

## SOMMAIRE

### INTRODUCTION

#### PREMIERE PARTIE : LA POROSIMETRIE AU MERCURE

##### I. LA POROSIMETRIE AU MERCURE : THEORIE ET LIMITES

##### II. MESURES

###### II.1. Comparaisons sommaires des différents tracés obtenus avec les deux méthodes de travail

##### III. LE POROSIMETRE

##### IV. DETAILS DES MANIPULATIONS A EFFECTUER SUR L'APPAREIL

#### DEUXIEME PARTIE : ETUDE DES POSSIBILITES D'AUTOMATISATION

##### I. ETUDES DES PARTIES AUTOMATISABLES DE LA MANIPULATION

##### II. ETUDE DES DIVERSES POSSIBILITES D'AUTOMATISATION

###### II.1. Automatisation intégrale

###### II.2. Automatisation minimale

###### II.3. Définition précise des buts de l'automatisme

#### TROISIEME PARTIE : ETUDE DES PROBLEMES POSES

##### ETUDE DES PROBLEMES POSES PAR LA REALISATION

###### 1. Passage à 1,4 atm. et durée d'ouverture de l'électrovanne

###### 2. Acquisition de données

###### 3. Caractéristique des signaux à acquérir

###### 4. Goupil 3 - 4 et translateur d'adresse

###### 5. Circuit de comptage

###### 6. Ecriture d'un programme réalisant un fréquencemètre avec Goupil

###### 7. Etude générale d'un organigramme pour le porosimètre, partie basse pression

### CONCLUSION

## INTRODUCTION

La porosimétrie est une méthode d'étude ayant pour objet la caractérisation des corps poreux qui a tout d'abord été développée par les pétrographes. Toutefois, cette méthode d'analyse fine des matériaux poreux s'est rapidement généralisée, notamment chez les spécialistes s'intéressant aux matériaux non métalliques (les céramiques par exemple).

Une des méthodes employées est la porosimétrie à mercure, mise au point par les chimistes, reprise par les pétroliers, avant de se généraliser peu à peu à tous ceux qui ont à connaître plus ou moins la structure poreuse d'un constituant (pierre, terre, céramique, catalyseur, pigments, produits pharmaceutiques).

La méthode consiste à faire pénétrer dans l'échantillon à traiter un certain volume de mercure sous une certaine pression. Le résultat que l'on obtient ainsi est une courbe cumulative d'entrée de mercure en fonction de la pression. On obtient une série de points, chaque point étant défini par la pression appliquée et le volume de mercure ayant pénétré. L'enregistrement de ces données doit être fait manuellement par l'opérateur. Ce dernier doit également activer les interrupteurs permettant l'incrémentement de la pression ; de plus, il faut un temps d'équilibre parfois très long avant que la mesure soit effectuée et que l'on puisse passer au pas de pression suivant. Ce temps d'équilibre est lié au fait que la pénétration n'est pas instantanée, ce qui entraîne la nécessité de suivre en permanence l'évolution des mesures.

C'est dans ce but, réduction de la durée de manipulation sur la machine, qu'il a été envisagé une automatisation.

L'étude qui doit être réalisée va se décomposer suivant plusieurs grandes parties :

- une étude d'utilisation de l'appareil de ses composants afin de voir sur quels éléments constitutifs de l'ensemble il y aura à intervenir
- Etude d'ensemble de l'automatisation de l'appareil
- Etude des problèmes posés et solutions

L'automatisation devrait apporter d'une part la libération du personnel qui devait rester en permanence aux commandes de l'appareil de mesure (une partie manipulation restant nécessaire pour la mise en route de l'appareil) et d'autre part un intérêt dans le domaine scientifique.

En effet, cet automatisme va apporter trois avantages :

- la possibilité d'augmenter le nombre de points de mesure puisque l'on ne sera plus limité par le temps,
- le respect des critères d'équilibre et la possibilité d'augmenter de manière considérable la précision sur un point puisque le temps de mise à l'équilibre sera beaucoup plus grand,
- une répétabilité meilleure de la mesure puisque l'automate programmera toujours les mêmes points de mesure.

**PREMIERE PARTIE**

**LA POROSIMETRIE AU MERCURE**

## I. LA POROSIMETRIE AU MERCURE : THEORIE ET LIMITES

La porosimétrie au mercure est une méthode qui peut porter sur toute sorte de sols. L'étude que nous avons réalisé pour prendre connaissance de l'appareil n'a porté que sur des sols desséchés et de configuration simple, mais la porosimétrie ne se limite pas à ce type de sols. Elle permet de se faire une idée sur la structure des pores du sol que l'on étudie. Cette étude doit néanmoins être accompagnée d'autres méthodes d'investigation pour que l'ensemble donne des résultats généralisables.

Le but recherché lors de la mesure est la détermination du diamètre et du volume des pores présents dans un échantillon. Les petites cavités, accessibles par la porosimétrie, ont des diamètres de quelques nanomètres à quelques centaines de micro-mètres.

On remplit ces cavités avec un liquide non mouillant, et surtout non réactif avec le milieu, à savoir du mercure. L'emploi de tel liquide se justifie par le fait que l'on ne veut pas qu'il y ait d'interaction entre l'échantillon et ce qui sert à faire la mesure. Par exemple, nous mesurons des cavités qui étaient préalablement remplies d'argile, qui en se desséchant s'est rétractée libérant ainsi des vides. L'emploi d'un liquide mouillant, tel que de l'eau, ferait alors par réhumectation de l'argile disparaître ces cavités que nous voulons mesurer.

Les mesures qui sont effectuées sont des mesures de pression et de volume. (voir § III.). Pour calculer à partir de ces valeurs, les diamètres des cavités, on utilise un modèle. C'est-à-dire que ces cavités sont assimilées à des tubes capillaires cylindriques dans lesquels le ménisque séparant la zone occupée par le mercure de la zone non encore occupée sera assimilé à une calote sphérique.

On peut alors à partir de la formule de LAPLACE simplifiée :

$$R_1 = R_2 = r/\cos \theta$$

avec  $R$  = rayon du ménisque  
 $r$  = rayon capillaire  
 $\theta$  = angle de raccordement Ménisque/Parois

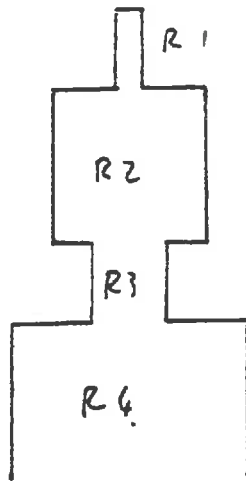
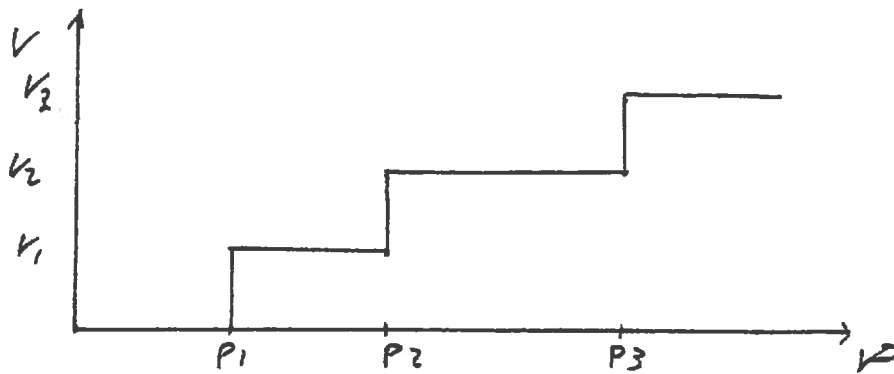


Schéma représentant la configuration tubulaire

Ce type de configuration se retrouve nettement sur les courbes obtenues. En effet, on obtient des courbes ayant la configuration suivante



Trace de  $V = f(\text{Log } P)$

Ce type de courbe s'explique aisément avec le modèle théorique présenté plus haut.

Tant que la pression n'est pas suffisante pour faire pénétrer le mercure dans le premier volume, il ne se passe rien. Mais dès que la pression devient suffisante, il va y avoir pénétration de mercure d'où un palier de volume qui traduit le volume entré. Puis, il ne se passe plus rien jusqu'au palier suivant.

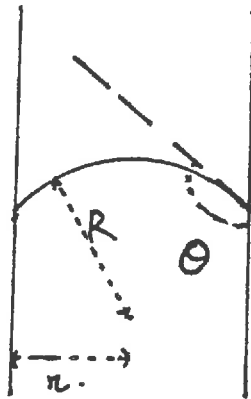
aboutir à la loi de Jurin :

$$P = \frac{-4 \gamma \cos \theta}{D}$$

avec  $\gamma$  = tension superficielle du mercure

$$(\gamma = 484 \text{ dyne cm}^{-1})$$

$$\theta = 130^\circ \text{ à } 140^\circ$$



$$\text{Donc } D = \frac{-4 \gamma \cos \theta}{P}$$

$$D (\mu\text{m}) = \frac{\text{constante}}{P} \# \frac{1,25}{P \text{ MPa}}$$

si  $P$  est exprimée en MPa et si  $\theta = 130^\circ$

La Pression permet donc de calculer le diamètre.

La relation est inversement proportionnelle car  $\cos \theta$  est négatif : il faudra une pression d'autant plus grande pour permettre au mercure de pénétrer dans une cavité de diamètre plus petit.

Le faisceau de tubes capillaires cylindriques et parallèles est un modèle de première approximation qui bien que simpliste a déjà rendu beaucoup de service.

Un modèle plus proche de la réalité consiste à admettre une succession d'étranglements et d'évasements. Les courbes donnent alors la répartition de rayons d'entrée ou de seuil de pore.

Ceci conduit à obtenir un schéma théorique de courbe que l'on peut représenter de la manière suivante.

Cette technique de mesures, présente des limites. Il existera fatalement une limite en diamètre en deçà de laquelle on ne pourra pas descendre, étant alors matériellement difficile, voire impossible de réaliser la pression souhaitable. Avec ce type d'appareillage, on peut raisonnablement descendre jusqu'à 6 nanomètres.

Il n'est toutefois pas impossible d'effectuer des mesures de diamètre encore plus petit, mais ce n'est plus alors du domaine de la porosimétrie à mercure et d'autres techniques doivent prendre le relais.

Il est à noter que ces mesures présentent une hystérésis importante. En effet, lorsque nous traçons les courbes à pression montante, puis à pression descendante, nous observons qu'un important volume de mercure reste piégé dans l'échantillon. Ce phénomène s'explique généralement par le fait que la différence de pression pour faire entrer le mercure est inférieure à celle qu'il faudrait pour le faire ressortir, d'où apparition de mercure piégé dans l'échantillon.



## II. MESURES

En vue de bien prendre conscience des problèmes posés lors de la manipulation de cet appareil, et cela vu du côté utilisateur, afin de mieux cerner les points principaux sur lesquels l'étude d'automatisation devra être réalisée, il a été effectué un certain nombre de manipulations dont les résultats se présentent sous forme de tableaux de valeurs et de graphiques. L'étude a porté sur deux types de matériaux. Un sol à structure poreuse grossière (de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de micromètres) et un sol à structure poreuse fine (quelques micromètres).

Chaque sol a été traité de deux manières différentes. Une première méthode dite "rapide" a consisté à ne se fixer aucun critère d'équilibre et à faire une mesure, puis une acquisition de donnée au bout d'intervalles de temps fixes et très courts. Une deuxième méthode, dite "lente" a consisté à se fixer un critère d'équilibre et à attendre que ce critère soit validé avant de faire l'acquisition de la mesure et de passer à la mesure suivante.

### II.1. Comparaisons sommaires des différents tracés obtenus avec les deux méthodes de travail

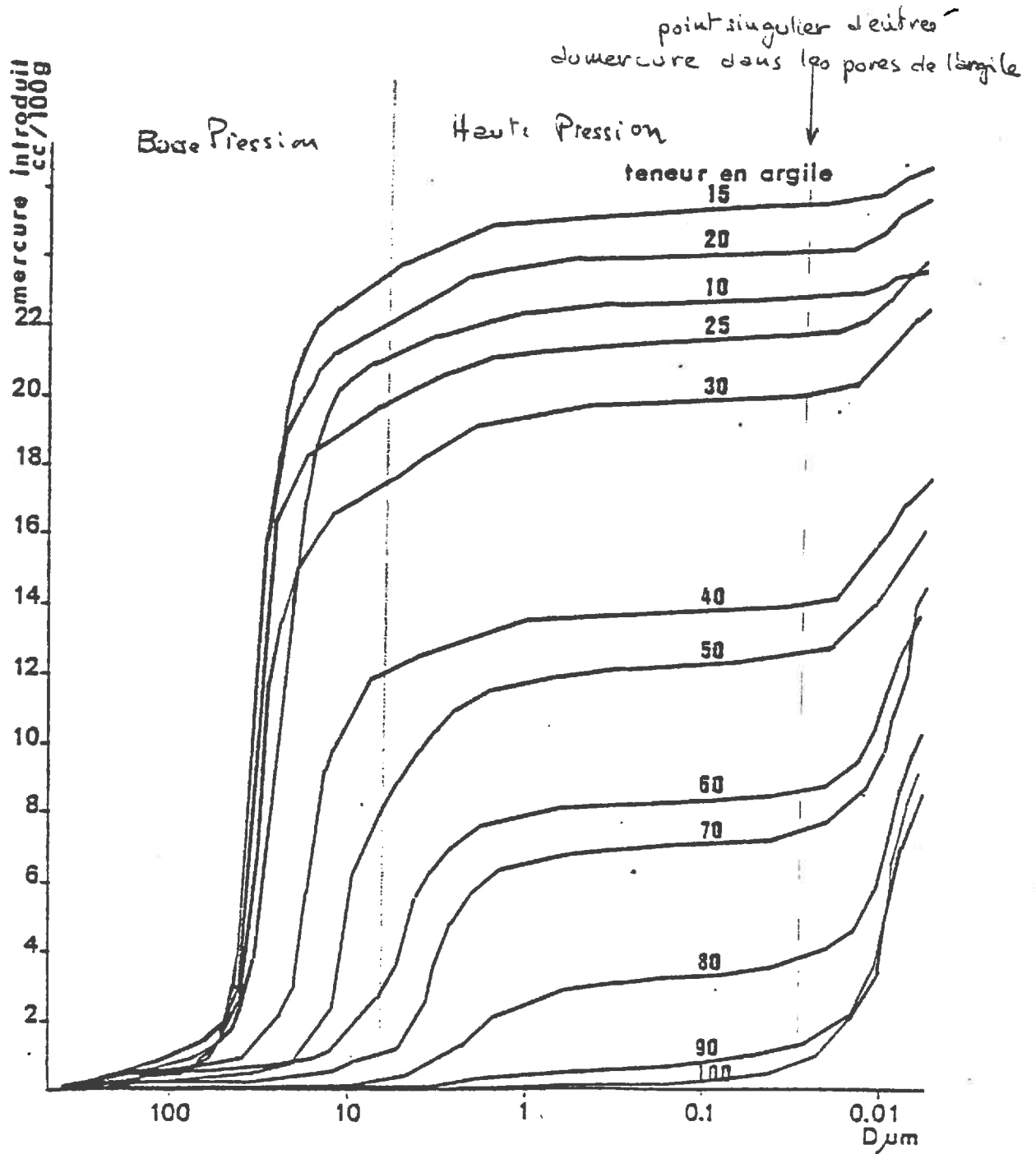
Il n'apparaît pas dans l'allure générale des courbes cumulatives de différence notable. De même, lorsque l'on compare les courbes point par point, nous n'observons aucune variation significative tant que la variation de volume n'évolue pas dans des proportions considérables. Tout après, lorsque nous observons une évolution rapide des volumes entrants, il y a déplacement vertical du point de mesure traduisant une pénétration moindre du mercure avec la méthode rapide. Cela s'explique par le fait que le mercure n'a pas le temps d'envahir toutes les lacunes (la structure poreuse étant en fait constituée d'une succession de pores d'entrés et de lacunes) et que le volume pénétrant est moins important lorsque l'on n'attend pas l'équilibre. Cela se corrige ultérieurement et ne provoque pas de différence sur la fin de la mesure car le mercure continue d'envahir toutes les zones, même quand la mesure a été effectuée.

