

وزارة التعليم والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Lex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

RESONNANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE
ETUDE ET REALISATION D'UN SPECTROMETRE
R.M.N. A IMPULSIONS
POUR UNE APPLICATION BIOMEDICALE

Proposé par :
M. ZERGUI
rachid

Etudié par :
SAHRAOUI E.H.
RAMDANE A.

Dirigé par :
M. ZERGUI
rachid

PROMOTION : JUIN 1986

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سُبْحَانَكَ لَا إِلَهَ إِلَّا مَا عَلَّمْنَا إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**RESONNANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE
ETUDE ET REALISATION D'UN SPECTROMETRE
R.M.N. à impulsions :
POUR UNE APPLICATION BIOMEDICALE**

Proposé par :
M. ZERGUI RACHID

Etudié par :
**SAHRAOUI E.H
RAMDANE A.**

Dirigé par :
ZERGUI RACHID

PROMOTION : JUIN 1986

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEDICACES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

- _A Mon PÈRE Et A Ma MÈRE
- _A Mes FRÈRES Et Mes SOEURS
- _A MONSIEUR Rachid ZERGUI Professeur À L'É.N.P
- _A MONSIEUR RAMESH PUWADA Professeur À L'É.N.P
- _A Mon AMI RAMDANE Abdessamed
- _A Tous Mes AMIS

SAHRAOUI EL. Hachemi

- _A Mon PÈRE Et A Ma MÈRE
- _A Mes FRÈRES Et Mes SOEURS
- _A Toute Ma Famille
- _A MONSIEUR Rachid ZERGUI Professeur A L'É.N.P
- _A MONSIEUR RAMESH PUWADA Professeur A L'É.N.P
- _A Mon AMI SAHRAOUI EL. Hachemi
- _A Tous Mes AMIS

RAMDANE Abdessamed

REMERCIEMENT

Nous Tenons A ExPrimer Notre Gratitude A
MONSIEUR ZERGUI Rachid Ainsi Qu' A MONSIEUR
RAMESH PUWADA, PROFESSEURS A L'ENP Pour
L'Orientation, L'Aide Et Les Conseils Constants Qu'Il
Nous Ont Prodigués Tout Au Long De Ce Travail .

Nous Remercions Également Tous Les Enseignants
De L'ENP Qui Ont Contribué A Notre Formation .

Sans Oublier Tous Les Amis D'ont L'Aide Nous
A Eté Précieuse . Ainsi Qu' A A-BENAOUDA Et
A-SEKKAI .

SOMMAIRE

PREAMBULE

CHAPITRE : I . - Introduction à La Résonance Magnétique Nucleaire .

I.- Generalite sur La R.M.N.

- I.1.- Le magnétisme Nucleaire Page - 1 -
I.2.- Rapport Gyromagnetique Page - 2 -
I.3.- Noyau dans un champ Magnetique extérieur Page - 2 -
I.4.- Energie d'Interaction Entre moment Magnetique et champ extérieur . . .
. Page - 4 -

II.- Generalite sur Les temps de Relaxation .

- 2.1.- Processus de Relaxation Page - 6 -
2.2.- Mesure des temps de Relaxation Page - 8 -

CHAPITRE : II . - Spectrometre R.M.N à Impulsions .

I.- Generalite Sur Le Spectrometre .

- I.1.- Composition du Spectrometre R.M.N à Impulsions Page - 12-
I.2.- Principe de fonctionnement Page - 12-
I.3.- Description des differents Composants du Spectrometre R.M.N à Im -
pulsions Page - 13-

CHAPITRE : III . - Systeme Electroaimant et Bobine d'excitation .

I.- Systeme Electroaimant .

- I.1.- Introduction Page - 15-
I.2.- Pertes de Puissance Active Page - 15-
I.3.- Consommation de Puissance Réactive Page - 16-
I.4.- Echauffement Page - 17-

II.- Bobine d'excitation .

- 2.1.- Introduction Page - 19-
2.2.- Detection des Signaux R.M.N. Page - 20-

A.- Programmeur D'Impulsion .

I.- Etude du programmeur d'Impulsions

I.1.- Rôle Page -21-

I.2.- Schema Synoptique Page -21-

I.3.- Principe de Fonctionnement Page -21-

I.4.- Presentation des I.C digitaux Page -22-

II.- Réalisation Pratique .

2.1.- Circuit Imprimé Page -23-

2.2.- Implantation des Composants Page -24-

2.3.- Boitier Page -24-

B.- Systeme Emetteur .

I.- Etude des étages de l'Emetteur: Page -25-

I.1.- Etage Oscillateur. Page -25-

I.2.- Amplificateur de Commutation Page -28-

I.3.- Amplificateur Cascode Page -29-

I.4.- Amplificateur de puissance Page -29-

I.5.- Systeme d'Isolément Page -30-

II.- Réalisation Pratique .

2.1.- Circuit Imprimé Page -30-

2.2.- Implantation des Composants Page -30-

2.3.- Blindage Page -31-

2.4.- Résultat experimentaux Page -31-

C. - Systeme Recepteur .

I.- Etude du Systeme Recepteur Page -32-

I.1.- Introduction Page -32-

I.2.- Etage préamplificateur Page -33-

I.3.- Amplificateur en Tension Page -33-

I.4.- Détection et filtage Page -34-

II.- Réalisation pratique .

2.1.- Circuit Imprimé Page -35-

2.2.- Circuit d'Implantation Page -35-

2.3.- Blindage Page -35-

CHAPITRE : V . - Application de la R.M.N en Biomedicale .

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

A.- Introduction Page -37-

B.- L' I.R.M.N Page -37-

C.- Création d'une Image Page -38-

Conclusion :

PRÉAMBULE

Le 21^{ème} siècle, est le siècle que d'aucun considère comme étant le siècle du nucléaire ou de la révolution nucléaire.

Or ce dernier terme; dans l'esprit du commun des mortels; est évocateur de mort. Cependant pour les scientifiques; le nucléaire peut aussi aider à combattre les causes de la mort; cela en aidant à leur détermination et à la préparation des diverses thérapies. Tout cela est devenu possible grâce à la RMN (ou résonance magnétique nucléaire). La RMN a été mise en évidence pour la première fois par E. PURCELL & F. BLOCH en 1946. Depuis cette date la RMN est en passe de devenir l'un des instruments privilégiés des investigations scientifiques et plus particulièrement dans le domaine médical.

Dans ce domaine particulier, la RMN ou l'imagerie par RMN (IRMN). Est présentée comme étant une autre façon, de voir l'intérieur du corps humain pour en explorer les différents organes.

L'IRMN permet d'éviter le recours à l'introduction, dans le corps humains; de produits de contraste; comme était le cas dans les méthodes traditionnelles.

Ce qui élimine les désagréments causés aux différents patients qui restent cependant, soumis à la seule contrainte d'un champ magnétique dont les risques semblent négligeables.

En médecine; la RMN joue un rôle primordial parcequ'elle permet de voir ce qui ne pouvait être vu, avant son apparition. Aussi seule la RMN peut nous montrer la moelle épinière par exemple.

La RMN est aussi utilisée en spectroscopie afin de préciser la structure des grosses molécules organiques, puis d'étudier le déroulement des

réactions biochimiques notamment au niveau du métabolisme directement chez les êtres vivants.

La RMN permet pour les solides soit de localiser les atomes légers, soit d'évaluer les champs internes. Elle permet également d'identifier les différents groupes fonctionnels en chimie organiques.

Dans notre étude nous allons utiliser la RMN pour la mesure des temps de relaxation, paramètres qui dépendent de la structure et de l'état du corps considéré.

Dans cet ouvrage nous pensons tout avoir donné sur ce qui est qu'un spectromètre à résonance magnétique nucléaire à impulsions.

CHAPITRE

I

INTRODUCTION

A LA

RESONNANCE

MAGNETIQUE

NUCLEAIRE

I GENERALITES

I- LE magnetisme nucleaire ;

Chimiquement on definit le magnetisme nucleaire comme soit, une theorie selon laquelle certaines molecules organiques ne peuvent etre representees que par un ensemble de structures differentes au moyen de la localisation des electrons.

Ou bien c' est une methode d'analyse spectroscopique fondee sur les transitions induites entre les niveaux d'energies magnetique d'un atome ; d' un ion et d'une molecule .

Ainsi le moment nucleaire cree peut provenir soit des noyaux ; soit des electrons ; d'ou la representation suivante : $X \frac{A}{Z}$

X: represente la nature de compose chimique (oxygene(o);carbone(c);hydrogene (H)).

A: definit le nombre de nucleons = nombre de protons & neutrons .

Z: represente le nombre de protons = numero atomique = nombre d' electrons .

Selon la theorie de PAULI ; comme les electrons ; protons et neutrons (ou nucleons) tournent sur eux meme , on designe par le terme — SPINE — ou tournoiment l' ensemble des proprietes qui resultent de cette rotation .

Ainsi protons et neutrons ont donc des moments cinetiques de spin. Les moments elementaires se decomposent en une resultante a laquelle est associee un nombre quantique de spin nucleaire total I .

Certains noyaux d' atomes dont le spin I est different de zero (I diff 0) sont doues de proprietes magnetiques . Places dans un champ magnetique externe \vec{H}^0 tous vont precessionner autour de \vec{H}^0 a la vitesse de LARMOR & acqueriront une energie W . Pour mieux comprendre cela nous allons adopter l'hypothese suivante: soient les regles suivantes pour le nombre quantique de spin I .

Si le nombre de masse A du noyau est impair; I est un demi entier ($\frac{I}{2}$) .

si le numero atomique Z du noyau et le nombre de masse A sont pairs I , est nul. Ce qui implique que le phenimene de RMN n' aura pas lieu. Si A est pair et Z impair; I est entier.

2) Rapport gyromagnetique

Le Rapport gyromagnetique est defini comme etant le rapport du moment magnetique \vec{M} sur le moment Cinetique $\vec{\sigma}$ c'est a dire : $\gamma = \frac{\vec{M}}{\vec{\sigma}}$.

Le spin nucleaire qui est la rotation du noyau sur lui même entraine un moment Cinetique de spin $\vec{\sigma}$, qui d'apres la theorie de la mecanique ondulatoire est :

$$\sigma = \hbar (I(I+1))^{1/2} \quad \text{ou} \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

h : constante de planck :

le noyau est constitue de protons de charges positives et de neutrons de charges nulles ; La rotation de la charge positive du proton cree un moment magnetique de spin

$$\vec{M} = \gamma \vec{\sigma} \quad \text{tq} \quad |\vec{M}| = \gamma \hbar (I(I+1))^{1/2}.$$

3) Noyau dans un champ magnetique exterieur

3.1 Precession de larmor.

Dans un champ magnetique uniforme \vec{H}_0 ; un moment magnetique \vec{M} subit des forces moyennes dont le couple resultant est : $\vec{C} = \vec{M} \wedge \vec{H}_0$.

Soit G le centre de gravite choisi comme origine du noyau : Le theoreme du moment Cinetique s'ecrit : $\frac{d\vec{\sigma}}{dt} = \vec{C} = \vec{M} \wedge \vec{H}_0$ or $\vec{\sigma} = \frac{\vec{M}}{\gamma}$ Donc

$$\frac{d\vec{\sigma}}{dt} = \frac{1}{\gamma} \frac{d\vec{M}}{dt} = \vec{\mu} \wedge \vec{H}_0 \quad \text{d'ou} \quad \frac{d\vec{M}}{dt} = \gamma \vec{M} \wedge \vec{H}_0 = -\gamma \vec{H}_0 \wedge \vec{M} \quad \text{en posant}$$

$$\vec{\omega}_0 = -\gamma \vec{H}_0 \quad \text{On Aboutit à :} \quad \frac{d\vec{M}}{dt} = \vec{\omega}_0 \wedge \vec{M}$$

qui est l'equation de Bloch.

Notre raisonnement est base sur un grand nombre de noyaux; en general.

Soit M le vecteur Aimantation qui est la somme des moments magnetiques de tous les noyaux par unite de volume ; L'equation de BLOCH devient . $\frac{d\vec{M}}{dt} = \vec{\omega}_0 \wedge \vec{M}$

LE champ \vec{H}_0 fait subir à \vec{M} un mouvement de rotation qui est defini par le Vecteur rotation $\vec{\omega}_0 = -\gamma \vec{H}_0$, or $\omega_0 = 2\pi f_0$ avec: f_0 : frequence de LARMOR

Ce mouvement de \vec{M} est appele precession de Larmor . En conclusion l' Action du champ \vec{H}_0 est de faire tourner autour de lui le gyroscope aimante que constitue le systeme de noyau voir fig (I)

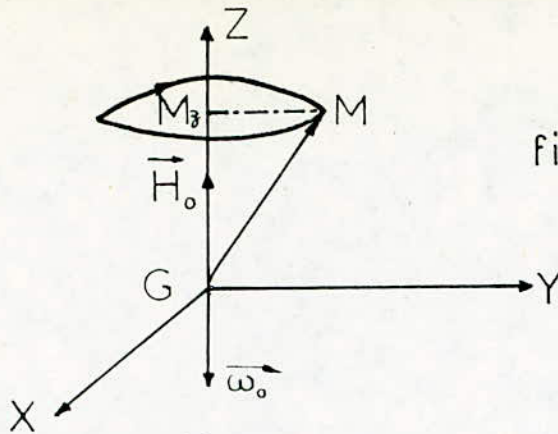
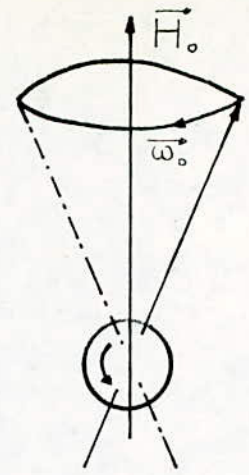


fig -1-



3-2 Conception quantique .

Le nucleon peut etre assimilé a un dipole magnétique .

Les moments magnetiques associes aux nucleons s'orientent , en presence d' un champ magnetique exterieur H_0 , de maniere parallele ou anti parallele a cause de la distribution naturelle dite , distribution de BOLTZMANN .

L' ORIENTATION parallele etant la plus probable .

Les moments magnetiques ont un mouvement de precession autour de la direction du champ exterieur H_0 .

IL y a levée de degenerescence des niveaux d' energie si un noyau de spin I est different de zero . Ceci signifie que le moment cinétique de spin ne peut prendre qu'un nombre d'orientation tq:

$$\overrightarrow{\text{Proj}} \sigma_{H_0} = m_I \hbar \text{ ou } m_I : \text{ nombre quantique magnetique}$$

$$m_I = -I, -I+1, -I+2, \dots, I-2, I-1, I \quad \text{d'on ne peut prendre que } 2I+1$$

Le noyau tourne sur lui meme ; les charges qu'il contient ; aussi . Tout cela crée un moment magnetique $\vec{M} = \gamma \vec{\sigma}$ / $|\vec{M}| = \gamma \hbar (I(I+1))^{1/2}$

Le vecteur moment magnetique \vec{M} etant quantifie par suite de la quantification du moment cinétique $\vec{\sigma}$; sa projection sera donc:

$$\overrightarrow{\text{Proj}} \vec{M}_{H_0} = \mu_N = m_I \cdot \gamma \cdot \hbar .$$

soit les deux valeurs de μ_N pour le cas de l' hydrogene ena $I = \frac{1}{2}$

$$|\vec{M}| = G \mu_N (I(I+1))^{1/2} \text{ avec: } G \mu_N = \gamma \hbar ; \mu_N = m_I \cdot G \mu_N \text{ et } \gamma = \frac{G \mu_N}{\hbar}$$

G etant le facteur de LANDÉ .

μ_N : c'est le magneton nucleaire .

$G \mu_N$ unite de moment magnetique nucleaire .

voir fig (2)

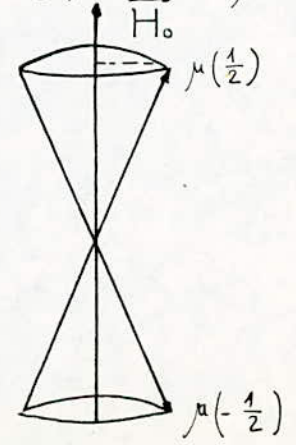


fig-2-

4. Energie d' Interaction entre moment magnetique et champ exterieur.

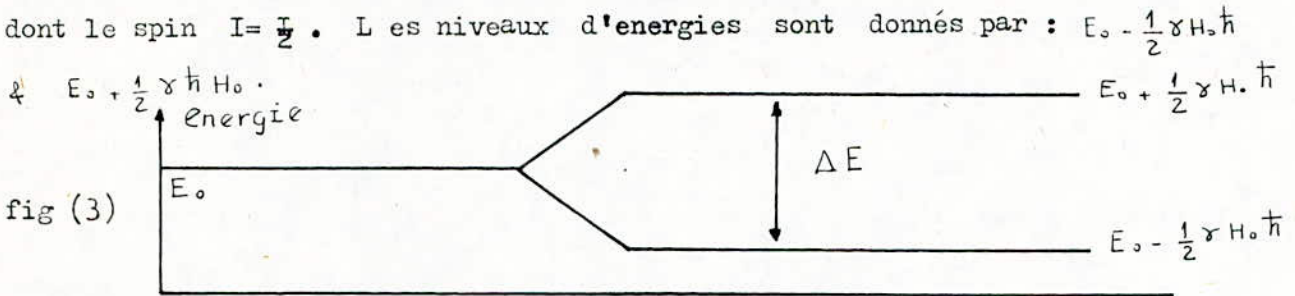
L' Energie d' un système ayant un moment magnetique \vec{M} dans un champ magnetique \vec{H}_0 est donnée par la relation W (scalaire) = $-\vec{M} \cdot \vec{H}_0 + E_0$.
 ou E_0 est L' energie qu'avait le noyau en l' Absence du champ H_0 et le moment magnetique du noyau relie au spin par la relation $\vec{M} = \gamma \vec{I}$ & γ :
 etant toujours le rapport gyromagnetique. La relation precedente de W s'ecrira donc.

$$W = -\gamma \vec{I} \cdot \vec{H}_0 + E_0 = E_0 - \gamma H_0 I_z$$

I_z etant la projection de \vec{I} sur \vec{H}_0 d'apres la mecanique quantique I_z peut prendre $2I+1$ Valeurs possible : $-I\hbar \leq I_z \leq I\hbar$. S'ensuit que l'energie W peut prendre la suite des valeurs

$$\begin{aligned} & E_0 - \gamma H_0 I \hbar \\ & \vdots \\ & E_0 + \gamma H_0 I \hbar \end{aligned} \quad \text{voir fig (3)}$$

Pour Cela nous prendrons l' exemple d'un noyau d'atome d'hydrogene dont le spin $I = \frac{1}{2}$. Les niveaux d'energies sont donnés par :



En Absence du champ H_0 .

EN presence de H_0 .

--- Levée de dégénérescence des niveaux Zeeman dans un champ magnétique pour un noyau de spin $I = \frac{1}{2}$.

Remarque : Les noyaux dont le spin est supérieur à $I/2$ ont un moment quadripolaire^{non} nul qui complique le phénomène de la RMN.

Cependant dans notre étude on s'Interesse surtout aux noyaux dont le spin $I = 1/2$. Ceci signifie que les spins des différents noyaux vont s'orienter dans $2I + 1$ directions.

Pour notre Cas ; on $I = 1/2$, les spins des noyaux s'orienteront dans deux (02) directions : une direction parallèle du champ \vec{H}_0 ($I_z > 0$) et une direction antiparallèle du champ \vec{H}_0 .

X De la figure (3) on a : $\Delta E = \gamma \hbar H_0 = \gamma \frac{h}{2\pi} \cdot H_0$.

la difference d'energie qui est la passage du niveau superieur au niveau inferieur ; correspond au travail qu'il faut fournir a un proton pour le retourner dans un champ magnetique .

Si le proton absorbe un quantum d'energie $\Delta W = h\nu_0$ egal à ΔE , le proton passera de l'Etat $m_I = +\frac{1}{2}$ à $m_I = -\frac{1}{2}$. En Ce cas on dit que les conditions de resonance sont réalisées .

Cette condition est de la RMN et $\omega_0 = 2\pi\nu_0$ qui est la vitesse angulaire $\omega_0 = \gamma H_0$.

En pratique la condition de resonance est observee grace a un champ magnetique H_1 tournant ; de faible Intensite ; de frequence ν_0 et perpendiculaire a $\vec{\mu}_H$.

En Effet pour qu'une onde electromagnetique libere un quantum d'energie , il faut qu'elle soit polarisée de façon circulaire lorsque H_1 tourne avec une pulsation ω_1 differente de ω_0 , l'action de H_1 sur M est globalement nulle. Par contre si ω_1 tend vers ω_0 , le champ tournant \vec{H}_1 est en concordance de phase avec \vec{M} et exerce un couple de torsions tendant a renverser \vec{M} , ET MH devient $-MH$

voir fig (4) :

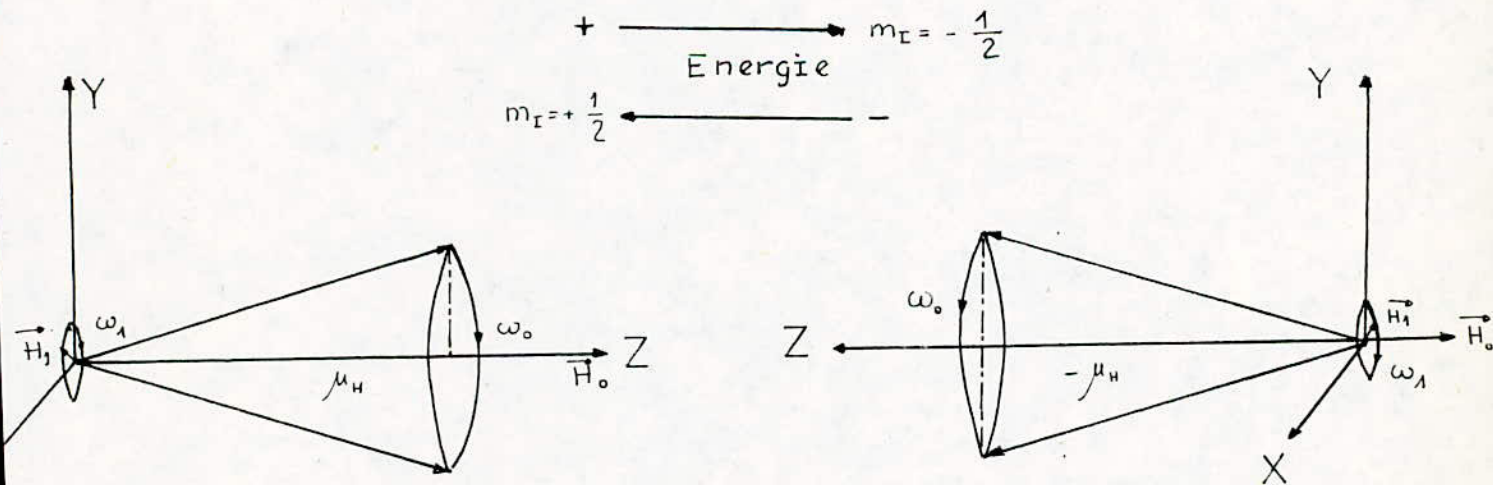


fig-4-

II .1- PROCESSUS DE RELAXATION .

Au bout d'un certain temps , le vecteur aimantation \vec{M} prend la direction de H_0 . La composante longitudinale M_z tend vers une valeur finale M_0 , et la composante transversale disparaît .

D'après la théorie de "BLOCH" ; on peut ; pour les liquides ; décrire l'évolution de M_z vers M_0 en introduisant dans : $\frac{d\vec{M}}{dt} = \vec{\omega}_0 \wedge \vec{M}$

Le terme : $-\frac{M_z - M_0}{T_1} = \frac{dM_z}{dt}$ (le terme) et pour les deux autres composantes les termes $\frac{dM_x}{dt} = -\frac{M_x}{T_2}$ & $\frac{dM_y}{dt} = -\frac{M_y}{T_2}$ où T_1 est le temps de relaxation longitudinale et T_2 le temps de relaxation transversale . Ce phénomène d'évolution progressive est appelé relaxation. Quant à l'énergie d'aimantation \vec{M} dans le champ magnétique \vec{H}_0 , elle est donnée par la formule : $W = \vec{M} \cdot \vec{H}_0 = -M_z \cdot H_0$.

Lorsque M_z varie ; l'énergie varie et s'échange entre l'aimantation \vec{M} et le milieu dans lequel baigne le système de spins , à savoir le "réseau" . La vitesse de ces échanges d'énergie est commandée par le temps de relaxation T_1 appelé également "temps de relaxation spin - réseau" . Cette énergie n'est , cependant , pas affectée par une variation de

M_x ou M_y .

Donc quand M_z varie ; l'énergie totale du système de spin reste la même et son échange se fait uniquement entre les spins du système .

C'est le temps de relaxation transversale . T_2 qui rend compte justement de ces interactions . Et c'est pour cette raison qu'on l'appelle "temps de relaxation spin-spin" pour le distinguer de T_1 .

2- Mesure des temps de relaxation :

L'Analyse d'un spectre de RMN repose essentiellement sur (03) trois paramètres : - L'Amplitude du signal de Résonance .

