



HAL
open science

Estimation de la permeabilite a l'air d'un echantillon de sol

M.P. Fabre

► **To cite this version:**

M.P. Fabre. Estimation de la permeabilite a l'air d'un echantillon de sol. [Stage] Departement de Mesures Physiques. Université Paul Cézanne (Aix Marseille 3), FRA. 1993, 53 p. hal-02846830

HAL Id: hal-02846830

<https://hal.inrae.fr/hal-02846830>

Submitted on 7 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**INSTITUT UNIVERSITAIRE DE
TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT MESURES PHYSIQUES
UNIVERSITE MARSEILLE III
64, traverse Charles Susini 13006 MARSEILLE cedex**

RAPPORT de STAGE de:

**FABRE Marie Pierre
Avril-Juin 1993**

RESPONSABLE de STAGE: Pierre RENAULT

REM
REM*****
REM
REM*****

REM
REM
REM **ESTIMATION DE LA PERMEABILITE A L' AIR D'UN ECHANTILLON DE SOL**
REM
REM

REM
REM
REM
REM
REM
REM
REM
REM
REM
REM*****

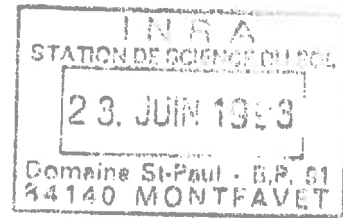
réalisation
I.N.R.A. AVIGNON
Station de Science du Sol

REM
Définition des
sous-programmes
REM
REM*****

DECLARE SUB
fichier2 ()
DECLARE SUB
fichier1 ()
DECLARE SUB
attente ()
DECLARE SUB
temps ()



Institut National de la Recherche Agronomique
Centre de Recherches d'AVIGNON
Domaine Saint-Paul B.P 91 84143 AVIGNON CEDEX
TEL. 90.31.60.00 - FAX 90.31.62.44



Remerciements

Je tiens à remercier, Monsieur Laurent Brukser directeur de l'unité de Science du Sol de l'I.N.R.A de Montfavet, pour son accueil chaleureux,

Toute ma reconnaissance à Pierre Renault, chargé de recherche, mon maître de stage, pour la confiance qu'il m'a accordée tout au long de mes démarches, pour le temps qu'il m'a consacré malgré ses multiples préoccupations, et pour sa patience et sa pédagogie.

Un grand merci à J-C Gaudu, qui tout au long du stage, m'a fait généreusement profiter de son expérience et de sa clairvoyance face aux problèmes rencontrés. Merci aussi à Dalila Morath pour sa patience.

Merci à Patrick Bertuzzi pour son aide en programmation.

Sans citer tous les noms, je tiens à exprimer ma gratitude à l'ensemble des permanents et stagiaires, qui ont contribué à créer une chaleureuse ambiance de travail.

Enfin, j'adresse mes remerciements au professeur de l'I.U.T de Marseille, Monsieur Fumanal, pour sa visite au cours de mon stage.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

A. Institut National de la Recherche Agronomique

- 1. Son histoirePage 1
- 2. Son organisationPage 1
- 3. Ses missionsPage 1-2
- 2. Ses moyensPage 2

B. Le Centre de Recherche D'AVIGNON

- 1. Le Domaine Saint-PaulPage 2
- 2. L'unité de Science du SolPage 2

INTRODUCTION

CHAPITRE I: ELEMENTS THEORIQUES

- A. Les transferts par diffusionPage 5
- B. Les mouvements de convectionPage 6
- C. Un exemple d' applicationPage 6-7

CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES

Page 8

- A. Principe de la manipulationPage 8
- B. Les AppareilsPage 9
 - 1. Le débitmètre régulateurPage 9
 - a. PrincipePage 9
 - b. BranchementsPage 9
 - c. EtalonnagePage 10
 - 2. Le capteur différentielPage 10
 - a. PrincipePage 10
 - b. BranchementsPage 10
 - c. EtalonnagePage 11-12
- C. AutomatisationPage 13

1. Enoncé du problème	Page 13
2. Résolution du problème	Page 13
a. L'ordinateur	Page 13
b. Liaison entre les appareils de mesure et l'ordinateur: interface	Page 13-16
c. Programmation de la carte	Page 16
d. Le logiciel de partage	Page 16
e. le dispositif final	Page 17

CHAPITRE III: LE LOGICIEL DE PILOTAGE

A. Organisation du programme	Page 18-20
B. Les Conversions	Page 20
1. Conversion A/D	Page 20-21
2. Conversion D/A	Page 21

CHAPITRE IV: FONCTIONNEMENT DE L'ENSEMBLE

A. Manipulations préliminaires	
1. Etalonnage du Capteur différentiel	Page 22-24
2. Tests sur le débitmètre	Page 25
3. Tests sur la carte d'interface	Page 25
B. Exemple d' expérience automatisée	
1. Les échantillons de sol	Page 25
2. Caractérisation de la manipulation	Page 25 à 26

CONCLUSION	Page 30
-------------------------	---------

BIBLIOGRAPHIE	Page 31
----------------------------	---------

TABLE DES FIGURES ET SCHEMAS	Page 32
---	---------

ANNEXES	Page 1A-17A
----------------------	-------------

Annexe 1. Le programme d'automatisation	Page 1A-10A
---	-------------

Annexe 2. Le projet européen	Page 11A-12A
------------------------------------	--------------

Annexe 3. Le débitmètre régulateur	Page 13A-16A
--	--------------

Annexe 4 : La carte d'acquisition	page 17A-19A
---	--------------

Table des figures de l'annexe	Page 20A
-------------------------------------	----------

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

A- INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

1- SON HISTOIRE

L'Institut National de la Recherche Agronomique (I.N.R.A.) a été créé en 1946; sa création a permis de rassembler différents laboratoires de recherche. De nombreux décrets ministériels ont entraîné progressivement une modification de son organisation et un élargissement de ses recherches.

Depuis le 14 décembre 1984, l' I.N.R.A. est un Etablissement Public national à caractère Scientifique et Technologique (E.P.S.T) placé actuellement sous la tutelle du ministère de l'Agriculture et de la forêt, et du ministère de la recherche et de la technologie.

2- SON ORGANISATION

La direction générale est assurée par le Président Directeur Général assisté de deux directeurs généraux adjoints, l'un chargé des questions scientifiques, l'autre des questions administratives et financières. Deux instances leur apportent leur concours:

- le Conseil d'Administration examine et approuve la gestion de l'Institut et définit les orientations générales;
- le Conseil Scientifique suit l'organisation scientifique de l'Institut, le contenu et l'exécution des programmes de recherches.

3- SES MISSIONS

L'I.N.R.A. mène les recherches scientifiques intéressant l'agriculture et les industries qui lui sont rattachées. Il contribue à l'élaboration de la politique nationale de recherche. Il publie et diffuse les résultats de ses travaux. Il participe à la valorisation de ses recherches et effectue des expertises scientifiques.

Les missions de l'I.N.R.A. sont les suivantes:

- l' inventaire des ressources du milieu physique (sol, microclimat, réserves hydriques) et l'étude de leur exploitation;
- l' amélioration des productions végétales et animales;

- la conservation et la transformation des produits agricoles en produits alimentaires (amélioration de la qualité et adaptation à la demande);
- la protection, la sauvegarde et la gestion rationnelle des ressources naturelles et de l'espace rural.

4- SES MOYENS

Les recherches et les expériences sont menées au sein d'unités regroupées en 26 départements correspondant à des disciplines scientifiques différentes.

L'implantation de ces unités se répartit, en France en 22 centres de recherches suivants la figure n° 1.

L'I.N.R.A. dispose - d'un potentiel humain de 8200 personnes dont:

- 1600 scientifiques
 - 1600 ingénieurs
 - 5000 techniciens, administratifs
- d'un budget de 2.2 milliards de francs (86% de l'état et 14% des ressources propres).

B- LE CENTRE DE RECHERCHES D'AVIGNON

1- LE DOMAINE SAINT-PAUL

Le centre de recherche d'Avignon a été créé en 1953 sur le domaine Saint-Paul, s'est étendu au domaine Saint-Maurice en 1957, aux recherches forestières en 1965 et au domaine des Vignères en 1976.

Situé au coeur d'une région d'intense production agricole, il oriente ses recherches vers l'amélioration, la protection et la valorisation des recherches légumières et fruitières.

Le centre s'étend autour d'Avignon-Montfavet sur 60 hectares, comprenant 23 stations, services ou unités et emploie 500 personnes.

Le domaine Saint Paul abrite 12 stations de recherche (Agronomie, Bioclimatologie, Recherches fruitières Méditerranéennes, Sciences du sol ...)

2- L'UNITE DE SCIENCE DU SOL

La station a pour mission d'acquérir des connaissances scientifiques nécessaires pour assurer l'utilisation optimale, l'amélioration et la conservation des ressources du sol. Elle s'oriente vers ces cinq thèmes: sol et végétation - population microbienne - eau - paysages - cycles des éléments et espèces chimiques -.

Ses recherches sont les suivantes:

- "transfert" de masse et de chaleur dans le sol;
- "espace poral et structure du sol";
- "interaction physique entre le sol et les organes vivants souterrains";
- "télé-détection".



Figure 1 : Implantation de l'INRA en France.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La transformation d'une grande quantité d'éléments dans le sol est le résultat de l'activité des micro-organismes. Leur métabolisme est varié. Certains sont adaptés à une vie strictement aérobie, d'autres à une vie strictement anaérobie. Enfin, certains peuvent s'adapter aux deux types de conditions : ce sont des aérobies facultatifs.

Dans ce cadre là, il est intéressant de connaître la nature des micro-organismes présents dans un sol et leur mode de fonctionnement. Aussi, l'unité de Science du Sol d'Avignon a-t-elle développé des programmes relatifs à l'aération des sols. Dans le passé, elle a fait l'hypothèse que la diffusion était le mécanisme de transfert prépondérant pour l'oxygène. Aujourd'hui, dans le cadre d'un projet européen, l'associant à une unité de Micro-biologie des Sols (I.N.R.A. de Dijon) et à deux partenaires étrangers, elle s'intéresse aux mouvements convectifs de l'air dans le sol et aux conséquences qu'ils peuvent avoir sur son aération. Une des finalités de ce programme est de mieux comprendre les mécanismes de transfert et de dégradation des pesticides, afin de protéger les nappes souterraines.

Notre travail s'est inclus dans ce projet de recherche (cf. annexe). Il a consisté en la mise au point d'un dispositif de mesure servant à l'estimation de la perméabilité à l'air des sols. A cet effet, nous avons utilisé un débitmètre régulateur et un capteur de pression différentielle de grande précision. Notre démarche a été d'organiser, de mettre en place un dispositif expérimental et, pour finir, l'automatiser à l'aide d'un micro-ordinateur et d'un interface , cela dans le but d'alléger l'intervention humaine dans ce type d'expérimentation.

CHAPITRE I: ELEMENTS THEORIQUES

CHAPITRE I: ELEMENTS THEORIQUES

A- INTRODUCTION

La compréhension des processus de transferts gazeux dans le sol nous renseigne sur:

- les échanges d'oxygène et de gaz carbonique entre le sol et l'atmosphère (en relation avec la germination des semences, les racines et la microbiologie des sols);
- les transformations chimiques dépendant de l'état d'oxydation du sol;
- les mouvements de produits chimiques volatils (certains engrais et certains pesticides).

Deux processus sont classiquement évoqués: la diffusion et la convection. Ce dernier a toujours été négligé dans les études portant sur les transferts de gaz dans les sols.

B-LES TRANSFERTS PAR DIFFUSION

Il s'agit du transfert spécifique d'un gaz lié généralement à l'existence d'un gradient de concentration de ce gaz dans le milieu. Sa description se fait souvent à l'aide de la loi empirique de FICK. Celle-ci exprime la relation entre le flux du gaz considéré et son gradient de concentration dans le milieu.

Elle fait intervenir un coefficient de diffusion D_a ($m^2 s^{-1}$) assimilable à une conductivité.

Elle s'écrit sous la forme:

$$\phi = -D_a \frac{\partial C}{\partial z}$$

avec:

D_a : coefficient de diffusion gazeuse;

C: concentration gazeuse;

ϕ : flux moléculaire.

C- LES MOUVEMENTS DE CONVECTION

Il s'agit de mouvements intéressant l'ensemble des gaz présents et liés à l'existence d'un gradient de pression global .

La loi de Darcy décrit ce processus: elle relie la vitesse apparente de l'air dans un sol à son gradient de pression.

$$V_z = -\frac{k}{\eta} \frac{\partial P}{\partial z}$$

- avec:
- k: perméabilité intrinsèque du matériau;
 - η : viscosité de l'air (dépend de la température);
 - $\frac{\partial P}{\partial z}$: gradient de pression ;
 - V_z : vitesse apparente du gaz qui traverse une section du sol.

Les chercheurs ont généralement admis que ces mouvements étaient négligeables. Pourtant, certains hydrogéologues qui recherchent des sites de forages dans des milieux cristallins par les méthodes de comptage de Radon montrent que la prise en compte de ce processus est capital pour leurs études. En effet, l'émission de radon est plus importante dans les zones cristallo fissurées. Sa cartographie, à une profondeur donnée dans le sol peut nous renseigner sur leur localisation mais les variations de pression atmosphériques perturbent le signal.

Nous voulons donc savoir si les mouvements d'air ont une importance dans l'aération des sols. C'est pourquoi il est important de déterminer leur perméabilité à l'air. Elle varie principalement avec:

- la teneur en eau du sol (qui ralentit le transfert de gaz);
- la densité du sol.

D- UN EXEMPLE D'APPLICATION

Si l'on considère un volume de sol donné, on peut admettre qu'il y a égalité entre les entrées diminuées des sorties et la variation de stock (loi de conservation de la masse):

$$\Delta \text{stock} = \text{Entrées} - \text{Sorties} \quad (+ \text{ Créations} - \text{ Pertes})$$

Pour les transferts convectifs d'air dans un sol, cette égalité se traduit par l'équation différentielle suivante:

$$\varepsilon \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{k}{\eta} P_0 \frac{\partial^2 P}{\partial z^2}$$

Dans la suite, on traite le cas où la pression atmosphérique à la surface du sol varie de façon sinusoïdale.

$$P = P_0 + \frac{\Delta P}{2} \sin(\omega t) \quad \text{pour } z=0 \text{ (surface du sol)}$$

On admet par ailleurs que la pression est invariable à une profondeur infinie.

$$P = P_0 \quad \text{pour } z = \infty \text{ quelque soit } t$$

On obtient alors la solution générale suivante:

$$P(z, t) = \frac{\Delta P_m}{z} \times \exp\left(-z \sqrt{\frac{\omega}{2kP_0}}\right) \left[\cos\left(\omega t - z \sqrt{\frac{\omega}{2kP_0}}\right) \right] + P_0$$

- Quand la cote z augmente:
- l'amplitude de l'onde diminue
 - le déphasage par rapport à la distribution de la surface varie en augmentant

