

Université des Sciences et Techniques du Languedoc

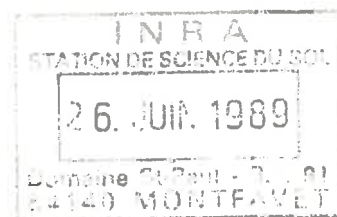
B&

TH-BD 1

INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT MESURES PHYSIQUES

99, avenue d'Occitanie, 34075 MONTPELLIER Cédex 2

Sophie ROUX

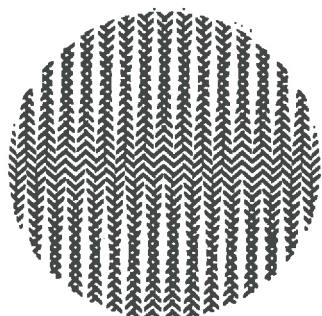


RAPPORT DE STAGE

AUTOMATISATION DES MESURES
SUR UNE CELLULE DE DIFFUSION GAZEUSE
EN VUE DE L'OBTENTION
DU COEFFICIENT DE DIFFUSION ET DE LA POROSITE
EQUIVALENTE
D'UN ECHANTILLON DE SOL

Mai - Juin 1989

Responsable de stage : Pierre RENAULT



INRA

Institut National de la Recherche Agronomique

Station de Science du Sol - Domaine Saint-Paul, BP 91, 84140 MONFAVET

REMERCIEMENTS

Ce mémoire rend compte du travail que j'ai effectué du 2 Mai au 23 Juin 1989, au cours du stage de fin d'études demandé par l'Institut Universitaire de Technologie de Montpellier. Ce stage s'est déroulé à la Station de Science du Sol de l'I.N.R.A. d'Avignon.

Il m'a été réservé le meilleur accueil à tous les égards et j'ai pu apprécier la sympathie et la gentillesse du Personnel.

Je remercie vivement Monsieur Pierre STENGEL, directeur, qui a bien voulu m'accueillir à la Station de Science du Sol.

Je remercie chaleureusement Pierre RENAULT, responsable de mon stage, qui par sa bienveillante attention a veillé au bon déroulement de ce dernier et qui, malgré ses préoccupations quotidiennes, m'a témoigné une grande disponibilité et m'a apporté une aide précieuse.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	p. I
SOMMAIRE	p. II
AVANT - PROPOS. CADRE DU STAGE	p. VI
A - L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE	p. VII
1 - Historique	p. VII
2 - Organisation	p. VII
3 - Missions	p. VII
4 - Structures et moyens	p. VIII
B - LE CENTRE DE RECHERCHES D'AVIGNON	p. VIII
1 - Le Domaine Saint-Paul	p. VIII
2 - La Station de Science du Sol	p. X
C - LE STAGE	p. X
INTRODUCTION GENERALE. POSITION DU PROBLEME	p. 1
A - LES TRANSFERTS GAZEUX : GENERALITES	p. 2
B - PRINCIPE DE LA MESURE PHYSIQUE	p. 2
1 - L'appareillage	p. 3
<i>a - La cellule de diffusion</i>	p. 3
<i>b - L'ensemble de comptage</i>	p. 3
2 - Principe des mesures	p. 3
3 - Association des mesures aux estimations de D_a et de ϵ_{aa}	p. 3
C - AUTOMATISATION DES MESURES	p. 7
1 - Les problèmes actuels	p. 7
<i>a - La gestion du temps</i>	p. 7
<i>b - L'impression sur papier</i>	p. 7
2 - Une solution : l'automatisation	p. 8
<i>a - Réalisation d'une liaison entre l'ensemble de comptage et le micro-ordinateur</i>	p. 8
<i>b - Écriture d'un logiciel de pilotage</i>	p. 8
<i>c - Test pratique du pilotage automatique</i>	p. 8

CHAPITRE I. L'ENSEMBLE DE COMPTAGE	p. 9
A - PRESENTATION DE L'ENSEMBLE DE COMPTAGE	p. 10
1 - Description (Photo n°2)	p. 10
<i>a - Les alimentations</i>	p. 10
<i>b - Les amplificateurs - sélecteurs monocanaux</i>	p. 10
<i>c - Les échelles</i>	p. 12
<i>d - Le module d'impression</i>	p. 12
2 - Fonctionnement	p. 12
<i>a - Les signaux : leur création, leur cheminement et leur transformation (fig. 4.a)</i>	p. 12
<i>b - Principe du fonctionnement autonome de l'appareil (fig. 4.b)</i>	p. 12
<i>c - Les fonctions automatisables</i>	p. 15
B - LES ECHELLES DE COMPTAGE	p. 15
1 - Caractéristiques techniques	p. 15
2 - Principe de fonctionnement	p. 16
<i>a - Le comptage : réalisation</i>	p. 16
<i>b - L'adressage des échelles</i>	p. 16
<i>c - La remise à zéro</i>	p. 17
3 - Description des circuits logiques (fig. 5)	p. 17
C - LES TESTS	p. 17
1 - Objectifs	p. 17
2 - Montages pratiques	p. 19
3 - Les apports des tests	p. 21
<i>a - Fonctionnement de Marche/Arrêt et de RAZ</i>	p. 21
<i>b - Adressage des échelles</i>	p. 21
<i>c - Lecture des décades</i>	p. 22
CHAPITRE II. LE LOGICIEL DE PILOTAGE	p. 23
A - LA LIAISON ENSEMBLE DE COMPTAGE - MICRO-ORDINATEUR	p. 24
1 - Le micro-ordinateur (photo n°3)	p. 24
2 - La carte d'interfaçage	p. 24
<i>a - Le PPI 8255</i>	p. 24
<i>b - La carte</i>	p. 26
<i>c - La programmation de la carte</i>	p. 27
B - PRESENTATION DU LOGICIEL DE PILOTAGE	p. 27

C - GESTION DU TEMPS DES MESURES	p. 28
1 - Définition des pas de temps de comptage	p. 28
<i>a - Principe</i>	p. 28
<i>b - Programmation</i>	p. 29
2 - Pilotage en temps réel de l'appareil	p. 29
<i>a - Principe</i>	p. 29
<i>b - Programmation</i>	p. 30
D - CONVERSION DES OCTETS EN REELS ET ECRITURE SUR FICHIER	p. 30
1 - Principe	p. 30
2 - Programmation (cf. annexe)	p. 32
CHAPITRE III. FONCTIONNEMENT AUTOMATISE DE L'ENSEMBLE DE COMPTAGE	p. 33
A - TESTS PRELEMINAIRES	p. 34
1 - Tests sur la carte d'interfaçage	p. 34
2 - Pilotage manuel de l'ensemble de comptage par le micro-ordinateur	p. 34
B - EXEMPLE D'EXPERIENCE AUTOMATISEE	p. 36
1 - L'échantillon de sol	p. 36
2 - Caractéristiques de la manipulation	p. 36
3 - Principe du dépouillement des mesures	p. 36
4 - Résultats des ajustements	p. 38
CONCLUSION GENERALE	p. 41
ANNEXE : LOGICIEL DE PILOTAGE DE L'ENSEMBLE DE COMPTAGE	p. A.1

AVANT-PROPOS

CADRE DU STAGE

A - L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

1 - Historique

L'Institut National de la Recherche Agronomique (I.N.R.A.) a été créé en 1946; sa création a contribué, à l'époque, à rassembler différents laboratoires de recherche. Au fil des années, de nombreux décrets ministériels ont entraîné une modification de son organisation et un élargissement de son domaine d'activités.

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 - Organisation

La direction générale de l'Institut 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 est chargé d'examiner et d'approuver la gestion de l'Institut et d'en définir les orientations générales;
- le Conseil Scientifique suit l'organisation scientifique de l'Institut, le contenu et l'exécution des programmes de recherches.

3 - Missions

L'I.N.R.A. organise et exécute 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. Enfin, il participe à la valorisation de ses recherches et effectue des expertises scientifiques.

Dans le domaine de la recherche, les missions de l'I.N.R.A. résident notamment en :

- 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 - Structures et moyens

Les recherches et les expérimentations sont conduites au sein d'unités regroupées en 26 départements de recherche correspondant à des disciplines scientifiques ou des objectifs agronomiques déterminés. Ces départements de recherche sont, eux-même, regroupés en plusieurs secteurs scientifiques.

L'implantation géographique de ces différentes unités se répartit, sur le territoire national, en 22 centres de recherches (fig. 1).

Pour la réalisation de ses différentes missions, l'I.N.R.A. dispose :

- d'un potentiel humain de 8200 personnes :
 - 1600 scientifiques;
 - 6600 ingénieurs, techniciens et administratifs;
- d'un budget s'élevant à 2,180 milliards de francs;
ce budget est alimenté, pour plus de 90 % de crédits inscrits au budget de l'Etat; le reste est couvert par des ressources propres.

B - LE CENTRE DE RECHERCHES D'AVIGNON

1 - Le Domaine Saint-Paul

Le Centre de Recherches d'Avignon a été créé en 1953 sur le Domaine Saint-Paul; il a étendu ses implantations 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 productions légumières et fruitières.

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

Le Domaine Saint-Paul abrite 10 stations de recherches parmi lesquelles les stations d'agronomie, de biométrie, de bioclimatologie, de technologie des produits végétaux, de science du sol... et dispose d'un effectif humain de 420 personnes dont 180 chercheurs, 210 techniciens, 30 administratifs.

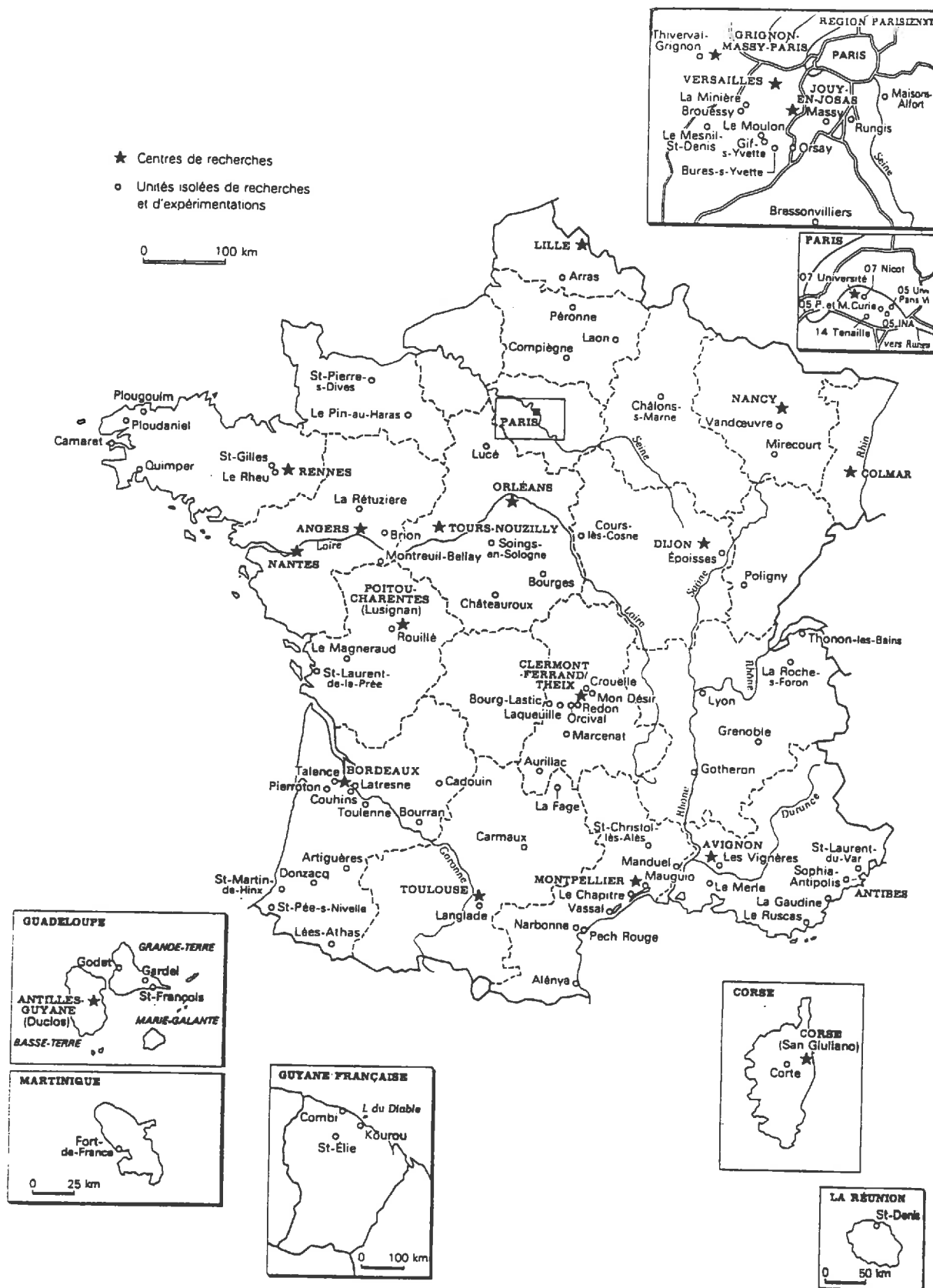


Figure 1 : Implantation de l'I.N.R.A. en France.

2 - La Station de Science du Sol

Le Département de Science du Sol a pour mission de contribuer à l'acquisition des connaissances scientifiques nécessaires à assurer l'utilisation optimale, l'amélioration et la conservation des ressources du sol. Ces objectifs exigent l'analyse de la constitution, de l'organisation et du fonctionnement des sols.

La Station de Science du Sol du Centre de Recherches d'Avignon s'intéresse à trois pôles :

- le pôle "transferts" dont les recherches sont axées sur les phénomènes de transferts de chaleur, d'eau, de gaz et de solutés;
- le pôle "espace poral : description et évolution" qui s'attache à décrire l'espace poral et à étudier son évolution (mécanique des sols);
- le pôle "sol - végétal" qui s'occupe, d'une part de transferts globaux entre le sol et les végétaux et, d'autre part, des phénomènes de croissance des racines et des coléoptiles.

