

**PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

**ETUDE CONCERNANT LA REALISATION
D'UN ENSEMBLE DE CELLULES DESTINEES
A DES TRAITEMENTS DE COMBUSTIBLES IRRADIES
A L'ECHELLE SEMI-INDUSTRIELLE**

par

P. FAUGERAS, J. COUTURE, G. LEFORT

Rapport CEA N° 1980

**CENTRE D'ETUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY**

- Rapport C.E.A. n° 1980 -

**Service d'Etudes du Traitement
des Combustibles Irradiés**

**ETUDE CONCERNANT LA REALISATION D'UN ENSEMBLE
DE CELLULES DESTINEES A DES TRAITEMENTS DE COMBUSTIBLES
IRRADIES A L'ECHELLE SEMI-INDUSTRIELLE**

par

P. FAUGERAS, J. COUTURE, G. LEFORT

**Communication ayant servi à la réalisation du film présenté
à la 8ème Conférence de San Francisco du 11 au 14 décembre 1960.**

**ETUDE CONCERNANT LA REALISATION D'UN ENSEMBLE
DE CELLULES DESTINEES A DES TRAITEMENTS DE COMBUSTIBLES IRRADIES
A L'ECHELLE SEMI-INDUSTRIELLE**

I - INTRODUCTION.

I. 1 - Principes.

Le mode d'expérimentation à l'échelle pilote concernant le traitement des combustibles irradiés a été jusqu'ici calqué sur la méthode classique de l'industrie chimique. Elle consiste à construire et exploiter une installation complète à échelle réduite et à abandonner ensuite cette dernière.

Dans ce domaine, cette manière de procéder a plusieurs inconvénients :

- la construction du pilote est longue et coûteuse,
- ce pilote comporte un pourcentage connu important ; en effet, une partie des procédés est déjà au point ainsi que de nombreux appareillages,
- par souci d'économie, elle tend plus ou moins vers des

constructions sommaires où il est malaisé d'intervenir et qu'il est difficile de modifier en cours d'exploitation.

C'est dans le but d'obvier à ces inconvénients que nous avons décidé la construction d'un ensemble d'expérimentation pilote dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

- Chaque opération unitaire (dégainage, dissolution, cycle d'extraction) constitue un ensemble indépendant enfermé dans une cellule individuelle protégée α et γ .

- A tout moment, il existe un nombre d'opérations unitaires tel, qu'elles forment un cycle de transformation complet du combustible irradié.

- On peut greffer ou faire l'ablation d'une opération unitaire sans perturber le fonctionnement de la chaîne principale (cellules facilement démontables et isolables).

- Les possibilités d'intervention et de modification sur l'appareillage interne sont importantes et doivent être rapides grâce au combiné télé-entretien / décontamination.

I. 2 - Les problèmes.

Cette nouvelle conception nécessite des études concernant :

a) L'adaptation des paramètres classiques d'étanchéité, protection γ , corrosion, etc. . . , à ce cas particulier.

b) Les problèmes de télé-entretien dans leur intégralité. Ces derniers pouvant être classés en quatre catégories : le transfert du télémanipulateur, l'adaptation du télémanipulateur classique au télé-entretien, l'adaptation de l'appareillage classique et de la cellule elle-même au télé-entretien.

La diversité et l'importance de ces problèmes nous a conduit, d'une part à la réalisation d'une cellule prototype échelle 1 pour résoudre certains d'entre eux, d'autre part à la confection de maquettes à l'échelle 1/5, 1/10, pour étudier la disposition de l'appareillage et la forme de la cellule pour chaque cas particulier.

Le but de ce rapport est de présenter une description de la cellule prototype ainsi que les conclusions auxquelles nous sommes arrivés.

Ces conclusions ont servi de base à la construction des cellules de l'atelier-pilote de Marcoule, commencées depuis le début 1960.

II - CELLULE PROTOTYPE.

Nous diviserons cette étude en deux chapitres principaux :

- Les éléments de structure (charpente et étanchéité α , hublots et ventilation),
- Les éléments fonctionnels : télémanipulateur et son transfert, démontage d'appareillage.

Afin de répondre à toutes les exigences ci-dessus mentionnées, nous avons envisagé des cellules de travail alignées sur un couloir commun avec possibilité d'isolement par une porte lourde et étanche.

II. 1 - Les éléments de structure.

II. 1. 1. Ossature métallique.

Nous avons donc conçu la cellule prototype suivant figure 1 avec la porte et une partie du couloir adjacent.

La cellule est constituée par un caisson de tôle de 4 m x 3 m et de 5 m de hauteur (figure 2). Les tôles de 2 mm d'épaisseur qui constituent l'étanchéité α sont soudées entre elles et maintenues extérieurement par des profilés (fixation par goujons Nelson afin d'assurer une étanchéité parfaite), sans aucune liaison avec la protection γ .

Le couloir possède les mêmes caractéristiques et la liaison couloir cellule est effectuée par un cordon de soudures étanches et en relief de façon à désolidariser ces deux éléments, par un simple meulage (figure 3). Les tôles habillent les consoles de support des rails du télémanipulateur.

Les installations intérieures reposeront sur un châssis métallique, accroché sur le profilé de l'ossature en traversant la tôle par soudure bouchon. Les ouvertures nécessaires pour permettre la vue à travers les hublots de verre de densité élevée seront obturées par des glaces dites d'étanchéité, stabilisées au cérium et fixées sur la tôle avec joint d'amiante graphitée.

II. 1. 2. La porte.

2 m de large et 6 m de haut ; elle est constituée de blocs de fonte de 1 tonne et 30 cm d'épaisseur, soit un poids total d'environ 40 tonnes. Elle se meut par un moteur de 4 CV à la vitesse de 2 m/mn (figure 4).

Une gorge permet de loger le joint en caoutchouc qui viendra faire étanchéité par frottement sur un encadrement fixe en forme de trapèze vertical (figure 5).

Deux sortes de joints ont été essayés : un joint creux et un joint mousse, tous les deux en néoprène. Des études de mise en dépression (70 mm) de la cellule nous ont permis de constater

l'efficacité de ces joints. Cependant, deux inconvénients à signaler :

- Arrachement après un certain nombre de manoeuvres.
- Difficulté de remplacement, ce joint étant toujours caché entre la porte et la cellule et de plus, la porte devant rester ouverte lors de ce travail.

Nous avons donc adopté un joint gonflable accroché dans une gorge sur la partie fixe.

II. 1. 3. Hublots et éclairage.

Dans notre cellule prototype nous avons expérimenté une fenêtre fournie par la Société Saint-Gobain, comportant 3 dalles de verre de 100 mm d'épaisseur, de densité 6,2, placées entre deux dalles de densité 3,3 de 250 mm d'épaisseur.

L'ensemble a été expérimenté sans, puis avec liquide d'indice. L'expérience nous a permis de vérifier la grande différence de transmission (voir figure 6). Toutes les glaces sont stabilisées sauf les dalles de densité 6,2 ; cependant, les irradiations pouvant être très importantes, par mesure de précaution, les fenêtres seront normalement protégées par un écran mobile de 10 cm de plomb, en dehors des périodes d'observation.

Dans la cellule prototype, l'éclairage était situé dans le haut de la cellule ; il a été nécessaire de prévoir un total de

5 500 W fournissant 260 000 lumens pour avoir environ 3 200 lux sur le plan de travail. Nous avons alors une vision normale nous permettant des manipulations délicates avec la fenêtre comportant le liquide d'indice.

En répartissant les lampes autour des fenêtres d'observation, face aux installations chimiques et avec une autre forme de fenêtre ne comportant plus qu'une seule dalle de densité 6,2 de 150 mm d'épaisseur et 3 dalles 3,3 de 260 mm d'épaisseur, l'éclairage a été ramené à environ 2 500 lux avec 4 lampes à ballon fluorescent de 1 000 W fournissant 50 000 lumens.

II. 1. 4. Ventilation.

Le but des essais de ventilation était double :

- Essai d'étanchéité des joints (porte, glace d'étanchéité, etc....)
- Vérification des pertes de charge sur les filtres en papier amiante.

Registre fermé, la dépression étant de 250 mm d'eau, le volume extrait correspondait à environ 11 renouvellements horaires provenant des fuites sur le registre et les joints.

Le régime adopté est de 70 mm de dépression avec 10 à 15 renouvellements horaires. Dans ces conditions, les fuites correspondent à 4 renouvellements horaires et les pertes de charge sur les filtres papier amiante sont de 15 mm.

II. 1. 5. Protection γ .

Prévue pour des cellules de 100 000 curies, cette protection est constituée de blocs de béton baryté de 10 tonnes (capacité du pont roulant) et totalement indépendants du caisson cellule.

L'épaisseur est de 1,10 m et comporte deux marches d'escalier de 3 cm sur chaque partie en contact avec les blocs adjacents dans le plan horizontal ou vertical (figure 7).

Les essais nous ont montré la difficulté d'obtenir des empilements sans mortier sur 8 à 10 m de haut avec un très bon aplomb, sans fuite de rayonnements au joint (essais avec source de cobalt 60).

Nous avons tenté de rectifier les niveaux avec des feuilles de plomb de 1 à 4 mm d'épaisseur, mais nous avons dû reconnaître qu'il était indispensable de concevoir des blocs avec des tolérances très sévères de ± 2 mm/m.

