

5/90

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT

D'ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Génération de gradients
de champ magnétique
pour imagerie R.M.N

Proposé par :
Pr.R. PUVVADA
Mr.S. MEKAOUI

Etudié par :
Mr.M.CHEMLOUL

Dirigé par :
Mr.S. MEKAOUI
Pr.R. PUVVADA

PROMOTION 90



REMERCIEMENTS

Je remercie :

- Pr.R.PUVADA et Mr.S.MEKAOUI qui m'ont assisté, soutenu et orienté tout le long de ce projet.

- Mr ESCID , Melle L.FEDAOUI , S.HOUIRI pour leur aide matérielle.

Je tiens également à remercier tous ceux qui m'ont aidé à élaborer ce travail.

ABSTRACT

An electronic system has been designed and constructed to generate the necessary field gradients for magnetic resonance imaging. It consists of a three channel digital-to-analog converter interface followed by a power amplifier providing the necessary current to drive the gradient coils.

The software, in the form of an assembly language program, is also presented to drive the system using an IBM PC computer.

RESUME

L'objet de ce travail est la réalisation d'un système électronique permettant la génération de trois gradients de champ magnétique nécessaires à une expérience d'imagerie par R.M.N.

La solution retenue est à base d'un ordinateur IBM PC couplé à un système de bobines à l'aide d'un interface à trois voies de conversion N/A. Un circuit externe assure l'amplification en courant et alimente, ainsi, les bobines.

Le pilotage du système est réalisé à partir de programme développé en langage assembleur à cet effet.

* PLAN *

I- CHAPITRE 1 : PRINCIPE GENERAL DE LA R.M.N.	
1) INTRODUCTION	2
2) THEORIE R.M.N.	3
3) MODELE QUANTIQUE	3
4) MODELE CLASSIQUE	4
5) PHENOMENE DE RELAXATION	6
II- CHAPITRE 2 : PRINCIPE GENERAL SUR L'I.R.M	
1) INTRODUCTION	9
2) PRINCIPE DE L'IMAGERIE PAR R.M.N	10
3) EXPOSE DES DIFFERENTES METHODES D'I.R.M	13
4) ORGANISATION D'UN SYSTEME D'I.R.M	14
5) DESCRIPTION DU SYSTEME DES GRADIENTS	14
III- CHAPITRE 3 : INTERFACAGE AVEC L'IBM PC	
1) INTRODUCTION	18
2) PRESENTATION DU MICROPROCESSEUR 8086/8088	18
3) ORGANISATION INTERNE DU 8086/8088	19
4) ORGANISATION DE LA MEMOIRE	21
5) ADRESSAGE DES ENTREES/SORTIES	21
6) LE BUS D'EXTENSION DE L'IBM PC	23
IV- CHAPITRE 4 : CONCEPTION ET REALISATION DE LA CARTE N/A	
1) INTRODUCTION	26
2) INTRODUCTION A LA CONVERSION N/A	26
3) DESCRIPTION GENERALE DE LA CARTE N/A	28
4) LE CIRCUIT D'INTERFACE PPI 8255 D'INTEL	30
5) UTILISATION DU PPI 8255	34
6) ADRESSAGE DE CARTE	34
7) LE CNA AD 7545	38
8) FONCTIONNEMENT ET PROGRAMMATION DE LA CARTE ..	39

V- CHAPITRE 5 : CONCEPTION ET REALISATION DE L'AMPLIFICATEUR
ET DES BOBINES

1) INTRODUCTION	43
2) DESCRIPTION DE L'AMPLIFICATEUR	43
3) CONCEPTION ET REALISATION DES BOBINES	45
4) GRADIENT SUIVANT L'AXE Oz DEFINI PAR B_0	48
5) GRADIENTS SUIVANT LES AXES O_x ET O_y	49

VI- CHAPITRE 6 : GESTION ET EXPOITATION DU SYSTEME

1) INTRODUCTION	52
2) PRESENTATION DU PROGRAMME	52
3) CONCLUSION	60

VII- ANNEXE

CHAPITRE 1

PRINCIPE GENERAL
DE LA
RESONNANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE

I.1 INTRODUCTION :

Depuis sa découverte en 1946 par deux groupes de chercheurs : Purcell, Torrey et Pound de Harvard (7) d'une part et Bloch, Hansen et Packard (7) de l'autre, la résonance magnétique nucléaire est devenue un puissant moyen d'identification et un bon outil d'étude de structures cristallines.

Ses applications en biochimie sont en pleine expansion. C'est en 1973 que Lauterbur (8), Mansfield et Grannell (9) montrèrent qu'il est possible de reconstituer l'image d'une distribution spatiale de protons contenus dans un volume donné en enregistrant les réponses de cet ensemble dans différents gradients de champ magnétique. L'imagerie par résonance magnétique nucléaire était née. Depuis, une nouvelle technique d'imagerie médicale basée sur les principes de la R.M.N est utilisée dans les hôpitaux.

Ces progrès progressifs des applications biomédicales ont été conditionnés par les progrès technologiques et particulièrement les progrès de l'informatique facilitant la R.M.N à la transformation de Fourier et le développement des aimants supra-conducteurs.

THEORIE R.M.N :

Une expérience de résonance magnétique nucléaire peut s'interpréter en mécanique quantique comme étant la comparaison de deux phénomènes jouant en sens inverse : la relaxation spin-réseau, qui tend à maintenir une différence de population entre deux niveaux énergétiques et le champ magnétique qui tend à détruire cette différence de population.

Une autre façon de regarder le phénomène de résonance magnétique nucléaire, due principalement à Bloch et plus instructive pour certaines expériences, consiste à le décrire en mécanique classique comme une précession forcée de l'aimantation nucléaire dans un champ de radiofréquence appliqué, l'effet de cette précession étant d'induire une force électromotrice détectable dans une bobine réceptrice.

1.3 MODELE QUANTIQUE :

Un noyau est porteur d'un moment magnétique noté $\vec{\mu}$, proportionnel et colinéaire à un moment cinétique \vec{A} :

$$\vec{\mu} = \frac{h}{2\pi} \vec{I}$$

ou h est la constante de Planck et \vec{I} le spin nucléaire, et

$$\vec{\mu} = \gamma \cdot \vec{A}$$

γ étant le rapport gyromagnétique.

\vec{I} est en fait un vecteur opérateur. Sa composante I_z sur un axe OZ défini par une induction \vec{B}_0 possède les valeurs propres :

$$m = I, I-1, I-2, \dots, -I.$$

I est entier ou demi-entier et est appelé brièvement "spin" nucléaire. Par exemple, le spin du proton est $I = 1/2$, de telle sorte que m peut prendre les valeurs $\pm 1/2$.

Il en résulte des propriétés de l'opérateur de spin que les états d'énergie du moment magnétique de spin dans une induction \vec{B}_0 ne peut prendre que des valeurs discrètes. Comme de façon générale l'énergie d'un moment magnétique dans une induction \vec{B}_0 est définie par :

$$E = - \mu \cdot \vec{B}_0$$

La différence d'énergie entre deux états voisins est alors :

$$\Delta E = \gamma \cdot \frac{h}{2\pi} \cdot B_0$$

En accord avec la théorie d'Einstein, il est possible d'induire des transitions d'un état à un autre à l'aide d'une énergie $h \cdot \nu_0$ telle que :

$$h \cdot \nu_0 = \Delta E$$

Soit donc la condition de résonance :

$$2\pi \cdot \nu_0 = \gamma \cdot B_0$$

I.4. MODELE CLASSIQUE :

Le modèle gyroscopique de Bloch (7) permet une représentation simple entre le spin nucléaire et le champ magnétique. Le noyau doué de spin est assimilé à un barreau aimanté tournant sur lui-même (fig I.1), c'est-à-dire doté d'un moment cinétique.

Le moment cinétique soumis à une induction magnétique obéit au théorème du moment cinétique :

La variation temporelle du moment cinétique \vec{A} est égale au moment des forces appliquées ($\vec{A} \wedge \vec{B}_0$) soit :

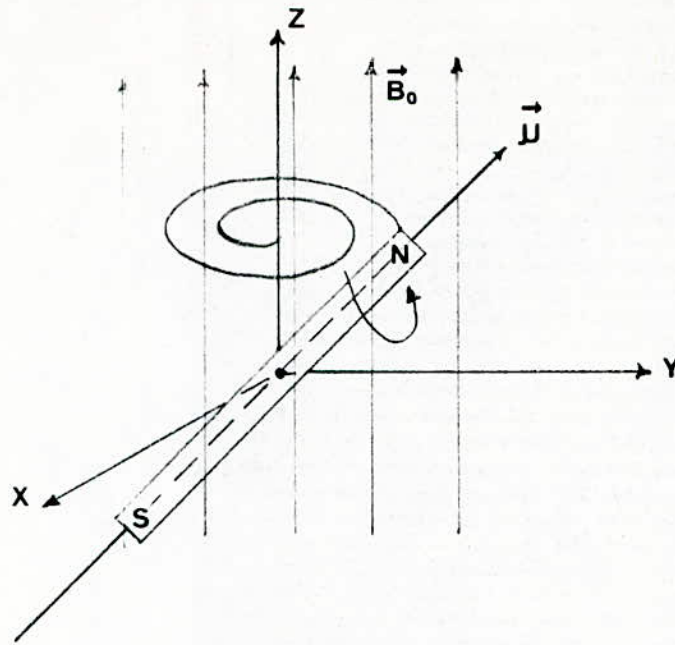


fig.1.1. Modèle de précession de Bloch

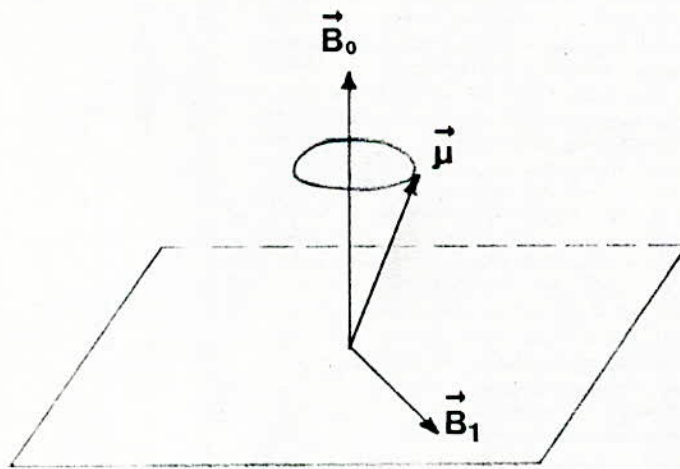


fig.1.2. Action du champ B_1

or
soit

$$\frac{d\vec{A}}{dt} = \vec{\mu} \wedge \vec{B}_0$$
$$\vec{\mu} = \gamma \cdot \vec{A}$$
$$\frac{d\vec{\mu}}{dt} = \gamma \cdot (\vec{\mu} \wedge \vec{B})$$

Il découle de la solution de cette différentielle (7) que le moment $\vec{\mu}$ décrit un mouvement circulaire autour de l'axe OZ, défini par \vec{B}_0 , appelé mouvement de précession de Larmor. La vitesse angulaire de précession est constante telle que :

$$\omega_0 = 2\pi \nu_0$$

et

$$\omega_0 = \gamma \cdot B_0$$

On retrouve la fréquence de résonance de la théorie quantique.

Ce mouvement de précession est amorti par les interactions du milieu. Il peut être entretenu par l'application d'un champ magnétique \vec{B}_1 perpendiculaire à \vec{B}_0 et tournant autour de ce dernier avec une vitesse angulaire ω_0 (fig I.2). C'est le phénomène de résonance magnétique nucléaire.

I.5 PHENOMENE DE RELAXATION :

Après l'application du champ \vec{B}_1 , perpendiculaire à \vec{B}_0 , le moment magnétique macroscopique \vec{M} qui représente la résultante d'un grand nombre de moments magnétiques des atomes de l'échantillon considéré, précessionne autour de l'axe OZ et possède à la fois une composante suivant OZ et dans le plan XOY (fig I.3).

Des que \vec{B}_1 disparaît le vecteur \vec{M} tend à s'aligner sur l'axe OZ. Ainsi, sa projection sur l'axe OZ reprend sa valeur

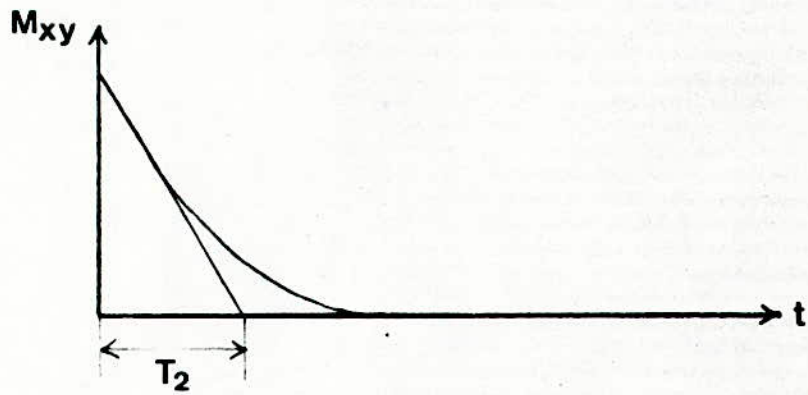
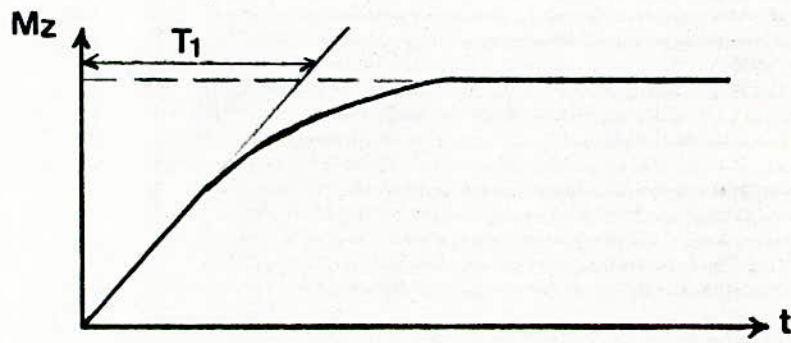
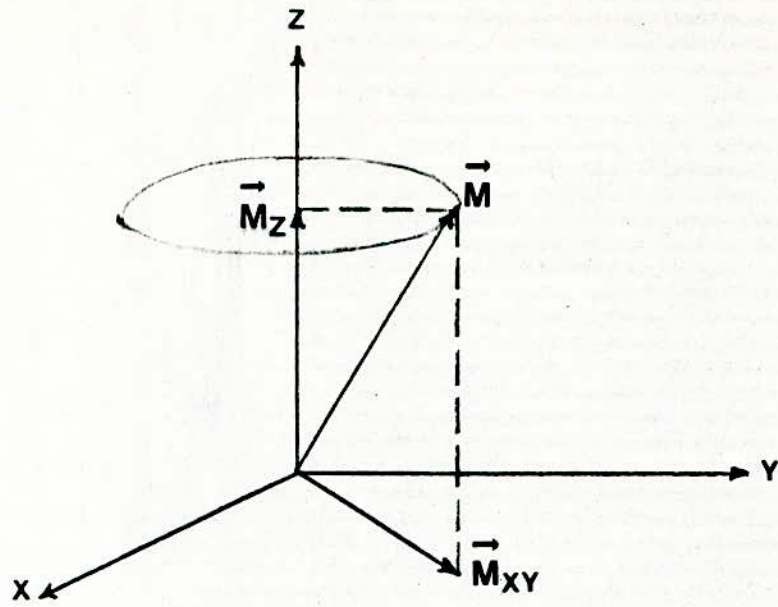


Fig.1.3

initiale selon une loi exponentielle de constante T_1 appelée temps de relaxation spin-réseau.

De même, sa projection sur le plan XOY s'annule en exponentielle avec une contante T_2 appelée temps de relaxation spin-spin (fig I.3).

T_1 et T_2 caractérisent l'échantillon observé. Ainsi, la mesure de T_1 et T_2 permet d'identifier la composition du système analysé.

CHAPITRE 2

PRINCIPE GENERAL SUR L'IMAGERIE

PAR R.M.N

II.1 INTRODUCTION :

Selon la méthode de mise en oeuvre on distingue plusieurs applications de la R.M.N :

- La spectroscopie, méthode de mesure et de différentiation : elle met en oeuvre les propriétés différentes des atomes sensibles à la R.M.N.

- La débitométrie, mesure des vitesses et des débits des liquides. Les temps de relaxation présentent des variations suivant des observations sur un échantillon immobile ou en mouvement.

- Enfin, l'une des applications les plus spectaculaires et dont le nom est déjà connu du grand public est l'imagerie médicale par R.M.N.

II.2 PRINCIPE DE L'IMAGERIE PAR R.M.N :

L'imagerie par résonance magnétique nucléaire est basée sur la dispersion de l'objet par un champ magnétique dont l'intensité est fonction des coordonnées spatiales. A chaque point est assignée une raie spectrale dont l'amplitude conditionne sa brillance et la fréquence sa position.

Les techniques actuelles emploient des gradients de champ linéaires pour l'observation du système de spins des protons. Ainsi, les différentes zones de l'espace sont séparées en modifiant la fréquence de Larmor des protons d'un élément de l'échantillon par rapport à un autre.

La pulsation de résonance d'un noyau possédant un moment magnétique et plongé dans un champ magnétique \vec{B}_0 est :

$$\omega_0 = \gamma \cdot B_0$$

où γ est une constante caractérisant le noyau.

Considérons maintenant deux objets X et Y (fig II.1) résonnant à la même fréquence f_0 dans un champ magnétique homogène \vec{B}_0 : le signal recueilli donnera après transformation de Fourier (FT), une raie de résonance dont la surface sera proportionnelle au nombre total de noyaux résonnant dans les deux objets.

Si, par contre, ces deux objets sont soumis à un champ magnétique inhomogène \vec{B} correspondant à un gradient ΔB dans la direction OZ, l'objet X sera soumis au champ \vec{B}_X et l'objet Y sera soumis au champ \vec{B}_Y . Leurs fréquences de résonance f_x et f_y seront donc différentes et la FT donnera deux raies séparées par un déplacement proportionnel à la distance d séparant X et Y (fig II.2).

Pour un objet hétérogène unique, il suffit de le décomposer en éléments de volume qui étant chacun soumis à des champs magnétiques différents vont être spatialement reperables après la FT, une telle localisation spatiale reste unidimensionnelle : en modifiant la direction du gradient, on peut opérer le codage spatial selon un autre axe et opérer ainsi un certain nombre de "projections".

Si le gradient de champ appliqué est linéaire, la variation de la fréquence de résonance sera linéaire et fonction de la position des atomes sur l'axe du gradient.