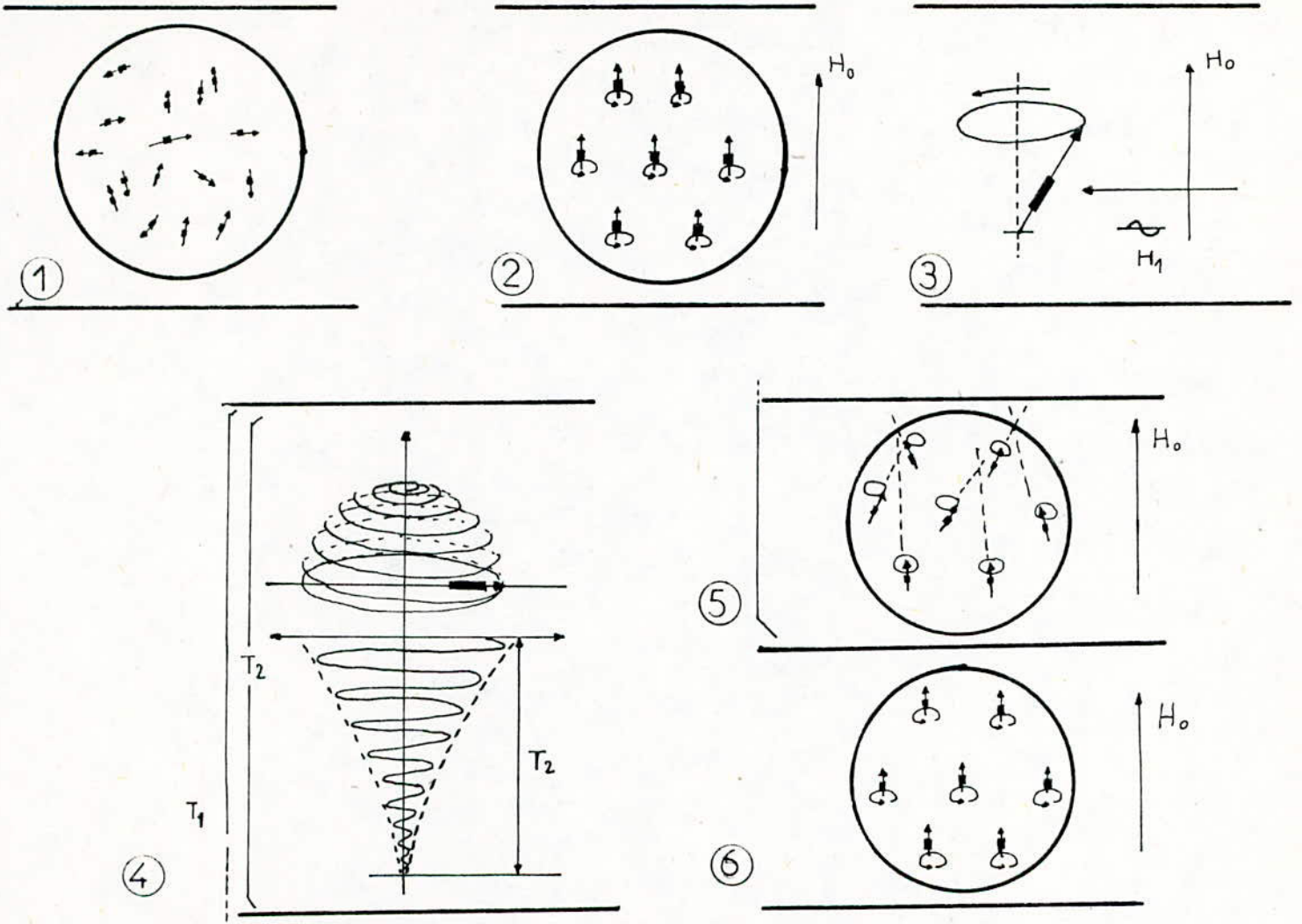
- La Largeur de la raie

- Le déplacement chimique

L'Amplitude du signal est en fonction de la densité du noyau étudié et des temps de relaxation T_1 et T_2 .

La largeur de la raie est inversement proportionnelle à T_2 .

Les temps de relaxation dépendent de la température ; du champ magnétique



- LES DIFFERENTES PHASES DE LA R M N -

- 1- Etat initial de L'echantillon . Les moments magnetiques sont desorganises . par L'agitation thermique.
- 2- Les moments magnetiques s'alignent sous l'application d'un champ directeur H_0
- 3- L'application d'un champ alternatif cree un mouvement de rotation .
- 4- La perte de coherence du mouvement de rotation des moments magnetiques entraine une baisse exponcielle du signal .
- 5- Au cours de cette periode les mouvements magnetiques vont se realignesautour du champ directeur H_0 apres l'Impulsion hyperfrequance .
- 6- Les moments magnetiques sont a nouveau reorganises autour de H_0 .

et de la mobilité du noyau dans la structure chimique dans laquelle il se trouve.

Dans les solides T_1 et T_2 sont généralement Courts et le rapport T_2/T_1 est faible ($\ll 1$).

Le signal de RMN est donc large et peu intense. SA detection reste souvent tres difficile.

Dans les liquides T_1 et T_2 , au contraire, generalement longs.

le rapport $T_2/T_1 = 1$.

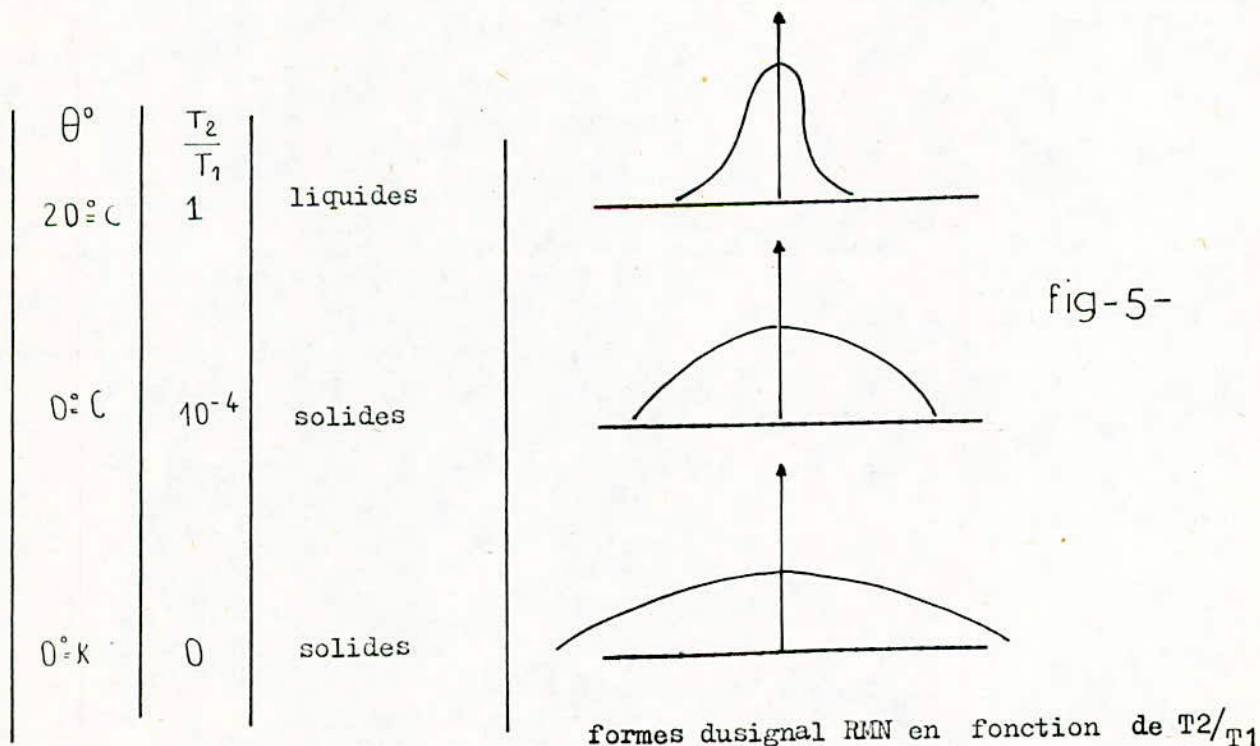
Le signal de RMN est etroit et intense et par là ; facilement detectable:

L'Influence de la viscosité du milieu sur le rapport T_2/T_1 et, par la suite ; sur la forme du signal de resonance ; ressort des valeurs indiquées par les protons de l'eau à diverses ^{températures} temporairement ainsi dans les tissus vivants il existe deux types principaux d'eau.

voir fig (05).

- l'eau libre desorganisée pour laquelle $T_2/T_1 = 1$

- L'eau liée partiellement organisée pour laquelle les temps de relaxation diminuent et le rapport T_2/T_1 inferieur à l'unité.



Ovant a nous ; nous nous limiterons a la mesure des temps de relaxation de certains corps tels que les liquides car ils sont courts .

2- 1 Temps de relaxation spin spin T2

pour detecter le phenomene de resonance , les solutions les plus courantes et les plus faciles sont les methodes classiques de radioelectricité . qui exploitent les propriétés d'aimantation transversale tournante, a savoir que cette composante M_T engendre aux bornes de la bobine d'excitation ; en vertu de la loi d'Induction une force electromotrice avec en plus , une variation de l'Energie contenue dans la bobine .

Le flux induit dans la bobine de reception est proportionnel a la composante transverse de l'aimantation $M_T = M_0 e^{-t/T_2}$

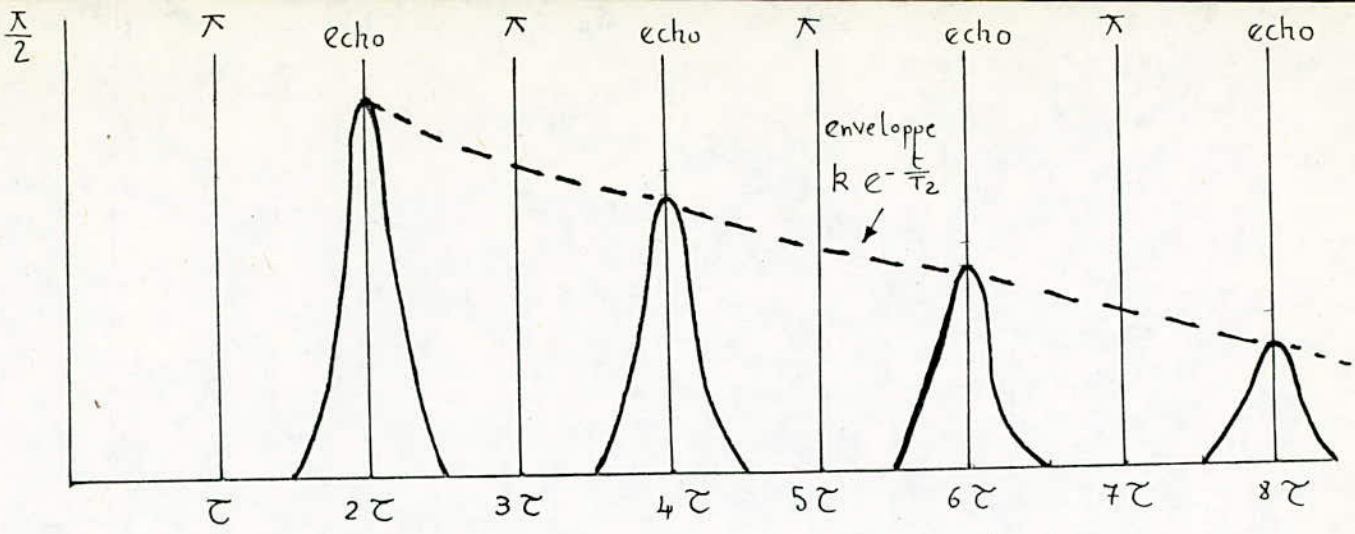
La décroissance de ce signal nous donnerait T_2 si elle n'était pas perturbée par les interactions entre le systeme de spins et la bobine de reception on l'Inhomogénéité de M_0 . Pour surmonter cet ecueil on na recours a la technique des echos de spins .

Une serie d'Impulsions $\frac{\pi}{2}$ et π separees par un temps τ provoquait un echo au temps $T = 2\tau$ si au temps $T = 3\tau$; on cree une autre impulsion π , la condition d'Echo sera satisfaite en $T = 4\tau$ et aussi de suite. Lorsque les temps de relaxation T_1 et T_2 sont très grands, l'Amplitude des echos reste a peu pres constante . par contre quand T_1 et T_2 sont de l'ordre de 2τ , l'Amplitude des echos decroit de façon notables . Or cette décroissance ne peut etre due qu'aux Interactions entre , les spins .

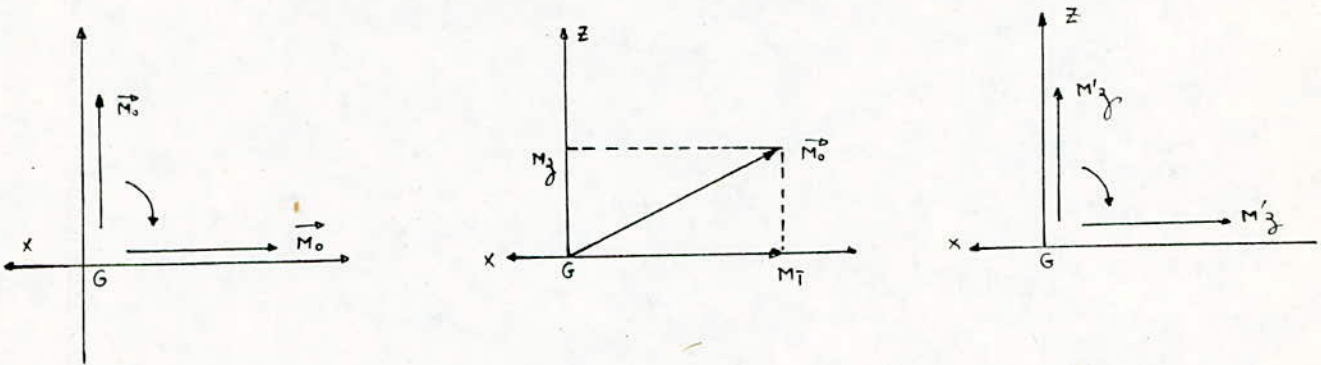
Interactions qui sont controlées par T_2 . Cette décroissance est expontielle avec une constante de temps egale a T_2 , ce qui nous donne la mesure de T_2 .

2.2 Temps de relaxation spin reseau T1 .

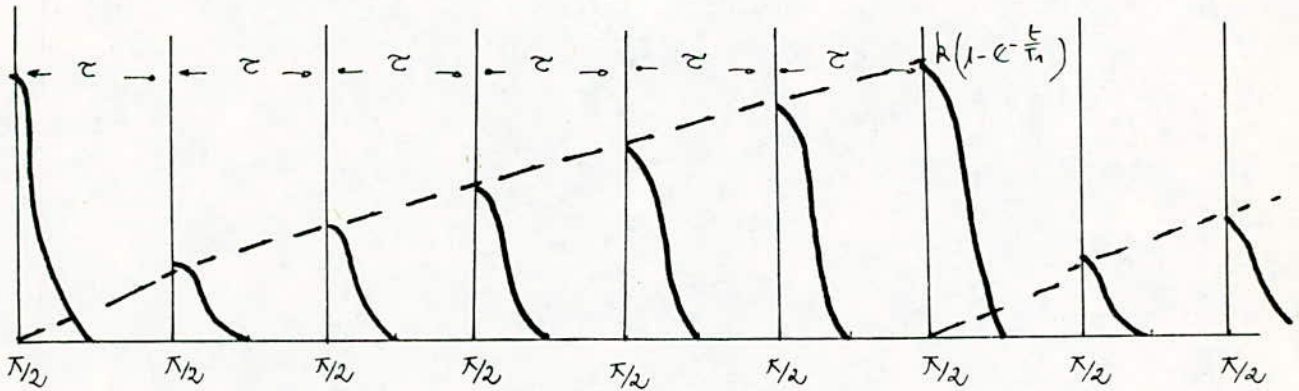
L'Etude de la relaxation spin - reseau est d'une extrême Importance dans le domaine médical . En effet , il a été constaté que les temps de relaxation spin-reseau sont considerablement élevés (jusqu'a 100% dans certains cas) dans les -



--- Enveloppe Donnant Le Temps De Relaxation S_{spin} S_{spin} T_2 ---



--- Schema Représentant La Méthode De La Saturation Progressive ---



--- Enveloppe Donnant Le Temps De Relaxation S_{spin} Réseau T_1 ---

fig-6-

tissus atteints de cancer par rapport aux tissus ^{sains} dans une même région du corps.

Pour la mesure du temps de relaxation T1 ; on utilise une méthode de saturation progressive . Elle consiste en une série d'impulsion $\frac{\pi}{2}$; la première impulsion amène $M_z = M_0$ dans le plan XGY . Ceci donne naissance à une précession de M_z autour de H_0 ; précession dont l'Amplitude initiale est M_0 . Au bout d'un laps de temps M_z devient $M'_z = M_0 (1 - e^{-\frac{t}{T_1}})$ du fait de la tendance de M_0 à revenir à sa position initiale selon GZ . La 2ème impulsion $\frac{\pi}{2}$ amènera la composante m_z dans le plan Xoy .

IL se produit à la fin de l' Impulsion une ~~deuxième~~ ^{Initiale} précession dont l'amplitude ^{est} précède M_z et ainsi de suite . Le flux recueilli dans la bobine est dû à la composante de l'aimantation qui ^{est} dirigée selon G_x (composante transversale) . Ce rôle est joué dans notre cas " est joué " respectivement par M_0 et M_z

On reconstitue ainsi point par point le graphe donnant la variation de $M_z = M_0(1 - e^{-\frac{t}{T_1}})$ en joignant les sommets des amplitudes initiales des précessions . Ce qui donne le temps de relaxation spin -réseau par la mesure de la constante de temps de la décroissance voir fig (06) .

[CHAPITRE II

SPECTROMETRE

R·M·N

A IMPULSIONS

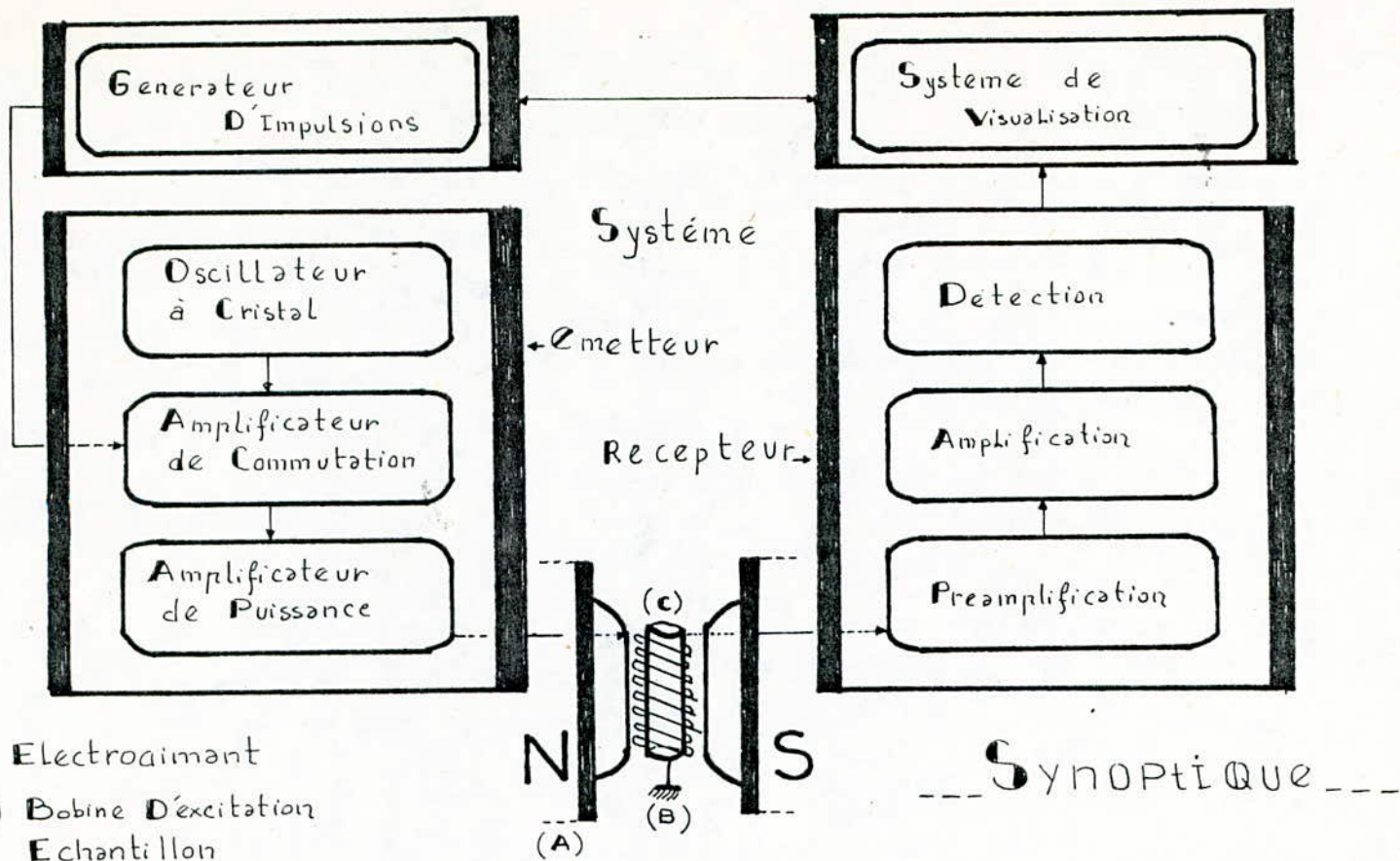
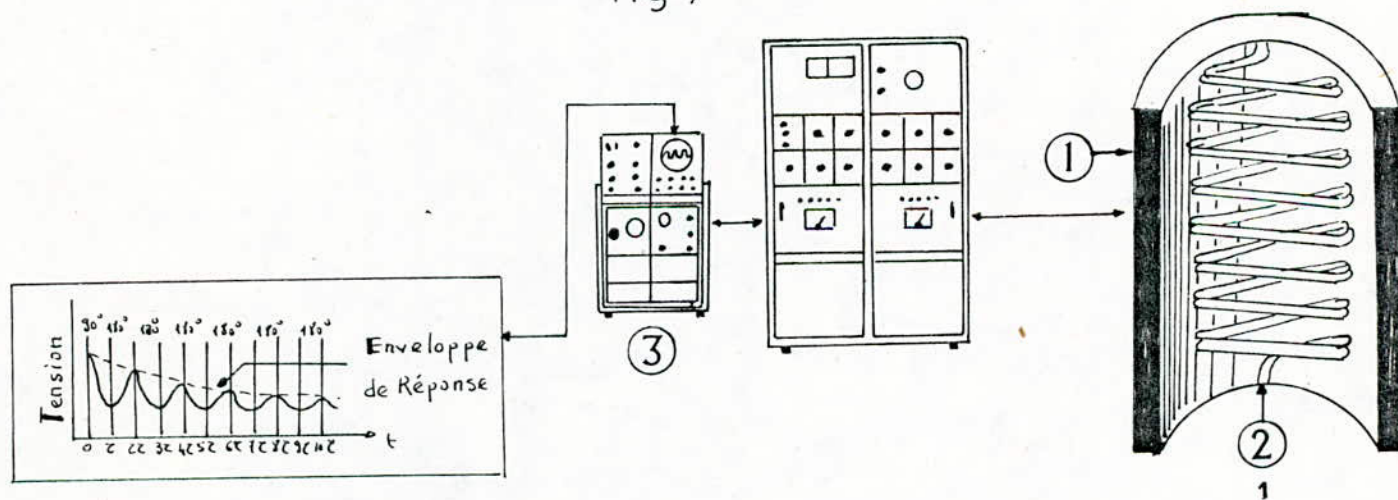


fig-7-



-- COMPOSITION D'APPAREIL D'EXPLORATION PAR R.M.N --

- 1 - Circuit magnetique du champ directeur .
- 2- Circuit d'emission du champ radiofrequence et de reception du signal RMN .
- 3 - Unite de visualisation des temps de relaxations des noyaux d'hydrogene -
(indique par la courbe placee en cartouche) .

IL nous reste a passer , maintenant d'un principe physique a un appareil operat - ionnel , c'est a dire a un veritable scanner . Ce qui n'est certes pas aise , on s'endoute . Plusieurs Technique ont cependant ete proposees .

Le principe du scanning a R . M . N , qui est l'une de ces techniques, consiste a cree~~r~~ un champ magnetique uniforme dans un volume capable de contenir le corps d'un patient .

Cette exigence est une des plus difficiles a realiser parce qu'il faut atteindre une homogeneite spatiale de 10^{-5} au minimum . Ce qui est tres superieur a ce qui est le cas pour les accelerateurs de particules .

Le signal hyperfrequence sera calcule pour etre legerement inferieur a la fre - quence de resonance pour un tel champ . Rappelons , toute fois que la frequence de resonance varie en fonction du champ applique . C'est a dire que dans une situation inferieure a la limite deux solutions se presentent a nous pour atteindre le seuil critique .

La premiere solution consisterait a monter legerement en frequence; alors que dans la seconde il faudrait augmenter la valeur du champs.

C'est cette seconde solution qui a ete adoptee a un champ magnetique fixe et homogene , il sera superpose un champ dont l'intensite varie dans l'espace . Ce dernier champ est deliberelement non homogene mais son gradient est parf - aitement connu .

Les deux champs vont s'additionner en chaque point .

En un endroit , le long d'une ligne ou d'un plan , la somme des deux champs atteindra la valeur exacte necessaire pour que les atomes d'hydrogene entrent en resonance avec le signal hyperfrequence . Ainsi seuls les atomes se trouvant dans ces conditions toutes reunies , vont entrer en R . M . N , et emettre le signal .

On pourra donc localiser parfaitement sur l'image a construire , le lieu d'ou provient le signal a 1 instant precis .

L'instant d'apres, le champ irregulier se sera legerement decale et les condi - tions de la resonance se trouveront sur la plan ou la ligne d' a cote .