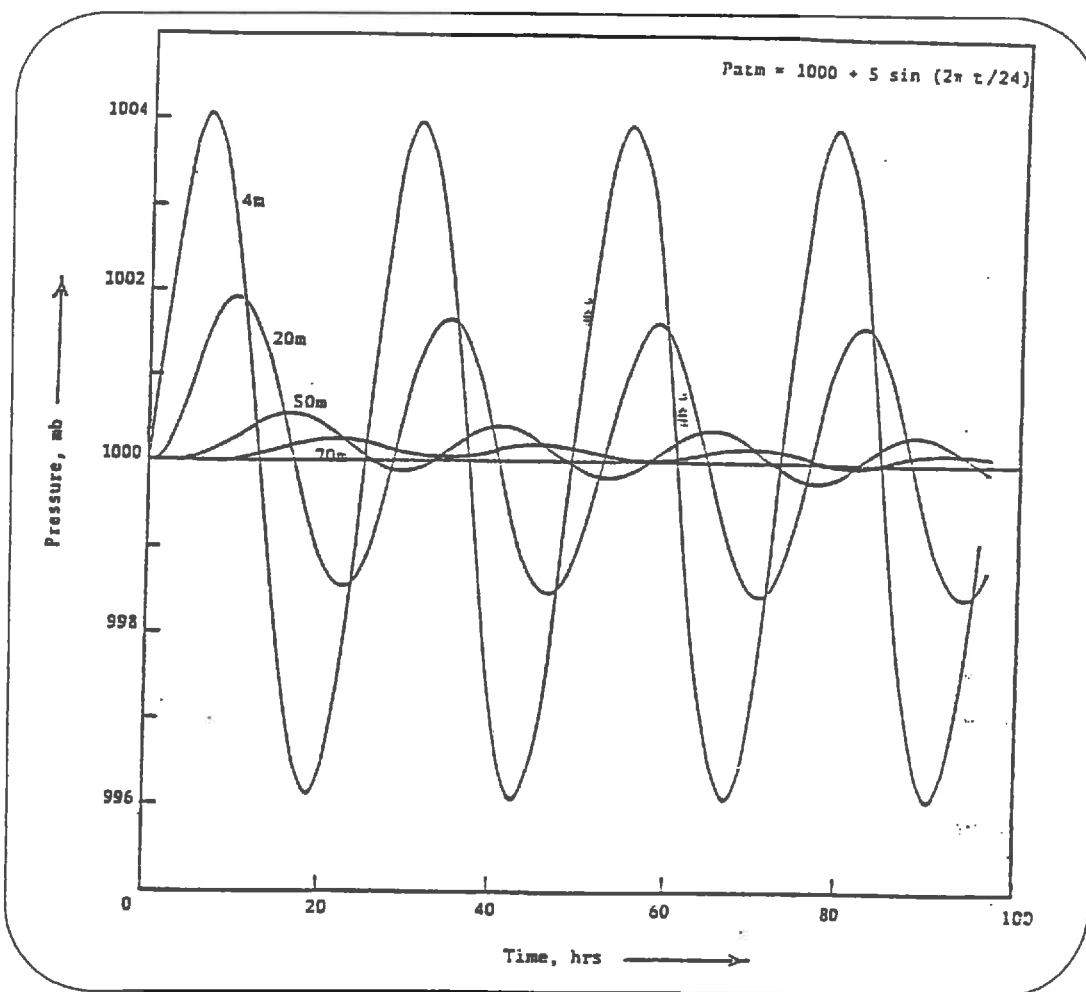


figure 2: Variation de pression de gaz à plusieurs profondeurs

CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODE

CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES

A- PRINCIPE DE LA MANIPULATION

On dispose d'un échantillon de terre à analyser, que l'on place au centre d'une cellule étanche, d'un débitmètre régulateur pour imposer des débits à l'entrée de la cellule et d'un capteur différentiel pour mesurer la pression de part et d'autre des faces de l'échantillon.

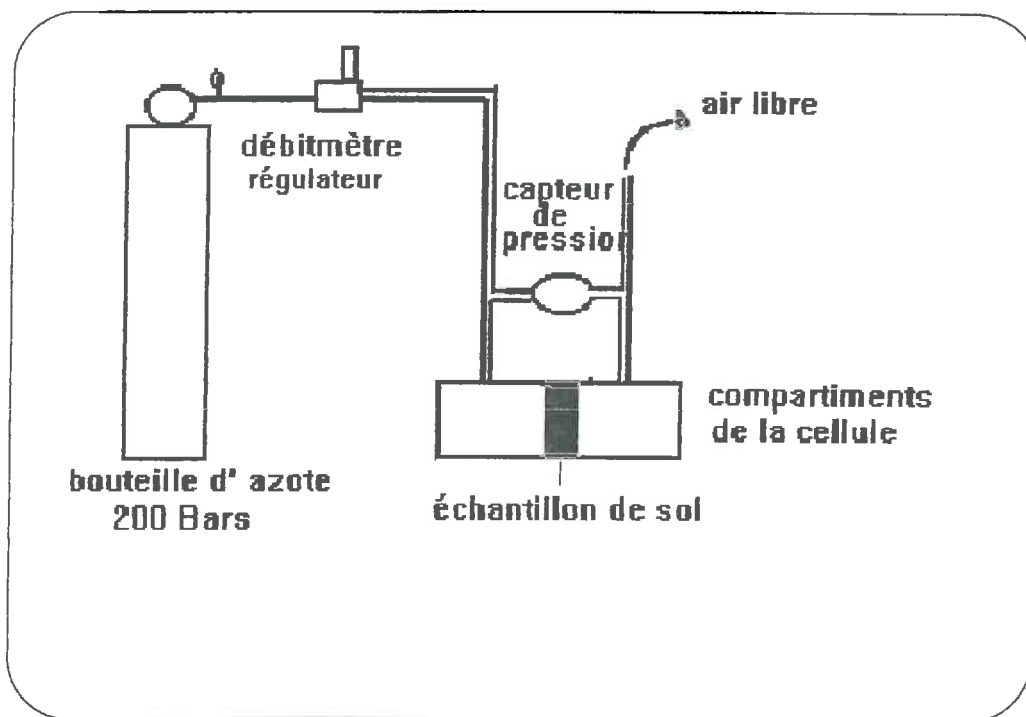


figure 3 : principe de la manipulation

Ce dispositif nous permet d'imposer plusieurs débits auxquels sont associés une différence de pression qui peut être mesurée. La relation qui existe entre les débits et les différences de pression nous permet de vérifier la loi de Darcy (droite linéaire) dans son domaine de validité et de calculer une perméabilité du sol à l'air dans ce domaine.

B- LES APPAREILS

1- LE DEBITMETRE REGULATEUR

a- principe

Il a pour fonction la mesure précise et le réglage rapide du débit du gaz considéré.

Il est constitué de 3 unités: - un capteur de débit;
- une vanne de réglage;
- un système électronique de commande intégré.

Le principe de mesure de débit repose sur les propriétés thermiques des gaz, qui mettent en relation le débit massique du gaz et ses capacités thermiques.

Il est alimenté par une tension de consigne variant de 0 à 5 Volts, que l'on peut faire imposer de l'extérieur, la réponse en tension du régulateur varie aussi de 0 à 5 Volts.

b- branchements

- de gaz

Les raccords d'entrées et de sorties sont des raccords à compression sur tube 1/4".

- électrique

Le débitmètre est équipé d'un connecteur trapézoïdal type D à 15 connecteurs raccordé à un câble rond blindé.

affectation des contacts du connecteur

broche 1: masse consigne	broche 2: signal de sortie 0 - 5 V
broche 3: commun vanne	broche 4: non connectée
broche 5: entrée +15Vcc	broche 6: entrée -15Vcc
broche 7: non connectée	broche 8: entrée potentiomètre 0 - 5 V
broche 9: commun	broche 10: masse signal
broche 11: sortie référence 5 V	broche 12: non connectée
broche 13: alimentation vanne +15 Vcc	
broche 14: non connecté	broche 15: masse mécanique

Les communs sont reliés ensemble.

L'alimentation de consigne du débitmètre peut-être commandée par ordinateur.

L'alimentation +/-15 Volts a du être achetée, elle devait répondre aux critères suivants:

- intensité de 30 mA au moins;
- ondulation résiduelle maximale de 7 mV crête à crête.

Le choix s'est portée sur une alimentation pour circuit intégré débitant un courant maximal de 100 mA et dont le taux d'ondulation maximum est de 10 mV crête à crête. Le taux d'ondulation semble acceptable d'après le représentant commercial pour l'appareil malgré les recommandations du dossier technique.

c- l'étalonnage

Par manque de matériel adapté aux besoins de l'expérience , nous avons conservé l'étalonnage initial, donné par le fabricant (cf. annexe).

Le principe de l'étalonnage repose sur la mesure d'un temps de passage du gaz dans le débitmètre pour remplir un volume donné (ici 10 cm^3) en fonction d'une tension de consigne variable.

2-LE CAPTEUR DIFFERENTIEL

a - principe

Il a pour fonction la mesure d'une pression différentielle dans une gamme de pression très faible, de 0 à 140 mBars.

Son fonctionnement repose sur un principe piézorésistif. Sa membrane en silicium est très sensible aux variations de pression. Elle est directement reliée à un pont de jauges obtenu par dopage, qui traduit les contraintes mécaniques en un signal électrique.

Normalement, une compensation en température de 0° à 50°C est réalisée. Dans la pratique, nous tiendrons compte des variations de température pour les étalonnages.

b- branchements.

Le capteur est alimenté en 1.5 mA. Pour cela, il a fallu concevoir une alimentation débitant ce courant. La station possédant une alimentation stabilisée de 5mA, il a suffi de mettre en sortie de l'alimentation un potentiomètre en série pour faire chuter ce courant.

Le capteur a une réponse en tension qui varie de 0 à 30mV, il faut donc amplifier la sortie. L'alimentation prêtée par la station possède une sortie amplifiée de gain 16. La carte utilisée pour la programmation possède des entrées amplifiées. En programmant une entrée avec un gain de 8, la réponse du capteur variera de 0 à 4.8 V.

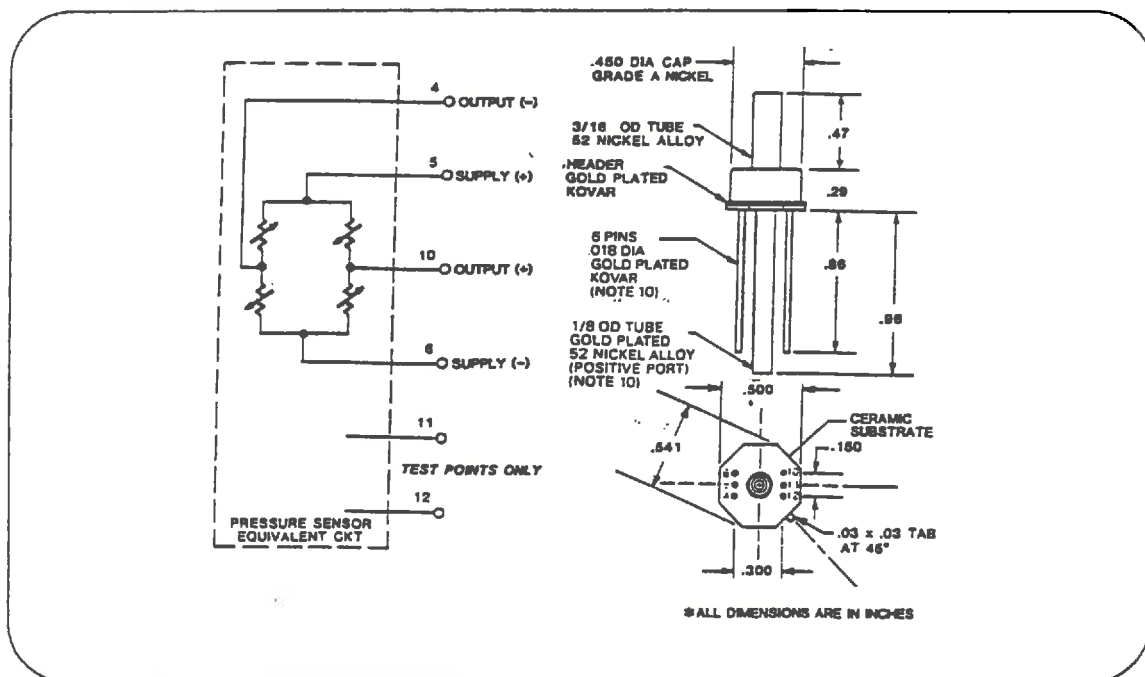


figure 4 : Connections et dimensions (pouces) du capteur

Les connexions du capteur sont de faibles pattes en or, les soudures faites pour les branchements exercent des contraintes directement à la membrane quand elles se refroidissent et contribuent à augmenter la dérive thermique. Aussi avons nous utilisé des fils mous et avons nous fait des soudures très petites. Pour ne pas imposer au corps d'épreuve d'autres contraintes, nous avons utilisé une carte électronique faisant la liaison entre l'alimentation et les connexions du capteur. Le capteur est inséré dans un trou au centre de cette carte et l'ensemble est placé dans un boîtier de protection. Aux deux extrémités du capteur, sont fixés des tubes en caoutchouc raccordés aux entrées et sorties des deux compartiments de la cellule. Les connexions entre la carte et l'alimentation sont faites avec du câble blindé 4 fils (entrées + et - , sorties amplifiées + et -).

c- L'étalonnage

- Première méthode

A une date t , on procède à un étalonnage du capteur, selon un principe schématisé sur la figure 4 .

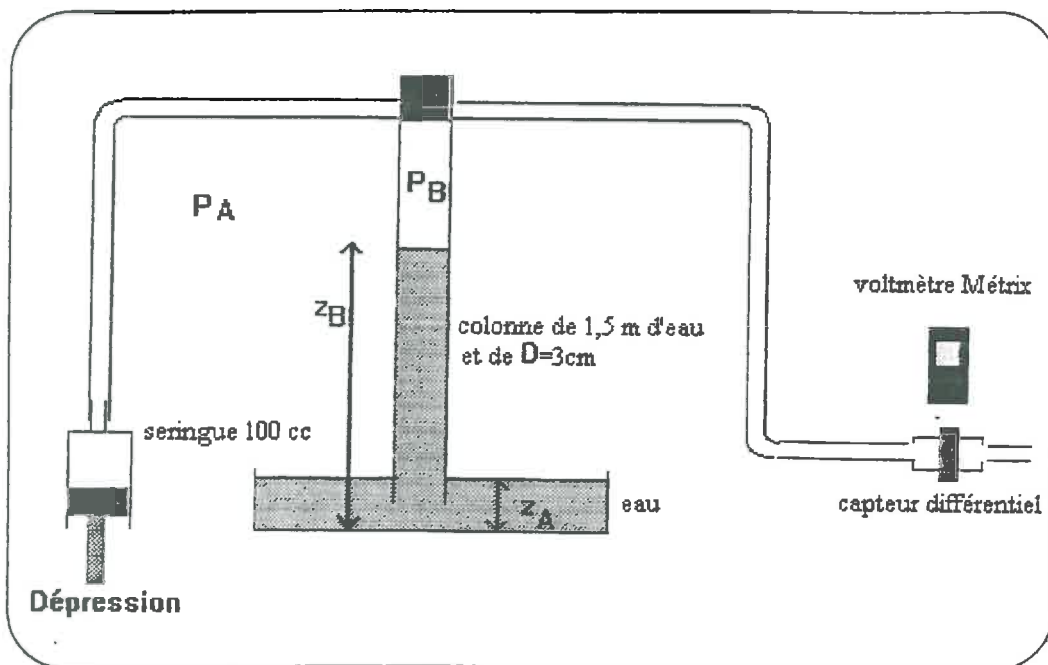


figure 5 : montage de l'étalonnage

Le montage ainsi fait, une dépression est imposée au système, grâce à l'utilisation d'une seringue de 100cc. Le niveau de l'eau dans le tube varie. Cette variation est mesurée en faisant deux visées de ménisque avec un cathétomètre de précision 0.01mm dont le principe est identique à celui du pied à coulisse.

D'après la loi de Bernouilli qui régie le phénomène hydrostatique, nous avons les égalités suivantes:

$$P_A + \rho g z_A = P_B + \rho g z_B$$

P_A : pression atmosphérique

$(z_B - z_A)$: hauteur d'eau (m)

$$P_A - P_B = \rho g (z_B - z_A)$$

$\rho g = 9810$

$P_A - P_B$: pression en Pa

La connaissance de la variation de hauteur d'eau dans le tube nous permet de déterminer la pression imposée au capteur . A l'aide d'un multimètre Metrix, on note la réponse en tension du capteur différentiel, amplifiée par la sortie de l'alimentation (comme décrit précédemment).

Nous nous heurtons à des difficultés incontournables:

- des fuite d'air importante dans le système d'expérience;
- de l'évaporation dans le récipient;
- la difficulté d'interpréter les hauteurs de ménisques (2 tubes de diamètres différents);
- l'impossibilité de créer une surpression.

Ne pouvant pas remédier à tous ces problèmes, nous avons préféré changer de système d'expérimentation.

- Deuxième méthode

Nous utilisons cette fois un manomètre différentiel dont le diamètre interne du tube est beaucoup plus faible que le précédent ($\phi=8\text{mm}$). Le principe de l'étalonnage est identique au précédent ,il est schématisé sur la figure 5.

