

THESE

PRESENTEE A
L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR 3ème CYCLE
(ELECTRONIQUE)

par

M'SIRDI KOUIDER NACER

*

AUTOMATISATION D'UN DISPOSITIF DE MESURE DE L'AIMANTATION
À TRÈS BASSES TEMPÉRATURES ET EN CHAMPS INTENSES

APPLICATIONS à l'ETUDE de l'HYSTERESIS de l'AIMANTATION dans DyVo4

*

Soutenu le

devant la Commission d'Examen.

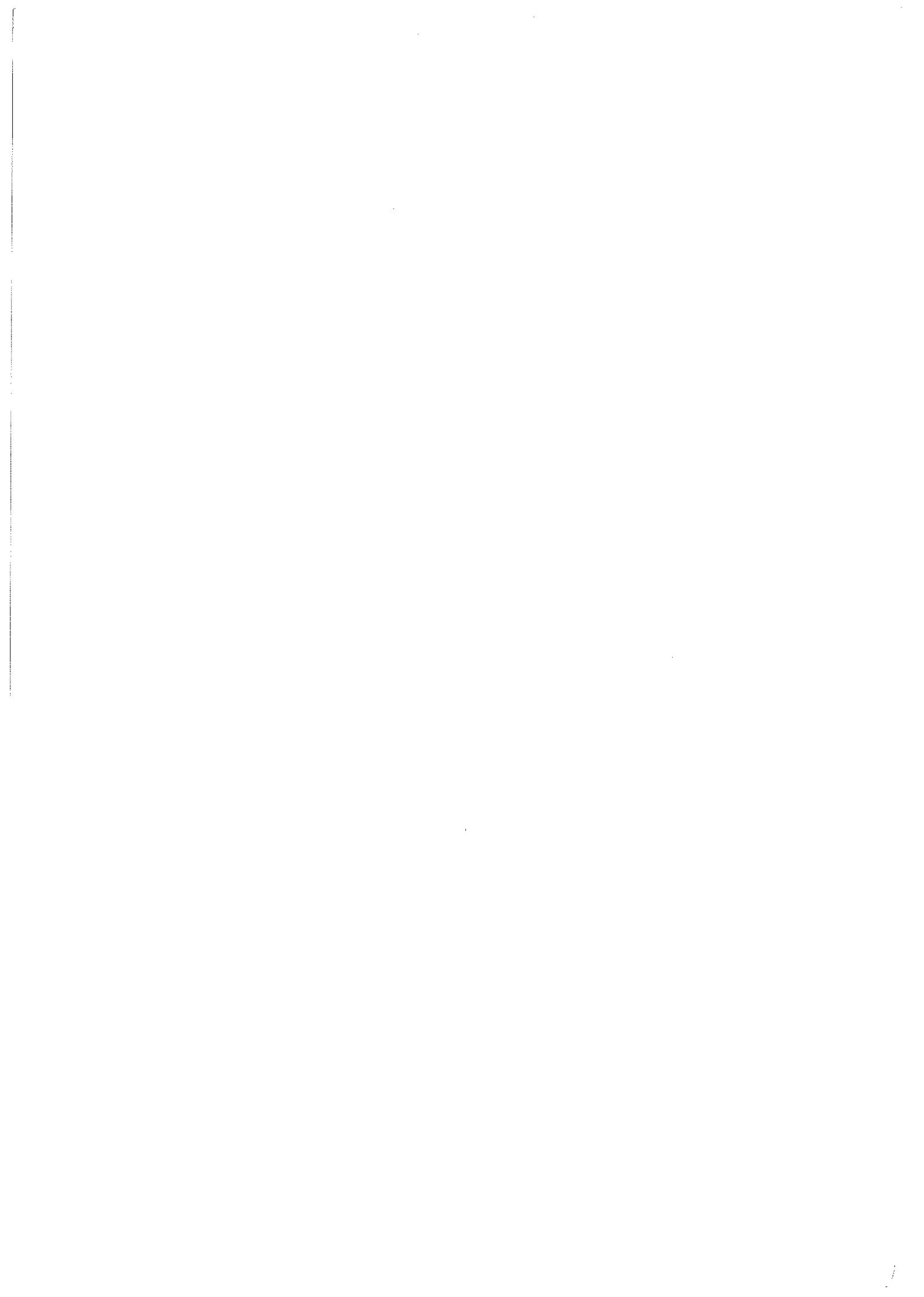
JURY

Monsieur M. BUYLE-BODIN,

Président,

Messieurs A. BENOIT
G. CHOUTEAU
B. DAUDIN
A. LACAZE
C. POUPOT

} Examineurs.



INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE
 =====

Année universitaire 1962-1963

Président : Daniel BLOCH
 Vice-Présidents : René CARRÉ
 Hervé CHERADAME
 Marcel IVANES

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

ANCLAU François	C.N.S.T.M.A.G
BATAUD Alain	C.N.S.I.E.G
BAUDCLET Bernard	C.N.S.I.E.G
BESSON Jean	E.N.S.E.R.G
BILHAN Samuel	E.N.S.I.C.G
BLOCH Daniel	C.N.S.H.G
BOIS Philippe	C.N.S.E.E.G
BONNAIN Lucien	C.N.S.C.E.G
BONNIER Etienne	E.N.S.H.G
BOUTARD Maurice	E.N.S.I.C.G
BRISSEMEAU Pierre	C.N.S.E.R.G
BUYLE-BODIN Maurice	E.N.S.I.C.G
CAVALONAC Jean-François	E.N.S.I.E.G
CHARRIER Germain	E.N.S.E.R.G
CHENCUIER Pierre	H.C.P.P
CHERADAME Hervé	E.N.S.I.E.G
CHERY Arlette	H.C.P.P
CHIAVERINA Jean	E.N.S.E.R.G
COMEN Joseph	C.N.S.C.E.G
COURTES André	E.N.S.I.E.G
DURAND Francis	C.N.S.I.E.G
DURAND Jean-Louis	C.N.S.I.E.G
FELICI Noël	E.N.S.I.E.G
FOULARD Claude	E.N.S.E.R.G
GENTIL Pierre	E.N.S.E.R.G
GUCRIN Bernard	C.N.S.E.E.G
GUYOT Pierre	C.N.S.I.E.G
IVANES Marcel	E.N.S.I.E.G
JOUSSEAU Pierre	C.N.S.I.E.G
JOUBERT Jean-Claude	C.N.S.I.E.G
JOUBERT Genevieve	C.N.S.I.E.G
LACOURC Jean-Louis	C.N.S.J.H.A.G
LATOURC Jean-Claude	C.N.S.H.G
LESIEUR Marcel	E.N.S.H.G
LESPINARD Georges	C.N.S.I.E.G
LONGUEQUE Jean-Pierre	C.N.S.J.H.A.G
HAZARD Guy	E.N.S.H.G
MORCAU René	E.N.S.I.E.G
MOREL Roger	E.N.S.I.M.A.G
HOSSIERE Jacques	E.N.S.E.E.G
PARRAUD Jean-Charles	E.N.S.I.C.G
PAUTHENET René	C.N.S.I.E.G
PERRET René	E.N.S.H.G
PERRET Robert	E.N.S.I.E.G
PIAU Jean-Michel	C.N.S.C.E.G
POIQUADOFF Michel	E.N.S.E.E.G
POUPOT Christian	H.C.P.P
RECAU Jean-Jacques	C.N.S.I.M.A.G
RENAUD Maurice	E.N.S.I.E.G
ROBERT André	C.N.S.J.H.A.G
ROBERT Francis	C.N.S.I.E.G
SABONNOIERE Jean-Claude	C.N.S.I.E.G
SAUCIER Gabrielle	C.N.S.I.E.G
SCHLEIFER Claire	E.N.S.I.E.G
SCHLIMMER Michel	C.N.S.E.R.G
SERNET Pierre	C.N.S.E.E.G
SOUQUET Jean-Louis	H.C.P.P
SILVY Jacques	C.N.S.E.E.G
SOMM Jean-Claude	C.N.S.I.M.A.G
VEILLON Gérard	E.N.S.C.R.G
ZADORNY François	

PROFESSEURS ASSOCIES

ANDONIA Robert	E.N.S.H.G
BASTIN Georges	C.N.S.H.G
CARRAU Pierre	E.N.S.H.G
GANDINI Alessandro	H.C.P.P
HAYASHI Hiroshi	E.N.S.I.E.G
MUNACKI Krzysztof	C.N.S.H.G
PAPAZIANTAFILLOU Costas	E.N.S.E.R.G
SILVESTER Peter	C.N.S.I.E.G

PROFESSEURS E.N.S MINES DE SAINT ETIENNE

BIHU Jean
SAURILLIE Michel

CHERCHEURS DU C.N.R.S

FRUCHARD Robert
VACHAUD Georges
ALLIBERT Colette
ALLIBERT Michel
ANSARA Ibrahim
ARMAND Paul
BIGNIER Gilbert
LEHR René

Directeur de recherche
Directeur de recherche
Maître de recherche
Maître de recherche
Maître de recherche
Maître de recherche

DAVID René	Maître de recherche
DEPORCIS Jacques	
DRIDE Jean	Maître de recherche
GIENOUX Daniel	
GIYDRO Dominique	
GUELIN Pierre	Maître de recherche
HOPFINGER Emil	Maître de recherche
KAMARINDS Georges	Maître de recherche
KLEITZ Michel	Maître de recherche
LANDAU Jean-Dore	Maître de recherche
LASJAUNIAS J.C	
MERRET Jean	Maître de recherche
MUNIER Jacques	Maître de recherche
PIAU Monique	
PORTICCI Jean-Louis	
TROLENCE Jean-Louis	
VERDILLON André	Maître de recherche

CHERCHEURS DU MINISTERE DE LA RECHERCHE ET DE LA TECHNOLOGIE

(Direction et Laboratoire de Recherche - C.N.S MINES de St Etienne)

LISBATS Pierre	Directeur de recherche
BISCHONNI Michel	Maître de recherche
KOBYLANSKI André	Maître de recherche
LE COZE Jean	Maître de recherche
LALAUZE René	Maître de recherche
LANCELOT Francis	Maître de recherche
IMCVENOT François	Maître de recherche
TRAN MINH Canh	Maître de recherche

PERSONNALITES HABILITEES A DIRIGER DES TRAVAUX DE RECHERCHE

(Dépôt au Conseil Scientifique)

E.N.S.E.E.G

BERNARD Claude
BONNET Roland
CAILLET Marcel
CHATILLON Catherine
CHATILLON Christian
COUDU Michel
DIARD Jean-Paul
EUSTATHOPOULOS Nicolas
FOSTER Panayotis
GALERIE Alain
HAWKOO Abdelkader

JOUD Jean-Charles
MALMEJAC Yves (CENG)
MARTIN-GARIN Régine
NGUYEN TRUNG Bernadette
RAVAINE Denis
SAINFORT (CENG)
SARRAZIN Pierre
SIRROU Jean-Paul
TOUZAIN Philippe
URBAIN Georges (Laboratoire des ultra- réfractaires, OCEILLO)

E.N.S.M Saine Etienne

GUILHOT Bernard
THOMAS Gérard
DRIVER Julian

E.N.S.E.R.G

BARBAUD Michel
BOREL Joseph
CHOVET Alain
CHEKIKIAN Alain
DOLPAZON Jean-Marc
HEAULT Jeremy
HONLOR Christian

E.N.S.T.E.G

BORNAUD Guy
DESCHIEUX Pierre
CLANGEAU François
KOFFMAN Walter
LEJEUNE Gérard
HAZIER Jean
PERARD Jacques
REINISCH Raymond

E.N.S.H.G

ALEMANY Antoine
BOIS Daniel
DARIE Félix
MICHEL Jean-Marie
OBLED Charles
ROWE Alain
VAUCLIN Michel
WACK Bernard

E.N.S.J.H.A.G

BERT Olivier
CALMET Jacques
COURTIN Jacques
COURTOIS Bernard
DELLA DORA Jean
FONLEPT Jean
SIFAKIS Joseph

UER H.C.P.P

CHARUEL Robert

C.E.M.G

CADET Jean
CUCURIC Philippe (LETI)
DELHAYE Jean-Marie (STI)
DUPUY Michel (LETI)
JOUC Hubert (LETI)
NICOLAU Yves (LETI)
NIFENCKER Hervé
PERRAUD Paul
PEUZIN Jean-Claude (LETI)
TAIBER Maurice
VINCENDON Marc

Laboratoires extérieurs : C.N.E.T

DEMOULIN Eric
DEVINE R.A.B
GERBER Roland
MERCKEL Gérard
PAULCAU Yves

INSA de LYON

GAUCIOT C



R E M E R C I E M E N T S

J'exprime mes remerciements à MM. BUYLE BODIN (Directeur de l'ENSERG) et R. TOURNIER (Directeur de Recherche CNRS) de m'avoir permis de travailler sur ce sujet pour l'établissement d'une corrélation entre l'ENSERG et le CRTBT. Il m'est agréable de remercier MM. LACAZE et D. THOULOZE pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.

MM. G. CHOUTEAU, A. BENOIT et B. DAUDIN (pour la partie physique) ont suivi de près mon travail. Je leur en suis très reconnaissant ainsi qu'à Mr C. POUPOT pour son aide et sa compréhension.

Je remercie également tous ceux qui se sont intéressés à mon travail et notamment MM. BRET, CHEMIN, FAURE, PAULIN, SIMIAND du laboratoire d'électronique des Basses Températures et MM. WAKSMANN et TUR pour leur aide précieuse.

Enfin je remercie Françoise MAHIEUX qui a su donner forme à mon manuscrit ainsi que tous les chercheurs et techniciens du SNCI et du CRTBT dont l'amitié et les encouragements m'ont été précieux.

P L A N

	<u>Pages</u>
<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	1
<u>CHAPITRE I - PRESENTATION DU MATERIEL EXPERIMENTAL</u>	5
I-1 Présentation générale du système	7
I.1.1. Caractéristiques de la bobine supraconductrice	9
I.1.2. Description du calorimètre	
a) Description	13
b) Thermométrie	
I.1.3. Système de mesure d'aimantation	15
a) Principe	
b) Description du montage	
c) Compensation de l'inohomogénéité du champ	
I.1.4. Conclusion	21
I.2 Instruments de commande et de mesure digitale	
I.2.1. Présentation du calculateur	22
a) Le microordinateur Apple II	
b) Description de la carte horloge	
c) Description de la carte série	
I.2.2. Multiplieur programmable	24
a) Utilisation d'un multiplieur programmable	
b) Fonctionnement du multiplieur	
I.2.3. Carte de balayage en tension	26
I.2.4. Carte de conversion analogique numérique	28
I.3 Méthode de mesure	29
I.3.1. Spécifications d'entrées	29
I.3.2. Spécifications de traitements	31
I.3.3. Présentation des données	32
<u>CHAPITRE II - CONTROLE DES MESURES ET ASSERVISSEMENTS</u>	35
II.1 Composition du cahier des charges et division des tâches	37
II.2 Commande de mesure	38
II.2.1 Mode d'utilisation de la carte d'entrée analogique	38
II.2.2 Sous-programme du module d'acquisition des mesures	40

a) Sous-programme de commande de la carte de mesure	40
b) Sous-programme de commande de l'acquisition	42
II.3 Commande du champ magnétique	
II.3.1 Mode d'utilisation de carte de balayage de tension	47
II.3.2 Sous-programmes du module de la commande du champ	48
a) Sous-programme de commande de la carte de balayage de tension	48
b) Sous-programme d'établissement du champ	49
II.4 Asservissement en température	
II.4.1 Thermomètre capacitif	51
II.4.2 Sous-programmes du module de commande de température	52
a) Sous-programme de commande de balayage du chauffage	52
b) Sous-programme de régulation de la température	53
II.5 Commande d'équilibrage du signal	
II.5.1 Mode d'utilisation du multiplieur programmable	58
II.5.2 Sous-programme du module de commande d'équilibrage	59
a) Sous-programme de commande du multiplieur programmable	59
b) Sous-programme d'équilibrage du signal	61
<u>CHAPITRE III - GESTION AUTOMATIQUE DU PROCESSUS</u>	63
III.1. Programme principal de gestion	
III.1.1 Critères de coordination des tâches	64
III.1.2. Structure du programme principal	66
a) Programme d'édition de fichiers	66
b) Acquisition et présentation des données	68
III.2 Séquence de démarrage du système	
III.2.1. Chargement des programmes en mémoire	71
III.2.2. Initialisation pour la mise en route	72
III.3 Notice d'utilisation du système	73
III.4 Améliorations proposées	.
III.4.1. Addition d'un voltmètre numérique	75
III.4.2. Extraction par moteur pas à pas	
<u>CHAPITRE IV - ETUDE EXPERIMENTALE DE DyVO₄</u>	77
IV.1. Présentation des propriétés de DyVO ₄	78

IV.2. Etude expérimentale	80
a) Mesures d'aimantation	80
b) Mesures de susceptibilité magnétique	86
<u>CONCLUSION</u>	96
<u>REFERENCES</u>	99
A1 <u>Annexe 1</u> : Organisation de mémoire du microordinateur	102
A2 <u>Annexe 2</u> : Cabalage de la carte horloge	103
A3 <u>Annexe 3</u> : Utilisation du multiplieur programmable	104
A4 <u>Annexe 4</u> : Détermination de fonctions d'étalonnage des sondes	105
A5 <u>Annexe 5</u> : Listing des programmes.	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis que l'homme s'est intéressé aux phénomènes naturels, son besoin en outils d'observation et matériel d'expérience pour tenter de comprendre la nature n'a cessé d'évoluer. La complexité de ce matériel n'a pas cessé d'augmenter avec les exigences formulées par l'expérimentateur, rendant sa manipulation de plus en plus minutieuse et de plus en plus longue quoique répétitive dans la plupart des cas.

L'électronique puis l'automatique ont permis la réalisation d'outils de commande simplifiant ainsi les tâches de l'utilisateur. C'est vers les années cinquante que le règne des régulateurs analogiques a commencé. Les récents développements des techniques sont à l'origine de la conception de matériel, auquel l'homme confie une part de plus en plus importante de ses responsabilités tout au moins en ce qui concerne les tâches répétitives.

L'avènement des microordinateurs et surtout la diminution de leur coût, dus à des techniques nouvelles, favorise l'informatisation de toute sorte de matériel et permettent l'automatisation de dispositifs de plus en plus complexes grâce à l'automatique qui voit son domaine d'application grandir sans cesse.

Chaque dispositif possédant son propre caractère et sa propre spécialité pose à l'automatique un problème particulier et la tâche de l'automaticien consiste à décomposer ce problème en sous-problèmes qu'il coordonnera en vue d'obtenir une solution adaptée au problème posé. Cette décomposition peut se faire horizontalement, en plusieurs tâches et verticalement en plusieurs niveaux. On aboutit ainsi à la commande hiérarchisée coordonnée.

Ce travail s'inscrit dans une politique d'automatisation généralisée des expériences de laboratoire, dans le but de s'affranchir de tâches répétitives fastidieuses. Le remplacement de l'homme par la machine, s'il ne résout pas tous les problèmes, devrait permettre d'améliorer la précision des mesures, la sensibilité de l'appareillage et d'augmenter considérablement le nombre de points de mesures. Il est clair toutefois qu'il n'est pas encore question de se substituer totalement au physicien.

Ce travail porte sur l'automatisation d'un dispositif de mesure d'aimantation à très basses températures et en champs intenses.

Pour définir au mieux le caractère et les particularités du dispositif, dans le premier chapitre, nous présentons les différents blocs du système puis les différents organes de commande numérique.

La décomposition du problème est présentée dans le second chapitre qui définit les fonctions à assurer sur chaque niveau pour chaque tâche et l'organigramme de l'algorithme correspondant.

Le troisième chapitre propose une méthode d'organisation et de coordination du problème qui s'adapte à l'automatisation de ce dispositif.

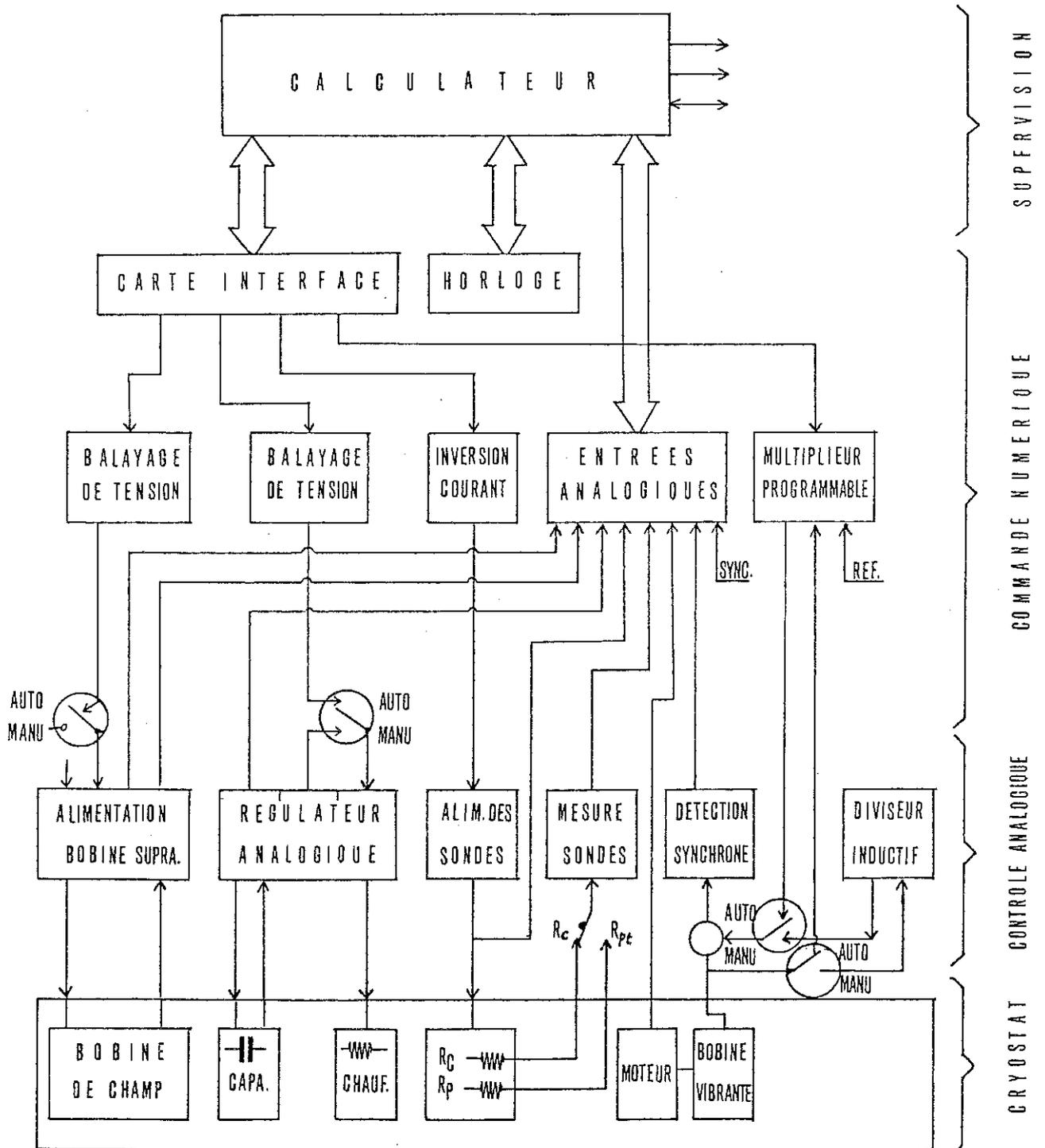
Dans le quatrième chapitre, nous utilisons ce matériel en fonctionnement automatique pour l'étude expérimentale d'échantillon de Disprosium vanadate (DyVO_4). Les composés de DyVO_4 présentent une transition de phase cristallographique et se structurent en domaines cristallographiques à très basses températures où une hystérésis de l'aimantation est observée.

Ce travail a été effectué au Service National des Champs Intenses (SNCI), CNRS de Grenoble, corrélativement avec le Centre de Recherche sur les Très Basses Températures de Grenoble et l'Ecole d'Electronique ENSERG, sous la direction de MM. G. CHOUTEAU (CNRS) et C. POUPOT (ENSERG).

CHAPITRE I

PRESENTATION DU MATERIEL EXPERIMENTAL

Figure 1 : Schéma d'implantation de la commande numérique.



I.1. PRESENTATION GENERALE DU SYSTEME

Le dispositif que nous devons automatiser est un appareillage de mesure d'aimantation. Il se compose d'un cryostat permettant de balayer la température de 1,8 à 300 K à l'aide d'un système de chauffage commandé par un régulateur analogique.

Le champ est produit par une bobine supraconductrice, permettant d'atteindre 13 Teslas à 1,8 K, commandée par une alimentation régulée en courant et en tension.

Pour la mesure de l'aimantation des échantillons, on utilise une bobine vibrante. Le signal d'aimantation fourni par ce système est mesuré à l'aide d'une détection synchrone. Un diviseur inductif permet de soustraire à ce signal, la composante due aux inhomogénéités du champ.

L'implantation de la commande numérique et la supervision par microordinateur est schématisée sur la figure 1. Vis-à-vis de la commande par ordinateur, le système peut être considéré comme un ensemble de quatre sous-systèmes (voir figure 2) :

1. sous-système de mesure et de codage de tous les signaux du système global ;
2. sous-système d'élaboration de la commande de champ magnétique ; il doit respecter les contraintes imposées par la bobine de champ ;
3. sous-système de régulation de température ; il assure le pilotage en température du système global ;
4. sous-système d'équilibrage du signal d'aimantation. Pour éliminer la composante due aux inhomogénéités du champ.

Les sous-systèmes de commande 2, 3 et 4 utilisent les sorties du sous-système 1, pour leur chaîne de retour, c'est-à-dire pour l'élaboration de leur commande en fonction de l'état du système.

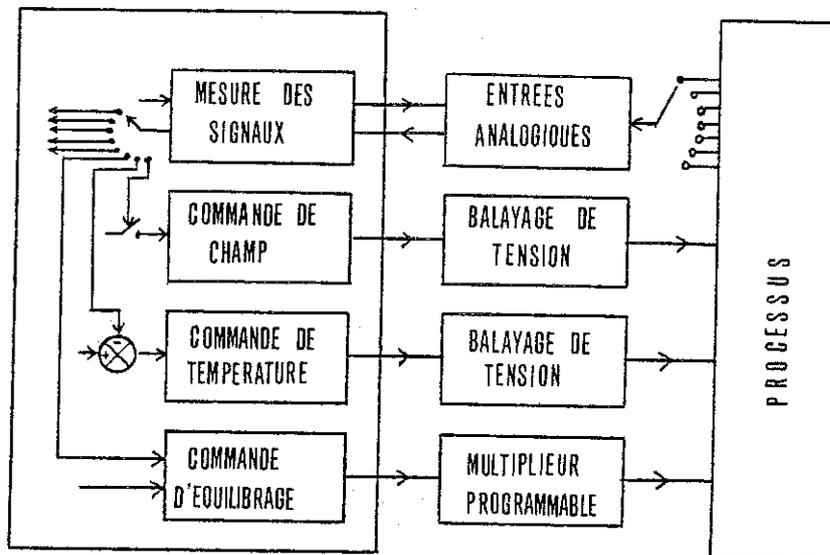


Figure 2 : Décomposition du système en quatre sous-systèmes.

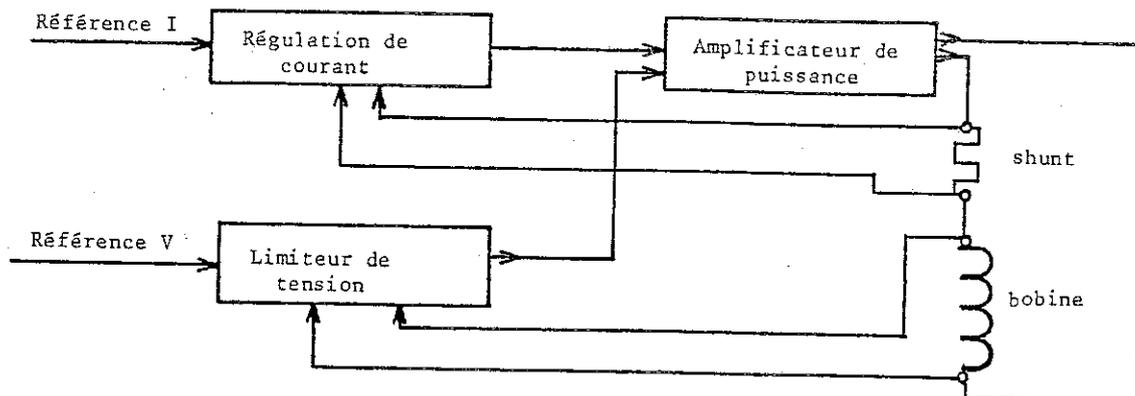


Figure 3 : Schéma de principe de l'alimentation de la bobine supraconductrice.

I.1.1. Caractéristiques de la bobine supraconductrice.

La bobine supraconductrice est constituée d'enroulements, en galettes de rubans en Niobium Etain ($\text{Nb}_3\text{-Sn}$). Le conducteur n'est pas multifilamentaire, par conséquent son aimantation contribue de façon non négligeable au champ créé. Il en résulte que le rapport H/I varie légèrement avec le courant. De plus, on observe après une première montée de champ, jusqu'au champ maximum, la présence d'un champ rémanent de valeur 4,89 kOe. L'utilisation de matériaux multifilamentaires dans les bobines actuelles permet de réduire considérablement ces effets. Le champ dépend donc aussi de l'état de la bobine avant l'établissement du courant (figures 5 et 6).

La self de la bobine est d'environ 12 Henrys. Cette forte valeur limite les vitesses de montée et descente du courant dans la bobine. Une autre limitation de la vitesse vient de la mise en équilibre du réseau de vortex dans le supraconducteur sous l'effet du champ magnétique et du courant⁽¹⁾. La vitesse maximale de montée de champ est d'autant plus faible que le champ est élevé. Au total, il faut compter près d'une heure et demie pour faire monter le champ de 0 à 115 kOe et ceci à la vitesse maximale possible.

La bobine est commandée par une alimentation spécialement⁽²⁾ conçue pour les bobines supraconductrices. Cette alimentation se comporte comme une source de courant dont la tension est limitée à une valeur réglable. Quand le courant varie, l'alimentation régule la tension. Elle impose $e = L \frac{di}{dt}$ et le courant croît linéairement en fonction du temps. Lorsque le courant est stable ($e \approx 0$), l'alimentation fonctionne en régulation de courant. Un schéma de son fonctionnement est représenté en figure 3 et la courbe de tension maximum en fonction du courant en figure 4. La limitation de tension a priorité sur la régulation de courant ; lorsque la tension de bobine atteint la valeur de la tension de référence V , le limiteur de tension agit sur l'amplificateur de puissance afin qu'elle n'augmente plus.

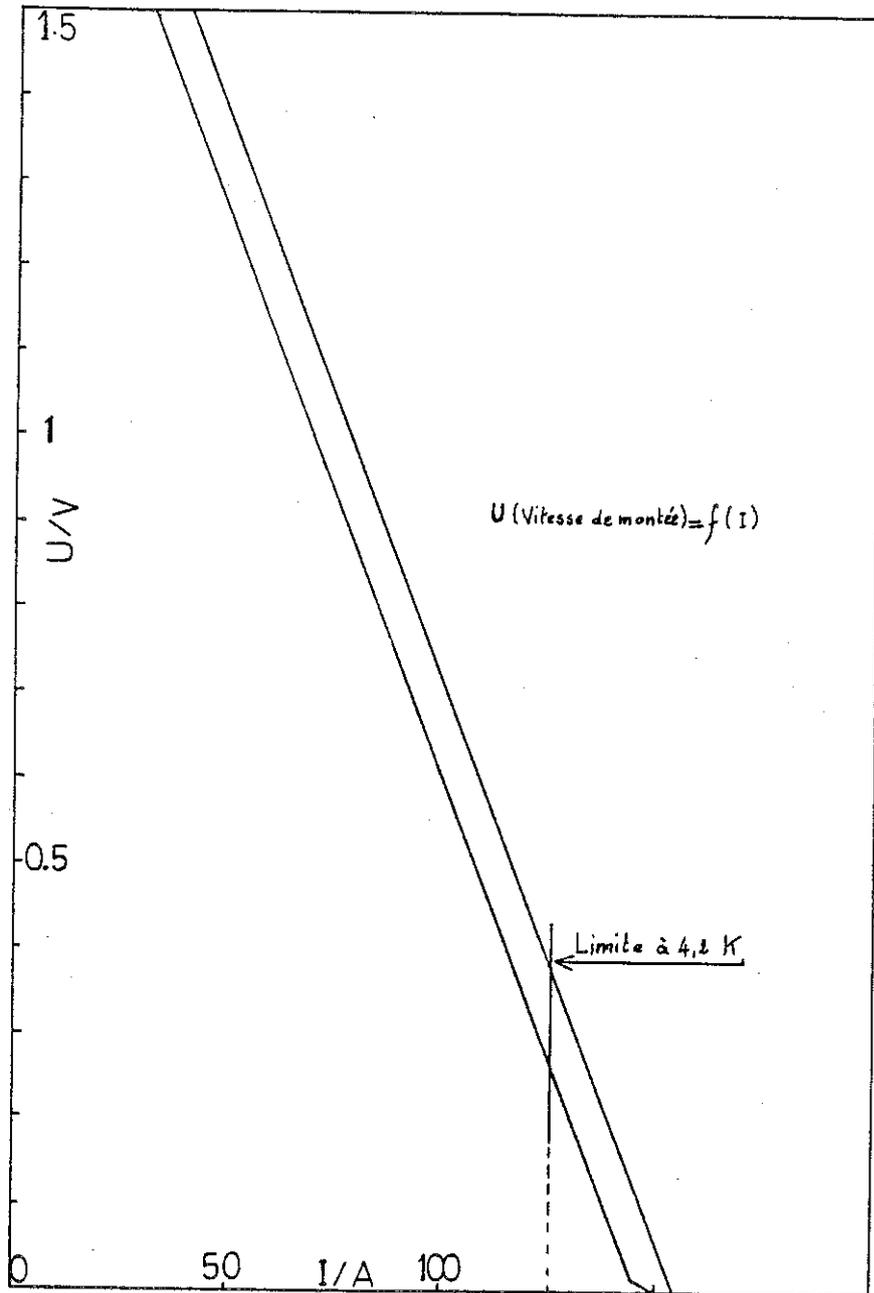


Figure 4 : Caractéristique de tension limite.

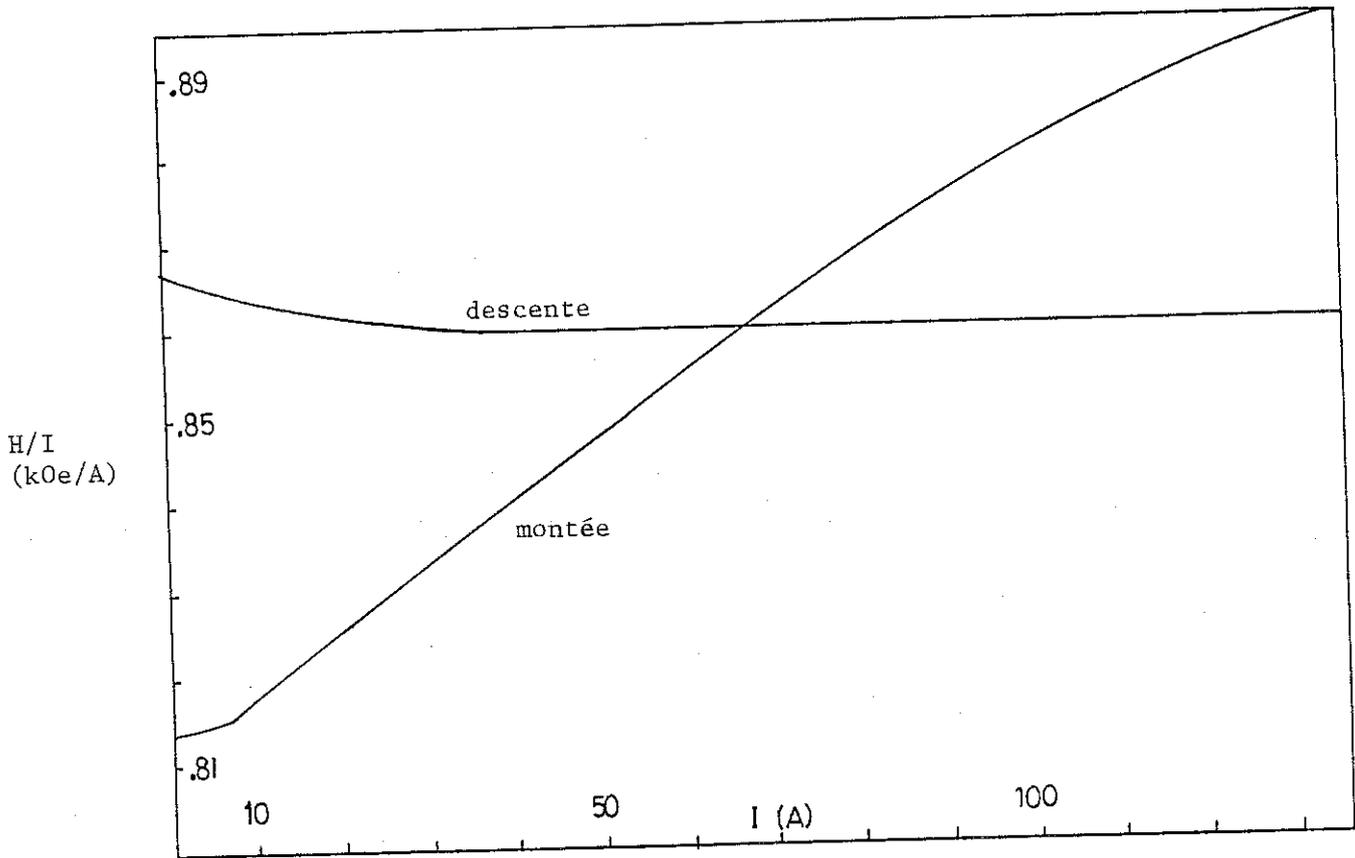


Figure 5 : Etalonnage du champ - première aimantation.