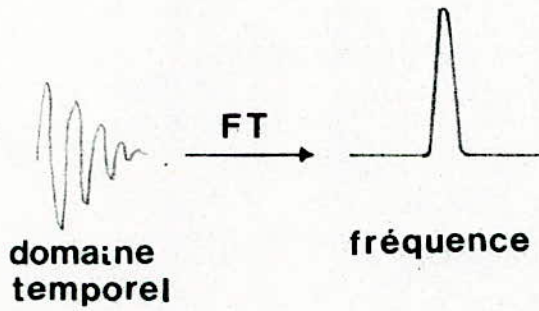
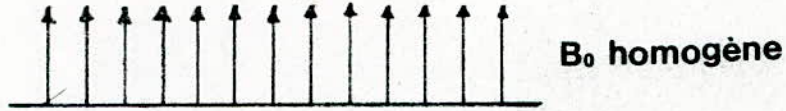
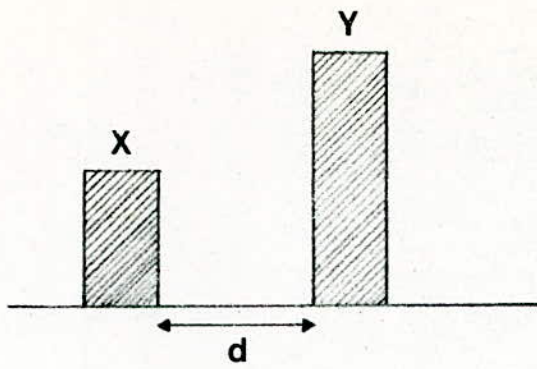


fig.II.1

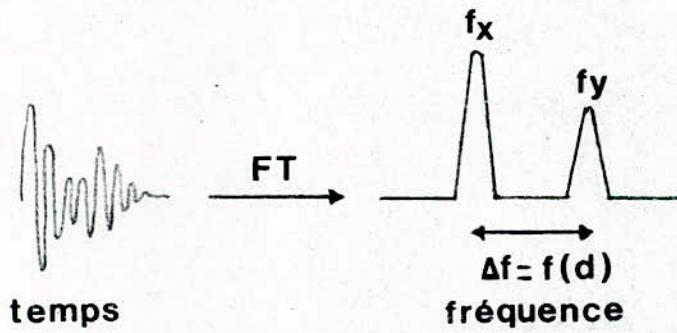
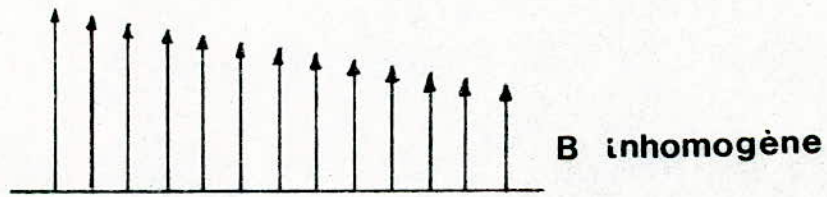


fig.II.2

II.3 EXPOSE DES DIFFERENTES METHODES D'I.R.M :

1) "Zeugmatographie" LAUTERBUR :

Cette méthode s'apparente aux méthodes de tomographie par rayons X. Elle est basée sur l'acquisition de projections dans différentes directions.

2) "Zeugmatographie" FOURIER :

Cette méthode, développée par A.KUMAR (16), est basée sur l'application d'une séquence de gradients linéaires orthogonaux. La fonction densité de spin est déduite du signal par la transformée de Fourier tridimensionnelle.

3) Méthode du point sensible :

Mise au point par HINSAW (16), la méthode du point sensible est fondée sur la variation temporelle de trois gradients linéaires de champ magnétique limitant à un point de l'espace la stabilité temporelle de la fréquence de LARMOR.

4) Imagerie par excitation sélective :

Cette méthode a été proposée et essayée par GARROYWAY (16). Elle consiste en une excitation sélective d'un échantillon en présence de gradients de champ magnétique linéaires commutés. Une adaptation de cette technique a permis d'obtenir directement la densité de spin d'une tranche d'un échantillon ligne par ligne d'où son appellation "Line scan".

Cependant, toutes les méthodes nouvelles sont des développements des trois grandes méthodes :

- Zeugmatographie
- Méthode du point sensible
- Méthode par excitation sélective

qui présentent chacune des qualités propres :

- grande sensibilité et une facilité de mise en oeuvre pour la Zeugmatographie
- une grande résolution pour la méthode du point sensible
- des possibilités d'obtention des images très rapides pour la méthode par excitation sélective.

II.4 ORGANISATION GENERALE D'UN SYSTEME D'I.R.M :

Généralement, un système d'imagerie par R.M.N comprend (fig II.3) :

- un système de bobines (M) alimentées par (SM) pour créer le champ statique \vec{B}_0
- un émetteur RF pour générer l'onde d'excitation
- un récepteur permettant d'acquérir le signal FID
- une bobine (L) émettrice-réceptrice
- un système de trois sources de courants SG_x, SG_y et SG_z avec leur bloc de contrôle
- un système de trois bobines X,Y,Z pour créer les gradients de champ dans des trois directions de l'espace
- un ordinateur performant assurant l'acquisition, le traitement et la construction de l'image
- un système de visualisation d'images

Notre travail se limite à la réalisation du système de génération des trois gradients.

II.4 DESCRIPTION DU SYSTEME DES GRADIENTS DE CHAMP :

Un système électronique permettant de gérer les trois

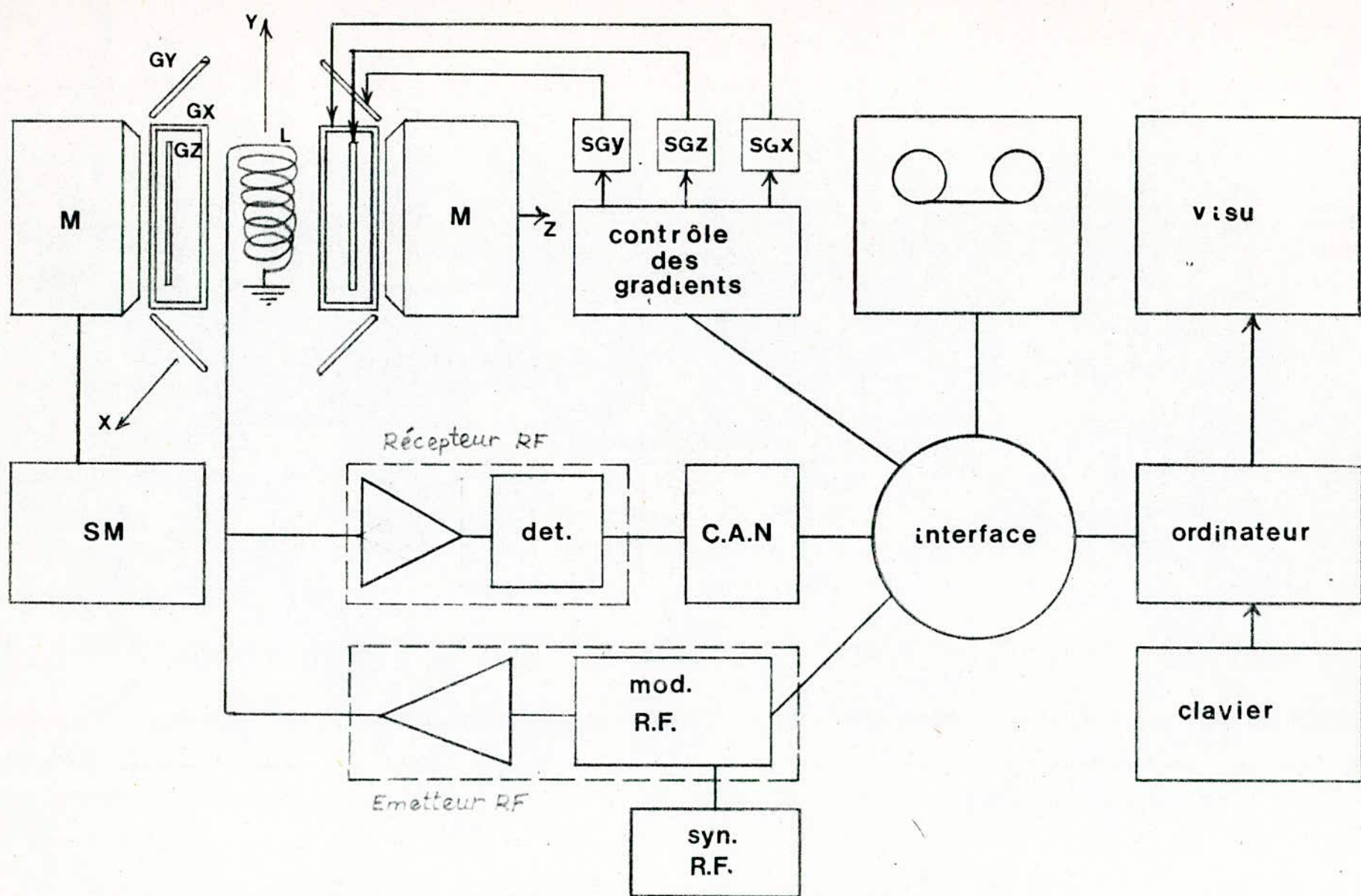


Fig.II.3 organisation d'un sys. I.R.M

gradients de champ magnétique nécessaires à une expérience d'imagerie par R.M.N. a été réalisé.

La solution retenue est à base d'un micro-ordinateur compatible IBM PC XT piloté par un microprocesseur 16 bits.

Le système mentionné se compose de (fig II.4) :

- un ordinateur permettant le contrôle des gradients à partir de programme de gestion

- une carte de conversion numérique-analogique à trois voies multiplexées se logeant dans l'un des slots de l'ordinateur

- une carte d'amplification à trois voies qui alimente les trois systèmes de bobines X, Y et Z

- le système de bobines créant le gradient G_z

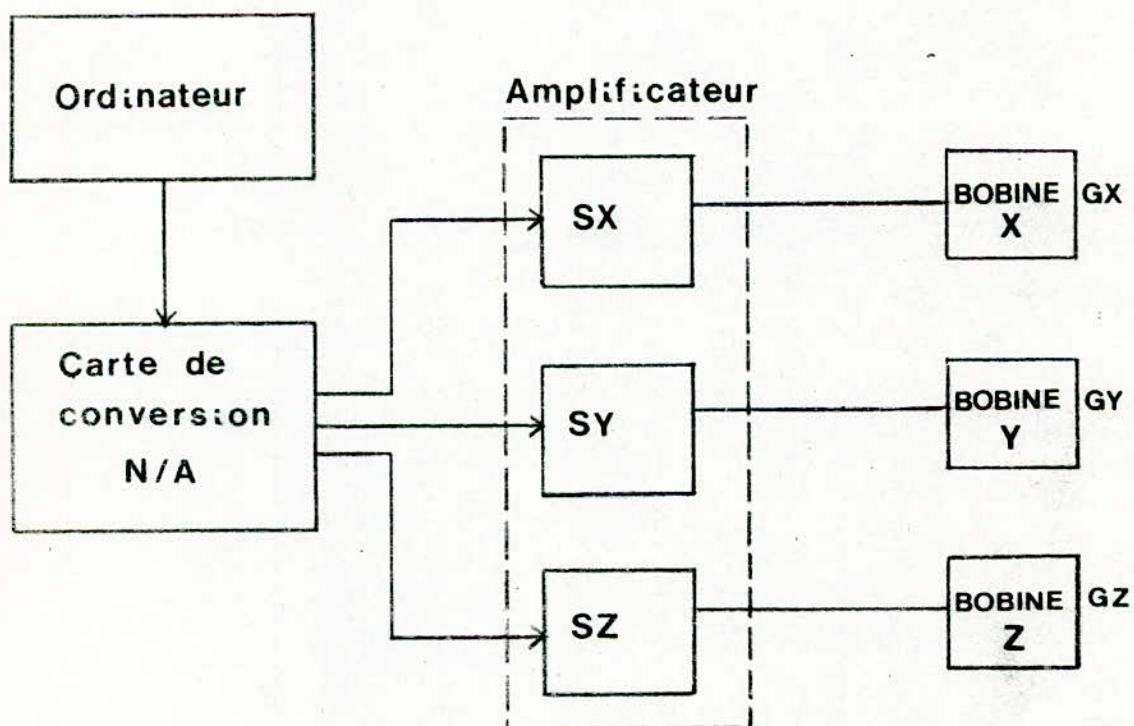


Fig.II.4 Synoptique général

C H A P I T R E 3

INTERFACAGE AVEC L'IBM PC

III.1 INTRODUCTION :

L'introduction de l'ordinateur personnel par IBM a permis de nombreuses applications pour les mesures des grandeurs physiques et le contrôle de processus (2). Ces applications emploient des cartes de conversion analogique-numérique et/ou numérique-analogique qui interfacent l'ordinateur à son environnement. Pour le pilotage de notre système de gradients nous avons utilisé un micro-ordinateur compatible IBM PC (AMSTRAD PC1512). C'est un ordinateur doté du microprocesseur 8086 d'INTEL et d'une horloge de 8 MHz.

III.2 PRESENTATION DU MICROPROCESSEUR 8086/8088 :

Le 8086/8088 est un microprocesseur 16 bits. Il se présente en boîtier DIL de 40 broches et nécessite une seule source de tension de +5 V. Les caractéristiques générales du 8086/8088 sont :

- un bus de données de 16 bits
- un bus d'adresse multiplexé de 20 bits
- un nombre limité de registres internes spécialisés
- deux structures d'entrée-sortie :
 - + E / S par instructions E / S
 - + E / S par instructions mémoire
- deux modes de fonctionnement :
 - + un mode minimal où le microprocesseur conserve sa pleine capacité et gère tout le système
 - + un mode maximal où son architecture est étendue aux configurations à multiprocesseurs

- quatre espaces mémoires d'adressage :

- + "programme"
- + "données "
- + "pile"
- + "données supplémentaires " .

III.3 ORGANISATION INTERNE DU 8086/8088 :

On distingue dans l'organisation interne deux unités (fig III.1), (10), (11), (12) :

a) L'unité d'exécution :

Comme son nom l'indique cette partie se charge de l'exécution des instructions. Elle contient essentiellement :

- l'unité arithmétique et logique
- les registres de données (AX, BX, CX, DX)
- les registres pointeurs (SI, DI, BP, SP)
- le registre d'état.

Tous les registres ainsi que le bus interne sont structurés en 16 bits.

L'unité d'exécution est déconnectée de l'environnement extérieur. Les instructions et les opérandes lui sont fournis par l'unité d'interface via "la file d'attente". Lorsqu'une instruction nécessite un accès mémoire, déterminé à partir des opérandes, l'unité d'exécution le demande à l'unité d'interface.

b) L'unité d'interface :

L'unité d'interface effectue toutes les opérations sur le bus pour le compte de l'unité d'exécution.

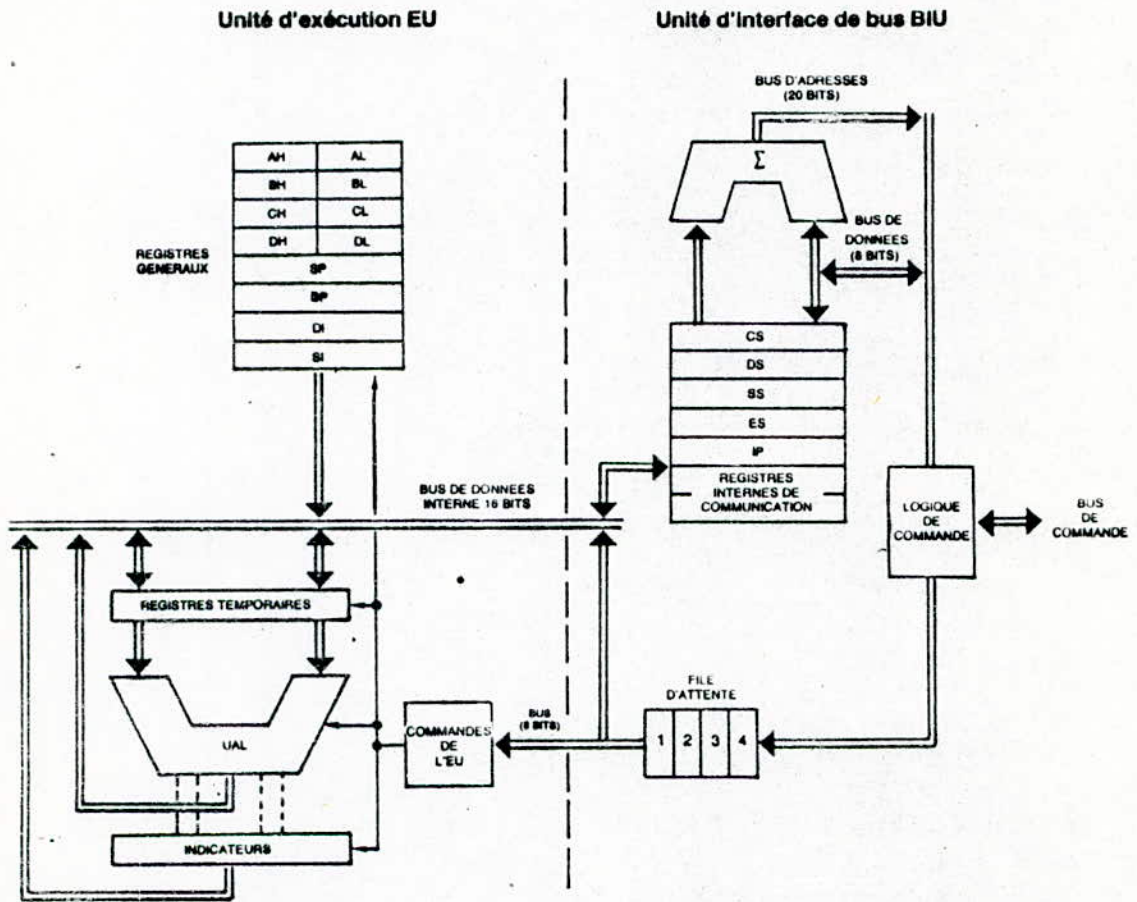


Fig.III.1 - Synoptique du 8088. La file d'attente contient 4 octets. Les registres et bus internes sont sur 16 bits. Le bus de données est sur 8 bits.

En effet, elle stocke par anticipation les prochaines instructions à exécuter dans la "file d'attente". Cette action est nommée PREFETCH et permet d'augmenter la vitesse d'exécution. Elle contient :

- les registres segments
- le compteur ordinal
- le bloc de commande du bus
- "la file d'attente".

III.4 ORGANISATION DE LA MEMOIRE :

Physiquement, le 8086/8088 est muni de 20 lignes d'adressage de la mémoire, qui l'autorisent à adresser 1 Mo soit 16 fois plus qu'un microprocesseur 8 bits.