C - LE STAGE

Le travail présenté dans ce mémoire s'insère dans la thématique "transferts" de la Station de Science du Sol de l'I.N.R.A. d'Avignon. Il a été réalisé sous la tutelle de Pierre RENAULT qui étudie les transferts de gaz dans les sols.

Il a consisté à automatiser une méthode de mesure permettant l'estimation simultanée d'un coefficient de transfert et d'un terme de stockage intervenant dans les lois qui décrivent les transferts gazeux par diffusion en milieu poreux.

INTRODUCTION

GENERALE

POSITION DU PROBLEME

A - LES TRANSFERTS GAZEUX : GENERALITES

La compréhension des phénomènes de transferts gazeux dans les sols peut permettre d'acquérir :

- des renseignements intéressant directement l'agriculture sur :
 - les échanges d'oxygène et de gaz carbonique entre le sol et l'atmosphère (importance pour les semences, les racines et la biologie des sols);
 - les transformations chimiques dépendant de l'état d'oxydation des sols;
 - les mouvements de produits chimiques volatils (ammoniac, fumigènes du sol);
- des connaissances concernant les caractéristiques architecturales des sols qui permettent de mieux comprendre d'autres aspects de la physique du sol : la rétention de l'eau, les transferts d'eau, de chaleur et de solutés, la mécanique des sols.

Dans la pratique, les transferts de gaz dans les sols sont essentiellement des phénomènes de diffusion décrits à l'aide de deux lois (lois de FICK) impliquant la connaissance de deux paramètres :

- un coefficient de diffusion équivalent (D_a) correspondant à une conductivité;
- une porosité équivalente (ϵ_{aa}) correspondant à un terme de stockage comme l'est la capacité calorifique.

B - PRINCIPE DE LA MESURE PHYSIQUE

La détermination simultanée des deux paramètres évoqués précédemment suppose des mesures associées à un phénomène de diffusion en régime transitoire et nécessite des prises de données à différents temps.

1 - L'appareillage

a - La cellule de diffusion

La cellule de diffusion est une cellule cylindrique à trois compartiments (fig. 2 et photo n°1) :

- deux compartiments à air placés aux extrémités de la cellule;
- un compartiment central servant à recevoir l'échantillon de sol à étudier (dimensions : 2,4 cm d'épaisseur - 7 cm de diamètre).

Deux scintillateurs plastiques associés à deux photomultiplicateurs sont placés à chaque extrémité de la cellule de diffusion. Ils servent à suivre l'évolution du gaz diffusant, le Krypton-85, isotope radioactif émettant un rayonnement β^- .

b - L'ensemble de comptage

Il est constitué de deux échelles : une échelle simple et une échelle double (échelles A et B).

L'échelle simple et l'échelle A permettent de suivre, au moyen des comptages effectués dans les deux compartiments à air, l'évolution des concentrations en Krypton dans chaque compartiment.

L'échelle B enregistre le temps et permet un pilotage rudimentaire de l'ensemble de comptage.

2 - Principe des mesures

A un temps t donné, on injecte, dans un des deux compartiments à air le Krypton. Celui-ci diffuse dans le système sol-air en fonction des caractéristiques de diffusion des différents milieux en présence - dont les valeurs de D_a et ϵ_{aa} du sol étudié -.

On suit l'évolution des concentrations en Krypton dans chaque compartiment au cours du temps en admettant que celles-ci sont proportionnelles aux comptages perçus (fig. 3).

3 - Association des mesures aux estimations de D_a et de ϵ_{aa}

Le phénomène de diffusion décrit par les lois de FICK dépend des paramètres suivants :

- D_a : coefficient de diffusion équivalent;
- ϵ_{aa} : porosité équivalente;
- D_o : coefficient de diffusion du Krypton dans l'air.

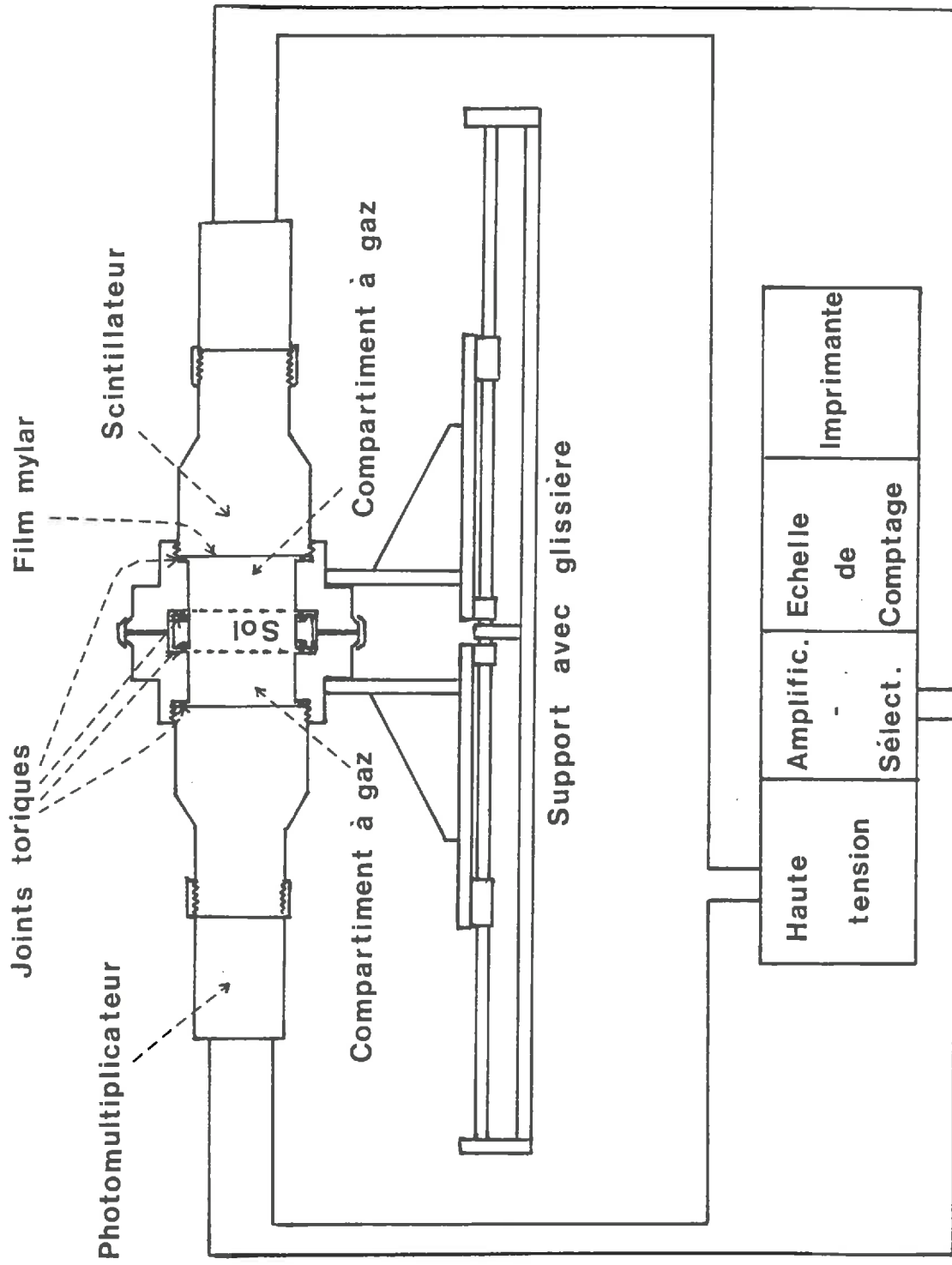
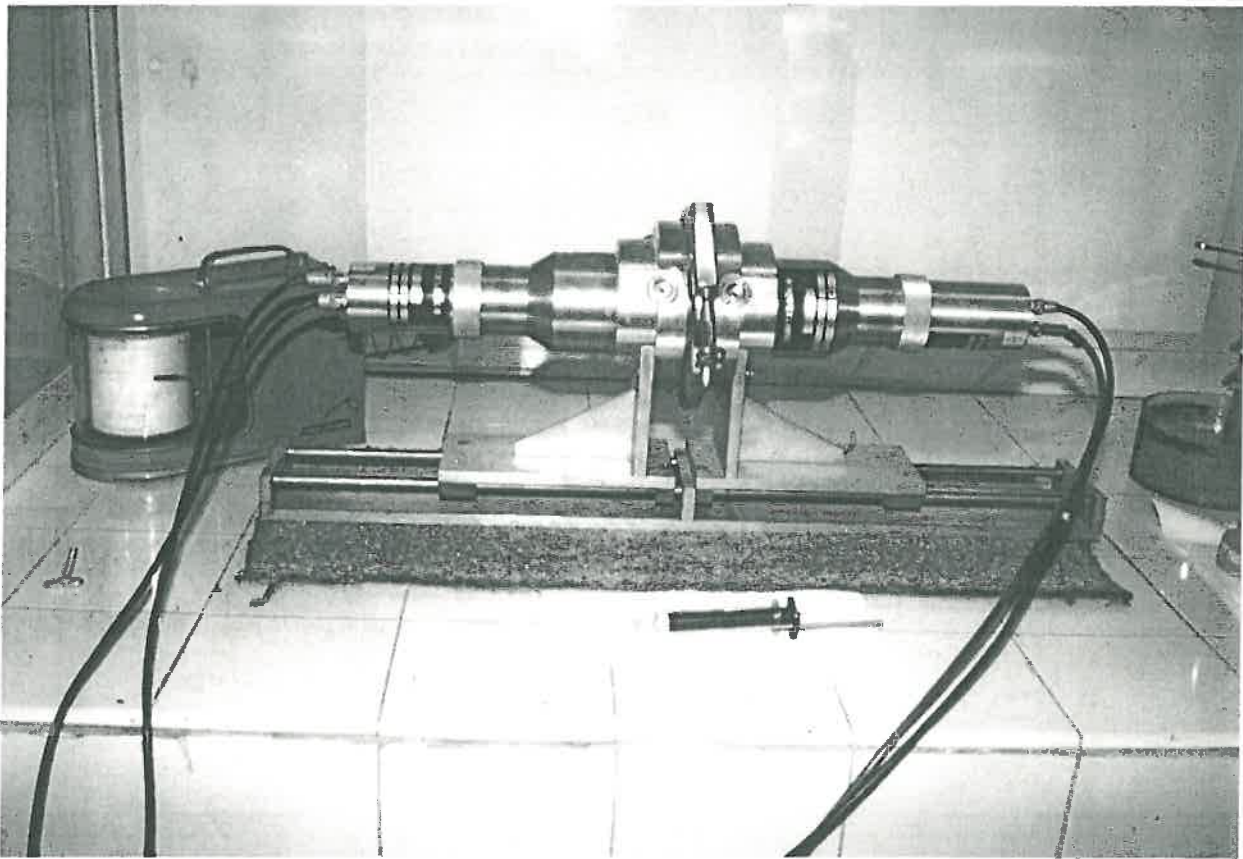


Figure 2 : La cellule de diffusion gazeuse et l'ensemble de comptage.



Photographie 1 : La cellule de diffusion.

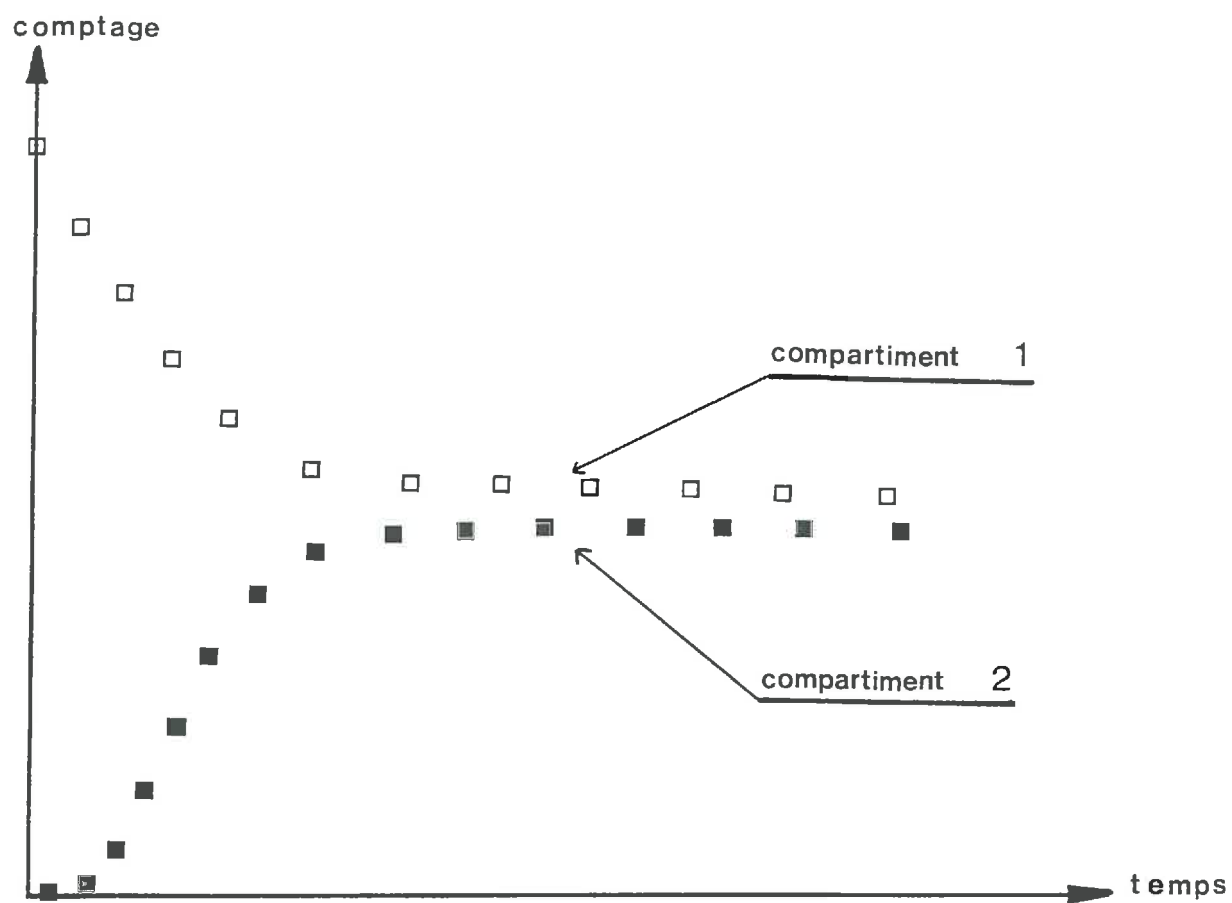


Figure 3 : Exemple d'évolution des comptages détectés dans les deux compartiments à gaz.