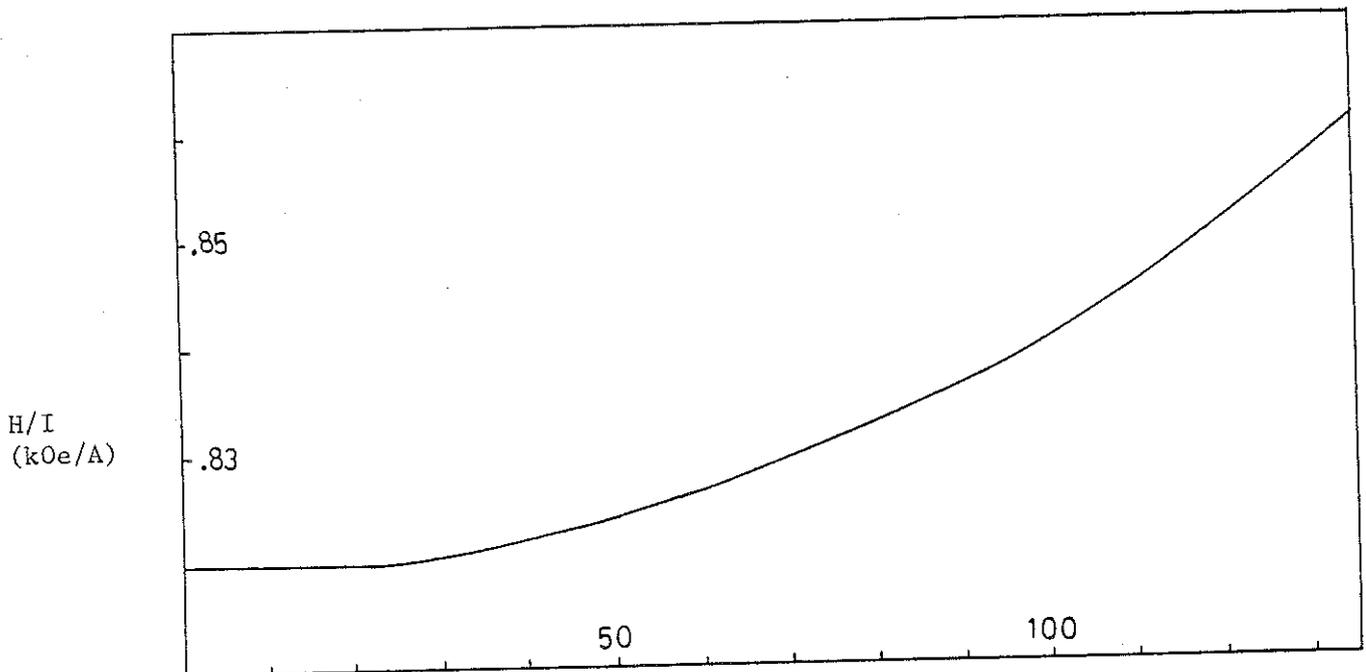


Figure 6 : Etalonnage du champ - deuxième aimantation (montée).

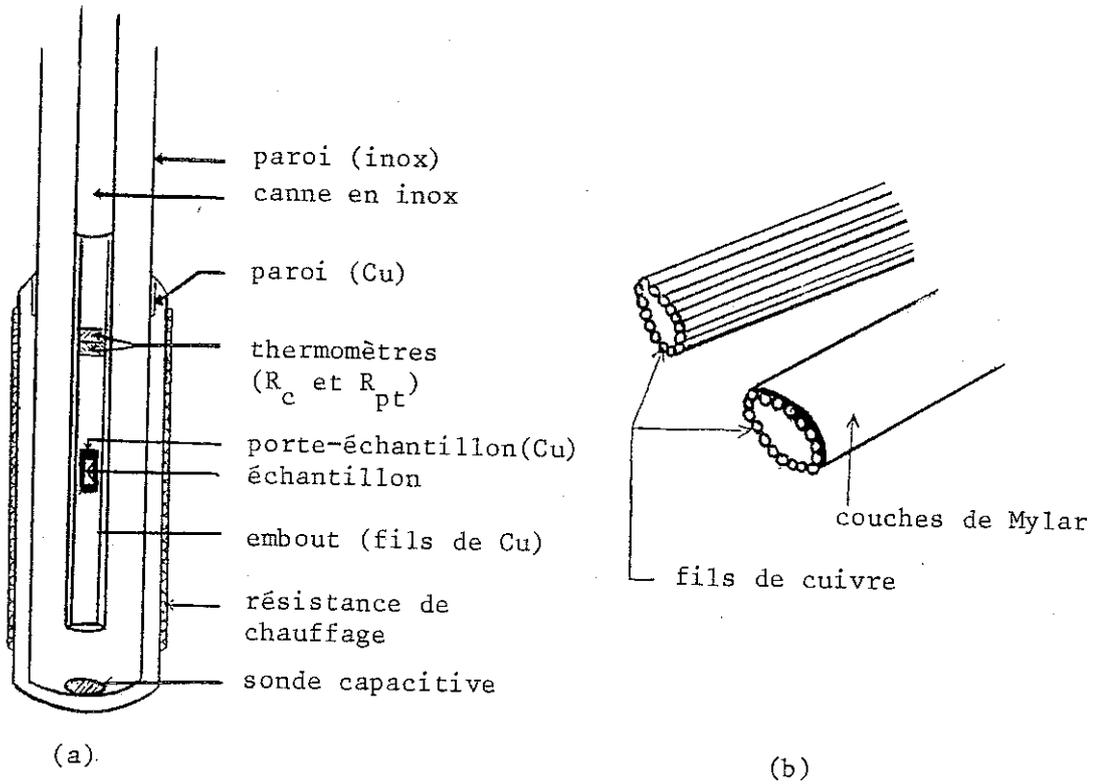


Figure 7 : Schéma calorimètre.

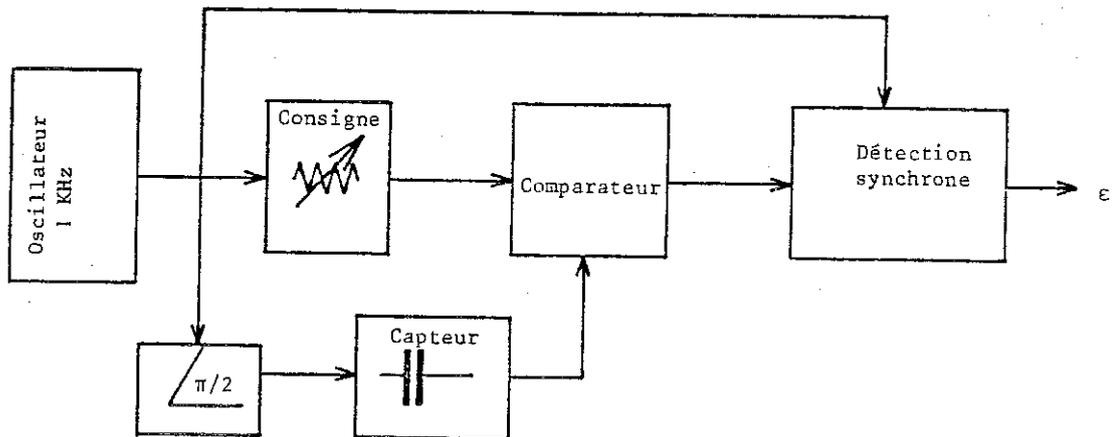


Figure 8 : Système de mesure de température BT 303.

I.1.2. Description du four.

a) Description :

Le four est constitué d'une enceinte dont la partie supérieure est en acier inox et la partie inférieure, contenant l'échantillon, en cuivre épais afin de minimiser le gradient thermique dans la région où se situe l'échantillon. Autour de l'enceinte en cuivre, est enroulée une résistance de chauffage en constantan de valeur environ 150 Ω . A l'intérieur de ce four, plonge une canne porte-échantillon en inox. Son extrémité est constituée d'un embout de cuivre pour limiter les courants de Foucault. Cet embout est constitué de fils de cuivre, isolés et collés entre eux puis recouverts de plusieurs couches de mylar (figure 7b). L'échantillon contenu dans un porte-échantillon de cuivre pur est placé à l'intérieur de l'embout (figure 7a).

b) Thermométrie :

La température est mesurée à l'aide de deux résistances, montées en série, alimentées par un courant constant :

- une résistance de carbone utile dans la gamme de températures 1,8 K - 35 K. Sa valeur décroît avec la température. La courbe $R_c = f(T)$ est donnée en figure 9 pour une résistance de carbone (Allan Bradley) de valeur 100 Ω à 300 K ;
- une résistance de platine pour la gamme 30 K à 300 K, dont la valeur croît avec la température. La courbe donnée en figure 10 est celle d'une résistance de platine de 100 Ω à 300 K (5-7).

Les deux résistances sont disposées dans un bloc de cuivre, solidaire de l'embout (figure 7). Elles présentent l'inconvénient d'être sensibles au champ magnétique. Pour réduire cet effet, elles sont placées loin de l'échantillon, dans une région où le champ est plus faible. Pour cette raison l'asservissement en température doit se faire à l'aide d'une sonde capacitive, insensible au champ magnétique (4) (figure 11).

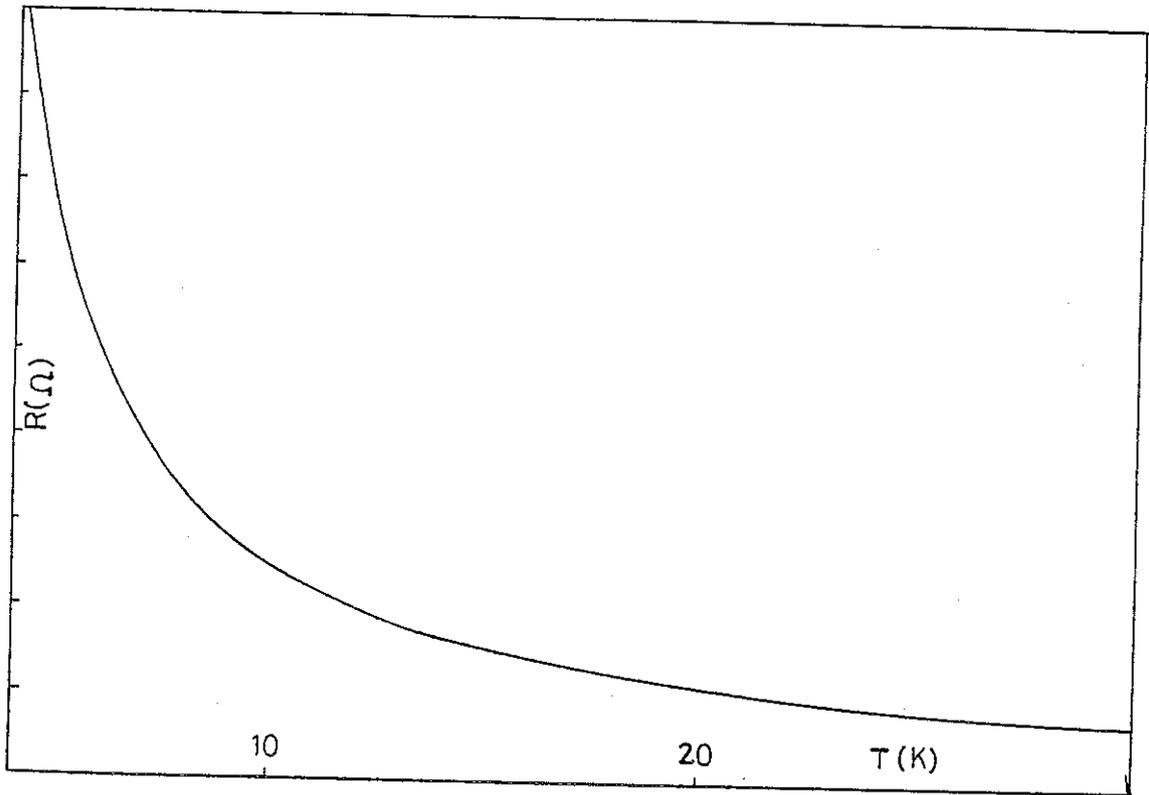


Figure 9 : Résistance de carbone (Allan Bradley).

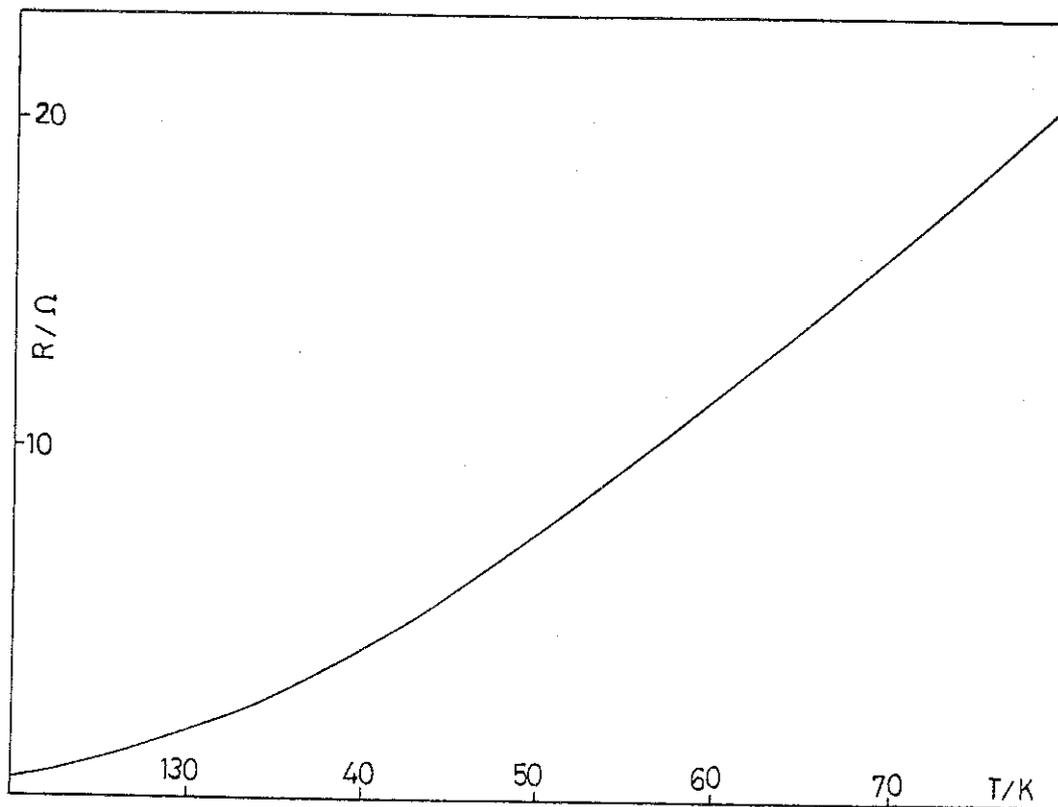
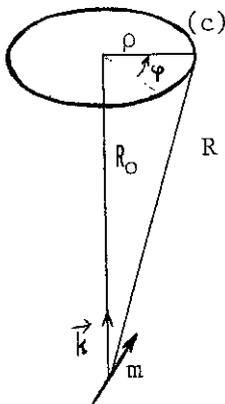


Figure 10 : Résistance de platine.

La régulation de température se fait à l'aide d'un régulateur analogique (BT 300)⁽³⁾. Il permet à partir du signal d'erreur $\Delta T = \text{Température} - T_{\text{consigne}}$, l'élaboration de la correction P.I.D. et de fournir la puissance de chauffage nécessaire. Le signal d'erreur est élaboré par détection synchrone par un système (BT 303) intégré au régulateur (fig. 8).

I.1.3. Système de mesure d'aimantation.

a) Principe de mesure d'aimantation :



Dans le cas d'une spire, le flux créé par un dipôle magnétique de moment \vec{m} , traversant la spire c est $\phi = \oint_c \mu \frac{\vec{m} \times \vec{R}}{R^3} dS$.

Si le dipôle est placé dans l'axe de la spire $\phi = 2\pi m z \rho^2 (R_0^2 + \rho^2)^{-3/2}$, seule la composante sur l'axe Z contribue au flux traversant la spire. La tension induite aux bornes de la spire, si celle-ci est animée d'un mouvement alternatif parallèle à son

axe, $R = R_0 + \vec{k} a \sin \omega t$, est donnée par (8-11) :

$$U(t) = - \frac{d\phi}{dt} = \pi \oint \vec{m} \cdot d\vec{S} \left(\frac{\vec{R}}{R^3} - 3(\vec{R} \cdot \vec{R}) \frac{\vec{R}}{R^5} \right)$$

En intégrant sur le contour $d\vec{S} = (\vec{k} \times \vec{\rho}) d\varphi$

$$U(t) = \mu \vec{m} \cdot a \omega \cos \omega t \int_0^{2\pi} [(\vec{k} \times \vec{\rho}) \times \frac{\vec{k}}{R^3} - 3(\vec{k} \cdot \vec{R}) \cdot (\vec{k} \times \vec{\rho}) \times \frac{\vec{R}}{R^5}] d\varphi$$

$$U(t) = - 6 \pi m z a \omega \cos \omega t R_0 \rho^2 (R_0^2 + \rho^2)^{-5/2}$$

Dans le cas d'une bobine multispire, ayant N spires par unité de surface, on obtient :

$$U(t) = - 6 \pi m z a \omega \cos \omega t \int_{R_0}^{R_0+L} \int_{\rho}^{\rho+l} \frac{z x^2}{(z^2 + x^2)^{5/2}} dx dz$$

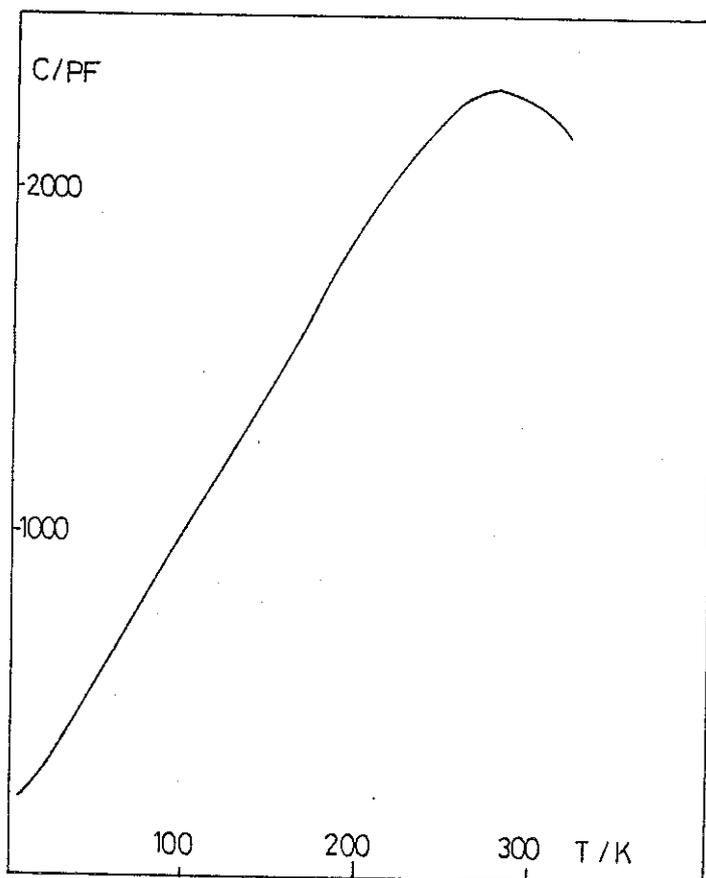


Figure 11 : Etalonnage de la sonde capacitive.

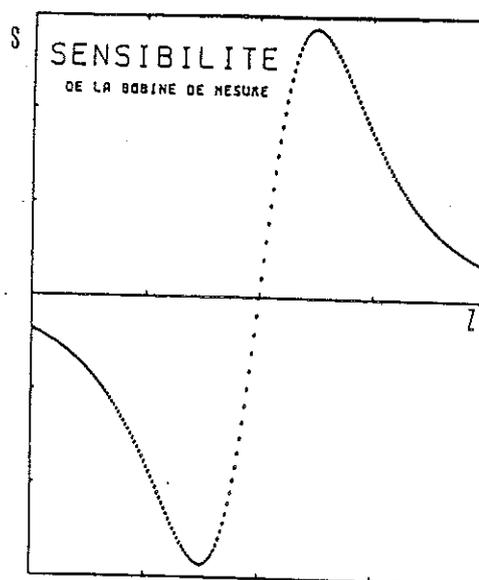


Figure 12

On trouve :

$$\begin{aligned}
 U(t) = 2\pi\mu m_z a \cos \omega t \left\{ \frac{\rho}{(R_o+L)^2 + \rho^2}^{1/2} - \frac{\rho + \ell}{(R_o+L)^2 + (\rho+\ell)^2}^{1/2} \right. \\
 + \frac{\rho + \ell}{(R_o^2 + (\rho+\ell)^2)}^{1/2} - \frac{\rho}{(R_o^2 + \rho^2)}^{1/2} - \text{Log} \frac{\rho + \sqrt{\rho^2 + (R_o+L)^2}}{\rho+\ell + \sqrt{(R_o+L)^2 + (\rho+\ell)^2}} \\
 \left. + \text{Log} \frac{\rho + \sqrt{R_o^2 + \rho^2}}{\rho+\ell + \sqrt{R_o^2 + (\rho+\ell)^2}} \right\}
 \end{aligned}$$

La variation d'amplitude de la tension $U(t)$ en fonction de la distance R_o entre l'échantillon et la bobine est représentée en figure 12. On voit qu'elle présente deux extrémums :

$$S_{\text{maxi}} = K m_z$$

$$S_{\text{mini}} = -K m_z$$

On en conclut que si on déplace l'échantillon sur l'axe de la bobine de détection, de la position Z_{max} à Z_{min} , on décrit la courbe ci-dessus de S_{max} à S_{min} , ce qui nous donne

$$S_{\text{max}} - S_{\text{min}} = 2 K m_z$$

On obtiendrait le même résultat en faisant vibrer l'échantillon et en déplaçant la bobine. L'avantage de la première méthode est que l'échantillon reste immobile. Il n'est donc pas parcouru par les courants de Foucault engendrés par les inhomogénéités du champ. C'est cette méthode qu'on a choisie. Elle permet en particulier de faire des mesures sur de petits échantillons contenus dans des porte-échantillon volumineux utiles pour les mesures sous pression.

b) Description du montage :

L'échantillon, fixé au bout d'une canne, est placé dans l'axe d'une bobine de détection (B, figure 13). Cette bobine est fixée sur un équipement, très léger, en fibre de verre D animé d'un mouvement

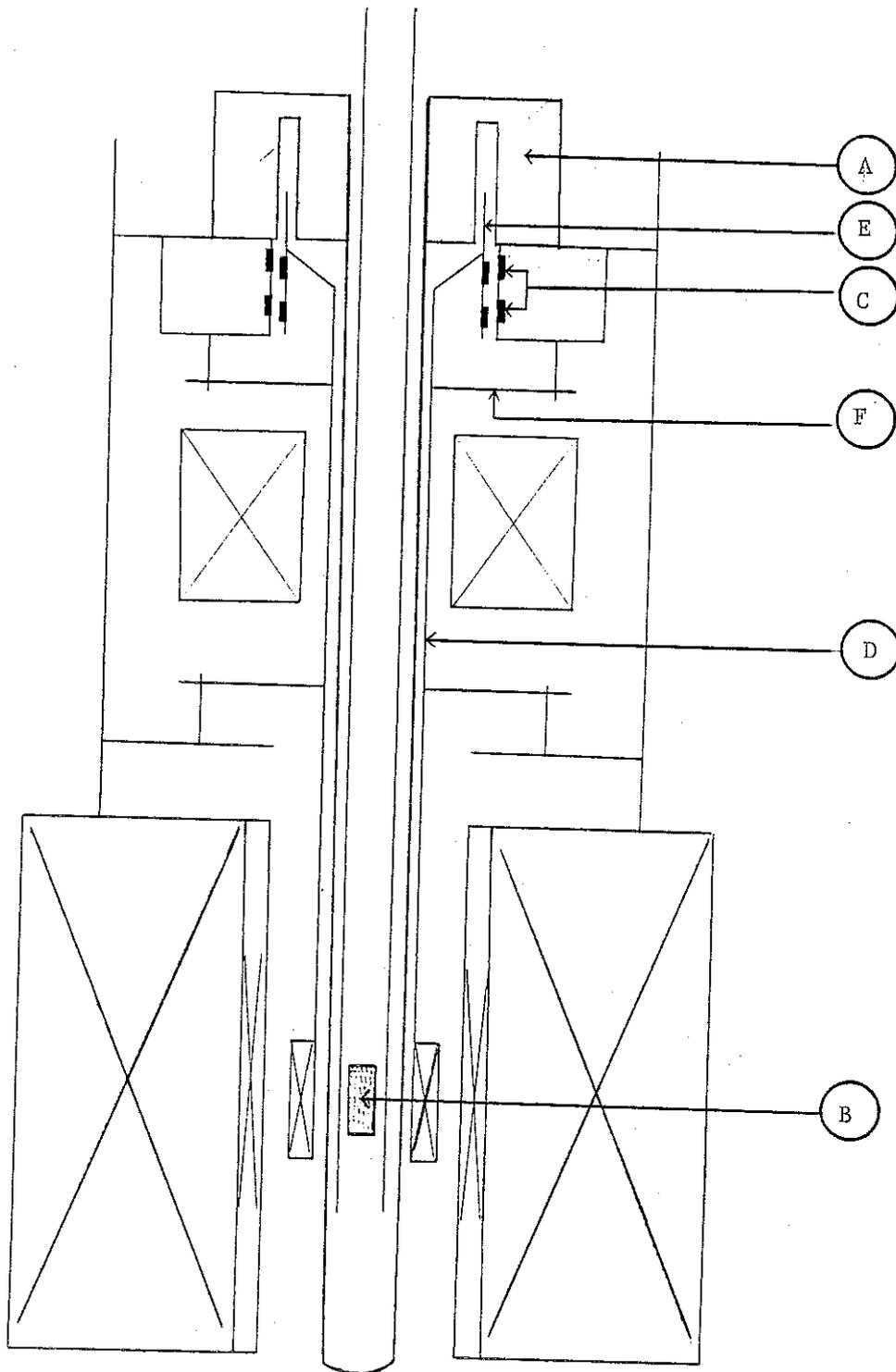


Figure 13 : Dispositif de mesure d'aimantation.

alternatif parallèle à l'axe de la bobine de champ. La vibration est produite par un bobinage moteur E, alimenté en courant alternatif, plongeant dans l'entrefer d'un aimant radial A, placé loin du champ principal. Des ressorts F en bronze béryllium permettent de compenser la masse du système au repos. Ils imposent en outre une fréquence de résonance mécanique. Le moteur E est excité à cette fréquence. La vibration est asservie en amplitude à l'aide d'un système capacitif C, constitué par deux condensateurs dont l'une des armatures est fixe et l'autre se déplace avec l'équipage mobile D. Un schéma de principe du système de mesure d'aimantation est donné en figure 14.

c) Compensation de l'inhomogénéité du champ :

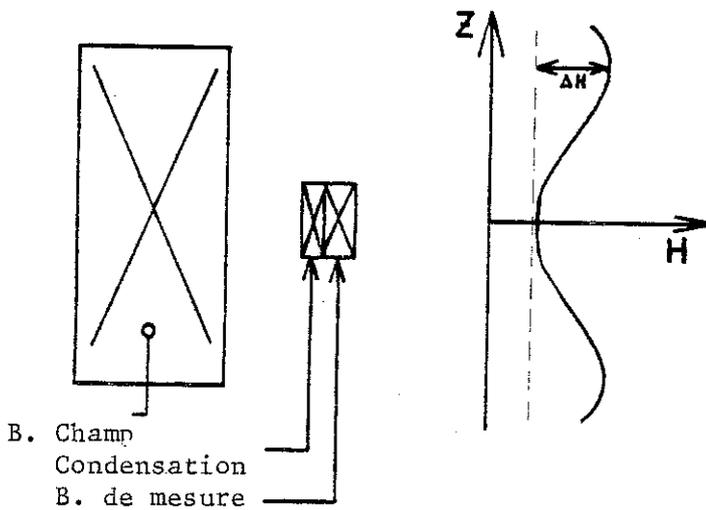
Le champ créé par la bobine supraconductrice n'est pas parfaitement uniforme. On observe une variation de champ $\frac{\Delta H}{H} = 5.10^{-3}$ sur une distance de 40 mm dans l'axe de la bobine (12-13). La bobine de détection est sensible aussi par le flux créé par ce gradient de champ magnétique, on peut compenser son effet sur celle-ci par un enroulement supplémentaire, en sens inverse, sur la surface latérale de la bobine. L'enroulement de compensation doit être tel que

$$N_{\text{ext}} \cdot S_{\text{ext}} = N_{\text{int}} \cdot S_{\text{int}},$$

avec N_{ext} nombre de spires extérieures
 S_{ext} surface des spires extérieures

N_{int} nombre de spires intérieures
 S_{int} surface des spires intérieures

ainsi
$$\left. \begin{aligned} \phi_{\text{int}} &= \alpha_1 M + B S_{\text{int}} \cdot N_{\text{int}} \\ \phi_{\text{ext}} &= -\alpha_2 M - B S_{\text{ext}} \cdot N_{\text{ext}} \end{aligned} \right\} \text{ donne } \phi_{\text{total}} = \phi_{\text{int}} + \phi_{\text{ext}} = (\alpha_1 - \alpha_2) M$$



Mais pratiquement cette condition est difficile à réaliser. On a donc intérêt à déplacer l'échantillon, de cette façon on éliminerait la contribution du gradient de champ, car il interviendrait tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre et la différence des deux mesures annulerait son effet.

$$S_{\max} - S_{\min} = 2 K m_z + C \frac{dB}{dZ} - C \frac{dB}{dZ}$$

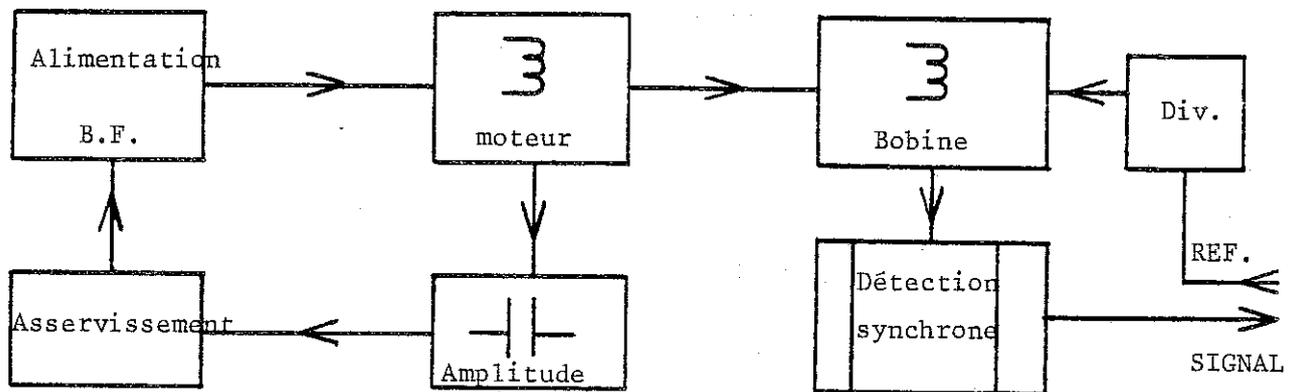


Figure 14 : Schéma de principe du système de mesure d'aimantation.

La composante du signal, $C \frac{dB}{dZ}$, due au gradient de champ, peut être de valeur importante si le champ est grand, ce qui risque d'entraîner la saturation des amplificateurs de détection synchrone. L'emploi d'un diviseur inductif permet de ramener cette composante à une valeur "acceptable".

d) Conclusion :

Pour les mesures d'aimantation en fonction du champ et de la température, nous devons pour chaque point commander le champ, la température, l'équilibrage du signal de détection (entaché d'une composante due au gradient de champ) et mesurer :

- V bobine = la tension aux bornes de la bobine de champ pour savoir si le champ est stable ;
- I bobine = le courant aux bornes de la bobine de champ pour évaluer le champ créé ;
- R_c = la résistance de la sonde de carbone pour évaluer la température ;
- R_{pt} = la résistance de la sonde de platine pour évaluer la température ;
- AP = l'amplitude de vibration de la bobine de mesure ;
- C = la capacité pour la régulation de température ;
- IRC = le courant d'alimentation des capteurs de température ;
- S(t) = signal aux bornes de la bobine de détection.

Le matériel nécessaire au pilotage du système par microordinateur est donc :

- une carte d'entrée analogique 8 voies pour mesurer ces huit signaux de sensibilité maximum 10 μ V,
- une carte de balayage de tension pour commander l'alimentation de la bobine supraconductrice,
- une carte de balayage de tension pour commander le chauffage,
- un multiplieur programmable pour l'équilibrage du signal (annuler la composante due au gradient de champ),
- une carte horloge,
- une imprimante et un système mémoire de masse pour sauvegarder la présentation des données et comme on projette de commander le déplacement de l'échantillon par ordinateur, il faut prévoir aussi une carte de commande pour moteur pas à pas et un système à vis pour exercer ce déplacement.

I.2. INSTRUMENTS DE COMMANDES ET DE MESURES DIGITALES

I.2.1. Présentation du microordinateur.

a) Description du microordinateur Apple II :

On dispose d'un microordinateur, Apple II, dont la capacité de mémoire est de 48 k octets (mémoire de programme). Il peut travailler en langage Basic (Applesoft ; virgule flottante) et en langage machine (ou Assembleur). Le langage machine offre l'avantage d'être plus rapide, la durée d'une instruction en langage machine est de 3 à 6 μ s. De plus, on a la possibilité de travailler avec les deux langages en même temps; un programme en Basic peut faire appel à un programme en langage machine. Huit connecteurs disponibles sur l'Apple II permettent l'accès au bus de données et au bus d'adresses, facilitant ainsi les interfaces avec les périphériques. Un de ces connecteurs est utilisé par le contrôleur de disques, permettant le stockage des données sur deux disquettes 8 pouces de capacité 140 K octets chacune. Un second connecteur est occupé par une imprimante (microligne 80). Les connecteurs restant seront utilisés par la table traçante, et les cartes d'interfaçages avec les diverses unités de commandes et de mesures digitales.

b) Description de la carte horloge :

Un P.I.A. (Peripheral Interface Adapter) reçoit une valeur numérique mémorisée par une série de quatre compteurs. Ce système de comptage peut fonctionner soit en compteur, soit en décompteur d'impulsions, selon que celles-ci sont envoyées sur l'entrée de comptage ("count up") ou sur l'entrée de décomptage ("count down"). Ces impulsions sont générées par un quartz, puis divisées en fréquence de façon à obtenir des signaux de période 1 ms, 10 ms, 100 ms, 1 s et 10 secondes. L'utilisateur devra alors câbler la carte pour avoir la période de comptage de son choix. Le P.I.A. fournira alors au calculateur une mesure du temps, et permettra à l'utilisateur de programmer des interruptions cadencées selon son désir.

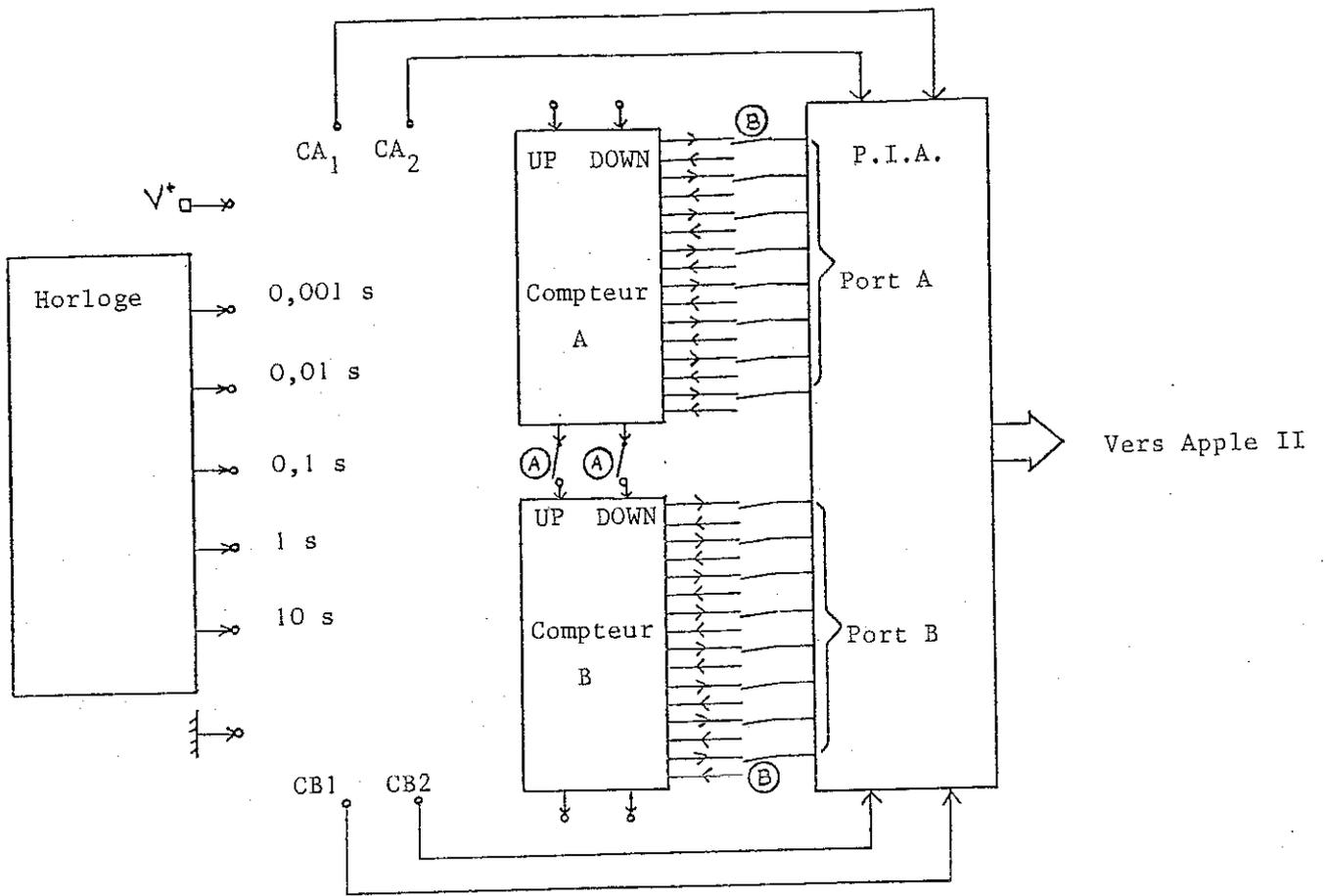


Figure 15 : carte horloge.

