle du circuit et du bâtiment. Cette structure se compose de trois viroles reliées entre elles et au reste du circuit par des manchettes en néoprène. La première virole transforme un carré 2,6 m X 2,6 m en cylindre de diamètre 3,15 m. La virole centrale contient la roue du ventilateur, le moyeu, où est logé le moteur, relié au reste de la structure par 8 bras servant de redresseurs. Un plan de joint horizontal divise cette virole en deux pour accéder à la roue et au moteur. La troisième virole transforme la section en carré de 2,7 X 2,7 m.

La partie électrique comprend :

- un transformateur : 5 500 V/600 V, 1 000 KVA précédé d'une cellule de protection,

- une armoire assurant le redressement du courant, la régulation et le relaying des alarmes et auxiliaires,
- une télécommande au pupitre soufflerie où sont ramenées la lecture de vitesse et les alarmes.

L'ONERA a apporté un soin attentif au déroulement des études et fabrications de cette machine en vue d'assurer la meilleur tranquillité de marche possible. Les points particulièrement étudiés conjointement par le constructeur et l'ONERA ont été :

- Pales : fréquences propres à l'arrêt et contraintes en fonctionnement,
- ligne d'arbre : vitesse critique de flexion et torsion. La figure 10f indique les principales fréquences et leurs évolutions calculées en fonction de la vitesse. [5]
- Paliers : durée de vie, tenue aux faibles charges, rigidité, étanchéité à la graisse.
- Equilibrage des parties tournantes : [5] le moteur et la roue ont été équilibrés séparément à cause de contraintes technologiques. L'ONERA a attaché une importance particulière au respect des normes et spécifications applicables. Le résultat est tout à fait correct d'après les mesures effectuées (voir paragraphe 12).
- Liaison roue - arbre moteur : pression de montage, force axiale de mise en place, tenue aux efforts.

Avant mise en route, une campagne d'essais de vibration à l'arrêt, par une méthode impulsionnelle a eu lieu, pour l'identification des fréquences principales des pales, de la ligne d'arbre et de la structure. Ces essais furent effectués par la Direction de la Résistances des Structures de l'ONERA.

En fonctionnement des chaînes de surveillance munies de trois accéléromètres renseignent sur les niveaux vibratoires aux paliers et sur l'état des roulements. Un filet en câbles d'acier de 4 mm de diamètre à mailles de 60 mm X 60 mm, disposé à l'amont protège le ventilateur. Un dispositif électrique arrête la machine en cas de contact d'une pale avec le stator ou de passage d'un corps de petite taille en périphérie des pales.

## IX REFRIGERANT (Fig. 11)

Le réfrigérant est situé entre les coudes 3 et 4 dans une zone à section constante de 4 m X 4 m. Les impératifs essentiels retenus au niveau de l'étude étaient les suivants :

- coût le plus réduit possible,

- fonctionnement fiable,
- possibilités de démontage relativement faciles,
- perte de charge la plus réduite possible au niveau des batteries air/eau. (Fixée à 10% de la pression cinétique en veine à 100 m/s,
- bonne homogénéité de température de l'air à la sortie.

Les caractéristiques du réfrigérant sont :

- réfrigérant à eau en circuit fermé,
- puissance calorifique évacuable 750 kW,
- surface d'échange : 668 m<sup>2</sup>,
- maintien d'une température de l'air aval inférieure à 40°C pour une température ambiante de 30°C et 750 kW dissipés.

La partie échangeur comprend 4 batteries de 4 m X 1 m à tubes d'eau ailetés (tubes elliptiques 14 mm X 36 mm). Ces batteries sont logées dans un caisson métallique calorifugé assurant, outre leur maintien, la continuité aérodynamique et la tenue à la pression (6000 Pa maximum) interne. Des joints souples en néoprène assurent la liaison avec le circuit en béton. Ce caisson est muni de roulettes et repose sur deux rails liés à des poutres en béton en partie inférieure. Cette disposition permet de dégager tout le caisson du circuit aérodynamique pour l'entretien après avoir démonté les joints souples amont et aval et déconnecté les collecteurs d'eau.

L'eau chaude est refroidie par ruissellement et évaporation dans une tour d'aéroréfrigération munie de deux ventilateurs axiaux.

Le circuit d'eau comprend une pompe fonctionnant à débit constant de 250 m<sup>3</sup>/h qui refoule dans les batteries d'échangeur. L'eau va ensuite vers la tour et revient à la pompe via un filtre. La régulation s'effectue par un by-pass entre l'entrée de la tour et l'aspiration de la pompe. Ce by-pass commandé par deux vannes de régulation mues par air comprimé assure le débit constant de la pompe tout en régulant l'eau chaude selon la consigne de température affichée. Un débit de 0,5 m<sup>3</sup>/h est évacué vers l'égout pour permettre une déconcentration de l'eau. L'eau d'appoint, alimentée par le réseau d'eau industrielle du centre, est traitée contre la corrosion et les algues par une unité doseuse. L'ensemble des tuyauteries est calorifugé et protégé contre le gel par des sécurités commandées par thermostat : chauffage du bac de la tour et mise en route de la pompe de circulation.

#### X. AMENAGEMENT DE LA SALLE DE MESURE (fig. 12)

La salle de mesure de la soufflerie a été divisée en trois zones distinctes, qui regroupent respectivement l'appareillage relatif

aux fonctions de commandes, de mesures et de traitement.

Toutes les connexions électriques de ces appareils sont ramenées en câblage fixe jusqu'à deux tableaux disposés à proximité de la veine d'essais comme le montre la figure 12b.

La configuration de base de l'équipement de mesure de la soufflerie est résumée par la figure 12c ; l'apport de matériel spécifique restant à la charge de l'équipe de recherche en essai.

### COMMANDES

Un pupitre, dont la disposition ménage aux opérateurs une vue directe sur l'expérience en cours, rassemble les diverses commandes ainsi que les visualisations indispensables à leur contrôle. Il s'agit principalement :

- de la mise en service du groupe moto-ventilateur,
- de la mise en service du réfrigérant,
- de la mise en configuration des maquettes en essai,
- du déplacement du support d'instrumentation laser,
- du déplacement des dispositifs de sondage,
- de la télécommande des programmes d'acquisition des mesures.

### MESURES

L'équipement, réalisé par la Direction de l'Aérodynamique assistée par la Direction de la Physique, comprend essentiellement l'appareillage relatif aux trois types de mesure suivants :

- mesures classiques au moyen de capteurs extensométriques assurées par 32 voies de conditionnement d'amplification et de filtrage,
- mesures par anémométrie à fil chaud à partir de sondes multi-fils,
- mesures par vélocimétrie laser en bidimensionnel dans une première étape, avec une future extension au tridimensionnel.

### TRAITEMENT

Un mini ordinateur local "HP 1000" assure, outre l'acquisition et le traitement des données, la gestion des déplacements tant des

maquettes en essai que des dispositifs de mesure : explorateurs, support de vélocimétrie laser, etc...

L'ensemble est composé d'une unité centrale de 256 K octets de mémoire, d'un disque magnétique de 2,5 M octets de capacité, d'un dérouleur de bande magnétique numérique et de périphériques d'édition.

## XI DISPOSITIF DE VELOCIMETRIE LASER

La vélocimétrie laser est utilisée couramment dans les souffleries de recherche de l'ONERA et la faisabilité de cette méthode a été vérifiée dans les souffleries industrielles des Centres de Modane et du Fauga (S2, S3 et F1).

En tenant compte des résultats acquis, la Direction de la Physique de l'ONERA a entrepris pour l'équipement de la soufflerie F2, la réalisation d'un dispositif permettant l'exploration de l'écoulement dans un très large volume.

Ce dispositif spécialement adapté à la soufflerie F2 possède un équipement optique permettant en première étape l'étude bidimensionnelle de l'écoulement mais le support d'instrumentation a été conçu pour permettre :

- la mesure d'une troisième composante de la vitesse par l'adjonction d'un second laser,
- l'étude de l'écoulement par des visualisations par plan laser.

Pour ces études, la soufflerie sera équipée des moyens d'ensemencement de l'écoulement.

### - Structure du système mécanique d'exploration

La structure mécanique du système d'exploration comporte essentiellement un cadre entourant la veine auquel sa structure en caisson confère une grande rigidité. Ce cadre est mobile suivant :

- l'axe transversal y de 600 mm,
- l'axe longitudinal de 500 mm.

Il est lui-même fixé sur un châssis inférieur motorisé circulant sur des rails, mis en place sur le massif en béton sur toute la longueur de la veine, avec une course de 3 750 mm.

Les optiques du système de vélocimétrie laser sont fixées sur des tables équipant les montants verticaux du cadre. Elles peuvent

être commandées sur une course de 1 000 mm. La figure 13a donne l'architecture du système mécanique, la figure 13b montrant son intégration autour de la veine d'expériences.

- Volume d'exploration (figure 13c)

Le volume d'exploration déterminé par les mouvements du cadre seul est tel que :

$$\begin{aligned} x &= 500 \text{ mm (+ ou - 250 mm)}, \\ y &= 600 \text{ mm (+ ou - 300 mm)}, \\ z &= 1\,000 \text{ mm (+ ou - 500 mm)}. \end{aligned}$$

Les tables équipant les montants verticaux ont une surface telle que les optiques peuvent être positionnées de façon à couvrir la hauteur et la largeur de la veine. La course de prépositionnement du support mobile par rapport à l'axe longitudinal de la soufflerie est de 3 750 mm. En combinant les différentes possibilités manuelles et automatisées, l'exploration est donc possible dans le volume défini par la section de la veine sur une longueur de 4 250 mm. En position de stockage, le dispositif est placé en avant de la veine d'expérience, la zone libre de la veine est de 4 650 mm si les optiques sont démontées (figure 13b).

