

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

3/87

2 ex

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

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

SIMULATION

SOFTWARE

DE

L' E . E . G

Proposé Par :

D.E. AZOUZ

Etudié par :

A. AIT AKLI & H. GRAINE

Dirigé par :

D.E. AZOUZ

PROMOTION : JANVIER 1987

Page 34

DE D I C A C E S

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

A mes parents

A mes frères et soeurs

A mes cousins et cousines

A mes oncles

A tous mes amis

Hassane

A mes parents

A mes frères et soeurs

A tous ceux que j'aime

Akli

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

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur D.E. AZOUZ de nous avoir guidé et conseillé tout au long de l'élaboration de ce travail.

Nous remercions également tous ceux et celles qui de loin ou de près ont permis que ce travail soit réalisé dans de bonnes conditions.

S O M M A I R E

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE: GENERALITES

I - L'électro-encéphalographie et les électro-encéphalogrammes	2
I .1 - Historique - - - - -	2
I .2 - Principe de fonctionnement de l'électro-encéphalographe	2
I .3 - L'électro-encéphalogramme (E.E.G) - - - - -	2
I .4 - Aspect physiologique de l'E.E.G normal - - - - -	3
II- Notions théoriques	7
II.1 - Définition d'un signal - - - - -	7
II.2 - La transformée de Fourier directe - - - - -	7
II.3 - La transformée en z - - - - -	8
II.4 - Filtres numériques - - - - -	9
II.5 - Statistiques - - - - -	10
II.6 - Analyse spectrale - - - - -	11

DEUXIEME PARTIE: SIMULATION

Intérêt et but - - - - -	12
I - Modèle de base - - - - -	13
II - Mise en oeuvre - - - - -	14
II.1 - Générateur de bruit Gaussien - - - - -	15
a- Générateur de nombres à distribution uniforme-	16
b- Choix des paramètres de filtrage - - - - -	16
II.2 - Filtres numériques - - - - -	17
a- Choix des filtres et des paramètres de filtrage	17
b- Synthèse des filtres non récursifs - - - - -	20
c- Synthèse des filtres récursifs - - - - -	35
II.3 - Sommateur - - - - -	43
III - Analyse spectrale - - - - -	45
IV - Vérifications statistiques - - - - -	48
V - Présentation des résultats - - - - -	51
CONCLUSION - - - - -	62

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

Cette étude propose une méthode numérique de génération d'un signal simulant les activités de fond de l'E.E.G humain.

On sait que l'on peut supposer que les propriétés statistiques de l'E.E.G pourraient être représentées par un processus stationnaire sur une courte période; et peuvent être donc obtenues par un système de filtres numériques et, de générateurs de nombres aléatoires. [1]

Le modèle choisi ne représente ni le mécanisme neurologique pour la génération de l'E.E.G, ni aucun type particulier d'enregistrement E.E.G. Les phénomènes transitoires tels que les pointes d'ondes, les ondes à pics et également les bouffées alpha(α) sont exclus. La base de cette simulation est une description statistique de l'E.E.G, cette description est utilisée pour produire une représentation numérique du signal qui, s'il est tracé séquentiellement, peut ou ne peut pas ressembler à l'E.E.G, ceci n'est pas si important, ce qui l'est par contre c'est que les propriétés statistiques des séries, restent celles d'un E.E.G réel. C'est en ce sens que la sortie est une simulation de l'E.E.G.

Notre travail se divise en deux parties: la première traite des rappels sur les notions théoriques de base; théorie du traitement de signal et sur la synthèse des filtres numériques. au début de cette première partie on donne une description physiologique du signal E.E.G. La deuxième est consacrée à la simulation proprement dite, celle-ci occupe la plus large part de notre travail. Elle comprend cinq chapitres Le premier décrit le modèle de base, le second s'étale sur la mise en oeuvre du modèle; en détaillant la synthèse du générateur de nombres aléatoires, la synthèse des filtres non récursifs(RIF) et récursifs(RII) ainsi que le sommateur. Le troisième chapitre présente l'analyseur de spectre par filtrage numérique. Le quatrième est consacré aux vérifications statistiques. Le dernier présente les résultats obtenus. Et enfin on termine notre travail par une conclusion.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PREMIERE PARTIE

GENERALITES

Chap I L'électro-encéphalographie et les électro-encéphalogrammes

I .1 - Historique sur l'électro-encéphalographie

Il y a cent dix ans (1875) l'anglais Richard Caton enregistra l'activité électrique du cerveau mis à nu chez l'animal. Néanmoins il a fallu attendre cinquante ans (1925) pour que l'allemand Hans Berger réussisse à enregistrer sur le scalp, l'activité électrique spontanée du cerveau humain. C'est en 1929 qu'il publia sa découverte et donna le nom d'électro-encéphalogramme (E.E.G) aux enregistrements des ondes électriques de l'encéphale.

Actuellement l'électro-encéphalographie est une méthode de diagnostic, qui est devenue indispensable dans certains cas de maladies telle l'épilepsie, . . . , et elle est aussi employée dans l'étude du sommeil. Elle s'est développée sur des bases empiriques, car c'est après avoir constaté que le rythme cérébral se présentait avec une certaine constance que l'on a cherché à rattacher les exceptions à la pathologie. [2]

I .2 - Principe de fonctionnement de l'électro-encéphalographie

Les différences de potentiel créées par les neurones sont captées à la surface du cuir chevelu, puis amplifiées et, inscrites. Ces trois opérations sont réalisées respectivement par les électrodes, les amplificateurs et les inscripteurs ou oscillographes.

Le système amplificateur comporte un certain nombre d'étages de telle manière qu'à la sortie, un signal de 50 μ V représente une déflexion de cinq à dix millimètres.

La vitesse de déroulement du papier est généralement de 15mm/s. En fait amplification et vitesse de déroulement sont variables et peuvent être modifiées selon les besoins du médecin. [2]

I .3 - L'électro-encéphalogramme (E.E.G)

C' est l'enregistrement de l'activité électrique spontanée du

cerveau, à partir d'électrodes posées sur le scalp. Le cuir chevelu au point de contact avec les électrodes, est frotté, d'abord avec un mélange d'alcool, d'acétone et d'éther, puis avec une pâte abrasive pour diminuer sa résistance, qui ne doit pas dépasser 10000Ω , et enduit ensuite d'une pâte conductrice. Les électrodes (courtes tiges d'argent chloruré entourées d'un tampon de coton imbibé d'eau salée) sont maintenues en place par des lanières souples formant un casque. Chaque électrode est reliée par un fil à l'appareil amplificateur enregistreur; par l'intermédiaire de la boîte têtère. Un certain nombre d'électrodes, généralement vingt-cinq sont disposées de façon précise sur le scalp, symétriquement des deux côtés et équidistantes les unes des autres.

Il y a deux types de dérivations :

- Une dérivation référentielle, enregistre les différences de potentiel entre une électrode active et une électrode inactive (menton, lobe de l'oreille...).

- Une dérivation bipolaire, enregistre les différences de potentiel entre deux électrodes actives.

L'ensemble des dérivations simultanément enregistrées constitue un montage. Les montages n'obéissent pas à une standardisation rigoureuse [2] Ils sont généralement présélectionnés au niveau de l'enregistreur, l'usage de sélecteurs manuels permet une grande souplesse et multiplie les possibilités de montage. La figure 1 donne les différentes structures du montage appelé standard zéro.

I .4 - Aspect physiologique de l'E.E.G normal

En appliquant des électrodes sur le scalp d'un sujet humain adulte en position relaxée, on enregistre une activité de fluctuations électriques, lesquelles ont une fréquence dominante d'environ dix Hertz et une amplitude de vingt à deux cent microvolts, cette activité est appelée rythme alpha, sa bande de fréquence est de huit à douze Hertz, elle est localisée surtout en zone occipitale et pariétale, cette acti-

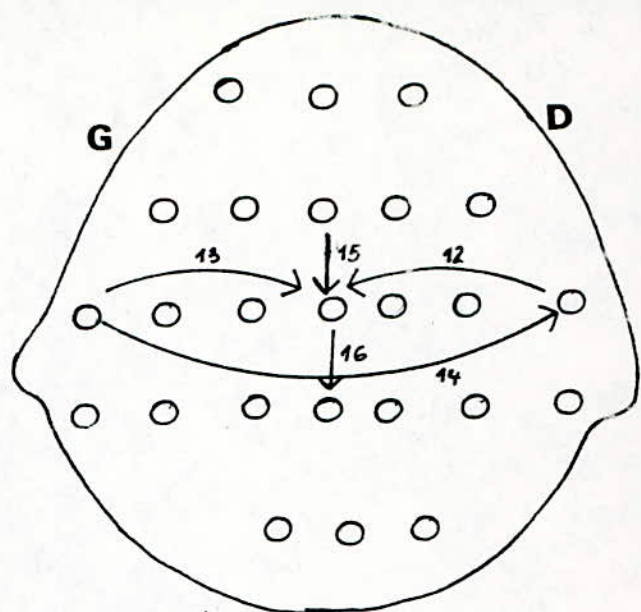
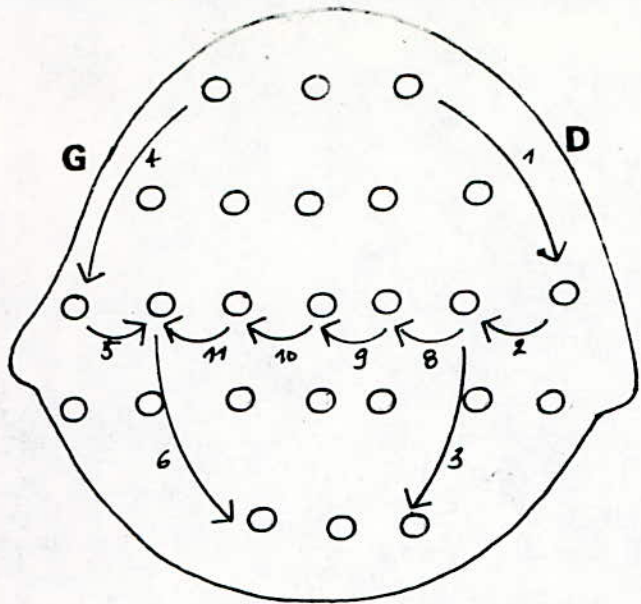
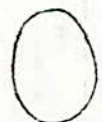
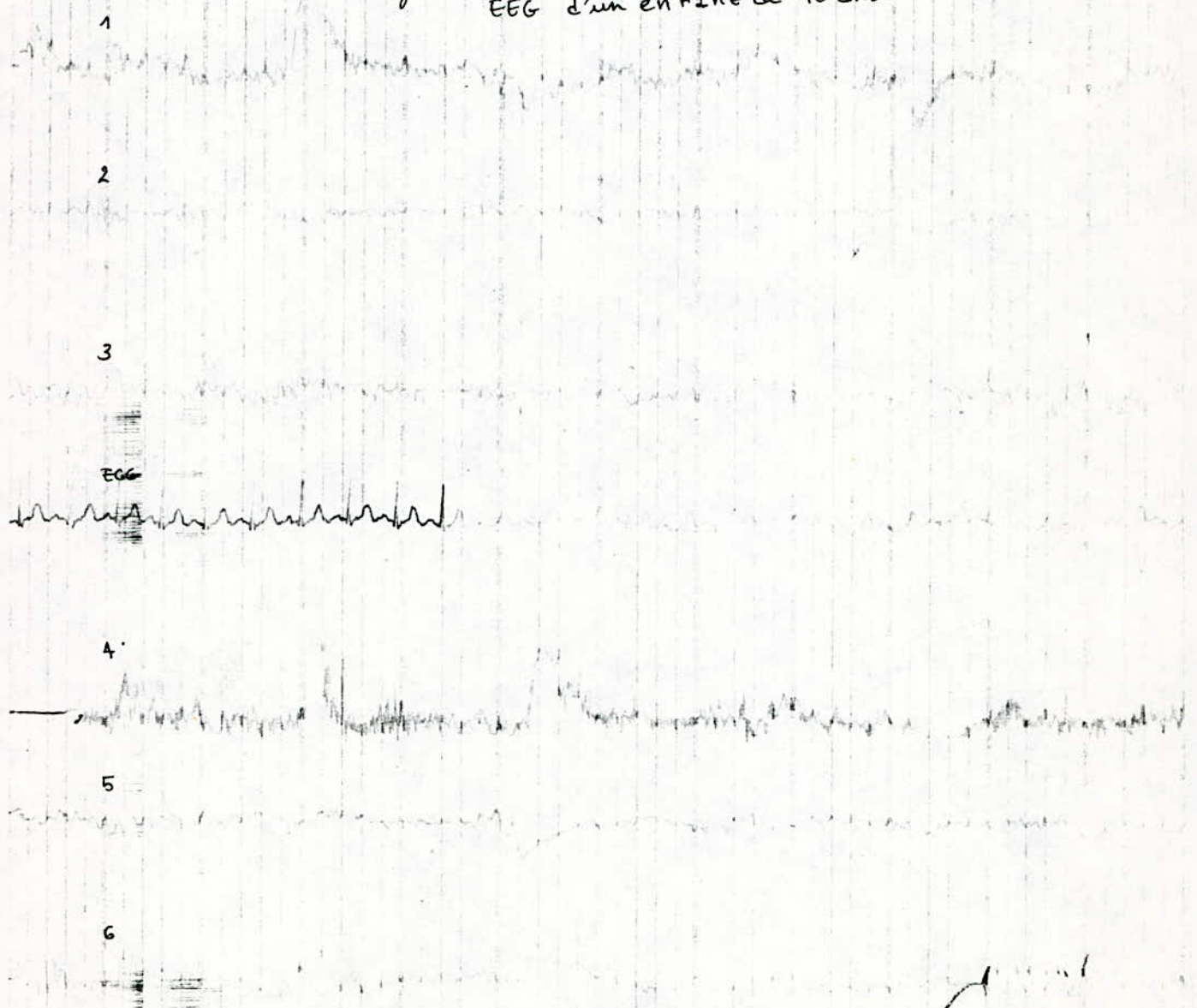


Fig-1. Montage standard zero et EEG d'un enfant de 10 ans.



tivité occupe un peu plus de la moitié du tracé. Le rythme alpha augmente en fréquence avec l'âge et atteint la forme adulte vers quinze à vingt ans, il est plus prédominant lorsque les yeux sont fermés et en absence de concentration. Il diminue en ouvrant les yeux et disparaît quand on exerce une activité intellectuelle (calcul mental...).

L'activité alpha est dominante, elle est aussi appelée activité de fond. D'autres fréquences existent pour un sujet normal, il y a une grande proportion de bas voltage et de fréquence élevée, comme l'activité bêta allant de douze à vingt deux Hertz, cette activité est localisée dans la partie frontale du cerveau.

Cependant l'E.E.G contient plusieurs ondes dont les fréquences varient de un à soixante Hertz, et les amplitudes dépendent de l'état cérébral.

La description des ondes et de leurs fréquences est présentée sous la forme d'un tableau (Fig 2). [3]

On notera que les activités de fond de l'E.E.G sont représentées par alpha(α), bêta(β), delta(δ), et thêta(θ), avec une grande prédominance de l'activité alpha(α) pour un sujet adulte normal.

ONDE	FREQUENCE en (Hz)	COMMENTAIRE.
rythme α	8-12	Pariétal occipital; associé à un sujet relaxé en état de veille; prépondérant les yeux fermés.
rythme β	12-22	Plus évident en frontal-pariétal; mieux vu quand α est bloqué.
rythme δ	0-3	Associé à un sommeil normal et présent chez les enfants de moins d'un an; aussi vu lors d'une pathologie cérébrale.
rythme θ	4-7	Pariétal-temporal; dominant chez les enfants de 2 à 5 ans.
Lambda	transitoire	Provoqué visuellement; basse amplitude; onde occipitale; résultant de la reconnaissance d'une image rétinienne.
V ou onde vertexe	transitoire	Pics de durée 150-200 ms enregistrés au-delà du vertex. (sommet du crâne).
K. complexe	transitoire	Onde vertexe souvent suivie par un fuseau; fréquemment vue pendant le sommeil ou en réponse à une stimulation auditive.
Mu. arcade	8-12	Dominant au centre; ressemble à une demi-sinusoïde (i.e. rythme en arc au); région rolandique, disparaît quand on exerce une contraction des poignets.

Fig-2 - DESCRIPTION DES ONDES ET DE LEURS

Chap II Notions théoriques

Dans ce chapitre on se limite uniquement aux notions générales. Pour plus de détail, le lecteur peut se référer aux ouvrages traitant sur le traitement numérique des signaux. [4] à [8]

II.1 - Définition d'un signal

Un signal est défini comme le support physique d'une information. Mathématiquement, les signaux sont représentés par une fonction d'une ou plusieurs variables.

Classification des signaux

Généralement un signal peut être continu ou discret. Dans le premier cas, il est appelé signal analogique, dans le second cas il est appelé signal échantillonné ou signal numérique.

Définition de la causalité :

Un signal discret est causal si et seulement si :

$$\forall n \in \mathbb{Z}^{*-}, x(n) = 0$$

Signaux numériques :

Un signal discret ou numérique est défini comme une suite d'éléments de \mathbb{R} tels que :

$$X = \{ X(n) \} \quad n \in \mathbb{Z} \quad , \quad X(n) \in \mathbb{R}$$

II.2 - Transformationⁿ de Fourier des signaux numériques

Quand on travaille en numérique, on utilise la transformée de Fourier discrète (T.F.D) définie par :

$$X(f) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x(k) \cdot \exp(-j2\pi \cdot f \cdot k)$$

La fonction $X(f)$ est généralement une fonction complexe de la variable continue réelle f .

Existence de la transformée de Fourier

Si $X(f)$ converge, ($X(f)$ est finie) la transformée de Fourier $X(f)$ existe, la condition nécessaire est:

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} X(k) < \infty$$

La transformée de Fourier existe pour tous les signaux à énergie finie, ce sont tous les signaux physiquement réalisables.

II.3 - Transformée en Z

La transformée en Z joue dans le domaine numérique le même rôle fondamental que la transformée de Laplace dans le domaine analogique.

Définition:

La transformée en Z, $X(Z)$ d'un signal numérique $x(k)$ est définie par :

$$X(Z) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x(k) Z^{-k}$$

$X(Z)$ est appelé fréquemment transformée en Z bilatérale.

Dans l'étude des signaux et des systèmes causaux on utilise la transformée en Z unilatérale:

$$X(Z) = \sum_{k=0}^{\infty} x(k) Z^{-k}$$

Cette transformée permet une étude théorique de la fonction de transfert d'un filtre numérique.

II.4 - Filtres numériques

Un filtre numérique est un système à temps discret linéaire et en général invariant.

Définition: [8] et [9]

Un filtre numérique F est un algorithme de calcul par lequel une séquence de nombres $\{X(n)\}$, dite séquence d'entrée, est transformée en une autre séquence de nombres $\{Y(n)\}$, dite séquence de sortie. Le filtre effectue la transformation:

$$\{Y(n)\} = F[\{X(n)\}]$$

On se limite au filtre possédant les trois propriétés :

- linéarité

F est dit linéaire si à la séquence d'entrée:

$$\{E(n)\} = a_0 \cdot \{X_1(n)\} + b_0 \cdot \{X_2(n)\}$$

fait correspondre la séquence de sortie :

$$\{S(n)\} = a_1 \cdot \{Y_1(n)\} + b_1 \cdot \{Y_2(n)\}$$

avec

$$\begin{aligned} \{Y_1(n)\} &= F[\{X_1(n)\}] \\ \{Y_2(n)\} &= F[\{X_2(n)\}] \end{aligned}$$

- invariance temporelle

F est dit invariant temporel si à la séquence $\{X(n-k)\}$, séquence $\{X(n)\}$ retardée de k périodes d'horloge, il fait correspondre la séquence de sortie $\{Y(n-k)\}$.

- causalité

Théorème de Shannon

Si un signal $f(t)$ de spectre borné est échantillonné à une fréquence supérieure à deux fois la plus haute fréquence dans ce spectre, alors la quantité d'informations contenue dans le signal $f(t)$ est égale à celle contenue dans le signal discret obtenu par échantillonnage de $f(t)$.

II.5 Statistique

Pour saisir l'information contenue dans les données numériques on introduit trois types de paramètres destinés à satisfaire les exigences suivantes: [10]

1 - Représenter l'ensemble des valeurs de la série par des grandeurs numériques, dites valeurs centrales, autour desquelles se groupent les grandeurs de ces données. Ces valeurs centrales renseignent globalement sur les valeurs de la série à étudier.

$$m = \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

m étant la moyenne de la série

2 - Préciser la qualité de la représentation d'une série statistique par une valeur centrale en caractérisant la dispersion des données par cette valeur centrale. Cette caractérisation se fait à l'aide des paramètres de dispersion qui sont l'écart-type et la variance.

$$\text{Variance : } \sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2$$

$$\text{Ecart type : } \sigma_x$$

coefficient de dispersion:

$$V = \frac{\sigma_x}{\bar{X}}$$

3 - Déterminer certaines caractéristiques de forme de la distribution réelle (ou expérimentale). Les distributions expérimentales s'écartent plus ou moins des distributions théoriques; il est alors intéressant d'estimer cette dérivée; on introduit le test du khi-deux.

II.6 - Analyse spectrale

Le choix des méthodes en analyse spectrale numérique est relativement grand. [5]

Avant tout, l'analyse spectrale des signaux aléatoires se fait par estimation .

Les méthodes classiques d'estimation de la densité spectrale sont:

- le filtrage
- la transformée de Fourier directe
- la transformée de Fourier de la fonction de corrélation

DEUXIEME PARTIE

SIMULATION

I N T E R E T E T B U T

La simulation est une procédure expérimentale. Elle permet à l'ingénieur d'évaluer un système expérimentalement et de déterminer les effets des modifications dans la conception du système, sans les dépenses en temps et en argent pour la constitution du système réel.

On peut aussi à défaut de simuler un système, simuler un signal ayant les caractéristiques du signal réel. En fait c'est une reconstitution mathématique du signal.

Dans la littérature il y a plusieurs techniques d'analyse numériques pour l'E.E.G, mais il n'y a pas de normes pour juger et comparer de l'efficacité de celles-ci, cependant un simulateur peut jouer le rôle d'un test d'entrée pour ces différentes techniques. En générant un signal E.E.G de paramètres bien définis, on peut valider une part de ces techniques. Un autre but de la simulation est de permettre le développement de systèmes numériques ou cartes destinées au traitement de l'E.E.G.

L'utilisation de l'E.E.G simulé dans ce cas est très avantageux, il offre plusieurs possibilités, comme le choix des ondes, des moments d'apparition, de la durée et du gain.

L'intérêt de la simulation apparait aussi dans le domaine de la reconnaissance des formes, cette technique consiste à simuler certaines pathologies et à les mémoriser, cela peut constituer une aide appréciable au praticien dans l'élaboration de son diagnostic, en comparant l'enregistrement simulé et l'enregistrement réel.

Chap. I Modèle de base

L'E.E.G peut être considéré comme un processus statistique à deux composantes: [1]

1- Une composante aléatoire qui est stationnaire sur une petite période.

2- Une composante transitoire (train d'ondes, ondes à pics . . .) qui apparaît sporadiquement.

Les composantes transitoires pourront être considérées comme superposées sur la composante aléatoire stationnaire, qui est reconnue comme l'activité de fond. Dans notre travail on s'intéresse qu'à cette activité de fond de l'E.E.G.

