

Collection

PRÉSIDENCE DU CONSEIL
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

**MESURE ET REGULATION DU NIVEAU
D'UN REACTEUR HOMOGÈNE
AU PLUTONIUM**

par

F. BERGER - J. BERTRAND

Rapport CEA No **1054**

1958

CENTRE D'ÉTUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY
SERVICE DE DOCUMENTATION
Boîte postale n° 2 - Gif-sur-Yvette (S.-et-O.)

BERGER F., BERTRAND J.

Rapport C.E.A. n° 1054

Mesure et régulation du niveau d'un réacteur homogène au plutonium.

Sommaire. - Les variations du niveau de la solution de plutonium dans le réacteur homogène Proserpine ont une grosse influence sur la réactivité, car le coeur est petit (10 litres de solution dans un cylindre de diamètre 250 mm).

En vue de réduire les dangers dus à la corrosion et à la contamination, la commande du volume liquide est pneumatique.

Nous avons réalisé la stabilité du niveau par une régulation qui, dans les essais en régime critique, limite les variations du plan liquide à une fraction de centième de millimètre.

1958

54 pages + 28 fig

BERGER F., BERTRAND J.

Rapport C.E.A. n° 1054

Measurement and regulation of the level of an homogeneous plutonium reactor.

Summary. - Reactivity depends strongly on disturbances of the level of the plutonium solution which is to be found in the homogeneous reactor. Proserpine has indeed a small core, with a cylindrical, 250 mm diameter, and 10 litres volume.

With a view to reducing the dangers due to corrosion and contamination, the solution level in the core is driven up by pneumatic pressure.

The level is stabilized by means of a regulating system. During critical experiments the variations of the level are less than one hundredth part of a millimeter.

1958

54 pages + 28 fig.

- Rapport C.E.A. n° 1054 -

Service de Neutronique Expérimentale

MESURE ET REGULATION DU NIVEAU D'UN REACTEUR HOMOGENE
AU PLUTONIUM

par

F. BERGER et J. BERTRAND

- Décembre 1958 -

TABLE des MATIERES

1ère PARTIE

I- L'ETUDE DU PROBLEME

1. Description générale
2. Données du problème
3. Difficultés et solutions

II- LA MESURE DU NIVEAU

Introduction

- A) Principe
- B) Description du montage
 1. Montage mécanique
 2. Montage électronique
- C) Fonctionnement du dispositif de mesure
 1. La pointe non vibrante palpeuse
 2. La pointe vibrante
- D) Mesure des niveaux et volumes
 1. Repérage de l'équipement mobile
 2. Mesure de niveau et volumes
- E) Paramètres des mesures
 1. Géométrie
 2. Température
 3. Divers
- F) Qualités des mesures
- G) La pointe de la cuve supérieure

2ème PARTIE

LA REGULATION DU NIVEAU

Introduction. Principe et présentation

I- LA REGULATION DE PRESSION. 1ère BOUCLE

- A) Principe de la régulation

- B) Description du circuit de régulation
 - 1. Le régulateur pneumatique
 - 2. Manomètre détecteur de pression
 - 3. Circuit annexe de dépression
- C) Fonctionnement
- D) Paramètres de la régulation
 - 1. Géométrie
 - 2. Densité
 - 3. La pression
 - 4. La température
 - 5. Electrolyse
 - 6. Capillarité
 - 7. Inertie
- E) Résultats
 - 1. Temps de réponse
 - 2. Elongations des oscillations de pression
 - 3. Elongations du niveau

II- L'ASSERVISSEMENT DE PRESSION. 2ème BOUCLE

- A) Principe
 - 1. Nécessité de l'asservissement
 - 2. Principe de montage
 - 3. Données particulières du problème et principes des solutions
- B) Asservissement dans le puits
 - 1. Principe
 - 2. Fonctionnement
 - 3. Résultats
- C) Asservissement dans le corps cylindrique
 - 1. Principe
 - 2. Fonctionnement

3ème PARTIE

INTERPRETATION DES RESULTATS

4ème PARTIE

- ANNEXE I - L'EQUIPEMENT DE MESURE
1. Montage mécanique du système d'entraînement
 2. La pointe de mesure
- ANNEXE II - MONTAGE ELECTRONIQUE POUR LA MESURE DU NIVEAU
1. 1^{er} Ampli à courant continu
 2. Fonctionnement de 1^{er} ampli
- ANNEXE III - FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF DE MESURE.
LA POINTE NON VIBRANTE
- ANNEXE IV - FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF DE MESURE.
LA POINTE VIBRANTE
1. Fonctionnement
 2. La mesure d'écart de niveau
- ANNEXE V - REPERAGE DE L'ENSEMBLE DE L'EQUIPEMENT DE MESURE
- ANNEXE VI - ERREURS MECANQUES SUR LES MESURES
- ANNEXE VII - AUTRES METHODES D'ETALONNAGE DU RESERVOIR
- ANNEXE VIII - PREMIERE ETUDE DE REGULATION DE NIVEAU
- ANNEXE IX - LE REGULATEUR PNEUMATIQUE A.R.P.
1. Principe
 2. Description
 3. Fonctionnement
- ANNEXE X - LE DETECTEUR DE PRESSION. LA BASE DE TEMPS
1. Description du détecteur
 2. Fonctionnement du détecteur
 3. La base de temps. Description
 4. Fonctionnement de la base de temps
- ANNEXE XI - FONCTIONNEMENT DE LA BOUCLE DE PRESSION
- ANNEXE XII - ASSERVISSEMENT DANS LE PUIT
- ANNEXE XIII - MANUTENTIONS

FIGURES

- 1 - Plan bloc
- 2 - Dimensionnement général
- 3 - Schéma synoptique de l'équipement de mesure du niveau
- 4 - Equipement de mesure
- 5 - Pointe fixe
- 6 - Pointe vibrante de mesure
- 7 - Amplificateur à courant continu
- 8 - "Bloc diagram" de la régulation de niveau
- 9 - Schéma synoptique de la régulation de niveau .
- 10 - Régulateur pneumatique A.R.P.
- 11 - Manomètre détecteur de pression et d'affichage
- 12 - Affichage de la pression
- 13 - Perturbations et réponses
- 14 - Schéma synoptique de l'asservissement de la pression dans le puits
- 15 - Schéma synoptique de l'asservissement de la pression dans le corps cylindrique
- 16 - Erreurs dues aux inclinaisons d'axes
- 17 - Etalonnage des mesures de la pointe
- 18 - Signal de la pointe vibrante
- 19 - Courant pointe en fonction de l'enfoncement
Alimentation de bobine : 0,8Volt
- 20 - Courant pointe en fonction de l'enfoncement
Alimentation de bobine : 1Volt
- 21 - Mesures d'écarts de niveaux par pointe vibrante
- 22 - Choix des zéros
- 23 - Première étude de régulation
- 24 - Chassis modulation du moteur A.R.P.
- 25 - Schéma synoptique du chassis de modulation du moteur A.R.P.
- 26 - Base de temps. Modulateur : Diagramme de fonctionnement
- 27 - Asservissement dans le puits. Principe
- 28 - Asservissement dans le puits. Relais

DANS LE CADRE DU MONTAGE ET DES EXPERIENCES DE PROSERPINE
1957 - 1958

- ETUDE DU PROBLEME DE NIVEAU
- LES MESURES
- LA REGULATION DE NIVEAU

1ère PARTIE

I- L'ETUDE DU PROBLEME

1. Description générale (figure 1, figure 2).

Proserpine est un réacteur homogène à deux réflecteurs de glucine et de graphite, dont le milieu multiplicateur est une solution de sulfate de plutonium dans l'eau légère acidulée (SO_4H_2 à 0,5N).

Le coeur de la pile, contenu dans une cuve cylindrique, communique avec un réservoir de mêmes dimensions intérieures, par un conduit suffisant pour vidanger la cuve par gravité en 6 minutes, et n'immobilisant qu'un très petit volume de solution appelé "volume mort". Cuve*, réservoir et conduit sont en acier inoxydable de même nuance "NSM22" (acier Ugine). Le réservoir retient la solution dans une configuration très sous-critique.

La cuve communique aussi avec une boîte à gants supérieure par différents tubes dont l'un sert au passage d'une pointe de contact mesurant le niveau.

Le réservoir communique par des conduits d'acier (NSM22), avec :

- a) une boîte à gants de manipulation de la solution, pour son remplissage ou sa vidange,
- b) une prise d'échantillons de la solution.

Ces conduits sont fermés par des électro-vannes.

2. Données du problème.

La précision des expériences et la sécurité sont deux impératifs exigeant :

- une mesure précise des volumes de solution se trouvant dans la cuve,

* Depuis Avril 1958, la cuve en acier est remplacée par une cuve identique en zirconium.

- une grande stabilité du niveau,
- une vidange rapide de cette cuve.

Le très petit dimensionnement du coeur ne supporte, en effet, pour un fonctionnement stable, que d'infimes variations de niveau. A partir du régime critique, une variation de hauteur de 1mm engendre une réactivité d'environ 100 pcm (période de 6 à 10 secondes (2)). Pour des variations de quelques centièmes de mm, la période est de l'ordre de l'heure et la stabilité du réacteur homogène peut être assurée.

Les dispositifs de mesure, de montée et de stabilisation du niveau dans la cuve doivent être à l'extérieur de l'empilement réflecteur du réacteur pour ne pas perturber le flux neutronique.

Le problème qui nous intéresse consiste à :

- mesurer le niveau et le volume de la solution dans le réservoir inférieur et par déduction déterminer volume et niveau dans la cuve,
- monter et stabiliser le niveau dans la cuve,
- assurer un circuit de sécurité vidangeant la cuve rapidement.

3. Difficultés et solutions.

La solution choisie pour la montée et la stabilisation du niveau liquide dans la cuve est l'application sur la surface de la solution, dans le réservoir, d'une pression fournie par un circuit pneumatique de régulation.

Plusieurs facteurs ont déterminé le principe et l'élaboration de cette solution :

1°) La corrosion et la cristallisation :

Elles sont dues au sulfate de plutonium et rendent difficile toute solution telle que : pompe pour la montée du liquide et électro-vanne, branchée entre réservoir et cuve, pour stabiliser le niveau.

N.B. Corrosion et cristallisation nécessitent une surveillance permanente en vue de l'étanchéité des circuits : électro-vannes de remplissage, joints du couvercle du réservoir, dispositif de mesure, traversées électriques,...

La corrosion nécessite enfin la protection de tout élément ne pouvant être en acier inoxydable : moteur, selsyn, équipage mobile de la pointe de mesure.

2°) Les risques de contamination :

Points délicats de la manipulation, exigent des dispositifs télécommandés (l'ensemble se trouvant sous boîtes à gants, en dépression entretenue).

Pour cette raison aussi, ont été interposés en série, entre la source d'air comprimé et le réservoir actif, des filtres Poelman-Schneider (annexe XIII) et un relais à baudruches permettant de confiner l'atmosphère en contact avec la solution.

3°) Les fuites et variations de pression :

L'étanchéité des circuits d'air n'est pas parfaite, notamment sur le circuit du réservoir, à l'endroit des :

- joints des conduits (laiton-inox, par olives "Ermeto")
- joints du couvercle et du réservoir (téflon)
- joints de perbunan des prises électriques.

Ces micro-fuites entraînent, en l'absence de régulation, pour une pression de 15 g/cm^2 appliquée dans le réservoir, une baisse de 5 à 10 g/cm^2 par 24 heures, soit une baisse de niveau de la solution dans la cuve de 1 à 2mm par heure.

Dans la cuve existe en plus :

- soit la dépression entretenue dans la boîte à gants supérieure par une trompe alimentée par le secteur d'air comprimé du centre et de valeur $50 \pm 10 \text{ mm d'eau}$,
- soit une surpression appliquée par un balayage d'air continu, de $70 \pm 30 \text{ mm d'eau}$.

Ainsi, d'une vanne montée entre boudruches et réservoir et maintenant l'air comprimé dans ce dernier, résulterait un niveau variant de $\pm 0,1$ à $\pm 0,5$ mm.

La pression utile pour la montée et la stabilisation de la solution est égale à la différence entre la pression mesurée dans le réservoir et la pression mesurée dans la cuve. L'installation n'a pas permis de matérialiser cette pression utile par un manomètre différentiel.

La solution adoptée pour la stabilisation du niveau dans la cuve par action pneumatique comprendra donc deux boucles de régulation :

- la première régulant la pression appliquée dans le réservoir,
- la deuxième asservissant la valeur moyenne de cette pression réglée aux variations de niveau de manière à annuler celles-ci.

4°) Différents paramètres particuliers.

Outre les difficultés précédentes, influent d'autres paramètres particuliers, et sur lesquels nous reviendrons :

- sur la mesure : .géométrie des éléments : cuve, conduits, réservoir
 - .température
 - .mouillage
 - .capillarité
 - .corrosion
- sur la régulation de pression :
 - .densité de la solution
 - .température
 - .géométrie
 - .oxydation et électrolyse.

II- LA MESURE DE NIVEAU

Introduction.

Les mesures de niveau par grandeurs variant en fonction de l'enfoncement ou de la distance au plan de la solution dans le réacteur avec un dispositif de détection tel que :

- résistances (
- capacités () dans un pont (3)
- intensité d'un rayonnement capté par un détecteur (rayons γ , rayons X)
- débit pneumatique d'une buse
- flotteur mécanique
- spot lumineux, etc...

ou bien ne peuvent donner la précision ou la fidélité voulues, ou bien exigent un montage incompatible avec les installations existantes (encombrement, complexité, sécurité).

Nous avons adopté :

- une mesure de niveau par pointe palpeuse non vibrante, ou par pointe suiveuse vibrante,
- une mesure d'écarts de niveau par pointe vibrante.

A) Principe.

Les figures 3 et 4 nous montrent une pointe, mobile en translation suivant son axe et entraînée par un moteur, fermant ou ouvrant un circuit électrique, selon qu'il y a ou non contact avec le liquide.

Un amplificateur électronique à courant continu, commandé par ce circuit électrique de la pointe, alimente le moteur, alternativement dans un sens et dans l'autre.

Le moteur entraîne la vis support de la pointe par transmission du type écrou et vis sans fin. Le nombre de tours du moteur étant rapporté par selsyn et compteur à rouleaux, c'est par lecture de ce compteur à la fermeture du circuit électrique que l'on repère le niveau.

- La mesure peut être faite de deux manières différentes :
- par pointe vibrante palpeuse,
 - par pointe vibrante suiveuse et détectrice d'écart.

B) Description du montage.

1. Montage mécanique (figure 4)

Il se compose :

- a) du système d'entraînement de la pointe : le moteur MP couplé par pignons à un écrou entraîne en translation une vis qui supporte la pointe (annexe I),
- b) de la pointe : (annexe I)
 - pointe non vibrante (figure 5) (premier montage, en 1957). Une simple aiguille en acier inoxydable NSM22 est fixée sur la vis. Une cloche en téflon en assure l'isolement,
 - la pointe vibrante (figure 6). L'aiguille en NSM22 est solidaire d'une bobine de haut parleur oscillant dans le champ magnétique d'un aimant.

N.B. Quand la bobine n'est pas alimentée (1 Volt alternatif - 50Hz), cette pointe (montée au début 1958) fait office de non vibrante (§ C-1.).

2. Montage électronique.

Il comprend :

- a) l'ampli I monté en pont (figure 7) qui amplifie le signal de la pointe et alimente le moteur MP branché entre les deux tubes de sortie (annexe II),
- b) le système de recopie de la translation pointe, à savoir un selsyn émetteur couplé avec le moteur MP et un selsyn récepteur entraînant le compteur à rouleaux.

C) Fonctionnement du dispositif de mesure.

1. La pointe non vibrante palpeuse.

Fonctionnement (annexe III).

- la pointe de mesure palpe le niveau. Elle est animée d'un mouvement de va et vient continu limité par le contact

- avec la solution dans sa position basse et par la rupture du ménisque dû à la capillarité dans sa position supérieure,
- les inversions du moteur MP entraînant la pointe sont brutales,
 - la mesure du niveau se fait au moment de l'inversion inférieure et non à l'inversion supérieure correspondant à la rupture du ménisque de grandeur variable : 20 à 30/100 de mm.

Utilisation de cette pointe.

Le repérage se fait à $\pm 1,5/100$ de mm (imprécision dans l'estimation du contact).

Ce montage nous servira surtout pour la régulation du niveau dans le puits du réservoir.

2. La pointe vibrante.

Fonctionnement (annexe IV) en pointe suiveuse

Cette pointe vibrante palpe la solution et rompt son ménisque 50 fois par seconde, de telle façon que le moteur MP à cause de son inertie, n'oscille plus comme pour la pointe non vibrante.

La pointe acquiert une position moyenne stable correspondant à un fonctionnement donné dans la solution et fonction du réglage de l'ampli I (point d'équilibre du pont). La mesure se fait à ce moment.

Le niveau variant, la pointe le suivra aussitôt de manière à conserver l'équilibre du pont. Le repérage d'un niveau se fait ainsi avec une précision supérieure au 1/100mm.

Avantages et qualités.

a) Cette pointe fonctionnant en pointe suiveuse, la lecture de la mesure est continue et plus aisée qu'avec une pointe non vibrante. Le temps de réponse de la pointe à une variation du niveau est plus bref.

b) Lorsque la vis, support de pointe, est immobilisée dans sa translation, la pointe permet de détecter par les variations du courant moyen qui la traverse, des petits écarts de niveau autour d'une cote de consigne (annexe IV

et II). Ainsi, un écart de 1/100mm correspond en moyenne à une variation de mesure de 1/100 μ A. Ce résultat sera exploité pour l'asservissement de la pression au niveau.

c) Les qualités de cette pointe sont satisfaisantes. La précision des mesures de niveau est fonction de l'étalonnage des vibrations pointe et du comportement des ressorts déterminant :

- la position repos,
- le caractère reproductible des vibrations

D) Mesure des niveaux et volumes.

1. Repérage de l'ensemble mobile en translation de l'équipement de mesure (annexe V).

Afin de pouvoir mesurer les hauteurs de niveau, il convient de définir la cote de la pointe dans sa translation indiquée par le compteur à rouleaux en fonction des cotes géométriques du réservoir. C'est l'objet du repérage de l'ensemble mobile. Cette opération comprend :

- la mesure de la cote mécanique entre l'extrémité de la pointe et la base du bloc carter reposant sur le couvercle du réservoir pour une position repérée de la translation : une fin de course par exemple,

- le repérage de cette position, effectué facilement en télécommande pour vérifier, en cours d'expérience, la concordance de la cote lue sur le compteur à rouleaux avec la cote mécanique réelle de la pointe dans le réservoir. Cette opération est reproductible à $\pm 1,5/100$ mm au moyen d'un minirupteur de fin de course.

2. Mesure du niveau et volume.

1°) La pointe palpeuse ou suiveuse fournit une hauteur par son compteur. La courbe $V = f(h)$ du volume calculé, selon la géométrie, en fonction de la cote dans le réservoir, donne la correspondance du volume au niveau de la solution. Cette courbe permet une lecture à 0,005mm près d'une hauteur et à $0,25\text{cm}^3$ près d'un volume.

2°) Utilisation de la courbe. La courbe $V = f(h)$ est utilisable si le zéro de son abscisse correspond au zéro du compteur, ou si le décalage de ces deux origines est parfaitement connu. Or :

- le zéro de la courbe est lié, à demeure, au réservoir;
 - le zéro du compteur est toujours solidaire de la vis sans fin à $\pm 1,5/100\text{mm}$ près (voir ci-dessus);
- cependant, les tolérances d'usinage d'une part, les assemblages mécaniques difficilement appréciables (flèches de ressorts,...) d'autre part, introduisent $4/10\text{mm}$ d'erreur (cf.annexe VI) quand il s'agit de faire la liaison entre les zéros des deux échelles.

3°) Nous constatons immédiatement que :

- les écarts de la hauteur à mesurer sont connus à $1/100\text{mm}$ près (moins ou plus suivant que la pointe est vibrante ou non), ce qui, dans certains cas, (cf.3ème Partie) nous donne une imprécision sur le volume du coeur de la pile de $0,5\text{cm}^3$ sur 10.000 .
- la mesure de hauteur elle-même, par contre, est entachée de $4/10\text{mm}$ d'erreur; le volume supporte alors une imprécision de 20cm^3 sur 10.000 ; c'est le cas des expériences critiques courantes.

N.B. D'autres méthodes de mesure ont été envisagées, que nous avons estimées moins commodes (cf.annexe III).

E) Paramètres des mesures.

1. Géométrie des récipients.

- a) Cuve et réservoir. Ces mêmes dimensions intérieures ont une tolérance d'usinage semblable: pour le diamètre $\phi = 250\text{mm} \pm 0,03\text{mm}$, pour la hauteur $H = 300\text{mm} \pm 0,2\text{mm}$.
- b) Les conduits intermédiaires. Ils déterminent le volume mort commun = $180\text{cm}^3 \pm 2\text{cm}^3$
- c) Repérage de la pointe (voir ci-dessus)
- d) Jeux axial et radial (annexe I).

2. Température. Dilatation.

L'installation se trouvant dans une chambre thermostatée, la température est réglée à quelques 1/10 de degré.

La cuve et le réservoir suspendus par leur collerette supérieure subissent pratiquement la même dilatation.

Le coefficient de dilatation cubique de l'acier est (4) :

$$34 \pm 2.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$$

Celui de la solution pour une concentration en plutonium comprise entre 25 et 30 grammes par litre est (5) :

$$3 \pm 1.10^{-4}/^{\circ}\text{C} \text{ entre } 25 \text{ et } 40^{\circ}\text{C}$$

L'effet de la température que nous retenons est celui dû à la dilatation différentielle (solution-cuve) d'un volume de 10 litres dans la pile par degrés C. d'échauffement

$$(300 - 34).10^{-6} \times 10^4 = 2,7 \pm 1\text{cm}^3$$

Cet effet engendre une variation de niveau de 5/100mm

Ajoutons que la dilatation des conduits intermédiaires libres aux coudes n'engendre qu'une erreur tout à fait négligeable.

Les corrections des mesures seront donc négligeables pour des variations du 1/10 de degré C.