Ceci nous a conduit à des coffrages métalliques très robustes en tôles de 16 mm avec des tolérances de $\pm 0,5$ mm.

La densité du béton obtenu est de 3,42. Les blocs possèdent une légère armature métallique et des passages pour canalisations y sont ménagés.

Les hublots viennent s'insérer dans cette construction.

II. 2 - Les éléments fonctionnels.

Suivant notre conception initiale, nous désirions étudier l'application du télé-entretien par télé-démontage des vannes, raccords et appareillages chimiques divers.

Pour cela, nous avons été amenés à étudier dans la cellule prototype :

- a) la télémanipulation et le transfert
- b) le démontage d'appareillage.

II. 2. 1. Le transfert du télémanipulateur.

En général, chaque cellule active comporte au moins un manipulateur qui lui est propre. Dans les installations comportant plusieurs cellules, il est cependant souhaitable d'essayer de desservir toutes les cellules au moyen d'un nombre limité de manipulateurs, à condition que ceux-ci puissent être introduits facilement dans telle ou telle cellule au moment voulu, la durée d'intervention du manipulateur étant relativement faible par rapport à la durée des traitements physiques ou chimiques effectués dans les cellules.

Le manipulateur adopté ici fut un General Mills "modèle 300".

Le système de transfert est essentiellement constitué

par une nacelle automotrice sur crémaillère destinée à passer le General Mills et son pont roulant du couloir à l'intérieur d'une cellule (figures 1, 8, 9).

Cette nacelle comporte quatre galets et deux entraînements synchronisés en raison de la discontinuité qui existe dans les chemins de roulement et crémaillère, dû à la fermeture de la porte. Il y a un vide de 400 mm à franchir.

L'ensemble de cette installation nous a donné satisfaction.

Cependant, la hauteur d'intervention limitée à environ 2,40 m était dans ce cas insuffisante, les études de génie chimique nous ayant amené à utiliser des colonnes puisées.

Nous avons donc envisagé :

- a) l'installation du génie chimique sur la paroi face au hublot en forme de flow-sheet.
- b) l'installation du manipulateur sur une potence amovible.
- c) l'utilisation d'un manipulateur réduisant au minimum le volume mort en hauteur. Nous avons expérimenté le manipulateur "Lee" que nous avons monté sur une potence susceptible des mouvements X Y Z θ (figure 10).

Au stade de notre installation pilote, cette potence devra se positionner sur une tourelle de transfert située dans le couloir

par analogie avec l'appareillage décrit ci-dessus, mais cette fois dans un plan vertical.

Par ailleurs, nous remplacerons le manipulateur "Lee" par un "General Mills modèle 150" qui, avec des mouvements similaires, possède une puissance plus importante pour nos besoins.

II. 2. 2. Transmission d'ordres.

Le problème des alimentations électriques ainsi que de diverses commandes et interdictions a retenu toute notre attention.

Dans la cellule prototype, les câbles multiconducteurs montés sur enrouleur remplissaient ces divers offices.

Cependant, devant les complications dues aux longueurs considérables à mettre en jeu, nous avons adopté, pour notre installation pilote, un système de télécommande et d'automatisme électronique.

Nous avons retenu un ensemble électronique avec circuit logique transistorisé permettant de faire passer 128 ordres différents sur trois trolleys en plus des trois trolleys de puissance. Les ordres sont transmis les uns à la suite des autres et répétés cycliquement à cadence élevée, sous forme d'un train d'impulsions : une temporisation permet aux appareils de recevoir un ordre

continu que ce soit un ordre d'arrêt ou un ordre de marche. Par un système de sélection ne comportant pas d'horloge électronique chaque appareil reçoit uniquement les ordres qui lui sont destinés.

II. 3 - Le télé-démontage.

La technique de télé-entretien et télé-démontage, compte tenu des possibilités limitées de l'engin de télémanipulation nécessite une adaptation de l'appareillage.

Ainsi, nos travaux se sont développés :

- Dans le domaine des raccords de tuyauteries et des systèmes d'accrochage simples demandant un minimum de mouvements simples de la part du télémanipulateur.
- Dans le domaine de la disposition générale de l'appareillage afin d'assurer une accessibilité maximum au télémanipulateur et une visibilité parfaite à l'opérateur.

A noter que ce style de construction convient à fortiori pour l'entretien direct, étant donné le minimum de temps nécessaire à l'intervention humaine.

II. 3. 1. Raccords et systèmes d'accrochage.

II. 3. 1. -1. - Raccords de tuyauterie.

Les raccords télé-démontables ont déjà été étudiés et

utilisés aux U. S. A. Nous avons repris et adapté à nos besoins ces divers systèmes principalement le "Jumper" et le raccord à crochets (NAA-SR-2981).

Ces systèmes, bien que donnant satisfaction, ne constituent pas un mode de raccord universel,

- capable de remplacer les brides,
- pouvant utiliser un joint métallique,
- de prix de revient comparable à celui des brides classiques.

Dans le but de trouver un tel raccord, nous nous sommes arrêtés à deux systèmes : le raccord à flasque type "Leybold" ; le nouveau raccord mis au point par M. LECHATON (Brevet n° 822 866).

Ce dernier, qui a donné satisfaction et dont l'utilisation se généralise dans nos installations, est schématisé sur la figure 11.

L'ensemble comprend essentiellement 3 parties :

- a) un boîtier en forme de goulotte terminant une tuyauterie,
- b) l'embout de l'autre tuyauterie pouvant entrer librement dans le boîtier. Il supporte sur sa collerette le joint consommable. Sa surface extérieure est filetée.
- c) un écrou avec une autre collerette tournant sur l'embout et assurant par son déplacement dans le boîtier, l'écrasement du joint d'étanchéité.

Ce raccord simple et robuste ne coûte pas plus de 10 à 20 p. 100 du prix d'une bride à double emboîtement. Il demande un temps minimum pour le positionnement et le serrage : 1 mn 30 s au télémanipulateur.

Le système de raccord entièrement métallique pose le problème du joint. Dans le cas de montage en acier inoxydable l'étanchéité nécessite, soit une précision d'usinage et de positionnement incompatible avec le télédémontage, soit une grande souplesse du joint.

Nous avons réussi dans ce dernier cas :

- a) en utilisant un joint torique en acier inoxydable évidé,
- b) en recuisant le joint de manière à lui conférer une souplesse sans altérer ses propriétés anti-corrosives,
- c) en fixant celui-ci sur la pièce mobile pour faciliter son remplacement.

Ce type de raccord a été essayé sous 40 kg de pression, il présentait une étanchéité parfaite après 10 démontages au télémanipulateur sans changer le joint.

II. 3. 1. -2. - Systemes dérivés des raccords de tuyauterie.

Dans le cas d'un grand nombre de tuyaux de faible diamètre (régulation, prise d'échantillon. . . .) il nous a semblé plus pratique

et plus économique de les rassembler autant que possible en faisceau sur une même bride, tout en conservant le principe de guidage et serrage précisé ci-dessus. La bride à 2 tuyaux a donné entière satisfaction, nous essayons 4 et plus.

Une vanne commandée à distance pneumatiquement, comporte 4 raccords : 2 sur liquide, 2 sur air comprimé.

Afin de faciliter et diminuer le temps de démontage, les raccords ont été rassemblés comme on le voit sur la figure 12. Avec ce système, on a opéré, sans changement de joint, 10 démontages et l'on a constaté le maintien intégral de l'étanchéité des raccords sous 5 kg.

II. 3. 1. -3. - Les systèmes d'accrochage.

La meilleure méthode qui correspond au maximum d'accessibilité et minimum de mouvements du télémanipulateur consiste à accrocher les appareils sur une paroi de la cellule. Chaque appareil est maintenu sur une chaise, cette dernière s'accroche sur des bâtis métalliques rigides fixés à la paroi et comportant des systèmes de guidage. Les extrémités de tuyau sont fixées par des noix ou par d'autres systèmes.

II. 3. 2. La disposition des appareils.

La disposition des appareils doit être examinée dans chaque cas particulier en recherchant l'accessibilité et la visibilité

maximum. Une méthode pratique consiste à confectionner des maquettes au 1/5 ou au 1/10.

D'une manière générale et autant que possible, il y a intérêt à disposer les appareils en schéma le long d'une paroi de la cellule, la paroi opposée dégagée comporte les hublots d'observation et l'éclairage. Un espace libre entre cette dernière paroi et l'appareillage doit être réservé au télémanipulateur.

La figure 13 donne un exemple de maquette qui a servi à l'étude de la disposition d'une unité d'extraction au T B P à l'aide des colonnes pulsées.

Cette technique a évidemment une grande influence sur la forme définitive des cellules.

Par rapport aux cellules classiques, la cellule adaptée au télé-démontage est généralement plus longue et plus étroite. En raison du rapport surface/volume plus important, la masse de béton nécessaire à la protection pour un même appareillage est plus grande de 10 à 20 p. 100 selon les cas.

La figure 14 représente la forme retenue dans l'atelier pilote de Marcoule où l'on peut distinguer principalement :

- la forme allongée des cellules,
- la disposition en épi sur un couloir commun,
- la télémanipulation sur paroi verticale,
- la vision directe par hublot.