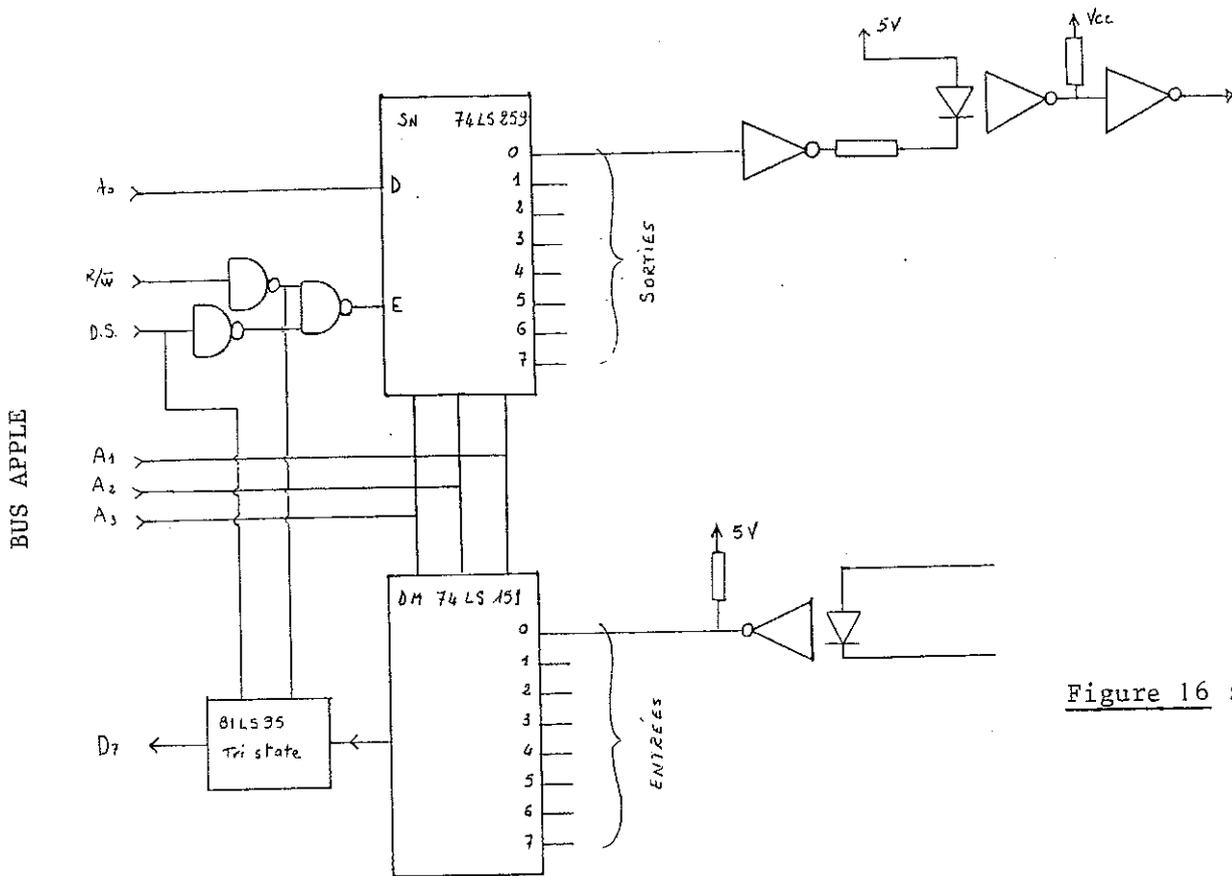


Figure 16 : Interface série.

c) Description de la carte interface série :

La carte interface série permet à l'Apple II de lire l'état logique de 8 voies et de commander huit autres voies en sortie tout ou rien. Ces entrées et sorties sont manipulées à l'aide de cette carte, par le calculateur comme des positions mémoires. Chaque couple de points mémoires, occupés par la carte interface série, correspond à une entrée accessible au microordinateur par une lecture à l'une de ces deux adresses, et à une sortie commandable par une écriture à l'une ou l'autre de ces deux adresses. Le bus adresse de l'Apple II est utilisé par la carte pour sélectionner un numéro de voie, et le signal de "lecture ou écriture" (R/\bar{W}) spécifie si c'est une voie d'entrée ou une voie de sortie. Dans le cas d'une entrée le bit de donnée lue est transmis au bit de poids le plus fort (D7) du bus de donnée. Tandis que pour une sortie, c'est le bit de poids le plus faible du bus adresse qui est transmis à la sortie sélectionnée. Ainsi une écriture à l'adresse basse de la voie génère un niveau bas à la sortie désirée, tandis qu'une écriture à l'adresse haute de la voie génère un niveau haut en sortie. La valeur écrite est indifférente à la carte.

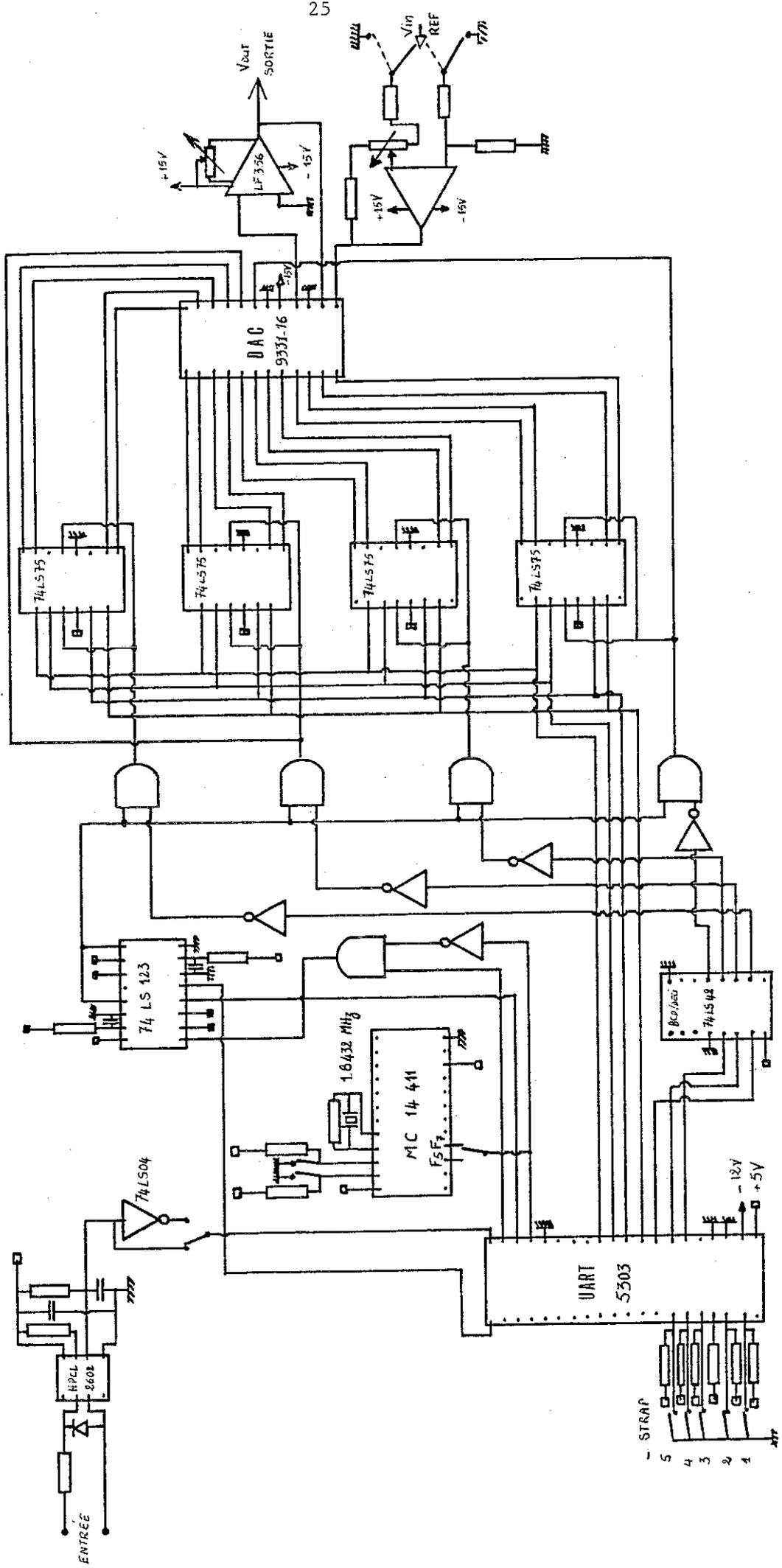
Si la carte série est branchée sur le connecteur numéro S de l'Apple II, les adresses qui lui sont réservées sont COXY, où X = 8 + S et Y variant de 0 à F en hexadécimale. Et si on utilise la voie N ($N = 1, 2, \dots, 8$) les adresses lui correspondant sont $\$COXO + \$(2N-2)$ et $\$COXO + \$(2N-1)$.

I.2.2. Les multiplieurs programmables.

a) Utilisation d'un multiplieur programmable :

Un régulateur, par exemple le BT 300, fournit un courant proportionnel à un signal d'erreur e, tel que $e = s(t) - S$ où $s(t)$ est le signal de sortie à mesurer et S une consigne. En fonctionnement manuel, la consigne est imposée par l'utilisateur à l'aide d'un système quelconque, par exemple un potentiomètre. S et $s(t)$ sont deux signaux analogiques de même nature. En pilotage par ordinateur, la consigne S est donnée sous forme numérique et n'est pas directement accessible au

Figure 17 : Multiplieur programmable.



régulateur. Il faut fabriquer le signal d'erreur à l'aide d'un organe spécial : le multiplieur programmable. Le multiplieur programmable permet de générer une tension analogique à partir d'une consigne numérique, envoyée par un organe de commande. Il reçoit une tension de référence, la consigne numérique α et le signal auquel on veut ajouter un signal proportionnel à V_{REF} . En sortie on dispose d'un signal de valeur $S(t) = s(t) + \alpha.V_{REF}$. La tension de référence peut être continue ou alternative.

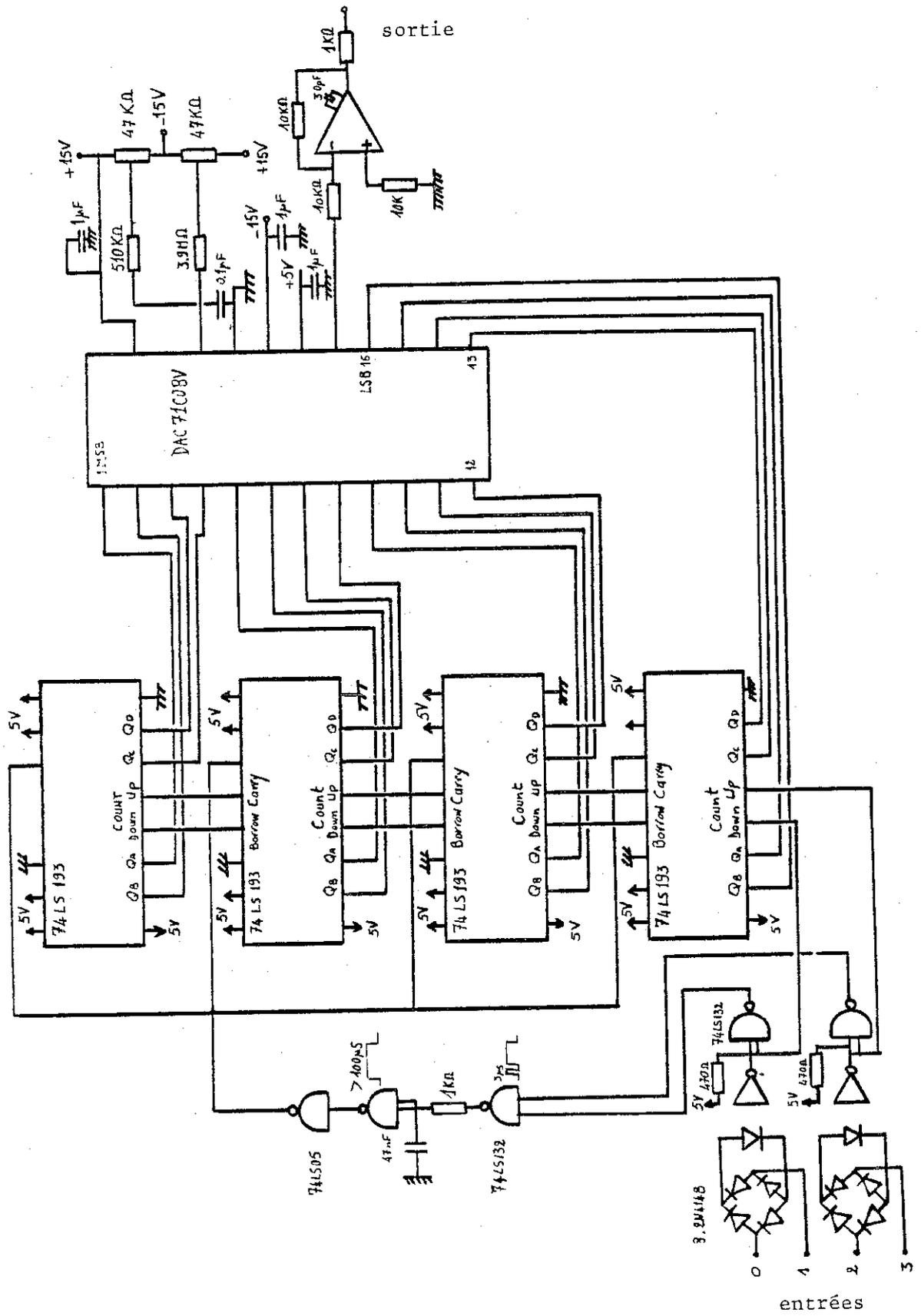
b) Fonctionnement du multiplieur :

La consigne numérique est codée en binaire sur 16 bits, elle peut donc varier de 0 à 65 535. On dispose d'une résolution de $\frac{1}{2^{15}}$ fois $V_{REF} \approx 30,5 \times 10^{-6} V_{REF}$. Ces 16 bits de consigne sont divisés en quatre tranches de quatre bits chacune. Devant chaque tranche de quatre bits on ajoute 4 bits indiquant le code du poids de cette tranche, pour former enfin au total quatre mots de huit bits chacun, représentant la consigne numérique. Les mots arrivent en série sur un convertisseur parallèle asynchrone (U.A.R.T.) qui les transmet en parallèle. Les quatre bits de poids fort sont appliqués à l'entrée d'un convertisseur B.C.D.-décimal dont la sortie commande un système de portes logiques, permettant de sélectionner l'une des quatre mémoires tampons qui recevra les quatre bits de poids faible du mot. Donc chacun des quatre mots permettra la sélection et le chargement d'une des quatre mémoires tampons. Ceci permet de présenter à l'entrée du convertisseur numérique-analogique les 16 bits de consignes en parallèle. Enfin en sortie de ce dernier on dispose d'un signal proportionnel à la tension de référence et à la consigne numérique.

I.2.3. Carte de balayage en tension.

Cette carte a pour rôle d'établir une tension continue de valeur comprise entre 0 et ± 10 V, que l'on peut faire varier en escalier par application, à son entrée, d'une série d'impulsions courtes (de l'ordre de 5 μ s). Elle est reliée au microordinateur par la carte interface série dont elle occupe deux voies en sortie. L'une des deux voies permet d'incrémenter, l'autre de décrémenter la tension de sortie.

Figure 18 : Carte de balayage de tension.



Les impulsions arrivent sur un ensemble de quatre compteurs de quatre bits chacun montés en série, permettant de mémoriser une valeur numérique sur 16 bits, variant entre 0 et 65 535. Cette valeur numérique est appliquée à un convertisseur numérique-analogique qui la transforme en une tension qui lui est proportionnelle. La résolution en tension est de $\frac{1}{2^{16}} \times 10 = 153 \mu\text{V}$.

La remise à zéro de cette tension s'effectue par l'envoi d'une impulsion longue (durée $\geq 100 \mu\text{s}$) sur les deux entrées de la carte simultanément.

Sur la même carte, on dispose aussi d'un relais permettant l'inversion du courant dans les sondes de température, et d'un relais pour la commande d'une électrovanne. Ces relais sont commandés par deux autres sorties de la carte interface série.

I.2.4. Carte de conversion analogique-numérique.

Nous utilisons une carte d'entrée analogique construite par "Techniphone Instrumentation". Elle présente huit voies d'entrées analogiques. Elle est connectée directement sur le bus de l'Apple II dont elle occupe 16 positions mémoires (1 connecteur). Chaque couple d'adresses mémoires est réservé à une des huit voies d'entrée. La conversion analogique numérique d'une parmi les huit voies d'entrée est programmée par l'écriture d'un mot de commande à l'adresse basse de la voie désirée. Le bus adresse est utilisé afin de positionner les multiplexeurs de la carte sur la voie d'entrée désirée. Tandis que le mot de commande transmet à la carte le mode de fonctionnement désiré ; chacun de ses bits régit une des fonctions de la carte de conversion (demande de conversion, mode scrutation ou interruption, gain d'amplification d'entrée automatique ou gain programmé, gain d'amplification). Un convertisseur analogique-numérique reçoit alors le signal d'entrée sélectionné, amplifié avec le gain spécifié et le convertit en une valeur numérique, si la commande de conversion a été envoyée. Dans le cas où le mot de commande spécifie l'utilisation du "gain automatique", le gain d'amplification d'entrée va être ajusté à une valeur, permettant d'éviter la saturation. La conversion analogique

numérique est réalisée sur 12 bits plus un bit de signe (± 4095 en décimal). Après avoir réalisé la conversion analogique numérique, la carte mémorise aux deux adresses mémoires réservées à la voie sélectionnée, les 13 bits représentant la valeur numérique, plus 2 bits indiquant le gain utilisé, et un bit indiquant que la conversion est terminée. On dispose de 4 gammes d'entrée ± 20 V, ± 2 V, ± 400 mV et ± 40 mV, les gains d'amplification d'entrée correspondant sont respectivement 0,2 ; 2 ; 10 et 100.

I.3. METHODES DE MESURE

I.3.1. Spécification d'entrée.

Nous avons en plus des variables internes qui sont calculées par programme, trois types de variables accessibles au calculateur :

- les variables ou paramètres introduits par le clavier,
- les variables ou paramètres contenus dans un fichier,
- les variables fournies par un organe de mesure (périphériques).

Les variables du premier type nécessitent un test du clavier pour informer le calculateur d'un éventuel changement, et pour le cas affirmatif l'identification de la variable et la prise en compte du changement à effectuer. Ce type de variables permet la modification instantanée du déroulement du programme et permet à l'utilisateur le contrôle du système et la prise de décision.

Les variables du second type, contenues dans un fichier, sont accessibles par la lecture du fichier. Tandis que les variables fournies par un organe de mesure nécessitent l'appel de sous-routines assurant la commande de l'organe de mesure et la conversion de la variable dans un format accessible au microordinateur. Ainsi il nous faut donc écrire une sous-routine pour chaque organe de mesure ou de commande afin de permettre son utilisation par le microordinateur.

I.3.1.1. Variables mesurées par la carte d'entrée analogique :

a) La tension aux bornes de la bobine de détection :

Son domaine de variation peut être de ± 40 mV ; ± 400 mV ou de ± 2 V, car elle dépend de l'échantillon, du gain de détection synchrone choisi GA et de l'amplitude de vibration AP. Pour cette variable, on risque d'obtenir une mesure incorrecte, dans le cas où la valeur de celle-ci se trouve hors de la gamme choisie. Donc en cas de valeur incohérente, il faut changer de gamme et refaire la mesure. L'incertitude sur cette mesure est $\Delta = \frac{\pm 1}{2^{12}} \cdot * \text{Gamme} \leq \frac{1}{2^{11}}$ pour ± 2 V.

b) Mesure du courant aux bornes de la bobine supraconductrice :

Cette variable est estimée à partir de la mesure de la tension aux bornes d'un shunt de résistance 1 m Ω . Quand le courant bobiné varie de 0 à 150 A, cette tension varie de 0 à 150 mV, on utilisera donc la gamme de ± 200 mV. L'incertitude sur cette mesure est $\Delta v = \pm \frac{1}{2^{12}} 400 \times 10^{-3}$ et $\Delta I = \pm 10^3 \Delta v$.

c) Mesure de la température :

On utilise comme sonde de température une résistance de carbone (Allan Bradley) pour des températures inférieures à 35 Kelvin et une résistance de platine pour des températures comprises entre 30 K et 300 K. On mesure donc à l'aide de la carte de conversion analogique numérique la tension aux bornes de carbone ou de la résistance de platine selon la gamme de température où on se trouve. Pour les deux résistances, on utilisera la gamme ± 400 mV qui recouvre le domaine de variation de ces deux tensions. L'erreur de mesure commise sur cette valeur est $\Delta R = \pm \frac{1}{2^{12}} \times 4 \times 10^{-1}$ multipliée par le gain d'amplification.

d) La mesure de l'amplitude :

On mesure une tension proportionnelle à l'amplitude de vibration. La tension mesurée vaut 1,00 V quand l'amplitude de vibration de la bobine de mesure est de 0,3 mm. En utilisant la gamme ± 2 V, l'erreur est $\Delta(AP) = \pm \frac{1}{2^{12}} \times 2$ V.

e) Mesure du courant d'alimentation des sondes :

On mesure la tension aux bornes d'un shunt de 100 m Ω dans la gamme de ± 400 mV avec une erreur $\Delta = \pm \frac{100}{2^{10}}$ mV.

f) Mesure de la capacité :

La mesure de la capacité se ramène à la mesure d'une tension qui lui est proportionnelle dans la gamme ± 400 mV avec une erreur $\Delta V_{\text{capa}} = \frac{100}{2^{10}}$ mV.

g) Mesure de la tension aux bornes de la bobine supraconductrice :

La mesure de cette tension doit nous renseigner sur l'évolution du champ. Elle est nulle pour un champ stable, est inférieure à V_{max} en valeur absolue ; V_{max} dépendant de la vitesse maximum possible pour la variation du champ. On la mesurera dans deux gammes différentes ± 2 V quand on fait varier le champ et ± 400 mV lorsqu'on attend la stabilité du champ.

1.3.2. Spécifications de traitement.

Nous savons que le signal d'aimantation varie en fonction de sa position par rapport à la bobine vibrante, et si on le déplace de part et d'autre de la bobine, le signal détecté va décrire la caractéristique de sensibilité de la bobine. Un extracteur pneumatique permet de déplacer l'échantillon, avec une vitesse à peu près constante, d'une extrémité à l'autre de la bobine ; la courbe de variation du signal induit, ainsi obtenu, est représentée en figure 19 pour un cycle de déplacement de l'extracteur (aller et retour). Au cours de la première

séquence (déplacement de l'échantillon de bas en haut), le signal d'aimantation présente un minimum puis un maximum. Une première mesure de l'aimantation est obtenue en faisant la différence maximum-minimum. La deuxième mesure est réalisée au cours de la seconde séquence ; déplacement de l'échantillon de haut en bas. Chaque séquence dure environ 30 secondes, car un déplacement trop rapide entraînerait une variation de flux supplémentaire dans la bobine de mesure, ce qui fausserait la mesure.

Donc on mesurera le signal de détection, depuis l'instant de départ, et à chaque mesure on comparera le maximum et le minimum afin de garder en mémoire les extremum du signal. Au bout de la 30ème seconde, on calcule la différence $Max_1 - Mini_1$ puis on répète l'opération pour la 2ème séquence pour obtenir $Max_2 - Mini_2$ à la 60ème seconde. Ensuite on mesure la tension aux bornes de la sonde V_R , le courant d'alimentation des thermomètres IT, le courant de la bobine de champ IH et l'amplitude de vibration AP.

Ainsi les valeurs des mesures obtenues seront :

$$T = F_t \left(\frac{V_R}{IT} \right) \quad ; \quad F_t = \text{fonction d'étalonnage du thermomètre}$$

$$H = F_k (I_H) \quad ; \quad F_k = \text{fonction d'étalonnage du champ.}$$

$$M(T,H) = \frac{(Max_1 - Mini_1) + (Max_2 - Mini_2)}{2} \times AP \times \frac{1}{GA \times GC} \times \frac{1}{N} \times k$$

avec GA = gain de l'amplificateur de détection synchrone,
 GC = gain de carte Techniphone utilisé pour la mesure,
 N = nombre de mesures additionnées pour chaque point,
 k = constante d'étalonnage du système de mesure.

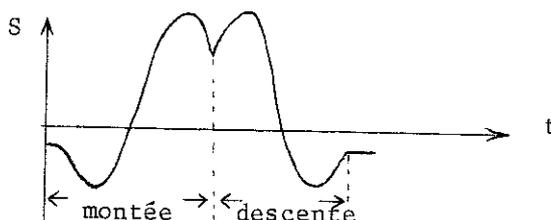


Figure 19 : Forme du signal d'aimantation pour un cycle d'extraction.

I.3.3. Présentation des données.

a) Sur écran :

On doit pouvoir visualiser sur l'écran le fichier contenant la liste des commandes à exécuter, les paramètres nécessaires à l'acquisition et la liste des données déjà mesurées. d'une part et d'autre part le tracé du signal aux bornes de la bobine de détection en fonction du temps et le tracé de la courbe d'aimantation en fonction du champ ou de la température. Ceci afin de permettre à l'utilisateur de s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble du système.

b) Sur l'imprimante :

L'impression d'une liste des commandes, suivie de la liste des différentes données mesurées par le calculateur, sera utile à l'utilisateur, notamment en cas de coupure du courant ou de mauvais fonctionnement du calculateur.

c) Sur disquettes :

La sauvegarde de la liste des commandes et des données, sur disquettes, permettrait un traitement ultérieure de ses données. Le stockage des données est effectué à la fin de chaque courbe, avant l'exécution des ordres concernant la courbe ou l'étape suivante.

CHAPITRE II

CONTROLE DES MESURES ET ASSERVISSEMENTS

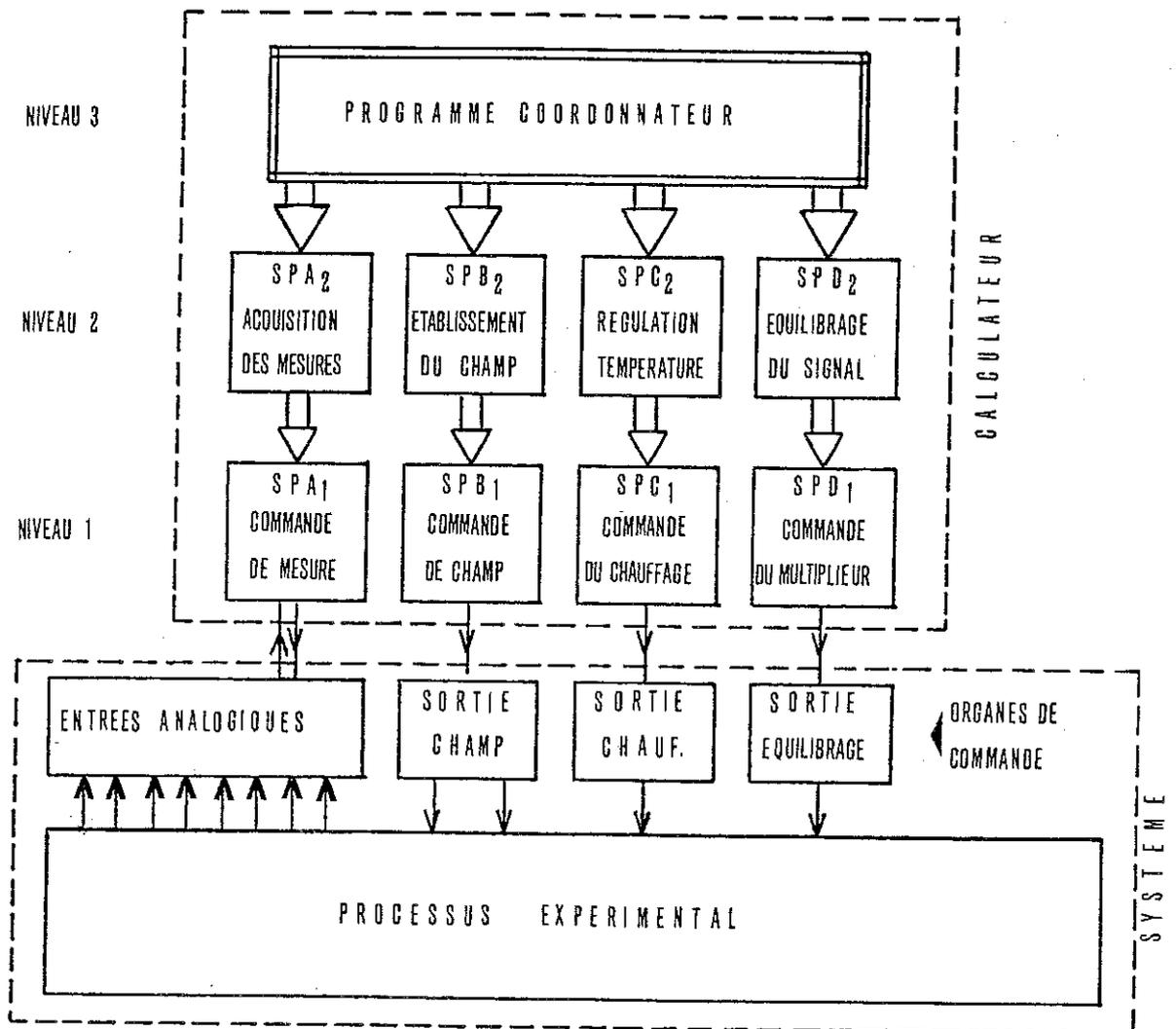


Figure 20

II.1. COMPOSITION DU CAHIER DES CHARGES ET DIVISION DES TACHES

Afin de mener à bien le contrôle du système, nous devons décomposer les différentes tâches à accomplir en plusieurs étapes. Chaque étape correspond à un sous-programme qui a pour fonction soit la commande d'un périphérique, soit l'élaboration de cette commande à partir de données mesurées et/ou fournies par programme. Ces étapes s'organisent en plusieurs niveaux se présentant sous une hiérarchie caractéristique du système. Les tâches à accomplir par le programme sont :

- A. la commande de mesure des huit signaux par la carte d'entrée analogique,
- B. la commande de régulation de température,
- C. la commande de la bobine de champ,
- D. la commande d'équilibrage du signal.

L'accomplissement de chaque tâche ne se fait pas indépendamment des autres, et nécessite une coordination de leur exécution qui est fonction de la commande désirée par l'utilisateur. Un programme en langage "Basic" appelé programme COORDONNATEUR aura pour rôle la coordination de l'exécution de toutes les tâches. La décomposition du programme d'automatisation en fonction des tâches à accomplir offre l'avantage de nous permettre de rajouter à l'ensemble, des organes de commande ou de mesure sans avoir à modifier tout le programme. Par exemple, lorsqu'on voudra ajouter la commande du déplacement de l'échantillon par moteur pas à pas, il suffira d'écrire le sous-programme correspondant, et de rajouter dans le programme coordinateur l'appel à ce sous-programme aux instants précis où cela est nécessaire. Il ne sera pas nécessaire de modifier les sous-programmes gérant les autres tâches.

D'autre part, comme le montre la figure 20, nous divisons chaque tâche en deux sous-programmes :

- un sous-programme de niveau 1 qui gère directement l'organe de commande, permettant ainsi le dialogue entre le calculateur et l'organe de question ;

- et un sous-programme de niveau 2 qui doit fournir les consignes numériques au sous-programme de niveau 1, en fonction de certaines données pour mener à bien l'exécution de la tâche en question. Il fournit en quelque sorte le vocabulaire nécessaire entre le calculateur et le périphérique. Il peut aussi dialoguer avec les autres sous-programmes de même niveau, car les tâches ne sont pas sans "interactions". Par exemple, nous aurons besoin de mesurer la tension aux bornes de la bobine de champ (SPA1) (figure 21) pour la commande de champ (SPB2) et de la mesure de la température (SPA1) pour la régulation de température (SPC2).

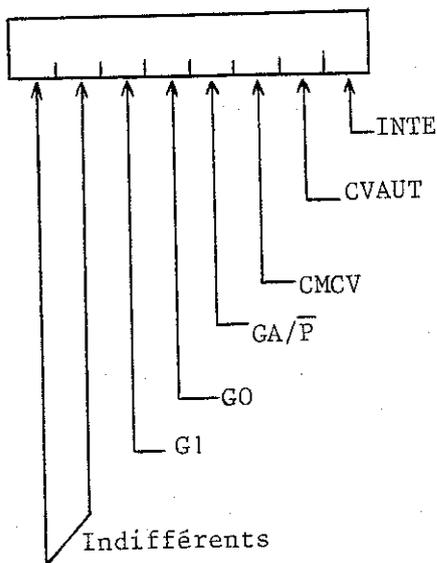
Cette division est intéressante dans la mesure où elle permet le changement d'un organe de commande pour une autre de même fonction moyennant un sous-programme de niveau 1 assurant la traduction des consignes du programme de niveau 2 à l'organe de commande.

II.3. COMMANDE DE MESURE

II.2.1. Mode d'utilisation de la carte d'entrée analogique.

La carte de conversion analogique numérique Techniphone permet de mesurer 8 signaux analogiques, accessibles au calculateur comme des mots mémoires. A chaque voie correspondent deux cases mémoires. Dans le cas où elle est connectée à l'Apple II dans le Slot 5, les 16 mots-mémoires réservés à ce slot sont aux adresses \$ CODO à \$ CODF en notation hexadécimale. Et les cases réservées à la voie n° 1 sont \$ CODO et \$ COD1 et à la voie N, \$CODO + (2N-2) et \$CODO + (2N-1). La sélection de la voie N s'effectue par l'écriture d'un mot à l'adresse \$ CODO + (2N-2). Le mot écrit définit le mode de fonctionnement de la carte.

Mot de commande



INTE : à "1" fonctionnement en interruption : dès qu'une valeur a été convertie, un signal d'interruption est envoyé au calculateur.

: à "0" les interruptions sont masquées (non transmises).

CVAUT: à "1" la conversion est relancée automatiquement dès que la valeur déjà convertie est lue par le calculateur.

: à "0" la carte attend la commande du calculateur pour lancer la conversion.

CMCV : à "1" commande de conversion.

: à "0" positionnement sur la voie.

GA/P : Gain d'amplification :

"1" gain adapté automatiquement

"0" gain programmé.

G1GO : Code du gain désiré en mode de gain programmé.

Les deux bits de poids forts B5 et B7 sont indifférents à la carte d'entrée. Elle peut convertir des signaux variant dans quatre gammes différentes ± 40 mV ; ± 400 mV ; ± 2 V ; ± 20 V. Les gains correspondants à ces quatre gammes sont soit programmés par l'utilisateur, en mode "gain programmé", soit adaptés automatiquement au signal d'entrée par la carte, en mode "gain automatique". Les valeurs du gain données dans le tableau 1 supposent qu'on lit la valeur numérique correspondant au

gamme	gain	code du gain	
		G1	GO
$\pm 20\ 000$ mV	0.2	0	0
$\pm 2\ 000$ mV	2	0	1
± 400 mV	10	1	0
± 40 mV	100	1	1

signal en millivolts. Après un délai correspondant à la durée de conversion, cette valeur est présentée sur 12 bits plus un bit de signe et mémorisée aux adresses mémoires correspondant à la voie, avec un bit indiquant que la mesure est terminée, et les deux bits du code du gain utilisés.

Ainsi, si par exemple nous devons mesurer un signal variant dans la gamme ± 400 mV, nous devons utiliser le gain de valeur 10 dont le code en binaire est 10. On commandera la conversion en même temps que l'écriture du mot de commande (CMCV = 1) et on utilisera le mode de conversion automatique, pour éviter l'attente de la commande entre deux conversions (CVAUT = 1). $GA/\bar{P} = 0$, le gain est programmé. INTE = 0, les interruptions sont masquées. Le mot de commande est donc

0 0 1 0 0 1 1 0

c'est-à-dire $\$ 26$ en hexadécimale ou 38 en valeur décimale.

Si ce signal est connecté sur la voie numéro trois, il faut alors écrire ce mot de commande à l'adresse $\$ COD4$ ($\$ COD4$ et $\$ COD5$ sont réservées à la voie 3). Après un temps correspondant à la durée de conversion, nous obtenons aux adresses $\$ COD4$ et $\$ COD5$ la valeur numérique V du signal. L'octet en $\$ COD5$ contiendra les huit bits de poids faible de la valeur et $\$ COD4$ les 4 bits de poids fort, le bit de signe et le bit fin de conversion plus le code du gain utilisé. En mode de conversion automatique, la carte recommencera à convertir le signal dès qu'on lira le contenu de l'adresse $\$ COD5$.

II.2.2. Sous-programmes du module d'acquisition des données.

a) Sous-programmes de commande de la carte de mesure SPAI :

Pour permettre à ce sous-programme d'établir le dialogue entre le microordinateur et la carte de mesure, nous avons besoin des cinq variables :

- VAL sur 2 octets ; pour la mémorisation temporaire de la valeur mesurée ;
- MOY sur 2 octets ; pour mémoriser la somme de NB, mesures effectuées sur la même voie ;
- NBMES un octet ; nombre de mesures à effectuer sur la même voie ;
- VOIE Adresse indiquant la voie à mesurer ;
- GAIN mot de commande à appliquer pour cette mesure (= gain et mode de fonctionnement).