3. Autres paramètres.

- a) Le mouillage des récipients et conduits, constant au cours des expériences (cf.annexe XIII).
- b) La capillarité, cause d'erreurs des mesures faites par la pointe (ces erreurs interviennent pour 5 à 10% au milieu des autres erreurs).
- c) La corrosion de l'enveloppe et surtout de la pointe de mesure suivie au fur et à mesure.
- d) La cristallisation de la solution qui risque en plus de la variation de volume de nuire à l'étanchéité des électro-vannes : les effets sont perceptibles et des étalonnages nouveaux nous en affranchissent.

- e) L'électrolyse due au courant pointe qui diminue par moment la sensibilité de l'ampli.
- f) La d.d.p. de contact acide-acier, égale à 0,8 volts environ.

F) Qualité des mesures.

En résumé, les erreurs des mesures de niveau dans le réservoir sont de :

$\pm 0,015\text{mm}$	capillarité
$\pm 0,0004\text{mm}$	jeu radial de la vis dans l'écrou (cf.annexe)
$\pm 0,002\text{mm}$	repérage vis-carter (cf.annexe)
$\pm 0,4\text{mm}$	cote de l'ensemble du montage (réservoir compris)
<hr/>	
$\pm 0,42\text{mm}$	au total

Les erreurs de mesure d'écart de variations de volume liquide dont le niveau reste dans le corps cylindrique du réservoir sont de :

$$h = \pm 0,015\text{mm} \text{ avec une pointe fixe}$$

$$h = \pm 0,005\text{mm} \text{ avec une pointe vibrante}$$

Compte non tenu du mouillage et autres paramètres, nous connaissons le volume introduit dans la cuve :

a) Le niveau du réservoir se trouvant en un point quelconque du corps cylindrique à $\pm 0,75\text{cm}^3$ (pointe non vibrante) ou $\pm 0,25\text{cm}^3$ (pointe vibrante).

b) Ce même niveau étant dans la partie conique du réservoir et dans le puits, le volume est connu à $\pm 20\text{cm}^3$ (l'erreur sur les origines est toute entière comptée, et ne s'élimine pas par différence).

Nous verrons à la fin de ce rapport la correction réelle à apporter, avec les résultats pratiques.

G) La pointe de la cuve supérieure.

Cette pointe de contact est conçue pour déclencher les circuits de sécurité de la pile (chute des barres de sécurité, chute de pression) au cas où le niveau dépasserait dans la cuve sa consigne de 1 à 2mm.

Par un montage électronique analogue à celui de la pointe palpeuse du réservoir, elle nous permet éventuellement de suivre le niveau et de nous assurer de la fidélité de la mesure faite dans le réservoir (un affichage par transmission selsyn nous permet un repérage suivant la verticale à quelques 1/100mm près).

Sa tige de 2,3m de long, 3mm de diamètre, en acier inoxydable est guidée par paliers de téflon, dans un tube d'acier inoxydable.

2ème PARTIE

LA REGULATION DU NIVEAU

Introduction.

La régulation du niveau est résolue à l'aide de 2 boucles, asservissant la pression d'entrée :

- à la pression utilisée sur le réservoir d'abord
- et ensuite au niveau lui-même, sensible encore aux perturbations étrangères à la pression régulée.

Le problème consiste dans chacun des cas pour tenir compte des inerties et de l'anarchie des perturbations, à introduire :

- une correction proportionnelle à l'écart de niveau,
- une correction proportionnelle à cet écart intégré dans le temps (retour au niveau de consigne),
- et même une correction (en vue de réduire les risques de pompage dus à l'inertie de la masse liquide en translation) fonction des vitesses du niveau.

N.B. Une première étude utilisant directement le signal d'erreur du niveau pour faire une régulation à une seule boucle de correction, est rappelée (annexe X) qui nous montre les limites auxquelles nous nous sommes heurtés.

I- LA REGULATION DE PRESSION

PREMIERE BOUCLE DE LA REGULATION DE NIVEAU

Introduction.

Nous utilisons une régulation de pression par correction intégrale du signal d'erreur; les battements sont sans effet instantané sur le niveau.

A) Principe de la régulation.

Schémas synoptiques figures 8 et 9 (première boucle de régulation).

Un compresseur nous délivre de l'air sous 1kg/cm^2 . Cette pression est abaissée, et régulée par un régulateur pneumatique commandé par un manomètre, détecteur des erreurs sur la pression de sortie. Cette pression est appliquée autour des quatre boudruches du relais pneumatique la transmettant au réservoir.

B) Description du circuit de régulation.

1. Le régulateur pneumatique (figure 10).

Cet appareil du type A.R.P. de la Maison "Contrôle et Régulation" est alimenté sous 200g/cm^2 après une suite de détendeurs qui abaissent et stabilisent la pression d'alimentation de 1kg/cm^2 .

Il permet de réguler une pression variant de manière continue dans une plage de 130g/cm^2 à 180g/cm^2 à 0,5% près.

2. Manomètre. Détecteur de pression (annexe X. Figure 11).

Le manomètre détecteur de pression est branché, en parallèle avec l'utilisation, sur la sortie de l'A.R.P. Il comprend une partie mobile support de deux pointes de contact (pointes d'affichage). Ce chariot mobile est télécommandé, en translation verticale, par un système d'entraînement analogue à l'équipement de mesure (chapitre II, § A) par un amplificateur électronique (ampli II) semblable à l'ampli I (figure 7) et par deux selsyns de recopie.

Ce détecteur asservit l'entrée de l'A.R.P. à sa sortie, par l'intermédiaire de ses pointes d'affichage et d'une alimentation, base de temps (annexe X, § III). Il permet d'afficher et de réguler la pression d'utilisation autour d'une valeur de consigne. Cette valeur de consigne est fonction de la hauteur "h" des pointes d'affichage par rapport au plan, invariable, du liquide contenu dans le réservoir du manodétecteur.

L'ampli II permet :

- soit la commande manuelle du positionnement des pointes d'affichage, donc l'affichage de la pression régulée,
- soit l'asservissement automatique de cet affichage à une tension fonction des variations du niveau dans le réservoir: principe de l'asservissement de la pression (annexe II).

N.B. En plus des pointes d'affichage de la pression, deux autres pointes supérieures aux premières et dites de surpression, permettent de limiter, en cas d'un fonctionnement défectueux de la régulation, la pression d'utilisation à une valeur maximum pour éviter tout accident dans la pile.

3. Circuit annexe de dépression (figure 9).

Un circuit de dépression peut être branché à la place de l'A.R.P. à l'entrée des boudruches. Il permet de regonfler celles-ci lorsque, leur capacité intérieure réduite par suite des fuites dans le circuit secondaire de pression, elles ne remplissent plus leur fonction de relais pneumatique.

Le réservoir étant mis en communication avec l'atmosphère de sa boîte à gants par une vanne manuelle, on crée une forte dépression autour des boudruches qui se plaquent contre leur enceinte métallique normalement alimentée par le régulateur A.R.P.

C) Fonctionnement.

Le régulateur pneumatique délivre une grandeur corrigée par quantités proportionnelles, à son signal d'entrée et à l'intégrale de ce signal dans le temps (voir annexe XI).

Or, le signal lui-même est l'intégrale du temps à un hachement près (annexe X). Nous avons ainsi une correction tout ou rien amortie (annexe IX et XI).

D) Paramètres de la régulation et de l'affichage de pression.

1. La géométrie.

La valeur de la pression à afficher n'est pas une fonction linéaire de la hauteur désirée dans la cuve, par suite des cotes géométriques des récipients : partie cylindrique, partie conique et puits.

2. La densité de la solution.

La densité de la colonne liquide du mano-détecteur est constante. Par contre, celle de la solution de Pu varie. La courbe (figure 12) donne pour des hauteurs différentes la pression nécessaire suivant la concentration (voir § 4. Température).

3. La valeur de la pression demandée.

Après un bon réglage de l'A.R.P., la pression régulée varie très peu en valeur moyenne dans la plage 130 à 180g/cm².

Sur le mano-détecteur suivant la hauteur affichée, les oscillations de la colonne manométrique varient de ± 4 à 7mm autour des pointes d'affichage.

Ceci est dû au rapport pression régulée/pression d'alimentation de l'A.R.P. et à l'inertie de l'ensemble (voir § 7).

4. La température.

Elle peut agir de deux manières différentes :

- a) en faisant varier les dimensions des récipients (cf. 1ère Partie chapitre II.E.2) où l'on a constaté l'effet négligeable des variations de la température régulée.

b) en modifiant le réglage du circuit régulateur de pression (essais réalisés de 15 à 45°C).

Le tableau suivant nous montre la pression à afficher en fonction de la densité pour une dénivellation utile de 1500mm.

Température °C		25°	40°	50°	60°
h hauteurs du détecteur en mm	Densités solu- tion 20g/litre 0,46N	1.567,1	1.567,4	1.567,7	1.567,8
	solution 30g/l 0,46N	1.589,3	1.590	1.590,2	1.590,6

5. L'électrolyse.

Les pointes d'affichages du détecteur sont parcourues par un courant de 600 μ ampères; elles sont en platine pour éviter leur corrosion.

L'électrolyse de l'eau acidulée modifie la sensibilité de la réponse des pointes commandant l'A.R.P.; aussi une inversion fréquente de la polarité aux bornes atténue-t-elle cet effet.

6. La capillarité et le mouillage.

Ils provoquent à l'extrémité des pointes d'affichage un ménisque de hauteur variable de 2 à 5/10mm suivant la rapidité de déplacement de la colonne liquide manométrique et augmente légèrement les oscillations de la pression autour de la consigne (annexe IX).

Une amélioration pourrait être apportée en disposant des pointes d'affichage vibrantes.

7. L'inertie de l'ensemble.

La colonne dynamique manométrique (sans cesse en mouvement) ne suit la pression instantanée qu'avec un certain retard dû à son inertie (c'est une masse pesant 75g, soumise à des forces de l'ordre du gramme). Sa valeur moyenne mesure la pression dynamique utile à moins de 1mm d'eau près.

L'inertie des boudruches provoque aussi les oscillations de la pression autour de la consigne. Pour corriger ces inerties, on a recours aux réglages de l'A.R.P. et de la base de temps qui conditionne l'ordre du détecteur de pression.

E) Résultats.

1. Temps de réponse de la régulation.

a) le circuit de pression :

Pour la mise en marche, on passe de la pression 0 à la pression 130g/cm^2 , minimum affichable et contrôlable en 20 à 30 secondes.

La réponse de l'A.R.P. pour des déplacements verticaux à 4cm/minute du détecteur de pression, est instantanée autour d'une consigne affichée.

b) le circuit hydraulique :

Le temps de réponse du niveau à un ordre de pression constant est variable suivant la hauteur de la régulation dans le réservoir.

Les courbes de la figure 13 nous expliquent les mesures effectuées, le mano-détecteur se déplaçant à la vitesse de 1,5 à 2cm/minute.

- dans la partie cylindrique du réservoir (courbe II) où le volume déplacé est très important et les pertes de charge très grandes, le temps de réponse est de 3 à 6 secondes,
- dans la partie conique, le temps de réponse est plus bref et la variation du niveau plus rapide,
- dans le puits (courbe I), la réponse est instantanée. Le volume déplacé étant très faible, la variation du niveau est très rapide.

2. Elongation des oscillations de la pression.

La pression est régulée par l'ensemble A.R.P. manodétecteur à $\pm 0,54\%$ maximum de sa valeur.

Les variations de la pression mesurée sur le détecteur correspondent en effet à une élongation d'oscillation de la colonne manométrique de 8 à $8 + 6 = 14$ mm suivant "h" affichée. Ce qui nous donne en pression régulée pour l'ensemble régulateur-détecteur :

$$\frac{\frac{8 + 6}{2}}{1.291} = 0,54\% \text{ maximum (1.291mm : hauteur minimum affichée)}$$

Des essais aux perturbations ont garanti ces résultats : on a mis en circuit successivement et simultanément :

- des capacités d'air supplémentaires,
- des fuites à l'amont des boudruches,
- des fuites à l'aval jusqu'à épuisement limite de la réserve des boudruches.

3. Elongations correspondantes du niveau.

Ces variations de la pression régulée correspondent à différentes variations du niveau dans le corps cylindrique de la cuve suivant la hauteur de régulation dans le réservoir.

a) la variation du niveau cuve est d'environ 15/100mm pour une régulation dans le corps cylindrique du réservoir,

b) pour une régulation à une hauteur encore contrôlable par la pointe dans le puits du réservoir où les oscillations sont plus rapides et plus grandes (2 à 6mm) la variation cuve est inférieure à 1/100mm grâce au rapport des sections des récipients 1/2000.

II- L'ASSERVISSEMENT DE PRESSION

DEUXIEME BOUCLE DE LA REGULATION DU NIVEAU

A) Principe.

1. Nécessité de l'asservissement.

L'asservissement remédie aux perturbations de la pression vues dans "L'Etude du problème" (III.3), comprenant les fuites des circuits et les variations de la pression cuve.

En plus, la régulation de pression nécessite un parachèvement, pour une stabilisation du niveau autour de 1/100mm.

2. Principe du montage.

Schéma de la figure 9; c'est le principe de la contre-réaction : On réinjecte en début de chaîne un signal de correction lié aux écarts de la grandeur contrôlée; la tension de sortie de l'ampli I, fonction de l'amplitude et de la vitesse des variations du niveau servira à engendrer un signal qui, appliqué à travers l'ampli II au moteur MA apporte sur le man-détecteur une correction de manière à stabiliser le niveau dans le réacteur.

3. Données particulières du problème et principe des solutions.

a) La régulation du niveau se faisant à différentes hauteurs dans le réservoir, différents cas se présentent avec :

- la géométrie des récipients (cf. régulation de la pression : (2ème Partie, chapitre I, D.1; E.3). Dans la partie cylindrique du réservoir, la régulation du niveau devra être de l'ordre du 1/100 pour obtenir le 1/100 dans la cuve. Dans le puits, la régulation du niveau dans une plage de 2 à 3mm suffira pour obtenir moins de 1/100mm dans la cuve.

- le temps de réponse du niveau, bref ou long, suivant que le niveau est dans le puits, le cône intermédiaire ou le cylindre (cf. Régulation et Pression).
- b) Il y a donc deux types d'asservissement à envisager :
- l'asservissement correspondant à une régulation du niveau dans le puits où le temps de réponse est très court et la stabilisation exigée de l'ordre de 3 à 4mm,
 - l'asservissement correspondant à une régulation dans le corps cylindrique du réservoir où le temps de réponse est très long et la stabilisation exigée de l'ordre du 1/100mm.

B) Asservissement dans le puits.

1. Principe.

L'asservissement consiste à faire augmenter par l'A.R.P. la valeur moyenne de la pression régulée pour une montée du niveau au-dessus de sa consigne dans le puits du réservoir, et vice versa.

Dans le puits, la réponse du niveau à un ordre de pression étant quasi instantanée, les corrections apportées sont brèves et alternativement énergiques et amorties pour éviter tout battement.

De plus, la stabilisation exigée étant de l'ordre de 3 à 4mm, la correction n'a lieu que de part et d'autre d'une plage neutre de 2mm. Cette plage permet de fixer une consigne, de ne pas corriger des écarts trop faibles, de supprimer ainsi les battements possibles et de pouvoir envoyer des corrections plus importantes qui maintiennent le niveau dans cette plage pour éviter le "bullage" (vidange de la réserve en air des boudruches, par excès de pression; et expulsion au-dessus de la cuve).

2. Fonctionnement. Schéma figure 14 Annexe XII

La mesure des variations du niveau se fait par pointe palpeuse. Le va et vient de cette pointe, rompant son ménisque, engendre à l'aide du circuit : dynamo de mesure T-I₁-Ampli II - I₂-MD-détecteur de pression, des ordres pour la correction de la pression et des contre ordres d'amortissement plus faibles.

L'ordre correspond à l'éloignement de la pointe par rapport à la plage neutre. Le contre ordre à son rapprochement. Le signal de correction est fourni par l'enroulement tachymétrique de MP.

I₃ permet de couper l'asservissement pendant les variations du niveau dans la plage neutre déterminée par la came du compteur à rouleaux de la pointe palpeuse.

3. Résultats.

La correction, qui est un écart d'affichage de pression est proportionnelle à $\int u dt$; où u = tension de sortie de l'ampli II alimentant MD, est une fonction quasi linéaire de la vitesse du niveau (voir figure 27, courbes I et V et annexe XII, II.2) à une constante près, ajoutée par la dissymétrie de réponse de l'ampli II.

Plus l'écart est grand, plus longtemps dure la correction proportionnelle à la vitesse du niveau (annexe XII); l'efficacité de la correction sera celle d'une correction différentielle; l'intégration dans le temps par le moteur, de cette dérivée et de la constante additionnelle, y ajoute l'effet d'une correction proportionnelle, et intégrale du temps de l'erreur.

Cet asservissement ainsi réalisé permet de maintenir le niveau du puits dans une fourchette d'oscillation variant de 1,5 à 3mm.

Le volume déplacé est au maximum de 0,14cm³, ce qui correspond à une variation du niveau cuve de l'ordre de 2/1000mm.

C) Asservissement dans le corps cylindrique.

1. Principe.

Dans le corps cylindrique du réservoir, la réponse du niveau à un ordre de pression de l'ordre de 1 à 5g/cm² est longue de 15 à 20 secondes. Les variations d'amplitude à corriger sont très faibles; de 1 à 2/10 de mm (cf. 2ème Partie, chapitre I, E.3).

Le signal de correction de pression sera proportionnel à l'erreur et à l'intégrale de cette erreur mesurée sur le niveau à partir de la consigne.

Les variations du niveau étant très faibles, la mesure de l'erreur se fera par la pointe vibrante immobilisée en translation à la cote de consigne (méthode de mesure des petits écarts) (annexe VI).

2. Fonctionnement. Schéma synoptique. Figure 15.

La cote de la pointe étant établie, on désolidarise par commutateur le moteur MP de l'ampli.

La pointe vibrante est fixée à la cote de consigne. Son élancement de 1mm couvre la plage utile de contrôle : quelques centièmes de mm.

- la pointe délivre u_1 tension proportionnelle à l'écart de niveau, appliquée au premier pont qui fournit U_1 .
- à la sortie et derrière un pont diviseur et un circuit différenciateur (figure 15) on recueille :

$$U_2 = kU_1 + K' \frac{dU_1}{dt}$$

On injecte U_2 à l'entrée du pont II. Le moteur de l'asservissement MD envoie la correction de pression :

$$k_2 \left[\int_0^t k \cdot U_1 \cdot dt + \int_0^t k' \frac{dU_1}{dt} dt \right]$$

proportionnelle et intégrale de l'erreur.

3ème PARTIE

INTERPRETATION DES RESULTATS

L'annexe XIII nous rappelle que les qualités des mesures dépendent du mouillage.

L'erreur à porter sur les volumes introduits dans la cuve, est :

- réservoir rempli encore jusqu'à son corps cylindrique :

$$0,75 + 3 + 2 = 6 \text{ cm}^3$$

- réservoir vidé :

$$20 + 3 + 2 = 25 \text{ cm}^3$$

. Ces deux chiffres donnent une plage d'erreur de :

$$\frac{6}{12.000} = 0,5\% \text{ à } \frac{25}{6.000} = 4\%$$

. Erreur pour un volume utile de 10 litres dans la cuve, et pour un niveau inférieur dans le puits du réservoir :

$$\frac{25}{10.000} = 2,5\%$$

Pour les calculs, nous connaissons la hauteur critique à $\pm 4/10$ de mm près sur 200 environ, soit à :

$$0,2\% \text{ près (annexe XIII)}$$

Cette stabilisation de niveau nous permet de compter sur un réacteur critique dont le coefficient de multiplication est assuré stable, par la régulation de niveau à 1 ou 2 pcm près; le pilotage automatique par barre de contrôle parachève la stabilité neutronique.

4ème PARTIE

A N N E X E I

L'EQUIPEMENT DE MESURE

1. Montage mécanique du système d'entraînement (figure 4).

La pointe est fixée à l'extrémité d'une tige creuse filetée extérieurement (\varnothing 10) au pas de 100. Cette tige en acier inoxydable est entraînée en translation par un écrou en bronze et guidée par deux colonnes.

L'écrou d'entraînement monté sur roulements à billes est entraîné par un jeu de pignons (rapport 1/10) et un moteur "Brion-Leroux". Entre le moteur et l'écrou est couplé un selsyn "Sadir Carpentier" pour la copie de la rotation du moteur. Un tour du moteur correspond à une translation de 1/10 de mm. Cet ensemble est monté sur un bloc et fixé sur le couvercle du réservoir. Un carter en tôle d'innox (NSM22) vissé sur le bloc en assure l'étanchéité.

La translation de la vis est limitée à ses deux extrémités par des minirupteurs de fin de course. Ils coupent l'alimentation du moteur MP et permettent un repérage de l'origine de la translation (cf. 1ère Partie, chapitre II, D.1 et annexe IV).

Les connexions de la pointe avec l'ampli I se font à travers la tige filetée. Les fils de connexion sont gainés sous cuivre pour éviter toute induction sur le fil du signal pointe.

L'usinage de cet ensemble mécanique est tel que :

- le jeu axial de la vis est inférieur au 1/100 de mm,
- la vis à sa position basse, battant radialement de 5/10 de mm, engendrerait une erreur suivant l'axe vertical de $\xi = 0,04/100$ de mm (figure 16),
- l'axe de la vis et du réservoir sont confondus à 0,2° près (figure 16).

L'erreur maximum possible (position basse) est de $\xi = 0,2/100\text{mm}$. Au-dessous du niveau 15cm, l'erreur est inférieure à $0,1/100\text{mm}$.

Pour éviter tout coincement de ces fils pendant la translation (coincement qui pourrait provoquer le blocage de l'appareil ou l'ouverture à contre-temps d'un minirunteur), ils sont guidés par une corde à piano de $5/10\text{mm}$ enroulée en spirale lâche autour d'eux et protégée par une gaine de souplisso vinylique.

La sortie de ces fils et de l'alimentation du selsyn et du moteur se fait à travers le bloc par des prises Souriau aralditées pour l'étanchéité.

L'étanchéité de l'ensemble en communication avec l'atmosphère du réservoir est assurée par des joints de perbunan.

La course utile de la vis est de 312mm. suffisante pour explorer toute la hauteur du réservoir, puits compris.

2. La pointe de mesure.

A) La pointe fixe.