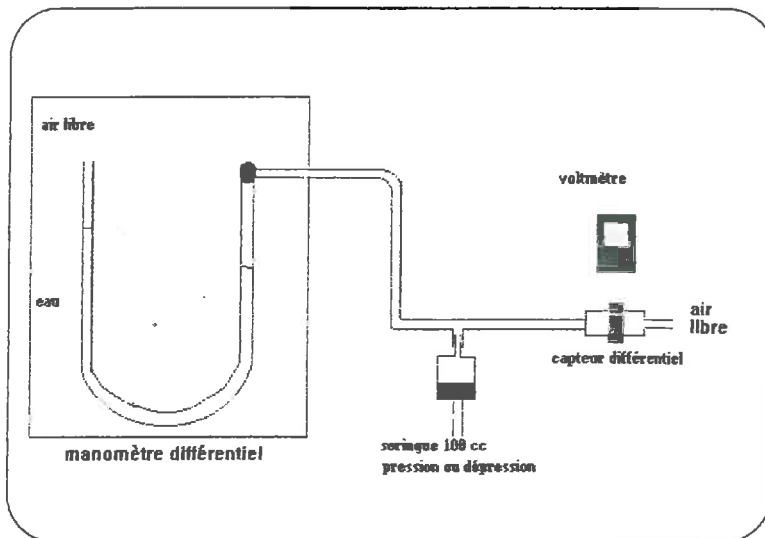


figure 6 : schéma de l'étalonnage

C- AUTOMATISATION

1- ENONCE DU PROBLEME

La mesure de la perméabilité à l'air des sols nécessite d'imposer un débit et de mesurer une pression différentielle qui lui est associé.

Cette méthode passe par la résolution de deux problèmes:

- la limite de validité de la loi de Darcy, car pour être sûr de se trouver dans le domaine de linéarité de la relation entre ϕ et P , il est nécessaire d'avoir plusieurs couples (ϕ , P);
- la connaissance de la mise en équilibre progressive du système quand on impose un débit.

En effet, nous avons montré expérimentalement que l'équilibre de la pression différentielle mesurée de part et d'autre de l'échantillon n'est pas obtenue tout de suite, dès l'envoi d'un débit à l'entrée de la cellule. La mesure varie au cours du temps et ne se stabilise qu'au bout d'intervalles qui diffèrent selon les débits envoyés. L'acquisition de mesures au bout de temps réguliers, et le traitement de ses données paraît donc indispensable.

D'où, l'introduction de l'automatique.

2- RESOLUTION DU PROBLEME

L'automatisation de ce dispositif va permettre de recueillir des données nécessaires et d'imposer des débits. Elle se fera de façon externe par l'intermédiaire d'un ordinateur et d'une interface.

a- l'ordinateur

L'ordinateur utilisé pour l'automatisation de l'ensemble est un R.D.I de type 80286, avec disque dur.

b- liaison entre les appareils de mesure et l'ordinateur: l'interface

La liaison est réalisée au moyen d'une carte d'interface, permettant d'envoyer des tensions de consigne vers les appareils de mesures et d'en recueillir les réponses en tension.

L'achat d'une telle carte d'entrée / sortie a dû être envisagée, plutôt que la conception de convertisseurs du fait de son bas prix.

Elle devait posséder:

- 2 entrées analogiques / digitales pour recevoir la réponse du capteur et la tension de référence du débitmètre;
- 1 sortie digitale / analogique pour envoyer la tension de consigne au débitmètre;
- 1 amplificateur de signal à gain variable, pour augmenter la réponse du capteur;
- une grande résolution pour la conversion A/D.

Présentation de la carte

Mon choix s'est porté sur une carte AX5411 de chez Bielec, qui possède:

- 16 entrées analogiques (12 bits);
- 8 entrées digitales;
- 8 sorties digitales;
- 2 sorties indépendantes D/A;
- 1 source PC +5 V et +12 V;
- 1 source de gamme ± 12 V et ± 5 V;
- entrées à gain programmable 1, 2, 4, 8, 16.

Ses connections

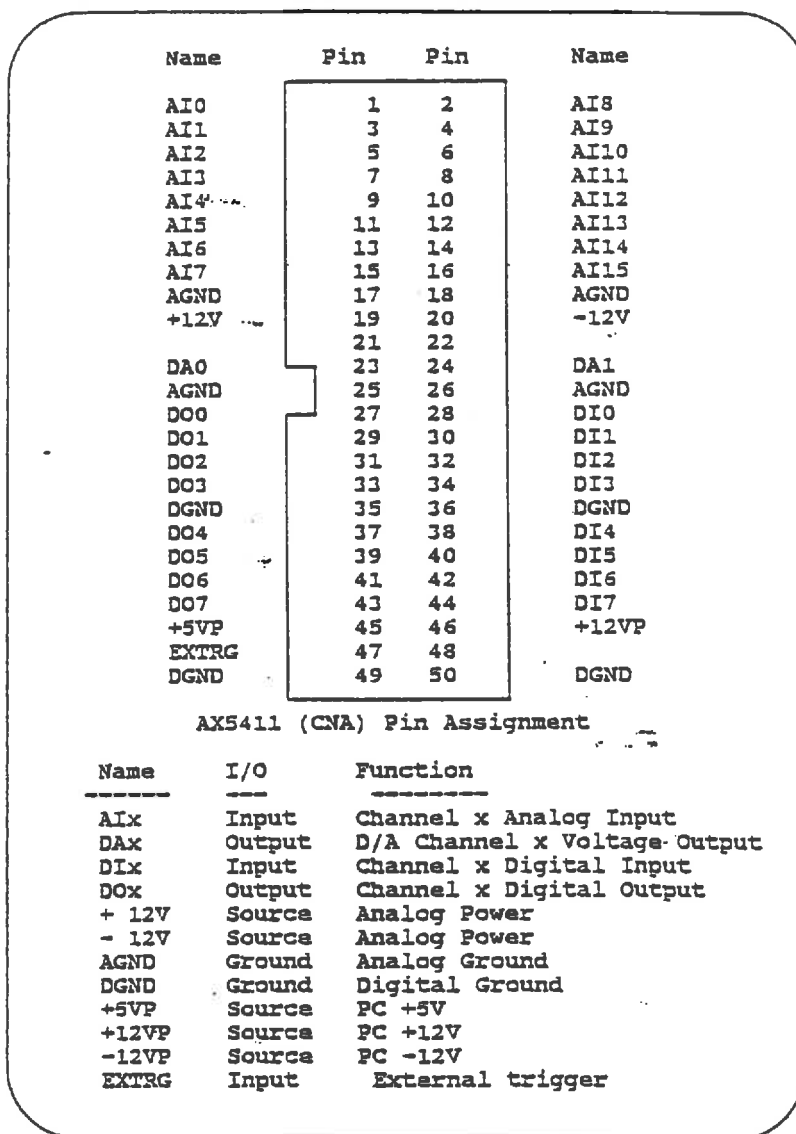


figure 7 : connections de la carte

Les adresses

La carte possède plusieurs adresses de base, selon que l'on choisit:

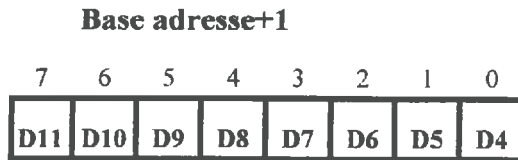
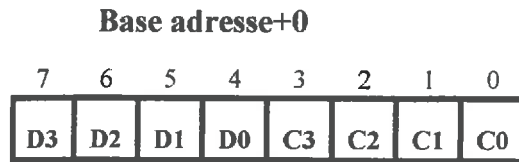
- le calibre pleine échelle des sorties;
- le calibre pleine échelle du D/A.

L'adresse de base est sélectionnable par des positions d'interrupteurs qui se trouvent sur la carte. Pour notre travail, l'adresse de base choisie est l'adresse H300-H30F. Il existe 15 autres adresses directement déductibles de l'adresse de base qui ont pour fonction de commander les entrées et sorties de la carte.

<u>Location</u>	<u>Function</u>	<u>Type</u>
Base address + 0	A/D Low byte Start A/D	R W
+ 1	A/D High byte Gain Control	R W
+ 2	Mux. scan control	R/W
+ 3	Digital In Digital Out	R W
+ 4	D/A 0 Output Low byte	W
+ 5	D/A 0 Output High byte	W
+ 6	D/A 1 Output Low byte	W
+ 7	D/A 1 Output High byte	W
+ 8	AX5411 Status Clear interrupt	R W
+ 9	AX5411 Control	R/W
+ 10	Digital Input Low byte Digital Output Low byte	R W
+ 11	Digital Input High byte Digital Output High byte	R W
+ 12	8253 Counter 0	R/W
+ 13	8253 Counter 1	R/W
+ 14	8253 Counter 2	R/W
+ 15	8253 Counter Control	W

figure 8 : adresses de la carte (R= read , W= write)

Exemples:



Base adresse + 0

Bits 0 - 3 C0 à C3 spécifie le n° de la voie d'entrée de l'A/D convertisseur.

Bits 4 - 7 D0 à D3 récupère la valeur digitale convertie de la tension d'entrée se trouvant sur la voie indiquée précédemment, sur les 4 derniers bits de l'octet bas.

Base adresse + 1

Bits 0 à 7 D0 à D7 récupère la valeur convertie de l'entrée spécifiée sur l'octet de poids fort.

La valeur codée sera obtenue selon : $(\text{base}+0 - \text{n}^\circ \text{ canal})+16* (\text{base}+1)$

c- programmation de la carte

La carte se programme avec des ordres simples INP et OUT, pour envoyer et récupérer des données.

Présentation de quelques exemples:

- l'envoi d'une donnée est réalisée grâce aux ordres suivants:

OUT (adresse), valeur

Pour configurer une entrée A/D sur la voie 0, sachant que l'adresse des entrées analogiques est égale à base adresse +0 on pose:

OUT &H300, 0

- la récupération d'une donnée est réalisée suivant:

donnée=INP (adresse)

Pour récupérer la tension se trouvant sur l'entrée 1, on fera:

octet.bas=INP (&H300)
octet.haut=INP(&H301)

d- Le logiciel de pilotage

La programmation s'est faite en Q-BASIC (version 4.5) car ce langage répond parfaitement à nos besoins. En effet, il permet l'envoi et la réception de données, la gestion du temps et la présentation de résultats sous la forme de tableaux.

Le programme de pilotage se décompose en un programme principal et plusieurs sous-programmes.

e- Le dispositif final

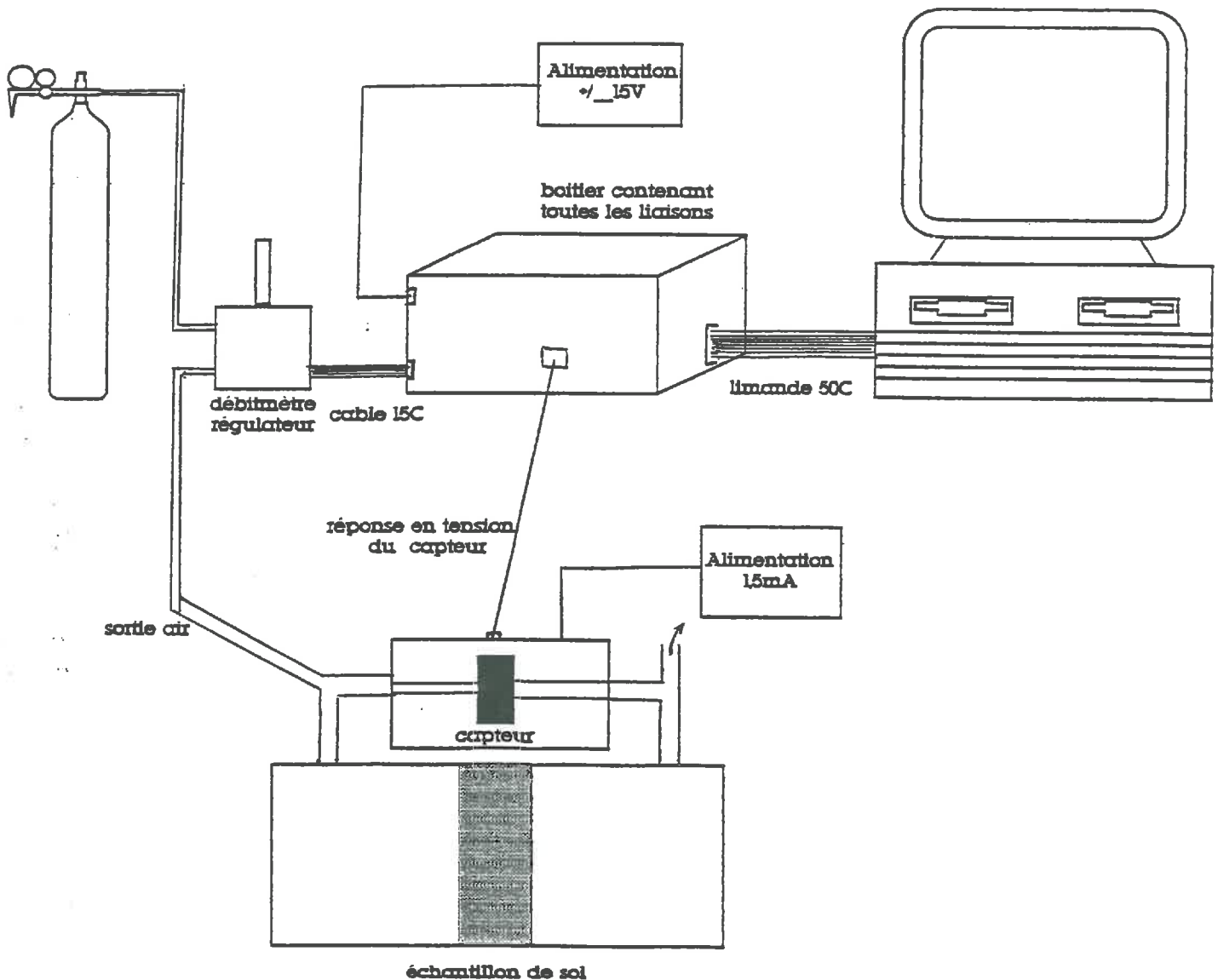


figure 9 : Présentation du schéma final

CHAPITRE III: LE LOGICIEL DE PILOTAGE

CHAPITRE III:LE LOGICIEL DE PILOTAGE

A- ORGANISATION DU PROGRAMME

L'organigramme du programme d'automatisation du dispositif expérimental est présenté sur la figure 10.

Le programme se trouve en annexe.

1- présentation de la manipulation

- nom de l'utilisateur et date de l'expérience;
- caractéristiques de l'échantillon étudié;
- définition de la précision avec . nombres de mesures pour un même débit;
. temps séparant ces mesures;
. incertitude voulue.

2- écriture de ces données dans un fichier

3- définition des paramètres de l'expérience

- choix d'envoi de débits équidistants ou non;
 - . si oui: - choix du débit minimum;
 - choix du débit maximum;
 - nombre de débits à envoyer;
 - affichage des débits demandés;
- . si non: - nombre de débits à envoyer;
- écriture par l'utilisateur des débits.