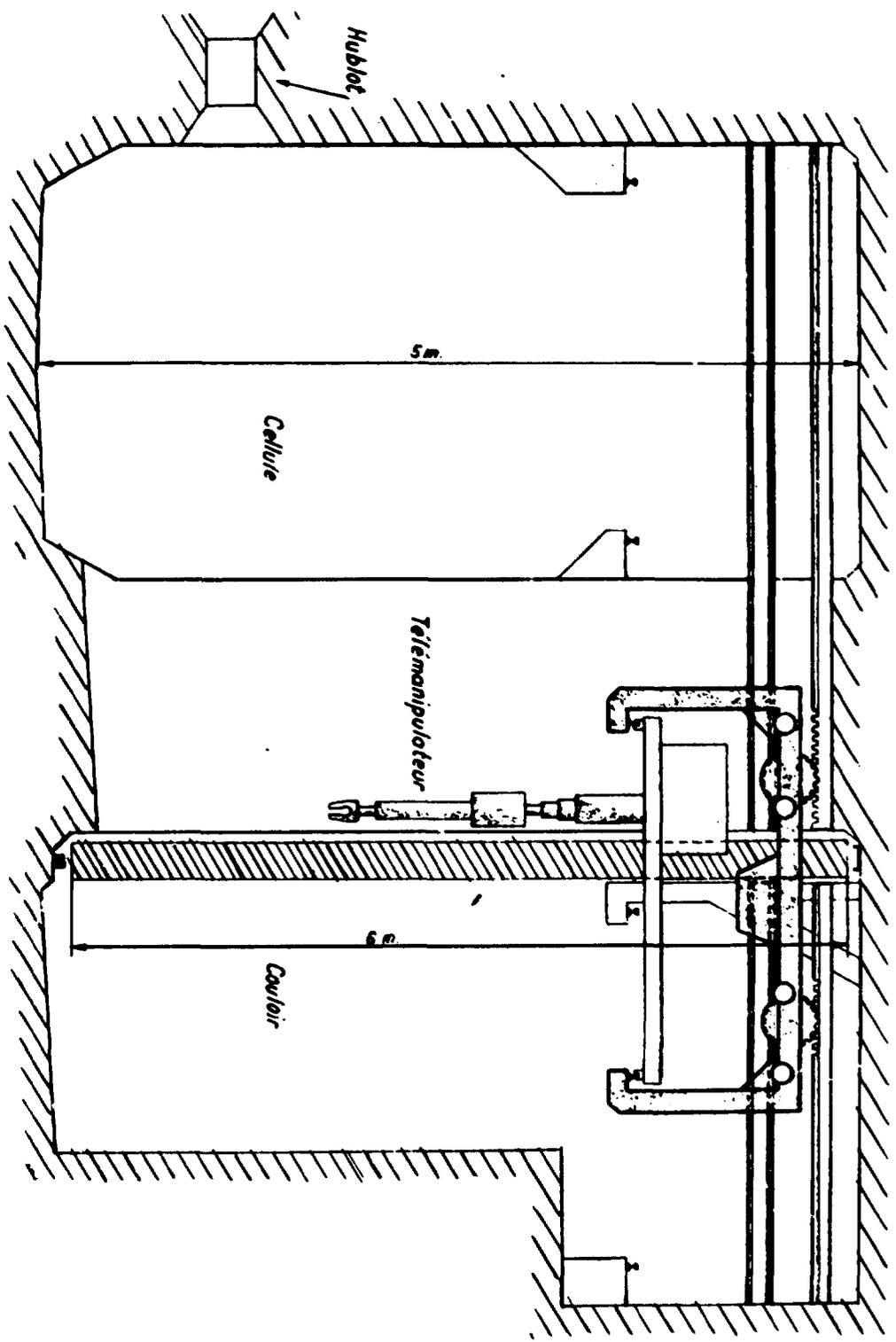
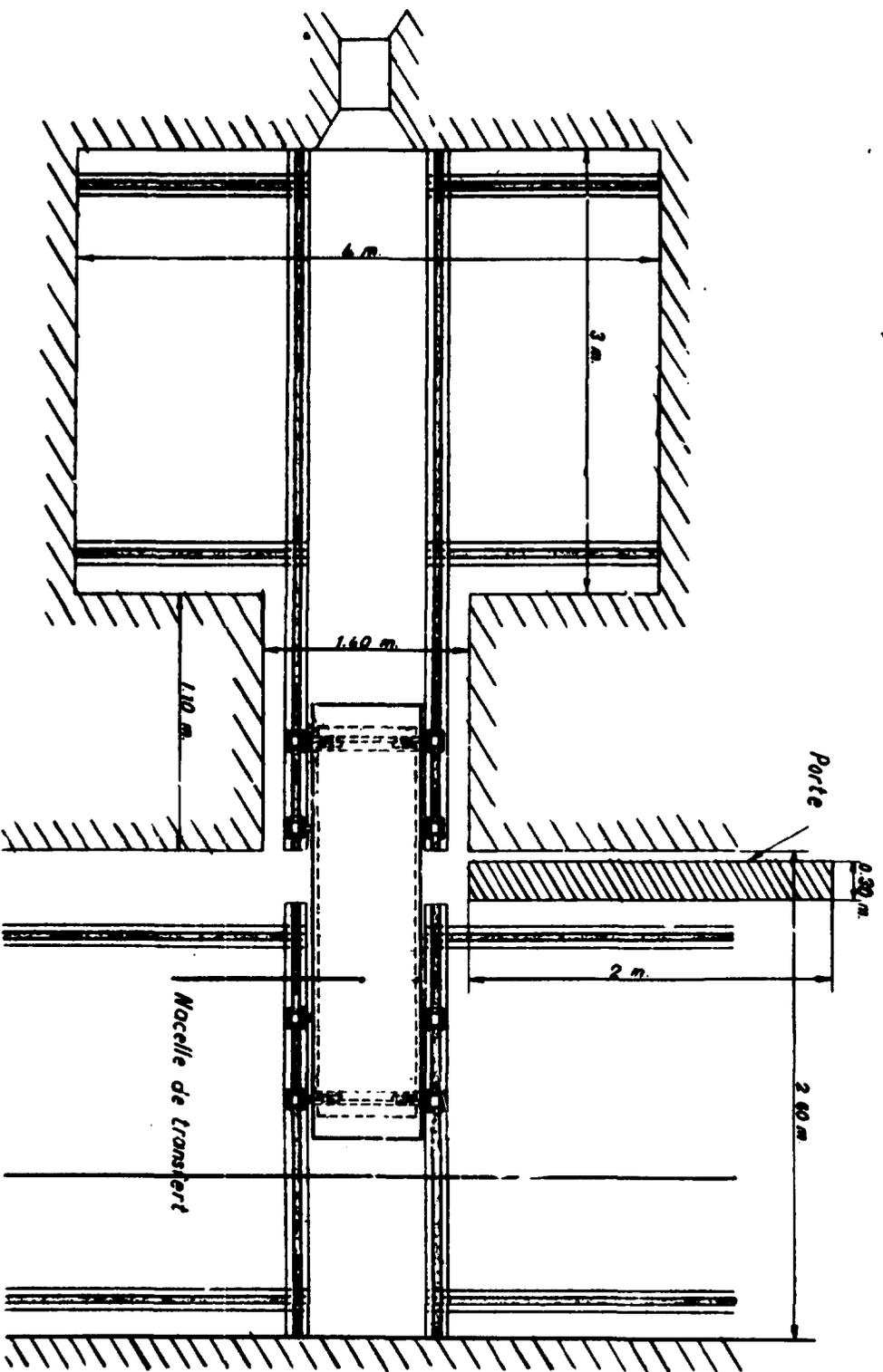
III - CONCLUSION.

On peut conclure en remarquant que tout en conservant notre philosophie de base (cellules démontables de grandes dimensions et télé-entretien), nous avons pu aménager certaines de nos conceptions en fonction des résultats obtenus avec cette cellule prototype (modification des structures, du téledémontage, etc. . . .).

Quant au prix de revient, il a été très raisonnable vu l'importance des constructions envisagées.

Sur une dépense totale de 700 000 NF, dont 30 p. 100 pour les éléments de structure et 70 p. 100 pour les éléments fonctionnels, plus de 60 p. 100 de l'appareillage sera réutilisé après démontage (télémanipulateur, hublots, vannes, etc. . . .)

Manuscrit reçu le 29 mai 1961.

