

# THESE

17/91

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**

**DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE**

Présentée : par H. **ESCID** HAMMOUDI

Pour l'Obtention du diplôme de  
**MAGISTER en Electronique Appliquée**  
Option : Acquisition et Traitement

**Conception et Réalisation d'Une Chaine  
d'Acquisition de Données R.M.N et Mesure du  
Temps de Relaxation Spin-Réseau**

soutenue le 16-03-91 devant la Commission d'Examen :

Président.	A. CHEKIMA	Professeur
Rapporteur	B. DERRAS	Maitre Assistant
Examineurs	M. HADDADI	Chargé de Cours
	A. FARAH	Maitre de Conférence

# THESE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Présentée : par H. ESCID HAMMOUDI

Pour l'Obtention du diplôme de  
**MAGISTER en Electronique Appliquée**

Option : Acquisition et Traitement

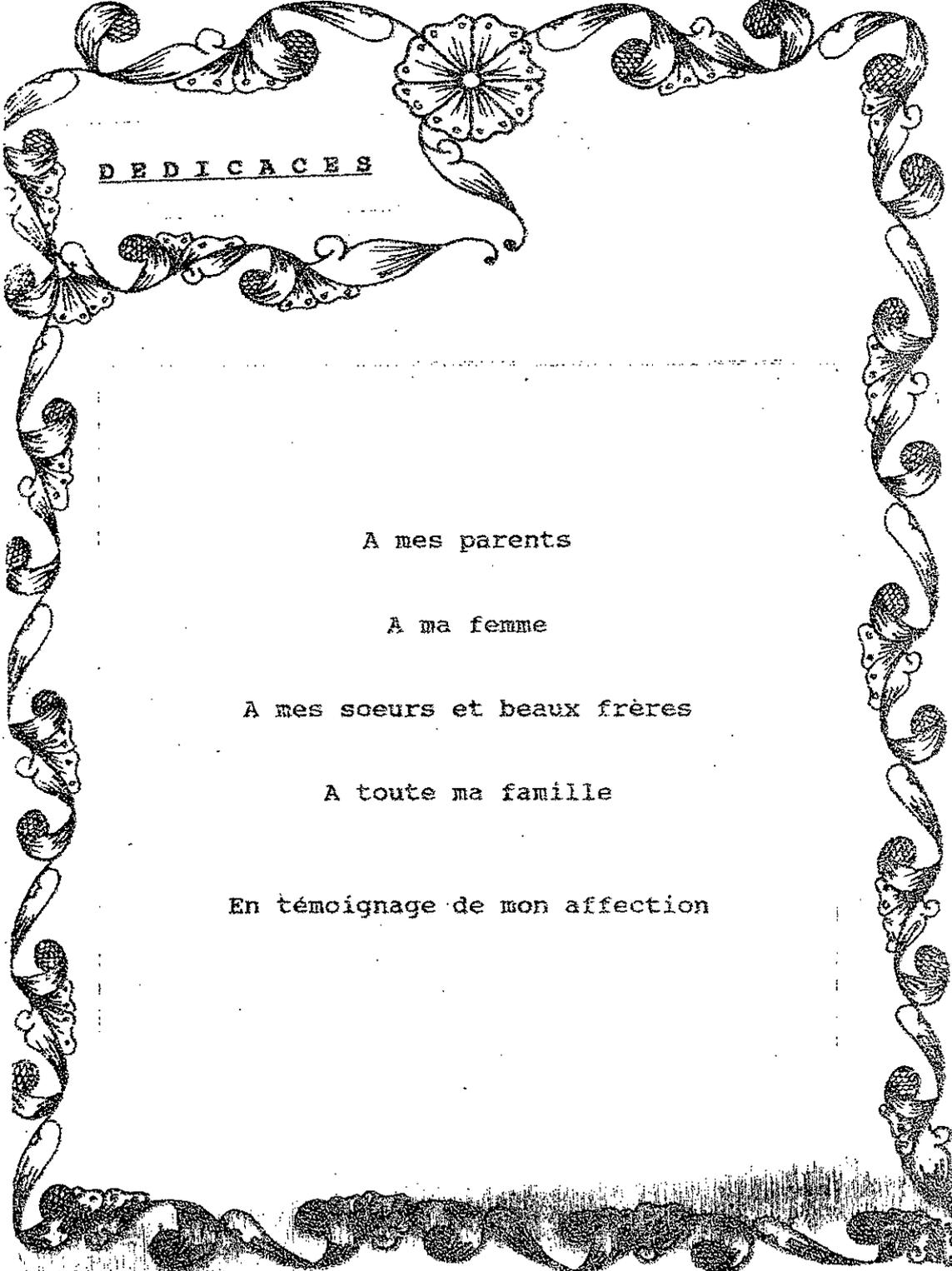
## Conception et Réalisation d'Une Chaîne d'Acquisition de Données R.M.N et Mesure du Temps de Relaxation Spin-Réseau

soutenue le 16-03-91 devant la Commission d'Examen :

Président	A. CHEKIMA	Professeur
Rapporteur	B. DERRAS	Maitre Assistant
Examineurs	M. HADDADI	Chargé de Cours
	A. FARAH	Maitre de Conférence

قال المؤلف الى

لم أنه الحق • صدق الباطع العظيم  
وفي انفسهم ، صفتين  
الخير ، اجتمعا في الالفان



DEDICACES

A mes parents

A ma femme

A mes soeurs et beaux freres

A toute ma famille

En témoignage de mon affection

## REMERCIEMENTS

A l'occasion de la présentation de cette thèse, il m'est particulièrement agréable d'exprimer au Dr R. PUVVADA, mon directeur de recherche, ma profonde gratitude pour la sollicitude avec laquelle il m'a prodigués tout le long de ce travail, pour son dévouement et son sérieux, tout en soulignant la grande compétence dont il a fait preuve durant toute cett étude.

Nos plus vifs remerciements vont au Dr A. CHEKIMA, Professeur à l'ENPA, pour son soutien moral, matériel, ses conseils, ses remarques et ses encouragements tout au long de ce travail.

Je remercie Mr B. DERAS, chargé de cours à l'ENPA, pour ses recommandations et ses conseils. Je lui en suis très reconnaissant.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance et ma gratitude à Mr H. BEGORRE, directeur des études à l'INSEM, pour m'avoir accueilli au sein de son établissement et qui n'a ménager aucun effort pour assurer le bon déroulement de mon stage.

Il est une personne que je tiens tout particulièrement à remercier: Mr H. KHEBICHET, qui a su m'apporter son aide pour l'elaboration de ce manuscrit.

Mr S. BELKAID et S. MEKAOUI m'ont apporté un soutien moral et matériel, sans quoi l'accomplissement de ce travail aurait été difficile. Je tiens à les remercier chaleureusement.

Que tous ceux qui m'ont permis de mener à bien ce travail trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

# S O M M A I R E

	page
INTRODUCTION . . . . .	1
Chapitre I : THEORIE DE LA RMN	
I.1 : GENERALITES . . . . .	3
I.1.1- Moment cinétique et moment magnétique du noyau . . . . .	3
I.1.2- Nombre quantique de spin I . . . . .	3
I.1.3- Quantification des moments cinétique et magnétique . . . . .	4
I.2 : PRINCIPE DE LA RMN . . . . .	4
I.2.1- principe général . . . . .	4
I.2.2- Le modèle quantique . . . . .	5
a) effet d'un champ $B_0$ sur un échantillon de N atomes . . . . .	7
b) effet d'un champ $B_1$ radiofréquence . . . . .	7
I.3 : APPROCHE CLASSIQUE . . . . .	8
I.3.1- Effet d'un champ $B_0$ sur un échantillon . . . . .	9
I.3.2- Action d'un champ tournant et phénomène de résonance . . . . .	9
I.4 : NOTION DE RELAXATION . . . . .	11
I.4.1- Temps de relaxation spin-réseau . . . . .	11
I.4.2- Temps de relaxation spin-spin . . . . .	13
I.5 : SPECTROMETRE RMN . . . . .	14
I.5.1- Introduction . . . . .	14
I.5.2- Constitution et fonctionnement . . . . .	14

Chapitre II : MESURE DES TEMPS DE RELAXATION

II.1	: INTRODUCTION . . . . .	19
II.2	: TEMPS DE RELAXATION SPIN-RESEAU . . . . .	21
II.2.1-	Méthode d'inversion-récupération . . . . .	22
II.2.2-	Méthode de saturation-récupération . . . . .	23
II.2.3-	Méthode de saturation récupération progressive . . . . .	24
II.3	: TEMPS DE RELAXATION SPIN-SPIN . . . . .	25
II.3.1-	Méthode de Hahn . . . . .	25
II.3.2-	Méthode de Car-Purcell . . . . .	26
II.3.3-	Méthode de Meiboom-Gill . . . . .	28

Chapitre III : CONCEPTION ET REALISATION DE LA CARTE  
D'ACQUISITION

III.1	: INTRODUCTION . . . . .	29
III.2	: DESCRIPTION DU MICROPROCESSEUR 8086 . . . . .	31
III.3	: ECHANTILLONNEUR BLOQUEUR . . . . .	32
III.4	: CONVERTISSEUR ANALOGIQUE NUMERIQUE . . . . .	33
III.5	: INTERFACAGE DE LA CARTE . . . . .	34
III.5.1-	Interface de périphérique programmable . . . . .	35
III.5.2-	Adressage de la carte . . . . .	40
III.6	: REALISATION ET FONCTIONNEMENT DE LA CARTE . . . . .	42

Chapitre IV : LOGICIELS DE GESTION DE LA CARTE  
D'ACQUISITION

IV.1	: DIALOGUE UTILISATEUR MACHINE . . . . .	47
IV.2	: FIXATION DE LA DUREE ON DE L'IMPULSION /2 . . . . .	48
IV.3	: ACQUISITION DU SIGNAL DE PRECESSION LIBRE(FID) . . . . .	49

IV.4	: DEVELOPPEMENT DE PROGRAMMES POUR LA MESURE DE T2	59
Chapitre V	: MESURE DU TEMPS DE RELAXATION SPIN-RESEAU DE TISSUS BIOLOGIQUES	
V.I	: INTRODUCTION	67
V.II	: PROGRAMME DE MESURE DE T1	68
V.3	: RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS	72
CONCLUSION		76
BIBLIOGRAPHIE		77
ANNEXES		

## N O T A T I O N S

Bo	: champ magnétique statique
B1	: champ radiofréquence d'excitation
D	: Coef de self diffusion
E/S	: entrée-sortie
FID	: free induction decay ( signal de précession libre )
G	: gradient du champ dû à la diffusion du nucléon
I	: nombre de spin nucléaire( 1/2 pour le proton)
h	: constante de Planck
hexa	: hexadécimale
hertz	: (hetrz) unité de fréquence en SI
K	: constante de Boltzmann
M	: champ magnétique macroscopique
Mo	: valeur du champ magnétique macroscopique dans Bo.
Mhz	: Megahertz
ms	: milli-seconde
Mx	: composante de M selon l'axe Ox
Mxy	: projection de M dans le plan xoy. Sa décroissance jusqu'à Mxy = 0 se fait selon la constante de temps T2.
My	: composante de M selon l'axe Oy. My=0 en l'absence d'excitation B1
Mz	: composante longitudinale de M selon l'axe Oz. Mz = Mo en l'absence d'excitation B1.
PPI	: interface de périphériques programmable
RF	: radio-fréquence
RMN	: résonance magnétique nucléaire
sec	: seconde
T1	: temps de relaxation longitudinal ou spin-reseau
T2	: temps de relaxation transverse ou spin-spin
Ton	: durée ON de l'impulsion
tw	: largeur de l'impulsion d'excitation
$\theta$	: angle de rotation du vecteur M
$\gamma$	: rapport gyromagnétique caractéristique du noyau
$\mu$	: moment magnétique nucléaire élémentaire
$\mu P$	: microprocesseur
$\mu s$	: micro-seconde
$\tau$	: temps séparant deux impulsions dans une séquence
$\omega$	: vitesse angulaire
$\omega_L$	: vitesse angulaire correspondant à la fréquence de Larmor

## I N T R O D U C T I O N

Découverte en 1946 par deux groupes de chercheurs: PURCELL, TORREY et POUND [1],[4] d'une part, BLOCH, HANSEN et PACKARD [2],[4], d'autre part, la résonance magnétique nucléaire donna vite naissance à une spectroscopie de composés organiques hydrogénés. C'est en 1973 que DAMADIAN [3] étudia la résonance magnétique nucléaire de tissus biologiques et montra que les temps de relaxations protonique de certains tissus pathologiques différaient de ceux des mêmes tissus sains. C'est également en 1973 que LAUTERBUR, MANNFIELD et GRANNELL [1],[4] montrèrent qu'on peut obtenir l'image d'une distribution spatiale de protons contenus dans un volume donné: ce qui donna naissance à l'imagerie par RMN. Cette dernière consiste en la mesure de la concentration en proton ( donc en eau ) du tissu exploré mais surtout des temps de relaxation en chaque point de l'échantillon.

L'effort a porté sur l'interprétation du temps de relaxation longitudinale  $T_1$ , dans le but de distinguer les tissus sains des tissus malades, par conséquent corréler les résultats RMN et le diagnostic médical.

L'outil informatique permettant la commande du système, l'élaboration des différentes séquences d'impulsions et l'exploitation rapide des informations recueillies est largement associé au développement des spectromètres RMN. C'est dans cette optique qu'il m'a été confié la réalisation d'une carte d'interface entre un spectromètre RMN et un compatible IBM-PC (AMSTRAD 1512). Ainsi que la mesure du temps de relaxation spin-réseau ( $T_1$ ), [7] et le développement de programmes pour la mesure du temps de relaxation spin-spin ( $T_2$ ), [5],[7].

Le travail de ce projet de thèse, contient trois parties :

- Dans la première partie nous avons procédé à une étude théorique de la R.M.N. Cette partie est organisée en deux chapitres. Dans le premier, nous exposons les concepts de base de la résonance magnétique nucléaire. Le second est consacré à l'étude des différentes méthodes de mesure des temps de relaxation.

- Dans la deuxième partie, l'objectif fixé est la conception et la réalisation d'une chaîne d'acquisition de données. Le but étant d'opérer des acquisitions rapides et précises du signal de précession libre ( Free Induction Decay).

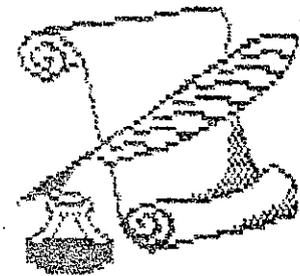
- La troisième partie de ce travail est consacrée au développement de logiciels de gestion en assembleur 8086 de la chaîne d'acquisition et aux mesures en temps réel du temps T1 sur des échantillons biologiques par la méthode de saturation récupération progressive, ainsi que le développement de programmes spécifiques à la mesure du temps T2 par les méthodes de CARR-PURCELL et HANN.

Enfin nous présentons au chapitre V les résultats expérimentaux obtenus pour divers échantillons biologiques.



# Chapitre

1



I.1 GENERALITESI.1.1- Moment cinétique et moment magnétique du noyau

Tout comme les électrons, protons et neutrons sont animés d'un mouvement de rotation sur eux même, ce qui engendre deux moments colinéaires [9],[5]:

- Un moment cinétique de spin  $\vec{I}$  dû à la rotation du noyau autour de lui même.
- Un moment magnétique de spin  $\vec{\mu}$  résultat de la rotation de la charge positive du proton.

Ils sont liés par la relation[5]:  $\vec{\mu} = \gamma \cdot \vec{I}$  (1)

ou  $\gamma$  représente le rapport gyromagnétique

I.1.2- Nombre quantique de spin I

A la résultante des moments cinétiques élémentaires est associé un nombre quantique de spin nucléaire total I. Ce dernier ne peut prendre que certaines valeurs dépendant de A, nombre de masse et de Z, nombre atomique [28].

Les différentes possibilités sont:

- A pair, Z pair : I=0, le noyau ne possède pas de moment magnétique
- A impair : I est multiple de 1/2
- A pair, Z impair : I est un nombre entier

I.1.3- Quantification des moments cinétique et magnétique

Les deux moment nucléaires (relatif au noyau) sont quantifiés[28]

$$|\vec{I}| = \sqrt{I(I+1)} \cdot h / 2\pi \quad (2)$$

$$|\vec{\mu}| = \gamma \cdot \sqrt{I(I+1)} \cdot h / 2\pi \quad (3)$$

Les propriétés magnétiques d'un noyau isolé placé dans un champ magnétique se déterminent d'après les principes généraux de la mécanique quantique, à partir du nombre quantique de spin  $I$  [5].

Dans un champ magnétique externe de direction  $Oz$ , les noyaux qui ont un spin  $I$  non nul possèdent à la fois un moment cinétique dont la composante mesurable suivant  $Oz$ :

$V_z = m_s \hbar$  peut prendre les  $(2I+1)$  valeurs données par:

$$m_s = I, I-1, \dots, -I+1, -I$$

ou  $m_s$  représente le nombre quantique magnétique

$$\hbar = h/2\pi$$

et un moment magnétique dont la composante mesurable

$M_z = m_s \cdot \mu/I$  peut prendre elle aussi  $(2I+1)$  valeurs

- pour  $I = 1/2$ ,  $m_s$  a 2 valeurs possibles :  $-1/2$ ,  $+1/2$

- pour  $I = 1$ ,  $m_s$  a 3 valeurs possibles :  $-1$ ,  $0$ ,  $1$

## 1.2 PRINCIPE DE LA RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE

La Résonance Magnétique Nucléaire consiste à détecter les variations d'aimantation des noyaux d'une substance sous l'action d'un champ magnétique et d'une onde électromagnétique.

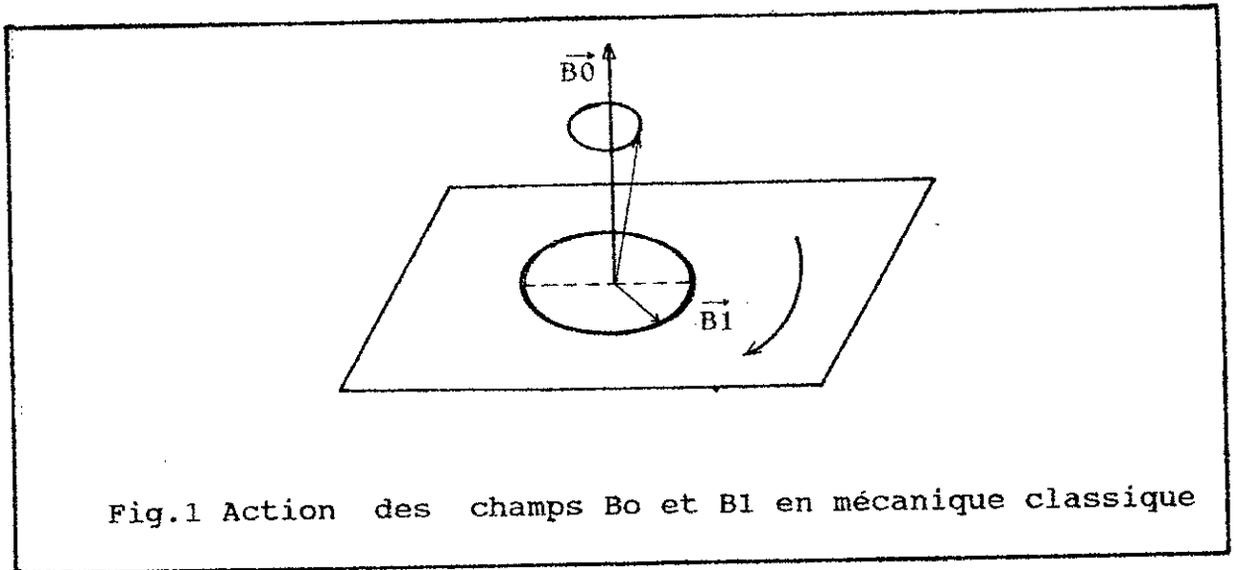
### 1.2.1 PRINCIPE GENERAL

Le moment magnétique d'une population de noyaux placée dans un champ magnétique  $B_0$  constitue un véritable oscillateur caractérisé par une fréquence propre. Cet oscillateur qui est soumis à l'action d'une onde électromagnétique, absorbe son énergie et cette absorption est maximale lorsque sa fréquence est égale à la fréquence propre de l'oscillateur. L'énergie absorbée par le système magnétique est ensuite dissipée par relaxation ce qui rend le phénomène observable.

L'avantage des techniques de résonance magnétique réside dans leur grande sensibilité de permettre la mesure de cette aimantation nucléaire sous l'action d'un champ tournant de

fréquence appropriée. Pour cela, un noyau est soumis à l'action simultanée du champ  $\vec{B}_0$  fixe et du champ radiofréquence  $\vec{B}_1$  tournant autour de  $\vec{B}_0$  dans un plan perpendiculaire (Fig.1)

Les noyaux, de spin différent de 0, ont dans le champ  $\vec{B}_0$  un moment magnétique dont les orientations sont quantifiées; ceux de spin 1/2 donnent un phénomène de résonance très net et les plus étudiés sont le proton  $H^1$ , le carbone  $C^{12}$ , le fluor  $F^{19}$ , le phosphore  $P^{31}$ , et le sodium  $Na^{23}$ . L'exposé des principes de RMN sera limité au cas des noyaux de spin 1/2.



Deux modèles ont été utilisés pour décrire le phénomène R.M.N. : Le modèle quantique qui permet de mieux comprendre le phénomène à l'échelle de l'atome et le modèle classique qui permet d'écrire des équations plus simples à l'échelle macroscopique .

### I.2.2 APPROCHE QUANTIQUE

#### a) effet d'un champ $\vec{B}_0$ sur un noyau

En l'absence de champ magnétique externe, toutes les orientations du vecteur moment magnétique sont dégénérées; mais en présence d'un champ, la dégénérescence est levée [5].

Un noyau de spin 1/2, placé dans un champ  $\vec{B}_0$  a un moment magnétique  $\vec{\mu}$  qui peut prendre deux orientations différentes, parallèle ou antiparallèle au champ  $\vec{B}_0$ . A chacune de ces orientations correspond un niveau d'énergie défini par le produit scalaire

$$E = - \vec{\mu} \cdot \vec{B}_0 \quad (4)$$

$$E = - \vec{\mu} \cdot \vec{B}_0 \left\{ \begin{array}{l} * E_1 = - \mu_z \cdot B_0 \quad (\text{parallèle}) \\ * E_2 = + \mu_z \cdot B_0 \quad (\text{antiparallèle}) \end{array} \right.$$

soit:

$$\begin{aligned} E_1 &= -1/2 \cdot \gamma \cdot \hbar \cdot B_0 \\ E_2 &= +1/2 \cdot \gamma \cdot \hbar \cdot B_0 \end{aligned} \quad (5)$$

L'écart entre deux niveaux est proportionnel à  $B_0$  (Fig.2) :

$$\Delta E = \gamma \cdot \hbar \cdot B_0 \quad (6)$$

En fournissant une quantité d'énergie  $\Delta E$  apportée par des ondes électromagnétiques de fréquence  $f_0$ , il est possible d'induire des transitions d'un niveau à un autre

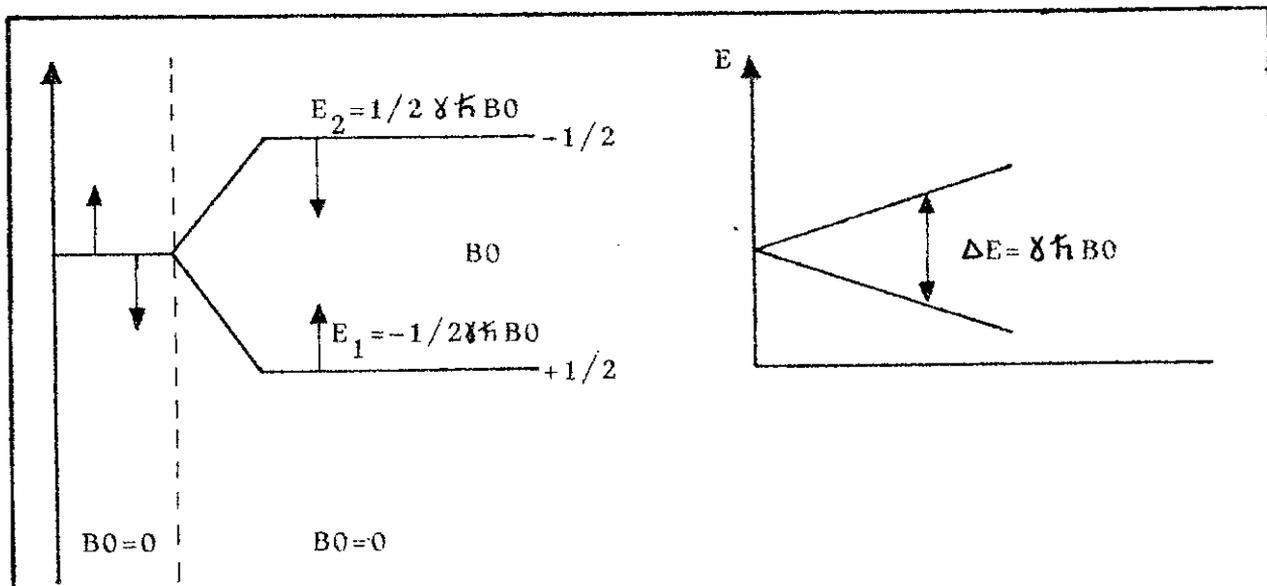


Fig.2 RMN en mécanique quantique

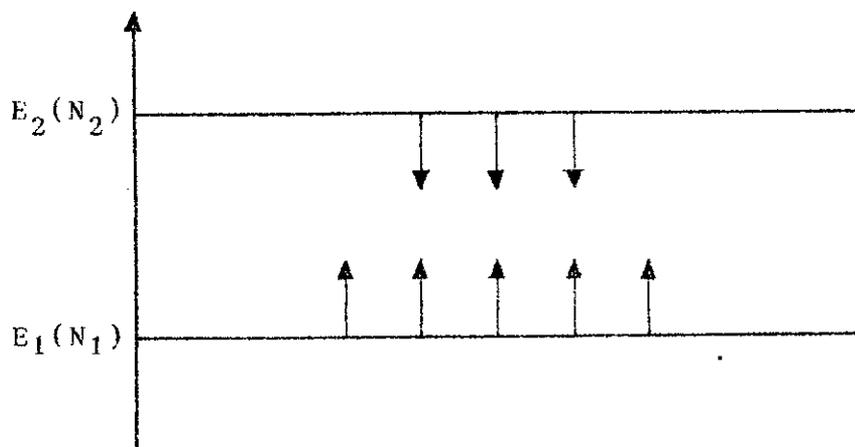


Fig.3 Répartition entre spins parallèles et antiparallèles

b) effet d'un champ  $\vec{B}_0$  sur un échantillon de N atomes

Dans le cas d'un échantillon de matière contenant N noyaux, la répartition des spins entre les 2 niveaux d'énergie se fait conformément à la distribution de BOLTZMANN qui indique que le nombre n de spins présents sur le niveau i est proportionnel à:  $\exp(-E_i/kT)$

( k constante de BOLTZMANN, T température absolue )

$$N_1 / N_2 = \exp(-(E_1 - E_2) / kT) = \exp(-\Delta E / kT) \quad (7)$$

Il y a donc plus de spins sur le niveau d'énergie le plus faible et il en résulte un moment magnétique global M dont la projection Mz sur l'axe Oz est orientée selon  $B_0$  et égale à [5]:

$$M_z = (N_1 - N_2) \cdot \mu_z = (N_1 - N_2) \cdot \gamma \cdot h / 2\pi \quad (8)$$

c) effet d'un champ  $\vec{B}_1$  radiofréquence

Le champ  $\vec{B}_1$  tourne dans un plan perpendiculaire au champ  $\vec{B}_0$  avec une pulsation:

$$\omega_0 = 2\pi f_0$$

Les photons dont l'énergie  $h \cdot f_0$  est exactement égale à l'écart entre les 2 niveaux d'énergie des moments magnétiques, sont capables d'induire des transitions du niveau énergétique inférieur au niveau énergétique supérieur (Fig.3) dans ce cas:

$$h \cdot f_0 = \gamma \cdot \hbar \cdot B_0 \quad \text{soit} \quad f_0 = \gamma \cdot B_0 / 2\pi$$

$$\text{ou} \quad \omega_0 = \gamma \cdot B_0 \quad (9)$$

Les transitions induites modifient les populations  $N_1$  et  $N_2$  des noyaux dans les états d'énergie  $E_1$  et  $E_2$  et donc la composante longitudinale

$$M_z = (N_1 - N_2) \cdot \mu_z \quad (10)$$

- si  $N_1 = N_2$ ,  $M_z = 0$  on dit qu'il y a saturation

- si on inverse les populations,  $M_z$  est négatif et opposé à  $B_0$ .

### I.2.3 APPROCHE CLASSIQUE

a)- Action d'un champ extérieur sur un noyau

Dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B}_0$ , on place un noyau en mouvement de rotation. Ce dernier sera soumis à un couple [5]:

$$\vec{\Gamma} = \vec{\mu} \wedge \vec{B}_0 \quad (11)$$

L'expression du théorème du moment cinétique dans le système d'axes ayant pour origine le centre de gravité du noyau sera :

$$d\vec{I}/dt = \vec{\mu} \wedge \vec{B}_0 \quad (12)$$

En utilisant l'expression du rapport gyromagnétique et les propriétés du produit vectoriel on aura :

$$d\vec{\mu}/dt = -\gamma \vec{B}_0 \wedge \vec{\mu} \quad (13)$$

en posant :  $\omega_0 = 2\pi f_0 = -\gamma \cdot B_0$

on aboutit à l'équation de BLOCH :

$$d\vec{\mu}/dt = \vec{\omega}_0 \wedge \vec{\mu} \quad (14)$$

Il découle de la solution de cette équation différentielle que l'extrémité du vecteur  $\vec{\mu}$  décrit un cercle d'axe  $\vec{B}_0$  à vitesse constante  $\omega_0$  (Fig.4). Ce mouvement est appelé mouvement de précession de LARMOR.

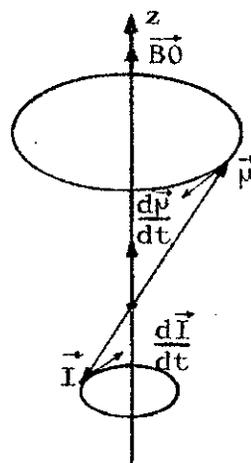


Fig.4 Mouvement de  $\vec{\mu}$  dans un champ  $\vec{B}_0$

Cette description ne tient pas compte du fait que deux orientations sont permises pour le vecteur  $\vec{\mu}$  : les positions de l'extrémité du vecteur  $\vec{\mu}$  sont donc imposées et se répartissent sur deux cônes symétriques (Fig.5); toutes les autres positions sont interdites.

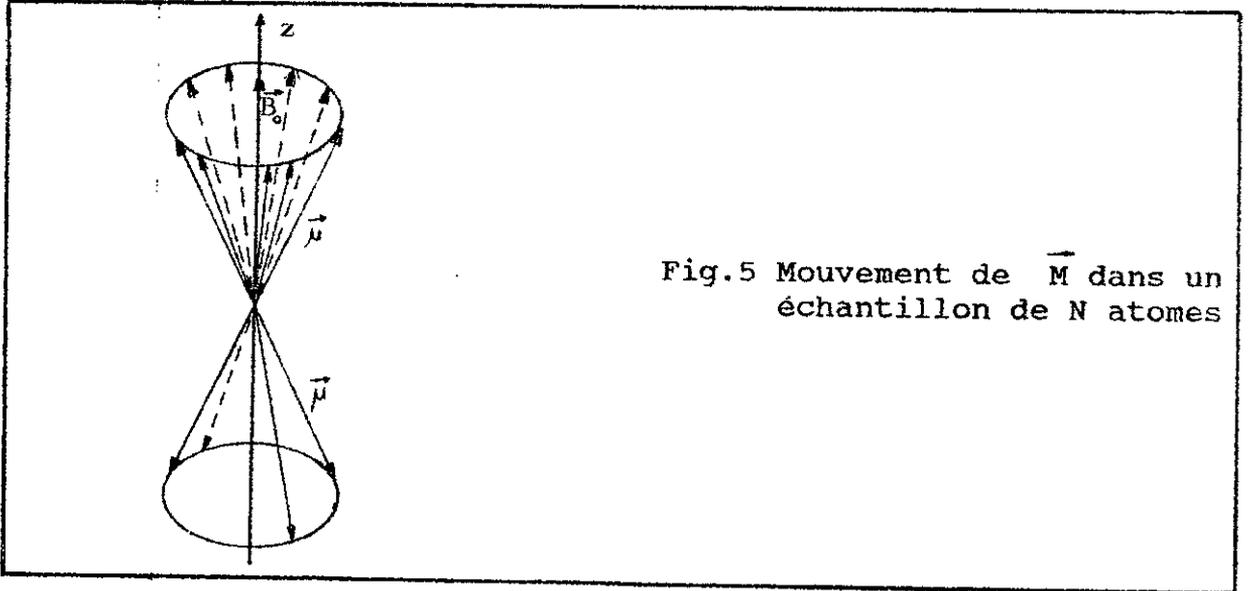


Fig.5 Mouvement de  $\vec{M}$  dans un échantillon de N atomes

b) effet d'un champ  $B_0$  sur un échantillon de N atomes

La précédente relation peut être généralisée à un grand nombre de noyaux en utilisant le vecteur aimantation global  $\vec{M}$ , obtenu par sommation vectorielle des moments magnétiques de chacun des noyaux.

$$d\vec{M}/dt = \vec{\omega}_0 \wedge \vec{M} \quad (15)$$

Il découle de la solution de cette équation différentielle que le vecteur  $\vec{M}$  décrit un mouvement gyroscopique d'axe  $Oz$  appelé mouvement de précession de LARMOR et de pulsation  $\omega_0$  [5],[9] (Fig.6).

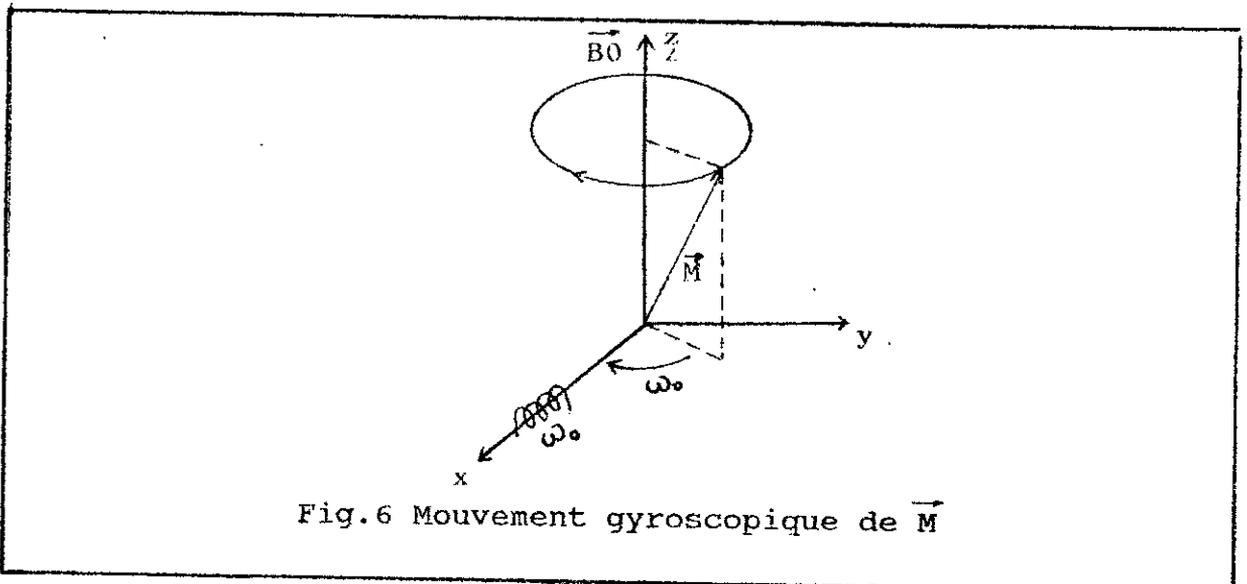


Fig.6 Mouvement gyroscopique de  $\vec{M}$

Comme pour le modèle quantique, le moment macroscopique  $\vec{M}$  est la somme des moments élémentaires des noyaux composant l'échantillon.  $N_1$  sont situés sur le cône parallèle à  $\vec{B}_0$  et  $N_2$  sur le cône de sens opposé, conformément à la distribution de BOLTZMAN. La composante selon l'axe Oz du moment M vaut:

$$M_z = (N_1 - N_2) \cdot \mu_z \quad (16)$$

Toutes les valeurs de  $M_z$  sont possibles entre  $+N \mu_z$  et  $-N \mu_z$ .

Le vecteur  $\vec{M}$  étant la somme d'un grand nombre de moments répartis de façon aléatoire autour de  $\vec{B}_0$ . La direction de  $\vec{M}$  est alignée sur  $\vec{B}_0$  à l'équilibre. Si  $\vec{M}$  est écarté de sa position d'équilibre, il précesse à la vitesse angulaire:

$$\omega_0 = -\gamma \cdot B_0 \text{ décrivant un cône d'axe } B_0.$$

### c) Action d'un champ $\vec{B}_1$ tournant

L'échantillon de matière constitué de N atomes placé dans le champ  $\vec{B}_0$ , est soumis à un champ  $\vec{B}_1$  tournant autour de  $\vec{B}_0$  à la vitesse angulaire  $\omega$ . Si  $\vec{v}$  est la résultante des moments cinétiques  $\vec{I}$  des N noyaux, le théorème du moment cinétique s'écrit en tenant compte des champs  $\vec{B}_0$  et  $\vec{B}_1$ :

$$d\vec{v} / dt = \vec{M} \wedge (\vec{B}_0 + \vec{B}_1) \quad (17)$$

soit en tenant compte de  $\vec{M} = \gamma \cdot \vec{v}$

$$d\vec{M} / dt = \vec{M} \wedge \gamma \cdot (\vec{B}_0 + \vec{B}_1) \quad (18)$$

### b)- Phénomène de résonance

Le mouvement de précession autour de  $\vec{B}_0$  à la pulsation  $\omega$  est normalement amorti, mais on démontre [5] qu'il peut être entretenu en permanence si l'on applique un champ radiofréquence de pulsation  $\omega = \omega_0$ , perpendiculaire et tournant autour de la direction de  $\vec{B}_0$ . Il transfère l'énergie du champ radiofréquence vers le gyroscope aimanté à la fréquence de résonance, et permet d'écarter le moment  $\vec{M}$  de sa position d'équilibre tout en continuant son mouvement de précession autour de  $\vec{B}_0$ . On dit qu'il y a résonance.

L'extrémité du vecteur moment magnétique va alors se déplacer le long d'une spirale inscrite sur une sphère (Fig.7).