4- acquisition des données relatives aux demandes de l'utilisateur

- envoi du 1^o débit (appel d'un sous programme qui convertit le débit en tension à envoyer);
- réception de la mesure de la pression différentielle (appel d'un sous programme qui convertit la tension reçue en une pression), plusieurs fois et à intervalles de temps réguliers définis par l'utilisateur;
- à partir de cette série de valeur, calcul de l'écart type;

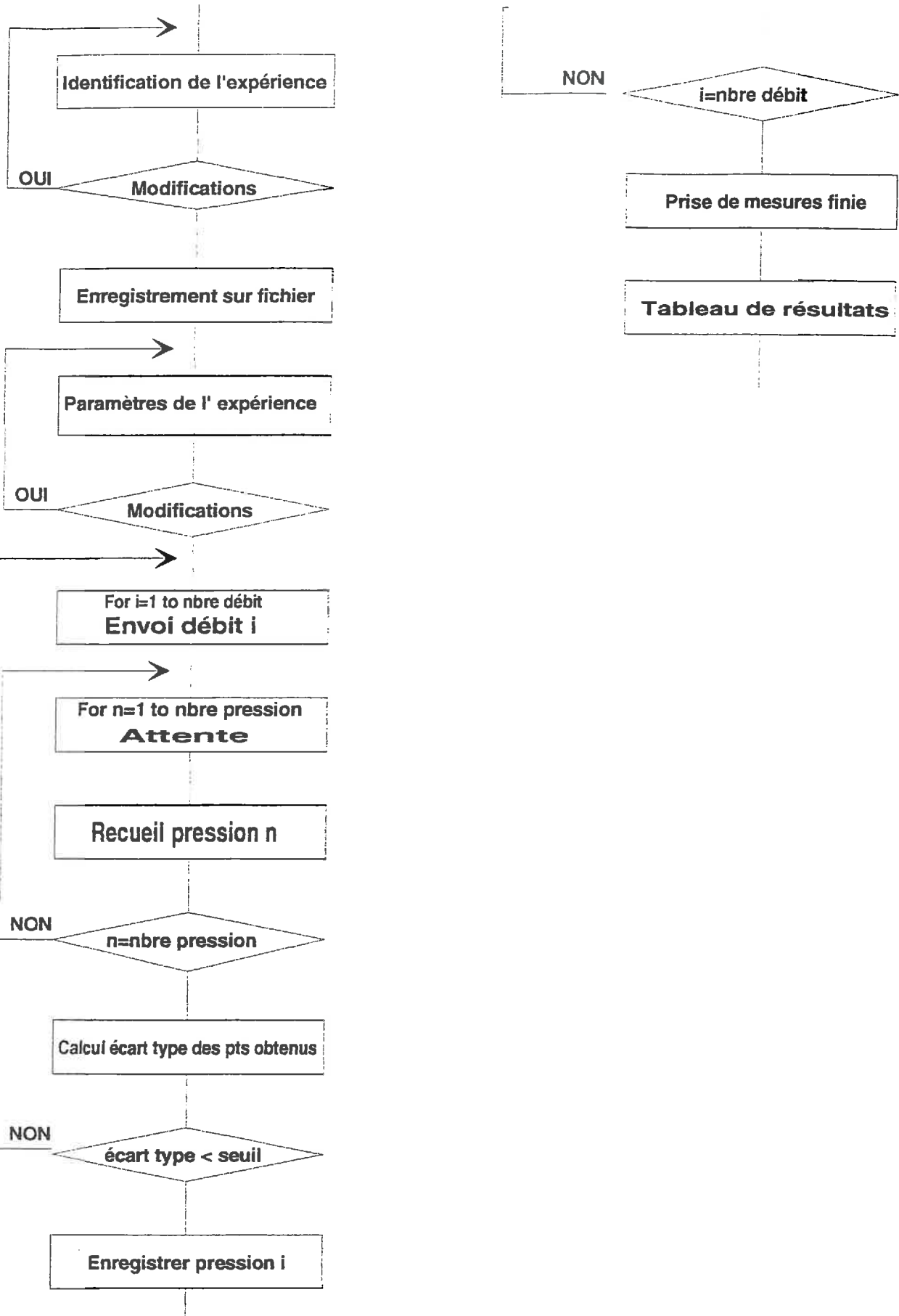


figure 10 : Organigramme du programme d'automatisation

- si l'écart type est inférieur au seuil demandé, alors enregistrement de la mesure de pression du premier débit, sinon refaire une série de mesure de pression pour le même débit;
- envoi du débit suivant et ainsi de suite;
- quand la série des débits est terminée, et les mesures de pression prises à l'équilibre, alors:

5- écriture de ces résultats sur un fichier

6- exploitation des résultats

- recherche de la validité de la loi de Darcy
- calcul de la pente par la méthode de régression linéaire entre ϕ et ΔP (ce calcul se fera sur un logiciel de calcul Quatro Pro, en prenant les résultats écrits sur fichier);

B- LES CONVERSIONS

1- CONVERSION A / D

L'envoi d'une tension de consigne au débitmètre nécessite l'utilisation d'un convertisseur Digital./ Analogique de résolution 12 bits.

Nous voulons envoyer une tension sur la sortie n° 0 de la carte d'entrée/sortie.

Il faut convertir cette tension en une valeur codée binaire équivalente.

range= 5
résolution= 2^{12}
offset= 0
quantum= (range / résolution)
valeur codée= (tension / quantum)

Sur l'octet haut, high= INT (valeur codée / 16)

Sur l'octet bas, low = (INT (valeur codée - high*16)*16)

L'instruction INT permet de prendre la partie entière du nombre se trouvant entre parenthèse.

Nous multiplions par 16 la valeur codée binaire de l'octet bas car elle doit se coder sur les 4 derniers bits de cet octet, les 4 premiers n'étant pas significatifs.

Il faut définir les adresses de la carte à utiliser.

adresse de base =&H300

adresse de l'adc de l'octet bas = adresse de base + 4

adresse de l'adc de l'octet haut = adresse de base +5

Il faut envoyer la tension de consigne sur la sortie de la carte.

OUT &H304, low
OUT &H305, high

2- CONVERSION D/A

La récupération d'une tension, dans notre cas la réponse en tension du capteur, nécessite l'utilisation d'un convertisseur Analogique / Digital de résolution 12 bits.

Nous voulons récupérer la réponse du capteur sur l'entrée n°0 de la carte d'entrée / sortie. Il nous faudra convertir la valeur codée binaire en une tension équivalente.

Pour cela nous devons procéder en plusieurs étapes:

Nous définissons les adresses de la carte:

- l'adresses de base: &H300;
 - l'adresse de l'octet bas sur lequel est recueilli la valeur binaire convertie:
&H300;
 - l'adresse de l'octet haut sur lequel est recueillie la valeur binaire convertie:
&H301;
 - l'adresse qui définit le gain programmable: &H301
- | | |
|------------|----------|
| gain de 1 | valeur 0 |
| gain de 2 | valeur 1 |
| gain de 4 | valeur 2 |
| gain de 8 | valeur 3 |
| gain de 16 | valeur 4 |
- l'adresse permettant de réactiver la conversion (clear interrupt): &H308;
 - l'adresse permettant de multiplexer les entrées: &H302.
n° voix * 16 + 16

Nous initialisons les adresses:

OUT &H301,3
OUT &H302,0
OUT &H308,1
OUT &H300,0

Nous récupérons les données sur les adresses correspondantes:

low= INP(&H300) 'sur l'octet bas
high= INP(&H301) 'sur l'octet haut

Il faut transformer la valeur de l'octet bas codée initialement sur les 4 derniers bits de l'octet, en une valeur (même code) codée sur les 4 premiers bits.

low =low/16

Ensuite connaissant les caractéristiques du convertisseur:

range =10
résolution = 4096
offset=5
valeur codée =high*16+ low
tension= (valeur codée*(range/résolution)-offset)

**CHAPITRE IV: FONCTIONNEMENT DE
L'ENSEMBLE**

CHAPITRE IV: FONCTIONNEMENT DE L'ENSEMBLE

A- MANIPULATIONS PRELIMINAIRES

1- ETALONNAGE DU CAPTEUR DIFFERENTIEL

Un premier étalonnage a été effectué selon la méthode présentée au chapitre précédent.

Un temps de chauffe du capteur de 4 heures a été nécessaire pour obtenir des résultats constants. Chaque fois que l'on a imposé une pression, il a fallu attendre la remise en température des tubes du manomètre.

Cette manipulation nous a permis de constater que le capteur avait une réponse linéaire de la forme:

$$\Delta P = aVs + b$$

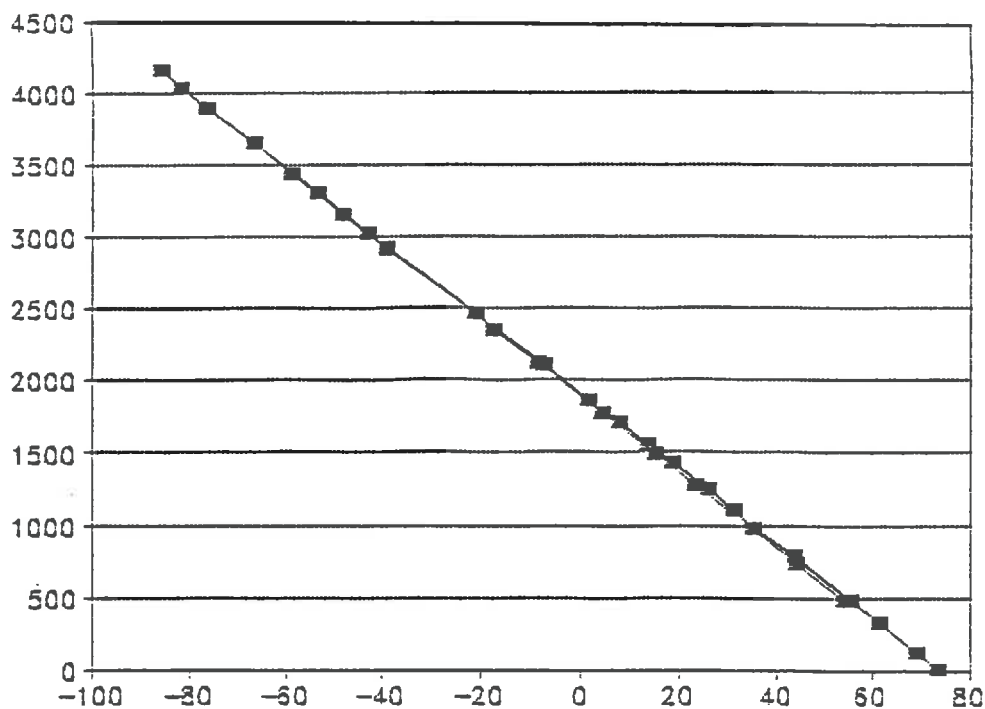


figure 11: étalonnage en pression et dépression à t° quelconque

Nous constatons que la réponse du capteur présente une hystérésis légère entre la pression est la dépression, aussi avons nous étudié la réponse en dissociant les deux cas.

Etalonnage d en pression

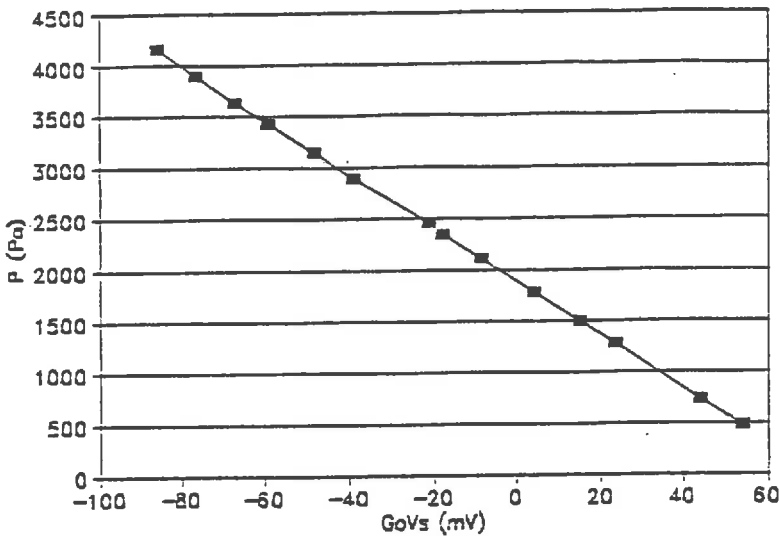


figure 12 : étalonnage en pression

Etalonnage d en dépression

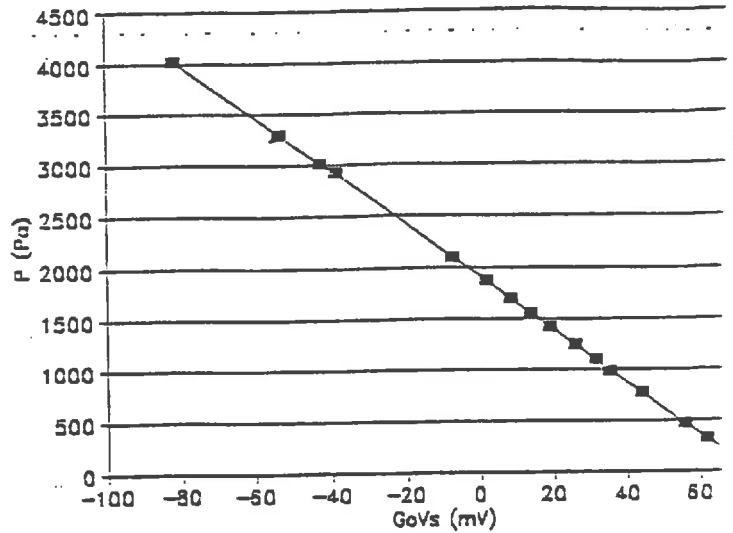


figure 13: étalonnage en dépression

Cependant, on a constaté que des effets externes modifient le comportement du capteur; aussi la formule de l'étalonnage s'écrit-elle:

$$\Delta P = aVs + b \quad \text{avec}$$

$$a = \alpha T + \alpha_0$$

$$b = \beta P + \beta_0$$

$$\Delta P = (\alpha T + \alpha_0)Vs + (\beta P + \beta_0)$$

$$\Delta P = \alpha TVs + \alpha_0 Vs + \beta P + \beta_0$$

Nous nous sommes mis dans un local climatisé, pour avoir une température d'expérience fixe, et nous avons entrepris un étalonnage pour $\Delta P=0$ à différentes températures. Nous avons obtenu une droite parfaite dont:

- l'écart type résiduel est de 1.34 Pa
- le coefficient de corrélation est de 0.999575
- les coordonnés de la courbe sont: $y=0.29x + 74.84$

Nous avons aussi pris des mesures de pression pour des températures différentes, et grâce à un logiciel de calcul, nous avons fait une régression multiple.

étalonnage en $t^{\circ}\Delta P=0$

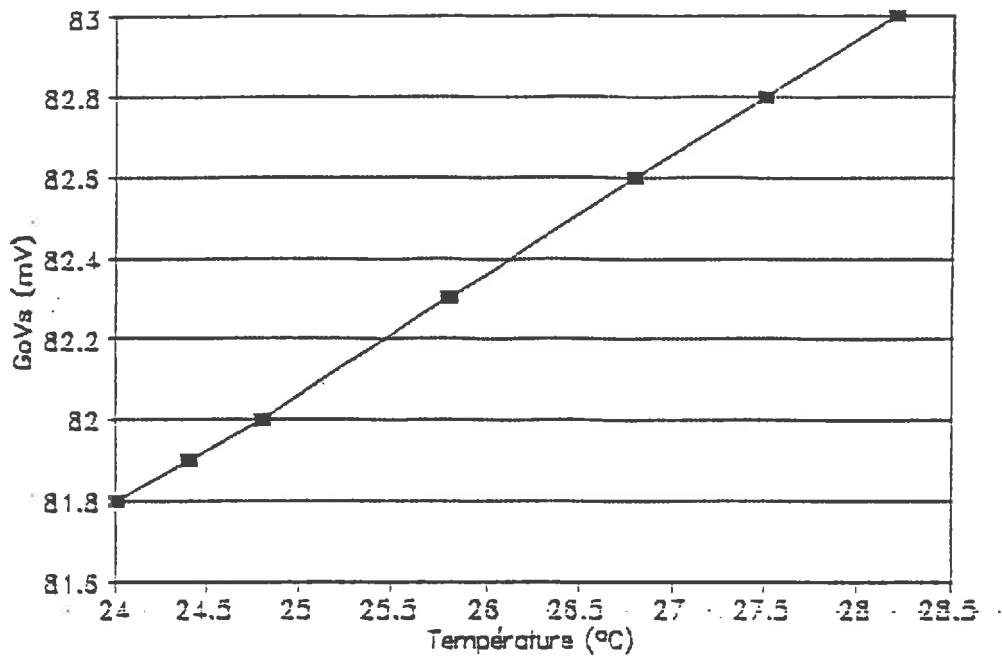


figure 14: étalonnage en température pour P=0

Si l'on traite séparément les données aux différentes températures étudiées, nous obtenons les régressions linéaires suivantes:

T°	ax	b	variance résiduelle
15,5	25,44	-2 046	10,38
18,5	25,63	-2 085	22,5
19	25,67	-2 081	11,17
20	25,66	-2 094	4,43
21	25,41	-2 041	5,51
23	25,75	-2 123	17,25

La régression multiple aboutit aux coefficients: $\alpha = 0.0509$

$$\alpha_0 = 24.6$$

$$\beta = -12$$

$$\beta_0 = -1860$$

avec un écart type de 6.3 Pa, c'est à dire une précision de l'ordre du dixième de mBar.