Il n'est toutefois pas possible de négliger ce fait car pour la suite de l'exploitation de la courbe, il est nécessaire de faire des calculs de pente en vue de déterminer le mode de distribution des courbes. Un déplacement vertical d'un point traduit une modification notable de la valeur de la pente et peut modifier la valeur du mode.

Cette constatation aura une importance dans la suite de cette étude. Notamment lorsque nous serons amenés à choisir pour l'automate un critère d'acceptation ou de rejet de la valeur de capacité mesurée.

Les quatre tracés suivants sont les courbes obtenues après la série de mesures effectuée. Les tableaux de valeurs se trouvent à la fin de cette étude, en annexe.

— influence de la granulométrie —



1- Courbes cumulatives d'entrée de mercure dans des mélanges sable (100-200 µm)-argile.

en paramètre : teneur pondérale en argile.

Cumulative mercury intrusion curves for sand (100-200 µm) and clay mixtures.

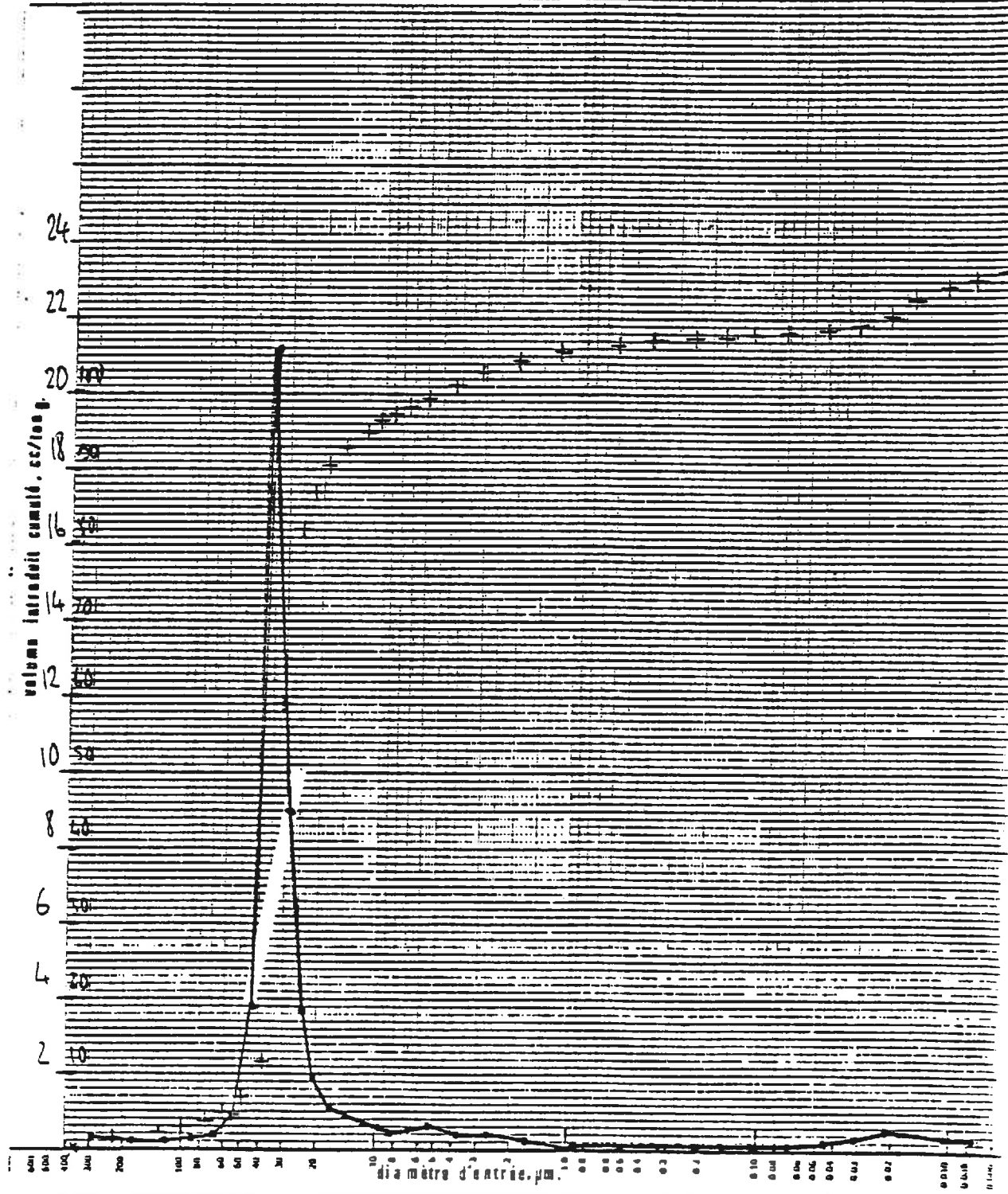
parameter : clay content.

échantillon lim pFZ procédure longue

poide 6.172

date 09 05 84 par C.D.

sp. \_\_\_\_\_



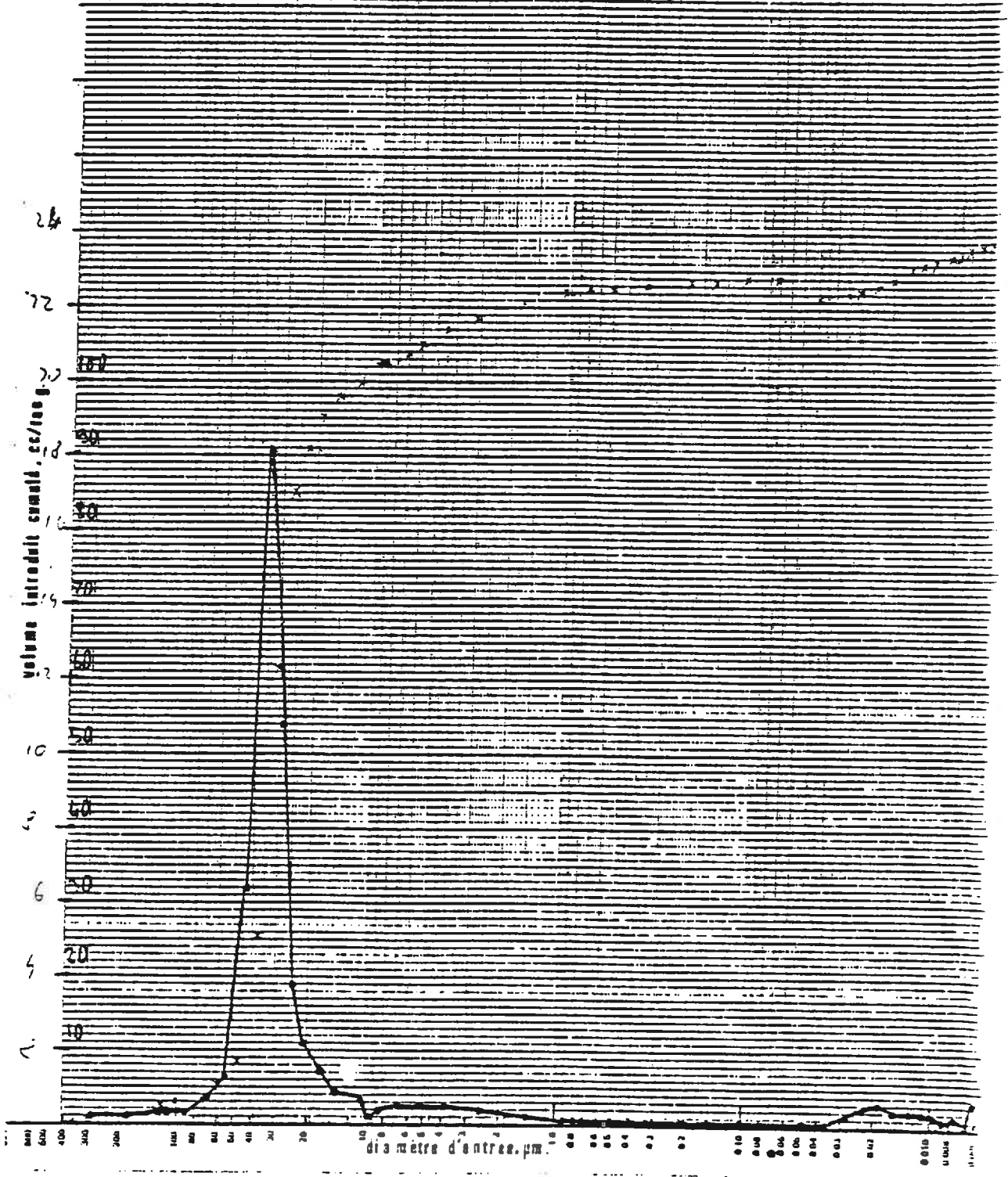
COURBE CUMULATIVE D'ENTREE DE MERCURE D'UN SOL A STRUCTURE GROSSIERE (40 µm), PROCEDURE LENTE

echantillon S 85%

poids 8.1565

date 07 mai 84 par \_\_\_\_\_

sp. rapide



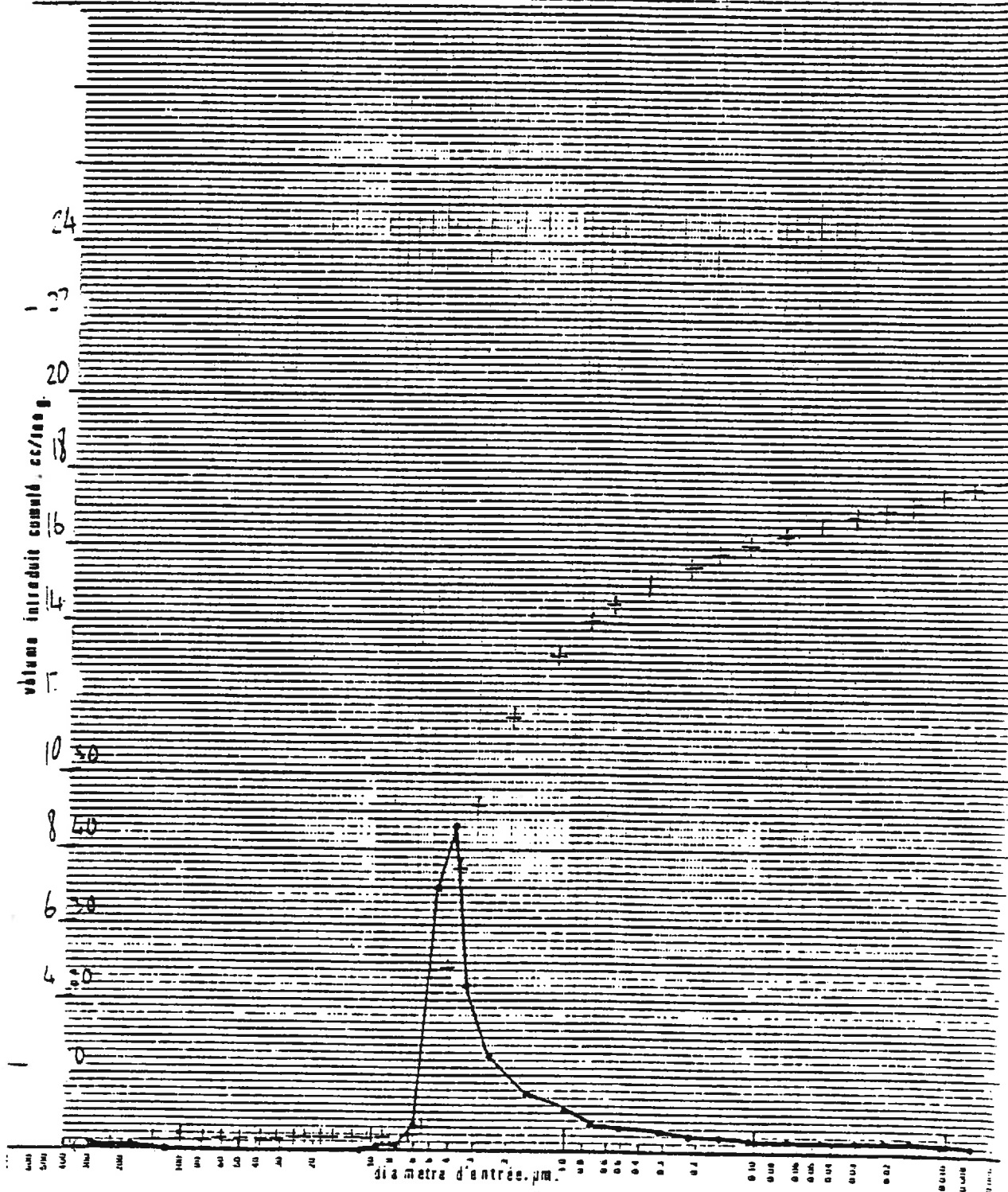
COURBE CUMULATIVE D'ENTREE DE MERCURE D'UN SOL A STRUCTURE GROSSIERE (40 μm), PROCEDURE RAPIDE

echantillon Valley Rd. 129, K5off

goids 6.448

date 11 05 84 par C.J

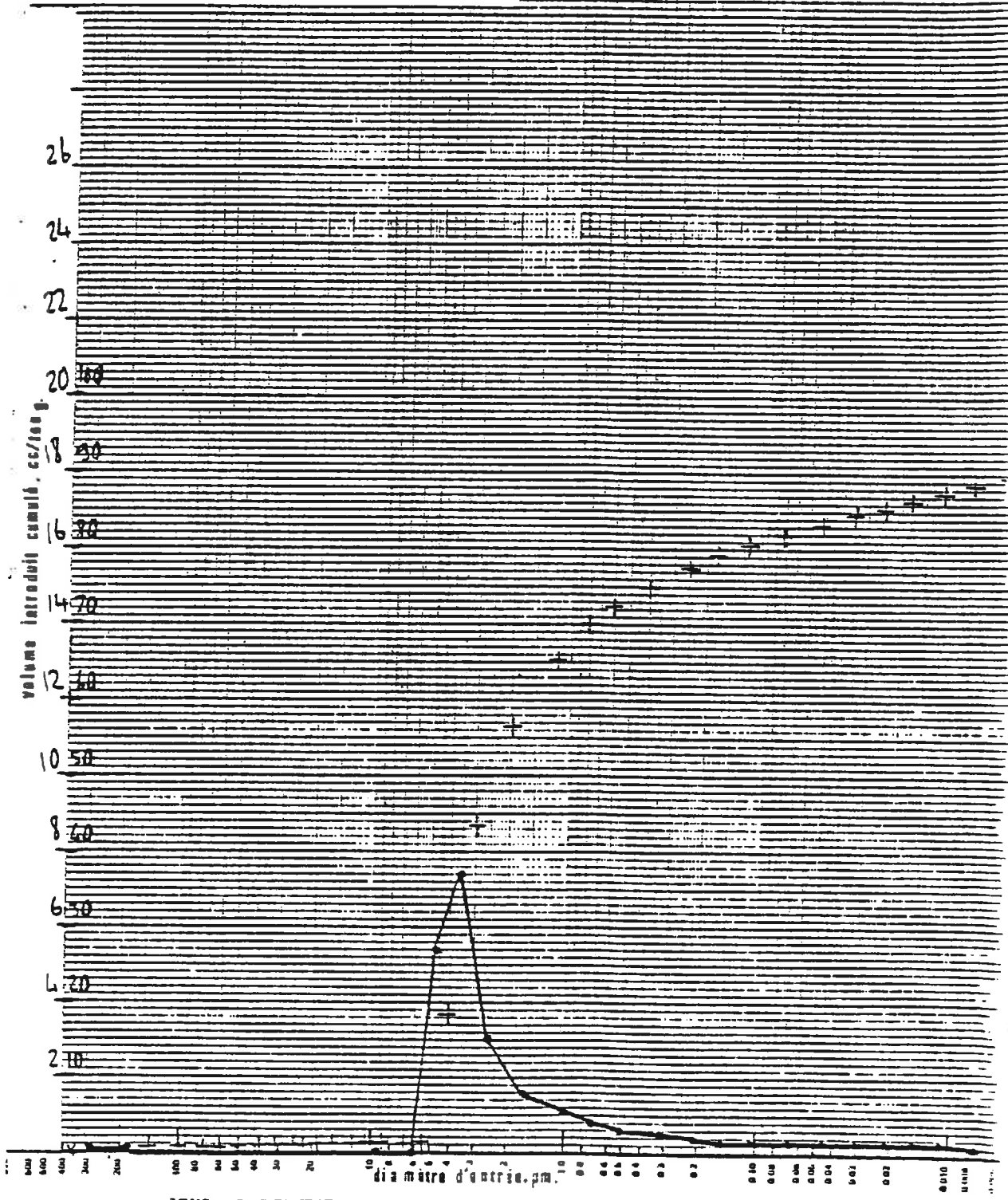
sp. procédure rapide (1H30)