On pourra ainsi poursuivre le balayage avec toutes les possibilites de l'ex - ploration tridimensionnelle qu'offrent desormes les techniques du scanning .

Une installation de scanning R . M . N Comportera . -

- L'aimant permanent assurant un champ stable dans toute l'enceinte ;
- Lelectroaimant controlant le champ a gradient spatial .
- Le systeme emetteur - recepteur hyperfrequence .
- Une horloge de synchronisation , et enfin , et surtout cela , un systeme . . .

INFORMATIQUE pour traiter les signaux et construire les images .

Ce qui fait que cette technique n'est applicable qu'avec le recours a un ordinateur , qui en assure le pilotage .

Le but de notre travail , n'est pas de realiser un scanning a R . M . N capable concurrencer ceux qui sont sur le marche . Mais de realiser un dispositif experimental qui est le spectrometre a impulsions, avec lequel on doit pouvoir mettre en oeuvre les interactions du champ electromagnetique et du proton pour traiter le signal qui vehicule l' information , en tenant compte de tous les phenomenes .

1) - Composition du spectrometre R . M . N a impulsions :

Le spectrometre R-M-N a impulsions est constitue de :

- 1 - un programmeur d'impulsions .
- 2 - un systeme emetteur .
- 3 - un electro - aimant .
- 4 - une bobine d' excitation .
- 5 - un systeme recepteur .
- 6 - un systeme de visualisation ou oscilloscope (voir fig - 7 -).

2) - Principe de fonctionnement :

Le systeme emetteur , en concordance avec le programmeur d'impulsions , delivre a sa sortie des impulsions radiofrequences .

Ce train d'ondes va exciter l' echantillon a etudier . Cet echantillon etant plonge dans un bain de champ magnetique cree par l'electroaimant et entoure par une bobine d'excitation .

Pendant la duree (ON) le systeme recepteur est sature , tandis que la bobine d'excitation recueille le signal issu de la reponse , en frequence des noyaux , de l'echantillon a etudier . Des la transition ON - OFF , ou le d"but de la periode OFF ; le systeme emetteur ne delivre plus de signal radiofre - quence et recepteur passe au fonctionnement normal et recueille le signal issu de la bobine d'excitation .

La courbe enveloppe du signal , etant extraite sera alors visualisee sur un oscilloscope qui est lui , en synchronisation parfaite avec le programmeur d'impulsions .

3) - Description des differents composant du spectrometre R . M . N a impulsions .

3- 1 Le programmeur d' impulsions :

IL sert a reguler la sortie des impulsions $\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}, \pi$ qui sont delivrees selon les besoins de chaque cas .(Elles sont par la suite controlees)

3 - 2 systeme emetteur .

Le systeme emetteur est constitue d'un etage oscillateur radiofrequence dont la stabilite influe beaucoup sur le systeme emetteur .

Pour cela on utilise un oscillateur a quartz qui repond aux conditions de travail . A l'etage suivant , on a un amplificateur de commutation suivi d'un etage de puissance .

La plus importante caracteristique que doit remplir cet etage amplificateur est que la duree OFF du signal soit le plus faible possible .

De telle sorte que le rapport entre les 2 niveaux (ON et OFF) soit le plus eleve; (En effet le signal R . M . N de L'ordre de q.q.s dizaines de mv qu'on recollectera pendant la periode OFF risque d'etre noye , par les fuites RF ; qu'on obtient durant la periode OFF) ; de meme les salves RF arrivant a l'echantillon doivent presenter des fronts raids , cela pour que le signal de precession soit mis en evidence le systeme emetteur se termine par un etage de liaison qui realise l'adaptation d'impedance et empeche le signal induit par l'echantillon de passer dans l'emetteur pendant la periode OFF .

3 -3 L'electro aimant :

L'electro - aimant est un element essentiel dans le spectrometre R M N a impulsions . Il sert a produire un champ statique H_0 . Le signal RMN recueilli aux bornes de la bobine d'excitation etant proportionnel a H_0 , il est tres interessant de travailler avec un champ magnetique H_0 eleve , stable dans le temps et tres homogene dans tout L'espace entourant l'echantillon .

En pratique , sont utilises des electroaimants dont le diametre des pieces polaires est compris entre 150 mm et 250 mm et l'entrefer compris entre 15 et 25 mm . Pour assurer un bon parallelisme ; les pieces polaires sont garnies de calottes ajustables .

Pour avoir la stabilite dans le temps , l'electroaimant est alimente a partir d'un generateur de courant constant (delivrant des courants allant jusqu'a 10 A pour des champs magnetiques de quelques K GAUSS) . Qui est maintenu a une temperature constante par un systeme de refroidissement .

3- 4 BOBINE D'excitation :

Cette bobine alimentee par des salves sinusoidales radiofrequences venant de l'emetteur , qui cree un champ tournant H_1 polarisant l'echantillon , ce champ sera ...

Coupe pendant la transition OFF . La meme bobine accordee a la frequence de resonance des noyaux sert alors a recueillir le signal .

La bobine d'excitation est accordee a la bonne frequence par un condensateur C qui est mis en parallele ; pour avoir un bon rapport signal sur bruit aux bornes de la bobine d'excitation .

Cette derniere doit presenter un coefficient de qualite eleve .

3 - 5 : Systeme recepteur :

Pendant la periode OFF , des salves RF attaquent l'echantillon , c'est le systeme recepteur qui recueille et amplifie en tension le signal de precession libre ; puis par une detection il extrait l'enveloppe du signal . pendant la transition ON ; le recepteur est sature Alors que durant la transition OFF le syteme recepteur reprend son fonctionnement normal et ça le plus rapidement possible (q. c. q μ s) ce qui lui permet de recevoir le signal de precession libre a la fin de l'impulsion R - F quil'a sature .

3 - 6 : Systeme de visualisation :

Pour cela on utilisera un oscilloscope a memoire qui repond bien aux conditions du spectrometre a impulsions . Pour ce faire il est mis en synchronisation parfaite avec le programmeur d'impulsions et il constitue par la suite un bon systeme de visualisation de la decroissance du signal de precession libre qui est memorise avant de ressortir sur table traçante .

CHAPITRE III

SYSTEME

ELECTROAIMANT

& BOBINE

D'EXCITATION

A: Systeme Electroaimant

1 - Introduction .

L'electroaimant constitue l'une des parties essentielles d'un appareil utilise dans les diagnostics fondees sur la R.M.N . En effet il a pour but la creation du champ magnetique dans lequel baignent les echantillons a etudier . Or nous savons que la R.M.N ne saurait etre possible sans l'existence d'un champ magnetique .

Un electroaimant comporte un circuit electrique ou inducteur , produisant le champ magnetique et un circuit magnetique .

Il existe trois (03) types d'electroaimants . Et cette classification depend en realite du but vise par l'utilisation de l'electoaimant .

- (1)- Electroaimants dont le but est de creer une forte induction dans un entrefer comme c'est le cas pour les generateurs et les moteurs .
- (2)- Electroaimants qui permettent de deplacer des pieces (ou armatures) .
- (3)- Electroaimants a attraction durable qui fonctionnent comme les precedents a la seule difference que l'attraction sur l'armature dure plus longtemps .

Il faut signaler que l'Electroaimant est egalement utilise dans les recherches physiques necessitant de grandes inductions ; Comme c'est le cas de celui necessaire a notre etude . Et l'Importance de l'Electroaimant est telle que sa decouverte a ete comparee a celle de la machine a vapeur .

2 - Pertes de puissance active .

Dans toute machine electrique une fraction de la puissance reque se transforme en chaleur . Cette fraction constitue l'ensemble des pertes puissance active . Ces pertes se produisent dans les divers materiaux utilises pour realiser la machine: dans le fer (canalisant le flux) , dans le cuivre (canalisant les courants) et dans les isolants interposes entre le fer et le cuivre . Cependant aux frequences industrielles; les pertes de puissance active dans les isolants sont insignifiantes et par la elles peuvent etre negligees .

Par ailleurs l'entretien des flux dans les machines electrique necessite une puissance magnetisante ou reactive . Cette puissance se transforme en chaleur ; ce qui nous fait dire qu'il y a consommation de puissance reactive .

2- 1 . Pertes dans le fer .

Elles sont dues a l'hysterisis et aux courants de FOUCAULT . Ces pertes sont ...

proportionnelles au volume et à la masse du fer . Pour cette raison ; elles; c'est à dire les pertes , sont exprimees en Watt par Kg .

1) - on demontre que les pertes par courant de FAUCAULT sont donnees en Watts par Kg au moyen de la formule suivante : $P_f = K_f e^2 \hat{B}^2 f^2$

B : Induction maximale s'exprime en tesla .

F : frequence en HZ .

E : epaisseur des toles en mm .

K_f : designe un coefficient d'autant plus faible que la resistivite des toles est plus grande ; Il varie de 3,5 à 17 lorsque la proportion du silicium dans le fer decroit de 4,5% à zero (0) .

L'Influence de l'epaisseur (le nombre e est eleve au carre) conduit les constructeurs à utiliser des toles aussi minces que possible .

2) - La perte d'energie par hysteresis est proportionnelle a l'aire du cycle d'hysteresis avec les toles utilisees actuellement , on exprime les pertes d'hysteresis avec les toles utilisees actuellement , on exprime les pertes par hysteresis au moyen de la formule suivante : $P_H = 10^{-2} \cdot K_H \cdot f \cdot \hat{B}^2$.

K : designe un coefficient qui depend de la qualite des toles et qui varie de 1,6 à 5 lorsque la proportion du silicium decroit de 4,5% à zero (0) .

2 - 2 Pertes dans le cuivre .

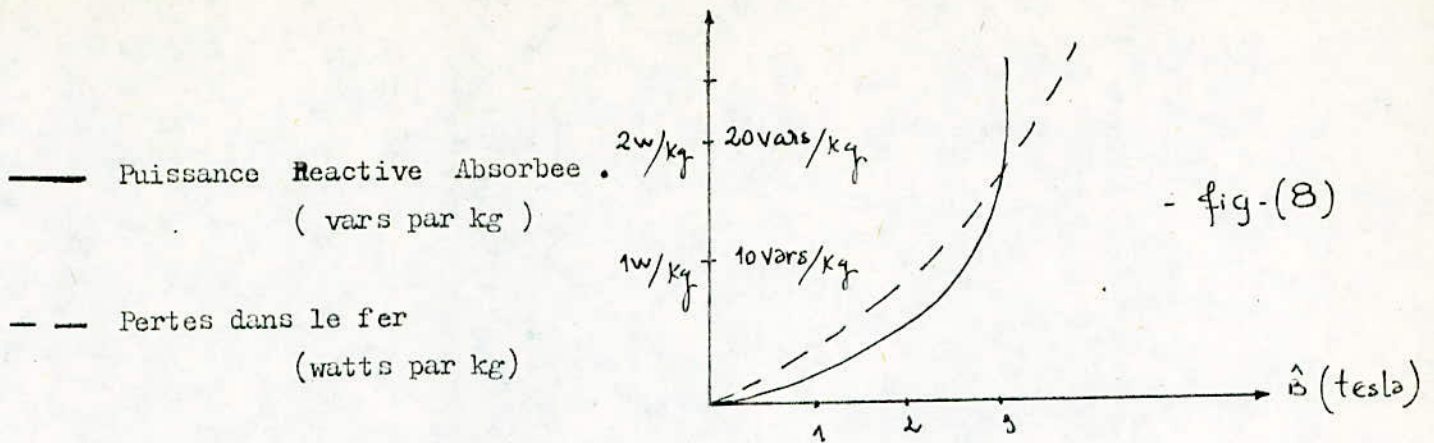
Elles sont dues à l'effet joule dans les enroulements .

Si R designe la resistance d'un enroulement ; la puissance perdue par effet joule est egale à $P_j = RI^2$, Cela si cet enroulement est traverse par un courant continu d'intensite I .

3 . Consommation de Puissance Reactive .

Cette puissance est consomnee pour l'entretien d'un flux dans un Volume V de materiau magnetique de permeabilite absolu; à la frequence avec une induction maximale \hat{B} .

Elle nous est donnee par la formule suivante : $Q = \pi \hat{B}^2 \frac{V \cdot f}{\mu}$
 Cette formule montre qu'à frequence et induction maximale constantes (μ est) la consommation de puissance reactive est $\propto f^2$. Elle montre aussi que cette consommation croit tres vite . voir fig (8) .



4 . Echauffement .

4 - 1 temperature limite .

la puissance active perdue est transformée en chaleur . Il en résulte une élévation de la température des différents organes de la machine . On sait que dès qu'un matériau est porté à une température supérieure à la température ambiante il dissipe de la chaleur dans l'atmosphère ;

La vitesse de dissipation de cette chaleur est proportionnelle à l'écart de température entre le matériau et l'Ambiance .

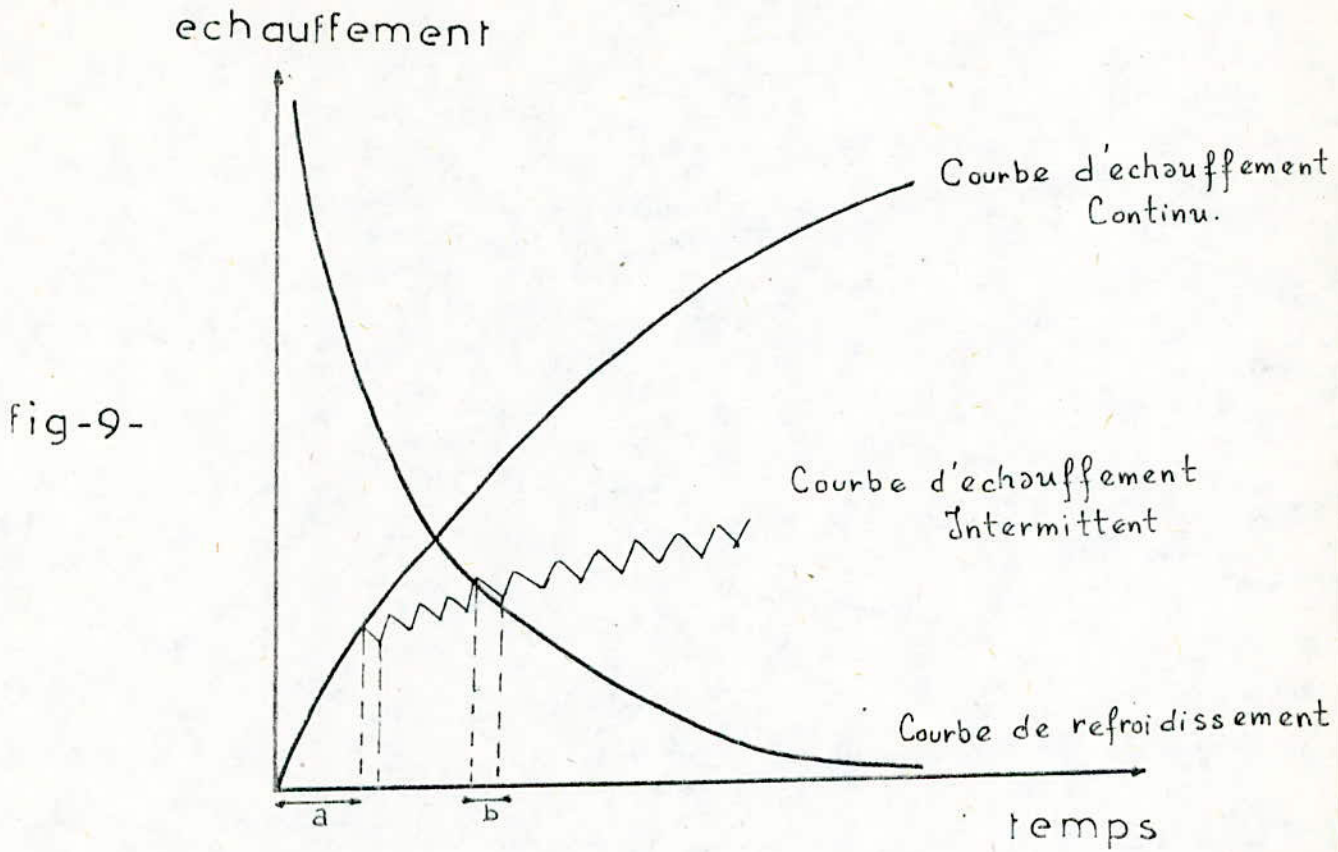
4 - 2 . Importance de la temperature limite .

Cette température limite est importante en regard aux isolants . Au delà de la température dite , critique ; tout isolant perd une partie de ses propriétés isolantes . L'isolant idéal doit avoir une température critique élevée ; être souple ; assez mince et avoir une résistance mécanique suffisante .

Dans les électroaimants ce sont les isolants organiques et organo - silicique (résines et silices) qui sont les plus utilisés .

4 - 3 . Interet du Refroidissement .

Pour remédier à cet inconvénient qu'est la perte des propriétés de l'isolant ; il est généralement recouru au refroidissement de la surface S , qui contient les enroulements par un système de pompage à eau , à circuit fermé passant du pôle nord au pôle Sud tout au long du fonctionnement de l'électroaimant . voir fig(9).

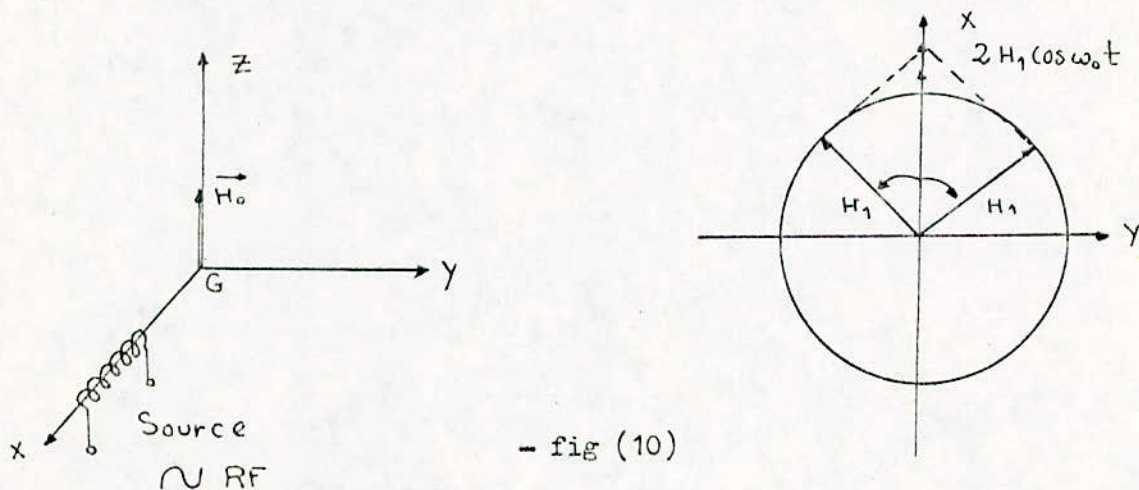


- a - Periode d'echauffement .
- b - Periode de Refroidissement .

B : BOBINE d'excitation :

1. Introduction .

Un champ tournant \vec{H}_1 perpendiculairement à \vec{H}_0 avec le vecteur de vitesse $\vec{\omega}_0 = -\gamma \vec{H}_0$ peut être obtenu simplement en disposant une bobine perpendiculairement à \vec{H}_0 suivant l'axe GX; et en l'excitant par un signal radiofréquence de pulsation ω_0 . On crée ainsi une induction sinusoidale $2B_1 \cos \omega_0 t$ qui est la somme de deux champs de module constant H et tournant dans le plan xoy avec deux vitesses égales en modules et en sens opposés. Le vecteur vitesse $\vec{\omega}_0 = -\gamma \vec{H}_0$ pourra provoquer la résonance. L'autre champ tournant avec le vecteur vitesse $-\vec{\omega}_0$ n'aura aucun effet sur l'aimantation \vec{M}_0 du milieu. voir fig (10).



- fig (10)

2. Detection des Signaux R.M.N

2 - 1 Methode de PURCELL .

Cette Methode presente une seule bobine alimentee apr un signal Radiofréquence avec une fréquence ω_0 . Lors de la résonance il ya apparition de M_x (vecteur - aimantation) . qui modifie l'Impedance de la bobine . $z = jL_0 \omega_0 + r_0$ et $z = z' = jL_0 \omega_0 + r_0$

$$\text{avec: } L = L_0 (1+x') - jx'' L_0 \quad (1) \quad ; \quad x' = \frac{1}{2} \frac{\gamma M_0 (\omega - \omega_0) T_2^2}{1 + (\omega_0 - \omega)^2 T_2^2 + \gamma^2 H_1 T_1 T_2} \quad ; \quad x'' = \frac{1}{2} \frac{\gamma M_0 T_2}{A}$$

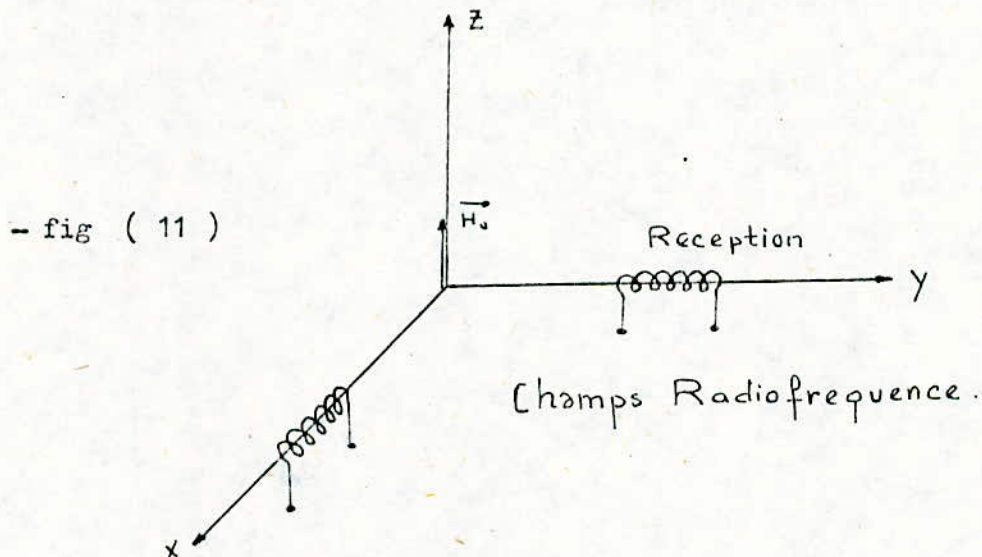
(1) . Indique un changement de l'inductance propre L_0 , et le deuxieme terme indique un changement de resistance qui entraine donc un changement du coefficient de - Qualite .

2 - 2 . Methode de BLOCH .

Dans cette Methode on désposera de deux bobines . L'une dite d'excitation ayant un axe . parallele à ox , et l'autre sera la bobine de detection . Cette dern - iere aura un axe parallele à oy . Ainsi le flux cree par le champ radiofrequence à travers la bobine receptrice est nul .

On pourra par la suite recueillir le signal pur du à l'aimantation tournante M
Pour realiser une experience de R.M.N ; on peut jouer sur deux (02) parametres c.a.d : Voir fig (11) .

- Soit conserver le champ homogene H_0 fixe et faire varie lentement la fre - quence ω_0 du champ alternatif .
- Soit Conserver la frequence $\omega = \omega_0$ et jouer sur la variation de H_0 .



CHAPITRE IV

ÉTUDE & REALISATION

DU SPECTROMETRE

R.M.N

A IMPULSIONS

I - ETUDE DU PROGRAMMEUR D'IMPULSIONS .

I - 1- ROLE .

Le programmeur d'impulsions est destiné à découper le signal radiofréquence en "salves" au rythme de ses impulsions . Ces salves constituent une sorte de pont reliant les régimes purement impulsifs et les régimes sinusoidaux entretenus .

I - 2- Schema synoptique .

Le programmeur d'impulsions est constitué : (voir fig - 12-)

- d'une source de déclenchement (hologe) = Multivibrateur astable .
- d'un monostable générateur de la première impulsion (M1)
- d'un monostable générateur de retard (M2).
- D'un monostable générateur de la deuxième impulsion (M3) .
- d'une unité de sommation des deux impulsions
- d'un étage de sortie ; adaptation d'impédance .

I- 3 - . PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU . P.I .

La source de déclenchement provoque en même temps au front montant des impulsions, le monostable M1 qui génère des impulsions $\frac{\pi}{2}$ de durée comprise entre $15 \mu s$ et $300 \mu s$ et le monostable M2 qui génère des impulsions de retard de durée τ , comprise entre 1ms et 5 secondes .

Le Monostable M2 déclenche des impulsions au front descendant .

Le Monostable M3, avec un retard $\tau - \frac{\pi}{2}$ génère des impulsions π de durée comprise entre $15 \mu s$ et $300 \mu s$.

Les impulsions issues de M1 et M3 sont alors, additionnées grâce aux deux (02) portes NOR, N1 et N2 .