2- TEST SUR LE DEBITMETRE

Nous avons testé le bon fonctionnement du débitmètre régulateur, en envoyant une tension consigne comprise entre 0 et 5 Volts et en constatant la variation de débit avec le tuyau de sortie de l'appareil mis dans un récipient d'eau. Nous avons constaté que le câble de 15 connections était bien fait. Nous avons remarqué un temps de réponse du débitmètre de l'ordre de la seconde, décroissant quand le débit augmente.

3- TESTS SUR LA CARTE D'INTERFACE

Ces tests nous ont permis de vérifier le fonctionnement correct de la carte d'interface et surtout le bon adressage des entrées et sorties.

Nous avons utilisé une alimentation pour vérifier les entrées de la carte et un voltmètre pour vérifier les sorties de la carte.

B- EXEMPLE D'EXPERIENCE AUTOMATISEE

1- LES ECHANTILLONS DE SOL

Les échantillons de sol que l'on a étudié sont un mélange artificiel de sable et d'argile un béton cellulaire.

2- CARACTERISATION DE LA MANIPULATION

A une température fixe, on programme des débits variant de 10 à 100 cm³ /mn et l'on recueille les pressions différentielles correspondantes quand on a obtenu l'équilibre.

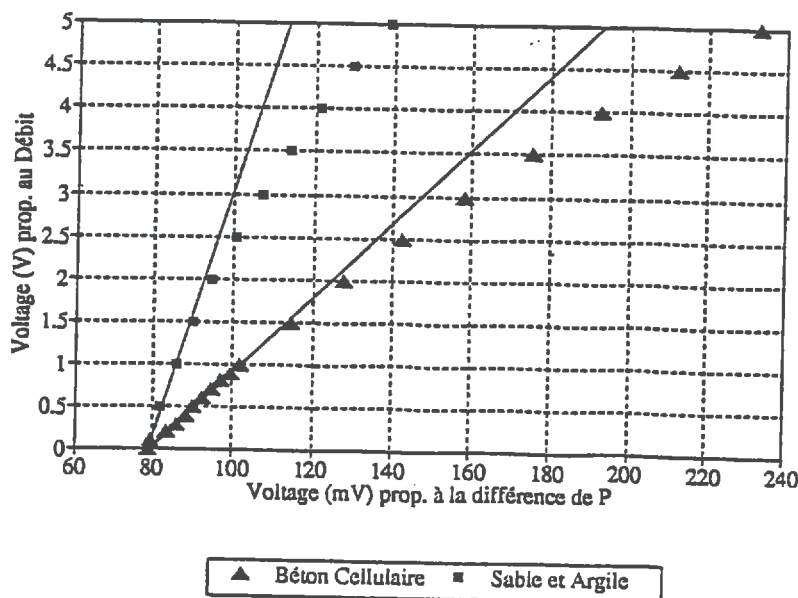


figure 15: Courbe débit= f (pression)

Nous n'obtenons pas de réponse linéaire, mais une courbe de forme parabolique qui est due aux limites de la loi de Darcy pour les forts débits (turbulence).
Aussi, avons nous pris des mesures précises avec de faibles débits.

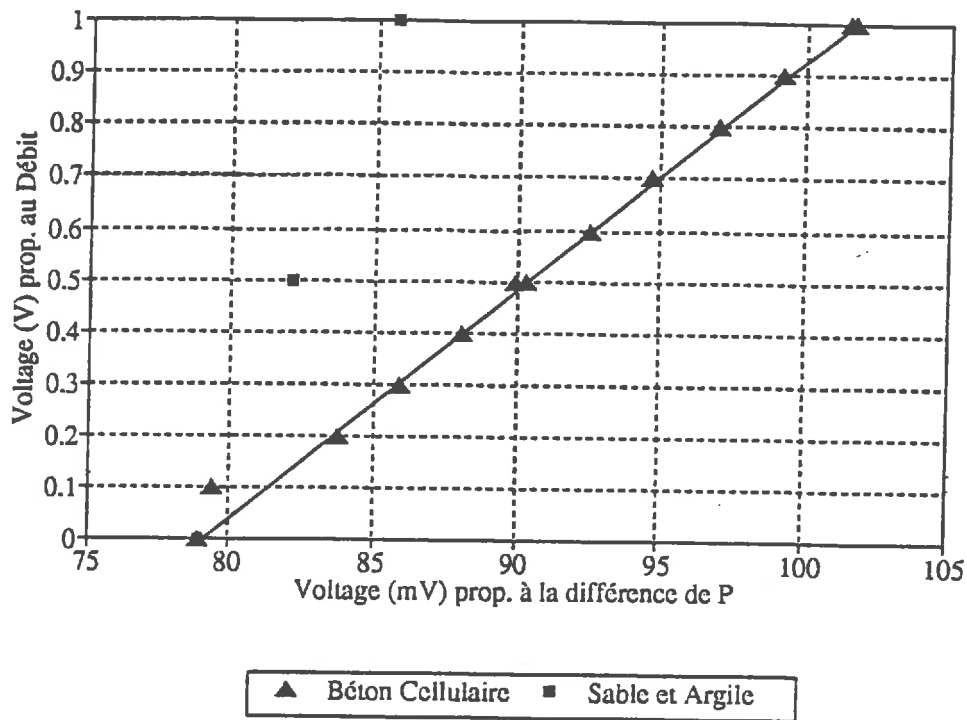


figure16 : courbe débit= f (pression)

Nous constatons que l'écoulement est laminaire pour les débits allant de 0 à 20 cm^3/mn pour le béton cellulaire, nous sommes dans la zone de validité de la loi de Darcy et nous pouvons calculer la perméabilité à l'air du béton. En revanche lorsque l'on dépasse le débit de 20 cm^3/mn , l'écoulement devient turbulent et aucune mesure ne peut être prise en compte.

Ces expériences nous ont permis de réaliser que la gamme du débitmètre ne correspondait pas aux besoins de l'expérience. Ces essais nous invitent à acheter un débitmètre de gamme inférieure à celui de l'expérience, c'est à dire une gamme de 0 à 20 cm^3/mn permettant de déterminer la perméabilité à l'air de l'échantillon sans risque de perturbation dans le système.

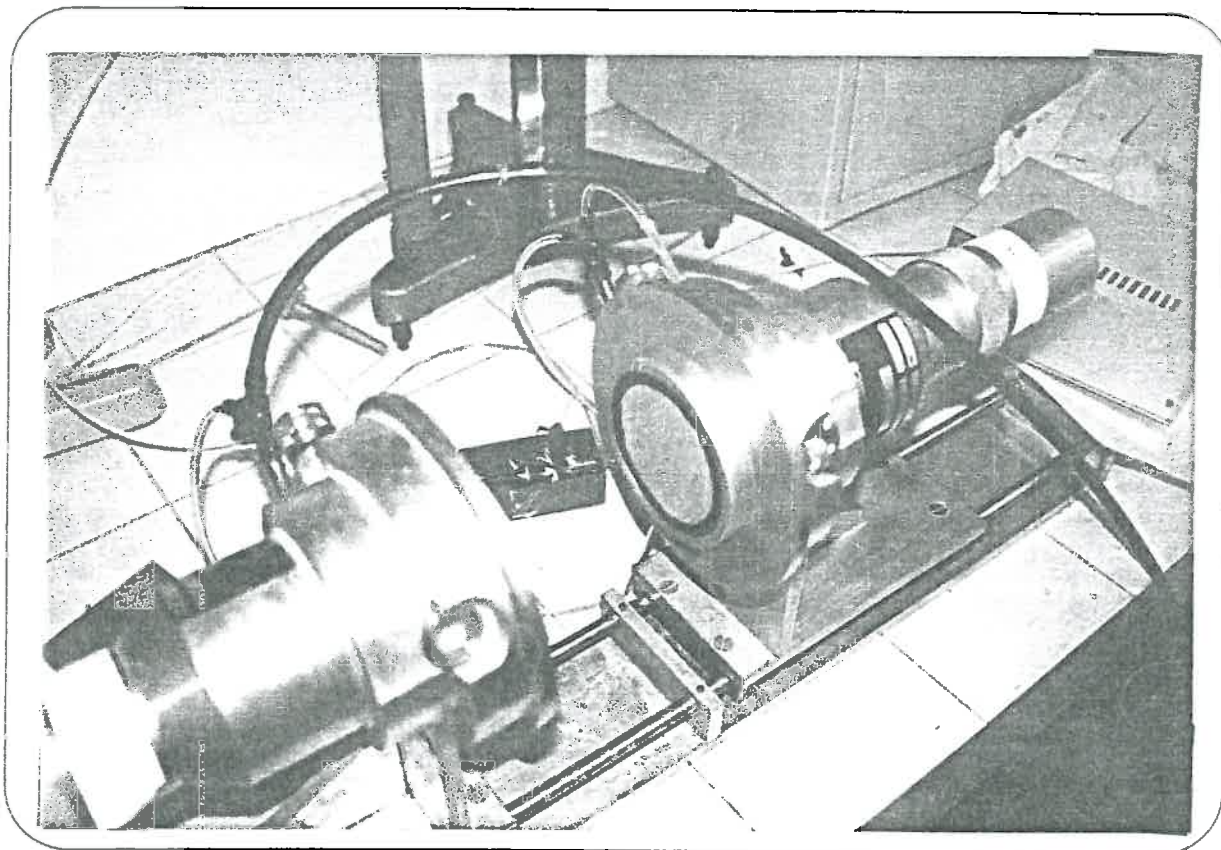


figure 17 : Le dispositif de mesure (la cellule).

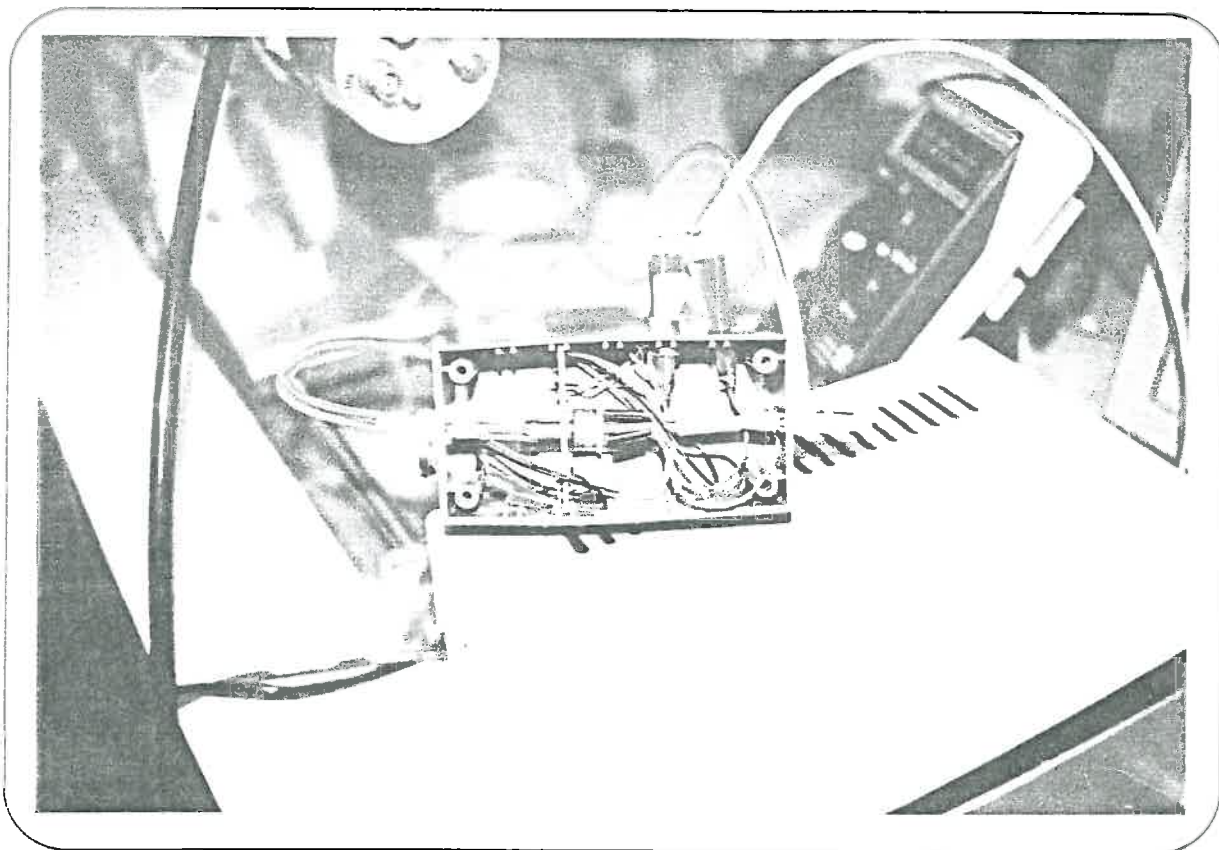


figure 18 : Le capteur.

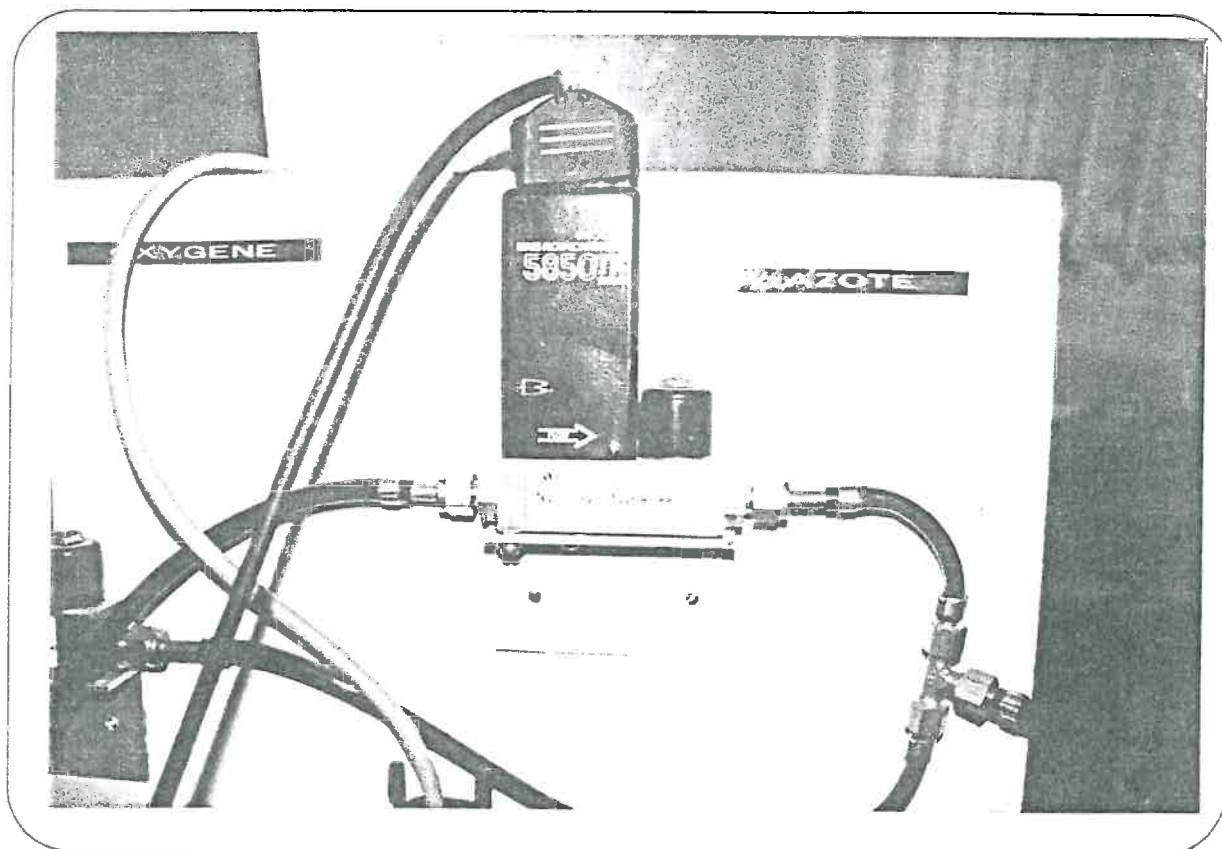


figure 19 : Le débitmètre régulateur.

CONCLUSION

CONCLUSION

Le laboratoire de Science du Sol de Montfavet est chargé, dans le cadre d'un projet européen, d'étudier l'aération des sols.