COURBE CUMULATIVE D'ENTREE DE MERCURE D'UN SOL A STRUCTURE FINE  
(4 µm), PROCEDURE RAPIDE



échantillon vallee Rh. 129, Kboff  
 poids procédure lente (SH)  
           6.438  
 date 10 05 84 par C.J.  
 sp. \_\_\_\_\_



COURBE CUMULATIVE D'ENTREE DE MERCURE D'UN SOL A STRUCTURE FINE  
 (4 µm), PROCEDURE LENTE

### III. LE POROSIMETRE

Nous avons vu en théorie qu'il fallait mesurer un volume de mercure rentré dans un échantillon en fonction d'une certaine pression appliquée sur ce mercure.

Le porosimètre permet de réaliser des pressions s'étageant de  $3.10^{-3}$  MPa jusqu'à 206 MPa (c'est-à-dire de  $3.10^{-2}$  atm. jusqu'à 2060 atm.). Cette gamme de pression n'est pas réalisée en une seule fois, l'écart étant beaucoup trop important. On dispose donc de deux parties, un poste basse pression et un poste haute pression. La partie basse pression permet de réaliser des pressions de  $3.10^{-3}$  MPa, après avoir fait un vide partiel, jusqu'à la pression atmosphérique et même un peu au-delà (1,4 atm.) en mettant en relation la cellule avec une bouteille d'azote sous pression.

Puis un deuxième poste dit poste "haute pression" permet de passer de la pression atmosphérique jusqu'à 206 MPa en mettant le mercure que l'on veut faire pénétrer, en relation avec une huile compressée par un piston.

#### Méthode de mesure de la pression.

Les capteurs hautes et basses pressions délivrent une tension, convertie en une fréquence significative de la pression mesurée par un convertisseur (circuit intégré suivant une loi linéaire).

#### Les capteurs de pression

Il y a dans l'appareil deux types de capteurs de pression. Il n'est en effet pas pensable, en raison de la largeur de l'échelle à mesurer, de faire faire l'ensemble des mesures au même capteur, aucun ne disposant d'une telle dynamique.

Les mesures basses pressions sont effectuées à l'aide d'un thermo-couple. La chaleur mesurée par ce thermo-couple est fonction du niveau de vide l'entourant. Quand la pression monte, l'amplitude du signal augmente.

Les mesures hautes pression sont basées sur la mesure de déformation d'une jauge de contrainte. Le traitement du signal issu de cette jauge est là encore identique au cas précédent.

Lorsque nous réalisons une mesure, l'échantillon sur lequel on travaille est placé dans une cellule de mesure (voir schéma).

Cette cellule se compose de deux parties. Une partie dans laquelle l'échantillon est placé, de volume connu, qui se prolonge par un capillaire de diamètre connu, métallisé sur sa face extérieure et par lequel on fait le vide, puis on introduit le mercure.

L'autre extrémité de la cellule, celle par laquelle on introduit l'échantillon, est fermée par un capuchon métallique relié à une électrode.

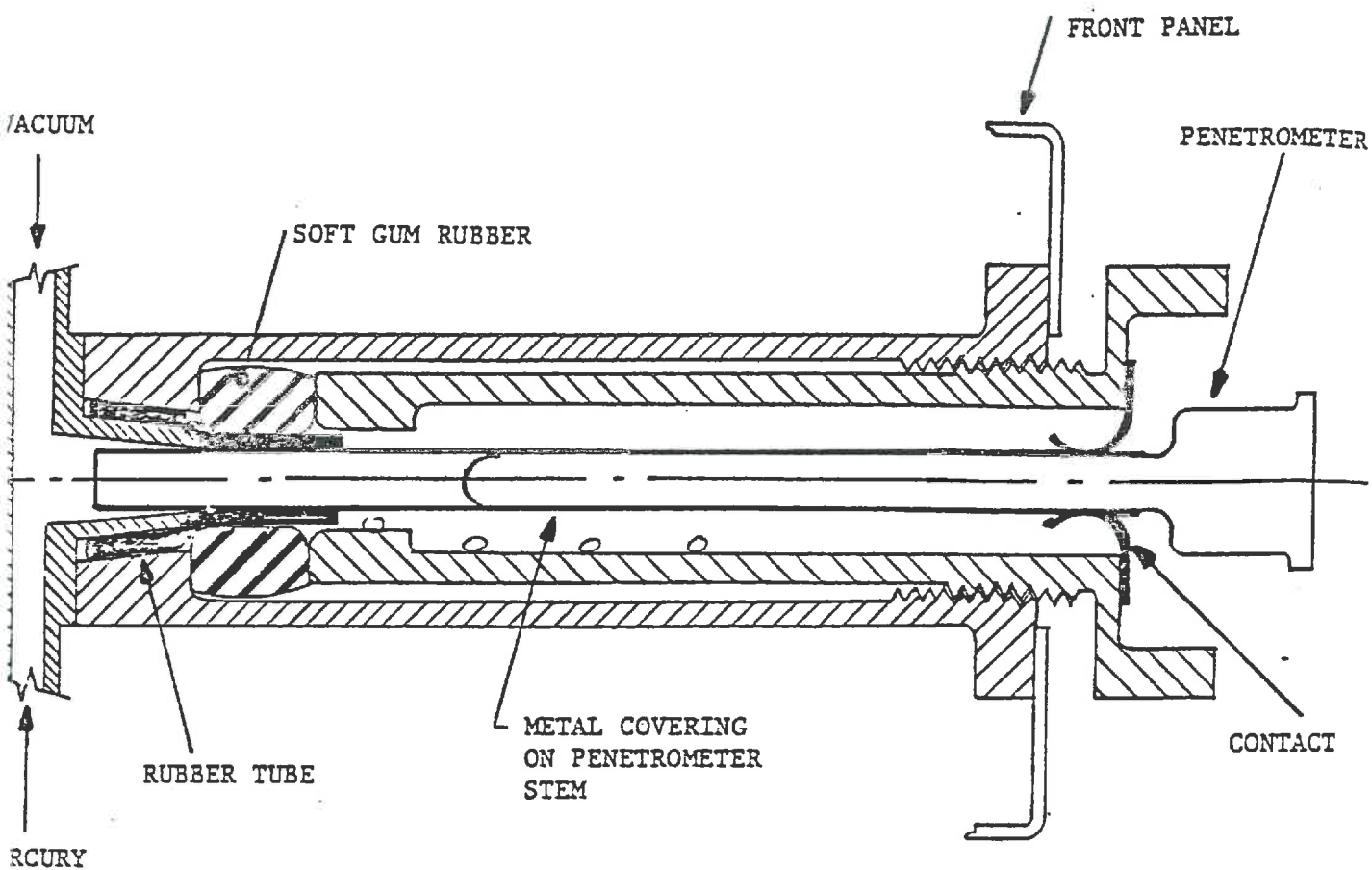


FIGURE 3.6. THE PREPARATION CHAMBER

CELLULE MONTEE DANS LE POROSIMETRE



### Remplissage de la cellule par du mercure

On a réalisé un vide partiel (de l'ordre de 50  $\mu\text{m}$  de mercure) dans la cellule. Sur le mercure règne la pression atmosphérique. Si on met en relation le mercure et la zone où règne le vide, le mercure va s'élever jusqu'à la cellule. Puis pour faire redescendre le trop plein de mercure, on pompe dans le réservoir à mercure et par simple gravité le mercure va redescendre.

Tous les dispositifs de remplissage, de mise sous vide de la partie basse pression sont commandés par des électro-vannes.

On mesure alors la valeur de la capacité entre la partie métallisée et l'électrode reliée au capuchon. Lorsque la pression augmente, le volume de mercure entrant fait que la hauteur de mercure dans le tube capillaire diminue, entraînant proportionnellement une diminution de la capacité. On multiplie la valeur lue par une constante qui est fonction des caractéristiques de la cellule utilisée (volume, diamètre, etc...) pour calculer le volume de mercure qui a pénétré dans l'échantillon, on obtient ainsi des couples de valeur (pression, volume entré) qui permettent de passer aux couples (diamètre, volume entré) et d'obtenir les tracés déjà vu. Les données en question sont lues sur des afficheurs présents sur le panneau frontal du porosimètre.

### Méthode de mesure de la capacité.

Un circuit imprimé, placé à côté de la capacité à mesurer délivre un signal (tension) qui évolue proportionnellement à la valeur de la capacité. Cette tension est appliquée sur un convertisseur tension-fréquence qui délivre un signal dont la fréquence est liée à la tension par une relation de la forme  $F = \frac{V}{10 RC}$  où R et C sont des constantes de conversion. C'est une capacité permettant de régler la fréquence maximale et R une résistance variable permettant d'accorder la conversion. Cette fréquence est appliquée à un compteur qui code alors successivement les segments des 6 afficheurs.

### Schéma de principe de fonctionnement du poste haute pression

Le schéma de la figure 1 montre les différents éléments mécaniques et électriques de la partie haute pression.

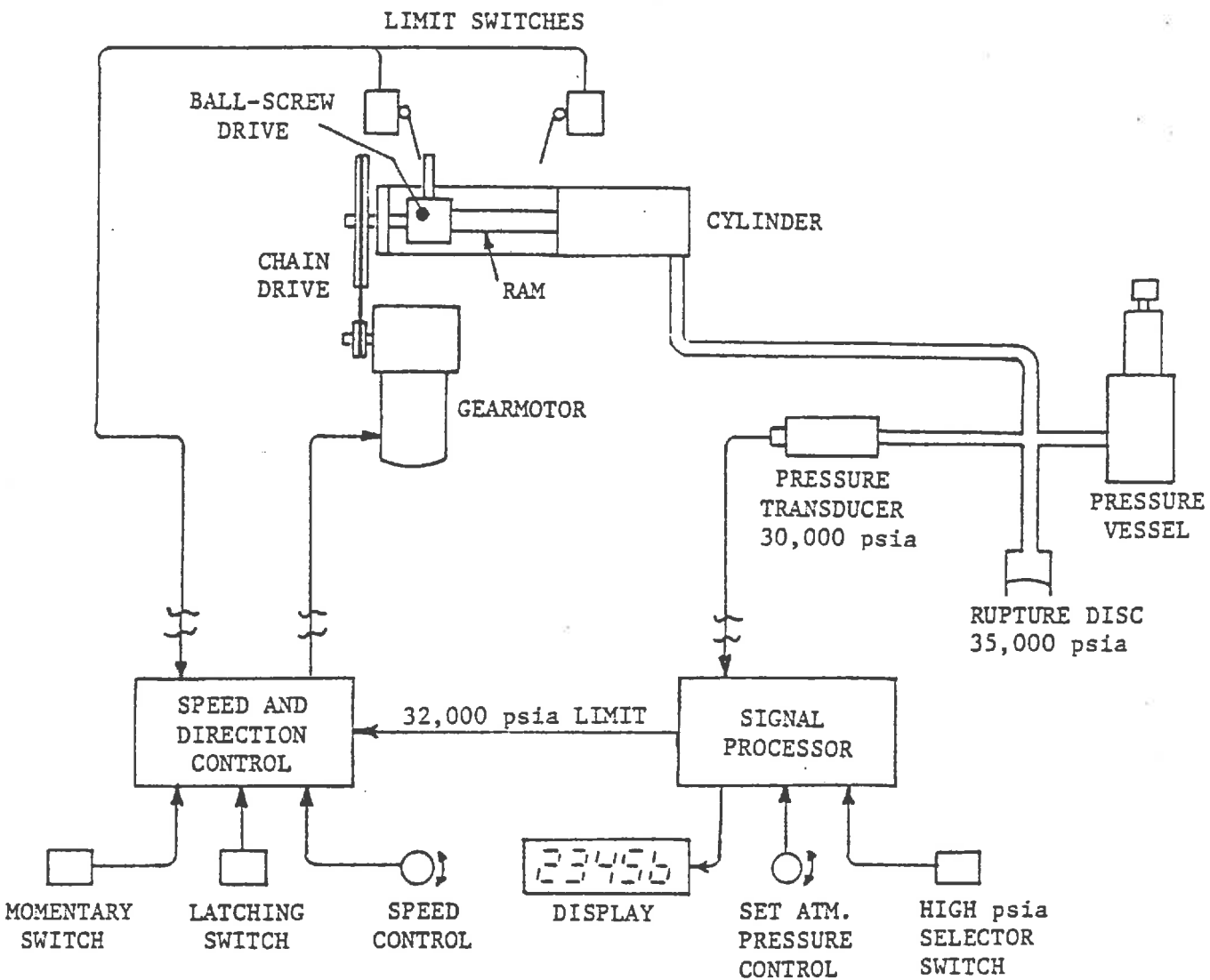


FIGURE 3.3. BLOCK DIAGRAM OF HIGH PRESSURE GENERATION AND CONTROL SYSTEM

#### IV DETAILS DES MANIPULATIONS A EFFECTUER SUR L'APPAREIL

Cette partie a été réalisée en vue de mieux cerner les points sur lesquels l'automatisation va porter.

##### Mise en œuvre de l'appareil

La première partie de la manipulation consiste à choisir une cellule, à y installer l'échantillon et à le préparer de manière à ce que l'on puisse l'installer dans le porosimètre et faire le vide sans qu'il y ait de fuite (réalisation de joints étanches).

Il existe sur l'appareil deux postes basses pressions, il faut donc en sélectionner un, au choix.

La partie suivante consiste à faire le vide dans la cellule en utilisant une pompe primaire à deux étages. On utilise plusieurs vitesses de pompage. Le démarrage se fait en ouvrant une électro-vanne avec un passage étroit afin que l'aspiration ne soit pas trop importante et ne risque pas d'aspirer de fines particules ou de petits grains.