C'est une simple aiguille en NSM22, très effilée pour obtenir la sensibilité de la mesure et réduire au maximum le ménisque liquide. Cette aiguille est fixée à l'extrémité de la tige filetée par un écrou en inox; une cloche en téflon en assure l'isolement et évite le mouillage en cas d'immersion totale (figure 5).

B) La pointe vibrante (figure 6).

Une aiguille en NSM22 est solidaire d'une bobine de haut parleur (Princeps 6cm). Cette bobine alimentée sous une faible tension alternative (50 p.p.s.) oscille dans le champ d'un aimant permanent (Haut parleur Princeps). La suspension de cet équipage mobile est assurée par deux ressorts en bronze au béryllium dont la forme garantit une faible inertie et une bonne fidélité de la position repos. Ces ressorts sont soudés à la carcasse qui supporte l'aimant. Le poids de l'équipage mobile en translation verticale est de 4 grammes.

L'étanchéité de tout cet ensemble est assurée d'une part par une membrane souple de polyvinyle sertie sur l'aiguille et pincée contre la carcasse, et d'autre part par des joints toriques en perbunan.

L'étanchéité de la membrane de polyvinyle a été la plus grosse difficulté de cet ensemble à cause de la faible inertie à exiger pour l'équipage mobile.

La vibration de cette pointe alimentée sous 8/10 de volts est de 8/10 de mm, ce qui suffit grandement pour briser le ménisque dû à la capillarité sans déformer les ressorts de suspension de l'équipage mobile.

A N N E X E II

MONTAGE ELECTRONIQUE POUR LA MESURE DU NIVEAU

1. L'Ampli à courant continu (figure 7)

Cet ampli à courant continu est monté en pont. Il comprend :

- une chaîne de mesure :

V_1 (tube 6.A.U.6) ampli de tension

V_3 (tube E.L.41) ampli de puissance

- une chaîne de référence :

V_2 (6.A.U.6)

V_4 (E.L.41) quasi symétrique de la première chaîne.

L'attaque de cet ampli se fait par la grille de commande de V_1 . Les tubes d'un même étage sont couplés pour augmenter le gain et la sensibilité de l'ensemble : couplage, écran pour $V_1 - V_2$ et $V_3 - V_4$; charge de cathode commune réglable pour $V_3 - V_4$ par "P₁".

La polarisation variable de V_3 ("P₂") permet de régler l'équilibre du pont pour une tension d'attaque donnée.

La tension de sortie se prélève entre les plaques de V_3 et V_4 . Le gain de cet ampli est d'environ 150 pour la charge utile (moteur, type Brion-Leroux, alimenté sous 100 Volts).

2. Fonctionnement de l'ampli.

La polarité de la tension de sortie est fonction de la différence entre la tension grille de commande de V_1 pendant l'application du signal d'entrée et la polarisation de cette grille à l'équilibre du pont.

Ce signal peut être soit un signal de tension (voir Ampli II, annexe XII), soit une variation de la résistance de fuite de grille de V_1 . C'est le cas de la commande par pointe de mesure et de la télécommande manuelle.

A N N E X E III

FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF DE MESURE

POINTE NON VIBRANTE

La pointe non vibrante commande l'ampli I, alimentant son moteur MP, par variation de la résistance de fuite de grille de V_1 : en effet, la résistance pointe-liquide-masse est plus faible ($20K\Omega$ dans le corps du réservoir) que la résistance ($4,7M\Omega$) de fuite de grille V_1 .

Le réglage de l'ampli I est tel qu'il n'y ait pas d'équilibre du pont, quelle que soit la position de la pointe de mesure par rapport à la solution dont on mesure le niveau.

La pointe est en mouvement continuels suivant deux états de marche successifs :

- hors de la solution, la polarisation de V_1 est telle que MP entraîne la pointe à la rencontre du niveau,
- dans la solution, l'inverse se produit. MP remonte la pointe jusqu'à rupture du ménisque.

L'ensemble pointe-ampli-MP fonctionne en tout ou rien de telle façon que les inversions soient brutales et permettent une bonne précision des mesures.

A N N E X E IV

FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF DE MESURE

POINTE VIBRANTE

1. Fonctionnement.

La pointe vibrante commande l'ampli I alimentant MP par variation de la résistance de fuite de grille de V_1 . Cette variation a une fréquence de 50 p.p.s., sa valeur moyenne, décelable par la mesure du courant grille-pointe, est fonction de l'enfoncement de celle-ci dans la solution.

Le moteur MP, de par son inertie, obéit à cette valeur moyenne du signal pointe (en l'intégrant dans le temps par le nombre de tours qu'il effectue).

L'ampli I est réglé de façon à obtenir un équilibre du pont pour un enfoncement donné de la pointe correspondant à une polarisation moyenne de V_1 .

La mesure se fait d'une manière continue à partir du moment où la pointe a trouvé sa position d'équilibre. Nous prenons la cote du niveau n mesuré, égale à la cote $C_n 2$ lue sur le compteur à rouleau moins la différence entre la cote $C_0 2$ lue à l'équilibre et la cote $C_0 1$ de la pointe au repos, c'est-à-dire ne vibrant pas (figure 17).

La qualité de la mesure du niveau dépend de la précision avec laquelle on a étalonné l'enfoncement de la pointe.

A l'aide d'un galvanomètre sensible en série avec la pointe, on mesure, à l'établissement du courant grille-pointe, la cote " $C_0 1$ " du contact, de la pointe ne vibrant pas avec la solution au repos (indice 0).

Cette pointe vibrant, on mesure la cote " $C_0 2$ " correspondant à la pointe immergée, en équilibre dans la diagonale du pont d'alimentation, la solution étant toujours au repos.

La cote d'un niveau n donné est donc :

$$C_n = C_{n2} - (C_{o2} - C_{o1})$$

Le comportement des ressorts, qui conditionnent la position repos de l'équipage mobile et de la fidélité des vibrations, détermine la précision exacte des mesures.

2. La mesure d'écart.

En étudiant la courbe 19 donnant l'intensité du courant pointe en fonction de l'enfoncement de celle-ci dans la solution, on voit que dans une zone correspondant à un enfoncement de 6,4/10mm, sa pente est constante : 1/100 de μ ampère correspondant à 1/100 de mm.

Si, dans sa translation, la pointe se trouve immobilisée en immersion, la cote du niveau correspondant au milieu de cette zone linéaire, nous pourrions mesurer par lecture directe de l'intensité pointe, des variations de niveau de l'ordre du 1/100 de mm (figures 18, 19 et 20).

Cette variation de l'intensité du courant pointe en fonction de l'enfoncement n'est pas le même suivant la hauteur du niveau dans le réservoir. Différentes courbes d'étalonnage ont été tracées pour la partie cylindrique et la partie conique du réservoir (figure 21).

A N N E X E V

REPERAGE DE L'ENSEMBLE DE L'EQUIPEMENT DE MESURE

1°) La position repère de la pointe est la limite supérieure de sa translation. Cette limite se retrouve facilement en télécommande puisqu'elle dépend de l'ouverture d'un minirupteur haut de fin de course (figure 22).

Cette position est définie à $\pm 1,5/100$ mm près, pour une vitesse constante du moteur MP, donc à course d'immobilisation constante.

La fidélité de cette mesure au cours du temps dépend uniquement de la résistance à la corrosion, déterminant les frottements, des pièces en mouvement et la constante d'ouverture du minirupteur.

2°) Pour vérifier de temps à autre très rigoureusement cette cote, on a recours à un dispositif spécial monté sur le bloc carter support de l'écrou. Il permet :

- de déterminer grossièrement à $\pm 1/10$ mm sur la translation une position de la vis à laquelle correspond une lecture connue du compteur; un repère solidaire du bloc carter, sert de cote de référence,

- de définir à moins de $3/1000$ de tour près de l'écrou entraînant la vis (c'est-à-dire à moins de $3/1000$ mm près, sur la translation verticale) cette position de la pointe : un oculaire grossissant en plexiglass, permet en effet de repérer avec une grande précision un rayon déterminé de l'écrou (trait radial imprimé sur le pignon sur un rayon de 30mm environ).

A N N E X E VI

ERREURS MECANIKES SUR LES MESURES

1. Ressorts.

La souplesse et le montage en porte à faux de la suspension pointe (figure 6) engendrent une erreur de 10 à 12/100mm sur la distance entre l'extrémité de la pointe et la culasse.

2. Joints d'étanchéité.

Les joints entre carter du chariot de translation pointe (figure 4) et réservoir, en perbunan et téflon (de haut en bas) ajoutent une erreur de 5 à 8/100mm.

3. Tolérance d'usinage.

La distance de la collerette supérieure du réservoir à l'entrée du puits ou à un cercle directeur donné du cône du fond est connue à 2/10mm près (formes malaisées à usiner); nous nous sommes en effet limités aux cotes d'usinages pour éviter un montage mécanique important en vue d'une exploration de surface par sonde électrique par exemple.

4. Ainsi le compteur, pour toute position de la pointe sur sa trajectoire, donne la hauteur de cette pointe dans le réservoir à \pm :

$$\begin{array}{r} 10 \text{ ou } 12 \\ + 5 \text{ ou } 8 \\ + \quad 20 \\ \hline \text{soit } \pm 40 \text{ centièmes de mm près} \end{array}$$

A N N E X E VII

AUTRES METHODES D'ETALONNAGE DU RESERVOIR

Ces méthodes ont été envisagées pour essayer de s'affranchir des erreurs du repérage mécanique de la pointe par rapport au réservoir. Celle-ci ne mesure plus que des variations de niveau de solution dans le réservoir.

a) 1ère méthode :

L'origine de la translation de la pointe (zéro sur le compteur) est le congé du puits, cote du réservoir connue à $\pm 2/10\text{mm}$ et matérialisée par le contact de la pointe avec une surface du liquide introduit en quantité convenable.

A partir de cette origine de l'échelle de mesure, la courbe géométrique $V = f(h)$ nous donne le volume.

Cette méthode, apparemment plus simple, introduit une erreur semblable à la précédente :

- ménisque très bombé dans le congé (le diamètre du puits est 6mm) : erreur de $3/10\text{mm}$

- tolérance sur H : $2/10\text{mm}$

soit au total $5/10\text{mm}$, donc une erreur sur le volume :

$$V = 25 \text{ à } 30\text{cm}^3$$

b) 2ème méthode :

L'étalonnage du réservoir se fait par l'introduction de volumes connus successifs et la mesure des cotes correspondantes. L'erreur totale faite sur les mesures de ces volumes nous étalonne le réservoir à 30cm^3 près pour 10.000 : méthode la plus rigoureuse, mais sa mise en oeuvre est la plus longue et la plus susceptible d'erreurs.

A N N E X E VIII

PREMIERE ETUDE DE REGULATION -DE NIVEAU

La figure 23 nous montre l'installation réalisée pour les essais. Les écarts de niveau commandent directement les corrections de pression; nous utilisons une pointe vibrante délivrant un courant fonction de l'écart de niveau. La tension obtenue à la sortie d'un pont amplificateur (figure 7), fonction de ce courant, alimente un moteur à aimant permanent monté suivant le schéma 10 sur le régulateur pneumatique. Les corrections de pression sont fonctions de la rotation du moteur. L'ensemble des dites "fonctions" suivant grossièrement, dans la plage utile, une loi linéaire, la correction est sensiblement proportionnelle à l'intégrale de l'erreur dans le temps.

Avantages.

- retour au niveau de consigne,
- autoréglage de la correction (tension intégrée d'autant plus grande que l'erreur est plus grande).

Inconvénients.

Le manque de souplesse et les battements ont conduit à chercher une régulation de la pression d'abord, et à rejeter cette première solution.

A N N E X E IX

LE REGULATEUR PNEUMATIQUE A.R.P.

1. Principe.

L'air d'alimentation venant des détendeurs est appliqué sur le circuit d'utilisation par l'intermédiaire d'un bloc relais. Ce bloc relais comprend deux pointeaux couplés qui règlent l'amenée de la pression pour l'utilisation et une fuite variable de cette pression d'utilisation. Le positionnement judicieux de ces deux pointeaux constitue le principe fondamental de régulateur de pression.

2. Description (figure 10).

L'appareil comprend deux circuits de pression en plus des circuits d'alimentation et d'utilisation (6) :

1) le circuit primaire à pression variable.

Il comporte :

- une alimentation à pression constante par un limiteur de débit (tube fin obstrué par un fil capillaire),
- une buse supportée par une spire déformable, créant une fuite variable suivant la position d'une palette d'obturation, qui permet le réglage et l'asservissement de l'appareil à une pression d'utilisation donnée.
- deux soufflets réglant les deux pointeaux du bloc relais en fonction de la pression établie dans le circuit primaire ;
 - a) si cette pression est nulle (buse ouverte) le pointeau d'admission est fermé, le pointeau de fuite est ouvert. La pression d'utilisation tombe à zéro.
 - b) si cette pression est maximum, le pointeau d'admission est ouvert, le pointeau de fuite est fermé. La pression d'utilisation, aux pertes de charge près s'il y a un gros débit, est égale à celle de l'alimentation.

c) de même pour des valeurs intermédiaires de cette pression, les pointeaux établissent dans le circuit d'utilisation, une pression variable entre les limites précédentes du a) et b).

2) le circuit secondaire de compensation.

Il comporte :

- un réglage d'asservissement permettant, par une fuite non représentée, de ne prélever qu'une pression proportionnelle à la pression d'utilisation,
- un ensemble hydraulique d'asservissement et de compensation (circuit noir). Cet ensemble permet d'asservir la position de la spire déformable qui supporte la buse (circuit primaire) à la pression d'utilisation et à ses fluctuations. Il agit en contre réaction.

Le réglage d'asservissement dose le taux de contre réaction. Le réglage de compensation de l'ensemble hydraulique règle la constante d'intégration des fluctuations, donc le temps d'asservissement de la spire déformable, et son retour à la position normale.

Le fonctionnement de cet ensemble hydraulique est le suivant : prenons le cas de l'augmentation de la pression en amont du régulateur; la pression à l'aval croît. Le soufflet gauche est comprimé dans son cylindre. Il comprime à son tour le soufflet droit équilibré par un ressort dans son pot d'expansion. La paroi médiane des deux soufflets glissera sur la droite et la spire reliée à celle-ci par un levier et une bielette se déplacera vers la gauche en augmentant la fuite d'air. La pression aval baissera à sa valeur d'utilisation.

Le circuit de compensation met en communication les deux soufflets gauche et droit par un circuit à débit variable. Il permet de doser le temps s'écoulant avant le retour à l'équilibre des deux soufflets donc le retour de la buse à sa position normale.

3. Fonctionnement.

Le réglage de la valeur de la pression d'utilisation s'effectue en jouant sur le positionnement relatif palette-buse.

La palette est solidaire par une transmission bielle-manivelle d'un secteur métallique (levier de commande) couplé par un entraînement à friction à l'arbre d'un moteur Brion-Leroux piloté en fonction des variations de la pression d'utilisation autour de la consigne choisie.

Cette commande permet de faire varier d'une manière continue la pression, réglée dans une plage de 130 à 180g/cm².

A N N E X E X

LE DETECTEUR DE PRESSION. LA BASE DE TEMPS

1. Description du détecteur (figure 11)

C'est un manomètre à eau acidulée (SO_4H_2 à 0,5N) comprenant un réservoir, la colonne liquide et un pot d'expansion pour éviter une projection en cas de surpression.

La colonne manométrique comprend deux parties :

- une partie rigide mobile : équipage en translation comprenant deux sortes de pointes de contact, l'une pour la commande de l'A.R.P. (affichage de la pression), l'autre pour l'ouverture d'une vanne de sécurité mettant le circuit d'utilisation à l'amont des boudruches en communication avec l'atmosphère en cas de surpression. Cette pointe mobile est télécommandée par un système semblable au système d'entraînement de l'équipement de mesure : vis, écrou, moteur, ampli II et selsyns de recopie de la translation,
- une partie de conduits souples reliant l'équipage mobile avec le réservoir et le pot d'expansion.

2. Fonctionnement du détecteur.

Ce manomètre détecteur mesure la pression d'utilisation réglée par l'A.R.P. et permet de consigner cette pression à une valeur donnée, égale à un facteur et une constante près à la hauteur "h" de la colonne liquide comprise entre les pointes d'affichage et la surface invariable du liquide contenu dans le réservoir.

En effet, le liquide de la colonne manométrique en court-circuitant ou non les pointes d'affichage, pilote, par l'intermédiaire d'un châssis modulateur et base de temps, le moteur Brion-Leroux de l'A.R.P.

- a) pour une pression supérieure à la pression de consigne (pointes noyées) le moteur éloigne la palette de la buse et diminue la pression réglée,

- b) pour une pression inférieure à la pression de consigne, l'inverse se produit.

3. La base de temps. Description.

Ce chassis électronique (figure 24) a pour rôle de moduler la vitesse du moteur de l'A.R.P., de manière à vaincre l'inertie du circuit régulateur au début des corrections de pressions commandées par le détecteur, et à réduire au minimum les battements de la pression régulée autour de la consigne.

Il se compose de deux chaînes (schéma synoptique 25) :

- la première R_2-R_3 assure l'alimentation sous 100 volts du moteur de l'A.R.P. Au passage de la colonne liquide au niveau des pointes d'affichage du détecteur de pression, cette alimentation s'inverse : rôle de R_1 , relais ultra sensible, relié aux pointes d'affichage et du relais inverseur R_2 .
- la seconde module en impulsion cette alimentation de 100 volts. C'est le rôle de la base de temps V_4 du type phantatron; de la bascule V_5-V_6 et du relais interrupteur R_3 .

Cette base de temps est, de plus, asservie à R_2 (voir "Fonctionnement") par les tubes V_1 (bascule), V_2 (détectrice) et V_3 (ampli de commande de V_4).

4. Fonctionnement de la base de temps.

Le fonctionnement du chassis (figure 24) est expliqué par le diagramme dont les réponses dans le temps ont été allongées pour la clarté (figure 26).

On obtient une tension d'alimentation, qui, entre deux inversions de R_2 , est modulée pour éviter d'envoyer des ordres continus trop importants, sources de battements pour la pression.

D'autre part, cette modulation est asservie aux inversions de R_2 pour vaincre l'inertie de la régulation de pression. Le moteur démarre à l'inversion s'il est arrêté ou s'inverse s'il est en marche. Dans les deux cas, le premier

temps T_1 de marche est supérieur aux temps de marche suivants $T_1 > T_2$.

Le potentiomètre de $2K\Omega$ placé dans la cathode de V_3 règle le temps T_1 par rapport au temps T_2 réglé par le potentiomètre de $1M\Omega$ placé sur le suppressor de V_4 .

Un potentiomètre de $500K\Omega$ en série avec l'alimentation de 100 Volts entre R_2 et R_3 règle la vitesse du moteur.

La valeur de ces réglages a été déterminée expérimentalement en fonction du montage des circuits pneumatiques et hydrauliques et de leur inertie

$$T_1 = \frac{4}{3} T_2$$

Entre deux inversions, la période P de la modulation est d'environ 2,5 secondes. Le temps de marche du moteur étant légèrement inférieur au temps d'arrêt (ce rapport cyclique est déterminé par les constantes de temps du phantastron dont les capacités sont de 0,5 et $4\mu F$).

A N N E X E XI

FONCTIONNEMENT DE LA BOUCLE DE PRESSION

Le régulateur A.R.P. fournit une correction de pression (≈ 0) proportionnelle au déplacement de la palette de commande devant la buse de réglage supportée par la spire et proportionnelle à l'intégrale de ce déplacement dans le temps (grâce au circuit auxiliaire intégrateur).

Or, ce déplacement, grâce à la transmission mécanique intègre la tension appliquée aux bornes du moteur.

Cette tension est elle-même une tension continue d'amplitude bien définie par l'alimentation stabilisée; sa polarité est fonction de la position des pointes de contact du manomètre détecteur par rapport à sa colonne liquide. C'est une tension dont seul le signe est réglé par l'erreur de pression.

La correction de pression se fait donc par tout ou rien, mais le hachement de la tension en intervalles alternativement d'action et de repos du moteur (annexe X) amortit ce signal pour éviter des battements appréciables du niveau réglé.

A N N E X E XII

ASSERVISSEMENT DANS LE PUIITS

1. Montage (figure synoptique 14)

Le signal de correction est fourni par un enroulement tachymétrique du moteur MP d'entraînement de la pointe de mesure. Ce signal attaque l'ampli II à travers un interrupteur I_3 et un inverseur I_1 . Il commande la rotation du moteur MD à travers un deuxième inverseur I_2 .

I_3 coupe l'asservissement pendant les variations du niveau dans la plage neutre. Il est commandé par une came fixée sur le compteur à rouleau de la pointe de mesure.

I_1 et I_2 sont couplés avec I_3 .

2. Fonctionnement.

a) Mode de fonctionnement de la pointe.

La mesure des variations du niveau se fera à l'aide d'une pointe non vibrante, palpeuse (l'excitation 1 Volt, 50 pps, de l'équipage mobile est supprimée sur la pointe vibrante).

Cette pointe, par son va et vient, nous fournit les corrections de pression ou "ordres" d'une part, les contre ordres d'amortissement d'autre part.

L'ordre correspond à l'éloignement de la pointe de la plage neutre et le contre ordre à son rapprochement.

b) Fonctionnement. Cas d'une baisse de pression agissante.

La prédominance de l'ordre sur le contre ordre pendant l'écart du niveau par rapport à la plage neutre se fait grâce à la désensibilisation de l'ampli II pour une polarité du signal d'entrée et au jeu conjugué de I_1 et I_2 .

Les courbes du diagramme (figure 27) nous explicitent ce fonctionnement :

- Courbe I : Elle représente une montée du niveau dans le réservoir, son passage hors de la plage neutre de 1mm : point A; sa stabilisation, et son retour dans la plage après l'ordre de pression (courbe VI) : point B. Sur cette courbe sont tracés les mouvements de la pointe palpeuse. Elle se déplace à vitesse constante $V_1 = V_2$ de manière que les ordres soient égaux de part et d'autre de la plage neutre.
- Courbe II : Elle représente le signal de la pointe de mesure, concrétisé par le courant grille-pointe.
- Courbe III : Elle représente le signal de la tachymétrie ou le signal d'entrée de l'ampli II. On remarque :
 - ordre supérieur au contre ordre en largeur (durée) pendant la montée du niveau. Conséquence des mouvements pointe-liquide,
 - ordre égal au contre ordre en largeur pendant la stabilisation,
 - ordre inférieur au contre ordre en largeur pendant la descente du niveau vers la plage neutre.
- Courbe IV : Elle représente les signaux de tension envoyés sur le moteur MD. On remarque :
 - que l'ordre est supérieur au contre ordre par son amplitude et sa durée pendant l'éloignement du niveau de la plage neutre,
 - que l'ordre est égal au contre ordre pendant la stabilisation du niveau,
 - que l'ordre est plus bref que le contre ordre pendant le rapprochement du niveau de la plage neutre.
- Courbe V : Elle représente la vitesse du moteur, et plus exactement l'intégrale des variations de la vitesse du moteur MD. Ces variations de vitesse sont fonction de l'amplitude et de la largeur des signaux de tension d'ordre et contre ordre. Cette vitesse du moteur est fonction de la vitesse du niveau : à une constante près due à la dissymétrie du pont, elle lui est pratiquement proportionnelle.