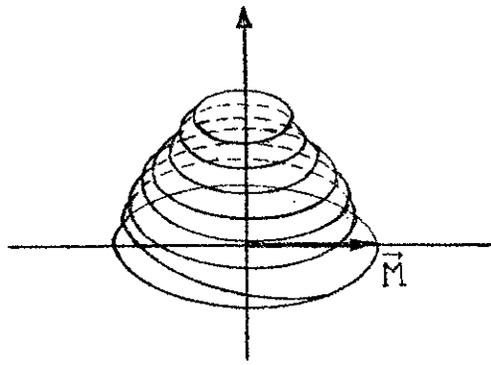


Fig.7 Mouvement du vecteur magnétisation  $\vec{M}$

### I.3 NOTION DE RELAXATION

Comme on l'a vu précédemment, l'application d'une onde électro-magnétique de fréquence  $f_0$  de LARMOR aura pour effet le basculement du moment magnétique des noyaux initialement alignés sur le champ uniforme  $B_0$ .

Quand l'excitation est arrêtée, c'est à dire quand le champ  $B_1$  disparaît, le moment magnétique  $\vec{M}$  continue son mouvement de précession rapide, mais revient vers sa position d'équilibre en réemettant l'énergie accumulée au cours du basculement: les protons qui produisent le moment magnétique sont liés aux autres atomes constituant leur environnement, auxquels ils vont céder ce surplus d'énergie qui leur a été fourni lors du basculement.

#### I.3.1 - Temps de relaxation spin-réseau( $T_1$ )

Il correspond au retour à l'état initial par transfert d'énergie entre le système de spin et le milieu.

Il caractérise le retour à  $M_0$  de la composante  $M_z$  du moment macroscopique  $\vec{M}$  selon une loi exponentielle de constante de temps  $T_1$  [5],[8],[9](Fig.8.b).

$$dM_z / dt = - (M_z - M_{z0}) / T_1 \quad (19)$$

ou  $M_{z0}$  représente la valeur initiale de l'aimantation

$T_1$  dépend en particulier de la mobilité du noyau dans le réseau. Ainsi par exemple, pour le proton de l'eau on trouve [8]:

$T_1 = 3.5$  s en phase liquide ( $25^\circ$  C)

$T_1 = 2$  s en phase solide ( $-5^\circ$  C)

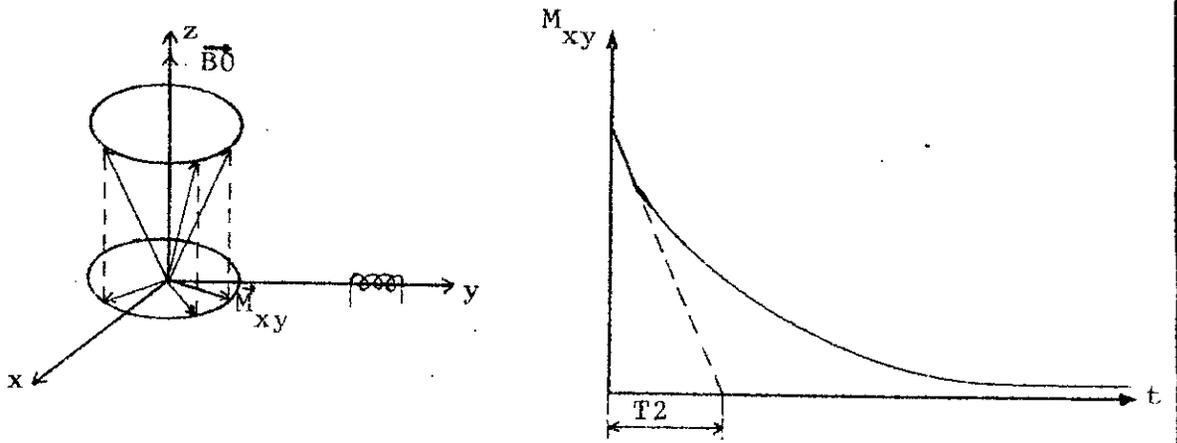


Fig.8.a Temps de relaxation spin-spin ( $T_2$ )

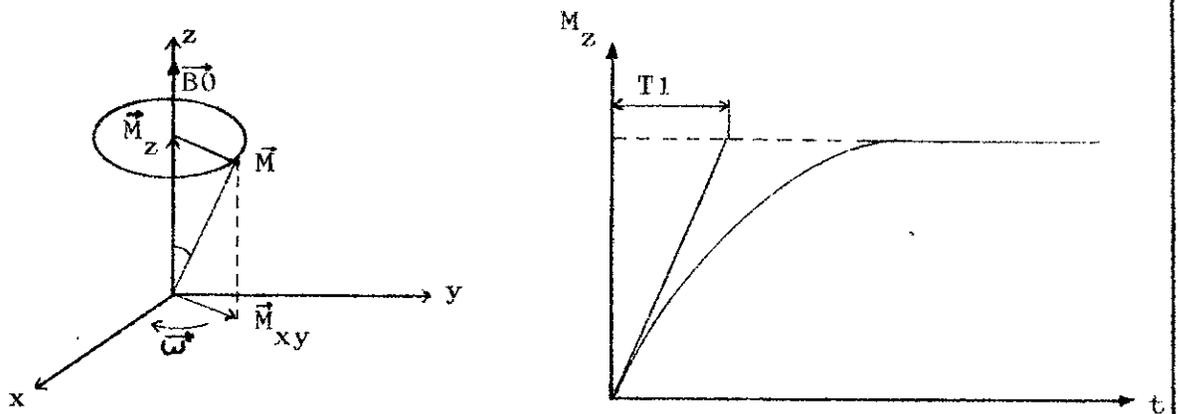


Fig.8.b Temps de relaxation spin-réseau ( $T_1$ )

Dans les tissus vivants, T1 dépend du degré d'organisation de l'eau intratissulaire et notamment du rapport des teneurs en eau libre et eau liée. On trouve en moyenne des valeurs de T1 de l'ordre de 0.2 à 1 seconde selon le type de tissus. L'un des intérêt de la RMN du proton vient du fait que les tissus pathologiques présentent des valeurs de T1 plus élevées que les tissus sains homologues.

### I.3.2 - Temps de relaxation spin-spin( T2 )

Des moments magnétiques nucléaires voisins peuvent être le siège d'interactions magnétiques mutuelles (appelées interaction spin-spin) qui superposent leurs effets à ceux des champs magnétiques  $\vec{B}_0$  et  $\vec{B}_1$ , appliqués à l'échantillon (Fig.9).

En raison de la mobilité des spins, un moment magnétique nucléaire  $\vec{\mu}$  pourra se comporter vis à vis de ses voisins comme un champ tournant et induire une résonance locale si sa fréquence est égale à celle de LARMOR. Ainsi s'explique l'amortissement exponentiel avec la constante de temps T2 et non pas instantané, de la composante transversale d'aimantation Mxy lorsque l'irradiation de l'échantillon cesse (Fig.8.a).

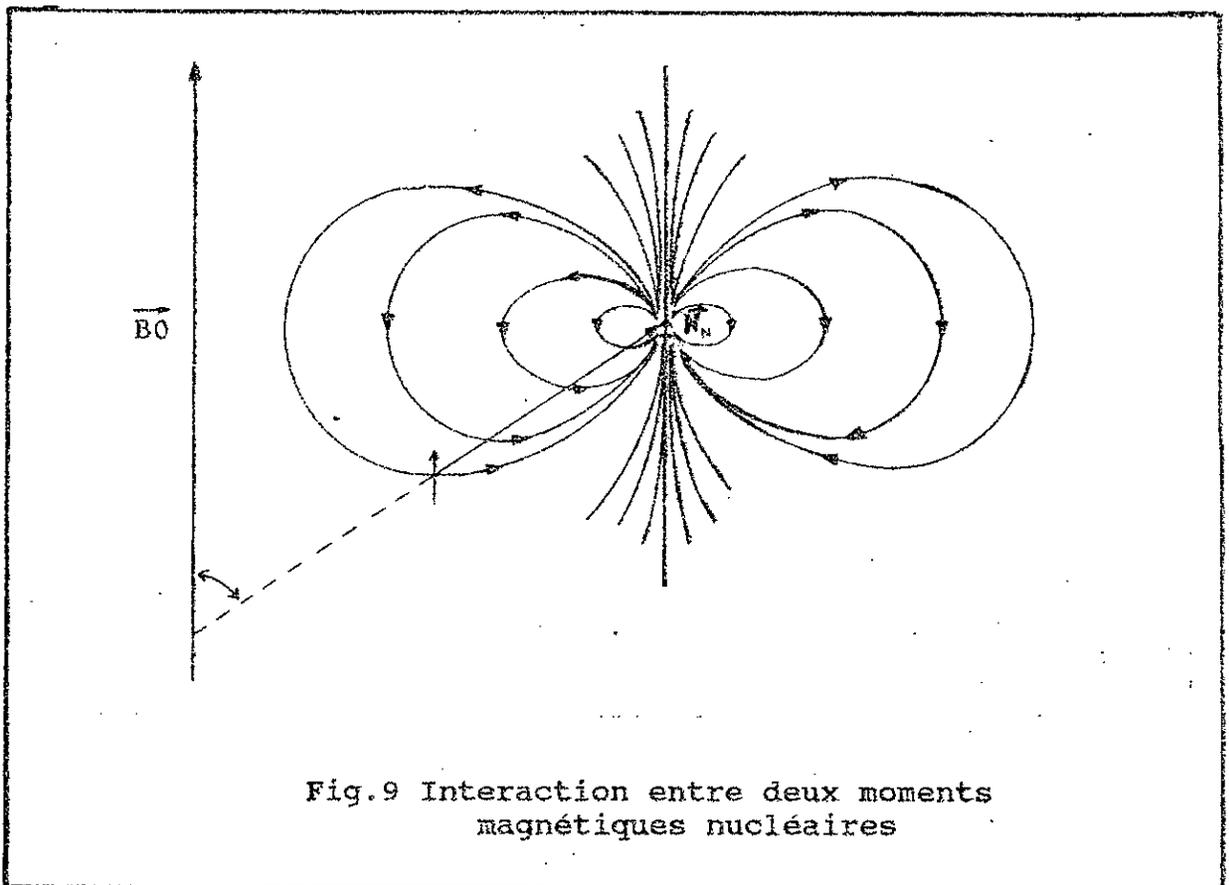
$$dM_x / dt = - M_x / T_2 \quad (20)$$

$$dM_y / dt = - M_y / T_2 \quad (21)$$

Par ailleurs la résultante moyenne d'aimantation des différents spins au niveau d'un spin donné se superpose au champs statique  $\vec{B}_0$  (Fig.9) et modifie localement la fréquence de résonance. Cette dernière n'aura pas la même valeur en tout point de l'échantillon; il en résulte un élargissement  $\Delta f$  de la raie de résonance qui est inversement proportionnel au temps de relaxation T2 [8].

$$\Delta f = 1 / \pi T_2 \quad (22)$$

Le temps de relaxation T2 dépend en particulier, comme T1, de la mobilité du noyau. Dans le cas du proton on trouve T2 = T1 = 3.5 s pour l'eau en phase liquide et T2 = 10<sup>-5</sup> s en phase solide. pour l'eau tissulaire, on trouve des valeurs de T2 comprises entre 0.05 et 0.1 s [8].



#### I.4 : SPECTROMETRE RMN

##### I.4.1 - Introduction

Pour détecter les signaux de résonance magnétique nucléaire, on dispose de deux techniques principales:

La première, dite en onde continue, consiste à obtenir un spectre d'absorption en faisant varier la fréquence de façon continue et à induction constante.

La seconde, plus récente, dont le principe est de soumettre l'échantillon à l'action d'un champ tournant créé par des impulsions radio-fréquence, d'où son appellation de technique impulsionnelle.

Dans le cadre de notre travail, on s'intéressera à cette dernière technique car elle est à la base du spectromètre réalisé.

##### I.4.2 - Constitution du spectromètre R.M.N

L'analyse de tous les phénomènes de la RMN est effectué au niveau du laboratoire d'électronique biomédicale, par

un spectromètre RMN qui comprend les éléments suivants [29]. (Fig.10):

a- Un électro-aimant dans l'entrefer duquel est placé une cellule cylindrique contenant l'échantillon, soumis ce dernier au champ de polarisation  $\vec{B}_0$ . On accroît la sensibilité de la méthode en utilisant des champs magnétiques intenses, de l'ordre de plusieurs Tesla. Avec des électro-aimants classiques, de tels champs sont obtenus dans des entrefers n'excédant pas quelques millimètres, ce qui limite considérablement la taille des échantillons susceptibles d'être analysés par R.M.N. Pour obtenir des entrefers plus importants (plusieurs dizaines de centimètres pour l'exploration du corps humain) ou des champs très intenses [8], on fait appel à la technologie des aimants à supra-conducteurs fonctionnant à très basse température, ce qui nécessite un dispositif cryogénique complexe et coûteux.

L'électro-aimant disponible au labo d'électronique biomédicale a un diamètre de pôle égale à 9 pouces et une distance entre pôle de 4 cm

b- Un système émetteur qui génère des ondes R.F., alimente une bobine émettrice qui entoure l'échantillon et permet la création du champ tournant  $\vec{B}_1$ . L'axe de l'ensemble bobine-échantillon est placé perpendiculairement au champ uniforme  $\vec{B}_0$ .

Le système émetteur dont on dispose comporte quatre étages (29):

- le circuit de commande
- l'oscillateur
- l'amplificateur de puissance
- l'étage de liaison

L'amplitude de la tension de sortie des impulsions R.F. est de 50 volts crête à crête avec une fréquence d'oscillations de 5,15 Mhz.

c- Bobine d'excitation : L'irradiation de l'échantillon à la fréquence de Larmor induit un signal de résonance dans une bobine de réception. La même bobine peut assurer à la fois l'émission et la réception des ondes R.F. En effet, l'échantillon étant généralement irradié suivant un mode impulsif, la bobine peut fonctionner en émetteur pendant la période d'irradiation et en récepteur entre ces périodes.

La réalisation pratique de la bobine a été faite par enroulement d'un fil de 0.5 mm en 20 spires jointives sur un support en papier de 13 mm de diamètre.

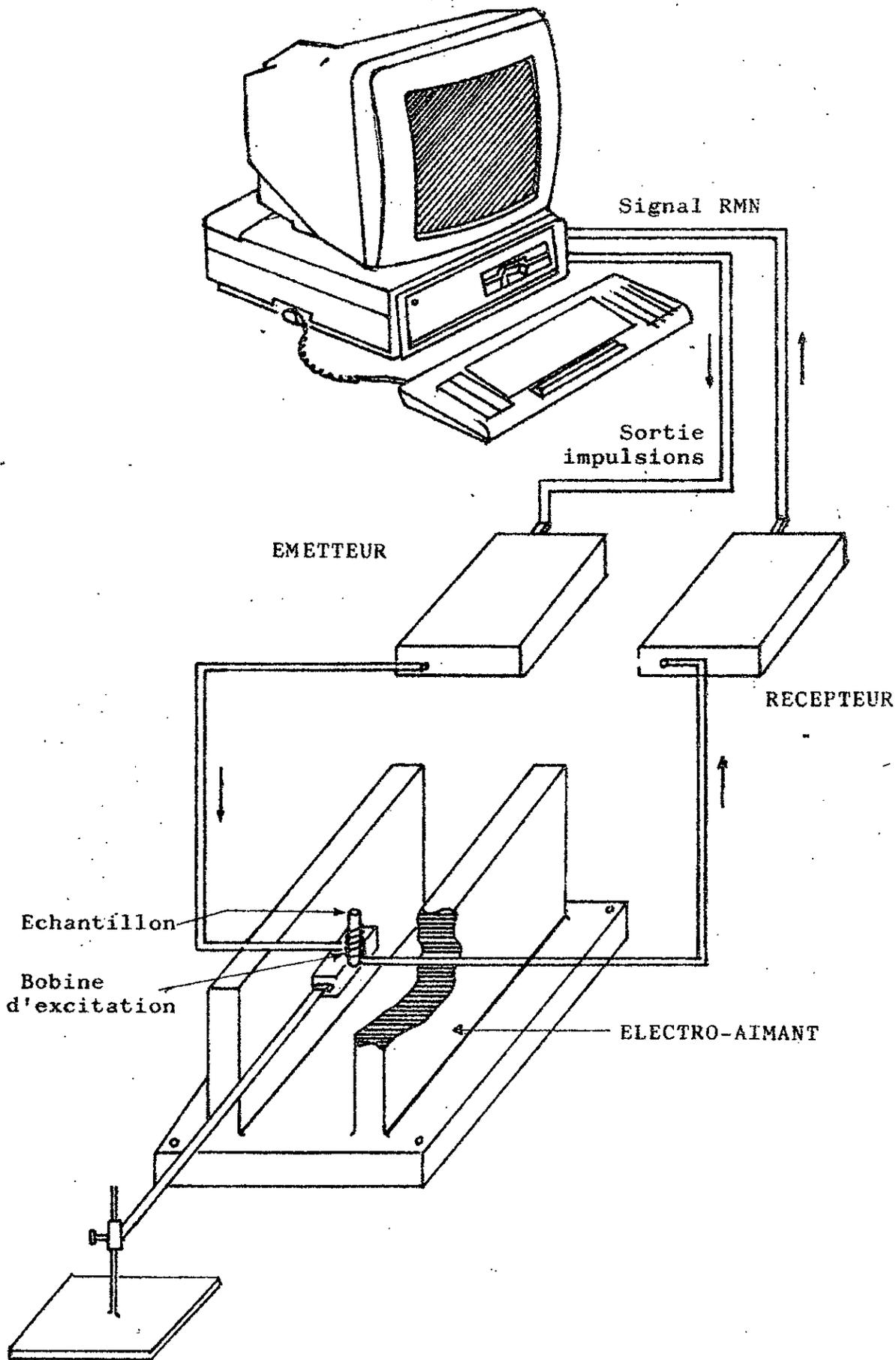


Fig.10 Spectromètre RMN

d- Un système récepteur : il détecte et amplifie la tension qui apparaît aux bornes de la bobine de réception. Il comporte les éléments suivants :

- un préamplificateur,
- un étage adaptateur,
- un étage amplificateur,
- un étage de détection et de filtrage.

Gain en tension:

$$G_v = V_s / V_e = 2.7 \text{ v} / 2 \text{ mv} = 1350$$

$$G \text{ dB} = 20 \text{ Log} ( V_s / V_e ) = 62 \text{ dB}$$

Bande passante :  $f = 1,1 \text{ Mhz}$

e- Un système d'acquisition de données qui va être décrit au chapitre 3 dont la tâche est de générer les différentes séquences d'impulsions, l'acquisition et le traitement des données RMN.

#### I.4.3 - Fonctionnement

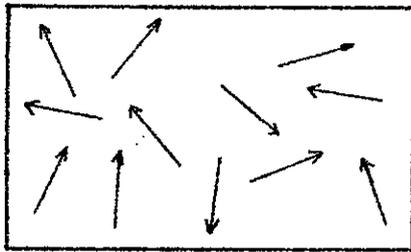
Le tube à essais contenant l'échantillon à analyser est placé à l'intérieur de la bobine d'excitation. L'ensemble est soumis au champ magnétique uniforme  $\vec{B}_0$  (0,2 Tesla) qui règne entre les deux pôles de l'électro-aimant.

Le système émetteur commandé par micro-ordinateur génère des salves haute fréquence de période et de durée variable.

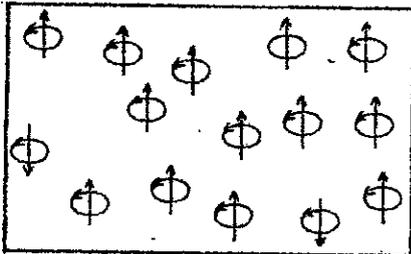
Pendant la durée "ON" de l'impulsion, le signal radiofréquence traverse la bobine et crée le champ  $\vec{B}_1$  perpendiculaire et tournant autour de  $\vec{B}_0$ .

Pendant la durée "OFF", le champ  $\vec{B}_1$  disparaît, les noyaux de l'échantillon reviennent à leur état initial en émettant un signal qui sera capté et véhiculé par la même bobine d'excitation vers le système récepteur ou il sera considérablement amplifié, détecté et filtré.

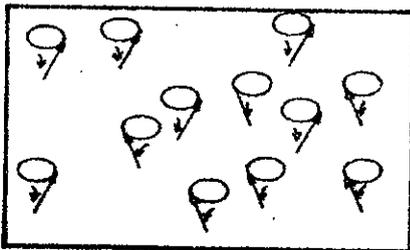
Le principe général et les différentes étapes de la RMN sont résumés par la ( fig 11 ).



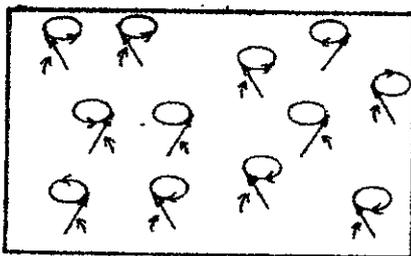
a) - Etat initial de l'échantillon. Les moments magnétiques sont désorganisés par l'agitation thermique



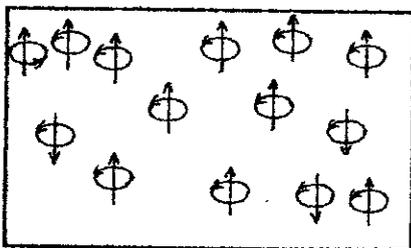
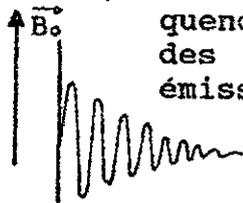
b) - Les moments magnétiques s'alignent suivant la direction du champ  $\vec{B}_0$



c) - L'application d'un champ magnétique  $\vec{B}_1$  tournant crée un mouvement de rotation des moments magnétiques autour de  $\vec{B}_0$ .



d) - Arrêt de l'impulsion radiofréquence créant  $\vec{B}_1$ , réalignement des moments magnétiques et émission du signal FID



e) - Retour à l'état d'équilibre. Les moments magnétiques sont à nouveau réorganisés autour de  $\vec{B}_0$

Fig. 11 Comportement des moments magnétiques nucléaires sous l'effet de  $B_0$  et  $B_1$



# Chapitre

2





# Chapitre

2



## CHAPITRE II

### MESURE DES TEMPS DE RELAXATION

#### II.1 INTRODUCTION

Avant de présenter les techniques de mesure des temps de relaxation utilisées en spectrométrie RMN, il est nécessaire d'introduire les termes de base nécessaires pour la compréhension de ces méthodes.

##### 1. Impulsion radio-fréquence

Dans la RMN impulsionnelle, l'onde radio-fréquence (R.F) est appliquée sous forme d'une impulsion. Cette onde est au niveau haut pendant une courte durée puis retourne au niveau bas.

L'impulsion R.F. est caractérisée par une amplitude, comme le montre la Fig.12, et par une largeur  $t_w$  qui détermine l'angle de basculement du vecteur  $\vec{M}$  par rapport à la direction d'équilibre.

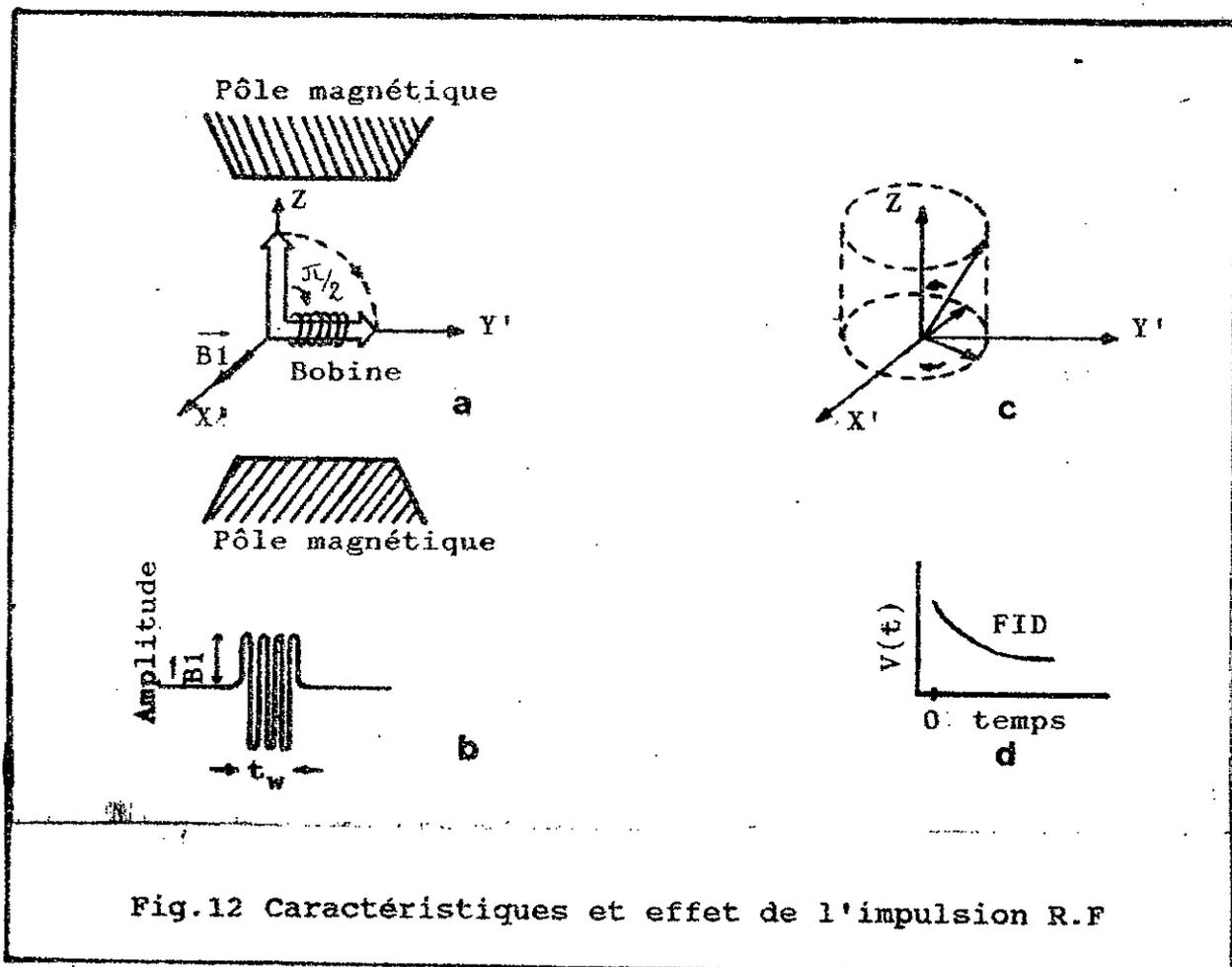


Fig.12 Caractéristiques et effet de l'impulsion R.F

## 2. Impulsions 90° et 180°

Si une impulsion R.F est appliquée au système de spin pendant un temps  $t_w$  alors le vecteur magnétisation  $\vec{M}$  tournera d'un angle  $\theta$  par rapport à la position d'équilibre tel que [7]:

$$\theta = \gamma \cdot B_1 \cdot t_w \quad (23)$$

ou  $\gamma$  est le rapport gyromagnétique du nucléon;  $B_1$  est l'intensité du champ R.F., et  $t_w$  est la largeur de l'impulsion R.F.

Si  $\theta = 90^\circ$ , alors l'impulsion est dite de  $90^\circ$  ( $\pi/2$ )

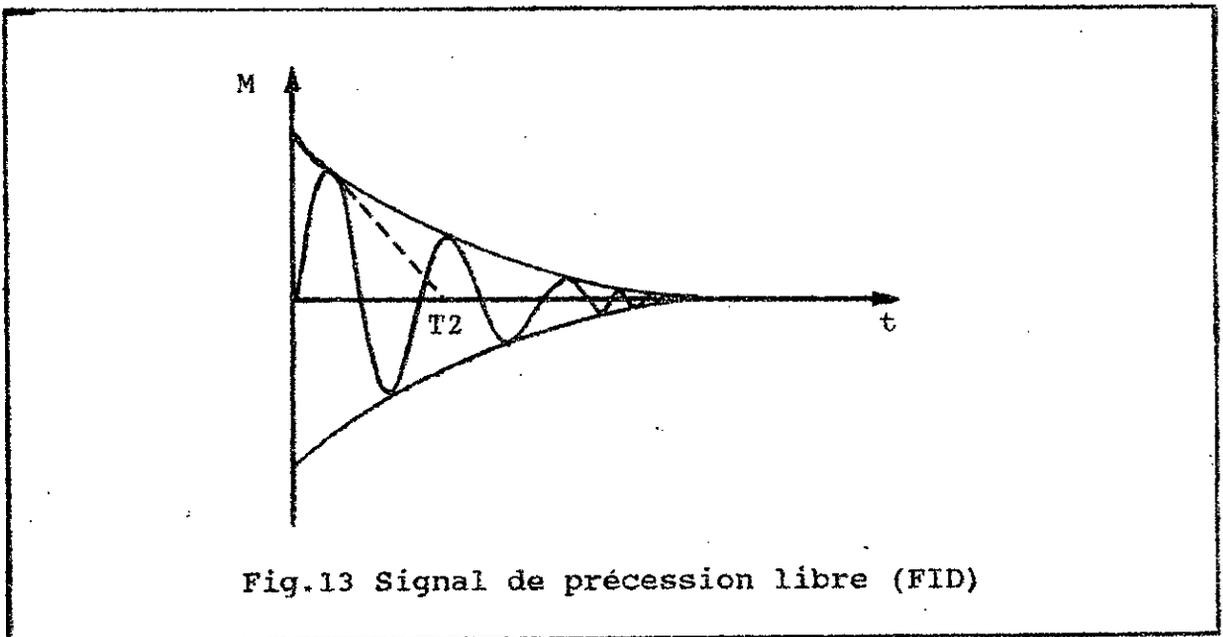
Si  $\theta = 180^\circ$ , alors l'impulsion est dite de  $180^\circ$  ( $\pi$ )

## 3. Signal de précession libre

Le signal de précession libre ou "Free Induction Decay" (FID) est le signal enregistré après une impulsion  $\pi/2$ : c'est une sinusoïde de fréquence  $f_0$ , due à la rotation dans le repère fixe (xoy) de la la composante du vecteur  $\vec{M}$  amortie par une exponentielle de constante de temps  $T_2^*$ , due au déphasage des moments magnétiques élémentaires des noyaux dans le plan x'oy' (repère tournant) (Fig.13)

La constante de temps  $T_2^*$  de décroissance de l'aimantation transversale est plus courte que  $T_2$  en raison de l'inhomogénéité  $\Delta B_0$  du champ  $\vec{B}_0$  qui accroît le déphasage de spins. La relaxation s'écrit [5]:

$$1/T_2^* = 1/T_2 + \gamma \cdot \Delta B_0 / 2 \quad (24)$$



Les moments magnétiques qui étaient en phase après l'impulsion  $90^\circ$  se déphasent sous l'effet des champs locaux. Simultanément et indépendamment, l'énergie absorbée pendant l'impulsion R.F est restituée au réseau avec une constante de temps  $T_1$ .

La mesure des temps de relaxation  $T_1$  et  $T_2$  est effectuée à partir du signal détecté dans une bobine fixe placée dans le plan xoy perpendiculaire à  $B_0$ : les variations de flux induites par le moment magnétique  $\underline{M}$  revenant à sa position d'équilibre après arrêt du champ  $B_1$  entraînent l'apparition d'une force électromotrice dans la bobine réceptrice.

#### 4. Ajustement des impulsions $90^\circ$ et $180^\circ$

L'impulsion  $180^\circ$  ( $\pi$ ) est caractérisée par un signal nul dans une bobine placée dans le plan  $x'oy'$ . On commence à partir de  $t_w = 0 \mu s$  et on augmente  $t_w$  jusqu'à ce que le signal atteigne la valeur nulle, l'impulsion ayant cette largeur ( $t_w$ ) est appelée impulsion  $180^\circ$ .

Il existe deux façons d'ajustement de l'impulsion  $90^\circ$ . La première consiste à augmenter  $t_w$  à partir de  $t_w = 0 \mu s$  jusqu'à ce que l'on aperçoive le premier maximum dans le signal de précession libre, ceci correspond à une impulsion  $90^\circ$ . Alternativement on peut ajuster  $t_w$  de façon à obtenir une impulsion de  $180^\circ$  et prendre la moitié de cette valeur pour avoir une impulsion  $90^\circ$ .

#### 5. Signal de spin echo

Supposons qu'une impulsion  $90^\circ$  est appliquée au système de spin et qu'après un intervalle de temps  $\tau$  une impulsion  $180^\circ$  est appliquée. Alors les spins tournant rapidement et les spins tournant lentement vont être en phase pour former une magnétisation nette [5]

### II.2. TEMPS DE RELAXATION SPIN-RESEAU ( $T_1$ )

Le temps de relaxation longitudinal  $T_1$  caractérise la cinétique de retour à l'équilibre de l'aimantation longitudinale, c.à.d le retour à l'équilibre des populations des niveaux d'énergie des moments magnétiques nucléaires. Ce retour à l'équilibre est décrit par l'équation suivante :

$$M_z(t) = M_0 + (M_{zi} - M_0) \exp(-t / T_1) \quad (25)$$

ou  $M_z(t)$  est la valeur à l'instant  $t$  de l'aimantation le long de  $B_0$  et  $M_{z1}$  la valeur de  $M_z$  à  $t=0$  immédiatement après la mise hors d'équilibre.

Il existe plusieurs méthodes de mesure de  $T_1$ . Nous allons décrire seulement les trois méthodes les plus utilisées [7].

### II.2.1- Méthode d'inversion-récupération (Fig.14)

Une première impulsion  $\pi$  inverse le sens de la magnétisation le long de l'axe  $oz$  qui passe de  $+M_0$  à  $-M_0$ . Après un délai  $\tau$  pendant lequel l'aimantation revient de la valeur  $-M_0$  à une valeur  $M_z$ , cette valeur  $M_z$  est mesurée en appliquant une nouvelle impulsion  $\pi/2$  qui amène le vecteur magnétisation le long de l'axe  $oy'$ .

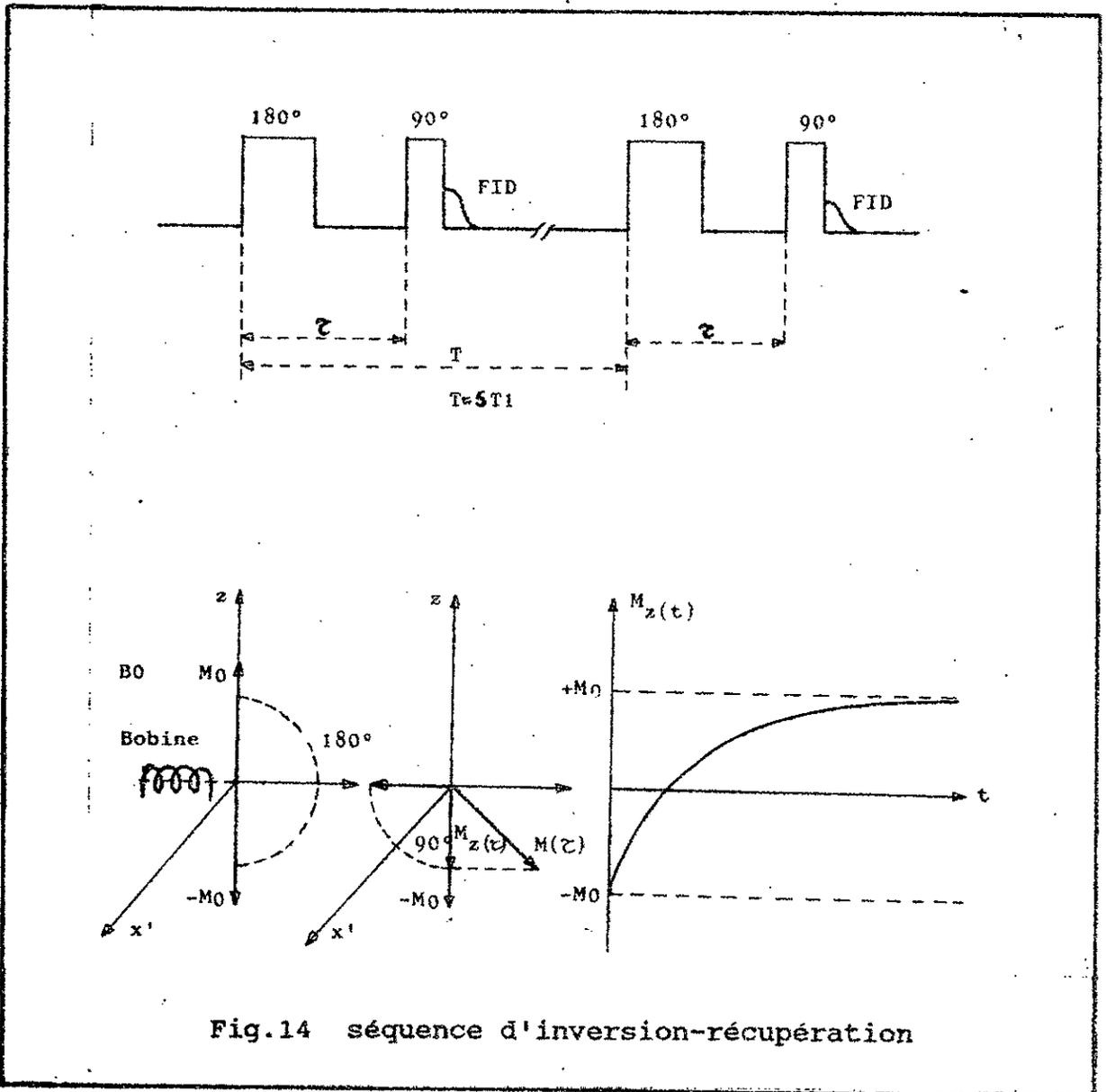


Fig.14 séquence d'inversion-récupération

La mesure de l'amplitude du signal (après amplification) pour différentes valeurs de  $\tau$  permet d'obtenir la courbe d'inversion-récupération.

$$M_z(t) = M_0 (1 - 2 \exp(-t/T_1)) \quad (26)$$

En coordonnées semi-logarithmiques, la droite obtenue a pour pente  $1/T_1$ .