La connaissance de ces paramètres et de la concentration initiale en Krypton permet, par une méthode numérique, de simuler l'évolution des concentrations en différents points de la cellule.

En pratique, D_a , ϵ_{aa} et le comptage initial (proportionnel à la concentration initiale en Krypton) sont inconnus. On recherche donc les valeurs de D_a , de ϵ_{aa} et de ce comptage pour lesquelles les concentrations simulées sont "les plus proches" des concentrations mesurées.

C - AUTOMATISATION DES MESURES

1 - Les problèmes actuels

L'amélioration de la méthode actuelle passe par la résolution de deux problèmes importants liés à l'ensemble de comptage :

- la gestion du temps des comptages;
- la récupération des données sur papier.

a - La gestion du temps

Dans le fonctionnement actuel de l'appareil, géré grâce à la configuration actuelle de l'échelle B, les comptages sont effectués de façon successive (la fin d'un comptage implique le début du suivant) et pendant un intervalle de temps fixe, prédéfini en début de manipulation et non modifiable au cours de l'expérimentation.

En conséquence, le nombre de mesures réalisées par unité de temps est identique en début et en fin d'expérience.

Or les variations de concentrations dans les deux compartiments gazeux ne sont pas constantes au cours du temps; elles sont plus importantes au début qu'à la fin de l'expérience (fig. 3). Par suite, il semble nécessaire de créer un système permettant la réalisation des comptages sur des périodes croissantes avec le temps.

b - L'impression sur papier

L'impression des résultats des comptages se fait sur un papier métallisé de qualité médiocre qui ne permet pas toujours une exploitation facile des calligraphies.

Cette impression sur papier nécessite un transfert manuel des données sur un ordinateur en vue de leur traitement. Cette retranscription manuelle est une source d'erreurs et occasionne une perte de temps.

2 - Une solution : l'automatisation

L'automatisation des prises de données va permettre de solutionner les problèmes exposés précédemment : elle sera réalisée, de façon externe, à partir d'un micro-ordinateur.

Un essai d'automatisation de l'ensemble de comptage a déjà été réalisé auparavant. Il n'a pas abouti au pilotage de l'appareil mais il a permis de recueillir des renseignements sur le fonctionnement des échelles, sur le principe de réalisation des comptages...

Le pilotage automatique de l'ensemble de comptage est le résultat d'un travail de huit semaines subdivisé en trois étapes.

a - Réalisation d'une liaison entre l'ensemble de comptage et le micro-ordinateur

Une étude du fonctionnement de l'ensemble de comptage et une série de tests ont permis de mener à terme cette réalisation.

Cette liaison sera réalisée, au cours du stage, au moyen d'une carte d'interfaçage; elle permettra, d'une part, d'envoyer des ordres de début et d'arrêt des comptages et de remise à zéro des compteurs, et, d'autre part, de récupérer les données de comptages sur le micro-ordinateur.

b - Ecriture d'un logiciel de pilotage

Ce logiciel permettra le pilotage de l'appareil (ordres de marche/arrêt, raz, récupération des résultats des comptages), la réalisation des comptages pendant des intervalles de temps variables et la création de fichiers permettant le stockage sur disquette des données de comptages.

c - Test pratique du pilotage automatique

Une expérience utilisant le nouveau mode de pilotage de l'ensemble de comptage permettra de tester ce dernier.

A partir de cette expérience, les valeurs de D_a et de ϵ_{aa} associées à l'échantillon de sol étudié pourront être déterminées.

CHAPITRE 1

L'ENSEMBLE DE COMPTAGE

A - PRESENTATION DE L'ENSEMBLE DE COMPTAGE

1 - Description (Photo n°2)

L'ensemble de comptage est constitué d'un châssis pourvu d'un rack d'alimentation basse tension et pouvant recevoir différents tiroirs (ou modules) commercialisés par la Société ENERTEC Schlumberger.

La configuration actuelle de l'ensemble de comptage en dénombre sept :

- deux alimentations haute tension;
- deux amplificateurs sélecteurs-monocanaux;
- une échelle simple;
- une échelle double composée des échelles A et B;
- un module d'impression.

Les commandes sont accessibles sur la face avant des modules.

Les liaisons entre les différents modules et entre les modules et les photomultiplicateurs sont réalisées, d'une part par des câbles coaxiaux, et, d'autre part, par une limande de raccordement de 50 broches.

a - Les alimentations

Le rack d'alimentation basse tension peut générer six tensions continues régulées ($\pm 6V$; $\pm 12V$; $\pm 24V$) ainsi qu'une tension alternative (117 V à 50 Hz).

Il alimente les différents modules positionnés dans le châssis excepté les alimentations haute tension reliées directement au secteur.

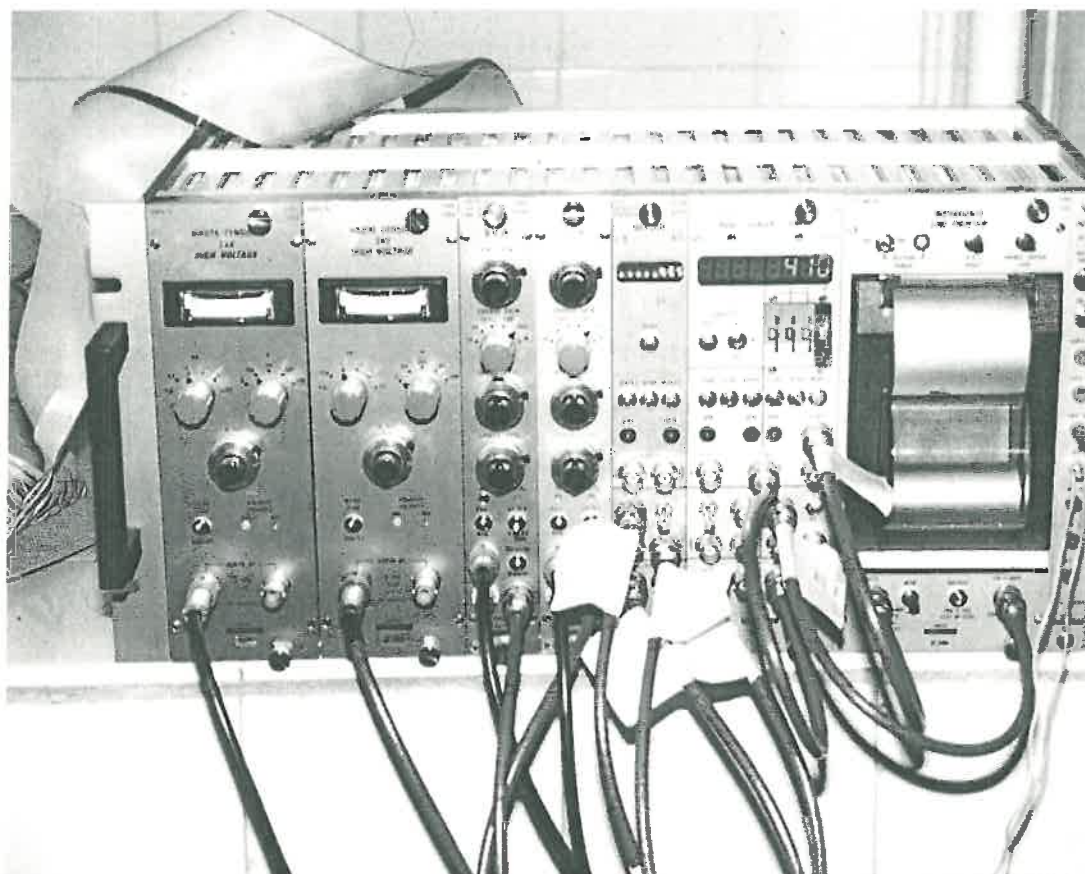
Ces dernières génèrent une tension continue pouvant atteindre 3000 V et alimentent les photomultiplicateurs avec une tension réglée actuellement à environ 1100 V.

b - Les amplificateurs-sélecteurs monocanaux

Ces modules se composent de deux parties distinctes, un amplificateur et un sélecteur monocanal.

L'amplificateur reçoit les impulsions provenant d'un photomultiplicateur et les amplifie. Deux potentiomètres permettent de régler le gain manuellement (réglage grossier et réglage fin). Celui-ci est resté fixe pour l'ensemble des mesures effectuées dans le passé.

Le sélecteur monocanal reçoit les impulsions mises en forme par l'amplificateur et les sélectionne suivant qu'elles sont comprises ou non dans une plage d'amplitude donnée; il délivre en sortie une impulsion calibrée.



Photographie 2 : L'ensemble de comptage.

Un commutateur à trois positions permet de sélectionner manuellement trois modes de fonctionnement du sélecteur monocanal :

- position E 1 - E 2 : choix d'un seuil minimal E1 et d'un seuil maximal E2;
- position Intégr. : choix d'un seuil minimal E1;
- position D E : choix d'un seuil minimal E1 et d'une fenêtre DE.

c - Les échelles

L'ensemble de comptage se compose de deux échelles : une échelle simple et une échelle double (échelles A et B).

L'échelle simple et l'échelle A effectuent le décompte des impulsions - associées aux émissions β^- dans les deux compartiments à air - en provenance des deux amplificateurs-sélecteurs monocanaux.

L'échelle B, synchrone de l'horloge interne de l'ensemble de comptage, enregistre le temps et permet un pilotage rudimentaire de l'appareil. Elle ne sera pas prise en compte pour l'automatisation car l'utilisation de l'horloge interne du micro-ordinateur semble plus pratique.

d - Le module d'impression

Il permet d'imprimer le contenu de chacune des échelles.

2 - Fonctionnement

a - Les signaux : leur création, leur cheminement et leur transformation (fig. 4.a)

Le gaz radioactif, utilisé comme traceur, émet un rayonnement β^- détecté au niveau des scintillateurs plastiques.

Le signal ainsi généré est préamplifié par un photomultiplicateur grâce à un système de dynodes; il est ensuite transmis à un des amplificateurs-sélecteurs monocanaux à travers un câble coaxial.

En fonction de l'amplitude du signal mis en forme par l'amplificateur, le sélecteur peut alors délivrer une impulsion calibrée transmise par un autre câble sur la borne "COUNT IN" positive d'une des deux échelles de comptage.

b - Principe du fonctionnement autonome de l'appareil (fig. 4.b)

Le fonctionnement actuel de l'ensemble de comptage est régi par l'échelle B.

L'utilisateur fixe, au moyen de commutateurs à molettes positionnés sur le panneau avant de l'échelle, la durée d'un comptage.

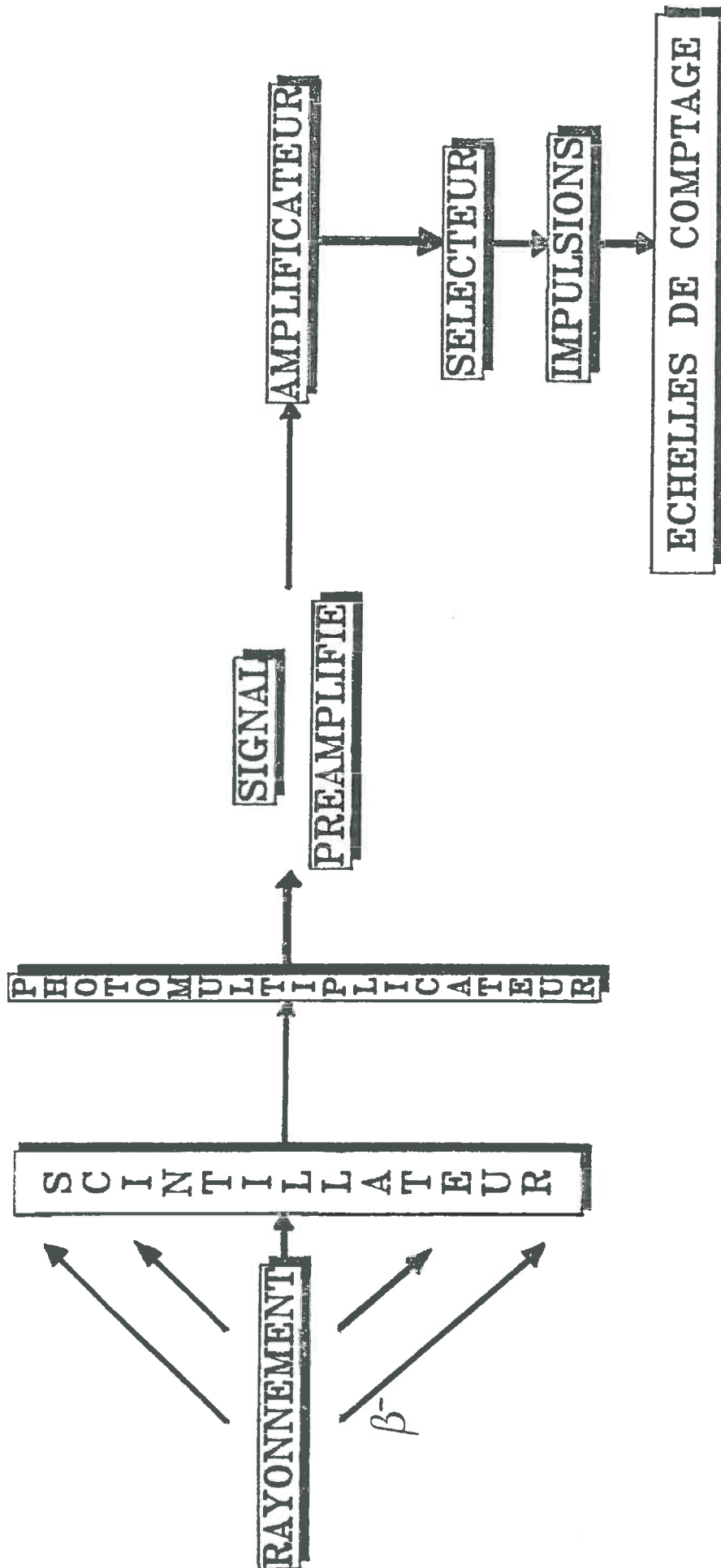


Figure 4.a : Cheminement et transformations des signaux de comptage.