- Courbe VI : Elle représente la variation de la pression du réservoir affichée par le détecteur de pression.

Remarque : Pour une augmentation de pression, le processus est le même; la polarité des signaux de corrections du moteur MD sont inversés par I_1 et I_2 de manière que l'ampli II ait la même polarité d'attaque que précédemment pour que l'ordre l'emporte sur le contre ordre au début.

c) Fonctionnement particulier.

Les courbes du diagramme nous expliquent le jeu de I_1 et I_2 . Les signaux ont été intégrés pour la simplicité de la figure.

A N N E X E XIII

MANUTENTIONS

Le compresseur et le dépresseur sont isolés par filtres Schneider-Poelman papier rose en cas de rupture ou porosité des baudruches.

Mesures.

Lors de l'introduction de solution dans le réservoir, un bullage intense diminue le mouillage. De plus, celui-ci se reproduisant sensiblement pareil à lui-même, il n'engendre pas d'erreur de volume.

Après une descente de la cuve, un mouillage de 35cm^3 environ subsiste dans la conduite réservoir-cuve, reproductible à $\pm 3\text{cm}^3$ près.

Les volumes morts sont variables à $\pm 2\text{cm}^3$ près.

N.B. Si le contrôle de l'électrovanne d'alimentation (montée entre le réservoir et la balance des pesées de solution) remontait à plusieurs jours ou si une manoeuvre accidentelle de cette vanne était supposée, le volume mort de solution ne serait plus réduit de 180cm^3 (capacité des conduits) à 105cm^3 grâce aux tampons d'air de 75cm^3 retenus par cette électro-vanne. Il y aurait une incertitude 75cm^3 maximum, ajoutée aux 25cm^3 précédents (3ème Partie) soit 100cm^3 .

L'erreur relative de mesure serait $100/10.000 = 1\%$ sur volume et hauteur au lieu de $0,25\%$. Le même bullage que lors de l'introduction de liquide par cette vanne (vu ci-dessus) est alors reproduit et l'incertitude levée.

Temps de remplissage et de vidange.

Nous montons le liquide à 15cm en 25 minutes (la pression étant complètement appliquée). Nous le stabilisons en 5 minutes. Nous vidons le coeur dans le réservoir en 6 minutes (suivant une loi pratiquement linéaire) :

$$h = h_0 - 29 t$$

l'origine de h étant le fond de la cuve,

h = hauteur en mm de la solution dans la cuve au temps t

h_0 = hauteur en mm de la solution dans la cuve au temps $t = 0$

t = temps en minutes.

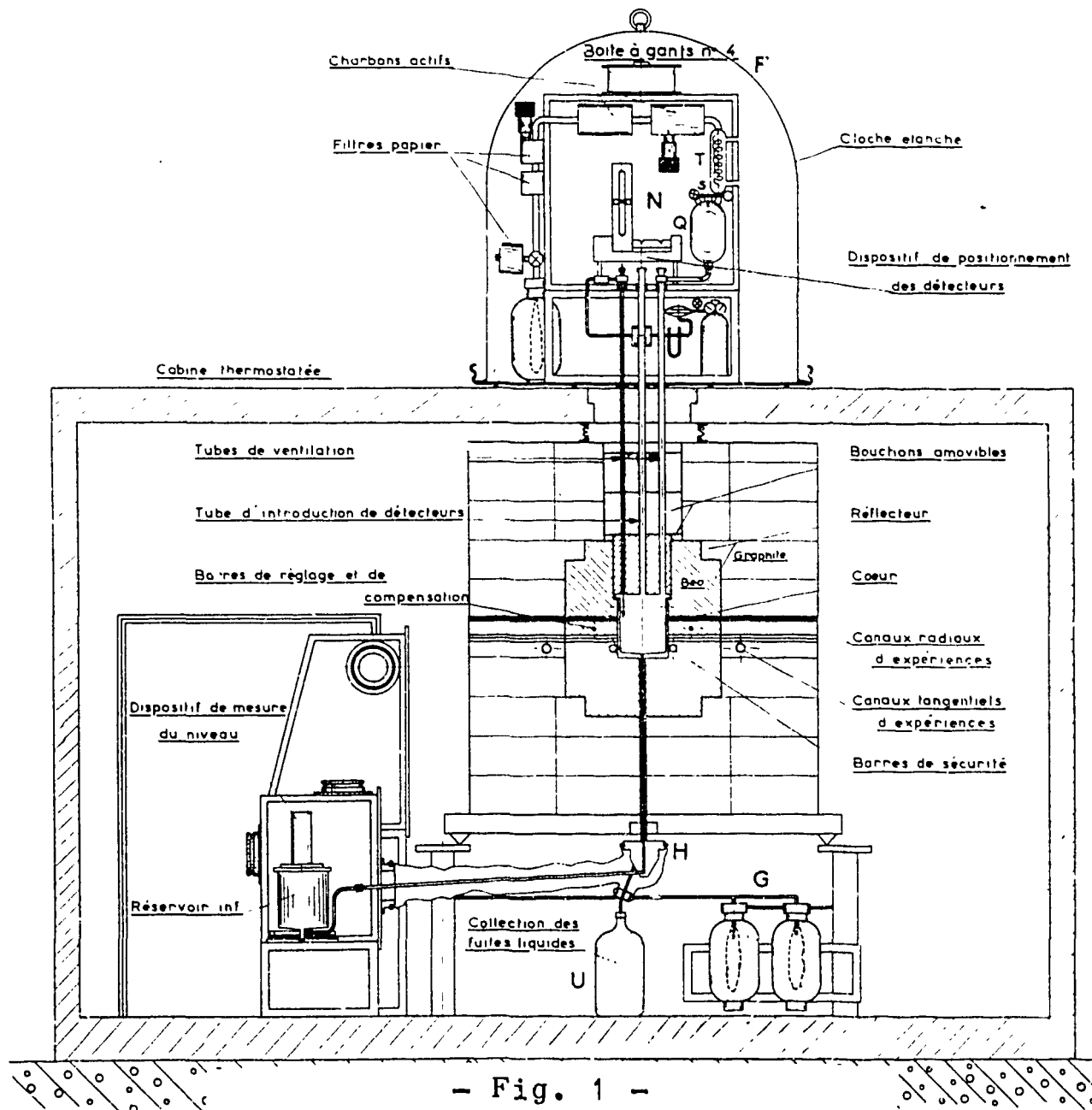
Les homogénéisations de la solution se font par mouvements de monte et baisse de la masse liquide dans le réservoir (4 manoeuvres élevant le liquide à 10cm dans le coeur).

Les premières stabilisations approchées et les commandes de changement de niveau se font à la main par action sur des contacts de court-circuit de la régulation automatique.

Manuscrit reçu le 10 décembre 1958.

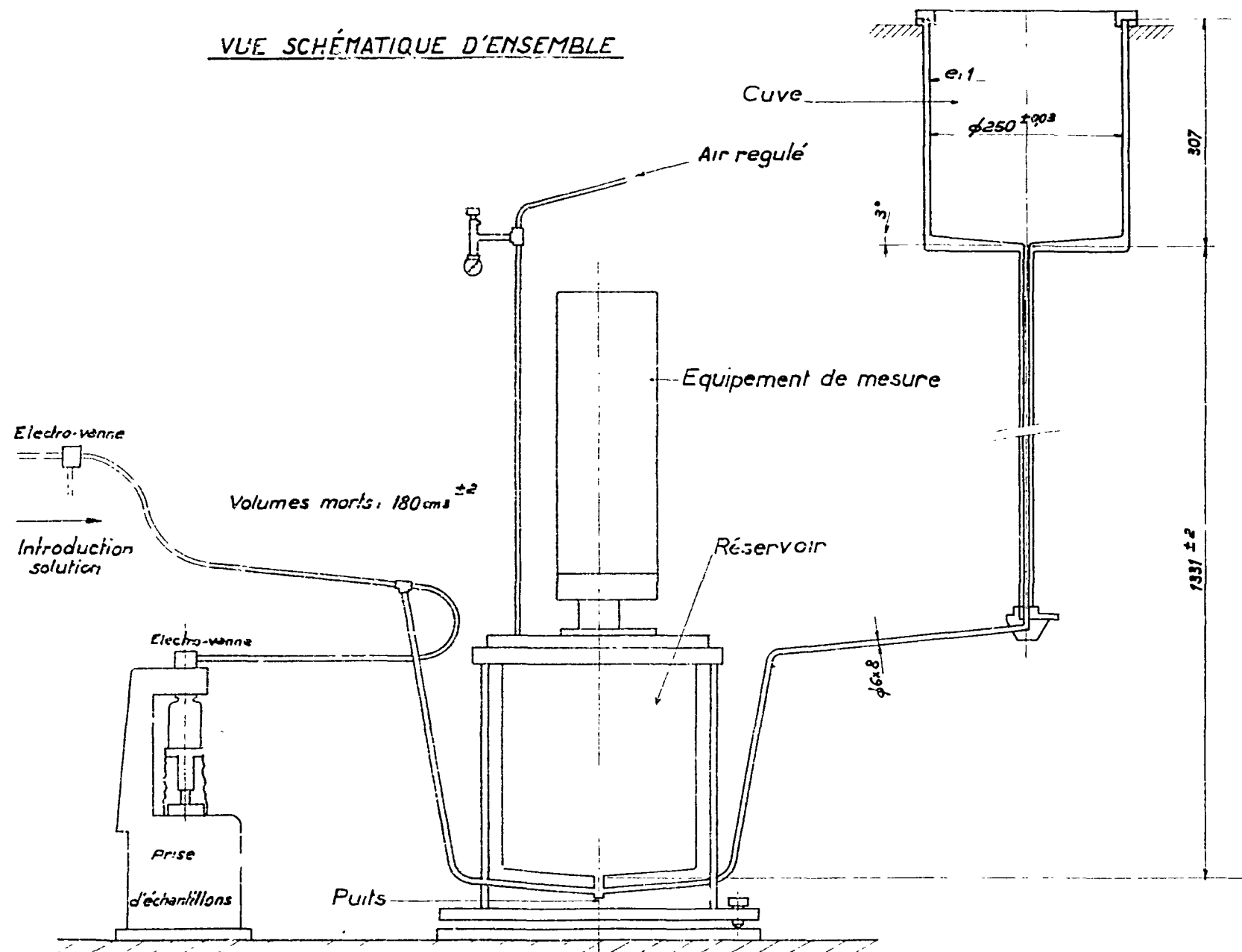
NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

- (1) Proserpine
Notice de documentation S.N.E. du C.E.A.
- (2) Courbes de Nordheim du réacteur
- (3) Automatismes - Mars 1956
Article de MM. WEILL et FRIEDLING
- (4) Physics et Chemistry Handbook
- (5) Rapport n°73 - Département de Chimie C.E.A.
- (6) Notice "Contrôle et Régulation" 3.528



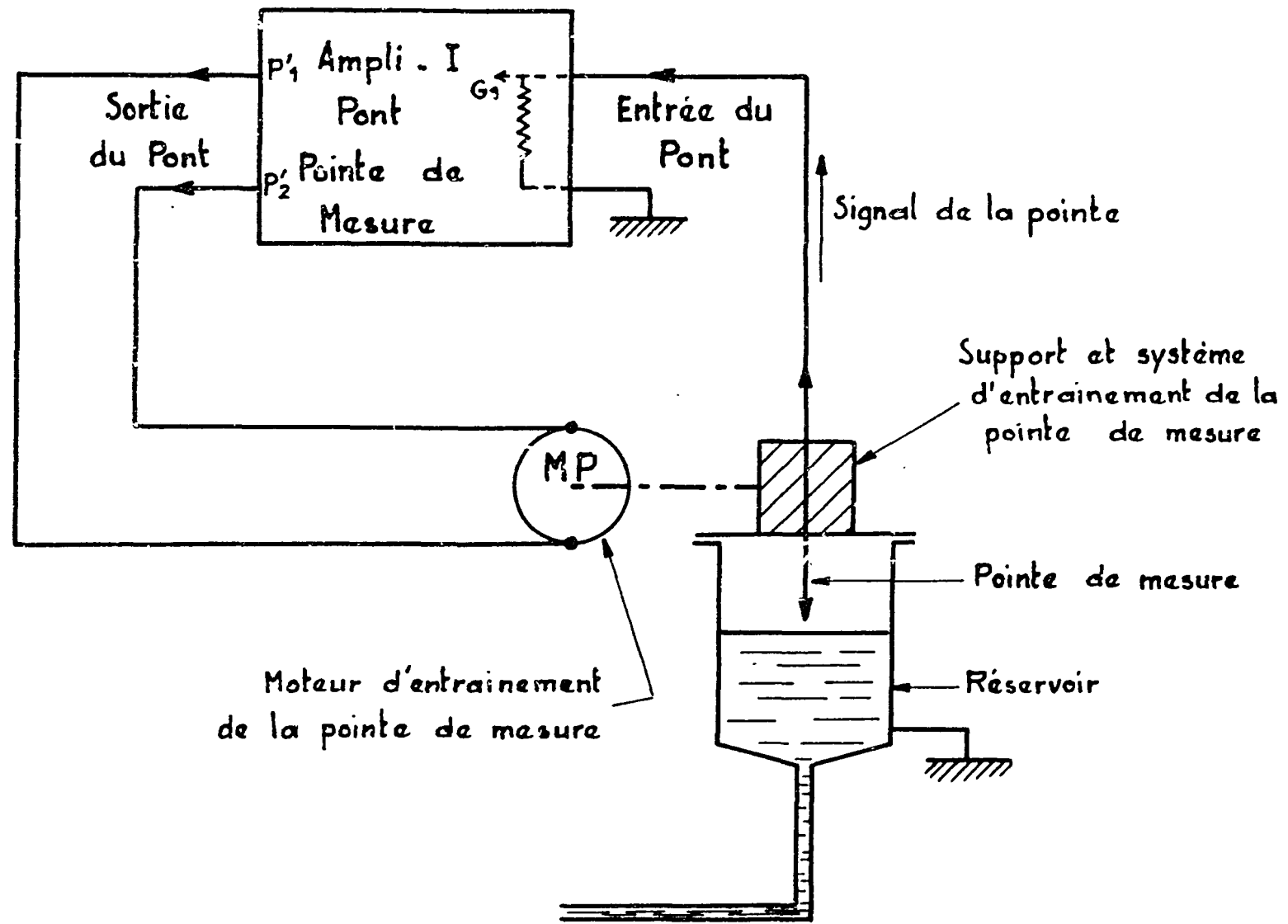
- Fig. 1 -

Plan - bloc et cloche. Coupe E.O



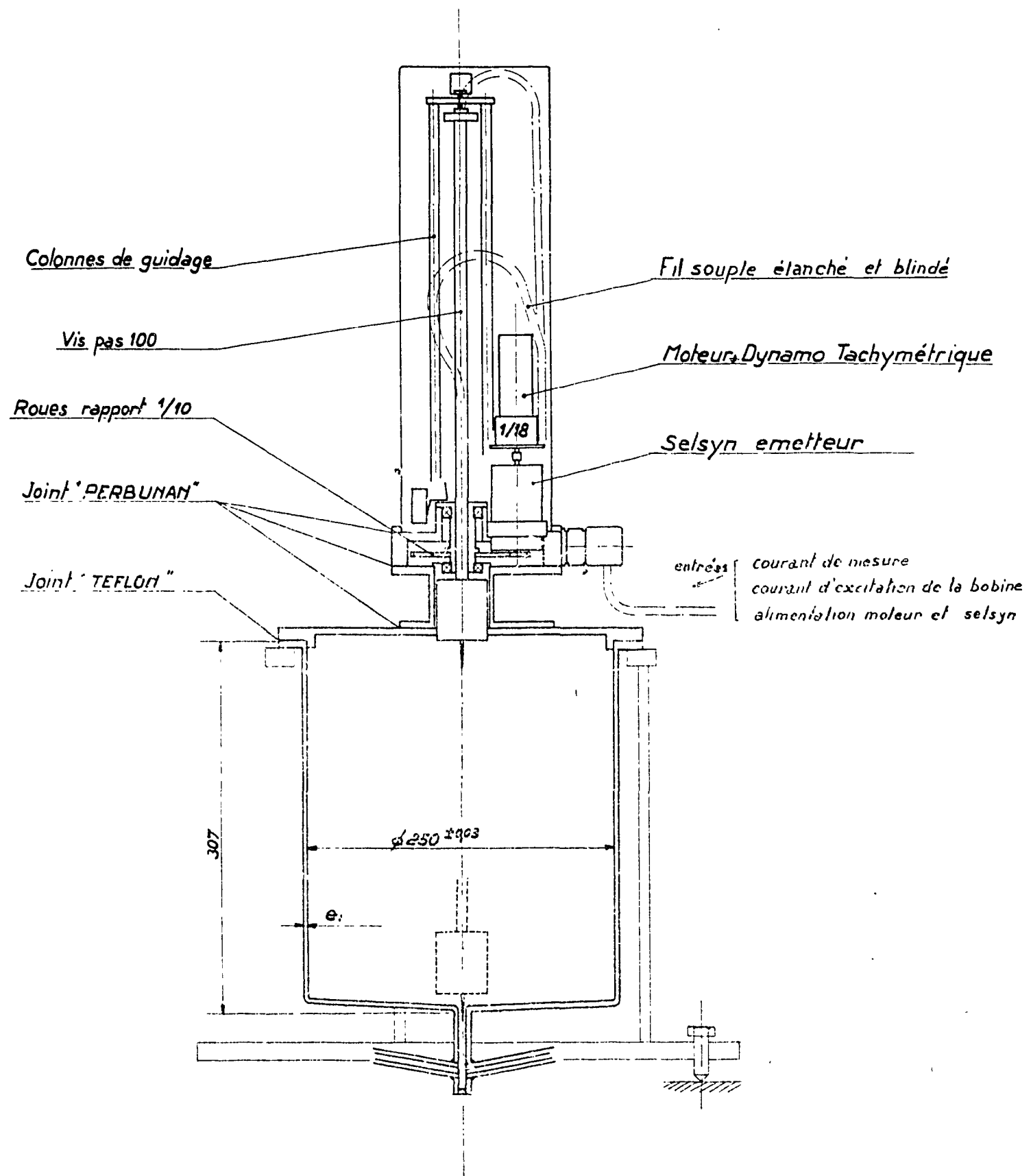
- Fig. 2 -

Vue schématique d'ensemble.