- Pilotage du dispositif

Les trois mouvements principaux sont motorisés par l'intermédiaire de vis à billes animées par des moteurs pas à pas. Chaque moteur est alimenté par un indexeur qui permet la commande par ordinateur et la commande manuelle, la vitesse étant ajustable avec une valeur maximale de 20 mms-1. La précision d'affichage est de + ou - 0,09 mm. La commande manuelle peut s'effectuer soit depuis la salle de commande, soit à l'aide d'un boîtier de télécommande pour les réglages en veine. Le quatrième mouvement, pour le positionnement suivant l'axe longitudinal de la veine, est toujours en commande manuelle depuis la salle de commande. La visualisation des positions est effectuée pour les quatre mouvements par l'intermédiaire de capteurs incrémentaux Heidenhain associés à des compteurs électroniques.

## XII CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES ET PERFORMANCES

Les toutes premières rotations, effectuées les 12 et 13 juillet 1983, avaient pour objectif de vérifier l'équilibrage des parties tournantes du ventilateur et l'obtention de la vitesse de 100 m/s. Avec les essais menés à partir du 27 juillet 1983 débutait la phase d'accordage proprement dite destinée à acquérir une connaissance plus fine des performances avec un équipement plus complet.

Les mesures d'intensité vibratoire, relevées au droit des paliers du groupe moto-ventilateur, montrent que, dans tous les cas de fonctionnement, la vitesse efficace de vibration est inférieure à 2,6 mm/s quelle que soit la direction de mesure. Les normes en vigueur autorisaient jusqu'à 4,5 mm/s pour un fonctionnement jugé excellent.

Les contraintes mécaniques mesurées au pied de l'une des pales du ventilateur ont donné pour résultat 2 hbar pour la contrainte principale (forces centrifuges et aérodynamiques), la valeur calculée étant 1,78 hbar.

Pour ce qui concerne les performances globales, une vitesse de 108 m/s a été obtenue à 730 t/mn lors de la quatrième rotation alors que le filet avant ventilateur n'était pas encore monté, ultérieurement 106 m/s à 720 t/mn ont été obtenus avec l'équipement complet. La puissance nominale et le rendement contractuel ont pu être vérifiés.

La figure 14a regroupe les pertes de charges des divers tronçons du circuit aérodynamique mesurées veine vide. A titre de comparaison, les coefficients locaux calculés sont indiqués. Le coefficient  $\lambda$  est le rapport de la perte de pression d'arrêt, de l'élément considéré, à la pression cinétique dans la veine d'essai.

La figure 14b montre l'évolution de la perte de charge globale ainsi que les limites de fonctionnement de la soufflerie.

Des profils de pression d'arrêt ont été relevés en différentes sections du circuit pour déterminer la qualité de l'écoulement. La figure 14c regroupe ces résultats sur lesquels on peut faire les commentaires suivants :

- dans la veine d'essai la couche limite a une épaisseur de l'ordre de 50 mm,
- en fin de premier diffuseur la couche limite atteint 500 mm avec une répartition très régulière,
- à la sortie du coude 2, un ralentissement est visible côté intérieur, la répartition est plus homogène côté extérieur,
- en sortie de ventilateur, au droit de la fin du bulbe interne, on note une très faible couche limite sur l'extérieur et un léger ralentissement le long du bulbe. Ceci montre le bon fonctionnement de l'ensemble roue-redresseurs.

La qualification détaillée de l'écoulement dans la veine est actuellement en cours (répartition longitudinale de pression statique, répartitions transversales de pression d'arrêt et de vitesse, fluctuations) cependant, les premières observations semblent montrer une bonne qualité d'écoulement.

### XIII CONCLUSION

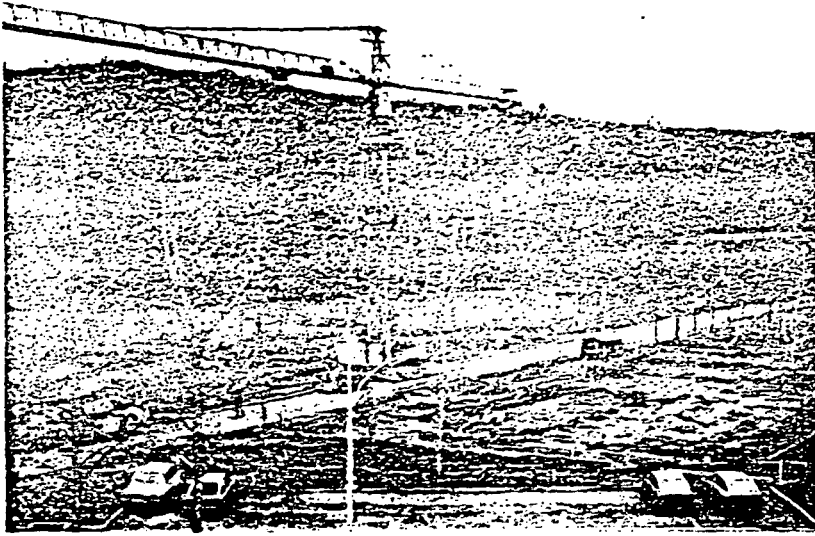
Après les premières études de définition dans le deuxième semestre 1981, la construction du circuit aérodynamique en béton et des bâtiments de la soufflerie a été achevée fin 1982. La mise en place des éléments mécaniques du circuit, veine d'expérience, ventilateur, aubes et réfrigérant au cours du premier semestre 1983 a permis les premières rotations le 12 juillet 1983 dans les délais prévus.

Ce travail a pu être mené à bien par la Direction des Grands Moyens d'Essais de l'ONERA grâce à l'assistance du Service des Travaux Neufs et Entretien qui a assuré la gestion des chantiers des entreprises CHAULIAC pour le circuit aérodynamique et les bâtiments, CGEE pour la partie électrique et du Service des Approvisionnements Techniques qui a coordonné les actions des entreprises l'AURORE S.A., pour le ventilateur, CARRIER, pour le réfrigérant, AMCI, pour la zone veine, ALCOMA, pour l'équipement de la chambre de tranquillisation, SAU, pour les aubes des coudes.

### R E F E R E N C E S

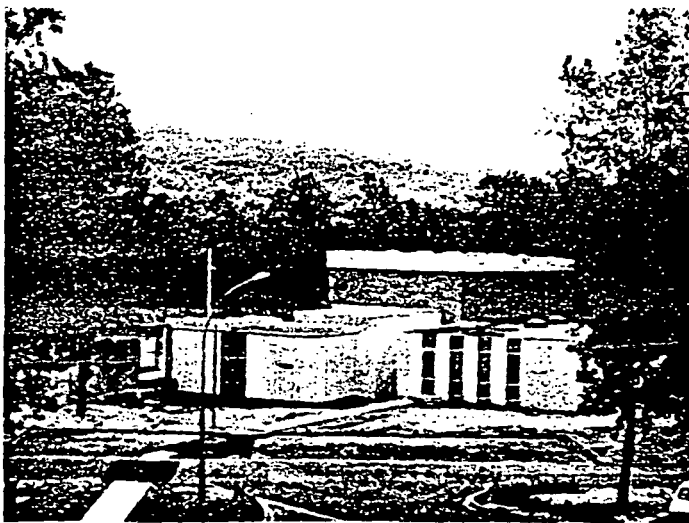
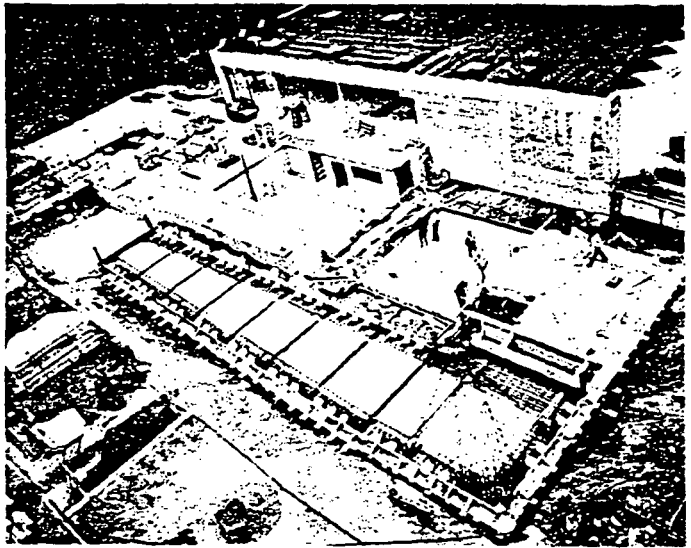
- [1] ONERA : Une nouvelle soufflerie au FAUGA-MAUZAC  
Air et Cosmos n° 960 - 25 juin 1983 -
- [2] French test laser fitted wind tunnel  
Aviation Week - July 18, 1983 -
- [3] J. SCHEIMAN : Comparison of experimental and theoretical turbulence reduction characteristics for screens, honeycomb, and honeycomb-screenscombinations -  
NASA Technical Paper 1958 - Langley Research Center - 1981 -
- [4] MARION - KINNEY - SCHEIMAN : Evaluation of turbulence reduction devices for the Langley 8ft transonic pressure tunnel -  
NASA Technical Memorandum 31 792 - Langley Research Center 1981 -
- [5] R. BIGRET : Vibrations des machines tournantes et des structures  
Tome I à IV - Technique et Documentation -





*Fig. 1 a – Début du chantier de génie civil.  
Mars 82.*

*Fig. 1 b – Vue du chantier en juillet 82.*



*Fig. 1 c – Mars 83, état des bâtiments et du circuit  
aérodynamique.*

Fig. 2b – Vue suivant la flèche.