Les propriétés spectrales d'un processus aléatoire stationnaire peuvent être représentées par un modèle, qui consiste en un générateur de bruit blanc Gaussien et, d'un filtre. Ce modèle est intéressant pour cette application, car on peut raisonnablement supposer que les signaux de l'E.E.G sont formés par un système organique qui somme et qui filtre les impulsions primaires [1]. (fig-2 -)

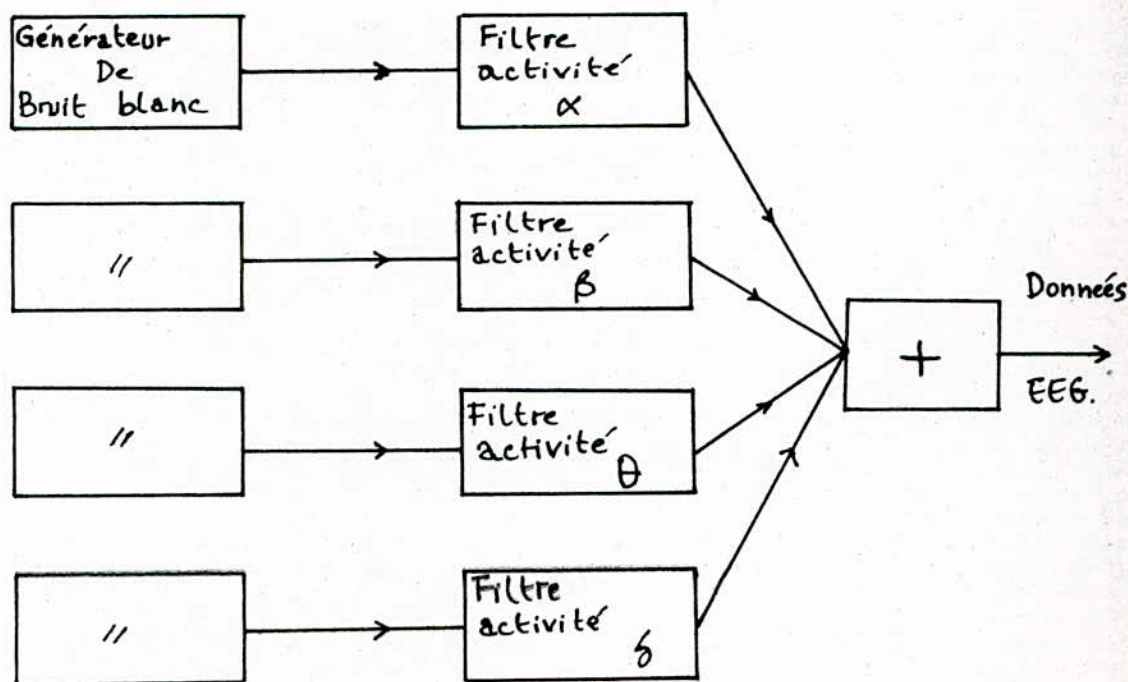


Fig-2 - SYNOPTIQUE DU MODELE SIMULATEUR DEEG.

En effet une électrode recueille l'activité électrique de tous les neurones situés dans la région où cette électrode est placée, et le champ électrique avant d'arriver à l'électrode traverse d'abord un milieu organique qui filtre certaines fréquences.

On doit souligner que ce modèle ne prétend pas imiter le système neurologique de génération de l'E.E.G, mais représente une description du signal réel E.E.G.

Chap. II Mise en oeuvre

En se basant sur le modèle décrit plus haut et connaissant les paramètres de fréquence des différentes activités; la simulation de l'E.E.G peut être entreprise. La figure 3 donne les bandes passantes des quatre activités de fond.

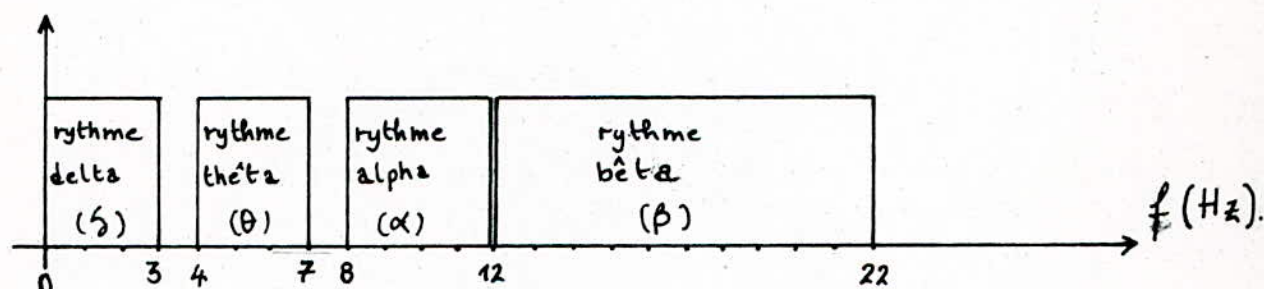


Fig- 3 - BANDES PASSANTES DES QUATRE RYTHMES

On doit préciser que les frontières de ces bandes dans la littérature scientifique ne sont pas exactement définies; on peut trouver d'autres définitions. pour notre modèle on a introduit les bandes les plus utilisées.

La simulation de l'E.E.G s'obtient par le filtrage indépendant de séquences de nombres aléatoires, à l'aide de fonctions de transfert des filtres correspondant aux différentes activités. La sommation des quatre activités donne les échantillons numériques de l'E.E.G simulé.

Les séquences de nombres aléatoires indépendantes, ayant une distribution de probabilité Gaussienne, sont générées en changeant la valeur initiale du générateur.

La conception des différents blocs du synoptique; générateur, filtres numériques et du sommateur se fait séparément. Pour aboutir au signal E.E.G simulé il suffit de relier ces différents blocs.

II.1 - Générateur de bruit blanc Gaussien

Il est possible de générer des suites de nombres ayant une répartition donnée, sans que l'on puisse prédire la valeur d'un nombre à l'aide de ses précédents immédiats. On considère alors qu'on est en présence de tirage d'une variable aléatoire. Bien entendu ces suites ne sont pas infinies; en raison du nombre fini d'états du calculateur, on retrouve inéluctablement un état x_0 déjà obtenu et les états suivants se succèdent alors de la même façon que lors du premier passage par x_0 . [4]

Dans notre étude nous avons utilisé le même générateur pour les quatre activités, ce générateur donne des suites de nombres pseudo-aléatoires ayant une distribution de probabilité Gaussienne. Pour garder le caractère aléatoire du signal simulé on introduit des valeurs de références différentes.

A partir d'un signal $R(k)$ pseudo-aléatoire de densité de probabilité uniforme, on peut générer un signal $x(k)$ pseudo-aléatoire qui suit une loi de probabilité Gaussienne en utilisant la relation: [5]

$$x(k) = y(k) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot R(k+1)) \cdot \sigma + m \quad (1)$$

où σ = écart_type ; m = moyenne

$y(k)$ est un signal pseudo-aléatoire ayant une distribution de Rayleigh, ce signal est généré en utilisant :

$$y(k) = \sqrt{2 \cdot \sigma^2 \cdot \text{Log}(1/R(k))} \quad (2)$$

a - Générateur de nombre à distribution uniforme

Sur un calculateur ou un système binaire, on met en oeuvre la relation de récurrence:

$$R(k+1) \equiv A \cdot R(k) \quad \left[\text{modulo } 2^{N-1} \right] \quad (3)$$

où k et A sont des entiers.

Pour avoir la périodicité maximale, il faut choisir $R(0)$ impair, et de la forme:

$$A = 8m \pm 3, \text{ avec } m \text{ entier}$$

La périodicité est de 2^{N-3} . On choisit A de l'ordre de $2^{\frac{N-1}{2}}$, en divisant chaque nombre par 2^{N-1} on obtient une variable aléatoire uniformément répartie sur l'intervalle $[0, 1]$.

b - Choix des paramètres du générateur

Notre calculateur travaille sur 16 bits:

$$N = 16$$

On peut donc générer des tirages de la variable aléatoire $R(k)$ uniformément répartie sur $[0, 1]$ par: $[4]$

i_0 impair
$i_{n+1} = 259 i_n$
$R(n) = 2^{-15} i_n$

Nous avons choisi A de l'ordre de $2^{\frac{N-1}{2}}$

$$A = 8 \cdot 32 + 3$$

$$A = 259$$

et on a divisé chaque nombre de la suite par 2^{N-1}

$$\frac{1}{2^{N-1}} = \frac{1}{2^{15}} = 3,05175578 \cdot 10^{-5}$$

La périodicité de la suite $R(n)$ est de :

$$2^{N-3} = 2^{13} = 8192$$

La valeur initiale i_0 du générateur est choisie impaire et, est introduite directement par programme.

II.2 - Filtres numériques

Dans notre étude on a utilisé deux types de filtres numériques; les filtres non récursifs (RIF) et les filtres récursifs (RII). Cela permet à l'utilisateur d'avoir le choix entre les avantages de l'un ou de l'autre (fig-5).

Pour chaque type de filtre on a synthétisé, un filtre passe bas de bande passante 3Hz et trois filtres passe bande de bandes passantes: 3, 4 et, 10Hz, correspondant respectivement aux activités θ , α et β .

a - Choix des filtres et des paramètres de filtrage

Chaque type de filtre a ses avantages et ses inconvénients, sur le tableau (fig 5) on représente la comparaison générale entre les filtres RIF et RII.

Les méthodes de synthèse des filtres non récursifs les plus générales sont : [4]

- Méthode des fenêtres
- Méthode d'échantillonnage en fréquence

Dans notre étude les filtres RIF sont synthétisés par la méthode d'échantillonnage en fréquence, car ils présentent une ondulation minimale en bande passante et en bande coupée, et peut améliorer la réponse en fréquence en jouant sur l'ordre.

TYPE	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Filtres RIF	<ul style="list-style-type: none"> * La fonction de transfert n'a pas de pôles, donc les filtres sont stables. * La formulation est simple * Les erreurs de calcul ne se cumulent pas. 	<ul style="list-style-type: none"> * Nécessitent un espace mémoire important * Le temps de calcul est assez long.
Filtres RII	<ul style="list-style-type: none"> * Nécessitent une capacité mémoire faible * Les calculs sont simples. 	<ul style="list-style-type: none"> * La stabilité dépend de la position des pôles. * Les erreurs se cumulent lors des étapes de calcul.

Fig-5 - COMPARAISON ENTRE FILTRES RII ET FILTRES RIF.

TYPE DU FILTRE	CARACTERISTIQUES	INCONVENIENTS.
BUTTERWORTH	Réponse plate dans la bande passante.	Flanc de montée très peu raide.
LEGENDRE	Pente la plus forte à la coupure. atténuation croissant uniformément.	Ordre souvent élevé pour satisfaire le gabarit.
BESSEL	Approximer un retard pur	Sans oscillation pour la réponse indicielle. mauvaise caractéristique d'atténuation.
CHEBYCHEFF	Ordre minimal pour atténuation donné.	Oscillation pour la réponse indicielle
ELLIPTIQUES	Ordre le plus faible.	Complexité des calculs.

Fig - 6 - COMPARAISON ENTRE FILTRES RII

En ce qui concerne les filtres RII on a opté pour les filtres de Butterworth à quatre pôles, car ils présentent une réponse plate dans la bande passante et que dans notre cas un flanc de montée très raide n'est pas nécessaire.

Dans le tableau de la figure 6 est faite la comparaison entre plusieurs filtres récurrents.

Spécification des filtres

On donne les paramètres des filtres sous forme d'un tableau (fig 7).

TYPE DE FILTRE	BANDE PASSANTE (Hz)	FREQUENCE DE COUPURE. FCB - FCH (Hz)	FREQUENCE D'ECHANTILLONNAGE. FE (Hz)	ATTENUATION (dB/octave)	ONDULATION PERMISE.
Filtre rythme Delta (δ)	3	- 3	10	De l'ordre de 30	Inférieur ou égal à 0,05
Filtre rythme Théta (θ)	3	4 - 7	20	//	//
Filtre rythme Alpha (α)	4	8 - 12	40	//	//
Filtre rythme Béta (β)	10	12 - 22	80	//	//

Figure 7 - Paramètres des filtres.

b - Synthèse des filtres ^{non} récursifs

Dans ce paragraphe on décrit d'abord la méthode de synthèse des filtres numériques par échantillonnage en fréquence, puis on donne les détails des calculs effectués pour synthétiser les quatre filtres correspondant aux différents rythmes.

La méthode de l'échantillonnage en fréquence consiste à approximer la courbe de réponse réelle du filtre désiré, par celle du filtre idéal correspondant en faisant coïncider les deux courbes de réponses en un nombre fini de points.

Sur la courbe de réponse idéale du filtre désiré, on fixe un nombre de points N , on précise pour chaque point sa fréquence et la valeur associée du module de la fonction de transfert.

Pour des raisons de commodité on choisit N points répartis de façon équidistante sur l'intervalle $[-F_e/2, F_e/2]$, par conséquent chaque point a pour abscisse $n F_e/N$, avec n variant de $-(N-1)/2$ à $(N-1)/2$. La valeur N est appelée ordre du filtre, et F_e constitue la fréquence d'échantillonnage.

Sachant qu'un filtre est un algorithme de calcul; cet algorithme est de la forme :

$$Y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \cdot X(n-k) \quad (4)$$

avec : $h(k)$ la réponse impulsionnelle du filtre
 $y(n)$ le signal numérique de sortie
et $X(n)$ le signal numérique d'entrée

L'obtention du filtre repose donc sur le calcul des $h(k)$

Calcul de la réponse impulsionnelle du filtre

La fonction de transfert isochrone du filtre est donnée par:

$$H(j\omega) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \cdot \exp(-j 2 \cdot \pi \cdot k \cdot f / F_e) \quad (5)$$

Pour un échantillon d'abscisse $f = n F_e/N$, la fonction de transfert devient:

$$H(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \exp(-j.k.2.\pi.n/N) \quad (6)$$

La solution fournie par l'emploi de la transformée de Fourier discrète donne:

$$h(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=-\frac{(N-1)}{2}}^{\frac{(N-1)}{2}} H(n) \exp(j.2.\pi.k.n/N) \quad (7)$$

On aura donc N termes $h(k)$ constituant la réponse impulsionnelle du filtre.

Calcul du filtre passe bas

Ce filtre correspond au rythme δ , ses paramètres sont décrits au tableau de la figure 7.

Sur la courbe de réponse idéale du filtre passe bas, on choisit N points uniformément répartis sur l'intervalle $[-F_e/2, F_e/2]$. (Fig 8)

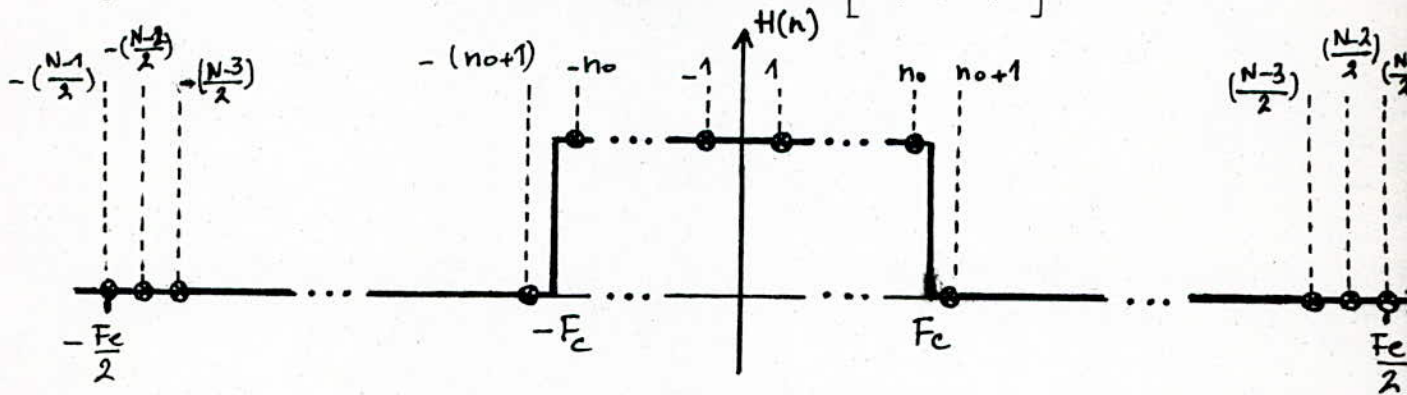


Fig-8 - ECHANTILLONNAGE DU FILTRE PASSE-BAS IDEAL.

$$H(n) = \begin{cases} 1 & -N \frac{F_c}{F_e} \leq n \leq N \frac{F_c}{F_e} \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

F_c : Fréquence de coupure = 3Hz

n_0 est le dernier échantillon tel que:

$$n_0 \leq N \frac{F_c}{F_e} \quad \text{c.à.d. } H(n_0) \neq 0$$

Les différents échantillons prélevés sur la courbe de réponse idéale sont:

$$H(0) = 1$$

$$H(-1) = H(1) = 1$$

$$H(-2) = H(2) = 1$$

$$\begin{array}{ccc} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{array}$$

$$H(-n_0) = H(n_0) = 1$$

$$H(-(n_0+1)) = H(n_0+1) = 0$$

$$\begin{array}{ccc} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{array}$$

$$H(-(\frac{N-1}{2})) = H(\frac{N-1}{2}) = 0$$

En appliquant la relation -7- on en déduit:

$$\begin{aligned} N h(k) = & \left[H(0) \exp(0) + \right. \\ & H(-1) \exp(-j \cdot 2\pi \frac{k}{N}) + H(1) \exp(j \cdot 2\pi \frac{1}{N} k) + \\ & H(-2) \exp(-j \cdot 2\pi \frac{2}{N} k) + H(1) \exp(j \cdot 2\pi \frac{2}{N} k) + \\ & \cdot \\ & \left. H(-\frac{N-1}{2}) \exp(-j \cdot 2\pi \frac{N-1}{2} \frac{k}{N}) + H(\frac{N-1}{2}) \exp(j \cdot 2\pi k \cdot \frac{N-1}{2N}) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N h(k) = & H(0) + 2 H(1) \cos(2\pi \frac{k}{N}) + 2 H(2) \cos(4\pi \frac{k}{N}) + \dots + \\ & + 2 H(n_0) \cos(2\pi \frac{n_0}{N} k) \end{aligned}$$

par conséquent:

$$N \cdot h(k) = H(0) + 2 \sum_{n=1}^{\frac{N-1}{2}} H(n) \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{n \cdot k}{N}\right)$$

d'où finalement:

$$h(k) = \frac{1}{N} \cdot \left[H(0) + 2 \sum_{n=1}^{\frac{N-1}{2}} H(n) \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{n \cdot k}{N}\right) \right] \quad (8)$$

Nous remarquons que la réponse impulsionnelle du filtre (relation 8) est paire; $h(-k) = h(k)$. En décalant les $h(k)$ vers la droite de $(N-1)/2$ périodes d'échantillonnage on ^{rend} le filtre causal, c'est ce qui permet de garder la phase linéaire.

On calcul les $h(k)$ pour $k = 0, \dots, \frac{N-1}{2}$ à l'aide de la relation 8. Les autres termes de $h(k)$ sont déduits par symétrie.

Pour le tracé de la courbe de réponse calculée, nous utiliserons l'expression de la fonction de transfert isochrone (relation 6).

La figure 9 représente le tracé de la courbe de réponse du filtre passe bas, on remarque qu'au voisinage de la zone de transition les ondulations dépassent le gabarit, pour remédier à ce problème on applique la fonction d'interpolation: [6]

$$I(f, n) = \frac{1}{N} \cdot \frac{\sin\left(\left(\frac{f}{F_e} - \frac{n}{N}\right) \cdot N \cdot \pi\right)}{\sin\left(\frac{f}{F_e} - \frac{n}{N}\right)} \quad (9)$$

à noter que cette fonction n'affecte pas la linéarité de la phase.

L'interpolation consiste à modifier la valeur des échantillons les plus proches de la zone de transition: $H(n_0)$ et $H(n_0+1)$

D'une manière générale en étendant le calcul aux N échantillons du filtre on aura la relation: $\left(\frac{N-1}{2}\right)$

$$H(f) = \sum_{n=-\left(\frac{N-1}{2}\right)}^{\frac{N-1}{2}} H(n) I(f, n) \quad (10)$$

Calcul de $H(n_0)$ et $H(n_0+1)$

L'application de la relation (10) donne:

$$\begin{aligned}
 H(f) = & \left[1 \cdot (I(f,0)) + \right. \\
 & 1 \cdot (I(f,-1)) + I(f,1)) + \\
 & \quad \vdots \\
 & 1 \cdot (I(f,-(n_0-1)) + I(f, (n_0-1))) + \\
 & H(n_0) \cdot (I(f,-n_0) + I(f,n_0)) + \\
 & H(n_0+1) \cdot (I(f,-(n_0+1) + I(f,n_0+1)) + \\
 & 0 \cdot (I(f,-(n_0+2)) + I(f,n_0+2)) + \\
 & \quad \vdots \\
 & \quad \vdots \\
 & \left. 0 \cdot (I(f,-(N-1)/2) + I(f, (N-1)/2)) \right]
 \end{aligned}$$

Pour trouver les valeurs de $H(n_0)$ et $H(n_0+1)$ il faut résoudre un système de deux équations à deux inconnues.

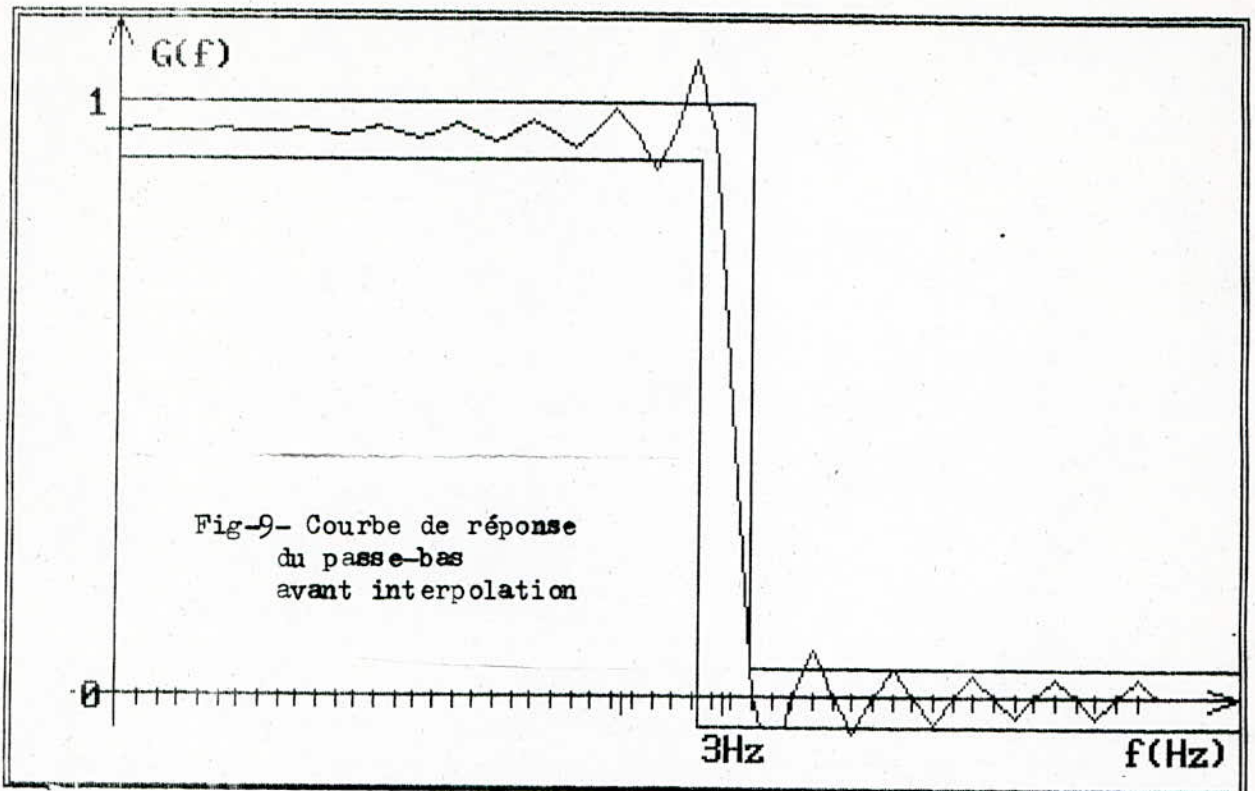
$$\begin{cases} |H(f_1) - 1| = \text{det1} \\ |H(f_2) - 0| = \text{det2} \end{cases}$$

Avec f_1 et f_2 les fréquences correspondant aux points dépassant le gabarit. Et det1 et det2 les ondulations tolérées respectivement en bande passante et en bande coupée. (fig - 10 -)