### II.2.2- Méthode de saturation-récupération (fig 15)

Une première impulsion  $\pi/2$  amène  $\vec{M}$  dans le plan xoy. Pendant un temps d'attente  $\tau \gg T_2$ , le moment magnétique transversal décroît très rapidement (avec une constante de temps  $T_2^*$ ) et  $M_z$  croît selon une loi exponentielle [5],[7]:

$$M_z(t) = M_0 (1 - \exp(-t/T_1)) \quad (27)$$

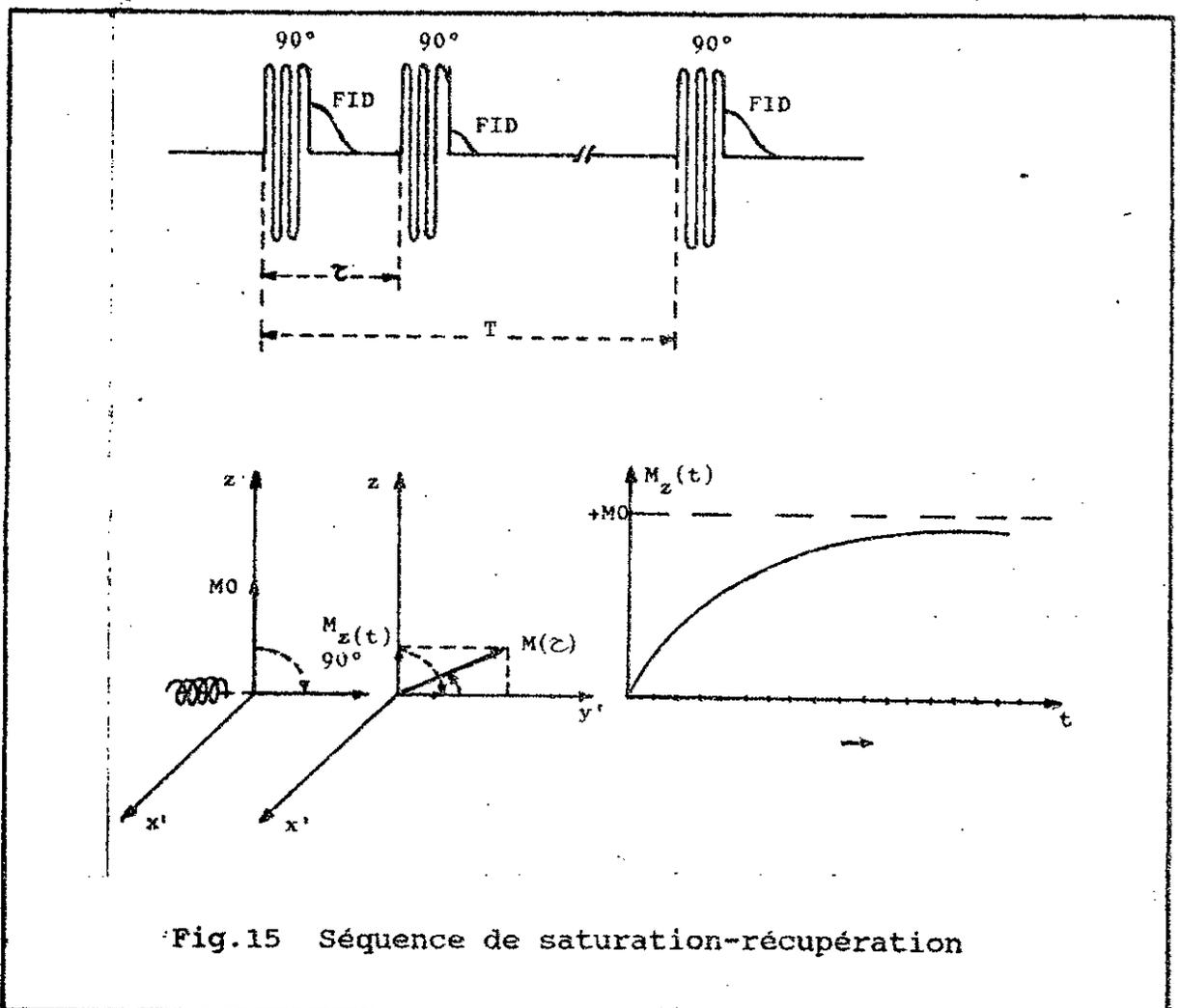


Fig.15 Séquence de saturation-récupération

Après ce délai, une deuxième impulsion  $\pi/2$  est appliquée et l'amplitude initiale du signal de précession libre proportionnelle à  $M_z$  est mesurée. L'opération est ensuite répétée pour différentes valeurs de  $\tau$  ; la droite obtenue en coordonnées semi-logarithmiques en portant  $\text{Log } M_z$  en fonction de  $\tau$  a pour pente  $1/T_1$ . Quelle que soit la séquence utilisée, il est important d'attendre un temps suffisant entre deux séquences, pour retrouver l'équilibre de BOLTZMANN: celui-ci doit être environ 5 fois la valeur de  $T_1$ .

### II.2.3- Méthode de saturation-récupération progressive (Fig.16)

Cette méthode peut être considérée comme un cas particulier de la séquence de recouvrement de saturation décrite plus haut qui est l'équivalent du cas où l'intervalle de temps entre deux séquences  $90^\circ - \tau - 90^\circ$  est égal à zéro. Dans ce cas la séquence devient un train d'impulsions de  $90^\circ$ , espacées d'intervalles égaux à  $\tau$ . Après chaque impulsion  $90^\circ$ , le signal atteint une valeur constante dépendant de  $\tau$  et  $T_1$ .

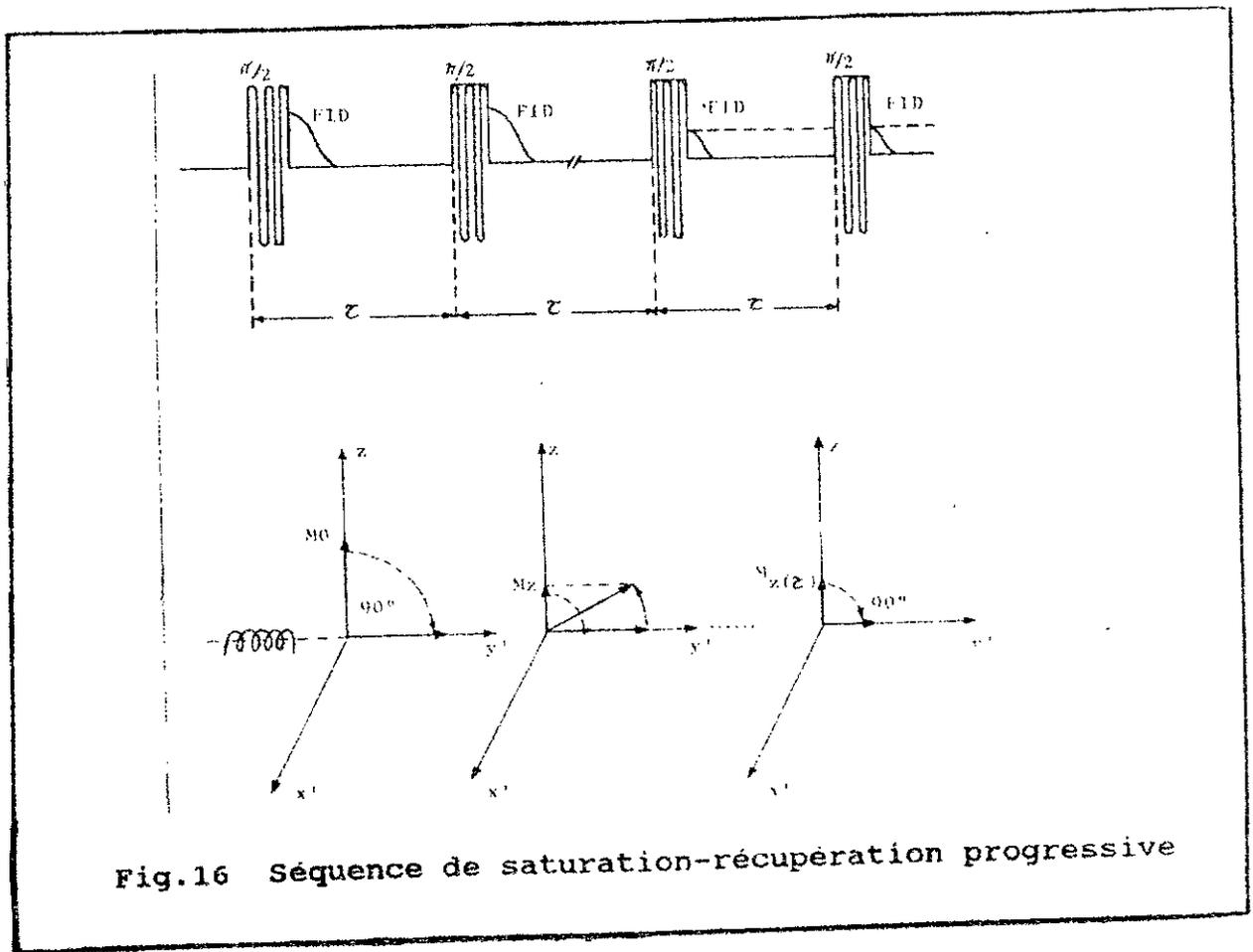


Fig.16 Séquence de saturation-récupération progressive

L'amplitude du signal après chaque impulsion  $90^\circ$  tend vers la valeur d'équilibre thermique  $M_0$  selon la formule :

$$M_z(\tau) = M_0 ( 1 - \exp(-\tau / T_1) ) \quad (28)$$

La valeur de  $T_1$  peut être obtenue de la même façon que dans la méthode de saturation-récupération.

### COMPARAISON DES METHODES DE MESURE DE $T_1$ :

Les avantages de la première méthode sont en particulier la possibilité d'acquérir beaucoup de données permettant des mesures plus précises ceci étant dû à la variation de l'aimantation de  $-M_0$  à  $M_0$ . Par ailleurs cette méthode offre l'avantage d'être utilisée en imagerie. Néanmoins elle nécessite beaucoup de temps car il faut attendre plusieurs périodes entre 2 séquences.

La deuxième méthode présente l'avantage de nécessiter moins de temps puisque l'intervalle de temps entre deux séquences n'a pas besoin d'être de  $5T_1$  par contre son inconvénient est d'être limitée au cas où  $T_2$  est négligeable devant  $T_1$ .

Quand à la dernière méthode, les avantages sont: la rapidité d'exécution comparée aux deux premières, son adaptation pour des  $T_1$  longs et pour l'amélioration du rapport signal sur bruit ainsi que son utilisation en imagerie et dans les applications in vivo. Ses inconvénients résident dans sa limitation au cas où  $T_2 \ll T_1$

Remarque : Dans le cadre de notre travail nous avons utilisé la méthode de saturation récupération progressive dont les résultats expérimentaux sont consignés au chapitre 5.

## II.3 TEMPS DE RELAXATION SPIN-SPIN

### II.3.1- Méthode de HANN

Une première impulsion  $\pi/2$  fait basculer le vecteur  $\vec{M}$  dans le plan transversal. Après un temps  $\tau$  pendant lequel les spins se déphasent et l'amplitude de l'aimantation transversal diminue, leur mouvement sur le cône de précession est inversé en appliquant une impulsion  $\pi$  : ceux qui étaient en retard se retrouvent en avance et réciproquement. En attendant encore un temps  $\tau$  soit  $2\tau$  après le début de la

séquence, tous les spins se retrouvent en phase et le signal réapparaît par effet d'écho [5]. L'amplitude maximale des échos est mesurée pour différentes valeurs de  $\tau$ ; celle-ci décroît progressivement selon une loi exponentielle de constante de temps  $T_2$  (Fig.17).

$$M(2\tau) = M_0 \exp(-2\tau/T_2) \quad (29)$$

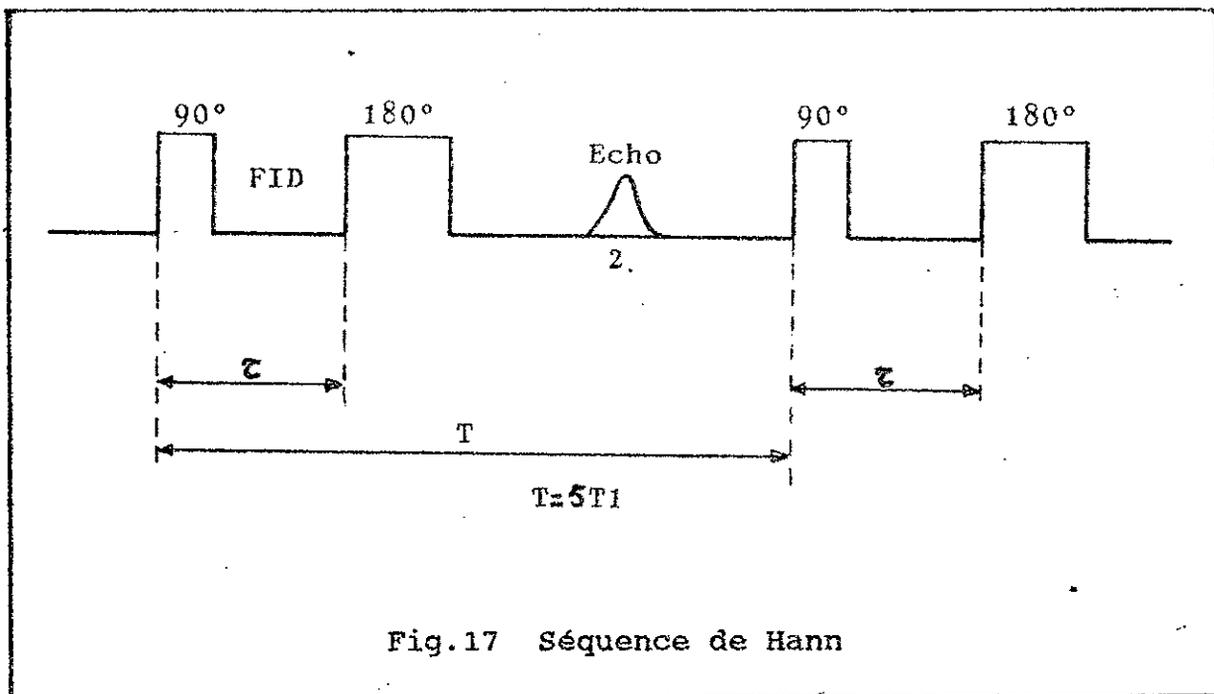


Fig.17 Séquence de Hahn

$T_2$  représente ici le "T2 réel" dû exclusivement aux interactions dépendant du temps; l'impulsion est en effet calculée pour inverser les spins par rapport au champ  $B_0$  ce qui permet de s'affranchir des déphasages dus à l'inhomogénéité du champ. Mais cette méthode de mesure suppose que chaque noyau reste fixe pendant la durée de l'expérience ( $2\tau$ ) de telle sorte que le champ  $B_0$  qui lui est appliqué reste constant. Or du fait de la diffusion moléculaire, les noyaux voient le champ  $B_0$  auxquels ils sont soumis varier pendant le temps  $2\tau$  et tous les spins ne sont pas revenus parfaitement en phase au moment du recueil du signal.

L'intervalle de temps entre deux séquences successives doit être au minimum égal à  $5 T_1$ .

### II.3.2- Méthode de CARR-PURCELL

La méthode de CARR-PURCELL rend négligeable l'effet de la diffusion moléculaire sur  $T_2$ . Comme dans la méthode de HANN, une première impulsion  $\pi/2$  fait basculer le vecteur  $\vec{M}$  dans le plan transversal et un premier écho est obtenu  $2\tau$

après application d'une impulsion  $\pi$  à  $\tau$ . Les spins sont inversés à nouveau au temps  $3\tau$  et un nouvel écho à  $4\tau$  est détecté et ainsi de suite. Toutes les impulsions sont appliquées selon l'axe  $ox'$  (Fig.12.c).

Au total, des impulsions sont appliquées au temps  $\tau$ ,  $3\tau$ ,  $5\tau$  ..et les échos correspondants sont successivement enregistrés [5]:

- négatifs à  $2\tau, 6\tau, 10\tau \dots$

- positifs à  $4\tau, 8\tau, 12\tau \dots$

La séquence peut donc s'écrire:

$\pi/2 - \tau - \pi - \tau - \text{écho} - \tau - \pi - \text{écho} - \tau - \pi - \tau - \text{écho} -$   
ect...

En mode de détection par diode la séquence est illustrée par la Fig.18 et l'amplitude de l'aimantation est donnée par la relation suivante [7]:

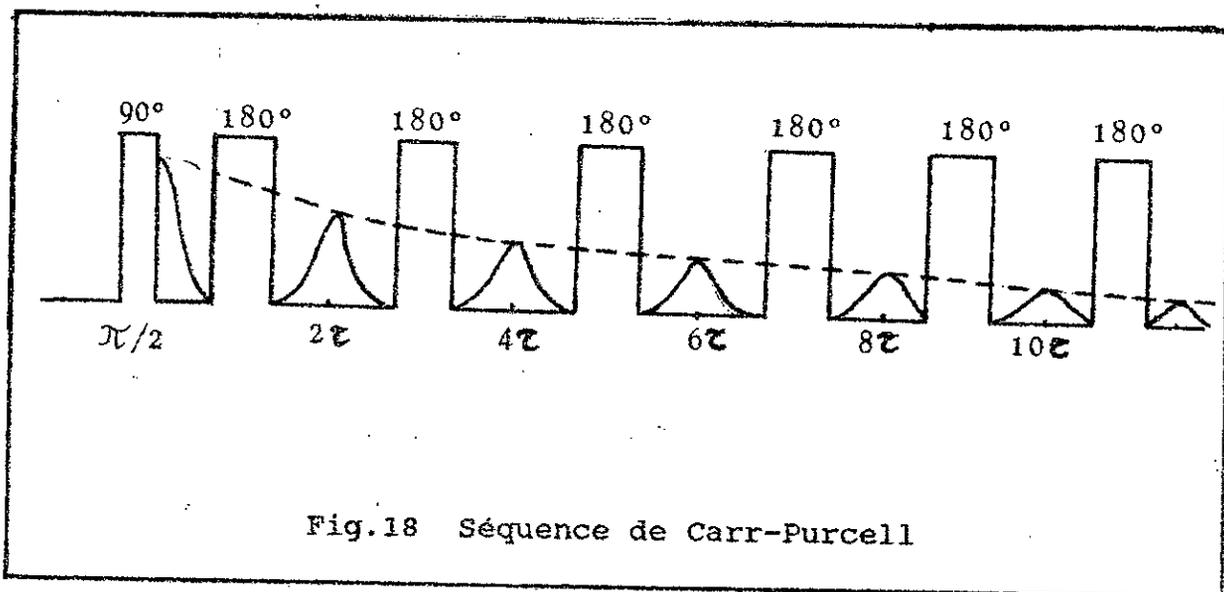
$$M(\tau) = M_0 \cdot \exp((-t/T_2) - (\gamma^2 \cdot G^2 \cdot D^2 \cdot \tau^2 \cdot t / 3)) \quad (30)$$

$\gamma$  : rapport gyromagnétique,

$D$  : coefficient de self diffusion du nucléon,

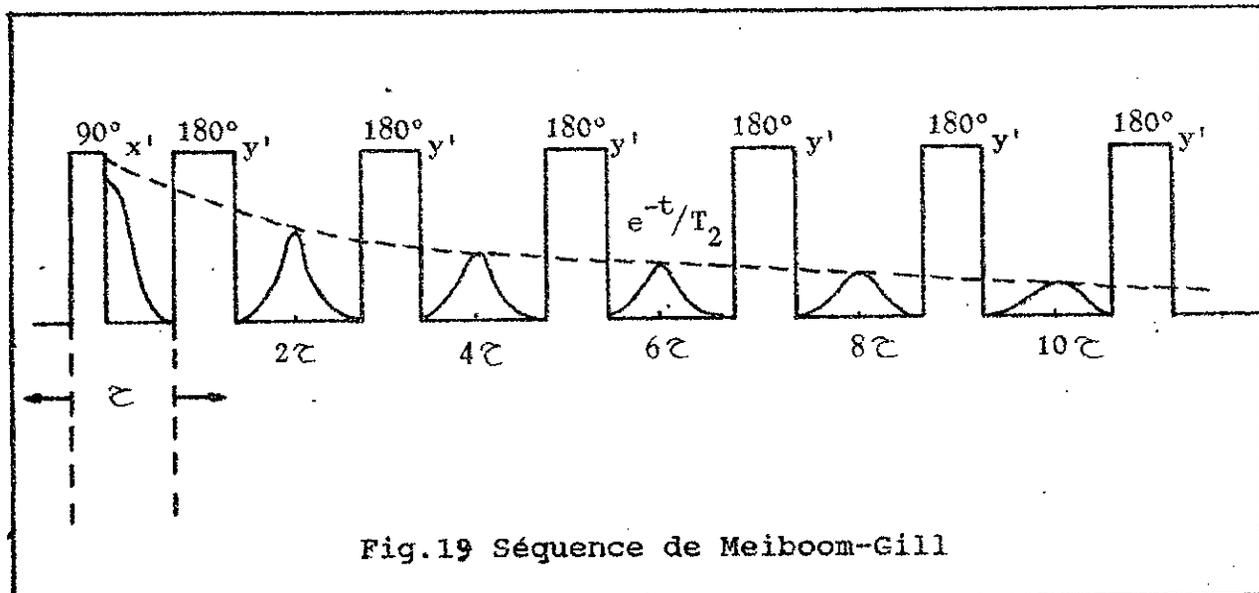
$G$  : gradient de champ dû à la non-homogénéité du champ  $B_0$ .

En choisissant un  $\tau$  très faible il est possible d'éliminer la contribution du second terme de l'exponentielle qui est dû à la diffusion.



### II.3.3- Méthode de MEIBOOM-GILL

La méthode de MEIBOOM-GILL utilise la même séquence mais permet de s'affranchir de l'inhomogénéité du champ  $\vec{B}_1$  en appliquant les impulsions selon l'axe  $\overline{oy'}$ . Les échos impairs auront une amplitude incorrecte mais les échos positifs auront une amplitude correcte et leur décroissance permettra la mesure de  $T_2$  (Fig.19).



#### COMPARAISON DES METHODES DE MESURE DE $T_2$

La méthode de Hann présente l'avantage de pouvoir être utilisée avec des spectromètres relativement simples mais présente l'inconvénient de durer longtemps et de ne pas donner la vraie valeur de  $T_2$  s'il y'a diffusion moléculaire.

La méthode de Carr-Purcell présente comparativement à la précédente deux avantages qui sont:

-le premier est que les effets de la diffusion peuvent être éliminés en choisissant un temps  $\tau$  très court,

-le second est de diminuer le temps de mesure car la séquence n'est appliquée qu'une seule fois pour déterminer  $T_2$ , et il n'y a donc plus à attendre  $5 T_1$  entre les impulsions  $\pi/2$ . Cependant, le champ  $\vec{B}_1$  est lui aussi inhomogène; pour certains spins, les angles de basculement ne sont pas exactement  $\pi/2$  et  $\pi$  et l'amplitude du signal recueilli sera inférieure à sa valeur théorique.

La méthode de Meiboom-Gill permet de s'affranchir de l'inhomogénéité du champ  $\vec{B}_1$ , mais nécessite l'application de l'impulsion selon l'axe  $\overline{oy'}$ .



# Chapitre

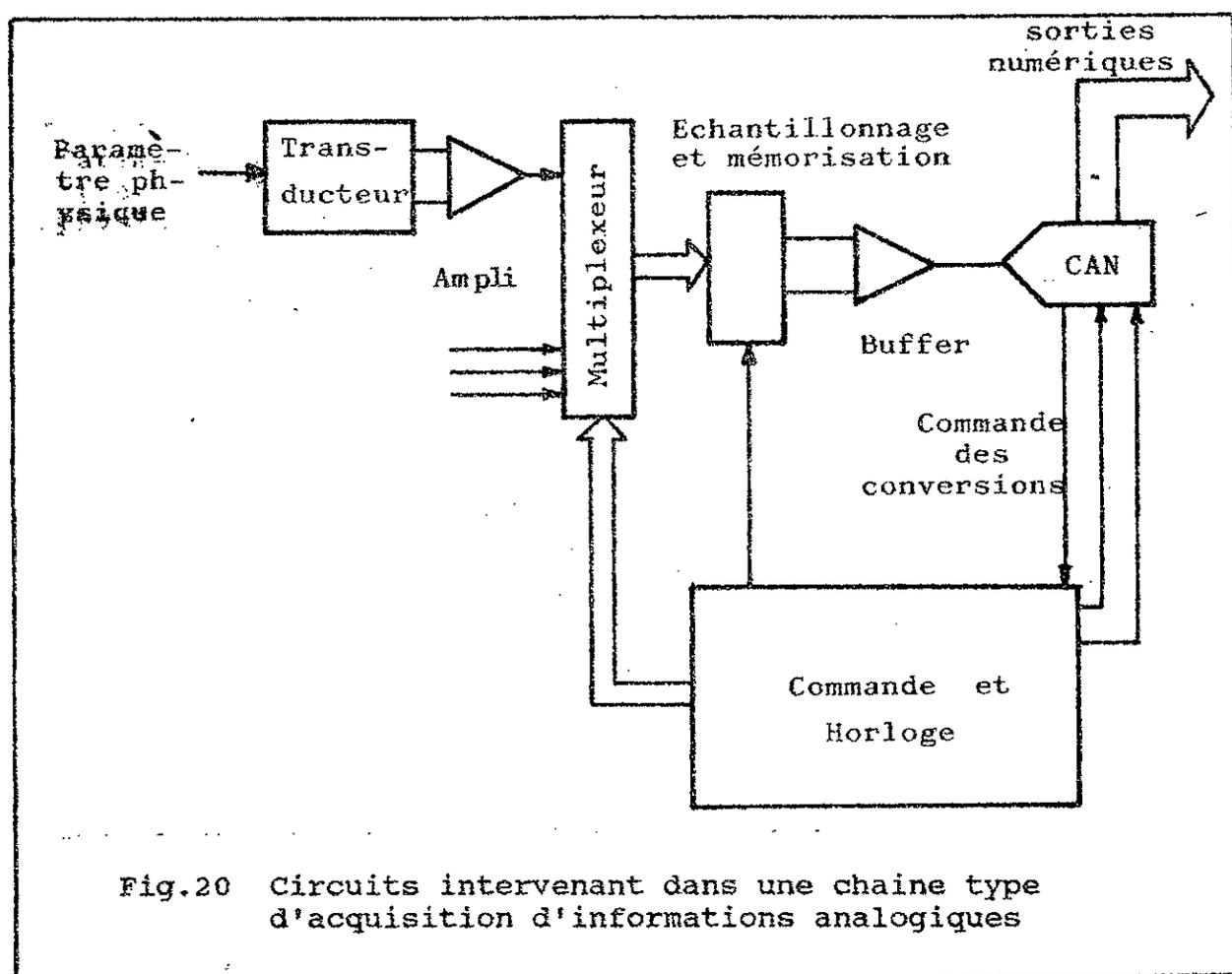
3



CONCEPTION ET REALISATION DE LA  
CARTE D'ACQUISITION

III.1 : INTRODUCTION

Les systèmes d'acquisition de données et de conversion sont utilisés dans les domaines les plus divers, notamment dans les applications industrielles, médicales, spatiales, etc... Il constitue le plus fréquemment des interfaces avec des ordinateurs ou avec des dispositifs d'enregistrement. Leurs principales caractéristiques sont la vitesse et la précision des mesures effectuées, le nombre de canaux échantillonnés et leur isolement. La Fig.20 donne un schéma synoptique d'un tel système.



\* Le rôle du transducteur consiste à traduire une grandeur physique quelconque par un signal analogique exploitable;

\* L'amplificateur d'entrée améliore l'immunité aux bruits, porte le signal utile au bon niveau, et adapte les impédances;

\* Le multiplexeur sélectionne une ligne parmi N lignes;

\* L'échantillonneur fournit une valeur moyenne pendant le temps de la mise en service du convertisseur;

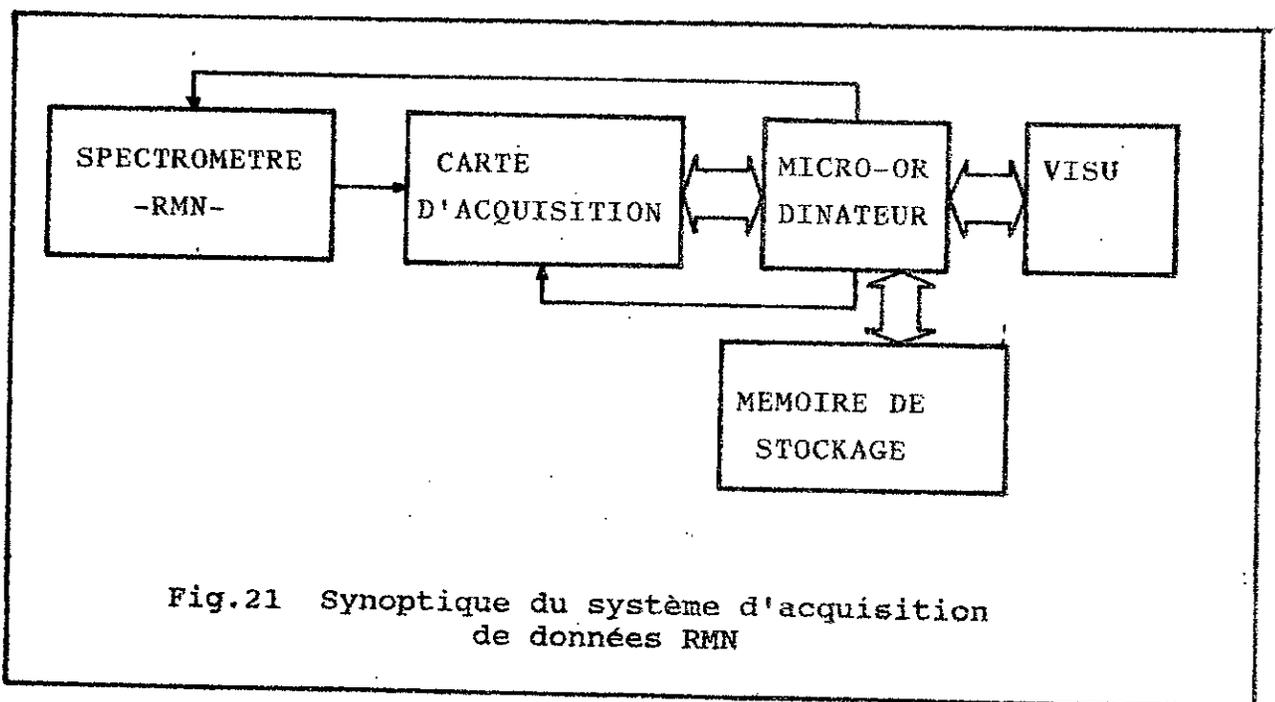
\* Le buffer sert de tampon; il réduit les fuites capacité-mémoire, stocke temporairement l'échantillon et possède une grande impédance d'entrée, mais attaque le convertisseur à basse impédance.

L'échantillonnage et la mémorisation du signal à convertir ne sont utiles que pour autant que celui-ci soit à évolution rapide. Si l'évolution du signal est lente, ces circuits sont inutiles, l'erreur introduite restant souvent négligeable.

\* Le convertisseur analogique-numérique exécute la conversion sous commande de circuits non représentés ici; on peut imaginer, par exemple que ces commandes proviennent d'un microprocesseur.

Le travail qui nous a été confié consiste à concevoir un système d'acquisition de données RMN (Fig.21) et lui permettre d'accomplir les fonctions suivantes:

- Dialogue avec l'opérateur,
- Traitement des informations,
- liaison avec le spectromètre.



### III.2 : DESCRIPTION DU MICROPROCESSEUR 8086

L'utilisation de plus en plus large de la micro-informatique dans les systèmes d'acquisition de données permet une grande souplesse et une grande maniabilité dans le traitement et l'analyse de celles-ci. C'est dans ce contexte que s'inscrit la réalisation de la carte d'interface entre le spectromètre R.M.N et uncompatible IBM-PC ( AMSTRAD 1512 ) bâti autour du  $\mu$ p 8086 d'INTEL

Ce dernier à mots de 16 bits est de 7 à 8 fois plus performant que les microprocesseurs de 8 bits, il offre des possibilités qui sont liées à sa nouvelle architecture, [23], [24], [25]

- Segmentation de la mémoire,
- Bus d'adresse sur 20 bits,
- Capacité d'adressage de 1 million d'octets,
- Opération arithmétique signées sur 16 bits incluant la multiplication et la division,
- Opération au niveau du bit,
- structure d'adressage des opérandes dans le segment,
- jeu d'opérations sur les registres pour les besoins les plus divers,
- Acquisition provisionnelle des instructions dans une file de 6 octets pour augmenter la rapidité d'exécution.

Le  $\mu$ p 8086 est en technologie H MOS, il n'est alimenté que par une tension de +5 v et son horloge fonctionne à 8 Mhz (notons qu'une description plus complète de ce  $\mu$ p est fournie en annexe I).

#### 1 - Adressage des entrées-sorties

La répartition des adresses entrée-sortie peut s'effectuer selon deux méthodes:

- Les adresses physiques sont celles directement spécifiées par les instructions spéciales d'entrée-sortie (IN et OUT). Dans ce cas, l'espace alloué aux ports d'E/S est distinct de l'espace mémoire (structure E/S par instruction E/S ). Dans ce cas le 8086 peut interfacer j'usqu'à 64 K ports de 8 bits ou 32 K ports de 16 bits.

L'adressage des ports n'est référencé à aucun segment. Il peut être:

- 1)- Direct: l'adresse du port est donnée directement dans le programme. On accède qu'aux 256 premiers octets.
- 2)- Par registre : l'adresse du port est contenue dans le registre DX. On accède dans ce cas aux 64 K octets.

Le transfert de données se fait entre le port et :

- AX pour les mots;
- AL pour les octets.

- Les ports d'entrée-sortie sont considérés comme des emplacements mémoires ( structure E/S par instructionsmémoire) jouissant ainsi de toute la puissance d'instructions du 8086.

Dans la première structureles instructions sont limitées mais ont l'avantage d'être rapides.

Des signaux du bus de commande permettent de différencier les deux types de structures.

## 2 - Bus d'extention

Les signaux utiles du 8086 gérant l'ordinateur, ainsi que quelques autres signaux sont disponibles sur une série de connecteurs (slots) à 62 broches ( Ces derniers peuvent recevoir des cartes d'extentions diverses. Le slot et ces signaux sont représentés sur la Fig.6 en annexe II).

Les signaux utiles à la réalisation de notre carte seront prélevés du bus d'extention [10]. Ces signaux sont:

- les 8 bits du bus de données,
- les 16 bits du bus d'adresses,
- le signal IOW d'écriture E/S,
- le signal IOR de lecture E/S.
- le signal AEN qui indique si le bus d'adresses est commandé par le microprocesseur ou par le contrôleur de DMA ( direct memory acces ). La mise à 1 de AEN indique qu'un transfert par DMA est en train de s'effectuer.

### III.3 : ECHANTILLONNEUR-BLOQUEUR

Le signal à acquérir est un signal analogique, notre objectif est de réaliser une conversion A/N afin de faire le traitement numérique, pour cela il est donc indispensable d'user en premier lieu d'un convertisseur analogique-numérique. Mais le CAN ne pouvant réaliser cette conversion d'une manière précise(surtout pour les signaux rapides) d'ou la nécessité d'un échantillonneur-bloqueur.

L'échantillonneur-bloqueur prélève un échantillon du signal et le met en mémoire provisoirement. Au moment opportun, cet échantillon est transmis via un buffer au convertisseur A/N.

L'E/B choisi est l'AD585 d'ANALOG DEVICES dont le temps d'échantillonnage de  $3 \mu s$  le rend idéal pour les systèmes d'acquisitions rapides [26]. Notons enfin que l'AD585 (Fig.22) peut être utilisé comme amplificateur de gains égaux à +1, -1, +2.

- Fonctionnement

Un niveau haut sur l'entrée HOLD de l'AD585 lance l'opération d'échantillonnage. Un niveau bas sur la même entrée assure le maintien de la valeur analogique prélevée (blocage).

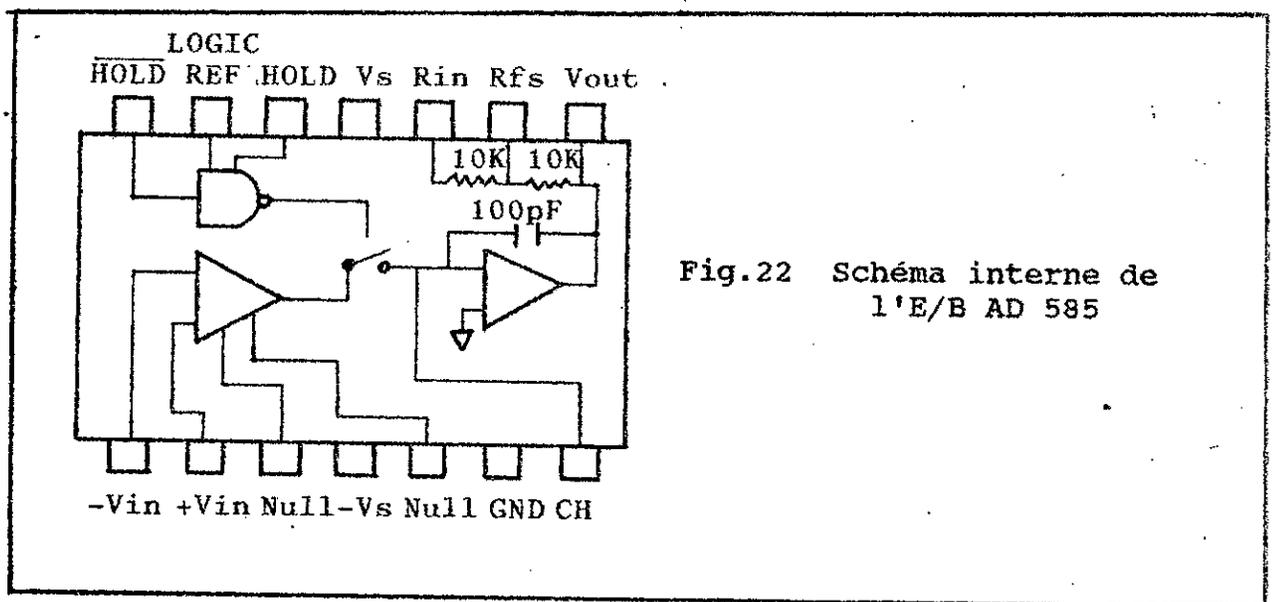


Fig.22 Schéma interne de l'E/B AD 585

III.4 CONVERTISSEUR ANALOGIQUE-NUMERIQUE (AD 673J)

Se présentant dans un boîtier de 20 broches ( Fig.23 ), l'AD673J est un CAN à approximations successives de 8 bits, son temps de conversion optimal est de  $20 \mu s$ , il nécessite deux sources de tension +5V et -12V, sa précision est de  $+1/2$  LSB et il accepte des tensions d'entrées comprises entre 0 et 10V ( Configuration unipolaire ) ou -5V et +5V ( Configuration bipolaire ) [26].

- Fonctionnement et signaux de commandes

a)- Signaux de commandes

La commande de l'AD673J est assurée par les signaux suivants:

C (CONVERT) : Le passage de l'état bas à l'état haut permet le lancement de la conversion.

$\overline{RD}$  ( $\overline{READ}$ ) : Indique la fin de conversion lors de son passage de l'état haut à l'état bas.