Puis on augmente la vitesse de pompage en ouvrant d'autres vannes quand la pression est suffisamment descendue. On descend ainsi la pression jusqu'à 50  $\mu\text{m}$  de mercure (ou 50 m Torr).

On remplit alors de mercure la cellule. Il suffit pour cela d'ouvrir une vanne qui met le réservoir de mercure qui est soumis à la pression atmosphérique en relation avec la cellule dans laquelle, en raison de la dépression, le mercure va monter. Une fois la cellule pleine, on réalise un vide partiel dans le réservoir à mercure afin que celui qui reste présent en excès autour de la cellule et dans les canalisations puisse redescendre.

On ajuste manuellement le premier point de mesure, c'est-à-dire le point à partir duquel on va commencer à incrémenter en pression.

On attend que le critère de stabilité que l'on s'est fixé soit validé. Par exemple, on peut dire que la mesure que l'on fait sera acceptable si la dernière décimale affichée sur l'écran, de la valeur de la capacité, n'évolue pas pendant une durée donnée.

C'est à ce niveau là qu'apparaît le principal problème que l'on veut résoudre par une automatisation du système. En effet, la mise à l'équilibre peut prendre plusieurs dizaines de minutes et il est assez fastidieux pour le manipulateur d'attendre près d'une heure une valeur stable avant d'accepter la mesure.

Une fois que la pression atmosphérique est atteinte, avec une bouteille d'azote, on établit une surpression de 1,4 bar et on applique cette pression au mercure. A ce niveau là, la partie basse pression est terminée. Il faut transférer l'échantillon sur le poste haute pression.

La cellule passe alors d'une position horizontale à une position verticale. Le poids de la colonne de mercure va intervenir. Il faut calculer une valeur de pression qu'il va falloir afficher et qui sera égale à 1,4 bar moins le poids de la colonne de mercure.

Cette procédure permet d'éviter des problèmes de raccordement entre courbe haute et basse pression.

On passe alors aux mesures sur le nouveau poste. Le problème est identique et la seule différence réside dans le fait que l'on n'actionne plus une électro-vanne, mais un moteur pour établir les pressions souhaitées.

A ce niveau là, la régulation est un peu plus délicate. Pour maintenir la pression dans le créneau souhaité, il faut fréquemment agir sur la commande moteur pour réduire la pression si on est allé trop loin (notamment à cause de l'inertie des capteurs), ou si la pression diminue (difficultés de tenir constante des pressions aussi élevées).

Une fois atteint la pression maximale, on peut soit revenir à la pression atmosphérique directement, soit effectuer des mesures à pressions décroissantes, qui laisseront apparaître nettement l'hystérésis.

Quand la manipulation est terminée, il ne reste plus qu'à sortir la cellule et à défaire le montage réalisé en début de manipulation.

**DEUXIEME PARTIE**

**ETUDE DES POSSIBILITES  
D'AUTOMATISATION**

## I. ETUDES DES PARTIES AUTOMATISABLES DE LA MANIPULATION

Nous avons vu dans la première partie de cet exposé que le but de l'automatisation était essentiellement la libération du manipulateur, en ce qui concerne la partie attente de stabilisation, ainsi que l'amélioration de la qualité des courbes. Il est nécessaire avant de continuer cette étude de définir rigoureusement les limites que nous nous fixons. Il est également impératif de définir les parties de la manipulation qui doivent être automatisées. Pour cela, nous allons récapituler les étapes de la manipulation :

### - Préparation de l'échantillon.

C'est une partie purement manuelle. En effet, la taille de l'échantillon, le choix de la cellule et sa préparation ne peuvent être automatisés.

### - Installation sur le porosimètre.

Les réalisations des joints d'étanchéité et la mise en place restent manuelles.

### - Réalisation du vide.

Il peut être intéressant d'étudier les possibilités d'automatisation de cette partie. L'automate devrait alors gérer la pompe à vide ainsi que les électro-vannes assurant les différentes vitesses de pompage.

### - Remplissage de la cellule par le mercure.

Là encore, l'automate pourrait intervenir, bien que l'opération soit assez complexe.

### - Mesure sur le poste basse pression.

Cette partie doit être automatisée, c'est le but principal de cette étude.

### - Passage à la surpression de 1,4 atm.

Là encore, l'automatisme pourrait intervenir et gérer ce point de la manip.

### - Transfert sur le poste haute pression.

L'automatisme est inconcevable, cela restera manuel.

### - Fin de la manipulation, retour à la pression atmosphérique.

Ceci est laissé au libre choix de l'utilisateur : on pourra rester soit en attente, soit revenir à la pression atmosphérique, soit envisager une mesure à pression décroissante.

## II. ETUDE DES DIVERSES POSSIBILITES D'AUTOMATISATION

Nous pouvons, à partir de cette énumération des tâches à accomplir, élaborer deux projets d'automatisation extrêmes. D'une part, un projet d'automatisation maximale du système, et d'autre part un projet d'automatisation minimale, ne portant que sur les points essentiels.

### II.1. Automatisation intégrale

Dans cette optique là, il ne resterait plus alors à l'opérateur qu'à réaliser la partie manipulation inévitable. Toute la partie vide-remplissage du mercure serait automatisée.

Afin de bien cerner le problème et de voir le niveau de difficulté de l'ensemble, nous allons inventorier les organes que l'automate aurait alors à gérer :

- La pompe à vide
- Les vannes modifiant la vitesse de pompage
- Le remplissage de la cellule par le mercure
- Un contact de fin de remplissage
- La vidange du trop plein de mercure
- Un contact de fin de course, niveau bas.

Il faut en plus de cela comptabiliser les éléments nécessaires à l'évolution de la procédure de mesure.

- Une sortie de commande gérant l'admission d'air
- Deux sorties de commande moteur, deux sens de rotation.

Pour dialoguer avec le système, il faut un calculateur possédant des entrées de mesures.

Le nombre d'entrées de mesures sera fonction du système d'acquisition sélectionné. Si l'information se présente en code BCD, il faudra 4 entrées, plus des sorties d'adressage, alors que si nous comptons directement les impulsions, deux ou trois entrées suffisent.

Un tel automate nécessiterait donc 11 entrées-sorties sans compter les entrées de mesures. Il présenterait l'avantage de réduire au minimum la partie manipulation, l'opérateur n'ayant alors plus que l'installation de l'échantillon.

Cette solution présente deux inconvénients. Elle alourdit considérablement le logiciel, les parties pompage et remplissage de la cellule présentant de nombreux paramètres à gérer, pour avoir en fin de compte un gain de temps peu intéressant, toutes ces opérations durant environ une demi/heure.

Elle éloigne le manipulateur de l'appareil et celui-ci risque de perdre contact avec sa manipulation, l'utilisateur ne souhaitant pas n'avoir plus qu'à manipuler un calculateur, ce qui était un avantage devient un inconvénient.

## **II.2. Automatisation minimale**

La deuxième solution, plus restreinte, laisse une part importante à la manipulation, l'automate ne gérant plus que les parties mesures.

L'automate n'aurait plus alors que quelques entrées-sorties, mesures, incrémentations en pression, ce qui simplifie considérablement le problème.

L'inconvénient de cette méthode réside dans le fait qu'elle laisse une partie manipulation importante.

Son avantage est la suppression d'une partie importante de la manipulation sur laquelle il n'était pas prépondérant d'agir tout en répondant entièrement au problème posé.

C'est essentiellement pour ces raisons que nous avons opté pour une solution beaucoup plus proche de la deuxième étude que de la première.

## **II.3. Définition précise des buts de l'automatisme**

Nous avons pu, à partir de tout ce qui a été vu, aboutir à un projet dont les buts sont les suivants :

- Mesure sur le poste basse pression jusqu'à 1,4 bar sans intervention,
- Mesure sur le poste haute pression sans intervention, mais avec transfert manuel d'un poste à l'autre,
- Afin que l'utilisateur garde le contrôle de l'opération, un certain nombre de paramètres devront pouvoir être modifiés sans difficulté.

### **\* Sur le poste basse pression**

L'utilisateur veut pouvoir modifier

- le pas de pression
- le critère de stabilité.

L'automate devra alors

- calculer la valeur de pression à afficher,
- ouvrir la vanne pendant un temps tel que la pression atteigne la valeur souhaitée,
- faire une acquisition de données,
- faire des mesures de volume jusqu'à une valeur stable,
- calculer de nouvelles valeurs de pression à afficher lorsque la mesure de volume est satisfaisante,
- alarme en cas de pression anormale.



- système permettant le passage à 1,4 atm.

\* Sur le poste haute pression

- modification du poste pression,
- modification, en un point donné, du critère d'équilibre (vers 0,05  $\mu\text{m}$ ,  
entrée du mercure dans l'argile)
- acquisition de la pression et du volume,
- régulation de la pression,
- fin de manip. avec
  - soit attente
  - soit retour.

**TROISIEME PARTIE**  
**ETUDE DES PROBLEMES**  
**POSES**

## ETUDE DES PROBLEMES POSES PAR LA REALISATION

Au cours de la partie préliminaire de cette étude, il s'est fait jour un certain nombre de problèmes, qui peuvent, dans leur ensemble, se résumer par la liste non exhaustive qui suit.

- Acquisition des données
  - pression
  - volume
- Critères d'acceptation ou de rejet,
  - ou choix d'une méthode permettant d'évaluer la stabilité d'un paramètre sur une durée donnée.
- Calcul de la durée d'ouverture de la vanne en poste basse pression et de la mise en route du moteur en poste haute pression.
  - Calcul de l'intervalle de pression à afficher.
  - Passage à 1,4 atm.
  - Mise en mémoire des données, qui doit se faire sur un support compatible avec un ordinateur de traitement et de simulation plus important.

Les problèmes ont, dans leur ensemble, été traités dans l'ordre chronologique où ils sont apparus. C'est-à-dire que nous avons essayé de résoudre chaque problème avant de continuer à progresser dans l'étude. Toutefois, certains obstacles, en raison de la simplicité qu'ils présentaient, ont été traités anachroniquement.

### 1. Passage à 1,4 atm. et durée d'ouverture de l'électrovanne

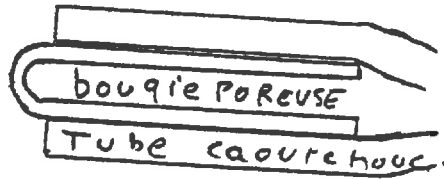
Le premier problème qui nous est apparu de manière évidente, car déterminant la possibilité ou non d'automatiser en poste basse pression, fut le temps d'ouverture de la vanne en basse pression. Pour les premiers points de mesure, il faut en effet des pas de pression très rapprochés, donc des durées d'ouverture très réduites.

Nous avons profité de la solution de ce problème pour résoudre simultanément le passage à 1,4 atm.

Pour ce problème, nous pouvions très bien séparer les deux alimentations en air (1 atm. et 1,4 atm.) à l'aide d'électro-vannes, ce qui ne résolvait en rien le problème du temps d'ouverture.

Nous avons choisi comme solution de limiter le débit d'air entrant de manière telle que même en appliquant une pression de 1,6 atm. dès le départ, nous ayons un débit encore assez faible pour avoir des temps d'ouverture corrects.

Nous avons choisi pour limiter le débit, d'insérer une bougie poreuse\* dans un tube caoutchouc de manière que seule la tête de bougie assure le passage de l'air.



## 2. Acquisition de données

Le deuxième problème que nous avons dû résoudre fut le problème de l'acquisition des données.

Ce problème est primordial car il détermine toute la suite de l'automatisation. Il est impératif de réaliser l'acquisition de données puisque la régulation, l'acceptation des valeurs ou leurs rejets va porter sur les données émises par le porosimètre.

Le premier point pour réaliser cette acquisition est de savoir quel type de signal nous devons acquérir, c'est-à-dire savoir sous quelle forme se présente le signal dans le porosimètre.

Nous avons déjà vu que les capteurs capacitifs et de pression délivraient des tensions, lesquelles, après passage dans un convertisseur tension-fréquence, devenaient des fréquences, appliquées après codage sur des afficheurs 7 segments.

Le signal se présente sous trois formes :

- une tension
- une fréquence
- codé après le passage dans le compteur, pour piloter les segments des afficheurs.

Pour rendre compatible ces données avec un microprocesseur, il faut les convertir. Pour la tension, il faudrait un convertisseur analogique-Digital. Ce genre de convertisseur est assez pénible à réaliser, il nécessite des alimentations stabilisées, très précises, délicates à utiliser ; nous avons donc assez rapidement renoncé à ce type de signal.

\* N.B. : La bougie poreuse est un système permettant de mesurer des succions d'eau lorsqu'elle est placée dans un sol. Elle est constituée d'un corps poreux, céramique ou plâtre.

Il nous reste donc deux possibilités. La dernière serait probablement la plus simple. Le compteur délivre des informations codées, donnant directement après décodage les valeurs numériques lues sur les afficheurs. Ce sont des afficheurs sept segments ; il faudrait donc appliquer ces informations sur les 7 bits d'un port du microprocesseur, plus des sorties d'adressages pour sélectionner successivement les 6 digits. Il faudrait, en outre, un logiciel de décodage assez important.

Cette solution présentant a priori des obstacles importants, nous avons finalement décidé de faire le comptage de la fréquence.

### 3. Caractéristique des signaux à acquérir

Pour faire l'acquisition, nous avons dû étudier plus précisément le signal à acquérir.

A l'aide d'un oscilloscope et d'un fréquencemètre, nous avons mesuré les caractéristiques des signaux. Nous avons ainsi obtenu :

- Amplitude du signal : 0-5 V

\* Pour les mesures de capacité, poste basse pression :

- Fréquence minimale 1500 Hz
- Fréquence maximale 6500 Hz
- Rapport de conversion  $\frac{\text{Fréquence}}{\text{Capacité}} = 100$

\* Poste haute pression :

- Fréquence minimale 1200 Hz
- Fréquence maximale 7000 Hz
- Rapport de conversion  $\frac{\text{Fréquence}}{\text{Capacité}} = 100$

\* Pour les mesures de pression, poste haute pression :

- Fréquence minimale 10 Hz
- Fréquence maximale 20000 Hz
- Rapport de conversion  $\frac{\text{Fréquence}}{\text{Pression}} = 1000$

\* Poste basse pression :

- Fréquence minimale 2 Hz
- Fréquence maximale 100 Hz
- Rapport de conversion  $\frac{\text{Fréquence}}{\text{Pression}} = 1000$

Ces connaissances du signal nous permettent déjà de préciser qu'il ne sera pas possible de compter directement les impulsions avec le  $\mu P$ .

En effet, tant que la fréquence est assez faible, il est possible de faire tester par le  $\mu P$  le niveau logique (0 ou 1) d'une de ces entrées et de lui faire compter les impulsions. Compte-tenu du temps d'exécution du programme, il n'est pas possible de faire des mesures correcte au-delà de 10 kHz. Nous pouvons donc déjà préciser qu'il nous faudra trouver un  $\mu P$  possédant une interface de comptage ou créer nous-même une interface.

C'est cet impératif, trouver ou créer une interface de comptage associée à un élément extérieur, qui a entraîné le choix du calculateur.

L'élément extérieur fut la promotion faite sur un calculateur permettant de gérer le porosimètre, assez puissant pour faire le traitement de données et de plus compatible avec le gros calculateur de simulation présent sur le Centre INRA d'Avignon.