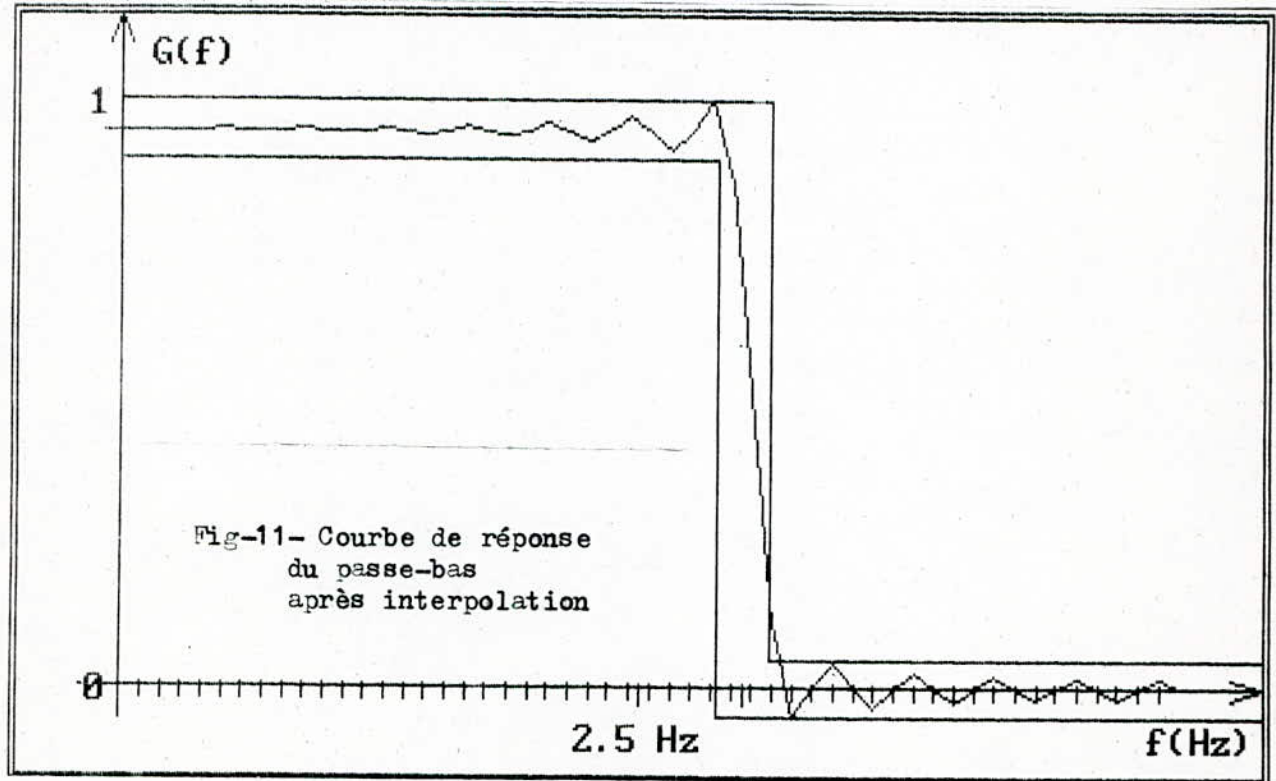
Calcul de f_1 et f_2

$$F_c = 3\text{Hz} ; F_e = 10\text{Hz} \quad (\text{activité delta})$$

$$N = 51$$



ORDRE DU FILTRE: 51 * FREQUENCE D'ECHANTILLONNAGE= 10 Hz
 FREQUENCE DE COUPURE: $f_c = 3$ Hz *



$$n_0 \leq N \frac{F_c}{F_e}$$

$$N \frac{F_c}{F_e} = 51 \cdot \frac{3}{10} = 15,3 \text{ d'où } n_0 = 15$$

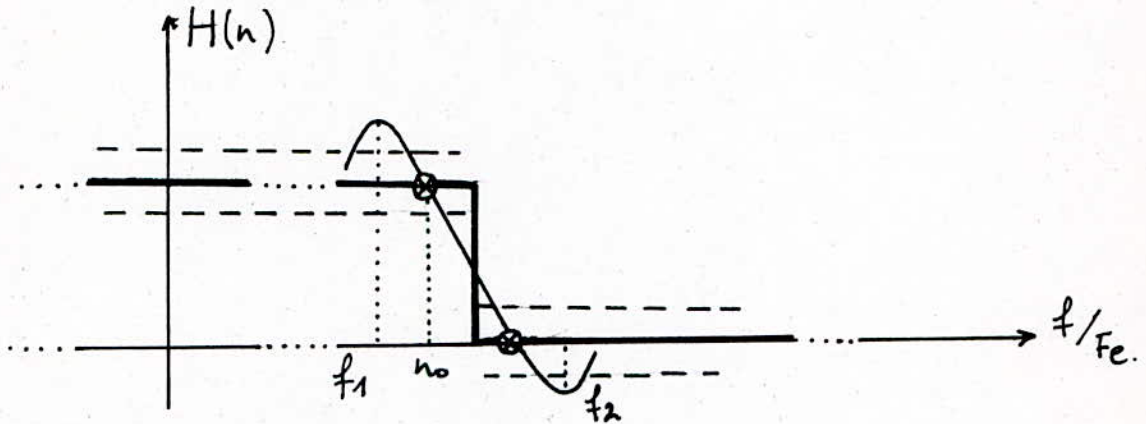


Fig-10 - POSITIONS DE f_1 et f_2

$$f_1 = \frac{2 n_0 - 1}{2 N} = \frac{29}{102} = 0,23$$

$$f_2 = \frac{2 n_0 + 3}{2 N} = \frac{33}{102} = 0,32$$

$$H(n_0) = 0,912056 \quad ; \quad H(n_0+1) = 0,116749$$

La courbe de réponse du filtre après interpolation s'insère dans le gabarit (fig 11). Le programme qui calcule ce filtre se trouve en annexe (Prog 2).

Calcul des filtres passe bande

Pour les trois filtres passe bande correspondant aux rythmes θ , α et β les calculs sont identiques.

Les paramètres de ces filtres sont décrits sur un tableau (Fig 7)

Sur la courbe de réponse idéale du filtre passe bande, nous prenons N points (Fig-12-)

$$H(n) = \begin{cases} 1 & \text{pour } \frac{N \cdot Fc1}{Fe} \leq n < \frac{N \cdot Fc2}{Fe} \text{ et } -N \cdot \frac{Fc2}{Fe} \leq n \leq -N \cdot \frac{Fc1}{Fe} \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

Fc1 et Fc2 les fréquences de coupure

Soient n_1 et n_2 les échantillons limites tels que:

$$N \cdot \frac{Fc1}{Fe} \leq n \quad ; \quad n \leq N \cdot \frac{Fc2}{Fe}$$

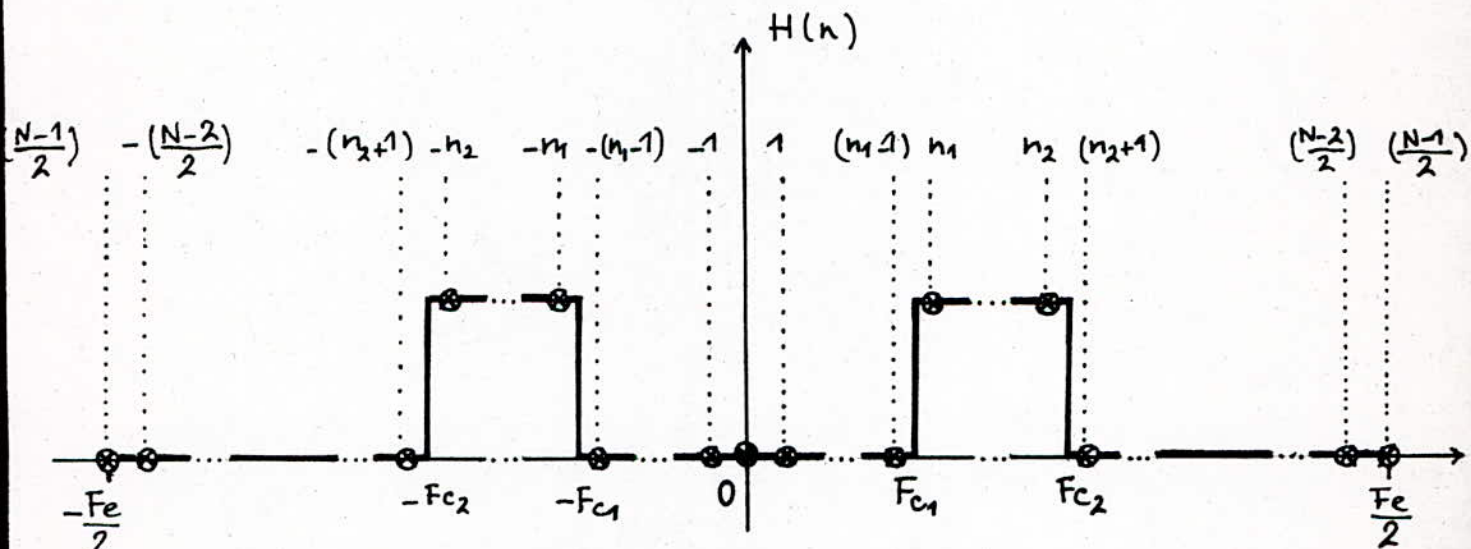


Fig- 12 - ECHANTILLONNAGE DE LA COURBE IDEALE DU PASSE-BANDE.

Les différents échantillons prélevés sur la courbe de réponse idéale sont:

$$H(0) = 0$$

$$H(-1) = H(1) = 0$$

$$H(-2) = H(2) = 0$$

$$\vdots$$

$$\begin{aligned}
H(-(n_1-1)) &= H(n_1-1) = 0 \\
H(-n_1) &= H(n_1) = 1 \\
&\vdots \\
H(-n_2) &= H(n_2) = 1 \\
H(-(n_2+1)) &= H(n_2+1) = 0 \\
&\vdots \\
H(-(N-1)/2) &= H((N-1)/2) = 0
\end{aligned}$$

Calcul de la réponse impulsionnelle $h(k)$

En appliquant la relation (7) on en déduit:

$$\begin{aligned}
N h(k) = & \left[H(0) \cdot \exp(0) + \right. \\
& H(-1) \cdot \exp(-j \cdot 2\pi k/N) + H(1) \cdot \exp(j \cdot 2\pi k/N) + \\
& H(-2) \cdot \exp(-j \cdot 2\pi \cdot 2 \cdot k/N) + H(2) \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot 2 \cdot k/N) + \\
& \quad \vdots \\
& H(-(n_1-1)) \cdot \exp(-j \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{n_1-1}{N}) + H(n_1-1) \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot \frac{n_1-1}{N} \cdot k) + \\
& H(-n_1) \cdot \exp(-j \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{n_1}{N}) + H(n_1) \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot \frac{k \cdot n_1}{N}) + \\
& \quad \vdots \\
& H(-n_2) \cdot \exp(-j \cdot 2\pi \cdot \frac{k \cdot n_2}{N}) + H(n_2) \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot \frac{k \cdot n_2}{N}) + \\
& H(-(n_2+1)) \cdot \exp(-j \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{n_2+1}{N}) + H(n_2+1) \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{n_2+1}{N}) + \\
& \quad \vdots \\
& \left. H(-\frac{N-1}{2}) \cdot \exp(-j \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{N-1}{2N}) + H(\frac{N-1}{2}) \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{N-1}{2N}) \right]
\end{aligned}$$

en développant l'exponentiel $e^{j2\pi k n/N}$:

$$N h(k) = 2 H(n_1) \cos(2\pi k \frac{n_1}{N}) + \dots + 2 H(n_2) \cos(2\pi k \frac{n_2}{N})$$

d'où finalement:

$$h(k) = \frac{2}{N} \sum_{n=n_1}^{n_2} H(n) \cdot \cos(2\pi k \frac{k \cdot n}{N}) \quad k = 0, \dots, \frac{N-1}{2}$$

Le tracé de la courbe de réponse s'obtient en utilisant l'expression de la fonction isochrone (relation 7). Le calcul s'est fait avec le programme prog-2.

On constate comme pour le passe bas que les ondulations au voisinage de la zone de transition dépassent le gabarit (Fig-13).

Nous remédions à ce problème en appliquant la fonction d'interpolation (relation 9).

Calcul de $H(n_1-1)$, $H(n_1)$, $H(n_2)$ et $H(n_2+1)$

De la relation 10 nous déduisons:

$$\begin{aligned} H(f) = & \left[0 \cdot (I(f, 0)) + \right. \\ & 0 \cdot (I(f, n_1 - 2)) + \\ & H(n_1 - 1) \cdot (I(f, -(n_1 - 1)) + I(f, (n_1 - 1))) + \\ & H(n_1) \cdot (I(f, n_1) + I(f, n_1)) + \\ & 1 \cdot (I(f, -(n_1 + 1)) + I(f, n_1 + 1)) + \\ & \quad \vdots \\ & \quad \vdots \\ & \left. 1 \cdot (I(f, -(n_2 - 1)) + I(f, n_2 - 1)) + \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& H(n_2) \cdot (I(f, -n_2) + I(f, n_2)) + \\
& H(n_2+1) \cdot (I(f, -(n_2+1)) + I(f, n_2+1)) + \\
& 0 \cdot (I(f, -(n_2+2)) + I(f, n_2+2)) + \\
& \quad \vdots \\
& 0 \cdot (I(f, -\frac{N-1}{2}) + I(f, \frac{N-1}{2}))]
\end{aligned}$$

Les valeurs proches des zones de transitions $H(n_1)$, $H(n_1-1)$, $H(n_2)$ et $H(n_2+1)$ sont déterminées en résolvant le système de quatre équations à quatre inconnues:

$$\left\{ \begin{array}{l} |H(f) - 0| = \text{det}2 \\ |H(f) - 1| = \text{det}1 \\ |H(f) - 1| = \text{det}1 \\ |H(f) - 0| = \text{det}2 \end{array} \right.$$

avec f_1, f_2, f_3 , et f_4 les fréquences correspondant aux points dépassant le gabarit. (fig - 14 -)

Les valeurs $\text{det}1$ et $\text{det}2$ sont les ondulations fixées par l'utilisateur.

Exemple de calcul

Soit à calculer le filtre du rythme theta

$$F_{c1} = 4\text{Hz} ; F_{c2} = 7\text{Hz}$$

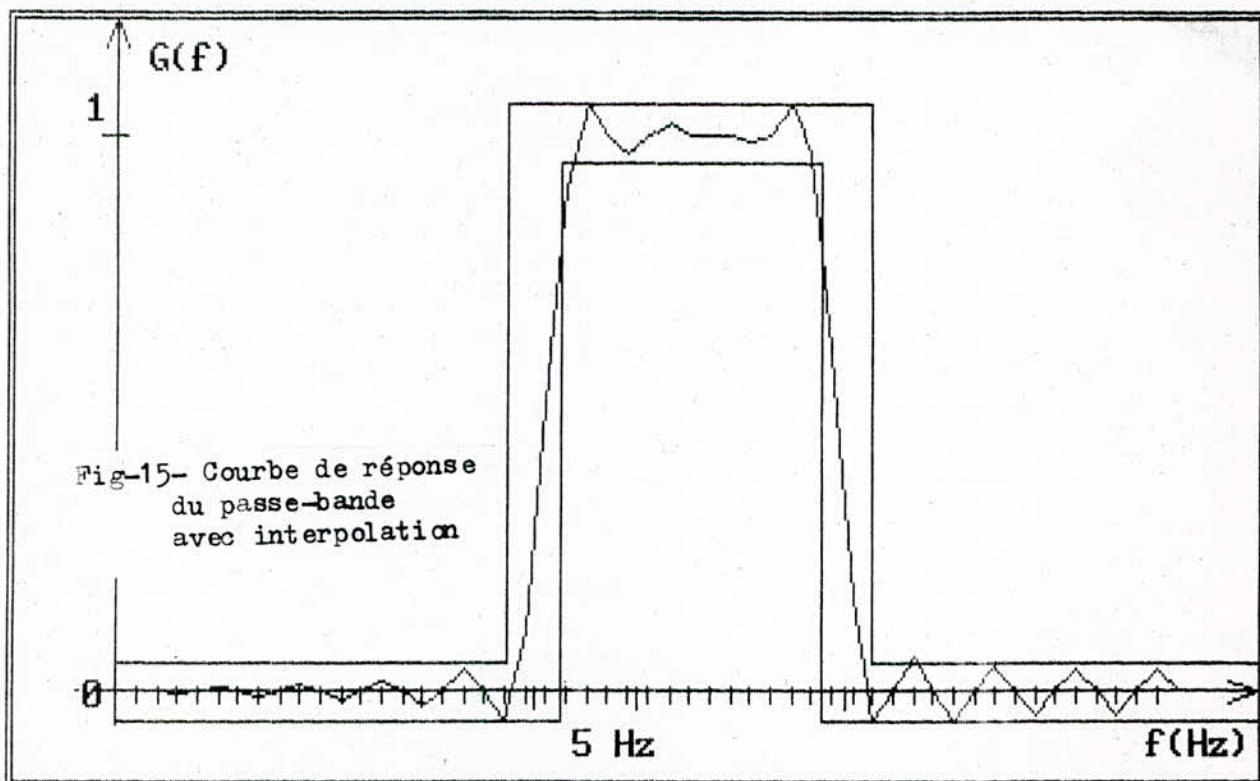
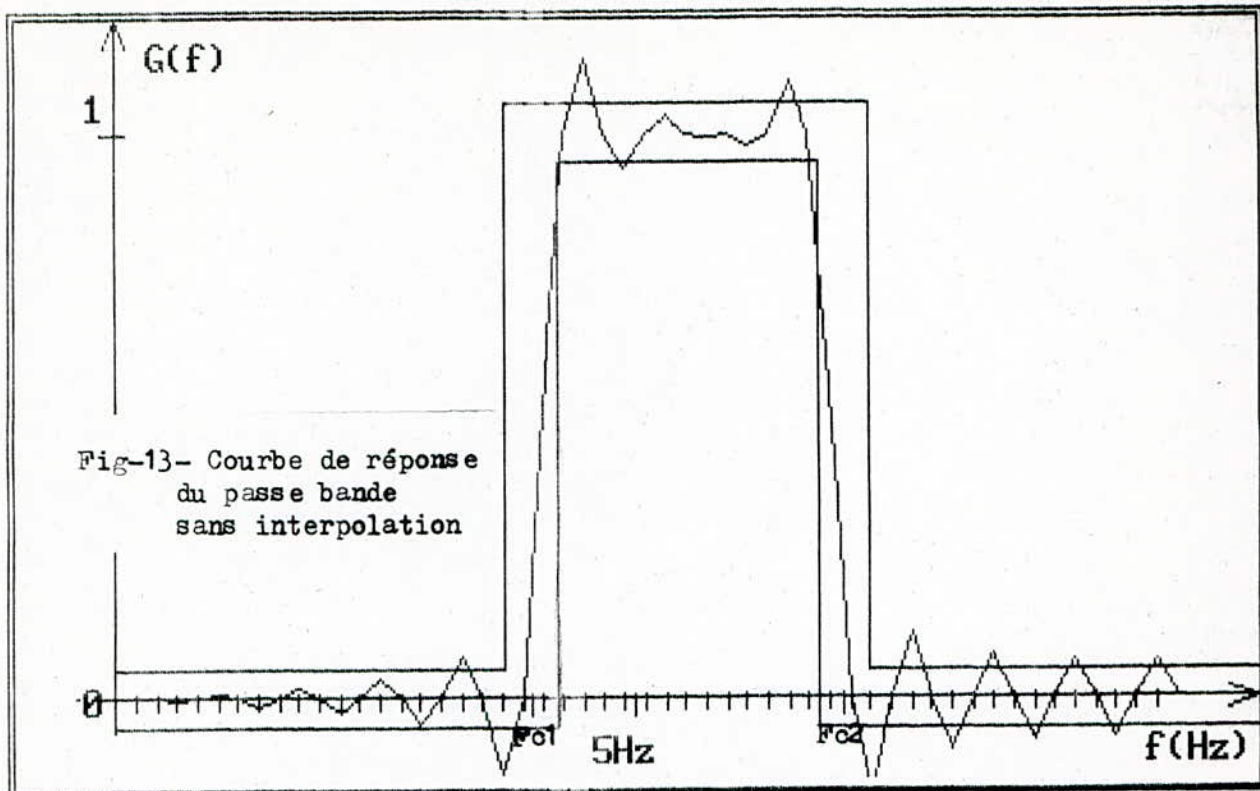
$$F_e = 20\text{Hz} ; N = 51$$

$$N \cdot \frac{F_{c1}}{F_e} \leq n_1 ; n_2 \leq N \cdot \frac{F_{c2}}{F_e}$$

$$N \cdot F_{c1} / F_e = 51 \cdot 4 / 20 = 10,2$$

$$N \cdot F_{c2} / F_e = 51 \cdot 7 / 20 = 17,85$$

$$\text{d'où } n_1 = 11 \text{ et } n_2 = 17$$



Calcul de f_1, f_2, f_3 et f_4

$$f_1 = \frac{2n_1 - 3}{2N} \quad ; \quad f_2 = \frac{2n_1 + 1}{2N} \quad \text{.(passage de 0 à 1)}$$

$$f_3 = \frac{2n_2 - 1}{2N} \quad ; \quad f_4 = \frac{2n_2 + 1}{2N} \quad \text{(transition de 1 à 0)}$$

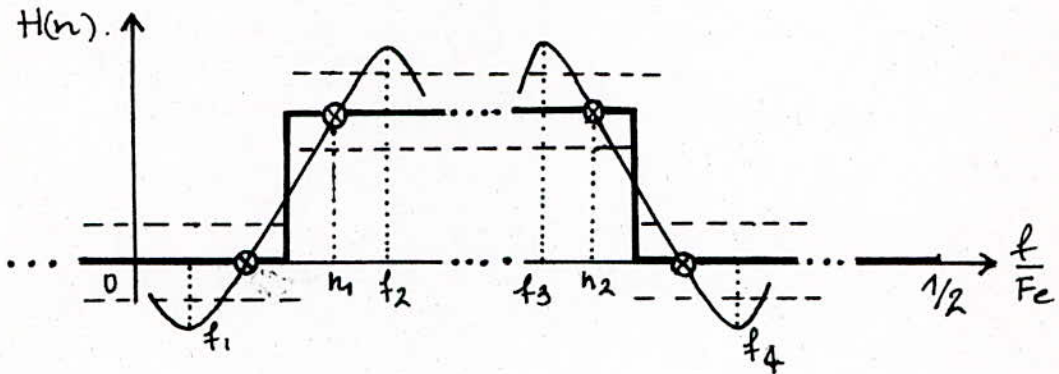


Figure - 14- positions des fréquences normalisées f_i .

d'où

$$f_1 = 19/102 = 0,19 \quad ; \quad f_2 = 23/102 = 0,23$$

$$f_3 = 34/102 = 0,33 \quad ; \quad f_4 = 37/102 = 0,36$$

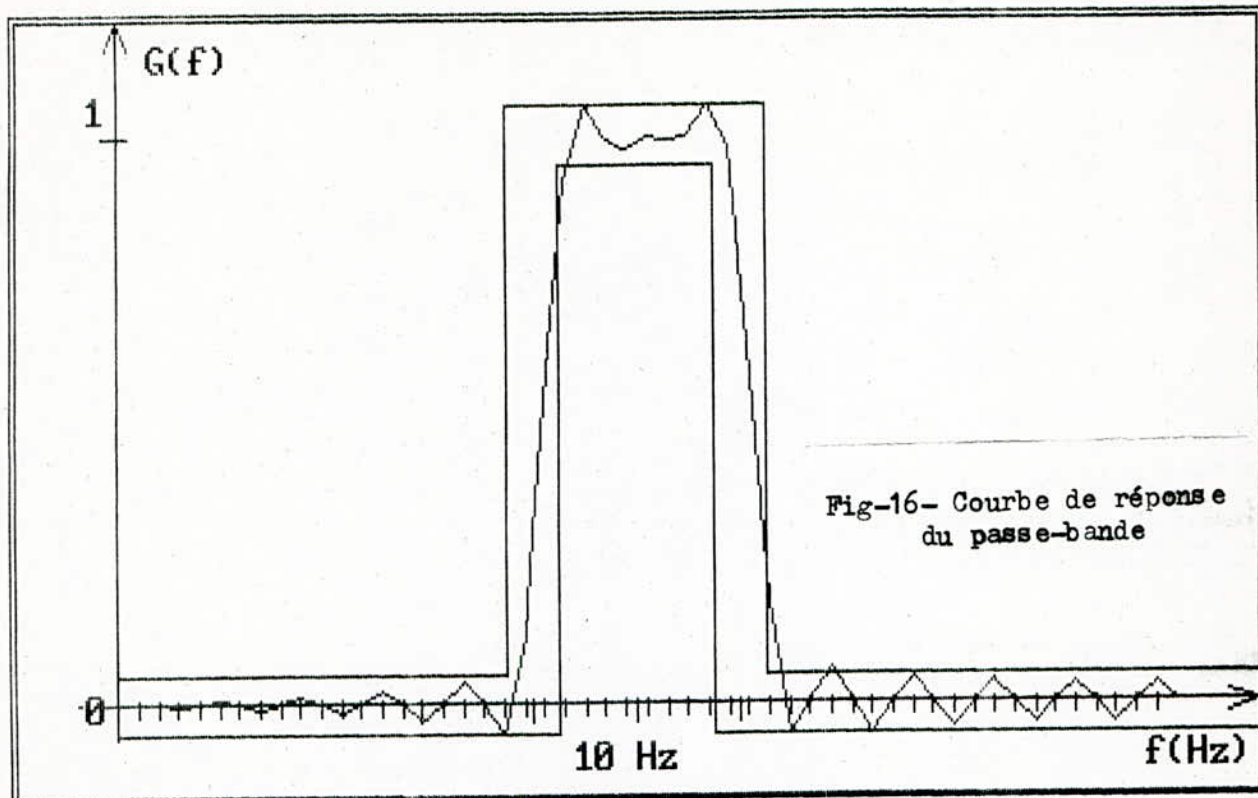
Le programme utilisé pour le calcul des trois filtres passe bande se trouve en annexe (Prog -2-).