L'espace mémoire adressable est vu par le 8086/8088 comme un ensemble de paragraphes de 16 Oct, et non pas une succession d'octets. Cette division de l'espace mémoire par 16 permet de supprimer 4 bits aux 20 bits d'adresse, les 4 bits de poids faible d'un quelconque paragraphe en mémoire étant à zéro. Cette adresse de base est contenue dans l'un des registres segments.

Ainsi, chaque fois qu'un registre d'adressage est référencé dans une instruction un déplacement est ajouté à l'adresse de base pour former l'adresse effective, d'où tout un espace de 64 ko est accessible à partir d'une adresse de base celle de l'espace mémoire appelé segment. La règle de calcul de cette adresse effective est donnée en (fig III.2).

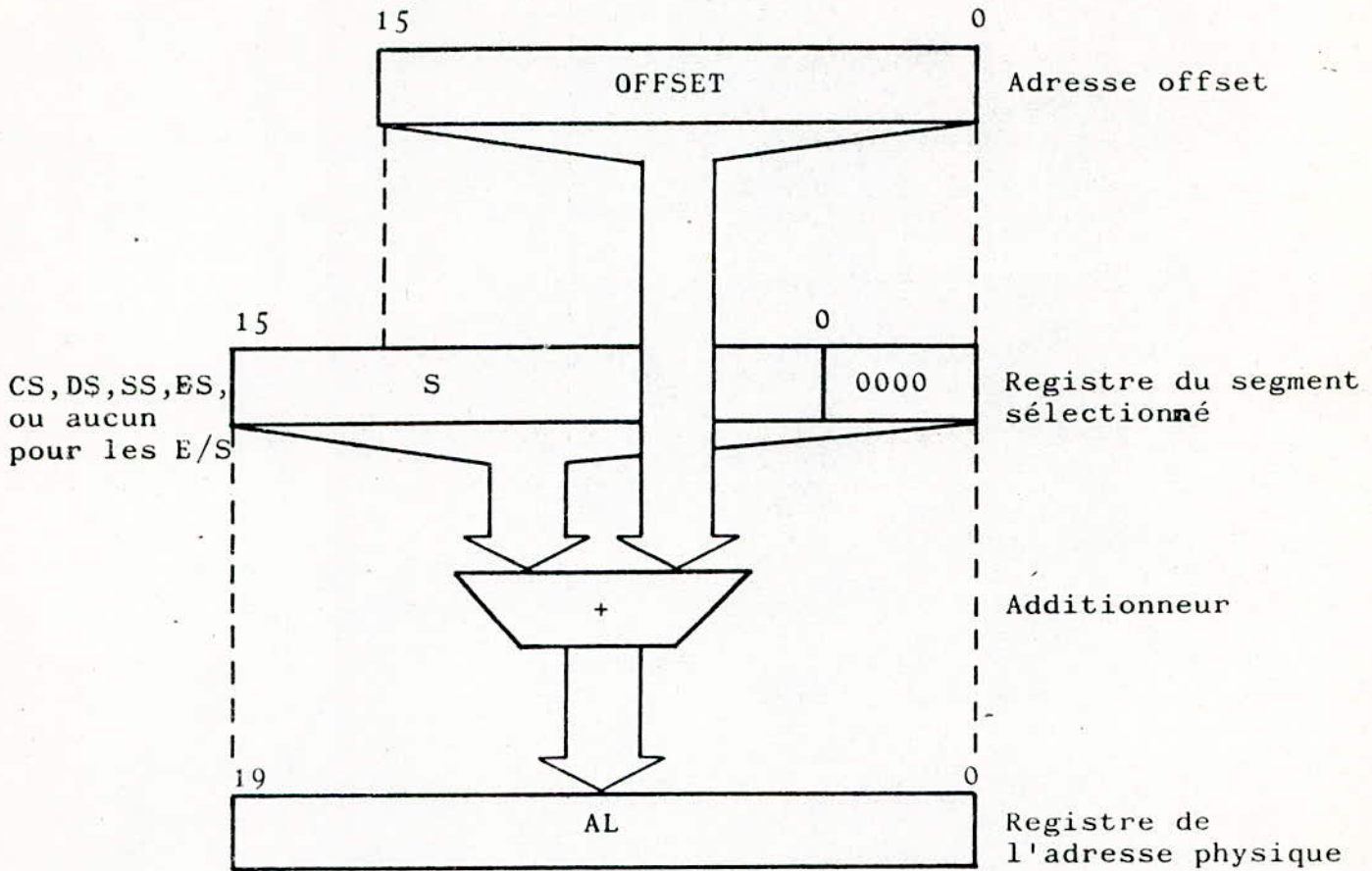


Fig. III.2 - Mécanisme d'adressage

III.5 ADRESSAGE DES ENTREE-SORTIES :

En plus de l'espace mémoire de 1 Mo adressable, le 8086/8088 permet d'adresser également un espace d'entrée-sortie de 64 ko, (10), (11), (12), (13). L'adressage de l'espace entrée-sortie n'est référencé à aucun segment, il peut être :

- direct : l'adressage du port est codé directement après l'instruction d'entrée-sortie sous forme de déplacement. On accède qu'aux 256 premiers octets de l'espace d'entrée-sortie.

- par registre : l'adresse est contenue dans le registre DX lors de l'exécution de l'instruction d'entrée-sortie. Les 64 ko sont utilisables dans ce mode.

III.6 LE BUS D'EXTENSION DE L'IBM PC XT :

L'ordinateur IBM PC XT et ses compatibles possèdent des "slots" prévus pour des cartes d'extension; trois pour l'AMSTRAD PC 1512, (5), (14).

L'annexe résume les fonctions de chaque broche du "slot". Seules les lignes nécessaires seront prises du "slot". Les signaux utilisés sont :

broche	signal	broche	signal
A1		B1	GND
A2	DATA BUS	B2	RESET
A3	"	B3	+5V
A4	"	B4	
A5	"	B5	
A6	"	B6	
A7	"	B7	-12V
A8	"	B8	.
A9	"	B9	+12V
A10		B10	GND

A11	AEN	B11	
A12		B13	<u>IORW</u>
A13		B14	<u>IORD</u>
A14		B15	
A15		B16	
A16		B17	
A17		B18	
A18		B19	
A19		B20	
A20		B21	
A21		B22	
A22	ADRESS BUS	B23	
A23	"	B24	
A24	"	B25	
A25	"	B26	
A26	"	B27	
A27	"	B28	
A28	"	B29	+5V
A29	"	B30	
A30	"	B31	GND
A31	"		

C H A P I T R E 4

CONCEPTION ET REALISATION
DE LA
CARTE DE CONVERSION NUMERIQUE-ANALOGIQUE

IV.1 INTRODUCTION :

Les gradients de champ magnétique ont pour rôle de modifier le champ B_0 . Pour contrôler cette modification, on agit sur les courants d'alimentation des bobines des gradients puisque le champ créé par une bobine est proportionnel au courant qui la traverse. Ce contrôle est prévu à partir d'un système numérique (voir d'un ordinateur) . Ainsi, une conversion numérique-analogique s'impose; c'est la fonction de la carte réalisée.

IV.2 INTRODUCTION A LA CONVERSION N/A :

Souvent dans les systèmes réels étudiés, les paramètres sont des quantités analogiques. Pour effectuer des mesures sur de tels paramètres, l'information est recueillie sous forme d'un signal électrique à la sortie d'un transducteur. Afin de bénéficier de la capacité de stockage et de la rapidité de traitement des ordinateurs, les signaux analogiques sont numérisés par des convertisseurs A/N (ou C.A.N).

Les convertisseurs N/A (ou C.N.A.) remplissent la fonction inverse permettant ainsi de communiquer les résultats du traitement au système analogique pour modifier ou contrôler son fonctionnement. (2)

Un C.N.A est fondamentalement une source de tension ou de courant commandée numériquement (1) dont la sortie analogique est une fraction normalisée d'un signal de référence à pleine échelle.

Idéalement, la fraction devrait pouvoir prendre un nombre fini de valeurs, conduisant ainsi à la génération d'une

fonction analogique continue en sortie. Pratiquement, l'entrée numérique se fait sur N bits et ne peut donc prendre que 2^N valeurs, la sortie analogique est donc quantifiée par pas de 2^{-N} de la pleine échelle ou 1 LSB. Cette résolution qui est fonction du nombre de bits peut être exprimée en décibels, bits, pour cents de la pleine échelle ou en ppm (part per million).

La fonction de transfert d'un CNA idéal est une succession de points alignés sur une droite définie par ses deux points extrêmes : zéro et pleine échelle, la différence entre deux points adjacents est égale à 1 LSB.

Quatre erreurs expriment la précision d'un CNA, en d'autres termes, la déviation de la fonction de transfert réelle par rapport à la fonction de transfert idéale (1) (2) :

a) L'offset :

C'est l'erreur du signal de sortie lorsque le code d'entrée tend à générer une sortie nulle. Cette erreur affecte tous les codes de la même façon.

b) L'erreur du gain :

C'est l'erreur sur la pente de la fonction de transfert. Elle affecte tous les codes, non plus en valeur absolue mais en pourcentage.

c) L'erreur de linéarité simple :

Cette erreur traduit la différence entre la valeur de la sortie obtenue et la valeur correspondante mesurée sur la caractéristique idéale de la fonction de transfert.

d) L'erreur de linéarité différentielle :

Elle traduit, entre deux codes adjacents, la différence de l'incrément mesuré par rapport à l'incrément théorique de 1 LSB. Par exemple, si entre deux codes consécutifs l'incrément de sortie est de $1/3$ LSB l'erreur de linéarité différentielle est de $-2/3$ LSB.

Enfin, les caractéristiques dynamiques du CNA sont également importantes. Sa sortie analogique doit s'établir en un temps minimal. Le temps d'établissement pour la transition la plus défavorable fait partie des informations données dans la spécification du produit. Les convertisseurs à sortie courant ont des temps d'établissement meilleurs que les convertisseurs à sortie tension. Ceci est dû au fait que ces composants aiguillent simplement des courants sur un noeud de sortie à tension nulle (masse réelle ou masse virtuelle suivant la position des commutateurs de sortie).

Les CNA à sortie tension sont généralement constitués d'un CNA à sortie courant associé à un amplificateur opérationnel assurant la conversion courant-tension. Chaque amplificateur ajoute son propre temps de montée à celui du CNA rendant les CNA à sortie tension plus lents que leurs homologues à sortie courant.

IV.3 DESCRIPTION GENERALE DE LA CARTE :

La carte a été conçue pour être logée dans l'un des "slots" de l'AMSTRAD PC1512. Le schéma de la carte est donné en fig.IV.1. On distingue deux parties :

- a) Le circuit d'interfaçage et de contrôle (PPI 8255) avec sa logique de décodage, sa fonction est de :

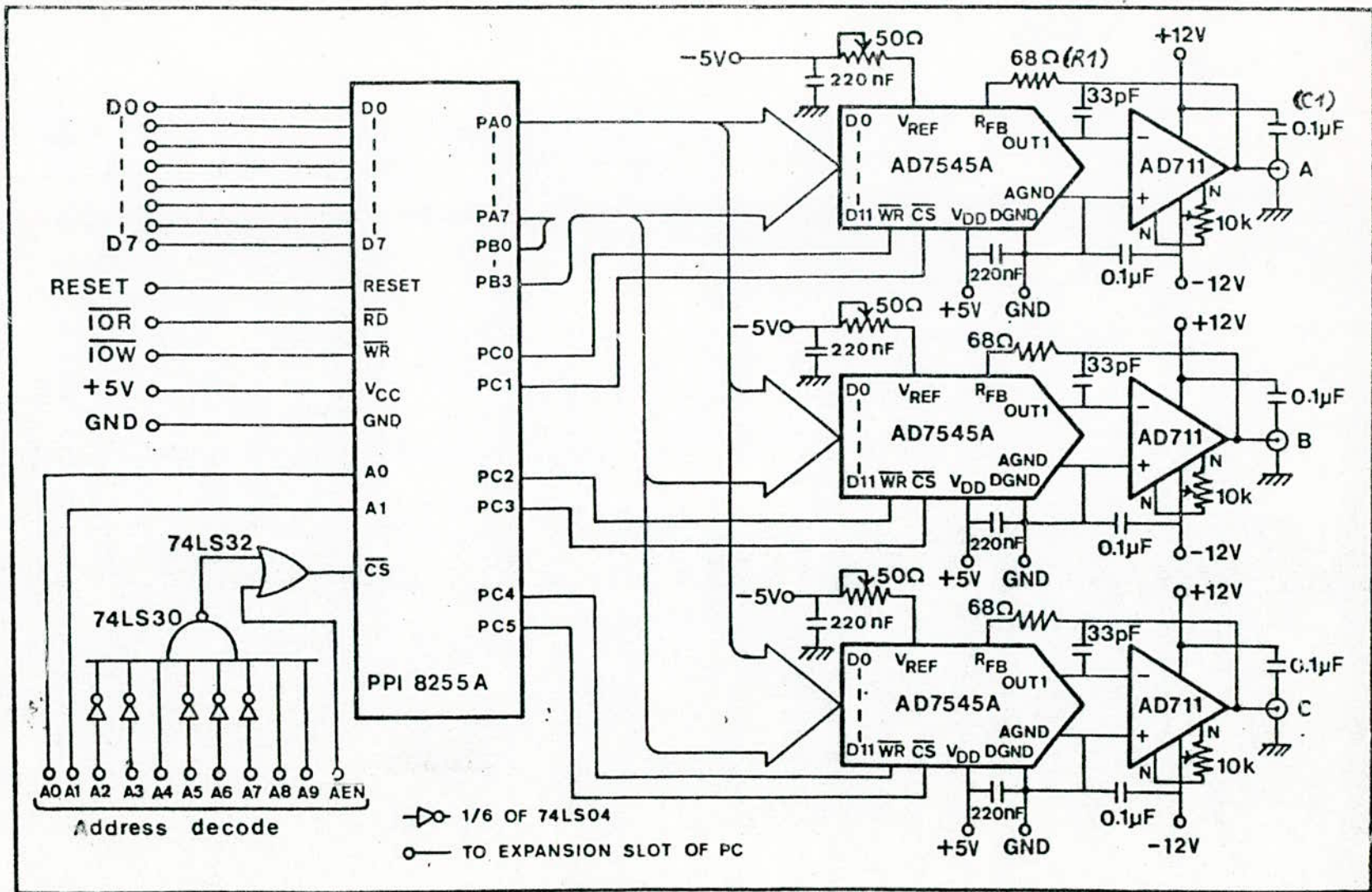


Fig. IV.1

- + recevoir les données de l'ordinateur
 - + transmettre les données aux convertisseurs
 - + commander l'activation des convertisseurs.
- b) Les trois canaux de conversion (les AD7545 et AD711); les convertisseurs ont pour rôle de :
- + recevoir les données numériques du PPI 8255
 - + réaliser la conversion N/A
- et les amplificateurs pour :
- + réaliser une adaptation d'impédance
 - + réaliser une conversion courant-tension des sorties analogiques des convertisseurs N/A.

IV.4 LE CIRCUIT D'INTERFACE PPI 8255 D'INTEL :

Ou que les convertisseurs N/A utilisés présentent chacun un bus de données de 12 bits et que l'ordinateur n'en propose que 8 sur son bus de données à la sortie du slot, nous étions amenés à utiliser un circuit d'interfaçage, soit le PPI 8255.

a) Organisation interne :

L'architecture du 8255 est donnée en fig.IV.2 (14). Il comprend trois registres de 8 bits A,B,C (appelés ports) et un registre de commande permettant la configuration du PPI.

Les 24 lignes d'E/S ,organisées en trois ports A,B,C s'établissent en deux groupes :

- un groupe A comportant :
 - + le port A
 - + le quartet de poids fort du port C

- un groupe B comportant :

+ le port B

+ le quartet de poids faible du port c.

b) Organisation externe :

Le 8255 est présenté dans un boîtier DIL de 40 broches on distingue (fig.IV.3) (14):

- une broche de sélection du boîtier \overline{CS}
- deux broches A0 et A1 pour la sélection des registres internes
- une broche de remise à zéro RESET
- les lignes de commandes d'écriture (\overline{WR}) et de lecture (\overline{RD})
- 8 lignes bidirectionnelles D0 à D7 constituant le bus de données
- 24 broches d'E/S pour les ports A,B,C
- les deux lignes d'alimentation +5V et la masse.

c) Programmation du 8255 :

Le 8255 peut fonctionner selon trois modes :

- Mode 0 : Les ports A,B et les deux quartets du port C peuvent être programmés en entrée ou en sortie.
- Mode 1 : Chacun des ports A et B est servi par un quartet du port C pour gérer les échanges en "poignée de main".
- Mode 2 : Le port A est intégralement bidirectionnel mais pour cela, il doit être servi par 5 fils du port C

La programmation s'effectue en envoyant dans le registre de commande le mot approprié (14), soit pour notre carte :