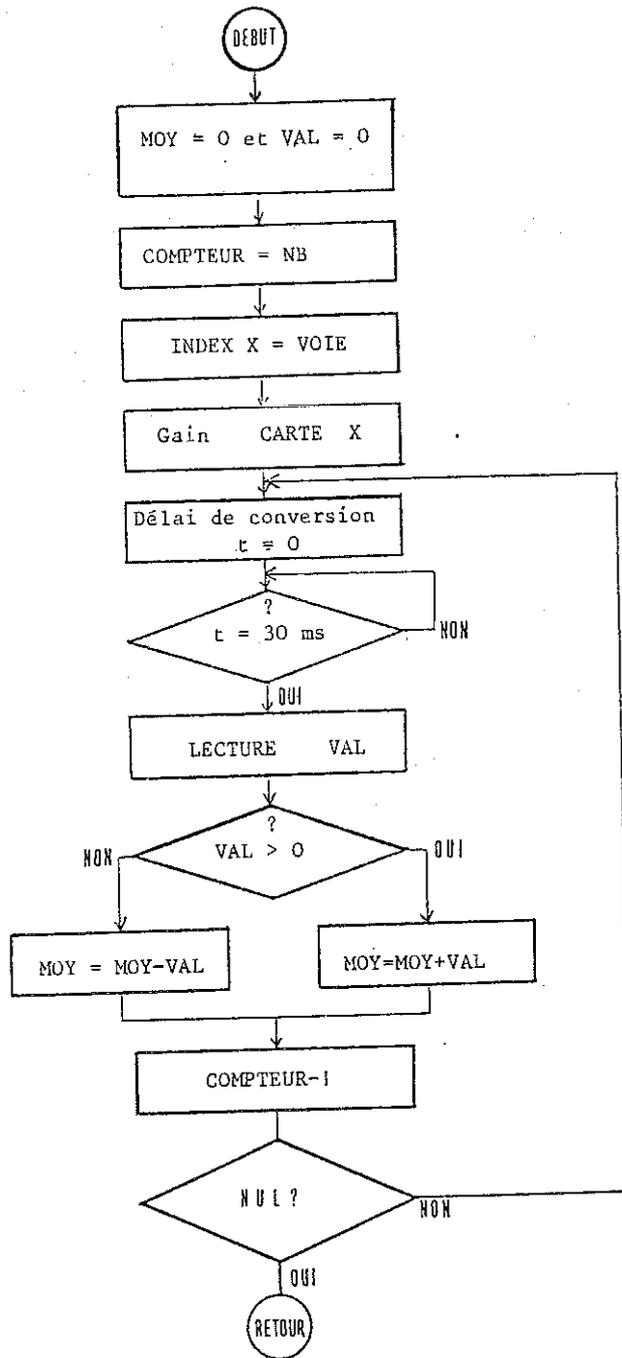


Figure 21 : Sous-programme SPA1.

Ce sous-programme de niveau 1 se charge uniquement de mesurer NBMES fois la voie VOIE avec le gain GAIN et de faire la somme des mesures en tenant compte du signe et la mettre en mémoire en MOY. Etant donnée que la durée d'exécution des instructions du microprocesseur est plus courte pour des opérations sur des mémoires en page zéro (c'est-à-dire adresse \$ 00XY en hexadécimale), les adresses des variables utilisées ci-dessus ont été choisies dans cette page parmi les adresses non utilisées par le microordinateur. L'ordinogramme de ce sous-programme est présenté en figure 21 et la liste de ses instructions en annexe 1.

b) Sous-programme de commande de l'acquisition : SPA2

Ce sous-programme de niveau 2 est chargé d'une part de déterminer les variables NBMES, VOIE et GAIN en fonction du signal à mesurer et d'autre part d'effectuer un premier traitement sur les données mesurées. Le traitement diffère selon le signal à mesurer.

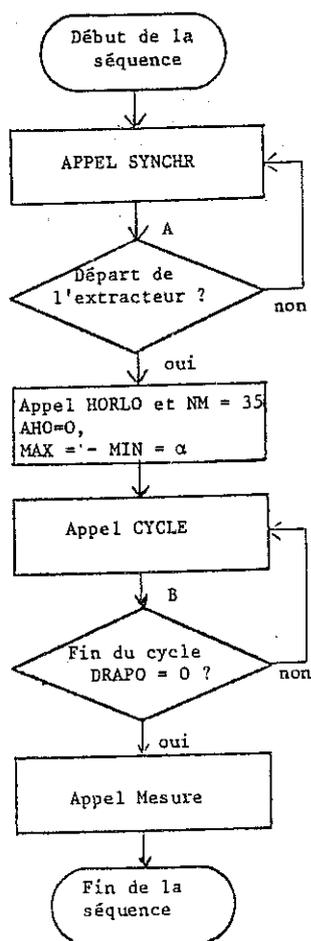
Les signaux à mesurer pour l'acquisition d'une courbe d'aimantation en fonction du champ et de la température en gardant soit le champ fixe, soit la température fixe sont énumérés dans le tableau 2.

L'acquisition doit commencer à l'instant de départ de l'extracteur de la position basse, détectée par l'apparition d'un front descendant aux bornes d'un interrupteur fin de course ; le champ et la température doivent être préalablement stabilisés. Ce sous-programme doit mesurer le signal $s(t)$ depuis l'instant $t = 0$, correspondant au départ de l'extracteur, en gardant en mémoire les extréma du signal jusqu'à la 35ème seconde où il calculera la différence $Max_1 - Min_1$ qu'il affectera à la variable AMO. Puis remesure de la même façon, après avoir initialisé les variables Max et Min, jusqu'à la fin du cycle pour obtenir $AMO = (Max_1 - Min_1) + (Max_2 - Min_2)$. La mesure du temps est accessible par lecture du port B du PIA (Peripheral Interface Adapter) de la carte horloge, câblée pour compter des périodes d'une seconde. Les compteurs de la carte horloge sont remis à zéro aux instants de départ de l'extracteur, nous permettant ainsi une bonne synchronisation avec ce dernier. Une fois terminée la mesure d'aimantation, il faut mesurer tous les autres signaux, (IR, R, AP, IH), pour avoir un point

de la courbe. Ce sous-programme se divise donc en quatre parties :

- "SYNCHR" : détection du départ de l'extracteur ;
- "HORLO" : remise à zéro des compteurs de l'horloge ;
- "CYCLE" : mesure de $s(t)$ et AMO pendant une période de l'extracteur ;
- "MESURE" : mesure du champ, de l'amplitude, du courant thermomètre et de la résistance.

Ces quatre parties sont liées par la séquence représentée ci-dessous (figure 22). Cette séquence est exécutée par le programme "coordinateur" afin de lui permettre de tracer en temps réel l'évolution du signal $s(t)$ et de la courbe d'aimantation, et d'autoriser l'intervention de l'utilisateur par l'intermédiaire du clavier. Les ordino-grammes des différentes parties du sous-programme d'acquisition sont représentées en figures 23 a, b, c et d.



Au début de la séquence, la valeur de l'octet appelé DRAPO est nulle. Le programme principal en coordinateur fait appel au sous-programme "SYNCHR" tant que la valeur de l'octet DRAPO n'est pas passée à deux ; DRAPO = 1 signifie que l'extracteur est retourné à la position basse (interrupteur fermé: tension non nulle) et DRAPO = 2 signifie que l'extracteur a quitté la position de départ. Dès que l'extracteur repart (dès que DRAPO = 2), il remet à zéro les compteurs de l'horloge, pour compter les secondes depuis cet instant, puis met la valeur 35 dans l'octet NM qui servira à détecter la 35ème seconde (correspondant à la moitié du cycle), puis appelle le sous-programme CYCLE.

Figure 22 : Séquence d'acquisition.

TABLEAU 2

NOM DU SIGNAL	VALEUR		SENSIBILITE DE LA CARTE	GAMME DE MESURE	MOT DE COMMANDE en hexa	VOIE	TRAITEMENT DE LA MESURE
	MAXI	MINI					
I Résistance	100 mV	0 mV	0.1 mV	±400mV	26		Somme de 4 mesures
V Résistance	2 V	0.2 V	1 mV	± 2 V	16		Somme de 4 mesures en courant positif (+IR) moins somme de 4 mesures en courant < 0 (-IR)
I bobine H	400 mV	0 mV	0.1 mV	±400mV	26	2	Somme de 4 mesures
Amplitude	1 V	0 V	1 mV	± 2 V	16		Somme de 4 mesures Détection des 4 extrémums et
S(t)							
Signal bobine	Dépendant de l'échantillon		aimantation de			3	AMD=(Max ₁ +Min ₁)+(Max ₂ -Min ₂)
V bobine H	1,5 V	-1,5 V	1 mV	± 2 V	16	1	Mesurée par le sous-programme d'établissement du champ.
Capacité	2 V	0 V	1 mV	± 2 V	16		Mesurée par le sous-programme du régul de température.
V fin de course	4,5 V	0	5 mV	± 20 V	06		Détection du départ extracteur

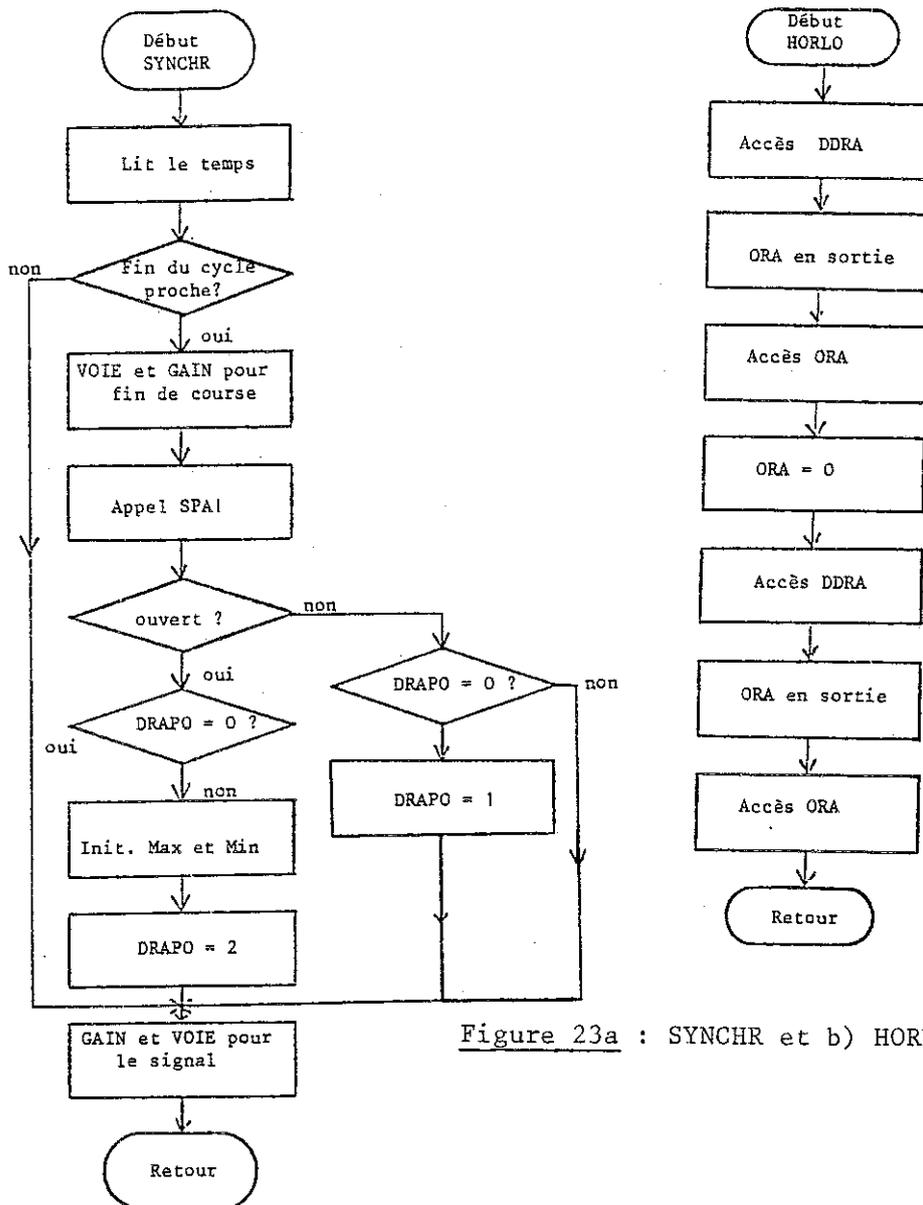


Figure 23a : SYNCHR et b) HORLO.

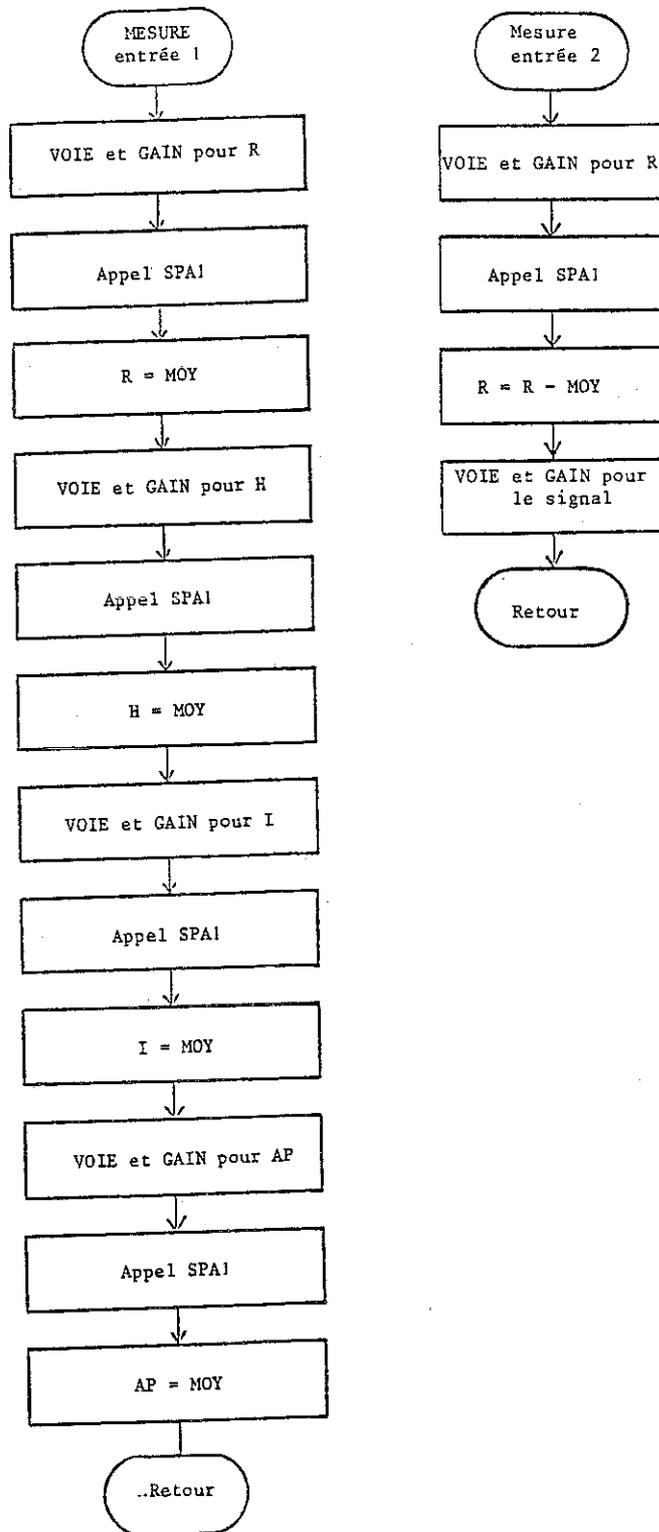
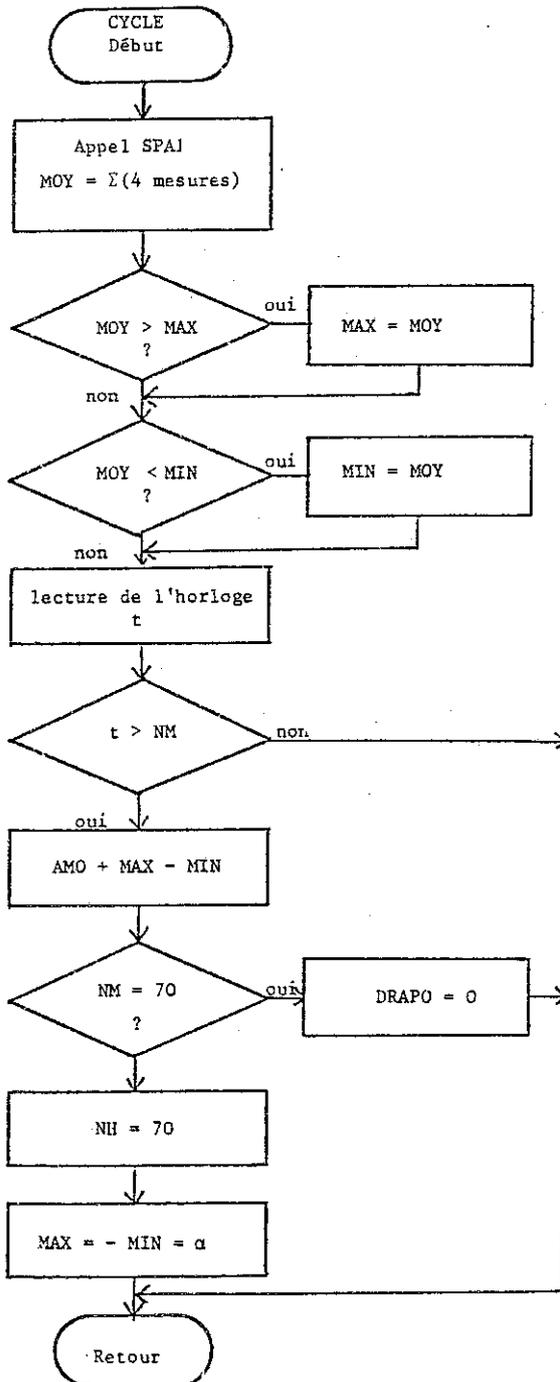


Figure 23c



→ Au début $NM = 35$, pour détecter la 35ème seconde, $AMO = 0$ et $MAX = -MIN = \alpha$ avec α positif.

→ mesure le signal de détection.

→ teste pour repérer le maximum et le minimum.

→ lecture du temps.

→ teste la fin de la 1e ou de la 2e séquence.

→ évalue l'aimantation.

→ identification de la séquence (la 1e ou la 2e).

- si c'était la seconde, DRAPO est mis à zéro.

- sinon NM , MAX et MIN sont initialisé pour la seconde séquence.

Figure 23d

Le sous-programme CYCLE fournira les valeurs de $s(t)$ jusqu'à la 70ème seconde, où il calculera $MOY = (Max_1 - Min_1) + (Max_2 - Min_2)$ et remettra DRAPO à zéro pour indiquer que la mesure d'aimantation est terminée. Là il faudra faire appel au sous-programme mesure en position 1 sur la figure 23c pour mesurer la tension (R) de la sonde polarisée en courant positif, le courant dans la bobine de champ (IH), le courant de polarisation des sondes (IR) et l'amplitude de vibration (AP), puis inverser le courant dans les sondes, attendre un instant pour permettre le rétablissement de la tension dans la sonde et remesurer la tension sur la sonde.

II.3. COMMANDE DE CHAMP MAGNETIQUE

II.3.1. Mode d'utilisation de la carte de balayage de tension.

La carte qui sert pour la commande du champ est reliée à l'Apple II à travers la carte série qui est branchée sur le septième connecteur de celui-ci. Elle occupe la 3ème sortie série, reliée à l'entrée de décomptage et la 4ème sortie série reliée à l'entrée de comptage de la carte de balayage de tension. Les adresses correspondantes sont \$COF4 et \$COF5 pour décrémenter et \$COF6, \$COF7 pour incrémenter la tension. Une écriture en \$COF4 puis en \$COF5 génère un front montant en entrée de décomptage de la carte de balayage de tension, ce qui va décrémenter la valeur mémorisée par la carte et la tension va baisser d'un pas. Alors qu'une écriture en \$COF6 puis en \$COF7 va incrémenter cette tension d'un pas.

Toutefois, pour connaître la tension qu'on applique à l'aide de cette carte, il faut tout au début du programme remettre à zéro cette tension, et garder en mémoire sa valeur numérique ; on décrémentera ou incrémentera cette valeur en mémoire à chaque fois qu'on décrémentera ou incrémentera la tension.

La remise à zéro de la tension s'effectue par l'envoi d'une impulsion de durée $\geq 100 \mu s$ sur les deux entrées de carte simultanément. Il faut donc faire une écriture en \$COF4 et en \$COF6 pour envoyer un niveau haut, attendre un délai de $100 \mu s$ puis faire une écriture en \$COF5 et \$COF7 pour remettre les deux entrées de la carte de balayage à un niveau bas.

L'alimentation de la bobine supraconductrice fournit à la bobine un courant proportionnel à une tension consigne fixée par un potentiomètre. Le rôle de la carte de balayage de tension est de fournir cette tension consigne en fonctionnement automatique.

II.3.2. Sous-programme du module de commande de champ.

a) Sous-programme de commande de la carte de balayage de tension :

Ce sous-programme nécessite l'utilisation de deux variables :

- PASTH sur un octet pour lui indiquer le nombre maximum de pas avec lequel on peut faire varier la tension ;
- CONSI sur deux octets pour mémoriser la valeur de la tension exercée par la carte de balayage.

Il possède deux entrées (UP et DOWN) selon qu'on veut faire monter ou descendre la tension. Ce sous-programme ne peut être appelé que par le sous-programme de niveau supérieur qui doit contrôler la commande de champ magnétique. Son ordinogramme est représenté en figure 24, au début les registres indexés X et Y contiennent la différence entre la tension désirée et la tension déjà établie.

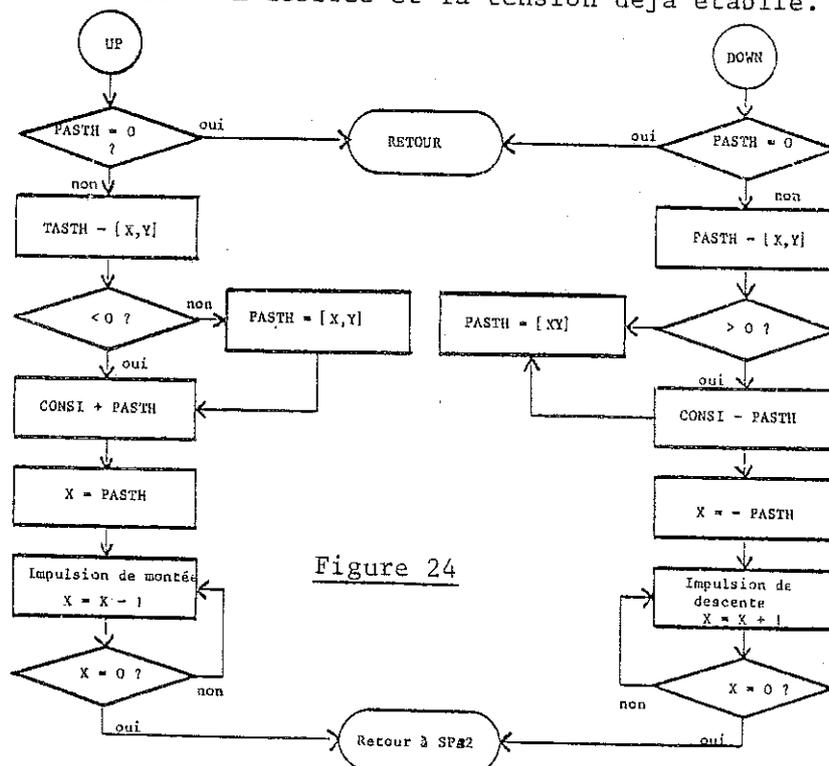
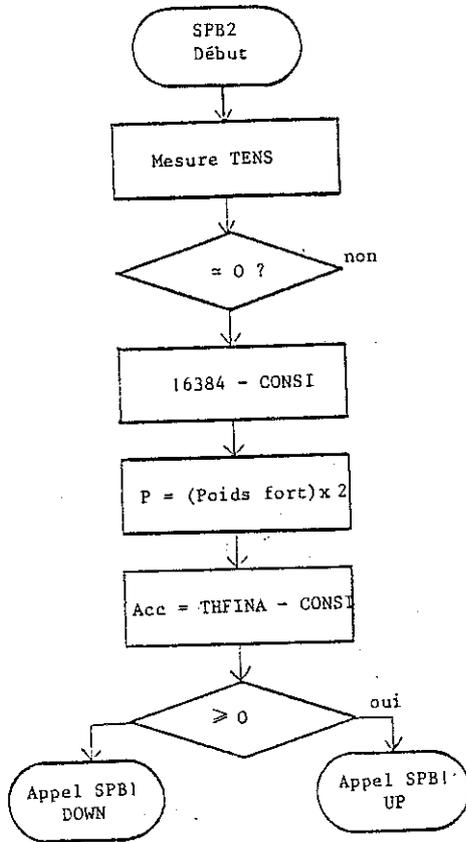


Figure 24

L'ordinogramme de ce sous-programme est donné en figure 25.

Il utilise les variables :



PASTH : un octet ; nombre d'impulsions calculé.

CONSI : 2 octets ; consigne de courant déjà envoyée.

THFINA : 2 octets ; valeur finale de consigne désirée.

TENS : 2 octets ; tension mesurée aux bornes de la bobine de champ.

Le sous-programme SPB2 mesure la tension bobine. Dès que cette tension est proche de zéro il calcule le nombre de pas PASTH, teste s'il faut faire une montée ou une descente de champ et appel SPA1 en montée ou en descente de champ.

b) Sous-programme d'établissement du champ magnétique :

Il s'agit de faire varier la tension consigne exercée par la carte de balayage sur l'alimentation de la bobine supraconductrice, sans dépasser la vitesse maximum acceptable par la bobine supraconductrice. Cette contrainte s'exprime en première approximation par la relation, liant la tension induite maximale possible au courant circulant dans la bobine supraconductrice : $V_{\max} = 1,5 - \frac{I}{100}$ (cf. figure 4). D'autre part, nous avons constaté qu'en incrémentant la tension de consigne de P pas la tension induite aux bornes de la bobine supraconductrice peut être estimée grossièrement par la relation $V_i \leq 15 \cdot 10^{-3} P$ dans le cas où la bobine est parcourue par un courant I compris entre 0 et 125 A.

En estimant largement la tension induite par $V_i = 15 \cdot 10^{-3} P$ et comme cette tension doit être inférieure à V_{\max} , nous obtenons la relation

$$P \leq 100 - \frac{I}{1,5}$$

qui vérifie largement le critère de la contrainte.

Une première méthode de variation du champ consiste donc à calculer un nombre de pas P , tout en sachant que la correspondance entre la tension consigne et le courant circulant dans la bobine est fournie par

$$I = \frac{30,7}{4000} \times \text{CONSI} \quad \text{où CONSI est la valeur de la consigne.}$$

$$P = 100 - \text{CONSI}/195,4 = (19\ 540 - \text{CONSI})/195,4$$

Mais une fois qu'on a envoyé à la carte de tension un paquet de P impulsions, pour faire varier le courant dans la bobine de champ, il faut attendre que la tension induite revienne à une valeur proche de zéro pour faire varier à nouveau le courant.

La seconde méthode consiste à calculer d'abord V_{\max} , la tension maximum acceptable par la bobine, ensuite mesurer la tension aux bornes de la bobine, puis calculer le nombre d'impulsions P de telle manière que la tension induite ajoutée à la tension aux bornes de la bobine ne dépasse par V_{\max} ; c'est-à-dire

$$P = (V_{\max} - V_{\text{bobine}}) / 15 \cdot 10^{-3}$$

Toutefois il faudrait attendre un instant après la variation de courant, avant de mesurer la tension de bobine pour laisser à celle-ci le temps de s'établir correctement. Cette méthode permet de faire varier le champ plus rapidement que la première méthode.

Nous avons utilisé la première méthode pour l'écriture du programme en envisageant à l'avenir de la remplacer par la seconde méthode. En réalité, on calcule un nombre de pas avec la formule :

$$P = (16\ 384 - \text{CONSI}) \times \frac{2}{256}$$

qui est encore plus facile à programmer car la multiplication par 2 en binaire se ramène à un décalage à gauche et la division par 256 consiste

à prendre uniquement l'octet de poids fort. Bien entendu, P est calculé par défaut en éliminant les décimales.

II.4. ASSERVISSEMENT EN TEMPERATURE

II.4.1. Thermomètre capacitif.

Les thermomètres capacitifs du type CT SRTiO₃ proposés par LAKE SHORE sont insensibles au champ magnétique ⁽⁴⁾ $\left(\frac{\Delta T}{T} \leq 0,05 \%$ pour $T \leq 50$ K). Parmi leurs inconvénients, on note qu'ils sont sensibles aux cyclages thermiques ; c'est-à-dire qu'après chauffage jusqu'à la température de l'azote où on observe un changement de pente et refroidissement à 4,2 K. Entre deux cyclages thermiques, la reproductibilité n'est pas meilleure que 0,2 à 0,4 K et un décalage de $\frac{dc}{dt}$ de 2 % peut aussi être observé. Ils ne peuvent donc servir que pour la stabilisation de la température.

Nous avons d'autre part étalonné deux capacités du commerce au SRTiO₃ (2,2 nF et 20 nF à 300 K). Nous avons constaté que le changement de pente se produit aux alentours de 270 K, ce qui nous permet déjà de travailler de 4,2 K à 260 K sans changement de pente, et sans hysteresis ; dans la mesure où on ne franchit pas la zone de transition on évite les cyclages thermiques. La sensibilité est de 18 pF/K pour 2,2 nF et 240 pF/K pour 20 nF. Ces deux capacités peuvent donc remplir les mêmes fonctions que les premières pour un prix 1000 fois plus faible.

A partir de l'étalonnage de la capacité de 2,2 nF à 300 K, nous avons déterminé une fonction par interpolation par la méthode des moindres carrés, ^(20,22) qui permet d'approcher la température en fonction de la variation de la capacité dans la gamme de 4,2 à 250 K.

$$T = \sum_{i=0}^3 A_i [\text{Log}(C)]^i \quad \Delta T \leq 0,5 \text{ K}$$

La capacité est alimentée par le système BT 303 du régulateur analogique (figure 8), sur lequel nous affichons une consigne nulle pour obtenir en sa sortie la mesure de la capacité.

II.4.2. Sous-programme du module de commande de température.

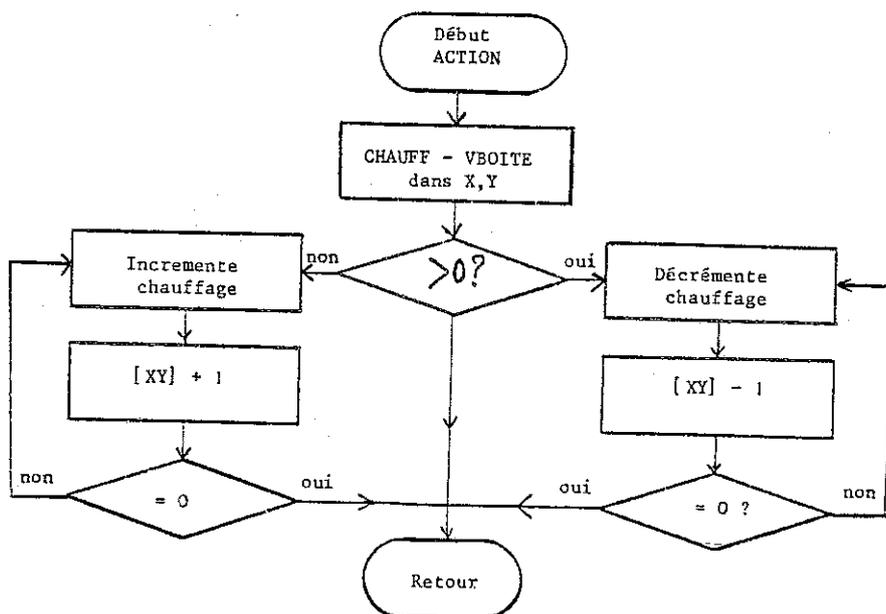
a) Sous-programme de commande de balayage du chauffage :

Cette seconde carte est identique à celle utilisée pour la commande du champ magnétique. Elle est connectée à l'Apple II à travers la même carte interface série dont elle occupe les sorties 8 pour le comptage et 7 pour le décomptage des impulsions. Les adresses qui lui sont réservées sont \$ COFC, \$ COFD et \$ COFE, \$ COFF (voir I.2.1.b). Cette carte sert à laimer la résistance de chauffage pour élever la température du four à une valeur désirée. La puissance maximale fournie par cette carte est insuffisante pour chauffer jusqu'à la température de 300 K. Alors nous utilisons l'étage de puissance du régulateur analogique que nous avons déconnecté des étages précédant qui établissent la correction Proportionnel Intégrale Dérivée.

Le sous-programme d'établissement du chauffage utilise deux variables sur deux octets chacune :

- CHAUFF = valeur du chauffage à établir ;
- VBOITE = valeur du chauffage déjà établie par la carte.

Il calcule la différence entre CHAUFF et VBOITE qu'il met dans les registres d'index X et Y puis il teste s'il faut incrémenter ou décrémente le chauffage. L'ordinogramme de ce sous-programme appelé "ACTION" est donné en figure 26.



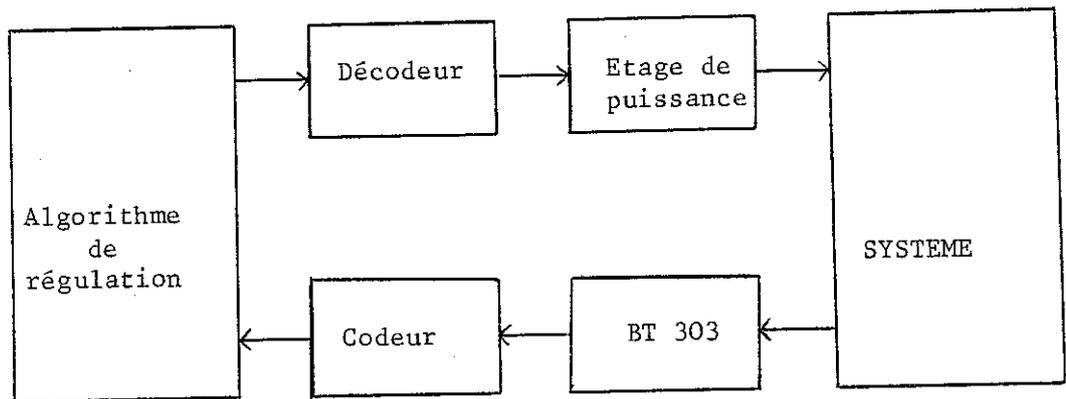


Schéma de principe de la régulation numérique.

b) Sous-programme de régulation de la température :

Le chauffage fourni par le régulateur analogique est déterminé selon la formule d'un correcteur P.I.D. classique : (24)

$$CH = P + \int_0^T \varepsilon dt + D \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (1)$$

où $\varepsilon(t)$ = écart température-consigne ;

CH = puissance de chauffage et

P, I et D = sont respectivement les coefficients du proportionnel, dérivé et de l'intégrale du correcteur.

Le calcul du chauffage par le microordinateur si l'on échantillonne à la période τ devient (25)

$$CH = P \times \varepsilon(N\tau) + I \sum_{n=0}^N \varepsilon(n\tau) \times \tau + D \frac{\varepsilon(N\tau) - \varepsilon((N-1)\tau)}{\tau} \quad (2)$$

Le sous-programme de régulation de température doit être exécuté toutes les τ secondes pour assurer la stabilisation de la température. Les coefficients P, I, D et τ doivent être ajustés expérimentalement. La

détermination des coefficients P, I et D s'effectue de la même façon que pour le régulateur analogique tandis que τ doit être petit devant le temps de réponse du système et il ne doit pas être trop petit pour laisser au calculateur du temps libre pour l'exécution des autres tâches.

Le temps de réponse du système est de l'ordre de 100 secondes et une action de régulation durant 0,26 en moyenne toutes les deux secondes ne présente pas d'inconvénients quant à l'exécution des autres tâches du moment qu'elle n'occupe le calculateur que pendant le 1/10 du temps.

Ce sous-programme de niveau 2 doit donc mesurer la valeur de la capacité, calculer la température lui correspondant, évaluer l'écart température-consigne et enfin calculer la puissance de chauffage nécessaire avant de faire appel au sous-programme de niveau 1 qui établira le chauffage. Nous l'avons subdivisé en trois sous-programmes :

MESURT = mesure la capacitance de la sonde 3
 TRANT = calcule la température à partir de $C \rightarrow T = \sum_{i=0}^3 A_i (\text{Log} C)^i$ (3)
 REGUL = calcule le chauffage nécessaire. n=0

Ce sous-programme est écrit entièrement en langage machine de façon que sa durée d'exécution soit la plus courte possible. Son exécution dure en moyenne 0,2 seconde.

Le sous-programme MESURT commande directement la carte d'entrée analogique Techniphone, afin d'obtenir la mesure de la capacité directement. Car si on avait utilisé le sous-programme de commande de la carte d'entrée analogique "SPA1", il nous faudrait environ 60 micro-seconde pour initialiser et restaurer les variables indiquant la voie, le mot de commande et le nombre de mesures. D'autre part, il dure plus longtemps car il tient compte du signe de la valeur à mesurer, ce dont on n'a pas besoin car le signal est toujours > 0 .

Le sous-programme MESURT, comme le montre son ordiogramme en figure 27, écrit le mot de commande à l'adresse correspondant à la tension de mesure de la capacité, après avoir initialisé les registres mémoires où il mémoriserà la somme des quatre mesures de la capacité. Puis il exécute 4 fois la boucle qui consiste à attendre la fin de la mesure, lire la mesure et l'additionner au contenu des registres mémoires.