Les figures 15, 16 et 17 représentent les courbes de réponses de ces trois filtres correspondant respectivement aux activités θ, α et β .

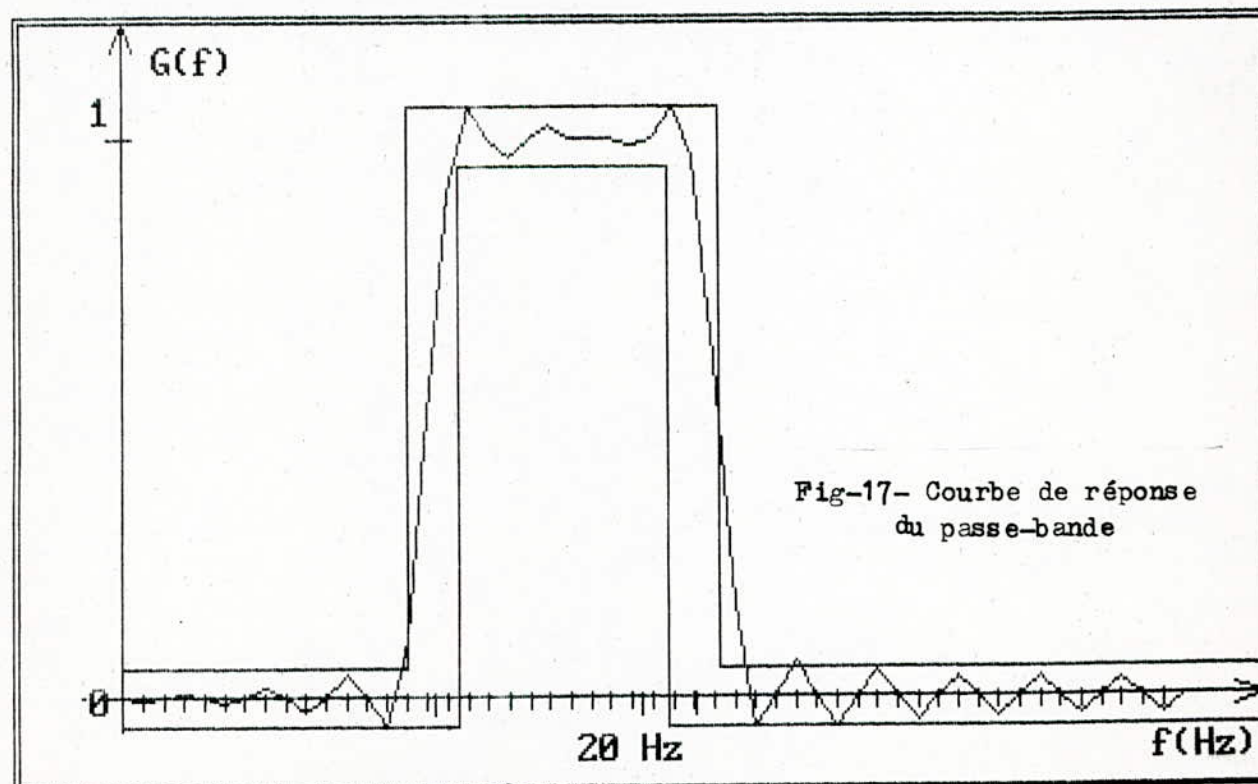
Justification du choix de l'ordre des filtres

Le choix de l'ordre du filtre est très important; il se fait en fonction du domaine d'utilisation, et des contraintes imposées au filtre par le gabarit. L'ordre ne doit pas être faible ni trop fort.

Pour une utilisation en biomédical, les meilleurs filtres RIF à échantillonnage en fréquence ont un ordre compris entre 30 et 80.



ORDRE DU FILTRE: 51 * FREQUENCE D'ECHANTILLONNAGE= 40 Hz
 FREQUENCES DE COUPURE: FC1= 8 Hz * FC2=12 Hz



ORDRE DU FILTRE: 51 * FREQUENCE D'ECHANTILLONNAGE= 80 Hz
 FREQUENCES DE COUPURE: FC1=12 Hz * FC2=22 Hz

Dans notre étude on choisit l'ordre N du filtre le plus petit possible de telle manière que la réponse du filtre ne dépasse pas le gabarit fixé. L'ordre N=51 nous paraît le plus satisfaisant, mais pour plus de flexibilité nous laissons le choix à l'utilisateur entre l'ordre 41, 51, et 61.

On notera que plus l'ordre augmente plus le temps de calcul est long. Nous avons constaté que pour simuler un signal E.E.G ayant les quatre activités de fond, d'une durée d'observation égale à 6,4 sec (soit 512 échantillons), il faut pour l'ordre:

N = 41	un temps de calcul =	8 min
N = 51	"	9 min
N = 61	"	10 min

Choix des fréquences d'échantillonnage

En synthétisant les filtres récurrents nous avons constaté que pour améliorer la réponse dans la bande passante, il fallait augmenter le nombre d'échantillons prélevés sur cette bande. Pour ce faire nous diminuons la fréquence d'échantillonnage, sans toutefois aller en dessous de deux fois la fréquence maximale du signal à générer.

Pour faciliter nos calculs nous choisissons des fréquences doubles les unes des autres; 10Hz, 20Hz, 40Hz et 80Hz.

80Hz est aussi la fréquence d'échantillonnage du signal de sortie (trois fois et demi la fréquence maximale 22Hz).

Un autre avantage de prendre des fréquences plus petites, c'est la diminution du temps de calcul:

Un signal de 512 points (6,4 s),			
- pour l'activité	δ	est généré en	40s
- "	θ	"	80s
- "	α	"	2mn40
- "	β	"	5min

c -- Synthèse des filtres récurrents (RII)

Les méthodes de synthèse des filtres récurrents permettent à partir d'un filtre analogique de référence, de fonction de transfert en p , $H(p)$, de construire la fonction de transfert du filtre numérique dont le comportement en fréquence sera celui du filtre analogique de départ.

Dans notre étude on a utilisé les filtres récurrents (RII) du type Butterworth à quatre pôles.

Définition:

Une fonction de Butterworth d'ordre n est définie par l'expression:

$$|F(w)|^2 = \frac{1}{1+(w/w_c)^{2n}} \quad (11)$$

avec $w_c=1$ la fréquence de coupure normalisée on en déduit que:

$$H(p).H(-p) = |T(jw)|^2 = |F(w)|^2 \quad w=p/j$$

d'où

$$H(p) H(-p) = \frac{1}{1-(-1)^n p^{2n}} \quad (12)$$

Pour trouver les fonctions de transfert des filtres de Butterworth il suffit de chercher les racines du dénominateur:

$$1 + (-1)^n p^{2n} = 0 \quad (13)$$

et de prendre uniquement les racines à parties réelles négatives pour assurer la stabilité.

La fonction de transfert s'écrit:

$$H(p) = \frac{1}{\prod_{k=1}^n (p-p_k)} \quad (14)$$

où p_k représente les racines à parties réelles négatives de (13).

La résolution de l'équation (13) nous donne deux types de fonctions de transfert:

$$\text{Pour } n \text{ pair} \quad H(p) = \prod_{k=1}^{n/2} \frac{1}{p^2 + 2 \cdot p \cdot \cos\left(\pi \frac{2k-1}{2n}\right) + 1} \quad (15)$$

$$\text{Pour } n \text{ impair} \quad H(p) = \frac{1}{p+1} \prod_{k=1}^{\frac{n-1}{2}} \frac{1}{p^2 + 2 \cdot p \cdot \cos\left(\pi \frac{k}{n}\right) + 1} \quad (16)$$

Choix de n

n étant le nombre de pôles du filtre RII

L'ordre n=4 nous donne la raideur nécessaire.

Calcul du filtre passe bas

$$H(p) = \prod_{k=1}^2 \frac{1}{p^2 + 2 \cdot p \cdot \cos\left(\pi \frac{2k-1}{8}\right) + 1}$$

on pose $A_k = 2 \cos\left(\pi \frac{2 \cdot k - 1}{8}\right)$

$$k = 1 \quad A_1 = 2 \cos(\pi/8)$$

$$k = 2 \quad A_2 = 2 \cos(3\pi/8)$$

par conséquent:

$$H(p) = \frac{1}{p^2 + 2 p \cos\left(\pi \frac{2 \cdot k - 1}{8}\right) + 1}$$

Les pôles de cette fonction de transfert sont les pôles de H1(p) et de H2(p)

$$P_{11} = 2 \cdot \exp(j 3 \pi/8)$$

$$P_{21} = 2 \cdot \exp(j 5 \pi/8)$$

$$P_{31} = P_{11}^* = 2 \exp(-j 3\pi/8)$$

$$P_{41}^* = P_{21}^* = 2 \exp(-j 5\pi/8)$$

Pour passer du plan P au plan Z, on utilise la transformation directe:

$$Z_{j1} = \exp(P_{j1} T_e) \quad j = 1, \dots, 4$$

La fonction de transfert en Z est de la forme:

$$H(Z) = b_{01} \cdot \frac{Z^2}{(Z-Z_{j1})(Z-Z_{j1}^*)(Z-Z_{j2})(Z-Z_{j2}^*)}$$

d'où

$$H(Z) = b_{01} \cdot \frac{Z^{-2}}{(1+b_{1j}Z^{-1}+b_{2j}Z^{-2})(1+b_{3j}Z^{-1}+b_{4j}Z^{-2})} \quad ; j=1$$

avec

$$b_{11} = -(Z_{11} + Z_{11}^*) \quad ; \quad b_{21} = Z_{11} Z_{11}^*$$

$$b_{31} = -(Z_{21} + Z_{21}^*) \quad ; \quad b_{41} = Z_{21} Z_{21}^*$$

$$b_{01} = \frac{1}{|H(Z)|_{Z=1}}$$

Les pôles P_{j1} sont multipliés par la valeur a_{1j} représentant la fréquence de la bande passante du filtre.

Pour le rythme delta on a $a_{1j} = 3$

Calcul des filtres passe-bande

Pour les filtres passe bande on part de la fonction de transfert du filtre passe bas à deux pôles, exprimée par:

$$H(p) = \frac{1}{p^2 + 2 (\cos(\pi/4)) p + 1}$$

Le passage au passe bande s'effectue en remplaçant p par:

$$\frac{p^2 + W_h \cdot W_b}{p^2 (W_h - W_b)}$$

avec W_h la fréquence de coupure haute, et W_b la fréquence de coupure basse.

En posant:

$$a_{1i} = \frac{W_h - W_b}{2} \quad : \text{moitié de la bande passante}$$

$$b_{1i} = \frac{W_h + W_b}{2} \quad : \text{fréquence centrale du filtre } i$$

La position des pôles est donnée par:

$$P_{1i} = - a_{1i} \cdot \cos(\pi/4) + j \cdot (b_{1i} + a_{1i} \cdot \sin(\pi/4))$$

$$P_{2i} = - a_{1i} \cdot \cos(\pi/4) + j (b_{1i} + a_{1i} \cdot \sin(\pi/4))$$

Le passage au plan Z se fait par la transformée directe

$$Z_{ji} = \exp(P_{ji} T_e) \quad j=1, 2 \ ; \ i=2, 3, 4.$$

La fonction de transfert en Z:

$$H(Z) = b_{0i} \frac{z^2 (z-1) (z+1)}{(z-z_{1i})(z-z_{1i}^*)(z-z_{2i})(z-z_{2i}^*)}$$

d'où

$$H(Z) = b_{0i} \frac{1}{(1+b_{1i}z^{-1}+b_{2i}z^{-2})(1+b_{3i}z^{-1}+b_{4i}z^{-2})}$$

avec

$$b_{1i} = -(z_{1i} + z_{1i}^*) \quad ; \quad b_{2i} = |z_{1i}|^2$$

$$b_{3i} = -(z_{2i} + z_{2i}^*) \quad ; \quad b_{4i} = |z_{2i}|^2$$

$$b_{0i} = \frac{1}{|H(Z)|_{Z=\exp(bt_i \cdot T_e)}} \quad i = 2, 3, 4.$$

Les filtres récurrents utilisés ici ont une structure cascade, car cette structure offre l'avantage à la fonction $H(Z)$ d'être la moins sensible aux variations des coefficients (Fig. 17a et Fig. 18b)

Les équations de récurrence sont déduites de l'expression de $H(Z)$:

$$F1(nTe) = X(nTe) - X(nTe-2Te)$$

$$F2(nTe) = F1(nTe) - b_{1i} F2(nTe-Te)$$

$$F3(nTe) = F2(nTe) - b_{3i} F3(nTe-Te)$$

$$Y(nTe) = b_{0i} F3(nTe) \quad i = 2, 3, 4.$$

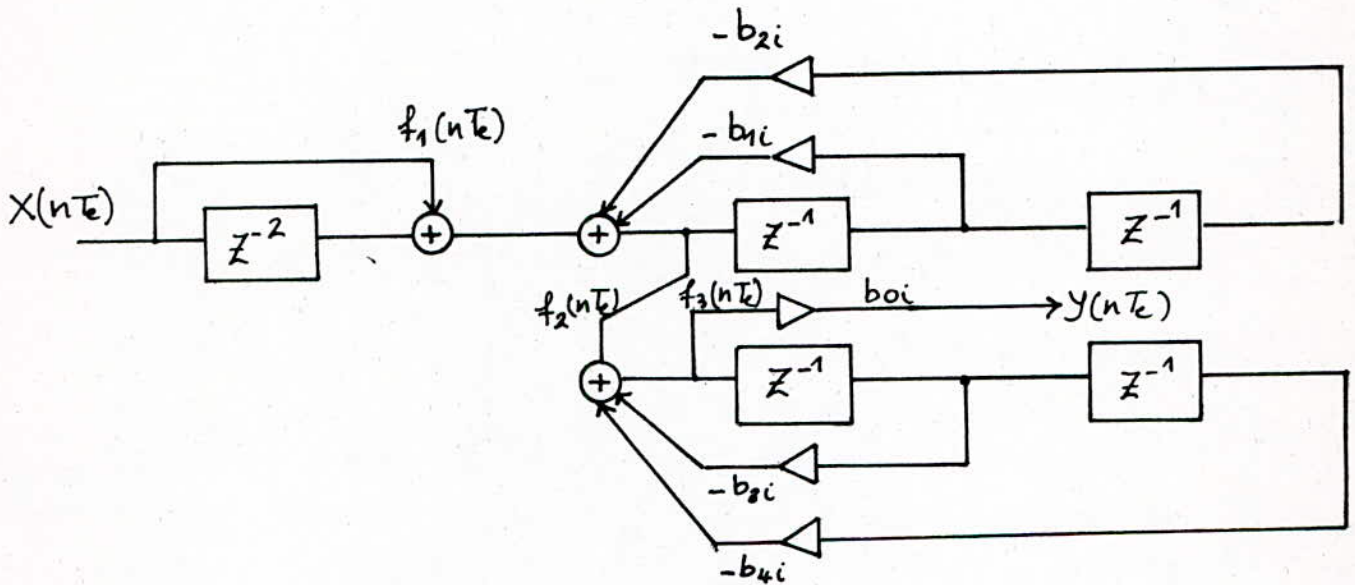


Fig - 18a - STRUCTURE DU PASSE-BANDE.

Pour le filtre passe bas on aura:

$$F2(nTe) = X(nTe) - b_{11} F2(nTe-Te) - b_{21} F2(nTe-2Te)$$

$$F3(nTe) = F2(nTe) - b_{31} F3(nTe-Te) - b_{41} F3(nTe-2Te)$$

$$Y(nTe) = b_{01} F3(nTe)$$

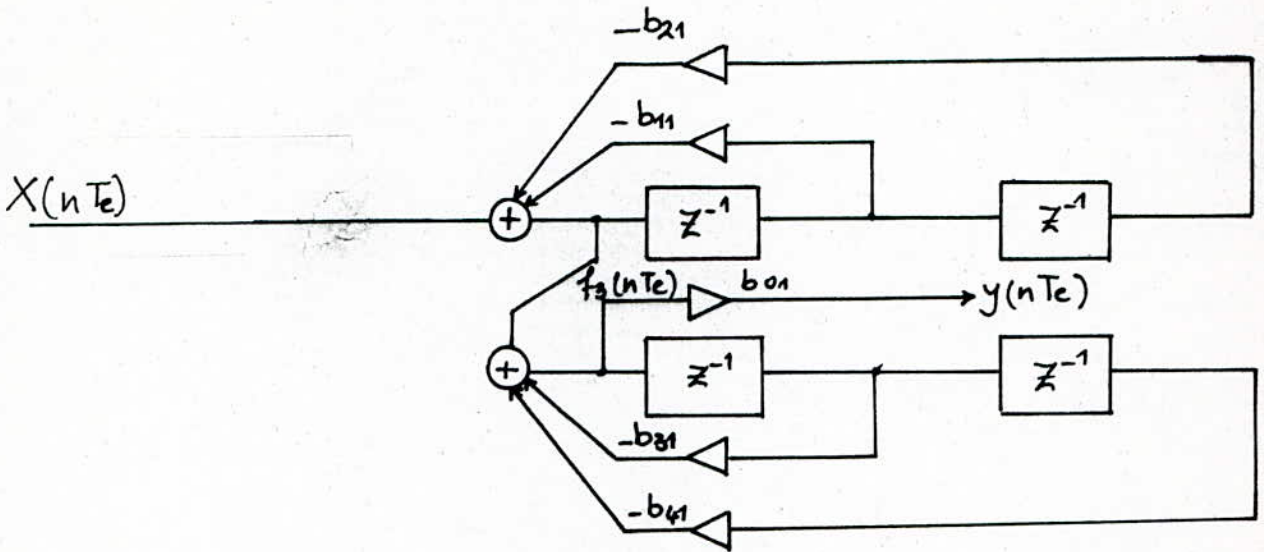


Fig- 18^o - STRUCTURE DU PASSE-BAS

Le programme qui calcule ces quatre filtres se trouve en annexe (Prog - 3-).

Les fréquences d'échantillonnage sont celles fixées dans la partie des calculs des filtres non récurrents, à part pour l'activité δ où le filtre ne donne pas une bonne réponse en fréquence. On a remédié en augmentant la fréquence d'échantillonnage $F_e = 20\text{Hz}$ au lieu des 10Hz . Théoriquement cela était prévisible car le passage du plan P en Z se fait avec la condition $T_e \ll 1$ (T_e période d'échantillonnage).

Les courbes de réponses des quatre filtres sont représentées sur figure -19- .

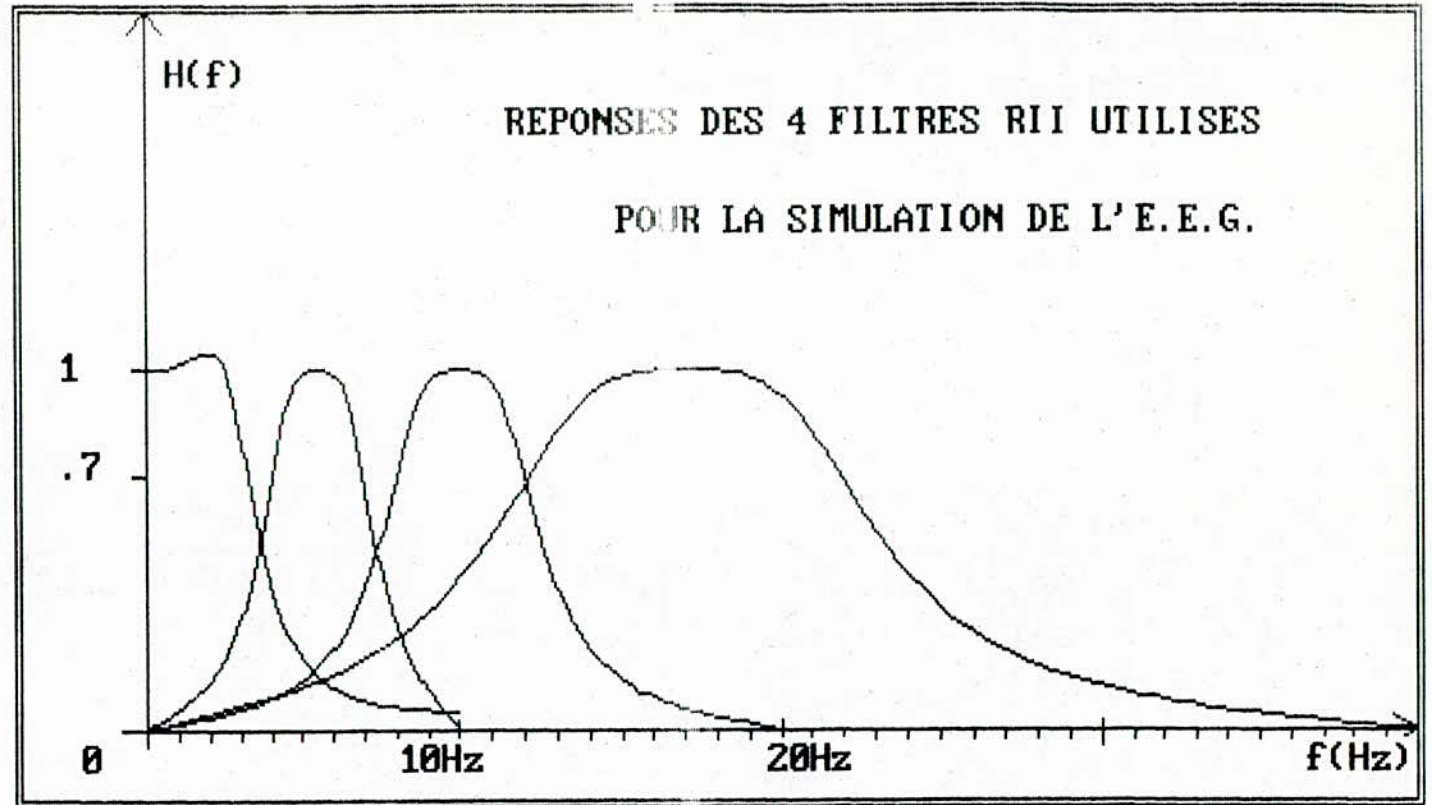


Fig - 19 - COURBES DE REPONSES DES 4 FILTRES (RII)

II.3 - Sommateur

Le sommateur somme les signaux générés filtrés, et travaille à la fréquence d'échantillonnage $F_e=80\text{Hz}$. Or les trois signaux α , β , et θ sont échantillonnés différemment, respectivement aux fréquences 40Hz, 10Hz, et 20Hz. Nous avons alors à ce niveau un problème à résoudre; vu que l'intervalle ^{de} temps entre deux points consécutifs, pour un signal d'une activité donnée n'est pas le même. La solution consiste à calculer les valeurs des points nécessaires pour avoir la même fréquence d'échantillonnage ou le même intervalle de temps entre deux points consécutifs.

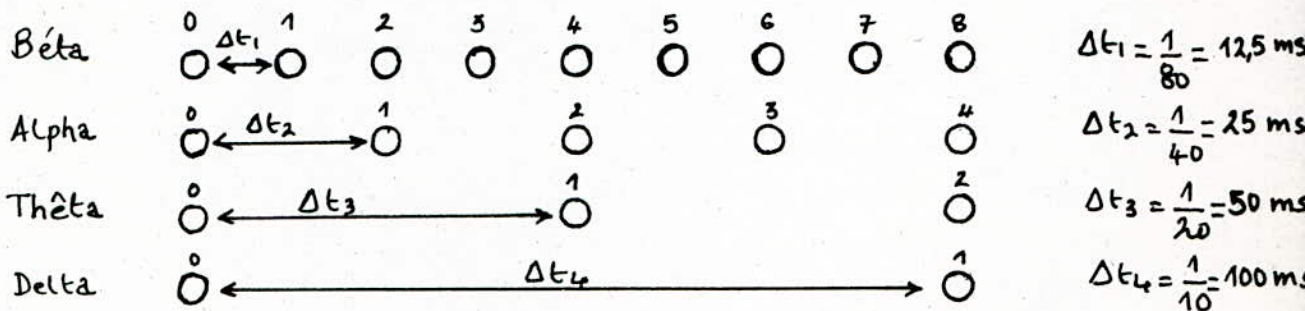


Fig-20 - REPRESENTATION DES ECHANTILLONS A SOMMER

Exemple:

Soit à générer un signal E.E.G de durée 0,2s, nous aurons à générer: $0,2 \times F_e$ (Fig 20)

Beta $0,2 \times 80 = 16$ points

alpha $0,2 \times 40 = 8$ points

thêta $0,2 \times 20 = 4$ points

delta $0,2 \times 10 = 2$ points

La numérotation des échantillons commence de zéro; pour des commodités de programmation.

Le système qui nous intéresse maintenant est un bloqueur.

Après des essais il s'est avéré que le bloqueur d'ordre zéro mo-

difiait le signal (du point de vue fréquentiel). Le bloqueur d'ordre un nous convient parfaitement. La forme du signal ne change pas.