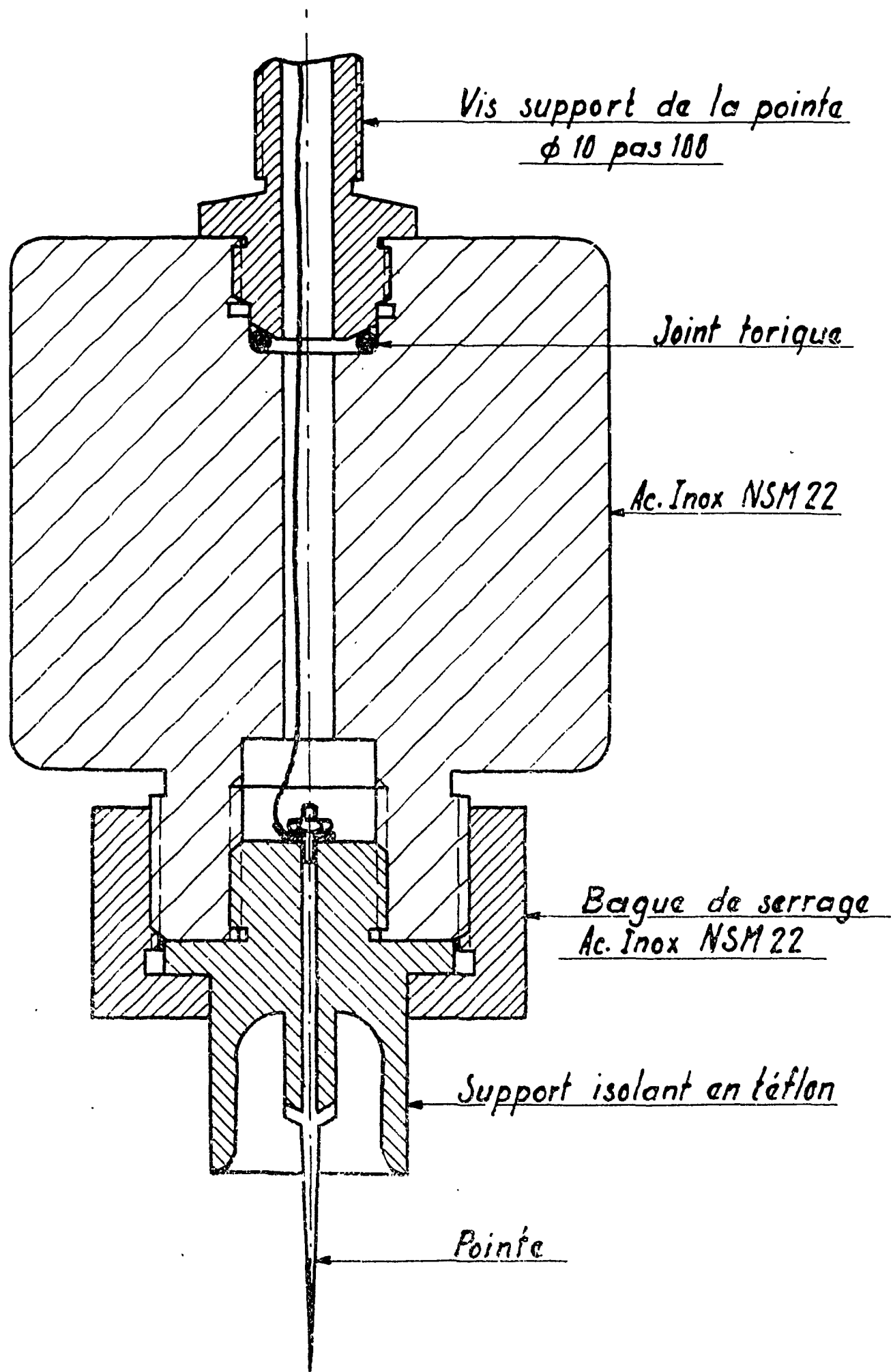
- Fig. 3 -

Schéma synoptique de l'équipement de mesure du niveau



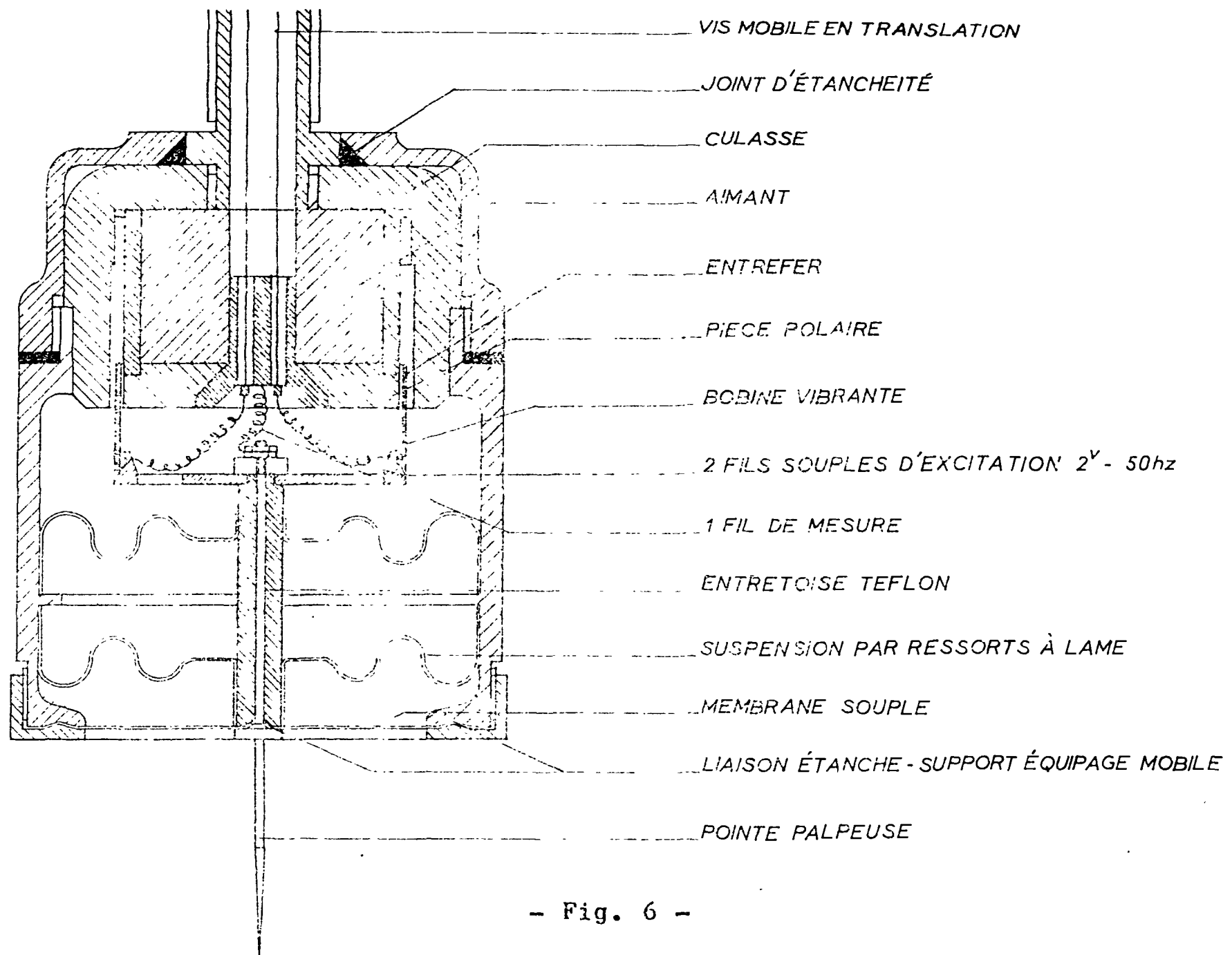
- Fig. 4 -

Equipement de mesure.



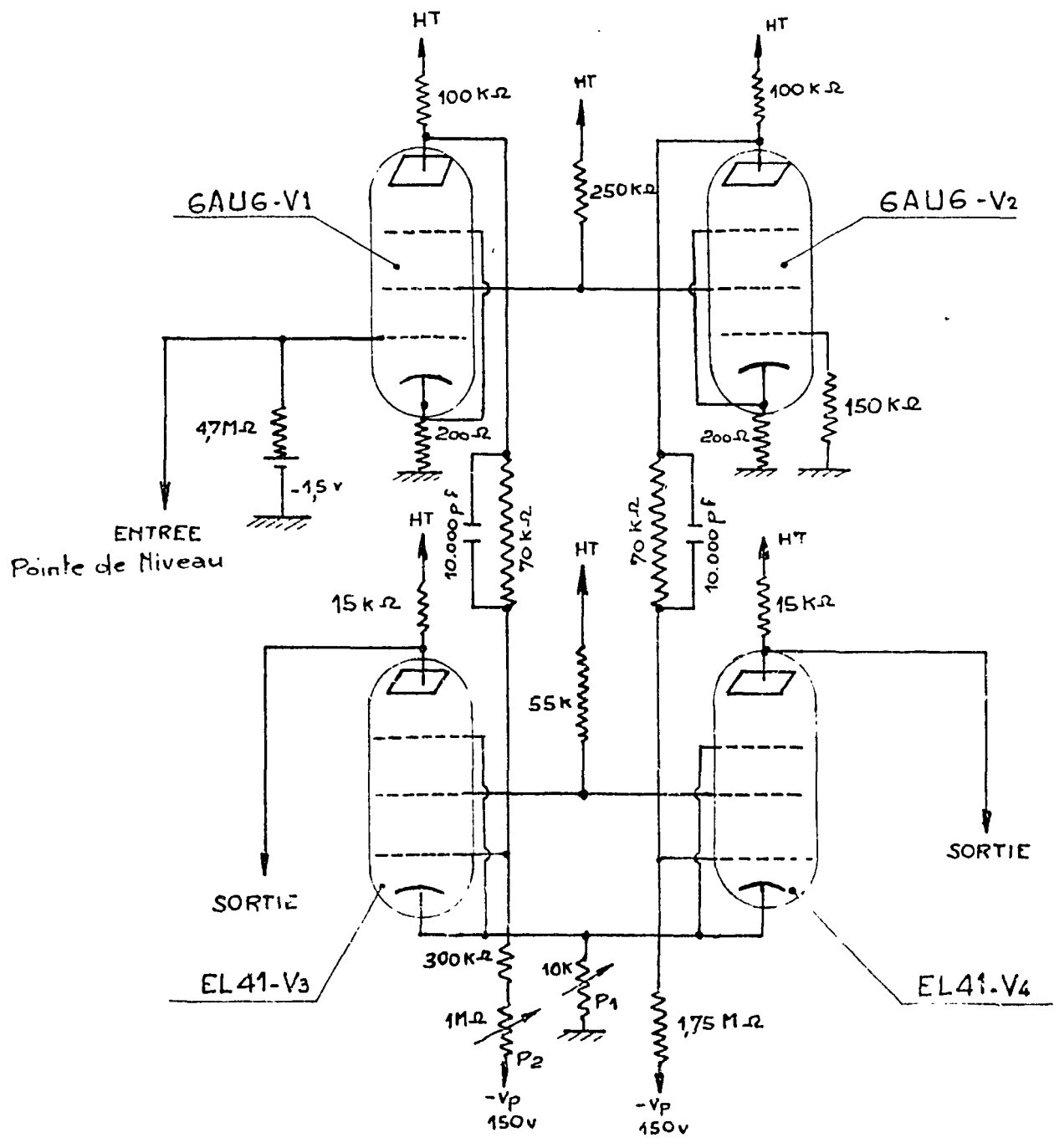
- Fig. 5 -

Montage pointe fixe.



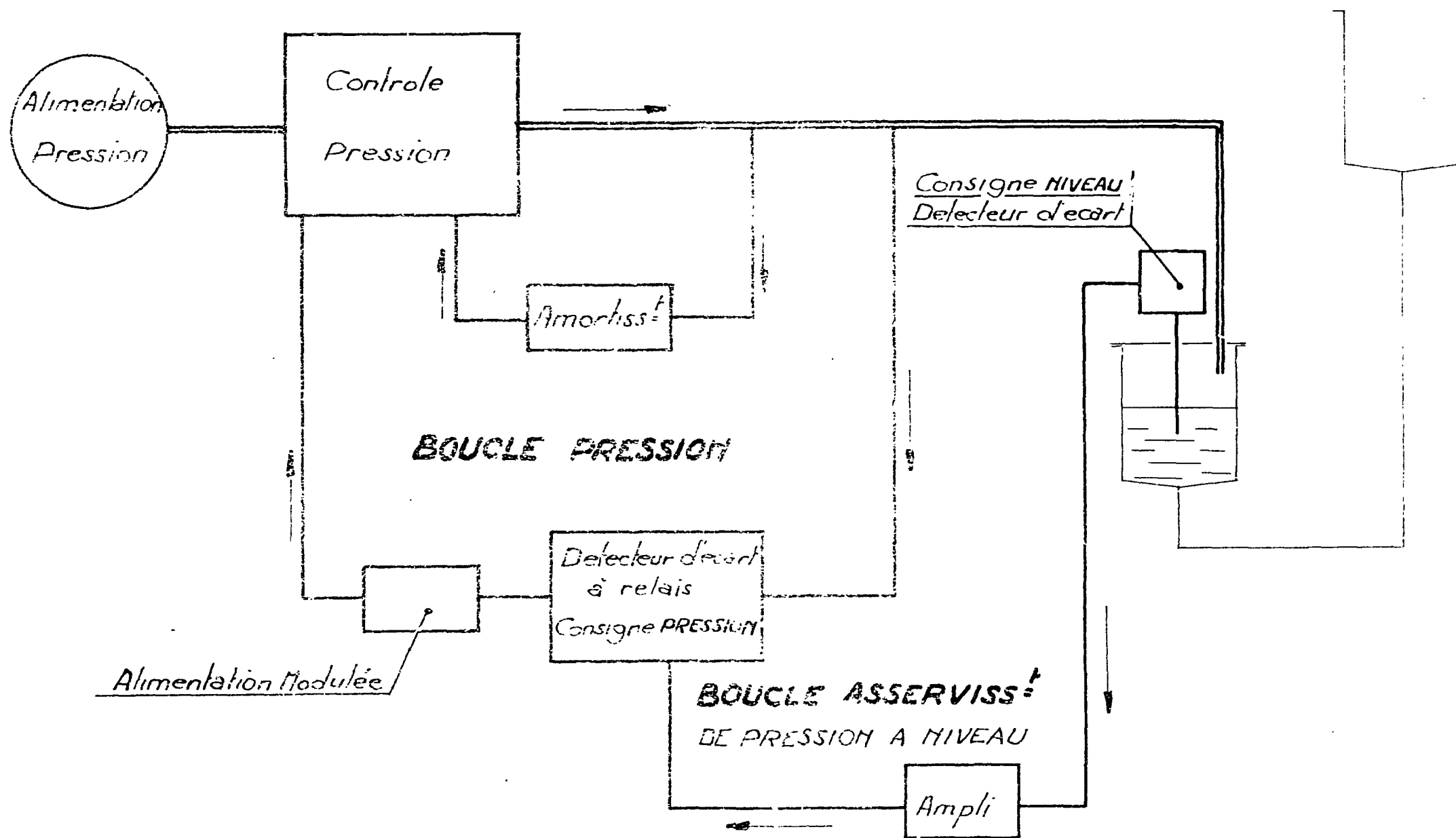
- Fig. 6 -

Pointe vibrante de mesure.

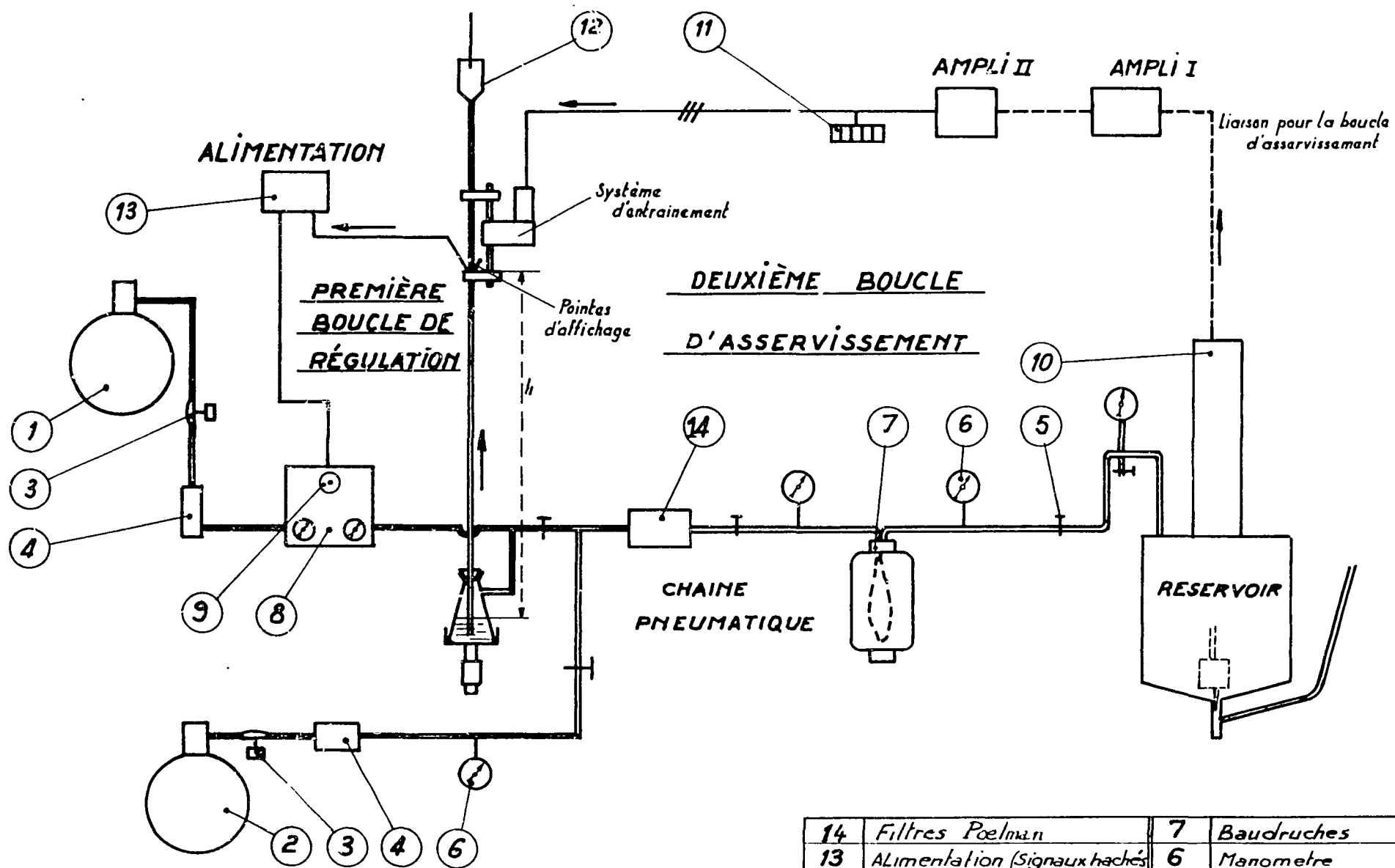


- Fig. 7 -

Ampli courant continu } Pont pointe mesure
 } Pont moteur détecteur pression



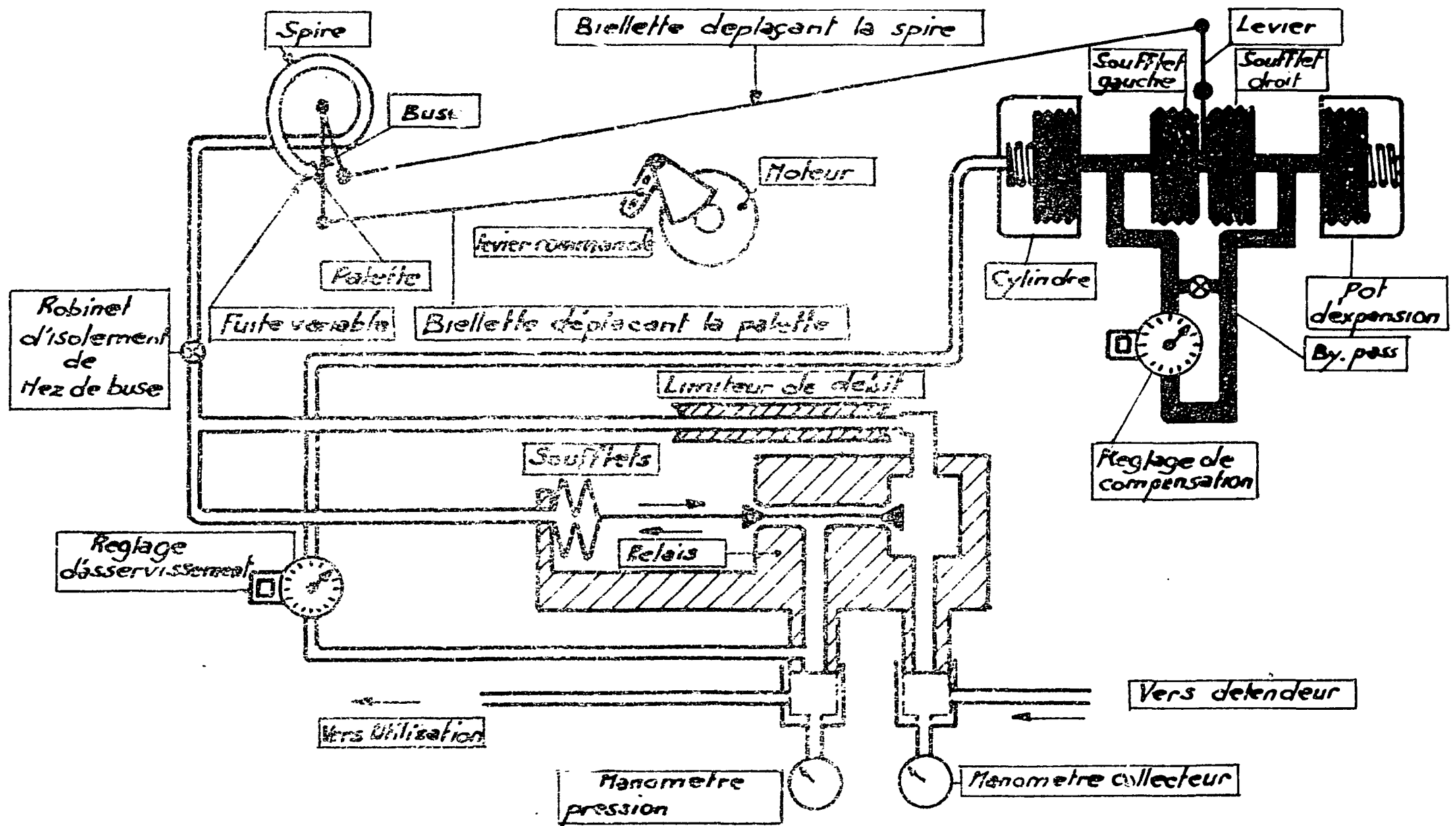
- Fig. 8 -



- Fig. 9 -

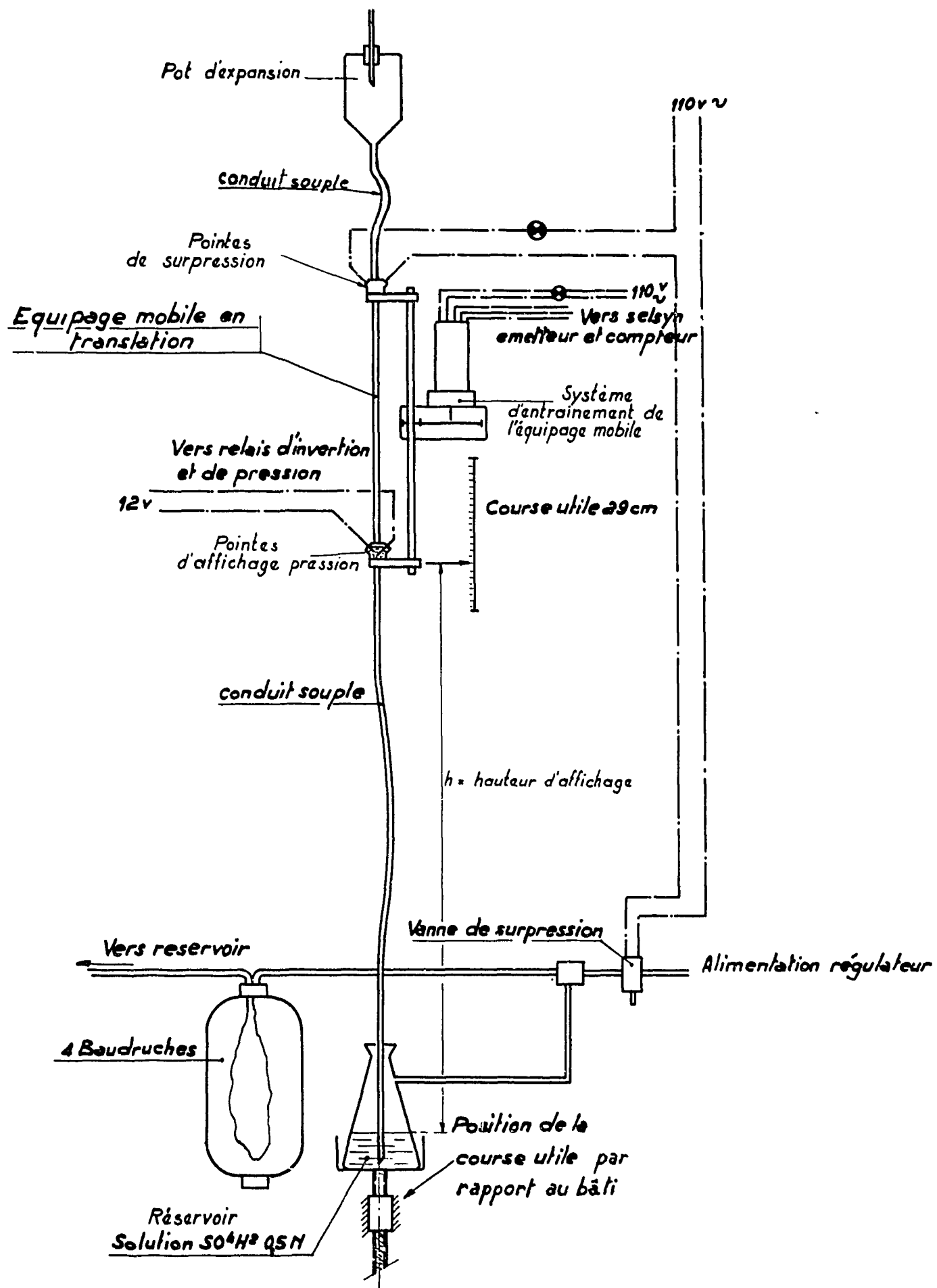
Scéma synoptique.