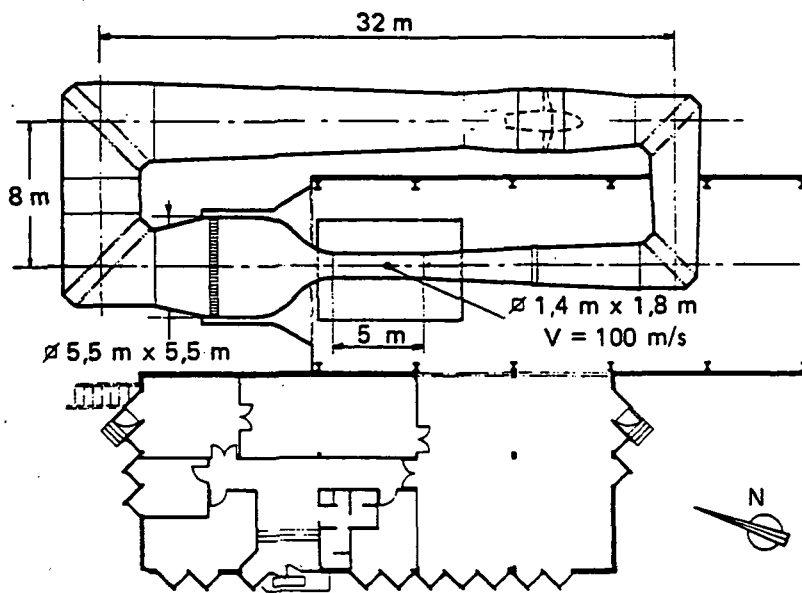
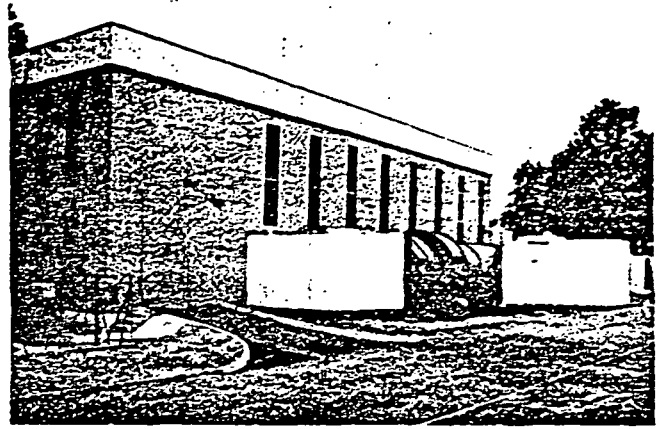


Fig. 2a – Circuit aérodynamique et locaux techniques.

Fig. 2c – Vue suivant la flèche.



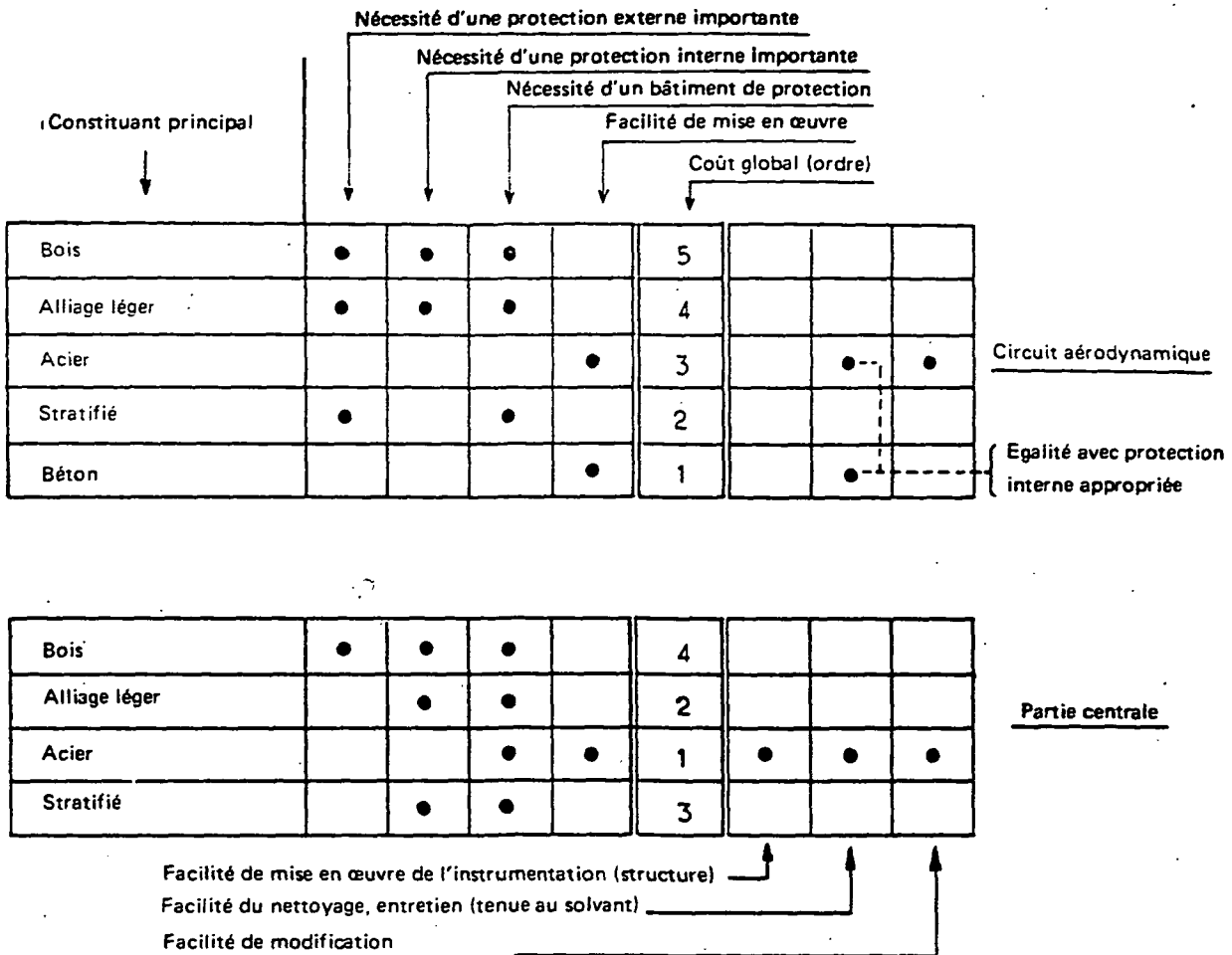


Fig. 3 – Comparaison des différents types de structure.

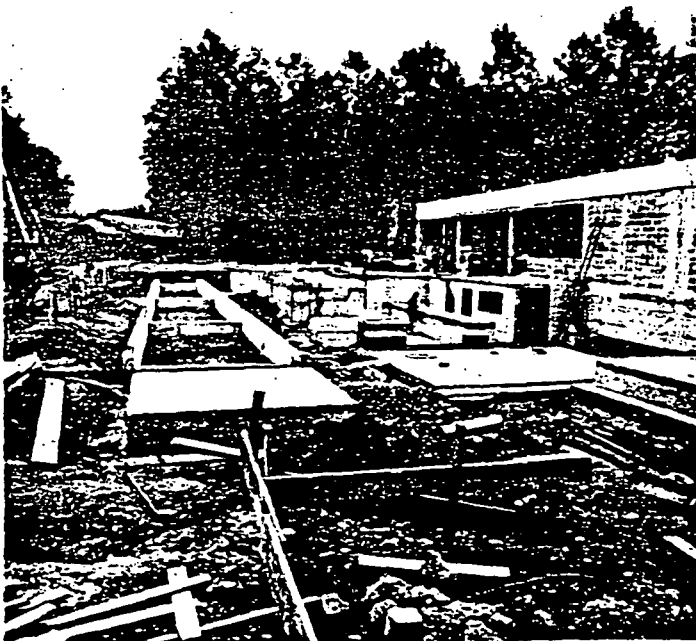


Fig. 4 – Fondation du circuit aérodynamique.

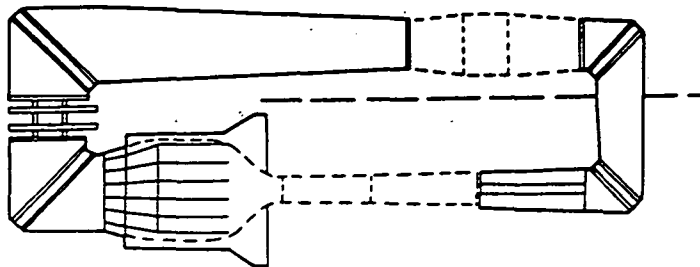


Fig. 5a – Parties du circuit en béton.