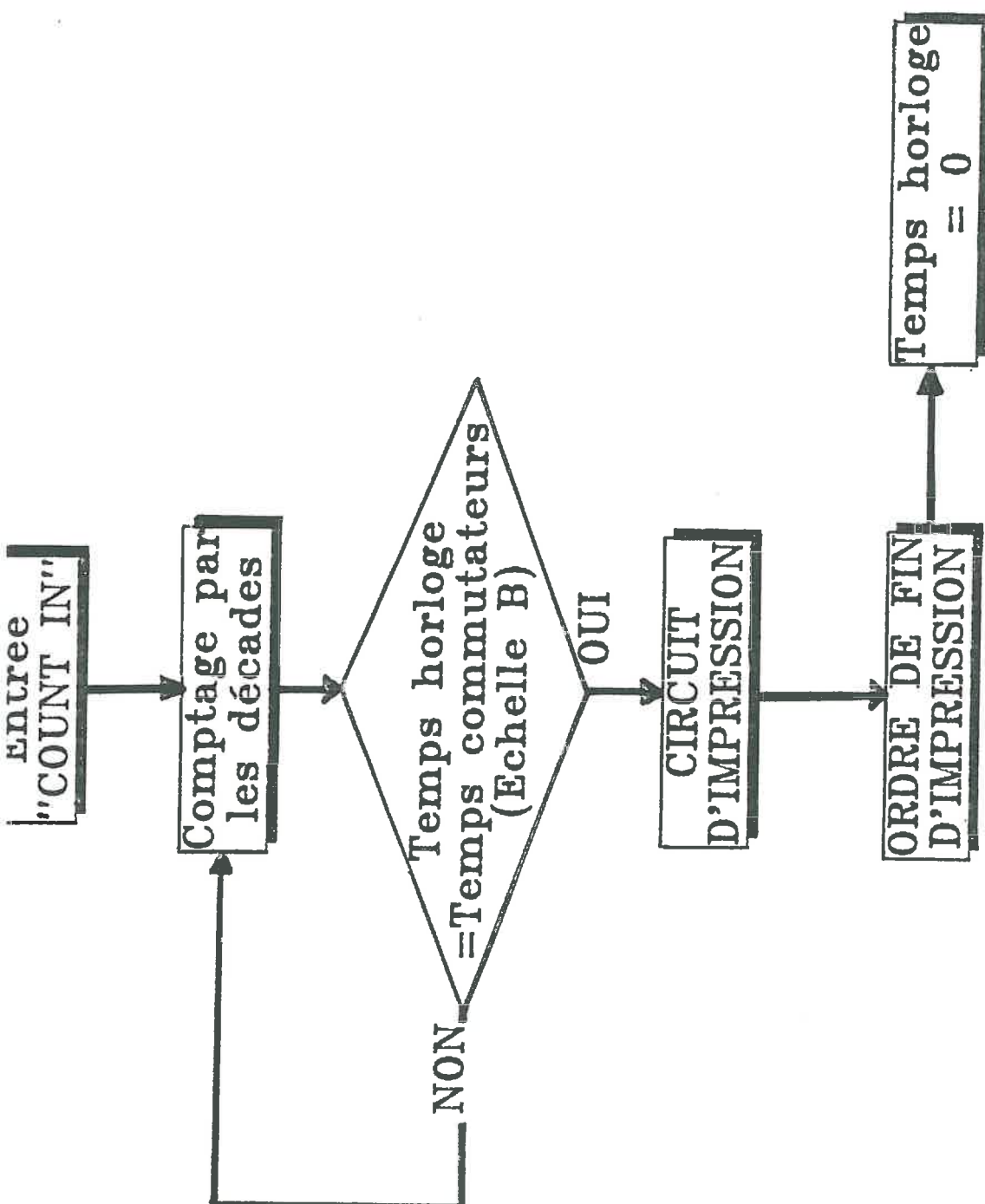


Figure 4.b : Organigramme de fonctionnement autonome de l'ensemble de comptage.

Lorsque il y a égalité entre le temps de l'horloge et celui indiqué sur les commutateurs, il y a envoi d'un ordre d'arrêt des comptages aux différentes échelles (dont l'échelle B) et de début d'impression au module imprimante.

Ce dernier génère, au moyen de la limande de raccordement, des signaux permettant de scruter le contenu des différentes échelles et de remettre ensuite les compteurs à zéro. Après l'impression des comptages des échelles, ce module envoie un signal aux échelles entraînant la reprise des comptages.

Le cycle d'impression suivant a lieu lorsque le temps de l'horloge est à nouveau égal à celui présélectionné par l'utilisateur.

c - Les fonctions automatisables

Compte-tenu des problèmes de gestion du temps et de récupération des données sur disquette (cf. introduction générale §.C-2), il est possible de limiter l'automatisation à la création d'une liaison entre le micro-ordinateur et les échelles de comptage.

En effet, cette liaison suffit à commander la marche ou l'arrêt des comptages et la remise à zéro des compteurs. Elle permet, par ailleurs, le transfert des résultats des comptages au micro-ordinateur.

L'automatisation des autres commandes de l'ensemble de comptage constituées essentiellement de potentiomètres (gains de l'amplificateur, seuils du sélecteur, valeurs des hautes tensions...) ne présente pas d'intérêt dans l'immédiat : ces réglages sont identiques pour toutes les expériences faites actuellement.

B - LES ECHELLES DE COMPTAGE

L'ensemble de comptage est constitué des échelles simple, A et B.

1 - Caractéristiques techniques

Chaque échelle présente :

- une capacité de comptage égale à $(10^8 - 1)$ permettant des comptages variant de 0 à 99999999;
- un temps de résolution de 50 ns;

Leurs commandes sont :

- Marche/Arrêt,
- remise à zéro (RAZ).

Elles peuvent admettre des impulsions sur l'entrée "COUNT IN" positive dont les caractéristiques sont les suivantes :

- la fréquence est inférieure ou égale à 20 MHz;
- la durée minimale est de 20 ns;
- le temps de montée est inférieur à 1µs;
- le niveau significatif est supérieur ou égal à 3 V,
- le niveau non significatif est inférieur ou égal à 0,8 V.

2 - Principe de fonctionnement

a - Le comptage : réalisation

Le comptage est réalisé à l'aide de 8 décades en circuits intégrés toutes identiques, exceptée celle des unités, plus rapide. Lorsque le chiffre 9 est atteint par une décade, la sortie "carry" de cette dernière est activée et valide ainsi l'entrée de la décade suivante permettant de cette façon, le comptage des dizaines, des centaines, etc...

Le signal, en provenance de l'amplificateur-sélecteur, est appliqué sur l'entrée "COUNT IN" de l'échelle. La transmission du signal vers les décades se fait par l'intermédiaire d'une porte dont l'ouverture ou la fermeture est commandée par une bascule de Marche / Arrêt.

Cette bascule tout ou rien peut fonctionner suivant deux modes sélectionnés par un inverseur placé sur le panneau avant des échelles.

- **le mode PULSE** : ce fonctionnement est réalisé par des ordres de marche et d'arrêt manuels ou impulsions. Une impulsion sur les entrées "START" ou "STOP" entraîne l'ouverture ou la fermeture de la porte de comptage.

- **le mode DC** : l'ordre de début de comptage est envoyé si la tension à l'entrée de la porte est significative. Ici, une action sur les boutons "START" et "STOP" est sans effet; la porte est validée en permanence.

b - L'adressage des échelles

Le contenu des huit décades peut être transmis à l'extérieur des échelles (actuellement au module d'impression) par la limande de raccordement de 50 broches. Cette limande étant commune aux trois échelles, la transmission du contenu des décades d'une des échelles nécessite un adressage.

Les adresses des échelles sont codées à l'aide de 5 cavaliers placés sur le circuit imprimé. Les cavaliers relient les lignes d'adresses de poids 1, 2, 4, 10 et 20 - en code octal - ou leur complément aux entrées d'une porte (circuit d'interrogation).

Lorsqu'une adresse est validée, l'échelle correspondante est interrogée et les 32 portes placées entre les 8 décades et le connecteur 50 broches sont ouvertes.

c - La remise à zéro

La remise à zéro des décades a lieu soit au moment de la mise sous tension, soit par action sur la touche "reset", soit enfin lorsque le module d'impression génère, par l'intermédiaire de la limande de raccordement, un signal de remise à zéro générale ou de remise à zéro adressée.

3 - Description des circuits logiques (fig. 5)

La logique utilisée est de type TTL :

- niveau "0" : 0V ou masse
- niveau "1" : + 5V

Sur le schéma logique, un petit cercle, placé sur les entrées de la cellule logique, indique que le niveau 0 est actif; l'absence de ce cercle indique que le niveau 1 est actif.

Un signal injecté sur l'entrée "COUNT IN" positive (position choisie pour le fonctionnement de l'ensemble de comptage) traverse une cellule "OU" puis un différenciateur -réalisant la mise en forme du front aval du signal COUNT- avant d'arriver sur l'entrée de la première décade.

Chaque signal reçu et compté par la décade correspond à un "coup" - un "coup" équivaut à l'impulsion associée à une émission de rayonnement β^- -. Chaque décade code un chiffre compris entre 0 et 9. Elles correspondent respectivement aux unités, aux dizaines, aux centaines, etc...

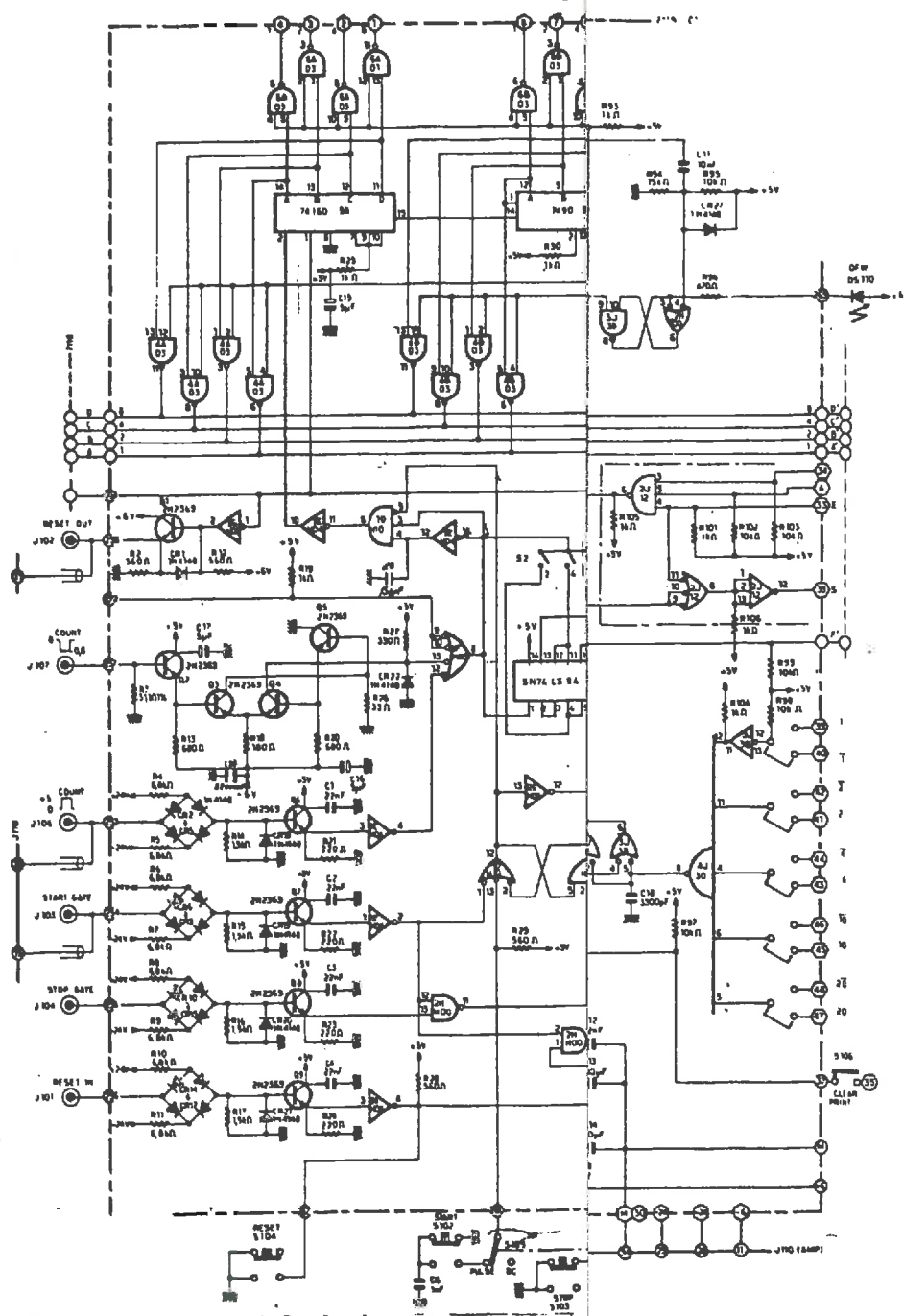
L'impression sur papier et l'affichage des résultats des comptages sont réalisés, pour chaque décade, par deux groupes de quatre cellules logiques. Un niveau actif sur les entrées de ces portes génèrent un signal d'impression transmis au module "imprimante" et un signal d'affichage transmis à un décodeur sept segments permettant l'affichage permanent du comptage.

C - LES TESTS

1 - Objectifs

L'objectif de ce travail a été de vérifier notre compréhension du fonctionnement des échelles de comptage. Plus particulièrement, il a consisté, d'une part, à tester notre aptitude à envoyer des ordres de marche, d'arrêt et de raz ainsi que la possibilité de transmission des comptages à un organe extérieur (le micro-ordinateur) et, d'autre part, à déterminer avec exactitude les adresses des échelles.