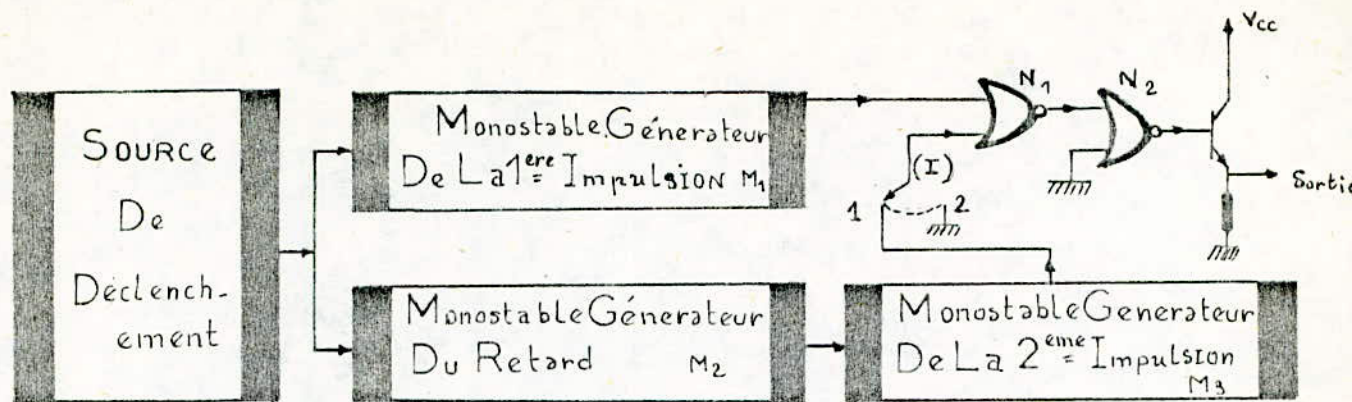
Le signal ainsi obtenu est appliqué à un étage suiveur adaptateur d'impédance. A l'aide de l'interrupteur I on a la possibilité d'avoir soit un train d'impulsion $\frac{\pi}{2}$ soit des séquences $\frac{\pi}{2} \pi$: (voir fig - I3) .

I - 4 . Présentation des circuits intégrés digitaux utilisés dans le programmeur d'impulsions et leur applications.

I-4-1 IC .NE. 555

I-4-1-1 Présentation :

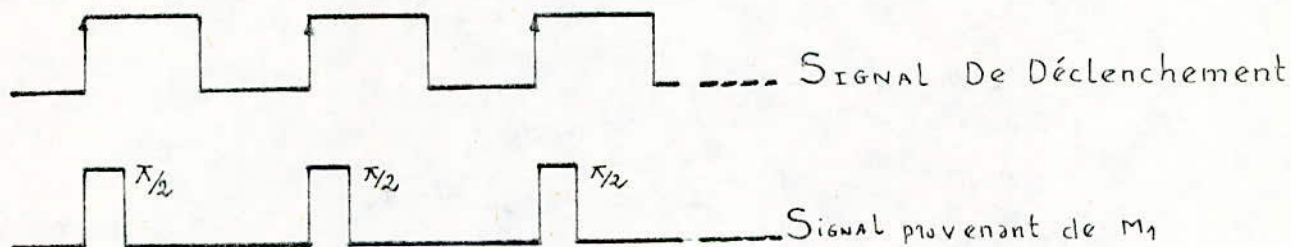
C'est un circuit intégré comportant huit (08) pins dont les applications sont innombrables en astable et en monostable . Monté comme c'est indiqué en fig (I4-) le NE va osciller de lui-même (sans déclenchement) . Il fournit en sortie (Pin 3) des impulsions carrées dont la durée et la période, ...



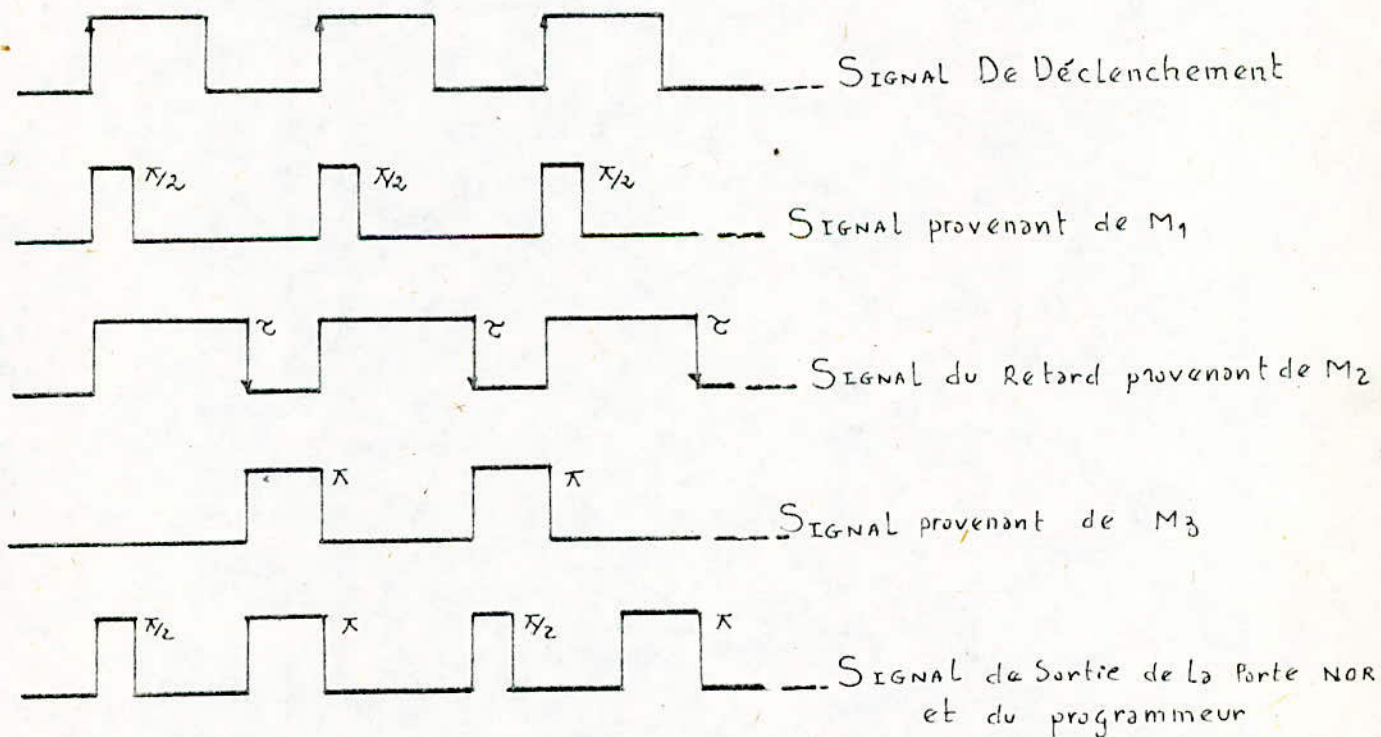
--- Synoptique --- fig (12)

I en POSITION .2.

fig-12-



I en POSITION -1.



--- fig (13) --- fig-13-

periode , dependant de R1, R2 et C ; et dont L' amplitude sera sensiblement egale a Vcc

I-4-1-2 . Principe de fonctionnement .

Des la mise sous tension ; la Pin 03 est au niveau haut pendant ce temps ; on charge le condensateur C a travers R1 et R2 . Lorsque la tension aux bornes de C atteint les 2/3 de Vcc , un detecteur de seuil entraine le basculement de la sortie 03 au niveau bas .

Alors C se decharge a travers R2 . Quand la tension aux bornes de C atteint le 1/3 de Vcc , le detecteur de seuil (Pin 06) fait basculer la sortie au niveau haut . C se recharge a nouveau jusqu'aux 2/3 de Vcc et ainsi de suite.

Le diagramme de fonctionnement est represente par la fig 15 .

I - 4 - 1 - 3 . Caracteristiques du signal de sortie

I - 4 - 1 - 3 - 1 . Periode Pour T1

$$V(t) = (V_i - V_f) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + V_f, \quad V(t) = \left(\frac{1}{3}V_{cc} - V_{cc}\right) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + V_{cc}$$

$$\text{pour } t = t_1 ; \quad V(t_1) = \frac{2}{3}V_{cc}$$

$$\frac{2}{3}V_{cc} = -\frac{2}{3}V_{cc} \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) + V_{cc} \quad \& \quad t_1 = \tau \ln 2 \quad \text{avec } \tau = (R_1 + R_2)C$$

$$\text{pour } t = t_2 ; \quad V(t_2) = \frac{1}{3}V_{cc}$$

$$t_2 = \tau' \ln 2 \quad \text{avec } \tau' = R_2 C$$

$$\text{d'où } T = t_1 + t_2 \implies \underline{T = (R_1 + 2R_2)C \ln 2.}$$

I-4-1-3-2 . Rapport cyclique .

C'est le rapport de la duree du niveau haut sur la periode t; q :

$\beta = \frac{t_1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$ et $\beta < 1$. Ce rapport est exprime en % . La variation d'un des parametres R1 ou R2 entraine celle du rapport cyclique . La determination de R1 et R2 ; pour un rapport cyclique donne ; se fait a l'aide de diagrammes.

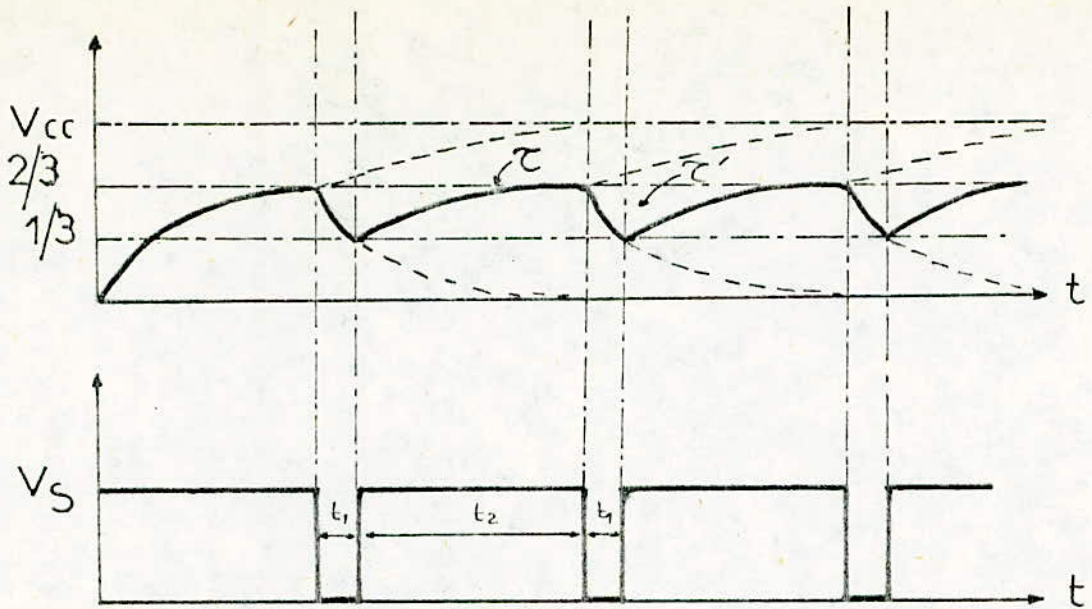
I - 4 - 2 . I C . SN 74 I2I

I - 4 - 2 - 1 Presentation .

Le SN 74 I2I est un circuit integre , de haute performance , a 14 pins dans la serie T T I , il est utilise comme multivibrateur monostable -

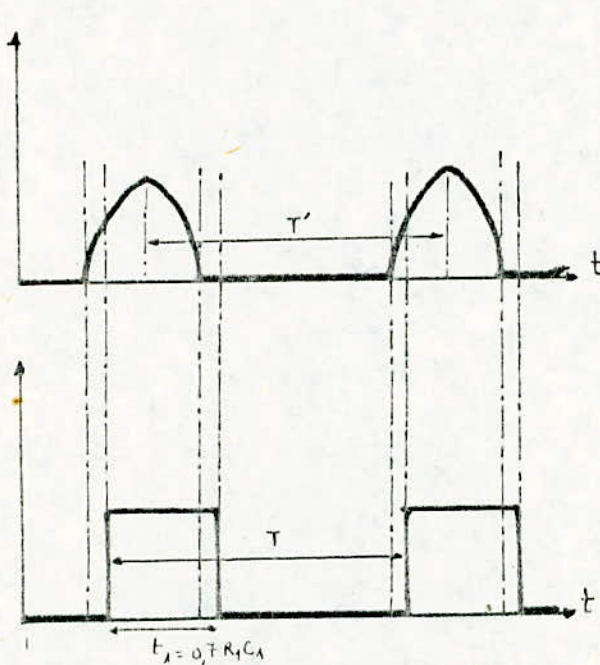
(voir fig.16-) . Les Pins 02 , 08 , I2 , I3 , ne sont pas utilisees (N C) . La Pin I4 est utilisee comme entree d'alimentation . La Pin 07 est reliee a la masse . (GND) . Sur le marche quatre (04) types de SN sont disponibles :

Le SN 54 I2I (J,W) ; Le SN 54 L I2I (J,T) ; Le SN 74 121 (J,N) et le SN 74 L 121 (J,N) .

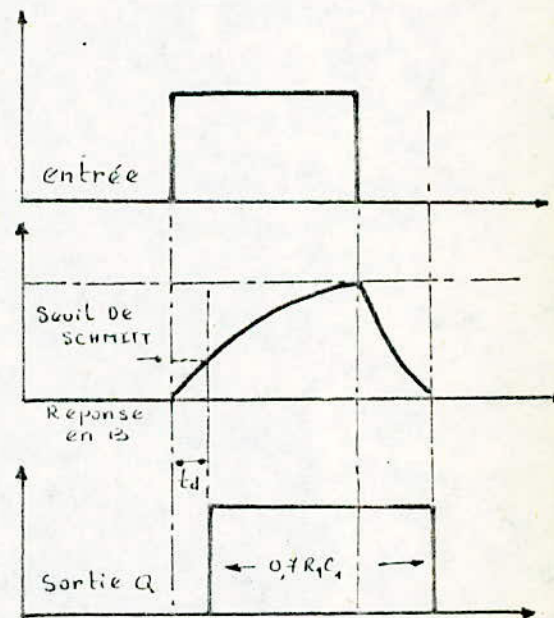


Chronogrammes Du IC NE 555

fig-15-



Fonctionnement en Monostable Simple.



Fonctionnement en Monostable avec un Retard à l'entrée

Chronogrammes Du IC SN 74121

fig-17-

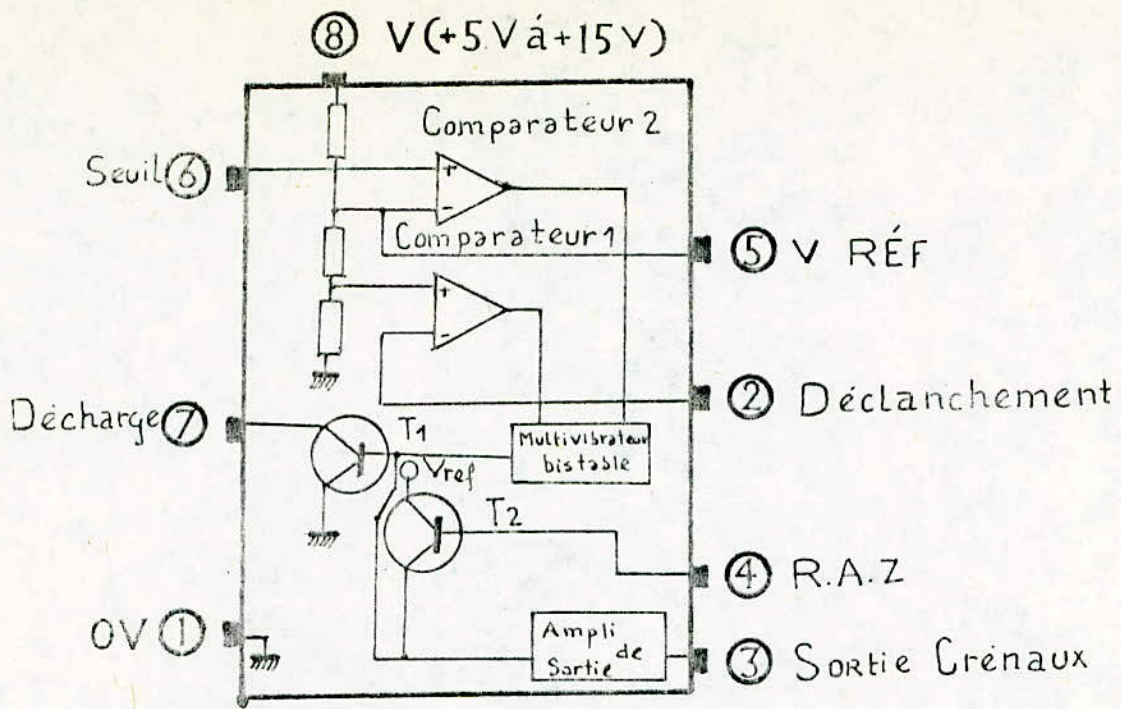
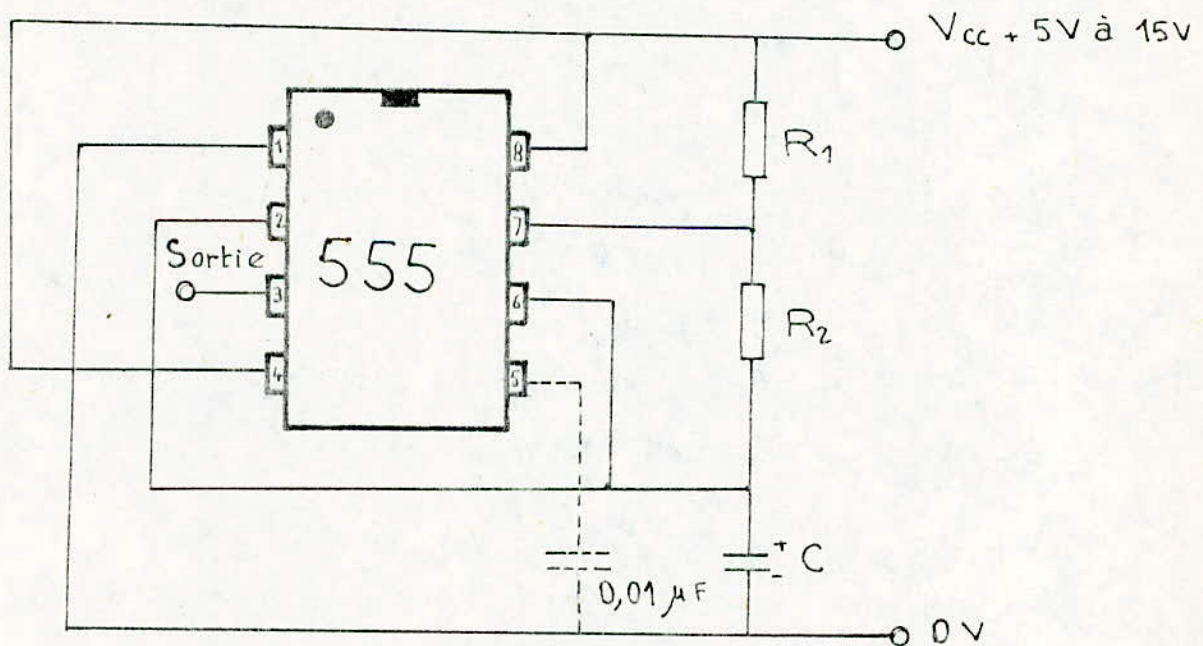


SCHÉMA INTERNE DU IC-NE 555 fig-14-



HORLOGE RÉALISÉE À L'AIDE DU NE 555

- A_1 : Entree d'un trigger de chmitt
 A_2 : Entree d'un signal de declenchement
 B : Applique au monostable afin de lui faire changer d'etat
 I-4-2-2 . Principe de fonctionnement .

Le monostable peut etre declenche sur deux (02) front ; demontee^{ou} de descente, des impulsions d'un signal d'entree . Pour le brochage interne on externe deux cas se presentent .

Si la largeur t_1 des impulsions est $t_1 < 50ns$. On relie la broche 9 a I4 (Vcc) et si $t_1 > 50ns$ on ajoute une resistance R1 et une capacite C1 entre la broche I4 et II,10 ; comme l'Indique le brochage donne sur la (fig -17-) t_1 peut aller jusqu'a 28 S pour le second cas et t_1 nous est donne par la relation $t_1 = \tau \ln 2$ avec : $\tau = R_1 C_1$ d'ou $t_1 = 0,7 R_1 C_1$

Le signal de declenchement est injecte B qui presente les caracteristiques d'un trigger de schmitt . (voir fig - 17 -)

I-4-2-2-1 . Fonctionnement en monostable avec un retard a l'entree .

Pour cela l'entree B du trigger de SCHMITT peut etre utilisee avec une cellule (resistance , capacite) donnant un retard . Pour cela les entrees A1 et A2 doivent etre a la masse (Pin 3,4) .

durant l'Etat 0 et 1 (a l'Entree) ; la capacite se charge et la tension a ces bornes croit jusqu'a atteindre un temps de retard t_d ; le seuil de schmitt qui fait fonctionner le monostable (voir fig -17-))

I-4-3 . IC . SN 7 402 .

I-4-3-1 . Presentation . (voir fig - I7 -)

Le SN . 7 402 est un circuit integre a 14 pins presentant 4 portes NOR et chaque porte NOR . Presente deux (02) portes A et B . Or pour notre montage on n'aura besoin que de deux (02) portes NOR , pour cela les deux portes - restantes seront eliminees . D'on les broches 4,5,6,8,9,10 sont (NC), 11 et 07 (GND) 01 et 12 reliees ; 02 et 03 entrees et I3 sortie .

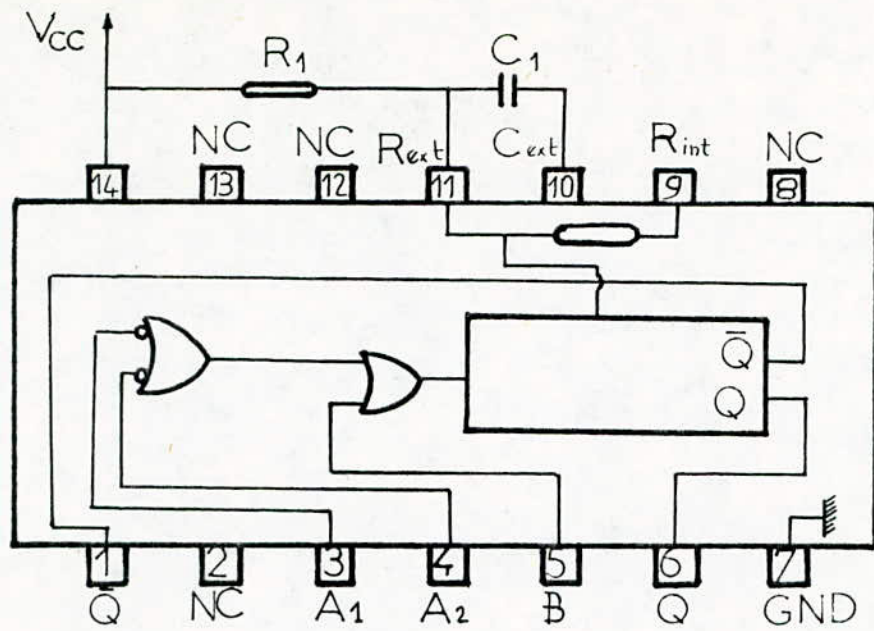
Sur la marche on retrouve plusieurs types de 7402 d'on :

SN 5402 (J) , SN 54L02 (J) , SN 54LS02 (J,W) , SN 54502 (J,W)
 SN 7402 (J,N) , SN 74L02 (J,N) , SN 74LS02 (J,N) , SN 74502 (J,N)

II. REALISATION Pratique .

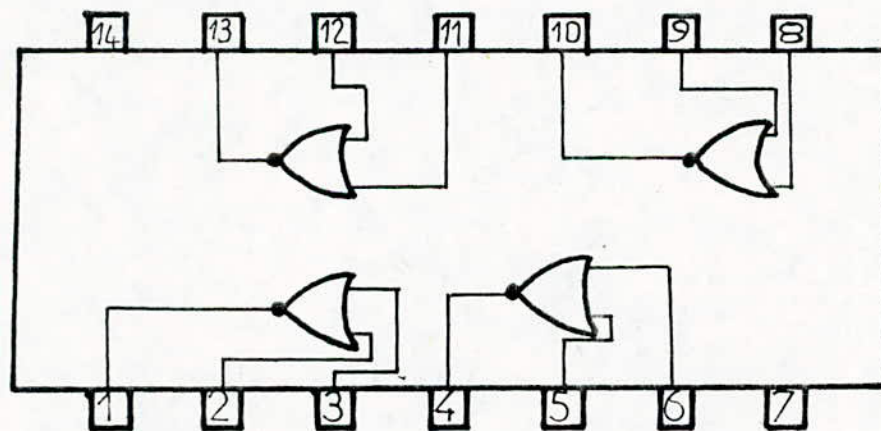
II - 1 Le circuit Imprime .