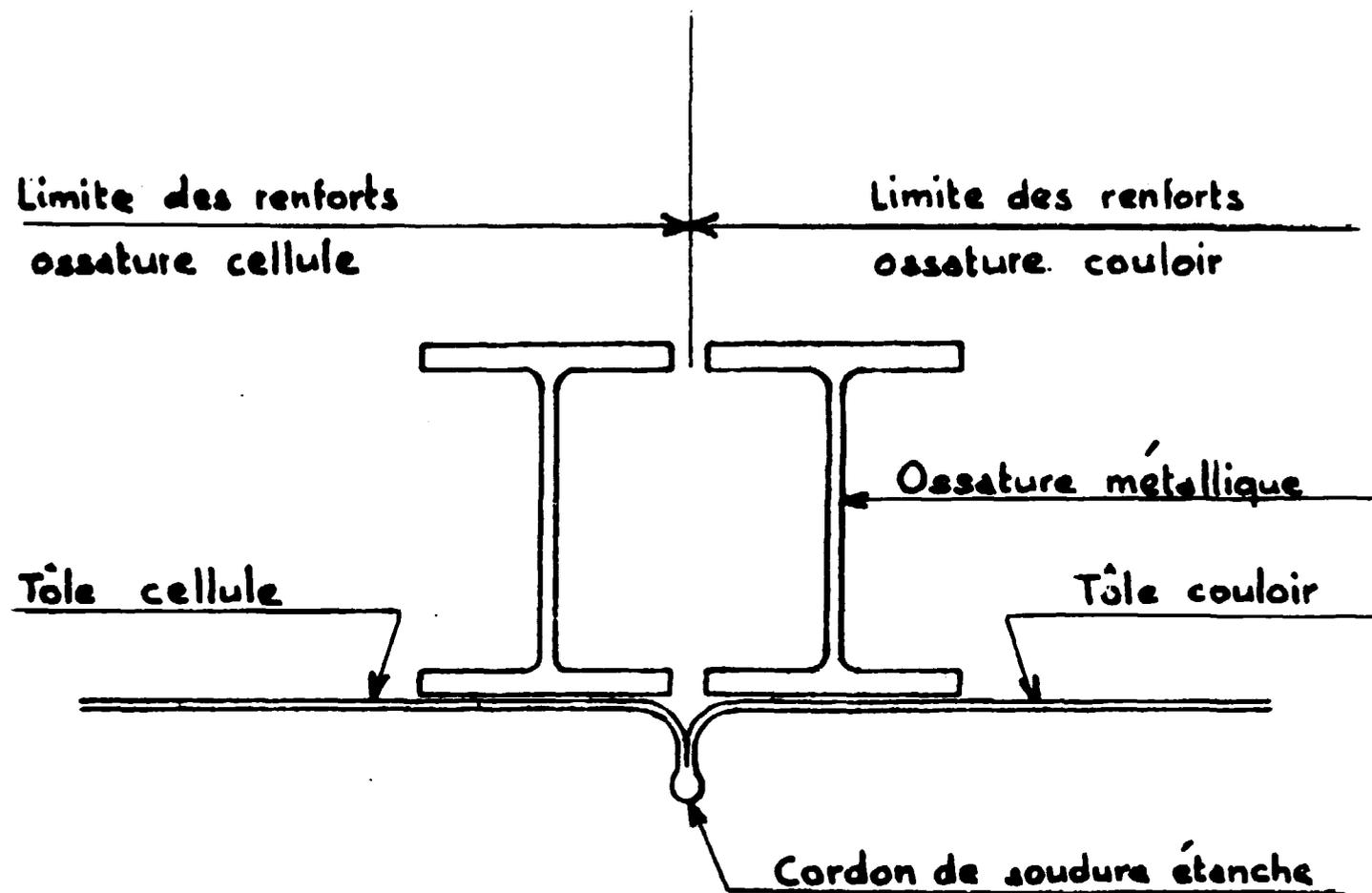


- Fig. 1 -



- Fig. 2 - VUE ARRIERE GAUCHE DE LA CELLULE PROTOTYPE
EN COURS DE MONTAGE

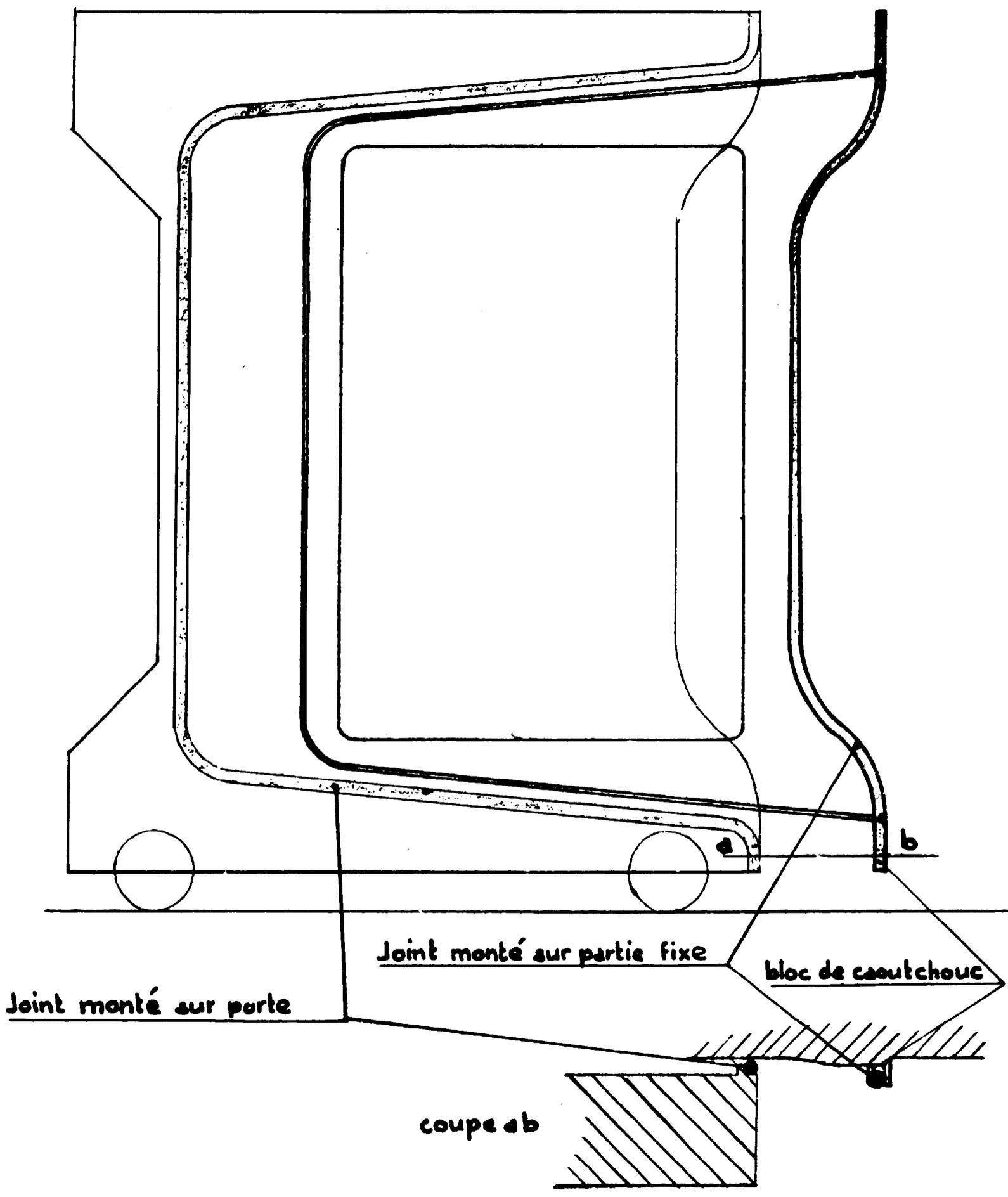
- 1) Caisson étanche - 2) Porte coulissante - 3) Limite du couloir
d'intervention - 4) Rail de roulement du télémanipulateur dans le
couloir