Le but de l'expérimentation, dans l'équipe où j'avais été intégrée était de mettre au point un dispositif d'acquisition de données permettant l'estimation de la perméabilité à l'air d'un sol. Ce dispositif était composé d'un débitmètre régulateur, et un capteur de pression différentielle pour l'air.

Nous avons mis en place ce dispositif, en l'alimentant et en l'automatisant.

Nous avons étudié les temps de réponse du débitmètre régulateur d'air associé à ce dispositif en fonction de la tension de consigne envoyée.

Nous avons également étudié le comportement du capteur de pression en laboratoire afin de vérifier l'influence des facteurs extérieurs -surtout la température- sur la mesure.

Pour rendre totalement autonome la manipulation, et pour éviter au manipulateur une manoeuvre supplémentaire, il aurait fallu installer un capteur de température à l'intérieur de la boîte dans laquelle se trouvait le capteur de pression.

Ce travail permettra à l'équipe de chercheurs responsable de ce projet, de mesurer la perméabilité à l'air des échantillons, et de poursuivre ainsi son étude sur l'aération des sols.

Mon sentiment personnel après ce stage très intense, est double:

D'abord la fierté d'avoir participé à la résolution d'un réel problème de terrain s'insérant dans un vaste projet européen. Tout y était: émergence du besoin, énoncé théorique du problème, élaboration du cahier des charges tenant compte des budgets, puis réalisation technique. En me permettant de réinvestir les connaissances acquises à l'I.U.T, il m'a amené à utiliser et manipuler de nouvelles notions, objets d'études futures.

Puis la connaissance d'un milieu, celui des chercheurs, riche de chaleur humaine, d'honnêteté et de professionnalisme.

Tout ceci ne fait que renforcer mon désir de poursuivre mes études dans cette voie.

BIBLIOGRAPHIE

- Annuaire I.N.R.A 11/91 IX^{ème} édition
- Yves Brunet 1 984 "Modélisation des échanges sol nu-atmosphère. Essai de validation locale et influence de la variabilité spatiale du sol." Thèse de Docteur Ingénieur .Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Pierre Renault 1 988 "Modélisation du coefficient de diffusion en phase gazeuse en fonction de la morphologie de l'espace poral des sols cultivés". Thèse Docteur spécialiste Mécanique fondamentale et appliquée. Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Sophie Roux 1 989 "Automatisation des mesures sur une cellule de diffusion gazeuse en vue de l'obtention du coefficient de diffusion et de la porosité équivalente d'un échantillon de sol." Rapport de stage de fin d'I.U.T.
- Anne David 1 992 "Influence des paramètres Hydroclimatologiques sur les déplacements verticaux du radon 222 en zone non saturée. Thèse de Doctorat Université Pierre & Marie Curie à Paris 6

TABLE DES FIGURES ET SCHEMAS

figure n° 1	Implantation de l'I.N.R.A. en France	page 3
figure n° 2	Variation de pression de gaz à plusieurs profondeurs	page 7
figure n° 3	Principe de la manipulation	page 8
figure n° 4	Connections et dimensions (pouces) du capteur	page 10
figure n° 5	Montage de l'étalonnage du capteur (1 ^{ème} méthode)	page 11
figure n° 6	Montage de l'étalonnage du capteur (2 ^{ème} méthode)	page 12
figure n° 7	Connections de la carte	page 14
figure n° 8	Adresses de la carte	page 15
figure n° 9	Présentation du schéma final	page 17
figure n° 10	Organigramme du programme d'automatisation	page 19
figure n° 11	Etalonnage en pression et dépression à t° quelconque du capteur	page 22
figure n° 12	Etalonnage en pression	page 23
figure n° 13	Etalonnage en dépression	page 23
figure n° 14	Etalonnage en température pour P=0	page 24
figure n° 15	Courbe débit = f (pression)	page 25
figure n° 16	Courbe débit = f (pression)	page 26
figure n° 17	Photographie du dispositif de mesure	page 27
figure n° 18	Photographie du capteur	page 28
figure n° 19	Photographie du débitmètre régulateur	page 29

ANNEXES

```

REM*****
REM
REM
REM      ESTIMATION DE LA PERMEABILITE D'UN ECHANTILLON DE SOL
REM      -----
REM
REM              réalisation
REM              I.N.R.A. AVIGNON
REM
REM              Station de science du sol
REM
REM
REM
REM*****
REM              Définition des sous-programmes
REM
REM*****

DECLARE SUB fichier2 ()
DECLARE SUB fichier1 ()
DECLARE SUB attente ()
DECLARE SUB temps ()
DECLARE SUB debite ()
DECLARE SUB capessai ()
DECLARE SUB capteur ()
DECLARE SUB presentation ()
DECLARE SUB parametre ()

REM*****
REM      Définition des variables communes à l'ensemble du programme
REM
REM*****

DEFINT I-N
DEFSNG A-H
DEFSNG P-Q
DEFSTR Z
COMMON SHARED /deb/ debit(), n, nbre.debit, idebit.mini, idebit.max, pas.debit
COMMON SHARED /essaipression/ essaipression()
COMMON SHARED /pres/ pres(), pression(), H, ni, I, m
COMMON SHARED /pression/ pression(), iprecision, iecart, iatt, tension!
COMMON SHARED /presentation/ zuti, zdate, ieau, zdetails
COMMON SHARED /fich/ zfich1
COMMON SHARED /temp/ temperature
DIM SHARED pres(100)
DIM SHARED essaipression(100)
DIM SHARED debit(100)
DIM SHARED pression(100)

REM *****
REM      Variables utilisées dans les sous-programmes
REM
REM *****

REM iprecision: nbre de mesures de pression pour un même debit
REM iatt: temps séparant deux mesures de pression
REM iecart: seuil désiré d'écart-type
REM ecarte: calcul de l'écart-type des points obtenus pour connaitre la
REM      stabilite
REM nbre.debit: nombre de débits différents à envoyer au cours de
REM      l'expérience
REM tension!: réponse du capteur à un débit envoyé

```

```

REM debit(): valeur du débit à envoyer

REM *****
REM                                     Programme principal
REM
REM*****

REM Appel de sous-programmes

    CALL presentation
    CALL fichier1
    CALL parametre
    CALL temps
    CALL fichier2

END

DEFSNG I-N, Z
REM *****
REM                                     Sous-programme de temporisation des mesures de débit
REM
REM *****
REM Utilisation de l'horloge interne de l'ordinateur pour séparer les prises
REM de pression
SUB attente STATIC

DEFINT I-N
DEFSNG A-H
DEFLNG W
DEFSNG P
DEFSTR Z
REM transformation du temps en secondes

    zse = RIGHT$(TIME$, 2)
    zmn = MID$(TIME$, 4, 2)
    zh = LEFT$(TIME$, 2)
    wse = VAL(zse)
    wmn = VAL(zmn)
    wh = VAL(zh)
    w = wse + 60 * wmn + 3600 * wh

tt:

    zse1 = RIGHT$(TIME$, 2)
    zmn1 = MID$(TIME$, 4, 2)
    zh1 = LEFT$(TIME$, 2)
    wse1 = VAL(zse1)
    wmn1 = VAL(zmn1)
    wh1 = VAL(zh1)
    wo = wse1 + 60 * wmn1 + 3600 * wh1

    IF wo = w + iatt THEN
        CALL capteur
    ELSE GOTO tt
    END IF

END SUB

DEFSNG I-N, W, Z
REM*****
REM                                     Sous-programme de récupération de la réponse du capteur
REM
REM*****

```

```

DEFINT I-N
DEFSNG A-H
DEFSNG P
DEFSTR Z

REM Présentation des adresses de la carte
base.adress = &H300
analoginl.adress = base.adress + 0
analoginh.adress = base.adress + 1
gain.adress = base.adress + 1
interrupt.adress = base.adress + 2
multi.adress = base.adress + 2

REM Initialisation des adresses et envoie d'ordres

REM      OUT gain.adress, 3
REM      OUT &H302, 0 * 16 + 0
REM      OUT interrupt.adress, 0
REM      OUT multi.adress, 16
REM      OUT analoginl.adress, 0

REM Récupération des données aux adresses indiquées

      m = INP(analoginl.adress)      'sur l'octet bas
      H = INP(analoginh.adress)     'sur l'octet haut

REM Transformation de la valeur de l'octet bas codée initialement sur les
REM quatre derniers bits de l'octet, en une valeur (même code) codée sur les
REM quatre premiers bits

      m = m / 16
      range = 10
      resolution = 4096
      valeur = (H * 16 + m)
      PRINT "valeur:"; valeur

REM Conversion de la valeur binaire en une tension

      tension! = ((valeur * (range / resolution)) - 5)
      PRINT "tension"; tension!

END SUB

DEFSNG I-N, Z
REM *****
REM      Sous-programme d'envoi de la tension consigne au
REM      débitmètre régulateur
REM *****
REM
REM SUB debite STATIC

CLS

DEFINT I-N
DEFSNG A-H
DEFSNG P
DEFSTR Z

REM Equation d'étalonnage du débitmètre

      debit = debit(1 + n) * .051 - .0754

```

```

iresolution = 255
quantum = ((irange / iresolution) * 1000)
codage& = ((debit / quantum) * 1000)
PRINT "codage", codage&
tension.code& = codage&

    IF codage& > (iresolution - 1) THEN tension.code& = iresolution - 1

        high = INT(tension.code& / 16)
        low = (INT(tension.code& - high * 16) * 16)
REM definition des adresses de la carte

base.adress = &H300
dacl.adress = base.adress + 4
dach.adress = base.adress + 5

REM Envoie de la tension consigne (correspondant à un débit)

    OUT dacl.adress, low
    OUT dach.adress, high

END SUB

DEFSNG I-N, Z
REM *****
REM      Enregistrement des données dans un fichier sur une disquette a
REM
REM
REM *****
SUB fichier1 STATIC

DEFINT I-N
DEFSNG A-H
DEFSNG P
DEFSTR Z
CLS

    LOCATE 5, 5: INPUT "rentrer le nom de votre fichier de presentation"; zfich1

    OPEN ("a:" + zfich1) FOR APPEND AS #1

    PRINT #1, "fichier de données"
    PRINT #1,
    PRINT #1, "Nom de l' utilisateur: ", zuti
    PRINT #1,
    PRINT #1, "caracterisitique du sol etudie"
    PRINT #1, " donnees de l' echantillon"
    PRINT #1, "date: ", zdate
    PRINT #1, "teneur en eau:", ieau
    PRINT #1, " details supplementaires:", zdetails
    PRINT #1, " ", zdetails
    PRINT #1, " ", zdetails
    PRINT #1, " ", zdetails
    PRINT #1, "etude de la stabilite"
    PRINT #1, "nbre de mesures pour un meme debit:"; iprecision
    PRINT #1, "temps separant ces mesures:", iatt
    PRINT #1, "incertitude sur la mesure:", iecart
    PRINT #1,

    CLOSE (1)

END SUB

```

```

REM *****
REM
SUB fichier2

DEFINT I-N
DEFSNG A-H
DEFSNG P
DEFSTR Z

CLS :
OPEN ("a:" + zfich1) FOR APPEND AS #1
PRINT #1, "fichier de données"

PRINT #1,
      FOR n = 0 TO (nbre.debit - 1)
PRINT #1, " debit:", debit(1 + n), "pression:", pression(1 + n)
NEXT n

CLOSE (1)

END SUB

DEFSNG I-N, Z
REM *****
REM          Sous-programme d'entrée des paramètres de l'expérience
REM
REM *****
REM
SUB parametre STATIC

DEFINT I-N
DEFSNG A-H
DEFSNG P
DEFSTR Z

REM permet l'entrée du parametre debit
CLS
LOCATE 4, 21: PRINT "choix des débits à envoyer au cours de l'expérience"

pg31:
REM Question 1 page 3
LOCATE 6, 2: PRINT "1°"
LOCATE 6, 6: PRINT "debits equidistants (o ou n)?",
      mod$ = INKEY$
      IF LEN(mod$) = 0 GOTO pg31
      IF mod$ = "O" OR mod$ = "o" GOTO pg32
      IF mod$ = "N" OR mod$ = "n" GOTO 60

pg32:
REM Question 2 page 3
LOCATE 7, 2: PRINT "2°"
LOCATE 7, 6: PRINT "debit minimum desire (de 10 à 100 cm3/mn)"
LOCATE 8, 2: INPUT "débit mini:"; idebit.mini
      IF idebit.mini < 10 OR idebit.mini > 100 THEN
      BEEP
      GOTO pg32
      END IF

pg33:

```



```

        IF idebit.max < 10 OR idebit.max > 100 THEN
            BEEP
            GOTO pg33
        END IF
        IF icor = 1 GOTO rep7
REM
REM question 4 page 3
REM
    LOCATE 13, 6: PRINT "nbre de mesures"
    LOCATE 14, 2: INPUT "nbre de debits :"; nbre.debit
REM
REM calcul des intervalles de débits à envoyer
REM
    pas.debit = (idebit.max - idebit.mini) / (nbre.debit - 1)
    debit(1) = idebit.mini
    GOTO bilan
REM
rep7:
REM
    LOCATE 17, 15: PRINT "voulez vous faire des modifications (O ou N)";
    mod$ = INKEY$
    IF LEN(mod$) = 0 GOTO rep7
    IF mod$ = "N" OR mod$ = "n" THEN GOTO bilan
    IF mod$ = "O" OR mod$ = "o" THEN GOTO rep8
REM
rep8:
REM
    LOCATE 18, 15: INPUT "Question numero ", irep
    IF irep < 1 OR irep > 2 THEN
        BEEP
        GOTO rep8
    END IF
    IF irep = 1 GOTO pg31
    IF irep = 2 GOTO pg32

bilan:
    CLS
    LOCATE 5, 10: PRINT "le debit n° 1 est debit(1)="; debit(1)
    FOR n = 1 TO (nbre.debit - 1)
        debit(1 + n) = debit(n) + pas.debit
        LOCATE 5 + n, 10: PRINT "le debit n° "; 1 + n; " est debit ("; 1 + n;
    ");="; debit(1 + n)
    NEXT n

rep9:
    LOCATE 7 + n, 2: PRINT "ces donnees vous conviennent-elles (O ou N)?"
    mod$ = INKEY$
    IF LEN(mod$) = 0 GOTO rep9
    IF mod$ = "N" OR mod$ = "n" THEN GOTO rep10
    IF mod$ = "O" OR mod$ = "o" THEN EXIT SUB

rep10:
    CLS
    GOTO pg32

60 :
    LOCATE 8, 1: PRINT "inscrivez les débits que vous désirez envoyer de (10 à
100 cm3/mn)"
    LOCATE 9, 2: INPUT "nbre de debits désirés:"; nbre.debit
    FOR n = 0 TO (nbre.debit - 1)

```

```

rep1:
    LOCATE 25, 15: PRINT "voulez vous faire des modifications (O ou N)"
    mod$ = INKEY$
    IF LEN(mod$) = 0 GOTO rep1
    IF mod$ = "O" OR mod$ = "o" GOTO 60
    IF mod$ = "N" OR mod$ = "n" THEN EXIT SUB

END SUB

DEFSNG I-N, Z
REM *****
REM          Calcul de la pente par régression linéaire
REM
REM *****
SUB pente STATIC
REM calcul d' une régression linéaire des résultats obtenues avec un logiciel
REM de graphique
DEFINT A-N
DEFSNG D-H
DEFSNG P
DEFSTR Z

CLS
    FOR n = 0 TO (nbre.debit - 1)
        LOCATE 2 + n, 1: PRINT "debit:", debit(1 + n)
        LOCATE 2 + n, 15: PRINT "pression:", pression(1 + n)
    NEXT n

END SUB

DEFSNG A-C, I-N, Z
REM*****
REM          Sous-programme de présentation
REM
REM*****
SUB presentation STATIC
REM permet l'entrée de données caractéristiques de sol

DEFINT I-N
DEFSNG A-H
DEFSNG P
DEFSTR Z

CLS :

icor = 0

REM question 1 page 1

pg11:
    LOCATE 1, 1: PRINT "1°"
    LOCATE 1, 5: INPUT "NOM de l' utilisateur:"; zuti
    IF icor = 1 GOTO rep4

    LOCATE 3, 15: PRINT "CARACTERISTIQUE DU SOL ETUDIE"
    LOCATE 5, 1: PRINT "Entrez les données de l' échantillon"

REM question 2 page 1

pg12:

```

```

        IF icor = 1 GOTO rep4
REM question 3 page 1
pg13:
    LOCATE 9, 1: PRINT "3°"
    LOCATE 9, 5: INPUT "Teneur en eau (de 0% à 100%)"; ieau
        IF ieau > 100 THEN
            BEEP
            GOTO pg13
        END IF
        IF icor = 1 GOTO rep4
REM question 4 page 1
pg14:
    LOCATE 11, 1: PRINT "4°"
    LOCATE 11, 5: PRINT "Détails supplémentaires (tapez enter à la fin de"
    LOCATE 12, 5: PRINT " chaque ligne)"
    LOCATE 13, 1: INPUT "*", zdetails
    LOCATE 14, 1: INPUT "*", zdetails
    LOCATE 15, 1: INPUT "*", zdetails
        IF icor = 1 GOTO rep4
rep4:
    LOCATE 16, 15: PRINT "voulez vous faire des modifications (O ou N)";
    mod$ = INKEY$
    IF LEN(mod$) = 0 GOTO rep4
    IF mod$ = "N" OR mod$ = "n" GOTO ipg21
    IF mod$ = "O" OR mod$ = "o" THEN
icor = 1
rep3:
    LOCATE 17, 15: INPUT "Question numero ", irep
    IF irep < 1 OR irep > 4 THEN
        BEEP
        GOTO rep3
    END IF

    IF irep = 1 GOTO pg11
    IF irep = 2 GOTO pg12
    IF irep = 3 GOTO pg13
    IF irep = 4 GOTO pg14
    END IF

REM REM DEUXIEME PAGE
ipg21:
icor = 0
CLS
REM Question 1 page 2
pg21:
    LOCATE 2, 1: PRINT "1°"
    LOCATE 2, 5: PRINT "nbre de mesures de pression pour un même débit, en vue",

```

```

                BEEP
                GOTO pg21
            END IF
            IF icor = 1 GOTO rep5

REM Question 2 page 2

pg22:
    LOCATE 5, 1: PRINT "2°"
    LOCATE 5, 5: INPUT "temps séparant 2 mesures de pression (en secondes) :";
iatt
                IF icor = 1 GOTO rep5

REM Question 3 page 2

pg23:
    LOCATE 7, 1: PRINT "3°"
    LOCATE 7, 5: INPUT "quelle incertitude desirez vous obtenir ? (de 0% à
10%)"; iecart
                IF iecert > 10 THEN
                    BEEP
                    GOTO pg23
                END IF
                IF icor = 1 GOTO rep5

pg24:
    LOCATE 9, 1: PRINT "4°"
    LOCATE 9, 5: INPUT "température ambiante: ", temperature
    IF irep = 1 GOTO rep5

rep5:
    LOCATE 15, 15: PRINT "voulez vous faire des modifications (O ou N)";
    mod$ = INKEY$
    IF LEN(mod$) = 0 GOTO rep5
    IF mod$ = "N" OR mod$ = "n" THEN EXIT SUB
    IF mod$ = "O" OR mod$ = "o" THEN icor = 1

rep6:
    LOCATE 16, 15: INPUT "Question numero ", irep
    IF irep < 1 OR irep > 3 THEN
        BEEP
        GOTO rep6
    END IF

    IF irep = 1 GOTO pg21
    IF irep = 2 GOTO pg22
    IF irep = 3 GOTO pg23
    IF irep = 4 GOTO pg24

END SUB

DEFSNG I-N, Z
REM *****
REM          Sous-programme de prise de mesures
REM *****
REM *****
SUB temps STATIC

```

```

DEFSNG A-H
DEFSNG P
DEFSTR Z
CLS
REM gestion du temps séparant les différentes acquisitions
LOCATE 5, 15: PRINT "Pour définir le temps entre deux prises de mesures"
LOCATE 6, 15: PRINT "il faut tenir compte des critères de stabilité."
LOCATE 8, 15: PRINT "ETUDE de la réponse du capteur de pression au débit
envoyé"

debut:

LOCATE 10, 2: PRINT "voulez vous commencer les mesures, sachant que le capteur"
LOCATE 11, 2: PRINT "doit chauffer 4 heures (o ou n)?";
mod$ = INKEY$
IF LEN(mod$) = 0 GOTO debut
IF mod$ = "N" OR mod$ = "n" THEN GOTO debut
IF mod$ = "O" OR mod$ = "o" THEN GOTO aller

aller:

CLS
FOR n = 0 TO (nbre.debit - 1)
LOCATE 1, 15: PRINT "nbredeb:", nbre.debit
LOCATE 1, 35: PRINT "deb", debit(1 + n)

CALL debite

reessai:

a = 0
b = 0

REM mesures de pression pour le même débit
FOR nn = 0 TO (iprecision - 1)
CALL attente
essaipression(1 + nn) = tension!
LOCATE 2 + nn, 4: PRINT "la pression d' essai n°"; 1 + nn; "
correspondant au même débit n°"; 1 + n; " est:"; essaipression(1 + jnn)
a = a + (essaipression(1 + nn)) ^ 2
b = b + essaipression(1 + nn)
LOCATE 10, 1: PRINT "a="; a

STOP
NEXT nn

REM
LOCATE 12 + iprecision, 1: PRINT "calcul de l' écart type des points
obtenus"

REM calcul de la somme des carrés
ecarte = ((a / iprecision) - ((b / iprecision) ^ 2) ^ .5)
PRINT "type:"; ecarte
REM IF ecarte < iecart * (b / iprecision) THEN
pression(1 + n) = essaipression(iprecision)
REM ELSE GOTO reessai
REM END IF

NEXT n

REM
END SUB

```

PROGRAMME EUROPEEN

A- PRESENTATION

Le projet européen, dans lequel s'intègre notre travail, a pour but une meilleure connaissance des relations qui existent entre l'aération d'un sol, l'activité microbienne et la dégradation des pesticides afin de mieux protéger les nappes souterraines.

Ce travail doit permettre d'affiner et de valider des modèles mathématiques, en estimant le mouvement et la dégradation des pesticides dans le sol et le sous-sol. Pour cela, des équipes de recherches en France, Allemagne et Angleterre vont observer le fonctionnement des sols dans des conditions climatiques et microbiologiques variées (six sols agricoles différents).

Les variables qui régulent les transferts seront contrôlés:

- mesures des températures;
- mesure des teneurs en eau et de son potentiel;
- pression partielle en oxygène à différentes profondeurs et pression totale de l'air.

Les variables relatives à l'activité microbienne seront aussi mesurées.

Un modèle provenant du regroupement des données permettra de relier l'activité microbienne (dont la dégradation des pesticides) et les transferts.

S'il est validé, ce modèle permettra de mieux comprendre et d'appréhender la dégradation des pesticides dans le sous-sol.

B- LES PARTENAIRES

La communauté européenne (EC) finance ce projet entièrement.

ICI agrochemicals et BAYER A.G. sont deux grandes firmes chimiques respectivement Anglaise et Allemande associées au projet. BAYER A.G. est le coordonnateur du projet.

L' I.N.R.A. d'Avignon et de Dijon travaillent ensemble.

**MICROBIAL DIVERSITY AND ACTIVITY IN SUBSOILS
IN RELATION TO PESTICIDE DEGRADATION
AND GROUNDWATER PROTECTION**

PROJECT MANAGEMENT

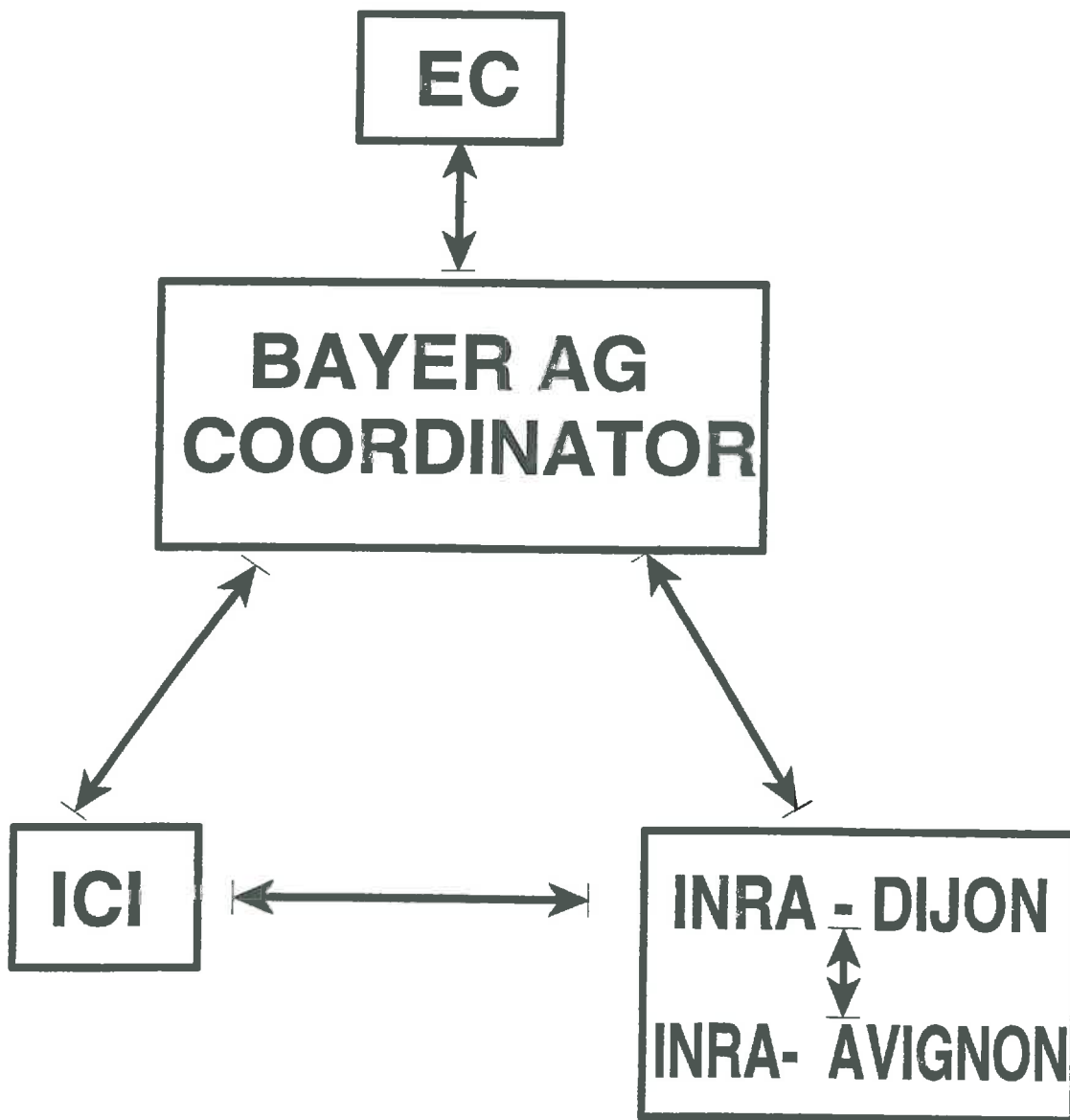


figure 1A : Présentation de l'organisation du projet

LE DEBITMETRE REGULATEUR

A- INTRODUCTION

1- DESCRIPTION

Ce débitmètre régulateur assure la mesure et la régulation de débit-masse de gaz. Il est très utilisé dans l'industrie des semiconducteurs, comme dans d'autres secteurs dont les opérations nécessitent l'emploi de débits de gaz régulés, que ce soit par une méthode manuelle, électronique ou informatique.

2- FONCTIONS SELECTIONNABLES

- **Mise en débit progressif.** C'est une fonction de variation progressive de la vanne.
- **Programmation à distance.** C'est une fonction de programmation du point de consigne du régulateur de débit au moyen d'une télécommande en tension.
- **Commande prioritaire de vanne.** C'est une fonction d'ouverture ou de fermeture en grand de la vanne.
- **Pilotage de la vanne par régulation externe.** C'est une fonction permettant de piloter la vanne à partir d'un régulateur P.I.

B- FONCTIONNEMENT

1- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Il exploite donc les propriétés thermiques des gaz.

En absence de débit de gaz, chaque détecteur de température est influencé de la même façon par l'élément chauffant. Lorsqu'on établit un débit, la circulation du gaz entraîne la chaleur du détecteur de température T1 amont vers le détecteur T2, qui reçoit une quantité de chaleur accrue. Une différence de température se développe entre les deux détecteurs. Cette différence de température est donc proportionnelle à la quantité de gaz qui traverse le débitmètre.

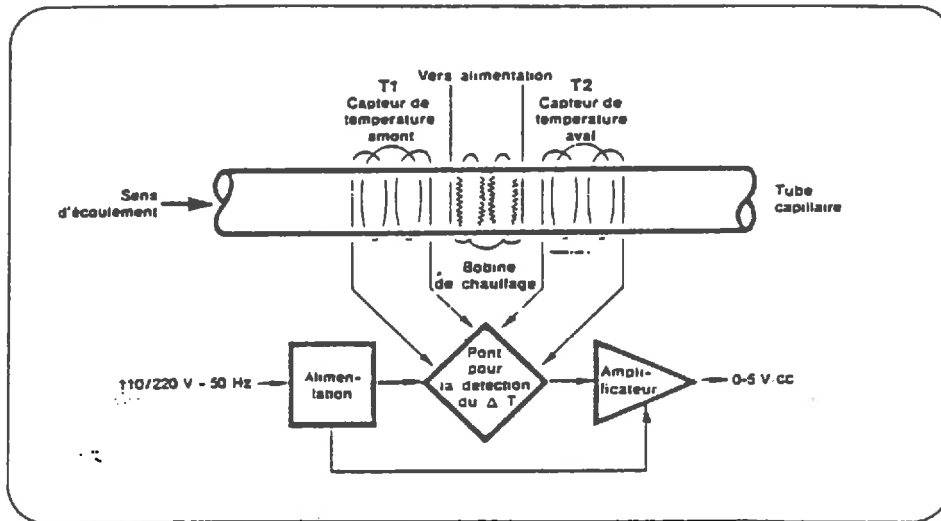


figure 2A : schéma du principe du capteur de débit

Le régulateur massique nécessite, en plus du capteur de débit:

- une vanne de réglage placée en aval du capteur. Elle est asservie à un signal d'erreur et augmente ou réduit le débit jusqu'à ce que valeur de consigne et valeur mesurée soient identiques.
- une carte électronique permettant la mise en débit progressif et la commande prioritaire de vanne.