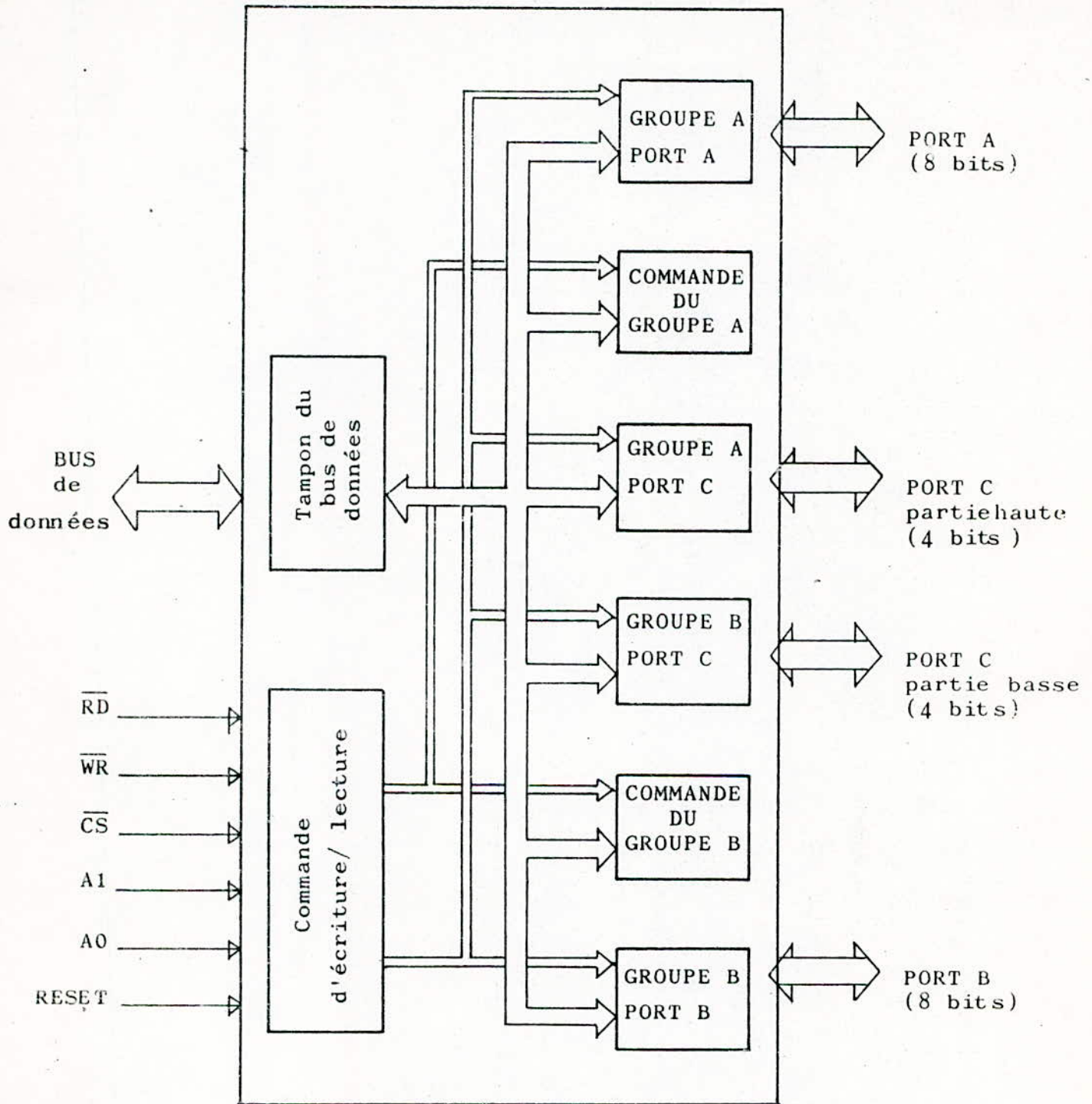
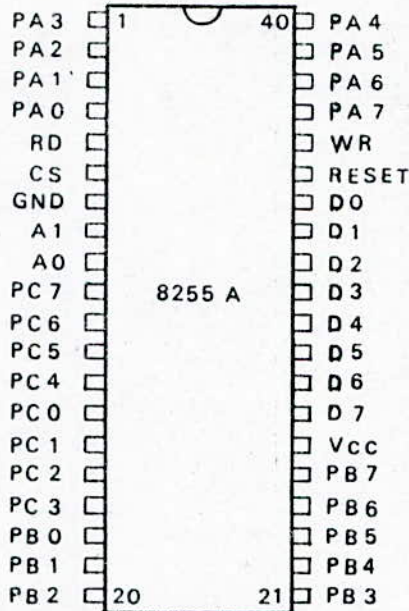
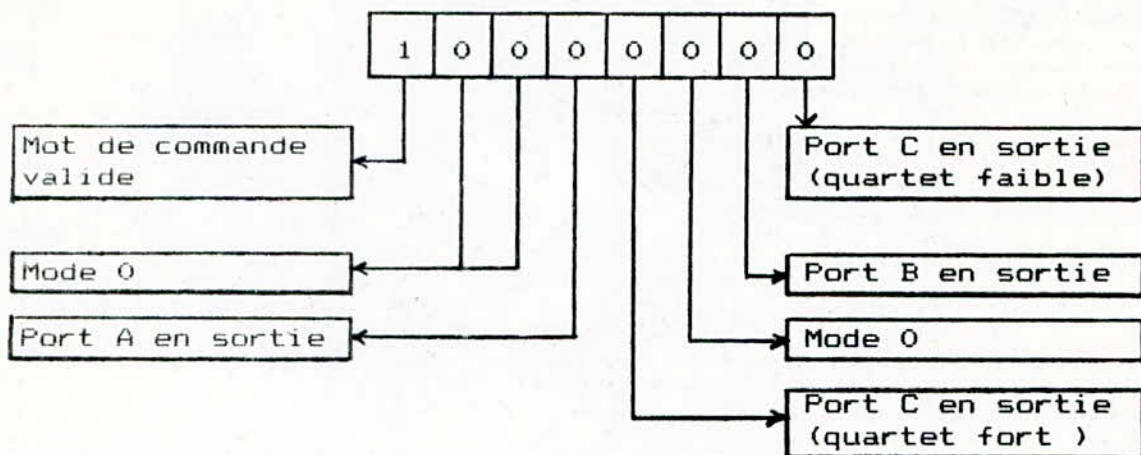


Fig. IV. 2 - Structure interne du 8255



Broche	Nom	Entrée ou sortie	Fonction
1 à 4	PA0 à PA3	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
8 et 9	A1 et A0	E	Adresse pour les registres
10 à 17	PC0 à PC7	E/S	PORT C
18 à 25	PB0 à PB7	E/S	PORT B
26	Vcc	E	Alimentation +5V
27 à 34	D7 à D0	E/S	Bus vers microprocesseur
35	RESET	E	Mise à 0 des registres,
36	WR	E	Ecriture: du microprocesseur vers le 8255
37 à 40	PA7 à PA4	E/S	Quartet haut du port PA

Fig. IV.3 Brochage du 8255A



IV.5 UTILISATION DU PPI 8255 :

Le slot de l'ordinateur IBM PC XT présente un bus de données de 8 bits. D'autre part, les convertisseurs utilisés reçoivent des données sur un bus de 12 bits. Le transfert des données de l'ordinateur vers les convertisseurs est assuré par le 8255, pour cela :

- le 8255 reçoit les données en format 8 bits en deux cycles

- les données en format 12 bits sont présentées aux convertisseurs sur 12 lignes d'E/S du 8255 (le port A et le quartet faible du port B).

Pour pouvoir "mutipléxer" les trois voies :

- + deux lignes du port C sont affectés à chaque convertisseur N/A
- + l'activation de la voie se fait par un mot de contrôle envoyé au port C.

IV.6 ADRESSAGE DE LA CARTE :

La carte de conversion N/A étant contrôlée à travers le

PPI, son adressage est celui du 8255. Pour l'adresser il faut :

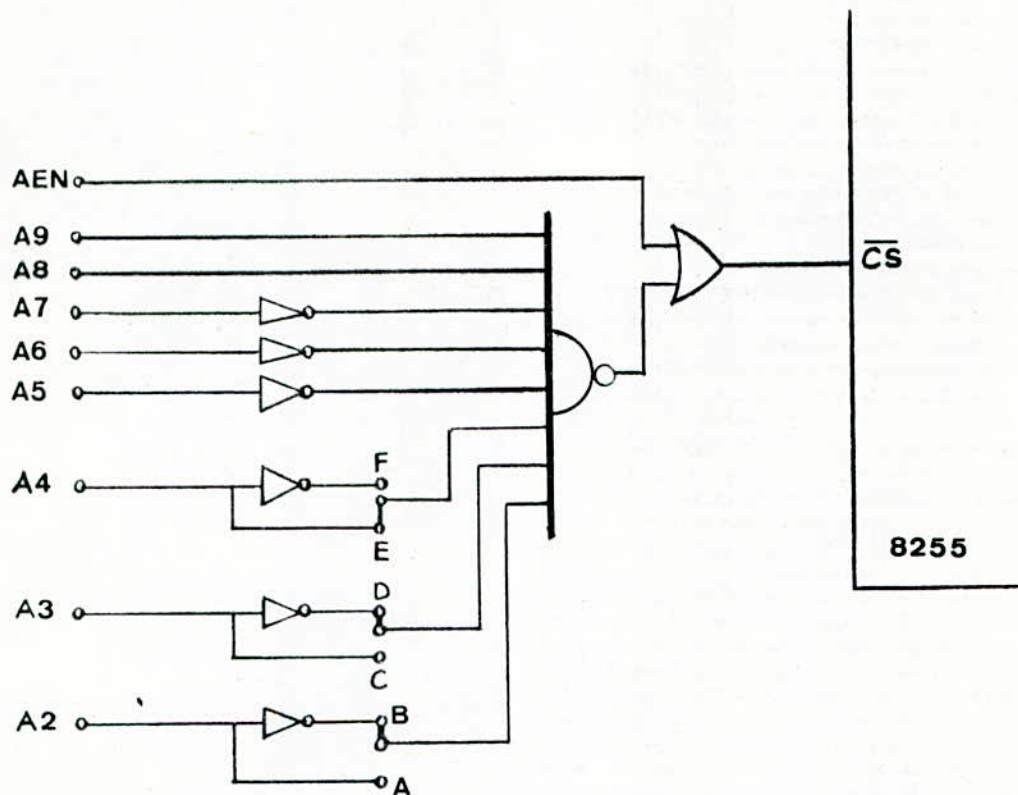
- activer le PPI à travers la broche \overline{CS} en décodant le bus d'adresse de l'ordinateur
- indiquer la nature du cycle en cours (\overline{WR} ou \overline{RD}), ce qui est donné automatiquement sur le slot à travers les lignes \overline{IOR} et \overline{IOW}
- sélectionner le registre du PPI concerné par le cycle en cours à travers les broches A0 et A1 du 8255.

Implantation de carte dans l'espace E/S :

Dans la norme IBM PC, les constructeurs réservent une plage en espace d'E/S pour les cartes utilisateurs. Cette plage s'étend de 300 à 31F (en hexadécimal), (5). La carte réalisée occupe quatre octets (port A, B, C et le registre de commande). En vue d'une utilisation de la carte avec d'autres cartes utilisateurs nous avons adopté une logique d'adressage permettant la translation de l'emplacement de la carte dans l'espace alloué aux cartes de prototyping (300 à 31F hex) (fig. IV.4) (5).

Le tableau d'adressage est le suivant :

	A ₁₅	A ₁₄	A ₁₃	A ₁₂	A ₁₁	A ₁₀	A ₉	A ₈	A ₇	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀
Reg A							x	x	x	x	x	x	x	x	0	0
Reg B							x	x	x	x	x	x	x	x	0	1
Reg C							x	x	x	x	x	x	x	x	1	0
Reg. Com							x	x	x	x	x	x	x	x	1	1



Domaine d'adresse (hex)	Straps
300 303	B, D, F
304 307	A, D, F
308 30B	B, C, F
30C 30F	A, C, F
310 313	B, D, E
314 317	A, D, E
318 31B	B, C, E
31C 31F	A, C, E

Fig. IV.4

Pour activer \overline{CS} on décode uniquement les 10 bits de poids faible. L'architecture de l'IBM PC et ses compatibles dirige toutes les adresses excédant 31Fh vers les adresses allant de 300h à 31Fh en fixant les bits de poids fort à zéro ce qui rend inutile le décodage complet des 16 bits (5). Il suffit alors de décoder les 10 bits de poids faible du bus d'adresse. L'adresse sur le slot n'est valide que si la broche AEN (Address Enable) est activée ce qui doit être pris en considération lors du décodage (fig.IV.1).

IV.7 LE CNA AD7545 :

a) Présentation du AD7545 :

Le AD7545 se présente dans un boîtier DIP, LCCC ou PLCC à 20 broches (3). C'est un convertisseur du type R2R (ou convertisseur en échelle) à technologie CMOS. Sa sortie analogique est une source de courant commandée numériquement sur 12 bits. Il dispose d'un registre interne pour verrouiller la dernière donnée reçue sur son entrée numérique. Le AD7545 peut être utilisé avec une tension de référence fixe ou variable, il se comporte alors comme un atténuateur.

b) Organisation externe :

L'organisation externe est donnée en figure IV.5, on distingue :

- 12 broches pour le bus de données (DB0 à DB11)
- une entrée V_{DD} pour la référence du "1" logique
- une broche DGND pour la masse digitale

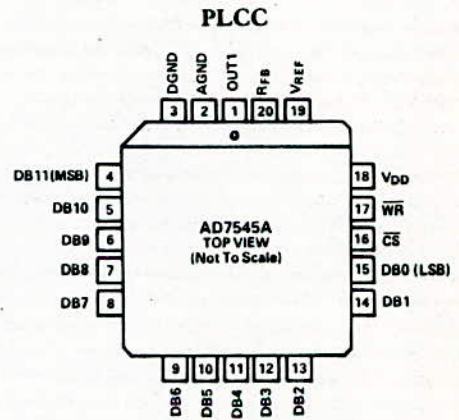
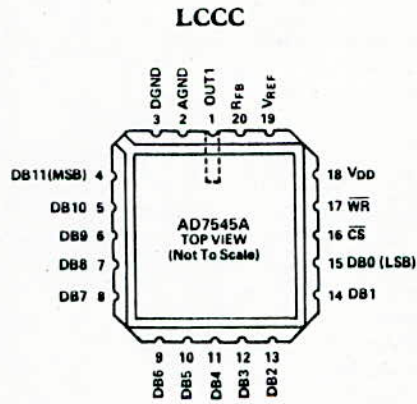
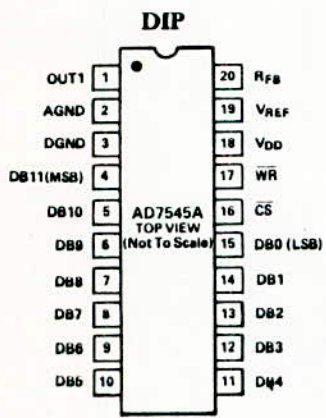


Fig. IV.5

- une entrée V_{REF} pour la référence analogique, c'est la tension désirée à pleine échelle à la sortie analogique
- la masse analogique ADGN
- une broche R_{FB} pour ajuster le gain à pleine échelle
- le signal de sortie est récupéré sur la broche OUT1
- enfin, deux broches \overline{WR} et \overline{CS} pour le chargement du registre interne

c) Organisation interne :

La figure IV.6.a donne l'architecture interne du AD7545 (3), on distingue :

- un registre interne de 12 bits pour mémoriser la dernière donnée reçue
- une logique de commande de chargement du registre
- un bloc de conversion numérique-analogique. La figure IV.6.b donne son schéma équivalent (3). Chaque bit du registre de données commande un commutateur.

d) Utilisation du AD7545 :

La figure IV.1 montre le circuit de conversion construit autour du AD7545. La résistance R1 est utilisée pour ajuster la valeur de la sortie à pleine échelle. C1 réalise une contre réaction pour éviter les oscillations. La tension de référence est prise sur le -5V disponible sur le slot. On obtient une tension de sortie entre 0 et +5V. Le tableau IV.1 donne la correspondance entre les valeurs numériques et celles de la sortie analogique.

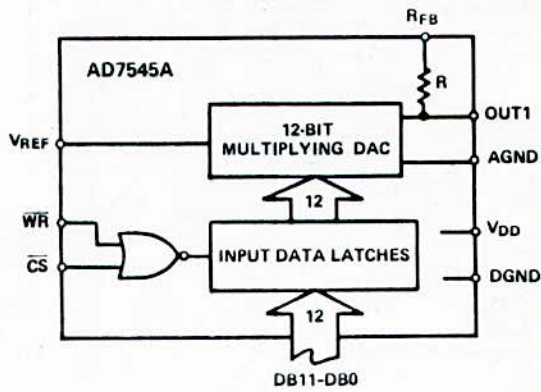


Fig. IV.6.a

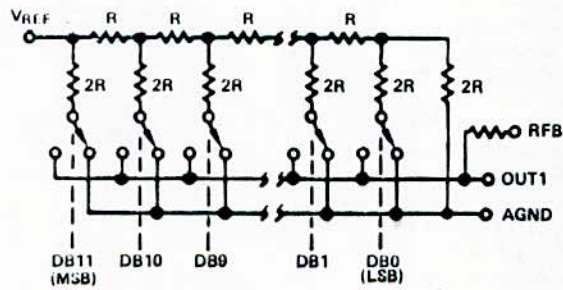


Figure IV.6.b

Hexadécimal	Analogique
000	0 .UREF
FFF	4095.UREF /4096

Tableau U.1

IV.8 FONCTIONNEMENT ET PROGRAMMATION DE LA CARTE :

Indiquons qu'il faut initialiser le PPI au mode 0 avant de procéder à la conversion. Il suffit pour cela d'envoyer le mot de commande suivant dans le registre de commande du PPI : 10000000 (Bin)

On suivra l'algorithme suivant pour la programmation de la carte :

- Initialiser le PPI.
- REPETER jusqu'à la fin des données :
 - + Désactiver toutes les voies.
 - + Envoyer l'octet de poids faible de la donnée au port A.
 - + Envoyer le quartet de poids fort de la donnée au quartet de poids faible du port B.
 - + Envoyer le mot de sélection de la voie au port C.
- FIN REPETER.

CHAPITRE 5

CONCEPTION DE L'AMPLIFICATEUR ET DES BOBINES

V.1 INTRODUCTION :

Les gradients de champ magnétique ont pour rôle de modifier le champ \vec{B}_0 de telle sorte que le signal émis d'un point dépend de sa position dans l'espace.

En pratique, ces gradients sont produits par des électroaimants qui vont modifier de façon linéaire le champ \vec{B}_0 dans les trois directions de l'espace. Leur valeur varie selon les appareils entre 0,05 et 1 G/cm (4) et dépend à la fois de l'intensité du courant parcourant les bobines des électroaimants et de leur géométrie. Les valeurs des intensités des courants dans les bobines dépassent de loin celles permises par les sorties des amplificateurs opérationnels utilisés avec les CNA d'où l'amplification en courant. La solution retenue est un circuit d'amplification externe vu que l'alimentation de l'ordinateur ne peut délivrer un courant important; 33mA pour le -5V, 50mA pour le + ou -12V et 900mA pour le +5V.