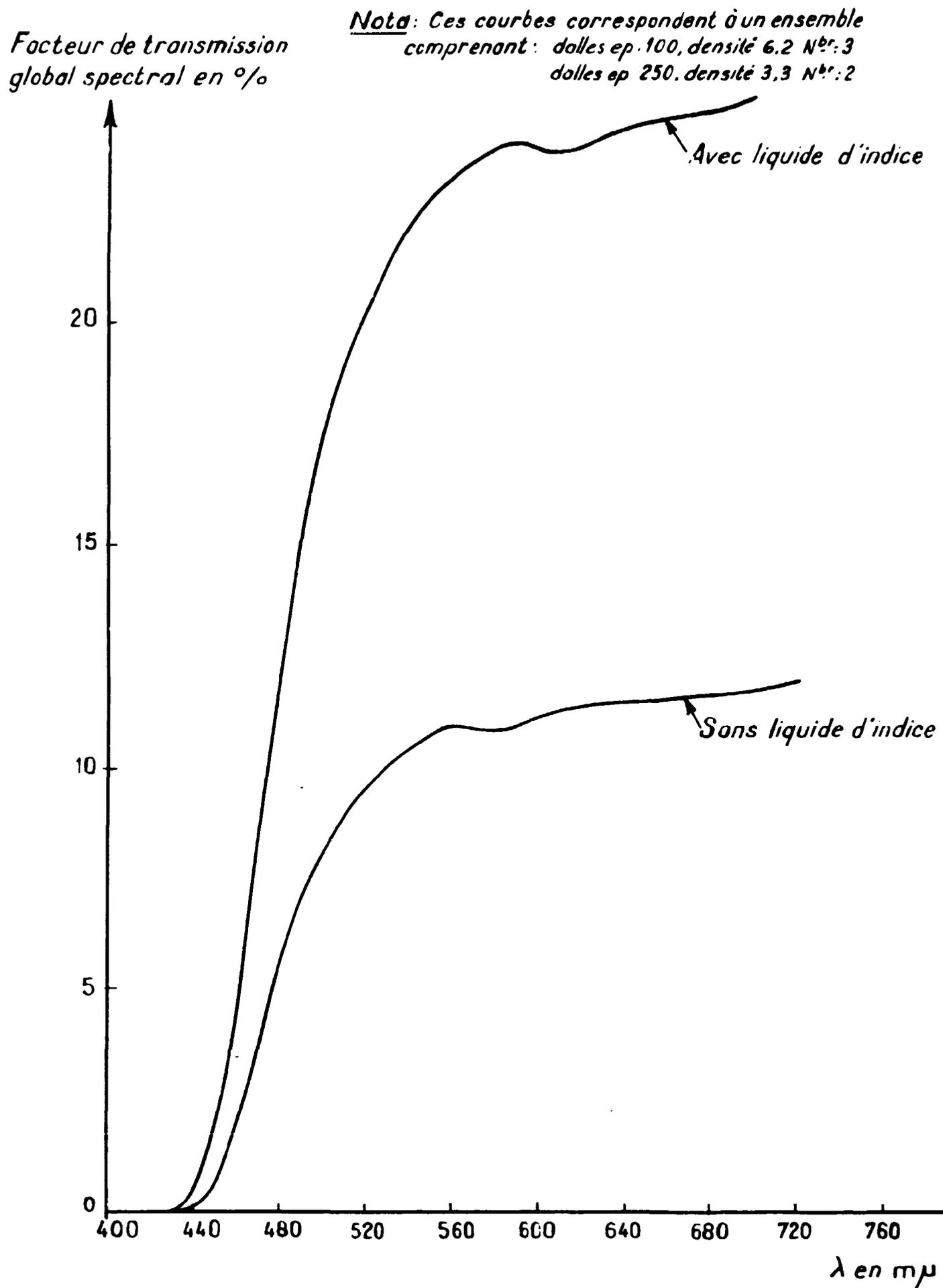
- Fig. 3 -



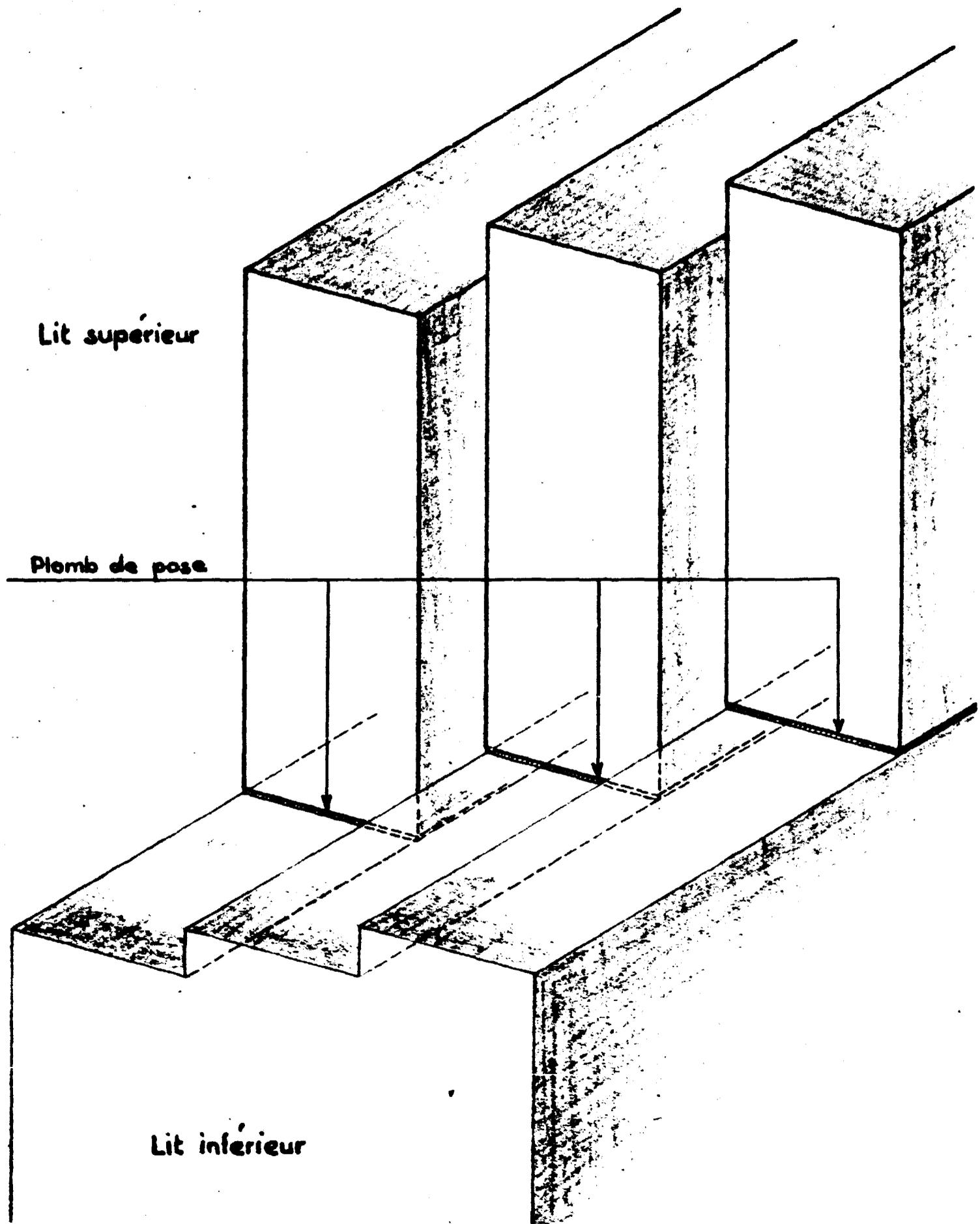
- Fig. 4 - LA PORTE D'ISOLEMENT - Système de télémanipulation et transfert dans le couloir