14	Filtres Poelman	7	Baudruches
13	Alimentation (Signaux hachés)	6	Manometre
12	Mano-detecteur	5	Vanne
11	Compteur	4	Filtre purgeur à eau
10	Pointeau de mesure	3	Détendeur
9	Moteur	2	Depresseur
8	Regulateur pneumatique ARP	1	Compresseur
REPÈRE	DESIGNATION	REPÈRE	DESIGNATION



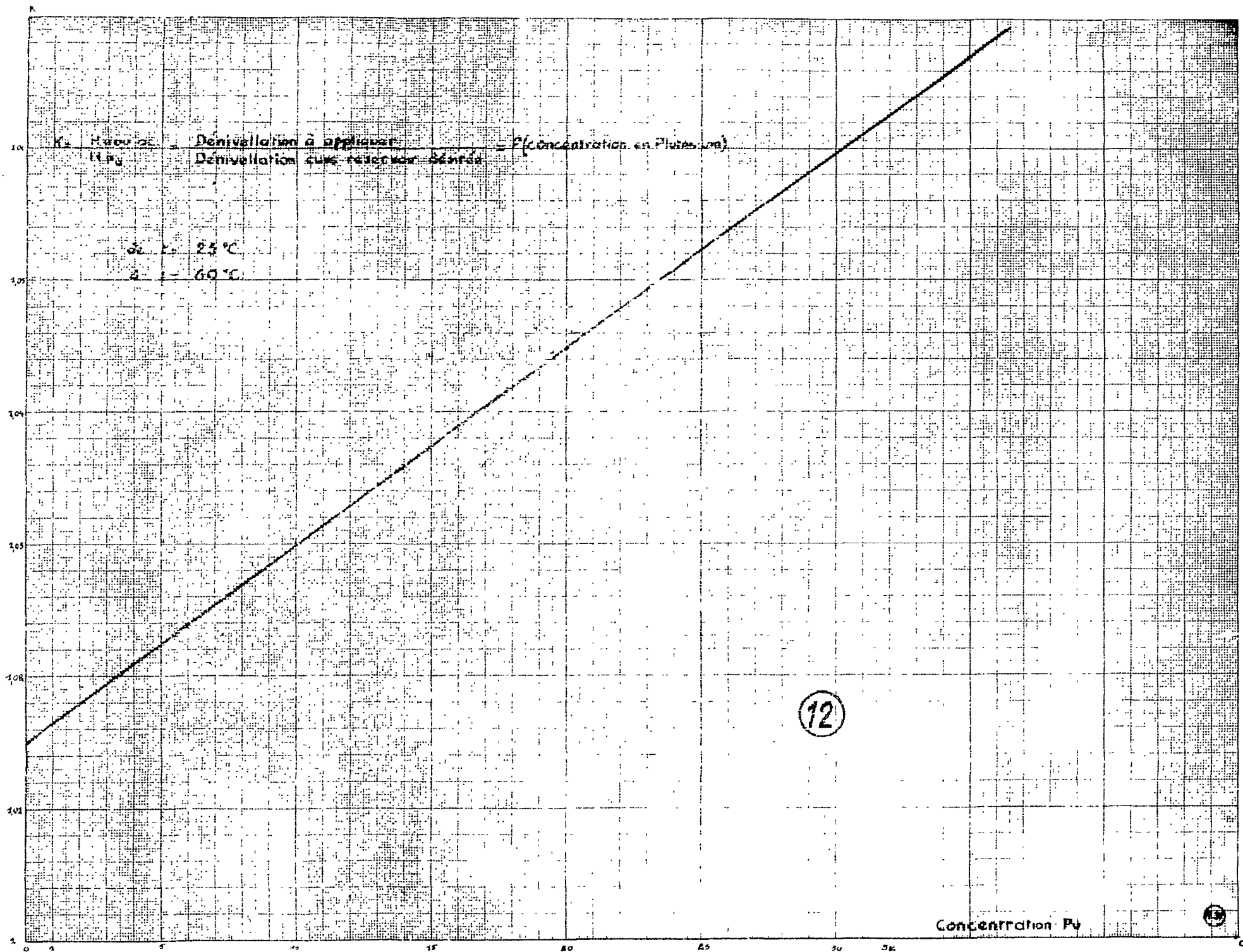
- Fig. 10 -

Régulateur CR type ARP.

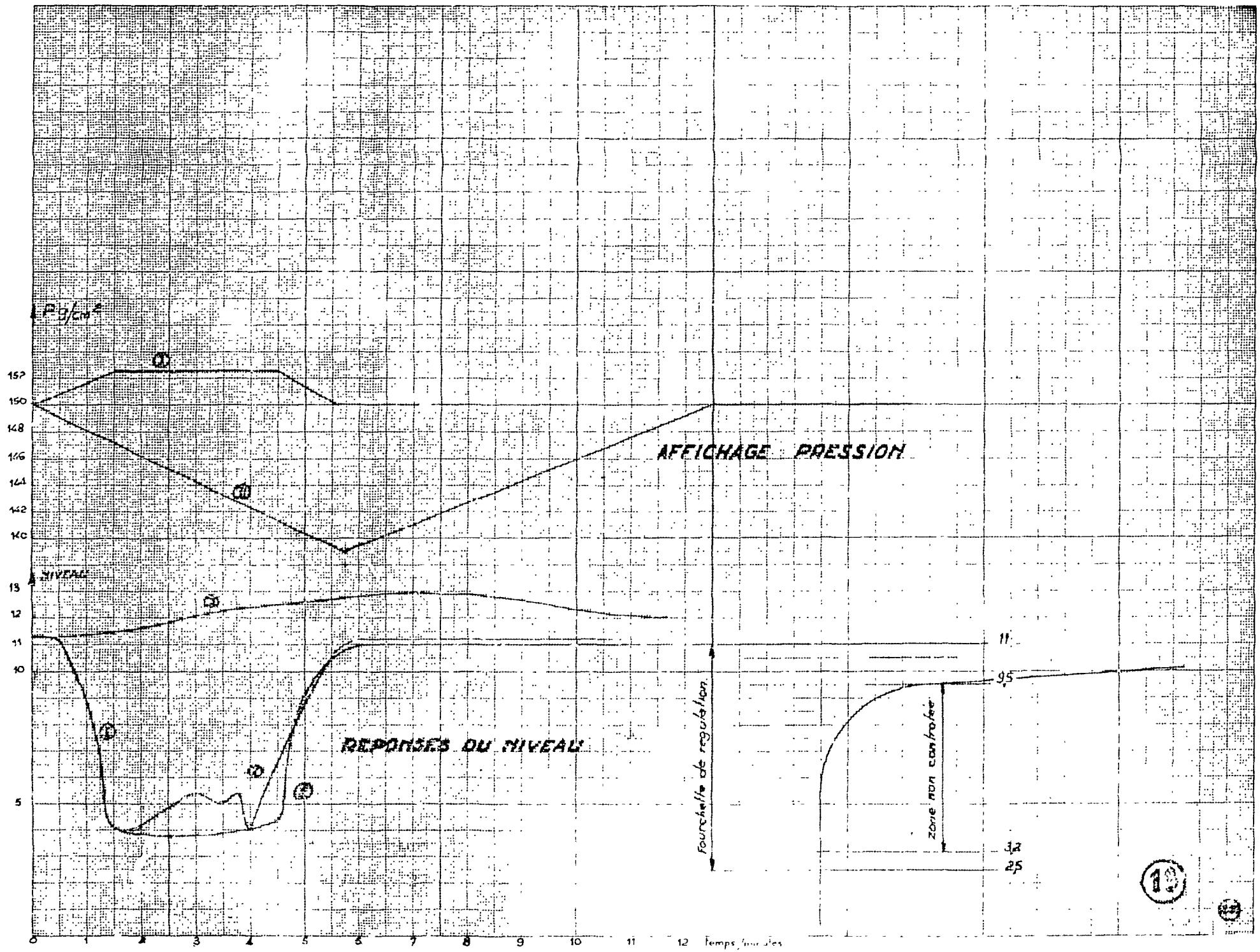


- Fig. 11 -

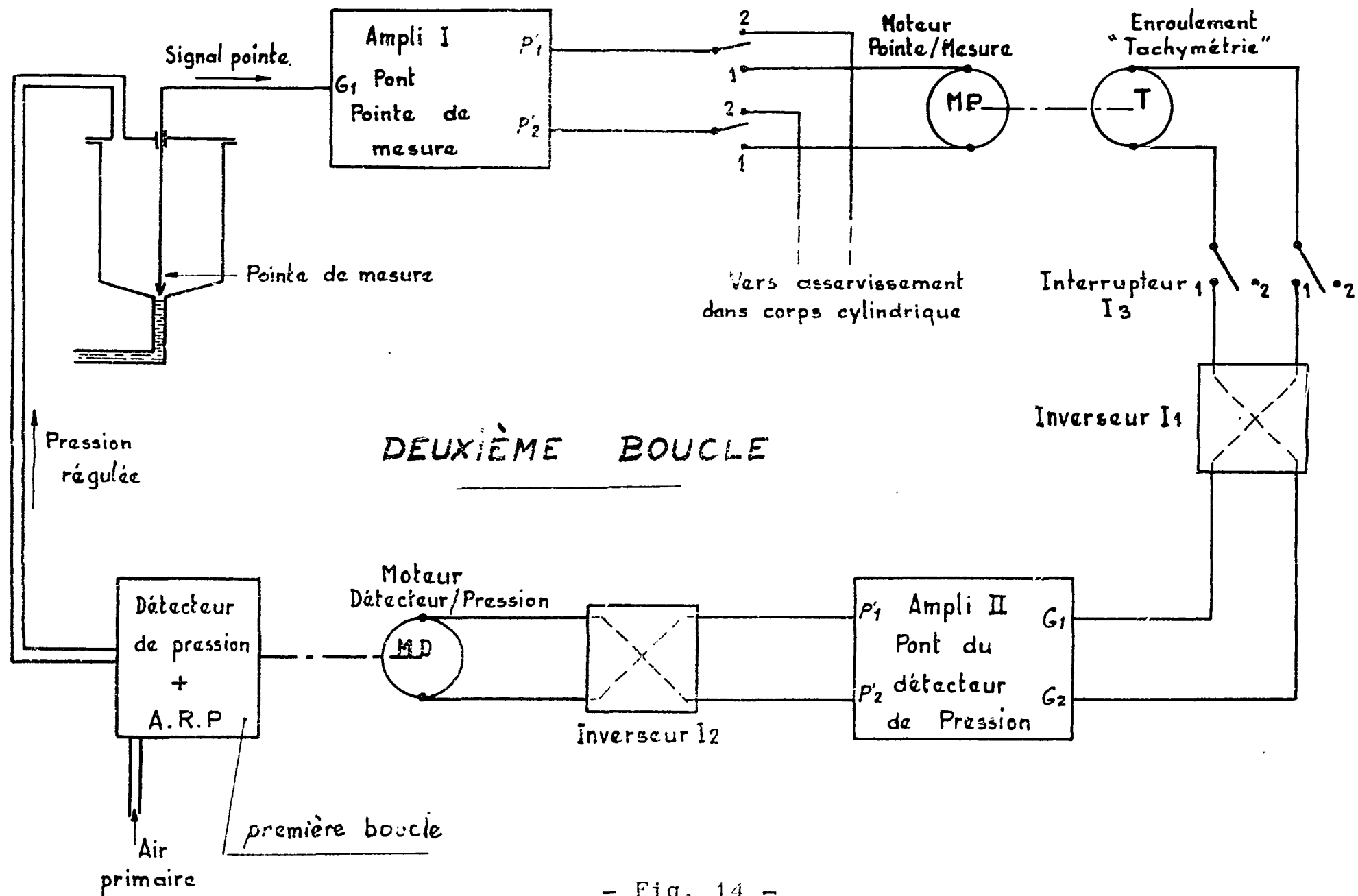
Manomètre détecteur de pression et d'affichage.



- Fig. 12 -

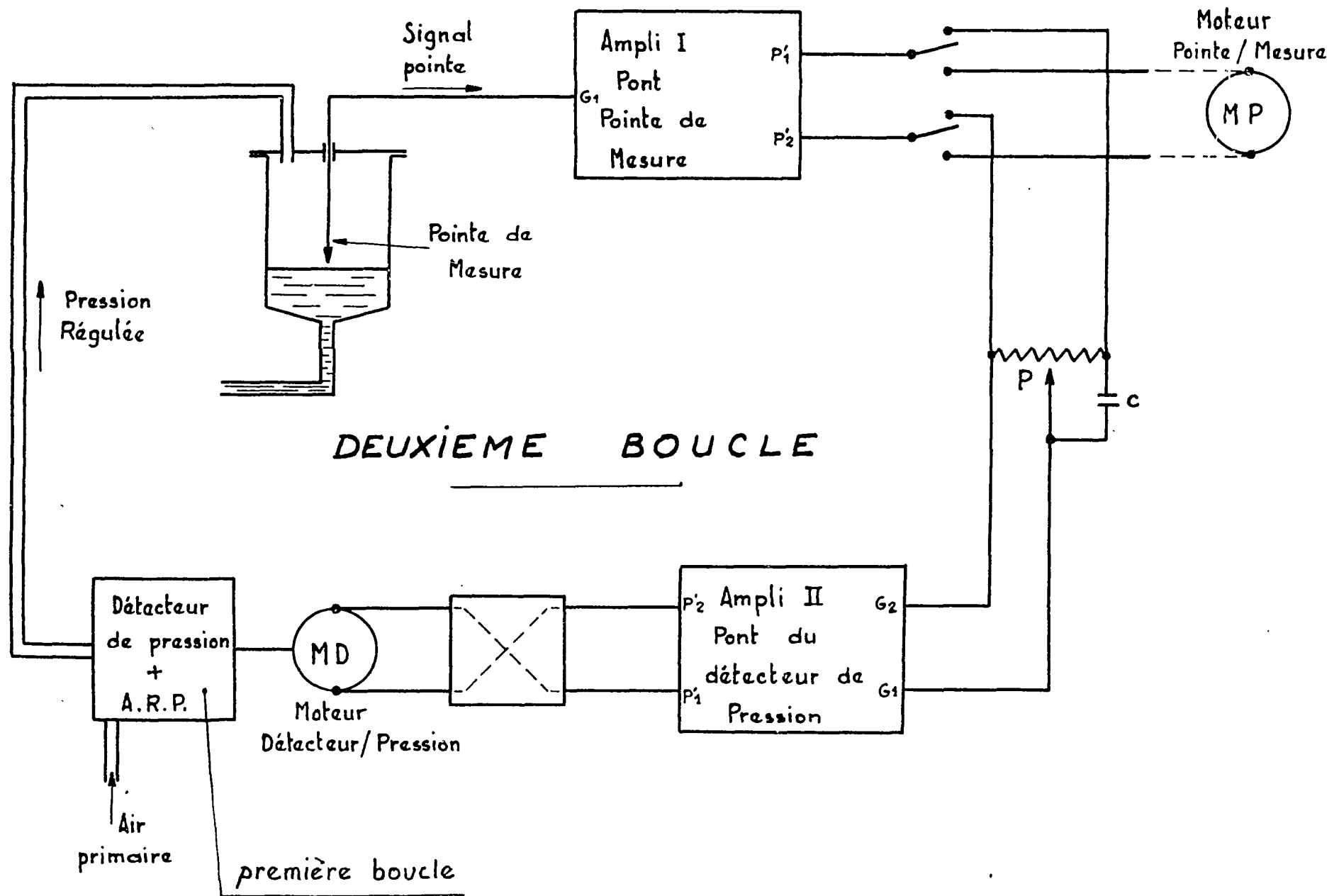


- Fig. 13 -



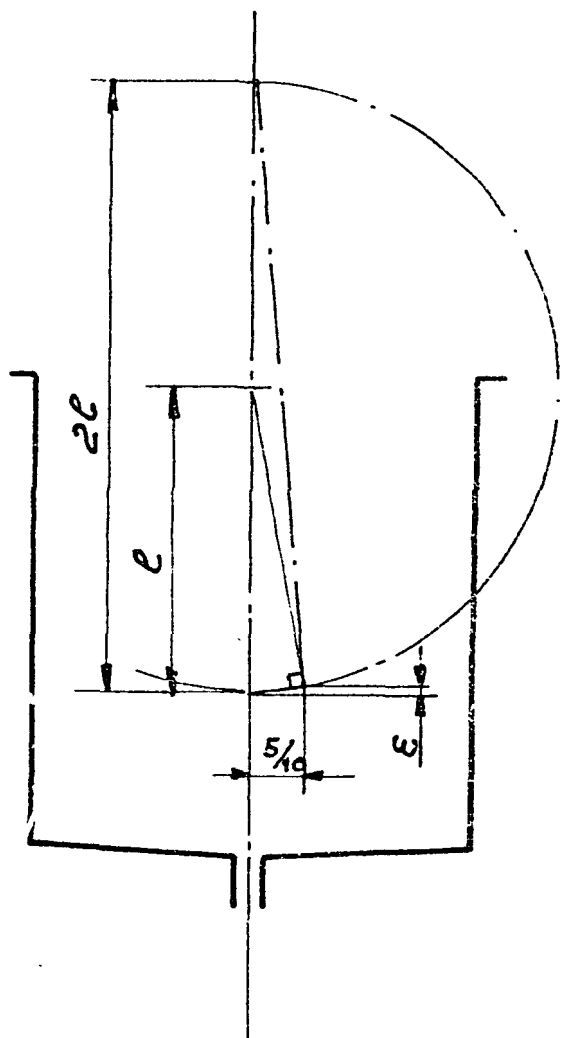
- Fig. 14 -

Schéma synoptique.
Asservissement de pression dans le puits.

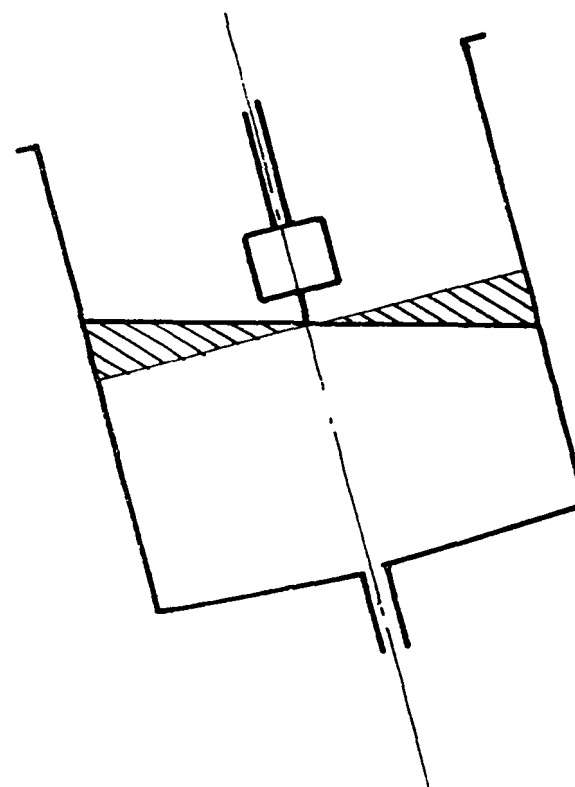


- Fig. 15 -

Schéma synoptique.
Asservissement de pression dans le corps cylindrique.