De plus, cet ordinateur présente dans ces circuits internes un circuit intégré, programmable par le micro-processeur et réalisant le comptage d'impulsions.

L'ordinateur qu'il a été décidé d'acquérir est un Goupil 3 Configuration 4.

#### **4. Goupil 3 - 4 et translateur d'adresse**

Cette unité comprend une carte micro-processeur 6 809, deux unités de disquettes 5", un écran vidéo et un clavier. Le microprocesseur 6 809 est un microprocesseur 8 bits, possédant 20 lignes d'adresses. Il peut donc adresser  $2^{20}$  octets, soit 1 Mega-octet.

L'emplacement mémoire présent sur la carte microprocesseur est limité à 64 k octets, décomposé en 16 blocs de 4 octets et il constitue l'espace logique.

Les 20 Mega-octets adressables (espace physique) sont eux décomposés en 256 blocs de 4 k octets. Le  $\mu P$  peut donc adresser à tout moment 16 permis, 256 blocs de 4 k octets accédant ainsi à toutes les zones de l'espace physique.

Ce transfert de bloc mémoire se fait à l'aide d'un translateur d'adresses qu'il nous faut programmer afin de placer les adresses du circuit utilisé pour l'acquisition dans l'espace logique.

Nous utilisons pour cela deux registres 8 bits du 6 809 dans lesquels nous écrivons le numéro de la page logique et le numéro de la page physique (numéro du bloc mémoire transféré dans l'espace logique).

L'instruction permettant ce transfert est l'instruction ACC MEM. Pour la faire exécuter en assembleur, nous devons provoquer une interruption suivi du code hexadécimal de l'instruction.

Nous obtenons alors

```
ORG $ XXXX                (adresse de départ du programme)
LDA # $FF
SWI
FCB $OA
```

Nous chargeons dans A l'adresse de l'espace physique, dans B celle de l'espace logique.

Le sigle # signifie un chargement immédiat.

Le sigle \$ indique que la valeur qui suit est écrite en hexadécimal.

### 5. Circuit de comptage

Le circuit réalisant le comptage est une V IA (Versatile interface adapter), le SY 6 522 (voir annexe 3) dispose de deux postes d'entrées-sorties de 8 bits. Chaque bit est programmable en entrée-sortie grâce à deux registres de direction de données (DDR A-DDR B), la mise au niveau 0 ou 1 ou la lecture de chaque bit se fait à l'aide de deux registres d'entrée-sortie.

Ce circuit possède une entrée de comptage, sur le bit 6 du port B.

Pour compter, il faut tout d'abord écrire dans un registre auxiliaire (ACR) la valeur validant le comptage sur PR 6. Le comptage se faisant sur 16 bits, il faudra charger dans deux registres de comptage la valeur à partir de laquelle le décomptage se fera. L'écriture d'une valeur dans le registre haut (poids fort) valide le compteur et le décomptage commence dès l'application du premier front descendant.

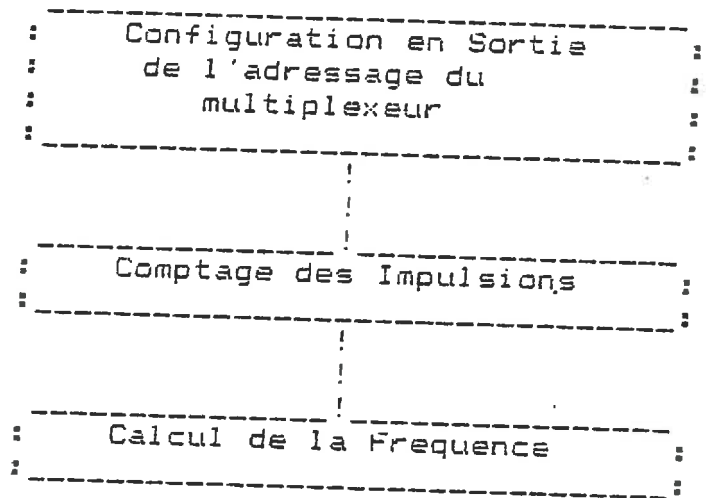
### 6. Ecriture d'un programme réalisant un fréquencemètre avec Goupil

Dans la partie fréquencemètre apparaît la nécessité d'un multiplexage de l'entrée de comptage. Le circuit possède une entrée et nous avons deux fréquences à mesurer.

Il est apparu nécessaire de pouvoir isoler l'ordinateur du porosimètre. En effet, lorsque l'on branche l'ordinateur, son initialisation est telle que le 6 522 à tous ses ports programmés en sortie, au niveau zéro. Si on branche un signal sur ces entrées, il se trouve relié à la masse et son amplitude s'effondre. Il faut donc pouvoir les isoler sur ce plan là. Il faudra donc un multiplexeur à 4 entrées, donc deux lignes d'adresses.

Nous pouvons déjà établir un organigramme général d'acquisition de données.

ORGANIGRAMME GENERAL D'ACQUISITION  
.....



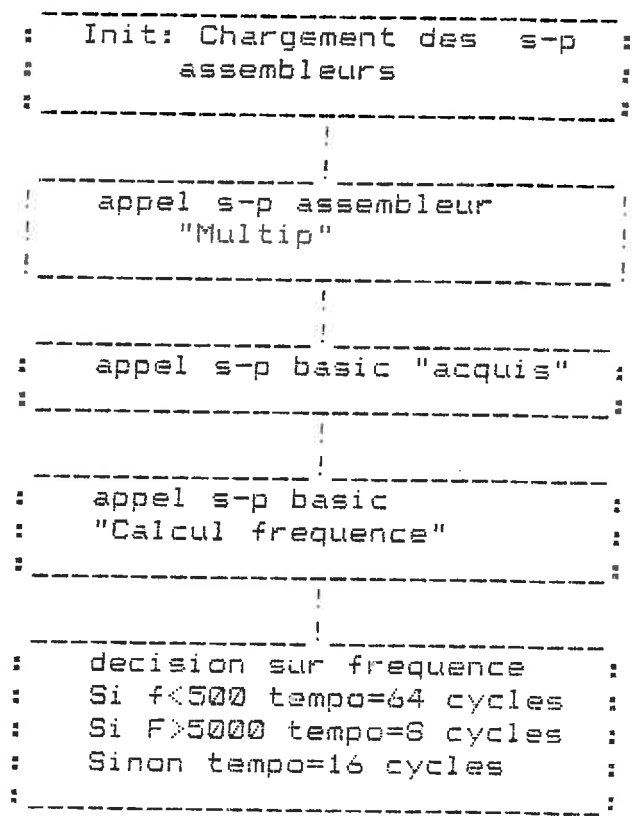
a) Détail de la première partie, à savoir Programmation du multiplexeur.  
Voir l'organigramme correspondant.

- Passage du basic à l'assembleur.

Les programmes que nous allons écrire seront essentiellement de deux types. Des programmes de traitement de l'information écrit en basic et des sous-routines d'acquisition, de configurations en sorties et de temporisations, écrites en assembleur. Il sera donc nécessaire de passer de l'un à l'autre et de faire transiter des données du basic vers l'assembleur et réciproquement.



ORGANIGRAMME DETAILLE PROGRAMME DE COMPTAGE  
.....



\*\*Un cycle dure exactement 326927 cycles d'horloge  
\*\*Soit environ 0.16s

SOUS-PROGRAMME "ACQUIS"  
"\*\*\*\*\*"

```
-----  
: Appel s-p assembleurs :  
: "Comptage" :  
:-----  
: | :  
:-----  
: Lecture valeur comptee :  
:-----  
: | :  
:-----  
: RETOUR :  
:-----
```

SOUS PROGRAMME "CALCUL FREQUENCE"  
"\*\*\*\*\*"

```
**C'est une serie de calcul  
**Calcul du nombre d'impulsions entrees  
**Calcul de la duree de comptage  
**Calcul de la frequence  
**Retour au programme principal
```

\*\*A partir de ce programme principal ,et des deux  
\*\*sous-programmes ,nous avons obtenue le programme  
\*\*BASIC dont le listing ce trouve a la page sui-  
\*\*vante .Les commentaires en debut de programme  
\*\*signifie que cette partie ce trouvera inserer  
\*\*dans une partie initialisation propre Aa tout le  
\*\*programme de gestion du porosimetre

```

10 REM *****INITIALISATION*****
20 REM *****A MODIFIER DANS PROGRAMME FINAL*****
30 REM *****CHARGEMENT DES S-F ASSEMBLEURS*****
40 DIGITS 8,2
50 EXEC,"MULTIP"
60 PRINT CHR$(12)
70 EXEC,"AZERTY"
80 PRINT CHR$(12)
90 INPUT S :Z=0:PRINT CHR$(12):B=0
100 REM *****PROGRAMME DE TRAITEMENT*****
110 X=8
120 DPOKE HEX("24"),HEX("EC50")
130 PARA2%=USR(S)
140 GOSUB 290
150 PRINT A
160 GOSUB 350
170 Z=Z+1:IF Z=8 THEN GOTO 90
180 IF B=1 THEN GOTO 210
190 IF F<500 THEN GOTO 260
200 IF F>5000 THEN GOTO 270
210 PRINT "Frequence=";F;"Hz"
220 B=0
230 IF F<500 GOTO 260
240 IF F>5000 THEN GOTO 270
250 X=16:GOTO 120
260 X=64:B=1:GOTO 120
270 X=8:B=1:GOTO 120
280 REM *****ACQUISITION DES IMPULSIONS*****
290 DPOKE HEX("24"),HEX("EC00")
300 ON ERROR GOTO 90
310 PARA1%=USR(X)
320 A=PARA1%
330 RETURN
340 REM ***** CALCUL DE LA FREQUENCE *****
350 R=32767-A
360 T=X*5E-7*326927
370 F=R/T
380 RETURN

```

ORGANIGRAMME S-P DE COMPTAGE

.....

-----  
: Transfert bloc-memoire :  
-----

!

-----  
: Init SY-6522 avec :  
: #20 dans ACR :  
: #BF dans DDRB :  
: #FF dans registre de :  
: comptage-haut :  
: #7f dans registre de :  
: comptage-bas :  
-----

!

-----  
: Temporisation :  
-----

!

-----  
: Lecture des Registres de :  
: Comptage haut & bas :  
-----

!

-----  
: transfert en #26 & #27 :  
-----

!

-----  
: Reinitialisation multip :  
-----

```

*S-F de COMPTAGE
*INITIALISATION
  ORG $EC00
*TRANSFERT BLOC MEMOIRE
  LDA #$FF
  LDB #$0F
  SWI
  FCB $0A
*INIT 6522
  LDA #$20
  STA $F398
  LDA #$BF
  STA $F392
  LDA #$FF
  STA $F398
  LDA #$7F
  STA $F399
*TEMPORISATION
  LDA $0027
  STA $EC45
DF  DECA
  STA $EC45
  LDA #$FF
DA  LDB #$FF
DB  DECB
  BNE DB
  DECA
  BNE DA
  LDA $EC45
  BNE DF
*LECTURE DES REGISTRES
  LDA $F398
  LDB $F399
  STB $0026
  STA $0027
*REINITIALISATION MULTIPLEXEUR
  LDA #$00
  STA $F390
  RTS
  END

```

---

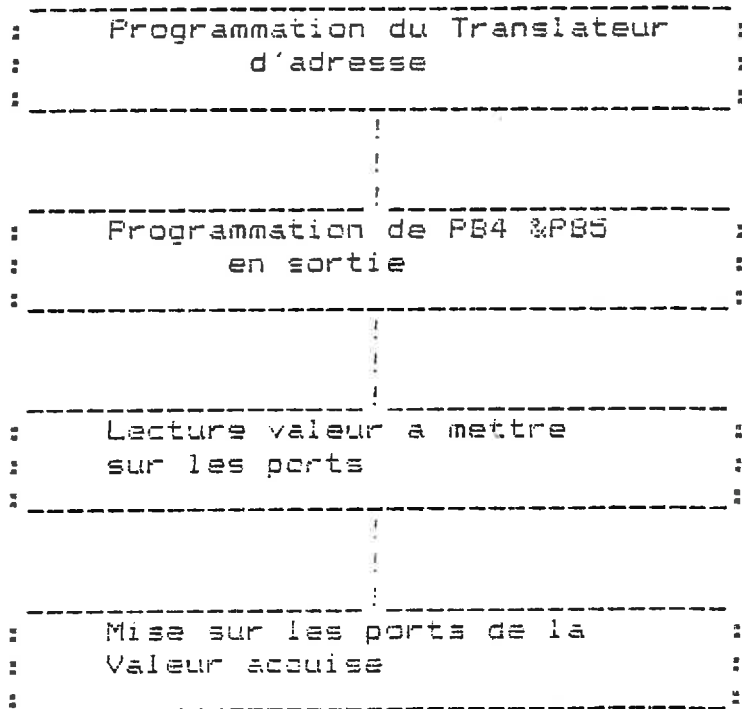
```

*ADRESSAGE DU MULTIPLEXEUR
  ORG $EC50
*TRANSFERT BLOC MEMOIRE
  LDA #$FF
  LDB #$0F
  SWI
  FCB $0A
*CONFIGURATION DE PB4 & PB5 EN SORTIE
  LDA #$BF
  STA $F392
*CONTENUE DE $0027 SUR LES PORTS
  LDA $27
  STA $F390
  RTS

```

Adressage du Multiplexeur  
\*\*\*\*\*

L'adressage se fera avec les ports PB4 & PB5



```

*ADRESSAGE DU MULTIPLEXEUR
    ORG $E050
*TRANSFERT BLOC MEMOIRE
    LDA #$FF
    LDB #$0F
    SWI
    FCB $0A
*CONFIGURATION DE PB4 & PB5 EN SORTIE
    LDA #$BF
    STA $F392
*CONTENUE DE $0027 SUR LES PORTS
    LDA $27
    STA $F390
    RTS

```

Pour ce faire, le basic utilise 4 octets d'adresse \$24 à \$27. Les octets \$24 et \$25 contiennent l'adresse de départ du programme assembleur et les octets \$26 et \$27 contiennent les données à faire transiter.

La valeur maximale que nous pouvons faire transiter, le codage se faisant sur 16 bits est  $2^{16/2}-1$  à cause du signe positif ou négatif de la valeur.

Nous pouvons alors écrire le programme assembleur.

- Voir le listing "acquisition".

#### b) Le sous-programme de comptage

Il faut faire compter les impulsions pendant une période de temps connu afin de calculer la fréquence. La période connue a été obtenue en faisant effectuer des boucles de durée connue un certain nombre de fois. Il a été nécessaire de faire diverses bases de temps en raison de la gamme étendue de fréquence, pour compter avec différentes bases de temps des fréquences de quelques Hertz et une fréquence de quelques kilo-hertz.

Nous avons pu ainsi définir un organigramme (voir l'organigramme comptage).

A partir de celui-ci, nous avons écrit un programme assembleur dont le listing se trouve à la page "Comptage".

Une fois que nous avons vu que le programme d'acquisition de données était opérationnel et tournait sans problème (à l'aide d'un générateur basse fréquence et d'un fréquencemètre, nous avons vérifié que les calculs de fréquence étaient cohérents), nous nous sommes penchés sur la réalisation de l'organigramme général de fonctionnement du porosimètre.