L'adresse des échelles, les données de comptages et l'ordre de raz générale sont transmis aux différents modules par l'intermédiaire du connecteur 50 broches. En



revanche, il n'en est pas ainsi pour l'ordre de marche ou d'arrêt des comptages; afin de simplifier la connection ultérieure entre le micro-ordinateur et les échelles de comptage, nous avons relié la broche correspondant à cette commande à une broche libre du connecteur. L'inverseur de l'échelle étant en position DC, cette broche nous permet alors de contrôler simultanément le début et l'arrêt des comptages. De ce fait, la liaison entre les échelles et le micro-ordinateur se limite à la limande de raccordement de 50 broches.

Les voies du connecteur 50 broches sont affectées comme suit :

broche n°	fonction
1 à 32	Broches associées aux 8 décades
33 - 34	Broches non utilisées
35	RAZ adressée
36	RAZ générale
37	Broche non connectée
38	Broche non utilisée
39 à 48	Adresses des échelles
49	Broche non connectée auparavant, elle permet actuellement la commande de Marche/Arrêt du système
50	Masse

2 - Montages pratiques

Les tests ont nécessité la réalisation de plusieurs montages électroniques simples. En effet, les premiers circuits se sont révélés inadaptés car notre compréhension du fonctionnement de l'échelle n'était pas satisfaisante.

Ces tests préalables nous ont enseigné, d'une part, que le niveau actif d'une entrée ou d'une sortie ne correspond pas toujours à 5 V mais parfois à 0 V, et, d'autre part, que les sorties sont associées à des connecteurs inverseurs et qu'elles ne sont lisibles qu'en présence d'une alimentation externe 5 V couplée à une résistance d'environ 680 Ohms.

Dans ce rapport, nous présentons le schéma du montage final (fig. 6). Ce dernier nous a donné satisfaction à tous points de vue (Marche/Arrêt, RAZ, adressage des échelles). La lecture des données de comptage a été réalisée au voltmètre.

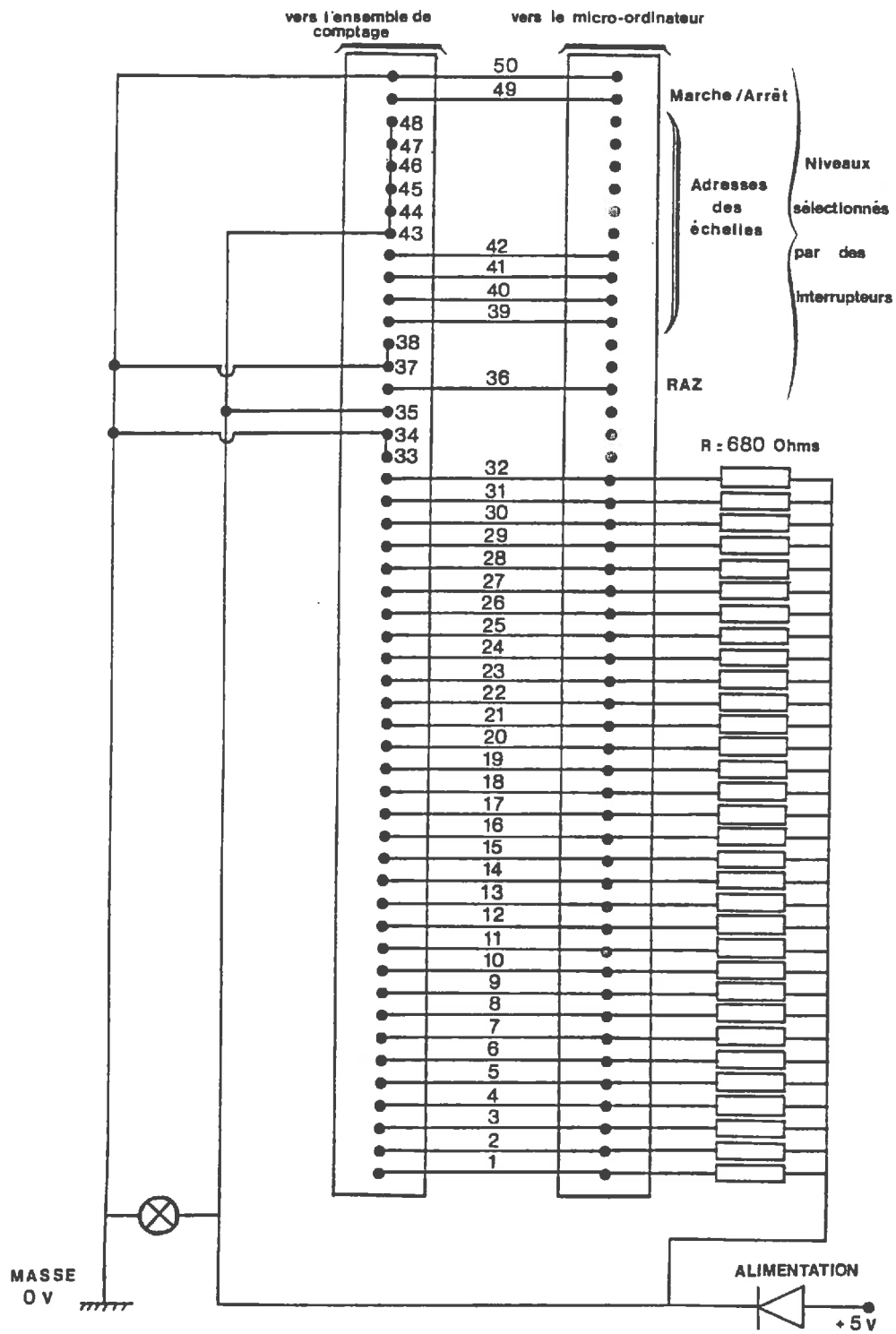


Figure 6 : Montage électronique utilisé pour tester l'ensemble de comptage et, ultérieurement, pour la liaison entre l'ensemble de comptage et le micro-ordinateur.

3 - Les apports des tests

a - Fonctionnement de Marche / Arrêt et de RAZ

Le comptage nécessite une tension de 5 V sur la broche 49 du connecteur 50 broches, l'arrêt une tension 0 V. Il nécessite, par ailleurs, une tension de 5 V sur la broche 36 : la mise à 0 V de celle-ci entraîne une RAZ générale des échelles. Dans ce dernier cas, le niveau actif est inversé (0 V).

b - Adressage des échelles

Les échelles sont codées à l'aide de 5 cavaliers correspondant aux lignes d'adresse de poids 1, 2, 4, 10 et 20 (en code octal) ou leur complément. Ces 10 lignes sont associées aux broches 39 à 48 de la limande de raccordement. La position des cavaliers sur les circuits imprimés nous a amené à prévoir les adresses suivantes pour les échelles :

- échelle simple : $\overline{1}$ $\overline{2}$ $\overline{4}$ $\overline{10}$ $\overline{20}$
- échelle A : $\overline{1}$ $\overline{2}$ $\overline{4}$ $\overline{10}$ $\overline{20}$
- échelle B : 1 2 4 10 20

Ces adresses ont été vérifiées à l'aide du montage. Pour ce test, l'adresse est considérée correcte si les 32 portes correspondant aux 8 décades s'ouvrent, c'est à dire si la tension de certaines des 32 broches - initialement toutes à 5 V - passe à 0 V (pour des comptages non nuls). Un voltmètre a permis de scruter les tensions sur les 32 lignes.

L'adresse de poids 1 (broches 39 et 40) ayant un niveau actif inversé (0 V), l'ouverture des portes associées aux échelles simple et A peut être résumée par le tableau qui suit :

broche n°	poids de la ligne d'adresse	échelle simple	échelle A
39	1	0 V	5 V
40	$\overline{1}$	5 V	0 V
41	2	0 V	5 V
42	$\overline{2}$	5 V	0 V
43	4	0 V	0 V
44	4	5 V	5 V
45	$\overline{10}$	0 V	0 V
46	$\overline{10}$	5 V	5 V
47	$\overline{20}$	0 V	0 V
48	$\overline{20}$	5 V	5 V

Les adresses de poids 4, 10 et 20 des trois échelles étant identiques, les lignes 43 à 48 ont été reliées au 5 V afin que ces adresses soient toujours validées.

Ainsi, les mesures effectuées nous permettent de déduire les adresses des deux échelles :

- échelle simple : $1 \bar{2} \bar{4} \bar{10} \bar{20}$

- échelle A : $\bar{1} 2 \bar{4} \bar{10} \bar{20}$

c - Lecture des décades

L'algèbre de Boole utilise quatre bits pour coder les chiffres de 0 à 9 (BCD).

Nous avons testé le codage de ces chiffres pour les trois premières décades de l'échelle simple.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

fil n°	1	2	3	4	décade n°1
	5	6	7	8	décade n°2
	9	10	11	12	décade n°3

comptage visualisé sur les afficheurs	tension mesurée en Volts			
0	5	5	5	5
1	5	5	5	0
2	5	5	0	5
3	5	5	0	0
4	5	0	5	5
5	5	0	5	0
6	5	0	0	5
7	5	0	0	0
8	0	5	5	5
9	0	5	5	0

Les mesures des tensions sont compatibles avec les valeurs indiquées sur les afficheurs; la lecture des décades est réalisée de façon correcte.

CHAPITRE 2

LE LOGICIEL DE PILOTAGE

A - LA LIAISON ENSEMBLE DE COMPTAGE - MICRO-ORDINATEUR

1 - Le micro-ordinateur (photo n°3)

Le micro-ordinateur utilisé pour l'automatisation de l'ensemble de comptage est un GOUPIL-G4.

Cet appareil dispose d'un bus externe d'Entrées/Sorties, conforme au bus Entrées/Sorties IBM PC. Celui-ci comprend un bus de données bidirectionnel (16 bits), un bus d'adresses (20 bits), des registres de commande, des lignes d'alimentation et une masse.

Le bus externe du micro-ordinateur permet donc la gestion des entrées-sorties; il offre, par ailleurs, la possibilité de connecter des cartes périphériques.

2 - La carte d'interfaçage

La carte d'Entrées/Sorties logiques utilisée pour la réalisation de la liaison entre l'ensemble de comptage et le micro-ordinateur est un produit classique commercialisé à bas prix. Aussi avons-nous préféré son achat à sa conception au laboratoire.

a - Le PPI 8255

Le PPI 8255 (Parallel Programmable Interface) est l'organe essentiel de la carte logique. Il permet de réaliser l'entrée et/ou la sortie de données sur trois octets (trois ports). Deux ports (A et B) peuvent être configurés soit entièrement en entrée, soit entièrement en sortie; le troisième (port C) se décompose en deux quartets (4 bits) adressables indépendamment en entrée ou en sortie.

La configuration des ports (entrée ou sortie) est programmée par un registre de contrôle correspondant à un octet.

Celui-ci se décompose de la façon suivante :

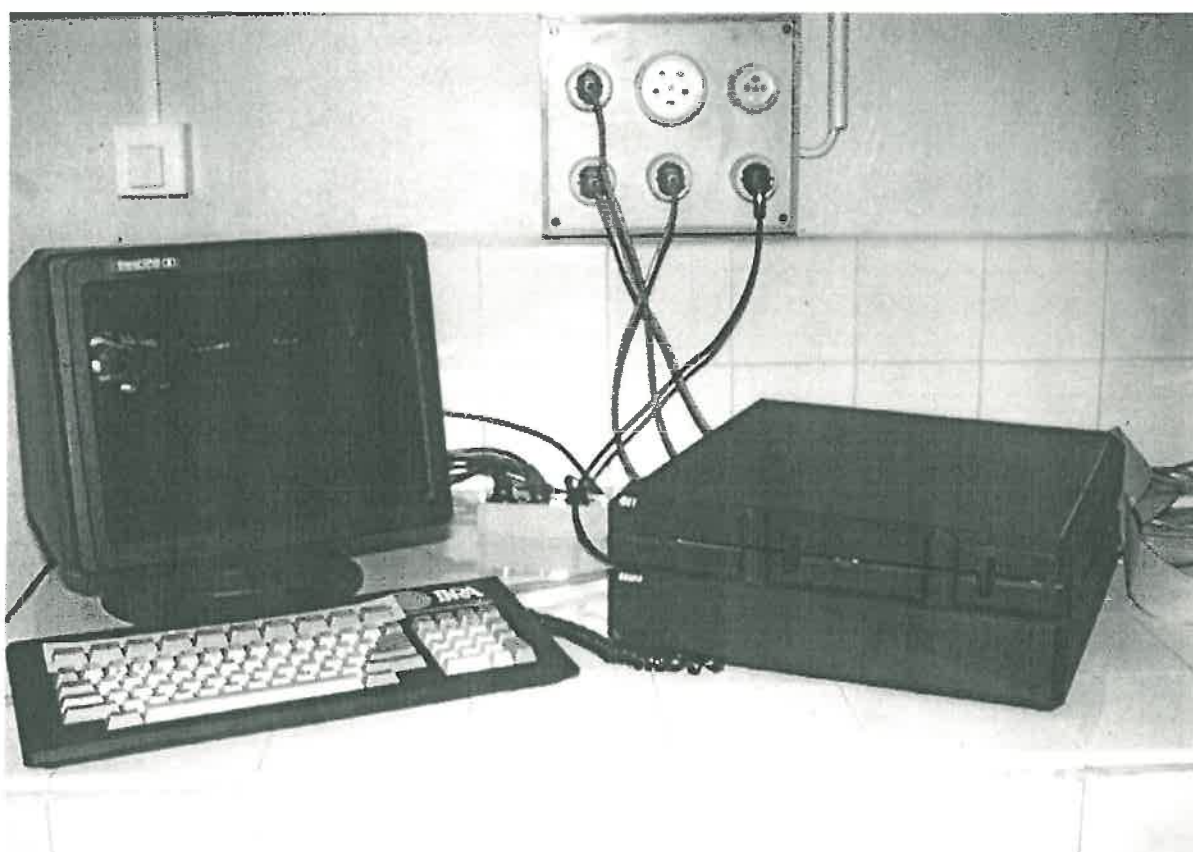
D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0

Parmi les huit bits que compte l'octet, quatre prennent systématiquement la même valeur :

- D7 est toujours à 1;
- D2, D5 et D6 sont toujours à 0;

Les quatre bits restant ont les rôles suivants :

- D0 détermine le sens de fonctionnement du quartet faible du port C;
- D1 détermine le sens de fonctionnement du port B;



Photographie 3 : Le micro-ordinateur de pilotage.