Axes vis et reservoir
confondus à 0.2° pres

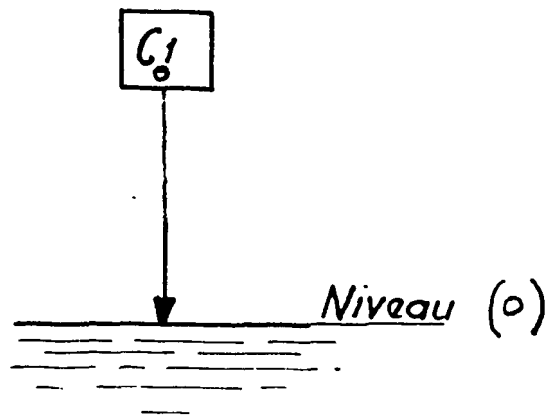


erreur nulle

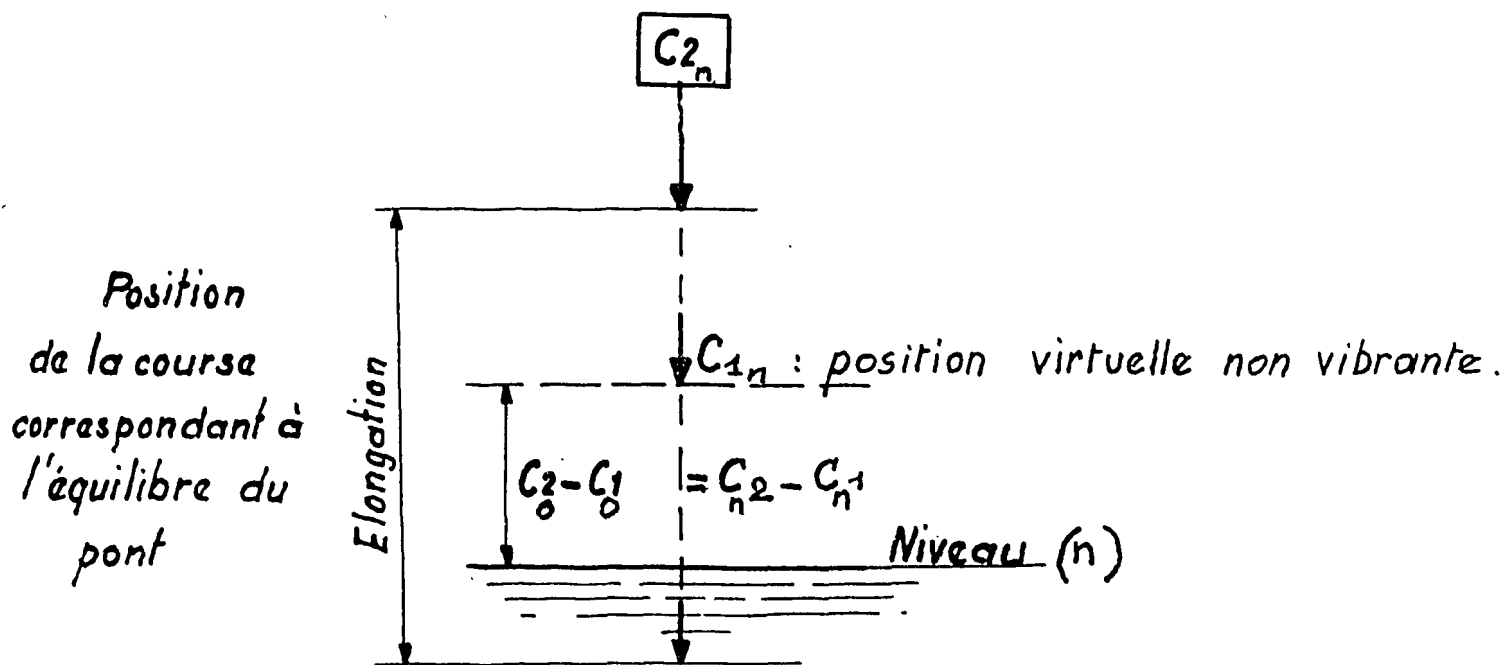
- Fig. 16 -

Erreurs dues aux inclinaisons d'axes.

① Pointe non vibrante



② Pointe vibrante



- Fig. 17 -

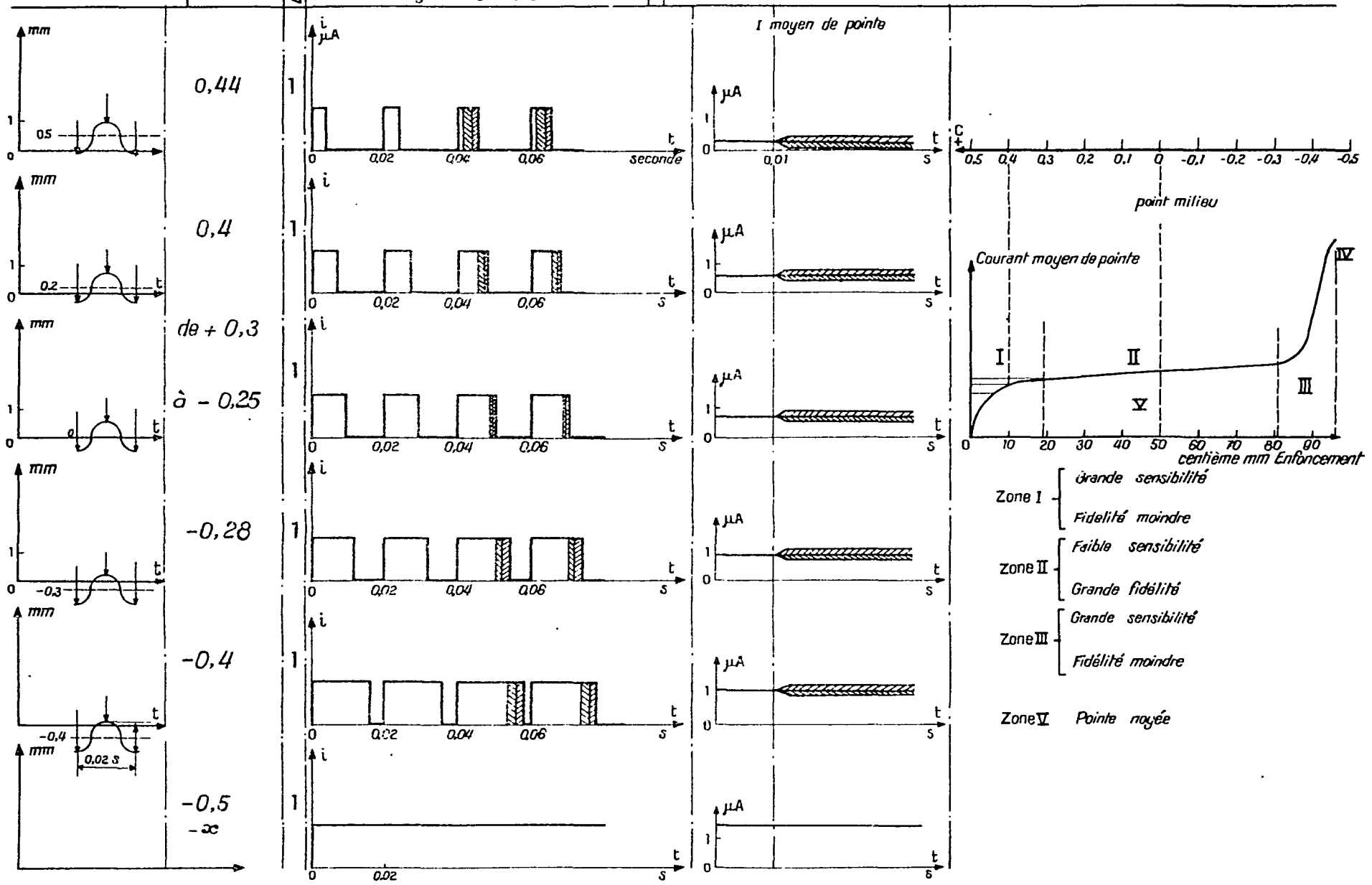
Trajectoire de l'extrémité de la pointe en fonction du temps.

Côté du point milieu C par rapport au niveau en mm

Variation Δq de la quantité d'électricité passant dans la pointe pour une variation Δc de C.
 Courant de grille instantané i .

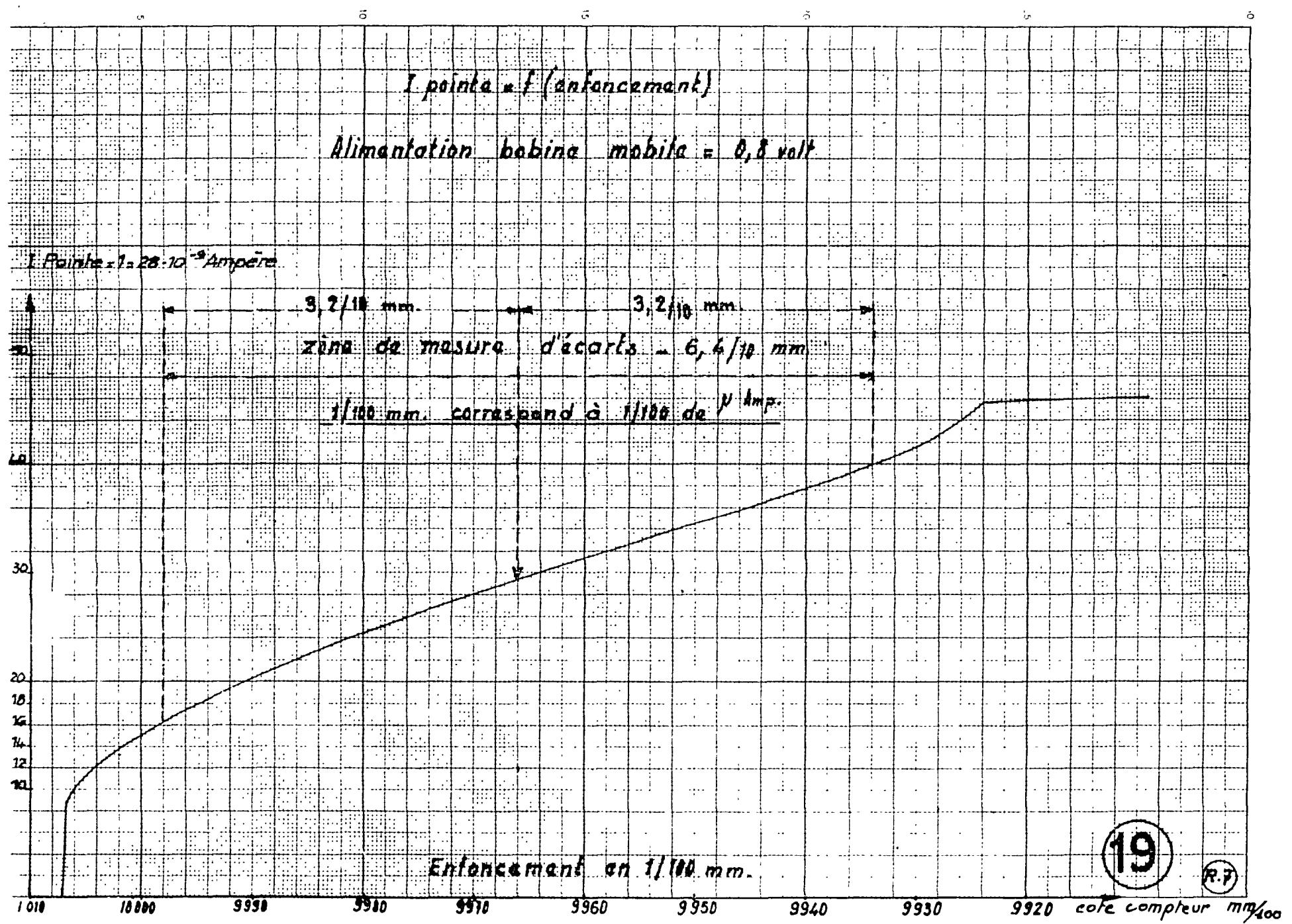
Δq	Δc
	+0.05
	-0.05

SIGNAL DE POINTE VIBRANTE

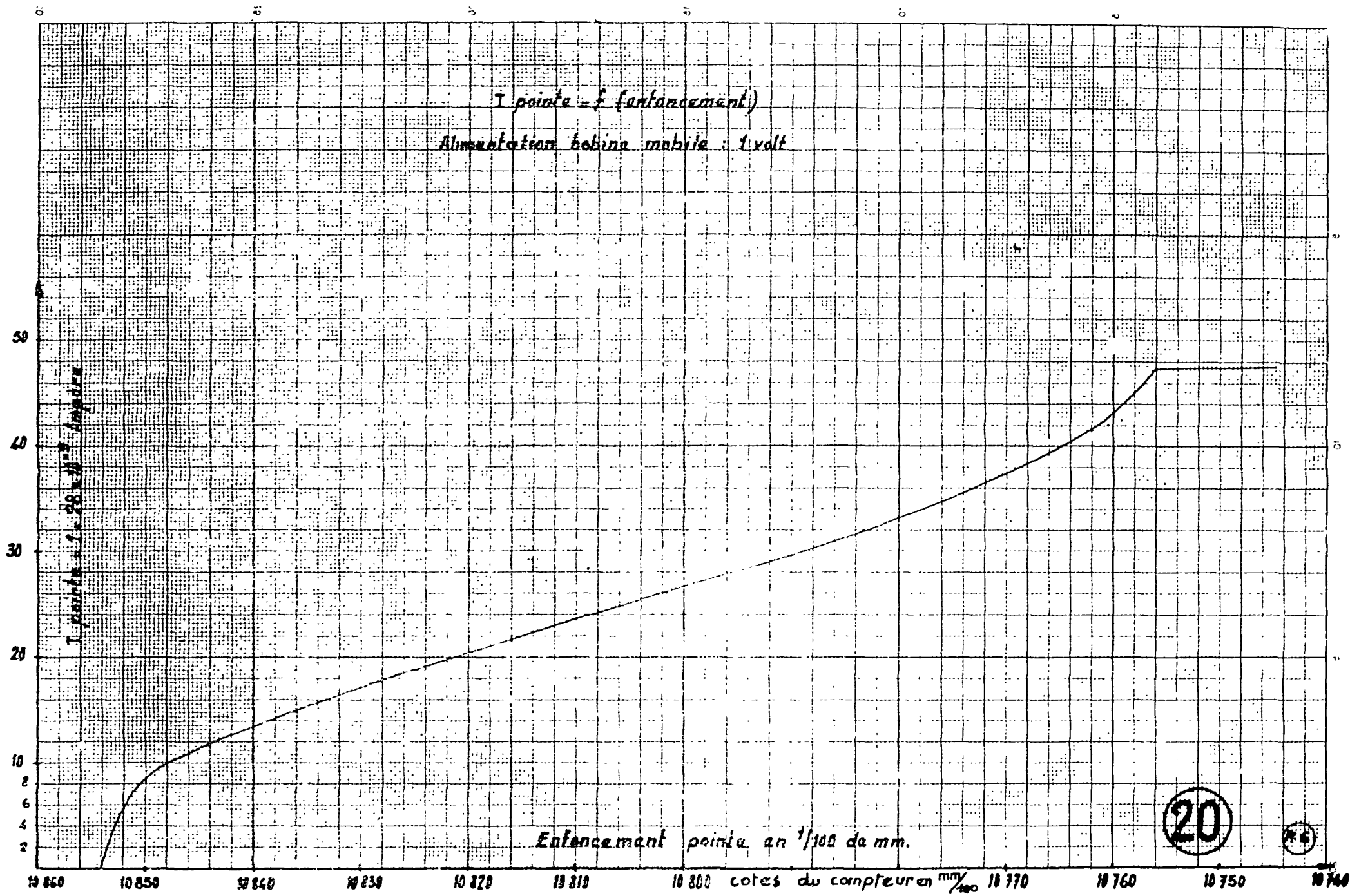


- Fig. 18 -

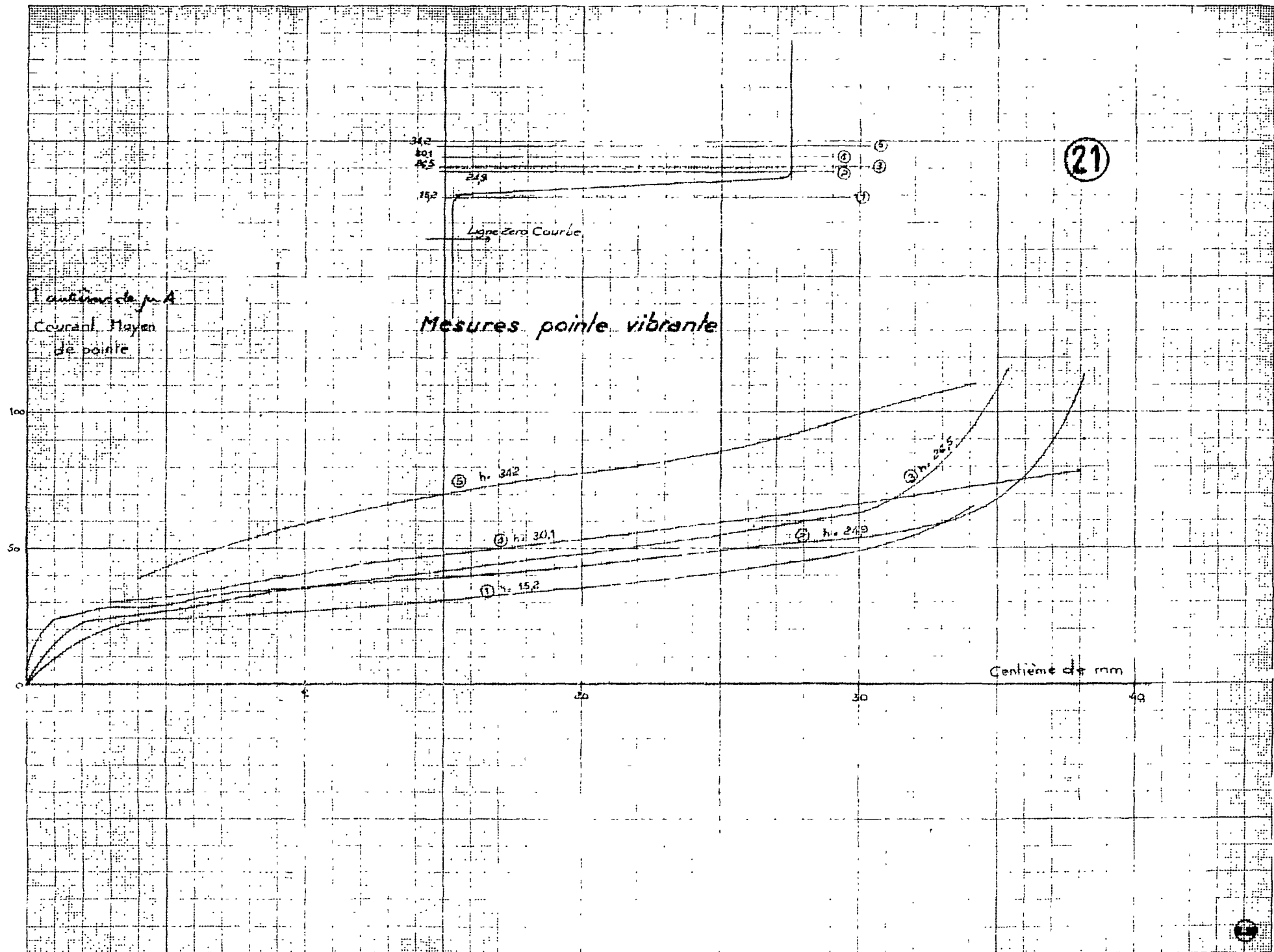
Signal de pointe vibrante.