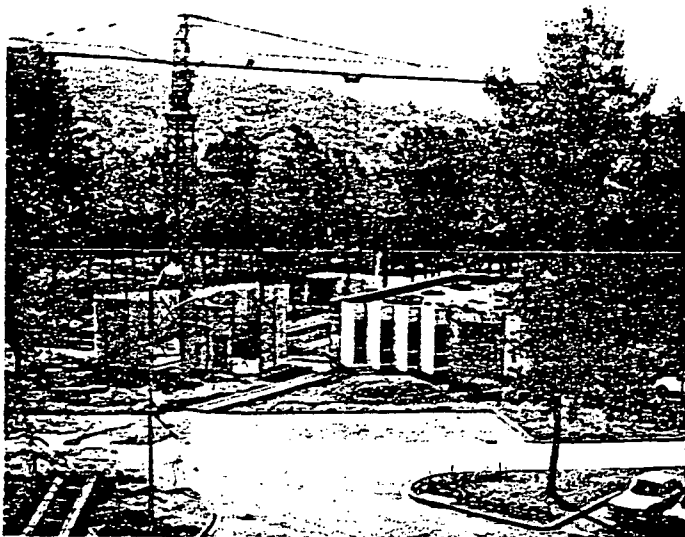
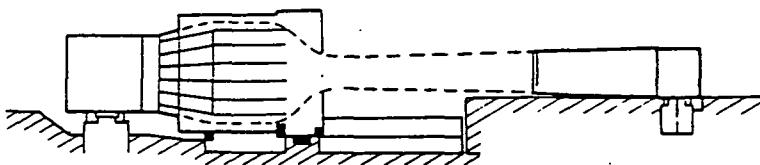


Fig. 5b – Montage des panneaux préfabriqués.

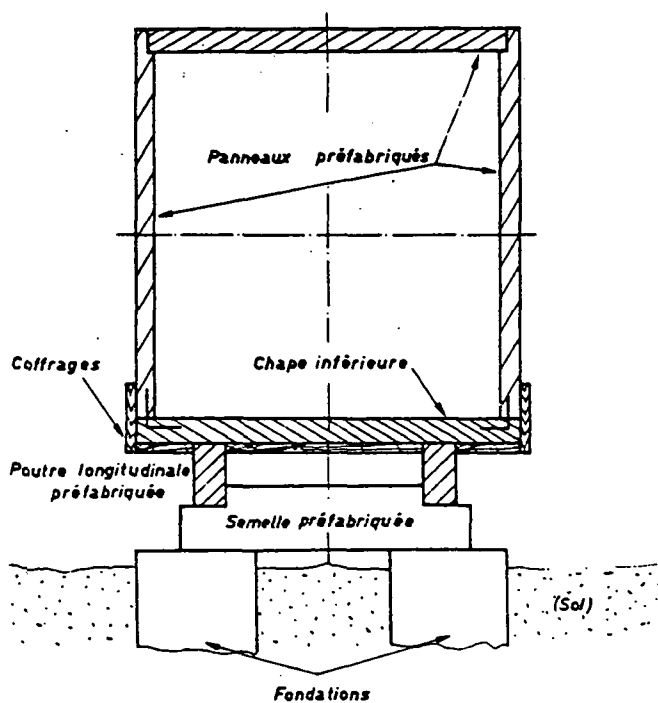


Fig. 5c – Coupe du circuit en béton.

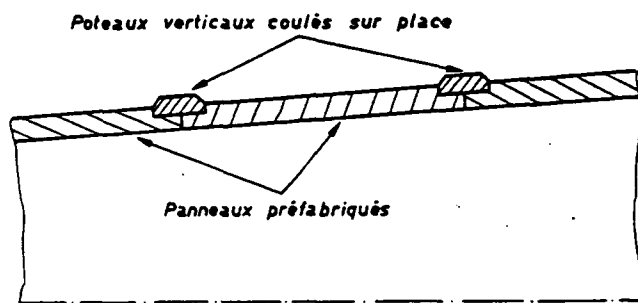


Fig. 5d – Détail des jonction entre les panneaux préfabriqués.

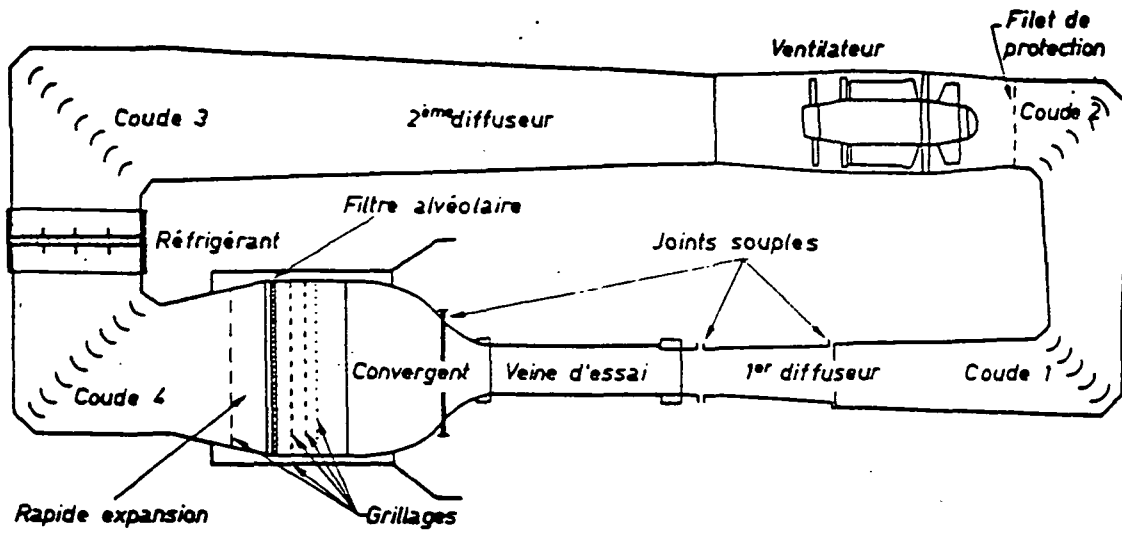


Fig. 6 - Circuit aérodynamique.

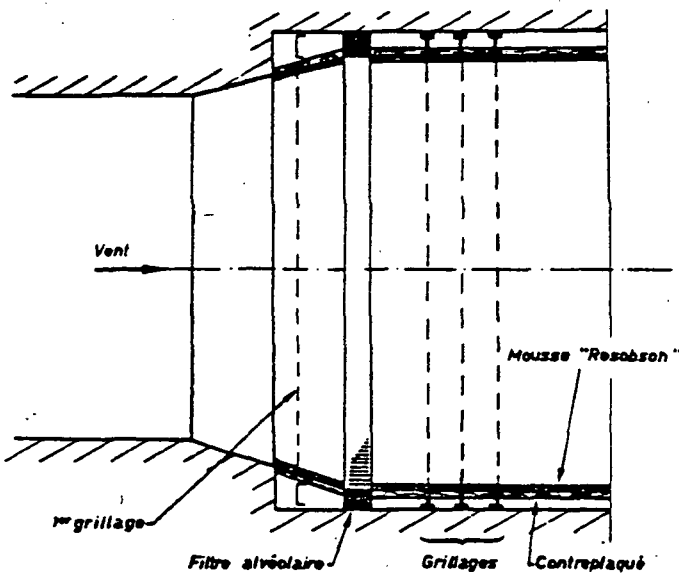


Fig. 7a - Equipement de la chambre de tranquillisation.

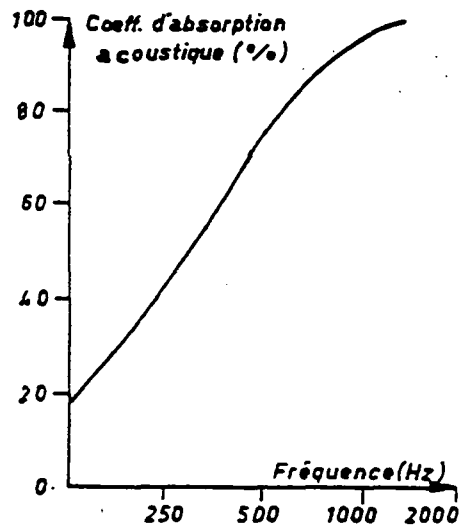


Fig. 7b - Caractéristique acoustique du résobson

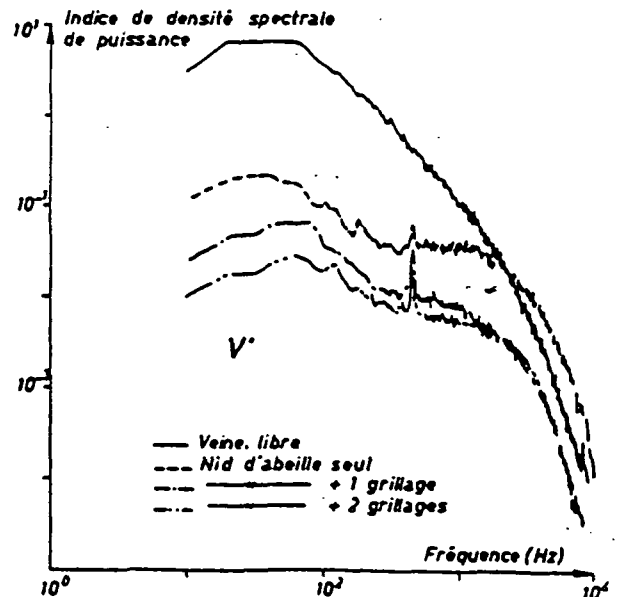
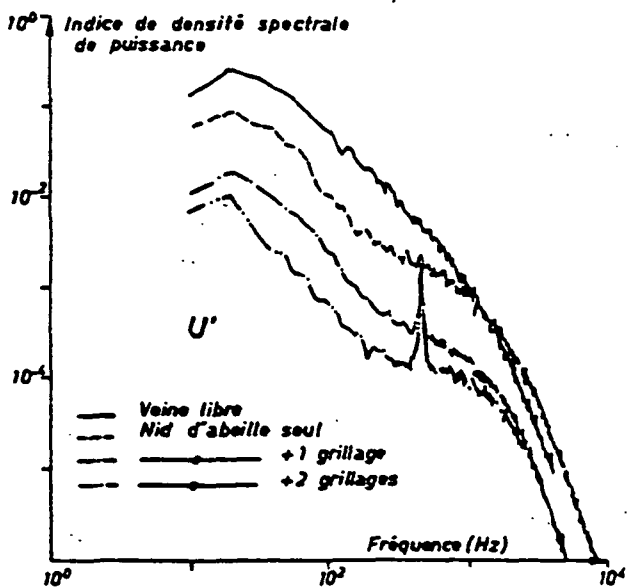


Fig. 7c et d - Comparaison des spectres de turbulence veine vide, nid d'abeille seul et nid d'abeille + grillages.  $U = 18,2$  m/s.