IL est represente (grandeur nature) a l'Echelle . 1 . C'est un circuit



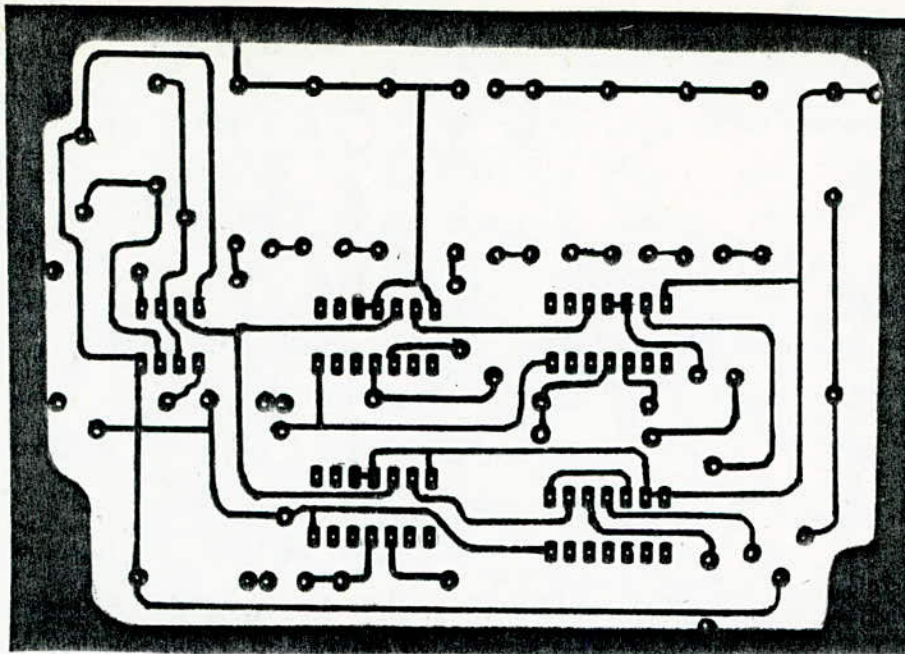
Schema Interne et Externe Du SN 74121

fig-16



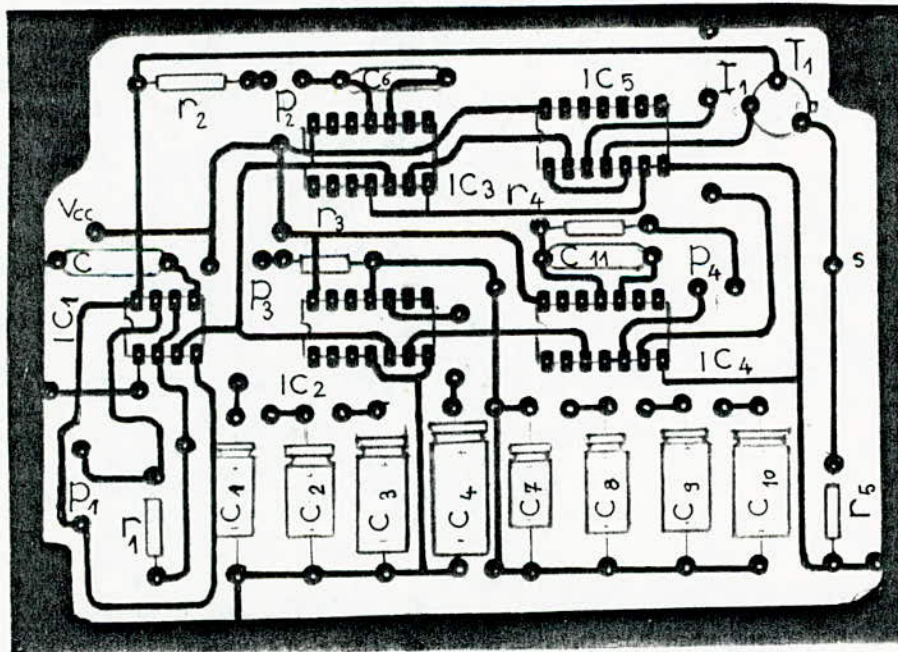
Schema Interne du IC SN 7402

fig-18 -



--- CIRCUIT IMPRIME DU PROGRAMMEUR D'IMPULSIONS ---

fig-19 -



--- SCHEMA D'IMPLANTATION DU PROGRAMMEUR D'IMPULSIONS ---

fig-20 -

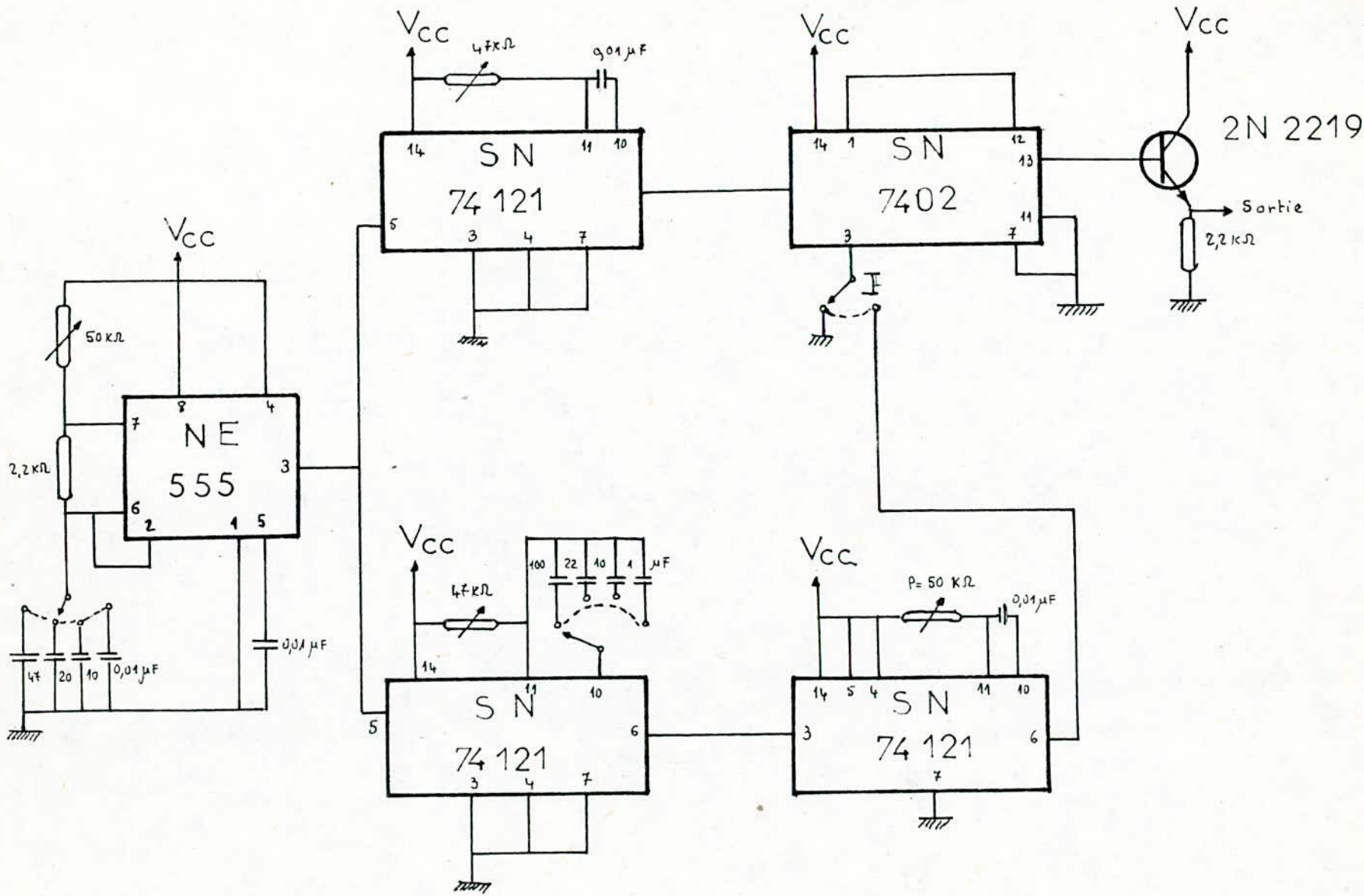
Imprime simple face . IL est reproduit a l'aide de pastilles et de bandes transferts . Le diametre des pastilles est de 396 mm . Les forets utilises pour le perçage sont : 08 mm pour les circuits integres et 0,1mm pour les autres compnants (voir fig - -) .

II - 2 . Implantation des Composants .

Le schema d'implantation est represente sur la (fig -20-) . Pour ne pas deteriorer les circuits integres ; nous avons utilise des supports pour IC et soude les autres composantes avant de placer les circuits integres sur leurs supports .

II - 3 . BOITIER .

C'est un boitier d'aluminium dont les dimenssions sont $h = 6$ cm , $l = 9$ cm et $p = 13$ cm , dans lequel est contenu le circuit imprime . Ce boitier est protege par un cache escterne sur lequel sont fixes les boutons de potentiometres et un interrupteur .



SCHEMA ÉLECTRIQUE DU PROGRAMMEUR D'IMPULSIONS.

	GAMMES			
PERIODE	1	2	3	4
T_{min}	4 ms	15 ms	160 ms	1800 ms
T_{max}	40 ms	160 ms	1800 ms	15 s
	GAMMES			
RETARD	1	2	3	4
τ_{min}	1 ms	3,1 ms	31,0 ms	370 ms
τ_{max}	6,4 ms	32,0 ms	370,0 ms	3,5 s
Durée De L'Impulsion	Minimum		Maximum	
	5 μ sec		350 μ sec	
Temps De Montée : 0,4 μ sec				
Temps De Descente : 0,4 μ sec				

B. LE SYSTEME Emetteur

Le systeme Emetteur constitue l'un des elements esentiels du spectrometre R.M.N à impulsions, parcequ'il fournit le champ tournant (Impulsions - radiofrequence) necessaire à l'excitation ^{du Corps} V_{se} trouvant au sein de la bobine dite d'excitation .

Le systeme emetteur est compose des blocs suivants:

- Un oscillateur controle par le programmeur d'Impulsions .
- Un Amplificateur de puissance à deux (02) etages .
- Un etage de liaison adaptateur d'Impedence .

fig-21-

I. Etude des etages du systeme Emetteur .

I. 1 Etage Oscillateur .

Concernant l'oscillateur utilise dans notre realisation nous avons opte pour l'oscillateur colpits à Quartz (voir fig - 22 -) pour mieux comprendre le calcul de la condition d'oscillation et celui de la frequence d'oscillation ; on considere le meme montage mais sans quartz Ainsi on considere le transistor et le circuit oscillant comme deux quadripoles Connectes en paralleles . (voir fig- 23 -) .

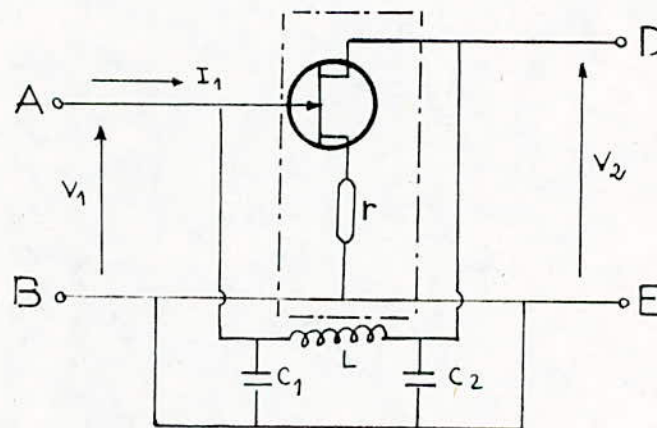


fig-23-

L'oscillateur existe si les tensions V_1 et V_2 ne sont pas nulles alors que les courants I_1 et I_2 sont inexistantes .

Or si y_{ij} et y'_{ij} sont les parametres y des deux (02) quadripoles ; les equations regissant le systeme sont :

$$I_1 = (y_{11} + y'_{11})V_1 + (y_{12} + y'_{12})V_2$$

$$I_2 = (y_{21} + y'_{21})V_1 + (y_{22} + y'_{22})V_2$$

Si On introduit les parametres y_{ij} et la matrice y du quadripole ABDE

$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = (Y) \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$ avec : $y = (y) \times (y')$ or $I_1 = I_2 = 0$. (condition d'oscillation) . La Condition limite d'oscillation est $\Delta y = 0$ qui fournit deux ...

SYSTEME EMETTEUR

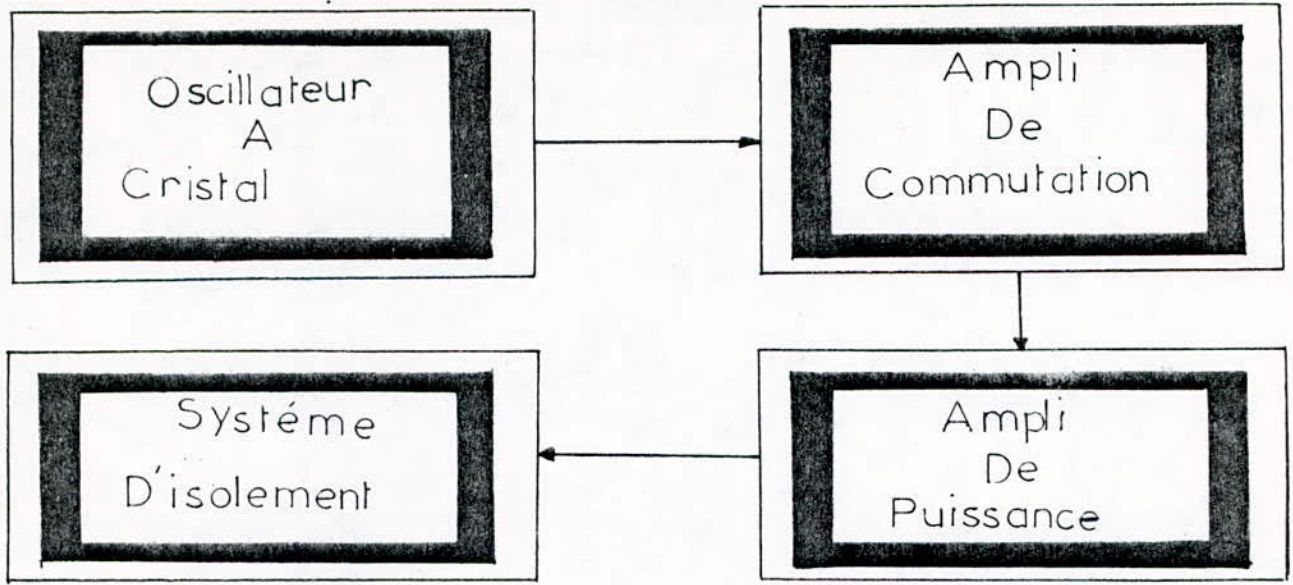


fig-21-

SYNOPTIQUE

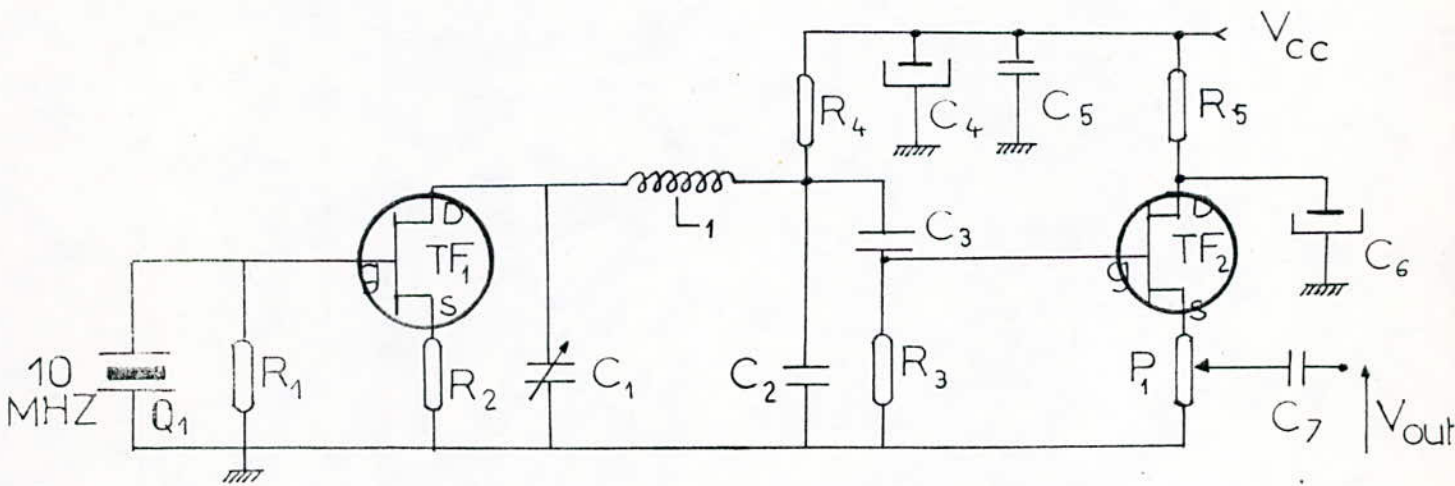


fig-22-

ETAGE OSCILLATEUR

(02) equations $\text{Re}(\Delta y) \equiv 0$ et $\text{Im}(\Delta y) \equiv 0$ • qui donnent respectivement la frequence et la condition d'oscillation .

Dans notre cas , les parametres y' du circuit (Lc) de reaction sont :

$$y'_{11} = j\left(C_1\omega - \frac{1}{L\omega}\right) ; \quad y'_{12} = y'_{21} = -\frac{1}{jL\omega} ; \quad y'_{22} = j\left(C_2\omega - \frac{1}{L\omega}\right).$$

La Condition limite d'accrochage est donc :

$$\begin{vmatrix} y_{11} + j\left(C_1\omega - \frac{1}{L\omega}\right) & -\frac{1}{jL\omega} \\ \frac{1}{L\omega} & y_{22} + j\left(C_2\omega - \frac{1}{L\omega}\right) \end{vmatrix} = 0$$

La premiere equation donne : $\omega^2 = \frac{(C_1 + C_2) + y_{11} y_{22} L}{C_1 C_2 L}$

Le FET presente une impendance d'entree assez grande donc : $y_{11} = 0 \Rightarrow$

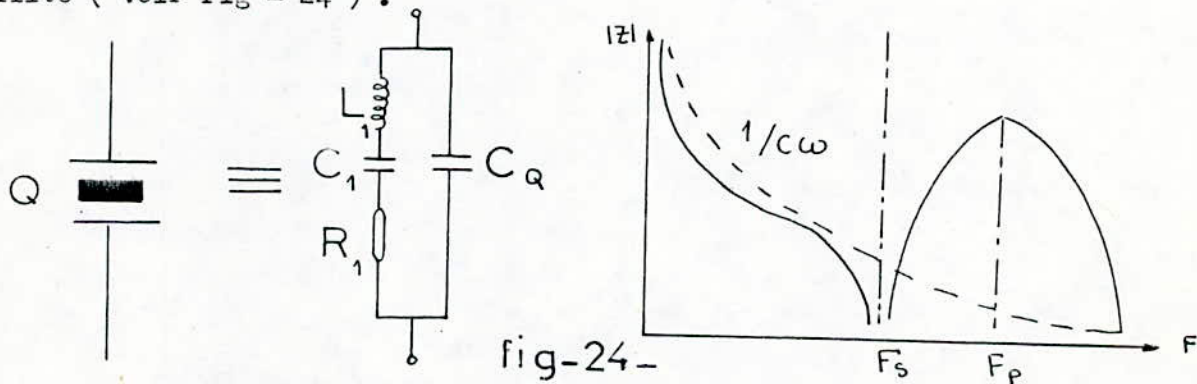
$$\omega^2 = \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2 L} \Rightarrow \omega^2 L \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right) = 1.$$

Ainsi la pente du FET est infinie c.a.d que $Y_{21} = \infty$. On a une deuxieme equation qui nous est toujours donnée a partir du calcul de (Δy) :

$$-y_{22} \left(C_1\omega - \frac{1}{L\omega} \right) + \frac{y_{21}}{L\omega} = 0.$$

Cette equation fournit Comme limite de charge $Y_{22} \leq y_{21} \frac{C_2}{C_1}$. On demontre ainsi que l'amplitude est fonction du rapport C_1/C_2 pour une charge donnee .

Comme le cahier de charge nous impose une frequence tres stable et une amplitude stable vis à vis de la temperature nous avons maintenu le montage preconise anterieurement avec en plus un quartz à l'entree , vu qu'il repond aux conditions de stabilite (voir fig - 24) .



la frequence $F_0 = 10\text{MHz}$; $r_1 \ll L_1\omega_0$.

La Coefficient de Qualite Q d'un qurtz est tres elevee si bienque r pourra être négligeable devant $L_1\omega_0$.

Les frequences de resonance en serie et en parallele sont exprimees comme il

suit : $f_s = \frac{1}{2\pi (L_1 C_1)^{1/2}}$. et $f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \cdot \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$.

Un meme Quartz peut fonctionner sur sa frequence serie ou parallele . L'utili - sation de cette derniere etant de conseillée ; car l'Impedance serait de ce cas relativement Instable .

La frequence indiquée sur le quartz est le plus souvent la frequence de resonnan - ce série .

Le quartz est placé en parallele sur le circuit de réaction et il assure la fermeture de la Boucle de reaction lorsqu'il presente une Impedance faible au voisinage de F_s . Le Circuit accordé de réaction n'est pas tellement indis - pensable pour la fixation de la frequence d'oscillation cette derniere est fixée par la quatrz .

En Effet, considerant un montage comprenant deux (02) resonateurs de coefficients de Qualite de surtension Q_1 et Q_2 . A la frequence d'oscillation ; le dephasage total introduit par ces deux (02) resonateurs doit etre nul :

$\Delta \phi_1 + \Delta \phi_2 = 0$. Or un circuit accordé à F_0 introduit , à une fré - quence $F_0 + \Delta F$; un dephasage $\Delta \phi$ tel que $\frac{\Delta F}{F_0} = \frac{\Delta \phi}{2 \phi_0}$. soit :

$\Delta \phi = 2 \phi_0 \cdot \frac{\Delta F}{F_0}$. Le Quartz oscille à la frequence F_s ce qui donne

$\Delta \phi_s = 2 \phi_s \cdot \frac{F - F_s}{F_s} = - \Delta \phi_0 = 2 Q \frac{F - F_0}{F_0}$; F_s et F_0 sont tres Voisin, l'expression derniere devient enposant : $F - F_s = \Delta F_s$ et $F - F_0 = \Delta F_0$

$Q_s \Delta F_s = - Q_0 \Delta F_0$; $\Delta F_s = - \frac{Q_0}{Q_s} \cdot \Delta F_0$.

Or la frequence de resonance du circuit (LC) Varie Considerablement avec la temperature ; elle entraine une derive de fréquence de systeme d'autant plus que Q est élevée .

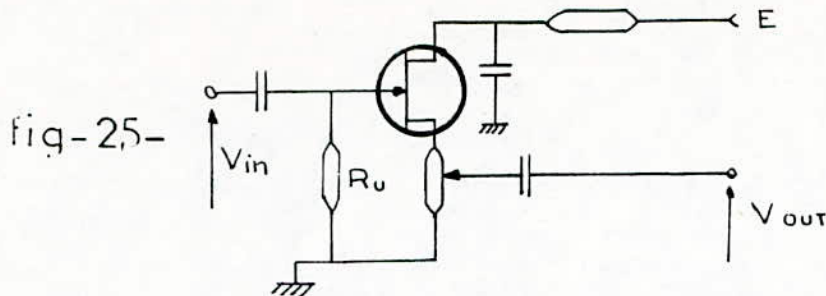
On aboutit, alors à une conclusion qui peut paraitre surprenante : La Frequence d'oscillation de l'oscillateur à quatrz est d'autant plus stable que le coeff - icient de surtension (LC) placé dans le montage est faible . Donc ce circuit (LC) est necessaire pour forcer l'oscillation du quartz sur un mode partiel choisi .

Nous avons tiré profit de ces informations pour réaliser notre montage qui est tres stable en frequence et en amplitude vis à vis de la temperature On prévoit C_1 ou C_2 variable pour regler l'oscillation et l'Amplitude apres l'Etage oscillateur nous trouvons dans notre realisation l'Etage adaptateur d'Impedance .

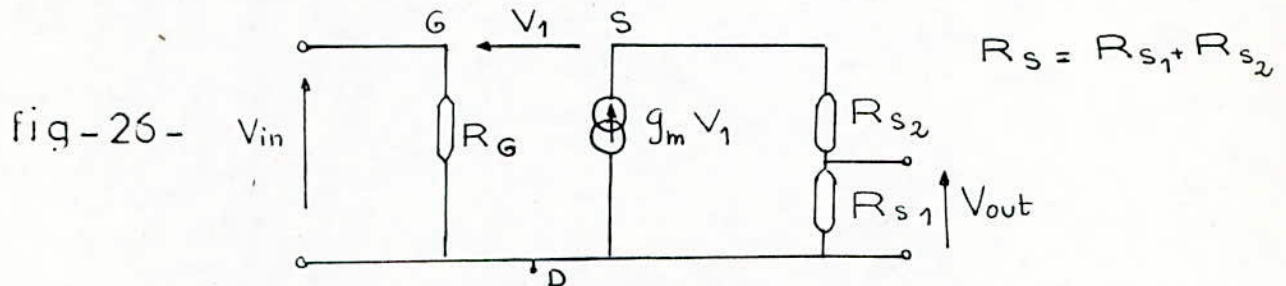
I . 1 . 1 . - Etude de l'Etage Adaptateur d'Impedance :

La tension de sortie qu'on preleve est une fraction de la tension qui apparait - ...

entre la source et la masse .(diviseur de tension) .