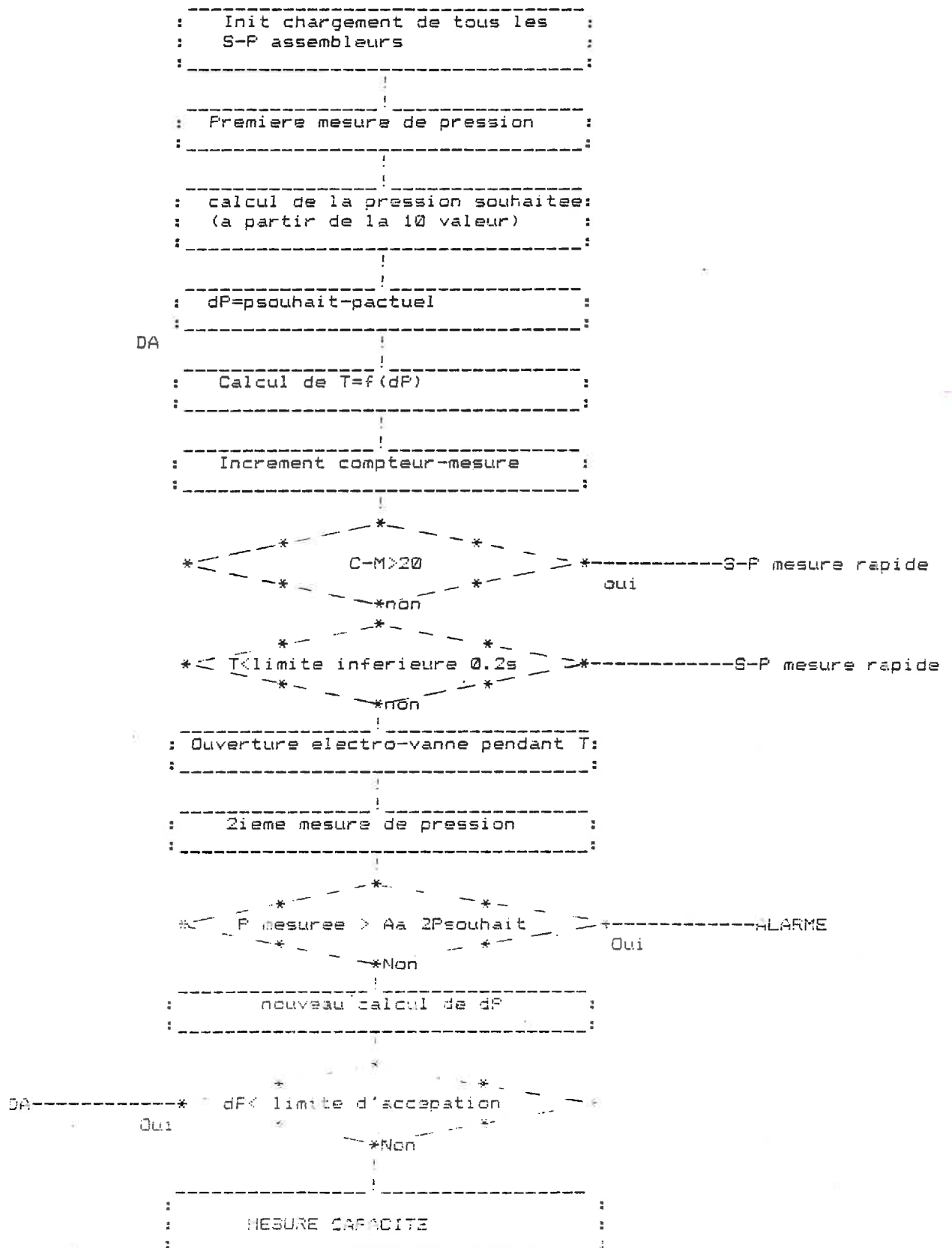
### 7. Etude générale d'un organigramme pour le porosimètre, partie basse pression

Les deux postes du porosimètre étant indépendants, il est possible d'imaginer un programme dont la structure se présenterait avec deux parties indépendantes, l'une pour le poste basse pression, l'autre pour le poste haute pression, avec des sous-programmes communs. Tel celui de l'acquisition de capacité qui ne variera que d'une partie à l'autre.

La première partie de cet organigramme est en fait la résolution d'un des problèmes évoqués précédemment. C'est l'élaboration d'un système permettant à l'ordinateur d'obtenir en sortie la pression souhaitée.

Pour la partie haute pression, l'organigramme est en soi peu différent de celui de la partie basse pression.

\*\*ORGANIGRAMME GENERAL DE L'AUTOMATISATION POSTE BASSE-PRESSION  
 .....

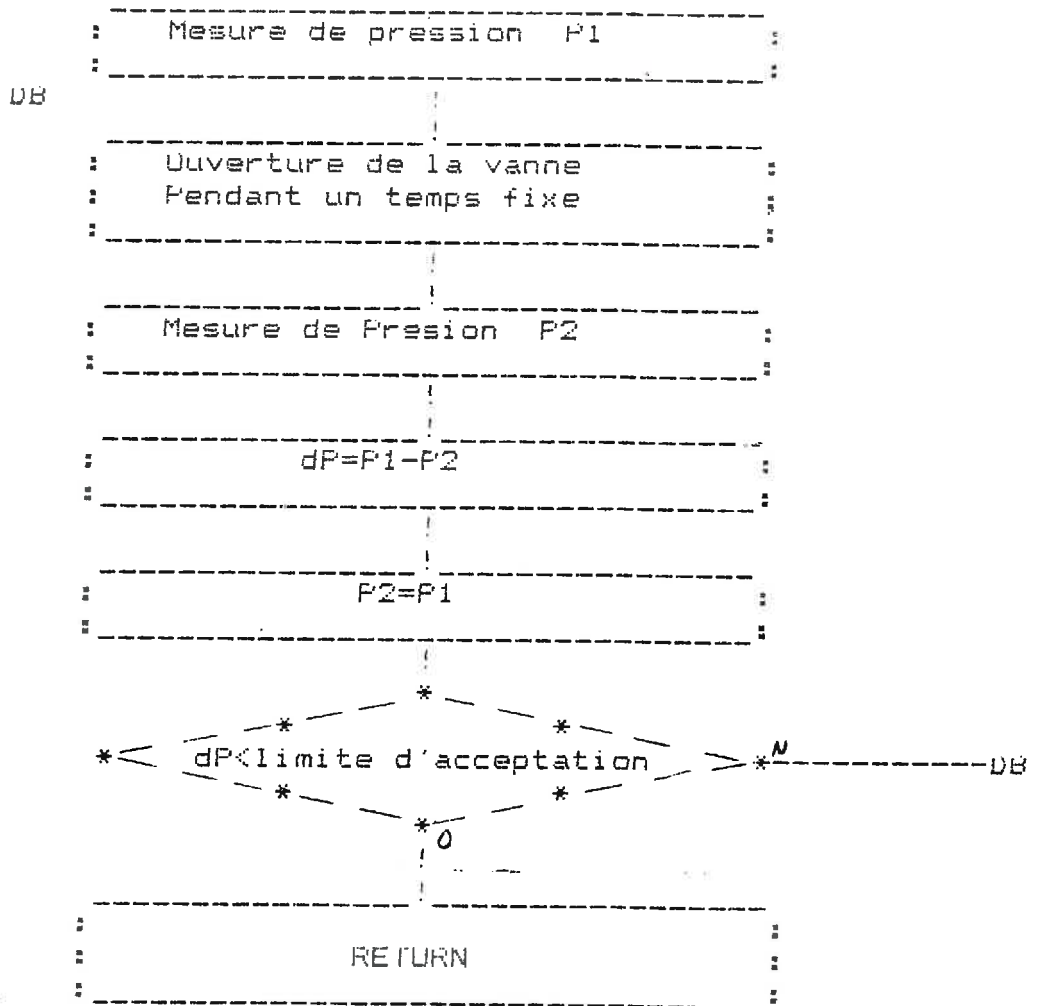




==ORGANIGRAMME DE LA PARTIE "EQUILIBRE" POSTE BASSE-PRESSION  
 =====



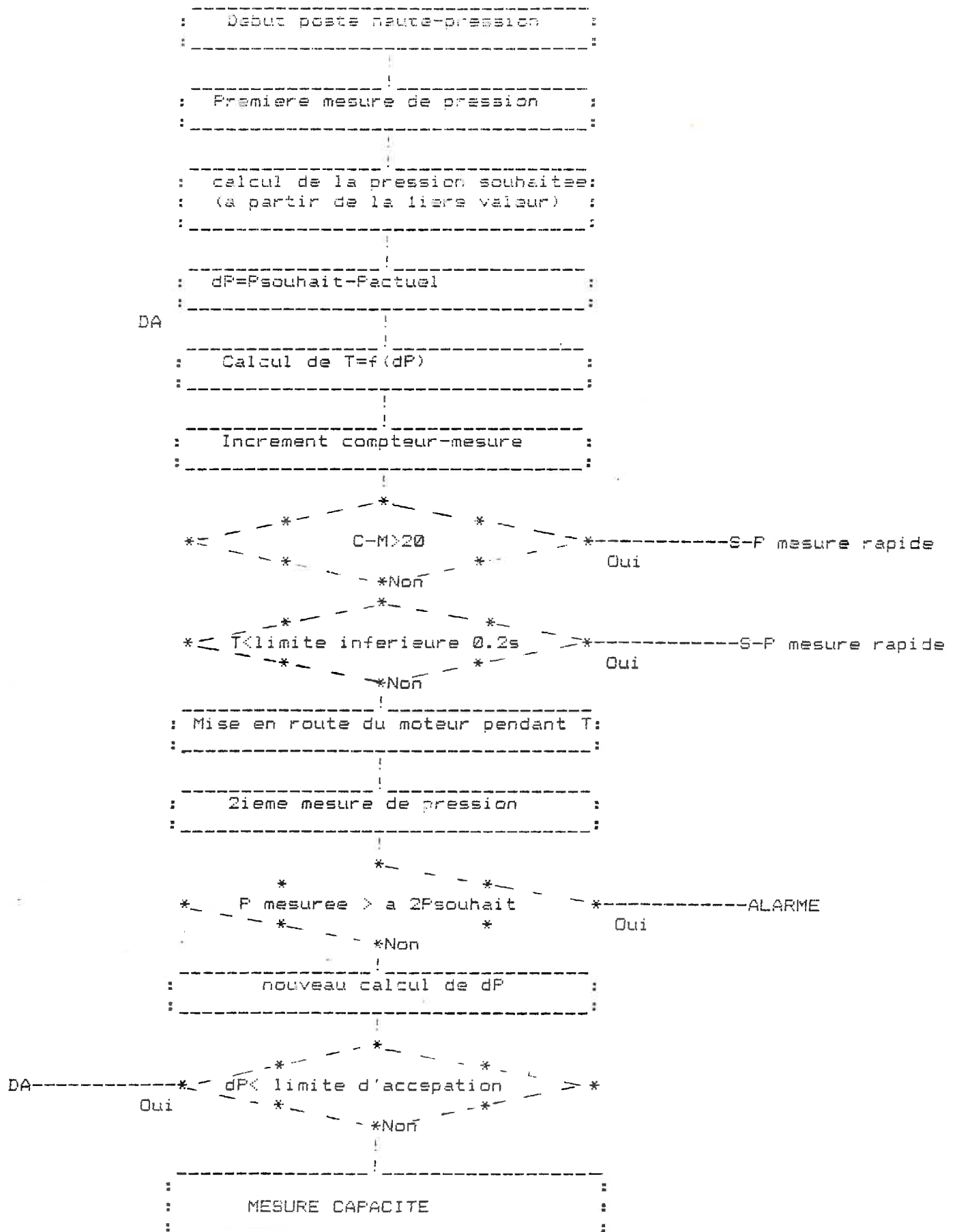
**\*\*ORGANIGRAMME S-P MESURE-RAPIDE\*\***  
 .....



La principale différence réside dans le sous programme de mesure rapide, car dans ce cas là il est possible de faire une régulation en pression.

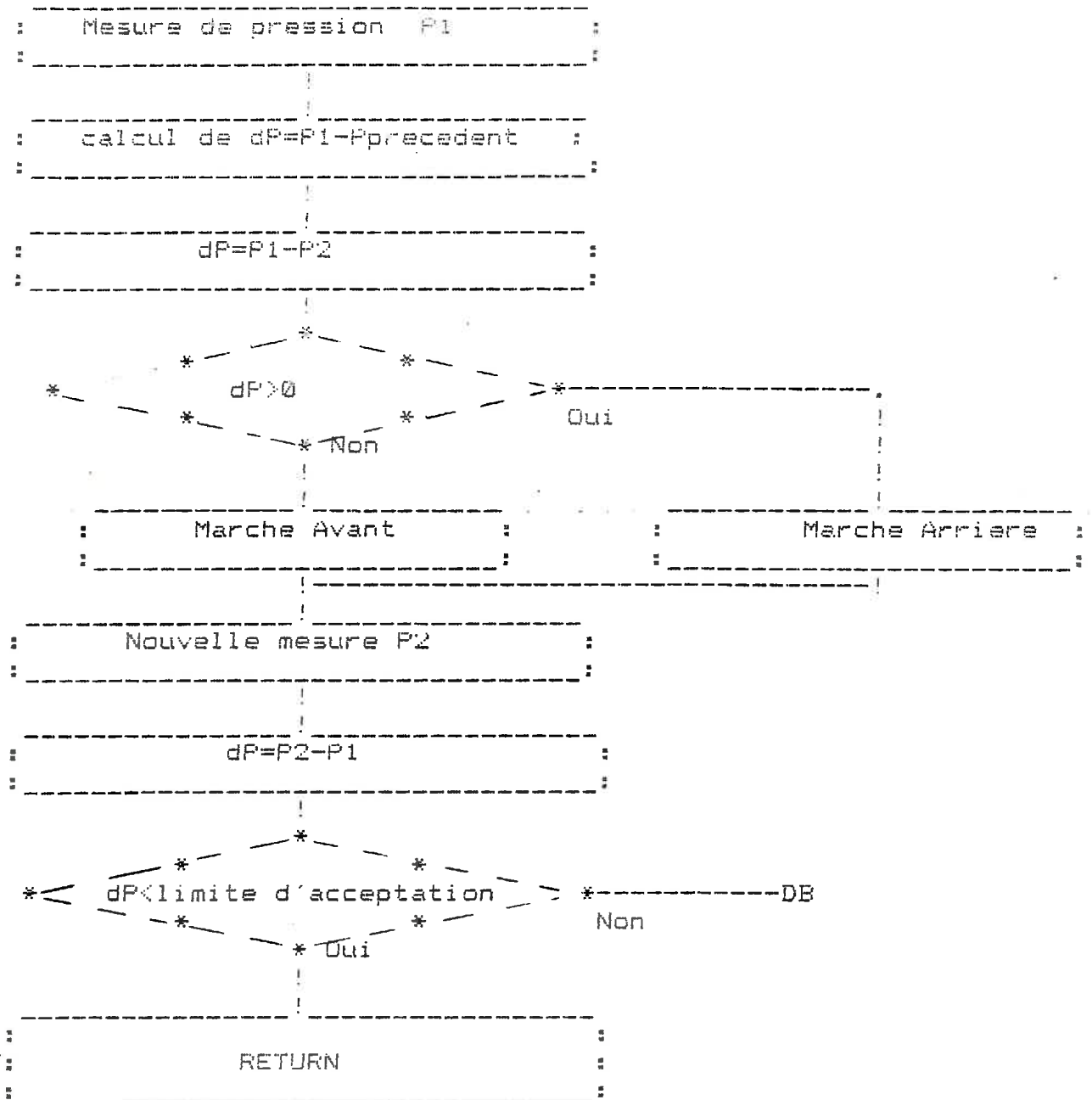
La partie mesure de capacité ne variera pas d'un poste à l'autre.