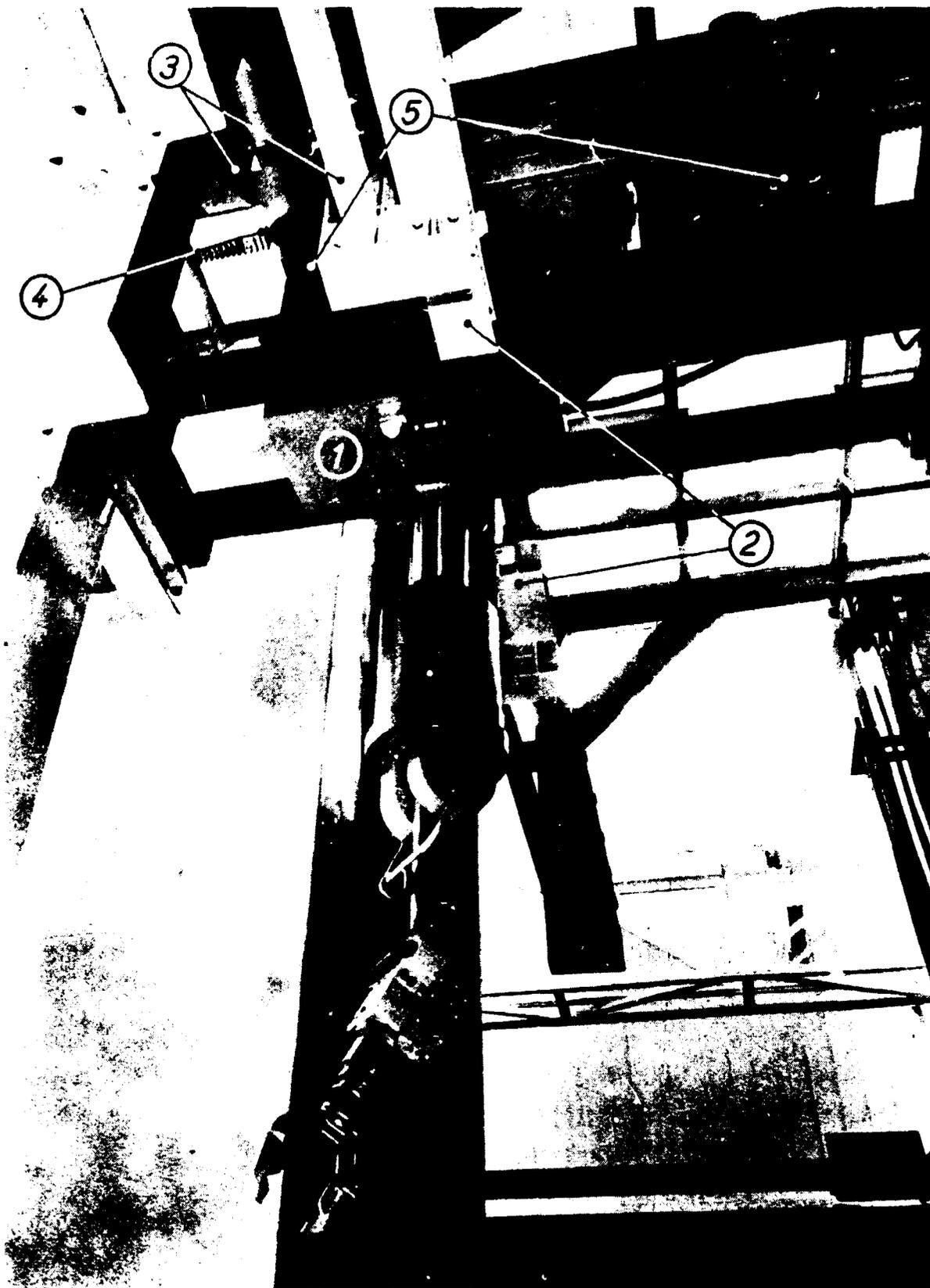
- Fig. 5 -



- Fig. 6 - COURBES DE TRANSMISSION AVEC ET SANS LIQUIDE D'INDICE

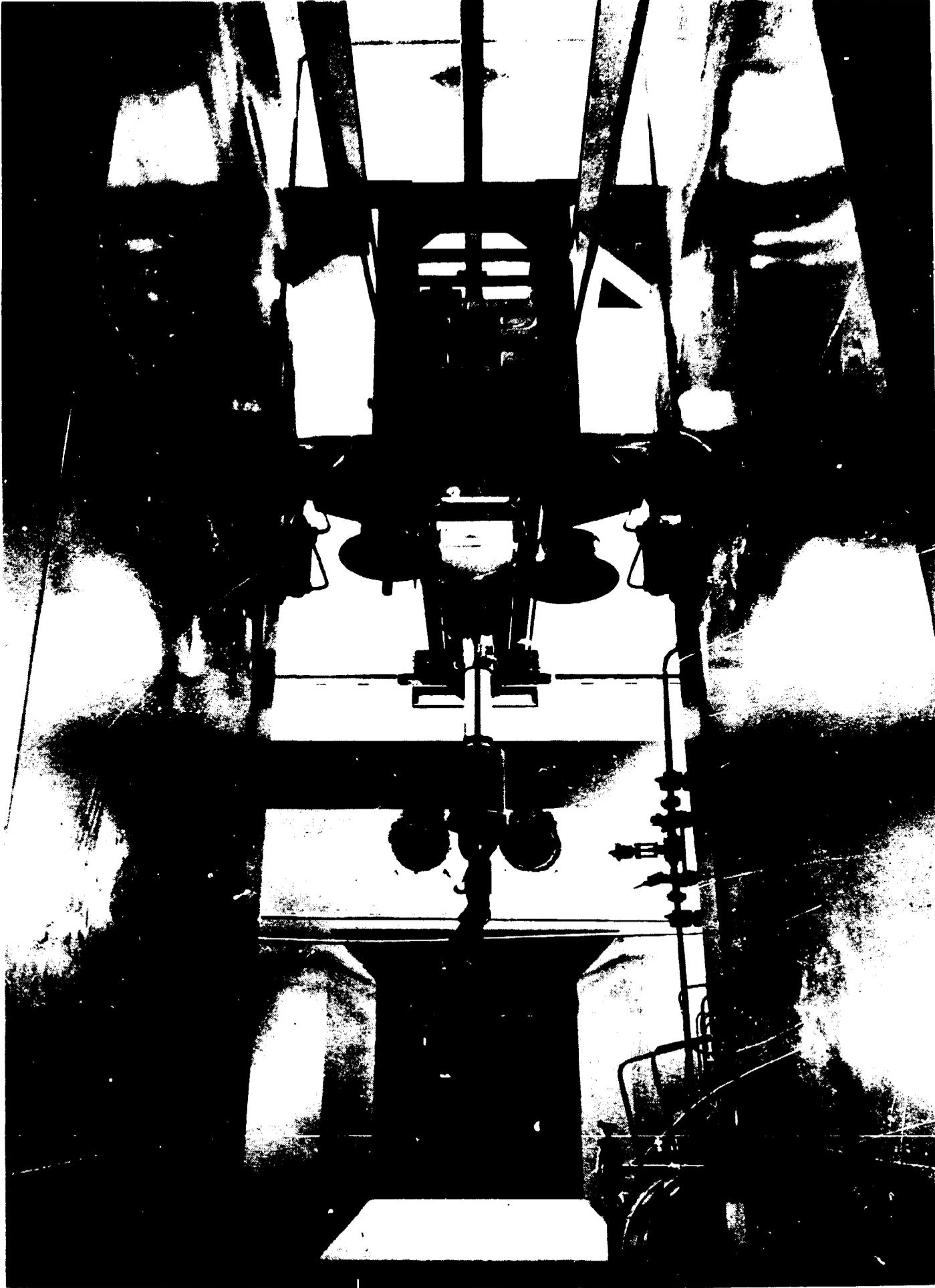


- Fig. 7 -

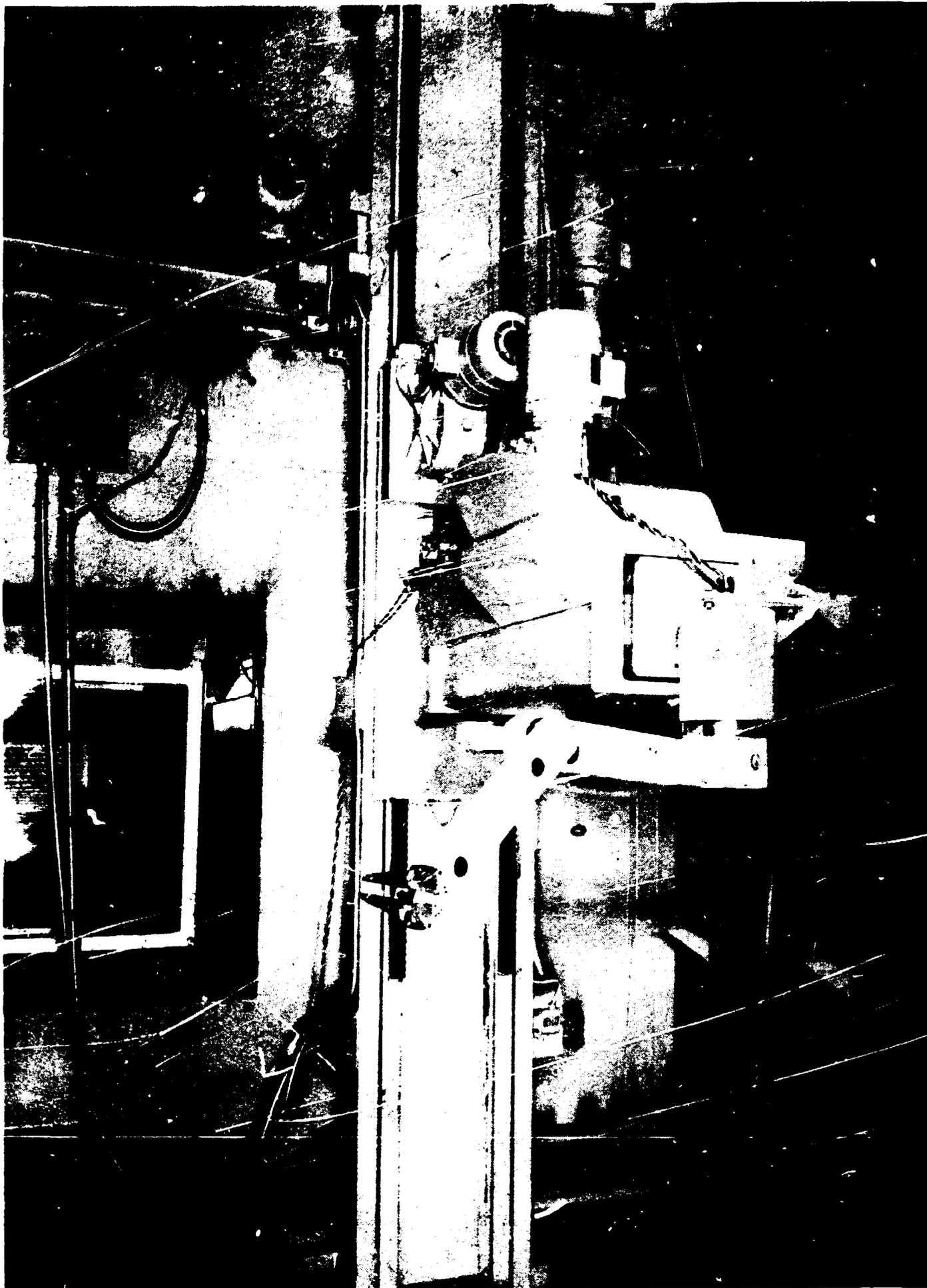


- Fig. 8 - LE SYSTEME DE TRANSFERT ET TELEMANIPULATION
DANS LE COULOIR

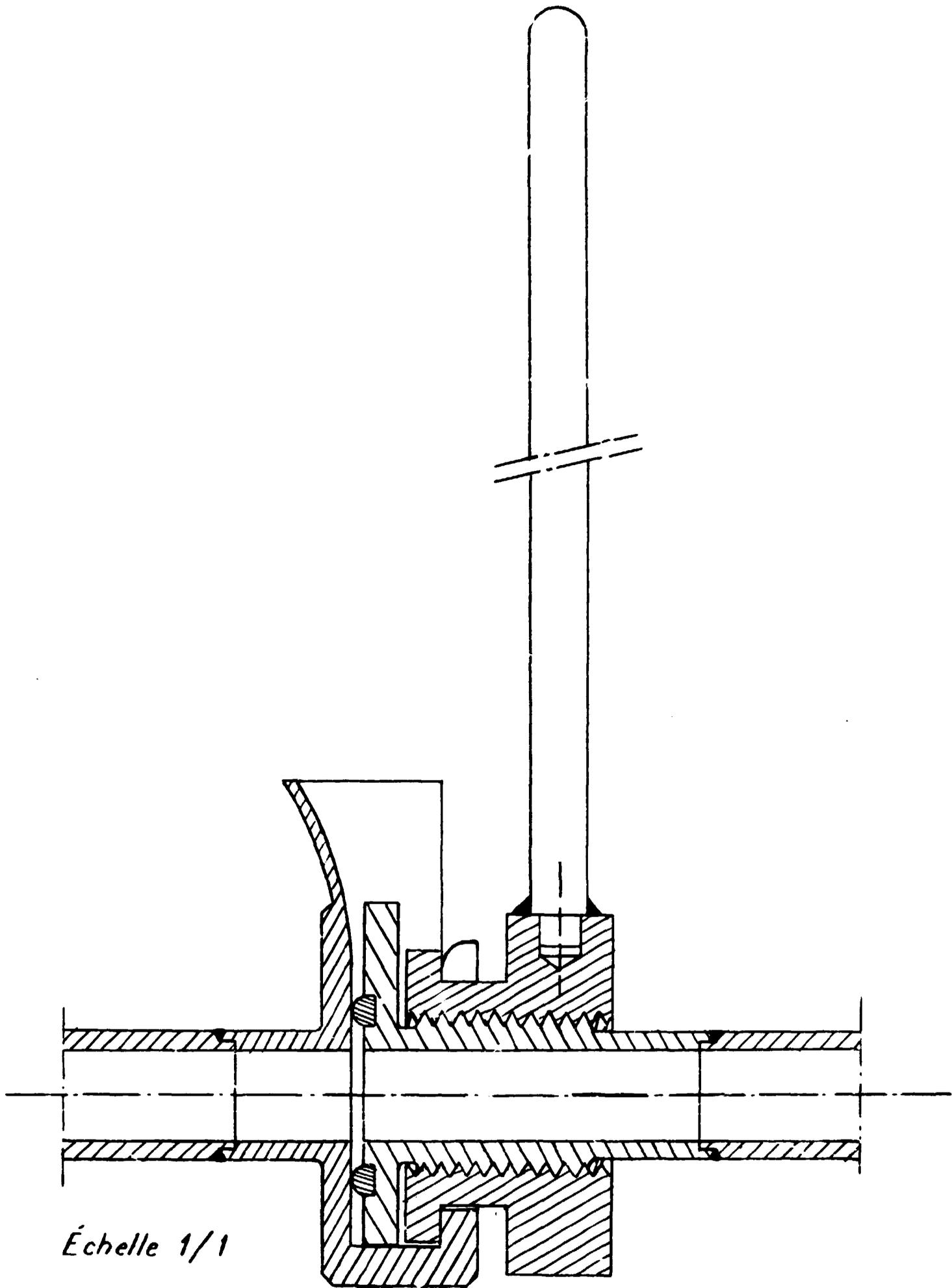
- 1) General Mills sur la nacelle - 2) Interruption du chemin de roulement du General Mills dans le couloir (correspondant à la largeur de la cellule) - 3) Interruption du chemin de roulement de la nacelle (correspondant à l'épaisseur de la porte) - 4) Interruption de la crémaillère (correspondant à l'épaisseur de la porte) -
- 5) Pignon d'entraînement de la nacelle. Le pignon de gauche est en train de franchir l'espace de la porte



- Fig. 9 - GENERAL MILLS SUR LA NACELLE DANS LA CELLULE
Le système de télémanipulation dans la cellule