- D3 détermine le sens de fonctionnement du quartet fort du port C;
- D4 détermine le sens de fonctionnement du port A.

Si un port est programmé en sortie, le bit correspondant est positionné à 0; si celui-ci est programmé en entrée, le bit est positionné à 1.

b - La carte

La carte d'Entrées/Sorties logiques utilisée pour l'automatisation actuelle de l'ensemble de comptage n'est pas celle qui réalisera le pilotage définitif de l'appareil.

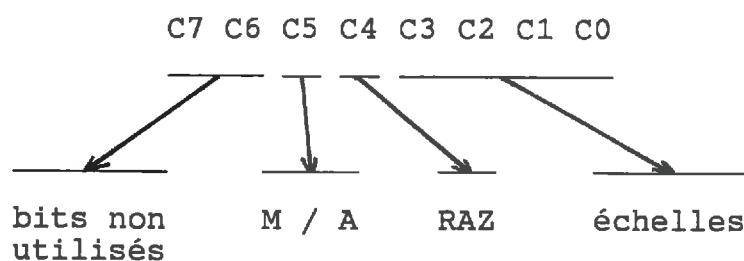
Cette carte, mise gracieusement à notre disposition pour permettre la réalisation du pilotage avant la fin du stage, dispose de 48 Entrées/Sorties logiques et analogiques. La carte définitive comptera 72 Entrées/Sorties logiques.

Parmi les 48 Entrées/Sorties de la carte d'interfaçage, 36 seulement sont disponibles pour la réalisation du projet mis en oeuvre - les 8 analogiques et certaines autres étant inutilisables -.

Les principaux composants de la carte sont deux PPI 8255 en circuits intégrés. Le premier dispose sur ses trois ports A, B et C de 24 E/S logiques; le second compte 12 E/S logiques dont 8 sur le port C et 4 sur le port B.

La présence de deux PPI implique l'existence de deux registres de contrôle.

Les trois ports du premier PPI sont programmés en entrée; actuellement, ils sont utilisés pour coder six des huit décades. Par ailleurs, le fonctionnement n'utilise que le port C du second PPI configuré en sortie afin de permettre l'adressage des échelles et des commandes de Marche / Arrêt et de RAZ. La répartition des bits pour cet adressage se fait comme suit :



La configuration de la carte est telle que les différentes adresses sont :

PPI n°	registre de contrôle	port A	port B	port C
1	&H307	&H304	&H305	&H306
2	&H30B	--	--	&H30A

c - La programmation de la carte

La carte d'interfaçage se programme uniquement par des ordres IN et des ordres OUT suivant le dialogue que l'on veut établir entre l'ensemble de comptage et le micro-ordinateur de pilotage.

Cette programmation est simple. Elle réside en l'envoi et la récupération de données :

- l'envoi d'une donnée est réalisé comme suit :

OUT (adresse),valeur

Ainsi, pour configurer les deux PPI respectivement en entrée et en sortie, il suffit d'exécuter les instructions :

OUT &H307,155 : programmation du PPI en entrée (les bits D0, D1, D3 et D4 sont positionnés à 1);

OUT &H30B,128 : programmation du PPI en sortie (les bits D0, D1, D3 et D4 sont positionnés à 0).

- la récupération d'une donnée se fait de la manière suivante :

donnée = INP (adresse)

Par exemple, pour lire les deux décades contenues sur un octet (port A du 1^{er} PPI), il suffit d'écrire :

ioctet = INP (&H304)

B - PRESENTATION DU LOGICIEL DE PILOTAGE

La programmation du logiciel de pilotage de l'ensemble de comptage a été effectuée en **QUICK BASIC**. Le choix de ce langage se justifie par les avantages qu'il présente vis à vis de nos objectifs d'automatisation. En effet, il permet de gérer directement les entrées/sorties logiques sur des ports sans nécessiter l'écriture de sous-programmes en assembleur; il permet, par ailleurs, de gérer facilement le temps des mesures car il donne accès directement à l'horloge interne du micro-ordinateur.

Le programme de pilotage peut être subdivisé en quatre parties - notées 1, 2, 3 et 4 - qui permettent la réalisation de quatre opérations :

- 1 : la définition des durées des temps de comptage;
- 2 : le pilotage en temps réel de l'ensemble de comptage présenté dans le chapitre 1;
- 3 : la conversion des octets récupérés sur les ports de sortie en décades puis en nombres réels;
- 4 : l'écriture des données des comptages sur fichier.

C - GESTION DU TEMPS DES MESURES

1 - Définition des pas de temps de comptage

a - Principe

Les variations de concentrations en Krypton dans les deux compartiments à air ne sont pas constantes au cours du temps (cf. introduction générale §.C-1-a). Aussi, il convient de créer un système effectuant des comptages fréquents en début d'expérience et de moins en moins nombreux par la suite.

Dans cette optique, nous avons choisi d'exécuter les comptages sur des pas de temps variables à progression géométrique. Trois paramètres fixes interviennent dans ce contexte :

- la durée totale de l'expérience : TEXP;
- le nombre total de comptages : NBCOM;
- le taux d'accroissement des temps de comptage $t(i)$ entre deux comptages successifs : TTAUX.

Connaissant TEXP, NBCOM et TTAUX, il est possible de remplir le tableau des temps de comptage $t(i)$.

En effet, la somme des temps de comptage $t(i)$ où i varie de 1 à NBCOM est égale à la durée totale de l'expérience TEXP :

$$t(1) + t(2) + t(3) + \dots + t(\text{NBCOM}) = \text{TEXP}.$$

De plus, on a :

$$\begin{aligned} t(2) &= t(1) * \text{TTAUX}, \\ t(3) &= t(2) * \text{TTAUX} = t(1) * \text{TTAUX}^2 \\ &\dots \end{aligned}$$

On en déduit la relation suivante :

$$t(1) (1 + TTAUX + TTAUX^2 + \dots + TTAUX^{(NBCOM-1)}) = TEXP.$$

Par suite, la détermination de $t(1)$ est possible. Elle permet ainsi, de proche en proche, le calcul de l'ensemble des temps de comptage $t(i)$.

b - Programmation (cf. annexe)

La partie du programme de pilotage qui permet la définition des pas de temps de comptage se décompose en trois sous-programmes :

- un sous-programme d'entrées des paramètres TEXP, NBCOM et TTAUX;
- un sous-programme de calcul du tableau des temps de comptage $t(i)$;
- un sous-programme d'affichage des valeurs calculées.

Grâce à un système de tests, l'utilisateur peut, au cours de l'entrée des données, apporter des modifications (redéfinition des paramètres de l'expérience).

2 - Pilotage en temps réel de l'appareil

a - Principe

En début d'expérience et à la fin de chaque intervalle de temps $t(i)$, cette partie du programme de pilotage fait appel à un sous-programme choisi parmi trois selon l'état d'avancement de l'expérience :

- un sous-programme, utilisé en début d'expérience (sous-programme début) :

il remet les compteurs des deux échelles à zéro et envoie un ordre de Marche;

- un sous-programme, utilisé à la fin de chaque subdivision du temps $t(i)$ excepté en fin d'expérience ($t(nbcom)$) (sous-programme milieu) :

il arrête les comptages, adresse la première échelle et lit actuellement les trois octets correspondant aux six premières décades; il répète la même opération pour la deuxième échelle. Enfin, il remet les compteurs à zéro et démarre un nouveau comptage;

- un sous-programme, utilisé en fin d'expérience (sous-programme fin) :

il arrête les comptages et récupère comme précédemment les données des deux échelles.

b - Programmation (cf. annexe)

Cette partie s'articule autour d'un sous-programme qui fait appel de façon optionnelle aux trois sous-programmes évoqués précédemment (début, milieu, fin).

La programmation nécessite la gestion du temps des mesures. Cette dernière est permise grâce à des instructions propres au QUICK BASIC impliquant l'horloge interne du micro-ordinateur.

Cette gestion du temps est principalement réalisée par quatre instructions exécutables décrites, ci-dessous, de manière caricaturale :

- l'instruction **TIMER ON** :

elle active un compteur du temps initialement à zéro;

- l'instruction **ON TIMER (N) gosub fonction** :

elle réalise après chaque instruction exécutable du QUICK BASIC la comparaison de N à la valeur du compteur; en cas d'égalité, la fonction est exécutée puis ce compteur est remis à zéro.

- l'instruction **TIMER STOP** :

elle désactive la fonction "ON TIMER (N) gosub fonction" et permet l'exécution d'une nouvelle instruction ON TIMER.

- l'instruction **TIMER OFF** :

elle désactive l'instruction TIMER ON.

Afin de mener l'expérience à son terme, le programme ne doit pas être interrompu : celui-ci doit exécuter des instructions tant que le "compteur temps" n'a pas atteint la valeur N sélectionnée. Pour pallier à cet inconvénient relatif aux instructions de temps, il est nécessaire de créer une boucle infinie dont on ne sort, qu'après le dernier comptage, par un test logique.

Un organigramme présentant la logique générale de ce sous-programme de pilotage de l'appareil en temps réel est présenté à la figure 7.

D - CONVERSION DES OCTETS EN REELS ET ECRITURE SUR FICHIER

1 - Principe

Un octet compte huit bits et permet le codage de deux décades. Pour chaque échelle, on récupère ainsi trois octets correspondant aux six premières décades.

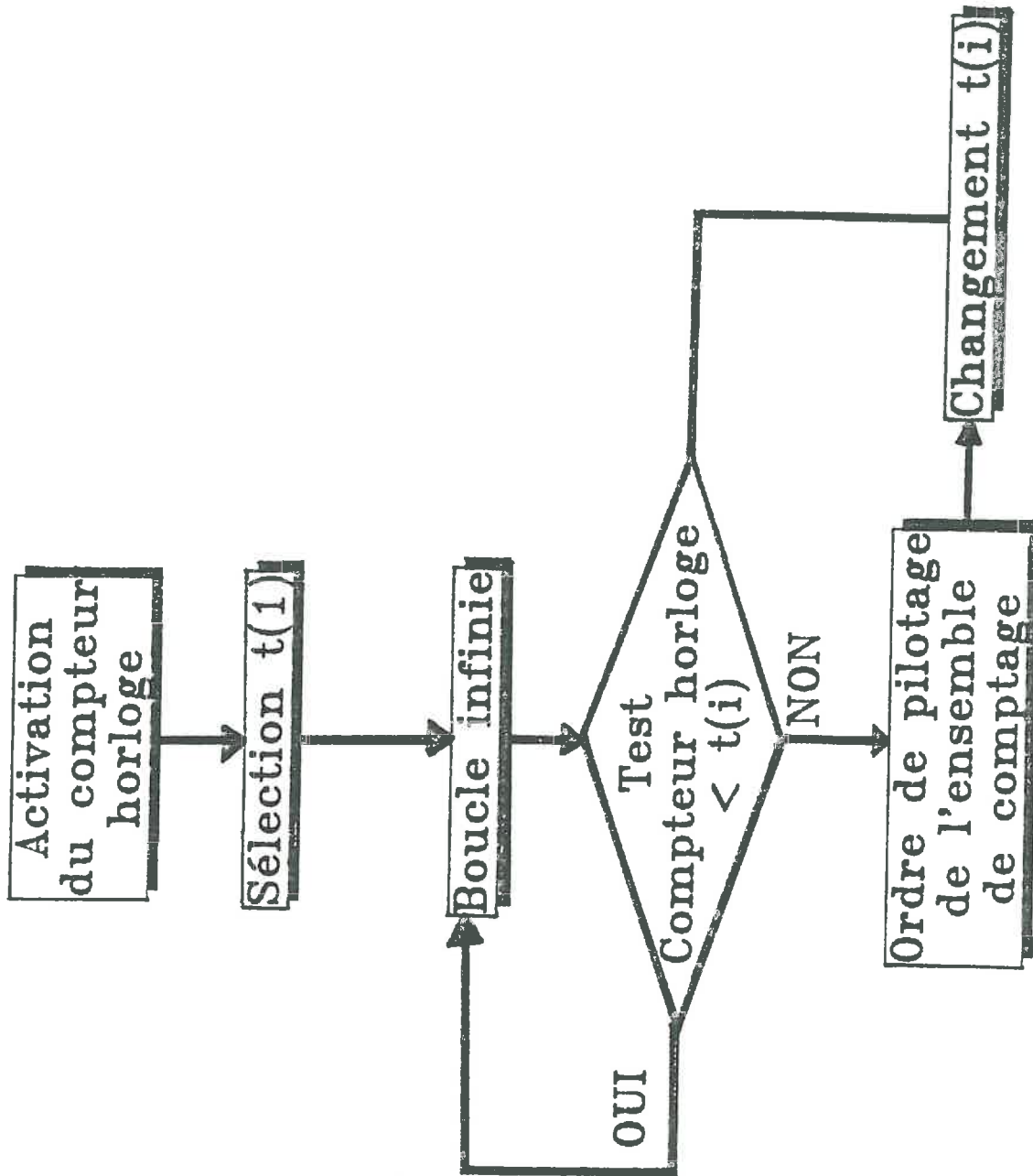


Figure 7 : Organigramme des sous-programmes de pilotage de l'ensemble de comptage en temps réel.

L'objectif de cette conversion consiste à prendre en compte chaque octet afin de recomposer les deux décades qui lui sont associées et à reconstituer ainsi le réel correspondant au comptage de l'échelle considérée.

Les huit bits de l'octet correspondent aux restes des divisions successives de celui-ci par 2. En raison des caractéristiques des ports de sortie (connecteurs inverseurs), les valeurs des bits ainsi trouvées sont inversées par rapport au codage BCD : un 1 équivaut à un 0 et réciproquement. Ainsi, il est possible de recomposer les décades associées à la partie haute et à la partie basse de l'octet.