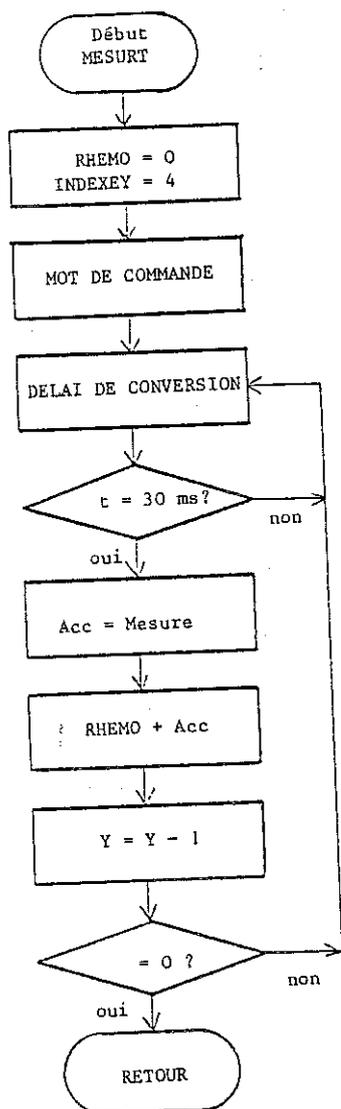


Figure 27

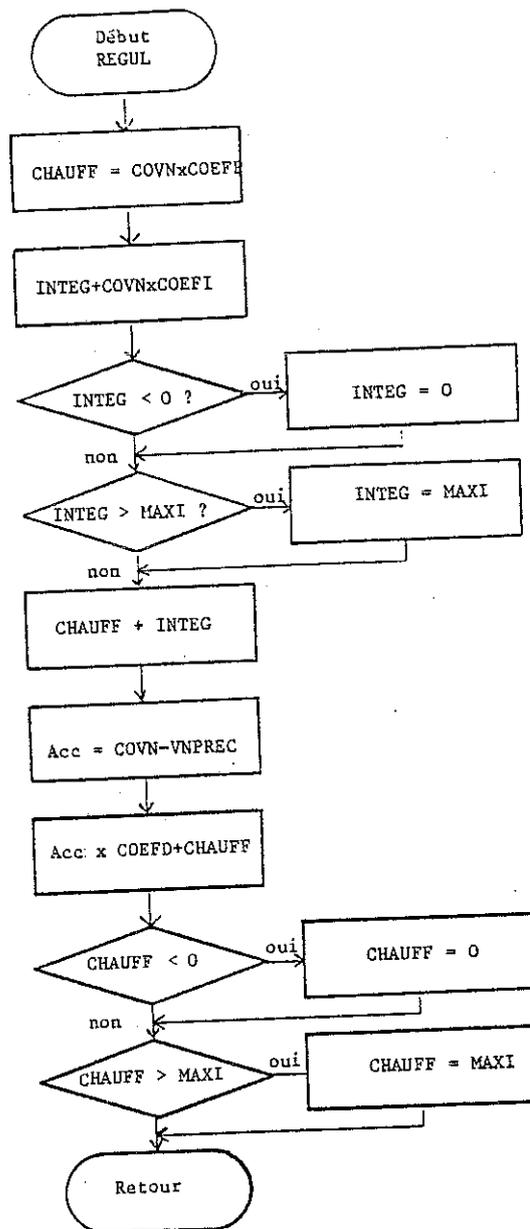


Figure 28

Après avoir mesuré le signal fourni par le thermomètre, il nous faut déterminer la capacitance de la sonde puis à partir de celle-ci calculer la température à l'aide de la formule donnée par le calcul d'interpolation. C'est le rôle du sous-programme "TRANT" (figures 29). Pour le calcul de la température, nous utilisons les sous-routines en virgule flottante de l'Apple II (Log, Multiplication, Division,...)(14). La valeur mesurée est couverte en format flottant sur cinq octets puis divisé par une constante de normalisation puis on calcule $T = (((A_3 \times \text{Log } C) + A_2) \text{Log } C + A_1 \times \text{Log } C) + A_0$. Ensuite on prend la valeur entière de $100 \times T$, et on évalue l'écart température-consigne pour le calcul du chauffage. On prend $100 \times T$ pour réguler à 0,01 K près, on pourrait réguler mieux qu'au milliKelvin près ; pour cela il faudrait utiliser un thermomètre plus sensible que la capacité 2,2 nF.

La formule (2) du paragraphe II.4.2.b devient si on remplace dans le terme Intégral $I \times \tau$ par I et dans le terme dérivé D/τ par D :

$$CH = P \times \varepsilon(N\tau) + I \times \sum_{n=0}^N \varepsilon(n\tau) + D \times (\varepsilon(N\tau) - \varepsilon(N-1))$$

Ceci nous permet de gagner en temps de calculs car nous avons une division et une multiplication de moins à effectuer, néanmoins il faut pour cela effectuer une action de régulation toutes les τ secondes, avec τ constant.

Le sous-programme nommé REGUL calcule le chauffage à partir de l'écart température consigne selon la formule ci-dessus. Les calculs sont effectués sur 16 bits permettant ainsi une résolution pour le chauffage de $\frac{1}{65535}$. Pour ces calculs nous avons écrit un sous-programme de multiplication de deux nombres entiers sur 16 bits chacun dont seul le multiplicande peut être négatif. La valeur CH calculée est la puissance de chauffage, la tension à appliquer à la résistance de chauffage est $V = R \sqrt{CH}$. A l'approche de la stabilité en température $\varepsilon(N\tau)$ tend vers zéro, alors V tend vers.

$$R \times \sqrt{I \times \sum_{n=0}^N \varepsilon(n\tau)}$$

A la stabilité, seul le terme intégral demeure. On voit que si on applique directement comme une tension la valeur calculée pour CH,

Les coefficients d'interpolation sont mis en mémoire dans l'ordre A_3, A_2, A_1, A_0 , sur cinq octets chacun, dans le format en virgule flottante.

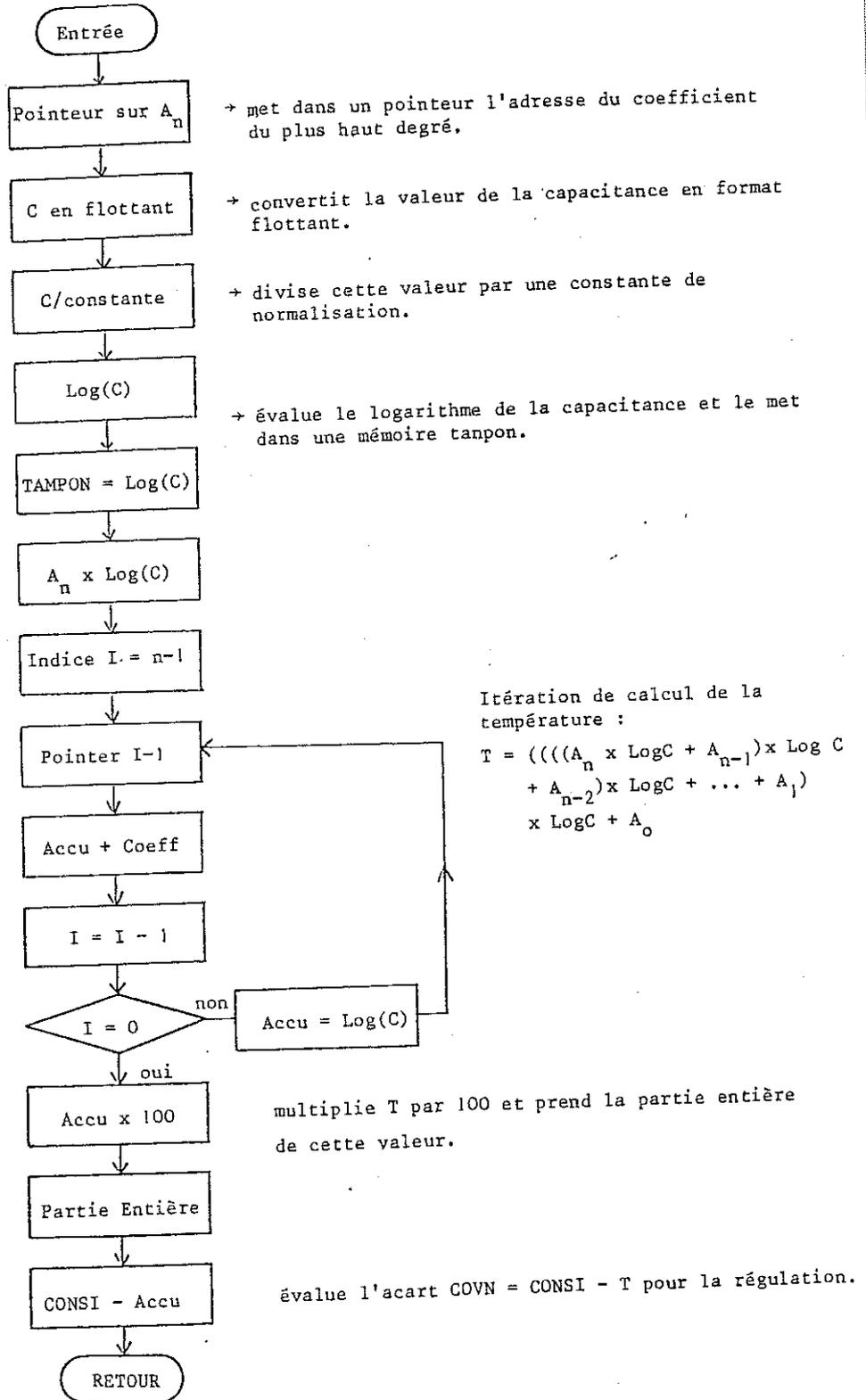


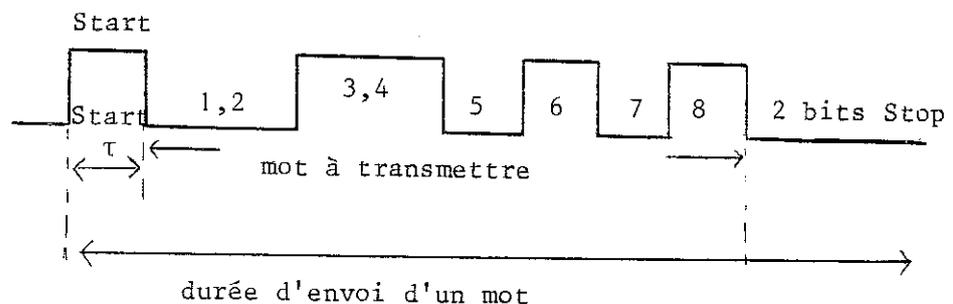
Figure 29

le système tendra à cumuler une valeur du terme intégral qui permettra de maintenir cette stabilité moyennant bien entendu des coefficients bien adaptés. Expérimentalement, nous avons pu déterminer des coefficients P, I et D restant à peu près valables dans toute la gamme de 4,2 à 250 K. Le déroulement du sous-programme REGUL est représenté par l'ordinogramme de la figure 28, l'utilité des tests sur le terme Intégral et le chauffage calculés, est d'éviter des dépassements trop importants ou de tenter d'établir un chauffage négatif. La valeur cumulée pour le terme intégral est mémorisée par la variable "INTEG" qui est remise à jour à chaque action de régulation et la valeur de l'écart précédent est mémorisée par "VNPREC".

II.5. COMMANDE D'EQUILIBRAGE DU SIGNAL

II.5.1. Mode d'utilisation du multiplieur programmable.

Le multiplieur programmable est utilisé pour éliminer la composante, due au gradient de champ, dans le signal de détection (voir I.1.3.c). Cette composante varie avec le champ et peut être de valeur importante, ce qui explique l'emploi du multiplieur pour l'équilibrage du signal. Le multiplieur reçoit en entrée le signal de détection $S(t)$, la tension de référence $VREF$, de la détection synchrone et la consigne numérique α du calculateur. Il injecte à l'entrée de la détection synchrone le signal $S(t) + \alpha VREF$. Il est relié à l'Apple II par l'intermédiaire de la carte série dont il occupe la première sortie. La transmission de la commande numérique doit respecter la norme standard de Bus RS 232. (16)



La durée d'un bit τ dépend de la vitesse de transfert sélectionnée. Le multiplieur programmable a été câblé pour travailler à sa vitesse maximum (9600 Bauds), sans vérification de parité sur les bits⁽¹⁶⁾. Pour travailler à la vitesse de 9600 Bauds, la durée d'un bit doit être $\tau = 104 \mu\text{s}$. On sait par ailleurs que l'horloge interne de l'Apple II est de fréquence 1,0284842 MHz⁽¹⁴⁾; un cycle horloge dure 0,979926 μs . Donc 106 cycles horloge doivent séparer deux bits consécutifs en mode de transmission série RS 232 à 9600 Bauds.⁽¹⁵⁾

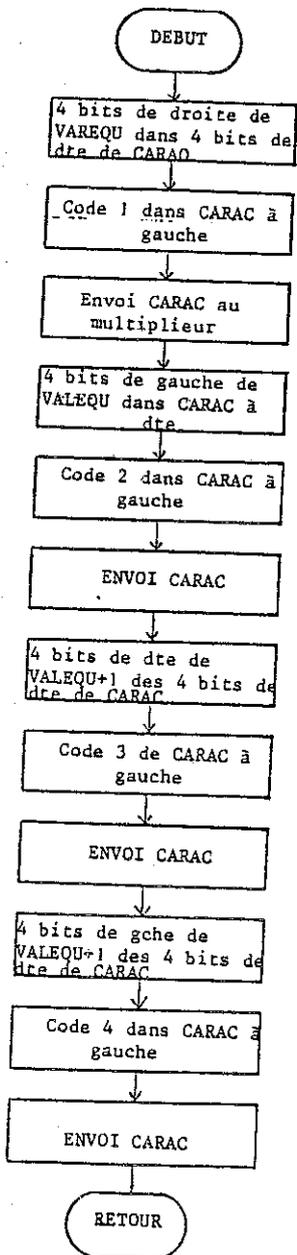
Donc pour envoyer une consigne numérique au multiplieur programmable, on devra exécuter quatre fois la séquence schématisée ci-dessus, pour envoyer les quatre mots de commande représentant la consigne numérique sous un format compatible avec le multiplieur programmable (voir paragraphe I.2.2.b).

II.5.2. Sous-programme du module de commande d'équilibrage.

a) Sous-programme de commande du multiplieur programmable :

Ce sous-programme a pour rôle d'écrire la consigne numérique sous forme de 4 mots de huit bits, dans un format compatible avec le multiplieur programmable, puis de transmettre ces mots de commande dans la norme RS 232. Il doit envoyer d'abord un bit de début de transmission, puis les 2 bits du mot de commande et enfin les deux bits de fin de transmission, tout en respectant la durée de chaque bit. Pendant l'envoi d'un mot de commande, les interruptions doivent être interdites car elles perturberaient sa transmission. L'écriture de ce sous-programme nécessite la connaissance de la durée exacte de chaque instruction du microprocesseur car un léger décalage de temps entraînerait une erreur sur la transmission du mot.⁽¹⁵⁾ Pour cette raison, nous avons préféré présenter en figure 30 une partie du sous-programme munie de commentaires et l'ordinogramme de la mise de la consigne en forme compatible avec le multiplieur. De plus son implantation en mémoire de programme ne doit pas se situer dans une zone où il y a une frontière de page car les instructions de branchement nécessitent un cycle horloge supplémentaire s'il y a changement de page.

Figure 30 a : Sous-programme d'envoi d'un mot au multiplieur



Zone étiquette	Code opération	Operande	Durée en nombre de cycles	Commentaires
ENVOI	SEI		2	Interdictions des interruptions.
	LDY	# \$1	2	
ENCORE	LDX	# \$9	2	Y à un pour l'envoi du bit de start en adressage direct indexé. X pour 9 bits. 8 bits du mot plus un bit de start.
	STA	\$COFO,Y	5	
DLY	LDY	# \$0C	2	Envoi d'un bit. Boucle d'attente ; délai pour un bit = 106 cycles horloge. Durée de la boucle = $(2+2+3) \times 12 - 1$ (12 = \$0C en hexadécimale). L'instruction BNE dure 1 cycle de moins si le branchement n'a pas lieu. 23 cycles + $(2+2+3) \times 12 - 1 = 106$ cycles. CARAC contient le mot. Bit suivant le carry. Met le bit suivant dans l'accumulateur et effectue un ET logique pour éliminer les autres bits de l'accumulateur. Transferts dans Y pour avoir l'adresse générant le niveau correspondant. X - 1 pour compter les bits envoyés. Est le dernier bit, sinon branchement à ENCORE pour le bit suivant. Aucune opération : valeur 2 cycles pour corriger la durée du dernier bit. Envoi niveau bas pour les bits de stop. Fin de transmission. Délai pour deux bits de stop (40 = \$ 24 en hexadécimale). $2+(2+3) \times 41 - 1 + 2 + 6 = 214 > 212$ cycles. BNE dure un cycle de moins si le branchement n'a pas lieu. Autorisation des interruptions. Retour.
	DEY		2	
	NOP		2	
	BNE	DLY	3 ou 2	
	LSR	CARAC	5	
	ROL		2	
	AND	# \$01	2	
	TAY		2	
	DEX		2	
	BNE	ENCORE	3 ou 2	
NOP		2		
STA	\$COFO	4		
LDY	# \$24	2		
DEY		2		
BNE	* - 1	3 ou 2		
CLI		2		
RTS		6		

Figure 30

Sous-programme SPD1

La consigne numérique sur 16 bits est mémorisée sous forme de deux mots mémoire de 8 bits appelés VALEQU pour les 8 bits de poids faible et VALEQU + 1 pour les 8 bits de poids fort. L'ordinogramme de la figure 30b représente la méthode de mise en forme compatible avec le multiplieur, de la consigne numérique.

b) Sous-programme d'équilibrage du signal :

Le sous-programme recherche la consigne numérique nécessaire à l'équilibrage du signal. Pour cela il procède comme il suit :

1. il mesure le signal de détection ;
2. teste la valeur du signal ;
3. si la valeur du signal est inférieur à un seuil(256) ou est proche de l'équilibre alors retour au programme appelant ;
4. si la valeur est > seuil et négative, augmenter la consigne numérique de valeur du signal x 1/32 ;
5. si la valeur est > seuil et positive, diminuer la consigne numérique de valeur du signal x 1/32 ;
6. envoyer la nouvelle consigne en appelant SPD1, puis retour en 1.

Il répète le procédé jusqu'à obtenir pour le signal une valeur proche de l'équilibre. Il est possible de prévoir, à partir de la mesure effectuée sur le signal, la nouvelle valeur qui entraînera l'équilibre, mais pour cela il faudrait tenir compte du gain des amplificateurs de détection synchrone. Et cette méthode tomberait en défaillance dès que le signal arrive à saturer les amplificateurs de détection synchrone ; le signal mesuré ne sera plus proportionnel au signal réel.

CHAPITRE III

GESTION AUTOMATIQUE DU PROCESSUS

III.1. PROGRAMME PRINCIPAL DE GESTION

III.1.1. Critères de coordination des tâches.

Maintenant que le logiciel d'exploitation de tous les périphériques, mis en place, a été développé dans le chapitre II, il ne nous reste plus qu'à écrire le programme principal de gestion du processus qui aura pour rôle la coordination⁽¹⁷⁻¹⁹⁾ de toutes les tâches. Le principe de cette coordination réside dans le fait que pour l'acquisition d'une mesure d'aimantation, il faut au préalable exercer une commande de champ et/ou une commande de température puis vérifier selon un critère préétabli que le champ est stable et que la température est stable. Une fois ces conditions remplies, la mesure doit commencer après l'émission d'un signal de synchronisation.

. La commande de température :

La régulation de température, telle qu'elle a été définie, est exécutée au rythme d'une action toutes les 2 secondes, ce qui est suffisant car le système répond à un échelon avec un retard d'environ 5 secondes. On n'aura donc pas grand intérêt à réguler avec une plus grande fréquence. Le temps de réponse à 5 % du système en température est d'environ 1 minute dans la gamme de 4,2 à 300 K. Donc en régulant avec une telle fréquence la condition de Shannon se trouve respectée (26 p.31).

Critère de stabilité en température : on considère donc que la température est stable au bout d'un temps supérieur à une minute après la commande, ce qui correspond à environ une période de l'extracteur qui dure environ une minute et demie.

La commande de température s'effectue simplement par la mise de la nouvelle consigne de température dans les deux mots mémoires nommés CONSI et CONSI+1 qui lui sont réservés dans le sous-programme de commande de température (voir II.4.2.b et figure 28). L'appel à ce sous-programme peut se faire en interruption générée par la carte Horloge toutes les 2 secondes.

. La commande de champ magnétique :

Pour la commande de champ magnétique, le sous-programme écrit en II.3.2.b est appelé par le programme principal. Il se charge d'établir le champ indiqué par la valeur numérique mise dans la variable THFINA, et d'attendre la stabilité du courant dans la bobine (tension bobine < 50 mV). Le champ créé est réellement stable quelques dizaines de secondes après la stabilisation du courant.

Par conséquent, là aussi le critère de stabilité du champ se ramène à l'attente d'un cycle d'extraction, soit une période de l'extracteur (une minute et demie environ).

. La commande d'équilibrage du signal :

Elle est exécutée de préférence une fois que le champ et la température sont stables, et durant l'instant où l'extracteur se trouve arrêté en position basse. Pour cela le programme principal fait appel au sous-programme d'équilibrage (II.5.2.b).

. La synchronisation du programme :

L'appel du sous-programme de régulation de température en interruptions aurait nécessité la sauvegarde de toutes les mémoires tampons, et de tous les pointeurs du microordinateur avant l'exécution du sous-programme et leur restauration après celle-ci. Comme de plus pour le calcul de la température à partir de la capacitance nous utilisons les sous-programmes propres au calculateur (Log, produit, etc.), le nombre de registres à sauvegarder et à remettre en état devient vite important et demanderait du temps et beaucoup de place mémoire. Aussi nous avons préféré câbler la carte horloge de telle façon qu'elle nous envoie des signaux d'interruption sur le port A du P.I.A., toutes les secondes. Puis nous avons écrit un sous-programme d'interruption qui se contente d'ajuster l'heure sur 5 octets (MOIS, JOUR, HEURE, MIN, SEC) et de positionner un registre drapeau ("FLGREG") toutes les 2s indiquant ainsi qu'une action de régulation est nécessaire depuis l'instant où ce drapeau est positionné. Pour ce sous-programme de prise en compte des interruptions, nous ne devons sauvegarder et remettre en état que le contenu de l'accumulateur et des registres d'index X et Y.

Il ne nous reste donc plus qu'à tester au moins toutes les secondes le registre "FLGREG", et à faire une action de régulation si ce drapeau est levé et de le remettre à zéro. On y arrive aisément en rajoutant ce test au début du sous-programme "SYNCHR" et au début du sous-programme "CYCLE", car l'un des deux est exécuté au moins une fois par seconde (voir figure 22).

Le sous-programme "SYNCHRO" (figure 23b) a pour rôle de détecter le départ de l'extracteur à partir de la position basse et de remettre à zéro le registre horloge (Port B du PIA), pour fournir une indication sur la position instantanée de l'extracteur. Il est appelé par le programme principal avant le début de l'acquisition du signal de détection.

III.1.2. Structure du programme principal.

a) Programme d'édition de fichier :

Pour l'automatisation du système, nous avons besoin de réserver une zone mémoire du calculateur qui doit servir pour la sauvegarde des commandes à exécuter, des paramètres, des constantes et aussi des données mesurées et traitées. Cette zone mémoire doit être gérée de façon claire et précise pour nous éviter la confusion des données, de plus elle doit être accessible au programme principal d'automatisation et aussi directement à l'utilisateur pour lui permettre de modifier facilement des commandes ou des paramètres.

Cette gestion du fichier mémoire est assurée par un programme éditeur écrit entièrement en langage assembleur par Mr Alain BENOIT. C'est un programme dont l'utilisation directement ou avec d'autres programmes est assez simple, de plus il facilite la transmission des données entre les programmes (28).

Les fichiers que nous utilisons se divisent en deux parties. La première partie du fichier contient les commandes qui seront transmises au programme principal et la seconde partie contiendra les données acquises qui seront rajoutées au fichier par celui-ci.

Figure 31

Exemple de fichier de commandes et de données

```

P
-MANIP AUTOMATIQUE PILOTEE PAR APPLE ↔
N ERH264A MANIP 264A
L'APPLE ↔ EXECUTE LES ORDRES SUIVANTS
1XH=6.22AA TMAX=100 TMIN=3K PAS=1K
2XH=17.82A TMAX=100 TMIN=3K PAS=1K
3XH=30.4A TMAX=100 TMIN=3K PAS=1K
4XH=42.A TMAX=100 TMIN=3K PAS=3K
5XH=0,0,1,0,-.1,ARRET-----
FICHER DONNEES AQUISES -----
AMPL.TEMP K.AIM MV..CHAMPA.ITHERM.HEURE
-----

```

```

507 ,4.15 ,1912.968,41.28 ,99.84 ,15H33
507 ,4.99 ,1922.337,41.51 ,99.77 ,15H46
505 ,5.79 ,1926.361,41.87 ,99.83 ,15H50
504 ,6.77 ,1926.339,41.59 ,99.81 ,15H53
506 ,7.42 ,1918.478,41.39 ,99.82 ,15H56
506 ,8.29 ,1917.737,41.16 ,99.83 ,16H0
507 ,9.04 ,1913.338,41.63 ,99.85 ,16H3
503 ,9.85 ,1927.808,40.94 ,99.85 ,16H7
501 ,10.54 ,1934.88 ,41.21 ,99.81 ,16H10
502 ,11.38 ,1929.158,42.52 ,99.75 ,16H13
501 ,12.21 ,1930.638,42.07 ,99.72 ,16H17
500 ,12.91 ,1930.375,41.41 ,99.78 ,16H20
501 ,13.74 ,1921.407,40.97 ,99.71 ,16H24
498 ,14.57 ,1929.216,42.61 ,99.72 ,16H27
502 ,15.37 ,1916.334,41.61 ,99.74 ,16H31
502 ,16.19 ,1915.463,41.51 ,99.73 ,16H34
505 ,17.09 ,1900.742,40.59 ,99.74 ,16H37
502 ,18.01 ,1909.113,41.52 ,99.76 ,16H41
503 ,18.88 ,1900.969,41.51 ,99.75 ,16H44
502 ,19.82 ,1900.273,41.34 ,99.68 ,16H48
503 ,20.79 ,1890.407,41.48 ,99.67 ,16H51
501 ,21.77 ,1892.09 ,41.05 ,99.67 ,16H54
503 ,22.76 ,1876.366,41.69 ,99.69 ,16H58
502 ,23.71 ,1872.758,41.75 ,99.66 ,17H1
502 ,24.74 ,1863.919,41.3 ,99.65 ,17H5
501 ,25.79 ,1859.281,40.98 ,99.65 ,17H8
502 ,27.11 ,1841.384,41.78 ,99.68 ,17H11
503 ,28.17 ,1824.801,41.12 ,99.65 ,17H15
502 ,29.23 ,1815.114,41.31 ,99.62 ,17H18
503 ,30.42 ,1799.701,42 ,99.63 ,17H32
503 ,31.56 ,1787.027,41.21 ,99.91 ,17H39
501 ,32.53 ,1779.69 ,42.06 ,99.9 ,17H42
503 ,33.58 ,1755.964,41.83 ,99.89 ,17H46
505 ,34.66 ,1731.806,41.48 ,99.84 ,17H49
504 ,35.8 ,1715.153,41.73 ,99.83 ,17H52
503 ,36.94 ,1698.682,42.17 ,99.82 ,17H56
502 ,38.06 ,1679.033,41 ,99.85 ,17H59
504 ,39.25 ,1646.453,41.66 ,99.83 ,18H3
503 ,40.4 ,1625.372,41.68 ,99.82 ,18H6
504 ,41.61 ,1593.998,41.41 ,99.79 ,18H10

```

Pour les commandes chaque ligne du fichier contient les renseignements concernant une courbe à exécuter. Ces lignes sont numérotées dans l'ordre d'exécution des courbes. Les informations qu'elles contiennent sont classées dans l'ordre suivant :

1 caractère : indiquant le numéro de la courbe ;

1 caractère : indiquant le type de courbe ; température ou champ constant (respectivement M ou X) ;

environ

8 caractères: valeur de la variable à maintenir constante (T si courbe "M" ou H si courbe "X) ;

environ

8 caractères: borne supérieure de la variable de la courbe (H si courbe "M" ou T si courbe "X) ;

environ

8 caractères: borne inférieure de la variable de la courbe (H si courbe "M" ou T si courbe "X) ;

environ

8 caractères: pas avec lequel on incrémente ou décrémente (H si courbe "M" ou T si courbe "X).

Pour les données le programme principal écrira en fin du fichier, chaque fois qu'il a acquis un point de la courbe , les données sur une ligne, séparées par une virgule dans l'ordre suivant :
AMPLITUDE, TEMPERATURE, AIMANTATION, COURANT (CHAMP), COURANT (SONDE), HEURE MINUTE.

Pour l'accès ou la modification d'un fichier, en mode direct ou par programme, voir la partie III.4. où sont présentées les commandes de l'éditeur.

b) Acquisition et présentation des données :

Le déroulement de la partie acquisition des données du programme principal se résume comme suit :

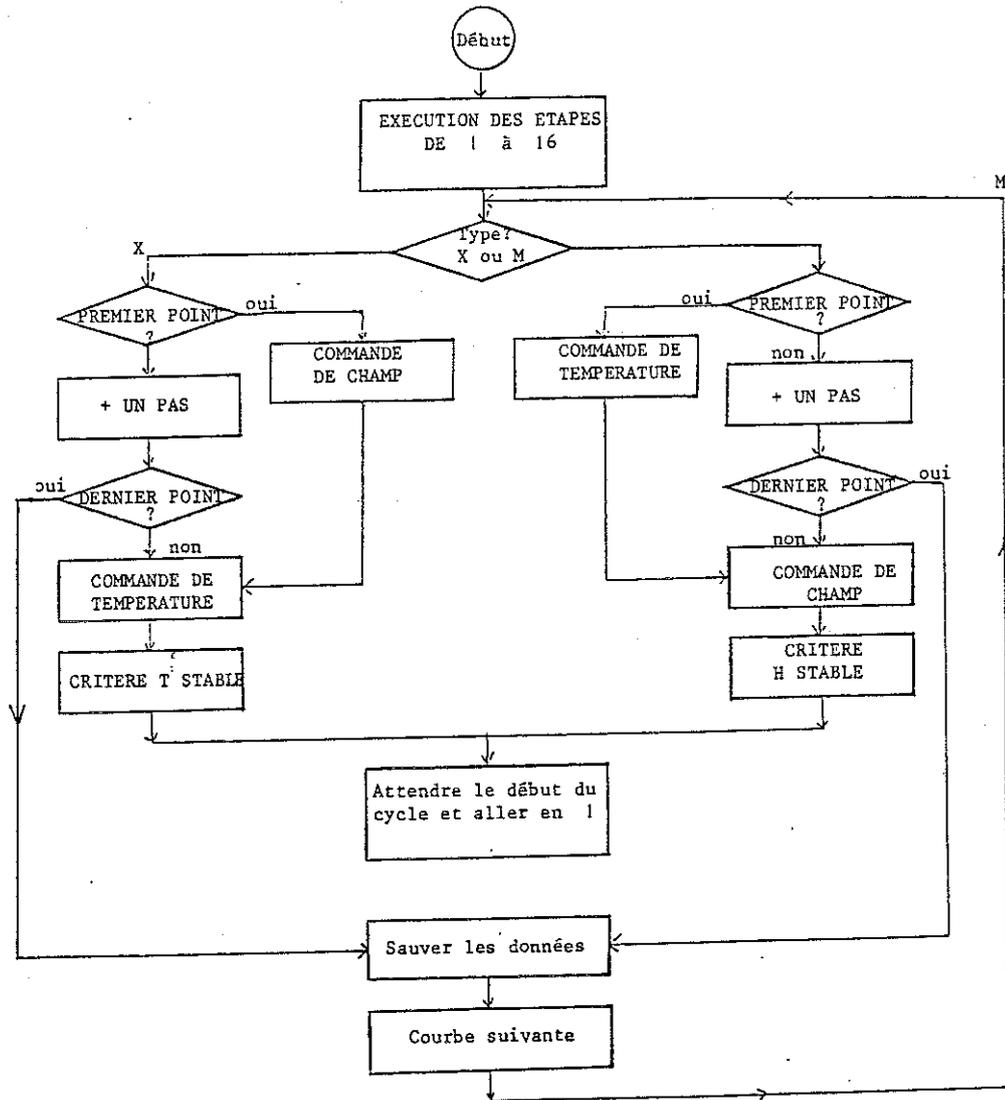


Figure 32 : Organigramme du Programme Principal.

1. Initialiser la page 1 du graphique haute résolution et l'horloge ;
2. Mettre l'index I de la boucle d'acquisition à zéro ; et positionner la carte de conversion sur le signal à détecter ;
3. Mesurer 1 point $S = s(t)$ par appel au sous-programme CYCLE ;
4. Adapter le gain pour tracer le point (S,I) en page 1 du graphique et le tracer ;
5. Tester s'il y a eu demande au clavier (si une touche a été enfoncée aller en 8) ;
6. Tester l'octet "DRAPO" si non nul le cycle n'est pas encore terminé, reprendre en 3 ;
7. Si "DRAPO" est nul, le cycle est terminé, aller en 9 ;
8. Prise en compte de la touche ; si elle correspond à une commande définir dans le programme exécuter la commande et retourner en 6, sinon retourner en 6 ;
9. Si c'était un cycle d'attente de stabilité, attendre le début du cycle et reprendre en 1 ;
10. Sinon faire appel au sous-programme "MESURE" en son entrée 1 pour mesurer :
 - . le courant dans la bobine de champ
 - . la résistance de la sonde (R_c ou R_{pt})
 - . le courant d'alimentation de la sonde
 - . l'amplitude de vibration ;
11. Inverser le courant dans les sondes et attendre l'établissement de ce courant ;
12. Faire appel au sous-programme MESURE en 2 , pour la mesure de la résistance en courant inverse afin d'éliminer les FEM parasites ;
R est la différence des 2 mesures divisée par le courant ;
13. Déterminer la température depuis R à l'aide de la fonction d'interpolation de R platine ou de R carbone selon la gamme de température ($T < 30 K$ ou $T \geq 30 K$) ;
14. Calcul de l'aimantation en microvolt ;
15. Présentation des mesures acquises sur l'écran, l'imprimante et les rajouter au fichier ;
16. Identification du type de courbe : à température constante ou à champ constant et selon le cas, tracer en page 2 du graphique haute résolution $M = f(H)$ ou $M = f(T)$.

T
H

Jusque-là le déroulement du programme est le même qu'il s'agisse de l'acquisition d'une courbe d'aimantation en fonction du champ ou en fonction de la température, tandis qu'en ce qui concerne les commandes, il est nécessaire de faire la distinction entre les deux types de courbes. La partie du programme qui gère les commandes est schématisée par la figure 32 qui représente le principe du déroulement du programme principal.

Il est important de remarquer que pour l'étape 13 on mesure soit la résistance de carbone, soit la résistance de platine sur la même voie de la carte d'entrée analogique et qu'il reste à la charge de l'utilisateur de commuter sur l'une ou l'autre des résistances, selon la gamme de températures où l'on se trouve, puis de renseigner le calculateur sur cette commutation. Ne disposant pas de voie libre sur la carte d'entrée analogique et pour avoir une grande sensibilité sur la mesure de cette résistance, nous prévoyons l'utilisation d'un voltmètre numérique qui fournira directement, en décimal code Binaire, au microordinateur cette mesure sur 5 digits et demie.

III.2. SEQUENCE ET DEMARRAGE DU SYSTEME

III.2.1. Chargement des programmes en mémoire.

Lors de la première mise en marche du système, nous devons lire, de la mémoire de masse, toutes les parties de l'ensemble du programme d'automatisation et les implanter en mémoire vive du calculateur, exactement aux endroits qui leur sont respectivement réservés. Ainsi l'écriture d'un programme de chargement s'avère nécessaire quand le nombre de ces parties étaient important et nous évite d'avoir à nous rapprocher chaque fois de leurs endroits respectifs. Ainsi nous avons créé un fichier, exécutable par le microordinateur, contenant la liste des commandes de chargement des diverses parties du programme.

III.2.2. Initialisations pour la mise en marche.

A la première mise en marche des appareils de mesures de commandes, ceux-ci se trouvent dans un état indéterminé, une initialisation est alors nécessaire. Pour connaître leur état, il faut remettre à zéro les consignes numériques des cartes de balayage de tension pour la commande du champ et du chauffage ainsi que les variables mémorisant ces consignes. Il faut aussi initialiser les variables indiquant au programme les numéros de voie et les mots de commande correspondant à chacun des signaux mesurés par la carte d'entrée analogique digitale. Ensuite on doit fournir au programme principal le gain des amplificateurs de détection synchrone utilisé, et remettre à jour le fichier contenant les commandes que l'on désire faire exécuter au microordinateur.

III.3. NOTICE D'UTILISATION DU SYSTEME

Après avoir mis en marche tous les appareils de commande et de mesure et vérifié que l'interrupteur situé sur l'alimentation de la bobine supraconductrice se trouve sur la position "Normal", exécuter sur l'Apple II les commandes suivantes dans l'ordre indiqué :

- 1 EXEC EX*AI : pour commander le chargement de toutes les parties du programme.
- 2 L'Apple II demande à l'utilisateur :
 - a. GA ? le gain de l'amplificateur de détection synchrone
 - b. MOIS, JOUR, HEURE, MIN, SEC ? la date et l'heure
 - c. RAZ ? si la réponse est "OUI" (3 lettres) remise à zéro du courant de la bobine de champ et de l'index des points de mesures. C'est à ce moment-là seulement qu'on peut mettre l'alimentation de la bobine supraconductrice sur la position "Automatique".
- 3 Le microordinateur affiche sur l'écran après l'avoir chargé en mémoire le fichier contenant les commandes à exécuter. L'Apple II exécutera les courbes dans l'ordre croissant des numéros en tête de chaque ligne (de 0 à 9 maximum). On pourra modifier en cours d'acquisition le PAS et les bornes MAX et MIN. Le fichier de commande doit contenir une ligne commençant par "N" suivie du nom de l'échantillon. Ce nom donnera la racine du nom du fichier de données ; par exemple

"/ECHANT4" est le fichier de données de la courbe numéro 4 mesurée sur l'échantillon "ECHANT". Pour modifier le fichier de commande, voir le mode d'emploi de l'éditeur ci-dessous.

- 4 ESC Appuyer sur la touche "ESCAPE" pour quitter l'éditeur et poursuivre l'exécution du programme principal d'automatisation. Au cours du déroulement de ce dernier, l'utilisateur peut intervenir pour exécuter les commandes suivantes par l'intermédiaires du clavier :
- A : mettre le programme en attente. Il reprend l'acquisition dès qu'on appuie sur une touche quelconque.
 - T : visualiser soit le tracé de la courbe $M = f(T,H)$, soit celui du signal de détection en temps réel sans interrompre l'acquisition.
 - R : remise à zéro du chauffage et du terme intégral de la régulation de température.
 - O : pour changer la valeur du champ magnétique. Donner le courant désiré en ampères.
 - U : permet de changer le gain de la carte d'entrée analogique en cas de saturation (54, 38 ou 22, voir II.2.1.).
 - V : visualiser sur l'écran le fichier de commande sans interrompre l'acquisition.
 - E : commander le rééquilibrage du signal.
 - C : permet de changer le nombre de cycles d'attente avant la mesure et nombre de mesures sur le même point.
 - F : permet l'accès aux commandes de l'éditeur.