Le bloqueur d'ordre un trace une droite entre deux points consécutifs (Fig-21 b-). Les points correspondant aux échantillons manquant sont déterminés à partir de cette droite (Fig-21 c-)

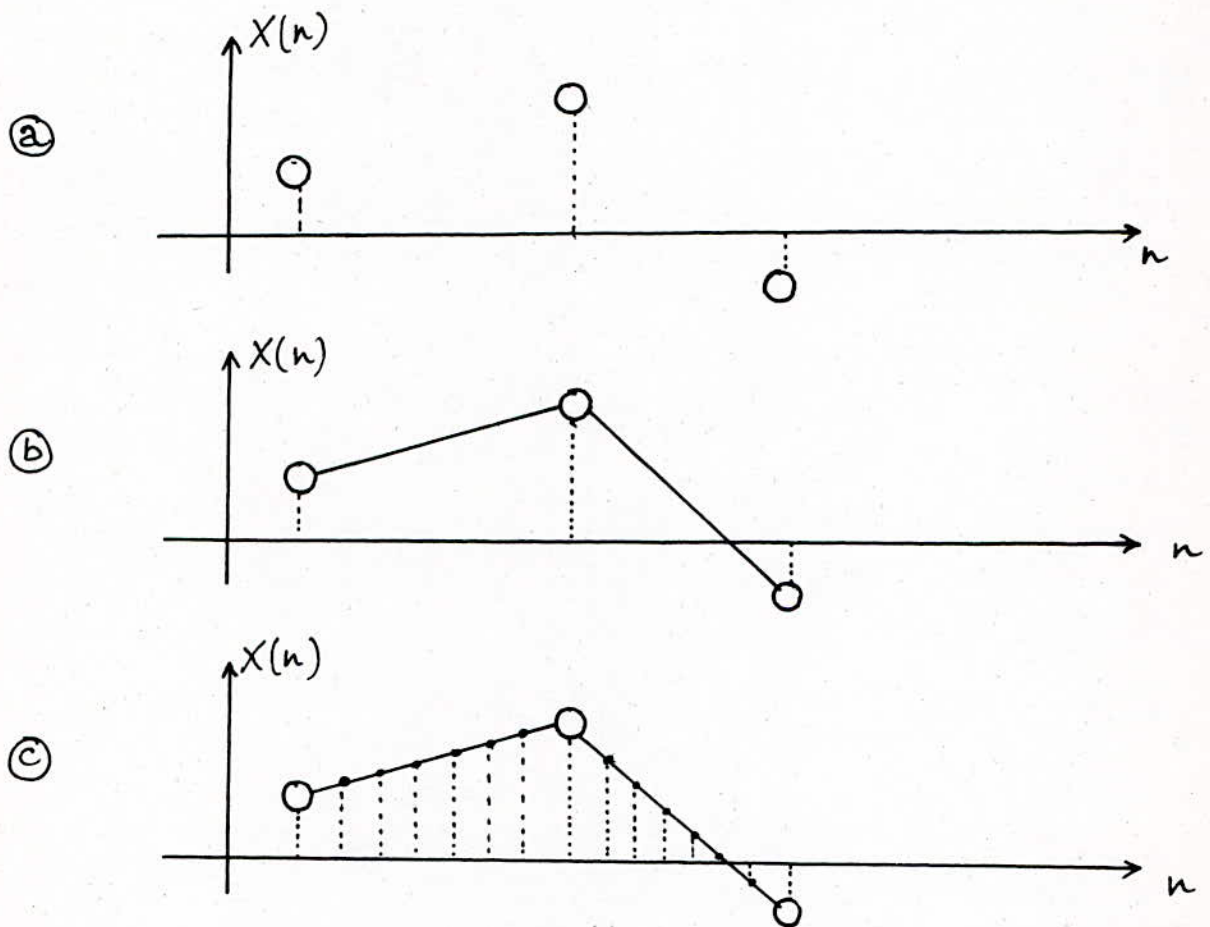


Fig-21 - FONCTIONNEMENT DU BLOQUEUR

Chap III Analyse spectrale

Très souvent il est difficile de mettre en oeuvre une analyse spectrale par FFT, à cause de la limitation des cases mémoires du calculateur, dans ce cas on a recours à l'analyse par filtrage numérique. dans notre cas nous considérons un analyseur contenant 20 filtres numériques, passe bande à bande étroite, ils sont tous identiques du type Butterworth à quatre pôles. La méthode de réalisation de ces filtres a déjà été décrite (- II.2.c-)

Description et fonctionnement de l'analyseur

L'analyseur par filtrage numérique contient plusieurs blocs: (Fig 22)

- M filtres numériques passe bande dont le premier est un passe bas
- M éleveurs au carré
- M échantillonneurs

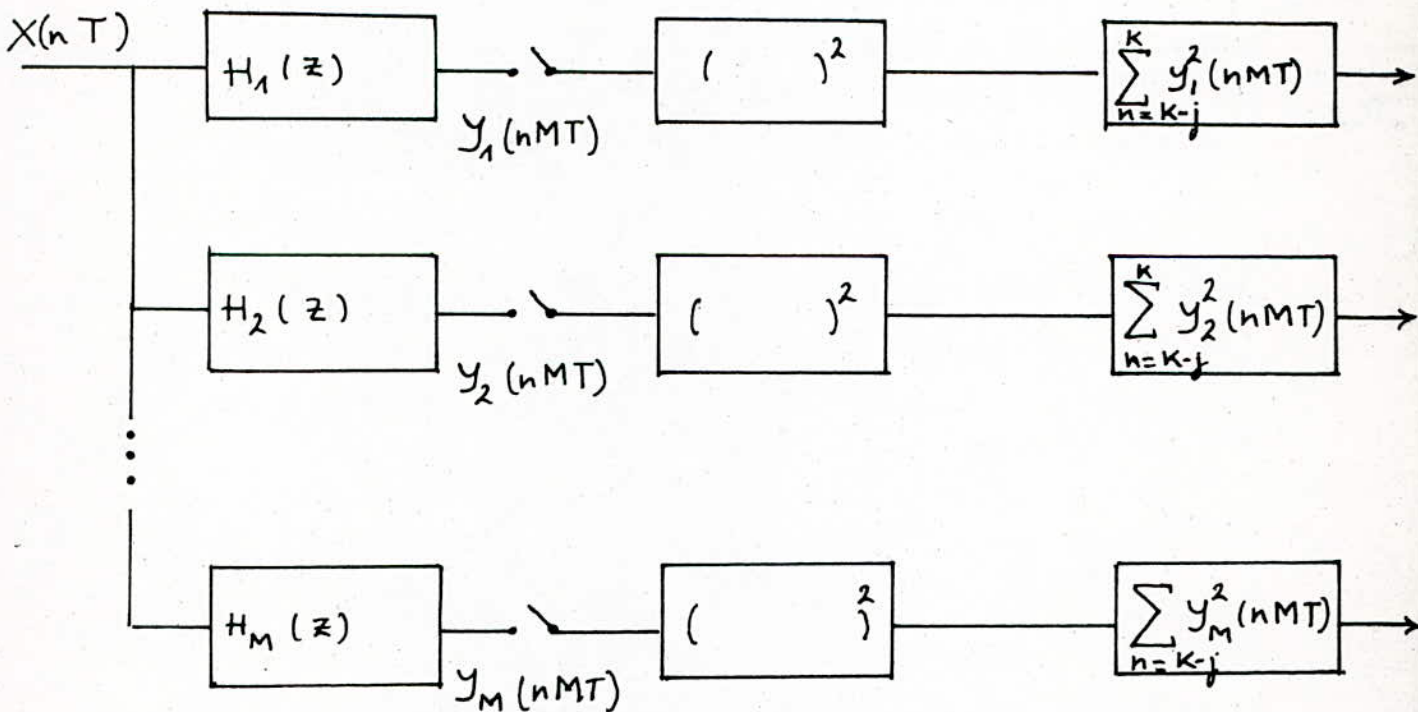


Fig-22- Synoptique de l'analyseur spectral par filtrge numérique

Les échantillonneurs sont dits lents car ils se ferment à chaque M^{ème} passage d'un échantillon $X(n.T_e)$. A chaque fermeture de cet échantillonneur une somme est formée des j dernières valeurs de $(Y_i(n.M.T_e))^2$, qui sont des sorties élevées au carré. ce type d'échantillonneur est toléré à cause de l'étroitesse (réduction) de la bande passante des M filtres.

On peut montrer que la somme des Y_i^2 est directement proportionnelle à la valeur du spectre dans la gamme de fréquence passante pour le filtre étroit correspondant. La sortie finale de chaque étage à bande étroite de l'analyseur est une estimation de la fréquence du spectre à la fréquence centrale du filtre à bande étroite. [9]

Pour calculer les filtres on pose

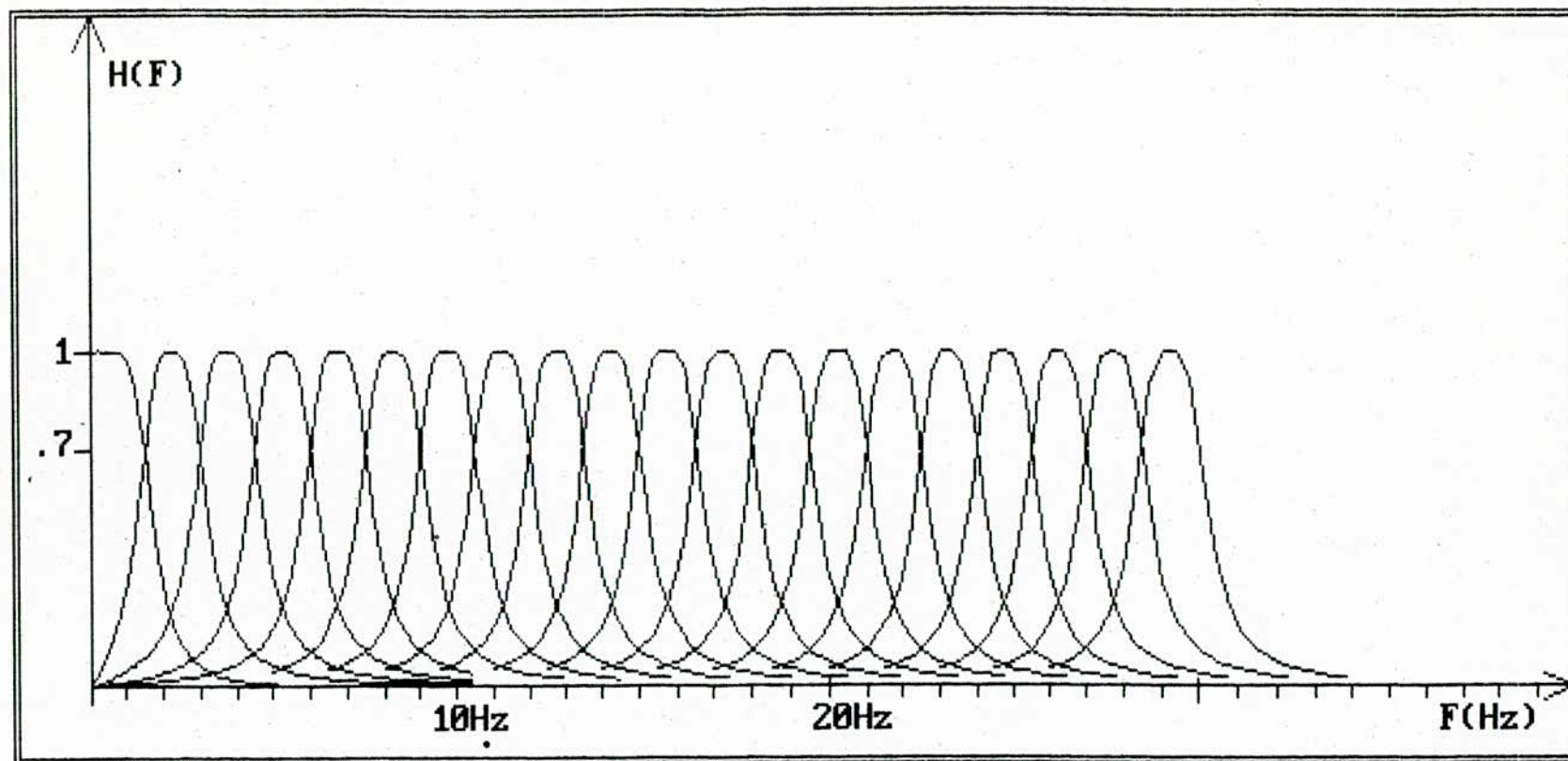
$$a_{1_i} = \frac{1}{2} W/M$$

$$b_{1_i} = 2 (1 - 0,5) W/M \quad i = 1, \dots, M$$

Avec W: largeur totale des M filtres $W = 30\text{Hz}$

M : nombre de filtres $M = 20$

Le tracé des courbes de réponses des filtres utilisés est sur la figure -23-



REPONSES DES 20 FILTRES POUR L'ANALYSE SPECTRALE

Fig - 23- COURBES DE REPONSES DES FILTRES DE L'ANALYSEUR .

Chapitre . IV Vérifications statistiques

La vérification statistique est faite en trois parties:

- Densité de probabilité et test du khi-deux
- étude de la stationnarité de la moyenne et de la variance
- vérification du caractère aléatoire

1 - Une estimation échantillonnée $\hat{p}(x)$ de la densité de probabilité du premier ordre de $x(t)$ peut être obtenue en divisant l'intervalle de variation de $x(t)$ en un nombre de classes égal à K et en classant les NP échantillons à l'intérieur de ces K classes.

La fréquence ainsi mesurée est égale à f_i .

La densité de probabilité théorique $p_0(x)$ du signal étudié pour la $i^{\text{ème}}$ classe est égale à F_i .

Soit la différence $f_i - F_i$, qui représente l'écart entre la valeur mesurée et la valeur théorique. En faisant la somme des grandeurs $(f_i - F_i)^2 / F_i$ pour tous les intervalles de classe, nous obtenons la grandeur

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - F_i)^2}{F_i}$$

qui suit la loi du khi-deux à $K-3$ degrés de liberté. [11]

Avec l'hypothèse que $p_0(x)$ suit une loi Gaussienne, on peut dire que l'hypothèse $p(x)$ Gaussienne est vérifiée à ce niveau de confiance de $(1-\alpha)$ si

$$\chi^2 \leq \chi_{(K-3), \alpha}^2$$

Il importe de choisir convenablement le nombre K de classes en fonction du nombre NP d'échantillons indépendants à classer, et de la probabilité retenue.

Si $\alpha = 0,05$ les valeurs de K sont données par le tableau suivant: [12] [13]

N	200	400	600	800	1000	2000	2000
K	16	20	24	27	30	39	$1,85 \cdot N^{0,4}$

Il importe également de choisir la largeur et les valeurs cen-

trales des classes successives en fonction de l'intervalle de variation de la fonction $x(t)$.

Pour ce faire nous calculons tout d'abord la moyenne et l'écart-type des NP échantillons.

Nous partageons l'intervalle $(\bar{X} - 2,2 \cdot \sigma_x ; \bar{X} + 2,2 \cdot \sigma_x)$ en $K-2$ classes et considérons que la première classe correspond à l'intervalle $(-\infty ; \bar{X} - 2,2 \cdot \sigma_x)$ et la K ème classe à l'intervalle $(\bar{X} + 2,2 \cdot \sigma_x ; +\infty)$.

On effectue ensuite un test d'ajustement par rapport à la densité de probabilité Gaussienne.

Les paramètres du khi-deux sont resumés de la façon suivante:

NP	256	512	1024
K	17	23	31
$\chi^2_{k,\alpha}$	24	32	42

2 - Vérification de la stationnarité de la moyenne et de la variance

La méthode consiste à diviser le signal de NP échantillons en K tranches successives de durée très courte (environ 16 échantillons). Dans chacune de ces NP/16 tranches on calcule la valeur moyenne et la variance ainsi que les limites de confiance de ces valeurs. La juxtaposition des différentes valeurs calculées successivement permet de vérifier la stationnarité de la moyenne et de la variance. [10]

Les limites de confiance de ces estimations de la moyenne et de la variance obéissent aux relations: [14]

$$\bar{X} - t_{n, \frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma_x^2}{n} < \bar{X} < \bar{X} + t_{n, \frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma_x^2}{n}$$

$$\sigma_x \cdot \frac{n}{\chi^2_{n, \frac{\alpha}{2}}} < \sigma_x < \sigma_x \cdot \frac{n}{\chi^2_{n, 1 - \frac{\alpha}{2}}}$$

3 - Vérification du caractère aléatoire du signal

Comment contrôler le caractère aléatoire? En théorie, c'est un problème insoluble. Cependant divers tests ont été définis par les statisticiens et donnent une garantie raisonnable que la séquence est relativement aléatoire.

a - Détail de la méthode des séquences (RUN-TEST) [15]

- 1 - Trouver le milieu ou la moyenne du signal
- 2 - Compter les séquences de nombres successives qui sont continuellement au dessus ou en dessous de cette moyenne.
- 3 - Soit U le nombre de séquences trouvées.

Les valeurs de $U_{N,\beta}$ telles que $\text{Prob}(U > U_{N,\beta}) = \beta$ sont sur le tableau: [12], [13]

N \ β	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01
50	17	18	19	32	33	34
100	38	40	42	59	61	63

Ce type de contrôle permet de détecter les tendances fluctuantes dans une suite d'observations. Son application suppose que la valeur moyenne est stationnaire.

b - Trend-test

On compte le nombre de fois où l'inégalité $X_i > X_j$ pour $i < j$ est vérifiée.

Le résultat de ce test est une variable aléatoire Tr

on pose $h_{ij} = 1$ pour $X_i > X_j$

$$h_{ij} = 0 \quad X_i \leq X_j$$

$$\text{et } \text{Tr}_i = \sum_{j=i+1}^N h_{ij} \quad \text{on a } \text{Tr} = \sum_{i=1}^{N-1} \text{Tr}_i$$

Tr obéit à une distribution telle que:

$$\text{Tr}_{N, 1-\frac{\alpha}{2}} \leq \text{Tr} < \text{Tr}_{N, \frac{\alpha}{2}}$$

Les valeurs de $Tr_{N,\beta}$ telle que $Prob(Tr > Tr_{N,\beta})$ sont données par le tableau suivant: [12], [13]

N \ β	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01
50	473	495	514	710	729	751
100	2083	2145	2198	2751	2804	2866

Le trend-test est particulièrement efficace pour détecter les tendances monotoniques dans une suite d'observations.

Chapitre V. Présentation des résultats

En annexe nous ^{donnons} les programmes de synthèse des filtres non récursifs (Prog 2) et récursifs (Prog3). Les résultats sont consignés dans un fichier qui est consulté dans la partie filtrage (Prog 1).

Le programme principal (Prog1) génère le signal E.E.G voulu avec choix du type de filtre, de l'ordre (s'il s'agit du RIF), du gain, ainsi que du moment et de la durée d'apparition d'un rythme donné.

Pour le signal simulé nous faisons deux types de vérifications:

a - L'analyse spectrale

L'analyse spectrale est faite dans la dernière partie du programme (Prog 1) dans le but surtout de vérifier ce que contient comme activité le signal généré. (Fig-24-a-27-)

b - Vérifications statistiques

Dans cette partie nous nous limitons à étudier trois blocs de signaux chacun de 512 points.

Les signaux du bloc 1 et 2 sont obtenus avec les mêmes valeurs initiales du générateur Gaussien, mais ceux du bloc 1 sont filtrés par des filtres RII et ceux du bloc2 par des filtres RIF. Les suites du bloc3 sont générées par une autre initialisation du générateur, et filtrées par les filtres RII.