$\overline{DE}$  ( $\overline{DATA-ENABLE}$ ) : La présence d'un état bas sur cette broche rend possible la lecture de la donnée convertie.

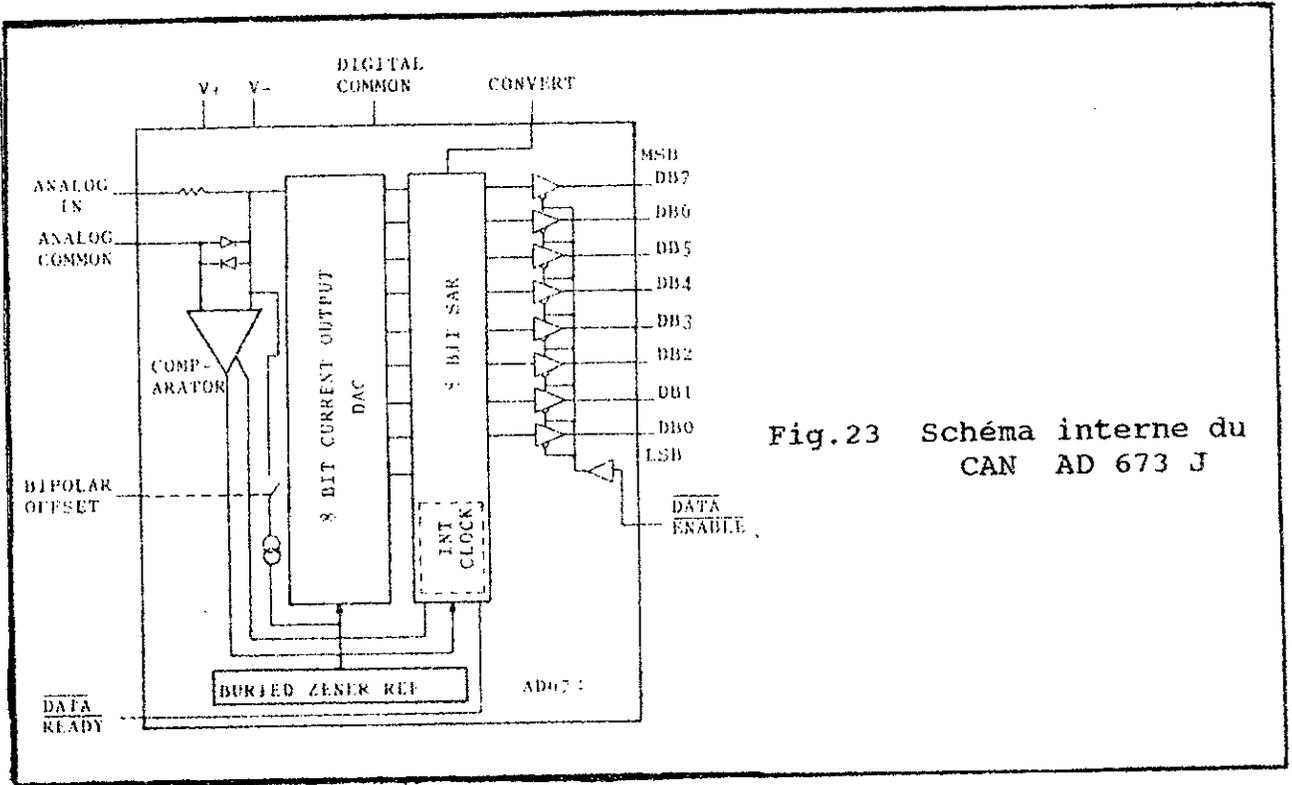


Fig.23 Schéma interne du CAN AD 673 J

b)- fonctionnement

L'AD673J est contrôlé par deux signaux d'entrées, CONVERT (C) et DATA ENABLE (DE). Le passage du niveau bas au niveau haut d'une impulsion appliquée à CONVERT, et de durée égale au minimum à 500 ns initialise la conversion, remet les buffers à 0. Le retour au niveau bas du signal appliqué sur CONVERT déclenche la conversion et remet  $\overline{DR}$  au niveau haut. A la fin de la conversion le registre à approximations successives (SAR) remet  $\overline{DR}$  à l'état bas,  $\overline{DE}$  peut être alors activé ( envoi d'un niveau bas ) pour valider les données. Une fois la donnée acquise, le passage à l'etat haut de  $\overline{DE}$  remet les buffers à un etat de haute impedance.(voir Fig.24)

**III.5 INTERFACAGE DE LA CARTE**

L'interfacage de la carte peut être réalisé par un interface et une logique de selection.

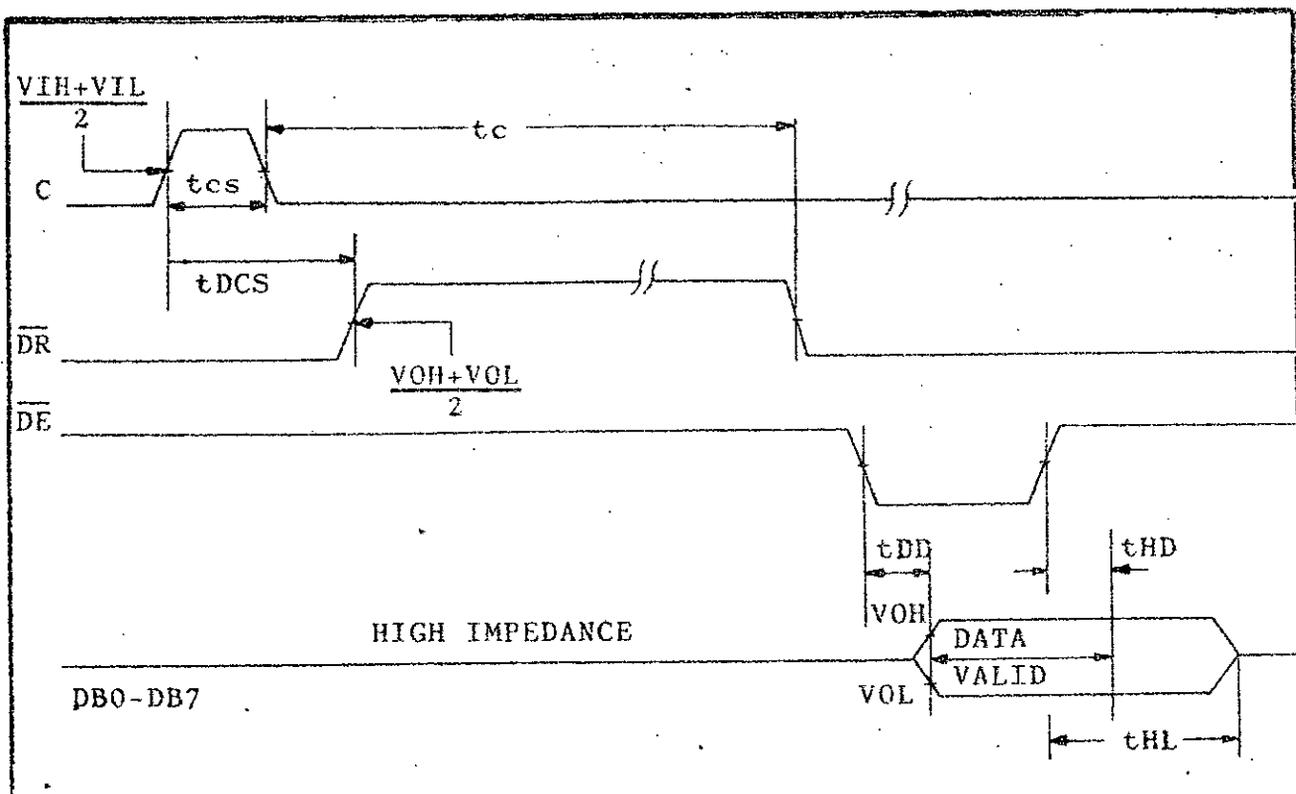


Fig.24 Chronogrammes de fonctionnement du CAN

TIMING SPECIFICATIONS

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Units
CONVERT Pulse Width	$t_{cs}$	500	-	-	ns
DR Delay from CONVERT	$t_{DCS}$	-	1	1.5	$\mu s$
Conversion TIME	$t_c$	10	20	30	$\mu s$
Data Access Time	$t_{DD}$	0	150	250	ns
Data Valid after DE High	$t_{HD}$	50	-	-	ns
Output Float Delay	$t_{HL}$	-	100	200	ns

L'interface permet l'échange d'informations entre le micro-ordinateur, le spectromètre et les autres éléments de la carte. Pour des raisons de compatibilité technologique avec le  $\mu p$  8086 l'interface choisi, le 8255A est du type PPI (Peripheral Programmable Interface) [10], [14].

La logique de selection consiste à selectionner la carte à l'exclusion de tout autre périphérique ainsi que les registres du 8255A. L'adressage se fera par la technique de décodage d'adresses qu'on verra au paragraphe III.5.2 .

III.5.1- Interface de périphérique programmable (PPI) 8255A

Le PPI 8255A est un interface parallèle, développé par INTEL. Il réalise la liaison entre l'ordinateur et les autres éléments de la carte ainsi que leur commande.

## 1.1 Organisation externe

Il est logé dans un boîtier DIP (Fig.7 en ANNEXE II) de 40 broches:

- La broche de sélection de boîtier (  $\overline{CS}$  ),
- Les deux broches de sélection de registre A0, A1 ,
- Les pins de commandes de lecture ( $\overline{RD}$ ) et d'écriture ( $\overline{WR}$ ),
- Une broche de remise à zéro ( RESET ),
- Huit broches de données bidirectionnelles,
- 24 broches d'entrée-sortie,
- L'alimentation +5V ,
- La masse.

## 1.2 Architecture générale

Le 8255A comprend 3 registres de 8 bits A, B, C (appelés ports) et un registre de commande ( Fig.25 ). La répartition des 24 lignes d'E/S s'établit en deux groupes A et B

Le groupe A comporte:

- Le port A ( PA0-PA7 ),
- le quartet supérieur du port C ( PC4-PC7 ).

Le groupe B comporte:

- Le port B ( PB0-PB7 ),
- Le quartet inférieur du port C ( PC0-PC3 ).

Il est possible grâce à la combinaison appliquée aux bits A0 et A1 de lire ou d'écrire dans les quatre registres internes comme indiqué ci-dessous:

:	:	:	:			
:	A0	:	A1	:	Reg selectionne	:
:	:	:	:	:	:	:
:	0	:	0	:	Port A	:
:	:	:	:	:	:	:
:	0	:	1	:	Port B	:
:	:	:	:	:	:	:
:	1	:	0	:	Port C	:
:	:	:	:	:	:	:
:	1	:	1	:	Reg de commande	:
:	:	:	:	:	:	:

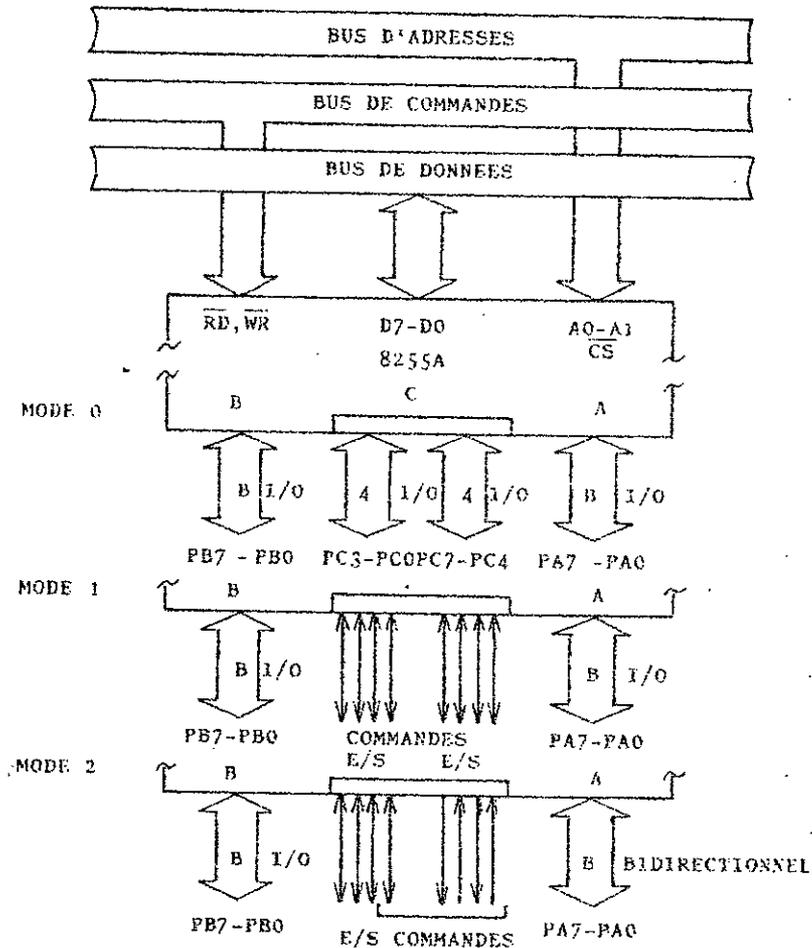


Fig.26 Modes de fonctionnement du 8255A

#### 1.4 Programmation du PPI

##### a)- Remise à zéro des registres

Sur un RESET tous les ports sont positionnés en mode entrée. Le contenu de tous les registres de l'interface sont remis à zéro. Il faut donc avant toute manipulation programmer les registres internes du PPI.

##### b)- Mot de commande

Il doit être chargé dans le registre de commande du PPI, sa programmation est illustrée par la (Fig.27 ). Le bit D7 du mot de commande est mis à 1 afin de signaler à l'interface que le mot chargé a pour fonction de sélectionner le mode.

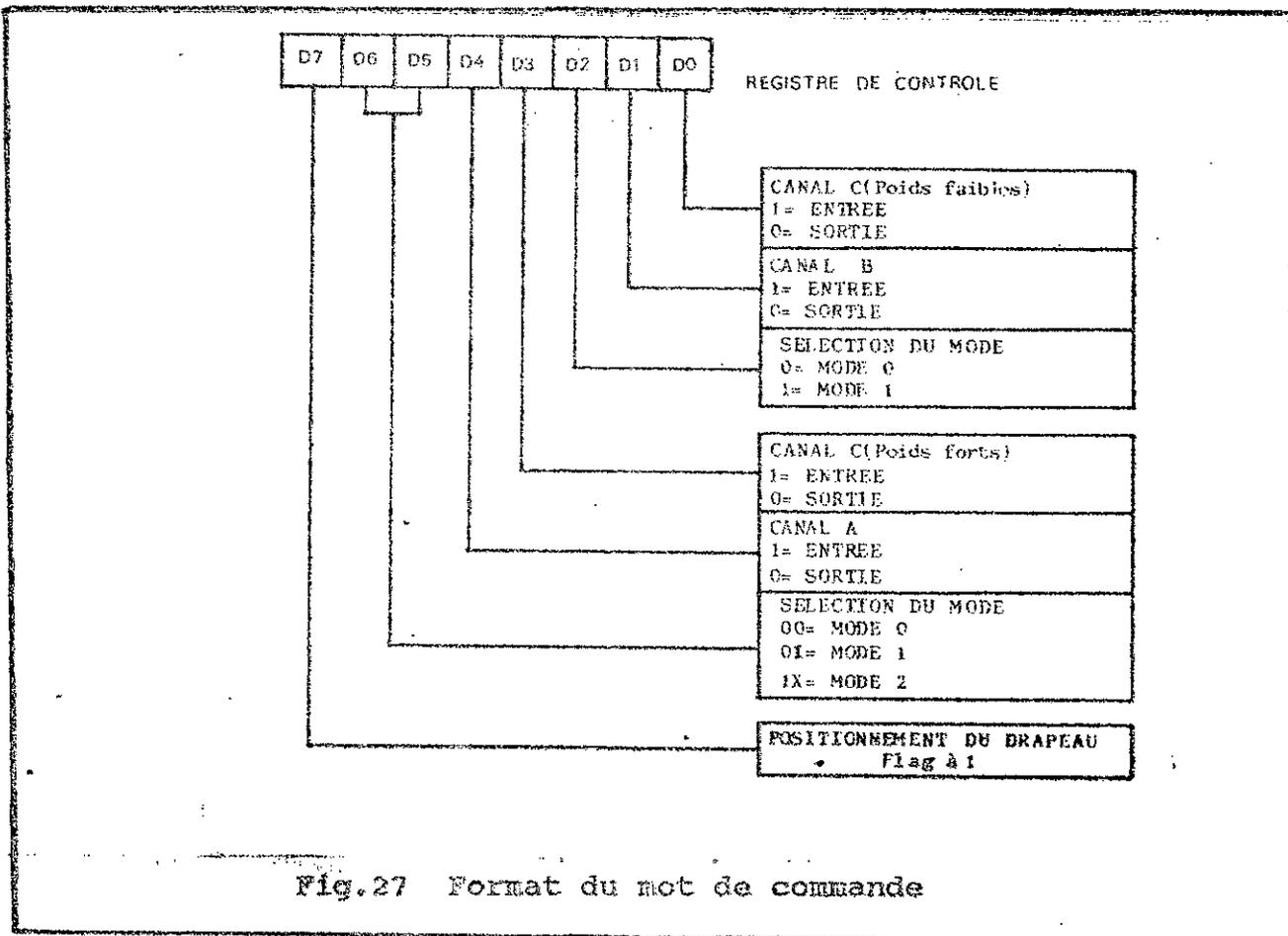


Fig.27 Format du mot de commande

c)- Mot d'initialisation à 0 ou à 1

Un mot de commande pour lequel D7 est à l'état zéro, permet de mettre à 1 ou à 0 des bits du port C. (Fig.28)  
L'utilisation d'une telle méthode est préconisée pour la génération d'impulsions de commandes. Si D0 est à 1 l'impulsion est au niveau haut, réciproquement cette dernière est au niveau bas si D0 est à 0.

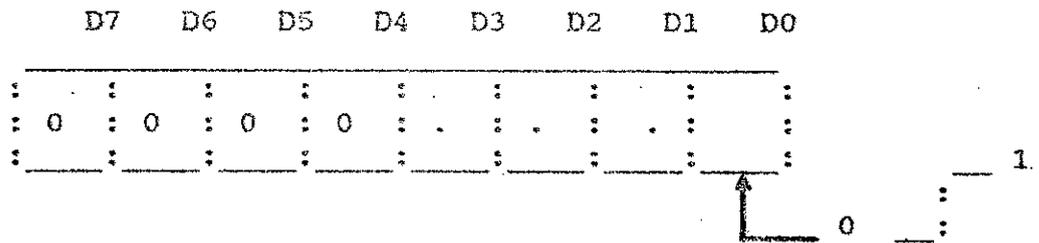


Fig.28 Mot de commande pour la génération d'impulsions

Afin de sélectionner l'un des bits il suffira de coder les trois bits D3,D2,D1 suivant les configurations données par le tableau ci-dessous

D3	D2	D1	Bit utilisé
0	0	0	PC0
0	0	1	PC1
0	1	0	PC2
0	1	1	PC3
1	0	0	PC4
1	0	1	PC5
1	1	0	PC6
1	1	1	PC7

### III.5.2- Adressage de la carte

Afin d'éviter un conflit dans l'adressage d'un registre d'interface ou d'une position mémoire, un décodage d'adresses est nécessaire.

Il existe deux types d'adressages:

a) adressage par sélection linéaire:

C'est le mode le plus simple car dans ce cas on sélectionne les boîtiers en reliant leurs entrées de sélection ( $\overline{CS}$ ) directement aux fils d'adresses du microprocesseur. Cette simplicité accrue se paie par une moins occupation mémoire et un nombre de périphériques ou de circuits externes considérablement plus restreint.

b) adressage par décodage :

Il consiste à décoder des bits d'adresses pour sélectionner une mémoire ou un interface. Ce mode est le plus intéressant car il permet, moyennant un décodage judicieux, d'occuper la plus grande partie possible des 64 K octets théoriquement disponibles.

- Logique de selection ( décodage )

Rappelons que sur un PC les positions des ports ne font pas

partie de l'espace mémoire adressable. Deux signaux issus du bus d'extention permettent de les discerner des adresses mémoires. Il s'agit de IOR et IOW (broches B13 et B14. voir ANNEXE II).

Un regard sur la table des adresses E/S (Fig.6, ANNEXE II ) nous permet de constater que seules les 10 premiers bits sont à décoder.

Notre carte sera logée aux adresses des ports utilisés par la carte prototype d'IBM c.à.d entre 300H et 31EH [11]. De ce fait dans l'espace mémoire alloué aux E/S, la carte pourra occuper 4 positions mémoire correspondant aux 4 registres du 8255A comme indiqué ci-dessous:

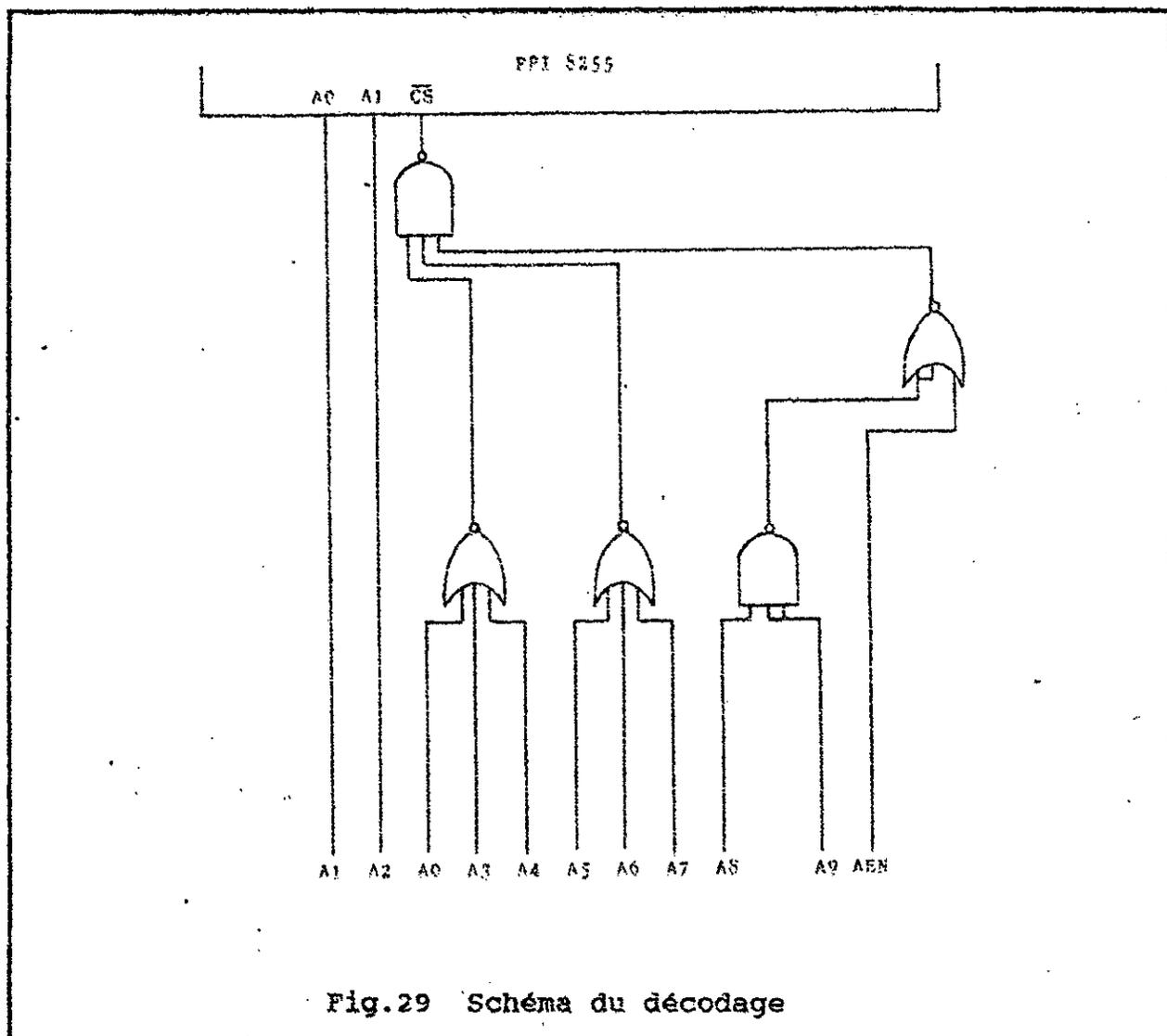
:	:	:
:	Adresse en hexa :	Partie adressée :
:	-----	-----
:	300	Port A
:	-----	-----
:	302	Port B
:	-----	-----
:	304	Port c
:	-----	-----
:	306	Reg de commande
:	-----	-----

Les bits A0,.....,A9 sont décodés pour sélectionner le PPI. De plus, le signal AEN intervient dans la logique de décodage afin d'éviter un conflit sur le bus d'adresses lors d'un transfert par DMA. Une adresse ne sera validée que lorsque AEN sera à l'état bas.

Conformément aux adresses définies dans le tableau précédent, le décodage des bits du bus d'adresses se fait de la manière suivante:

A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	.	.	0
3				0				Variable			

Le dernier quartet prenant les valeurs 8 , A , C ou E suivant la combinaison imposée à A0 et A1 du PPI 8255 ( voir Fig.29 )



Après avoir fait l'étude des différents constituants de la carte nous pouvons donner maintenant un synoptique qui met en évidence tout les signaux de commandes et de dialogues entre les éléments de la carte eux mêmes, le microprocesseur et le spectrometre (voir Fig.30).

### III.6 REALISATION ET FONCTIONNEMENT DE LA CARTE

La carte réalisée dont le schéma électrique est donné à la Fig.33 est implantée sur une plaque double face aux dimensions normalisées, et qui est insérée dans un des slots du micro-ordinateur (Fig.31). Elle est composée des éléments suivants:

- Un interface de périphérique programmable (PPI) 8255A,
- Une logique de selection,
- Un échantillonneur bloqueur AD 585,
- Un convertisseur analogique numérique AD 673J,
- Un étage de sortie.

L'étage de sortie est constitué d'un transistor monté en collecteur commun, il a pour rôle de fournir un courant relativement élevé en sortie ( quelques mA ), avec un gain en tension égal à 1.

- Fonctionnement de la carte

Après application de l'impulsion  $\pi/2$ , Le signal de précession libre (FID) attaque l'entrée analogique de l'échantillonneur-bloqueur. Le passage de l'état bas à l'état haut de la broche PC1 du PPI, qui attaque l'entrée HOLD de l'échantillonneur-bloqueur, déclenche l'opération d'échantillonnage. Le passage du niveau haut au niveau bas sur la même entrée bloque la valeur échantillonnée.

Un niveau haut sur PC2, appliqué à la broche CONVERT du convertisseur déclenche la conversion du signal échantillonné, RD passe alors du niveau bas au niveau haut.

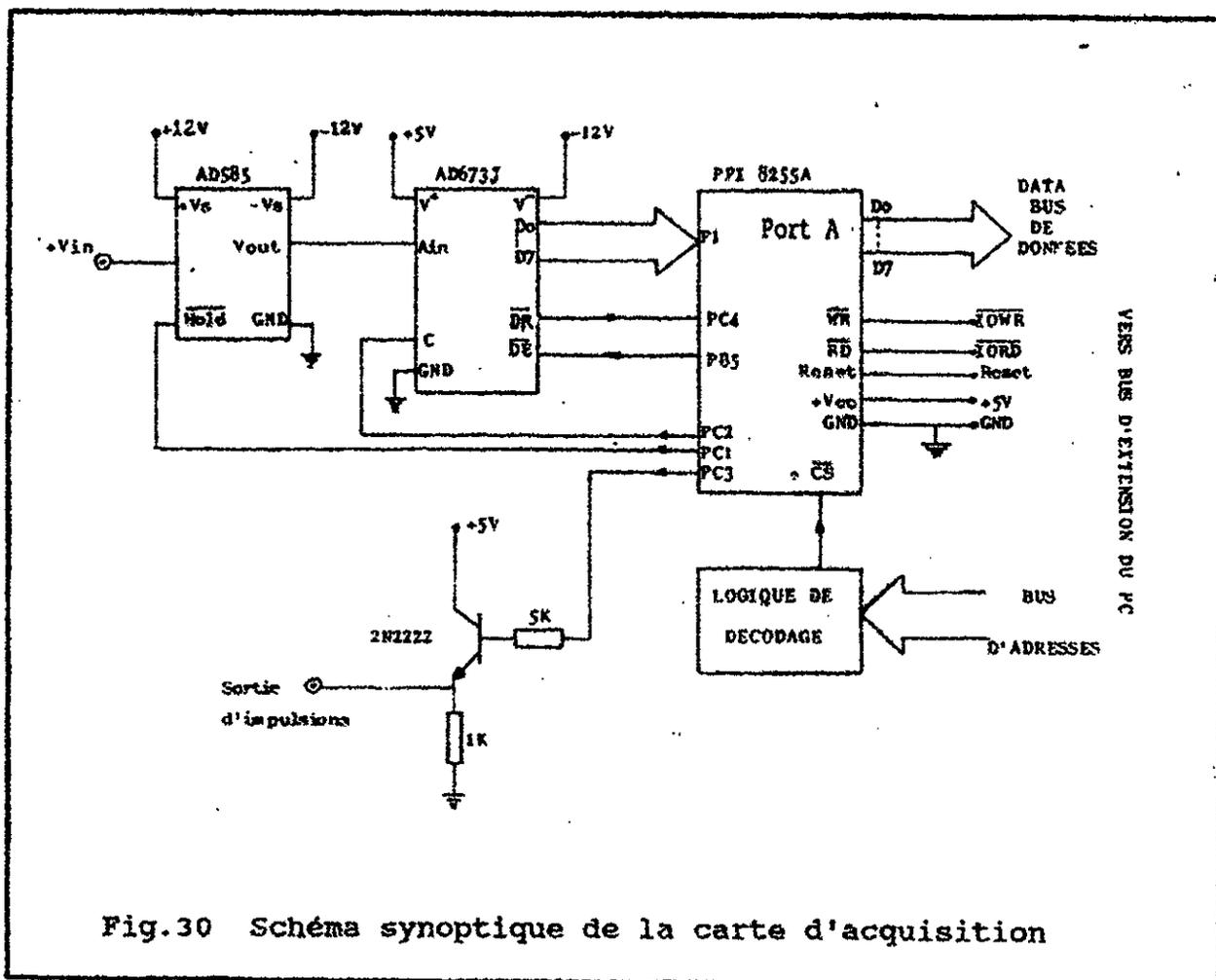
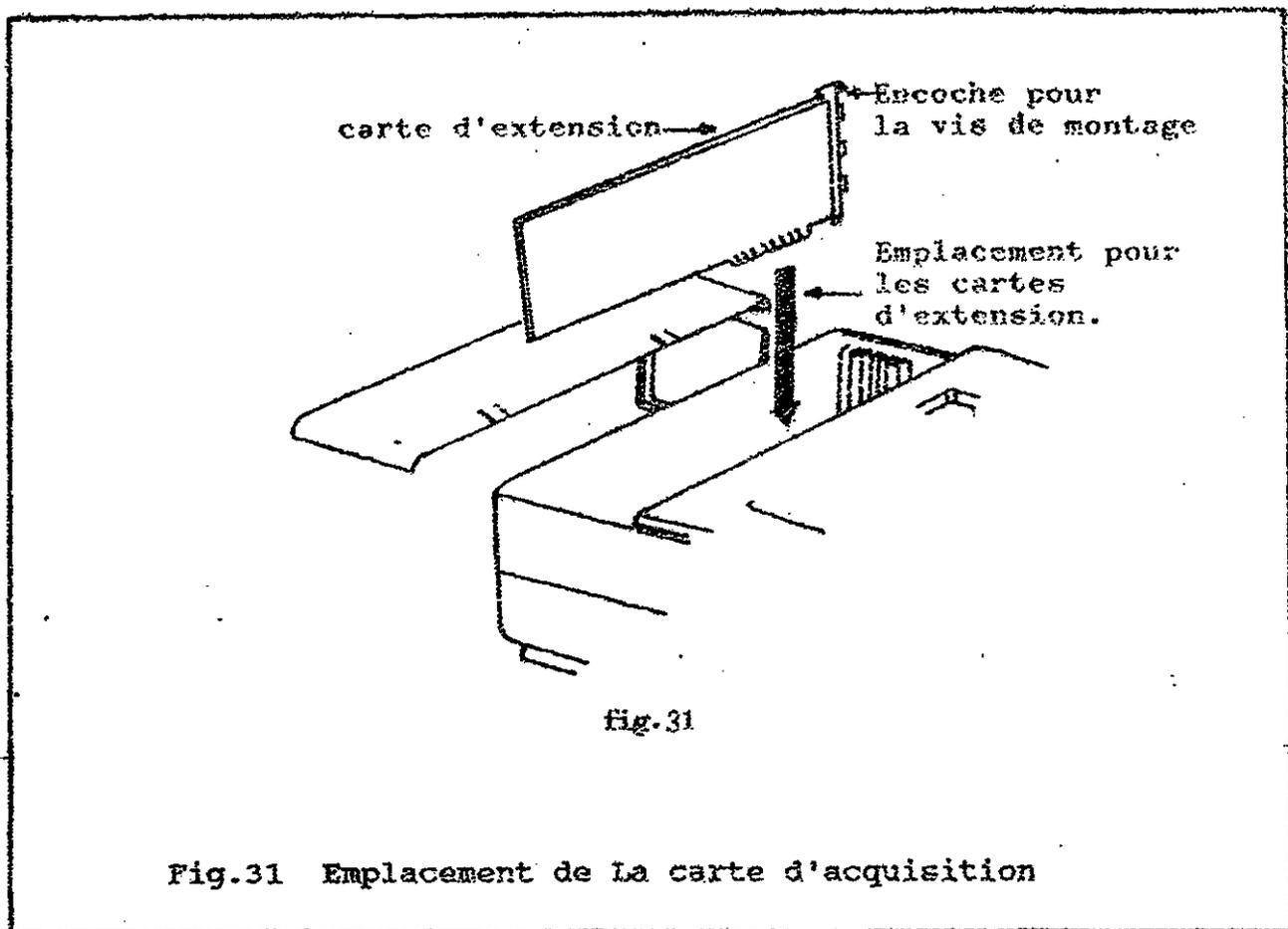


Fig.30 Schéma synoptique de la carte d'acquisition



Le passage du niveau haut au niveau bas de  $\overline{RD}$  appliqué à la broche Pc4 du PPI, indique la fin de la conversion.

Le passage du niveau haut au niveau bas de Pb5 appliqué à la broche DE du convertisseur libère les latches (données) de sortie du convertisseur. Le résultat de la conversion est alors disponible sur le port A du PPI.

Quand à la génération des impulsions à destination de l'émetteur du spectromètre RMN, elle est assurée par le bit Pc3 du port C via l'étage de sortie (voir Fig.32).

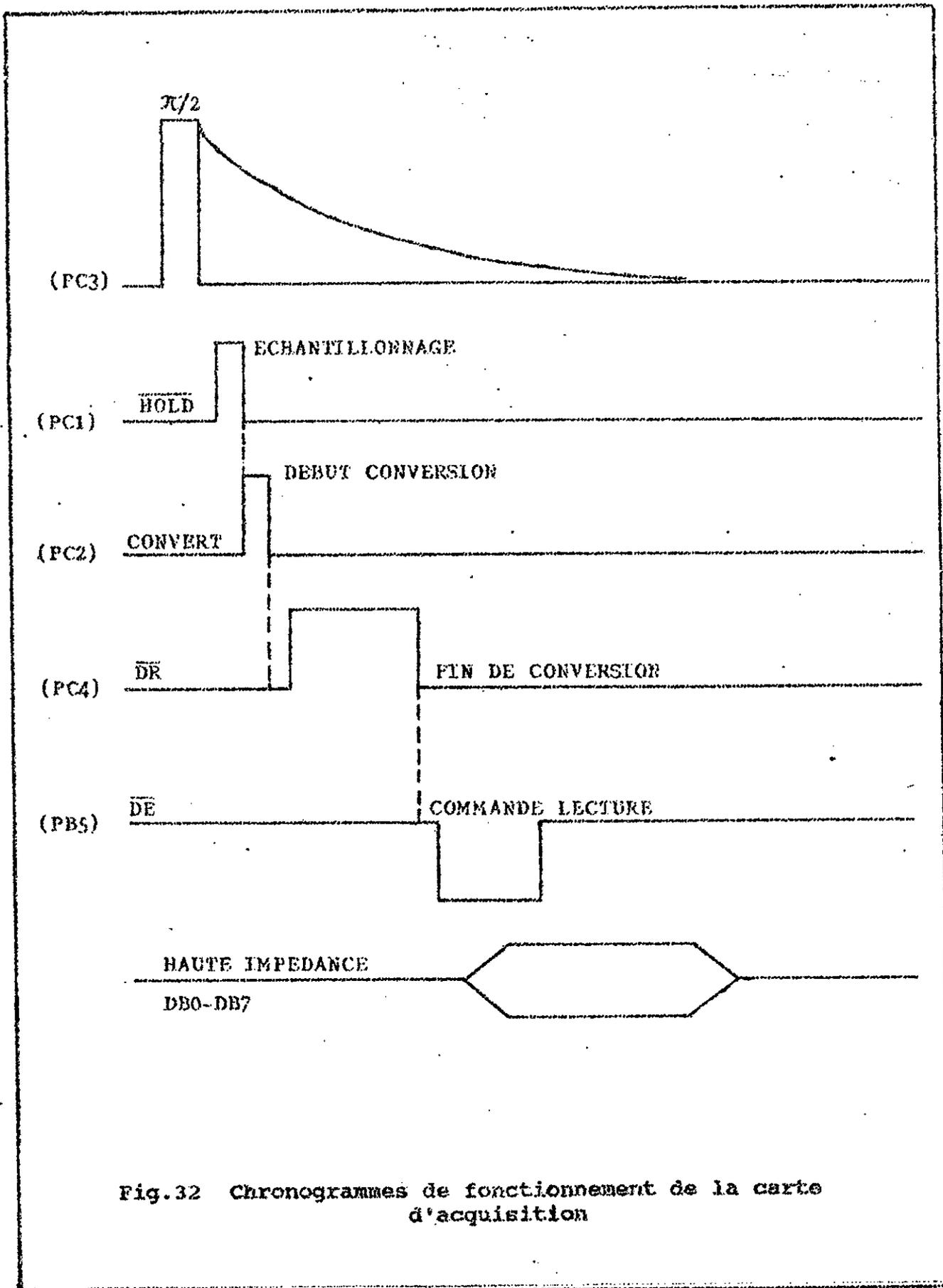


Fig.32 Chronogrammes de fonctionnement de la carte d'acquisition

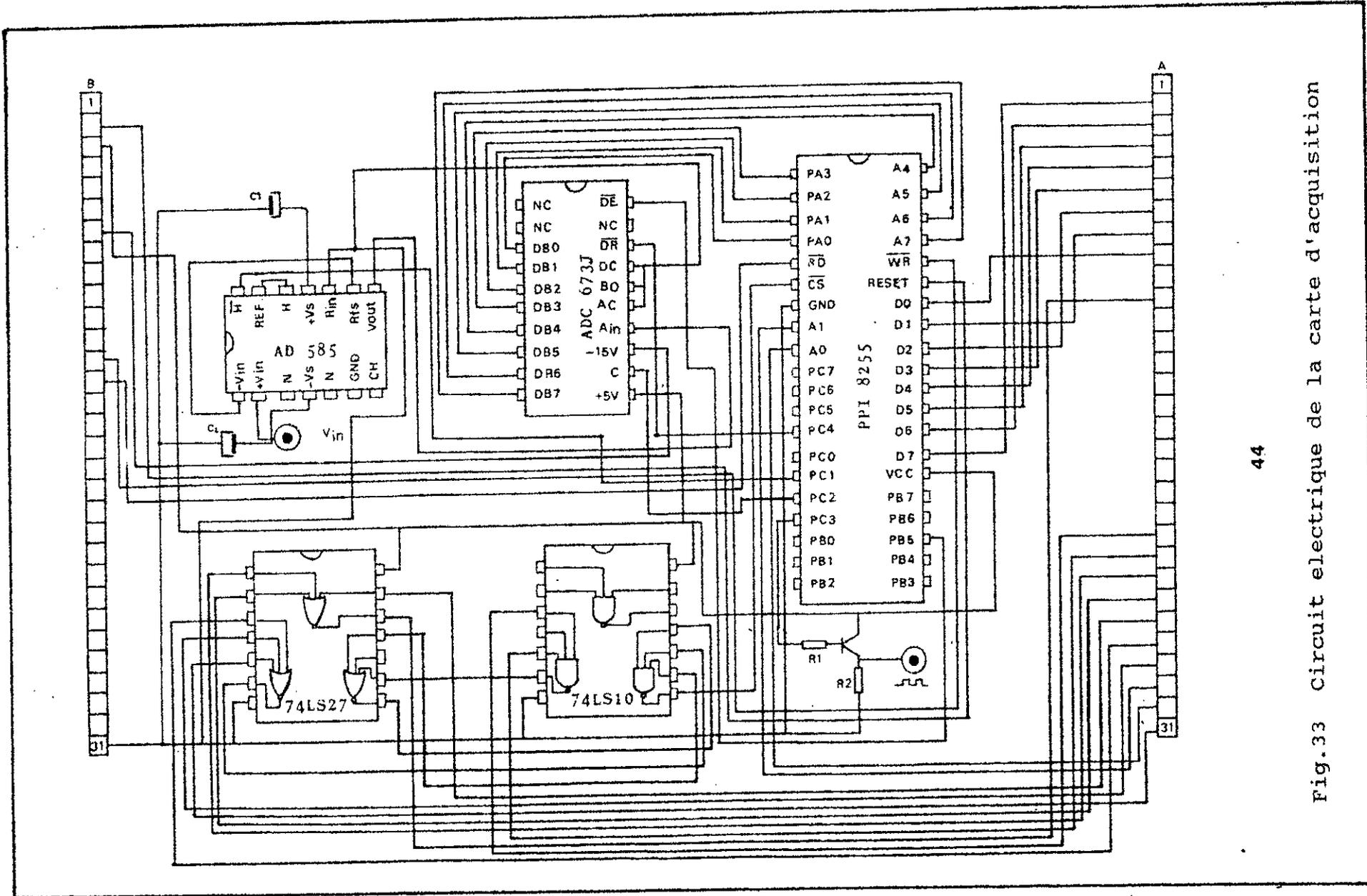


Fig.33 Circuit électrique de la carte d'acquisition



# Chapitre

4



## CHAPITRE IV

### LOGICIELS DE GESTION DE LA CARTE D'ACQUISITION

#### IV.1 DIALOGUE UTILISATEUR MACHINE

La structure matérielle ainsi réalisée dans le chapitre précédent ne peut fonctionner telle quelle car, étant conçue à base d'un microprocesseur un logiciel y est indispensable.