. Commandes de l'éditeur ⁽²⁸⁾ :

Le programme éditeur peut être appelé par un programme qui lui transmet les commandes sous forme d'une chaîne de caractères, c'est le mode indirect et on peut aussi une fois qu'on a fait appel à ce programme lui donner des ordres du clavier : c'est le mode direct. Cette chaîne de caractères doit se situer tout au début de la zone mémoire, contenant les variables du programme. Par conséquent, elle doit être la première déclarée dans le programme en langage Basic.

Pour sa réponse, l'éditeur utilise cette chaîne (pour les caractères) et le premier tableau de variables dimensionné (pour les nombres).

Les commandes directes :

ESC	= permet de quitter l'éditeur et retourner au programme appelant.
CTRLH ou ←	= déplace le curseur à gauche.
CTRLU ou →	= déplace le curseur à droite.
CTRLC	= descend le curseur d'une ligne.
CTRLR	= monte le curseur d'une ligne.
CTRLD	= supprime la ligne où est positionné le curseur.
CTRLN	= supprime tout le fichier.
CTRLX	= annule les modifications commencées sur la ligne en la remettant telle qu'elle était.
CTRLI	= insertion d'une ligne juste avant le curseur.
CTRLZ	= déroule le fichier vers le haut sur l'écran.
CTRLS	= déroule le fichier vers le bas sur l'écran.
CTRLP	= permet l'accès aux commandes indirectes D, SA, LO, AP et C.

Les commandes indirectes :

E	= entrée dans l'éditeur et accès aux commandes directes. (*)
N	= supprime tout le fichier.
P	= imprime tout le fichier sur le périphérique qui est actif.
X(TEXT)	= cherche la ligne commençant par (TEXT) X = nombre de caractères ≤ 7.
O	= positionne le curseur en première ligne du fichier.
F	= positionne le curseur en fin du fichier.
M...	= modifie la ligne où est le curseur ; met les caractères qui suivent M à la place de l'ancienne ligne.
I...	= insertion d'une ligne contenant les caractères qui suivent le I, juste avant le curseur.
DE/...	= efface sur la disquette le fichier dont le nom suit. (*)
LO/...	= charge de la disquette le fichier dont le nom suit. (*)
AP/...	= charge de la disquette le fichier dont le nom suit, à la suite du premier. (*)
SA/...	= sauve sur la disquette le fichier dont le nom suit. (*)
C	= donne le catalogue de la disquette.

Note (*) = Le programme attend une commande directe du clavier. Pour quitter le programme, utiliser la touche ESC.

Note (**) = "/" indique qu'il s'agit d'un fichier en binaire et "-" pour un fichier de texte.

III.4. AMELIORATIONS PROPOSEES

III.4.1. Addition d'un voltmètre numérique.

Comme nous l'avons signalé ci-dessus, on prévoit d'ajouter au système un voltmètre numérique pour la mesure de la résistance de la sonde de carbone. Il faut que la résistance soit mesurée avec une bonne précision pour nous permettre de déterminer la température avec précision. La tension aux bornes de la sonde de carbone varie de 100 mV à 10 mV quand la température varie de 4,2 à 300 K. Ceci justifie l'utilisation d'un voltmètre numérique à 5 digits et demie donnant des mesures avec une précision de l'ordre de 10^{-5} de la pleine échelle ; soit pour sa gamme la plus sensible (200 mV) une précision de $10^{-5} \times 200 \text{ mV} = 2 \text{ } \mu\text{V}$.

La sortie BCD du voltmètre numérique est connectée sur le Bus de l'Apple II à travers un P.I.A. (adapteur d'interface périphérique). Pour intégrer donc cet organe au système, il faut écrire un sous-programme qui aura pour rôle de programmer le PIA en entrée, lire la mesure en décimal codé binaire dès qu'elle est prête et la convertir en code binaire pour le programme d'automatisation.

Ce sous-programme se situera au niveau 1 dans la hiérarchie définie au chapitre II et il sera appelé par le sous-programme de niveau 2 du module A de la commande de mesure. Il faut donc rajouter à l'organigramme de la figure 23c l'appel à ce sous-programme dans la partie 1 et dans la partie 2 du sous-programme MESURE. Ainsi le programme principal pourra acquérir, pour chaque point de mesure, la valeur des deux résistances et il pourra déterminer, en fonction de la gamme de températures, la sonde qui donnera la mesure de la température.

III.4.2. Extraction par moteur pas à pas.

Si on remplace l'extracteur pneumatique utilisé jusqu'à présent par un système de déplacement à vis, commandée par un moteur pas à pas, on simplifierait le problème de synchronisation dans la mesure où l'on pourra connaître à tout instant la position exacte de l'échantillon.

D'autre part, on bénéficierait de l'avantage de pouvoir procéder de différentes façons pour acquérir cette mesure, du moment qu'on peut connaître la position de l'échantillon, relativement à la bobine de détection.

Une méthode possible consisterait à générer une rampe de déplacement ($Z = at$ avec $a = \text{cste}$), et faire l'acquisition du signal en temps réel. L'estimation de la valeur de l'aimantation serait alors obtenue à partir des mesures effectuées et de la forme analytique du signal, par calcul de moyennes ou pour la méthode des moindres carrés ($S_{\text{calculé}} = F(Z, m)$; $S_{\text{mesuré}}$).

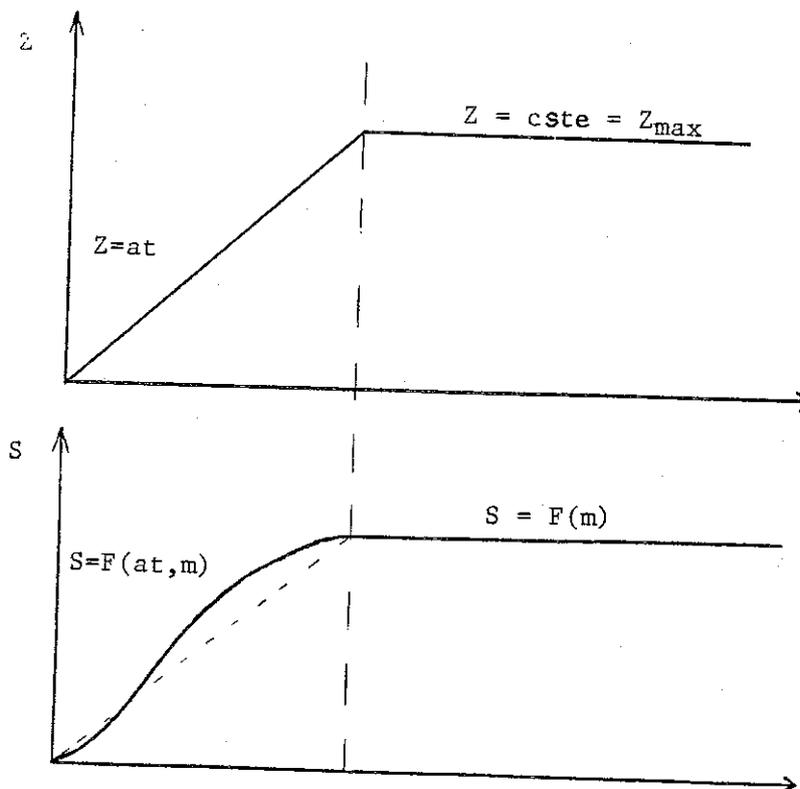


Figure 33

Une autre méthode plus simple consisterait à déterminer les positions Z_{max} et Z_{min} pour lesquelles la caractéristique de sensibilité de la bobine présente ses extremas. Puis on positionnera l'échantillon à ces endroits-là, pour démarrer l'acquisition. L'estimation de l'aimantation consisterait alors en un calcul de moyenne sur toutes les mesures effectuées sur l'échantillon en cette position.

Ainsi on aurait la possibilité d'améliorer la qualité de la mesure pour des échantillons présentant un très faible signal d'aimantation, ce qui augmenterait la sensibilité du système.

CHAPITRE IV

ETUDE EXPERIMENTALE DE $DyVO_4$

IV.1. PRESENTATION DES PROPRIETES DE $DyVO_4$

Les échantillons ayant servi pour les mesures d'aimantation et de susceptibilité nous ont été fournis par Mr B. DAUDIN, avec qui nous avons collaboré pour cette étude expérimentale (33). Ils sont de forme parallélépipédique de 1 mm^2 de section et 5 mm de long (voir figure 34a).

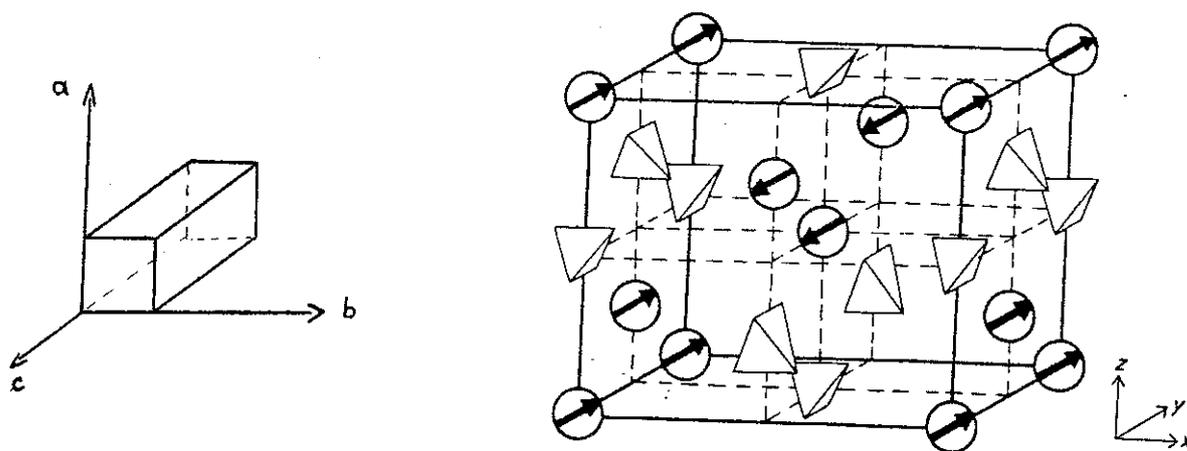


Figure 34

Les études cristallographiques effectuées sur ce type d'échantillons ont mis en évidence la structure tétragonale de $DyVO_4$ à haute température (29,30,31). La symétrie est orthorombique pour les basses températures. WOJTOWICZ a montré que la transition de phase observée dans les spinelles était due à un effet JAHN-TELLER coopératif (34). La distorsion est attribuée à l'effet JAHN-TELLER qui affecte les quatre plus bas niveaux d'énergie de l'ion Dy^{3+} (31). Deux distorsions équivalentes permettent de passer de la phase basse température à la phase haute température. La direction de la distorsion est sensible à l'influence d'un champ magnétique. A basse température, le système se structure en domaines avec deux possibilités d'arrangements. Cette structure en domaines a été confirmée expérimentalement (30,31) et notamment par observation directe des domaines en lumière polarisée par LEASK et coll. (32) (figure 35). En réalité, il y a coexistence des deux possibilités d'arrangement en vertu des défauts dans le cristal et

l'inohomogénéité de la transition. On ne peut donc définir pour tout l'échantillon un système d'axes unique (a,b,c) ; lors du passage d'un domaine à un autre les axes (a et b) sont intervertis.

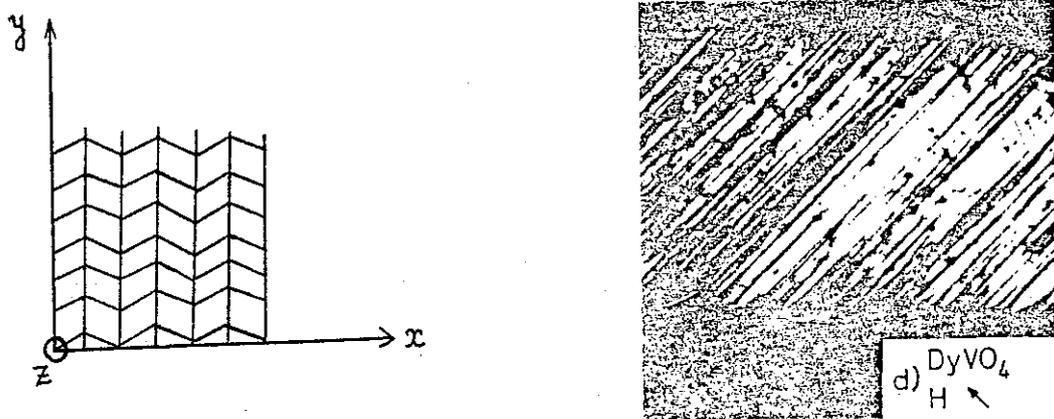


Figure 35

DyVO_4 se trouve à l'état antiferromagnétique en dessous de $T = 3 \text{ K}$ avec un axe d'ordre (axe a) dans le plan de base perpendiculaire à l'axe tétragonal (axe c).

La transition cristallographique est observée dans la phase paramagnétique à $T = 14 \text{ K}$. Les plus bas niveaux d'énergie sont deux doublets de Kramers, séparés à haute température d'une quantité $2W$ qui augmente avec la température (38). Chacun de ces deux doublets de Kramers est caractérisé par un facteur g fortement anisotrope (31,35).

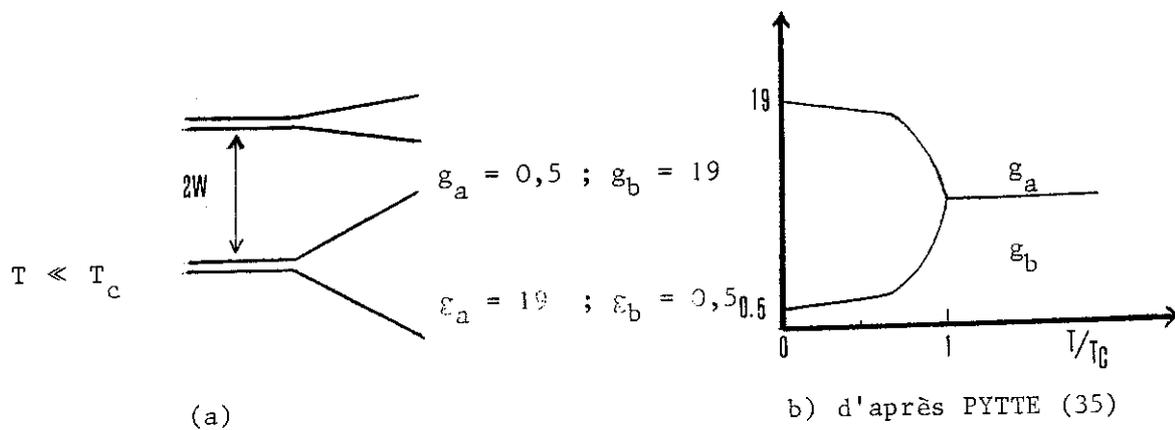


Figure 36

Dans la phase paramagnétique on observe de brusques changements de pente pour les variations de susceptibilité qui sont liés à l'écartement des niveaux fondamentaux.

KASTEN a montré que l'analyse des mesures de susceptibilité dans le cadre d'un modèle de champ moyen ne donne pas de bons résultats (37).

Entre 3 et 7,5 un phénomène d'hystérésis sur les courbes d'aimantation a été observé pour des champs n'excédant pas 20 kOe (36). L'application d'un champ magnétique perpendiculairement à l'axe tétra-gonal (axe c) a permis de mettre en évidence la forte anisotropie du facteur g dans le plan de base (a,b).

2. ETUDE EXPERIMENTALE

a) Mesures d'aimantation :

Les mesures d'aimantation ont été effectuées à plusieurs températures, à l'aide du dispositif automatisé permettant ainsi d'avoir près d'une centaine de points par courbe. Parmi les avantages du système autre que la souplesse d'utilisation, on peut citer :

- la possibilité d'avoir une très faible résolution en champ réglable à volonté, difficilement accessible en commande manuelle par potentiomètre ;
- la sensibilité de la mesure d'aimantation qui est de l'ordre de 1 nV (avec un gain de 10^4 pour la détection synchrone) ;
- la possibilité de suivre l'évolution de la courbe acquise en temps réel, nous permettant de prendre des décisions en ce qui concerne l'étude de l'échantillon ;
- la possibilité d'intervenir pour modifier le déroulement programmé de l'expérience.

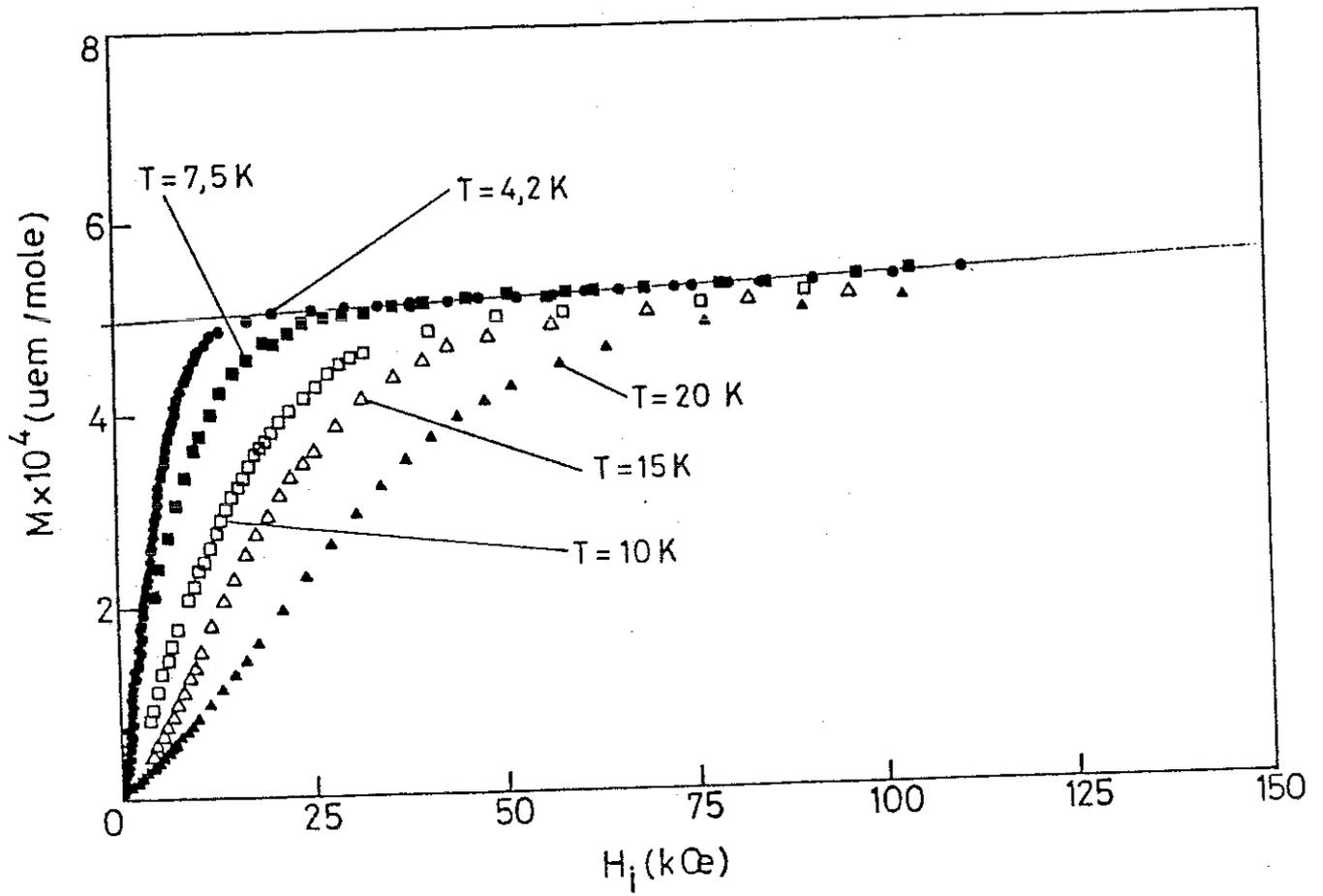


Figure 37

Les résultats des mesures d'aimantation en fonction du champ magnétique sont présentés sur la figure 37. La procédure expérimentale consistait à refroidir l'échantillon jusqu'à 4,2 K en champ magnétique nul puis réguler à la température de mesure avant d'appliquer le champ. Les courbes de la figure 37 ont été mesurées en champ croissant. Pour des champs inférieurs à 25 kOe l'aimantation croît rapidement avec le champ. A hauts champs, on observe une augmentation continue de l'aimantation qui peut se décomposer en un terme constant et un terme variant linéairement avec le champ :

$$M(H) = M_0 + aH \quad (1)$$

où $a \approx 50 \text{ uem/mole.kOe}$ et $M_0 \approx 5,5 \cdot 10^4 \text{ uem/mole.}$

De M_0 on déduit le moment magnétique pour un ion Dy dans le système :

$$\mu_{Dy} = \frac{M_0}{N_0} \approx 9,9 \text{ uem/ion}$$

On trouve une valeur inférieure à celle de l'ion Dy^{3+} libre $\mu_0 = 10,6$. Dans l'expression (1), la constante a serait probablement liée à l'anisotropie du système. Pour l'examen plus approfondi du comportement de l'aimantation sous des champs faibles, nous avons effectué des mesures en champ croissant depuis 0 jusqu'à une valeur comprise entre 0,3 et 3 kOe, puis en champ décroissant depuis cette valeur jusqu'à 0, et ceci pour différentes températures.

Les courbes résultant de ces mesures sont représentées par les figures 38 à 41. Elles mettent en évidence l'existence d'une hysteresis importante dans la phase paramagnétique. La surface de la boucle d'hystérésis diminue quand la température augmente, jusqu'à celle de la transition cristallographique où le phénomène disparaît.

En champ magnétique croissant, l'aimantation croît d'abord linéairement (de 0 à M_1 pour $T = 4,2 \text{ K}$), puis s'infléchit pour enfin varier presque linéairement avec le champ au-dessus de la boucle d'hystérésis. La décroissance de l'aimantation est quasiment linéaire.

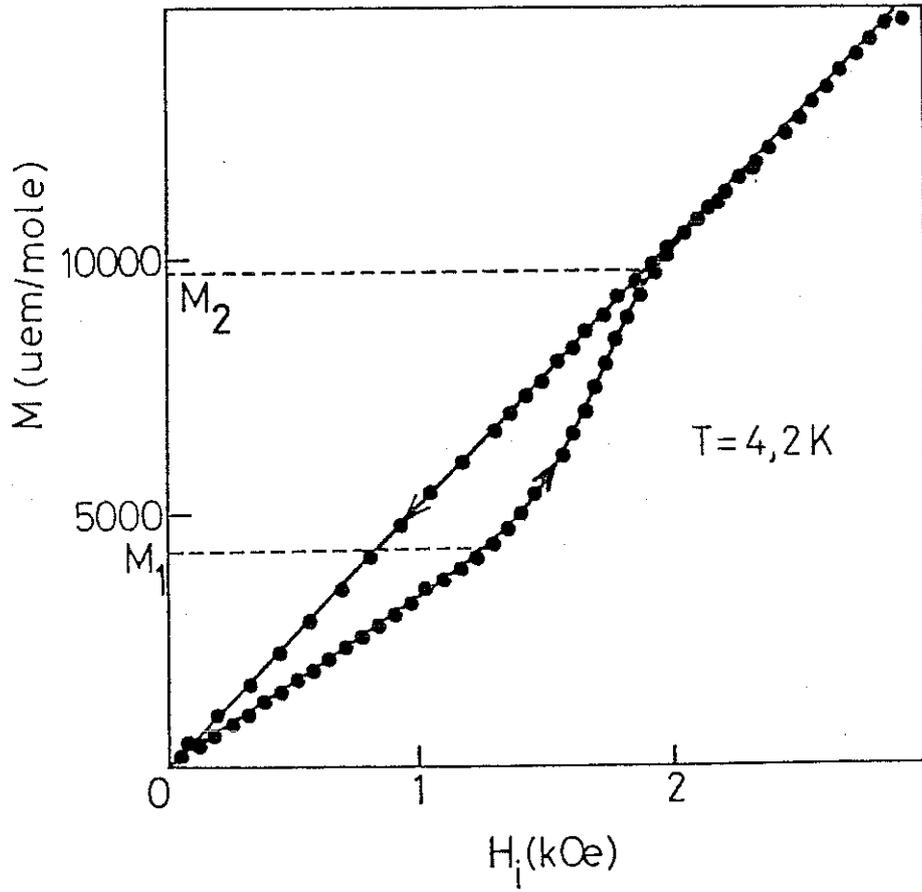


Figure 38

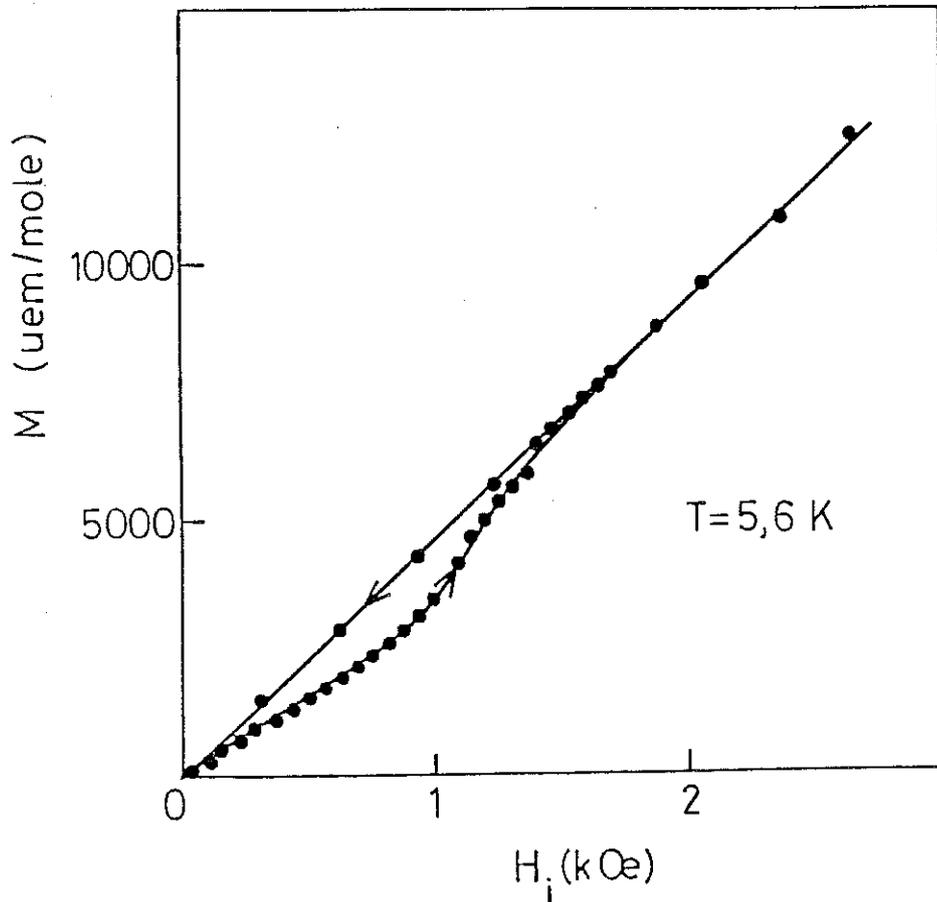


Figure 39

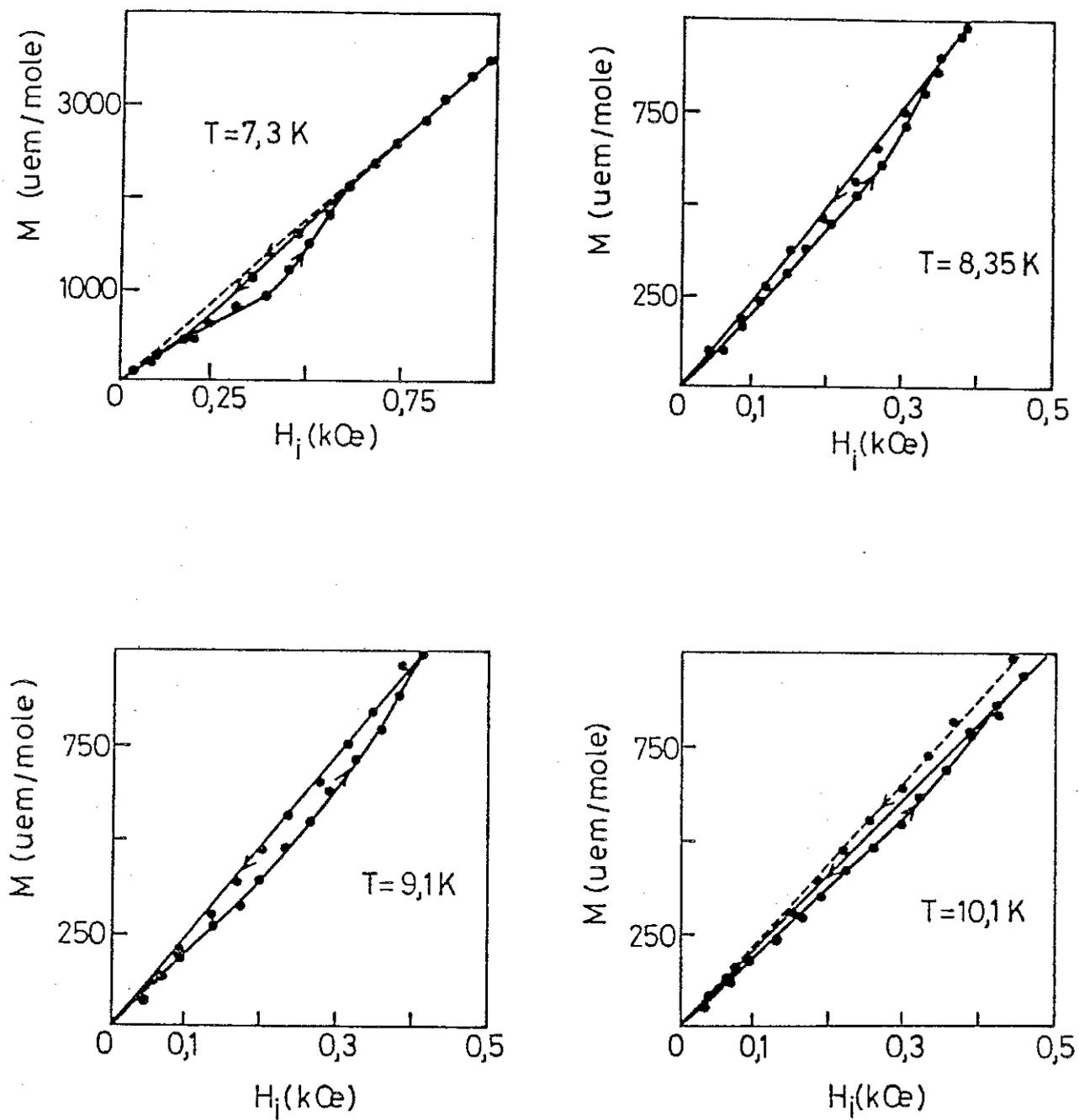


Figure 40

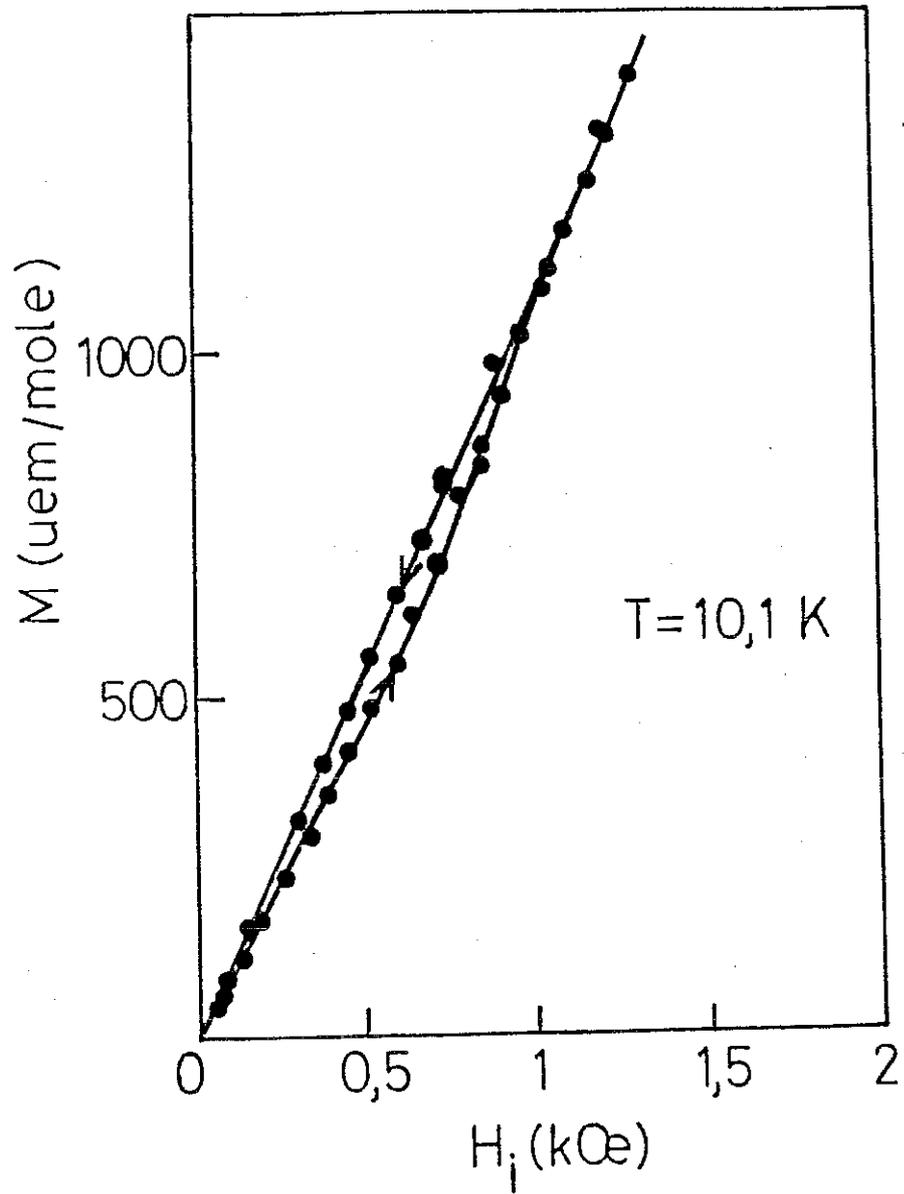


Figure 41

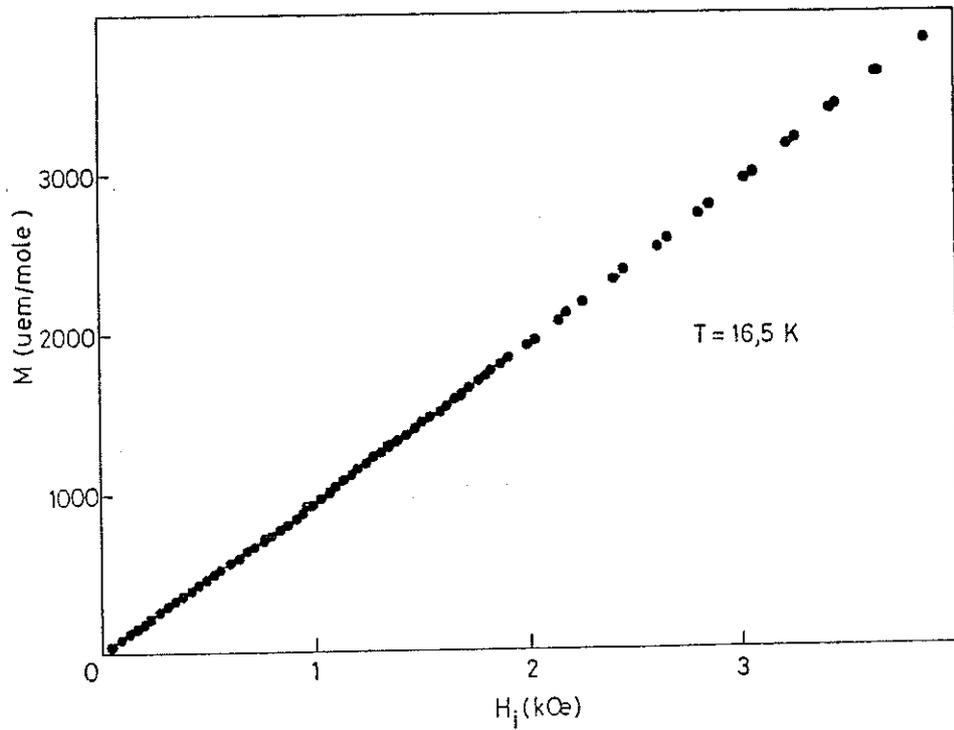


Figure 42

Afin d'obtenir de plus amples renseignements sur l'origine de ce phénomène, nous avons porté l'échantillon à la température de 20 K, puis appliqué un champ magnétique de 20 kOe. Après cela nous avons refroidi l'échantillon à la température de 4,2 K en présence de ce champ et une fois la température stable nous avons ramené le champ magnétique à 0. L'aimantation mesurée en champ croissant puis décroissant, à partir de cette condition initiale, ne présente pas d'hystérésis. L'aimantation varie linéairement avec le champ magnétique (voir figure 42).

Cette étape expérimentale nous amène à conclure que la réorientation des domaines cristallographiques (30) sous l'influence du champ magnétique est la cause de l'hystérésis observée. La seconde procédure montre que le fait de refroidir l'échantillon sous champ magnétique, en dessous de la température de transition cristallographique, privilégie l'une des deux directions selon lesquelles apparaît la distorsion et que cet état monodomaine persiste lorsqu'on annule le champ. Il faut remarquer que pour la courbe à $T = 4,2$ K et pour $H \ll 1$ kOe, le rapport des pertes à la descente et à la montée est différent de 2, ce qui montre que les deux possibilités d'orientation des domaines ne sont pas équiprobables (figure 38).

b) Mesures de susceptibilité magnétique :

Les mesures de susceptibilité magnétique ont été effectuées après chauffage de l'échantillon au-dessus de T_c et refroidissement en champ magnétique nul. En réalité, on mesure la variation de l'aimantation en fonction de la température $M(T)$. En première approximation et si le champ est suffisamment petit la quantité $\chi(T) = \frac{\partial M(T)}{\partial H}$ peut être estimée par le rapport $\frac{M}{H}$.

Le fonctionnement du dispositif en automatique est plus de deux fois plus rapide qu'en fonctionnement manuel, en raison de la rapidité de la stabilisation en température.