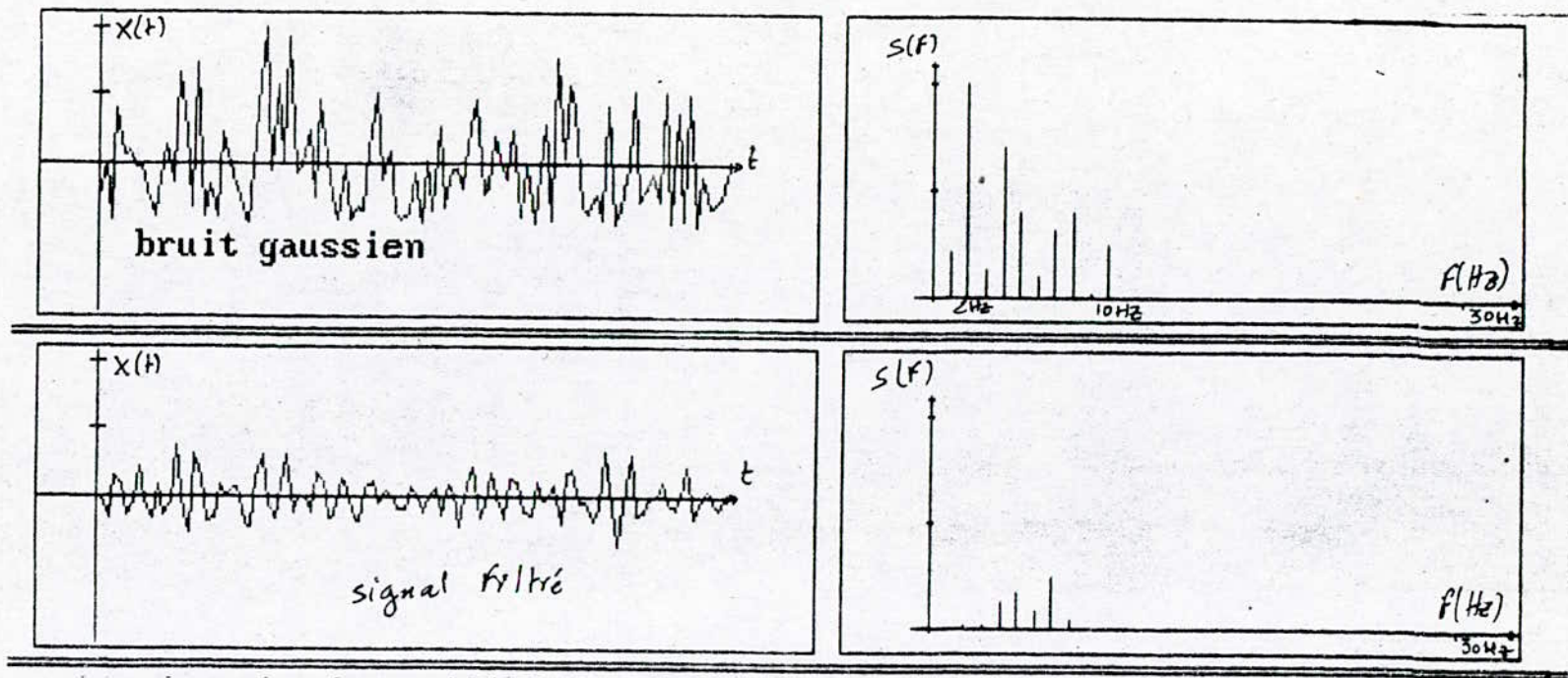


Fig-24- Tracé séquentiel de l'activité θ , et tracé spectral

52 bis

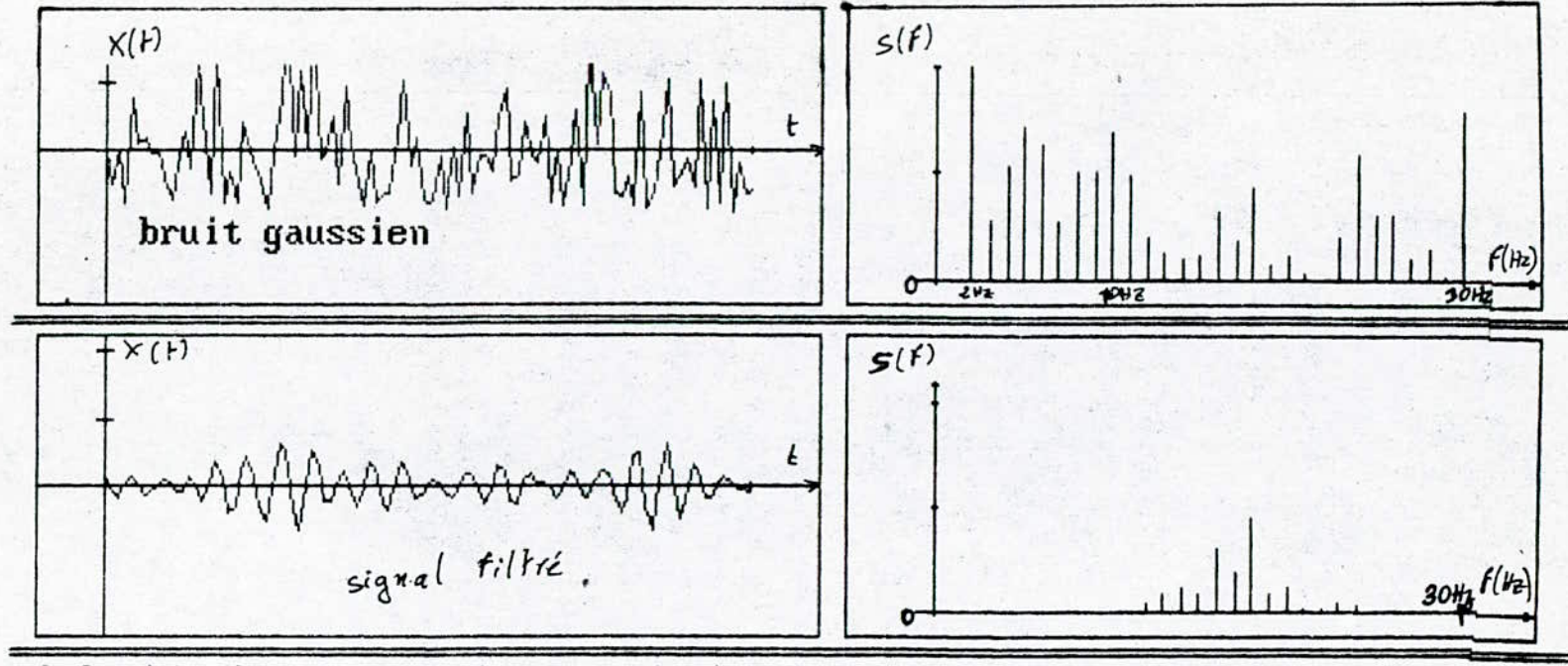


Fig-25- Tracé séquentiel de l'activité β , et tracé spectral

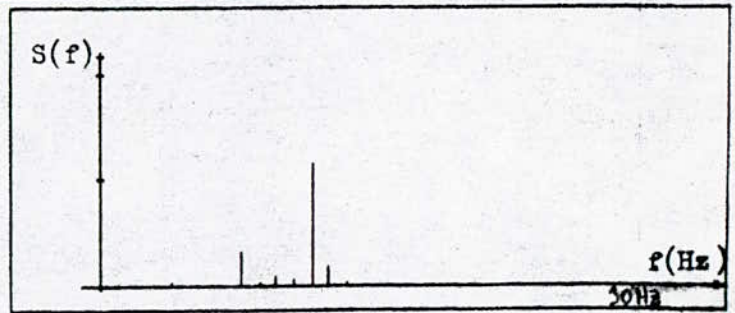
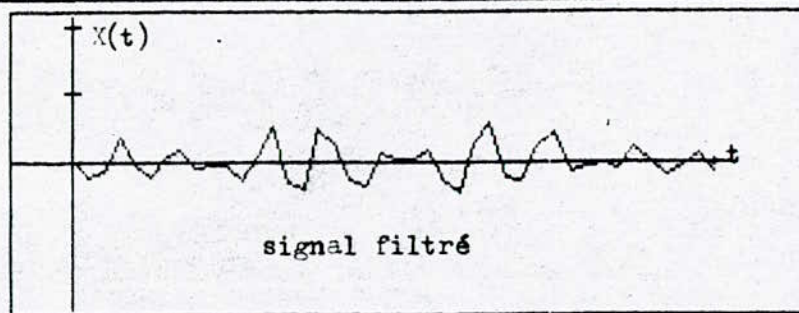
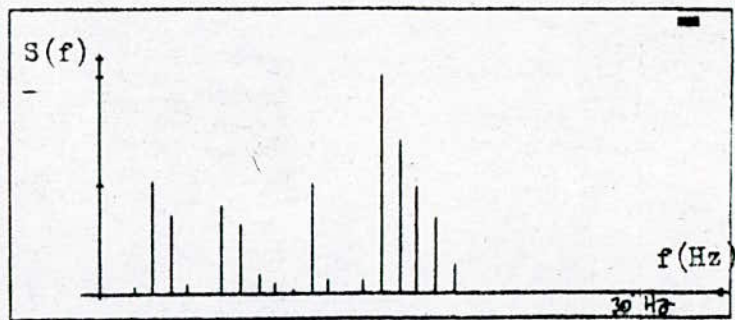
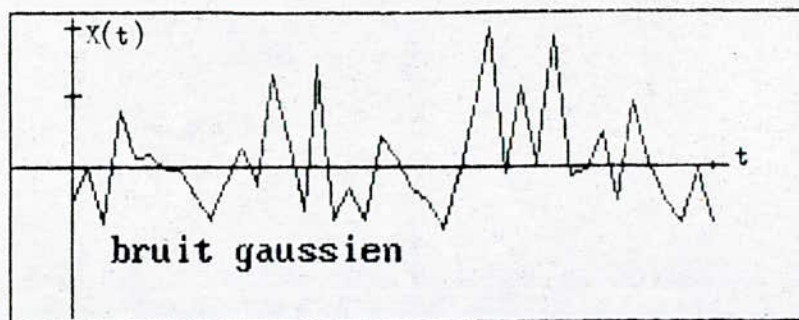


Fig-26- Tracé séquentiel de l'activité α , et tracé spectral

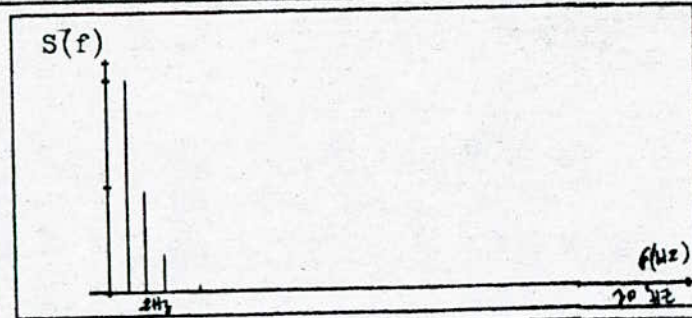
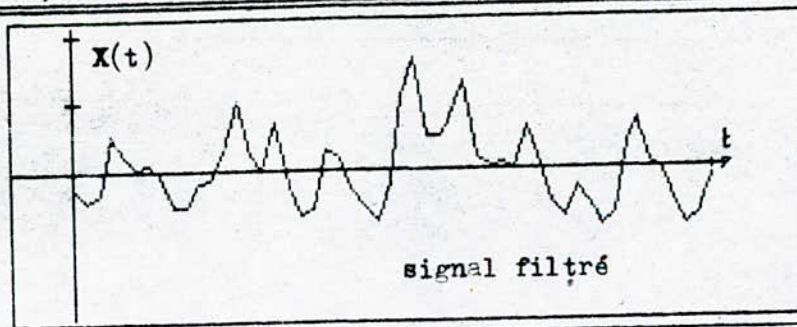
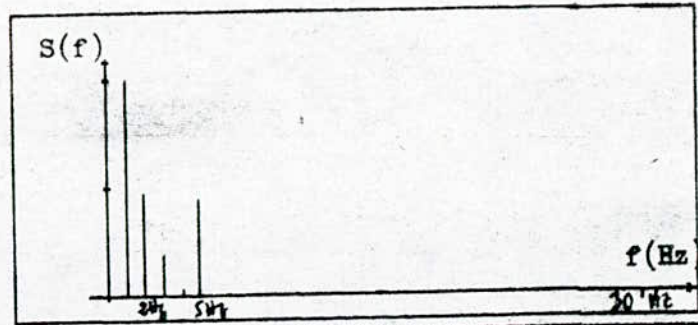
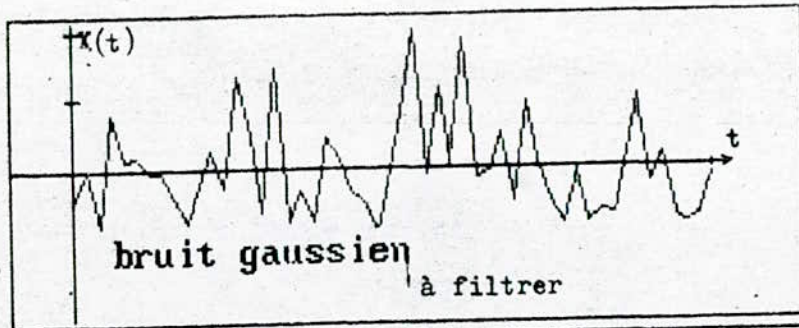


Fig-27 - Tracé séquentiel de l'activité δ , et tracé spectral

Nous remarquons que le test du khi-deux est vérifié pour les trois blocs ($\chi^2_{(3, \alpha)} \leq 32$).

$$\text{bloc1} \quad \chi^2 = 21$$

$$\text{bloc2} \quad \chi^2 = 16$$

$$\text{bloc3} \quad \chi^2 = 29$$

La série du bloc2 offre une densité de probabilité la plus proche de celle de la Gaussienne. Le bloc2 étant obtenu par des filtres récursifs.

Pour l'étude de la stationnarité nous avons divisé les échantillons de la série à étudier en 32 segments, chacun de ces segments possède 16 échantillons. Le degré de liberté de chaque segment est:

$$\text{lib} = (2 \cdot n \cdot B / Fe) - 1$$

$$\text{lib} = (2 \cdot 16 \cdot 22 / 80) - 1 = 7,8$$

nous prenons la valeur entière:

$$\text{degré de liberté : lib} = 8$$

Pour un niveau de confiance de 90%, les paramètres fixés sont:

$$\text{Valeur de Student} \quad t_{8, 0.05} = 1.86$$

$$\text{Valeur du khi-deux} \quad \chi_{8, 0.05} = 15.507$$

$$\chi_{8, 0.95} = 2.733$$

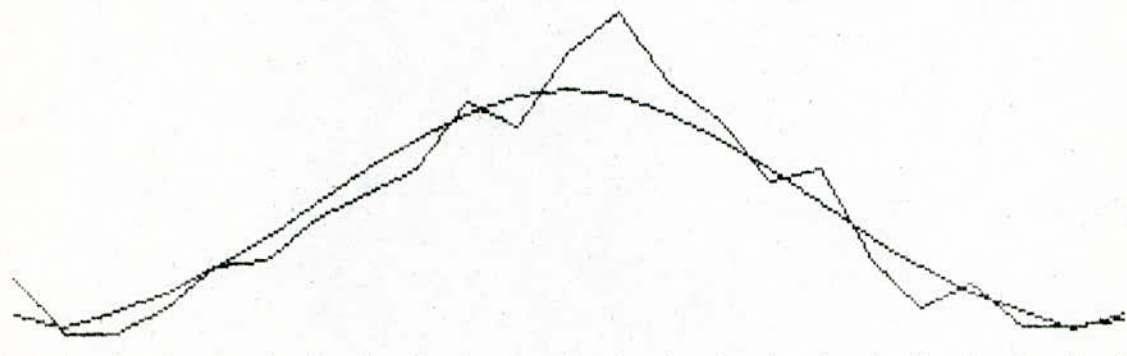
Chacun de ces trois blocs donne 32 estimations \bar{X}_{mo} de la moyenne et 32 estimations P_{mx} de la variance. Sur les figures 28, 29 et 30, chaque estimation est représentée par un segment correspondant à l'intervalle de confiance à 90% de la valeur calculée.

On constate que la moyenne et la variance ne sont stationnaires que sur de courtes périodes.

Les tests RUN et TREND sont effectués sur des groupes successifs de 100 échantillons.



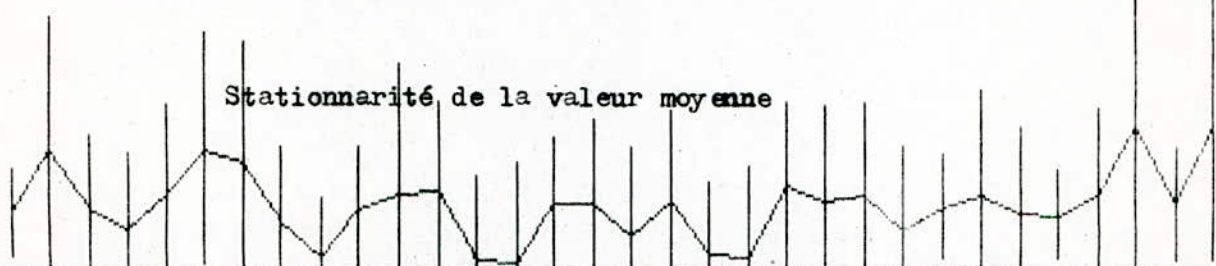
Signal E.E.G simulé



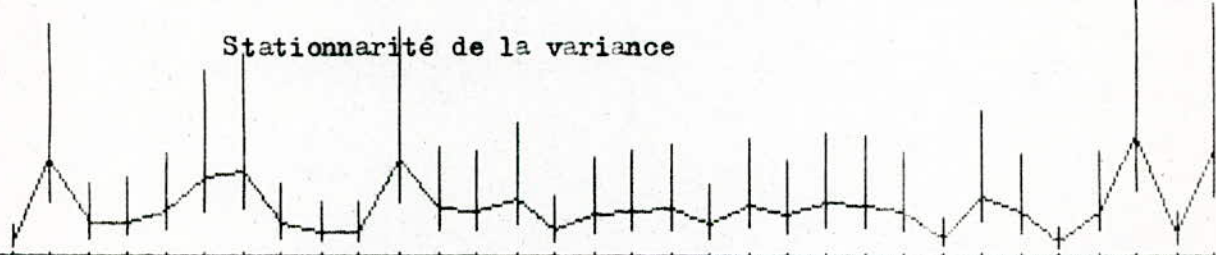
Densité de probabilité et test du khi-deux

Moyenne= 0,2761

Varaince= 1,4194



Stationnarité de la valeur moyenne



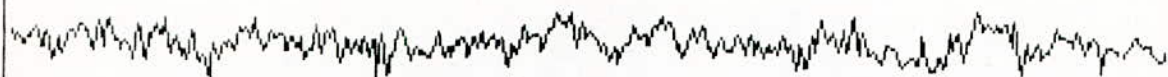
Stationnarité de la variance

$KI^2 = 21$

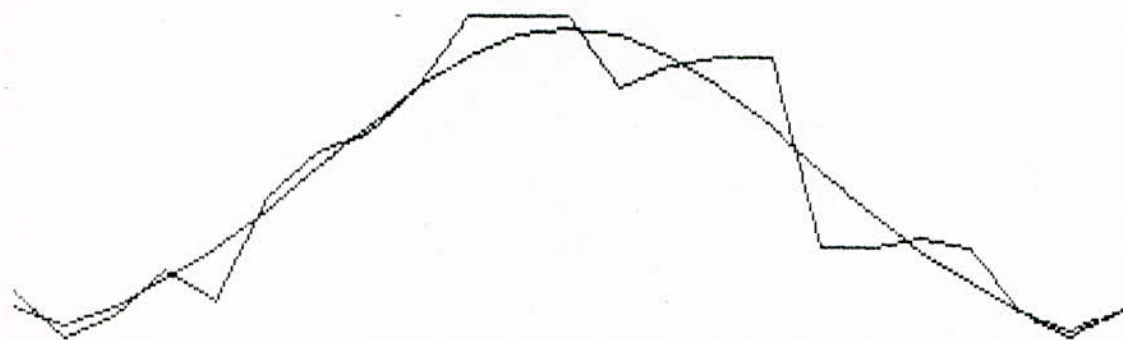
$MMX = 1.294997$

$\sigma_{\max}^2 = 11.37572$

Fig-28- Signal du bloc1



Signal E.E.G simulé



$KI^2 = 16$

Densité de probabilité et test du khi-deux

Moyenne= 0,0904 Variance= 0,9304

Stationnarité de la moyenne

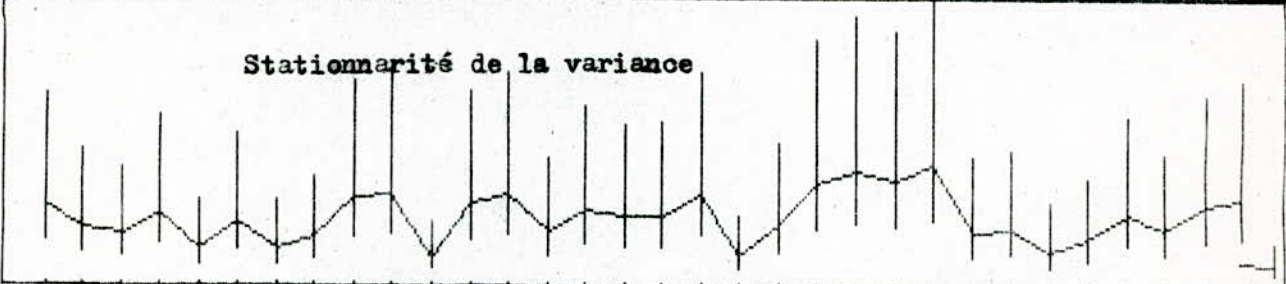
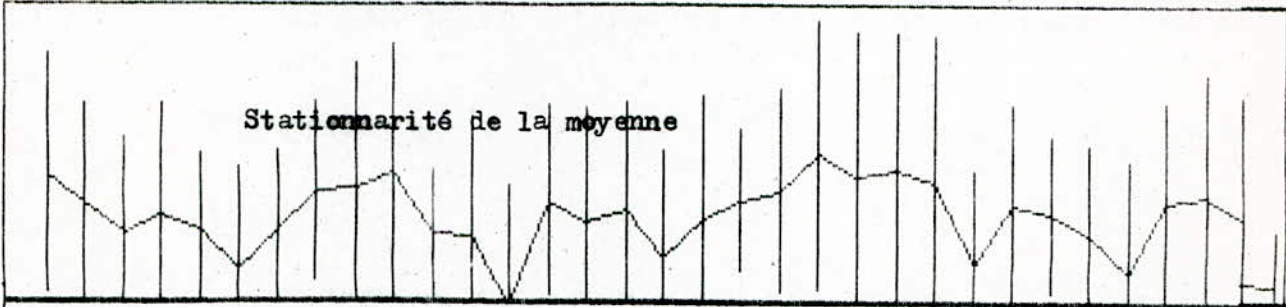
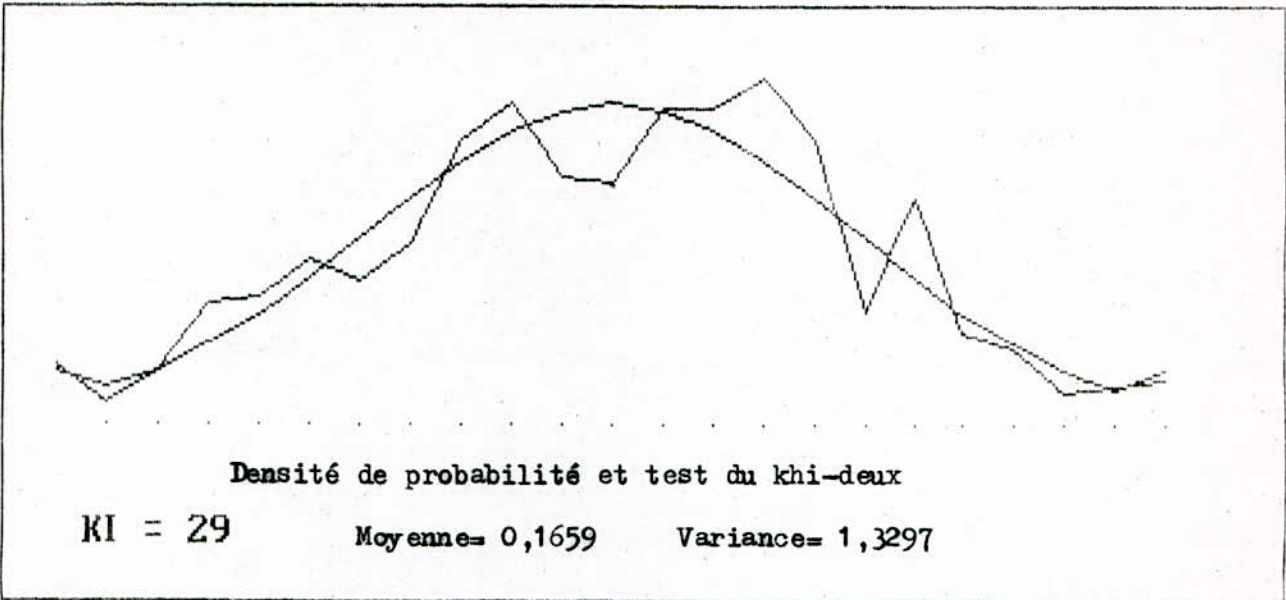
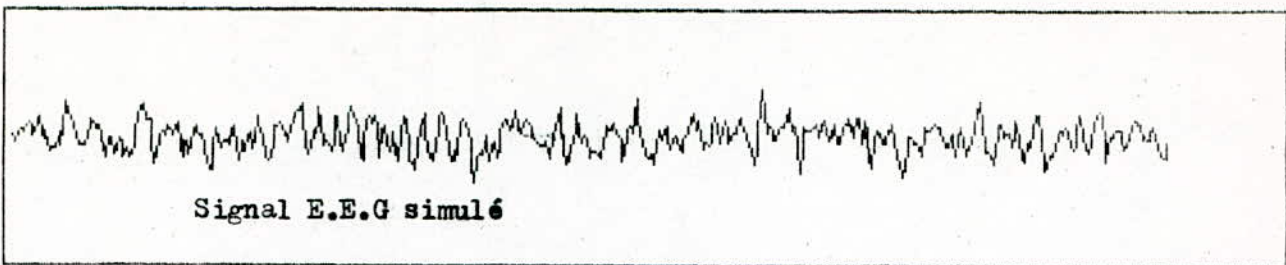


Stationnarité de la variance



$KI^2 = 16$ * $MOY_{max} = 1.626837$ * $\sigma^2_{max} = 3,9951$

Fig-29- Signal du bloc2



$KI^2 = 29$ $MMX = .7808202$ $\sigma^2_{max} = 2,6511$

Fig-30- Signal du bloc3

Pour chacun des trois blocs traités, les résultats sont regroupés sur le tableau suivant:

	bloc1		bloc2		bloc3	
	RUN-test	TREND-test	RUN	TREND	RUN	TREND-TEST
1	27	2215	25	3129	19	2844
2	20	2533	26	3244	27	2593
3	26	2376	23	2208	20	2490
4	20	2288	29	2983	29	2850
5	29	2185	22	2399	23	2313

Si nous adoptons un niveau de confiance de 95%; le run-test est positif si, le test est compris entre 40 et 61. Et le trend-test est positif si, le résultat est compris entre 2145 et 2804.

On constate alors que le run-test n'est pas vérifié, tandis que le trend-test est vérifié pour le bloc1, et seulement sur la moitié des groupes de 100 points pour les blocs 2 et 3.

Il convient d'être très prudent dans l'interprétation de ces résultats, car ils peuvent être perturbés par les fluctuations de la valeur moyenne du signal. [12], [13]

Sur la figure-31-, nous traçons un signal de durée 6,4s (512 points), ainsi que son tracé spectral. Ce signal est obtenu de la façon suivante:

- le premier quart du signal (de l'origine à $t=1,6s$ on simule uniquement l'activité δ , le gain est pris égal à 0.25.
- le second quart (de $t=1.6s$ à $3.2s$); activité θ , gain=0.75.
- la troisième partie du signal ne simule que l'activité α , le gain est pris unitaire.
- le dernier quart: de $t=4.8s$ à $6.4s$, activité β , gain=0.6.

Nous traçons un autre signal du même genre mais, dont les gains des quatre activités sont pris égaux (Fig-32-).