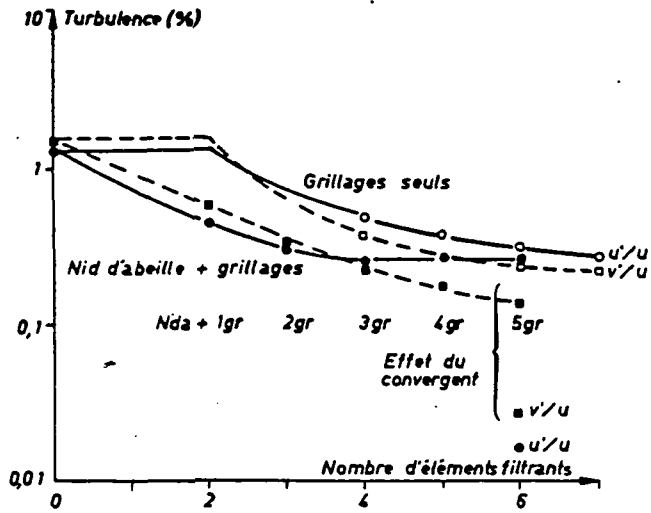


Fig. 7e – Comparaison de l'efficacité des grillage seuls et des grillages plus nid d'abeille.

Fig. 7f – Partie inférieure du convergent en cours de montage.

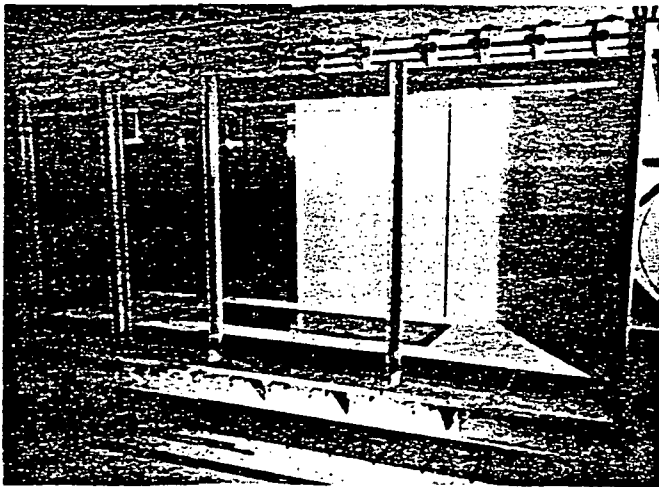
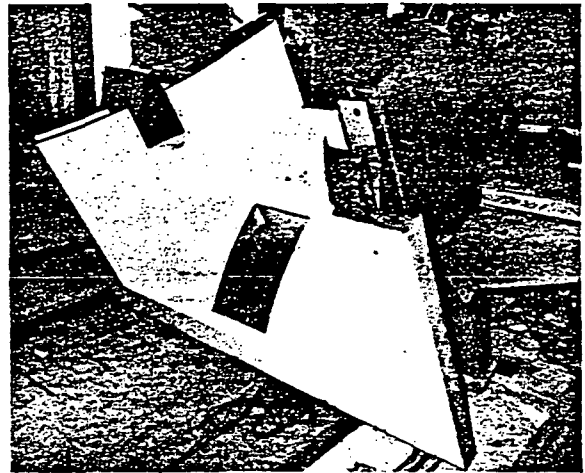
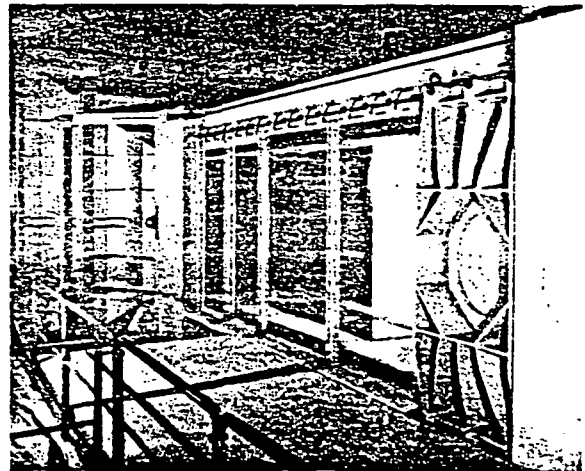
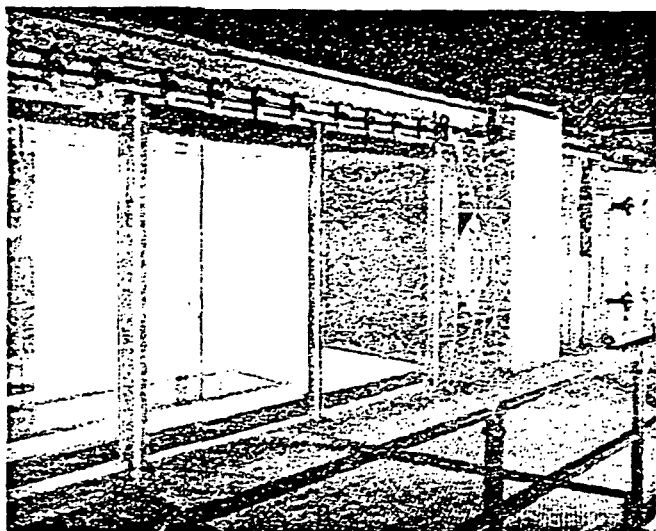


Fig. 8a – Vue perspective avec fosse laser.

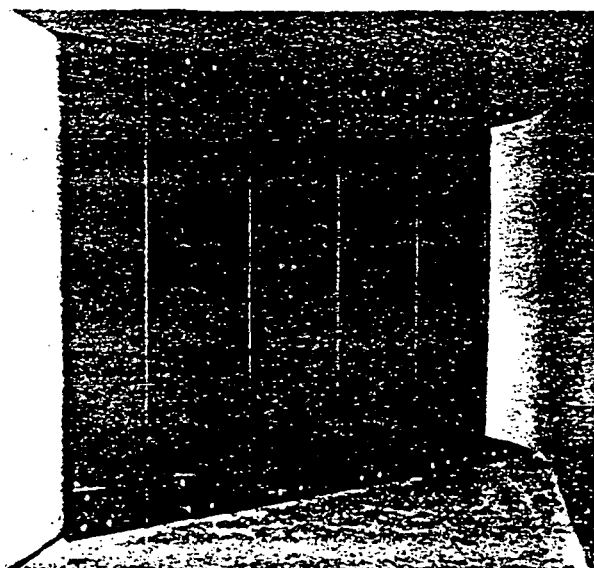
Fig. 8b – Vue vers le convergent plate-forme fermée.





*Fig. 8c - Vue sur plate-forme, diffuseur  
porte d'accès à la veine.*

*Fig. 9 a - Aubes en cours de montage.*



*Fig. 9 b - Coude terminé.*

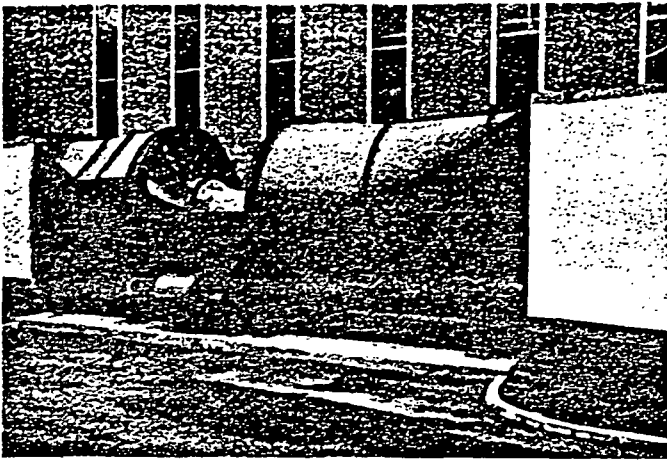


Fig. 10a – Ventilateur avant fermeture de la partie supérieure au stator.