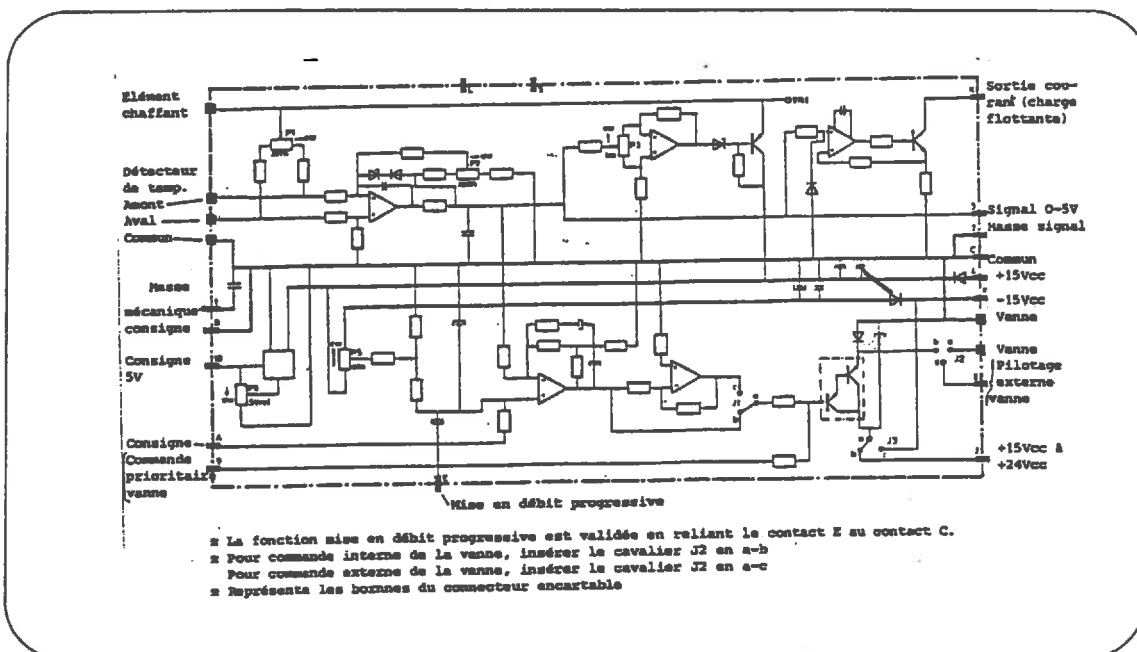


figure 3A : carte électronique

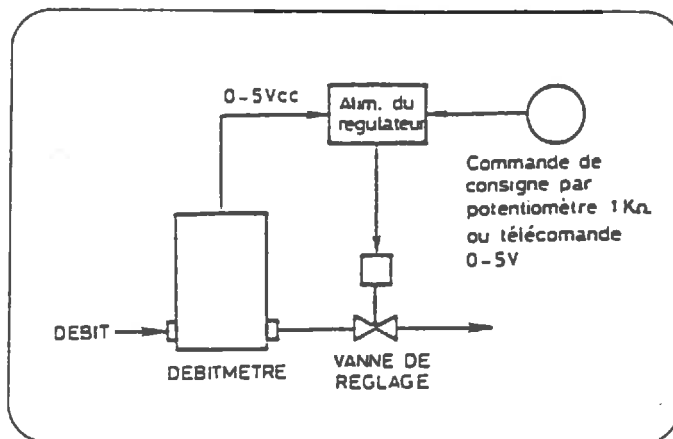


figure 4A : Schéma du système de régulation

2- ETALONNAGE

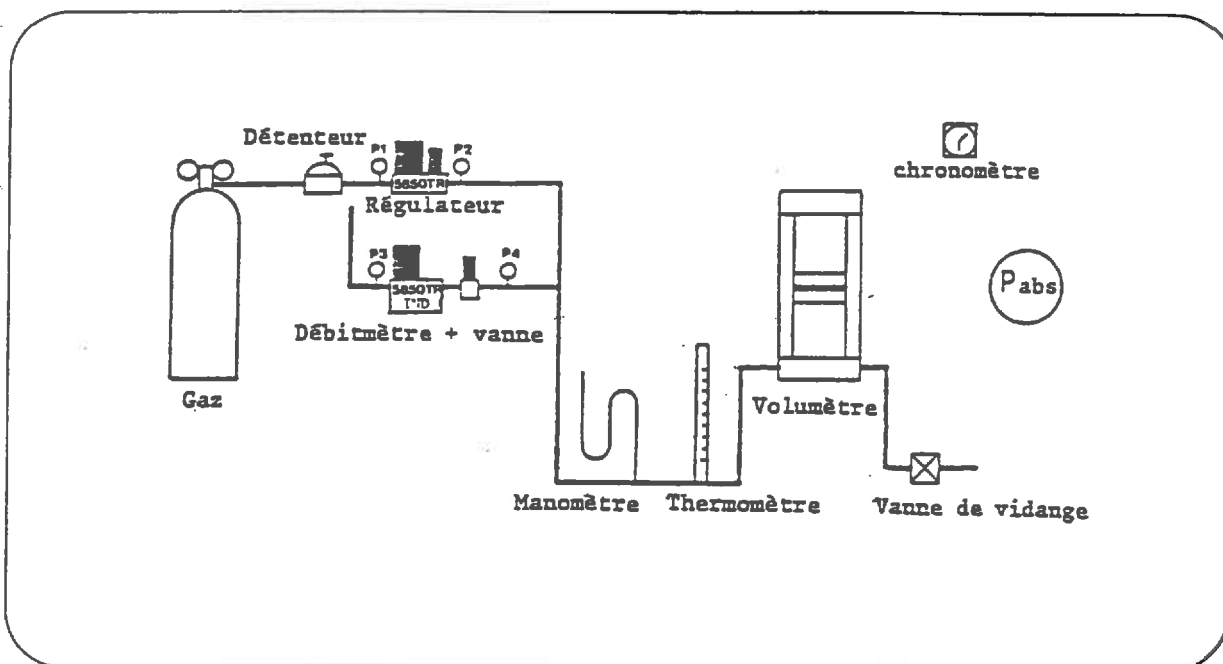


figure 5A : schéma d'installation pour l'étalonnage

Conditions d'étalonnage:

- gaz: air
- température du gaz: 297.65 °K
- pression d'étalonnage: 100 KPa
- pression dans le volumètre: 99.6 KPa

Tension (Volts)	Temps (s)	Débit souhaité (cm³/min)	Débit réel (cm³/min)	Erreur (%)
5	5,53	100	99,95	$5 \cdot 10^{-3}$
3,75	7,43	75	74,39	$8 \cdot 10^{-3}$
2	11,09	50	49,84	$4 \cdot 10^{-3}$
1,125	21,92	25	25,21	$8 \cdot 10^{-3}$
0,5	53	10	10,42	$40 \cdot 10^{-3}$

figure 6A : tableau d'étalonnage

la droite d'étalonnage s'écrit:

$$V = \text{débit} * 0.051 - 0.0754$$

CARTE D'ACQUISITION

A- PRESENTATION

La carte AX5411 est une carte multifonction analogique/digitale d'entrée/sortie qui s'adapte aux IBM, PC/XT/AT.

1- PRINCIPE DE L'ACQUISITION DE DONNEES

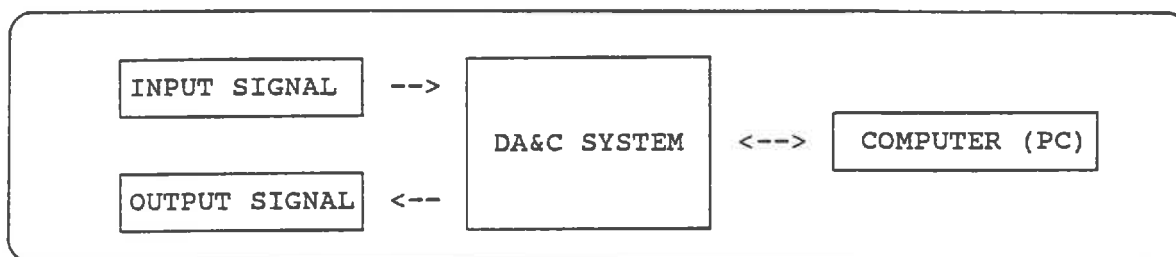


figure 7A : principe de base

2- PRINCIPE DES ENTREES ANALOGIQUES

Le fonctionnement de base d'un système d'entrée analogique (A/D système) repose sur la conversion de ce signal en un format digital correspondant que l'ordinateur peut lire. Pour obtenir de bons résultats, on ajoute des multiplexeurs, des amplificateurs et des échantillonneurs.

a- A/D convertisseur

Le plus utilisé des convertisseurs est intégré et successivement approximé. Le type intégré à l'avantage d'avoir une réjection de bruits élevé, mais sa vitesse est lente. La plupart des systèmes d'acquisition de données ont besoin d'une résolution de 12 bits pour reconnaître le signal mesuré.

b- Multiplexeur

Le multiplexage est une série d'interrupteurs qui permettent de sélectionner le canal du signal converti par l'A/D convertisseur.

c- L'échantillonnage et saisie (S/H)

Ce procédé est conçu pour que le convertisseur A/D suive le signal d'entrée. Quand un ADC à grande vitesse est utilisé, le signal d'entrée ne doit pas varier pendant la durée de la conversion. Le S/H peut garder le signal à un niveau constant jusqu'à ce que la conversion soit achevée.

d- Amplificateurs

Il élargit le signal en entrée trop petit pour pouvoir être résolu.

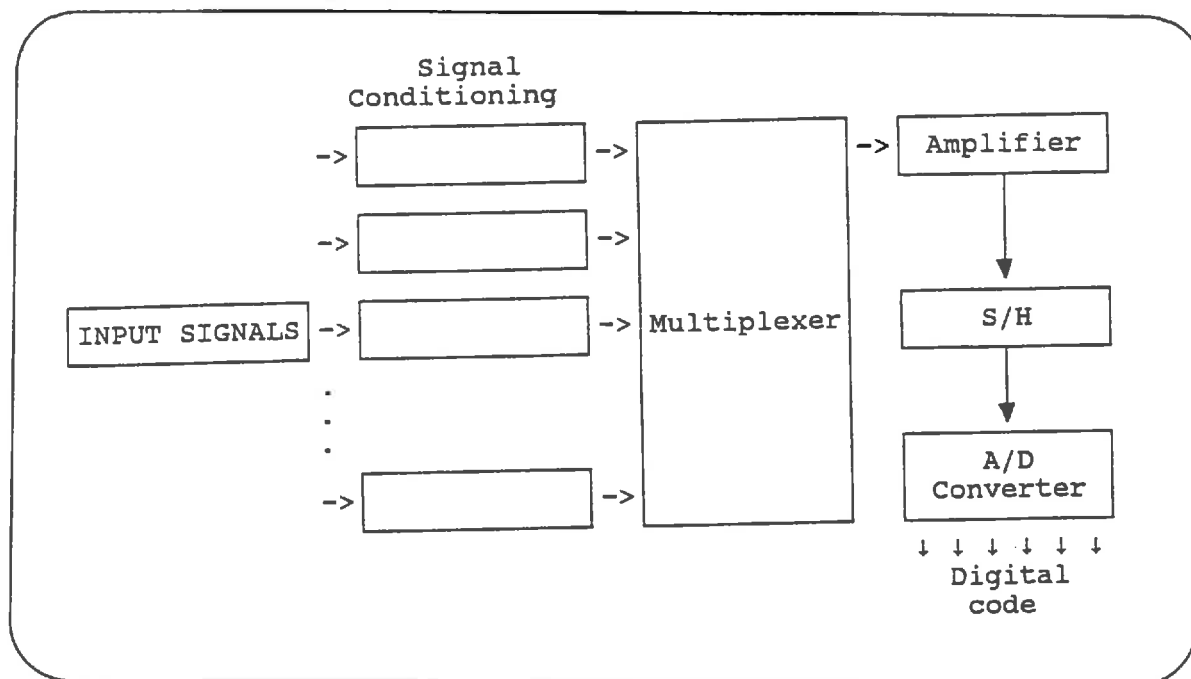


figure 8A : principe des entrées analogiques

3- PRINCIPE DES SORTIES ANALOGIQUES

a- Les sorties

Elles sont utilisées pour générer un signal de niveau programmable et donc pour obtenir un système de contrôle.

b- D/A Convertisseur (DAC)

Il fournit une sortie analogique proportionnelle à un nombre de digits de l'entrée.

B- LE SCHEMA BLOC DE LA CARTE

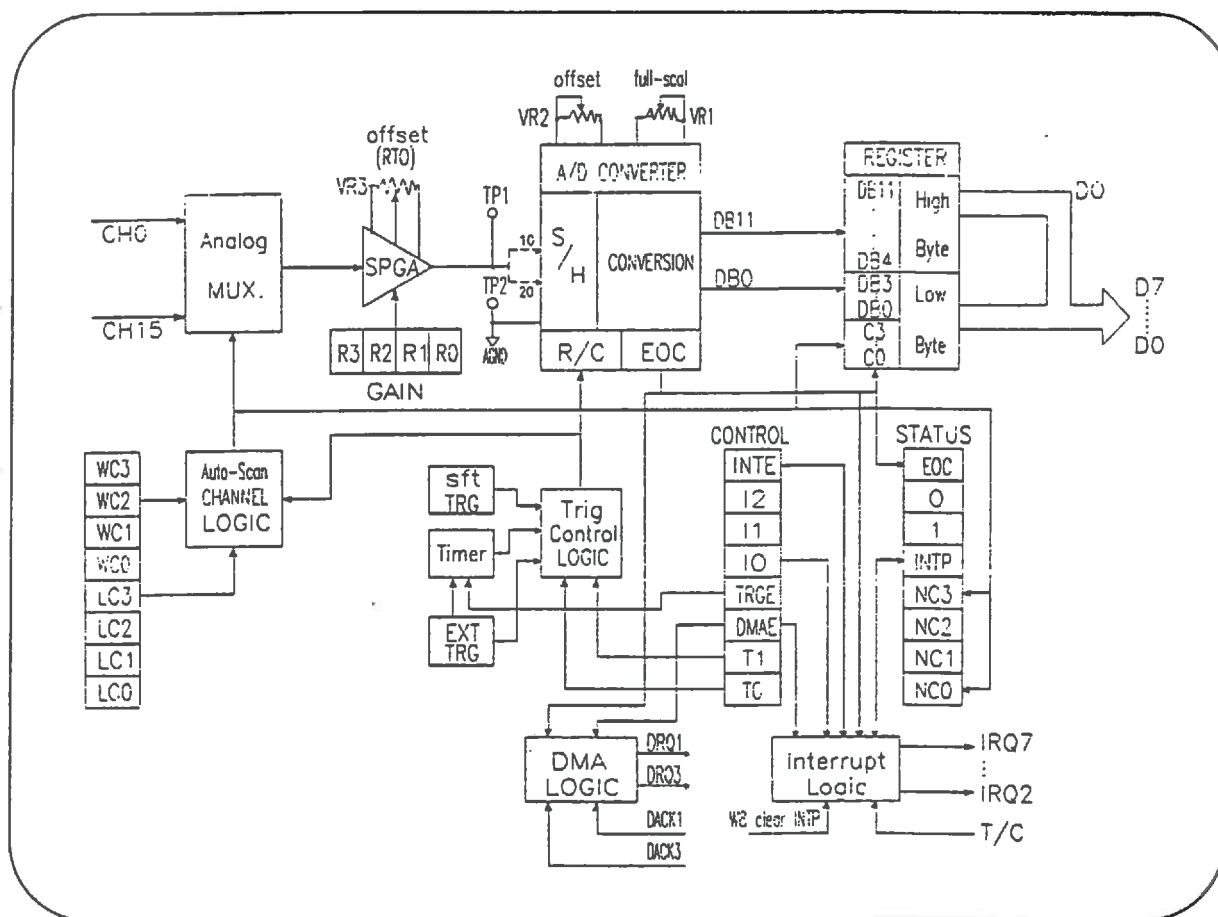


figure 9A : diagramme de la carte

TABLE DES FIGURES DE L'ANNEXE

figure 1A	Présentation de l'organisation du projet	page 12A
figure 2A	Schéma de principe du capteur de débit	page 14A
figure 3A	Carte électronique	page 14A
figure 4A	Schéma du système de régulation	page 15A
figure 5A	Shéma d'installation du dispositif d'étalonnage	page 15A
figure 6A	Tableau d'étalonnage	page 16A
figure 7A	Principe de base de l'acquisition de donnée	page 17A
figure 8A	Principe des entrées analogiques	page 18A
figure 9A	Diagramme de la carte d'acquisition	page 19A

résumé: Le laboratoire de Science du Sol de Montfavet est chargé, dans le cadre d'un projet européen, d'étudier l'aération des sols.

Le but de notre travail était de mettre au point un dispositif d'acquisition de données permettant l'estimation de la perméabilité à l'air d'un sol. Pour ce dispositif, nous avons choisi un capteur de pression différentielle de type piézorésistif et un débitmètre régulateur. Nous nous sommes servi d'une cellule comportant deux compartiments étanches, entre lesquelles nous pouvions placer un échantillon de sol, et permettre des mesures de pression différentielle de part et d'autre de ce dernier. Nous avons mis en place ce dispositif et l'avons automatisé.

Nous avons étudié, ensuite, les temps de réponse du débitmètre en fonction de la tension de consigne envoyée.

Nous avons aussi étudié le comportement du capteur de pression en laboratoire afin de vérifier l'influence des facteurs extérieurs, surtout la température, sur la mesure de pression.

Pour rendre autonome la manipulation, il aurait fallu installer un capteur de température à l'intérieur de la boîte dans laquelle se trouvait le capteur de pression, pour éviter à l'utilisateur une manipulation supplémentaire.

Les mesures sont satisfaisantes et la précision obtenue correspond à celle désirée au départ.

mots-clés: automatisation - précision - capteur - pression - débitmètre - étalonnage - sol - expérimentation - carte électronique - loi de Darcy - perméabilité à l'air