Le logiciel que nous avons développé s'articule autour du programme principal NMR. Ce dernier fait appel à plusieurs sous-programmes dont :

- Acquisition de données " ACQUI " : assurant l'acquisition du signal de précession libre ( FID ).
- Fixation Ton " TON " : permettant la fixation de la durée ON de l'impulsion  $90^\circ$  ( $\pi/2$  ).
- Mesure de T1 " RELAXT1 " : assure la mesure du temps de relaxation spin-reseau (T1).

Il faut noter enfin que notre système réalise une acquisition en temps réel, on a donc utilisé dans l'élaboration des sous-programmes le langage assembleur; ce choix a été motivé par le fait que ce langage présente une très grande vitesse d'exécution (relativement par rapport aux langages évolués.). Plusieurs sous-programmes source, en langage assembleur ont été élaborés en utilisant la technique standard décrite par Miller [18].

#### - Interaction langage évolué-assembleur

L'assembleur est l'un des langages les plus efficaces pour effectuer le contrôle des éléments de notre carte. Or l'utilisation unique de ce langage demeure difficile à mettre au point malgré l'utilisation du macro assembleur. Nous avons jugé nécessaire de gérer les sous-routines assembleurs par un langage évolué (BASIC).

L'appel de sous-routine en langage BASIC est réalisé à l'aide de l'instruction " SHELL "



d'amplitude. La durée ON ainsi calculée sera sauvegardée pour être utilisée par la suite dans la mesure du temps de relaxation spin-réseau.

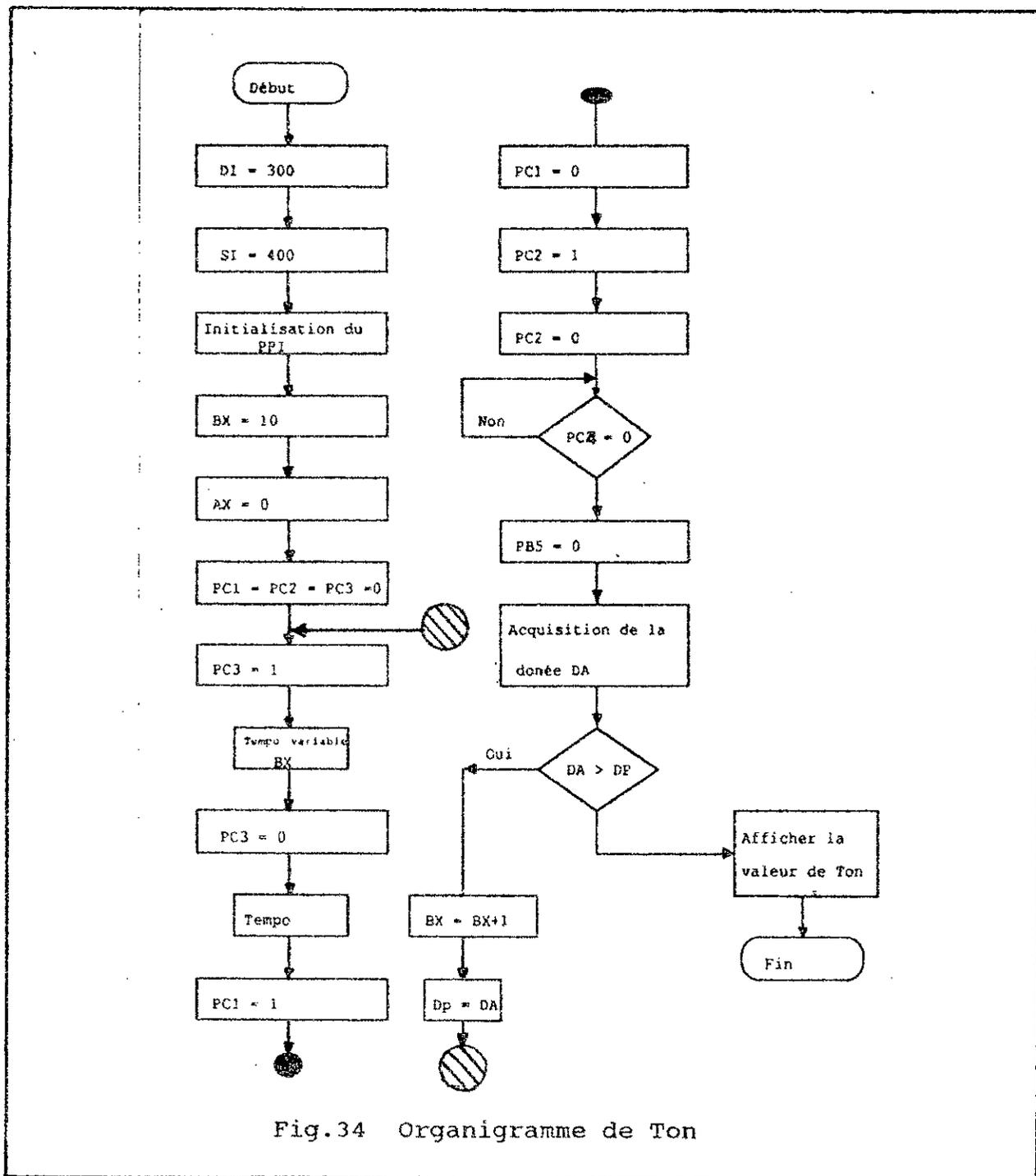


Fig.34 Organigramme de Ton

#### IV.3 ACQUISITION DU SIGNAL DE PRECESSION LIBRE ( FID )

Le signal de precession libre est le signal induit dans la bobine après interruption de l'onde R.F. L'acquisition de ce signal est réalisé par la sous-routine ACQUI.ASM dont l'organigramme est développé ci-après.

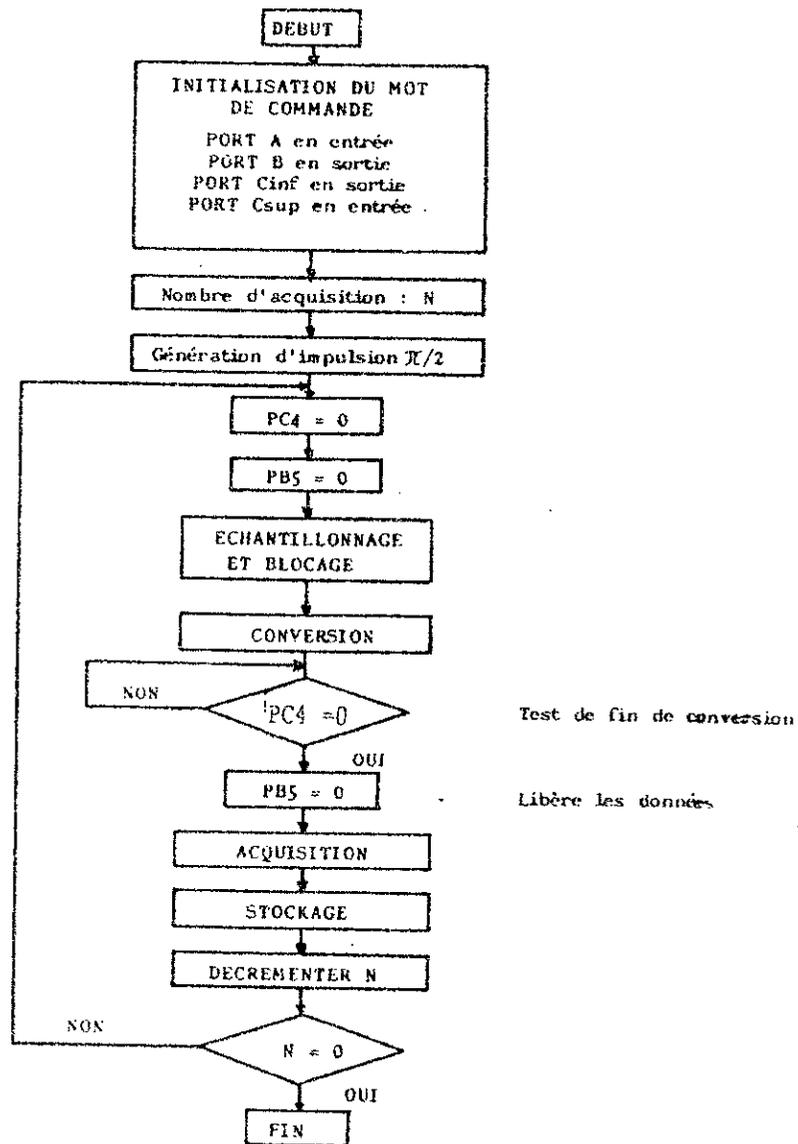
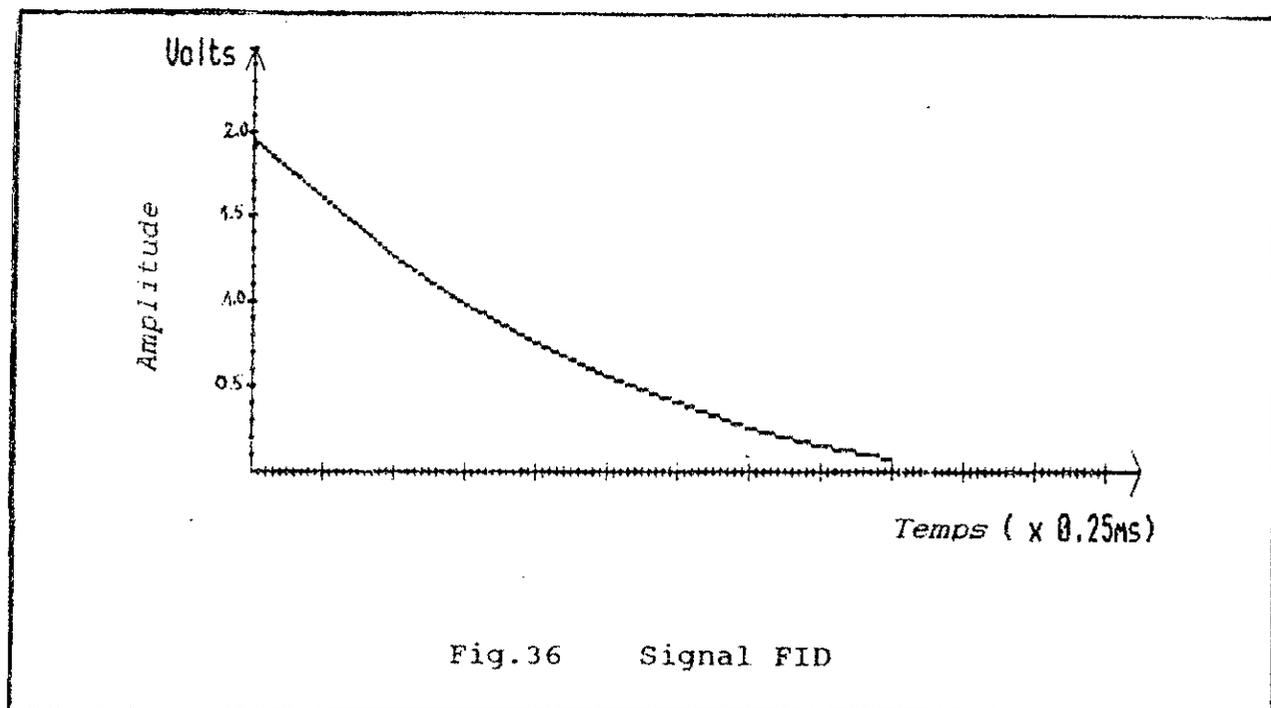


Fig.35 Organigramme du programme d'acquisition du signal FID

Comme mentionné sur l'organigramme, le programme commence par initialisé le PPI de telle sorte que le port A et le quartet de poids fort du port C soient programmés en entrée alors que le quartet de poids faible et le port B sont programmés en sortie [9], [14]. Il génère ensuite l'impulsion  $\pi/2$  transmise à l'émetteur du spectromètre par la broche PC3 du PPI, et réalise une temporisation de quelques microsecondes nécessaires à la désaturation du récepteur.

Dans une troisième étape, active la broche PC1 du PPI qui commande l'échantillonnage du signal, on obtient ainsi la première valeur analogique échantillonnée. Ensuite, il procède au blocage de cette valeur et active la broche PC2 qui

commande la conversion. Le programme teste ensuite la fin de conversion par la broche PC4, qui à l'état bas indique la fin de conversion ( voir Fig.32 ). Le programme adresse alors la donnée présente sur le port A vers le segment mémoire de données du microprocesseur à l'adresse 2000:400h. Cette dernière est répétée autant de fois que le nombre de points acquis. La figure 36, donne l'allure signal FID acquis d'un tissu cancéreux.



```

10 GOTO 160
20 ' *****
30 ' *
40 ' *
50 ' *   REALISATION D'UN SYSTEME D'ACQUISITION DE DONNEES RMN
60 ' *           ET MESURE DU TEMPS DE RELAXATION T1
70 ' *
80 ' *****
90 '
100 '   CE PROGRAMME (RMN.BAS)PERMET D'AFFICHER ET DE TRAITER LES
110 '   VALEURS ACQUISES A PARTIR DES SUBROUTINES ASSEMBLEUR *.COM
120 '
130 '
140 '
150 ' %%%%%%%%%%
160 KEY OFF:NMAX=10:TMAX=26
170 DIM RESULT(NMAX),RESULT1(NMAX),RESULTT(TMAX)
180 SCREEN 0,1:COLOR 10,0,0 :CLS:WIDTH 40
190 LOCATE 5,15:COLOR 0,7 :PRINT "  M E N U  "
200 LOCATE 8,37:COLOR 10,0:PRINT "   1-Acquisition de données"
210 LOCATE 10,37:COLOR 10,0:PRINT "   2-Trace de la courbe"
220 LOCATE 12,37:COLOR 10,0:PRINT "   3-Appeller un fichier résultat"
230 LOCATE 14,37:COLOR 10,0:PRINT "   4-Fixer la période ON"
240 LOCATE 16,37:COLOR 10,0:PRINT "   5-Determiner T1"
250 LOCATE 18,37:COLOR 10,0:PRINT "   6-Retour au BASIC"
260 LOCATE 23,12:COLOR 0,7:PRINT " Votre choix >> "
270 A$=INKEY$: IF A$="" THEN 260
280 IF (A$<>"1") AND (A$<>"2") AND (A$<>"3")
    AND (A$<>"4") AND (A$<>"5") AND (A$<>"6") THEN 260
290 IF A$="1" THEN GOSUB 370
300 IF A$="2" THEN GOSUB 730
310 IF A$="6" THEN GOTO 360
320 IF A$="5" THEN GOSUB 1120
330 IF A$="3" THEN GOSUB 910
340 IF A$="4" THEN GOSUB 1010
350 GOTO 180
360 COLOR 7,0:CLS:WIDTH 40:LOCATE 10,10:
    PRINT "MERCI DE VOTRE ATTENTION ":LOCATE 24,1:BEEP:BEEP:
    WIDTH 80:COLOR 7,0:KEY ON:END
370 KEY OFF:COLOR 7,0:CLS:WIDTH 40
380 LOCATE 10,10:PRINT "APPLIQUER LE SIGNAL SVP"
390 LOCATE 22,10:COLOR 0,7:PRINT " Appuyez sur une touche "
400 LOCATE 23,14:COLOR 0,7:PRINT " pour continuer "
410 A$=INPUT$(1)
420 SHELL"ACQUI.COM
430 DEF SEG=&H2000
440 FOR I=0 TO NMAX-1
450 RESULT(I)=PEEK(I+&H400)*19.53*.001
460 NEXT I
470 'AFFICHAGE
480 WIDTH 80:COLOR 7,0:CLS
490 LOCATE 4,27:COLOR 0,7:PRINT " "
500 LOCATE 5,27:COLOR 0,7:PRINT " VOICI LES RESULTATS
    DE L'ACQUISITION "
510 LOCATE 6,27:COLOR 0,7:PRINT " "
520 LOCATE 13,10:COLOR 7,0:PRINT "V (volts) : ";
530 LOCATE 13,23
540 FOR T=0 TO 3:PRINT USING "EEEE.EEEE":RESULT(T):NEXT
550 LOCATE 15,23
560 FOR TT=4 TO 7 :PRINT USING "EEEE.EEEE":RESULT(TT):NEXT

```

```

570 LOCATE 17,23
580 FOR TI=8 TO 9 :PRINT USING "EEEE.EEEE";RESULT(TI);:NEXT
590 'LOCATE 19,23
600 'FOR TU=12 TO 15 :PRINT USING"EEEE.EEEE";RESULT(TU);:NEXT
610 LOCATE 23,20:COLOR 0,7:INPUT "VOULEZ VOUS SAUVEGARDER
CES DONNEES SUR DISQUE";REP1$
620 IF (REP1$<>"N") AND (REP1$<>"n") AND (REP1$<>"O")
AND (REP1$<>"o") THEN 610
630 IF (REP1$="N") OR (REP1$="n") THEN 710
640 LOCATE 23,9:INPUT "NOM DU FICHIER AVEC EXTENTION(.DAT) ?";NOM$
650 OPEN "O".£1,NOM$
660 FOR J=0 TO NMAX-1
670 R=RESULT(J)
680 PRINT £1,R
690 NEXT J
700 CLOSE £1
710 LOCATE 23,28:COLOR 0,7:
PRINT " Appuyez une touche pour continuer "
720 R$=INPUT$(1):COLOR 7,0:RETURN
730 SCREEN 2:CLS:KEY OFF
740 YM=0:P=1/5:FX=200
750 FY=60:X0=50:Y0=150
760 FOR K=0 TO NMAX-1:RESULT1(K)=Y0-FY*RESULT(K):NEXT
770 LINE(X0,Y0)-(X0+500,Y0):LINE(X0,Y0)-(X0,Y0-100)
:PSET(X0-30,Y0-140):DRAW"R550 D160 L550 U160"
780 PSET (X0+500,Y0):DRAW "H5F5G5E5"
015 PSET(X0,Y0-100):DRAW "G5E5F5H5"
790 TX=X0:TY=RESULT1(0)
800 FOR S=1 TO NMAX-1
810 X=FX*S*P+X0:Y=RESULT1(S)
820 LINE(TX,TY)-(X,Y):TX=X:TY=Y
830 NEXT S
840 LOCATE 7,1:PRINT "Volts":LOCATE 21,58:PRINT "T ( x 0.25ms)"
850 FOR I=1 TO 12 :PSET(FX*I*P+X0,Y0):DRAW"D2U4"
:PSET(X0,Y0-I*20):DRAW"R2L5"
860 NEXT I
870 FOR Q=1 TO 120:PSET(4*Q+X0,Y0):DRAW"D1U2":NEXT
880 FOR U=1 TO 25 :PSET(X0,Y0-4*U):DRAW"R1L2":NEXT
890 'LOCATE 23,53:PRINT"Appuyer une touche":A$=INPUT$(1)
900 A$=INPUT$(1):RETURN
910 CLS:COLOR 7,0:WIDTH 80:LOCATE 5,5
:PRINT "VOICI LES FICHIER EXISTANT SUR LE DISQUE : "
:FILES "*.DAT":LOCATE 22,9:INPUT "NOM DU FICHIER (*.DAT) >";NOM1$
920 OPEN "I",£1,NOM1$
930 FOR T=0 TO NMAX-1
940 INPUT £1,R
950 RESULT(T)=R
960 NEXT T
970 CLOSE £1
980 LOCATE 23,25:COLOR 0,7:
PRINT " Appuyez une touche pour continuer "
990 R$=INPUT$(1):COLOR 7,0:RETURN
1000 RETURN
1010 KEY OFF:COLOR 7,0:CLS:WIDTH 40
1020 LOCATE 10,10:PRINT "APPLIQUER LE SIGNAL SVP"
1030 LOCATE 22,10:COLOR 0,7:PRINT " Appuyez sur une touche "
1040 LOCATE 23,14:COLOR 0,7:PRINT " pour continuer "
1050 A$=INPUT$(1).CLS:LOCATE 14,21
:PRINT "PATIENTEZ MESURE EN COURS ..."
1060 SHELL "TON.COM

```

```

1070 DEF SEG=&H2000
1080 TON=PEEK(&H400)*2.125+2.375
1090 PRINT "LA VALEUR TROUVE DE TON EST          ".TON;"µs"
1100 LOCATE 23,24:PRINT " Appuyez une touche ":A$=INPUT$(1)
1110 RETURN
1120 KEY OFF:COLOR 7,0:CLS:WIDTH 40
1130 LOCATE 10,10:PRINT" APPLIQUER LE SIGNAL SVP"
1140 LOCATE 22,10:COLOR 0,7:PRINT" appuyer sur une touche"
1150 LOCATE 23,14:COLOR 0,7:PRINT" pour continuer"
1160 A$=INPUT$(1):CLS:LOCATE 14,21
      :PRINT"PATIENTEZ MESURE EN COURS ..."
1170 SHELL "RELAXT1.COM
1180 DEF SEG=&H2000
1190 FOR I=0 TO 26
1200 RESULTT(I)=PEEK(I+&H400)*19.53*.001
1210 NEXT I
1220 YM=0: FOR U=0 TO 26
1230 IF YM<RESULTT(U) THEN YM=RESULTT(U)
1240 NEXT
1250 E=.63*YM: FOR K=0 TO 26
1260 IF RESULTT(K)< E THEN NEXT:IF RESULTT(K)=E THEN LET S=K
      :IF RESULTT(K)>E THEN LET S=K-1/2
1270 LET TT=50+S*50
1280 LOCATE 18,10:PRINT"La valeur de T1 est          ". TT;"ms"
1290 LOCATE 23,20:COLOR 0,7:
      INPUT "VOULEZ VOUS TRACER LA COURBE":REP2$
1300 IF (REP2$<>"N") AND (REP2$<>"n") AND (REP2$<>"O")
      AND (REP2$<>"o") THEN 1290
1310 IF (REP2$="O") OR (REP2$="o") THEN 1340
1320 LOCATE 23,63:PRINT" Appuyer une touche":A$=INPUT$(1)
1330 RETURN
1340 SCREEN 2:CLS:KEY OFF
1350 YM=0:P=1/10:FX=200
1360 FY=40:X0=50:Y0=150
1370 FOR K=0 TO 26:RESULT1(K)=Y0-FY*RESULT(K):NEXT
1380 LINE(X0,Y0)-(X0+500,Y0):LINE(X0,Y0)-(X0,Y0-125)
1390 PSET(X0-30,Y0-140):DRAW"R550 D160 L550 U160"
1400 PSET(X0+500,Y0):DRAW"H5F5G5E5":PSET(X0,Y0-125):DRAW"G5E5F5H5"
1410 TX=X0+20:TY=RESULT1(0)
1420 FOR S=1 TO 24
1430 X=FX*(S+1)*P+X0:Y=RESULT1(S)
1440 LINE(TX,TY)-(X,Y):TX=X:TY=Y
1450 NEXT S
1460 LOCATE 3,4:PRINT "Volts":LOCATE 21,60:PRINT"T ( x 50ms)"
1470 FOR I=1 TO 24:PSET(FX*I*P+X0,Y0):DRAW"D2U4"
1480 PSET(X0,Y0-I*20):DRAW"R2L5"
1490 NEXT I
1500 FOR Q=1 TO 120:PSET(4*Q+X0,Y0):DRAW"D1U2":NEXT
1510 FOR U=1 TO 30 :PSET(X0,Y0-4*U):DRAW"R1L2":NEXT
1520 LOCATE 23,53:PRINT"Appuyer une touche":A$=INPUT$(1)
1530 :RETURN

```

COMMENT

\* Program to fix the 90 degree pulse  
 Amplitude value stored at 400h.  
 Ton duration stored at 300h.  
 Runs as a COM file \*

```
portA EQU 0300h
portB EQU 0302h
portC EQU 0304h
comReg EQU 0306h
```

```
code SEGMENT
ASSUME CS:code,DS:code
ORG 100h
```

```
start: CLI ;clear all interrupts

MOV SI,300h ;value of Ton at address 300h
MOV DI,400h ;amplitude max. of NMR signal at 400h

MOV BX,0010 ;first value of the ON duration
XOR AX,AX ;first value of amplitude
```

```
return: PUSH AX
```

```
MOV DX,comReg
MOV AL,98h
OUT DX,AL ;initialisation of PPI
```

```
MOV AL,06
OUT DX,AL ;set PC3 low
```

```
MOV AL,02
OUT DX,AL ;set PC1 low
```

```
MOV AL,04
OUT DX,AL ;set PC2 low
```

```
MOV AL,07
OUT DX,AL ;set PC3 high
```

```
ton2: MOV CX,BX ;to generate the ON duration
LOOP ton2 ;of the transmitter pulse
```

```
MOV AL,06
OUT DX,AL ;set PC3 low
```

```
ton3: MOV CX,0050
LOOP ton3 ;saturation recovery
```

```
MOV DX,portC
MOV AL,10h
OUT DX,AL ;set PC4 high
```

```
MOV DX,portB
MOV AL,20h
```

```

:OUT DX,AL           ;set PB5 high

MOV DX,comReg
MOV AL,03           ;set PC1 high
OUT DX,AL           ;for sampling

MOV AL,02           ;set PC1 low
OUT DX,AL           ;for holding

MOV AL,05
OUT DX,AL           ;set PC2 high

MOV AL,04           ;set PC2 low
OUT DX,AL           ;start of conversion

ton6:
MOV DX,portC
IN AL,DX
TEST AL,10h         ;test if PC4 is low
JNZ ton6            ;end of conversion

MOV DX,portB
MOV AL,00           ;force PB5 low to place
OUT DX,AL           ;the data byte at PortA

MOV DX,portA
IN AL,DX            ;data in through portA
MOV [DI],AL         ;store signal amplitude at 400h
POP DX              ;get the past value of NMR

CMP AL,DL           ;compare with present value
JB save             ;save on duration

XOR AH,AH           ;set AH to zero
INC BX              ;for the next value of ON
CMP BX,0100         ;compare and jump if 100 is below
JGE message        ;or equal to the contents of BX

ton7:
MOV CX,000Fh
MOV DX,9FFFh
ton8:
DEC DX
JNZ ton8            ;fix the period off to ?
LOOP ton7

JMP return

save:
SUB BX,01
MOV [SI],BX
STI                 ;set all interrupts
JMP godos

message:
MOV DX,OFFSET display
MOV AH,09
INT 21h

godos:
MOV AH,4Ch          ;return to DOS
INT 21h

display
DB 'The value of Ton is unusually large $'

code
ENDS

```

COMMENT \* Signals acquisition programme  
for each signal 16 data points are acquired  
runs as a COM file \*

portA EQU 0300h  
portB EQU 0302h  
portC EQU 0304h  
comReg EQU 0306h

code SEGMENT  
ASSUME CS:code,DS:code  
ORG 100h

```
start:  CLI                ; clear all interrupts

        MOV DI,400h       ; starting address of data
        MOV BL,16        ; for 16 data points

        MOV DX,comReg
        MOV AL,98h
        OUT DX,AL        ; initialisation of PIA

        MOV DX,comReg
        MOV AL,06
        OUT DX,AL        ; set PC3 low

        MOV AL,02
        OUT DX,AL        ; set PC1 low

        MOV AL,04
        OUT DX,AL        ; set PC2 low

        MOV AL,07
        OUT DX,AL        ; set PC3 high

acq1:   MOV CX,000Fh      ; to generate the 90 degree
        LOOP acq1        ; transmitter pulse

        MOV AL,06
        OUT DX,AL        ; set PC3 low

acq2:   MOV CX,0010
        LOOP acq2        ; saturation recovery

acq3:   MOV DX,portC
        MOV AL,00h
        OUT DX,AL        ; set PC4 low (  $\overline{DR} = 0$  )

        MOV DX,portB
        MOV AL,20h
        OUT DX,AL        ; set PB5 high (  $\overline{DE} = 1$  )

        MOV AL,03
        OUT DX,AL        ; set PC1 high (  $\overline{HOLD} = 1$  )
        ; for sampling
```

COMMENT \* Signals acquisition programme  
for each signal 16 data points are acquired  
runs as a COM file \*

```
portA EQU 0300h
portB EQU 0302h
portC EQU 0304h
comReg EQU 0306h
```

```
code SEGMENT
ASSUME CS:code,DS:code
ORG 100h
```

```
start: CLI ; clear all interrupts

MOV DI,400h ; starting address of data
MOV BL,16 ; for 16 data points

MOV DX,comReg
MOV AL,98h
OUT DX,AL ; initialisation of PIA

MOV DX,comReg
MOV AL,06
OUT DX,AL ; set PC3 low

MOV AL,02
OUT DX,AL ; set PC1 low

MOV AL,04
OUT DX,AL ; set PC2 low

MOV AL,07
OUT DX,AL ; set PC3 high

MOV CX,000Fh ; to generate the 90 degree
acq1: LOOP acq1 ; transmitter pulse

MOV AL,06
OUT DX,AL ; set PC3 low

MOV CX,0010
acq2: LOOP acq2 ; saturation recovery

acq3: MOV DX,portC
MOV AL,00h ;
OUT DX,AL ; set PC4 low (  $\overline{DR} = 0$  )

MOV DX,portB
MOV AL,20h ;
OUT DX,AL ; set PB5 high (  $\overline{DE} = 1$  )

MOV AL,03 ; set PC1 high (  $\overline{HOLD} = 1$  )
OUT DX,AL ; for sampling
```

```

MOV AL, 02      ; set PC1 low  ( $\overline{HOLD} = 0$ )
OUT DX, AL     ; for holding

MOV DX, comReg
MOV AL, 05     ; set PC2 high (Convert = 1)
OUT DX, AL

MOV AL, 04     ; set PC2 low  (Convert = 0)
OUT DX, AL     ; start of conversion

acq6:
MOV DX, portC
IN AL, DX
TEST AL, 10h   ; test if PC4 is low
JNZ acq6       ; end of A/D conversion

MOV DX, portB
MOV AL, 00     ;
OUT DX, AL     ; Pb5=0 ( $\overline{DE} = 0$ )

MOV DX, portA
IN AL, DX     ; Data acquisition

PUSH DS
MOV DX, 2000h
MOV DS, DX
MOV (DI), AL  ; Data Storage
INC DI
POP DS

DEC BL
CMP BL, 00
JNZ acq3      ; Acquisition of 16 points
STI

MOV AH, 4Ch
INT 21h

code
ENDS
END start

```

#### IV.4 Développement de programmes pour la mesure de T2

Nous avons développé des programmes pour la mesure du temps de relaxation spin-spin T2 par les méthodes de HANN et de CARR-PURCELL [5]. Mais les essais expérimentaux ont révélés que l'écho de spin était impossible à obtenir pour le spectromètre utilisé en laboratoire. Toutefois nous espérons que ces programmes seront utiles à un travail futur en R.M.N. au sein du département.

##### IV.4.1- Méthode de HANN

Le programme de détermination du temps de relaxation spin-spin T2 par la méthode de HANN est étayé à l'organigramme ci-après. Après avoir initialisé le PPI en mode zéro, le programme met les bits PC1, PC2, PC3 respectivement à zéro et pointe le registre d'index sur l'adresse hexadécimale 300. Il génère ensuite l'impulsion  $\pi/2$  de la séquence utilisée (cf. chap II, § II.3), en fixant sa durée totale à un délai. Passé ce délai, il crée l'impulsion et procède à l'acquisition de l'écho de spin entre deux séquences successives.

Il est important de souligner ici, que le temps T séparant deux séquences successives doit au minimum être égal à  $5.T_1$ , T1 étant le temps de relaxation spin-réseau. D'autre part, les données acquises sont adressées en segment mémoire en incrémentant le registre d'index après chaque acquisition. Le programme s'arrête après 16 acquisitions donnant lieu chacune à une amplitude différente du signal d'écho recueilli. La courbe obtenue est donc tracée pour plusieurs séquences de HANN donnant lieu à plusieurs échos. Une étude de la courbe obtenue en coordonnées semi-logarithmiques donne la valeur de T2.

##### IV.4.2- Méthode de CARR-PURCELL

Pour déterminer le temps T2 par le procédé de CARR-PURCELL, le programme débute comme précédemment, en ce qui concerne l'initialisation du PPI, en mettant là aussi les broches PC1, PC2, PC3 respectivement à zéro et en portant le registre d'index à 300h, puis génère l'impulsion  $\pi/2$  à durée fixée.

Le programme réalise une temporisation variable par pas de 10 ms et crée par la suite un train d'impulsions  $\pi$ , espacées par des durées différentes proportionnelles à 10 ms. Il procède enfin, à l'acquisition des données après chaque impulsion  $\pi$  et permet de tracer la courbe totale du signal d'écho recueilli. Le programme s'arrête après 16 acquisitions pour permettre le calcul de T2, comme décrit à la méthode de HANN.