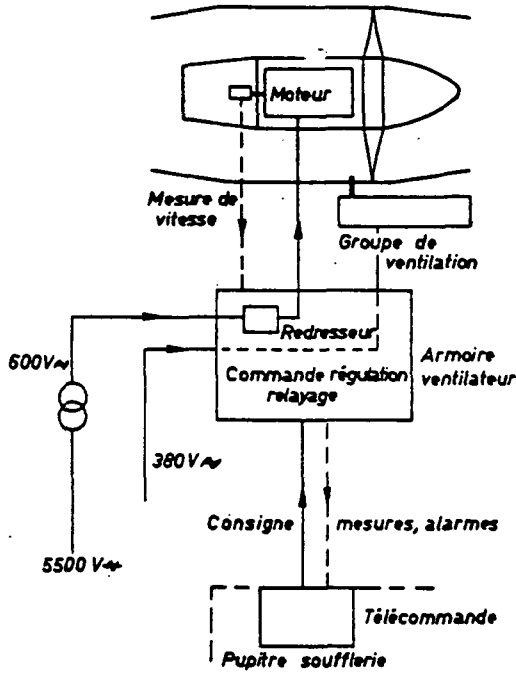
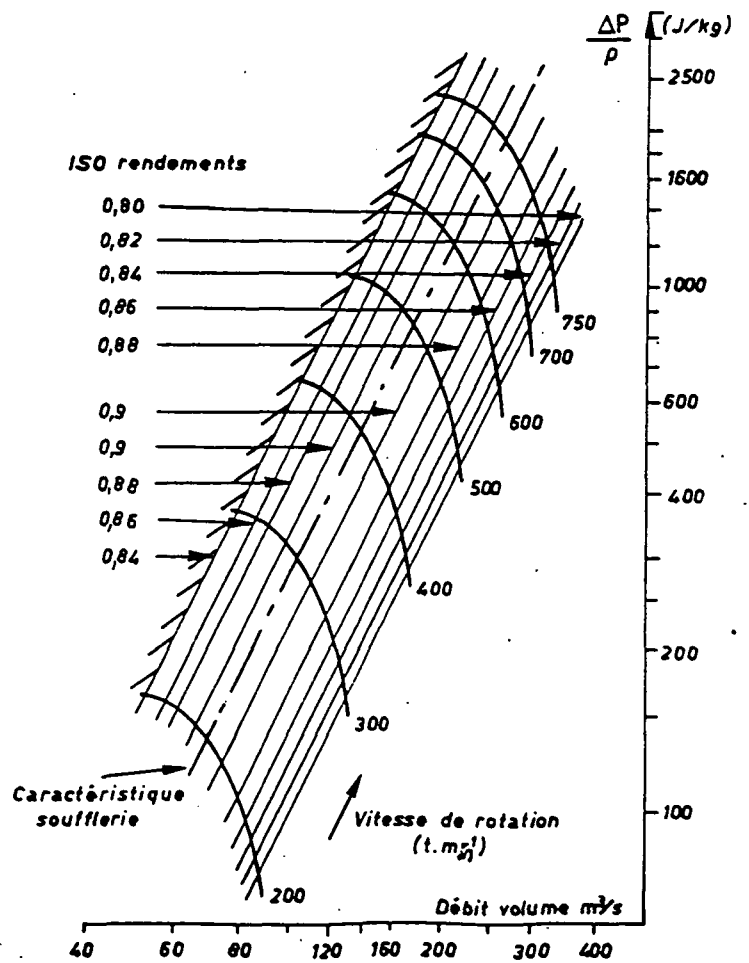


Fig. 10b – Liaisons électriques du groupe moto-ventilateur.

Fig. 10c – Diagramme ventilateur.





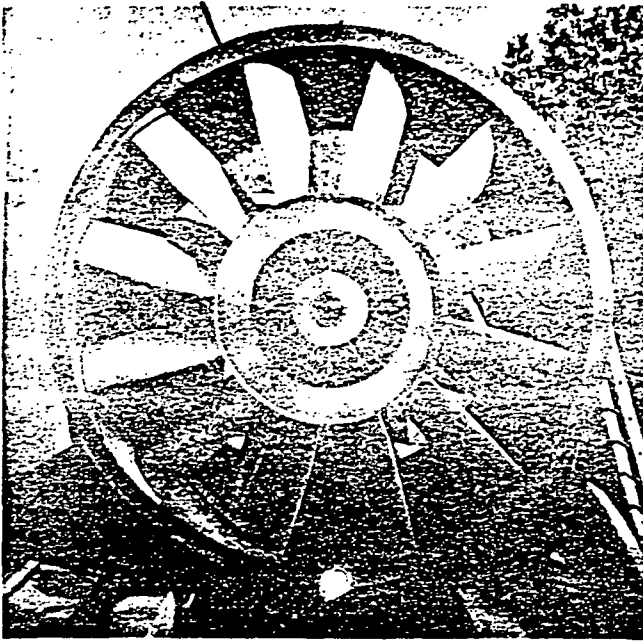


Fig. 10d - Roue du ventilateur dans le stator.

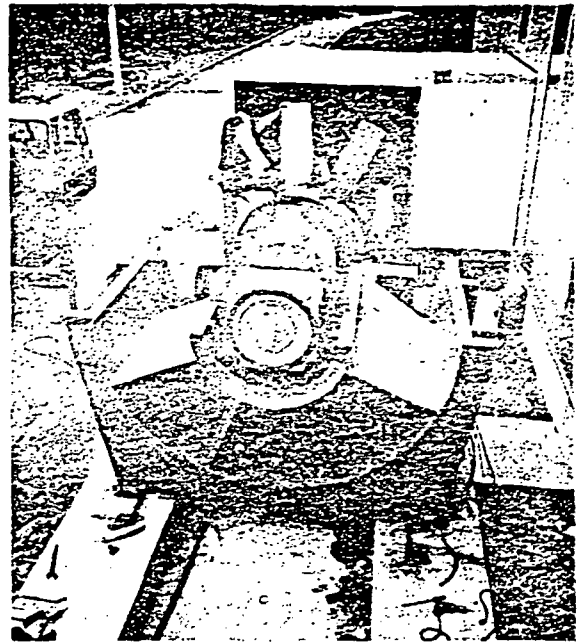


Fig. 10e - Roue et moteur en cours de montage.

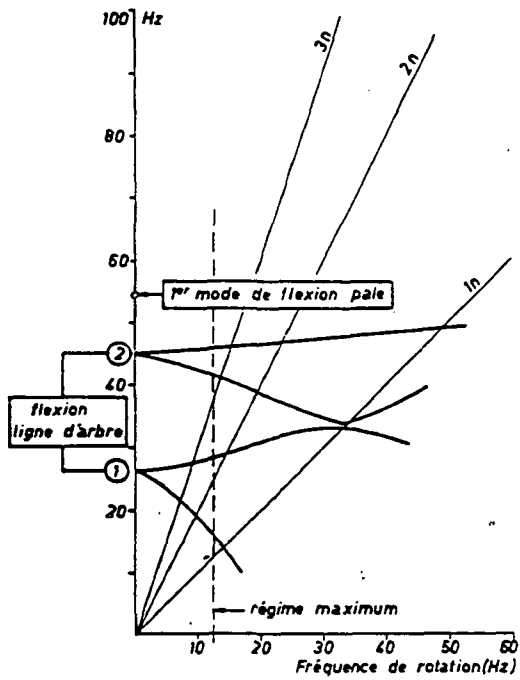


Fig. 10f - Diagramme de Campbell des principales fréquences de ventilateur.

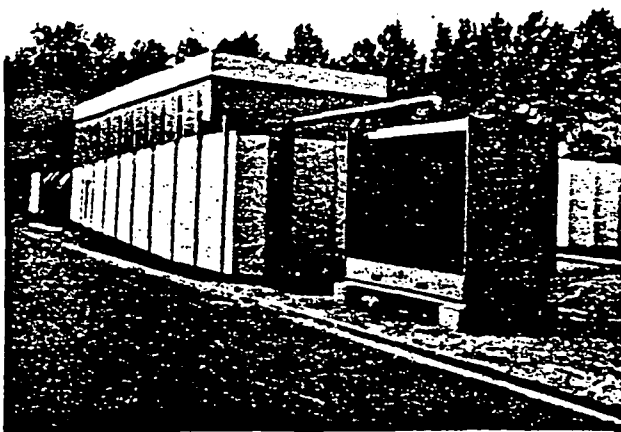


Fig. 11a - Aéroréfrigérant.



Fig. 11b - Mise en place des batteries d'échangeur dans leur caisson.

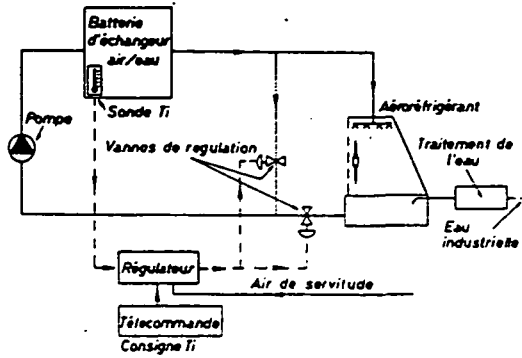


Fig. 11c – Schéma du réfrigérant.

Fig. 11d – Vue des rails de roulement du caisson batterie.