On pourra , ainsi , contrôler l'amplitude des Oscillations beaucoup plus facilement ; En effet la tension de sortie de l'oscillo doit être telle qu'elle ne provoque pas l'ecrêtage des étages suivants . En régime variable le schéma équivalent de la fig - 25 - serait :



Les Capacités internes sont négligeables et l'Impédance des étages suivants est supposée grande par rapport à R_{s1} d'où les résultats :

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{G2} \text{ et le gain en tension } G = \frac{R_{s1} \cdot g_m}{1 + g_m R_s} \text{ et } Y_{out} = \frac{1}{R_s} + g_m \cdot \frac{R_s}{R_{s1}}$$

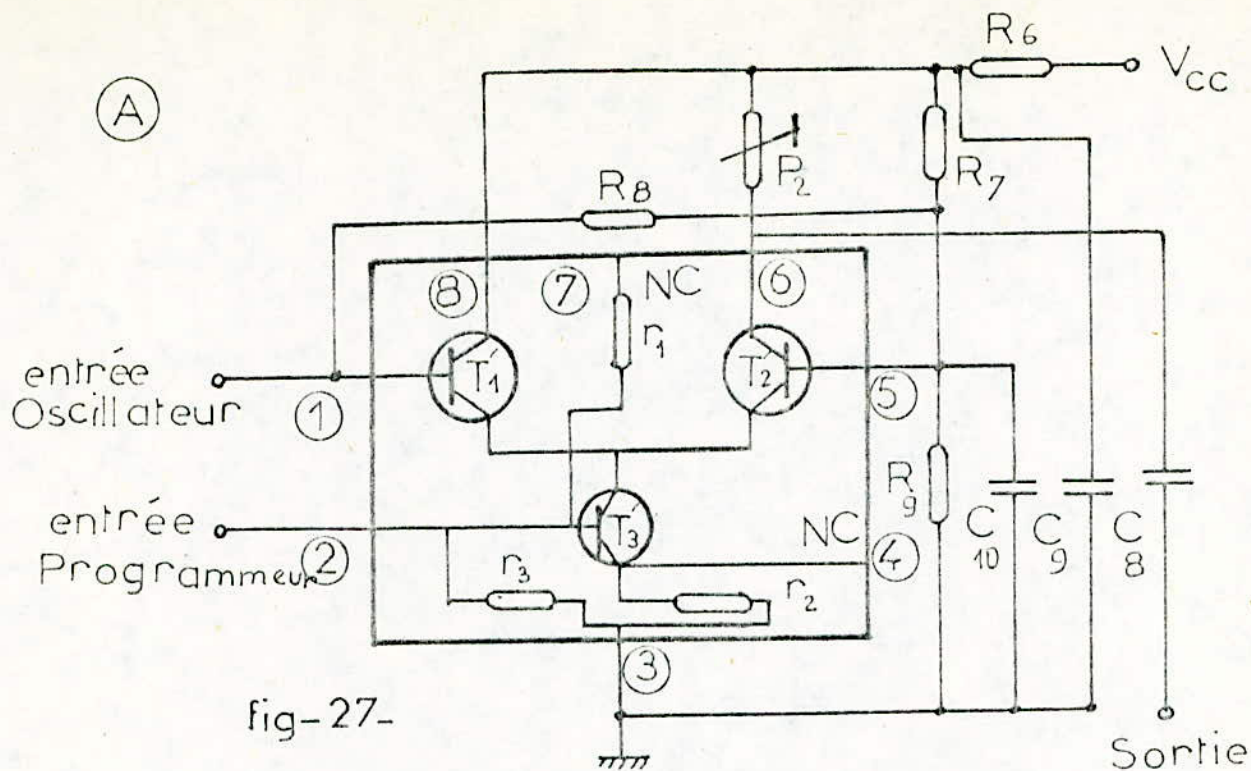
I - 2 : Amplificateur de Commutation.

Attaque par ses deux (02) bornes d'entrées par les signaux issus du programmeur et par le signal HF issu de l'oscillateur , l'Amplificateur de commutation donne à sa sortie des salves radiofréquences . L'Amplificateur de Commutation est réalisé à l'aide d'un CA 3028A .

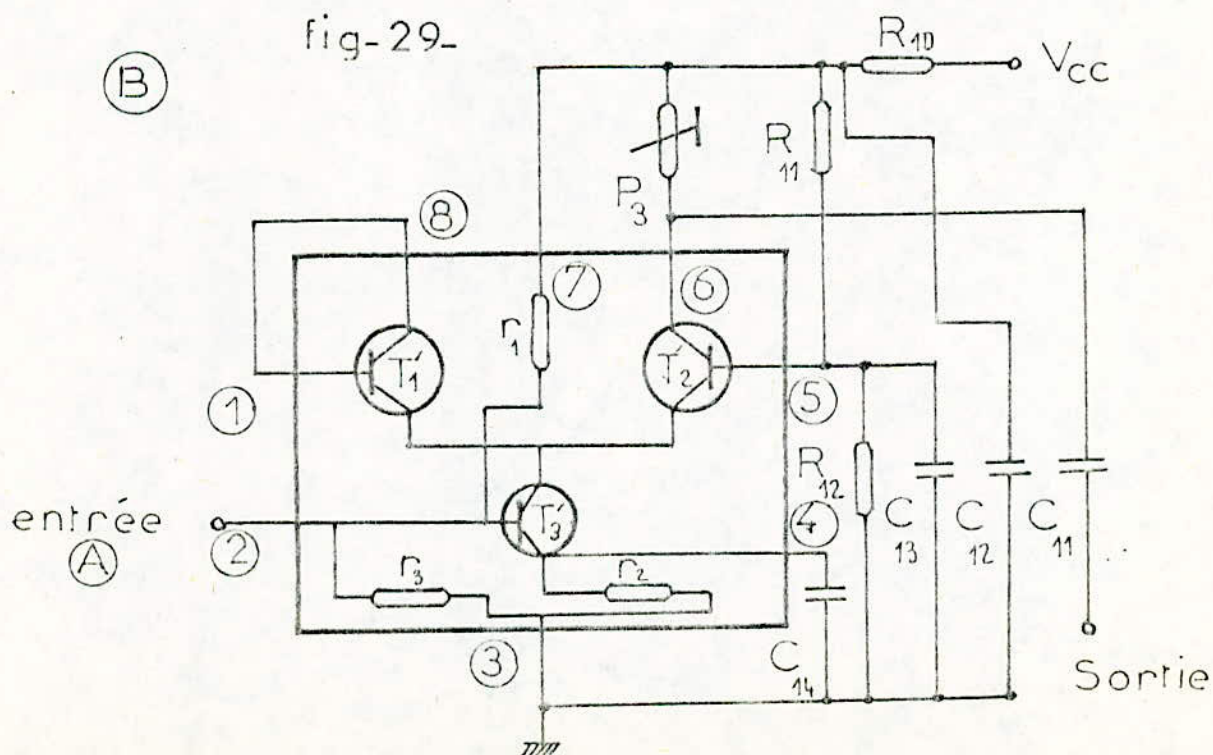
Les Impulsions du programmeur attaquent la base du transistor T_3 (Voir fig - 27) qui fonctionne en mode de commutation ; car pour les hauts niveaux de l'entrée à la patte deux (02) , le transistor T_3 sera saturé et l'oscillateur débitera un signal sinusoïdal RF . Et quand l'entrée deux (02) du CA3028A est égale à zéro (0) ; T_3 sera Bloqué . Et ainsi la tension de sortie sera :

$V_s = V(\text{pin } 6) = V_{cc}$; (voir les chronogrammes prélevés sur l'oscilloscope (fig - 28 -) .

I . 3 : Amplificateur Cascode .



- (A) Amplificateur De Commutation
- (B) Amplificateur Cascade



Les Impulsions R.F issues de l'Amplificateur de commutation sont amplifiées avant leur arrivée à l'Etage de puissance . Ce second amplificateur est réalisé lui aussi à partir d'un CA 3028 A monté en Cascade (Voir fig - 29 -). Il assure une meilleure stabilité dans les circuits HF . Ce circuit est constitué des transistors T_1 et T_2 ; identiques ; alimentés par un générateur de courant T_3 . Cet amplificateur comporte aussi des résistances de polarisation

R_1, R_2, R_3 .

Les transistors T_1, T_2 travaillent en commutation . Quant aux capacités C_1 et les filtres $R_5 C_3$ ils sont utilisés pour éviter la contre réaction et les oscillations .

La Résistance de charge R_4 commande le gain $V_G = \frac{-Y_{21}}{Y_{22} + Y_L}$ puisque l'amplificateur cascade est l'association d'un montage émetteur commun avec un étage base commune ; Il offre les caractéristiques suivantes :

- L'Effet Miller dû à la Capacité C_{BC} est réduit .
- L'Impédance d'entrée est celle d'un émetteur commun ; l'Impédance de sortie est celle d'un étage base commune qui est très élevée et qui est amortie par la charge R_L .

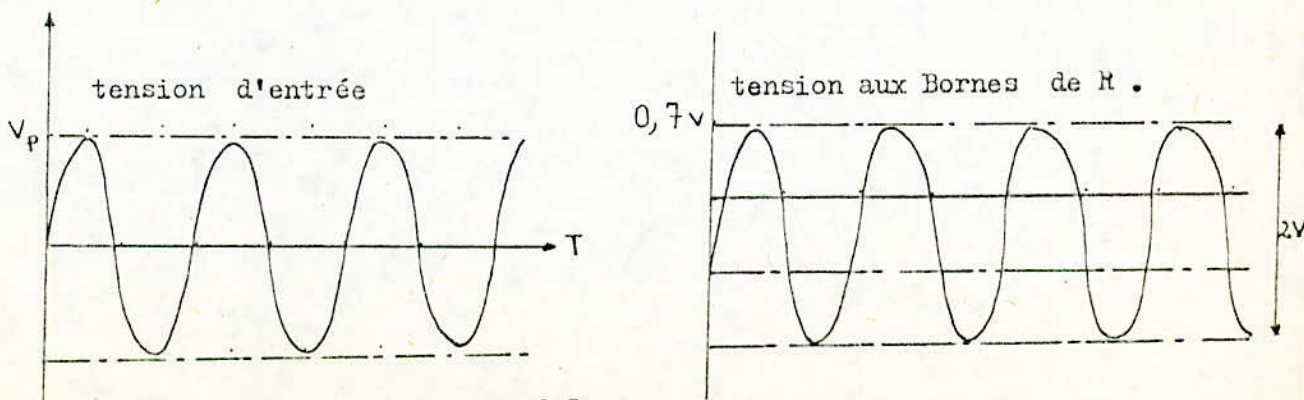
— Le gain en tension est celui d'un étage émetteur commun qui est élevé.

I - 4 . Amplificateur de puissance :

C'est un amplificateur de classe - C - dont le schéma nous est donné dans la (fig - 30 -) .

En l'absence d'un signal à l'entrée , le pont de polarisation est au point de Blocage ($I_C = 0$; $V_{CC} = E$) ; Si un signal sinusoïdal de fréquence f_0 de tension crête V_p . attaque l'entrée ; la capacité C , la résistance R et la diode émettrice , forment un circuit de restauration négative .

La Tension aux bornes de R à la forme suivante : (voir fig -31 -)



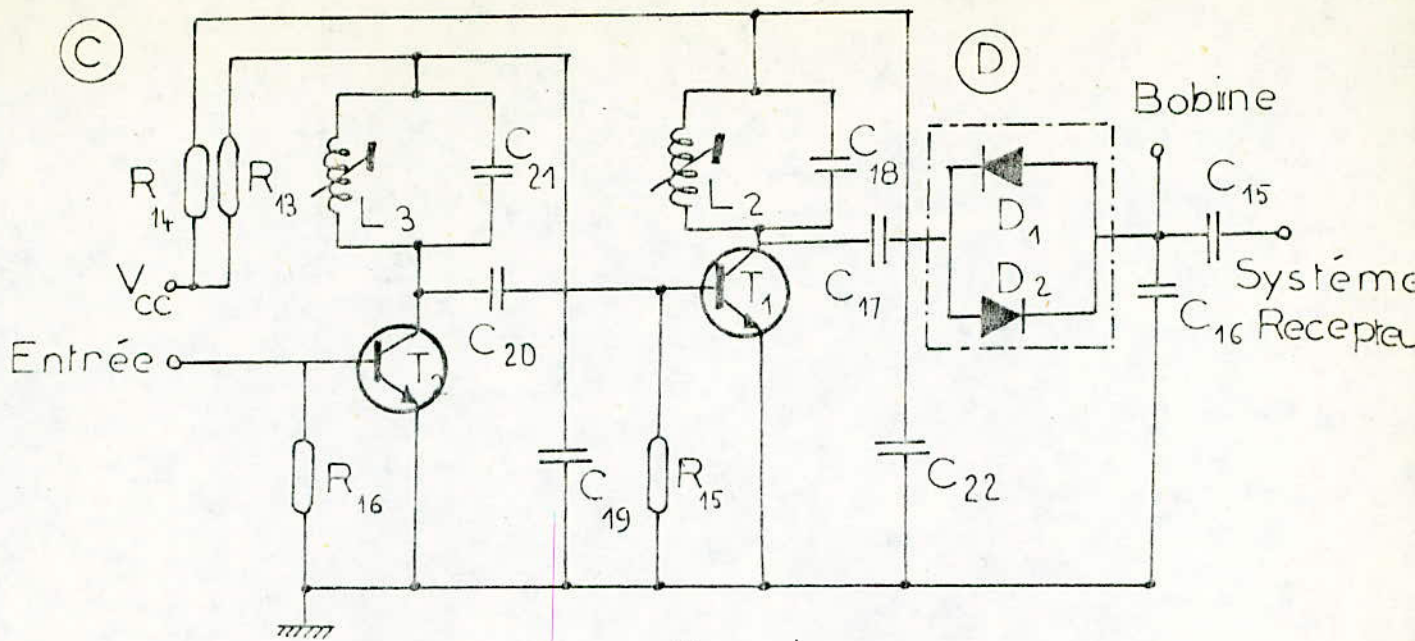
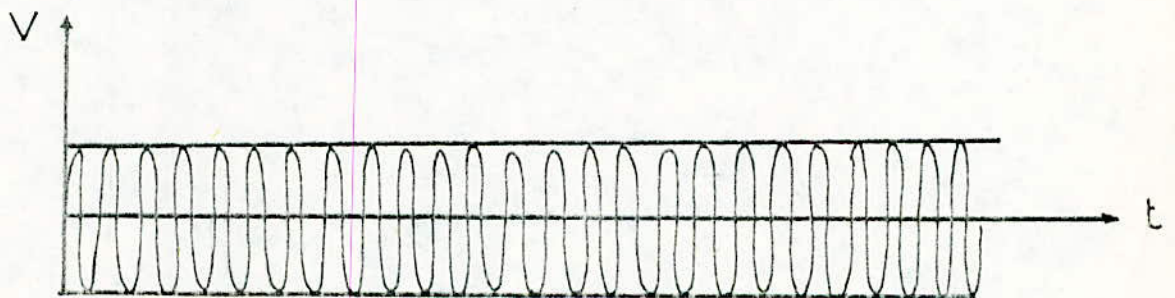


fig-30-

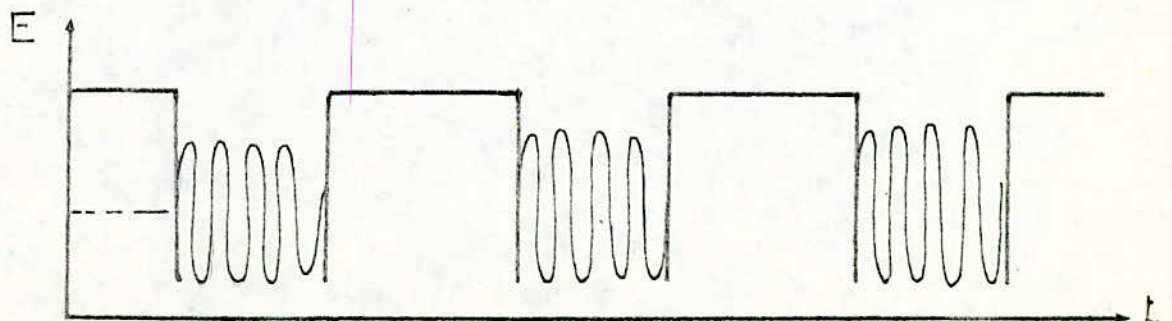
(C) Amplificateur De Puissance

(D) Système D'Isolément



--- Signale R-F issu De L' Oscillateur ---

fig-28 -



--- Signale De Sortie De L' emetteur ---

— CIRCUIT IMPRIME DU SYSTEME EMETTEUR —

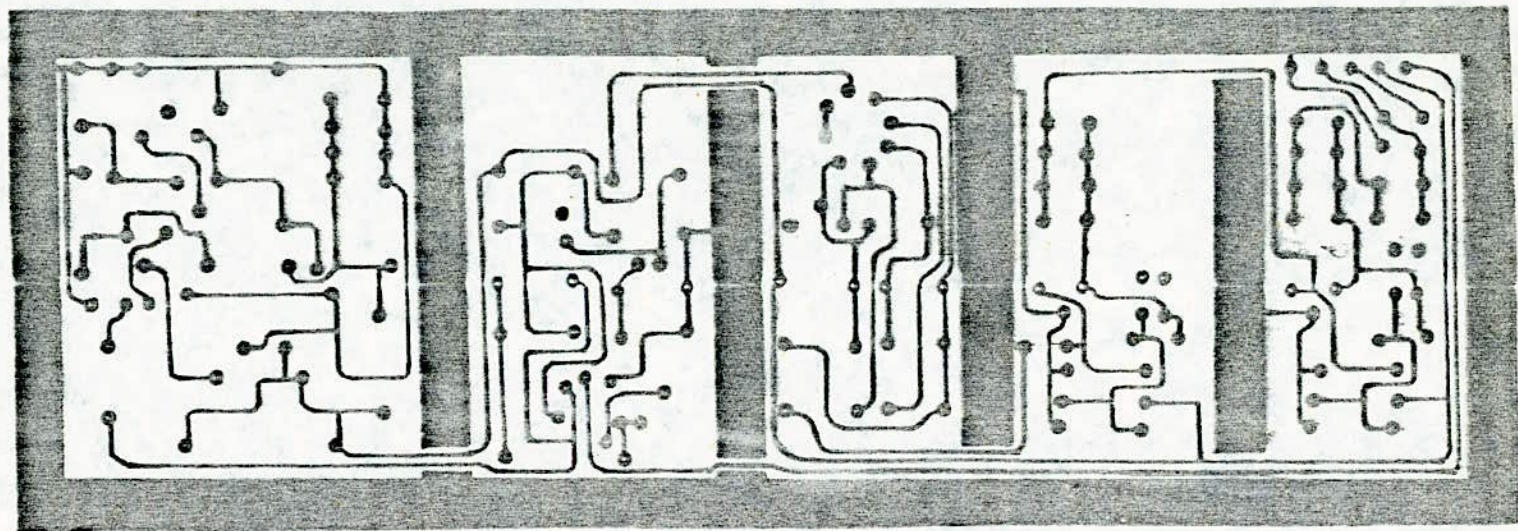
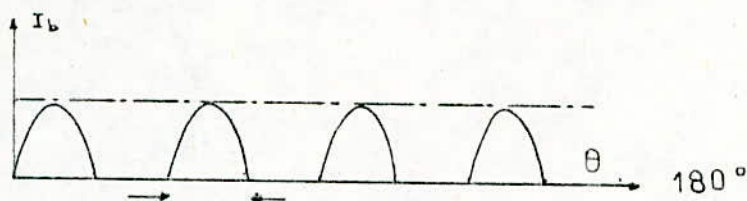


fig-31-

Le Courant base circule pendant moins de 180° : Il à la forme d'un train d'Impulsions de fréquence .



Le signal d'entrée peut être reconstitué en disposant dans le circuit collecteur un circuit résonnant ayant un facteur de Qualité Q élevé et accordé à f_0 . Comme la tension collecteur au repos est égale à $+E$; en présence du signal cette tension va décrire une Sinusoïde autour de $+E$. Alors la tension maximum Crête à Crête est $2(E - V_{c\text{ sat}}) \approx 2E$.

I - 5 . Le Systeme d'Isolément .

Son rôle est d'empêcher que le signal de precession libre qui apparait lors de la periode OFF ; passe dans le systeme emetteur . Il est constitué de deux diodes montées en tête bêche . Lors de la periode ON les deux (02) diodes sont passantes ; le recepteur est saturé et la bobine d'excitation reçoit le signal R.F . Lors de la periode OFF les deux (02) diodes sont bloquées ce qui isole le systeme emetteur Alors que le recepteur qui est en etat de fonctionnement normal reçoit le signal de precession libre (Voir fig - 30 -) .

II . - Realisation Pratique .

II . 1 . - Le Circuit Imprimé .

Il est représenté à l'échelle 1 dans la (fig - 31 -) . C'est un circuit Imprimé double face à haute qualité . Il est reproduit à l'aide de pastilles et de bande de transferts . Le diamètre des pastilles est de 3,96mm, le trou de perçage est 0,8 mm de diamètre pour les CA3028A et ont 0,1 mm pour les autres Composants .

II . 2 . - Implantation des Composants .

Le schéma d'implantation est représenté sur la (fig - 32 -) .

Le Circuit imprimé est partagé en cinq (05) étages par des rubans de Masse . Ainsi on a d'abord procédé à l'implantation des Composants du premier étage ; pour le tester ensuite avant de passer aux autres étages .

Pour ce qui est des IC CA3028A , nous avons procédé comme il suit ; en egard à ...

— SCHEMA D'IMPLANTATION DU SYSTEME EMETTEUR —

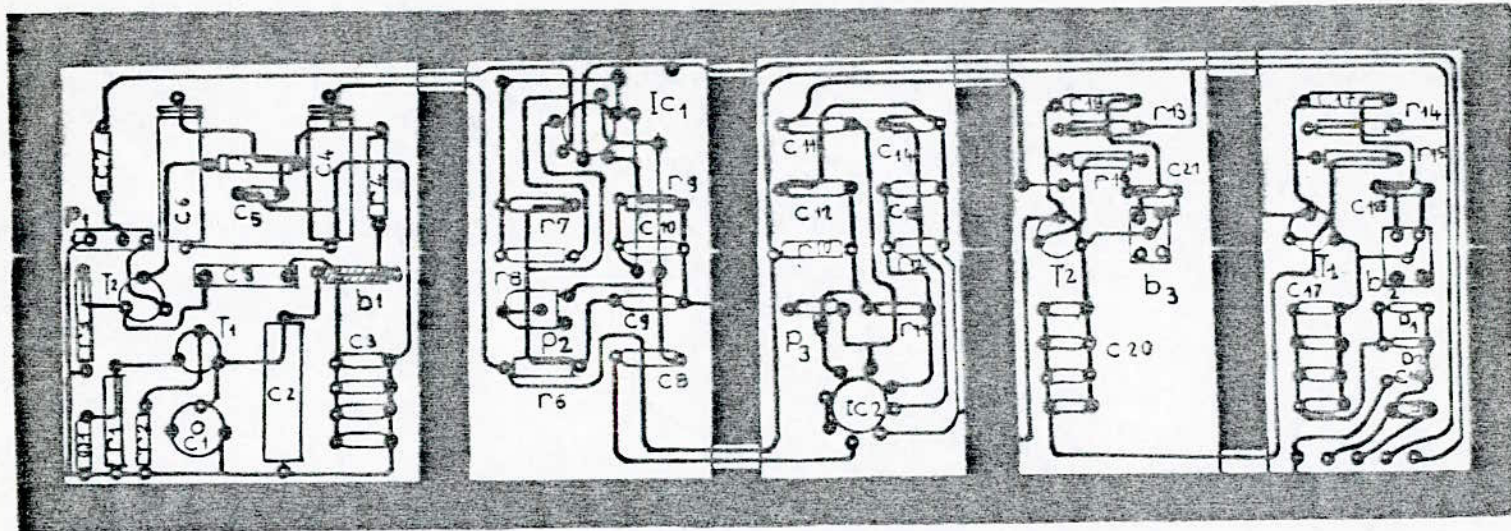
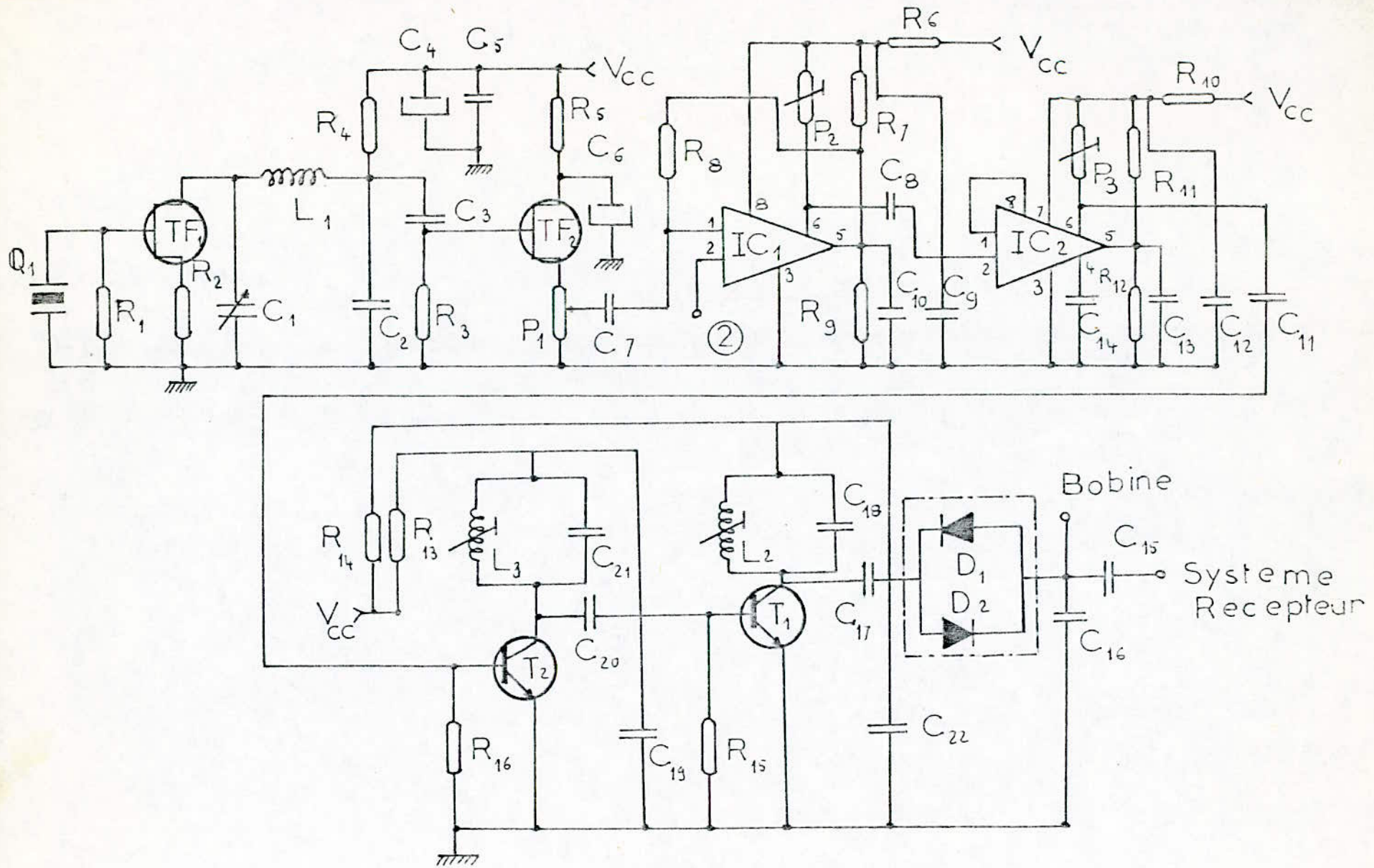


fig-32-



--- CIRCUIT ELECTRIQUE DU SYSTEME EMETTEUR ---

la très grande sensibilité de ces Composants à la chaleur ainsi pour les empêcher de griller nous avons été amené à effectuer les soudures en tenant, lors de chaque soudures, la patte correspondante au moyen d'une pince plate. Ainsi la dissipation de la chaleur s'effectuait sur les branches de la pince et non pas dans le composant.