2 - Programmation (cf. annexe)

Deux sous-programmes réalisent ces opérations; l'un transforme l'octet en deux décades - partie haute et partie basse -, l'autre reconstitue ensuite les réels correspondant aux comptages des deux échelles.

Ces deux réels (associés aux comptages détectés dans les compartiments à air) sont alors transférés sur un fichier. Ces opérations ont lieu pendant la durée d'un comptage et non entre deux comptages successifs.

CHAPITRE 3

FONCTIONNEMENT AUTOMATISE DE L'ENSEMBLE DE COMPTAGE

A - TESTS PRELEMINAIRES

1 - Tests sur la carte d'interfaçage

Ces tests nous ont permis de vérifier le fonctionnement correct de la carte d'interfaçage et, en particulier, l'exactitude des adresses des registres de contrôle et des ports de données. Ce contrôle a été réalisé en envoyant des ordres à partir du micro-ordinateur sans programme compilé.

Pratiquement, ces tests ont été exécutés à la sortie de la carte avec un voltmètre.

Ils nous ont permis de constater le bon fonctionnement de la carte excepté sur deux points :

- le quartet de poids fort du port A du premier PPI ne fonctionne pas malgré un changement du composant. La carte utilisée actuellement étant une carte transitoire, nous n'avons pas cherché à approfondir le problème mais pour éviter que ce défaut ne biaise les résultats des expériences, nous avons fixé la valeur de la décade correspondante (dizaines) à 5;
- les bornes C2 et C3 du deuxième PPI sont inversées par rapport à la notice de la carte.

2 - Pilotage manuel de l'ensemble de comptage par le micro-ordinateur

Ces essais avaient pour objectif de vérifier notre capacité :

- à envoyer des ordres de Marche, d'Arrêt et de RAZ;
- à récupérer les données des échelles.

Dans la pratique, cette vérification a été menée en configurant le premier PPI en entrée (*OUT &H307,155*) et le second en sortie (*OUT &H30B,128*) (cf. chapitre 2 §.A-2-b).

Cette configuration nous a permis de lancer, par l'intermédiaire du port C du second PPI, les ordres de pilotage proprement dits (Marche/Arrêt et RAZ) ainsi que l'adressage des échelles.

Parmi les huit bits que compte cet octet, C4 et C5 sont relatifs aux ordres de RAZ et de Marche/Arrêt. Ainsi, les ordres de pilotage sont envoyés du micro-ordinateur à l'ensemble de comptage comme suit :

- Marche : *OUT &H30A,48* ;
- Arrêt : *OUT &H30A,16* ;
- RAZ : *OUT &H30A,0* .

L'adressage des échelles se fait de façon analogue au lancement du pilotage sachant que les bits C0, C1, C2 et C3 sont relatifs aux lignes d'adresse 1, 1, 2 et 2 des échelles.

- Adressage de la première échelle : *OUT &H30A,22* ;
- Adressage de la deuxième échelle : *OUT &H30A,25* .

Le tableau qui suit fait la synthèse des différents ordres transmissibles à l'ensemble de comptage par le port C du second PPI.

C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	C0	
2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	
128	64	32	16	8	4	2	1	
0	0	1	1	0	0	0	0	Ordre de Marche = 48
0	0	0	1	0	0	0	0	Ordre d'Arrêt = 16
0	0	0	0	0	0	0	0	RAZ générale = 0
0	0	0	1	0	1	1	0	Première échelle = 22
0	0	0	1	1	0	0	1	Deuxième échelle = 25

La récupération des données a été testée de la même façon. Par exemple, on récupère l'octet correspondant aux deux premières décades d'une des échelles par l'ordre suivant :

$$ioctet(i,j) = INP (&H304)$$

Tous ces tests nous ont donné des résultats satisfaisants et nous ont permis de lancer une expérimentation utilisant le fonctionnement automatisé de l'ensemble de comptage.

B - EXEMPLE D'EXPERIENCE AUTOMATISEE

1 - L'échantillon de sol

L'échantillon de sol étudié est un sable composé exclusivement de quartz. Il a été tamisé entre 200 et 250 μm et ses caractéristiques sont, approximativement, les suivantes :

- sa porosité est comprise entre 35 et 40 %
- son coefficient de diffusion apparent pour le Krypton est compris entre 20 et 30 % du coefficient de diffusion du même gaz dans l'air (coefficient de diffusion apparent estimé entre $0.3 \cdot 10^{-5}$ et $0.45 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. (RENAULT, communication personnelle)).

L'arrangement entre les grains de quartz a été figé par un ajout de gomme arabique en proportion négligeable.

2 - Caractéristiques de la manipulation

Les paramètres de la manipulation ont été choisis comme suit :

- durée totale de l'expérience TEXP = 3600 secondes;
- nombre total de comptages NBCOM = 60;
- taux d'accroissement entre deux comptages successifs TTAUX = 1.05.

Ce choix nous a permis de passer d'un temps de comptage initial de 10 secondes à 181 secondes en fin d'expérience.

Le traitement des données n'a pas été réalisé sur la durée totale de l'expérience mais seulement sur 2200 secondes en raison de la stabilité des comptages au-delà. Les résultats obtenus sont présentés à la figure 8.

3 - Principe du dépouillement des mesures

Les équations de base décrivant la diffusion gazeuse sont les lois de FICK.

Dans un milieu homogène, la première loi de FICK s'écrit dans le cas d'un transfert unidirectionnel :

$$q_x = - D (dC / dx) \quad (1)$$

- q_x : flux dans la direction Ox ($\text{kg}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)

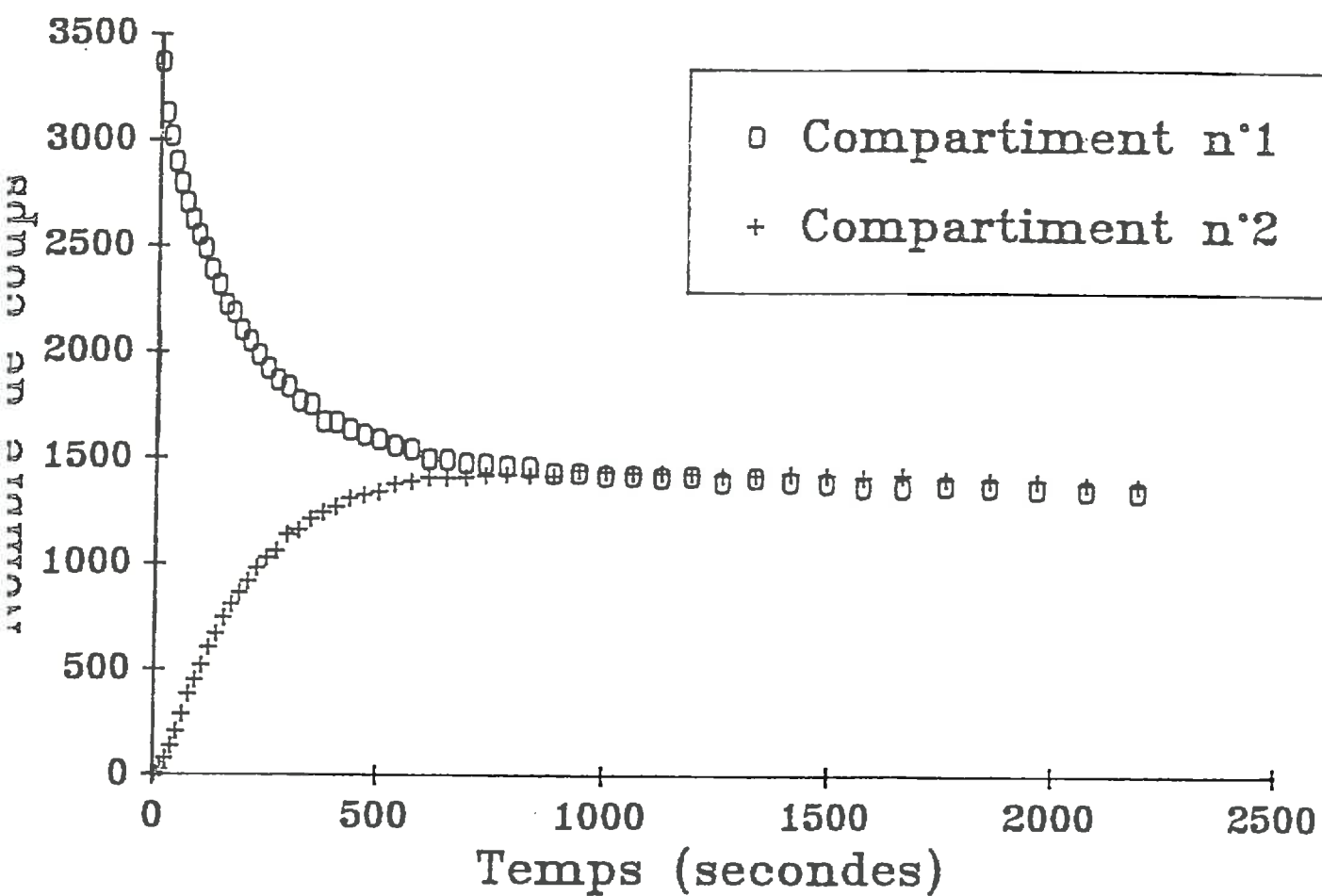


Figure 8 : Suivi expérimental des comptages détectés dans les deux compartiments à gaz pour un massif sableux.

- D : coefficient de diffusion gazeuse (D_0 dans l'air, D_a pour le sol) ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)
- C : concentration gazeuse ($\text{kg}.\text{m}^{-3}$)

donne : L'équation de continuité en milieu homogène (ou deuxième loi de FICK)

$$\epsilon . dC / dt = - dq_x / dx \quad (2)$$

- ϵ : porosité accessible du milieu poreux (1 dans l'air, ϵ_{aa} pour le sol)
- t : temps en secondes

La combinaison de l'équation du flux (1) et de l'équation de continuité (2) entraîne la relation :

$$\epsilon . dC / dt = d (D . dC/dx) / dx$$

Pour D_0 , D_a , ϵ_{aa} et une concentration initiale en Krypton connue, il est possible de simuler l'évolution des concentrations en différents points de la cellule, donc de simuler l'évolution de l'espérance des signaux perçus par les scintillateurs ou comptés par les échelles (on suppose qu'il existe une relation linéaire entre la concentration et le taux de comptage -à l'effet aléatoire près-).

Pratiquement, D_a , ϵ_{aa} et le comptage initial sont inconnus. Ils sont ajustés de manière progressive de façon à minimiser les différences entre courbes simulées et courbes expérimentales (minimisation des carrés des écarts entre mesures expérimentales et comptages simulés).

4 - Résultats des ajustements

Le programme qui traite les données expérimentales est basé sur l'utilisation conjointe d'une méthode numérique *-elle permet de résoudre les équations aux dérivées partielles citées ci-dessus pour D_0 , D_a , ϵ_{aa} et une concentration initiale en Krypton connue-* et d'une méthode d'optimisation des paramètres recherchés *-elle recherche les valeurs associées pour lesquelles les données simulées sont "les plus proches" des données expérimentales-*.

Pour notre manipulation, nous avons obtenu les valeurs suivantes :

- coefficient de diffusion D_a : $0,326 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$
- porosité équivalente ϵ_{aa} : 58,7 %

La valeur du coefficient de diffusion est conforme à la valeur attendue. En revanche, la porosité équivalente est très supérieure aux prévisions. Ce résultat ne peut pas se justifier d'un point de vue physique; à priori, une fuite de Krypton au niveau du

premier compartiment à air en serait la cause et expliquerait la valeur élevée trouvée pour ϵ_{aa} (surestimation du Krypton présent dans l'échantillon de sol).

Malgré l'écart enregistré entre la valeur théorique attendue (de 35 à 40 %) et la valeur de la porosité déterminée expérimentalement (58,7 %), l'ajustement, présenté sur la figure 9, est convenable.

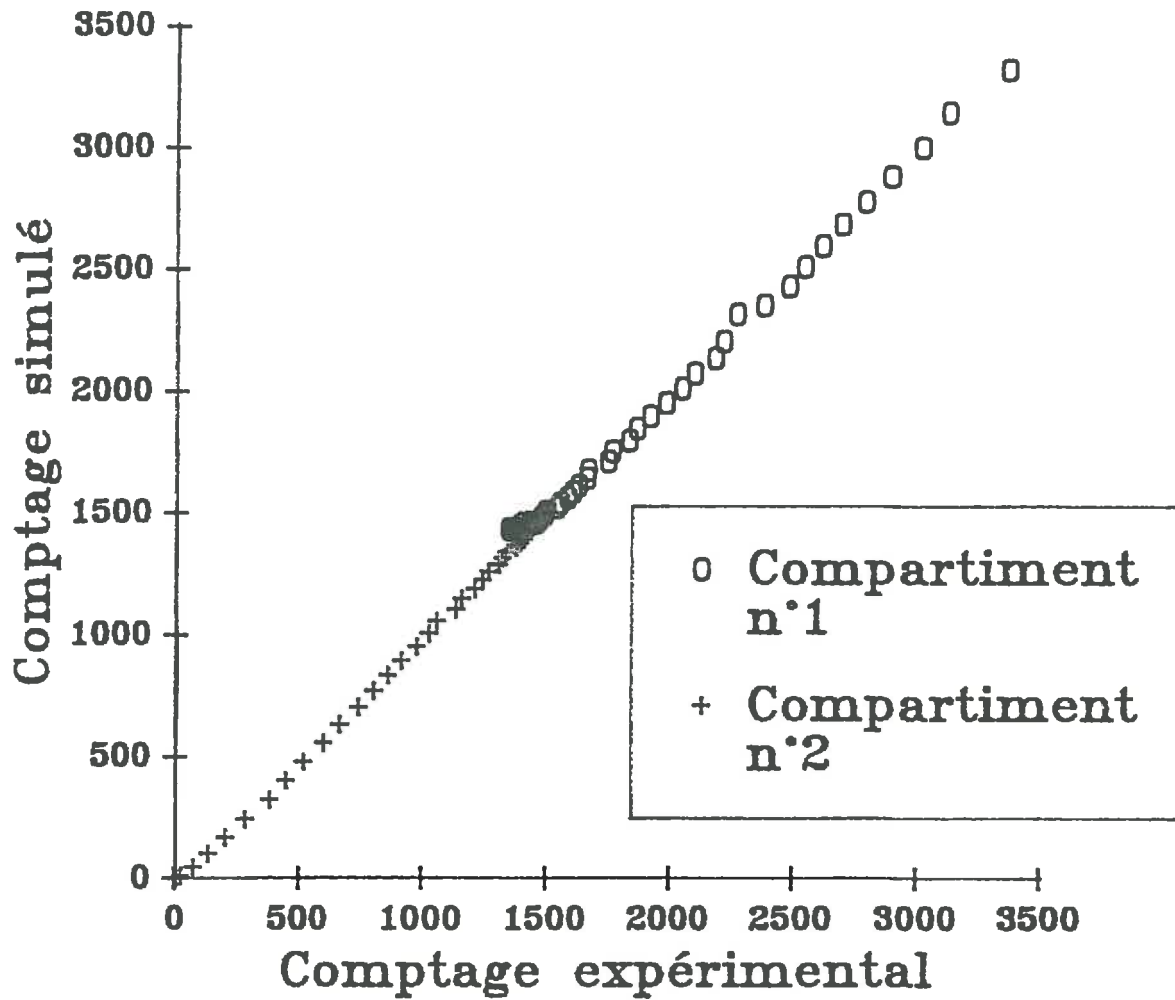


Figure 9 : Comparaison entre les comptages expérimentaux et les comptages simulés après ajustement de D_a , ϵ_{aa} et du comptage initial pour un massif sableux.