Sur les courbes de susceptibilité obtenues pour différents champs (figures 43 et 44), on observe une anomalie aux alentours de

Figure 43

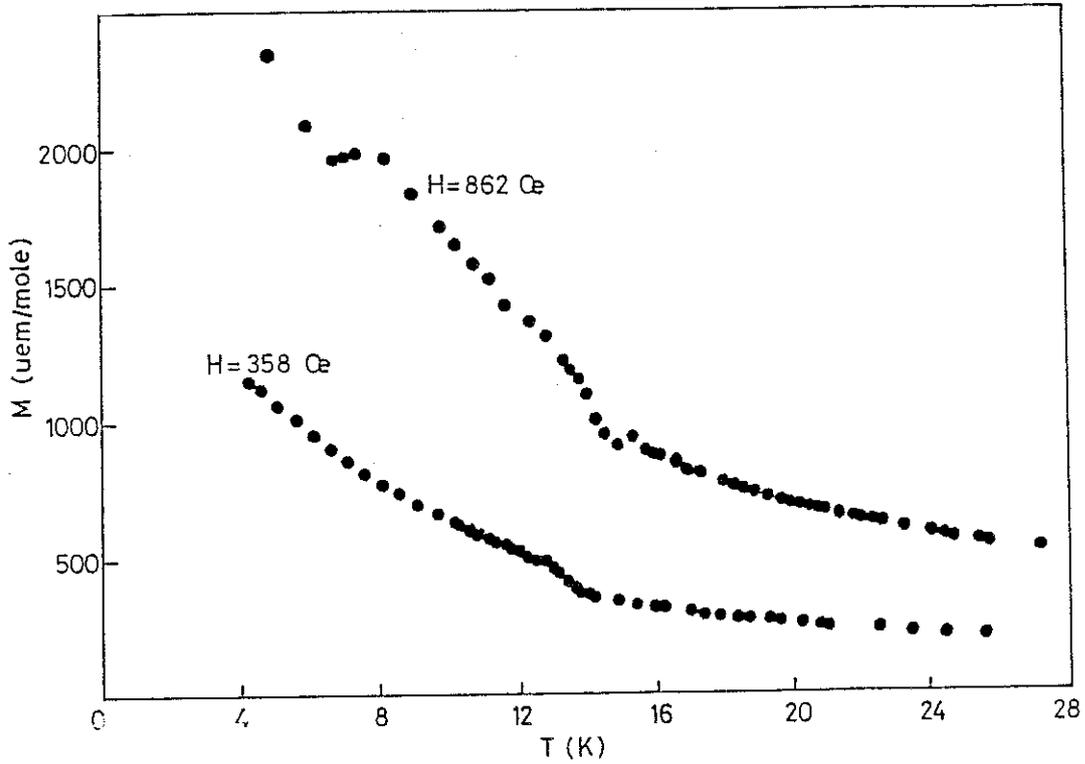
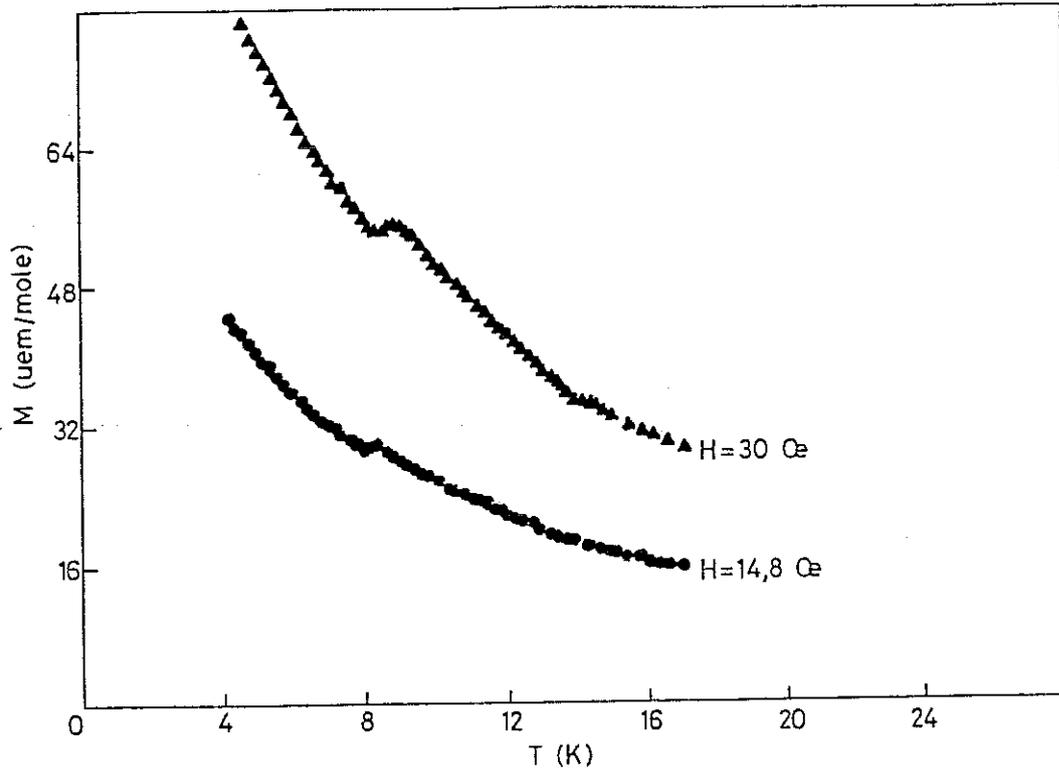


Figure 44

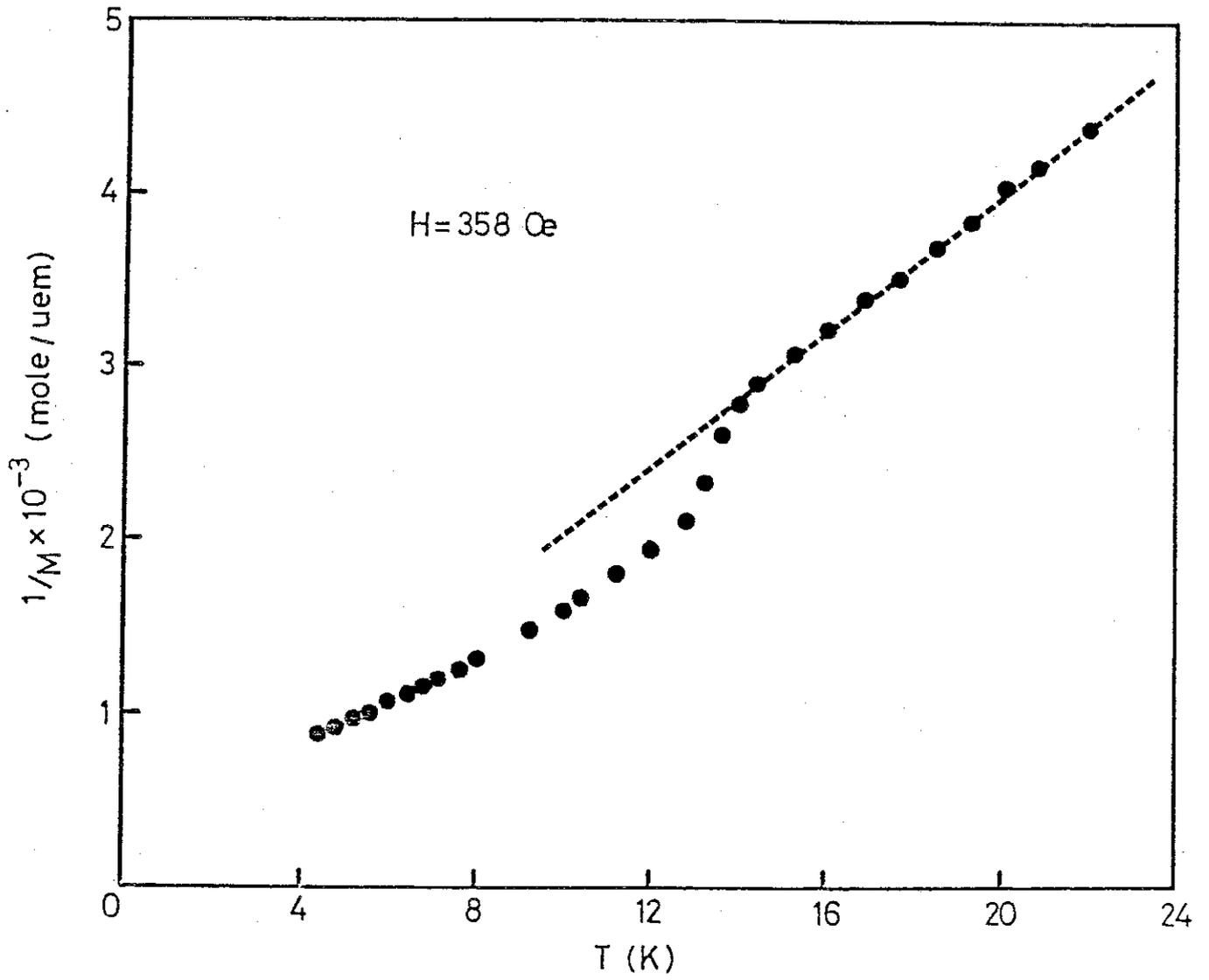


Figure 45

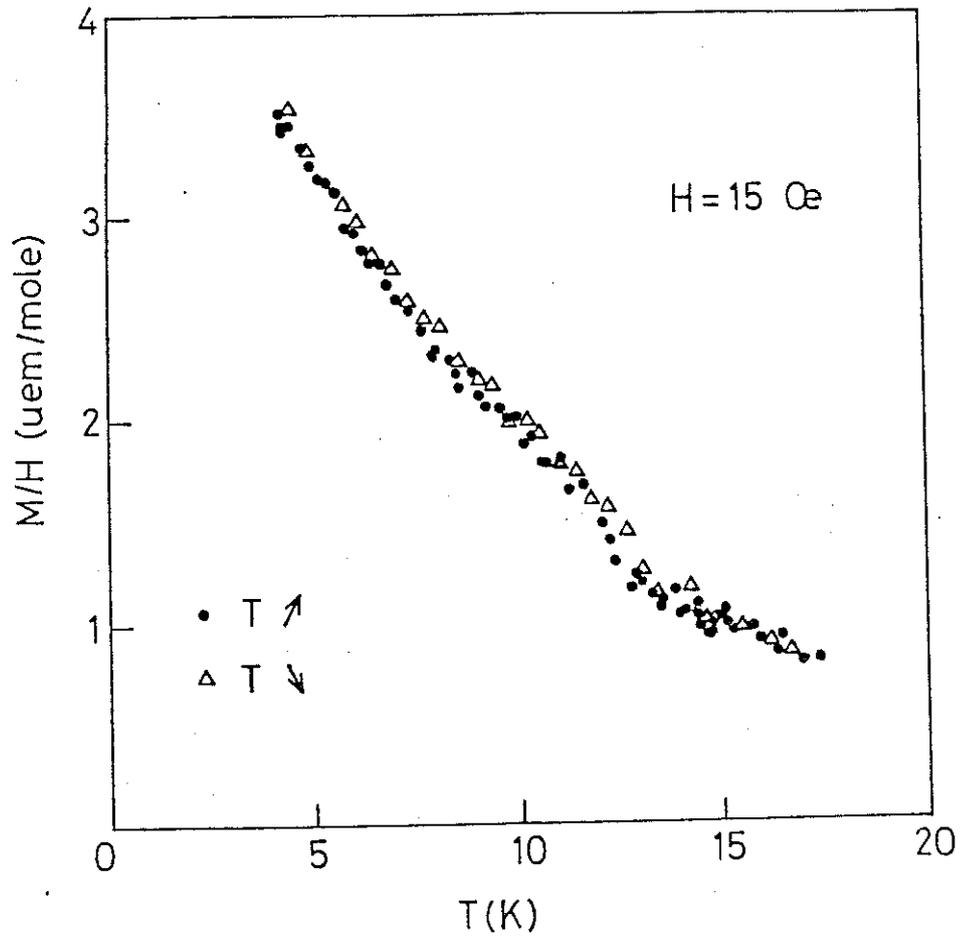


Figure 46

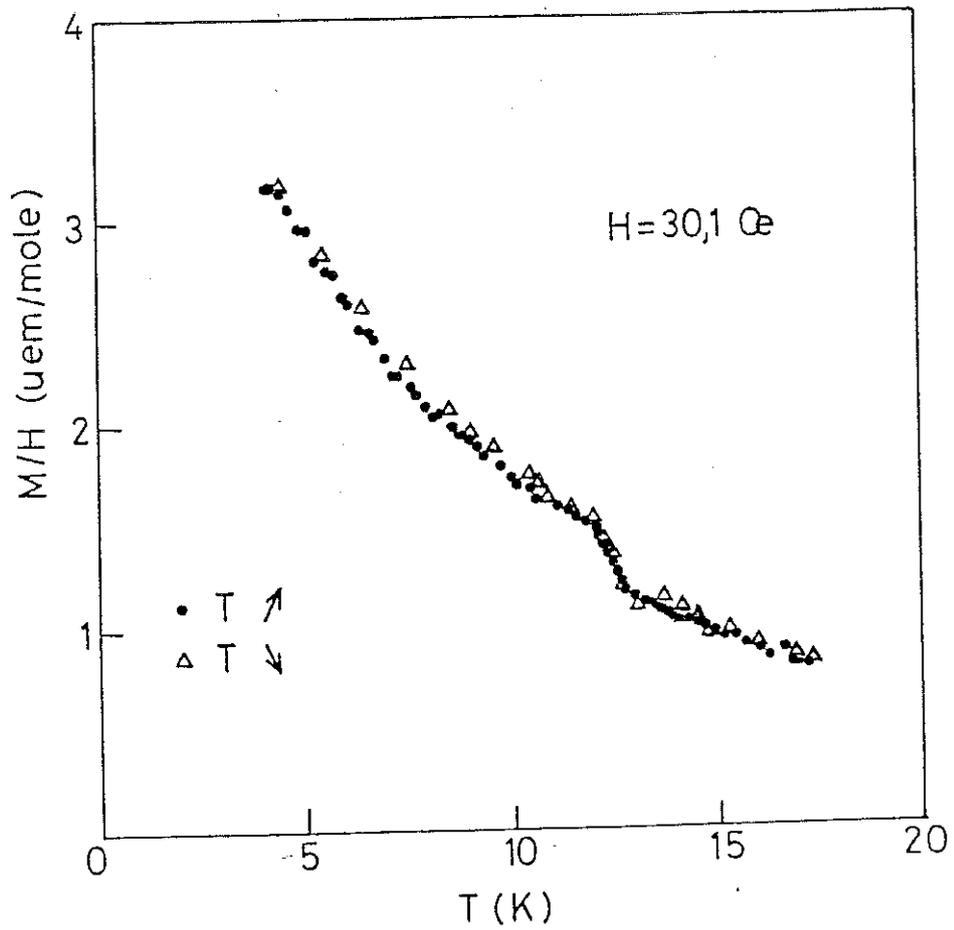


Figure 47

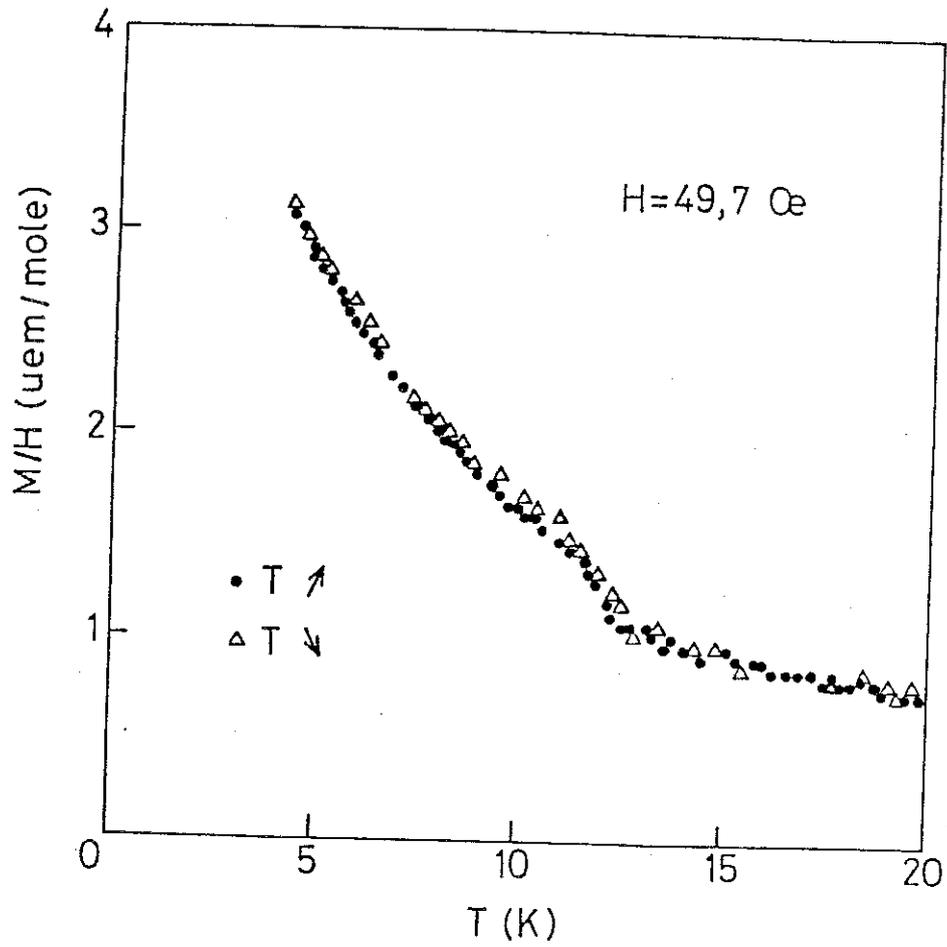


Figure 48

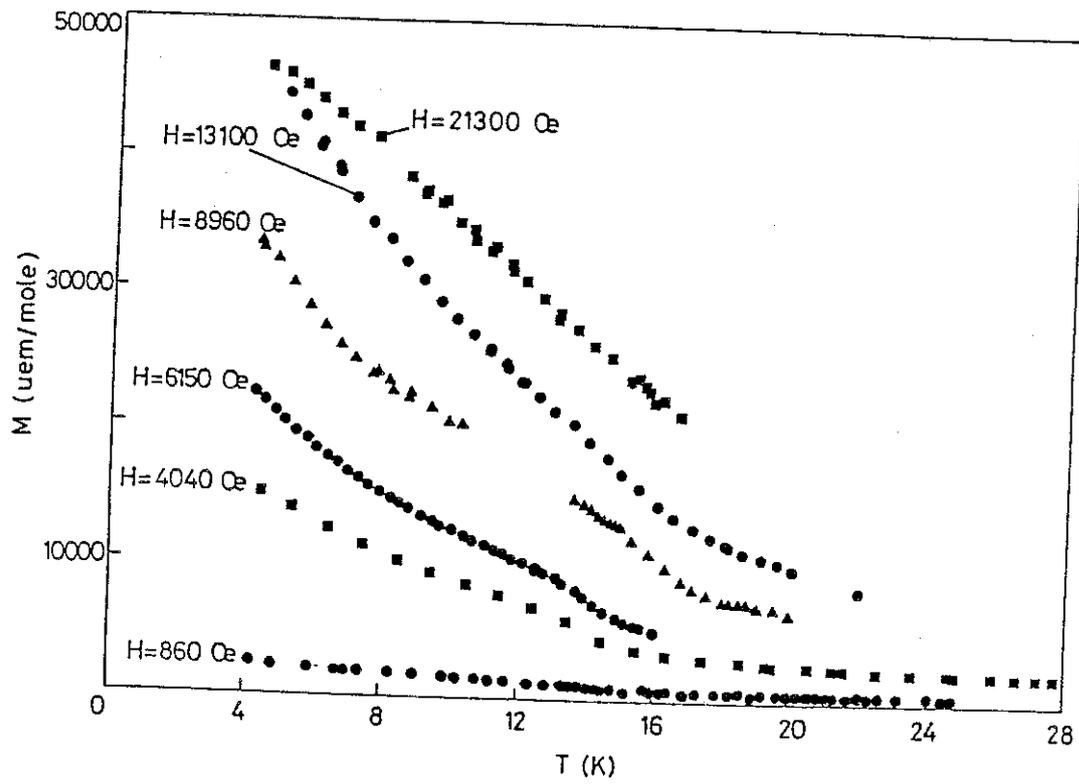


Figure 49

$T = 8 \text{ K}$ et un changement de pente à $T = 14 \text{ K}$,

Le changement de pente peut être associé à la transition cristallographique. La figure 45 représente les variations de l'inverse de la susceptibilité ($\frac{1}{\chi}$) en fonction de la température pour un champ magnétique $H = 358 \text{ Oe}$: en dessous de la température de transition cristallographique, l'écart à la loi de CURIE-WEISS est très important. Ceci illustre l'influence de l'effet JAHN-TELLER sur les propriétés magnétiques de l'échantillon. De cette courbe, on tire la valeur de la constante de Curie et celle du moment efficace.

$$C \approx 14,1 \text{ uem/mole}$$

$$\mu_{\text{eff}} = \sqrt{k_B T \frac{\chi}{N}}$$

Des mesures de susceptibilité effectuées sur un autre échantillon du même type, semblable au précédent, ont donné des résultats tout à fait similaires (voir les figures 46 à 48).

L'anomalie à $T = 8 \text{ K}$ présente une hystérésis qui a la même origine que celle observée précédemment sur les courbes d'aimantations. Pour la courbe de la figure 40 sous un champ magnétique $H = 358 \text{ Oe}$, nous avons pris soin de rendre l'échantillon monodomaine ; c'est-à-dire que nous l'avons préalablement refroidi sous champ magnétique. Pour cette courbe, on constate que l'anomalie disparaît, une fois l'échantillon rendu monodomaine.

Sur la figure 49, on observe l'évolution de l'aimantation en fonction de la température pour des champs élevés où M/H ne peut plus être assimilé à la susceptibilité. Elles présentent une anomalie qui se déplace vers les hautes températures quand le champ magnétique augmente.

En complément de cette étude expérimentale, nous présentons sur les figures 50 et 51, les résultats des mesures effectuées à l'aide d'une méthode alternative par Mr B. DAUDIN au Service des Basses Températures (S.B.T.), CENG (33). L'échantillon est excité par un champ magnétique alternatif d'amplitude 10 Oe et de fréquence 1 kHz . L'échantillon est préalablement refroidi à $4,2 \text{ K}$ en champ nul et la susceptibilité mesurée en température croissante.

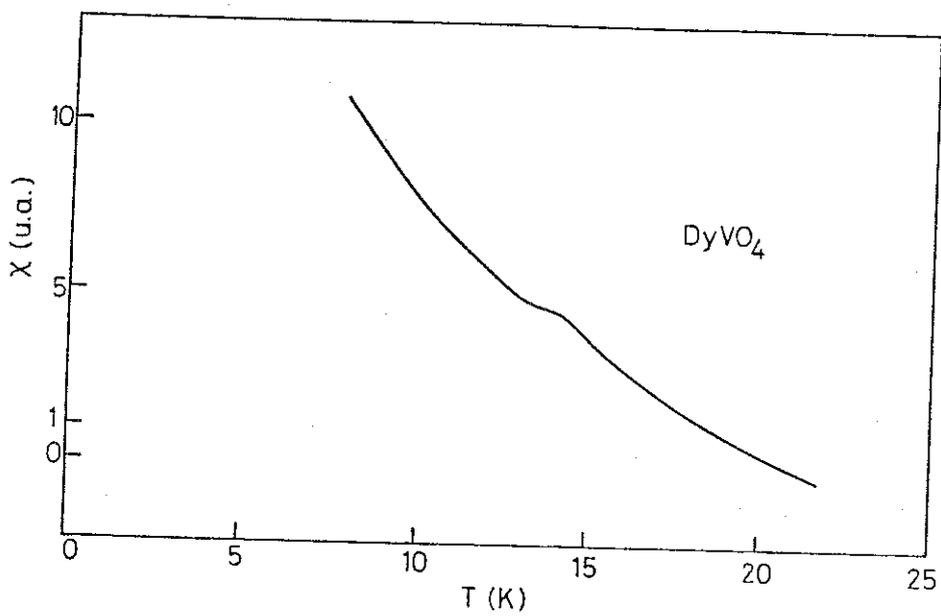


Figure 50

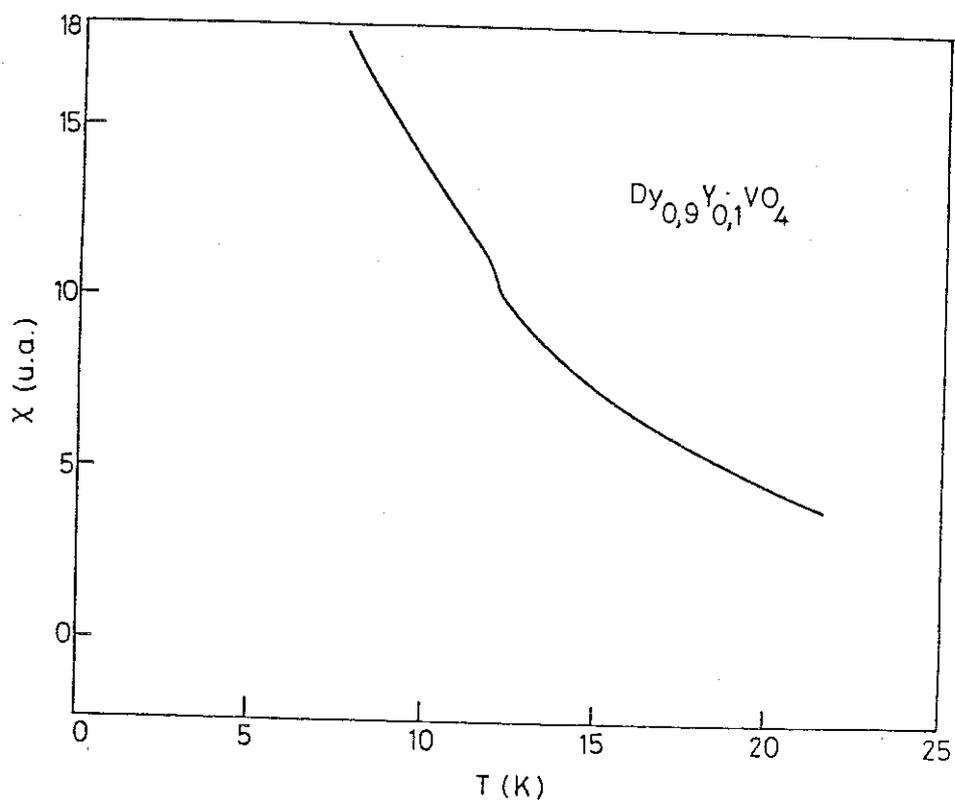


Figure 51

Pour les deux échantillons $DyVO_4$ et $Dy_{0,9}Y_{0,1}VO_4$ les courbes présentent une anomalie associée à la transition cristallographique et aucun effet dû à l'hystérésis n'a pu être observé. Les mesures effectuées dans ces conditions sont très similaires à ceux observés par SUSUKI et coll. avec un champ de 15 Oe (40). Par contre, les résultats obtenus en champ continu sont très similaires à ceux obtenus par KASTEN pour un champ appliqué de 500 Oe (37).

Les différences observées, sur les mesures obtenues par les deux techniques expérimentales, montrent que pour $DyVO_4$ les domaines cristallographiques ont tendance à relaxer. Si le temps de relaxation moyen est beaucoup plus court que le temps de mesure, χ alternatif serait sensiblement égal à χ continu ; ce n'est pas le cas pour ce type d'échantillon.

C O N C L U S I O N

Ce travail se situe parmi les premières implantations de la commande numérique aux expériences effectuées au CNRS. Il ne peut se prévaloir de résoudre tous les problèmes liés à l'automatisation d'un autre dispositif et ne peut en fournir qu'une idée sur le principe de la recherche d'une solution qui s'adapte au problème. Parmi les points non résolus, on peut citer le problème de filtrage numérique qui aurait permis d'améliorer la qualité des mesures et l'utilisation de modèles ajustables pour représenter le processus et mieux adapter la commande.

Pour notre part, nous pensons avoir montré que la commande par microordinateur peut être adaptée à ce type de dispositifs et qu'elle donne des résultats satisfaisants. L'utilisation du système automatisé devient très souple et aisé moyennant bien sûr une initiation à l'informatique. L'autonomie est supérieure à une dizaine d'heures, l'intervention de l'utilisateur est possible à tout instant, la précision est dix fois meilleure qu'en fonctionnement manuel et la résolution en champ et en température est nettement supérieure à celle accessible par potentiomètre.

Nous ne doutons pas que des améliorations peuvent être portées au système par la commande d'extraction par moteur pas à pas, et par l'utilisation des techniques nouvelles de l'automatique tant en ce qui concerne le filtrage numérique qu'au point de vue de la stabilisation de température par les méthodes de commande adaptative ou autoajustable.

Pour l'étude physique des composés de DyVO_4 , nous concluerons en énumérant les propriétés observées pour ce type d'échantillons, à savoir :

- la présence de transition cristallographique à $T = 14 \text{ K}$, due à l'effet JAHN-TELLER coopératif,
- la séparation de la phase antiferromagnétique de la phase paramagnétique à $T = 3 \text{ K}$,
- l'organisation en domaines cristallographiques pour des températures inférieures à $T = 14 \text{ K}$,
- l'hystérésis de l'aimantation due à la réorganisation des domaines par l'application d'un champ magnétique,
- la possibilité d'existence d'un phénomène de relaxation des domaines.

REFERENCES

1. C. KITTEL, Introduction à la physique de l'état solide, Ed. Dunod, 1970.
2. Notice technique ; Alimentation pour bobine supraconductrice, A5 6025, CRTBT, Laboratoire d'électronique.
3. Notice technique : Régulateur analogique BT 300.
4. LAKE SHORE CRYOTRONICS, INC. Installation and application Notes for Cryogenic Sensors.
5. CHAN YET-CHONG and A.M. FOREST, J. Phys. E Sci. Inst. 1968, Série 2, VI, p. 839.
6. ROBERT J., CORRUCINI, The review of Sci. Inst. V31, N6 (1960), p. 637.
7. ROSEMOUNT ENGINEERING COMPANY, B-11etin 1181 (rev. A).
8. ANDRZE J. PACYNA W., General theory of the signal induced in a vibrating magnetometer. J. Phys. E : Sci. Inst., vol. 15, 1982, p. 663.
9. E.E. BRAGG and M.S. SEEHRA : Analysis of induced EMF in vibrating sample magnetometers. J. Phys. E, Sci. Inst., vol. 9, 1976.
10. M. SPRINGFORD, J.R. STOCKTON and W.R. WAMPLER, J. Phys. E : Sci. Inst. 1971, V4, p. 1036.
11. A. ZIEBA and S. FONER, Rev. Sci. Inst., vol.53, n° 9, sept. 1982, p. 1344.
12. G. CHOUTEAU, Communications privées.
13. VALLIER, Communications privées.
14. N. BERAUD-POLIQUN, D. JEAN DAVID, La pratique de l'Apple II, éditions du PSI (1981).
15. Rodney ZAKS, Programmation du 6502. SYBEX, Paris, 1980.
16. Austin LESEA, Rodney ZAKS, Technique d'interface aux microprocesseurs. SYBEX, 2e édition, 1978, page 296.
17. D. ROSE, P. LOPEZ, Commande optimale hiérarchisée. Nouvel Automatismes N° 29, avril 1982.
18. R. BOUDAREL, J. DELMAS, P. GUICHET, Commande optimale de processus. Dunod, 1967, tome 1.
19. A. TITLI, Commande hiérarchisée et optimisation des processus complexes, Dunod, 1975.
20. H. BESTOUGEFF, C. GUILPIN, M. JACQUES, La technique informatique : algorithme numérique et non numérique, Ed. Masson, T.2, 1975, p. 194.
21. AKE BJORCK, Solving linear least squares problems by GRAM-SCHMIDT orthogonalization BIT 7 (1967), 1-21.
22. ROY H., WAMPLER : J. of Statistical association, June 1970, V65, N330.
23. P. BOUCHER, M. SERGERS, Nouvelle méthode de détermination des correcteurs P.I.D., Nouvel Automatismes, sept. 1981, page 52.

24. F. DE CARFORT, C. FOULARD, J. CALVET, Asservissements linéaires et continus, 3e éd. Dunod Université, Paris 1976, p. 85.
25. Y. SEVELY, Systèmes et asservissements linéaires échantillonnés, 2e éd. Dunod Université, Paris 1973, p. 9, 77, 143.
26. Y. FAËS, Commande de processus industriels par calculateurs, 2e éd. Masson, 1976, p. 80.
27. E. ROUBINE, Introduction à la théorie de la communication, 2e éd. Masson, 1979.
28. A. BENOIT, Communication privée.
29. G. WILL, W. SHÄFER, J. Phys. C, Solid St. Phys. 1971, vol. 4, p. 811.
30. K.A. GERHING, H.M. ROSENBERG, Phys. Stat. Solidi B, 47, 1971, p. K75.
31. A.H. COOKE, C.J. ELLIS, K.A. GERHING, M.I.M. LEASK, D.M. MARTIN, B.M. WANKLIN, M.R. WELLS, R.L. WHITE, Sol. St. Comm. 8, 1970, p. 689.
32. M.J.M. LEASK, K.J. MAXWELL, R.N. TYTE, P.J. BEKER, A. KASTEN, W. WUCHNER, Sol. St. Comm. 13, 1973, p. 693.
33. B. DAUDIN, Thèse de doctorat d'Etat, 19 janvier 1983.
34. P.J. WOTJTOWICZ, Phys. Rev. 116, 1959, p. 32.
35. E. PYTTE, Phys. Rev. B9, 1974, p. 932.
36. J. PICARD, J. HUBSCH, H. LE GALL, M. GUILLOT, J. Appl. Phys. 49, 1978, p. 1386.
37. A. KASTEN, Z. für Physik B38, 1980, p. 65.
38. B. DAUDIN et G. CHOUTEAU, Communications privées.
39. R.P. HUDSON, B.W. MANGUN, Phys. Lett. 36A, 1971, p. 157.
40. H. SUZUKI, T. OHTSUKA, T. YAMADAYA, Low Temperature Conference, LT13, 2, 1974, p. 334.
41. R.J. ELLIOT, G.A. GERHING, J. Phys. C4, L179, 1971.
42. P.J. BECKER, J. LAUGSCH, Phys. Stat. Sol. B44, K109 (1977).
43. G.A. GERHING, R.T. MACFARLANE, J. Phys. C, Sol. St. Phys. 13, 1980, p. 3161.
44. A. KASTEN, P.H. MÜLLER, M. SCHIENLE, Physica 114B, 1982, 77-81.

A N N E X E 1

ORGANISATION DE LA MEMOIRE DU MICROORDINATEUR

Utilisation de la page zéro du microordinateur :

La page zéro du microordinateur est définie comme la zone mémoire adressée de 0 à 255, c'est-à-dire que l'adresse de tout registre de cette zone mémoire tient sur un seul octet. Il est donc compréhensible que sa manipulation par le microordinateur nécessite moins de temps que pour les autres pages de la mémoire.

Le logiciel du système de base utilise cette zone mémoire, et ne laisse à la disponibilité de l'utilisateur qu'une petite partie de cette page.

Les adresses des registres mémoires en page zéro qui peuvent être utilisées, sans qu'il y ait nécessité de sauvegarder et de restaurer leur contenu, sont tirées des tableaux donnés dans le manuel de référence de l'Apple II en page 74.

Implantation en mémoire vive des programmes :

Le tableau ci-dessous représente l'organisation de la mémoire vive du calculateur en ce qui concerne l'automatisation.

Adresses début	Nom du programme	Contenu de la zone mémoire
\$ 800	AUTO	Programme coordonateur en BASIC
\$ 2000		Page 1 du graphique haute résolution
\$ 4000		Page 2 du graphique haute résolution
\$ 6000		Fichier de données et de commandes
\$ 8000	BMACH23	Sous-programme SPA ₁ , SPA ₂ , SPB ₁ , SPB ₂ , SPD ₁ et SPD ₂
\$ 8466	HORLOGE	Programme d'interruption
\$ 8525	REGUL	Régulation de températures SPD ₁ et SPD ₂
\$ 8800	BEDI	Editeur de fichiers

ANNEXE 2

CABLAGE DE LA CARTE HORLOGE

La carte horloge comme le montre le schéma de principe en figure 15 se compose d'un générateur d'impulsions, d'un ensemble de compteurs et d'un adaptateur de périphérique (P.I.A.). On sélectionne par câblage sur la carte :

- la période des impulsions comptée,
- le mode de fonctionnement : comptage ou décomptage,
- la période de comptage : le comptage ou décomptage peut s'effectuer soit sur un registre de 16 bits (période 65536), soit sur deux registres de 8 bits (période 256).

Les cavaliers A permettent de scinder le système en deux compteurs de période 255 (à l'état ouvert) ou un seul de période 65536 (à l'état fermé).

Pour travailler en comptage ou décomptage, on envoie les impulsions de période désirée sur l'entrée "UP" respectivement "DOWN". Les cavaliers B doivent relier au PIA les entrées respectivement les sorties du bloc compteur. L'entrée inutilisée "DOWN" respectivement "UP" est reliée au potentiel $V^+ = 5V$. Le "Reset" est mis à la masse et le "Load" au potentiel V^+ .

Quatre lignes (CA_1 , CA_2 , CB_1 , CB_2) permettent au PIA de générer des signaux d'interruptions qui seront envoyés au calculateur par la ligne IRQ (pour des interruptions masquables) ou NMI (pour des interruptions non-masquables).

Pour le choix de la cadence des signaux d'interruptions, on peut utiliser soit les sorties du générateur d'impulsions, soit le "CARRY" ou le "BORROW" d'un bloc compteur pour avoir une période multiple de l'une parmi celles disponibles.

Une fois le câblage réalisé, la programmation de l'horloge se ramène à celle du P.I.A., sauf que l'on ne peut lire l'état d'un bloc travaillant en décomptage.

A N N E X E 3

UTILISATION DU MULTIPLIEUR PROGRAMMABLE

Le multiplieur programmable reçoit les données en mode série asynchrone. La vitesse de transfert est sélectionnée par deux cavaliers (A et B représentés ci-dessous) et un "strap" disposé au niveau de l'horloge interne du multiplieur.