II . 3 . - Blindage .

Vu que l'on travaille en HF ; C'est à dire à une fréquence de 10 MHz les différents étages sont séparés par des plaques d'Isolation qui sont en Cuivre; Cela pour éviter l'influence et l'interférence d'un étage sur un autre. Chose ou situation qui pourrait se traduire par une contre réaction et entraines des oscillations. Le tout est enfermé dans une boîte en cuivre, également pour éviter tout parasite extérieur et pour avoir une bonne stabilité.

II . 4 . - Resultat experimentaux .

La fréquence de l'oscillateur est $f_0 = 10,00325$ MHz .

Après une heure de fonctionnement on note une dérive de $\Delta f = 10^{-4}$ MHz, la variation relative $\frac{\Delta f}{f_0} = 10^{-5}$; montre la grande stabilité de l'oscillateur .

Avec un train d'Impulsion $\frac{\pi}{2}$ de période T . Les salves R.F au niveau de la bobine d'excitation présentent un temps de montée $t_m = 0,4$ ms et un temps de descente $t_d = 0,4$ ms .

Pendant la période OFF ; la Commutation n'est pas parfaite ; le transistor . T₃ reste parcouru par un courant de fuite .

A la sortie de l'émetteur on mesure le rapport :

$$\frac{V_{cc} \text{ au niveau de la bobine durant l'Etat ON}}{V_{cc} \text{ " " " " " " l'Etat OFF}} = 3 \ 200$$

$$V_{cc} (\text{ON}) = 32 \text{ volt} \quad V_{cc} (\text{OFF}) = 10 \text{ . mv}$$

C. Systeme Recepteur

I. - Etude du systeme Recepteur .

I. 1. - Introduction .

Dans un examen par RMN , le systeme recepteur joue un role primordial ce qui fait que son étude et sa réalisation revêtent une grande importance . Cette particularité reside dans l'analyse du signal induit par l'échantillon .

Or et vu que ce signal est extremement faible ; de l'ordre de quelques dizaines de μ .volts , un systeme d'amplification est necessaire pour pouvoir tirer , du signal induit , les informations concernant l'échantillon à étudier . De là , on à interet à ce que le degré de qualité de la bobine réceptrice soit le plus élevée possible afin d'avoir un rapport signal sur (s/B) optimal .

Pour repondre à cette condition ; un Mos FET ayant une impédance d'entrée élevée à été utilisé .

Dans notre réalisation ; la chaine amplificatrice comprend quatre (04) étages de Gain G_1, G_2, G_3, G_4 , et de facteur de Bruit F_1, F_2, F_3, F_4 .

On Obtient le facteur total de Bruit par la formule : $F = F_1 + \frac{F_2-1}{G_1} + \frac{F_3-1}{G_1 G_2} + \frac{F_4-1}{G_1 G_2 G_3}$

Le Facteur de Bruit F du premier étage de la chaine amplificatrice presente une grande importance pour la réalisation , ce qui nous impose le recours à un MOS. FET. Le Systeme recepteur doit passer le plus rapidement possible de l'Etat saturé (ON) à l'état (OFF) normal . Le temps de passage d'un état à l'autre étant de quelques .Secondes .

Les quatres (04) chaines amplificatrices qui constituent le systeme recepteur sont : (Voir fig - 33-)

- Un étage preamplificateur .
- Un étage suiveur .
- Un Amplificateur de tension .
- Un étage de detection et de fichage .

I. 2. - Etage préamplificateur .

Il determinera la qualité du récepteur du point de vue facteur de Bruit et de Son elimination de la transmodulation ; ainsi que la passage rapide de l'Etat ON à ...

SYSTEME RECEPTEUR

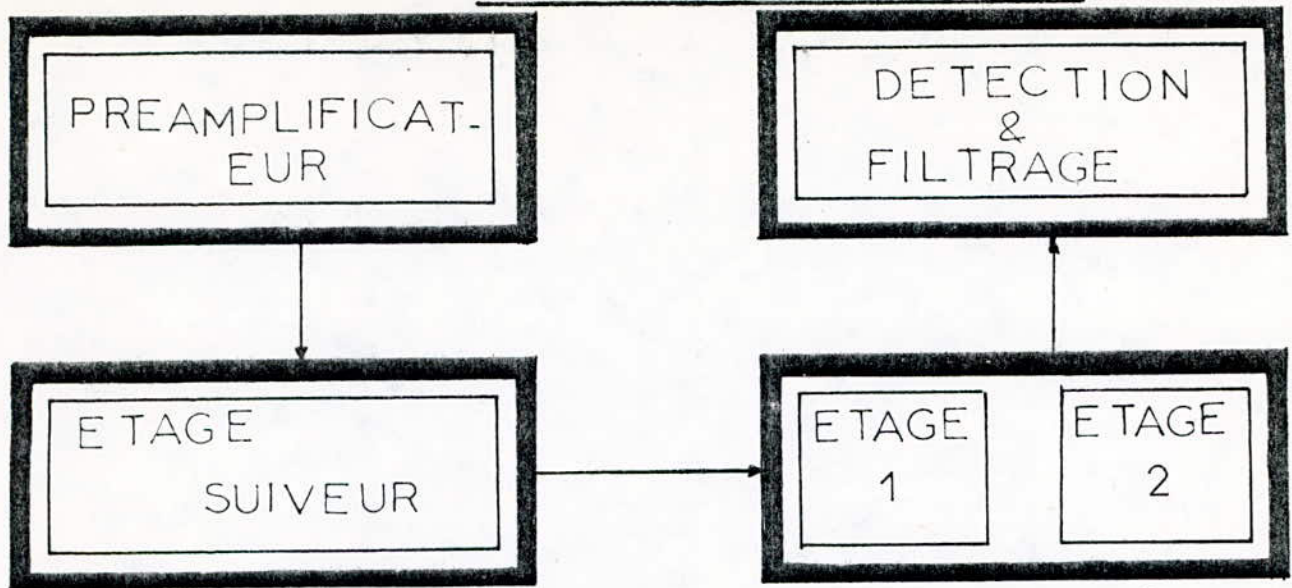
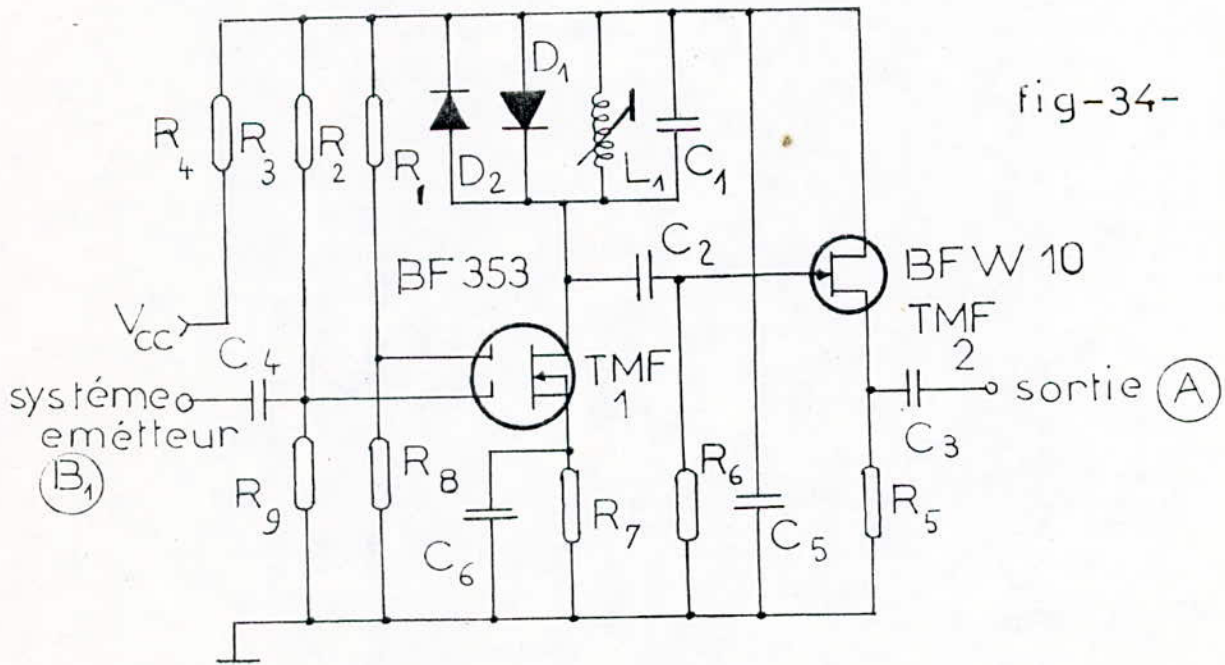


fig-33- Amplificateur De Tension

SYNOPTIQUE

ETAGE PREAMPLIFICATEUR ET SUIVEUR



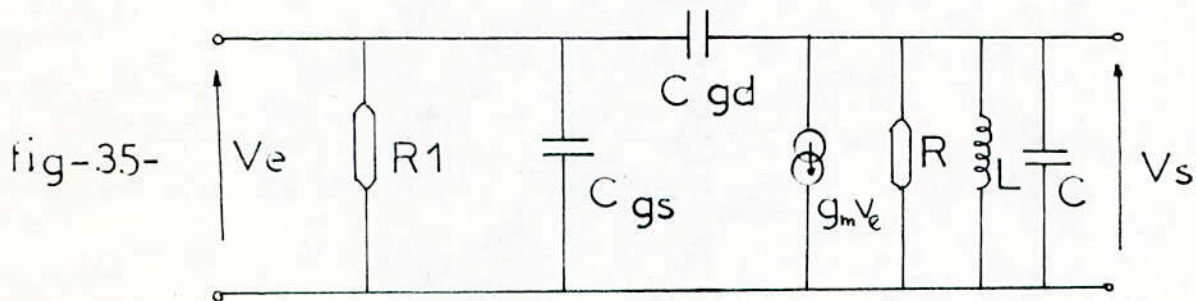
l'état OFF. Le rapport (S/B) doit être optimal. L'Impédance d'entrée de l'étage doit être très élevée. Tout ceci nous impose le choix d'un MOS FET. Le signal radiofréquence issu du système émetteur doit être élevé avec une fréquence $f_0 = 10$ MHz. Donc il est impossible de sélectionner des fréquences dans un intervalle centré sur la fréquence f_0 . Et l'utilisation d'un MOS FET, pour ses qualités intrinsèques fait de l'étage préamplificateur, un amplificateur Selectif HF.

Lors de la durée OFF, les deux diodes sont bloquées et le transistor est en régime de fonctionnement normal.

Le passage de l'Etat ON à l'état OFF, pour les diodes (1N4148) est de 4ns. A la Resonance $LC\omega^2 = 1$ avec $\omega = 2\pi f$ et $f = 10$ MHz, Si on fixe $C = 18$ pF on aboutirait à $L = 12,5$ nH qui est une valeur proche.

I . 2 . 1 . - Amplificateur en tension.

Le schéma équivalent est le suivant : (Voir fig - 35 -).



$$R_1 = R_1' // R_1'', \quad R = \beta // r, \quad r = (r_{D1} // r_{D2}) // r_L$$

C_{gd} et les autres capacités internes sont négligeables puisqu'on travaille à 10 MHz avec un transistor qui peut aller jusqu'à 100 MHz ; $V_S = -g_m \frac{V_e}{y}$ avec $Y = \frac{1}{R} + jC\omega + \frac{1}{jL\omega}$; $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; $RC\omega_0 = \frac{R}{L\omega_0} = Q_0 =$ Coefficient de qualité du Circuit oscillant d'où $AV = -g_m R / (1 + jQ(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)) = V_S/V_e$ à $\omega = \omega_0$. (à la resonance). $AV = -g_m \beta = -g_m R = A_0$ d'où le Gain $G = 20 \log |A_v| = 20 \log |g_m \beta| = 20 \log |A_0|$.

Nous Considérons les résistances des diodes, ainsi que la résistance de la Bobine Comme négligeable devant f c'est pour cela que $R = \beta // r$ et $r = (r_{D1} // r_{D2}) // r_L //$ donc $R = \beta$.

I . 2 . 2 . - Bande passante.

C'est l'Intervalle de fréquence dans lequel le module de l'Amplificateur en ten - ...

sion est compris entre $A_{V_{max}}$ et $A_{V_{max}}/\sqrt{2}$ (Voir fig - 36 -) .

A la Resonance $\omega = \omega_0$, $A_v = A_{V_{max}} = A_0$, $|A_v| = A_{V_{max}} / \left(1 + Q_0^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \right)^{1/2}$.

Si $|A_v| = \frac{A_{V_{max}}}{\sqrt{2}}$ donc : $Q_0^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 = 1 \Rightarrow \omega^2 + a\omega - \omega_0^2 = 0$; avec

$$a = \pm \frac{\omega_0}{Q_0} \Rightarrow$$

$$\omega_1 = \frac{\omega_0}{2 Q_0} + \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_0^2}{Q_0^2} + 4 \omega_0^2 \right)^{1/2}$$

$$\text{et } \omega_2 = -\frac{\omega_0}{2 Q_0} + \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_0^2}{Q_0^2} + 4 \omega_0^2 \right)^{1/2}$$

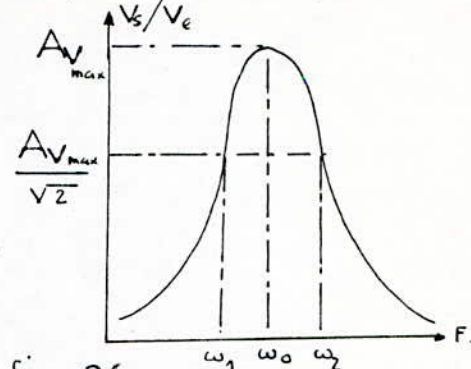


fig-36-

I . 2 . 3 . - Resultat experimental .

L'Amplification en tension de l'Etage amplificateur est de dix (10) ce qui nous donne un gain de 20 dB .

I . 3 . - Amplificateur en tension .

C'est l'Etage responsable de l'amplification du Signal induit par l'Echantillon . Il est Constitué de deux (02) amplis op . CA 3028A montés en cascade (Voir fig - 37 -) .

I . 4 . - Détéction et filtrage .

Le but de la detection est d'extraire le signal utile porté par le signal HF ; et puisque l'onde porteuse est modulée en amplitude il s'agit donc d'un detecteur d'enveloppe . Le detecteur est une diode suivie d'une resistance aux bornes de laquelle se developpe le signal utile ; et d'une Capacité montée en parallele pour Court Circuiter la Composante H.F . Dans un premier temps le signal qui se présente aux bornes du detecteur est redressé , puis à l'aide du filtre formé par la Resistance R , et la Capacité C , montées en paralleles ; l'onde HF est éliminée .

Et tout Cela nous incite à faire un choix judicieux quant aux Composants R et C . Choix qui peut se faire en prenant en considération soit les impédances soit les Constantes de temps .

Si on raisonne du point de vue des impédances : A la sortie de la diode le signal possède trois (03) Composantes ; BF ; HF ; Continues (Voir fig- 38 -) . La capacité doit pouvoir Court Circuiter les HF d'ou $\frac{1}{C\Omega} < R$; C'est à dire que la capacité represente une faible impédance devant la résistance R en ...

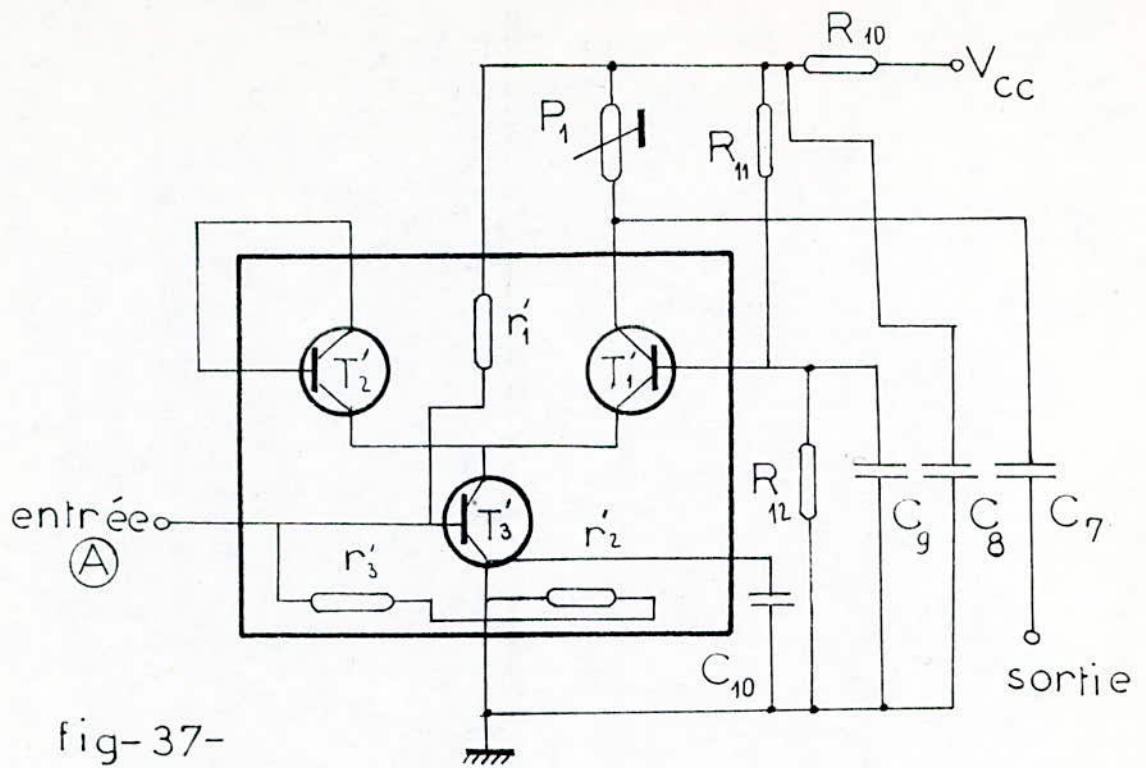


fig-37-

AMPLIFICATEUR TENSION ETAGE -1-

DETECTION ET FILTRAGE

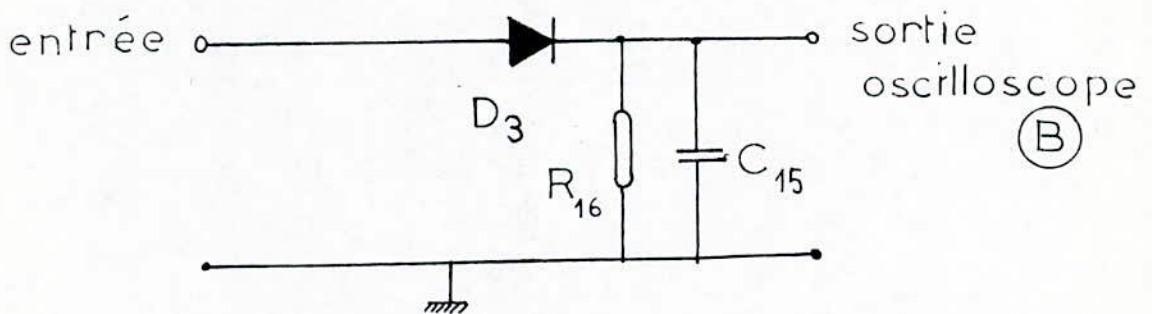


fig-38-

— CIRCUIT IMPRIME DU SYSTEME RECEPTEUR —

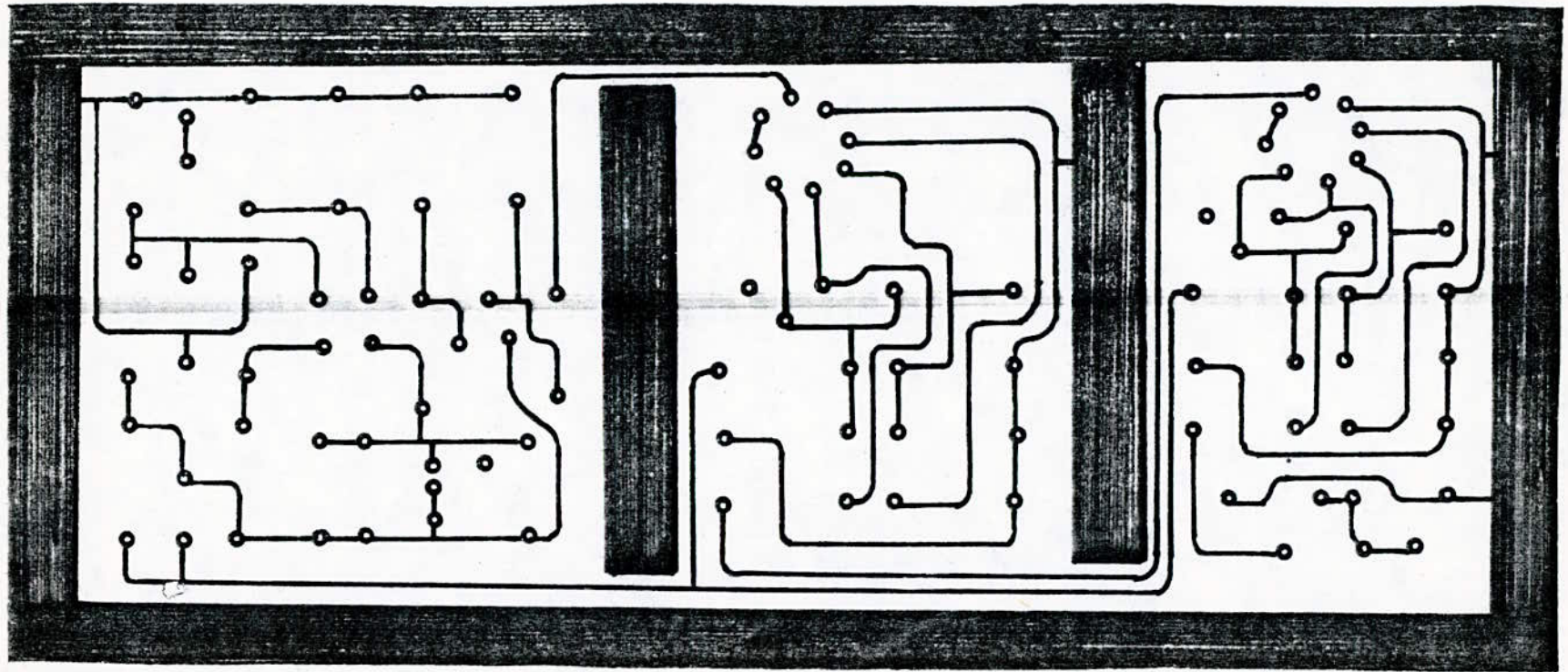


fig- 39-

BF et plus escactement pour la fréquence la plus élevée de la modulation c'est -
à dire : $\frac{1}{C\omega} > R$ enfin la Condition $\frac{1}{C\Omega} < R < \frac{1}{C\omega} \Rightarrow T_{HF} < RC < T_{BF}$
Etant donné que la fréquence basse est inconnue on fixe seulement la Condition
HF ; $T_{HF} < RC$. d'ou $1/2\pi f_c < R$;

$f = 10$ MHz on fixe $R = 2,2$ K On trouve $C = 1$ nF

II. Realisation Pratique .

1o - Circuit Imprimé .

Il a été réalisé sur circuit Imprimé à double face (Voir - fig - 39 -) .

2o - Circuit d'Implantation .

On a suivit le même proccidé que celui adapte lors de la réalisation du systeme
emetteur (Voir fig - 40 -) .

3o - Mesure des gains .

Le préamplificateur donne une amplification en tension de 1o soit un gain de
20 dB .

L' Amplificateur constitué des deux amplificateurs operationnels CA3028A en confi -
guration Cascode donne un gain de 20 dB . Le gain total du systeme recepteur est
d'environ 40 dB .

La Bande passante total du recepteur est de 1,25 MHz .

4 . - Stabilité du systeme .

Les differents étages sont séparés par des plaques d'isolation en cuivre pour
éviter l'influence de l'un sur l'autre qui peut se traduire par une contre réac -
tion et entrainer des oscillations .

Le tout est enfermé dans une Boite en cuivre également pour éviter tout parasite
exterieur et pour avoir une Bonne Stabilité .