V.2 DESCRIPTION DE L'AMPLIFICATEUR :

Le circuit d'amplification de la figure V.1 a pour fonction de délivrer le courant nécessaire aux bobines pour créer un gradient de champ acceptable. En d'autres mots, assez important pour dépasser les irrégularités du champ statique \vec{B}_0 . Le circuit est composé de trois voies identiques. Chacune réalise l'amplification pour une sortie de la carte de conversion. Pour chaque voie, l'amplification de courant est accomplie par le darlington constitué du 2N1711 et du 2N3055. L'amplificateur opérationnel fournit le courant de base

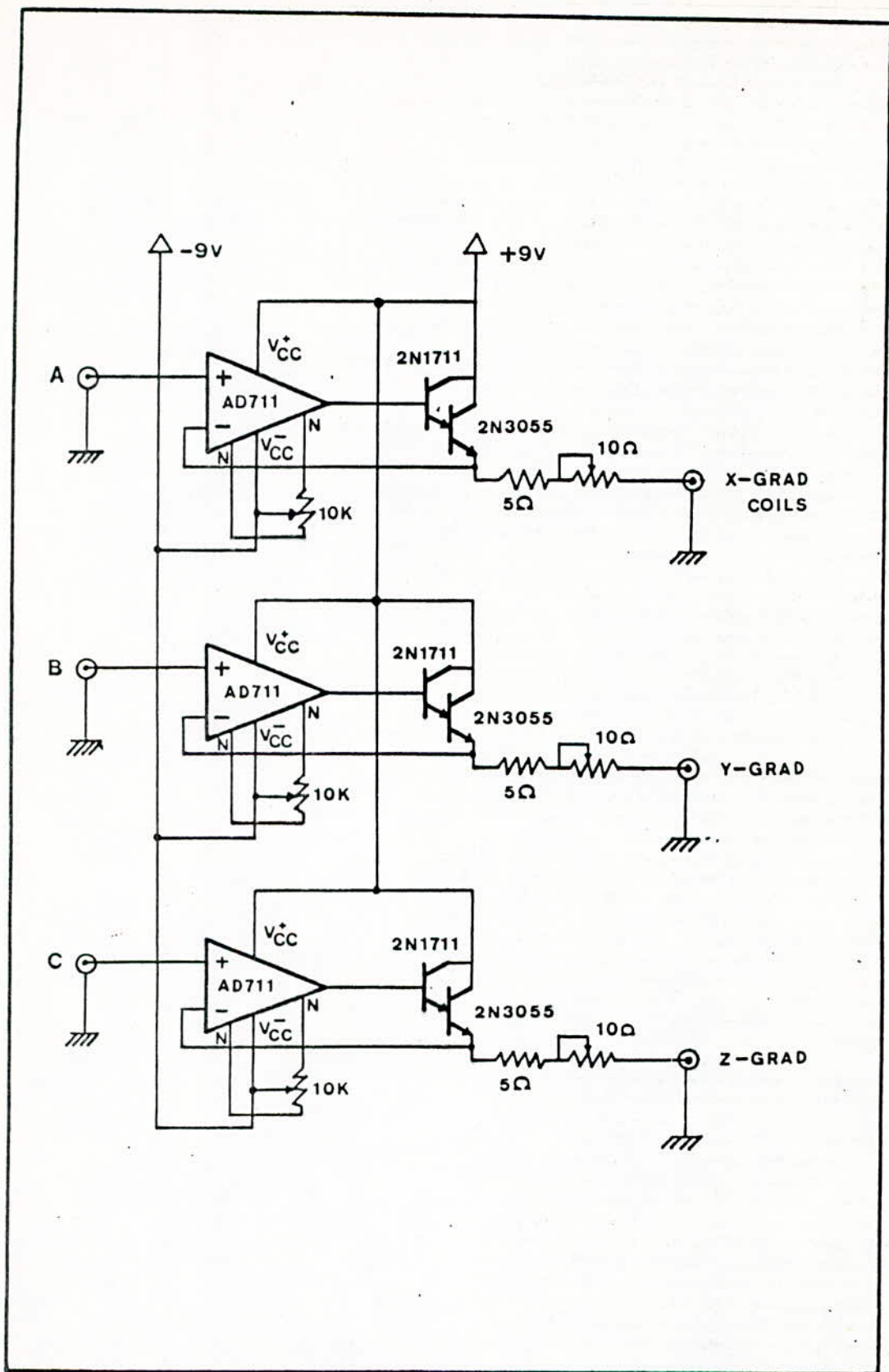


Fig. I. 1

nécessaire au darlington et compense la chute de tension des deux jonctions V_{be} . Le courant peut être limité par la valeur de la résistance de l'émetteur du darlington. L'alimentation de la carte d'amplification est assurée par une alimentation symétrique de + ou -9V. La valeur du courant de sortie est pratiquement égale à la tension de sortie de la carte de conversion par la résistance de l'émetteur du darlington.

V.3 CONCEPTION ET REALISATION DES BOBINES :

a) Gradient de champ magnétique linéaire :

Pour disperser l'échantillon en imagerie par résonance magnétique nucléaire, on utilise un gradient G_d . La variation du champ magnétique est linéaire dans la direction choisie et constante dans les directions perpendiculaires. L'induction créée par les bobines de gradients a trois composantes. Seule la composante \vec{B}_z suivant la direction du champ statique \vec{B}_0 , est prise en compte. L'influence des deux autres composantes perpendiculaires \vec{B}_x et \vec{B}_y est négligeable, leur amplitude étant faible devant \vec{B}_0 . Ainsi, on peut écrire :

$$\vec{G}_d = \frac{\partial B_z}{\partial x} \vec{x} + \frac{\partial B_z}{\partial y} \vec{y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} \vec{z}$$

En composant deux gradients linéaires définis suivant les directions Oz et Ox (fig.V.2) on obtient un gradient linéaire dans une direction Ox' définie par :

$$\text{tg}\alpha = \frac{G_z}{G_x}$$

Lorsque les deux gradients sont appliqués simultanément

on peut écrire :

$$B_z(x,y) = G_x \cdot X + G_z \cdot Z$$

En se plaçant dans le système d'axe (x',z') défini par l'angle α on peut écrire :

$$\begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ z' \end{bmatrix}$$

d'où

$$B_z(x',z') = G_x(x' \cdot \cos\alpha - z' \sin\alpha) + G_z(x' \sin\alpha + z' \cos\alpha)$$

avec

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{G_z}{G_x}$$

ce qui implique

$$B_z(x',z') = (G_x \cdot \cos\alpha + G_z \cdot \sin\alpha) \cdot x'$$

On obtient ainsi un gradient de champ magnétique linéaire dans la direction Ox' si la variation des courants dans les bobines créant les gradients G_x et G_z suivent la loi suivante :

$$G_x = G_0 \cdot \cos\alpha \quad \text{et} \quad G_z = G_0 \cdot \sin\alpha$$

on prendra $G_0 = G_d$, G_d étant la valeur du gradient désiré dans la direction Od définie par α .

Chaque type d'imagerie impose des caractéristiques différentes aux gradients (16). La Zeugmatographie par projection nécessite une bonne linéarité du gradient tandis que le temps de montée des gradients n'est pas important. Pour la méthode du point sensible, la linéarité du

gradient est moins importante. En effet, seule compte la stabilité temporelle du zéro du gradient. Par contre, pour les méthodes d'excitations sélectives, l'établissement de l'amplitude du gradient est primordial. Pour toutes les méthodes d'imagerie, l'amplitude du gradient doit être la plus faible possible et compatible avec la résolution choisie. En effet, une valeur élevée de l'amplitude améliore la résolution spatiale mais diminue le rapport signal à bruit.

V.4 GRADIENT SUIVANT L'AXE Oz DEFINI PAR \vec{B}_0 :

, Il est obtenu en composant les inductions créées par un système de deux bobines circulaires de type Helmholtz, de rayon R et distantes de a (fig.V.3).

a) Calcul théorique :

Considérons une spire de rayon R (fig.V.3). Chaque contribution élémentaire au champ B au point P est :

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot d\vec{l} \times \vec{\mu}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

\vec{dB} est perpendiculaire à $I d\vec{l}$ et $\vec{\mu}$ et α pour module :

$$dB = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot dl}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

or, seule la contribution de dB suivant l'axe de la spire se trouve dans l'expression de B (l'élément de

courant $I \cdot dl$ en A' annule la composante de \vec{dB} perpendiculaire à l'axe de la spire; on peut aussi dire que, compte tenu de la symétrie du système, \vec{B} ne peut être que suivant l'axe de la spire)

$$B = \int dB = \int \frac{\mu \cdot I \cdot dl}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \cos \alpha$$

or

$$\cos \alpha = \sin \theta = \frac{R}{r} \quad \text{et} \quad r = (R^2 + d^2)^{\frac{1}{2}}$$

et
d'où

$$I \cdot dl = 2 \cdot \pi \cdot R$$

$$B = \frac{\mu \cdot I \cdot R}{2 \cdot (R^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Pour N spires on aura :

$$B_1 = N \cdot B$$

Si les deux bobines sont placées à une distance a l'induction totale sera :

$$B_t = \frac{\mu \cdot N \cdot I \cdot R}{2(R^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{\mu \cdot N \cdot I \cdot R}{2(R^2 + (d-a)^2)^{\frac{3}{2}}}$$

La variation de l'induction est linéaire sur une portion d'espace entre les bobines. Des simulations ont été faites sur ordinateur pour une distance $a=3\text{cm}$, le rayon retenu est de 2cm (voir fig.V.4). Le nombre de spires choisi est de 10. Pour un courant de $0,5\text{A}$, la valeur du gradient est de $G=0,33\text{ G/cm}$ (valeur théorique).

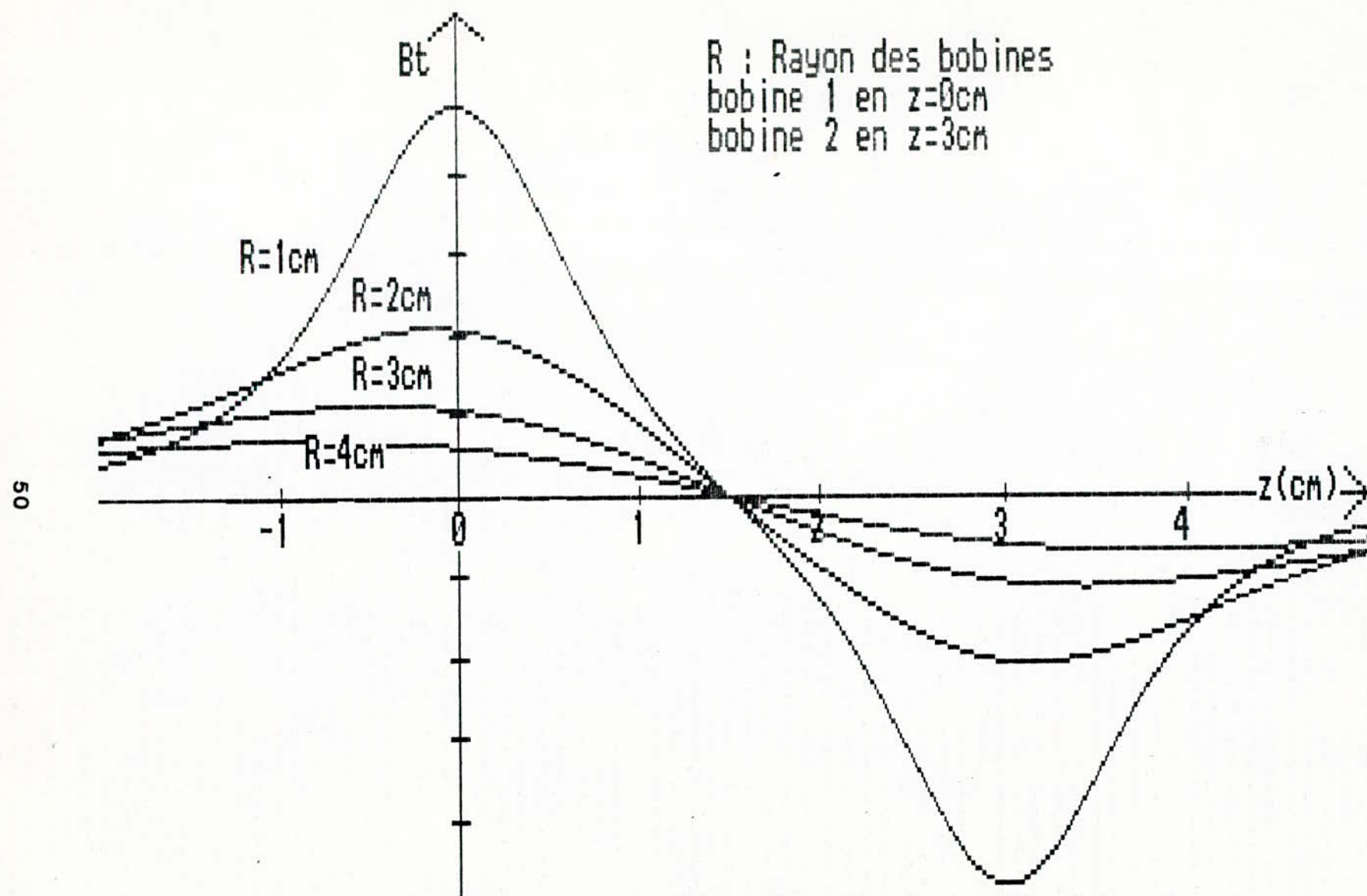


Fig. U A Variation de l'induction B_t suivant la direction Z

C H A P I T R E 6

GESTION ET PROGRAMMATION
DU
SYSTEME

VI.1 INTRODUCTION :

Le système réalisé complètera le système d'acquisition du signal de précession libre réalisé au département d'électronique de l'E.N.P. Nous avons développé un programme de gestion et de contrôle des trois gradients. Il peut être facilement adapté pour gérer les deux cartes (carte d'acquisition et de conversion N/A). Pour ce faire, la routine d'acquisition sera insérée dans le programme principal Gradient.asm.

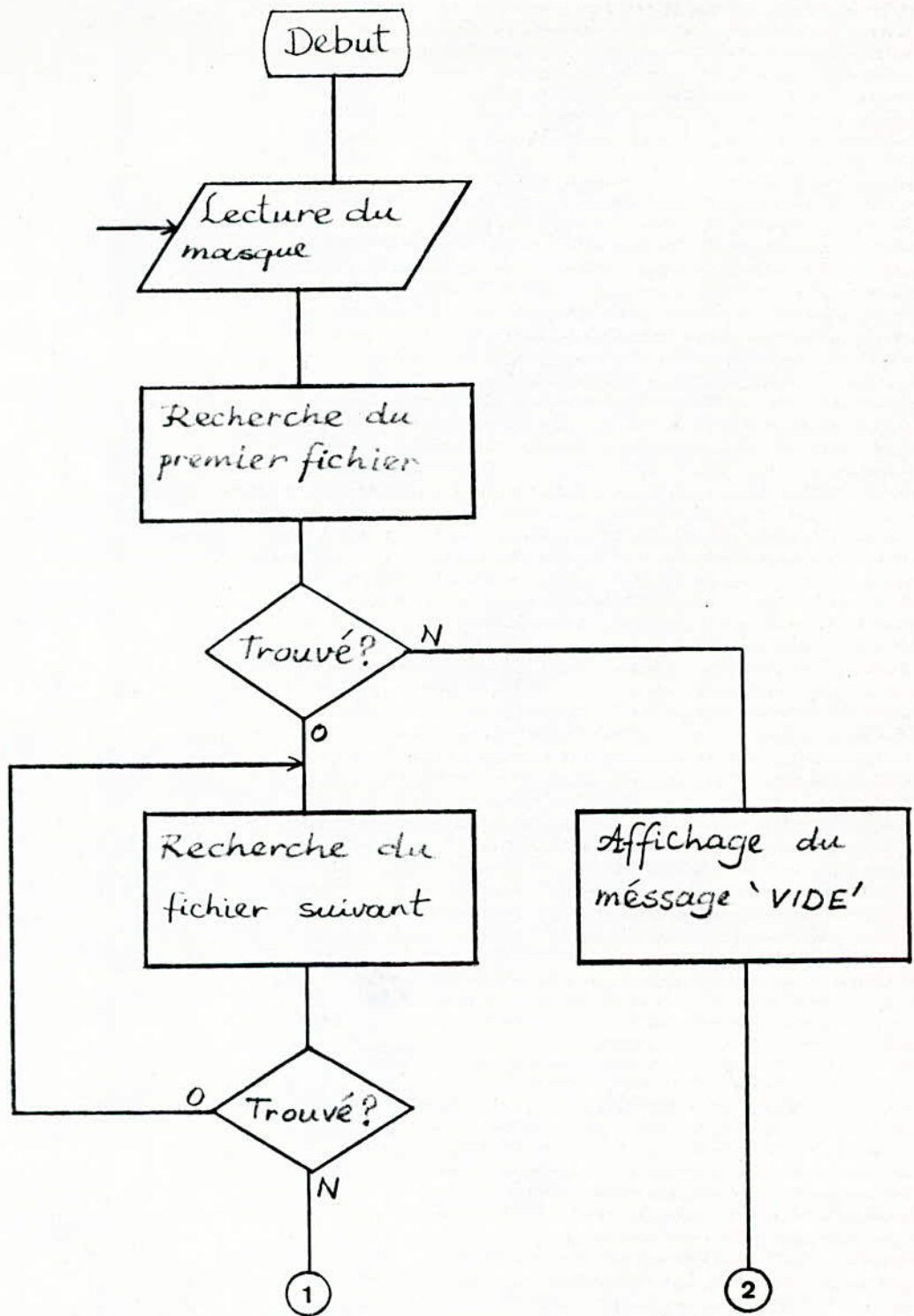
Le programme développé aura pour fonction de générer trois signaux de formes programmables. Ainsi, les séquences sont choisies parmi un ensemble dans un répertoire constitué de fichiers de données; chaque fichier étant la quantification d'un signal ou d'une séquence.