Nous obtenons ainsi les organigrammes qui se trouvent à la page suivante.



\*\*ORGANIGRAMME S-P MESURE-RAPIDE POSTE HAUTE PRESSION\*\*  
 .....

DB



## CONCLUSION

Cette étude, bien qu'inachevée à la fin du stage de deux mois, a néanmoins permis de progresser de manière importante en vue de l'automatisation. Deux gros problèmes ont pu être résolus :

- d'une part l'acquisition des données sans laquelle l'automatisation n'aurait pas été possible,
- et d'autre part, nous avons pu établir des organigrammes à partir desquels nous pourrions, sans problèmes majeurs, aboutir à des programmes gérant le porosimètre.

Nous avons pu obtenir ce résultat en suivant une démarche générale qui peut se résumer de la manière suivante :

- La prise de contact avec les utilisateurs et avec la machine en vue de voir ce qui est désiré, ce qui peut être réalisé, et si il est possible d'aboutir à des points de concordance.

- Une fois cette étape franchie, il faut trouver le système répondant le mieux au but que l'on s'est fixé, qui soit compatible avec le budget disponible et enfin qui soit disponible dans un délai non prohibitif. Cette partie de décision, importante, dépend tout autant de facteurs indépendants du système étudié que de ce système.

Puis, une fois que le système choisi est disponible et que nous savons qu'il est compatible avec le but recherché, nous pourrions passer à la partie suivante qui est la réalisation pratique, au cours de laquelle de nouveaux problèmes, indépendants de notre volonté, vont apparaître. Ce sont :

- Trouver de la documentation correcte,
- Trouver le spécialiste susceptible de nous aider,
- Des problèmes de fiabilité du matériel qui a été acheté.

Ces quelques points précis définissent assez bien dans leur ensemble les problèmes qui doivent se poser dans toute automatisation ou problème analogue.

## **ANNEXE 1**

**Tableau de valeurs des mesures**

## **ANNEXE 2**

**Evolution en fonction du temps de la mesure de la capacité**

## **ANNEXE 3**

**Caractéristiques principales du circuit SY 6 522**

## ANNEXE 1 :

- Tableaux de valeurs correspondant aux divers tracés effectués en début de stage.
- Les tableaux doivent être lus de la manière suivante :
  - Le premier tiret correspond à la valeur du volume de mercure entré
  - Le deuxième tiret correspond à la valeur du diamètre des pores

Les tableaux correspondent aux courbes suivantes :

Tableau A	Sol grossier	(40 $\mu\text{m}$ ), procédure rapide
Tableau B	Sol grossier	(40 $\mu\text{m}$ ), procédure longue
Tableau C	Sol fin	(4 $\mu\text{m}$ ), procédure rapide
Tableau D	Sol fin	(4 $\mu\text{m}$ ), procédure longue



A

1.000000000  
 130.0000000  
 454.0000000  
 0.027020000  
 6.156500000  
 -0.016700000  
 0.030660000

0.048000000  
 20.28000000  
 17.13529  
 25.92577  
 0.055000000  
 25.81000000  
 16.25144  
 22.62612

0.065000000  
 24.07000000  
 19.03771  
 19.14510

0.003500000  
 66.26000000  
 0.00000 -  
 355.55337 -

*Vo/way*  
*Sum*

0.079500000  
 22.73000000  
 19.64323  
 15.65329

0.005500000  
 65.03000000  
 0.16720 -  
 226.26124 -

0.100000000  
 21.71000000  
 20.18415  
 12.44437

0.009500000  
 65.30000000  
 0.40665  
 130.99335

0.130000000  
 20.66000000  
 20.56950  
 5.01766

0.010500000  
 65.16000000  
 0.46996  
 118.51779

1.111111111  
 9.000000000  
 0.100000000  
 25.050000000

0.012000000  
 64.35000000  
 0.56405  
 103.70307

0.120000000  
 24.99000000  
 -20.59070  
 0.129511681  
 .9.60060

*Vo/way*  
*Sum*

0.016500000  
 64.50000000  
 0.76020  
 75.42041

0.160000000  
 24.51000000  
 20.81300  
 0.169403006  
 7.34251

0.020500000  
 63.73000000  
 1.11614  
 60.70423

0.200000000  
 24.00000000  
 21.04406  
 0.202260000  
 5.94602

0.025500000  
 63.37000000  
 1.73070  
 48.80144

0.270000000  
 23.31000000  
 21.35505  
 0.279023057  
 4.45997

0.032500000  
 54.90000000  
 5.10525  
 38.29036

0.390000000  
 22.42000000  
 21.75005  
 0.398763200  
 3.12121

0.039000000  
 39.02000000  
 12.80210  
 31.90064

0.270000000  
 21.51000000  
 22.15924  
 0.670209709  
 1.93467

1.220000000  
 20.96000000  
 22.40974  
 1.227067018  
 1.01349

1.500000000  
 20.84000000  
 22.47200  
 1.507620704  
 0.82543

2.000000000  
 20.69000000  
 22.53570  
 2.007555740  
 0.61900

3.070000000  
 20.50000000  
 22.62564  
 3.077406051  
 0.40407

5.050000000  
 20.34000000  
 22.69794  
 5.057397770  
 0.24600

7.070000000  
 20.23000000  
 22.74765  
 7.077323443  
 0.17503

10.14000000  
 20.13000000  
 22.79203  
 10.14727234  
 0.12264

15.00000000  
 20.04000000  
 22.83350  
 15.00722500  
 0.08202

22.64000000  
 21.22000000  
 22.30000  
 22.64710407  
 0.05495

30.07000000  
 21.02000000  
 22.39000  
 30.07773229  
 0.04137

20.94000000  
 22.47000  
 40.01763937  
 0.00249

50.00000000  
 20.53000000  
 22.61200  
 50.00755374  
 0.02405

60.45000000  
 20.07000000  
 23.01395  
 60.46741172  
 0.02050

74.21000000  
 19.53000000  
 23.06390  
 74.21719000  
 0.01577

88.54000000  
 19.10000000  
 23.22212  
 88.54694712  
 0.01405

103.97000000  
 18.91000000  
 23.34413  
 103.9767045  
 0.01107

120.20000000  
 18.60000000  
 23.44000  
 120.2066591  
 0.01075

136.90000000  
 18.45000000  
 23.53390  
 136.9065522  
 0.00900

154.55000000  
 18.34000000  
 23.60170  
 154.5564639  
 0.00800

174.72000000  
 18.17000000  
 23.67000  
 174.7267347  
 0.00710

192.91000000  
 18.12000000  
 23.70111  
 192.9163153  
 0.00645

200.53000000  
 17.95000000  
 23.77793  
 200.5362920  
 0.00621

B

1.200000000	***	0.896000000	***	2.000000000	140.0000000
130.0000000	***	27.5000000	***	23.5000000	18.7100000
484.0000000	***	18.07935	***	21.73075	23.05014
0.027520000	***	13.95519	***	2.000551355	140.0071219
6.172000000	***			0.61548	0.00000
-0.016700000	***	0.079500000	***		330.0000000
0.030660000	***	25.4400000	***		18.2500000
		16.56423	***	3.000000000	25.27549
		15.65729	***	22.40000000	100.0000000
				21.40000	0.00000
0.003500000	***	0.100000000	***	3.000570700	
67.6700000	***	25.4600000	***	0.41362	
0.00000	***	19.00396	***		
355.55337	***	12.44437	***	5.020000000	
				22.25000000	
0.005500000	***	0.119000000	***	21.47351	
67.0700000	***	24.8400000	***	5.028596431	
0.27045	***	15.30542	***	0.24747	
226.26124	***	10.45745	***		
				7.010000000	
0.009000000	***	0.135500000	***	22.15000000	
66.6800000	***	24.3800000	***	21.51050	
0.44624	***	19.51276	***	7.010525742	
138.27076	***	8.92069	***	0.17731	
0.012500000	***	1.111111111	***	10.00000000	
65.3600000	***	9.000000000	***	22.03000000	
0.59042	***	0.128000000	***	21.57267	
95.55454	***	26.60000000	***	10.00040020	
				0.12434	
0.016500000	***	0.155000000	***		
65.9600000	***	20.3000000	***	15.00000000	
0.77077	***	19.64799	***	21.00000000	
75.42041	***	0.165547726	***	21.64026	
		7.51709	***	15.00042453	
				0.00292	
0.020500000	***	0.195000000	***		
65.5400000	***	25.8000000	***	23.00000000	
0.96005	***	19.87336	***	21.71000000	
60.70423	***	0.205400748	***	21.71651	
		6.05036	***	23.00035464	
				0.05405	
0.025500000	***	0.275000000	***		
64.6000000	***	25.0000000	***	35.00000000	
1.30379	***	20.23256	***	21.40000000	
48.00144	***	0.285170051	***	21.95064	
		4.36375	***	35.00037500	
				0.03550	
0.032500000	***	0.385000000	***		
60.2400000	***	24.2800000	***	50.00000000	
3.34904	***	20.55049	***	20.02000000	
30.29036	***	0.394804375	***	22.11007	
		3.15203	***	50.00013104	
				0.02400	
0.039000000	***	0.600000000	***		
41.2100000	***	23.5200000	***	70.00000000	
11.92070	***	20.90106	***	19.97000000	
31.90064	***	0.609469000	***	22.50121	
		2.04103	***	70.00760237	
				0.0.770	
0.040500000	***	1.000000000	***		
31.3300000	***	22.9500000	***	100.0000000	
16.30000	***	21.15730	***	19.22000000	
25.65049	***	1.000116776	***	22.00000	
		1.23319	***	100.0074675	
				0.01244	
0.055500000	***				
29.1200000	***				
17.37023	***				
22.42028	***				

1.000000000	5.020000000	0.070000000	1.500000000
130.0000000	33.3000000	66.9500000	35.7000000
484.0000000	15.50000	0.31000	14.00000
0.027000000	5.0345000	15.75000	1.510000000
5.440000000	0.24710	0.100000000	0.000000000
-0.015700000	7.010000000	66.930000000	2.000000000
0.630000000	32.640000000	0.31000	35.730000000
	15.75110	12.44000	14.45000
0.003500000	7.020000000	0.120000000	2.015000000
67.670000000	32.0396000	66.960000000	0.01700
0.00000	0.17710	0.33000	3.020000000
355.55330	10.050000000	10.32000	34.530000000
	31.980000000	0.130000000	14.00000
0.005500000	16.07500	66.950000000	3.000000000
67.370000000	10.0736000	0.35000	34.530000000
0.12000	0.12350	0.92000	14.00000
225.25120	15.020000000	0.110000000	0.41000
	31.350000000	9.000000000	
0.009000000	16.34000	0.130000000	
67.200000000	15.033300000	60.420000000	
0.20000	0.00000	0.160000000	
130.00000	30.750000000	60.200000000	
	16.00000	0.41000	
0.010000000	23.000000000	0.190000000	
67.100000000	30.750000000	60.200000000	
0.21100	16.00000	0.41000	
100.70000	23.013000000	0.190000000	
	0.05400	5.37000	
0.016000000	35.000000000	0.190000000	
67.140000000	30.220000000	60.200000000	
0.22000	16.00000	0.62000	
77.77000	35.012700000	0.220000000	
	0.03550	0.220000000	
0.020000000	50.000000000	0.220000000	
67.100000000	29.750000000	58.000000000	
0.24000	17.00000	4.04000	
60.70000	50.012500000	0.290000000	
	0.02400	4.14000	
0.025000000	70.000000000	0.320000000	
67.000000000	29.320000000	51.000000000	
0.35000	17.00000	7.50000	
40.00000	70.012300000	0.340000000	
	0.01700	3.60000	
0.030000000	100.000000000	0.390000000	
67.050000000	20.040000000	47.000000000	
0.26000	17.00000	0.23000	
37.71000	100.012100000	0.410000000	
	0.01200	2.90000	
0.035000000	140.000000000	0.200000000	
67.000000000	20.040000000	42.000000000	
0.20000	17.00000	11.45000	
25.39000	140.011000000	0.620000000	
	0.00000	2.00000	
0.055000000	200.500000000	1.000000000	
66.950000000	20.000000000	30.000000000	
0.29000	17.00000	13.10000	
22.42000	140.011000000	1.010000000	
	0.00000	1.22000	
0.067000000	200.511000000		
66.970000000	0.00000		
0.30000			
10.40000			

C

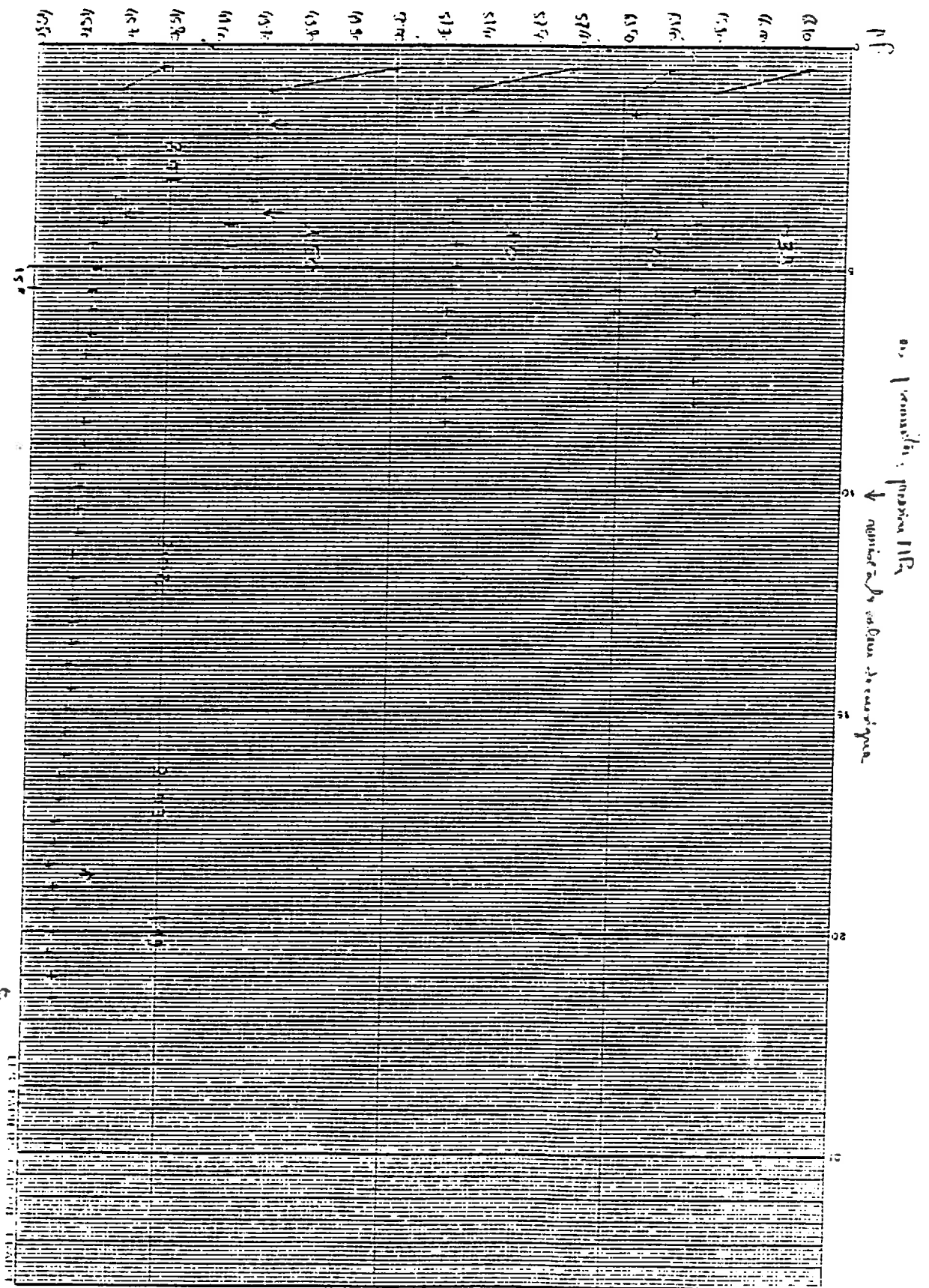
1.000000000  
170.0000000  
484.0000000  
0.027820000  
6.430000000  
-3.015780000  
0.030650000  
  