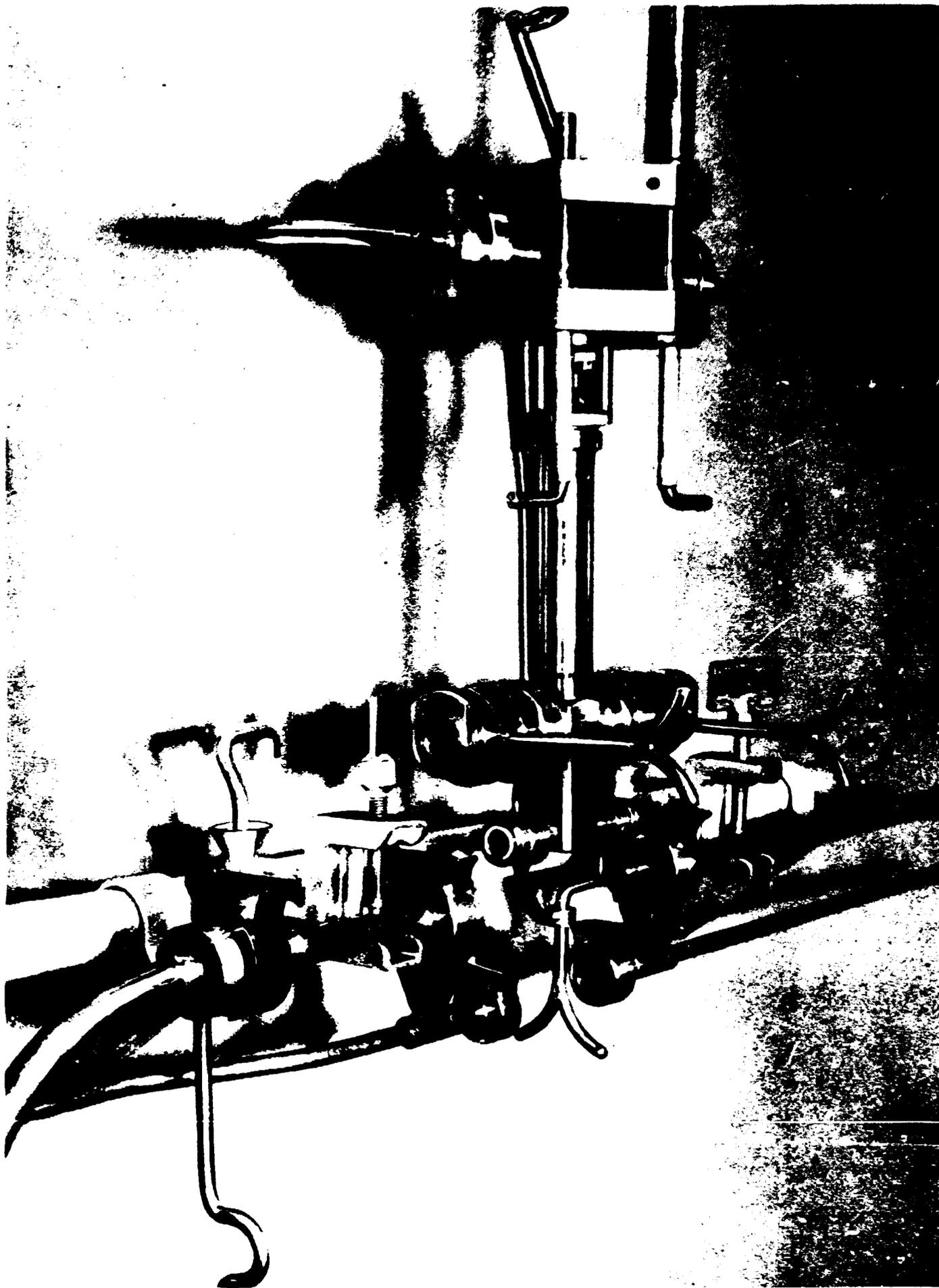


- Fig. 10 - TELEMANIPULATEUR "LEE" SUR SON SUPPORT MURAL

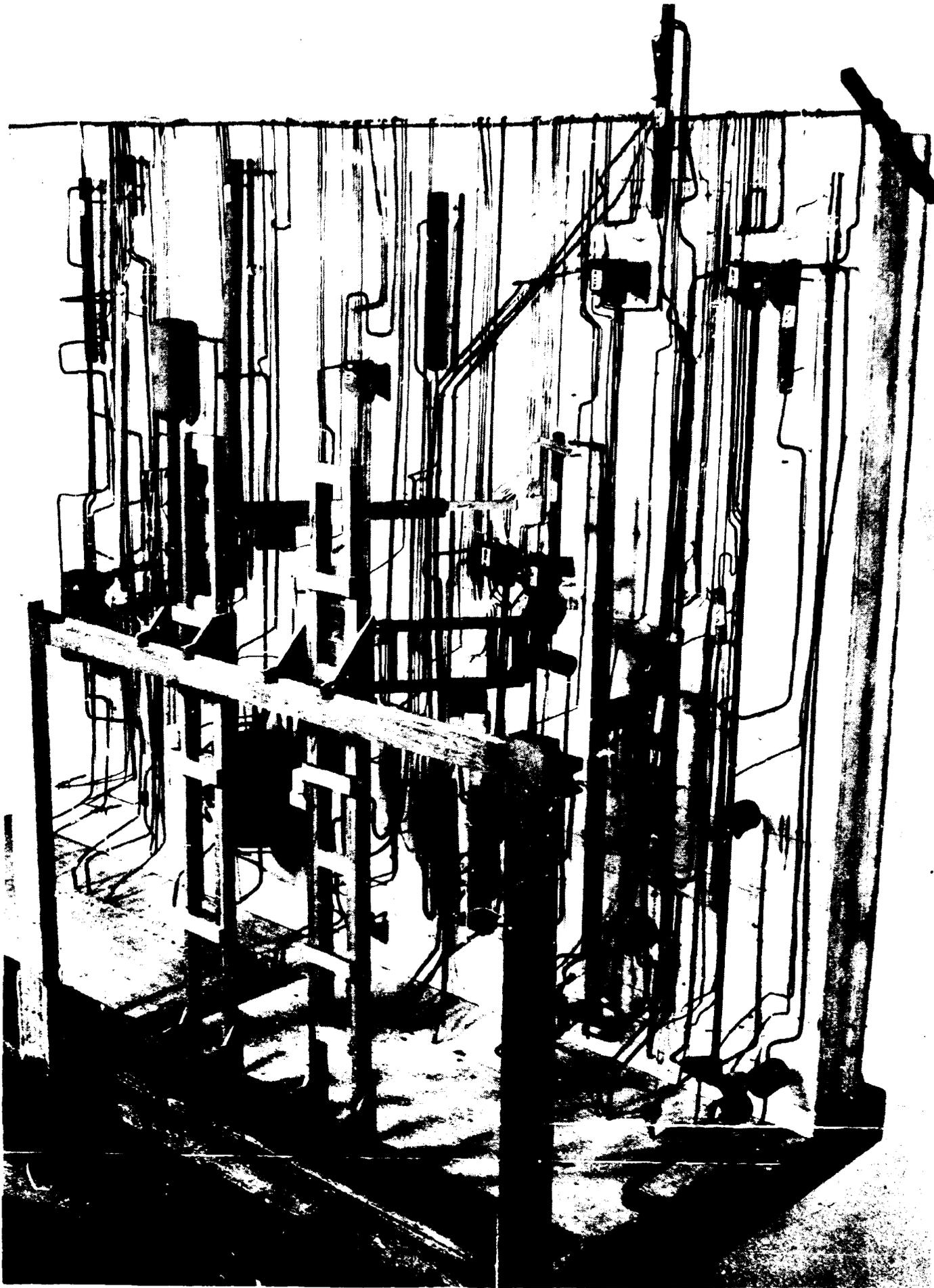


Échelle 1/1

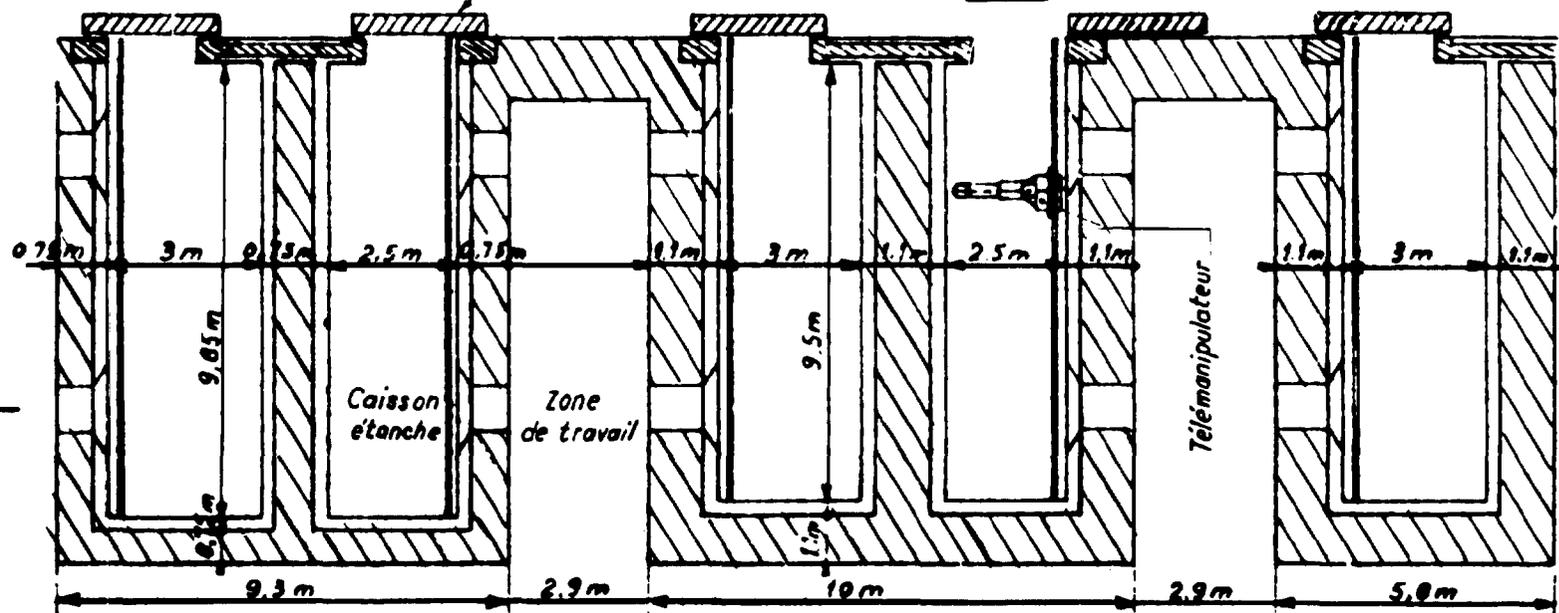
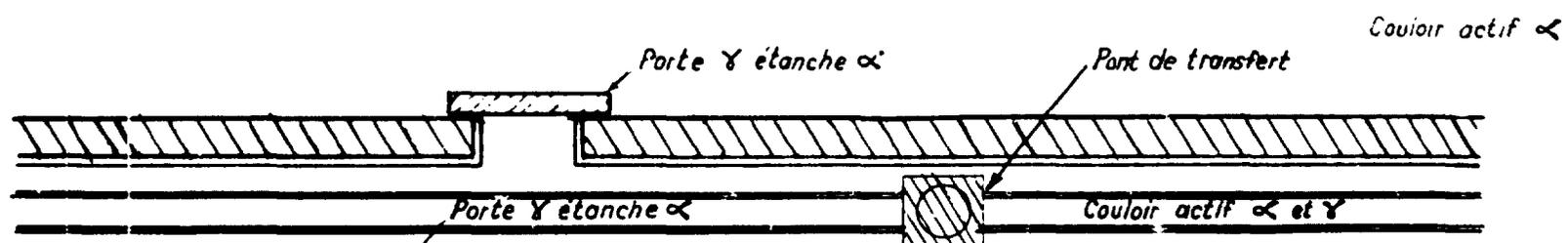
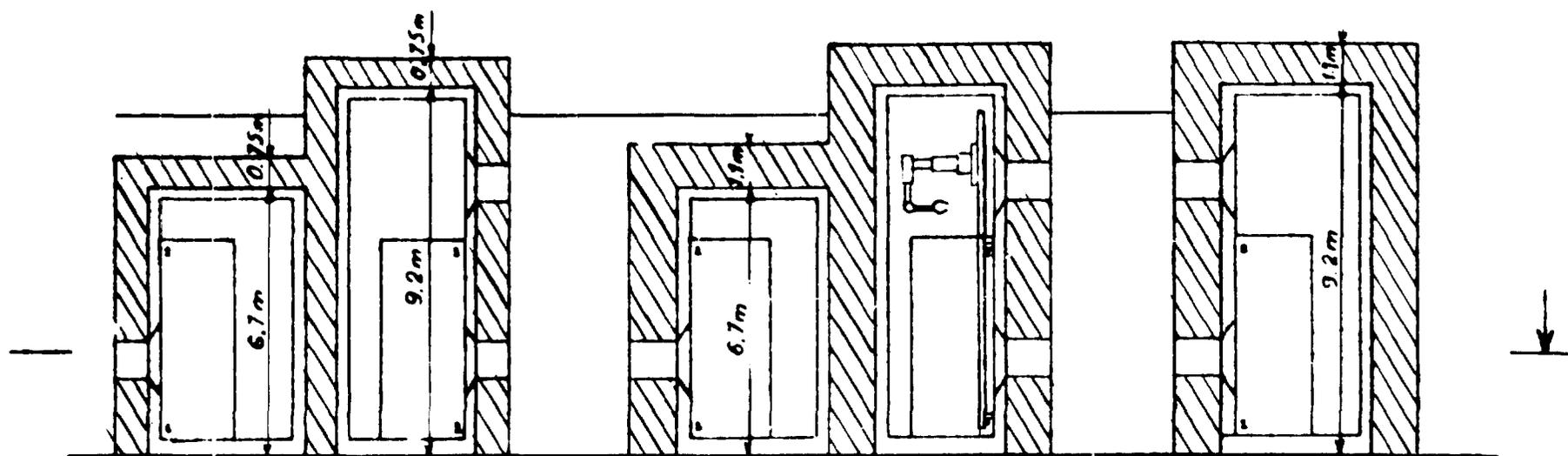
- Fig. 11 -



- Fig. 12 - VANNE PNEUMATIQUE TELEDEMONTABLE



- Fig. 13 - MAQUETTE 1/10 REPRESENTANT UNE UNITE
D'EXTRACTION AU TBP A L'AIDE DE COLONNES
PULSEES



- Fig. 14 -

FIN