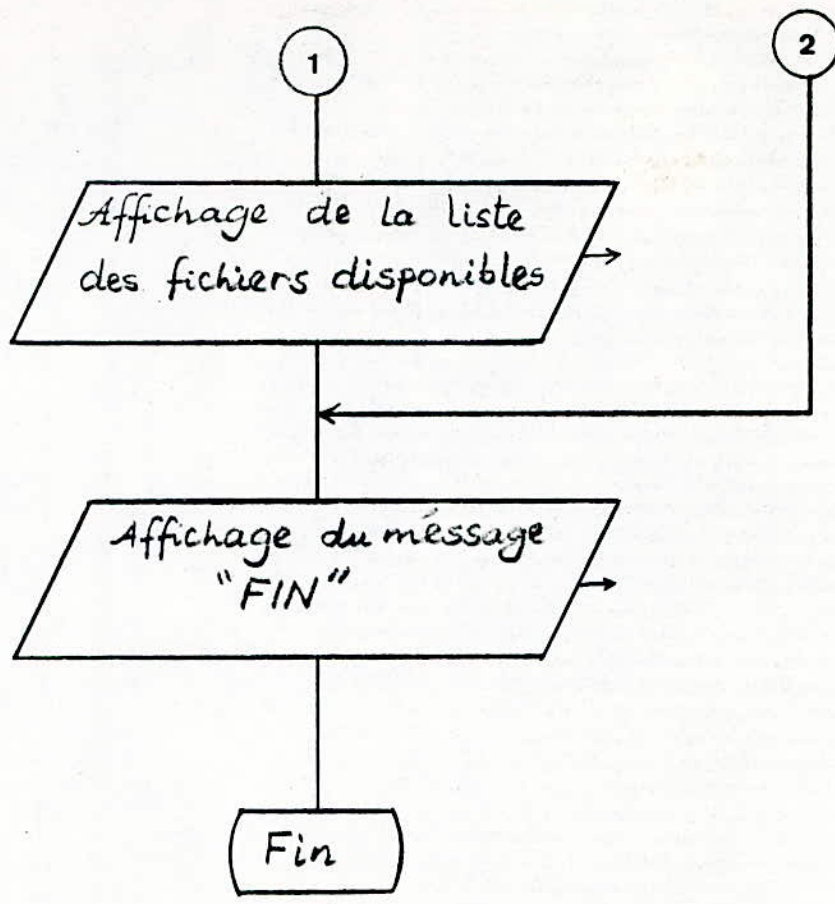
V.2 PRESENTATION DU PROGRAMME :

Le programme a été réalisé entièrement en assembleur 8086/8088, (11), (12), (13), (14), (15), il comprend :

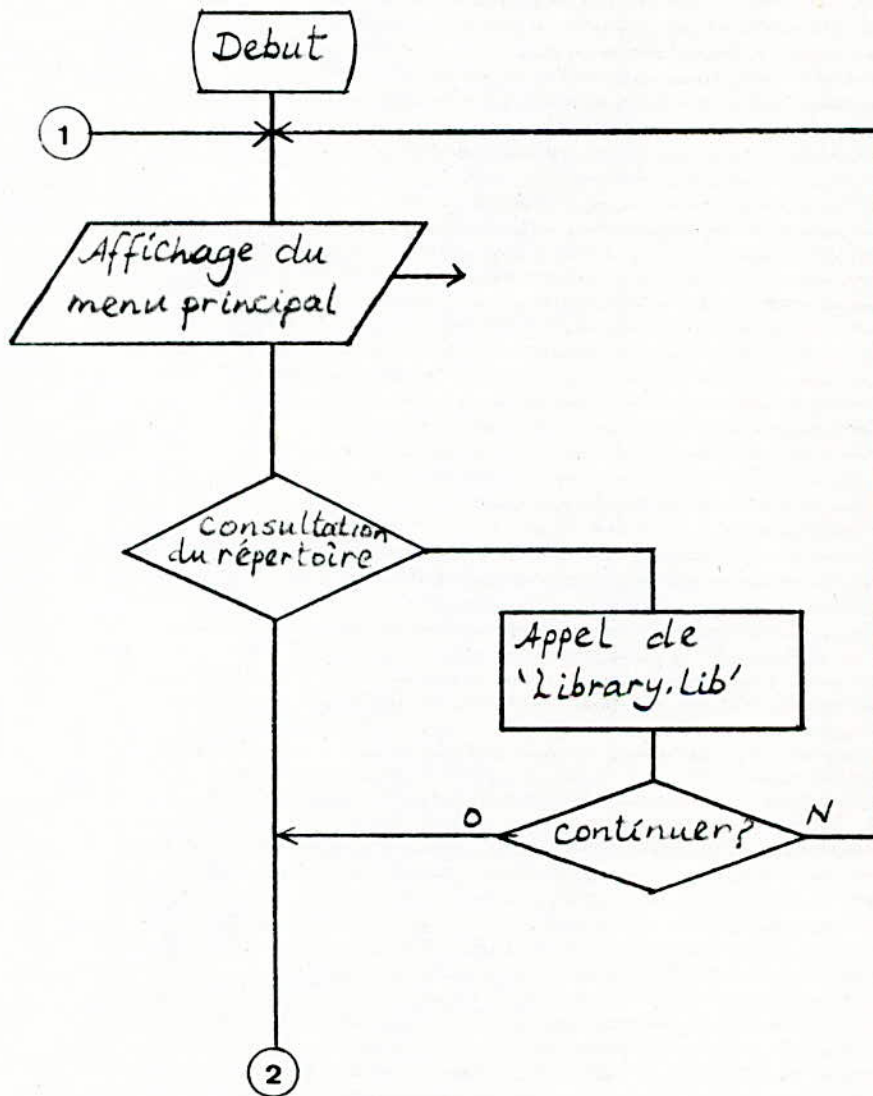
- Library.lib : une routine de consultation du répertoire des signaux disponibles sur fichiers de données.
- Gradient.asm : programme principal réalisant les tâches suivantes :
 - + choix des séquences à partir du répertoire
 - + chargement des données à partir des fichiers désignés
 - + génération des trois gradients par sélection.

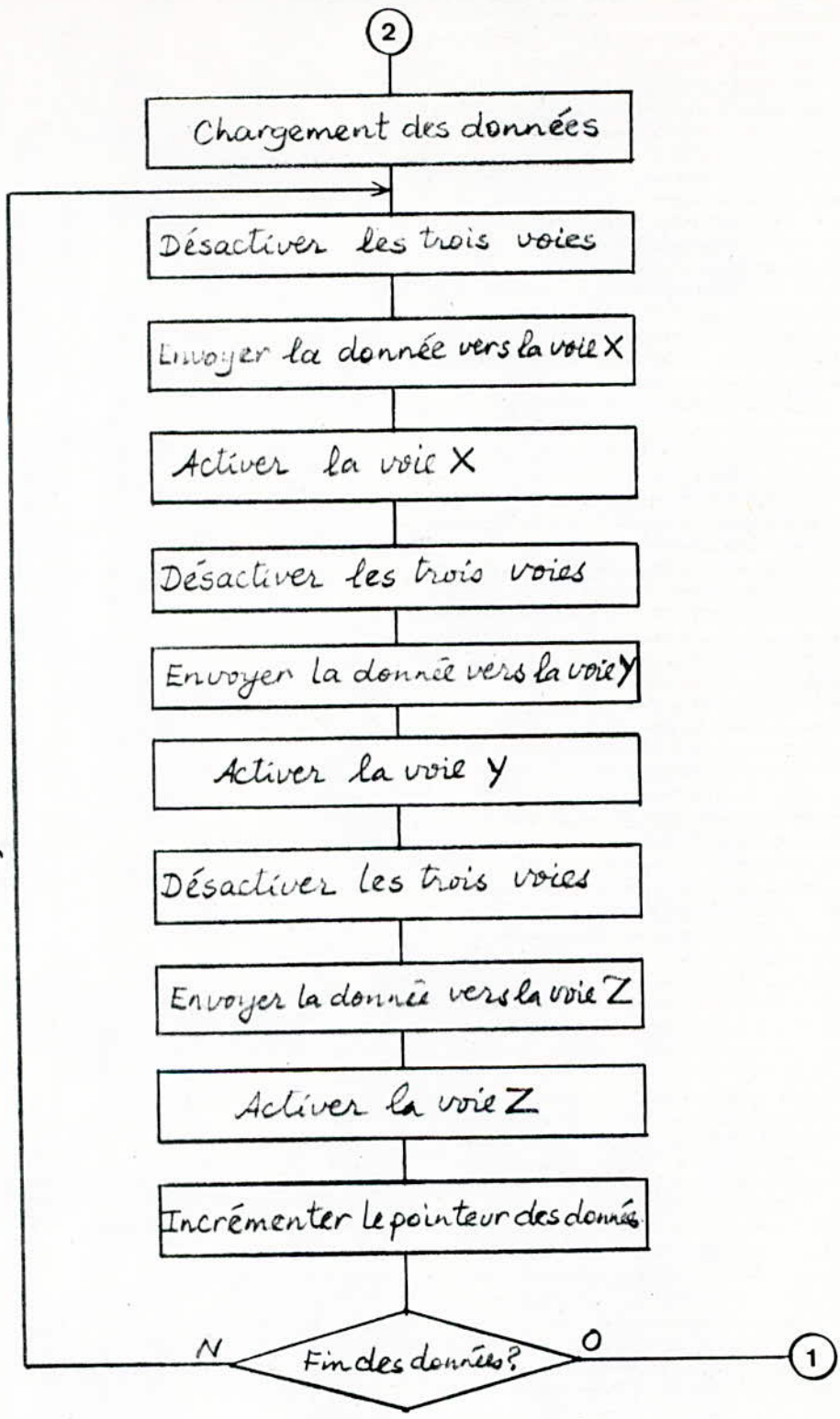
L'organigramme de Library.lib se résume à :





Le listing de Library.lib est donné en annexe.
L'organigramme suivant donne l'organisation générale de
Gradient.asm :





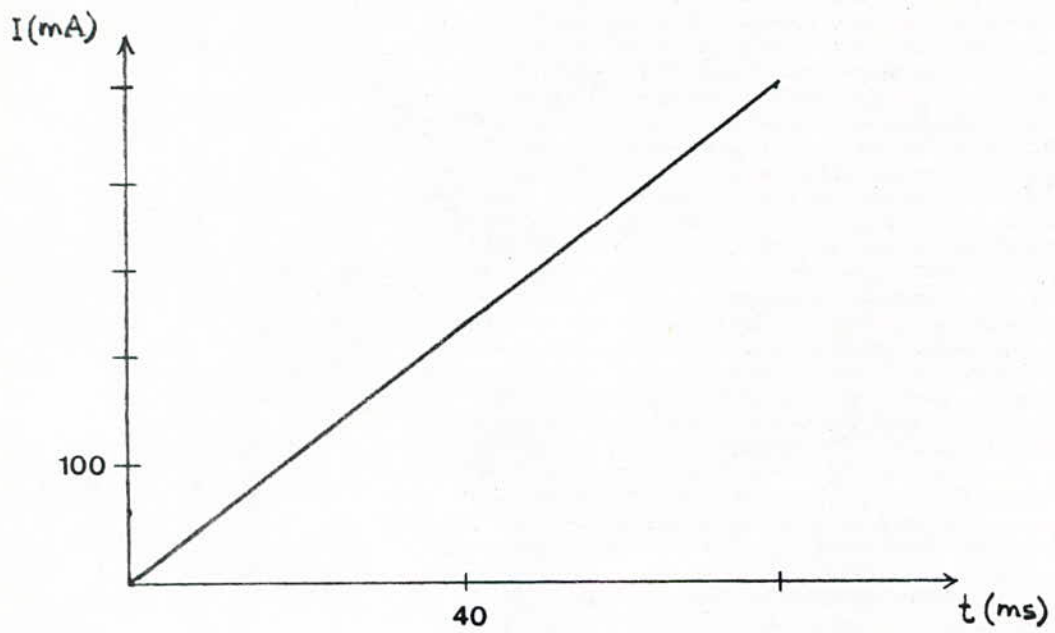


Fig.VI.1

La première utilisation de Gradient.asm consiste en la génération d'une rampe pour vérifier la linéarité du système en relevant le courant dans les bobines. Ainsi, nous avons préparé un fichier de données pour être utilisé à partir de Gradient.asm. Les résultats sont satisfaisants (voir fig.VI.1).

Le deuxième pas consiste à tester le système en générant trois signaux "multiplexés". En effet, nous avons quantifié un signal sinusoïdal et un signal carré; le troisième signal étant déjà préparé lors du premier test.

CONCLUSION :

Enfin, nous estimons que le but de ce travail a été réalisé en dépit des difficultés que nous avons eu à nous approprier le matériel nécessaire. Nous avons pu réaliser une carte au standard IBM PC avec son programme de pilotage, elle peut être utilisée, non seulement pour des expériences d'I.R.M mais aussi là où le contrôle des systèmes est fait à partir d'un ordinateur. Le système de génération des gradients peut être lui exploité pour des futures expériences d'I.R.M au niveau du département d'électronique.

Annexe

TITLE Gradient.asm

COMMENT * Programme de génération des gradients
de champ magnétiques à partir de séquences sauvegardées
sur fichiers *

PortA EQU 310h ;;adresse des ports
PortB EQU 311h
PortC EQU 312h
Contr EQU 313h

INCLUDE print.lib ;;procédures externes
INCLUDE cursor.lib
INCLUDE library.lib
INCLUDE zero.lib

code SEGMENT

ASSUME CS:code,DS:code
ORG 100h

start:

MOV DX,Contr ;;initialisation du PPI
MOV AL,80h
OUT DX,AL

XOR AH,AH
MOV AL,2
INT 16

start1:

print titre1,0Eh,0,5,15 ;;menu principal
print titre2,0Eh,0,6,15
print titre3,0Eh,0,7,15
print titre2,0Eh,0,8,15
print titre4,0Eh,0,9,15
print titre2,0Eh,0,10,15
print titre2,0Eh,0,11,15
print titre5,0Eh,0,12,15
print titre2,0Eh,0,13,15
print titre6,0Eh,0,14,15

print titre1,0Eh,0,18,15
print question,0Eh,0,19,15
print titre6,0Eh,0,20,15
cursor 60,40,0

```

print    titre1,0Eh,0,18,15
print    question,0Eh,0,19,15
print    titre6,0Eh,0,20,15
cursor   60,40,0
MOV      AH,1
INT      21h
CMP      AL,'0'
JE       rea7
CMP      AL,1Bh
JNE      cont10
JMP      fine

cont10:  JMP      rea8

rea7:    library                               ;;lecture du répertoire

rea8:    XOR      AH,AH
          MOV      AL,2
          INT      16
          XOR      BX,BX
          MOV      CX,1
          print    string1,2Eh,0,0,0
          print    string2,0Eh,0,6,0
          print    string3,2Eh,0,6,21
          cursor   6,22,0

          LEA      DX,filename1
          MOV      AH,0Ah
          INT      21h
          XOR      BX,BX
          MOV      BL,filename1+1
          CMP      BL,00
          JNE      real
          zero     00
          JMP      rea2

real:    MOV      filename1+2[BX],00

          LEA      DX,filename1+2           ;;Ouverture du fichier_X
          MOV      AX,3D02h
          INT      21h
          JNC      cont1
          JMP      erreur

```

```

cont1:  MOV     handlefile1,AX           ;;affichage du MESSAGE1
        cursor  8,22,0
        print   message1,0Eh,0,8,21

        MOV     BX,handlefile1
        LEA    DX,buffer                ;;lecture du fichier_X
        MOV     CX,8200
        MOV     AH,3Fh
        INT     21h
        JNC    cont2
        JMP     erreur

cont2:  MOV     BX,handlefile1           ;;fermeture fichier_X
        MOV     AH,3Eh
        INT     21h
        JNC    cont3
        JMP     erreur

cont3:  print   fin,0Eh,0,8,49

rea2:   print   string4,0Eh,0,10,0
        print   string3,2Eh,0,10,21
        cursor  10,22,0
        LEA    DX,FILENAME2
        MOV     AH,0Ah
        INT     21h
        XOR    BX,BX
        MOV     BL,filename2+1
        CMP    BL,00
        JNE    rea3
        zero   8200
        JMP     rea4

rea3:   MOV     filename2+2[BX],00

        LEA    DX,filename2+2           ;;ouverture fichier_Y
        MOV     AX,3D02h
        INT     21h
        JNC    cont4
        JMP     erreur

```

```

cont4:  MOV     handlefile2,AX           ;;affichage message2
        print  message2,0Eh,0,12,21

        MOV     BX,handlefile2
        LEA    DX,buffer+8200         ;;lecture fichier_Y
        MOV     CX,8200
        MOV     AH,3Fh
        INT     21h
        JNC    cont5
        JMP     erreur

cont5:  MOV     BX,handlefile2         ;;fermeture du fichier_Y
        MOV     AH,3Eh
        INT     21h
        JNC    cont6
        JMP     erreur

cont6:  print  fin,0Eh,0,12,49

rea4:  print  string5,0Eh,0,14,0
        print  string3,2Eh,0,14,21
        cursor 14,22,0

        LEA    DX,FILENAME3
        MOV     AH,0Ah
        INT     21h
        XOR     BX,BX
        MOV     BL,filename3+1
        CMP     BL,00
        JNE    rea5
        zero   16400
        JMP     rea6

rea5:  MOV     filename3+2[BX],00

        LEA    DX,filename3+2         ;;ouverture du fichier_Z
        MOV     AX,3D02h
        INT     21h
        JNC    cont7
        JMP     erreur

cont7:  MOV     handlefile3,AX         ;;affichage message3

```

```

print    message3,0Eh,0,16,21

MOV      BX,handlefile3
LEA      DX,buffer+16400           ;;lecture du fichier_Z
MOV      CX,8200
MOV      AH,3Fh
INT      21h
JNC      cont8
JMP      erreur

cont8:   MOV      BX,handlefile3           ;;fermeture du fichier_Z
MOV      AH,3Eh
INT      21h
JNC      cont9
JMP      erreur

cont9:   print    fin,0Eh,0,16,49

rea6:   print    gener,08Fh,0,22,40       ;;sortie des données
MOV      AH,1
MOV      CX,1F1Fh
INT      16

MOV      CX,0FFh
CLI

1b11:   MOV      BX,4096
LEA      SI,buffer+7

1b13:   MOV      AL,111111b               ;;toutes les sorties
MOV      DX,PortC                       ;;désactives
OUT      DX,AL

MOV      AX,[SI]                         ;;lecture de la donnée X
MOV      DX,PortA
OUT      DX,AX

MOV      AL,111100b                       ;;activation de la voie X
MOV      DX,PortC
OUT      DX,AL

MOV      AL,111111b                       ;;désactivation de toutes
MOV      DX,PortC                       ;;les voies

```

```

OUT      DX,AL

MOV      AX,[SI+8200]      ;;lecture de la donnee Y
MOV      DX,PortA
OUT      DX,AX

MOV      AL,110011b      ;;activation de la voies Y
MOV      DX,PortC
OUT      DX,AL

MOV      AL,111111b      ;;désactivation de toutes
MOV      DX,PortC        ;;les voies
OUT      DX,AL

MOV      AX,[SI+16400]    ;;lecture de la donnee Z
MOV      DX,PortA
OUT      DX,AX

MOV      AL,001111b      ;;activation de la voie Z
MOV      DX,PortC
OUT      DX,AL

ADD      SI,2
DEC      BX
JNZ      lbl3

LOOP     lbl1
JMP      start

fine:                                         ;;fin
XOR      AH,AH
MOV      AL,2
INT      16
STI
MOV      AH,4Ch
INT      21h

erreur:                                       ;;traitement des erreurs
print    error,0Eh,0,22,50
erreur1:
MOV      AH,8
INT      21h
CMP      AL,'A'
JE       cont12
CMP      AL,'R'

```

```

        JNE     erreur1
        JMP     rea8
cont12:
        JMP     start

handlefile1 DW 0                ;;données du programme
handlefile2 DW 0
handlefile3 DW 0
filename1   DB 30,0,30 DUP(0)
filename2   DB 30,0,30 DUP(0)
filename3   DB 30,0,30 DUP(0)
message1    DB 'Chargement du fichier X.....$'
message2    DB 'Chargement du fichier Y.....$'
message3    DB 'Chargement du fichier Z.....$'
fin         DB 'OK!$'
gener       DB 'Génération des gradients en cours...$'
error       DB 'Annuler,Recommencer...?$'
buffer      DB 24600 DUP(?)
string1     DB 28 DUP(' '), 'CHARGEMENT DES DONNEES',
            30 DUP(' '), '$'
string2     DB ' Fichier Gradient_X :','$'
string3     DB $1 DUP(' '), '$'
string4     DB ' Fichier Gradient_Y :','$'
string5     DB ' Fichier Gradient_Z :','$'
question    DB OBAh, ' Voulez-vous consulter le répertoire (O/N) ? ',
            OBAh, '$'
titre1      DB OC9h,46 DUP(OCdh), OBBh, '$'
titre2      DB OBAh,46 DUP(20h), OBAh, '$'
titre3      DB OBAh, ' Générateur des gradients de champ magnétique ',
            OBAh, '$'
titre4      DB OBAh,11 DUP(20h), 'pour imagerie par R.M.N',12 DUP(20h),
            OBAh, '$'
titre5      DB OBAh,6 DUP(20h), 'CHEMLOUL MOHAMED          E.N.P /1990',
            6 DUP(20h), OBAh, '$'
titre6      DB OC8h,46 DUP(OCdh), OBCh, '$'

code       ENDS
           END start