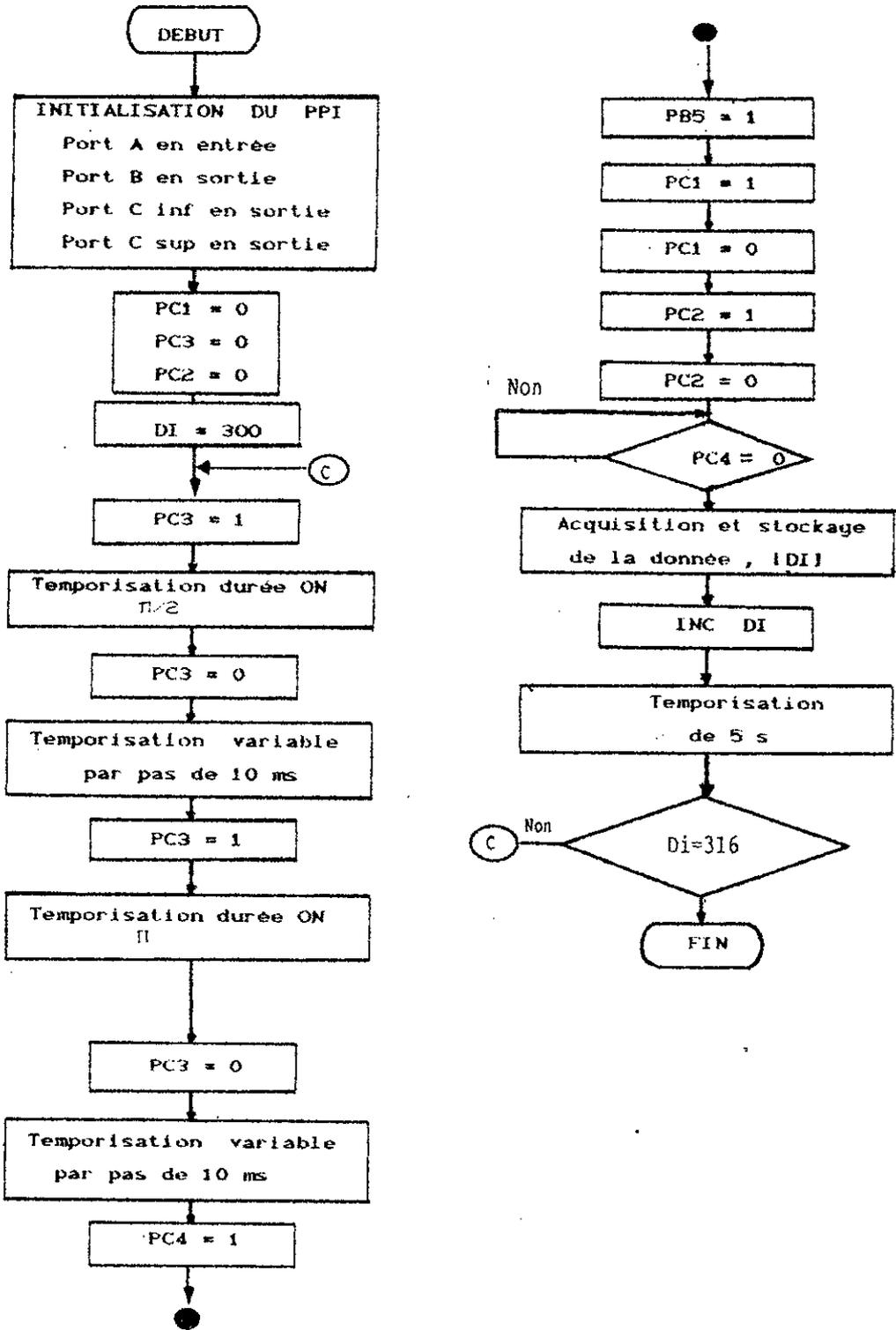


Fig.37 Organigramme du programme de mesure de T2  
(Séquence de Hann)

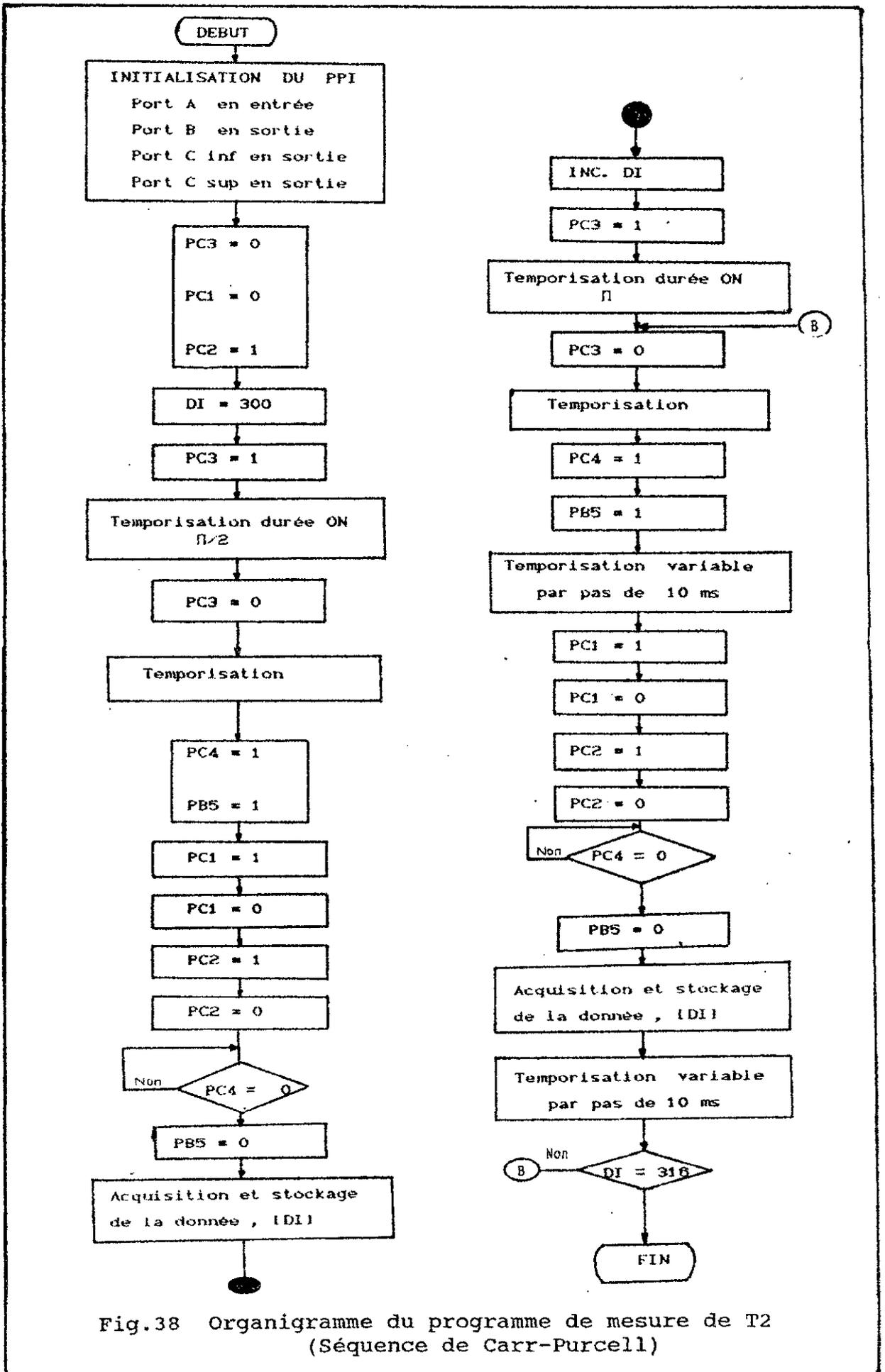


Fig.38 Organigramme du programme de mesure de T2 (Séquence de Carr-Purcell)

TITLE RELAXT2.ASM, HANN

COMMENT \* Measurement of proton spin-spin relaxation  
time T2 using HANN method Its runs as  
a COM file \*

PORTA EQU 300h  
PORTB EQU 302h  
PORTC EQU 304h  
REGC EQU 306h

code SEGMENT  
ASSUME CS:code, DS:code  
ORG 100h

```
start:  CLI                               ; clear all interrupts

        MOV DI,300h                       ; starting adress of data
        MOV BX,0001h

        MOV DX,REGC
        MOV AL,98h
        OUT DX,AL                          ; initialisation of the PPI

        MOV DX,PORTC
        MOV AL,00
        OUT DX,AL                          ; All pins of PORTC are
                                           ; initialised to zero.

t1:     MOV DX,REGC
        MOV AL,07
        OUT DX,AL                          ; set Pc3 high

t2:     MOV CX,0F
        LOOP t2                            ; to generate the 90 degree
                                           ; transmitter pulse

        MOV AL,06
        OUT DX,AL                          ; set Pc3 low

t3:     MOV CX,BX
        MOV DX,1066h
t4:     DEC DX
        JNZ t4                             ; variable temporization with a
        LOOP t3                            ; step of 10 ms

        MOV DX,REGC
        MOV AL,07
        OUT DX,AL                          ; set Pc3 high

t5:     MOV CX,001F
        LOOP t5                            ; to generate the 180 degree
                                           ; transmitter pulse

        MOV AL,06
        OUT DX,AL                          ; set Pc3 low

t6:     MOV CX,BX
        MOV DX,1066h
t7:     DEC DX
```

```

JNZ t7 ; variable temporization with a
LOOP t6 ; step of 10 ms

MOV DX, PORTB
MOV AL, 20h
OUT DX, AL ; set Pb5 high (  $\overline{DR} = 1$  )

MOV DX, PORTC
MOV AL, 10h
OUT DX, AL ; set Pc4 high (  $\overline{DE} = 1$  )

MOV DX, REGC
MOV AL, 03
OUT DX, AL ; set Pc1 high (  $\overline{HOLD} = 1$  )
; for sampling

MOV AL, 02
OUT DX, AL ; set Pc1 low (  $\overline{HOLD} = 0$  )
; for holding

MOV AL, 05
OUT DX, AL ; set Pc2 high ( CONVERT = 1 )

MOV AL, 04
OUT DX, AL ; set Pc2 low ( CONVERT = 0 )
; start of conversion

t8: MOV DX, PORTC
IN AL, DX
TEST AL, 10h ; test if Pc4 is low
JNZ t8 ; end of A/D conversion

MOV DX, PORTB
MOV AL, 00 ; force Pb5 low (  $\overline{DE} = 0$  ) for valid
OUT DX, AL ; data on the data bus of A/D

MOV DX, PORTA
IN AL, DX

PUSH DS
MOV DS, 2000h ; echoes acquisition in through
MOV (DI), AL ; PORTA and stored starting
INC DI ; from memory locations 300h.
POP DS

t9: MOV CX, 100
t10: MOV DX, 523Dh ; wait for 5 seconds after
DEC DX ; each pulse sequence, so that
JNZ t10 ; the specimen under test
LOOP t9 ; recovers to the initial state.

INC BX

CMP DI, 310h
JNZ t1 ; Acquisition of 16 values

MOV AH, 4Ch
INT 21h ; Return to DOS

code ENDS
END start

```

COMMENT \* Measurement of proton spin-spin relaxation  
time T2 using CARR-PURCELL method Its  
runs as a COM file \*

```

PORTA EQU 300h
PORTB EQU 302h
PORTC EQU 304h
REGC EQU 306h

```

```

code SEGMENT
ASSUME CS:code, DS:code
ORG 100h

start: CLI ; clear all interrupts

MOV DI,300h ; starting adress of data
MOV BX,0001h

MOV DX,REGC
MOV AL,98h
OUT DX,AL ; initialisation of the PPI

MOV DX,PORTC
MOV AL,00 ; All pins of PORTC are
OUT DX,AL ; initialised to zero.

t1: MOV DX,REGC
MOV AL,07
OUT DX,AL ; set Pc3 high

MOV CX,0F ; to generate the 90 degree
t2: LOOP t2 ; transmitter pulse

MOV AL,06
OUT DX,AL ; set Pc3 low

MOV CX,0120h
t3: LOOP t3 ; receiver saturation recovry

MOV DX,PORTB
MOV AL,20h
OUT DX,AL ; set Pb5 high (  $\overline{DE} = 1$  )

MOV DX,PORTC
MOV AL,10h
OUT DX,AL ; set Pc4 high (  $\overline{DR} = 1$  )

MOV DX,REGC
MOV AL,03 ; set Pc1 high (  $\overline{HOLD} = 1$  )
OUT DX,AL ; for sampling

MOV AL,02 ; set Pc1 low (  $\overline{HOLD} = 0$  )
OUT DX,AL ; for holding

MOV AL,05

```

```

OUT DX,AL ; set Pc2 high ( CONVERT = 1 )
MOV AL,04 ; set Pc2 low ( CONVERT = 0 )
OUT DX,AL ; start of conversion

MOV DX,PORTC
t4: IN AL,DX
TEST AL,10h ; test if Pc4 is low
JNZ t4 ; end of A/D conversion

MOV DX,PORTB
MOV AL,00 ; force Pb5 low ( DE = 0 ) for valid
OUT DX,AL ; data on the data bus of A/D

MOV DX,PORTA
IN AL,DX ; acquisition of the first value
PUSH DS
MOV DS,2000h
MOV [DI],AL
POP DS

INC DI

MOV CX,BX
t5: MOV DX,1066h
t6: DEC DX ; transmittter inter pulse
JNZ t6 ; spacing ( ) variable in
LOOP t5 ; steps of 10 ms

return: MOV DX,REGC
MOV AL,07
OUT DX,AL ; set Pc3 high

MOV CX,001F
t7: LOOP t7 ; to generate the 180 degree
; transmitter pulse

MOV AL,06
OUT DX,AL ; set Pc3 low

MOV CX,BX
t8: MOV DX,1066h
t9: DEC DX
JNZ t9 ; variable temporization with a
LOOP t8 ; step of 10 ms

MOV DX,PORTB
MOV AL,20h
OUT DX,AL ; set Pb5 high (  $\overline{DR} = 1$  )

MOV DX,PORTC
MOV AL,10h ; set Pc4 high (  $\overline{DE} = 1$  )
OUT DX,AL

MOV DX,REGC
MOV AL,03 ; set Pc1 high (  $\overline{HOLD} = 1$  )
OUT DX,AL ; for sampling

MOV AL,02 ; set Pc1 low (  $\overline{HOLD} = 0$  )
OUT DX,AL ; for holding

```

```

MOV AL,05
OUT DX,AL ; set Pc2 high ( CONVERT = 1 )

MOV AL,04
OUT DX,AL ; set Pc2 low ( CONVERT = 0 )
; start of conversion

t10: MOV DX,PORTC
IN AL,DX
TEST AL,10h ; test if Pc4 is low
JNZ t10 ; end of A/D conversion

MOV DX,PORTB
MOV AL,00 ; force Pb5 low (  $\overline{DE}$  = 0 ) for valid
OUT DX,AL ; data on the data bus of A/D

MOV DX,PORTA
IN AL,DX

PUSH DS
MOV DS,2000h ; echoes acquisition in through
MOV (DI),AL ; PORTA and stored starting
INC DI ; from memory locations 300h.
POP DS

t11: MOV CX,BX
MOV DX,1066h ; variable temporization with a
t12: DEC DX ; step of 10 ms
JNZ t12
LOOP t11

CMP DI,310h
JNZ return ; Acquisition of 16 values

MOV AH,4Ch
INT 21h ; Return to DOS

code ENDS
END start

```



# Chapitre

5



## CHAPITRE V

### MESURE DU TEMPS DE RELAXATION SPIN-RESEAU DE TISSUS BIOLOGIQUES

#### V.1 INTRODUCTION

Le chirurgien avant d'enlever une tumeur maligne (le cancer), il doit avoir une idée sur sa taille et sur sa localisation exacte pour faciliter sa tâche. Dans ce domaine les examens radiologiques parmi lesquels on compte la RMN sont d'un grand recours. Par exemple l'imagerie IRM peut localiser une tumeur cérébrale et donner ses dimensions.

Une fois ces données acquises, le chirurgien décide d'opérer le malade. A ce moment, il est confronté à un deuxième problème c'est celui d'éviter la récurrence c'est à dire la réapparition de la tumeur une deuxième fois après la première intervention chirurgicale. Pour cela le chirurgien doit enlever non seulement toute la tumeur mais aussi un peu de tissu sain avoisinant cette tumeur afin d'être sûr que rien ne reste (parce qu'on sait qu'il ya toujours une propagation même discrète autour de la tumeur principale et que malheureusement les examens radiologiques pré-opératoires ne peuvent pas révéler quelle que soit leur performance ) .

Le chirurgien lors de l'ablation de la tumeur maligne aimerait bien avant de fermer le malade, s'assurer qu'il a enlevé toute la tumeur et un peu de tissu sain avoisinant. Pour cela il fait pratiquer ce qu'on appelle une biopsie extemporanée c'est à dire qu'un histologiste ou un anatomopathologiste doit lui faire une étude sur place de la pièce opératoire qu'il vient d'enlever et lui dire s'il a enlevé du tissu sain ou non.

L'anatomopathologiste peut mettre beaucoup de temps pour rendre la réponse au chirurgien puisqu'il doit étaler l'échantillon sur des lames, le colorer puis le voir au microscope. Nous pensons que c'est là que la méthode que nous venons de mettre au point trouve son utilité puisqu'elle peut répondre à cette question en peu de temps, et ceci Par la mesure du temps de relaxation spin-reseau ( $T_1$ ) de l'échantillon. Dans ce but nous avons utilisé la méthode de saturation récupération progressive car elle présente beaucoup d'avantages par rapport aux autres méthodes (voir chapitre 2).

## V.II PROGRAMMES DE MESURE DE T1

Dans cette méthode dont l'organigramme est donné ci-après nous générons un paquet de 16 impulsions espacées d'un intervalle de temps variable de 50 ms à 5 s, on fait le moyennage des 8 dernières valeurs acquises après chaque impulsion et la valeur moyenne sera stockée en mémoire. L'intervalle de temps entre chaque paquet est fixé à 5 s. les valeurs acquises permettront la reconstitution de la courbe de variation de  $Mz(t)$  ainsi que la détermination de  $T1$ .

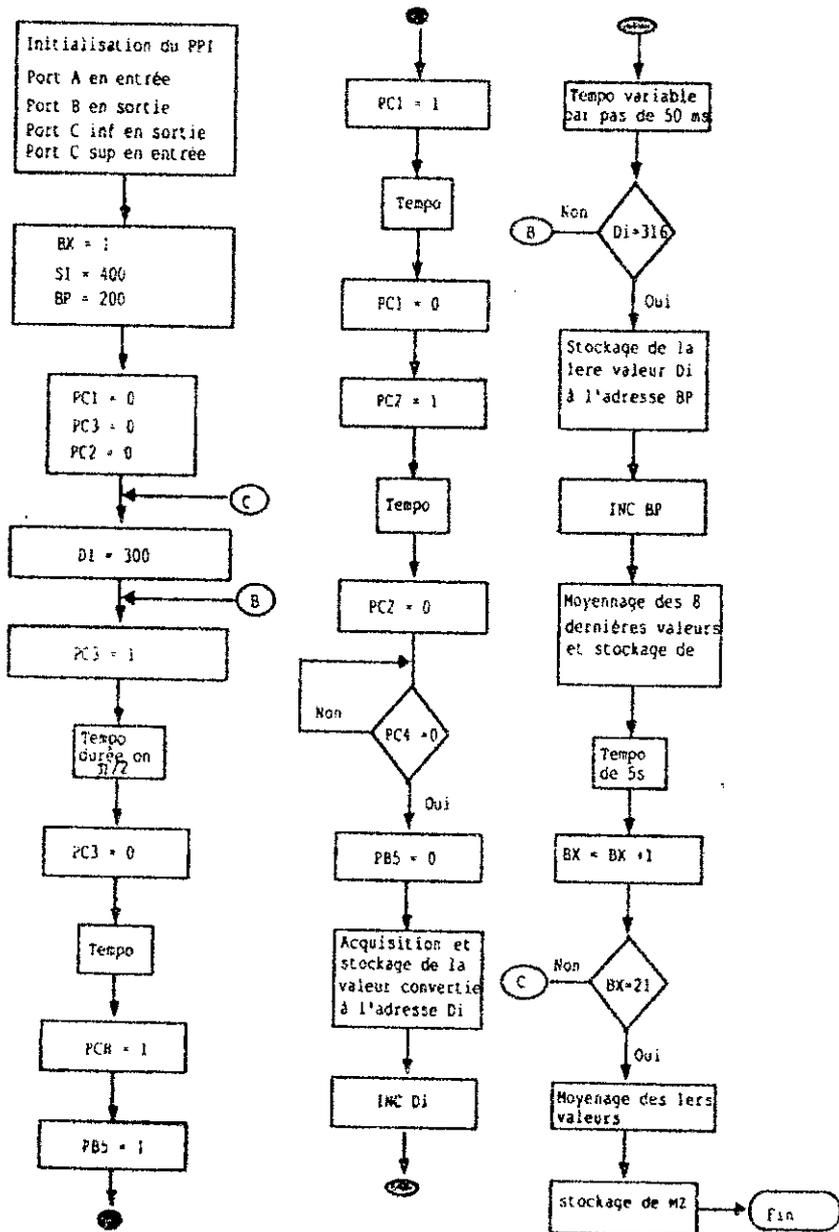


Fig.39 Organigramme du programme RELAXT1

## TITLE RELAXT1.ASM

```

COMMENT      * Measurement of proton spin-lattice relaxation
              time T1 using progressive saturation recovery
              method. It runs as a COM file. *

PORTA EQU 300h
PORTB EQU 302h
PORTC EQU 304h
REGC EQU 306h

code SEGMENT
      ASSUME CS:code, DS:code
      ORG 100h

start: CLI ; clear all interrupts
              start adress of data

      MOV SI,400h ; starting adress of data

      MOV BX,0001h
      MOV BP,200h

      MOV DX,REGC
      MOV AL,98h
      OUT DX,AL ; initialisation of the PPI

      MOV DX,PORTC
      MOV AL,00 ; All pins of PORTC are
      OUT DX,AL ; initialised to zero.

t1: MOV DI,300h

t2: MOV DX,REGC
      MOV AL,07
      OUT DX,AL ; set Pc3 high

      MOV CX,0F ; to generate the 90 degree
t3: LOOP t3 ; transmitter pulse

      MOV AL,06
      OUT DX,AL ; set Pc3 low

t4: MOV CX,0120h
      LOOP t4 ;receiver saturation recovery

      MOV DX,PORTB
      MOV AL,20h
      OUT DX,AL ; set Pb5 high (  $\overline{DR} = 1$  )

      MOV DX,PORTC
      MOV AL,10h ; set Pc4 high (  $\overline{DE} = 1$  )
      OUT DX,AL

      MOV DX,REGC
      MOV AL,03 ; set Pc1 high (  $\overline{HOLD} = 1$  )
      OUT DX,AL ; for sampling

```

```

MOV AL,02          ; set Pc1 low (  $\overline{HOLD} = 0$  )
OUT DX,AL         ; for holding

MOV AL,05          ; set Pc2 high ( CONVERT = 1 )
OUT DX,AL

MOV AL,04          ; set Pc2 low ( CONVERT = 0 )
OUT DX,AL         ; start of conversion

t6:  MOV DX,PORTC
      IN AL,DX
      TEST AL,10h  ; test if Pc4 is low
      JNZ t6       ; end of A/D conversion

      MOV DX,PORTB
      MOV AL,00    ; force Pb5 low (  $\overline{DE} = 0$  ) for valid
      OUT DX,AL   ; data on the data bus of A/D

      MOV DX,PORTA
      IN AL,DX    ; FID amplitudes in through
      MOV [DI],AL ; PORTA and stored starting
      INC DI      ; from memory locations 300h.

t7:  MOV CX,BX
t8:  MOV DX,523Dh
      DEC DX      ; transmitter inter pulse
      JNZ t8     ; spacing( $\tau$ ) variable in
      LOOP t7    ; steps of 50ms

      CMP DI,310h
      JNZ t2     ; Acquisition of 16 values

      MOV DI,300h
      MOV AL,[DI]
      MOV [BP],AL
      INC BP    ; transfer the first FID
                        ; amplitude of each pulse
                        ; sequence and store
                        ; it starting from 200h

      MOV DI,308h
      PUSH BX
      XOR AX,AX
      XOR BX,BX

t9:  MOV BL,[DI]
      ADD AX,BX  ; add last eight FID
      INC DI    ; amplitude values
      CMP DI,310h
      JNZ t9

      MOV BL,08h
      DIV BL    ; get  $Mz(\tau)$  , the average
      PUSH DS  ; amplitude
      MOV DX,2000h
      MOV DS,DX
      MOV [SI],AL
      INC SI   ; store the values of  $Mz(\tau)$ 
      POP DS  ; starting from 2000:400h

t10: MOV CX,100
      MOV DX,523Dh ; wait for 5 seconds after

```

```

t11:    DEC DX                ; each pulse sequence, so that
        JNZ t11              ; the specimen under test
        LOOP t10             ; recovers to the initial state.

        POP BX
        INC BX
        CMP BX,15h           ; test if 20 pulse sequences
        JZ t12               ; are over, so that reaches
        JMP t1                ; 1 sec in steps of 50 msec.

t12:    XOR AX,AX
        XOR BX,BX
        MOV BP,200h
t13:    MOV BL,[BP]
        ADD AX,BX            ; add all the first FID values
        INC BP               ; of each pulse sequence and
        CMP BP,214h
        JNZ t13

        MOV BL,14h           ; calculate the average to get
        DIV BL                ; the intensity maximum Mo.

        MOV DI,500h
        PUSH DS
        MOV DX,2000h
        MOV DS,DX
        MOV [DI],AL          ; store Mo at 2000:500h
        POP DS

        MOV AH,4Ch
        INT 21h              ; Return to DOS

code    ENDS
        END start

```

Comme présenté à l'organigramme (Fig.39), le programme RELAXT1.ASM initialise le PPI de la carte d'acquisition puis génère la première séquence  $90^\circ - \tau - 90^\circ$  avec une valeur de  $\tau$  égale à 50 ms et fait l'acquisition des amplitudes du signal FID. Ces valeurs sont stockées en mémoire dans des positions mémoires allant de l'adresse hexadécimale 300 à 30F. Le contenu de la première adresse (i.e .. 300 hex) correspond à l'intensité maximale du signal FID. Les amplitudes suivantes vont décroître successivement. Le moyennage des huit dernières valeurs (de 308 à 30F hex) donnera la valeur de  $Mz(\tau)$ . Cette valeur est transférée vers une autre position mémoire pour être utilisée ultérieurement. Le programme génère alors un délai de 5 sec, nécessaire pour que l'échantillon retrouve son état initial (équilibre) .

### V.III RESULTATS EXPERIMENTAUX

les résultats expérimentaux obtenus pour T1 sont illustrés aux figures 40, 41, 42 et 43 . L'allure des courbes obtenues confirme la relation théorique donnant l'amplitude de  $Mz(\tau)$  pour la méthode décrite. La comparaison des valeurs mesurées de T1 montrent que dans le cas des tissus cancéreux le temps de relaxation est beaucoup plus grand que celui des tissus sains, et plus le tissu est atteint plus grande est la valeur de T1. Par ailleurs ces valeurs correspondent à des sujets atteints de cancer dans la région Maxillo-faciale et traités à l'hôpital Mustapha d'ALGER.

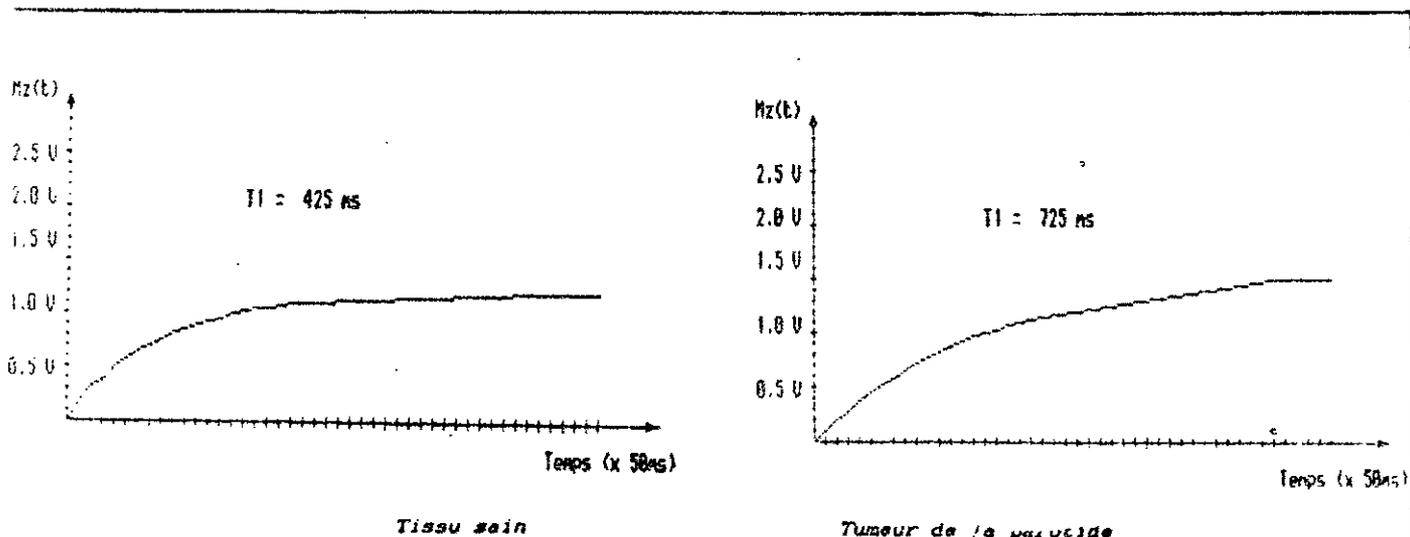


Fig.40 Prélèvement au niveau de la parotide

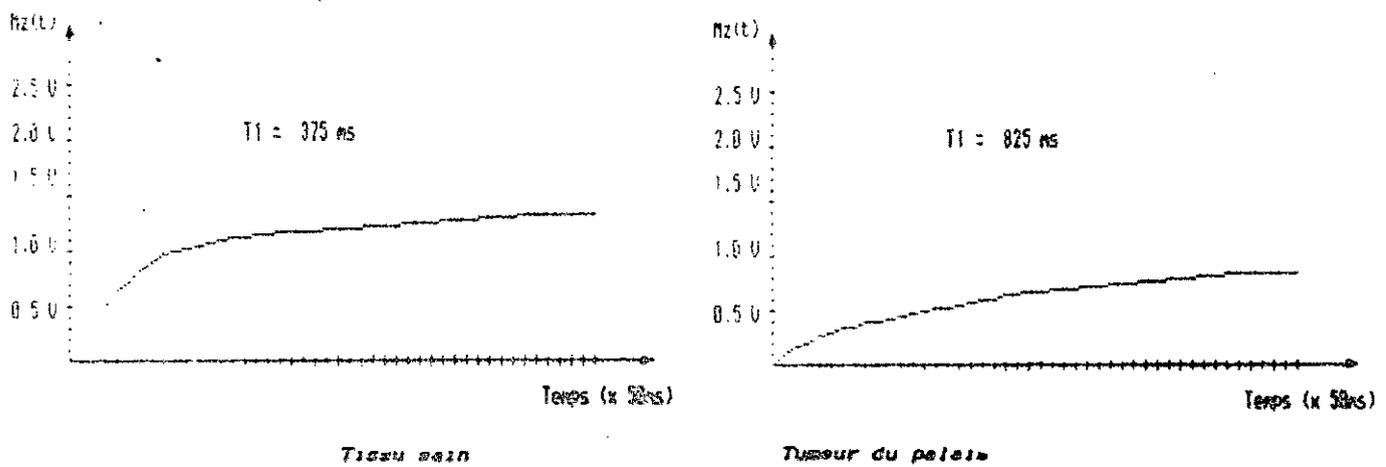


Fig.41 Prélèvement au niveau du palais

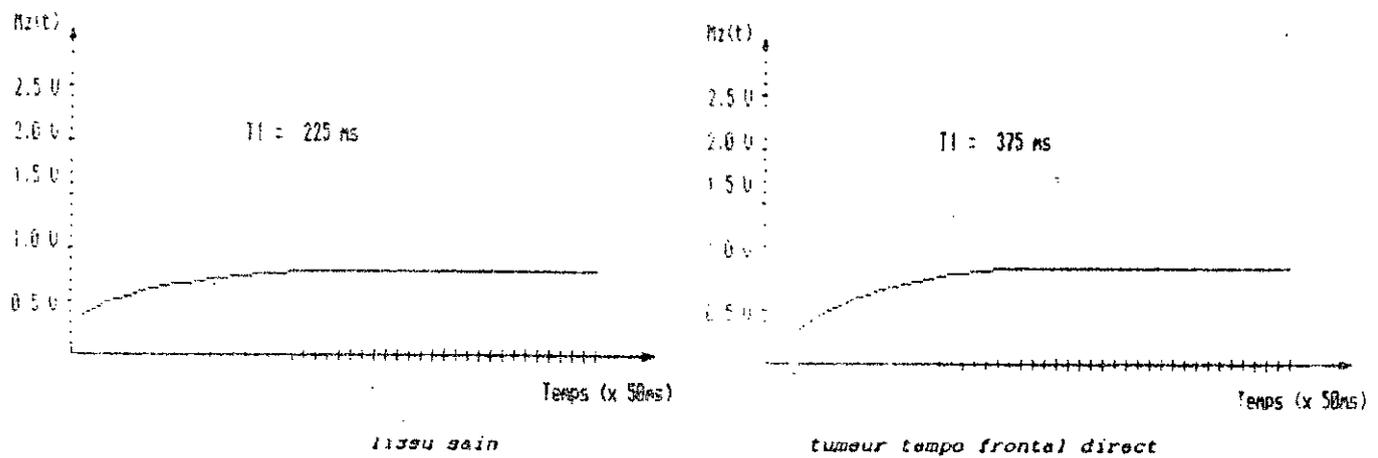


Fig.42 Prélèvement au niveau de la région tempo-frontal (carcinome spino-cellulaire)

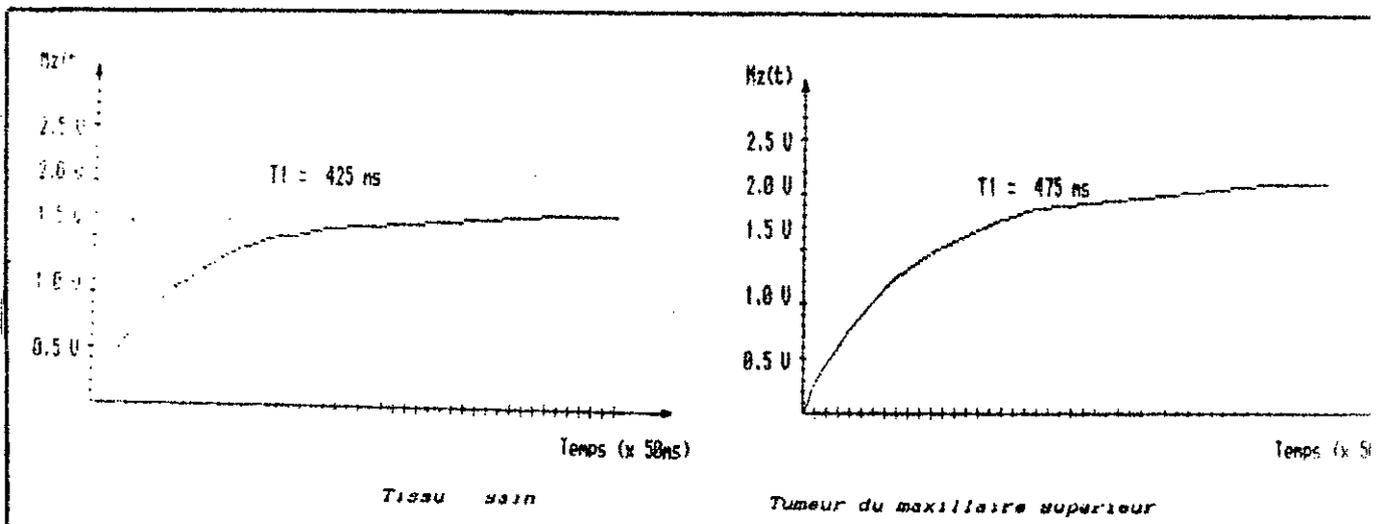


Fig.43 Prélèvement au niveau du maxillaire supérieur

Notons en outre que le temps mis pour la mesure de  $T_1$  est de l'ordre de 5 minutes avec une erreur avoisinant au maximum 25 ms. Cette erreur peut être réduite en choisissant convenablement la valeur de  $\tau$ . D'autre part, nous avons procédé à une étude comparative des résultats expérimentaux obtenus par R. Damadian sur des tumeurs humaines et publiés par A.M. Bernard et al (1988), [5] et dont les valeurs sont consignés dans le tableau suivant:

Tissus	$T_1$ Tumeur en ms	$T_1$ Témoin en ms
Peau	1047 + 108	616 + 19
Muscle malin	1413 + 82	1023 + 29
Muscle bénin	1307 + 153	
Os	1027 + 152	554 + 27
Thyroïde	1072	882 + 45
Foie	832 + 2	570 + 29

Tenant compte du fait que nos échantillons contiennent du tissu épithélial et du tissu conjonctif, nous constatons que nos valeurs expérimentales restent en accord avec les valeurs du tableau précédent.

## CONCLUSION

Nous avons, par ce travail, essayé d'approcher une des perspectives déjà connues de l'application de la RMN dans le domaine des sciences biologiques en l'occurrence le domaine médical. Le fait, que nous avons voulu particulièrement souligner est cette introduction de l'informatique dans notre méthode de travail pour rendre son application plus aisée et plus rentable. Pour cela, nous avons réalisé une carte d'acquisition de données que nous avons testée sur un spectromètre RMN de notre laboratoire. En élaborant des logiciels, nous avons généré les différentes séquences d'impulsions nécessaires au fonctionnement du spectromètre RMN. L'acquisition des données et la mesure du temps de relaxation spin-réseau ont pu être ainsi obtenues de façon automatique.

Malgré les restrictions imposées par les performances, hélas réduites, du spectromètre mis à notre disposition, nous pensons que notre travail s'est soldé par un résultat ayant consisté à démontrer que le temps de relaxation d'un tissu cancéreux est plus grand que celui d'un tissu sain homologue.

Certes, l'imagerie médicale par RMN a pris le pas sur la présente méthode mais il n'en demeure pas moins que le faible coût de cette dernière et sa rapidité relative pourrait la rendre un outil de travail utile et complémentaire au chirurgien lui permettant de délimiter le champ d'exérèse élargie d'une tumeur sans qu'il soit fait appel à l'anatomopathologiste dont la réponse à une biopsie extemporanée pourrait prendre plus de temps, ce qui n'est pas avantageux pour un patient déjà sous anesthésie générale.

Nous souhaitons donc que notre travail, soit au moins, l'ébauche d'une nouvelle stratégie diagnostique au service de ceux qui souffrent. Qu'il trouve écho auprès de la communauté scientifique et qu'il soit poursuivi et amélioré par les futurs disciples. Enfin nous espérons qu'il aura contribué, ne serait-ce que par l'idée aux progrès de la thérapeutique médicale.

## REFERENCES

- [1] Briguet (A), Lefevre (J.L), Base de l'imagerie par résonance magnétique nucléaire, L'onde électrique, Vol 65, N° 4, pp 70-82, Juillet-Aout 1985.
- [2] Résonance magnétique nucléaire, Revue la recherche, N° 172, pp 1452-1463, Decembre 1985.
- [3] DAMADIAN (R), ZANER (K.), HOR (D.), DI MAIO (T.), MINKOFF (L.), GOLDSMITH (M.). Nuclear magnetic resonance as new tool in cancer research in human tumors by NMR, Ann. Ny. Acad. Sc., 222, p 1048, 1973
- [4] Lemanceau (B), La résonance magnétique nucléaire, L'onde électrique, Vol 64, N° 5, Septembre-Octobre 1984.
- [5] A.M.BERNARD , J.D DE CERTAINES, J.J. LE JEUNE, Résonance Magnétique Nucléaire, Edition Masson, Paris, 1988.
- [6] R. Damadian , Tumor detection by nuclear magnetic resonance . Science (N.K.) 171 , pp 1151-1153 , 1971.
- [7] PAULA T.BEALL, SHARAD R.AMTEY, SITAPATI R.KASTURI, Measurement of relaxation times, NMR data hand book for biomedical application, by PERGAMAN Press New-york, 1984.
- [8] D.VINCENSINI, J.ROULEAU, F.JOFFRE, J-P.MORUCCI, La résonance magnétique nucléaire, RBM, Vol.4, N° 2, pp 129,137 - Mars-Avril, 1982.
- [9] A.ABRAGAM., Les principes du magnétisme nucléaire, INSTM/PUF, 1961.
- [10] H.LILEN, Les circuits clés des IBM-PC et compatible, Editions radio, 1986.
- [11] Guide de reference technique de l'AMSTRAD PC 1512, Edition Micro Application, 1986.
- [12] Grimée R. and Rosa M.P., Experimental protocol for tissue discrimination in vitro by NMR., Biosc. Rep. 3, p 599, 1983.
- [13] PETER NORTON, IBM-PC structure et environnement, Inter-Edition, 1985.