CONCLUSION GENERALE

Le projet, qui m'a été confié dans le cadre du stage de fin d'études à l'Institut Universitaire de Technologie (deux mois), a été mené à son terme. Il a consisté en l'automatisation des mesures sur une cellule de diffusion gazeuse. Une étude similaire avait été réalisée antérieurement mais elle n'avait pas conduit au fonctionnement automatisé de l'ensemble de comptage.

Mon travail a permis la mise au point d'un pilotage automatique de l'appareil à partir d'un micro-ordinateur. Il a été subdivisé en trois phases : tests, élaboration d'un logiciel de pilotage et expérimentation. Réticente, au départ, vis à vis du sujet du stage, je l'ai trouvé, par la suite, très intéressant et très formateur et l'ai apprécié.

Le travail qui m'a été demandé a consisté, pour une grande part, en l'écriture d'un logiciel en QUICK BASIC. Aussi, ai-je été amenée à me former à un langage de programmation nouveau pour moi.

Outre cet apprentissage, ce stage m'a permis d'acquérir une méthodologie d'approche du problème posé qui, je pense, m'aidera, par la suite à aborder de façon autonome, des études similaires.

L'apport en formation de ce stage est complété par l'utilisation d'un logiciel de traitement de texte (WORD) et d'un logiciel de graphisme (CHART) pour la rédaction de mon rapport de stage.

Enfin, le déroulement du stage dans la Station de Science du Sol m'a fait découvrir des "horizons" autres que l'électronique ou l'informatique ainsi que des aspects et des sujets de recherches concernant les sols qui m'ont beaucoup intéressée.

Le projet initial, bien que mené à son terme, peut être amélioré. Plusieurs propositions sont à envisager.

D'une part, un menu général en début de programme pourrait donner accès à plusieurs fonctions non encore programmées -*réalisation d'un étalonnage, réalisation d'un comptage unique, tests de fonctionnement*- et au programme de pilotage actuel.

D'autre part, il pourrait inclure un programme de prétraitement des données permettant la réalisation de corrections liées au bruit et aux différences de comptage des "deux scintillateurs-photomultiplicateurs".

Enfin, le programme de pilotage de l'ensemble de comptage pourrait être transformé pour ce qui est de la gestion du temps. En effet, il faut actuellement fixer une durée totale d'expérience (TEXP); or, les échantillons de sols sont inconnus avant ces mesures et il serait intéressant que cette durée puisse être modifiée en fonction de l'échantillon de sol étudié. Deux solutions peuvent être envisagées à ce problème :

- la réalisation de comptages sur de courtes durées identiques entre elles. L'expérience s'arrêterait grâce à un jeu de tests sur le rapport des comptages détectés dans les compartiments à gaz. Les comptages seraient alors regroupés de façon à minimiser le nombre de données à transférer au programme de traitement ultérieur;

- la réalisation des comptages sur des durées redéfinies après chaque intervalle de temps en fonction des données expérimentales antérieures.

ANNEXE

LOGICIEL DE PILOTAGE DE L'ENSEMBLE DE COMPTAGE

```

defint i-n

dim itemps(150)
common shared /temps/ nbcom,texp,ttaux,items(),numcomp

dim ioctet(2,4)
dim ib(8)
dim idec(8)
dim comp1(150),comp2(150)
common shared /comptage/ ioctet(),ib(),idecbas,idechaut,idec(),_
    comp,comp1(),comp2()

common shared /fichiers/nfich$

rem *****
rem - comp      : comptage réel
rem - comp1     : comptage réel échelle n°1
rem - comp2     : comptage réel échelle n°2
rem - idecbas   : décade correspondant à la partie basse de l'octet
rem - idechaut  : décade correspondant à la partie haute de l'octet
rem - items()   : tableau des temps entiers correspondant à une
rem              division exponentielle approchée de texp.
rem - ioctet()  : tableau permettant le stockage des huit décades
rem - nbcom     : nombre de comptages total;
rem - necran    : numéro de la page d'écran ( affichage )
rem - numcomp   : numéro du comptage
rem - numech    : numéro de l'échelle de comptage ( 1 ou 2 )
rem - numoct    : numéro de l'octet ( 1 à 4 )
rem - temps()   : tableau des temps réels correspondant à une division
rem              exponentielle parfaite de texp.
rem - texp      : durée totale de l'expérience;
rem - ttaux     : taux d'accroissement du pas de temps entre deux
rem              comptages successifs;

rem *****

rem Programme principal :
rem Dans un premier temps, ce programme enregistre des données
rem préliminaires (caractéristiques de l'utilisateur et de l'échantillon
rem de sol - caractéristiques des temps de comptages). A ces saisies
rem suivent des traitements initiaux (création de fichiers et calcul des
rem pas de temps). Dans un dernier temps, ce programme réalise les
rem mesures en temps réel.

1100 call lectps
    call divtps
    call afftps(r$)
    if r$="o" goto 1100

```

A.3

```

cls
locate 10,10
input "Entrez le nom de votre fichier de comptage :";nfich$

call mesure

end

rem *****

milieu :

call interm
timer stop
if (numcomp + 1) <> nbcom then
    on timer (itemps(numcomp + 1)) gosub milieu
else
    on timer (itemps(numcomp + 1)) gosub fin
end if

out &H30A,25

rem adressage de la première échelle

numech=1

out &H30A,22

ioctet(1,1)=inp(&H304)
ioctet(1,2)=inp(&H305)
ioctet(1,3)=inp(&H306)
ioctet(1,4)=255

call comptage(numech)

rem adressage de la deuxième échelle

numech=2

out &H30A,25

ioctet(2,1)=inp(&H304)
ioctet(2,2)=inp(&H305)
ioctet(2,3)=inp(&H306)
ioctet(2,4)=255

call comptage(numech)

out &H30A,9
out &H30A,57

```



```

cls
locate 8,15
print"Compartment n°1"
locate 10,20
print comp1(numcomp)
locate 10,51
print comp2(numcomp)

call ecrit

numcomp = numcomp + 1

return

rem *****

fin :

print"Sous-programme fin"
timer off

out &H30A,25

cls

rem adressage de la première échelle

numech=1

out &H30A,22

ioctet(1,1)=inp(&H304)
ioctet(1,2)=inp(&H305)
ioctet(1,3)=inp(&H306)
ioctet(1,4)=255
out &H30A,16

call comptage(numech)

rem adressage de la deuxième échelle

numech=2

out &H30A,25

ioctet(2,1)=inp(&H304)
ioctet(2,2)=inp(&H305)
ioctet(2,3)=inp(&H306)
ioctet(2,4)=255

call comptage(numech)

```

```

cls
locate 8,15
print "Compartiment n°1"
locate 10,20
print comp1(numcomp)
locate 10,51
print comp2(numcomp)

call ecrit

numcomp = numcomp + 1

return

rem *****

sub lectps static

rem    Ce sous-programme permet l'entrée des données de gestion du temps
rem    au début de l'expérience .

110  cls
      locate 2,20
      print "GESTION TEMPORELLE DE L'EXPERIENCE"
      locate 7,5
      print "Entrer la durée totale prévue pour l'expérience en seconde :"
      input "      texp = ";texp
      locate 11,5
      print "Entrer le nombre total de comptages prévus :"
      input "      nbcom = ";nbcom
      locate 15,5
      print "Entrer le taux d'accroissement entre deux pas de comptage
successifs : "
      input "      ttaux = ";ttaux
      locate 19,10
      input "voulez-vous faire des modifications (o ou n)";r$
      if r$="o" goto 110

      end sub

rem *****

sub afftps(r$) static

rem    Ce sous-programme permet de visualiser à l'écran l'ensemble des
rem    données concernant la gestion du temps au cours de l'expérience.

```

```

cls
3  locate 2,30
print "DONNEES GENERALES"
locate 8,5
print "Le temps total prévu pour l'expérience est de ";texp;" secondes."
locate 10,5
print "Le nombre total de comptages prévus est de ";nbcom;". "
locate 12,5
print "Le taux d'accroissement du temps de comptages entre deux pas"
locate 13,5
print "de temps successifs est de ";ttaux;". "
locate 20,20
print "Pour visualiser les temps de comptages, tapez 0 + enter"
locate 21,60
input r$

if r$ <>"0" goto 120

cls
locate 2,20
print "TABLEAU DES TEMPS DE FIN DE COMPTAGE"
locate 4,5
print "Le temps correspondant au comptage n° 1 est temps( 1 )=";_
    itemps(1)
    necran = nbcom \ 20
    if (nbcom - necran*20) > 0 then necran = necran + 1
    for k=1 to necran
        for i=1 to 20
            if i*k > nbcom - 1 goto 15
            locate i+4,5
            print "Le temps correspondant au comptage n°"i*k+1" est
temps("i*k+1")=";itemps(i*k+1)
15        next i
    next k

120  locate 20,10
input "Voulez-vous modifier votre subdivision (o ou n) ";r$

end sub

rem *****

sub divtps static

rem  Ce sous-programme fournit une subdivision exponentielle approchée
rem  du temps total de l'expérience.

dim temps(150)

temps(1) = texp * ( ( 1 - ttaux ) / ( 1 - ttaux^nbcom ) )

```

```

for i=1 to (nbcom - 1)
    temps(i+1) = temps(i) * ttaux
next i

for i=1 to nbcom
    itemps(i) = cint(temps(i))
next i

end sub

rem *****
rem      Ce sous-programme permet d'appeler les sous-programmes :
rem      - début :
rem          * remise à zéro des compteurs
rem          * commande de marche
rem      - interm :
rem          * commande d'arrêt
rem          * lecture des échelles de comptage 1 et 2
rem          * remise à zéro des compteurs
rem          * commande de marche
rem      - fin :
rem          * commande d'arrêt
rem          * lecture des échelles de comptage 1 et 2
rem          * remise à zéro des compteurs
rem *****

sub mesure static

cls
locate 8,15
input "Pour débiter les mesures, tapez <Enter>";d$
locate 15,15
print "Au cinquième Beep, injection du Krypton"
    for i=1 to 5
        for j=1 to 10000
            k=i+1
        next j
        beep
    next i

timer on

gosub debut

numcomp = 1
on timer (itemps(numcomp)) gosub milieu

i = 0
200 i = i + 1
    i = i - 1
    if numcomp>nbcom goto 210
goto 200

```

```

    debut :

rem  initialisation de la carte I/O logique
    out &H30B,128
    out &H307,155

rem  ordre de RAZ initial
    out &H30A,9

rem  ordre de début des mesures
    out &H30A,57

    cls
    locate 10,20
    print "Sous-programme début"

    return

210 end sub

rem  *****

    sub interm static

    cls
    locate 10,20
    print "Sous-programme intermédiaire"

    end sub

rem  *****

    sub conversion(numech,numoct,erreur) static

rem      Ce sous-programme effectue la conversion d'un nombre décimal
rem      (ioctet(numech,numoct)) compris entre 0 et 255 en un mot binaire
rem      converti en code BCD . Ce mot codé BCD correspondant à deux décades
rem      idecbas et idechaut.

    erreur=0

    for i=0 to 7
        iquot=ioctet(numech,numoct)\2
        ib(i)=ioctet(numech,numoct) - iquot*2
        ib(i)=1 - ib(i)
        ioctet(numech,numoct) = iquot
    next i

```

```

idecbas=0
for i=0 to 3
    idecbas=idecbas + ib(i)*2^(3 - i)
next i
idec(2*(numoct - 1)) = idecbas
if idecbas>9 then goto 300

idechaut=0
for i=4 to 7
    idechaut=idechaut + ib(i)*2^(7 - i)
next i
idec(2*(numoct - 1) + 1) = idechaut
if idechaut>9 then goto 300

idec(1)=5

goto 310

300    erreur=1

310    end sub

rem    *****

sub transfo (numech) static

rem    Ce sous-programme effectue, en appelant le sous-programme conversion,
rem    la conversion, pour chaque échelle, de quatre nombres décimaux en huit
rem    mots codés BCD correspondant à huit décades. La somme des décades,
rem    pondérées par leur poids respectif, donne la valeur réelle du compa-
rem    -ge lue sur les afficheurs.

for i=1 to 4
    call conversion (numech,i,erreur)
next i

comp=0
for i=0 to 7
    comp=comp+idec(i)*10^i
next i

end sub

rem    *****

sub comptage (numech) static

call transfo (numech)
if numech=1 then
    comp1(numcomp)=comp
else
    comp2(numcomp)=comp
end if

end sub

```

```
rem *****
sub ecrit static
open nfich$ for append as #1
print #1, using "#####.##          #####.##          #####.##";_
      itemps(numcomp),comp1(numcomp),comp2(numcomp)
close(1)
end sub
rem *****
```