L'utilisateur a la possibilité de choisir les activités, ainsi

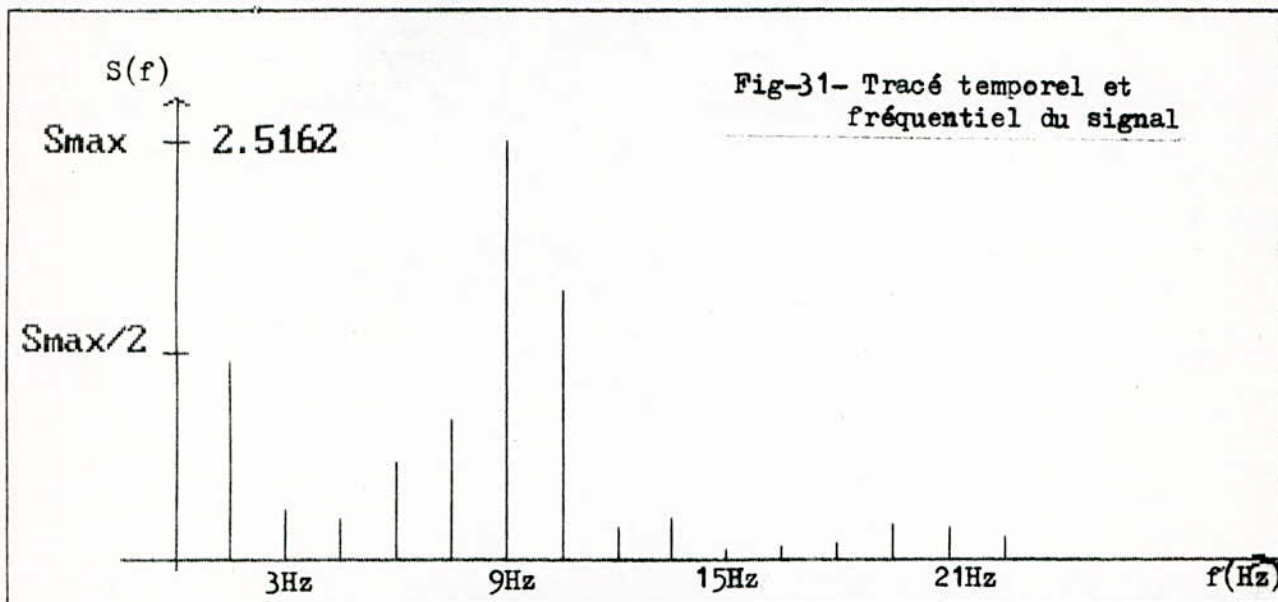
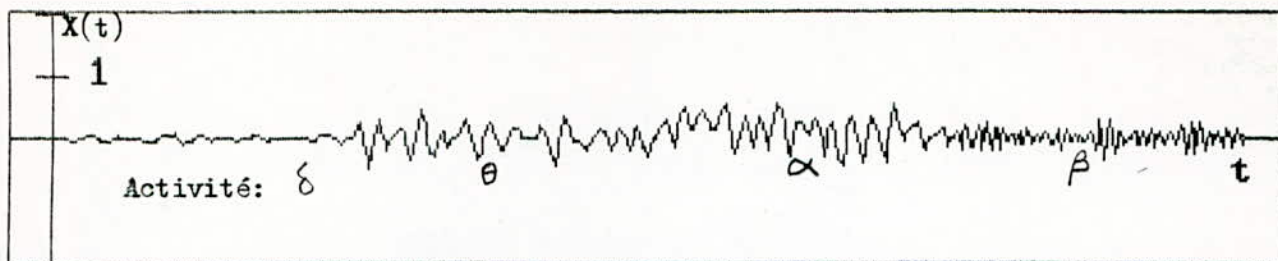


Fig-31- Tracé temporel et fréquentiel du signal

VARIANCE= .2342191 MOYENNE= 6.776952E-02 T.F=17:07:24
 YMAX= 1.6 RYTHMES: δ θ α β T.I=16 57 33

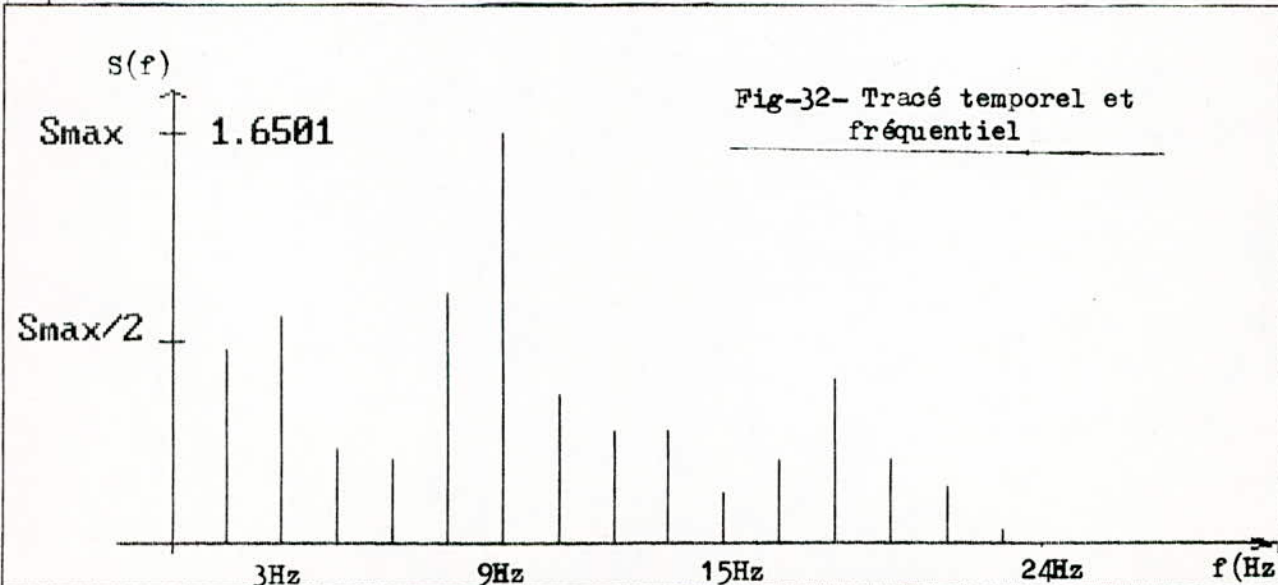
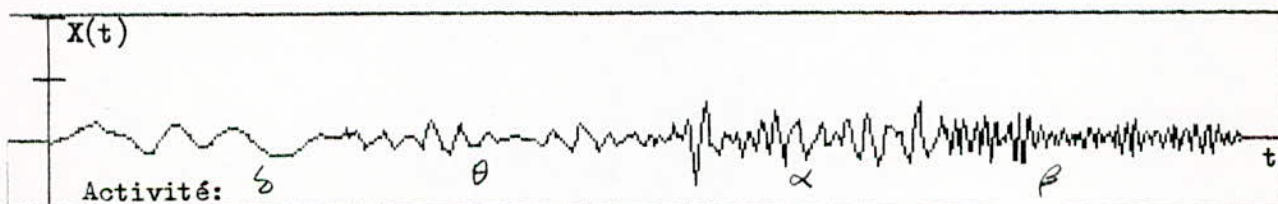


Fig-32- Tracé temporel et fréquentiel

VARIANCE= 6.323818E-02 MOYENNE= 1.302979E-02 T.F=17:17:42
 YMAX= 0.1 * RYTHMES: δ θ α β T.I=17:14:38

que le gain, la durée et le moment d'apparition de l'activité choisie.

Nous avons aussi étudié le signal représenté sur la figure 31, du point de vue statistique.

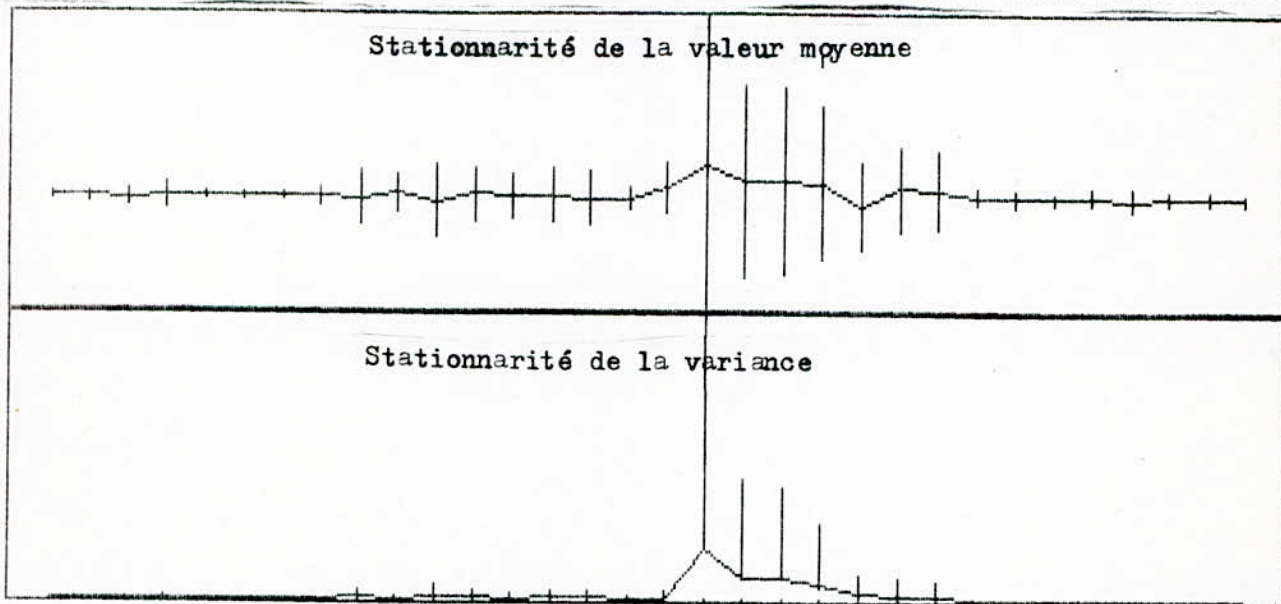
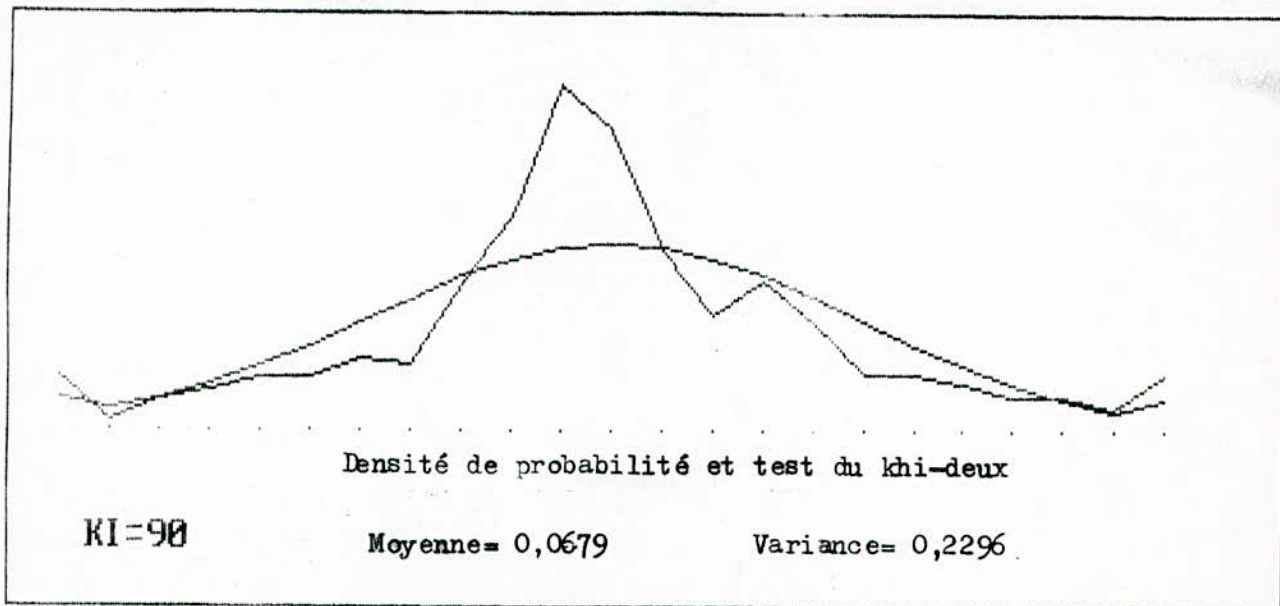
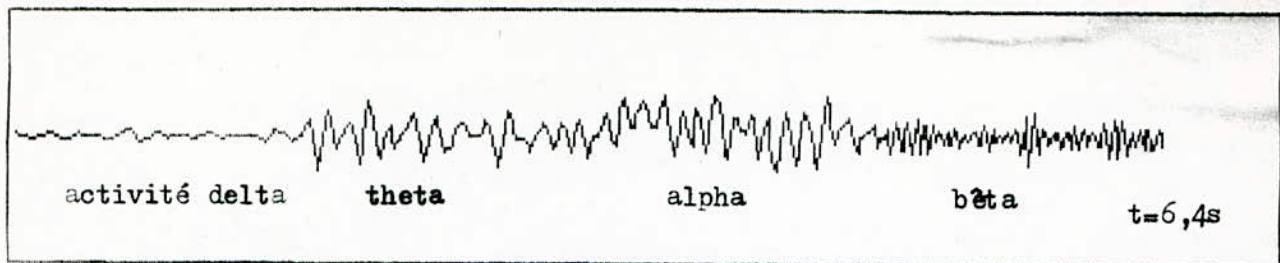
Le test du khi-deux ($\chi^2=90$) montre que ce signal ne peut pas être considéré comme ayant une distribution Gaussienne.

L'étude de la stationnarité (Fig-33-) permet de constater que le signal n'est stationnaire que sur la période d'apparition d'une activité.

On donne les résultats des run-test et trend-test effectués sur ce dernier signal étudié, sur le tableau suivant:

I	RUN	TREND-test
1	14	2473
2	18	2460
3	16	1854
4	24	2688
5	52	2464

On constate que le résultat du run-test augmente avec la fréquence, et il n'est vérifié que pour le dernier groupe de 100 point (I=5), c'est à dire pour l'activité β . Par contre le trend-test est vérifié pour tous le signal.



$$KI^2 = 90 * MOY_{max} = .7873537 * \sigma^2_{max} = 2,7098$$

Fig-33- Signal simulant les quatres activités;
l'une derrière l'autre

C O N C L U S I O N

Le software que nous avons conçu pour simuler l'E.E.G, se base sur l'hypothèse que l'E.E.G peut être représenté par un modèle, qui consiste au passage du bruit blanc à travers des filtres occupant des bandes de fréquences différentes. La mise en oeuvre du modèle nous a amené à concevoir des filtres numériques, des générateurs de nombres aléatoires et un sommateur qui a la particularité de sommer des signaux de fréquences d'échantillonnage différentes.

Les vérifications effectuées ont montré que les données simulées sont correctes dans le sens où leur caractéristiques statistiques ressemblent à celles d'un E.E.G réel.

ANNEXE

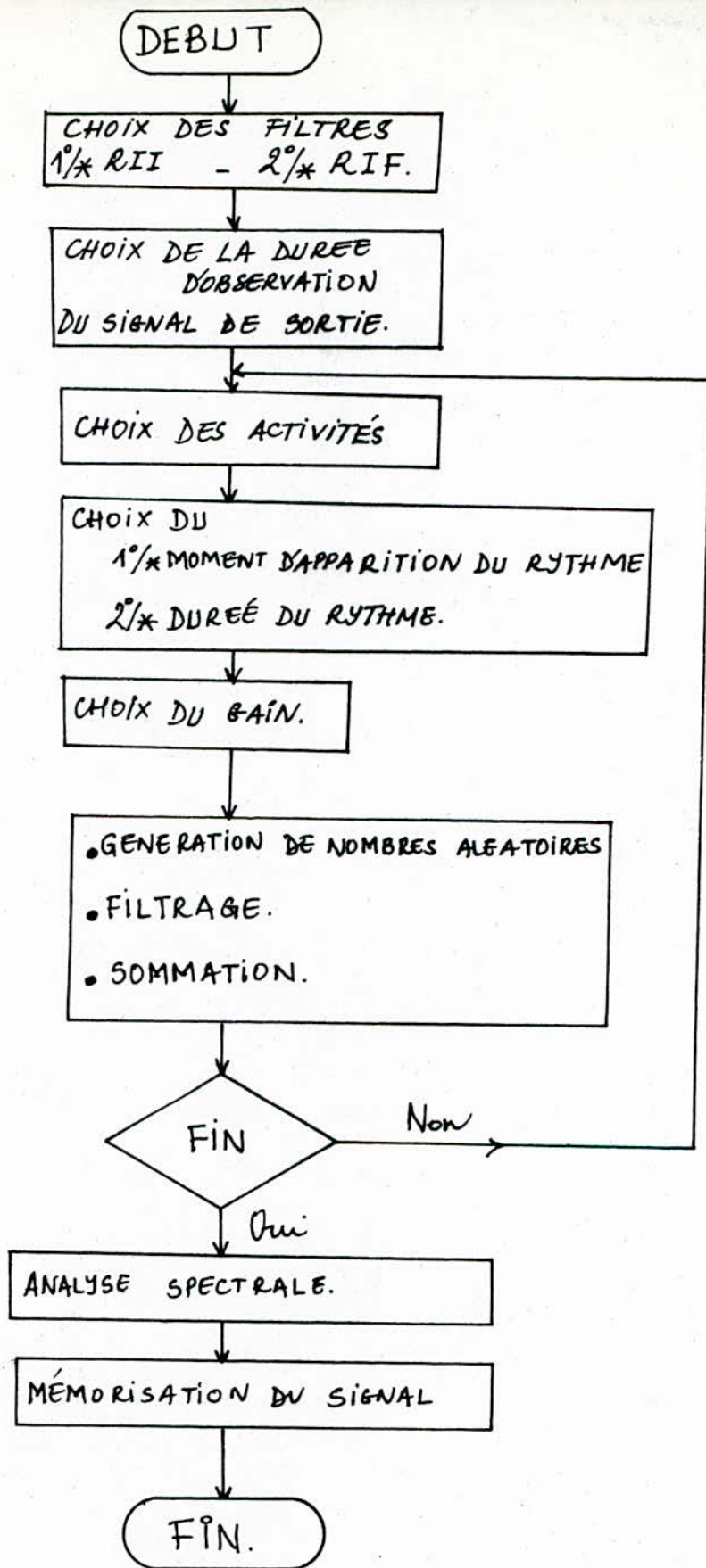


Fig - 1 - Organigramme général du programme de simulation

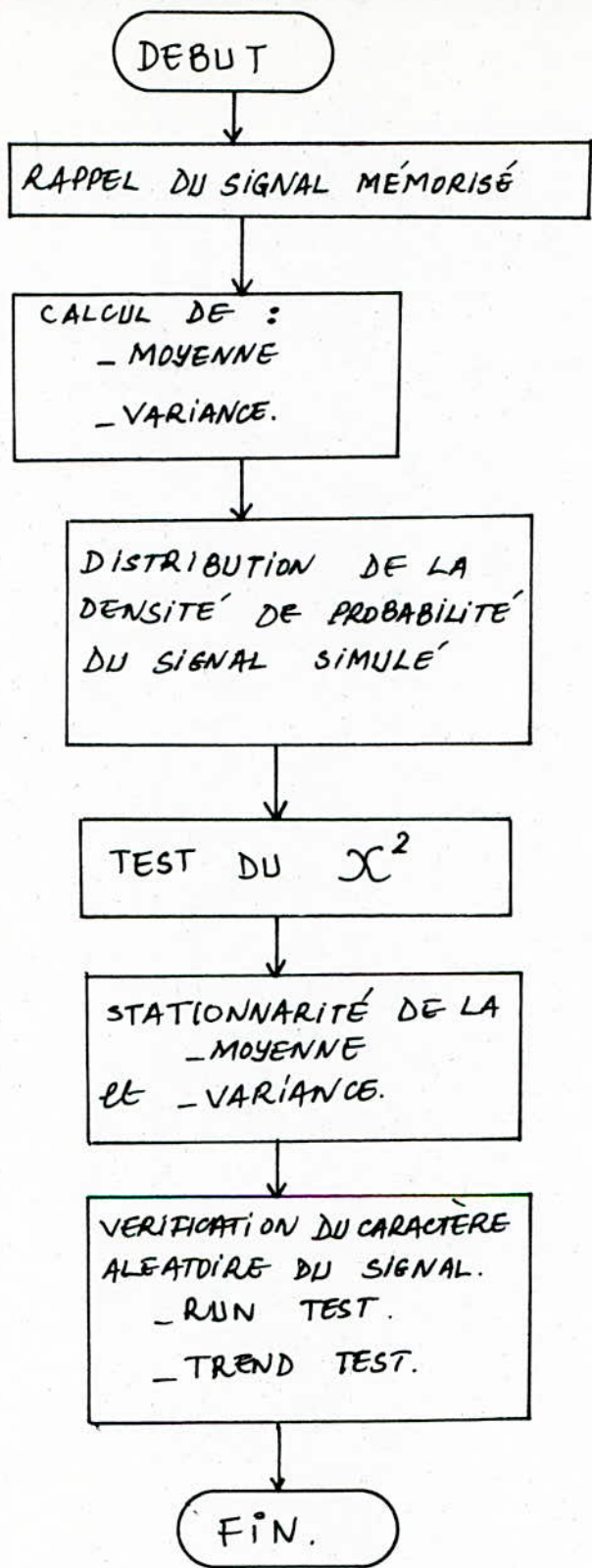


Fig-2 - Organigramme des vérifications statistiques.

PROG 1 :

```

10 REM #####
20 REM ***** SIMULATION DE L'E.E.G *****
30 REM #####
40 ' N :Ordre du filtre
50 ' NP :nombre d'échantillons
60 ' X(I):Série generée non filtrée
70 ' Y(I):Série filtrée
80 ' YF(I):signal simulant l'E.E.G
90 '
100 CLS:TI%=TIME$
110 M=15 :YMAX=0 :PI=3.14
120 GOSUB 4120
130 DIM F2(NP+2),F3(NP+2),Y5(NP)
140 DIM H(NP+N),S(M),X(NP+N),Y(NP+N)
150 DIM YF(NP+N)
160 ON F GOTO 200,170
170     FLT=0
180     FLT=FLT+1
190     GOTO 310
200 REM #####
210 REM ***** CHOIX DU GABARIT DU FILTRE *****
220 REM #####
230 LOCATE 9,5: PRINT "* CHOIX DU TYPE DE FILTRAGE FILTRE *****"
240     PRINT "      1 --- FILTRE DELTA"
250     PRINT "      2 --- FILTRE THETA"
260     PRINT "      3 --- FILTRE ALPHA"
270     PRINT "      4 --- FILTRE BETA"
280     PRINT "      5 --- CALCUL FINAL"
290 LOCATE 20,40:PRINT "NP=";NP
300 LOCATE 18, 8:INPUT "  VOTRE CHOIX ENTRE 1 ET 5:";FLT
310     ON FLT GOTO 320,340,350,360,1070
320     FE=10:IF TYF$="RII" THEN FE=20
330     CH$="DELT":DEL=1 :GOTO 370
340     CH$="TETA":THE=1:FE=20:GOTO 370
350     CH$="ALPH":ALP=1:FE=40:GOTO 370
360     CH$="BETA":BET=1:FE=80
370     PAS=80/FE:CLS
380     IF TYF$="RII" THEN FICH$="RII4" ELSE FICH$="A:"+CH$+N$
390     GOSUB 4000
400 REM #####
410 REM ***** SIMULATION D'UN SIGNAL *****
420 REM #####
430 PRINT TAB(10) "TYPE DU FILTRE:";TYF$,"ORDRE:";N
440 RANDOMIZE TIMER
450 NAP=INT(NP/PAS)+1
460 IE=INT(RND*15)*2+11
470 HOY=-1.25 :S2=1
480 IO=8192 :IS=0
490 ' ----- CALCUL DE X(O) -----
500     IS=IE*259
510     IS=(IS/IO-INT(IS/IO))*IO
520     R1=IS*3.0517E-05
530 ' ----- CALCUL DE R2=X(K+1) -----
540 FOR I=0 TO NAP
550     IS=IS*259

```

```

560     IS=(IS/ID-INT(IS/ID))*ID
570     R2=IS*3.051E-05
580     R1=R2
590     A0=SQR(-2*LOG(R1))*COS(2*PI*R2)
600     X(I)=A0*52+M0Y
610     NEXT I
620     PRINT IE,
630     IF TYF$="RIF" THEN GOSUB 2090 ELSE GOSUB 2310
640     REM *****
650     REM ***** BLOQUEUR D'ORDRE UN *****
660     REM *****
670     IF PAS=1 THEN 850
680     ' Changement d'indice
690     FOR I=NAP TO 0 STEP -1
700     Y(I*PAS)=Y(I)
710     NEXT I
720     IF PAS<>2 THEN 770
730     FOR I=0 TO NP-1 STEP 2
740     Y(I+1)=(Y(I)+Y(I+2))/2
750     NEXT I
760     GOTO 850
770     ' bloqueur pour pas de 4 ou 8
780     FOR I=0 TO NP STEP PAS
790     AZ=(Y(I+PAS)-Y(I))/PAS
800     BZ=((Y(I)*(I+PAS))-(Y(I+PAS)*I))/PAS
810     FOR K=I TO I+PAS
820     Y(K)=(AZ*K)+BZ
830     NEXT K
840     NEXT I
850     REM ***** SOMME *****
860     FOR I=0 TO NP
870     IF I<NP1 THEN 890
880     IF I<=NP2 THEN 900
890     Y(I)=0
900     YF(I)=Y(I)*GAIN+YF(I)
910     IF YMAX<ABS(YF(I)) THEN YMAX=ABS(YF(I))
920     NEXT I
930     REM *****
940     REM ***** RECAPITULATIF *****
950     REM *****
960     CLS: NF=DEL+THE+ALP+BET
970     LOCATE 3,30:PRINT "VOUS AVEZ DEJA CHOISI"
980     ON NF GOTO 990,1020,1020, 1060
990     PRINT TAB(12)"le filtre suivant" :GOTO 1010
1000    PRINT TAB(12)"les ",NF," filtres suivants"
1010    IF DEL=1 THEN PRINT TAB(20)"Filtre Delta"
1020    IF THE=1 THEN PRINT TAB(20)"Filtre Theta"
1030    IF ALP=1 THEN PRINT TAB(20)"Filtre Alpha"
1040    IF BET=1 THEN PRINT TAB(20)"Filtre Beta "
1050    ON F GOTO 200,180
1060    PRINT "Les quatres filtres"
1070    IF DEL=1 THEN FILTR$= CHR$(235)+SPACE$(1)
1080    IF THE=1 THEN FILTR$=FILTR$+CHR$(233)+SPACE$(1)
1090    IF ALP=1 THEN FILTR$=FILTR$+CHR$(224)+SPACE$(1)
1100    IF BET=1 THEN FILTR$=FILTR$+CHR$(225)