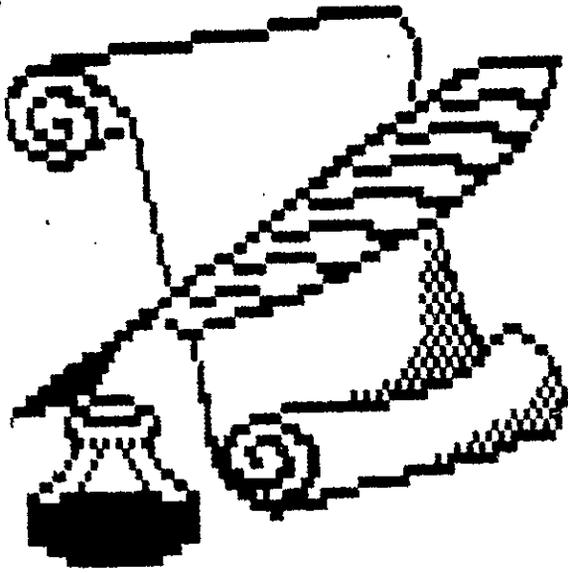
- [14] STEVE LEIBSON, Manuel des interfaces, Edition Mc GRAW-HILL, 1983.
- [15] Nadkarni JS, Nadkarni JJ, Ranade SS, Chaughule RS, Kasturi SR and Advani SH, Ind. J. cancer, pp 13-76, 1976.
- [16] J. de Certaines, Measurement and meaning of relaxation times : specific and non-specific variation in cancer, Ann.Ist. Super.Sanita 19, pp 107-120, 1983.
- [17] Coffron (J.W), The IBM PC connections, ( Delhi : BPB ), p 73, 1987.
- [18] Miller A.R., Assembly language techniques for the IBM PC. (Delhi : BPB) , p 74, 1987.
- [19] D. Canet, J. Brondeau, and K. Elbayed, Superfast T1 determination by inversion-recovery. J. Magn. Reson. 77, pp 483-490, 1988.
- [20] D. Lacomis, M. Osbakken, and G. Gross, Spin lattice relaxation (T1) times of cerebral white matter in multiple sclerosis. Magn. Reson. Med. 3, pp 194-202, 1986.
- [21] D.H. Miller, G. Johnson, P.S. Tofts, D. MacManus and W.I. McDonald, Precise relaxation time measurements of normal-appearing white matter in inflammatory central nervous system disease. Magn. Reson. Med. 11, pp 331-336, 1989.
- [22] R. Barthwal, M. Höhn-Berlage, and K. Gersond, In vitro proton T1 and T2 studies on rat-liver : Analysis of multi-exponential relaxation processes. Magn. Reson. Imaging 3, pp 863-875, 1986.
- [23] A.B. Fontaine, Le microprocesseur 16 bits 8086, matériel, logiciel, système d'exploitation. Editions Masson, 1984.
- [24] B.GEOFFRION, Programmation en assembleur du 8086/8088, Edition Radio, Paris 1986.
- [25] B. Saguez, Guide matériel et logiciel du 8086/8088 et coprocesseur 8087. Editions Eyrolles, 1984.
- [26] Data conversion products databook. Analog devices, 1988.
- [27] J. de Certaines, variations des temps de relaxation spin-spin et spin-réseau de tissus biologiques en RMN du proton, J.Biophys et Med. Nuc., 5, pp 107-116, 1981.

[28] Résonance magnétique nucléaire, Technique de l'ingénieur, volets E4350-E4351.

29 H.Bensaïd, H.Berkouk, Etude du spectrometre RMN, Projet de fin d'étude, ENP, Janvier 1988.

[30] R.Puvvada, H.Escid, A data acquisition system developed around an IBM compatible PC, AMSE Review, AMSE Press, Vol 12, N° 1, pp 1-9, 1989.

[31] R.Puvvada, H.Escid, Measurement of proton spin-lattice relaxation time employing an IBM compatible PC system, Proceedings intern. AMSE conference "Signals and systems", Brighton (U.K), AMSE Press, Vol 4, pp 27-36, July 12-14, 1989.



# Annexes



## MICROPROCESSEUR

8086

Commercialisé par INTEL en 1978, le 8086 est un microprocesseur considéré comme "processeur universel" : c'est à dire peut faire plusieurs tâches et peut ne pas être optimisé pour certaines tâches particulières.

1- Structure interne

Le microprocesseur 8086 d'INTEL, se présente dans un boîtier de 40 broches. Il possède deux unités bien distinctes ( fig.1 ) qui peuvent exécuter simultanément des tâches différentes, ce qui accélère les processus :

- L'unité d'exécution ( EU ) avec son unité arithmétique et logique (UAL) et ses registres procède à l'exécution des instructions.

- L'unité d'interface du bus ( BIU ) qui permet la génération d'adresses et dans laquelle les instructions "pre-recherchées" sont mises en attente dans une "file d'attente" capable de réceptionner 6 octets. La BIU part rechercher un nouvel octet dès lors qu'une place a été libérée dans sa file.

L'unité d'exécution reçoit les instructions de la file d'attente; les exécute et transmet à l'unité d'interface le résultat de son travail. L'unité d'interface assure le contrôle des bus externes, lit les instructions sans les decoder, et les range dans la file d'attente, écrit en mémoire les résultats que lui fournit l'unité d'exécution de sorte que le bus des données soit toujours occupé.

2- Registres internes

L'unité centrale possède 14 registres internes de 16 bits que l'on peut regrouper en 4 sous ensembles ( fig.2 )

- Groupe données : AX , BX , CX , DX
- Groupe pointeur et index : SP , BP , SI , DI
- Groupe segment : CS , DS , SS , ES
- Registre d'état ou flags et le compteur ordinal IP.

**\* Les registres de données:**

Ils servent d'accumulateurs et de registres d'opérandes de 16 bits, mais peuvent être séparés en deux registres de 8 bits: l'un de poids fort ( H ), l'autre de poids faible ( L ).

**\* Les registre de segment :**

Tout accès à la mémoire se fait avec le concours de l'un de ces registres.

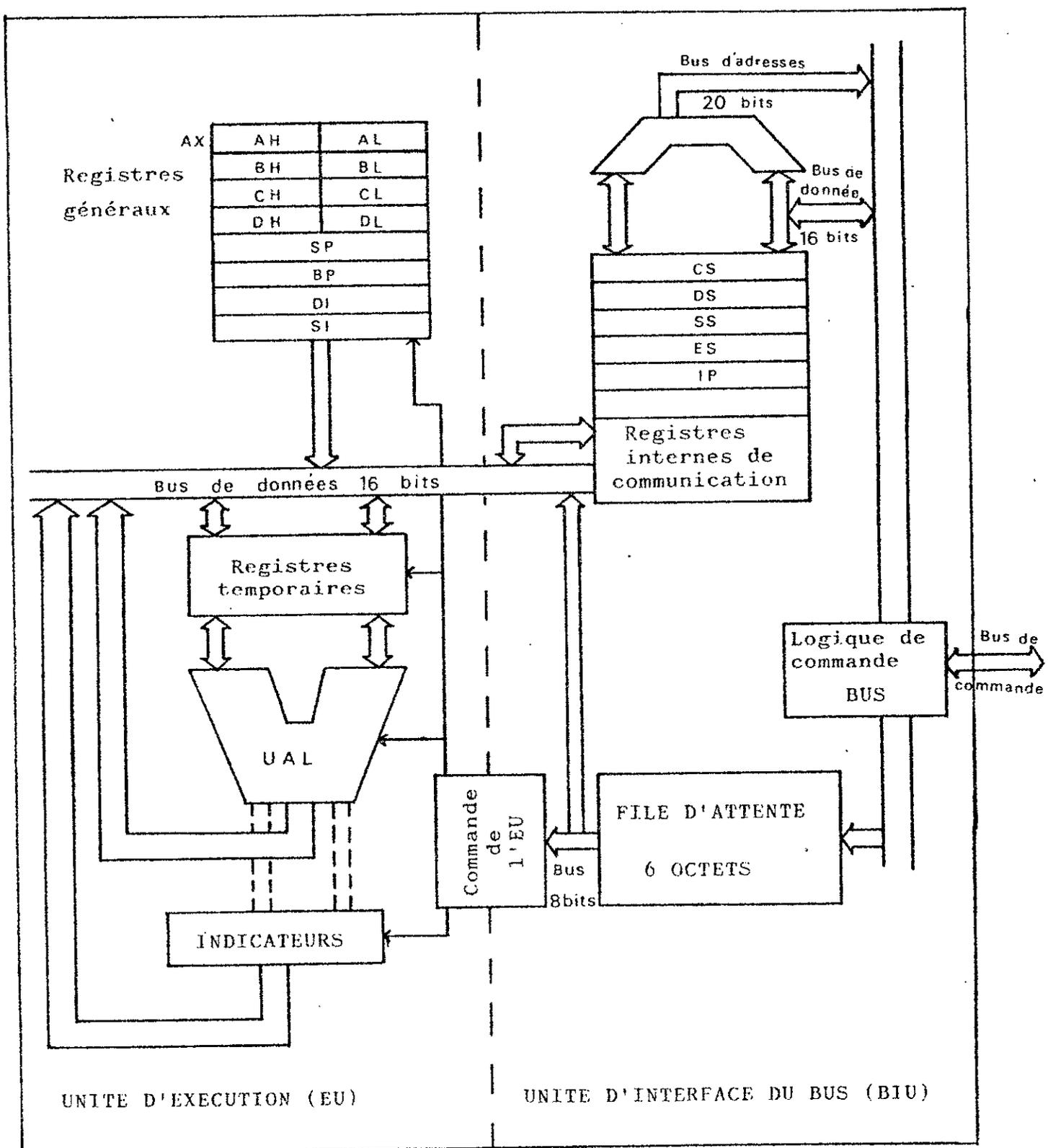


Fig.1 Architecture interne du 8086

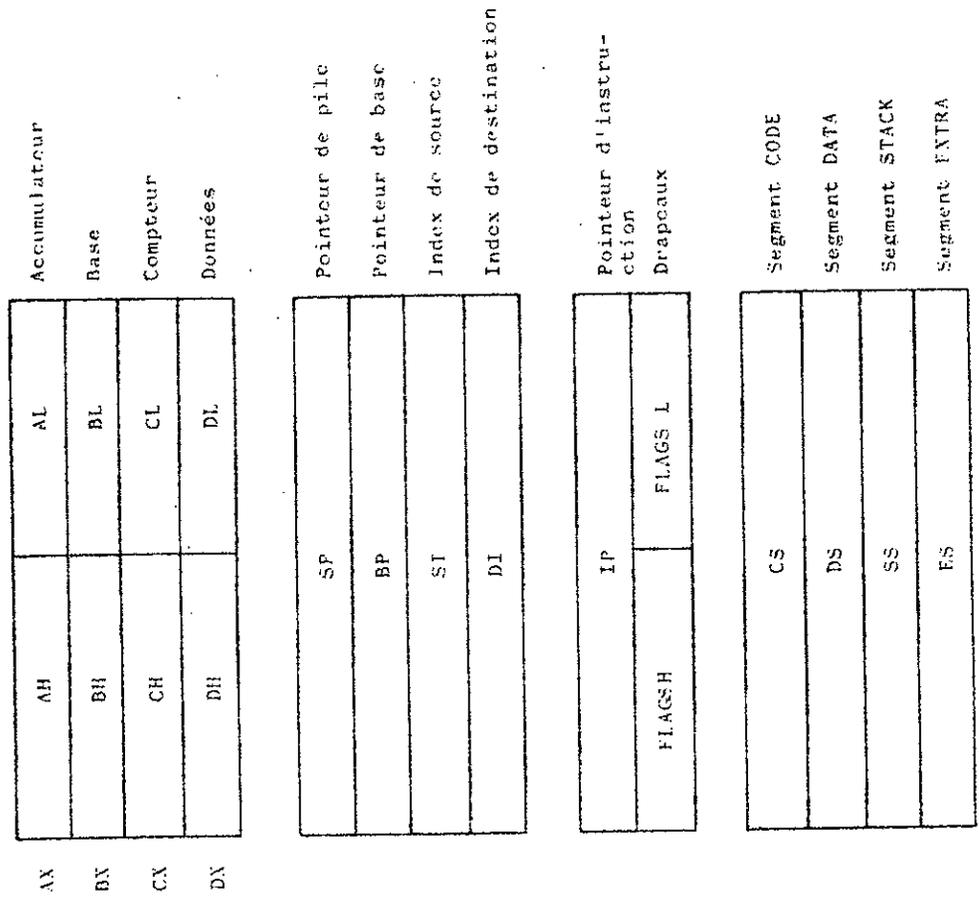
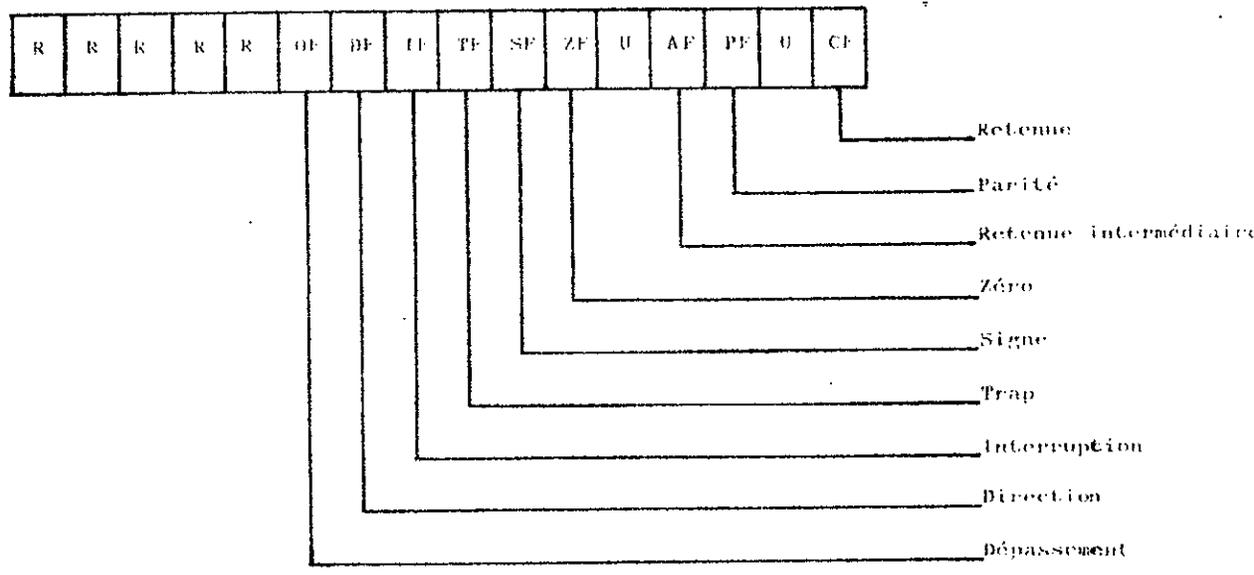


Fig. 2 - Registres du 5016

- \* Les registres pointeurs et d'index : Ils sont utilisés pour donner le déplacement à l'intérieur d'un segment.
- \* Le compteur ordinal : C'est le registre qui pointe sur l'instruction à exécuter.
- \* Le registre d'état : neuf bits de ce registre représentent les indicateurs d'état ( fig.3 ).



O: indéfini  
R: réservé

Fig.3 - Registre d'état.

### 3- Principe de la segmentation

Le 8086 dispose de deux espaces adressables distincts

- la mémoire dont l'espace adressable est de 1 M octets
- les entrées-sorties qui disposent d'un espace de 64 K octets

Physiquement le 8086 est muni de 20 lignes d'adressage de la mémoire, qui permettent de couvrir un espace d'un méga- octets ( fig. 4 ). Pour générer cette adresse la BIU doit combiner le contenu de deux registres internes.

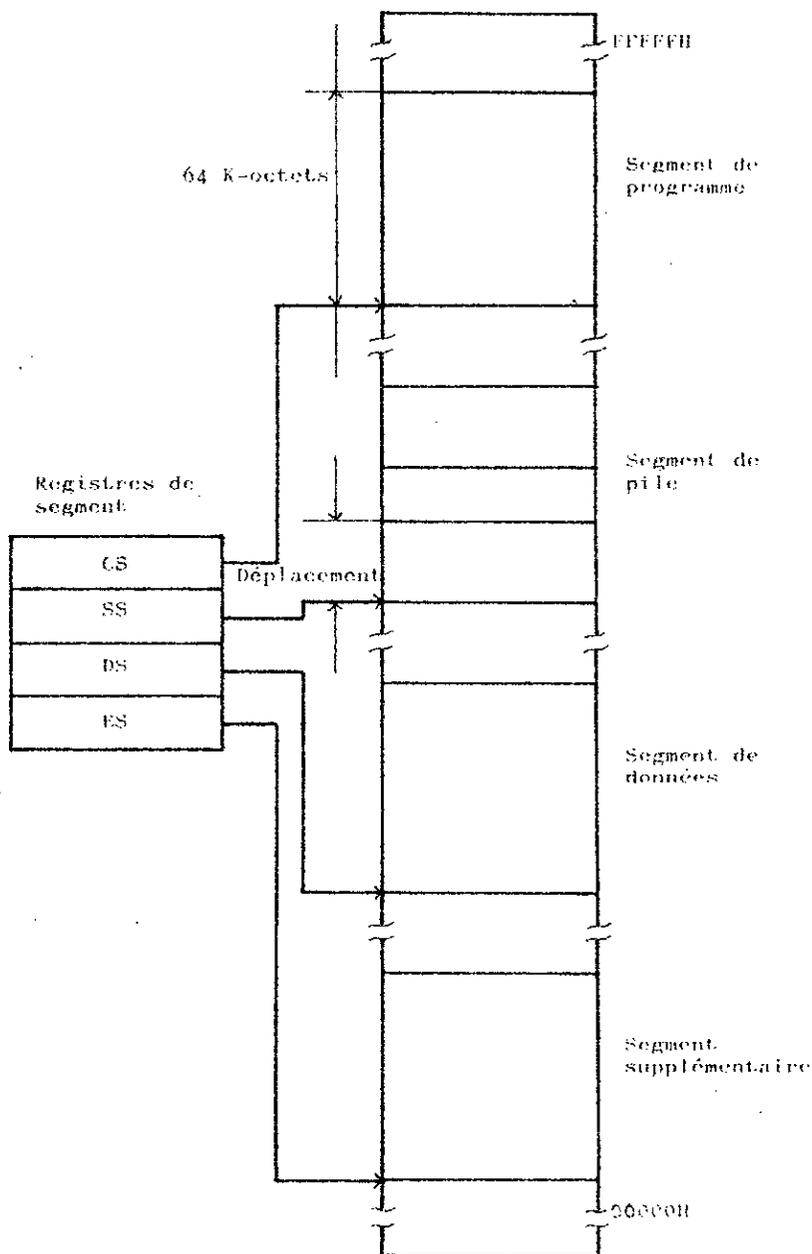


Fig.4 organisation de la mémoire

Pour cela on doit définir une page mémoire de 64K-octets appelée segment. Cette définition s'effectue en plaçant l'origine de cette page dans un registre de segment spécifique. Les positions mémoires à l'intérieur de la page sont localisées par un nombre de 16 bits contenu dans un deuxième registre de déplacement. Afin d'accéder à une position mémoire quelconque, la BIU additionne le contenu du registre de segment multiplié par seize à celui du registre de déplacement. ( fig.5 )

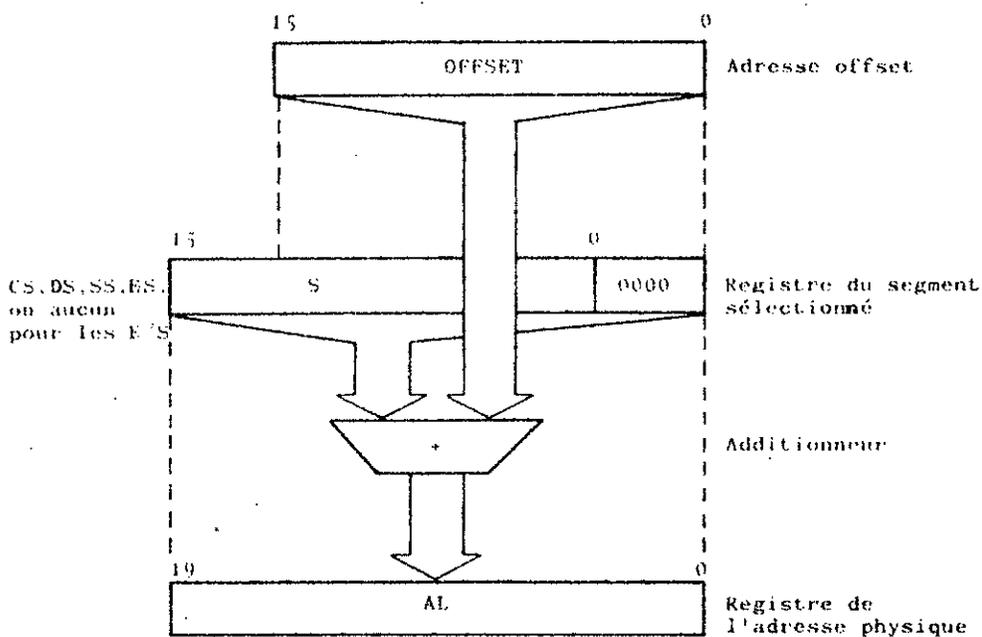


Fig.5 Mécanisme d'adressage

Les différents modes d'adressage pouvant être utilisés par les instructions sont résumés dans le tableau suivant.

MODE D'ADRESSAGE	NOTATION	REGISTRE DE SEGMENT
IMMEDIAT	CONSTANTE	NEANT
REGISTRE	NOM DU REGISTRE	NEANT
DIRECT	[CONSTANTE]	DS
INDIRECT /REGISTRE	[BX] [BP] [DI] [SI]	DS SS DS DS
DIRECT INDEXE	[CONSTANTE + DI] [CONSTANTE + SI]	DS DS
RELATIF /BASE	[BX + CONSTANTE] [BP + CONSTANTE]	DS SS
INDEXE/BASE	[BX+DI+CONSTANTE] [BX+SI+CONSTANTE] [BP+SI+CONSTANTE] [BP+DI+CONSTANTE]	DS DS SS SS

DIFFERENTS MODES D'ADRESSAGE

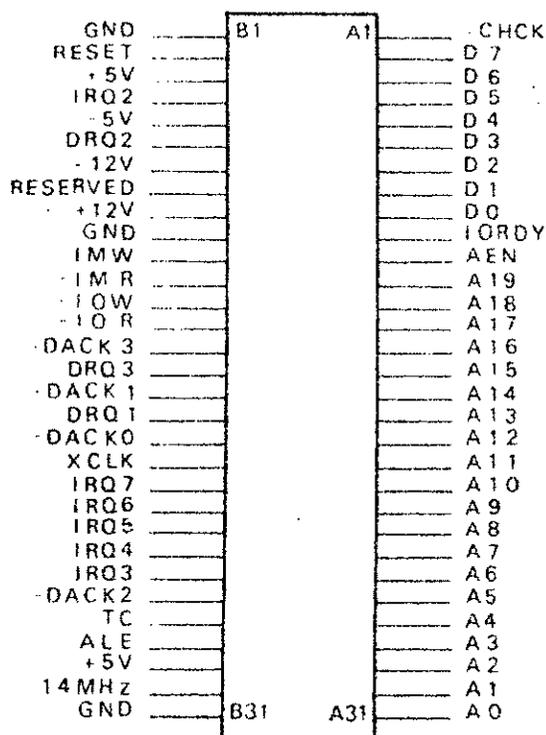


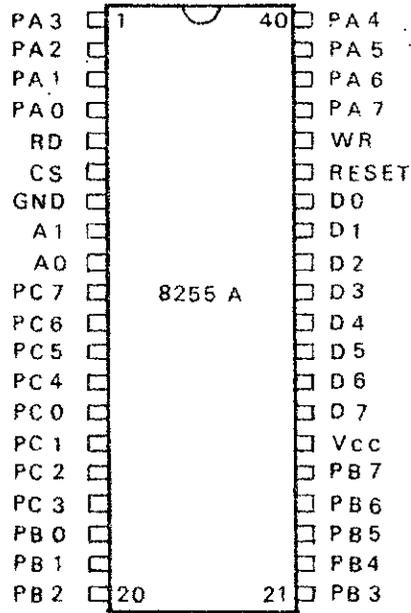
Fig. 6 I/O EXPANSION BUS CONNECTOR  
(IBM COMPATIBLE)

ADRESSE (Hexa)	FONCTION
200-20F	Interface externe de contrôle de jeu
210-217	Unité externe d'extension du bus
278-27E	Port externe d'imprimante
2B0-2BF	Contrôleur graphique secondaire externe
2F8-2FF	Port externe RS232C sériel asynchrone
300-31F	Carte externe de prototyping
320-32F	Contrôleur externe de disque dur
380-38C	Port externe RS232C sériel SDLC
390-393	Contrôleur externe de cluster
3B0-3BB	Contrôleur externe vidéo monochrome
3BC-3BF	Port d'imprimante
3C0-3C7	Contrôleur graphique externe

Canaux d'E/S de l'AMSTRAD 1512 sur le  
bus d'extension

B01	Ground (masse)	-
B02	RESET	OUT
B03	+5V DC	-
B04	IRQ2	IN
B05	-5V DC	-
B06	DREQ2	IN
B07	-12V DC	-
B08	Pas connecté	IN
B09	+12V DC	-
B10	Ground	-
B11	MEW(MEMory Write = pas écriture memoire)	OUT
B12	MRD(MEMory Read = pas lecture mémoire)	OUT
B13	IOW(I/O Write = pas écriture d'E/S)	OUT
B14	IOR(I/O Read = pas lecture d'E/S)	OUT
B15	DACK3	OUT
B16	DREQ3	IN
B17	DACK1	OUT
B18	DREQ1	IN
B19	DACK0	OUT
B20	CLK	OUT
B21	IRQ7	IN
B22	IRQ6	IN
B23	IRQ5	IN
B24	IRQ4	IN
B25	IRQ3	IN
B26	DACK2	OUT
B27	T/C	OUT
B28	ALE	OUT
B29	+5V DC	-
B30	CK14	OUT
B31	Ground	-

Affectation des broches (suite)



Broche	Nom	Entrée ou sortie	Fonction
1à4	PA0àPA3	E/S	Quartet bas du port PA
5	RD	E	Lecture d'information du 8255 par l'UCT
6	CS	E	Sélection de circuit
7	GND	-	Masse
8et9	A1etA0	E	Adresse pour les registres de commande
10à17	PC0àPC7	E/S	PORT C
18à25	PB0àPB7	E/S	PORT B
26	Vcc	E	Alimentation +5V
27à34	D7àD0	E/S	Bus vers microprocesseur
35	RESET	E	Mise à 0 des registres,
36	WR	E	Ecriture: du microprocesseur vers le 8255
37à40	PA7àPA4	E/S	Quartet haut du port PA

Fig. 7 Brochage du 8255A

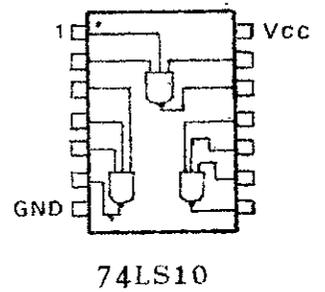
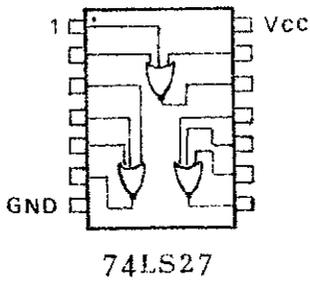
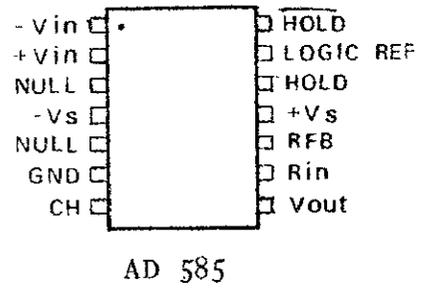
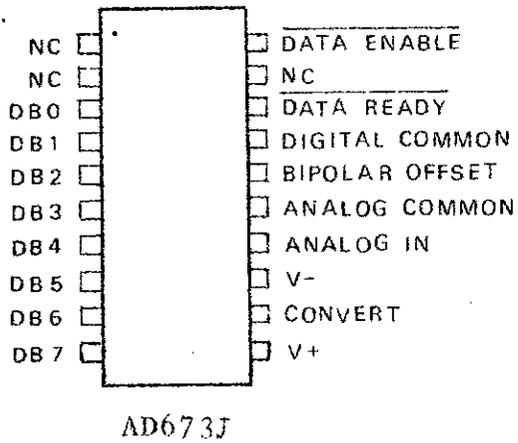
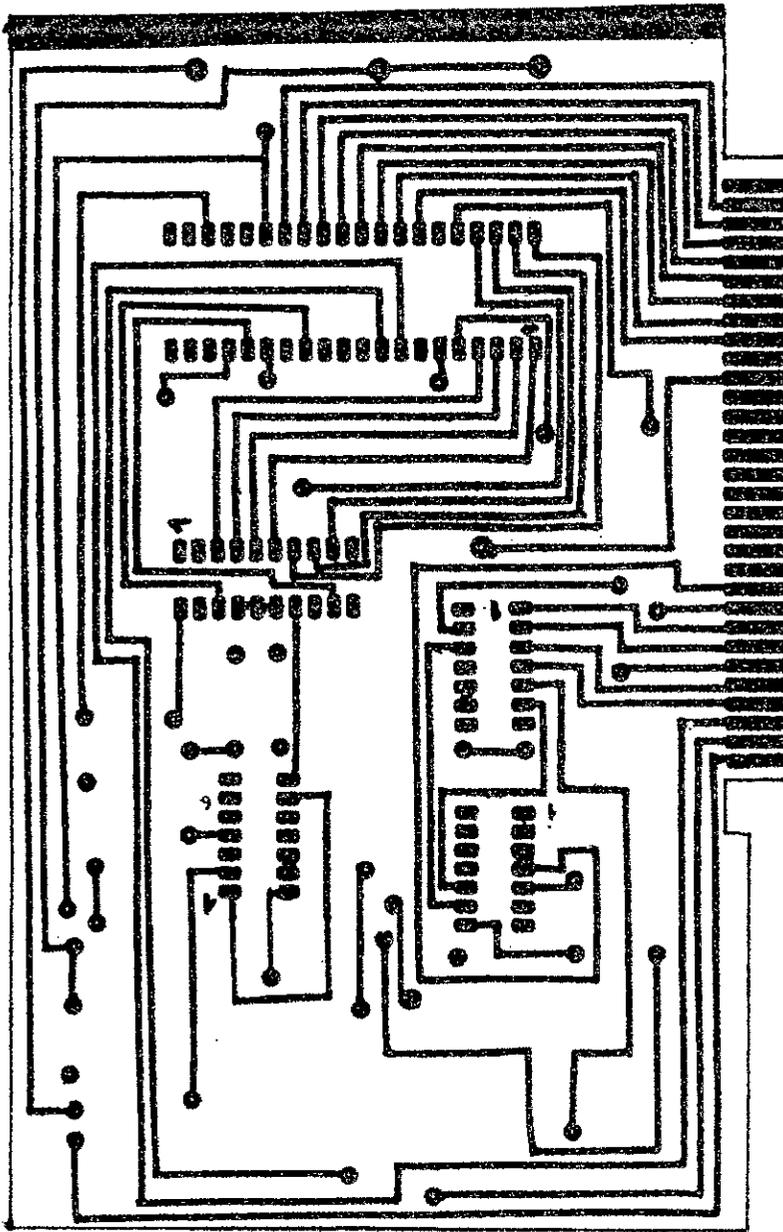
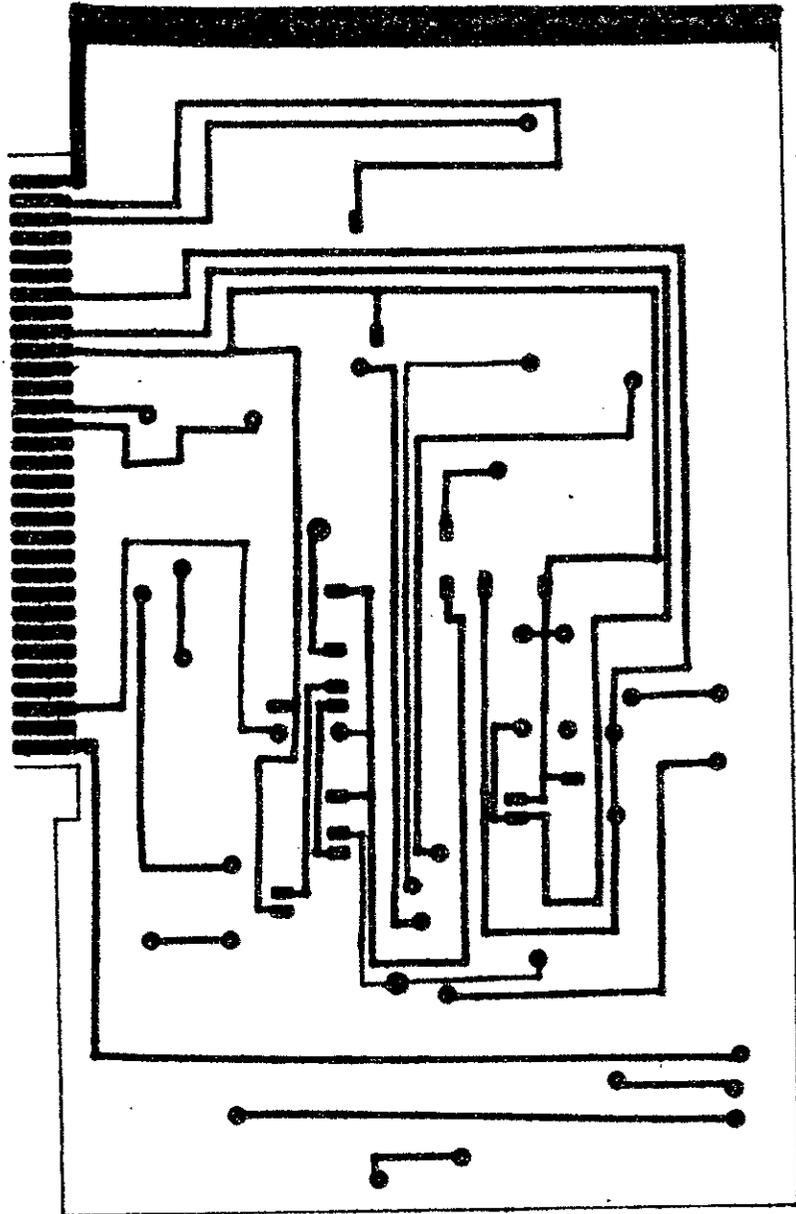


Fig.8. Brochage des composants

CIRCUIT IMPRINT  
FACE A



CIRCUIT IMPRINT  
FACE B



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Supplies (+V <sub>S</sub> , -V <sub>S</sub> )	±18V
Logic Inputs	±V <sub>S</sub>
Analog Inputs	±V <sub>S</sub>
R <sub>IN</sub> , R <sub>FB</sub> Pins	±V <sub>S</sub>
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering)	300°C
Output Short Circuit to Ground	Indefinite
TTL Logic Reference Short Circuit to Ground	Indefinite

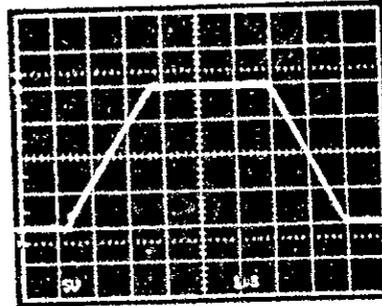


Figure 3. Large Signal Response, Sample Mode

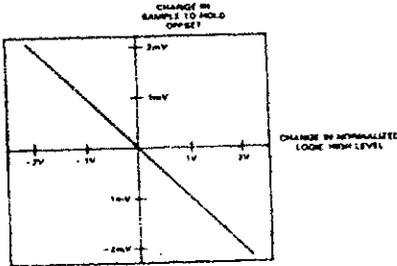


Figure 1. Sample-to-Hold Offset vs. Logic Level (HOLD Active)

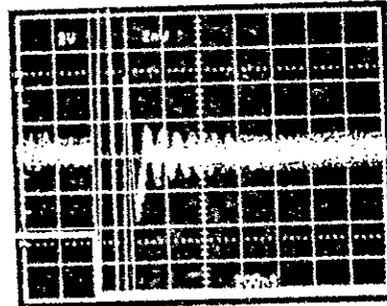


Figure 4. Sample-to-Hold Settling Time (HOLD Active)

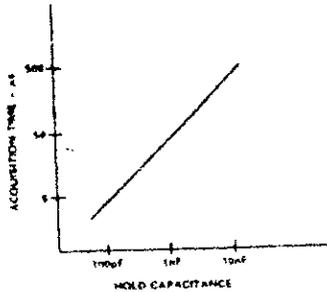


Figure 2. Acquisition Time vs. Hold Capacitance (10V Step to 0.01%)

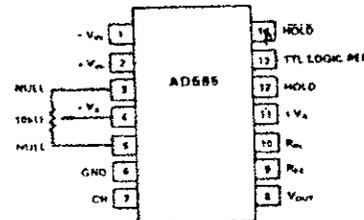


Figure 5. DIP Pin Configuration

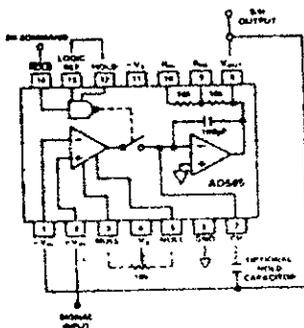


Figure 6. Connection Diagram, Gain = +1, HOLD Active

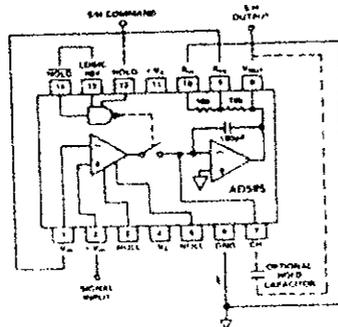


Figure 7. Connection Diagram, Gain = +2, HOLD Active

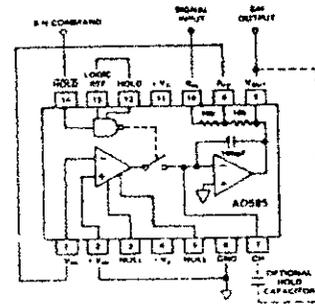


Figure 8. Connection Diagram, Gain = -1, HOLD Active

# SPECIFICATIONS

(typical @ +25°C and  $V_s = \pm 12V$  or  $\pm 15V$ , and  $C_H = \text{Internal}$ ,  
 $A = +1$ , HOLD active unless otherwise specified)

Model	AD585A			AD585S			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>SAMPLE/HOLD CHARACTERISTICS</b>							
Acquisition Time, 10V Step to 0.01%			3			3	$\mu s$
20V Step to 0.01%			5			5	$\mu s$
Aperture Time, 20V p-p Input							
HOLD $\Delta V$		35			35		ns
Aperture Jitter, 20V p-p Input, HOLD $\Delta V$		0.5			0.5		ns
Settling Time, 20V p-p Input, HOLD $\Delta V$ , to 0.01%		0.5			0.5		$\mu s$
Droop Rate			1			1	mV/ms
Droop Rate $T_{min}$ to $T_{max}$		Doubles Every 10°C			Doubles Every 10°C		
Charge Transfer			0.3			0.3	pC
Sample-to-Hold Offset	-3		3	-3		3	mV
Feedthrough							
20V p-p, 10kHz Input		0.5			0.5		mV
<b>TRANSFER CHARACTERISTICS<sup>1</sup></b>							
Open Loop Gain		200,000			200,000		V/V
$V_{OUT} = 20V$ p-p, $R_L = 2k$			0.3			0.3	%
Application Resistor Mismatch							
Common Mode Rejection							
$V_{CM} = \pm 10V$	80			80			dB
Small Signal Gain Bandwidth		2.0			2.0		MHz
$V_{OUT} = 100mV$ p-p							
Full Power Bandwidth		160			160		kHz
$V_{OUT} = 20V$ p-p							
Slew Rate		10			10		V/ $\mu s$
$V_{OUT} = 20V$ p-p							
Output Resistance (Sample Mode)			0.05			0.05	$\Omega$
$I_{OUT} = \pm 10mA$							
Output Short Circuit Current		50			50		mA
Output Short Circuit Duration		Indefinite			Indefinite		
<b>ANALOG INPUT CHARACTERISTICS</b>							
Offset Voltage			2			2	mV
Offset Voltage, $T_{min}$ to $T_{max}$			3			3	mV
Bias Current			2			2	nA
Bias Current $T_{min}$ to $T_{max}$			5			50 <sup>1</sup>	nA
Input Capacitance, $f = 1MHz$		10			10		pF
Input Resistance, Sample or Hold							
20V p-p Input, $A = +1$		$10^{12}$			$10^{12}$		$\Omega$
<b>DIGITAL INPUT CHARACTERISTICS</b>							
TTL Reference Output	1.2	1.4	1.6	1.2	1.4	1.6	V
Logic Input High Voltage							
$T_{min}$ to $T_{max}$	2.0			2.0			V
Logic Input Low Voltage							
$T_{min}$ to $T_{max}$			0.8			0.7	V
Logic Input Current (Either Input)			50			50	$\mu A$
<b>POWER SUPPLY CHARACTERISTICS</b>							
Operating Voltage Range	+5, -10.8		$\pm 18$	+5, -10.8		$\pm 18$	V
Supply Current, $R_L = \infty$	6		10	6		10	mA
Power Supply Rejection, Sample Mode	70			70			dB
<b>TEMPERATURE RANGE</b>							
Specified Performance	-25		+85	-55		+125	°C
<b>PACKAGE OPTIONS<sup>2</sup></b>							
Cerdip (Q-14)		AD585AQ			AD585SQ		
LCC (E-20A)					AD585SE		
PLCC (P-20A)		AD585AP					

## NOTES

<sup>1</sup>Maximum input signal is the minimum supply minus a headroom voltage of 2.5V.