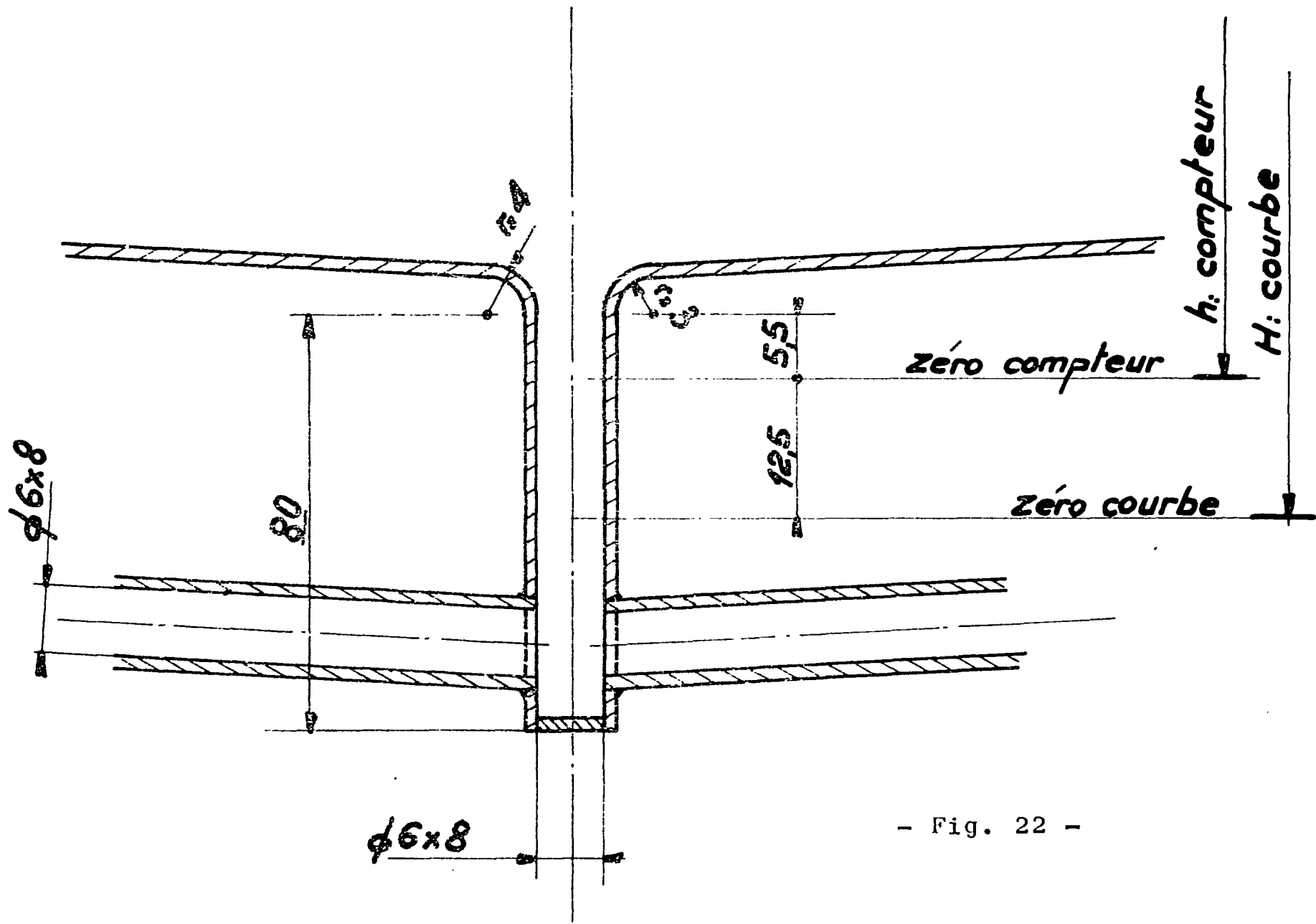
- Fig. 19 -



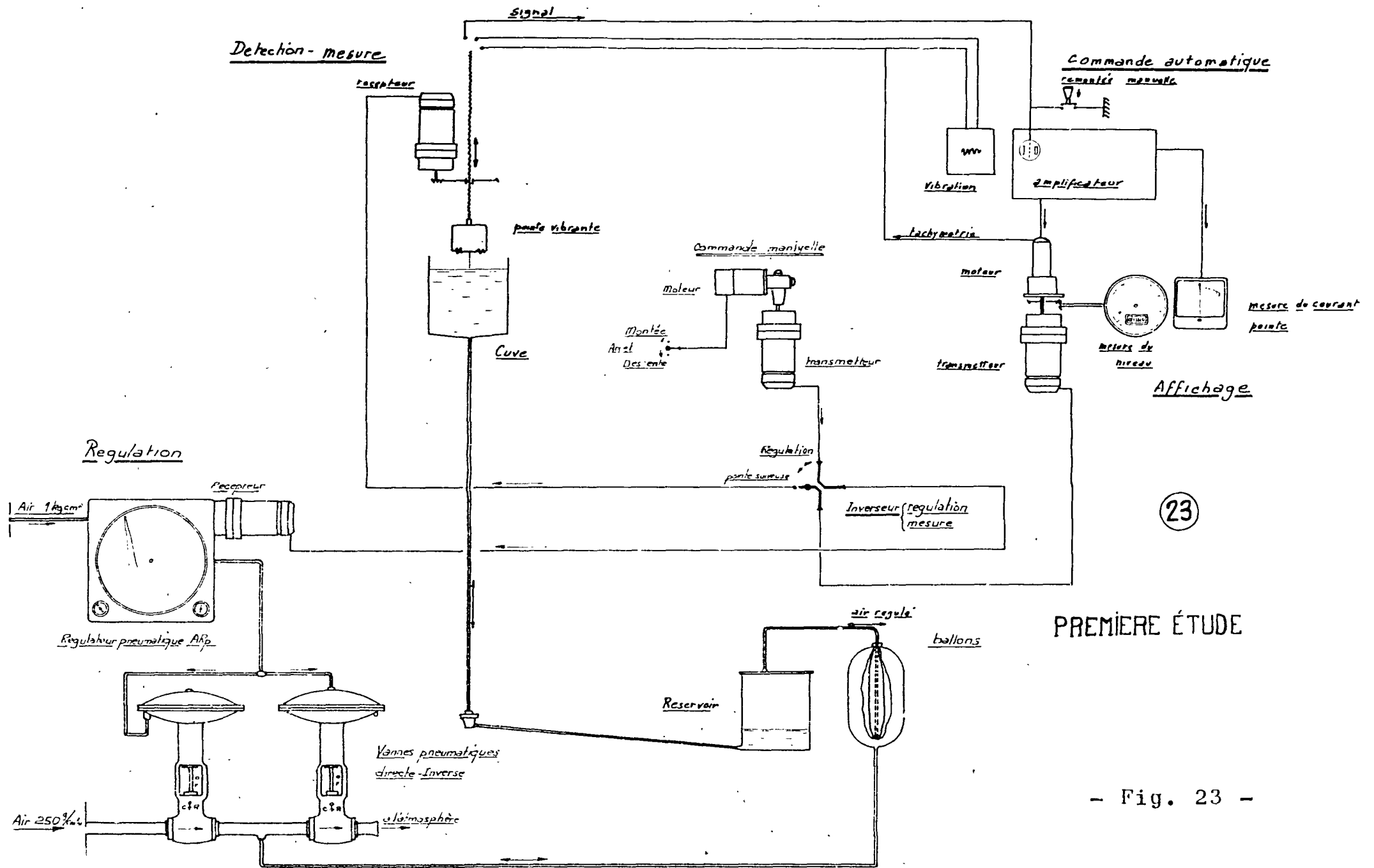
- Fig. 20 -



- Fig. 21 -



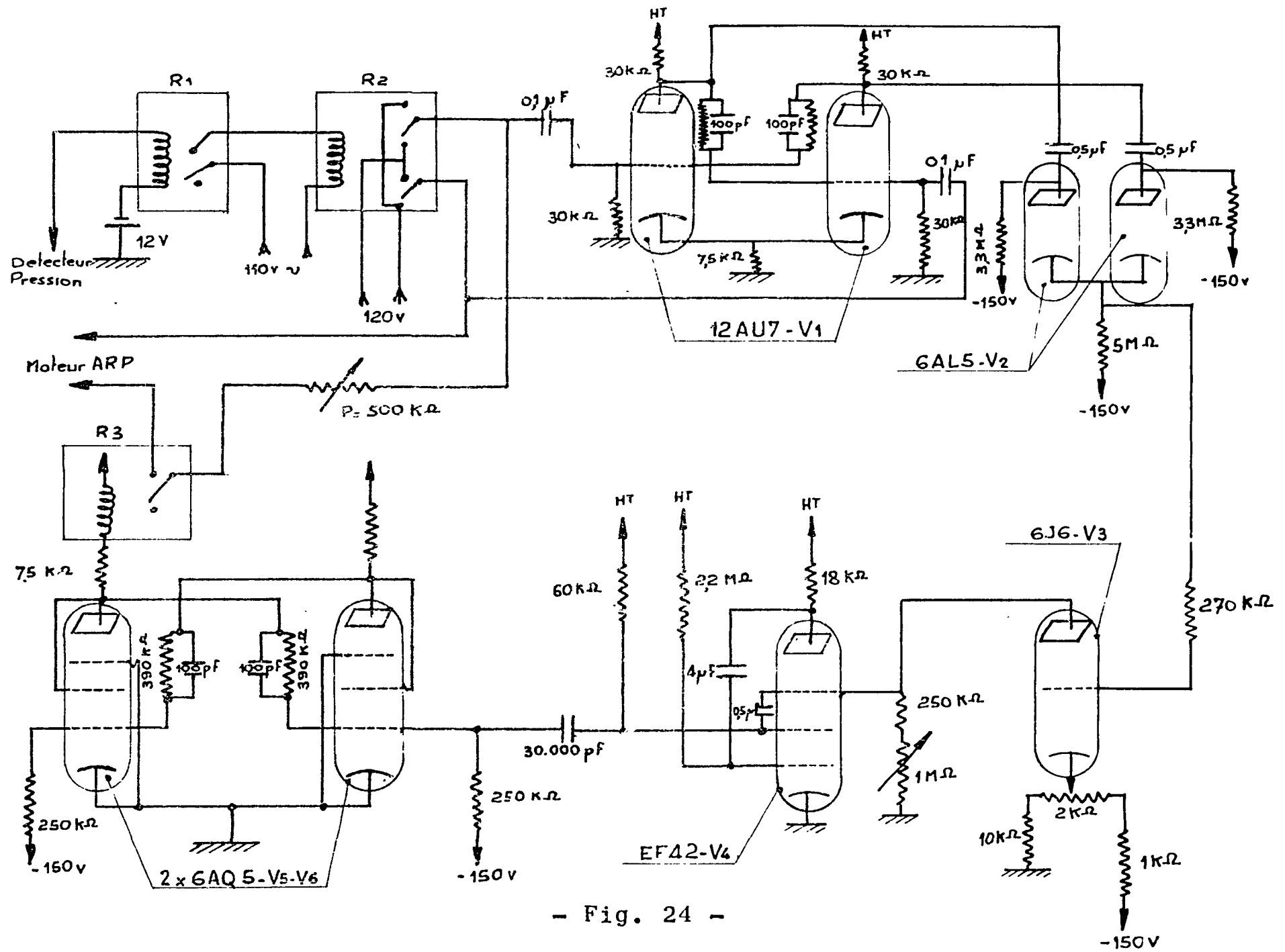
- Fig. 22 -



23

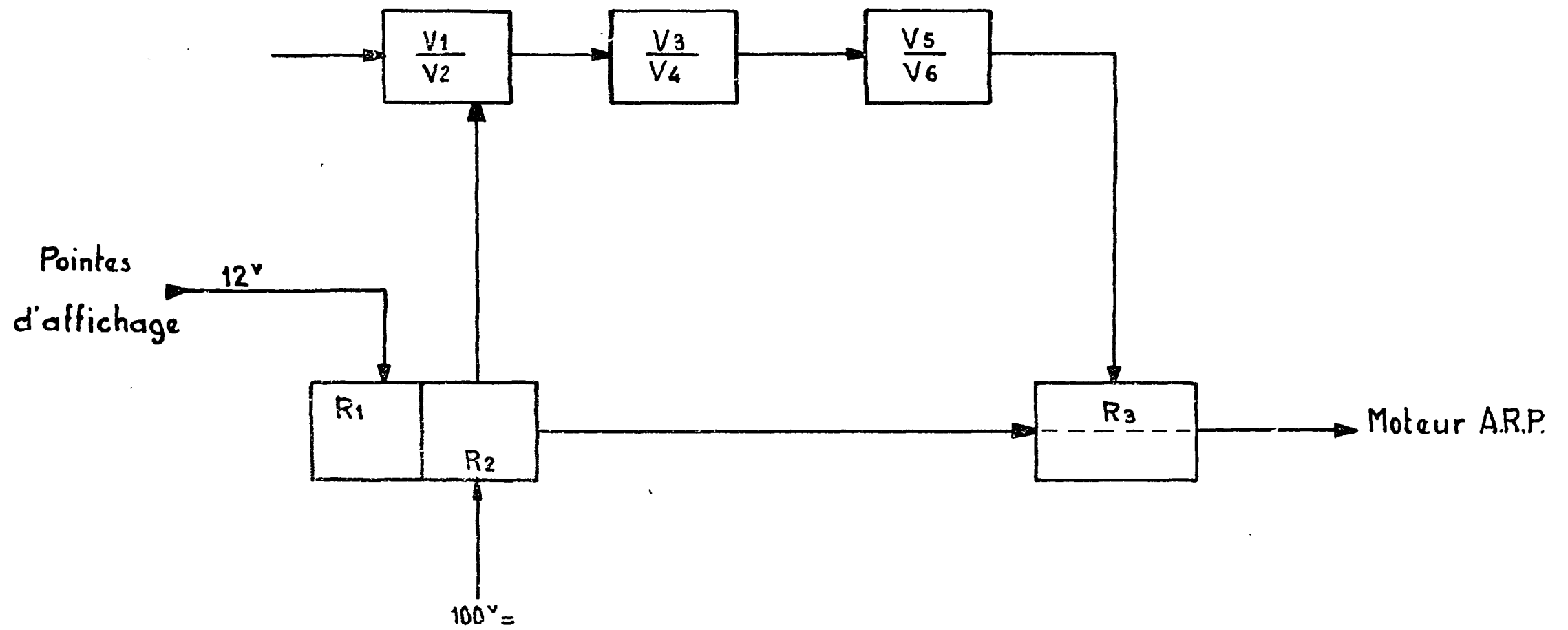
PREMIERE ETUDE

- Fig. 23 -



- Fig. 24 -

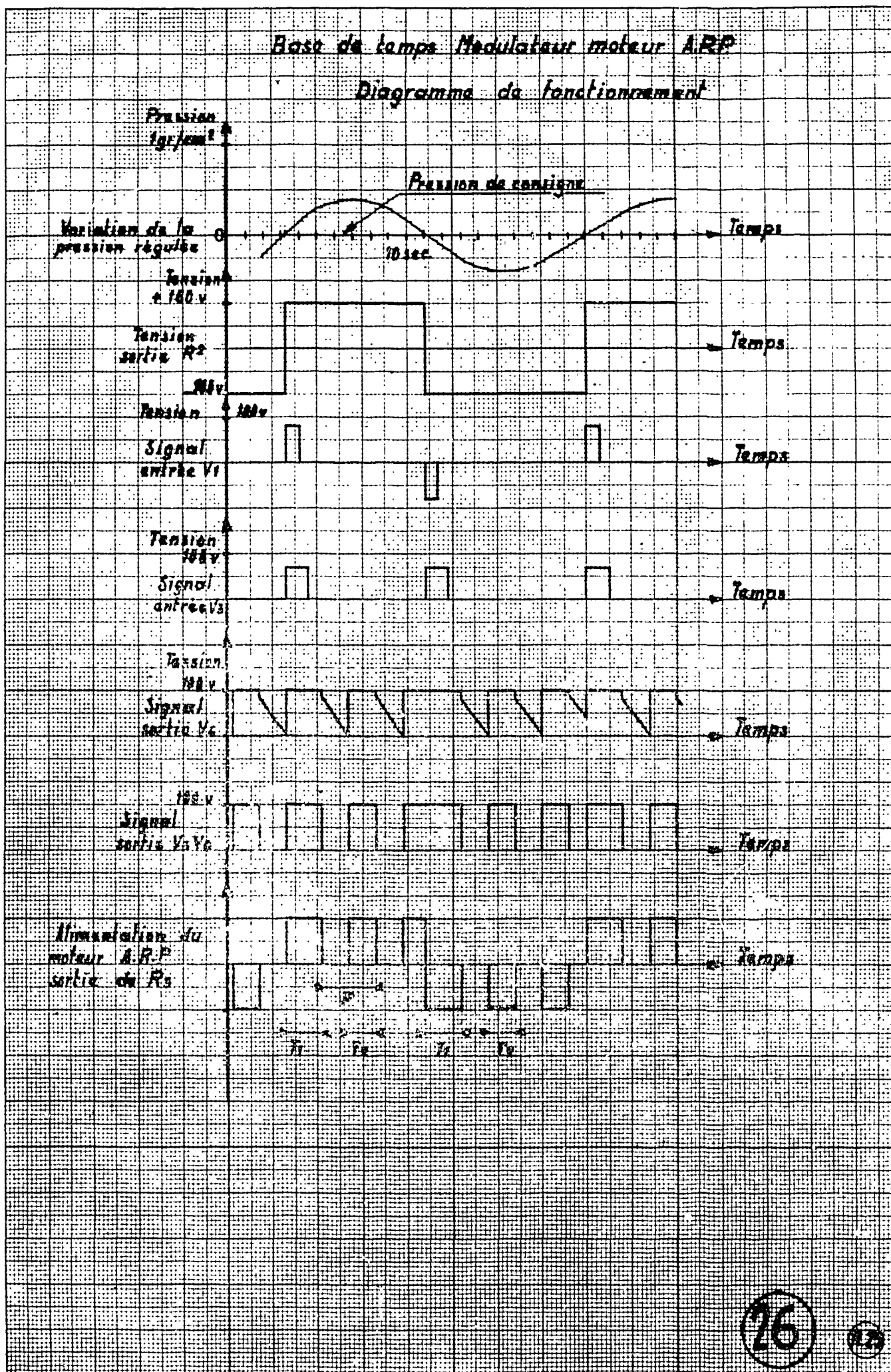
Châssis modulation moteur ARP.



- Fig. 25 -

Schéma synoptique du châssis de modulation.

Moteur A.R.P.

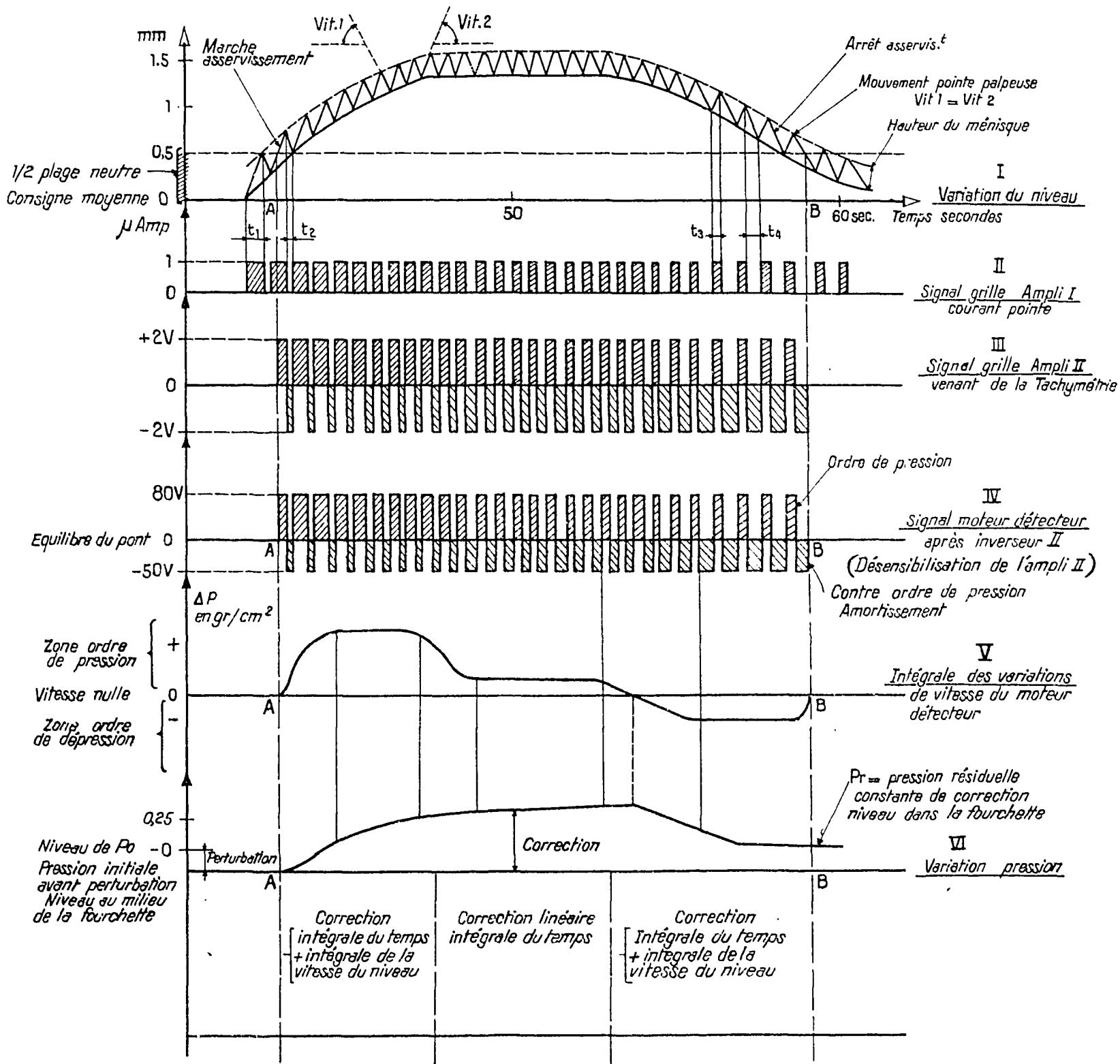


- Fig. 26 -

26

ASSERVISSEMENT DANS LE PUIS PAR POINTE PALPEUSE

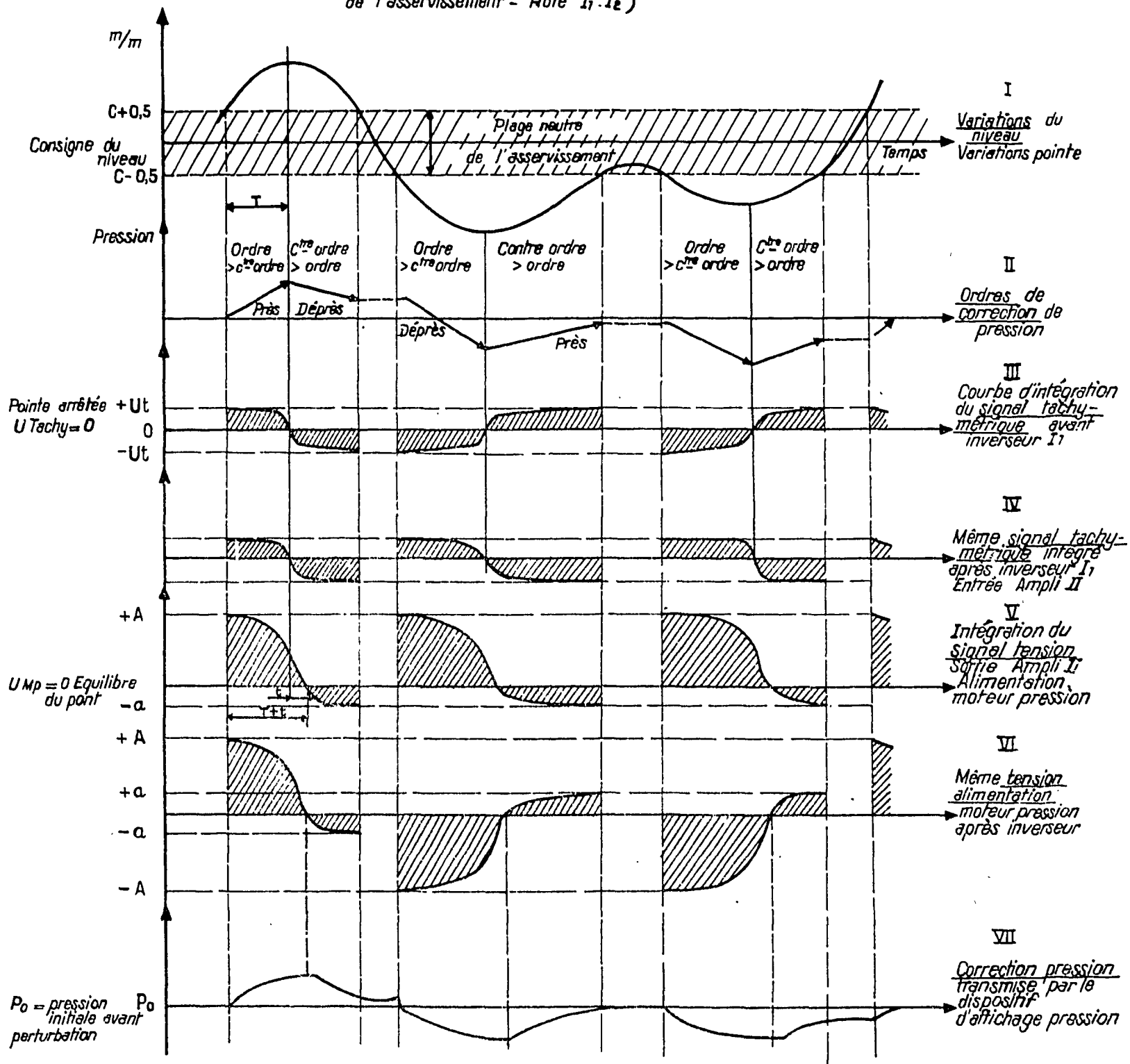
Diagramme du fonctionnement de la pointe palpeuse pour une baisse de pression agissant dans le réservoir.



- Fig. 27 -

ASSERVISSEMENT DANS LE Puits PAR POINTE PALPEUSE

Principe du fonctionnement
(variations arbitraires pour l'étude des différents cas de l'asservissement - Rôle I_1, I_2)



- Fig. 28 -