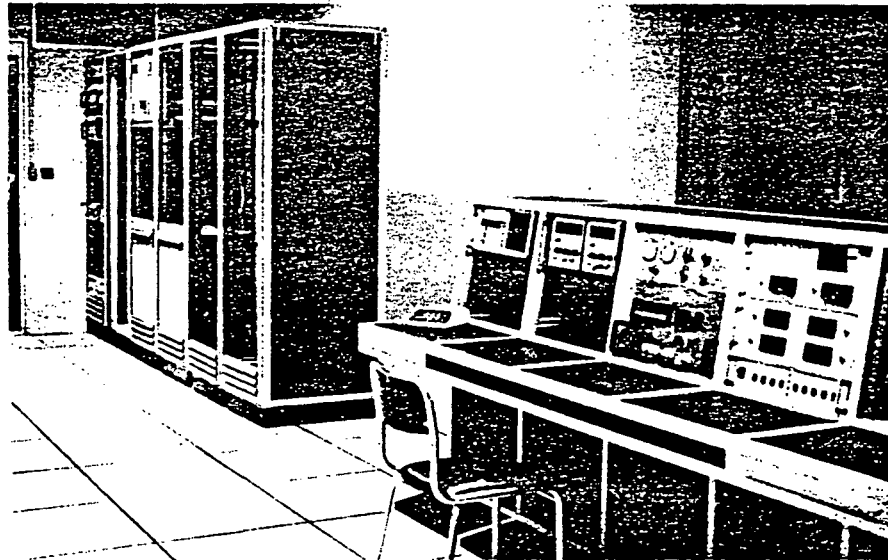
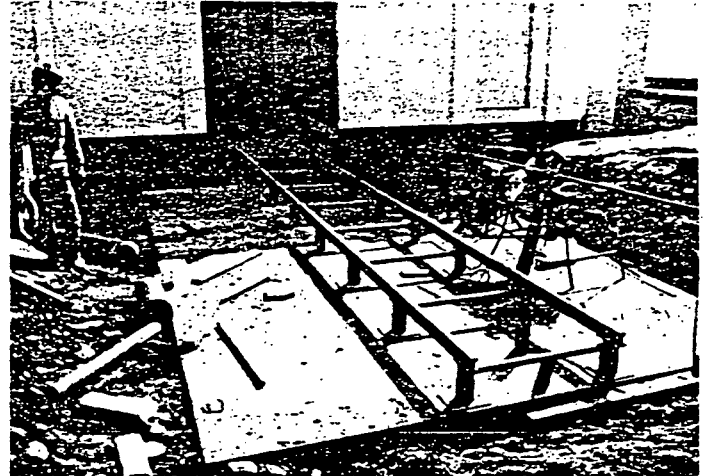


Fig. 12a – Salle de mesure.

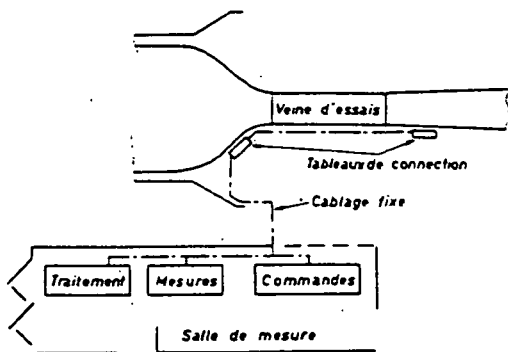


Fig. 12b – Aménagement de la salle de mesure.

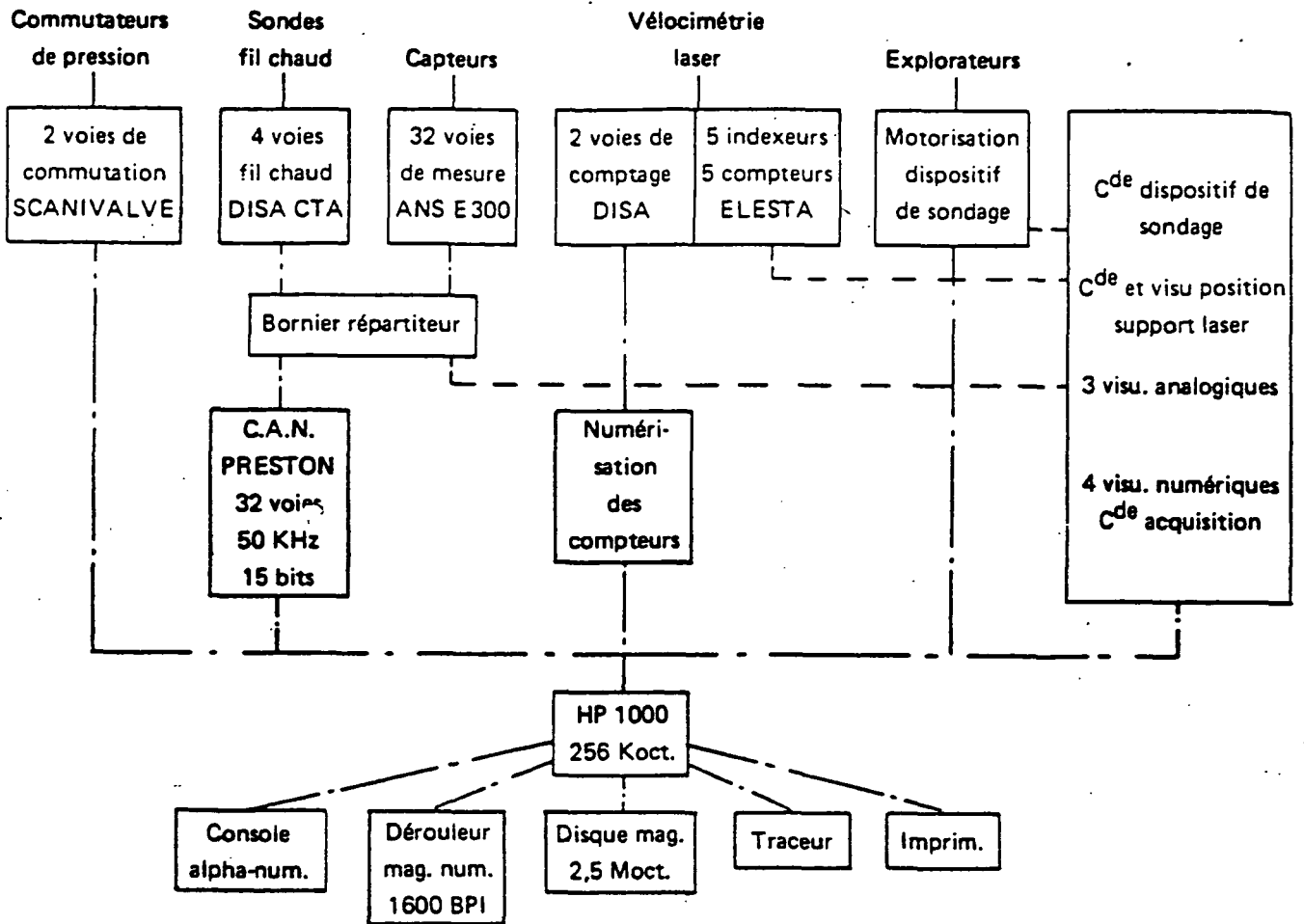


Fig. 12c - Appareillage de mesure soufflerie F2.

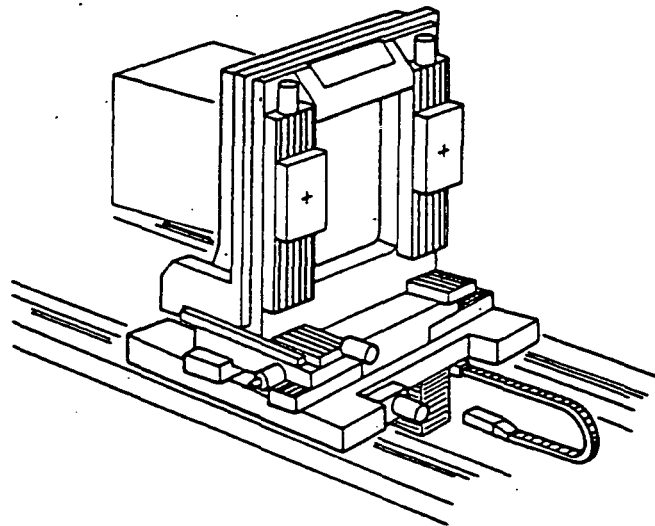


Fig. 13a - Portique laser.

f de  
sition  
er  
ques  
iques  
ion

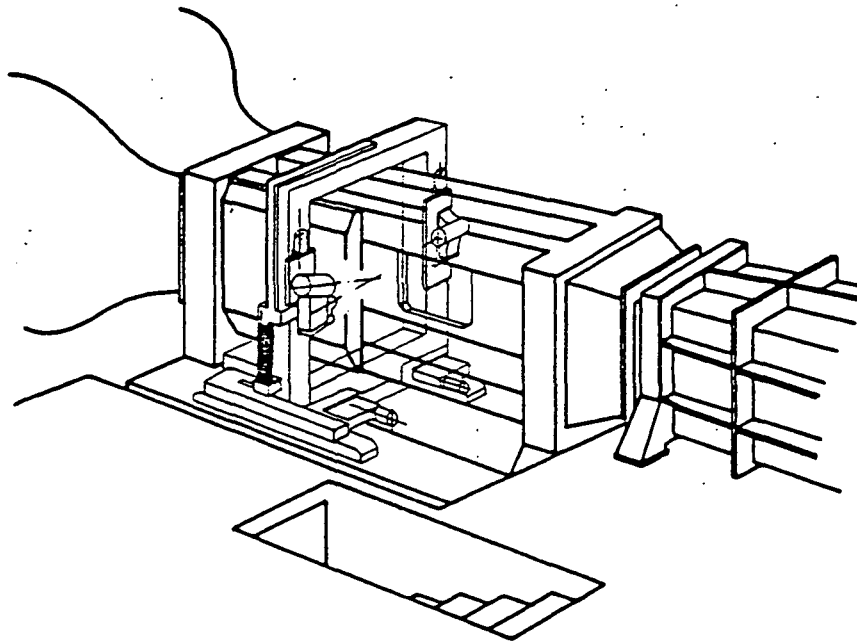


Fig. 13 b - Veine d'expérience et support mobile du vélocimètre.