— SCHEMA D'IMPLANTATION DU SYSTEME RECEPTEUR —

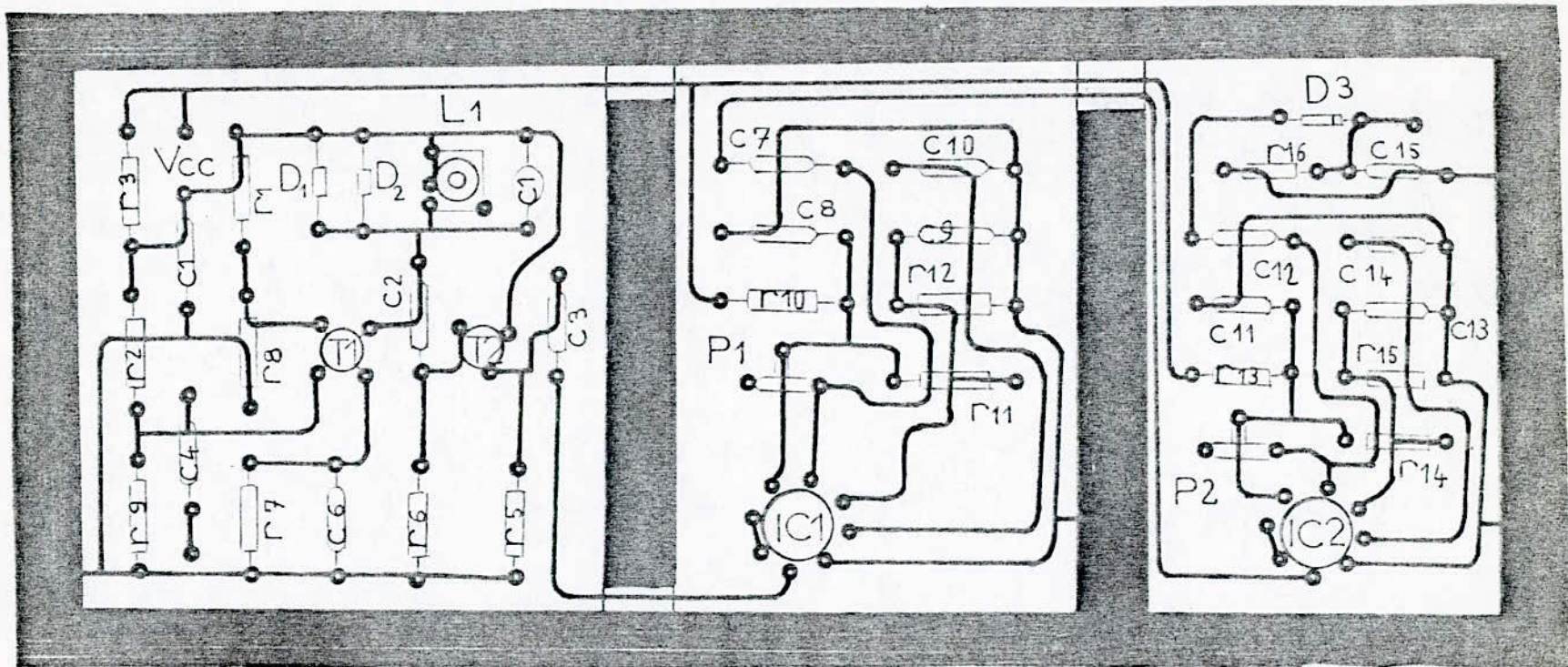
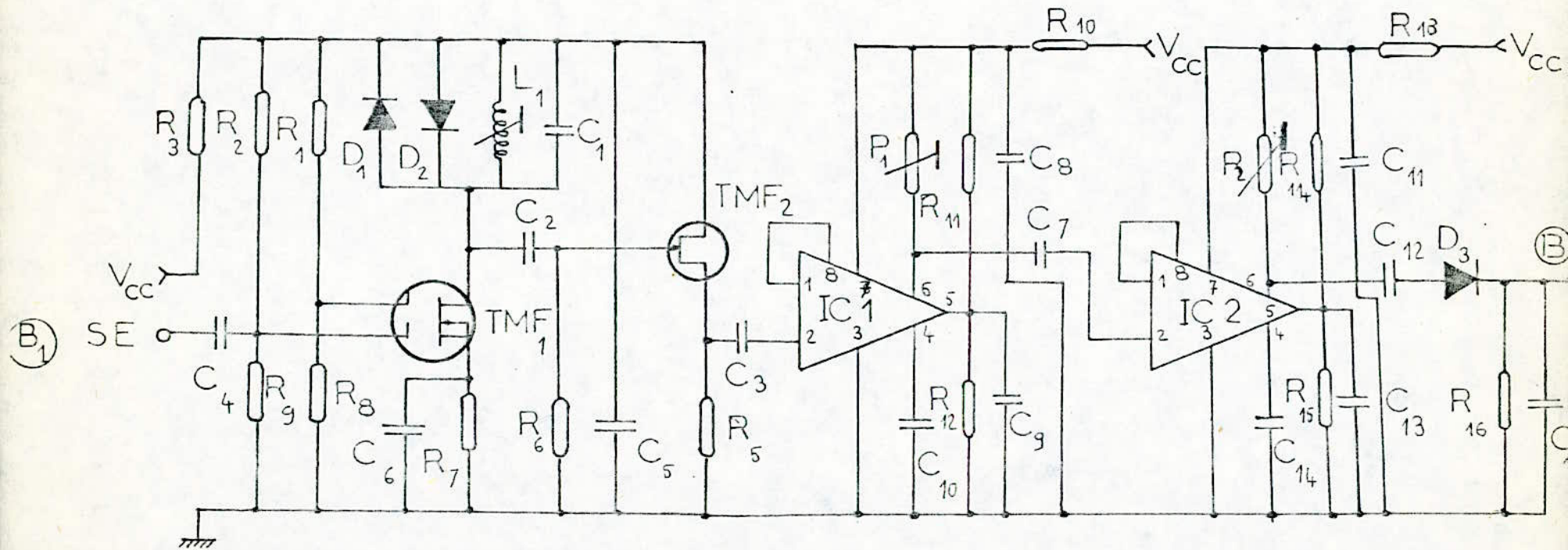


fig- 40 -

$V_{CC} = 13\text{v}$



--- CIRCUIT ELECTRIQUE DU SYSTEME RECEPTEUR ---

LISTE DES COMPOSANTS

Programmeur D'Impulsions	Système Emetteur	Système Récepteur
<p> $R_1, R_5: 2,2 K\Omega$ $R_2: 1 K\Omega$ $R_3: 4,7 K\Omega$ $C_1, C_6, C_{II}: 0,01 \mu F$ $C_2, C_{IO}: 1 \mu F$ $C_3: 4,7 \mu F$ $C_4: 47 \mu F$ $C_5: 470 \mu F$ $C_7: 100 \mu F$ $C_8: 0,02 \mu F$ $C_9: 10 \mu F$ $P_1: 50 K\Omega$ $P_2, P_3, P_4: 47 K\Omega$ $T_1: 2N 2219$ $I: \text{Interrupteur}$ $IC_1: NE 555$ $IC_2, IC_3, IC_4: SN 74121$ $IC_5: SN 7402$ $V_{cc}: 5 \text{ volt}$ $S: \text{sortie}$ </p>	<p> $R_1: 1 M\Omega$ $R_2, R_4, R_7, R_{II}, R_{I6}: 1 K\Omega$ $R_3, R_5: 200 K\Omega$ $R_6, R_{I8}, R_{I3}, R_{I4}: 50 K\Omega$ $R_9, R_{I2}: 2,2 K\Omega$ $P_1: 100 K\Omega$ $P_2: 1 K\Omega$ $P_3: 4,7 K\Omega$ $L_1: \text{Bobine d'accord}$ $L_2, L_3: 8 \mu H$ $C_1: \text{Capacite Variable}$ $C_2: 35 PF$ $C_3, C_{II}: 500 PF$ $C_4, C_6: 470 \mu F / 25 V$ $C_5, C_{I6}: 10 PF$ $C_7, C_9, C_{I0}, C_{II}, C_{I2}: 100 PF$ $C_{I3}, C_{I4}, C_{I9}: 0,01 \mu F$ $C_8: 1 \mu F$ $C_{I5}: 200 PF$ $C_{I8}, C_{I21}: 47 PF$ $C_{I20}: 500 PF$ $TP_1, TP_2: 2N 3970$ $T_1, T_2: 2N 2218$ $IC_1, IC_2: CA 3028 A$ $Q: \text{quartz } 10 \text{ MHz}$ $V_{cc}: 18 \text{ Volt}$ </p>	<p> $R_1, R_2, R_6, R_8: 150 K\Omega$ $R_3, R_{I0}, R_{I3}: 68 \Omega$ $R_5: 150 \Omega$ $R_7: 220 \Omega$ $R_9: 33 K\Omega$ $R_{II}, R_{I4}: 1 K\Omega$ $R_{I2}, R_{I5}, R_{I6}: 2,2 K\Omega$ $P_1, P_2: 2,2 K\Omega$ $L_1: 12,5 \mu H$ $C_1: 18 PF$ $C_2, C_3, C_7, C_{I2}: 100 PF$ $C_4: 56 PF$ $C_5, C_6, C_8, C_9, C_{I0}, C_{II}, C_{I3}, C_{I4}, C_{I5}: 0,01 \mu F$ $TMPI: BF 353$ $TMPI2: BF W 10$ $IC_1, IC_2: CA 3028 A$ $D_1, D_2: IN 4148$ $V_{cc}: 13 \text{ volt}$ </p>

CHAPITRE V

APPLICATION

DE LA R.M.N EN

BIOMÉDICALE

A. INTRODUCTION .

Apprendre qu'un nouveau regard peut être lancé dans l'Intérieur du corps humain est toujours une nouvelle importante certes les méthodes d'exploration intra - corporelles manquent pas: radioscopie , endoscopie , échographie .. Pourtant les speleologues ne sont pas entièrement satisfaits . Chaque de ces méthodes présente limites et inconvénients; elle n'apporte qu'un certain type d'informations . Il faut les combiner pour obtenir les renseignements que l'on souhaite . Trop souvent le médecin ne découvre que trop tard . C'est particulièrement vrai de toutes les formes de tumeurs . Cette nouveauté pourrait bien être appelée ((magnétoscopie)) comme l'on dit radiographie ou gammagraphie ; car elle met en œuvre des phénomènes magnétiques pour permettre de voir l'Intérieur de notre corps . L'effet est connu depuis trente - cinq ans . C'est la R M N la R M N des spécialistes . De fait , ces derniers étaient bien les seules à en parler . Elle leur était fort utile pour effectuer les plus fines analyses de spectrométrie et , à ce titre , à rendre des services appréciables . Mais il s'agissait d'une technique de laboratoire , connue des chimistes et ignorée au dehors .

B. L'imagerie par R . M . N

Toutefois l'intérêt principal de la R . M . N médicale s'est concentré sur l'imagerie . Il ne s'agit plus ici de rechercher des substances , d'effectuer des analyses , mais d'obtenir une image . C'est tout différent on va pour cela s'intéresser à ce noyau qui à la fois est très fréquent dans l'organisme et qui fournit une excellente réponse R . M . N : le noyau d'hydrogène .

Le principe serait d'obtenir une émission R . M . N de tous les noyaux hydrogène présents dans le corps ou , du moins , dans la partie du corps considérée ; L'intérêt d'une telle carte de l'hydrogène se comprend si l'on se rappelle la façon extrêmement variable dont les tissus répondent à l'examen R . M . N hydrogène . Certains tissus émettent très fortement , d'autres beaucoup moins . La raison en est que l'hydrogène se trouve massivement dans les molécules d'eau . En conséquence le signal R . M . N est très lié à la teneur en eau des tissus . Or celle - ci varie . Elle culmine dans la matière grise avec plus de 80% , se situe autour de 70% dans le foie ou la peau et descend à 12% pour le squelette . C'est dire que les os

donneront un signal tres attenué alors que le cerveau sera tres lumineux .
 Le grand interet , le grand espoir de l'imagerie en R . M . N , reste tou -
 tefois la mise en evidence des tumeurs naissantes .

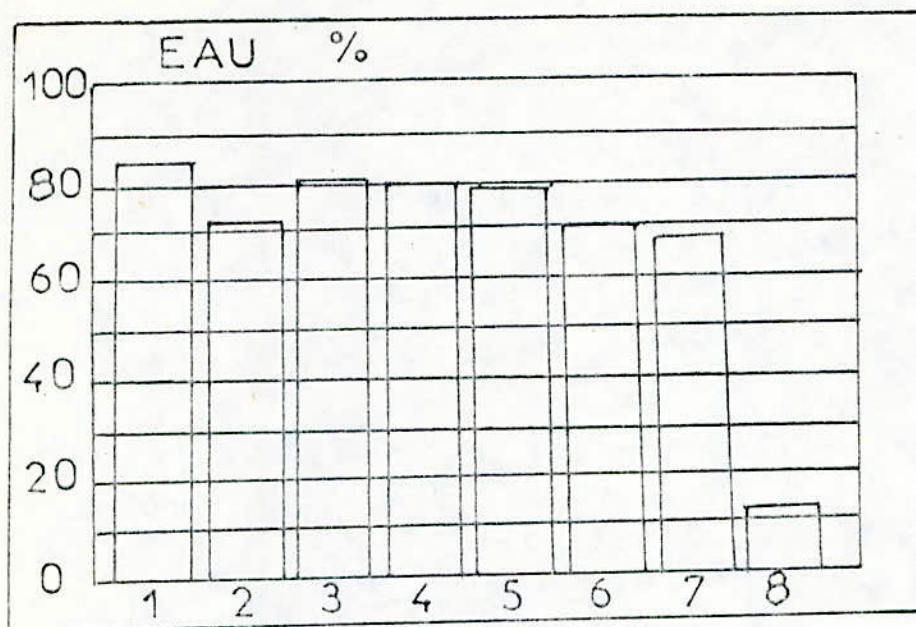


fig-41-

C. Creation d'une Image .

Pour creer une image a partir de mesures R.M.N , nous devons coder les mesures avec une information spatiale . Le principe de base de l' Equation de LARMOR est que la frequence des spins d'une zone specifique depend du champ magnetique applique a cette zone .

Nous pouvons utiliser ce principe pour obtenir L'Information spatiale en alternant le champ magnetique principal le l'aimant du systeme avec une seconde serie d'aimants appeles bobines DE GRADIENT .

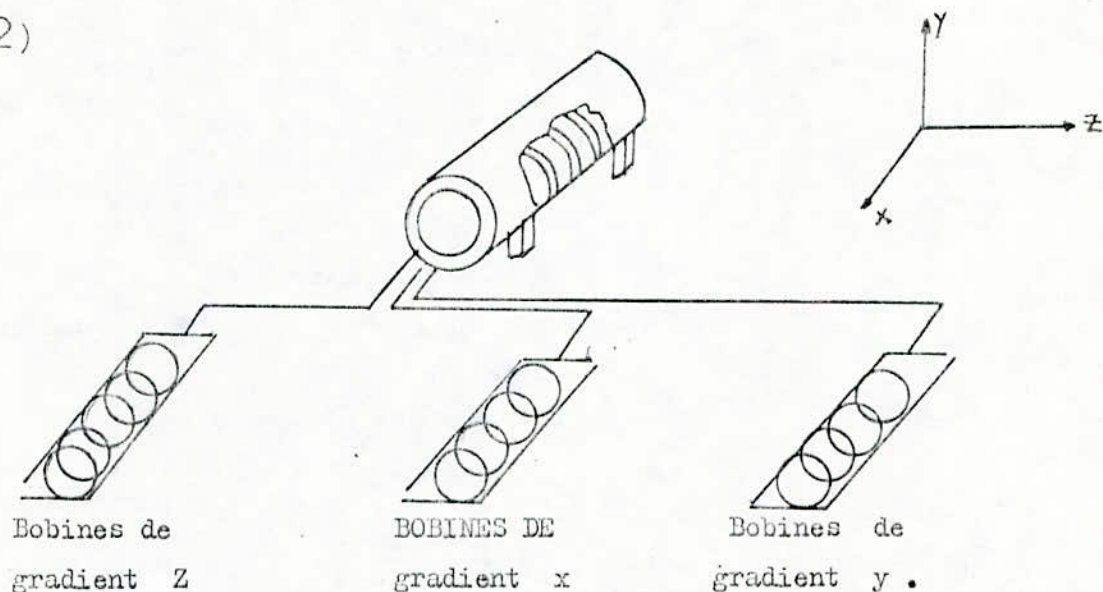
On utilise trois bobines de gradient orthogonales qu'un modifient le champ le long des axes magnetiques x , y , z .

En appliquant un gradient dans une direction particuliere ; on altere le champ magnetique dans le plan perpendiculaire a la direction du gradient . L'Effet de ceci est de diminuer le champ a une de ses extremités tout en l' Augmentant a l'Autre . Par exemples ; les spins localises a une extremité du plan auront une frequence de Larmor , ou de resonance , differentes de celle des spins situes a L'Autre extremité . Le gradient separe si bien chaque groupe de spins que nous avons une information spatiale . Les gradient peuvent etre utilises dans trois buts differents : SELECTION DE Coupe ; CODAGE . . .

EN Frequence et CODAGE ~~ET~~ PHASE .

Lorsque seule une section d'un patient doit etre exploree , nous devons etre capable d'exciter cette region et pas une autre .
L'utilisation d'un gradient de selection de coupes nous permet de choisir un plan particulier du patient a explorer .

figure (42)



CONCLUSION

L'étude que nous venons d'accomplir constitue pour nous le parachevement logique de notre cursus universitaire.

Cette étude du spectromètre R.M.N à impulsions ainsi que sa réalisation; et surtout cette dernière, nous ont permis d'avoir un aperçu pratique de ce que nous avons vu dans un aspect théorique.

La réalisation du spectromètre R.M.N n'a cependant pas été sans peine pour nous; car il nous fallait réaliser un instrument de haute fiabilité et à hautes performances.

Ainsi même les soudures devaient revêtir un caractère particulier pour permettre de très bonnes connexions. Les différents étages de notre appareillage devaient être bien isolés ce qui ne pouvait se faire sans blindage parfait qui était, aussi; utile pour éviter les perturbations externes.

Quant aux composants c'est l'un des problèmes les plus cruciaux qui s'est présenté à nous.

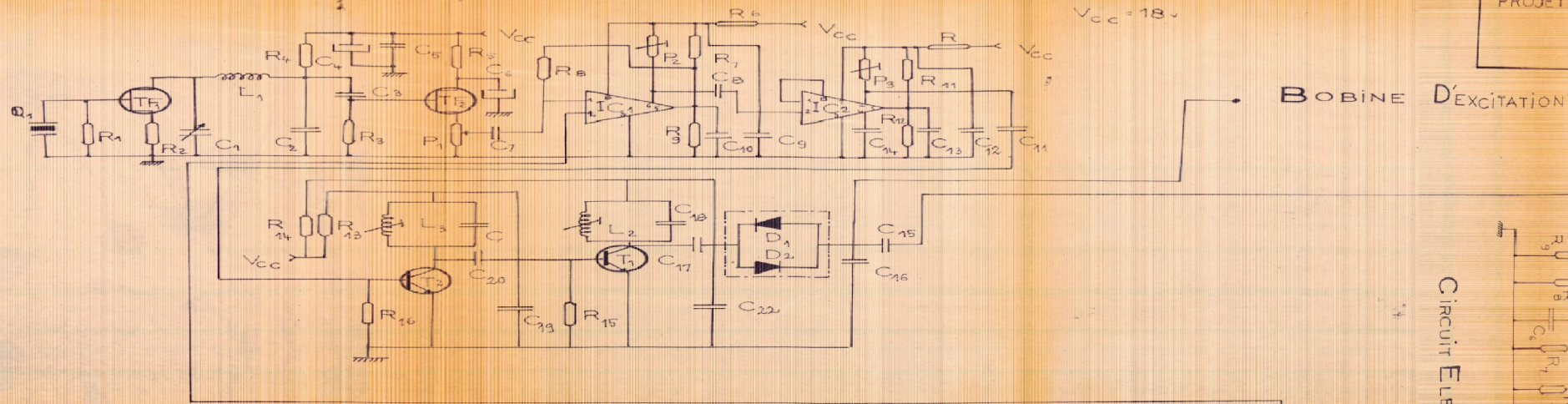
En effet, on devait utiliser des composants de très hautes fiabilités (tq les Mos.FET, CA 3028 Λ) pour avoir un instrument hautement performant. Or la disponibilité de ce genre de composants laisse à désirer sur le marché national.

Mais puisqu'il en soit nous sommes parvenus; tant bien que mal; à atteindre le but que l'on s'était fixé à savoir la réalisation du spectromètre R.M.N, et nous espérons avoir apporté; par cette étude; notre modeste contribution au développement d'une branche pleine d'avenir; à savoir; l'électronique.

BIBLIOGRAPHIE

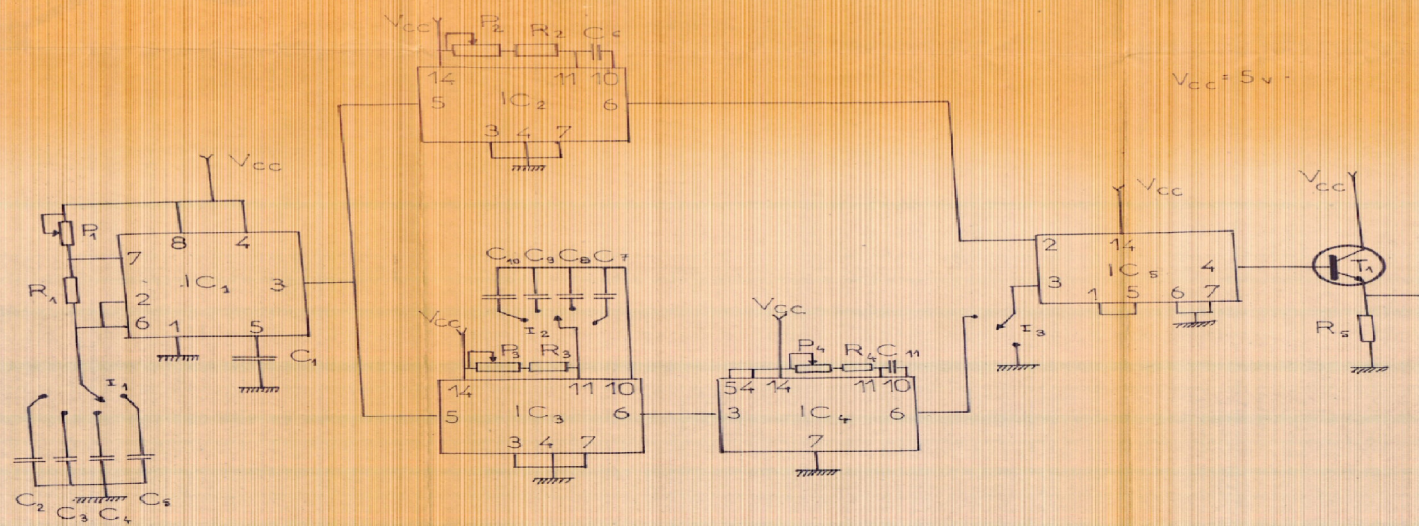
- 1/ Naissance de la Magnetoscopie: Revue Science & Vie
AOUT 1981
- 2/ La Resonance Magnetique Nucleaire en Medecine:
Electronique Application JUIN 1983
- 3/ Introduction a l'imagerie par Resonance Magnetique:
Massiot PHILIPS Materiel Medical
- 4/ Encyclopedie des sciences industrielles QUILLET
- 5/ Projet de fin d'etudes R M N =
Promotion JUIN 82, JANVIER 84, JUIN 84, JANVIER 85
- 6/ MALUING
- 7/ Electronique des signaux analogiques: J. Bouray
- 8/ MILSANT =Tome 4

CIRCUIT ELECTRIQUE DU SYSTEME EMETTEUR

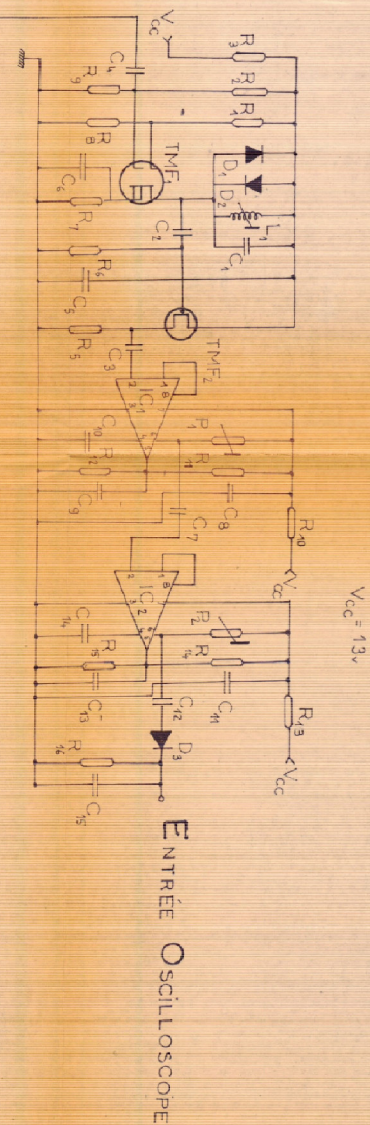


PROJET DE FIN D'ETUDE
PROMOTION JUIN 1986

CIRCUIT ELECTRIQUE DU PROGRAMMEUR D'IMPULSIONS



CIRCUIT ELECTRIQUE DU SYSTEME RECEPTEUR



SPECTROMETRE R.M.N A IMPULSIONS