0.003500000  
66.730000000  
0.00000  
355.55337  
  
0.005500000  
66.600000000  
0.05610  
226.26124  
  
0.005500000  
66.450000000  
0.12099  
146.40433  
  
0.012500000  
66.300000000  
0.15124  
99.55494  
  
0.016500000  
66.350000000  
0.16421  
75.42041  
  
0.020500000  
66.330000000  
0.17265  
60.70423  
  
0.025500000  
66.300000000  
0.16581  
48.88144  
  
0.032500000  
66.270000000  
0.19578  
38.29036  
  
0.039500000  
66.260000000  
0.30310  
31.58473  
  
0.046500000  
66.240000000  
0.21174  
25.83649  
  
0.055500000  
66.230000000  
0.31686  
22.42236  
  
0.063500000  
66.220000000  
0.22036  
18.99904

0.075000000  
66.200000000  
0.32502  
15.75236  
  
0.100000000  
66.160000000  
0.33767  
12.44437  
  
0.121000000  
66.160000000  
0.24631  
10.28460  
  
0.141000000  
66.130000000  
0.25927  
8.82579  
  
1.111111111  
9.000000000  
0.127000000  
68.770000000  
  
0.155000000  
68.770000000  
0.25927  
0.185381244  
6.71265  
  
0.195000000  
68.670000000  
0.30249  
0.225381244  
5.52147  
  
0.275000000  
60.720000000  
3.73785  
0.305334784  
4.07565  
  
0.305000000  
49.150000000  
9.73750  
0.411641262  
3.02311  
  
0.600000000  
43.130000000  
11.33638  
0.621265909  
2.00307  
  
1.000000000  
39.110000000  
13.07600  
1.018462953  
1.22107  
  
1.500000000  
37.000000000  
13.98778  
1.516601386  
0.82654

2.000000000  
35.320000000  
14.45447  
2.013621002  
0.91740  
  
3.000000000  
34.670000000  
14.93463  
3.013113331  
0.41273  
  
5.000000000  
33.440000000  
15.52614  
5.014538508  
0.24817  
  
7.000000000  
32.720000000  
15.83726  
7.013967138  
0.17742  
  
10.000000000  
32.100000000  
16.10518  
10.013632603  
0.12427  
  
15.000000000  
31.440000000  
16.39038  
15.01334458  
0.08269  
  
23.000000000  
30.800000000  
16.66654  
23.01303795  
0.05408  
  
35.000000000  
30.220000000  
16.91757  
35.01274061  
0.03554  
  
50.000000000  
29.740000000  
17.12499  
50.01247114  
0.02486  
  
70.000000000  
29.300000000  
17.31512  
70.01224814  
0.01777  
  
100.000000000  
28.800000000  
17.53116  
100.0120437  
0.01244

140.0000000  
25.300000000  
17.74724  
140.0115114  
0.00689  
  
220.0000000  
37.320000000  
17.91145  
200.0115731  
0.00622

D



ANNEXE 2 :

EXEMPLE DE TRACE DE L'EVOLUTION DU MERCURE RENTRE EN FONCTION DU TEMPS, AVANT L'EQUILIBRE





**Versatile  
Interface Adapter  
(VIA)**

**SY6522  
SY6522A**

**MICROPROCESSOR  
PRODUCTS**

Preliminary

- Two 8-Bit Bidirectional I/O Ports
- Two 16-Bit Programmable Timer/Counters
- Serial Data Port
- Single +5V Power Supply
- TTL Compatible
- CMOS Compatible Peripheral Control Lines
- Expanded "Handshake" Capability Allows Positive Control of Data Transfers Between Processor and Peripheral Devices
- Latched Output and Input Registers
- 1 MHz and 2 MHz Operation

The SY6522 Versatile Interface Adapter (VIA) is a very flexible I/O control device. In addition, this device contains a pair of very powerful 16-bit interval timers, a serial-to-parallel/parallel-to-serial shift register and input data latching on the peripheral ports. Expanded handshaking capability allows control of bi-directional data transfers between VIA's in multiple processor systems.

Control of peripheral devices is handled primarily through two 8-bit bi-directional ports. Each line can

be programmed as either an input or an output. Several peripheral I/O lines can be controlled directly from the interval timers for generating programmable frequency square waves or for counting externally generated pulses. To facilitate control of the many powerful features of this chip, an interrupt flag register, an interrupt enable register and a pair of function control registers are provided.

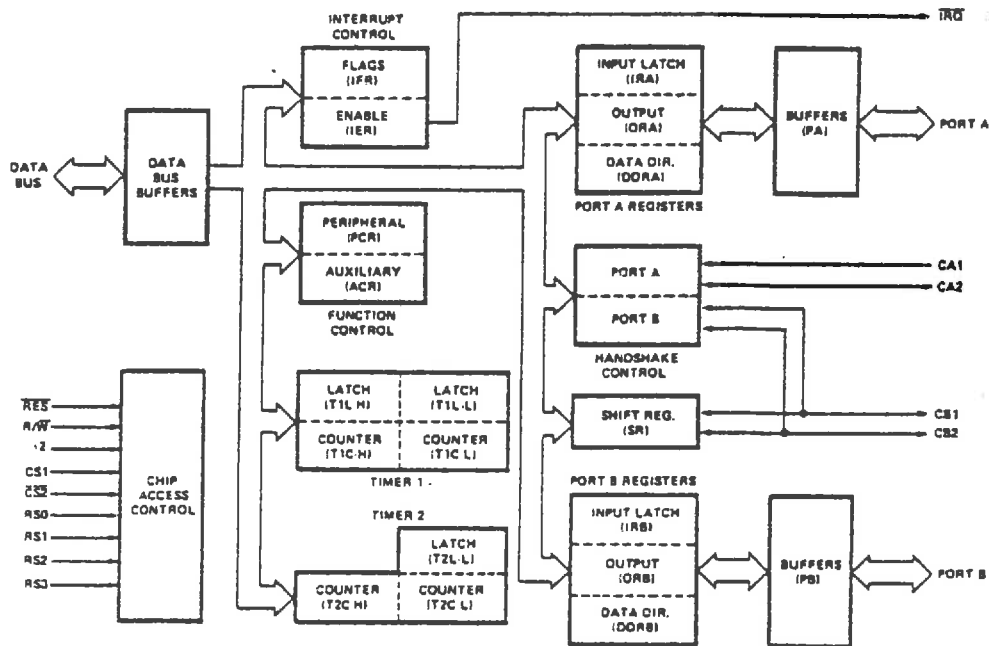


Figure 1. SY6522 Block Diagram





**PIN DESCRIPTIONS**

RES (Reset)

The reset input clears all internal registers to logic 0 (except T1 and T2 latches and counters and the Shift Register). This places all peripheral interface lines in the input state, disables the timers, shift register, etc. and disables interrupting from the chip.

φ2 (Input Clock)

The input clock is the system φ2 clock and is used to trigger all data transfers between the system processor and the SY6522.

R/W (Read/Write)

The direction of the data transfers between the SY6522 and the system processor is controlled by the R/W line. If R/W is low, data will be transferred out of the processor into the selected SY6522 register (write operation). If R/W is high and the chip is selected, data will be transferred out of the SY6522 (read operation).

**FUNCTIONAL DESCRIPTION**

Port A and Port B Operation

Each 8-bit peripheral port has a Data Direction Register (DDRA, DDRB) for specifying whether the peripheral pins are to act as inputs or outputs. A 0 in a bit of the Data Direction Register causes the corresponding peripheral pin to act as an input. A 1 causes the pin to act as an output.

Each peripheral pin is also controlled by a bit in the Output Register (ORA, ORB) and an Input Register (IRA, IRB). When the pin is programmed as an output, the voltage on the pin is controlled by the cor-

RS0-RS3 (Register Selects)

The four Register Select inputs permit the system processor to select one of the 16 internal registers of the SY6522, as shown in Figure 6.

Register Number	RS Coding				Register Desig.	Description	
	RS3	RS2	RS1	RS0		Write	Read
0	0	0	0	0	ORB/IRB	Output Register "B"	Input Register "B"
1	0	0	0	1	ORA/IRA	Output Register "A"	Input Register "A"
2	0	0	1	0	DDRB	Data Direction Register "B"	
3	0	0	1	1	DDRA	Data Direction Register "A"	
4	0	1	0	0	T1C-L	T1 Low-Order Latches	T1 Low-Order Counter
5	0	1	0	1	T1C-H	T1 High-Order Counter	
6	0	1	1	0	T1L-L	T1 Low-Order Latches	
7	0	1	1	1	T1L-H	T1 High-Order Latches	
8	1	0	0	0	T2C-L	T2 Low-Order Latches	T2 Low-Order Counter
9	1	0	0	1	T2C-H	T2 High-Order Counter	
10	1	0	1	0	SR	Shift Register	
11	1	0	1	1	ACR	Auxiliary Control Register	
12	1	1	0	0	PCR	Peripheral Control Register	
13	1	1	0	1	IFR	Interrupt Flag Register	
14	1	1	1	0	IER	Interrupt Enable Register	
15	1	1	1	1	ORA/IRA	Same as Reg 1 Except No "Handshake"	

Figure 6. SY6522 Internal Register Summary

**REG 11 - AUXILIARY CONTROL REGISTER**

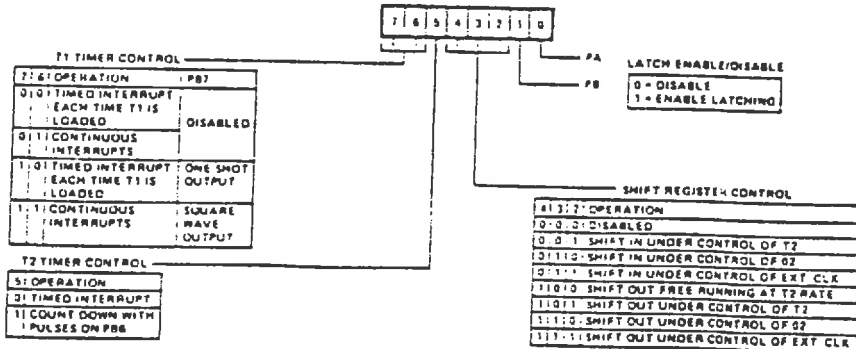


Figure 17. Auxiliary Control Register

Note: The processor does not write directly into the low order counter (T1C-L). Instead, this half of the counter is loaded automatically from the low order latch when the processor writes into the high order counter. In fact, it may not be necessary to write to the low order counter in some applications since the timing operation is triggered by writing to the high order counter.

responding bit of the Output Register. A 1 in the Output Register causes the output to go high, and a "0" causes the output to go low. Data may be written into Output Register bits corresponding to pins which are programmed as inputs. In this case, however, the output signal is unaffected.

Reading a peripheral port causes the contents of the Input Register (IRA, IRB) to be transferred onto the Data Bus. With input latching disabled, IRA will always reflect the levels on the PA pins. With input latching enabled, IRA will reflect the levels on the PA pins at the time the latching occurred (via CA1).

The IRB register operates similar to the IRA register. However, for pins programmed as outputs there is a difference. When reading IRA, the level on the pin determines whether a 0 or a 1 is sensed. When reading IRB, however, the bit stored in the output register, ORB, is the bit sensed. Thus, for outputs which have large loading effects and which pull an output "1" down or which pull an output "0" up, reading IRA may result in reading a "0" when a "1" was actually programmed, and reading a "1" when a "0" was programmed. Reading IRB, on the other hand, will read the "1" or "0" level actually programmed, no matter what the loading on the pin.

Figures 9, 10, and 11 illustrate the formats of the port registers. In addition, the input latching modes are selected by the Auxiliary Control Register (Figure 16.)

REG 0 - ORB/IRB

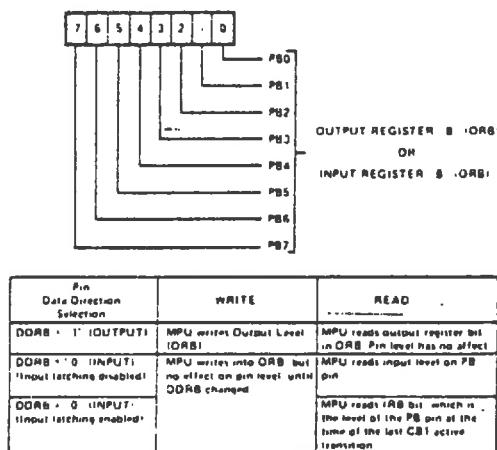
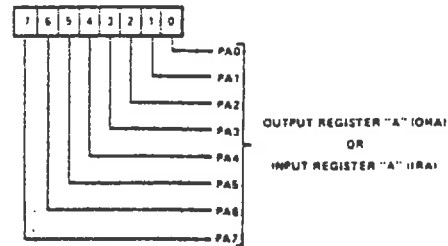


Figure 9. Output Register B (ORB), Input Register B (IRB)

REG 1 - ORA/IRA



Pin Data Direction Selection	WRITE	READ
DDRA = 1 (OUTPUT) (input latching disabled)	MPU writes Output Level (ORA)	MPU reads level on PA pin
DDRA = 1 (OUTPUT) (input latching enabled)		MPU reads IRA bit which is the level of the PA pin at the time of the last CA1 active transition
DDRA = 0 (INPUT) (input latching disabled)	MPU writes into ORA but no effect on pin level until DDRA changed	MPU reads level on PA pin
DDRA = 0 (INPUT) (input latching enabled)		MPU reads IRA bit which is the level of the PA pin at the time of the last CA1 active transition

Figure 10. Output Register A (ORA), Input Register A (IRA)

REG 2 (DDRB) AND REG 3 (DDRA)

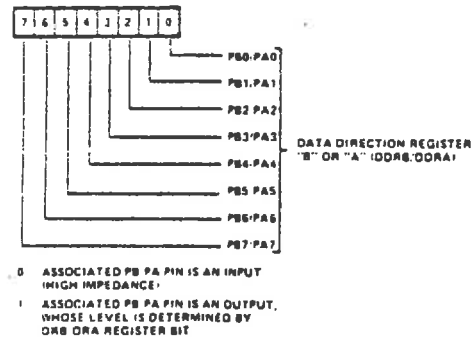


Figure 11. Data Direction Registers (DDRB, DDRA)

Timer 2 Pulse Counting Mode

In the pulse counting mode, T2 serves primarily to count a predetermined number of negative-going pulses on PB6. This is accomplished by first loading a number into T2. Writing into T2C-H clears the interrupt flag and allows the counter to decrement each time a pulse is applied to PB6. The interrupt flag will be set when T2 reaches zero. At this time the counter will continue to decrement with each pulse on PB6. However, it is necessary to rewrite T2C-H to allow the interrupt flag to set on subsequent down-counting operations. Timing for this mode is shown in Figure 21. The pulse must be low on the leading edge of  $\phi_2$ .