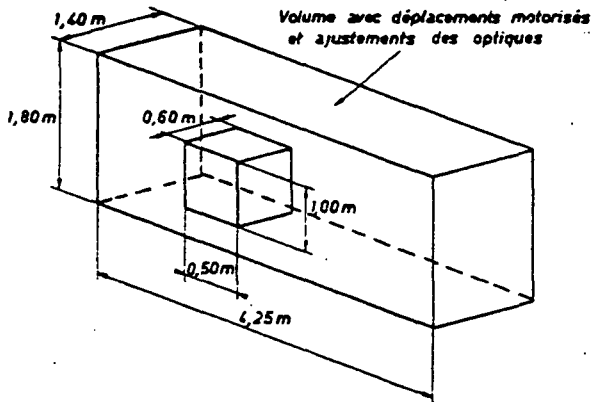


Fig. 13 c - Volumes d'exploration du vélocimètre laser.

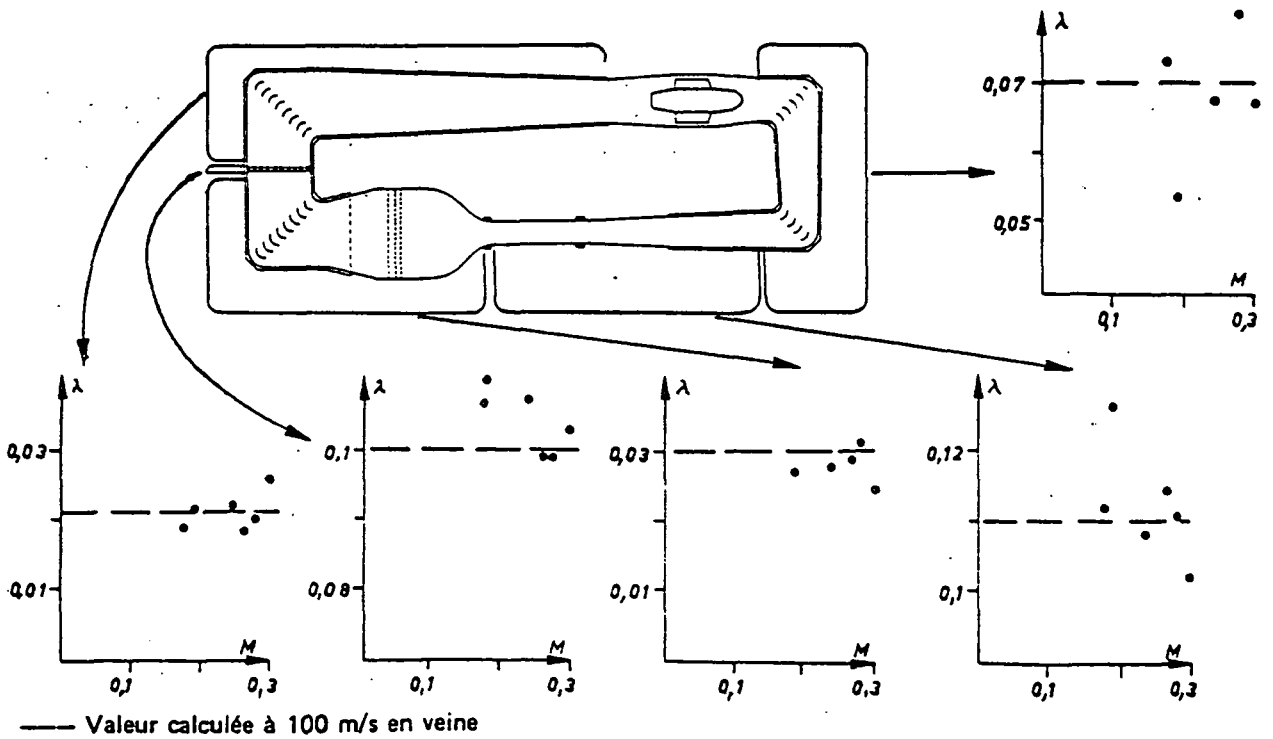


Fig. 14 a - Perte de charge.

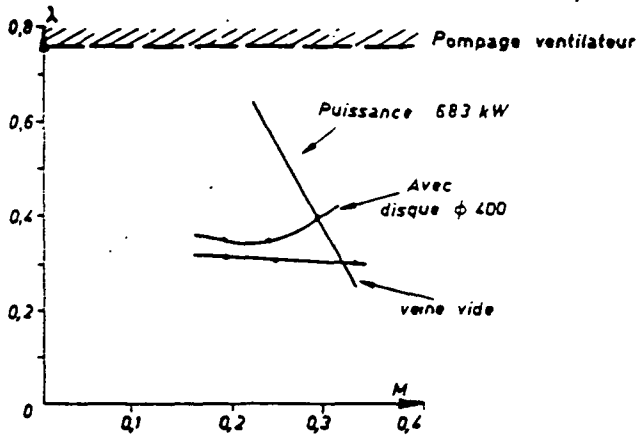


Fig. 14 b – Diagramme de fonctionnement de la soufflerie.

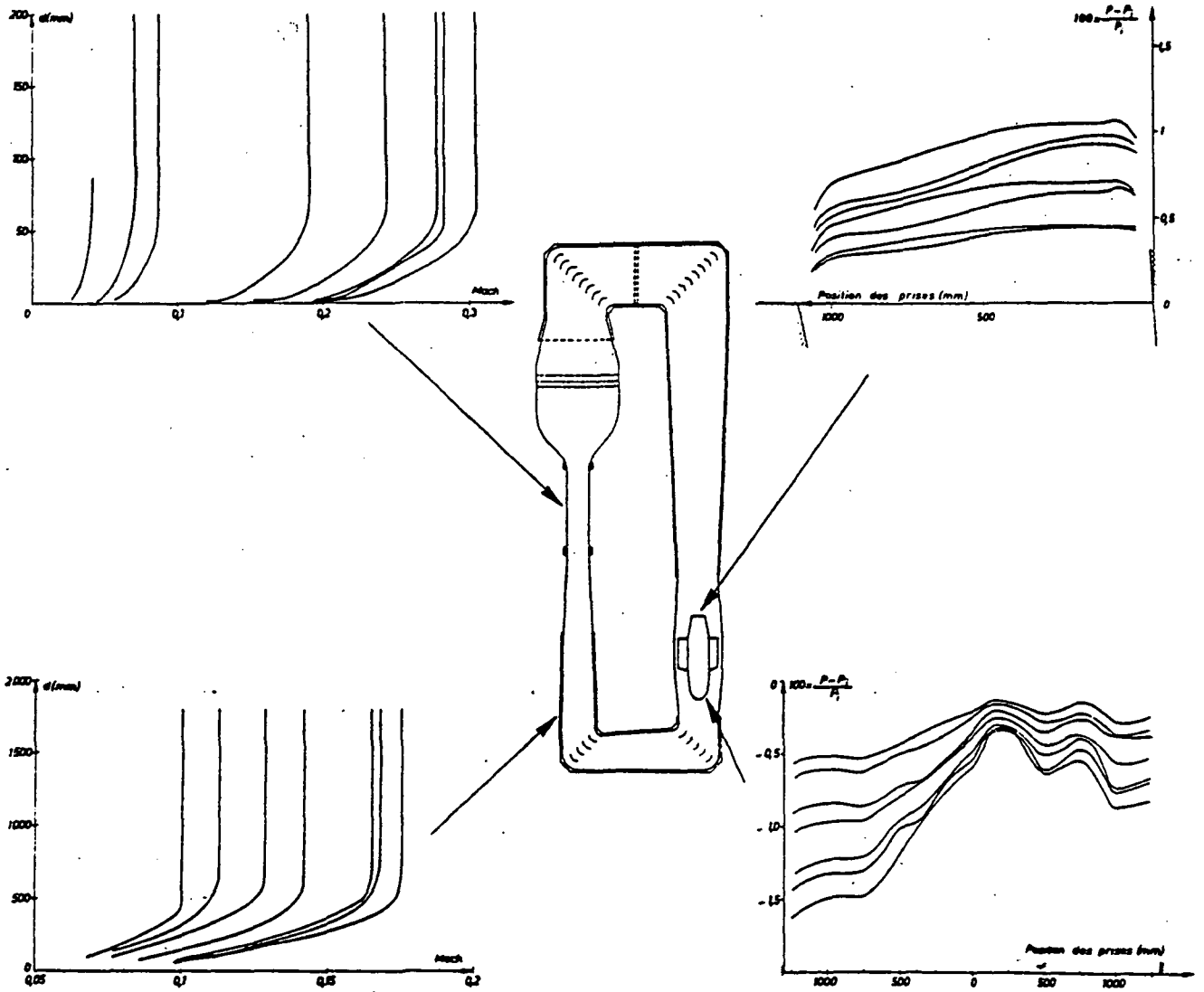


Fig. 14 c – Répartitions de nombres de Mach et de pressions le long du circuit.