<sup>2</sup>Not tested at -55°C.

<sup>3</sup>See Section 13 for package outline information.

Specifications subject to change without notice.

Specifications shown in boldface are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in boldface are tested on all production units.



# Publications



## A DATA ACQUISITION SYSTEM DEVELOPED AROUND AN IBM COMPATIBLE PC

PUVVADA Ramesh\* and ESCID Hammoudi, Departement d'Electronique,  
Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach, Algiers, Algeria.

### ABSTRACT

A data acquisition card developed for an IBM compatible PC is presented. This card, consisting of a sample and hold circuit, an analogue to digital converter, a peripheral interface adaptor and the address decoding logic, goes into the standard IBM expansion slot of the compatible PC. An Amstrad 1512, which is a low cost IBM compatible PC, employing the Intel 8086 microprocessor has been chosen for this purpose. This system has been used with a Nuclear Magnetic Resonance pulse spectrometer for data acquisition. An assembler code program for data acquisition is also presented.

### INTRODUCTION:

Data acquisition and analysis plays an important role in the measurement of any physical parameter. Measurement of proton spin-lattice and spin-spin relaxation times finds innumerable applications, particularly in the field of medicine. The first studies of Damadian(1971) showed a marked difference in the relaxation times between malignant and normal tissues in animals. The subsequent work(1972) in human cancerous tissues triggered a wave of enthusiasm among researchers. Nuclear Magnetic Resonance (NMR) techniques were first used for imaging (Zeugmatography) by Lauterbur(1973) to obtain information on the spatial distribution of water protons contained in biological tissues. NMR imaging for medical diagnostics was done for the first time by the teams

\* To whom correspondence should be addressed.

adaptor is used to generate the various pulse sequences necessary for the NMR pulse spectrometer. This output is buffered by a transistor and is made available to the NMR pulse spectrometer through a standard BNC connector. The pin 2 of portC (PC2) is used to generate the logic necessary to activate the sample and hold circuit and the A to D converter. The pin 4 of PortC (PC4) is used to receive the  $\overline{\text{INTR}}$  signal of the A to D converter. The pin 5 of portB (PB5) is used to force the  $\overline{\text{RD}}$  pin of the A to D converter low for the placement of the converted data byte on the data bus of the A to D converter. Thus the electrical lines (a and b) between the  $\overline{\text{INTR}}$  with PC4 and the  $\overline{\text{RD}}$  with PB5 serve as hand shake lines between the A to D converter and the peripheral interface adaptor, for proper data transfer.

The analogue output of the NMR pulse spectrometer is applied to the input of the sample and hold circuit through a standard BNC connector. The NMR receiver will be in the saturated state during the strong radio frequency transmitter pulse and needs enough time to recover before being ready to receive the free induction decay (FID) signal. This delay which is of the order of a few micro seconds, is generated by software. The chronogram representing the sequence of data acquisition, after this delay is shown in Fig.2. The program which generates the 90 degree transmitter pulse along with the data acquisition is shown in the Appendix 1.

#### RESULTS AND DISCUSSION:

The data acquisition system has been tested using an NMR pulse spectrometer built in our laboratory. This spectrometer operates at 5MHz and employs a Varian 9 inch magnet. We have been

able to use this system to record the FID signal of water protons.

This system can be used further, by using software to develop any type of pulse sequence needed in a NMR experiment. Data can be acquired and proton relaxation times can be computed automatically. The preparation of detailed software in this direction is in progress. Signal enhancement by averaging, and Fourier transform analysis of the signals is possible using this system.

Though we have used this data system with an NMR pulse spectrometer, we feel that this can be used with any instrument giving an analogue output signal with a frequency maximum of 1000 Hz. This restriction is imposed by the slow analogue to digital converter that we have chosen, but it is sufficient for the proton relaxation measurements that we are interested in.

#### ACKNOWLEDGEMENTS:

The authors wish to thank Bouzit A. and Hini R for preparing and testing the data acquisition card and Benali A and Adjerad A for preparing and testing the assembler program. We also thank Janathan Maxwell of the Imperial College, London, for his helpful suggestions and encouragement.

#### REFERENCES:

Damadjan R. Tumour detection by nuclear magnetic resonance. Science (N.Y) 171, 1151-53, 1971.

Damadjan R. Zaner K, Hor D, Dimaio T, Minkoff L and Goldsmith M. NMR a new tool in cancer research: human tumours by NMR. Ann.N.Y.Acad.Sci. 222, 1048-76, 1972.

Lauterbur P.C. Image formation by induced local interactions: examples employing NMR. Nature 242, 190-191, 1973.

Breton E and Le Roux P. L'imagerie par resonance magnetique. La Recherche 172, 1452-63, 1985.

Ametred Ordinateur Personnel PC 1512: Guide de Reference Technique. Editions Micro Applications, P7, 1986.

of researchers at the universities of Aberdeen and Nottingham (1985). The commercial development of NMR imaging machines by several manufacturers (Varian, Nicolet, Bruker, Philips and Thomson-CGR) opened up a new era in medical imaging.

NMR pulse spectrometers for routine measurements employ expensive mini-computers with data word sizes of 16-bits (Varian, Texas Instruments), 20-bits (Nicolet, Bruker) and 24-bits (Bruker Aspect) while those for medical imaging employ the 32-bit types (Philips Gyroscan, Thomson-CGR). The massive expansion in the development of microprocessors has made available inexpensive personal computers with data word sizes of 8-bits (based on 6809, 8085, Z80, 6502), 16-bits (based on 68000, 8086, V20) and 32-bits (based on 80386, 68020). The clock speeds of these micro-computers vary from 1 to 20 MHz, while the address and storage capacities vary from a few tens of kilo-bytes to a few hundred mega-bytes. It should therefore be possible to use the readily available micro-computers to realise economic and powerful data acquisition systems for many applications.

It is with this point of view that we present here a data acquisition card developed around an Amstrad 1512, which is an IBM compatible PC, employing the Intel 8086 microprocessor operating at 8MHz. This card can be positioned in the standard expansion slot of the PC and can be used with any instrument giving an analogue output signal. We have used this system with an NMR pulse spectrometer for the data acquisition and analysis and we present here an assembler program for recording the FID signal of water protons.

#### EXPERIMENTAL DETAILS:

The data acquisition card as shown in Fig.1 consists of a sample and hold circuit (LF398), an analogue to digital converter (ADC 0804), a peripheral interface adaptor (8255A) and the address decoding logic. The sample and hold circuit takes about 10  $\mu$ sec for sampling each analogue value before holding and passing it on to the A to D converter. The A to D converter takes about 100  $\mu$ sec to convert this analogue signal into an 8-bit digital word. The end of conversion is indicated by the  $\overline{\text{INTR}}$  pin of the A to D converter going low. Sensing this the  $\overline{\text{RD}}$  pin of the A to D converter is forced to go low, to facilitate the placement of the converted data byte on the data bus of the A to D converter. This data byte is transferred into the input address space of the 8086 microprocessor through the portA of the peripheral interface adaptor. The peripheral interface adaptor, operating in Mode zero is positioned in the input/output address space of the 8086 processor in such a way that the portA, the portB, the portC and the command register are assigned the addresses 0318, 031A, 031C and 031E hex respectively by the address decoding logic. This assignment is done in the user reserved input/output address space of the Amstrad 1512 PC (1986). The data bus and the control bus of the peripheral interface adaptor are connected to the data and control buses respectively of the 8086 processor through the expansion slot of the PC 1512. The power supplies +12V, -12V and +5V available on the expansion slot are used to energise the data acquisition card.

The pin 3 of the portC (PC3) of the peripheral interface

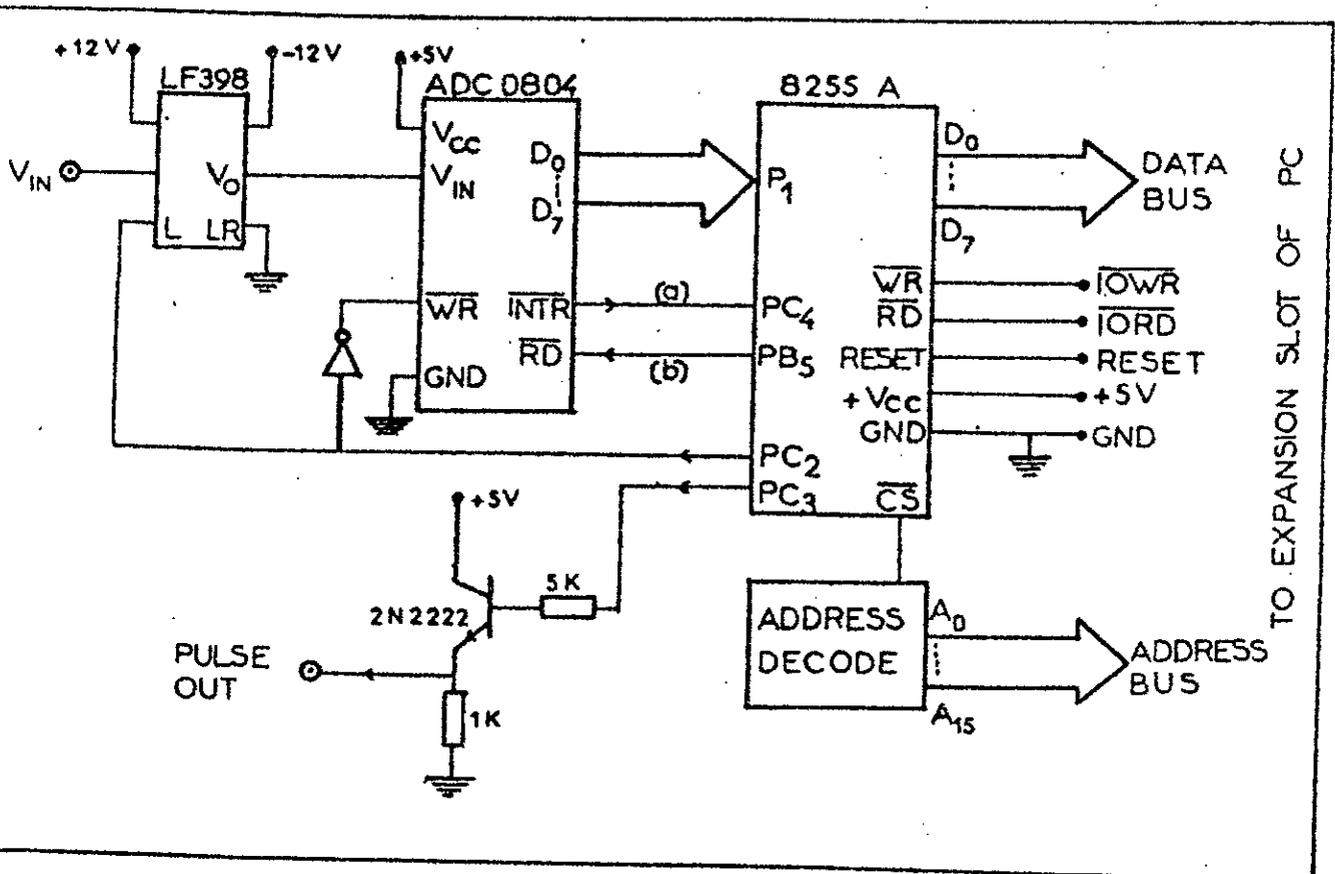


Fig.1. Data acquisition card.

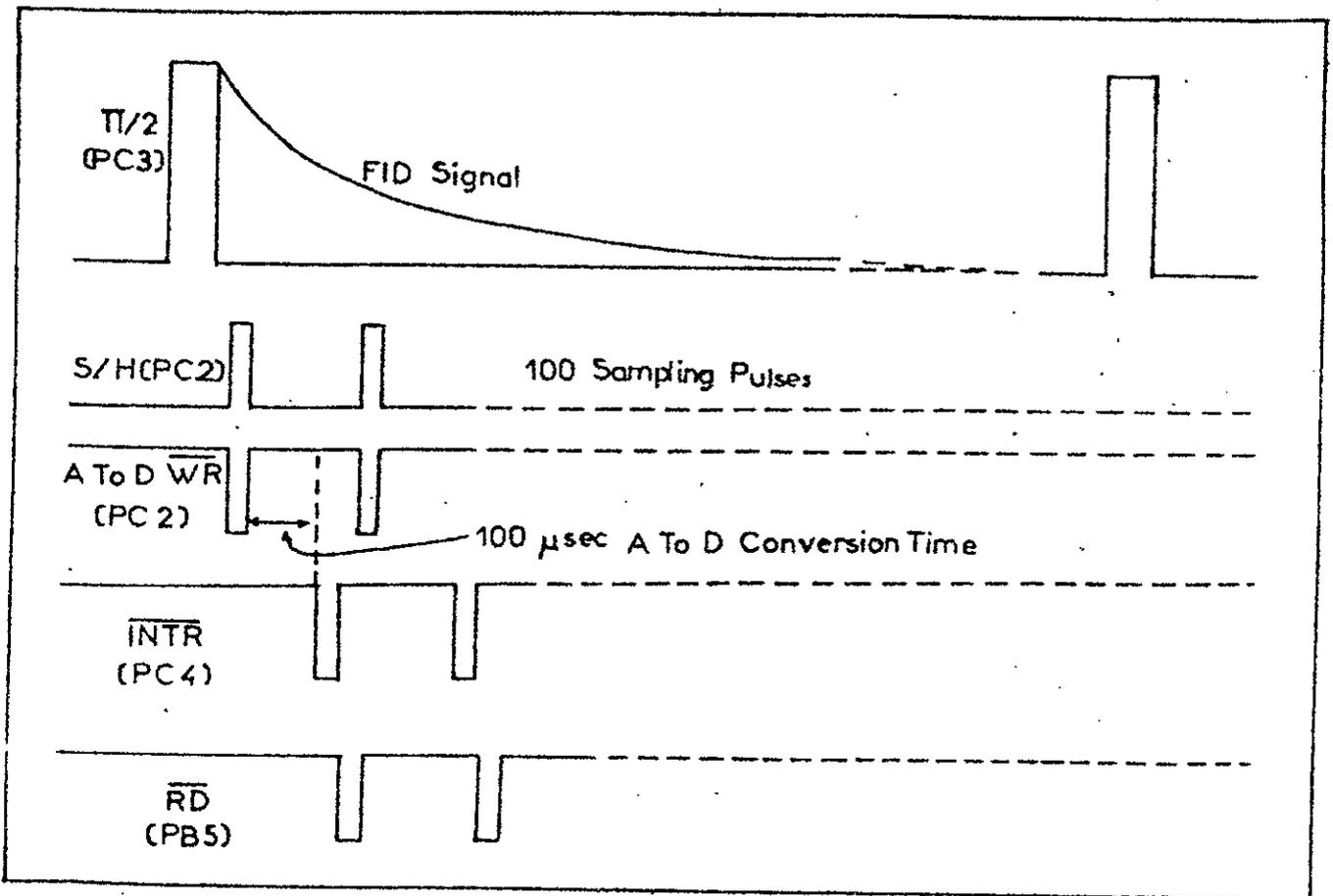


Fig.2. Data acquisition sequence from a FID signal.

TITLE APPENDIX 1.

```

COMMENT      * Program to acquire 100 data points and to
              create.open.write and close data file.
              It runs as a COM file *

portA        EQU    0318h
portB        EQU    031Ah
portC        EQU    031Ch
comReg       EQU    031Eh

code         SEGMENT
ASSUME CS:code,DS:code
ORG 100h
start:
    CLI                :clears all interrupts
    MOV DI,0300h       :for 100 data points
    MOV BL,100
    MOV DX,comReg
    MOV AL,98h
    OUT DX,AL          :initialisation of PJA
    MOV AL,06
    OUT DX,AL          :set PC3 low
    MOV AL,04
    OUT DX,AL          :set PC2 low
    MOV AL,07
    OUT DX,AL          :set PC3 high
    MOV CX,0040        :to generate the
    LOOP acq1          :transmitter pulse
    MOV AL,06
    OUT DX,AL          :set PC3 low

acq1:
    MOV CX,0010
    LOOP acq2          :saturation recovery

acq2:
    MOV DX,portC
    MOV AL,10h
    OUT DX,AL          :set PC4 high
    MOV DX,portB
    MOV AL,20h
    OUT DX,AL          :set PB5 high

    MOV DX,comReg
    MOV AL,05
    OUT DX,AL          :set PC2 high
    MOV CX,0010        :for sampling
    LOOP acq4
    MOV AL,04
    OUT DX,AL          :set PC2 low
    MOV CX,0040        :for A/D conversion
    LOOP acq5

acq4:
    MOV DX,portC
    IN AL,DX
    TEST AL,10h        :test if PC4 is low
    JNZ acq6

acq5:
    MOV DX,portB
    IN AL,DX
    XOR AH,AH
    MOV [DI],AX
    INC DI
    DEC BL
    CMP BL,00          :for100 data points
    JNZ acq3
    STI                :set all interrupts

acq6:
    MOV DX,300h
    MOV CX,100
    MOV AH,40h         :write 100 data points
    INT 21h            :to data file

    MOV BX,AX
    MOV AH,3Eh
    INT 21h            :close the data file
    JC error

    LEA DX,msg1
    MOV AH,09
    INT 21h            :display message

    POP CX
    POP DX
    MOV AH,4Ch
    INT 21h            :return to DOS

error:
    LEA DX,msg2
    MOV AH,09
    INT 21h
    JMP fin

    DB 'CREATE,OPEN,WRITE AND CLOSE FILE DONES'
    DB 'ERROR,CANNOT FIND THE FILES'
    DB 'A: DATA1.FIL '.0

code         ENDS
            END start

```

## MEASUREMENT OF PROTON SPIN-LATTICE RELAXATION TIMES EMPLOYING AN IBM COMPATIBLE PC SYSTEM

PUVVADA Ramesh\* and ESCID Hammoudi, Departement d'Electronique,  
Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger, Algeria.

### ABSTRACT

An assembly language source programme and a BASIC programme have been presented for the data acquisition system already realised, using an IBM compatible PC. The assembly language programme generates the necessary pulse sequences for a Nuclear Magnetic Resonance pulse spectrometer and acquires data from the free induction decay signal of water protons. The basic programme computes the proton spin-lattice relaxation time, using this data.

### INTRODUCTION:

Measurement of proton spin-lattice(T1) and spin-spin(T2) relaxation times are of special interest in the biomedical applications of Nuclear Magnetic Resonance(NMR). Damadian(1971 and 1972) measured the proton spin-lattice relaxation times in biological specimens, to distinguish between the normal and cancerous tissues. Nadkarni et al.(1976) measured T1 values in human leucemic cells and found a correlation between T1 values corresponding to new, treated and relapsed cases. J. de Certaines(1983) reviewed the relaxation measurements and tried to establish a link between biological variations and the different physical parameters that occur within the relaxation times. In-vivo measurements of T1 and T2 are being used in the magnetic resonance imaging. Proton density imaging based on

\* To whom correspondence should be addressed.

T1 measurements and echotrain imaging based on T2 measurements were reviewed by Eastwood(1985) and Bernard et al.(1988).

The generation of the various pulse sequences and their precise measurements are important in the computation of the relaxation times. The development of inexpensive personal computers, employing powerful microprocessors, may effectively be used for such applications. It is with this view, that we have presented here, an assembly language programme, and a BASIC programme, to be used with a data acquisition system developed around an IBM compatible PC, to measure the proton T1 values.

#### MATERIALS AND METHODS:

The data acquisition system reported by the authors(1989) uses an IBM compatible microcomputer, namely Amstrad PC1512, operating at 8 MHz. The data acquisition card for this system employs a sample and hold circuit, an analogue to digital converter, a programmable parallel interface(PPI), and address decoding logic. The address decoding logic was used in such a way, that the portA, the portB, the portC and the control register of the PPI are assigned 318, 31A, 31C and 31E hex. addresses respectively, in the I/O address space of 8086. This system is used with a home built NMR pulse spectrometer, operating at 5 MHz, to develop the assembly language source programme.

#### ASSEMBLY LANGUAGE SOURCE PROGRAMME:

The assembly language source programme is prepared using the standard techniques described by Miller(1987). The programme is first written using a text editor, to run as a COM file. Then it is assembled, linked and finally converted into

a COM file using the exe2bin programme. As presented in the listing of RELAXT1.ASM, this programme firstly initializes the PPI of the data acquisition card and acquires data for the progressive saturation recovery (steady state free precession) method, for different transmitter inter pulse spacings( $\tau$ ).

As shown in Fig.1, the programme generates the first sequence of transmitter pulses with a  $\tau$  value of 50 msec and acquires the FID amplitudes, after introducing the necessary receiver saturation recovery. These amplitude values are stored in memory locations starting from 300 to 30F hex. The first value at 300 hex corresponds to the intensity maximum of the FID signal. The subsequent amplitudes decrease in succession, and reach a steady state. The last eight values (from 308 to 30F hex) are used to find the average amplitude  $I_{\tau}$ , in order to increase the accuracy of the measurement. This value is transferred to another memory location, to be used later. Then the programme generates a delay of 5 seconds so that the specimen recovers to the initial state. The above procedure is repeated and the average amplitudes are obtained for different values of  $\tau$ , as  $\tau$  increases upto 1 second, in steps of 50 msec. The first FID amplitude recorded in each sequence is used to compute the average, corresponding to the intensity maximum ( $I_{00}$ ) of the FID signal.

#### BASIC PROGRAMME:

The BASIC programme, presented in the listing of RELAXT1.BAS, firstly displays a menu, to guide the operator through the measurement. The assembly language source programme, converted into a COM file (RELAXT1.COM) is executed from the

BASIC programme, using the SHELL command. The data acquired is PEEKed and the average amplitude  $I_{\tau}$  for each value of  $\tau$  is plotted as a function of  $\tau$ . This presents an exponential variation as shown in Fig.2, the time constant of which gives the T1 value of the specimen under test. Option is provided to open a new disk file to save the PEEKed data, for future use.

#### RESULTS AND DISCUSSION:

The programmes presented have been tested on a home built NMR pulse spectrometer operating at 5 MHz. The data acquired is plotted ( Fig.2) and the T1 value is computed. This is found to be 350 msec in a specimen of carcinoma (epino cellular) taken from a patient aged 79 years. The time taken for the measurement is of the order of 5 minutes and the maximum error involved in the measurement is 25 msec. The error can be reduced by choosing the value of  $\tau$  conveniently.

#### ACKNOWLEDGEMENTS:

The authors wish to thank Janathan Maxwell of the Imperial College, London for his helpful suggestions and encouragement.

#### REFERENCES:

- Damadian R. Tumour detection by nuclear magnetic resonance. Science (N.Y.) 171, 1151-53, 1971.
- Damadian R. Zener K, Hor D, Dimaio T, Minkoff L and Goldsmith M, NMR a new tool in cancer research: human tumours by NMR, Ann.N.Y.Acad.Sci. 222, 1048-76, 1972.
- Nadkarni JS, Nadkarni JJ, Ranade SS, Chaughule RS, Kasturi SR and Advani SH. Ind. J.Cancer 13, 76, 1976.
- De Certaines JD. Measurement and meaning of relaxation times: Specific and Non-specific variations in Cancer. Ann.Ist.Super.Sanita 19, 107-20, 1983.

Eastwood LM. An introduction to Bio-medical Nuclear Magnetic Resonance. Edited by Petersen SB, Muller RN and Rinck PA. Georg Thieme Verlag, Stuttgart PP 40-49, 1985.

Miller AR. Assembly Language Techniques for the IBM PC. Sybex INC. USA: BPB Publications, Delhi PP 77-109, 1987.

Bernard AM, De Certaines JD and Le Jeune JJ. Resonance Magnetique Nucleaire. Masson, Paris pp 80-82, 1988.

Puvvada R and Escid H. A data acquisition system developed around an IBM compatible PC, AMSE Review 12, 1-9, 1989.

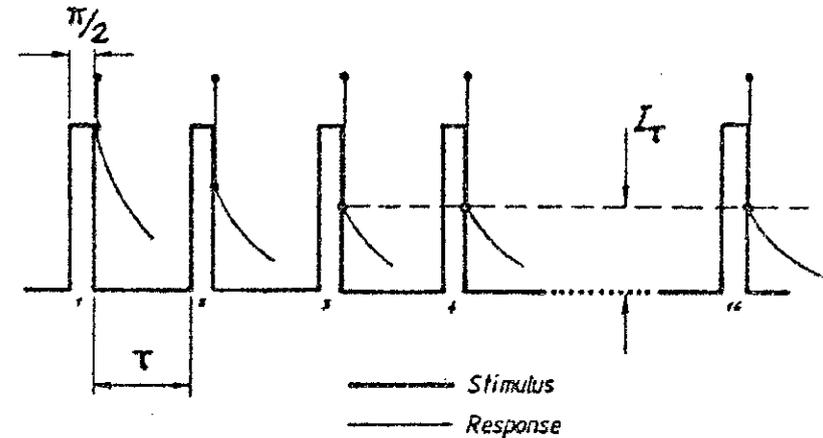
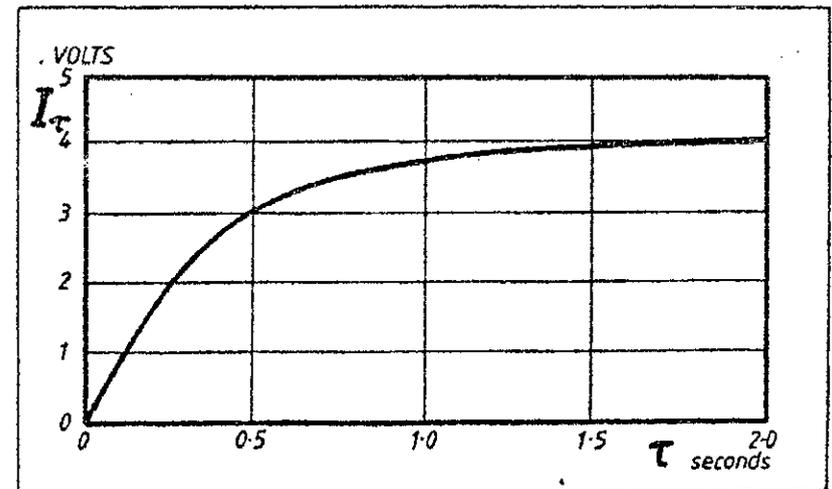


Fig.1. Progressive saturation recovery pulse sequence



PAGE .132  
TITLE RELAXT1.ASM

```

COMMENT * Measurement of proton spin-lattice relaxation
time T1 using progressive saturation recovery
method. It runs as a COM file. *

PORTA EQU 318h
PORTB EQU 31Ah
PORTC EQU 31Ch
REGC EQU 31Eh

code SEGMENT
ASSUME CS:code, DS:code
ORG 100h

start: CLI
MOV SI,400h
MOV BX,0001h
MOV BP,200h

MOV DX,REGC
MOV AL,98h
OUT DX,AL

MOV DX,PORTC
MOV AL,00
OUT DX,AL

t1: MOV DI,300h

t2: MOV DX,PORTC
MOV AL,08
OUT DX,AL
MOV CX,20
LOOP t3

t3: MOV DX,PORTC
MOV AL,00
OUT DX,AL

t4: MOV CX,0120h
LOOP t4

MOV DX,PORTB
MOV AL,20h
OUT DX,AL

MOV DX,PORTC
MOV AL,14h
OUT DX,AL
MOV CX,0010
LOOP t5

MOV DX,PORTC

```

:initialisation of the PPI

:All pins of PORTC are  
initialised to zero.

:PC3-1  
:to generate the 90 degree  
:transmitter pulse

:PC3-0

:receiver saturation recovery

:Pb5-1

:PC4-1 and  
:PC2-1 sampling starts

```

MOV AL,10h
OUT DX,AL

t6: MOV DX,PORTC
IN AL,DX
TEST AL,10h
JNZ t6

MOV DX,PORTB
MOV AL,00
OUT DX,AL

MOV DX,PORTA
IN AL,DX
MOV (DI),AL
INC DI

t7: MOV CX,BX
MOV DX,523Dh
DEC DX
JNZ t8
LOOP t7

CMP DI,310h
JNZ t2

MOV DI,300h
MOV AL,(DI)
MOV (BP),AL
INC BP

t9: MOV DI,308h
PUSH BX
XOR AX,AX
XOR BX,BX
MOV BL,(DI)
ADD AX,BX
INC DI
CMP DI,310h
JNZ t9

MOV BL,08h
DIV BL
PUSH DS
MOV DX,2000h
MOV DS,DX
MOV (SI),AL
INC SI
POP DS

t10: MOV CX,100
MOV DX,523Dh
DEC DX
JNZ t11
LOOP t10

:PC4-1 and
:PC2-0 start A/D conversion

:test if PC4=0 for the
:end of conversion

:force Pb5=0 for valid data
:on the data bus of ADC

:FID amplitudes in through
:PORTA and stored starting
:from memory locations 300h.

:transmitter inter pulse
:spacing( $\tau$ ) variable in
:steps of 50ms

:Acquisition of 16 values

:transfer the first FID
:amplitude of each pulse
:sequence and store
:it starting from 200h

:add last eight FID
:amplitude values and

:obtain  $I_{\tau}$ , the average
:amplitude

:store the values of  $I_{\tau}$ 
:starting from 2000:400h

:wait for 5 seconds after
:each pulse sequence, so that
:the specimen under test
:recovers to the initial state.

```

```

34
POP BX
INC BX
CMP BX,15h
JZ t12
JMP t1

t12: XOR AX,AX
     XOR BX,BX
     MOV BP,200h
t13: MOV BL,[BP]
     ADD AX,BX
     INC BP
     CMP BP,214h
     JNZ t13

     MOV BL,14h
     DIV BL

     MOV DI,500h
     PUSH DS
     MOV DX,2000h
     MOV DS,DX
     MOV [DI],AL
     POP DS

     STI
     MOV AH,4Ch
     INT 21h

code ENDS
     END start

```

```

: test if 20 pulse sequences
: are over, so that T reaches
: 1 sec in steps of 50 msec.

: add all the first FID values
: of each pulse sequence and

: calculate the average to get
: the intensity maximum I0

: store I0 at 2000:500h

: Return to DOS

```

```

100 REM TITLE RELAXT1.BAS
105 REM
110 REM This programme measures the PROTON T1
120 REM value by executing the RELAXT1.COM
130 REM using the SHELL command.
140 KEY OFF:NMAX=21:TMAX=40
150 DIM RESULT1(NMAX),RESULT2(TMAX),RESULT3(TMAX)
160 SCREEN 0.1:COLOR 10,0,0 :CLS:WIDTH 40
170 LOCATE 5,15:COLOR 0,7 :PRINT" M E N U"
180 LOCATE 8,37:COLOR 10,0:PRINT" 1-Determine T1"
190 LOCATE 10,37:COLOR 10,0:PRINT" 2-Trace the curve"
200 LOCATE 12,37:COLOR 10,0:PRINT" 3-Call a disk file"
210 LOCATE 14,37:COLOR 10,0:PRINT" 4-Return to BASIC"
220 LOCATE 20,10:COLOR 0,7:PRINT" ENTER YOUR CHOICE PLEASE >>"
230 AS=INKEY$: IF AS="" THEN 220
240 IF (AS<>"1") AND (AS<>"2") AND (AS<>"3") AND (AS<>"4") THEN 220
250 IF AS="1" THEN GOSUB 320
260 IF AS="2" THEN GOSUB 640
270 IF AS="3" THEN GOSUB 840
280 IF AS="4" THEN GOTO 300
290 GOTO 160
300 COLOR 7,0:CLS:WIDTH 80:LOCATE 20,25
310 PRINT" THANK YOU VERY MUCH": BEEP:BEEP:END
320 KEY OFF:COLOR 7,0:CLS:WIDTH 40
330 LOCATE 10,10:PRINT" APPLY THE SIGNAL PLEASE"
340 COLOR 0,7:LOCATE 20,6:PRINT" PRESS ANY KEY "
350 COLOR 0,7:LOCATE 22,14:PRINT" TO CONTINUE PLEASE "
360 AS=INPUT$(1):CLS:LOCATE 14,21
370 PRINT" PLEASE WAIT, MEASUREMENT IN PROGRESS .."
380 SHELL "RELAXT1.COM"
390 DEF SEG=&H2000
400 FOR I=1 TO 19
410 RESULT2(I)=PEEK(1+&H400)*19.53*.001:NEXT I
420 RESULT2(20)=PEEK(&H500)*19.53*.001
430 YM=RESULT2(20)
440 E=.63*YM:K=0
450 IF RESULT2(K)< E THEN 470
460 S=K-1/2:GOTO 480
470 K=K+1:GOTO 450
480 LET IT=50+S*50:CLS
490 WIDTH 80:LOCATE 10,8
500 PRINT"THE VALUE OF T1 IS ";IT;"ms"
510 COLOR 0,7
520 LOCATE 22,10:INPUT " WANT TO SAVE ON THE DISK":RS
530 IF (RS<>"N") AND (RS<>"n") AND (RS<>"Y") AND (RS<>"y") THEN 520
540 IF (RS="N") OR (RS="n") THEN 610
550 CLS:WIDTH 80
560 LOCATE 23,9:INPUT"GIVE NAME AND EXTENSION .DAT":NAME1$
570 OPEN "O",#1,NAME1$
580 FOR J=1 TO NMAX:R=RESULT2(J)
590 PRINT #1,R:NEXT J
600 CLOSE #1
610 LOCATE 14,23:PRINT" PRESS ANY KEY TO CONTINUE PLEASE"
620 AS=INPUT$(1)
630 RETURN
640 SCREEN 2:CLS:KEY OFF
650 YM=0:P=1/20:FX=200
660 FY=40:XO=50:YO=150

```

```
670 FOR K=0 TO 19:RESULT3(K)=YO-FY*RESULT2(K):NEXT K
680 RESULT3(20)=YO-FY*RESULT2(20)
690 LINE(XO,YO)-(XO+500,YO):LINE(XO,YO)-(XO,YO-125)
700 PSET(XO-30,YO-140):DRAW"R550 D160 L550 U160"
710 PSET(XO+500,YO):DRAW"H5F5G5E5"
720 PSET(XO,YO-125):DRAW"G5E5F5H5"
730 TX=XO:TY=YO
740 FOR S=1 TO 19
750 X=FX*(S+1)*P+XO:Y=RESULT3(S)
760 LINE(TX,TY)-(X,Y):TX=X:TY=Y:NEXT S
770 X=FX*40*P+XO:Y=RESULT3(20):LINE(TX,TY)-(X,Y)
780 LOCATE 3,4:PRINT "VOLTS":LOCATE 21,60:PRINT "T( x 50ms)"
790 FOR I=1 TO 40:PSET(FX*I*P+XO,YO):DRAW"D2U4"
800 PSET(XO,YO-1*20):DRAW"R2L5":NEXT I
810 FOR U=1 TO 30:PSET(XO,YO-4*U):DRAW"R1L2":NEXT U
820 LOCATE 23,53:PRINT "PRESS ANY KEY PLEASE":AS=INPUT$(1)
830 RETURN
840 CLS: COLOR 7,0: WIDTH 80
850 LOCATE 5,5:PRINT"THE FILES ON THE DISK ARE :":FILES"* .DAT"
860 LOCATE 22,9
870 INPUT "ENTER NAME WITH EXTENSION .DAT >":NAME1$
880 OPEN "I",#1,NAME1$
890 FOR T=1 TO NMAX
900 INPUT #1,R
910 RESULT2(T)=R:NEXT T
920 CLOSE #1
930 LOCATE 23,25:COLOR 0,7
940 PRINT "PRESS ANY KEY TO CONTINUE PLEASE"
950 AS=INPUT$(1):COLOR 7,0
960 RETURN
```