Les cavaliers 1 à 5 permettent de définir le mode de transfert des données à l'UART (unité asynchrone de réception et de transmission). Ils définissent le contrôle de parité, le nombre de bits par mot, le nombre de bits de stop et l'état du bit de contrôle.

A	B	F5	F7
1	1	9600	4800
0	1	2400	1200
1	0	1200	600
0	0	150	75

1	Even Parity	Ouvert = parité impaire
2	7-8 bits	Ouvert = mode de 8 bits
3	Stop bits	Ouvert = 2 bits de stop
4	Parity inhibit	Ouvert = Pas de contrôle de parité
5	Bit 8 = contrôle	Ouvert = bit de contrôle à "1"

Pour contrôler le transfert des données et le fonctionnement du multiplieur on utilisera le sous-programme SPDI pour envoyer des consignes. La sortie prise sur la détection synchrone doit varier proportionnellement à la consigne avec une pente de 0,04 microvolt par digit.

A N N E X E 4

DETERMINATION DES FONCTIONS D'ÉTALONNAGE DES SONDES

Nous avons utilisé les techniques d'interpolation par la méthode des moindres carrés (20-22) pour déterminer des fonctions approchant les variations des caractéristiques des sondes en fonction de la température. Les fonctions cherchées sont des polynômes liant T ou $\log T$ à R ou $\log R$ (C ou $\log C$ pour les sondes capacitives). Le degré du polynôme est choisi en fonction de la précision donnée par la fonction et de telle façon qu'il soit le plus faible possible en vertu de la rapidité de calcul.

Pour la résistance de carbone utilisée, la fonction ayant donné le meilleur compromis pour des températures comprises entre 4,2 et 35 K, est la suivante :

$$\log T = \sum_{n=0}^{n=5} A_n [\log (R/100)]^n$$

avec

$$\begin{aligned} A_0 &= + 5,1793 \\ A_1 &= - 4,3695 \\ A_2 &= + 2,5845 \\ A_3 &= - 0,9447 \\ A_4 &= + 0,17773 \\ A_5 &= - 0,01326 \end{aligned}$$

L'incertitude sur la détermination de la température par cette fonction est chiffrée par $\Delta T = \pm 0,02$ K relativement aux mesures d'étalonnage.

Pour la résistance de platine, la fonction obtenue pour des températures comprises entre 30 et 300 K est la suivante :

$$T = \sum_{n=0}^6 A_n [\log (R/100)]^n$$

LASH

**END OF PASS 1
**END OF PASS 2

```

0000      1  ;*****
0000      2  ;*
0000      3  ;* PROGRAMME AUTOMATISATION *
0000      4  ;*
0000      5  ;** VERSION 06 OCT 1982 **
0000      6  ;*
0000      7  ;* NOM ' SMACH ' A 00000 *
0000      8  ;*
0000      9  ;*****
0000     10  ;
0000     11  BOUCL  ORG 40000
0000     12  OBJ  4000
0000     13  INDEX  EQU 47FD0
0000     14  MOYH  EPZ 49
0000     15  MOYL  EPZ 48
0000     16  VALH  EPZ 47
0000     17  VALL  EPZ 46
0000     18  VOIE  EPZ 45D
0000     19  GAIN  EPZ 45C
0000     20  NBMES  EPZ 45B
0000     21  CHGAIN EPZ 45E
0000     22  CHVOIE EPZ 45F
0000     23  TRGAIN EPZ 45G
0000     24  TRVOIE EPZ 45H
0000     25  APVOIE EPZ 45I
0000     26  ITVOIE EPZ 45A
0000     27  SIGAIN EPZ 45B
0000     28  SIVOIE EPZ 45C
0000     29  HEVOIE EPZ 45D
0000     30  VBVOIE EPZ 45E
0000     31  VBGAIN EPZ 45F
0000     32  ;
0000     33  CARAC  EPZ 45I
0000     34  VALEU  EQU 47FD4
0000     35  ;
0000     36  DRAPD  EQU 47FEA
0000     37  ;
0000     38  AMPLI  EQU 47FE0
0000     39  ;
0000     40  MAXH  EQU 47FF1
0000     41  MAXL  EQU 47FF0
0000     42  MINH  EQU 47FF3
0000     43  MINL  EQU 47FF2
0000     44  COURAN EQU 48450
0000     45  AMPLIT EQU 48452
0000     46  VOIET  EQU 4C006
0000     47  ;
0000     48  HELIUM EQU 48454
0000     49  INCOUR  EQU 4C0FB
0000     50  ;
0000     51  TEMP  EQU 47FFB
0000     52  CHAMP  EQU 47FEC
0000     53  NY  EQU 47FFE
0000     54  ;
0000     55  REGUL  EQU 48525
0000     56  FLORED  EQU 48466
0000     57  AIMH  EQU 47FF5
0000     58  AIML  EQU 47FF4
0000     59  AMOH  EQU 47FFB
0000     60  AMOL  EQU 47FFA
0000     61  IVAR  CHAMP*****
0000     62  THFINA EQU 47FDC
0000     63  CONSTI  EQU 47FDA
0000     64  PASTH  EQU 47FDB
0000     65  TENS  EQU 47FD2
0000     66  ;
0000     67  GIVAVF EQU 4E2F2
0000     68  MOVAF  EQU 4E8E3
0000     69  FDIVT  EQU 4E8E9
0000     70  QINT  EQU 4E8F2
0000     71  TEMPDO EQU 47FD6
0000     72  PAG
0000     73  JMP  INIT
0000     74  JMP  CYCLE
0000     75  JMP  MESURE
0000     76  JMP  CONVRT
0000     77  JMP  CCHAMP
0000     78  JMP  CTEMP
0000     79  JMP  CEQUIL
0000     80  JMP  SYNCHR
0000     81  ;*****

```

```

0018      81  ;*****
0018      82  ;* INITIALISATIONS *
0018      83  ;*****
0018      84  ;
0018     85  INIT  LDA  #426
001A     86  STA  4C0D4
001D     87  LDA  #4C7
001F     88  STA  MAXH
0022     89  LDA  #47
0024     90  STA  MINH
0027     91  RTS
0029     92  LDA  #24          ;25 SEC
002A     93  STA  NH
002D     94  JSR  INIT
0030     95  LDA  #00
0032     96  STA  AMOL
0035     97  STA  AMOH
0038     98  MORLO  LDA  #00
003A     99  STA  4C0B3
003D     100  LDA  #FF
003F     101  STA  4C0B2
0042     102  LDA  #04
0044     103  STA  4C0B3
0047     104  LDA  #0
0049     105  STA  4C0B2
004C     106  STA  4C0B3
004F     107  STA  4C0B2
0052     108  LDA  #34
0054     109  STA  4C0B3
0057     110  RTS
0058     111  ;*****
0058     112  ;SUBR. LECTURE CARTE TECHNIPHONE :
0058     113  ;: MOYENNE SUR N MESURES SIGNEES :
0058     114  ;*****
0058     115  AQUISI  LDX  #0          ;INIT CARTE TECHNIPHONE
005A     116  STX  #0          ;UTILISE 16, 7, 8, 9, EB, EC, et ED
005C     117  STX  #0          ;EN PAGE ZERO
005E     118  LOX  VOIE
0060     119  LDA  GAIN
0062     120  STA  4C0D0, X          ;MOT DE COMMANDE
0065     121  LDA  4C0D1, X          ;CARTE SUR SLOT 5
0068     122  LDY  NBMES
006A     123  BOUCLE  LDA  #18          ;DELAY CONVERSION A/D
006C     124  LDX  #0
006E     125  801  DEX
006F     126  BNE  801
0071     127  SBC  #01
0073     128  BNE  801
0075     129  LOX  VOIE
0077     130  LDA  4C0D0, X          ;LECTURE MSB
007A     131  ASL
007B     132  ASL
007C     133  ASL
007D     134  ASL
007E     135  LDA  4C0D0, X          ;LECTURE LSB
0081     136  AND  #0F
0083     137  STA  #7
0085     138  LDA  4C0D1, X
0088     139  STA  #6
008A     140  LDA  #8
008C     141  BCC  POS
008E     142  SBC  #6
0090     143  STA  #8
0092     144  LDA  #9
0094     145  SBC  #7
0096     146  STA  #9
0098     147  JMP  TERM
0099     148  POS  ADC  #6
009D     149  STA  #8
009F     150  LDA  #9
00A1     151  ADC  #7
00A3     152  STA  #9
00A5     153  TERM  DEY --
00A6     154  BNE  BOUCLE          ;FIN DE NBMES
00A8     155  RTS
00A9     156  ;*****

```

```

80A9 156 =====
80A9 157 ;ACQUISITION 1 CYCLE D'EXTRACTION )
80A9 158 =====
80A9 805684 159 CYCLE LDA FLOREG ;TEST S'IL FRUIT REGULER
80AC F028 160 BEQ CYCLE1
80AE A900 161 LDA #0
80B0 805684 162 STA FLOREG
80B3 202585 163 JSR REGUL
80B6 205880 164 CYCLE1 JSR AQUISI ;MESURE DU SIGNAL S(T)
80B9 A0EA7F 165 LDA DRAP0
80BC 0201 166 ANE CYCLE2
80BE 60 167 RTS
80BF 38 168 CYCLE2 SEC ;TEST SI ) AU MAXIMUM
80C0 A608 169 LDX #8
80C2 A409 170 LDY #9
80C4 8A 171 TXA
80C5 EDF07F 172 SBC MAXL
80C8 98 173 TYA
80C9 EDF17F 174 SBC MAXH
80CC 3006 175 BMI NONMX
80CE BEF07F 176 STX MAXL
80D1 8CF17F 177 STY MAXH
80D4 38 178 NONMX ;TEST SI ( AU MINIMUM DONC MINI
80D5 8A 179 TXA
80D6 EDF27F 180 SBC MINL
80D9 98 181 TYA
80DA EDF37F 182 SBC MINH
80DD 1006 183 BPL NONMN
80DF BEF27F 184 STX MINL
80E2 8CF37F 185 STY MINH
80E5 A0B2C0 186 NONMN LDA #0B2
80E8 80F707 187 STA #7F7
80EB CDFE7F 188 CMP #0
80EE 1001 189 BPL #+3 ;FIN DE L'INTERVALLE TEMPS?
80F0 60 190 RTS
80F1 38 191 SEC
80F2 ADF07F 192 LDA MAXL ;DIF MAXI-MINI=AIM
80F5 EDF27F 193 SBC MINL
80F8 8A 194 TXA
80F9 ADF17F 195 LDA MAXH
80FC EDF37F 196 SBC MINH
80FF A8 197 TAY
8100 18 198 CLC
8101 8A 199 TXA
8102 6DFA7F 200 ADC AMDL
8105 8DFA7F 201 STA AMDL
8108 98 202 TYA
8109 6DF07F 203 ADC AMOH
810C 8DF07F 204 STA AMOH
810F ADFE7F 205 LDA #0
8112 C949 206 CMP #49
8114 180C 207 BPL CYCLE3 ;2eme PARTIE DU CYCLE
8116 A949 208 LDA #49
8118 8DFE7F 209 STA #0
811B 201880 210 JSR INIT
811E 20E2FB 211 JSR #FE2
8121 60 212 RTS
8122 A900 213 CYCLE3 LDA #00 ;DRAP0 FIN DU CYCLE
8124 8DFA7F 214 STA DRAP0
8127 60 215 RTS
8128 216 =====

```

```

8128 216 =====
8128 217 ;MESURE DU CHAMP (COURANT BOB)
8128 218 ; DE L'AMPLITUDE DE VIB.
8128 219 ; DU COURANT THERMOMETRE
8128 220 ; DU NIVEAU D'HELIUM
8128 221 ; DE LA RESISTANCE THERM
8128 222 ; DE LA TENSION BOBINE
8128 223 =====
8128 A5ED 224 ;MESURE LDA VOIE ;SAVE VOIE ET GAIN SIGNAL
8129 85FC 225 STA SIVOIE
812C A5EC 226 LDA GAIN
812E 85FD 227 STA SIGAIN
8130 A5D7 228 MESR1 LDA TRVOIE ;MESURE LA RESISTANCE THERMOMETRE
8132 85ED 229 STA VOIE
8134 A5D6 230 LDA TRGAIN
8136 85EC 231 STA GAIN
8138 205880 232 JSR AQUISI
8139 A508 233 LDA #8
813D 80F87F 234 STA TEMP
8140 A509 235 LDA #9
8142 80F97F 236 STA TEMP+1
8145 A5EE 237 MESR LDA CHGAIN ;MESURE LE COURANT BOBINE
8147 85EC 238 STA GAIN
8149 A5EF 239 LDA CHVOIE
814B 85ED 240 STA VOIE
814D 205880 241 JSR AQUISI
8150 A508 242 LDA #8
8152 80EC7F 243 STA CHAMP
8155 A509 244 LDA #9
8157 80ED7F 245 STA CHAMP+1
815A A5FA 246 MESI LDA ITVOIE ;MESURE LE COURANT THERMOMETRE
815C 85ED 247 STA VOIE
815E A526 248 LDA #26
8160 85EC 249 STA GAIN
8162 205880 250 JSR AQUISI
8165 A508 251 LDA #8
8167 805084 252 STA COURAN
816A A509 253 LDA #9
816C 805184 254 STA COURAN+1
816F A5F9 255 MESAP LDA APVOIE ;MESURE LAMPLITUDE DE VIBRATION
8171 85ED 256 STA VOIE
8173 A910 257 LDA #16
8175 85EC 258 STA GAIN
8177 205880 259 JSR AQUISI
817A A508 260 LDA #8
817C 805284 261 STA AMPLIT
817F A509 262 LDA #9
8181 805384 263 STA AMPLIT+1
8184 60 264 RTS
8185 A5D7 265 MESR2 LDA TRVOIE ;REMASURE LA RESISTANCE THERMOMETRE
8187 85ED 266 STA VOIE
8189 A5D6 267 LDA TRGAIN
818B 85EC 268 STA GAIN
818D 205880 269 JSR AQUISI
8190 38 270 SEC
8191 ADF07F 271 LDA TEMP
8194 E508 272 SBC #8
8196 80F87F 273 STA TEMP
8199 ADF97F 274 LDA TEMP+1
819C E509 275 SBC #9
819E 80F97F 276 STA TEMP+1
81A1 A5FC 277 LDA SIVOIE ;REMET LA CARTE SUR LE SIGNAL BOB. V
81A3 85ED 278 STA VOIE
81A5 A5FB 279 LDA SIGAIN
81A7 85EC 280 STA GAIN
81A9 60 281 RTS
81AA 282 =====

```



```

82F1 443 MISE EN FORME COMPATIBLE AVEC MPA
82F1 444 .....
82F1 EA 445 CTEMP NOP
82F2 ADD57F 446 CTEMP LDA VALEQU+1
82F5 290F 447 AND ##0F
82F7 494F 448 EOR ##4F
82F9 8519 449 STA CARRAC
82FB 282783 450 JSR ENVOIE
82FE 451
82FE ADD57F 452 LDA VALEQU+1
8301 4A 453 LSR
8302 4A 454 LSR
8303 4A 455 LSR
8304 4A 456 LSR
8305 493F 457 EOR ##3F
8307 8519 458 STA CARRAC
8309 282783 459 JSR ENVOIE
830C 458
830C ADD47F 461 LDA VALEQU
830F 290F 462 AND ##0F
8311 496F 463 EOR ##6F
8313 8519 464 STA CARRAC
8315 282783 465 JSR ENVOIE
8318 466
8318 ADD47F 467 LDA VALEQU
831B 4A 468 LSR
831C 4A 469 LSR
831D 4A 470 LSR
831E 4A 471 LSR
831F 495F 472 EOR ##5F
8321 8519 473 STA CARRAC
8323 282783 474 JSR ENVOIE
8326 68 475 RTS
8327 476 .....
8327 477
8327 478 ENVOIE D'UN CARACTERE
8327 479 .....
8327 78 480 ENVOIE SEI
8328 A801 481 LDY #1
832A A209 482 LDX ##9
832C 99F8C8 483 ENCORE STA #C8F8.Y
832F A80C 484 LDY ##0C
8331 88 485 DLY DEY
8332 EA 486 NOP
8333 D8FC 487 BNE DLY
8335 4619 488 LSR CARRAC
8337 2A 489 ROL
8338 2901 490 AND ##01
833A A8 491 TAY
833B CA 492 DEX
833C 88EE 493 BNE ENCORE
833E EA 494 NOP
833F 88F8C8 495 STA #C8F8
8342 A824 496 LDY ##24
8344 88 497 DEY
8345 D8FD 498 BNE *-1
8347 58 499 CLI
8348 68 500 RTS
8349 501
8349 502 .....

```

```

8349 501
8349 502 .....
8349 503 COMMANDE D'EQUILIBRAGE DU SIGNAL
8349 504 (Eliminer la composante continue)
8349 505 .....
8349 A926 506 CEGUIL LDA ##26
834B 85EC 507 STA GAIN
834D 20C181 508 JSR SYNCHR
8350 EEF507 509 INC #7F5
8353 285880 510 JSR AGUIS1
8356 285880 511 JSR AGUIS1
8359 A509 512 LDA #9
835B 100A 513 BPL CEGUI2
835D A908 514 LDA 8
835F 49FF 515 EOR ##FF
8361 8508 516 STA #8
8363 A509 517 LDA #9
8365 49FF 518 EOR ##FF
8367 A285 519 CEGUI2 LDX ##5
8369 4A 520 LSR
836A 6608 521 RDR #8
836C CA 522 DEX
836D D0FA 523 BNE CEGUI2+2
836F AA 524 TAX
8370 F804 525 BEQ CEGUI3
8372 85FF 526 LDA ##FF
8374 8508 527 STA #8
8376 A509 528 CEGUI3 LDA #9
8378 F804 529 BEQ CEGUI1
837A 1803 530 BPL POSIT
837C 381B 531 BMT NEGA
837E 68 532 CEGUI1 RTS
837F 38 533 POSIT SEC
8380 ADD47F 534 LDA VALEQU
8383 E508 535 SBC #8
8385 88D47F 536 STA VALEQU
8388 ADD57F 537 LDA VALEQU+1
838B E308 538 SBC #8
838D 88D57F 539 STA VALEQU+1
8390 28F182 540 JSR CTEMP
8393 28F182 541 JSR CTEMP
8396 4CA983 542 JMP CEGUIL
8399 E509 543 NEGA INC #9
839B F8E1 544 BEQ CEGUI1
839D 18 545 CLC
839E ADD47F 546 LDA VALEQU
83A1 6508 547 ADC #8
83A3 88D47F 548 STA VALEQU
83A6 ADD57F 549 LDA VALEQU+1
83A9 6908 550 ADC #8
83AB 88D57F 551 STA VALEQU+1
83AE 28F182 552 JSR CTEMP
83B1 28F182 553 JSR CTEMP
83B4 4CA983 554 JMP CEGUIL
83B7 555
83B7 556 .....

```

```

83D9 574 ;#####
83D9 575 ; INITIALISATION DE DEPART
83D9 576 ;#####
8400 577 ORG #8400
8400 578 OBJ #C00
8400 80F7C0 579 STA #C0F7
8403 80F5C0 580 STA #C0F5
8406 A2FF 581 LDX #FF
8408 CA 582 RAZ DEX
8409 00FD 583 BNE RAZ
840B 80F6C0 584 STA #C0F6
840E 80F4C0 585 STA #C0F4
8411 A900 586 LDA #0
8413 80DA7F 587 STA #7FDA
8416 80DB7F 588 STA #7FDB
8419 80DC7F 589 STA #7FDC
841C 80DD7F 590 STA #7FDD
841F 80CD7F 591 STA #7FCD
8422 490F 592 EOR #0F
8424 80EA7F 593 STA #7FEA
8427 A904 594 LDA #4
8429 85ED 595 STA VOIE
842B 85EB 596 STA N8MES
842D 85FC 597 STA SIVOIE
842F A906 598 LDA #6
8431 85D7 599 STA TRVOIE
8433 A926 600 LDA #26
8435 85EE 601 STA CHGAIN
8437 A908 602 LDA #8
8439 85EF 603 STA CHVOIE
843B A916 604 LDA #16
843D 85D6 605 STA TRGAIN
843F A90C 606 LDA #C
8441 85F9 607 STA APVOIE
8443 A90E 608 LDA #E
8445 85FA 609 STA ITVOIE
8447 A936 610 LDA #36
8449 85FB 611 STA SIGAIN
844B 612 ;
844B 613 RTS

```

INT

```

84C5 51 ;Programme lancement horloge
84C5 A967 52 APPEL LDA #67
84C8 80FE03 53 STA #3FE
84CB A984 54 LDA #84
84CD 80FF03 55 STA #3FF
84D0 A900 56 LDA #0
84D2 80B1C0 57 STA #C0B1
84D5 A9FF 58 LDA #FF
84D7 80B0C0 59 STA #C0B0
84DA A904 60 LDA #4
84DC 80B1C0 61 STA #C0B1
84DF A900 62 LDA #0
84E1 851F 63 STA #1F
84E3 80B0C0 64 STA #C0B0
84E5 80B1C0 65 STA #C0B1
84E9 80B0C0 66 STA #C0B0
84EE A935 67 LDA #35
84EE 80B1C0 68 STA #C0B1
84F1 60 69 RTS

```

INT

!ASM HORLOGE

##END OF PASS 1
##END OF PASS 2

```

8467 1 ORG #8467
8467 2 OBJ #800
8467 3 SEC EQU #8460
8467 4 MIN EQU #8461
8467 5 HEURE EQU #8462
8467 6 JOUR EQU #8463
8467 7 MOIS EQU #8464
8467 8 FLGREG EQU #8465
8467 861E 9 STX #1E
8469 841D 10 STY #1D
846B 80B0C0 11 LDA #C0B0
846E AA 12 TAX
846F 38 13 SEC
8470 E51F 14 SBC #1F
8472 861F 15 STX #1F
8474 AA 16 TAX
8475 A900 17 LDA #0
8477 EE60B4 18 SCD INC SEC
847A A93C 19 LDA #3C
847C 38 20 SEC
847D ED60B4 21 SBC SEC
8480 D02D 22 BNE CONT
8482 80C0B4 23 STY SEC
8485 EE5184 24 INC MIN
8488 A93C 25 LDA #3C
848A ED6184 26 SBC MIN
848D D02D 27 BNE CONT
848F 80C184 28 STY MIN
8492 EE5284 29 INC HEURE
8495 A918 30 LDA #18
8497 ED6284 31 SBC HEURE
849A D813 32 BNE CONT
849C 80C284 33 STY HEURE
849F EE5384 34 INC JOUR
84A2 A91F 35 LDA #1F
84A4 ED6384 36 SBC JOUR
84A7 D806 37 BNE CONT
84A9 80C384 38 STY JOUR
84AC EE5484 39 INC MOIS
84AF CA 40 CONT DEX
84B0 D4C5 41 BNE SCD
84B2 CE8584 42 DEC #84B5
84B5 D408 43 BNE FIN
84B7 EE5584 44 INC FLGREG
84BA A902 45 LDA #2
84BC 80B584 46 STA #84B5
84BF A545 47 FIN LDA #45
84C1 861E 48 LDX #1E
84C3 841D 49 LDY #1D
84C5 40 50 RTI

```

!ASM

**END OF PASS 1
**END OF PASS 2

8525	1	ORG	#8525
8525	2	OBJ	#888
8525	3	:	
8525	4	COEFP	EDU #8580
8525	5	COEFL	EDU #8582
8525	6	COEFD	EDU #8584
8525	7	COVH	EDU #8586
8525	8	MAXI	EDU #8588
8525	9	INTEG	EDU #851A
8525	10	COVN	EDU #851B
8525	11	VBOITE	EDU #8520
8525	12	CHAUF	EDU #8514
8525	13	DT	EDU #8512
8525	14	VNPREC	EDU #8518
8525	15	:	
8525	20CB85	16	JSR MESURT
8525	20C685	17	JSR REGUL
8525	20FB85	18	JSR ACTION
8525	60	19	RTS
8525	20	:	
8525	A230	21	RAZ LDX ##30
8531	80FDC0	22	STA #C0FD
8534	80FFC0	23	STA #C0FF
8537	CA	24	DEX
8538	D0FD	25	BNE +1
8538	80FDC0	26	STA #C0FC
8538	80FEC0	27	STA #C0FE
8540	A900	28	LDA ##00
8542	802085	29	STA VBOITE
8545	802185	30	STA VBOITE+1
8548	801A85	31	STA INTEG
8548	801B85	32	STA INTEG+1
854E	801485	33	STA CHAUF
8551	801585	34	STA CHAUF+1
8554	801685	35	STA CHAUF+2
8557	801885	36	STA VNPREC
855A	801985	37	STA VNPREC+1
855D	20E2F0	38	JSR #FB2
8560	60	39	RTS
8561	40	:	
8561	41	:	
8561	A210	42	MULTIP LDX ##10
8563	A507	43	LDA #7
8565	3023	44	BMI NEG
8567	A900	45	LDA ##0
8569	8503	46	STA #3
856B	8502	47	STA #2
856D	4605	48	LSR #5
856F	6604	49	ROR #4
8571	9000	50	BCC PAIR
8573	18	51	CLC
8574	A606	52	LDA #6
8576	6502	53	ADC #2
8578	8502	54	STA #2
857A	A507	55	LDA #7
857C	6503	56	ADC #3
857E	8503	57	STA #3
8580	4603	58	PAIR LSR #3
8582	6602	59	ROR #2
8584	6601	60	ROR #1
8586	CA	61	DEX
8587	D0EA	62	BNE MULTIP+4C
8589	60	63	RTS
858A	A9FF	64	NEG LDA #FF
858C	8503	65	STA #3
858E	8502	66	STA #2
8590	4605	67	LSR #5
8592	6604	68	ROR #4
8594	9000	69	BCC PAIRN
8596	18	70	CLC
8597	A506	71	LDA #6
8599	6502	72	ADC #2
859B	8502	73	STA #2
859D	A507	74	LDA #7
859F	6503	75	ADC #3
85A1	8503	76	STA #3
85A3	38	77	PAIRN SEC
85A4	6603	78	ROR #3
85A6	6602	79	ROR #2
85A8	6601	80	ROR #1
85AA	CA	81	DEX
85AB	D0E3	82	BNE NEG+6
85AD	60	83	RTS
85AE	84	:	

85AE	A211	85	DIVISE	LDX ##11
85B0	A501	86	LDA #1	
85B2	C503	87	CMP #3	
85B4	9004	88	BCC PAI	
85B6	E503	89	SBC #3	
85B8	8501	90	STA #1	
85BA	2604	91	PAIR ROL #4	
85BC	2605	92	ROL #5	
85BE	0600	93	ASL #0	
85C0	2601	94	ROL #1	
85C2	CA	95	DEX	
85C3	D0EB	96	BNE DIVISE+2	
85C5	60	97	RTS	
85C6	58	:		
85C6	AD1085	99	REGUL LDA COVN	
85C9	8506	100	STA #6	
85CB	AD1185	101	LDA COVN+1	
85CE	8507	102	STA #7	
85D0	AD0085	103	LDA COEFP	
85D3	8504	104	STA #4	
85D5	AD0185	105	LDA COEFP+1	
85D8	8505	106	STA #5	
85DA	20E185	107	JSR MULTIP	
85DD	A501	108	LDA #1	
85DF	8D1485	109	STA CHAUF	
85E2	A502	110	LDA #2	
85E4	8D1585	111	STA CHAUF+1	
85E7	A503	112	LDA #3	
85E9	8D1685	113	STA CHAUF+2	
85EC	AD1285	114	LDA DT	
85EF	8504	115	STA #4	
85F1	A900	116	LDA #90	
85F3	8505	117	STA #5	
85F5	20E185	118	JSR MULTIP	
85F8	A501	119	LDA #1	
85FA	8506	120	STA #6	
85FC	A502	121	LDA #2	
85FE	8507	122	STA #7	
8600	AD0285	123	LDA COEFL	
8603	8504	124	STA #4	
8605	AD0385	125	LDA COEFL+1	
8608	8505	126	STA #5	
860A	20E185	127	JSR MULTIP	
860D	18	128	CLC	
860E	AD1A85	129	LDA INTEG	
8611	6501	130	ADC #1	
8613	8D1A85	131	STA INTEG	
8616	AD1B85	132	LDA INTEG+1	
8619	6502	133	ADC #2	
861B	8D1B85	134	STA INTEG+1	
861E	A900	135	LDA ##00	
8620	AA	136	TAX	
8621	6503	137	ADC #3	
8623	8503	138	STA #3	
8625	3000	139	BMI ++F	
8627	D008	140	BNE ++F	
8629	AD1B85	141	LDA INTEG+1	
862C	C00985	142	CMP MAXI+1	
862F	900E	143	BCC ++#10	
8631	AE0985	144	LDX MAXI+1	
8634	8E1085	145	STX INTEG+1	
8637	20E2F0	146	JSR #FB2	
863A	A900	147	LDA #90	
863C	8D1A85	148	STA INTEG	
863F	18	149	CLC	
8640	AD1A85	150	LDA INTEG	
8643	8D1A85	151	ADC CHAUF	
8646	8D1A85	152	STA CHAUF	
8649	AD1B85	153	LDA INTEG+1	
864C	8D1585	154	ADC CHAUF+1	
864F	8D1585	155	STA CHAUF+1	
8652	A500	156	LDA ##00	
8654	8D1685	157	ADC CHAUF+2	
8657	8D1685	158	STA CHAUF+2	
865A	AD1285	159	LDA DT	
865D	F03D	160	BEG FINIR	
865F	8503	161	STA #3	
8661	A900	162	LDA #90	
8663	8502	163	STA #2	
8665	8501	164	STA #1	
8667	AD0485	165	LDA COEFD	
866A	8500	166	STA #0	
866C	20AE85	167	JSR DIVISE	
866F	38	168	SEC	
8670	AD1885	169	LDA VNPREC	
8673	ED1085	170	SBC COVN	
8676	8506	171	STA #6	
8678	AD1985	172	LDA VNPREC+1	
867B	ED1185	173	SBC COVN+1	
867E	8507	174	STA #7	
8680	20E185	175	JSR MULTIP	

8683	18	176	CLC
8684	A501	177	LDA #1
8685	801485	178	ADC CHAUF
8689	801485	179	STA CHAUF
868C	A502	180	LDA #2
868E	801585	181	ADC CHAUF+1
8691	801585	182	STA CHAUF+1
8694	A503	183	LDA #3
8696	801685	184	ADC CHAUF+2
8699	801685	185	STA CHAUF+2
869C	A200	186	FINIR LDX #0
869E	801685	187	LDA CHAUF+2
86A1	3A00	188	BMI ++#F
86A3	D008	189	BNE ++#A
86A5	801585	190	LDA CHAUF+1
86A8	C00985	191	CMP MAXI+1
86AB	9A0E	192	BCC ++#10
86AD	A00985	193	LDX MAXI+1
86B0	8E1585	194	STX CHAUF+1
86B3	20E2FB	195	JSR #FB2
86B5	A500	196	LDA #0
86B8	801485	197	STA CHAUF
86BB	801085	198	LDA COVN
86BE	801885	199	STA VNPRES
86C1	801185	200	LDA COVN+1
86C4	801985	201	STA VNPRES+1
86C7	80	202	RTS
86C8	80	203	*****
86CB	A900	204	MESURT LDA #0
86CA	8500	205	STA #0
86CC	8501	206	STA #1
86CE	A004	207	LDY #4
86D0	A916	208	LDA #16
86D2	80DAC0	209	STA #C0DA
86D5	A00BC0	210	LDA #C0DB
86D8	A218	211	LDX #18
86DA	E901	212	SBC #1
86DC	D0FC	213	BNE #-2
86DE	CA	214	DEX
86DF	D0F9	215	BNE #-5
86E1	A0DAC0	216	LDA #C0DA
86E4	290F	217	AND #0F
86E5	AA	218	TAX
86E7	18	219	CLC
86E8	A00BC0	220	LDA #C0DB
86EB	8500	221	ADC #0
86ED	8500	222	STA #0
86EF	8A	223	TXA
86F0	8501	224	ADC #1
86F2	8501	225	STA #1
86F4	88	226	DEY
86F5	D009	227	BNE MESURT+8
86F7	205587	228	JSR TRANT
86FA	80	229	RTS
86FB	80	230	*****
86FB	38	231	ACTION SEC
86FC	801485	232	LDA CHAUF
86FF	E02085	233	SBC VBOITE
8702	AA	234	TAX
8703	801585	235	LDA CHAUF+1
8706	E02185	236	SBC VBOITE+1
8709	AA	237	TAY
870A	D001	238	BNE ENCORE-4
870C	8A	239	TXA
870D	F01A	240	BEG SORTIE
870F	D019	241	BEG SORTIE+1
8711	80FDC0	242	ENCORE STA #C0FD
8714	80FDC0	243	STA #C0FD
8717	EB	244	INX
8718	D0F7	245	BNE ENCORE
871A	CA	246	INY
871B	D0FA	247	BNE ENCORE
871D	801485	248	LDA CHAUF
8720	802085	249	STA VBOITE
8723	801585	250	LDA CHAUF+1
8726	802185	251	STA VBOITE+1
8729	80	252	SORTIE RTS
872A	88	253	TYA
872B	49FF	254	EDR ##FF
872D	88	255	TAY
872E	8A	256	TXA
872F	49FF	257	EDR ##FF
8731	AA	258	TAX
8732	EB	259	INX
8733	D001	260	BNE MORE
8735	CA	261	INY
8736	80FFC0	262	MORE STA #C0FF
8739	80FFC0	263	STA #C0FF
873C	EB	264	INX
873D	D0F7	265	BNE MORE
873F	CA	266	INY

8740	D0FA	267	BNE MORE
8742	801485	268	LDA CHAUF
8745	802085	269	STA VBOITE
8748	801585	270	LDA CHAUF+1
874B	802185	271	STA VBOITE+1
874E	88	272	RTS
874F	EA	273	NOP
8750		274	1:000000000000000000000000000000
8750		275	1
8750		276	1SUBROUTINES UTILISEES
8750		277	FSUB EQU #E7A7
8750		278	FSUBT EQU #E7AA
8750		279	FADD EQU #E7BE
8750		280	FRODT EQU #E7C1
8750		281	LOG EQU #E941
8750		282	FMULT EQU #E97F
8750		283	FMULTT EQU #E982
8750		284	FDIV EQU #EA66
8750		285	FDIVT EQU #EA69
8750		286	MUL10 EQU #EA39
8750		287	MOVFM EQU #EAF9
8750		288	MOVZF EQU #EB1E
8750		289	MOVIF EQU #EB21
8750		290	MOVVF EQU #EB28
8750		291	MOVFA EQU #EB53
8750		292	MOVAF EQU #EB63
8750		293	SIGN EQU #EB82
8750		294	QINT EQU #EBF2
8750		295	GIVAYF EQU #E2F2
8750		296	1.....
8750		297	1
8750	8548C	298	A3 HEX 8548C8B44
8753	8044		
8755	89E5C5	299	A2 HEX 89E5C56D0
8758	8600		
875A	8C30A0	300	A1 HEX 8C30A00000
875D	8000		
875F	808589	301	A0 HEX 808589999A
8762	999A		
8764		302	1
876A	EA	303	NOP
8765	A950	304	TRANT LDA #50
8767	85FE	305	STA #FE
8768	A9B7	306	LDA #B7
876B	85FF	307	STA #FF
876D	A501	308	LDA #1
876F	A400	309	LDY #0
8771	20F2E2	310	JSR #E2F2
8774	2039EA	311	JSR MUL10
8777	2063EB	312	JSR #EB63
877A	A900	313	LDA #0
877C	A025	314	LDY #25
877E	20F2E2	315	JSR #E2F2
8781	2063EA	316	JSR #EB63
8784	2041E9	317	JSR #E941
8787	A28A	318	LDX #8A
8789	A000	319	LDY #0
878B	2028EB	320	JSR #EB28
878E	A5FE	321	LDA #FE
8790	A0FF	322	LDY #FF
8792	207FEB	323	JSR FMULT
8795	A202	324	LDX #2
8797	8600	325	STX #0
8799	40A3B7	326	JMP UN
879C	A98A	327	CALCUL LDA #8A
879E	A000	328	LDY #0
87A0	207FEB	329	JSR FMULT
87A3	18	330	UN CLC
87A4	A5FE	331	LDA #FE
87A6	6905	332	ADC #65
87A8	85FE	333	STA #FE
87AA	A5FF	334	LDA #FF
87AC	6900	335	ADC #0
87AE	85FF	336	STA #FF
87B0	A5FE	337	LDA #FE
87B2	A0FF	338	LDY #FF
87B4	20BEE7	339	JSR #E7BE
87B7	C600	340	DEC #0
87B9	10E1	341	BPL CALCUL
87BB	2039EA	342	JSR #EA39
87BE	2039EA	343	JSR #EA39
87C1	20F2EB	344	JSR QINT
87C4	38	345	SEC
87C5	A00E85	346	LDA CONS
87C8	EA01	347	SBC #A1
87CA	801085	348	STA COVN
87CD	A00785	349	LDA CONS+1
87D0	EA00	350	SBC #A0
87D2	801185	351	STA COVN+1
87D5	60	352	RTS
		353	END

1MULTIPLIE LE FAC PAR 10

M'SIRDI KOUIDER NACER

DOCTORAT DE TROISIEME CYCLE, SPECIALITE ELECTRONIQUE

I.N.P.G. - E.N.S. ELECTRONIQUE & RADIOÉLECTRICITÉ DE

RESUME

En vue de son automatisation, le dispositif de mesure d'aimantation en fonction du champ et de la température est présenté dans le premier chapitre, ainsi que les organes utiles pour les commandes et les mesures numériques.

Le second chapitre présente la structure et les procédures de la commande numérique appropriée à ce dispositif.

Une méthode d'acquisition et de coordination des commandes est proposée dans le chapitre 3 afin d'obtenir des courbes d'aimantation et de susceptibilité.

L'étude physique d'échantillons de DyVo4 est réalisée dans le quatrième chapitre, en vue de présenter les avantages et les premiers résultats fournis par le système automatisé. Elle a permis en outre de mettre en évidence la structure polydomaines de DyVo4 pour des températures supérieures à la température d'ordre.

MOTS-CLES

AUTOMATISATION - DISPOSITIF DE MESURE D'AIMANTATION - IMPLANTATION DE LA COMMANDE NUMERIQUE - MESURES SUR DyVo4 - AIMANTATION - SUSCEPTIBILITE.