```


SUBTTL Library.lib

COMMENT * Sous programme de consultation de
la bibliothèque des signaux disponibles
avec une extension .DAT *

library MACRO

LEA DX,dta ;;affectation de la DTA
MOV AH,1Ah
INT 21h

LEA DX,mask ;;lit le masque du répertoire
MOV CX,00h
MOV AH,4Eh ;;fonction de recherche des
INT 21h ;;fichiers
CLD ;;DF à 1
LEA DI,directory ;;début du répertoire

search1:
LEA SI,dta+30 ;;lecture du premier nom
XOR AL,AL ;;du fichier trouvé

search2:
MOVSB ;;transfert du nom au répertoire
CMP AL,BYTE PTR [SI]
JNE search2
STOSB

MOV AH,4Fh ;;fonction de recherche du prochain
INT 21h ;;fichier
JNC search1

MOV AL,20h ;;trace du cadre d'affichage du
XOR BH,BH ;;répertoire
MOV DH,2
MOV DL,50

search3:
MOV AH,2

```
INT      16
MOV      AH,9
MOV      BL,2Eh
MOV      CX,16
INT      16
INC      DH
CMP      DH,22
JLE      search3
```

```
MOV      DH,1
MOV      DL,49
MOV      AH,2
INT      16
MOV      AX,09DAh
MOV      BL,0Fh
MOV      CX,1
INT      16
ADD      DL,17
MOV      AH,2
INT      16
MOV      AX,9BFh
INT      16
SUB      DL,16
```

```
LEA      SI,lib
MOV      DH,1
MOV      DL,50
MOV      BL,0Eh
MOV      CX,1
```

search12:

```
MOV      AH,2          ;;affichage du contenu du
INT      16           ;;répertoire
```

```
MOV      AH,9
LODSB
CMP      AL,00
JE       search13
INT      16
INC      DL
```

```
                JMP      search12
search13:
    MOV      DH,2
    MOV      DL,49
search4:
    MOV      AH,2
    INT      16
    MOV      AX,9B3h
    INT      16
    INC      DH
    CMP      DH,22
    JLE      search4
    MOV      AH,2
    INT      16
    MOV      AX,9C0h
    INT      16
    INC      DL
    MOV      AH,2
    INT      16
    MOV     , AX,9C4h
    MOV      CX,16
    INT      16
    ADD      DL,16
    MOV      AH,2
    INT      16
    MOV      CX,1
    MOV      AX,9D9h
    INT      16
    SUB      DH,21
search5:
    MOV      AH,2
    INT      16
    MOV      AX,9B3h
    INT      16
    INC      DH
    CMP      DH,22
    JLE      search5

    MOV      DH,3
    MOV      BL,2Eh
```

```

LEA      SI, vide           ;;affichage du message 'VIDE'
MOV      DH, 3             ;;si aucun fichier n'est trouve
MOV      DL, 54            ;;et fin
MOV      BL, 0CEh

search11:                   ;;affichage de la liste des
MOV      AH, 2             ;;10 premiers fichiers trouves
INT      16                ;;sur D7
MOV      AH, 9
LODSB
CMP      AL, 00
JE       done              ;;sortir si fin de nom de fichier
INT      16
INC      DL
JMP      search11

search7:                   ;;affichage des prochains fichiers
MOV      DL, 52

search8:
MOV      AH, 2
INT      16

MOV      AH, 9
LODSB
CMP      AL, 00
JZ       search15
INT      16
INC      DL
JMP      SHORT search8

search15:
ADD      DH, 2
CMP      DH, 22
JLE     search7

search10:
MOV      AH, 1
MOV      CH, 40
INT      16
MOV      AH, 8
INT      21h

```

```

        CMP     AL,1Bh
        JNE     search9
        JMP     start1
search9:
        CMP     AL,0Dh                ;;affichage de la suite de la liste
        JNE     search10              ;;si <RET>

        CMP     WORD PTR [SI],00
        JE      done
        LEA     DI,directory
        ADD     DI,500
        CMP     SI,DI
        JG      done
        MOV     AL,20h
        XOR     BH,BH
        MOV     DH,2
        MOV     DL,50

search16:
        MOV     AH,2
        INT     16
        MOV     AH,9
        MOV     BL,2Eh
        MOV     CX,16
        INT     16
        INC     DH
        CMP     DH,22
        JLE     search16

        MOV     DH,3
        MOV     CX,1
        JMP     search7

done:
        LEA     SI,eol
        MOV     DH,21
        MOV     DL,54
        MOV     BL,0CEh
        MOV     CX,1

```

```

search17:
    MOV     AH,2
    INT     16
    MOV     AH,9
    LODSB
    CMP     AL,00
    JE      search18
    INT     16
    INC     DL
    JMP     search17

search18:
    MOV     AH,8
    INT     21h
    CMP     AL,1Bh
    JNE     cont11
    JMP     start1

cont11:
    CMP     AL,' '
    JNE     search18
    JMP     rea8
    ,

mask      DB '*.DAT',00      ;;masque des fichiers
dta       DB 512 DUP (0)
directory DB 540 DUP(0)
vide      DB 'Vide...!',00
LIB       DB 3 DUP(0C4h),'Répertoire',3 DUP(0C4h),00
EOL       DB 'Fin....!',00

        ENDM                                ;;fin

```

SUBTTL Print.lib

COMMENT * Sous programme d'affichage
d'une chaine de caractère limitée par '\$'.

L'affectation des paramètres est la suivante :
string : emplacement de la chaine en mémoire
attribute : sélection de la couleur (fond et écriture)
page : numéro de la page
lin : ligne de début d'écriture
col : colonne de début d'écriture *

```
print MACRO string,attribute,page,lin,col
LOCAL prt1,prt2
CLD ;;DF à 1
MOV AH,2 ;;positionnement du curseur
MOV BH,page ;;choix de la page d'écriture
MOV DH,lin ;;choix de la ligne
MOV DL,col ;;choix de la colonne
INT 10h ;;validation du choix

MOV BL,attribute ;;choix de la couleur
MOV CX,1 ;;un caractère à la fois
MOV SI,OFFSET string ;;début de la chaine à afficher

prt1: MOV AH,9 ;;affichage de la chaine
LODSB ;;lecture du caractère à afficher
CMP AL,'$' ;;fin d'affichage si '$'
JE prt2 ;;sortir si fin
INT 10h ;;affichage
INC DL ;;curseur à la colonne suivante
MOV AH,2 ;;affichage du caractère suivant
INT 10h
JMP prt1

prt2:

ENDM ;;fin
```

SUBTTL Cursor.lib

COMMENT * Sous programme de positionnement du curseur.

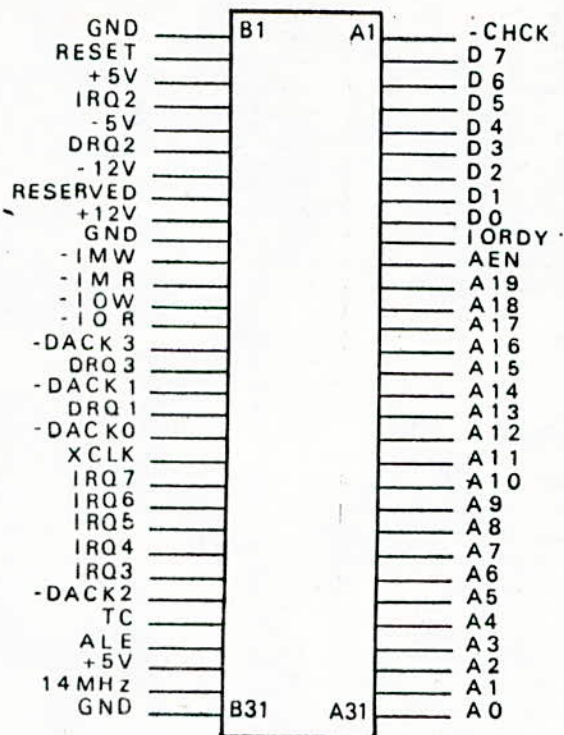
L'affectation des paramètres est la suivante :

line : ligne à laquelle le curseur est positionné

column : la colonne à laquelle le curseur est positionné

page : la page à laquelle le curseur est positionné *

```
CURSOR MACRO line,column,page
        MOV AH,2                ;;fonction VDU
        MOV BH,page            ;;choix de la page
        MOV DH,line           ;;choix de la ligne
        MOV DL,column         ;;choix de la colonne
        INT 10h                ;;validation du choix
        ENDM                    ;;fin
```

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

Broche	Signal	IN/OUT
A01	Not I/O CHCK (pas test entrée/sortie	IN
A02	I/O Data Bit D7 (Bit de données d'E/S)	IN/OUT
A03	I/O Data Bit D6	IN/OUT
A04	I/O " " D5	IN/OUT
A05	I/O " " D4	IN/OUT
A06	I/O " " D3	IN/OUT
A07	I/O " " D2	IN/OUT
A08	I/O " " D1	IN/OUT
A09	I/O " " D0	IN/OUT
A10	I/O RDY (entrée/sortie prete)	IN
A11	AEN-Address Enable(active adresse)	OUT
A12	I/O + MEM/Adress Bit A19	OUT
A13	I/O + MEM/Adress Bit A18	OUT
A14	I/O + " / " " A17	OUT
A15	I/O + " / " " A16	OUT
A16	I/O + " / " " A15	OUT
A17	I/O + " / " " A14	OUT
A18	I/O + " / " " A13	OUT
A19	I/O + " / " " A12	OUT
A20	I/O + " / " " A11	OUT
A21	I/O + " / " " A10	OUT
A22	I/O + " / " " A09	OUT
A23	I/O + " / " " A08	OUT
A24	I/O + " / " " A07	OUT
A25	I/O + " / " " A06	OUT
A26	I/O + " / " " A05	OUT
A27	I/O + " / " " A04	OUT
A28	I/O + " / " " A03	OUT
A29	I/O + " / " " A02	OUT
A30	I/O + " / " " A01	OUT
A31	I/O + " / " " A00	OUT

Affectation des broches du connecteur

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)

SPECIFICATIONS ($V_{REF} = +10V$, $V_{OUT1} = 0V$, $AGND = DGND$ unless otherwise specified)

AD 7545

Parameter	Version	$V_{DD} = +5V$ Limits		$V_{DD} = +15V$ Limits		Units	Test Conditions/Comments
		$T_A = +25^\circ C$	$T_{min}-T_{max}^1$	$T_A = +25^\circ C$	$T_{min}-T_{max}^1$		
STATIC PERFORMANCE							
Resolution	All	12	12	12	12	Bits	Endpoint Measurement All Grades Guaranteed 12-Bit Monotonic Over Temperature Measured Using Internal R_{FB} . DAC Register Loaded with All 1s.
Relative Accuracy	K, B, T	$\pm 1/2$	$\pm 1/2$	$\pm 1/2$	$\pm 1/2$	LSB max	
	L, C, U	$\pm 1/2$	$\pm 1/2$	$\pm 1/2$	$\pm 1/2$	LSB max	
Differential Nonlinearity	All	± 1	± 1	± 1	± 1	LSB max	
Gain Error	K, B, T	± 3	± 4	± 3	± 4	LSB max	
	L, C, U	± 1	± 2	± 1	± 2	LSB max	
Gain Temperature Coefficient ²	All	± 5	± 5	± 5	± 5	ppm/ $^\circ C$ max	$\Delta V_{DD} = \pm 5\%$ DB0-DB11 = 0V; \overline{WR} , $\overline{CS} = 0V$
$\Delta Gain/\Delta Temperature$	All	± 2	± 2	± 2	± 2	ppm/ $^\circ C$ typ	
DC Supply Rejection ²	All	0.002	0.004	0.002	0.004	% per % max	
$\Delta Gain/\Delta V_{DD}$	All	10	50	10	50	nA max	
Output Leakage Current at OUT1	K, L	10	50	10	50	nA max	
	B, C	10	50	10	50	nA max	
	T, U	10	200	10	200	nA max	
DYNAMIC PERFORMANCE							
Current Settling Time ²	All	1	1	1	1	μs max	T_O 1/2LSB. OUT1 load = 100 Ω , $C_{EXT} = 13pF$. DAC output measured from falling edge of \overline{WR} . $\overline{CS} = 0V$.
Propagation Delay ² (from Digital) Input Change to 90% of Final Analog Output)	All	200	-	150	-	ns max	OUT1 LOAD = 100 Ω , $C_{EXT} = 13pF$ $V_{REF} = AGND$. OUT1 Load = 100 Ω , $C_{EXT} = 13pF$. DAC Register Alternately Loaded with All 0s and All 1s.
Digital-to-Analog Glitch Impulse ²	All	5	-	5	-	nV sec typ	
AC Feedthrough ^{2,4} At OUT1	All	5	5	5	5	mV p-p typ	$V_{REF} = \pm 10V$, 10kHz Sinewave
REFERENCE INPUT							
Input Resistance (Pin 19 to GND)	All	10	10	10	10	k Ω min	Input Resistance TC = -300ppm/ $^\circ C$ typ Typical Input Resistance = 15k Ω
	All	20	20	20	20	k Ω max	
ANALOG OUTPUTS							
Output Capacitance ²							
C_{OUT1}	All	70	70	70	70	pF max	DB0-DB11 = 0V, \overline{WR} , $\overline{CS} = 0V$ DB0-DB11 = V_{DD} , \overline{WR} , $\overline{CS} = 0V$
C_{OUT1}	All	150	150	150	150	pF max	
DIGITAL INPUTS							
Input High Voltage V_{IH}	All	2.4	2.4	13.5	13.5	V min	$V_{IN} = 0$ or V_{DD}
Input Low Voltage V_{IL}	All	0.8	0.8	1.5	1.5	V max	
Input Current ⁵ I_{IN}	All	± 1	± 10	± 1	± 10	μA max	
Input Capacitance ² DB0-DB11, \overline{WR} , \overline{CS}	All	8	8	8	8	pF max	
SWITCHING CHARACTERISTICS²							
Chip Select to Write Setup Time	K, B, L, C	100	130	75	85	ns min	See Timing Diagram
t_{CS}	T, U	100	170	75	95	ns min	
Chip Select to Write Hold Time	All	0	0	0	0	ns min	$t_{CS} \geq t_{WR}$, $t_{CH} \geq 0$
t_{CH}	K, B, L, C	100	130	75	85	ns min	
Write Pulse Width t_{WR}	T, U	100	170	75	95	ns min	
Data Setup Time t_{DS}	All	100	150	60	80	ns min	
Data Hold Time t_{DH}	All	5	5	5	5	ns min	
POWER SUPPLY							
V_{DD}	All	5	5	15	15	V	$\pm 5\%$ for Specified Performance All Digital Inputs V_{IL} or V_{IH} All Digital Inputs 0V or V_{DD} All Digital Inputs 0V or V_{DD}
I_{DD}	All	2	2	2	2	mA max	
	All	100	100	100	100	μA max	
	All	10	10	10	10	μA typ	

NOTES

¹Temperature Ranges as follows: KN, LN, KP, LP: 0 to +70 $^\circ C$
BQ, CQ, BE, CE: -25 $^\circ C$ to +85 $^\circ C$
TQ, UQ, TE, UE: -55 $^\circ C$ to +125 $^\circ C$

²Sample tested to ensure compliance.

³DB0-DB11 = 0V to V_{DD} or V_{DD} to 0V.

⁴Feedthrough can be further reduced by connecting the metal lid on the ceramic package to DGND.

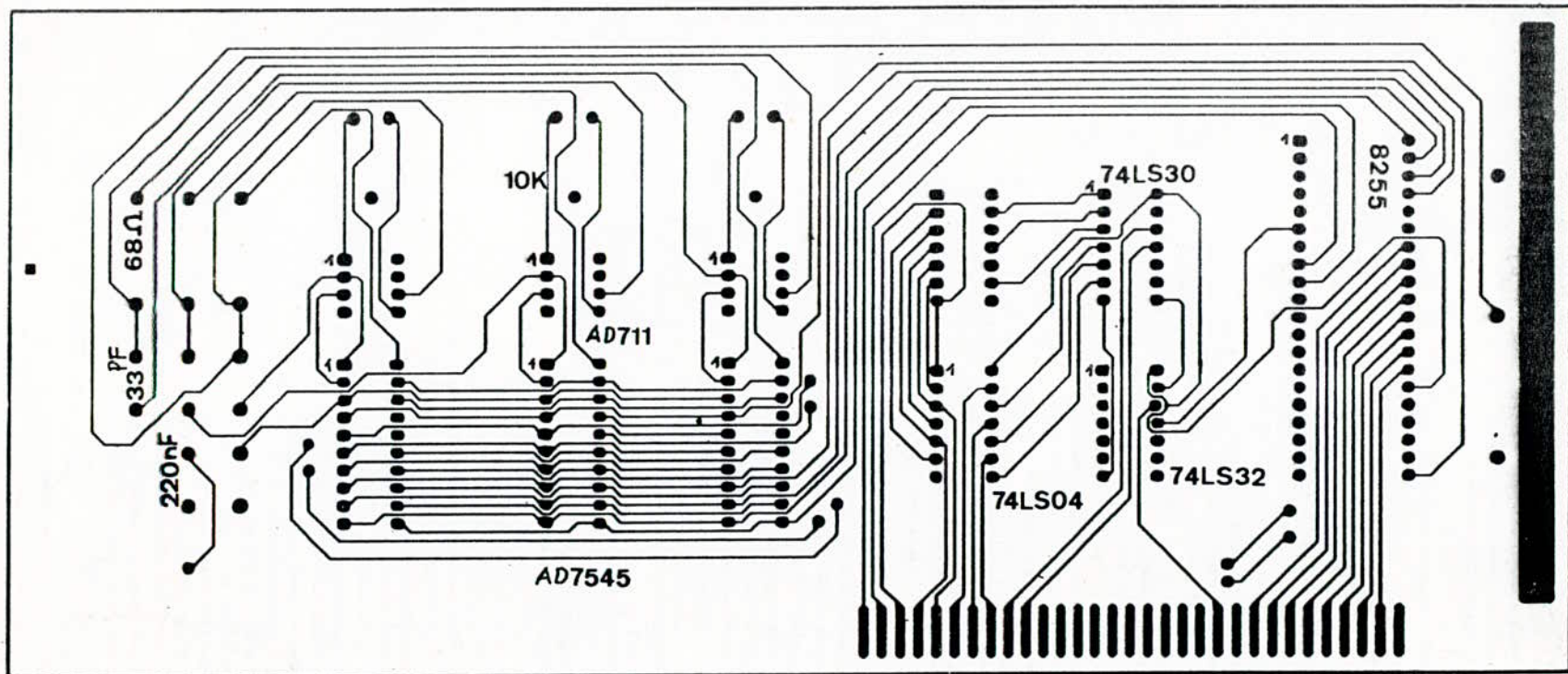
⁵Logic inputs are MOS gates. Typical input current (+25 $^\circ C$) is less than 1nA.

Specifications subject to change without notice.

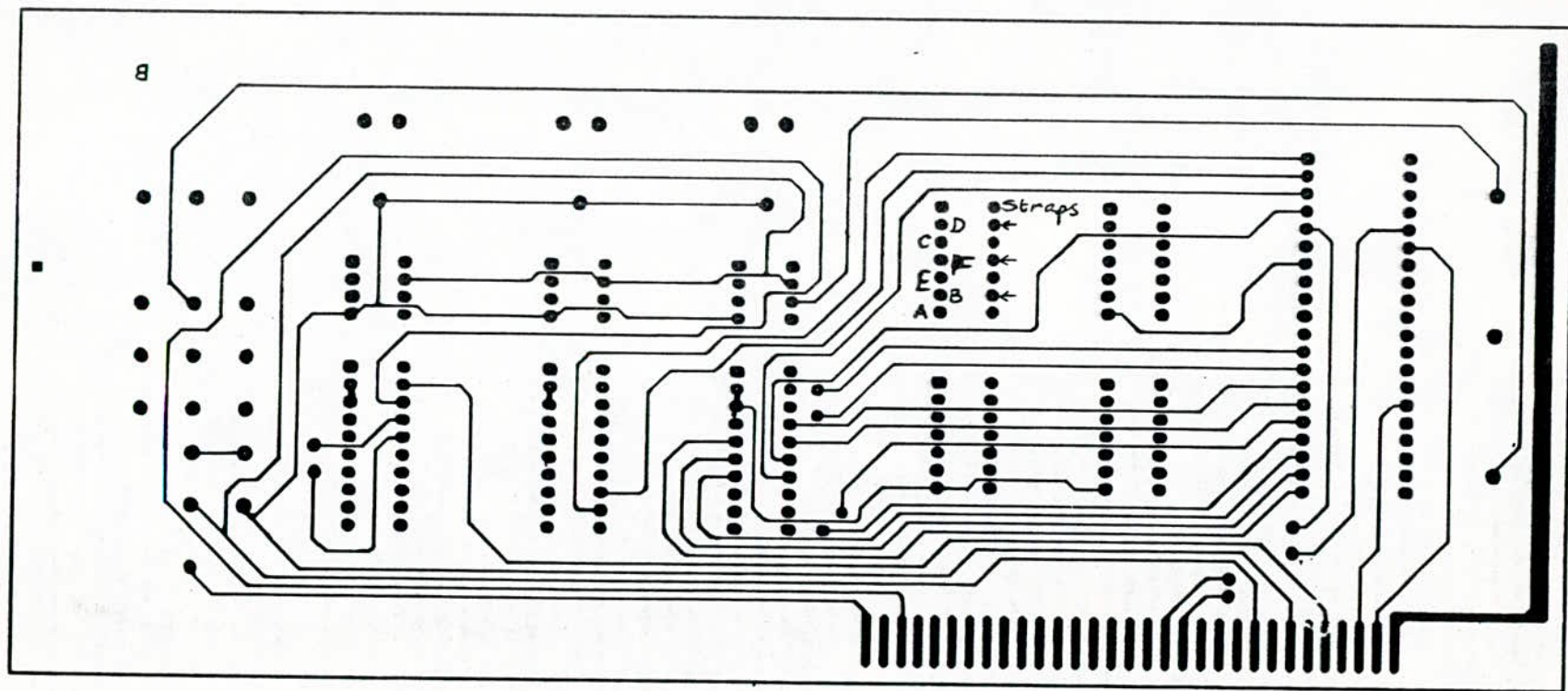
SPECIFICATIONS (@ +25°C and $V_S = \pm 15V$ dc, unless otherwise noted)

AD711

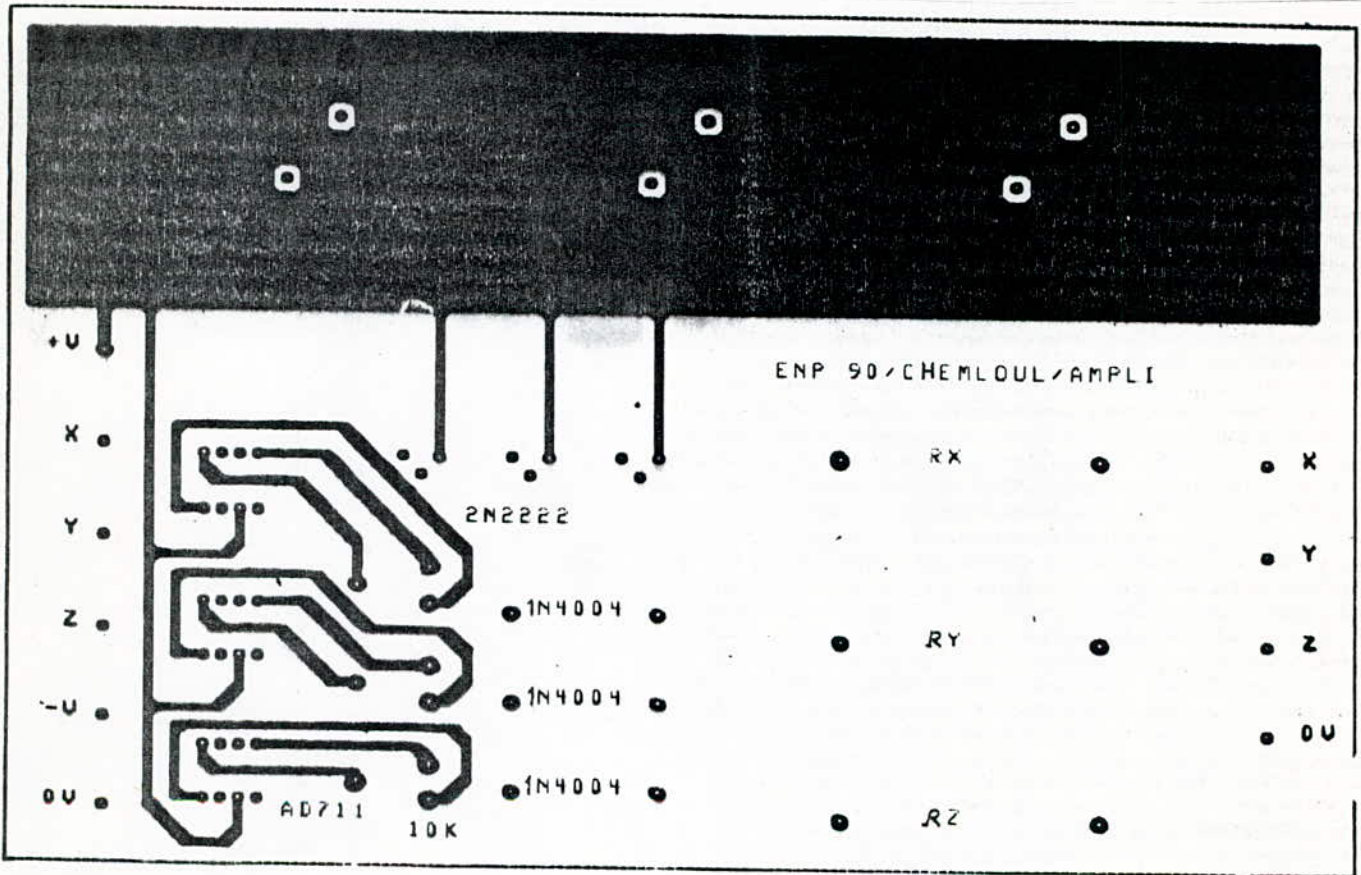
Model	AD711J/A/S			AD711K/B/T			AD711C			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
INPUT OFFSET VOLTAGE¹										
Initial Offset		0.3	2/1/1		0.2	0.5		0.1	0.25	mV
T_{min} to T_{max}			3/2/2			1.0			0.45	mV
vs. Temp.		7	20/20/20		5	10		2	3	$\mu V/^\circ C$
vs. Supply	76	95		80	100		86	110		dB
vs. Supply, T_{min} to T_{max}	76/76/76			80			86			dB
Long Term Offset Stability		15			15			15		$\mu V/month$
INPUT BIAS CURRENT²										
Either Input, $V_{CM} = 0$		15	50		15	50		15	25	pA
Either Input at T_{max}			1.1/3.2/51			1.1/3.2/51			1.6	nA
$V_{CM} = 0$ (70°C/85°C/125°C)										
Either Input, $V_{CM} = +10V$		20	100		20	100		20	50	pA
Offset Current, $V_{CM} = 0$		10	25		5	25		5	10	pA
Offset Current at T_{max}			0.57/1.6/26			0.57/1.6/26			0.65	nA
(70°C/85°C/125°C)										
FREQUENCY RESPONSE										
Unity Gain, Small Signal	3.0	4		3.4	4		3.4	4		MHz
Full Power Response		200			200			200		kHz
Slew Rate, Unity Gain	16	20		18	20		18	20		V/ μs
Settling Time to 0.01% ³		1	1.2		1	1.2		1	1.2	μs
Total Harmonic Distortion										%
$f = 1kHz$		0.0003			0.0003			0.0003		
$R_L = 2k\Omega$, $V_{CI} = 3V$ RMS										
INPUT IMPEDANCE										
Differential		$3 \times 10^{12} \pm 5.5$			$3 \times 10^{12} \pm 5.5$			$3 \times 10^{12} \pm 5.5$		11 pF
Common-Mode		$3 \times 10^{14} \pm 5.5$			$3 \times 10^{14} \pm 5.5$			$3 \times 10^{14} \pm 5.5$		11 pF
INPUT VOLTAGE RANGE										
Differential ⁴		± 20			± 20			± 20		V
Common-Mode Voltage		+14.5, -11.5			+14.5, -11.5			+14.5, -11.5		V
Over Max Operating Range ⁵	$-V_S + 4V$		$+V_S - 2V$	$-V_S + 4V$		$+V_S - 2V$	$-V_S + 4V$		$+V_S - 2V$	V
Common-Mode Rejection Ratio										dB
$V_{CM} = \pm 10V$	76	88		80	88		86	94		dB
T_{min} to T_{max}	76/76/76	84		80	84		86	90		dB
$V_{CM} = \pm 11V$	70	84		76	84		76	90		dB
T_{min} to T_{max}	70/70/70	80		74	80		74	84		dB
INPUT VOLTAGE NOISE										
Voltage 0.1Hz to 10Hz		2			2			2	4.0	μV p-p
$f = 10Hz$		45			45			45		nV/ \sqrt{Hz}
$f = 100Hz$		22			22			22		nV/ \sqrt{Hz}
$f = 1kHz$		18			18			18		nV/ \sqrt{Hz}
$f = 10kHz$		16			16			16		nV/ \sqrt{Hz}
INPUT CURRENT NOISE										
$f = 1kHz$		0.01			0.01			0.01		pA/ \sqrt{Hz}
OPEN LOOP GAIN⁶										
$V_{CI} = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$	150	400		200	400		200	400		V/mV
$V_{CI} = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$, T_{min} to T_{max}	100/100/100			100			100			V/mV
OUTPUT CHARACTERISTICS										
Voltage ($R_L = 2k\Omega$)	+13, -12.5	+13.9, -13.3		+13, -12.5	+13.9, -13.3		+13, -12.5	+13.9, -13.3		V
Voltage ($R_L = 2k\Omega$, T_{min} to T_{max})	± 12	± 12	+13.8, -13.1	± 12	+13.8, -13.1		± 12	+13.8, -13.1		V
Short-Circuit Current		25			25			25		mA
POWER SUPPLY										
Rated Performance		± 15			± 15			± 15		V
Operating Range	± 4.5		± 18	± 4.5		± 18	± 4.5		± 18	V
Quiescent Current		2.5	3.4		2.5	3.0		2.5	2.8	mA
TEMPERATURE RANGE										
Operating, Rated Performance										
Commercial (0 to +70°C)		AD711J			AD711K			AD711C		
Industrial (-40 to +85°C)		AD711A			AD711B					
Military (-55 to +125°C)		AD711S			AD711T					
PACKAGE OPTIONS⁷										
Plastic (N-8)		AD711JN			AD711KN					
SOIC (R-8)		AD711JR			AD711KR			AD711CQ		
Cerdip (Q-8)		AD711AQ, AD711SQ			AD711BQ, AD711TQ			AD711CH		
TO-99 (H-08A)		AD711AH, AD711SH			AD711BH, AD711TH					



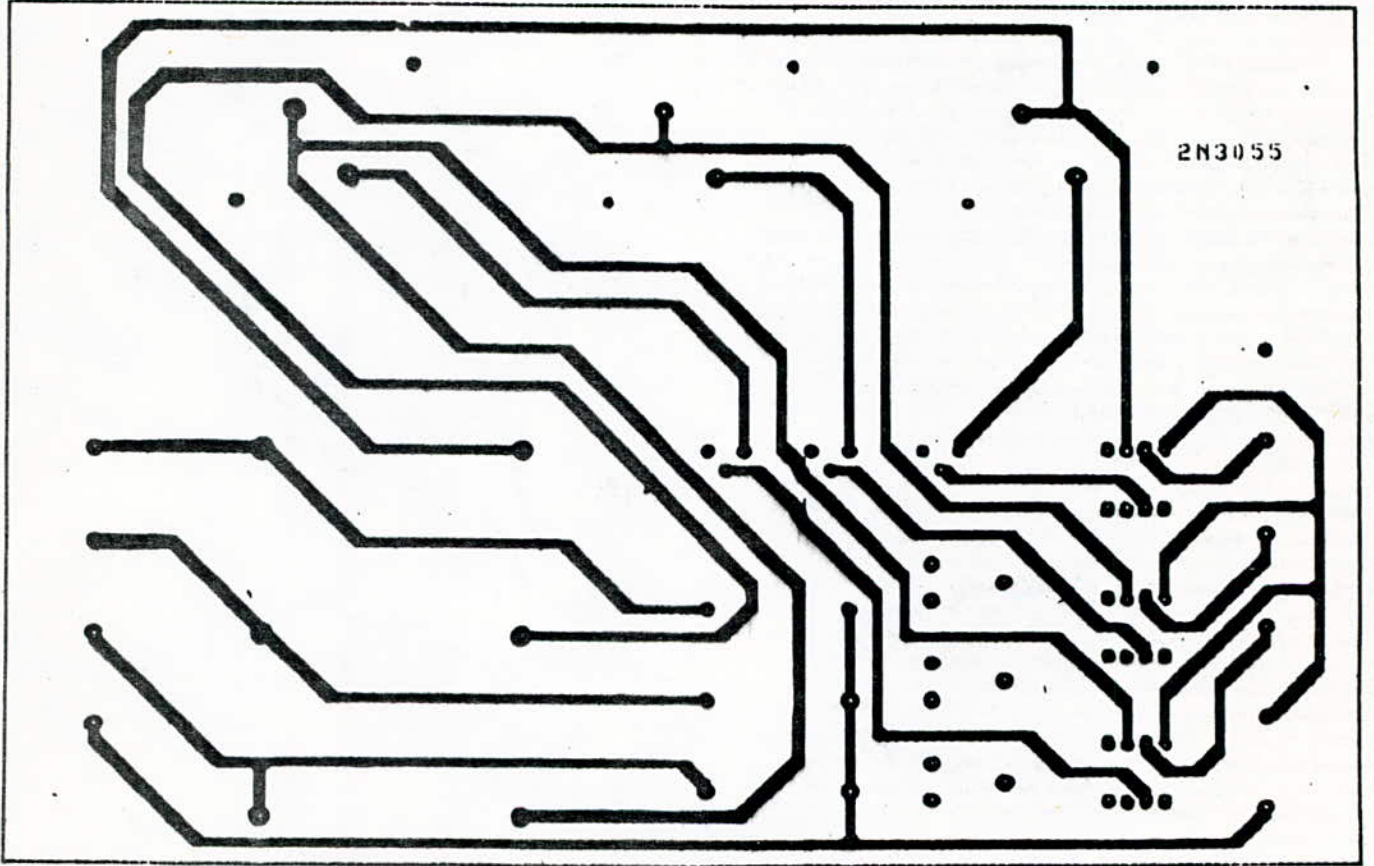
Carte de conversion N/A (Face A)



Carte de conversion N/A (Face B)



Amplificateur (Face A)



Amplificateur (Face B)

bibliographie

- (1) Bernard LORIFERNE
La conversion analogique-numérique, numérique-analogique
C.F.E, 1976
- (2) G.B. Clayton
Data converters
Mac Millan, 1984
- (3) Data conversion products databook
Analog Device, 1988
- (4) A.M. BERNARD, J.D. DECERVANTES, J.J. LEJEUNE
Résonance magnétique nucléaire
Masson, 1988
- (5) Pascal HAUSMANN
AMSTRAD PC1512, Guide de référence technique
Micro application, 1986
- (6) J.L. CAUBARRERE, J. FOURNY, H. LADJOUZE
Electricité et ondes
O.P.U, 1984
- (7) A. AGRAHAM
Les principes du magnétisme nucléaire
Bibliothèque des sciences et techniques, 1961
- (8) LAUTERBUR (P.)
Nature (LONDON), 242, 190, 1973
- (9) MANNSFIELD (P.), GRANNELL (P.K)
Journal of physics, C6, L422, 1973
- (10) L'assembleur du 8086
Microsystèmes, n°75, 76, 77, 78, 1987
- (11) Roland DUBOIS
Les microprocesseurs 16 bits à la loupe
Eyrolles, 1985

- (12) Michel AUMIAUX
Microprocesseurs 16 bits
Masson, 1985
- (13) J. Michel TRIO
Microprocesseurs 8086/8088
Eyrolles, 1987
- (14) H. LILEN
8086 et ses périphériques
- (15) François RETAUREAU
Programmation en assembleur du 8086/8088
Sybex, 1985
- (16) J. P. ARMSPACH
Etude et réalisation d'un appareil de tomographie par
résonance magnétique nucléaire
Thèse de doctorat d'ingénieur
I.N.S.A, LYON (JUIN 1982)
- (17) Feynman
Le cours de physique de Feynman, mécanique quantique
Interéditions, 1979