```



```

1110 REM *****
1120 REM ***** TRACE GRAPHIQUE DU SIGNAL SIMULE *****
1130 REM *****
1140 INPUT "NOMMER LE FICHIER OU SAUVEGARDER VOS VALEURS";GH$
1150 CLS:SCREEN 3
1160 LOCATE 21,60:PRINT "T.I="T1$
1170 VIEW(10,10)-(630,100),,1
1180 GOSUB 2000
1190   FOR I=0 TO NP
1200       YM=YM+YF(I)
1210       IF I=0 THEN 1230
1220       LINE(I0,Y0)-(I,YF(I))
1230       I0=I:Y0=YF(I)
1240   NEXT I
1250 IF GH$="" THEN 1310
1260 OPEN GH$ FOR OUTPUT AS 3
1270   FOR I=0 TO NP
1280       PRINT #3,YF(I),
1290   NEXT I
1300 CLOSE
1310 YM = YM/(NP+1)
1320 LOCATE 20,30 :PRINT "MOYENNE=",YM
1330 LOCATE 21,10 :PRINT " YMAX=";YMAX :T2$=TIME$
1340 LOCATE 21,30 :PRINT "RYTHMES=";FILTR$
1350 LOCATE 20,65:PRINT "T.F=";T2$
1360 ' =====
1370 '***** Calcul de la variance var *****
1380 ' =====
1390 VAR=0
1400 FOR I=1 TO NP
1410   VAR=VAR+(YF(I)-XM0)^2
1420 NEXT I
1430 VAR=VAR/NP:LOCATE 20,10:PRINT "VARIANCE=";VAR
1440 '#####
1450 '**** ANALYSE SPECTRALE ****
1460 '#####
1470 OPEN "BJ(20)" FOR INPUT AS 3
1480   FOR I=1 TO M
1490     INPUT #3,B0,B1,B2,B3,B4
1500     IF I(<)1 THEN GOTO 1630
1510     F2(0)=YF(0)
1520     F3(0)=F2(0)
1530     Y5(0)=B0*F3(0)
1540     F2(1)=YF(1)-B1*F2(0)
1550     F3(1)=F2(1)-B3*F3(0)
1560     Y5(1)=B0*F3(1)
1570     FOR J=2 TO NP
1580       F2(J)=YF(J)-B1*F2(J-1)-B2*F2(J-2)
1590       F3(J)=F2(J)-B3*F3(J-1)-B4*F3(J-2)
1600       Y5(J)=B0*F3(J)
1610     NEXT J
1620     GOTO 1770
1630     F1=YF(0)
1640     F2(0)=F1
1650     F3(0)=F2(0)

```

```

1660 Y5(0)=B0*F3(0)
1670 F1=YF(1)
1680 F2(1)=F1-B1*F2(0)
1690 F3(1)=F2(1)-B3*F3(0)
1700 Y5(1)=B0*F3(1)
1710 FOR J=2 TO NP
1720 F1=YF(J)-YF(J-2)
1730 F2(J)=F1-B1*F2(J-1)-B2*F2(J-2)
1740 F3(J)=F2(J)-B3*F3(J-1)-B4*F3(J-2)
1750 Y5(J)=B0*F3(J)
1760 NEXT J
1770 S(I)=0
1780 FOR L=0 TO NP STEP M
1790 S(I)=S(I)+Y5(L)^2
1800 NEXT L
1810 IF SMX(S(I)) THEN SMX=S(I)
1820 NEXT I
1830 CLOSE
1840 ' ****Tracé spectrale *****
1850 VIEW( 10,110)-(620,300) , 1:CLS
1860 WINDOW(-5,-SMX*.1)-(40,SMX*1.3)
1870 FOR I=1 TO M
1880 LINE(I,0)-(I,S(I))
1890 NEXT I
1900 LINE(-1,0)-(40,0) :REM **AXE HORIZONTALE**
1910 LINE(30,-SMX/50)-(30,SMX/300)
1920 LINE(40,0)-(39.5,SMX/100) :LINE(40,0)-(39.5,-SMX/100)
1930 LINE(0,-SMX/50)-(0,SMX*1.1) :REM **AXE VERTICALE**
1940 LINE(0,SMX*1.1)-(.2,SMX*1.085) :LINE(0,SMX*1.1)-(.2,SMX*1.085)
1950 LINE(-.2,SMX)-(.2,SMX) :LINE(-.2,SMX/2)-(.2,SMX/2)
1960 T2%=TIME$
1970 LOCATE 22,65:PRINT "T.F=",T2$
1980 LOCATE 10,7:PRINT "Smax" :LOCATE 14,6:PRINT "Smax/2"
1990 END
2000 REM *****
2010 REM ***** SOUBROUTINE DU TRACE DES SIGNAUX *****
2020 REM *****
2030 XX=YMAX*B
2040 WINDOW(-NP/10,-XX)-(NP+NP/10,XX)
2050 LINE(-NP/10,0)-(NP+NP/10,0):LINE(0,-XX)-(0,XX)
2060 LINE(-NP/80,XX)-(NP/80,XX):LINE(-NP/80,XX/2)-(NP/80,XX/2)
2070 LINE(NP,XX/50)-(NP,-XX/50):LINE(0,0)-(NP,0),B
2080 RETURN
2090 REM *****
2100 REM ***** LECTURE DU FICHIER CORRESPONDANT *****
2110 REM *****
2120 OPEN FICH$ FOR INPUT AS 1
2130 FOR K=0 TO N
2140 INPUT #1 ,H(K)
2150 NEXT K
2160 CLOSE
2170 REM *****
2180 REM ***** CONVOLUTION *****
2190 REM *****
2200 NC=NAP+(N-1)/2

```

```

2210 FOR I=(N-1)/2 TO NC
2220   Y(I)=0
2230   FOR K=0 TO N-1
2240     IF I<K THEN K=N :GOTO 2260
2250     Y(I)=Y(I)+H(K)*X(I-K)
2260   NEXT K
2270   J=I-((N-1)/2)
2280   Y(J)=Y(I)
2290 NEXT I
2300 RETURN
2310 ' -----
2320 ' -- filtres R I I -----
2330   OPEN "A:RII4" FOR INPUT AS 3
2340 FOR FUG=1 TO 4
2350 IF FUG (<)FLT THEN 2370
2360   INPUT #3,B0,B1,B2,B3,B4:GOTO 2380
2370   INPUT #3,ZE,ZE,ZE,ZE
2380 NEXT FUG
2390 CLOSE
2400 IF FLT=1 THEN GOSUB 2420 ELSE GOSUB 2550
2410 RETURN
2420 ' ----- CONVOLUTION AU PASSE BAS -----
2430   F2(0)= X(0)
2440   F3(0)=F2(0)
2450   Y (0)=B0*F3(0)
2460   F2(1)= X(1)-B1*F2(0)
2470   F3(1)=F2(1)-B3*F3(0)
2480   Y (1)=B0*F3(1)
2490   FOR J=2 TO NAP
2500     F2(J)=X(J)-B1*F2(J-1)-B2*F2(J-2)
2510     F3(J)=F2(J)-B3*F3(J-1)-B4*F3(J-2)
2520     Y (J)=B0*F3(J)
2530   NEXT J
2540 RETURN
2550 ' ----- CONVOLUTION PAR PASSE BANDE -----
2560   F1=X(0)
2570   F2(0)=F1
2580   F3(0)=F2(0)
2590   Y(0)=B0*F3(0)
2600   F1=X(1)
2610   F2(1)=F1-B1*F2(0)
2620   F3(1)=F2(1)-B3*F3(0)
2630   Y(1)=B0*F3(1)
2640   FOR J=2 TO NAP
2650     F1=X(J)-X(J-2)
2660     F2(J)=F1-B1*F2(J-1)-B2*F2(J-2)
2670     F3(J)=F2(J)-B3*F3(J-1)-B4*F3(J-2)
2680     Y(J)=B0*F3(J)
2690   NEXT J
2700   RETURN
2710 REM *****
2720 #####
2730 ***** CHOIX DE LA DUREE D'une activite *****

```



```

4000 '#####
4010 ***** CHOIX DE LA DUREE D'une activite *****
4020 PRINT "CHOIX DU GAIN POUR L'ACTIVITE ";CH$;" : "
4040 INPUT " " ;GAIN :PRINT
4050 PRINT "MOMENT D'APPARITION DU RYTHME EN COURS"
4060 PRINT "PRENEZ UN TEMPS INFERIEUR à T=";T;"sec";
4070 INPUT " " ;TM :PRINT
4080 IF TM>T THEN 4060
4090 PRINT "DUREE DU RYTHME";CH$;" : "
4100 PRINT "PRENEZ UN TEMPS (<à ";T-TM;"sec"
4110 INPUT " " ;TA :PRINT
4120 IF TA>T-TM THEN 4100
4130 NP1=TM*80 :NP2=(TA+TM)*80
4140 RETURN
4150 REM #####
4160 REM ** PRESENTATION *****
4170 REM *****
4180 SCREEN 1:SCREEN 0
4190 A$=CHR$(224):B$="#":COLOR 1,4
4200 A$=STRING$(40,A$):B$=STRING$(40,B$)
4210 LOCATE 22,1:PRINT A$ B$
4220 LOCATE 1,1:PRINT B$ A$
4230 FOR I=2 TO 21
4240 LOCATE I,1 :PRINT "#"
4250 LOCATE I,40:PRINT "#"
4260 NEXT I
4270 A$=" SIMULATION SOFTWARE DE L'E.E.G. "
4272 C$=" GRAINE Hassane":D$=" AIT-AKLI Akli "
4280 B$=" ETUDIANT ": E$=" PROMOTEUR : "
4290 COLOR 19,4:LOCATE 5,3 :PRINT A$
4300 COLOR 4,2 :LOCATE 17,25:PRINT B$:LOCATE 17,4:PRINT E$
4302 COLOR 4,3:LOCATE 19,25:PRINT C$:LOCATE 20,25:PRINT D$
4304 :LOCATE 19, 4:PRINT "D.E. AZZOUZ "
4310 FOR I=1 TO 20000:NEXT I
4320 CLS :COLOR 19,8
4330 '-----
4340 '----- SUB CHOIX -----
4350 '-----
4360 PRINT:PRINT" CHOIX DU TYPE DU FILTRE NUMERIQUE "
4370 PRINT :PRINT:COLOR 4,6 :PRINT :PRINT
4380 PRINT "1 - RII FILTRES DE BUTTERWORTH A 4 POLES" :PRINT
4390 PRINT "2 - RIF FILTRES PAR LA METHODE "
4400 PRINT " D'ECHANTILLONNAGE " :PRINT:PRINT
4410 COLOR 1,4:LOCATE 5,16:PRINT " MENU "
4420 LOCATE 15,10:INPUT " TAPEZ RII OU RIF " ;TYF$
4430 IF TYF$("<")"RII" AND TYF$("<")"RIF" THEN 4420
4440 IF TYF$="RII" THEN N$="BRI":N=4:GOTO 4590
4450 COLOR 4,5:CLS:PRINT
4460 COLOR 5,6
4470 PRINT " EN CHOISSANT LES FILTRES RIF "
4480 PRINT "IL VOUS EST PROPOSE 3 ORDRES DIFFERENTS"
4490 PRINT
4500 PRINT " ORDRE 41:GABARIT ELARGI? CACUL RAPIDE"
4510 PRINT :PRINT " ORDRE 51:" :PRINT
4520 PRINT " ORDRE 61:- CALCUL PLUS LONG":COLOR 1,4
4530 LOCATE 15,8:INPUT " TAPEZ 41,51,ou 61,MERCI: ";N
4540 IF N=41 OR N=51 OR N=61 THEN 4570

```

```

4550 PRINT "PRENEZ UNIQUEMENT LES VALEURS PROPOSEES"
4560 GOTO 4530
4570 N$=STR$(N)
4580 COLOR 3,4:CLS
4590 CLS:PRINT " POUR LE CHOIX DE LA DUREE SACHEZ QUE:"
4600 PRINT :PRINT :PRINT :PRINT
4610 PRINT " POUR UNE SECONDE NP EST DE 80"
4620 PRINT :PRINT TAB(10)" ET QUE LE CALCUL SE FERA EN 1MINUTE"
4630 PRINT :PRINT :PRINT :PRINT
4640 INPUT "DUREE D'OBSERVATION                               Donnée en seconde: ";T
4650 NP=T*80
4660 IF NP-INT(NP)=0 THEN 4680
4670 NP=INT(T*80)+1
4680 CLS
4690 REM *****
4700 REM *****  NOMBRE DE FILTRES A CHOISIR *****
4710 REM *****
4720 LOCATE 2,35:PRINT "NOMBRE DE POINTS=";NP
4730 PRINT TAB(15) "VOULEZ VOUS:"
4740 PRINT TAB(18) "1- - - CHOISIR LES FILTRES UN A UN  "
4750 PRINT TAB(18) "2- - - LES QUATRES TYPES DE FILTRES"
4760 COLOR 1,4:LOCATE 10,8:INPUT "VOTRE CHOIX 1ou2 : ";F
4770 IF F=0 OR F>2 THEN 4760
4780 CLS:RETURN

```

PROG 2 : CALCUL DES FILTRES RIF

```

10 ' *****
20 ' ***** filtres pour l'E . E . G . *****
30 ' *****
40 CLS:LOCATE 3,10
50 INPUT "ORDRE DU FILTRE N: ";N
60 LOCATE 10,10 :PRINT "FILTRES POUR LA SIMULATION DE L'EEG"
70 PRINT TAB(7) "CHOISISSEZ L'UN DES QUATRES FILTRES"
80 PRINT TAB(15)" 1 - - - FILTRE DELTA"
90 PRINT TAB(15)" 2 - - -      THETA"
100 PRINT TAB(15)" 3 - - -      ALPHA"
100 PRINT TAB(15)" 3 - - -      ALPHA"
110 PRINT TAB(15)" 4 - - -      BETA"
120 LOCATE 18,10 :INPUT "VOTRE CHOIX: ";FLT
130 IF (FLT-1)>4 OR FLT=0 THEN 80
140 ON FLT GOTO 150,170,190,210
150 FC1=0 :FC2=3 :FE=10
160 FICH$="DELT" :GOTO 230
170 FC1=4 :FC2=7 :FE=20
180 FICH$="TETA" :GOTO 230

190 FC1=8 :FC2=12:FE=40
200 FICH$="ALPH" :GOTO 230
210 FC1=12:FC2=22:FE=80
220 FICH$="BETA"
230 IF N(<)51 THEN FICH$=FICH$+N$

```



```

280 IF FG1<1 THEN GOSUB 1820 ELSE GOSUB 1040
290 ' -----
300 ' ---- DECALAGE -----
310 CLS
320 LOCATE 6,20 :PRINT "VOULEZ-VOUS:"
330 LOCATE 8,26 :PRINT "1 --- LE TRACE DE LA FONCTION DE TRANSFERT"
340 LOCATE 10,26 :PRINT "2 --- SAUUGARDER LES H(K) DANS UN FICHIER"
350 PRINT :PRINT TAB(26)"0 ----- SORTIE DU PROGRAMME"
360 LOCATE 20,5:PRINT "FC1 FC2 FE N":PRINT TAB(5)FC1 FC2 FE N
370 LOCATE 16,15 :INPUT "VOTRE CHOIX:(1 ou 2)";DEC
380 IF DEC =0 THEN END
390 IF DEC>2 THEN 370
400 ' *****
410 ' **** TRACE GRAPHIQUE *****
420 ' *****
430 CLS:DIM Y(N+1)
440 FOR I=1 TO N+1
450 W=H(0):Y=0
460   FOR K=1 TO (N-1)/2
470     Y=Y+(2*H(K)*COS(K*2*PI*I/(2*N)))
480   NEXT K
490 PRINT USING "F/Fe=+#.#####";I/(2*N);
500   Y(I)=Y+W
510 PRINT USING " H(jw)=+#.#####";Y(I)
520 NEXT I
530 Y(0)=1 :IF FG1>1 THEN Y(0)=0
540 CLS:SCREEN 3
550 LINE(30,10)-(600,304),,B:LINE(28, 8)-(602,306),,B
560 L1=2*FC1/FE :L3=2*FC2/FE
570 X1=L1-.025 :X2=X1+.05
580 X3=L3-.025 :X4=X3+.05
590 IF FG1=0 THEN X1=0:X2=0
600 VIEW(30,10)-(600,300)
610 WINDOW(-.1,-.14)-(1.1,1.2)
620 FOR I=0 TO N
630 LINE(I/N,Y(I))-((I+1)/N,Y(I+1))
640 LINE(I/N,-.02)-( I/N,.01)
650 NEXT I
660 LINE(-.04, 0)-(1.1,0) :LINE(0,-.06)-(0,1.2) :'2 AXES
670 LINE(0 , 1.2)-(.01,1.15) :LINE(0,1.2)-(-.01,1.15):'^
680 LINE(1.1, 0)-(1.07,-.02):LINE(1.1, 0)-(1.07,.02):'
690 LINE(.5,-.03)-(.5,.01) :LINE(.01, 1)-(-.015,1):'i,-
700 LINE(X2,-.05)-(X2,.95) :LINE(X3,-.05)-(X3,.95) :'Gabarit
710 LINE(X2,.95)-(X3,.95) :LINE(X1,.05)-(X1,1.05)
720 LINE( 0,.05)-(X1,.05) :LINE( 0,-.05)-(X2,-.05)
730 LINE(X1,1.05)-(X4,1.05) :LINE(X4,.05)-(X4,1.05)
740 LINE(X4,.05)-(1.1,.05) :LINE(X3,-.05)-(1.1,-.05)
750 LINE(L1,-.03)-(L1,.01) :LINE(L3,-.03)-(L3,.01) :'i,i
760 LOCATE 19,38:PRINT FE/4;"Hz":LOCATE 4,9:PRINT "1"
770 LOCATE 2,12 :PRINT "G(f)":LOCATE 19,70:PRINT "f(Hz)"
780 LOCATE 21,6 :PRINT "ORDRE DU FILTRE:";N
790 LOCATE 22,6 :PRINT "FREQUENCES DE COUPURE:"
800 LOCATE 22,29:PRINT USING "FC1=##";FC1
810 LOCATE 22,36:PRINT USING "Hz * FC2=##";FC2
820 LOCATE 21,33:PRINT "FREQUENCE D'ECHANTIIONNAGE=";FE,"Hz"

```



```

830 LOCATE 18,8 .PRINT "0":LOCATE 22,50:PRINT "Hz"
840 TF:=TIME$:IF DEC=1 THEN 1000
850 REM *****
860 REM *** MISE DES H(K) DANS LE FICHIER CHOISI ***
870 REM *****
880 LOCATE 11,7:PRINT "NOM DE VOTRE FICHIER: ";FICH$
890 FOR K=(N-1)/2 TO N-2
900 H(K)=H(K-(N-1)/2)
910 NEXT K
920 FOR K=0 TO (N-1)/2
930 H(K)=H(N-1-K)
940 NEXT K
950 OPEN FICH$ FOR OUTPUT AS 5
960 FOR K=0 TO N
970 PRINT #5,H(K);",",
980 NEXT K
990 CLOSE
1000 LOCATE 21,3:END
1010 *****
1020 ***** FILTRE PASSE BANDE *****
1030 *****
1040 GOSUB 1240
1050 FOR K=0 TO (N-1)/2
1060 H(K)=0
1070 FOR I=1 TO (N-1)/2+1
1080 IF I<FG1-1 OR I>FG2+1 THEN G=0 :GOTO 1160
1090 IF I<FG1 THEN G=R1:GOTO 1160
1100 IF I<FG1+1 THEN G=R2:GOTO 1160
1110 IF I<FG2-1 THEN G=1 :GOTO 1160
1120 IF I<FG2 THEN G=R3:GOTO 1160
1130 IF I<FG2+1 AND I>FG2 THEN G=R4:GOTO 1160
1140 GOTO 760
1150 ***** CALCUL DES H(K) *****
1160 X=2*G*COS(2*PI*K*I/N)
1170 H(K)=H(K)+X/N
1180 NEXT I
1190 PRINT USING "H(##);K;
1200 PRINT USING ")=#.#####";H(K)
1210 NEXT K
1220 RETURN
1230 ' ----- INTERPOLATION -----
1240 I1=INT(FG1):I3=INT(FG2)
1250 F(1)=(2*I1-1)/(2*N):F(2)=(2*I1+3)/(2*N)
1260 F(3)=((2*I3-1)/(2*N)):F(4)=((2*I3)+3)/(2*N)
1270 FOR J=1 TO I3+3
1280 FOR L=1 TO 4
1290 P(2*L-1,J)=(SIN(N*PI*(F(L)-J/N)))/(N*SIN(PI*(F(L)-J/N)))
1300 P(2*L,J)=(SIN(N*PI*(F(L)+J/N)))/(N*SIN(PI*(F(L)+J/N)))
1310 NEXT L
1320 NEXT J
1330 FOR E=1 TO 4:A(E)=0:NEXT E
1340 FOR J=I1+2 TO I3-1
1350 FOR E=1 TO 4
1360 A(E)=P(2*E-1,J)+P(2*E,J)+A(E)
1370 NEXT E

```

```

1380 NEXT J
1390 FOR L=1 TO 4
1400   B(L)=P(2*L-1, I1)+P(2*L, I1) : C(L)=P(2*L-1, I1+1)+P(2*L, I1+1)
1410   D(L)=P(2*L-1, I3)+P(2*L, I3) : E(L)=P(2*L-1, I3+1)+P(2*L, I3+1)
1420 NEXT L
1430 A1=-.05-A(1) : A2=1.05-A(2)
1440 A3=1.05-A(3) : A4=-.05-A(4)
1450 D3E4=D(3)*E(4)-D(4)*E(3) : D2E4=D(2)*E(4)-D(4)*E(2)
1460 D2E3=D(2)*E(3)-D(3)*E(2) : D1E4=D(1)*E(4)-D(4)*E(1)
1470 D1E3=D(1)*E(3)-D(3)*E(1) : D1E2=D(1)*E(2)-D(2)*E(1)
1480 Q1=C(2)*D3E4-C(3)*D2E4+C(4)*D2E3
1490 Q2=C(1)*D3E4-C(3)*D1E4+C(4)*D1E3
1500 Q3=C(1)*D2E4-C(2)*D1E4+C(4)*D1E2
1510 Q4=C(1)*D2E3-C(2)*D1E3+C(3)*D1E2
1520 REM ***** CALCUL DU DETERMINANT *****
1530 D=Q1*B(1)-B(2)*Q2+B(3)*Q3-B(4)*Q4
1540 REM ***** M1 *****
1550 M1=A1*Q1-A2*Q2+A3*Q3-A4*Q4
1560 REM ***** M2 *****
1570 T1= B(1)*(A2*D3E4-A3*D2E4+A4*D2E3)
1580 T2=-B(2)*(A1*D3E4-A3*D1E4+A4*D1E3)
1590 T3= B(3)*(A1*D2E4-A2*D1E4+A4*D1E2)
1600 T4=-B(4)*(A1*D2E3-A2*D1E3+A3*D1E2)
1610 M2=T1+T2+T3+T4
1620 REM ***** CALCUL DE M3 *****
1630 B4C3=B(4)*C(3)-B(3)*C(4) : B4C2=B(4)*C(2)-B(2)*C(4)
1640 B4C1=B(4)*C(1)-B(1)*C(4) : B3C2=B(3)*C(2)-B(2)*C(3)
1650 B3C1=B(3)*C(1)-B(1)*C(3) : B2C1=B(2)*C(1)-B(1)*C(2)
1660 U1=E(1)*(A2*B4C3-A3*B4C2+A4*B3C2)
1670 U2=-E(2)*(A1*B4C3-A3*B4C1+A4*B3C1)
1680 U3= E(3)*(A1*B4C2-A2*B4C1+A4*B2C1)
1690 U4=-E(4)*(A1*B3C2-A2*B3C1+A3*B2C1)
1700 M3=U1+U2+U3+U4
1710 ' ***** CALCUL DE M4 *****
1720 V1=A1*(D(2)*B4C3-D(3)*B4C2+D(4)*B3C2)
1730 V2=-A2*(D(1)*B4C3-D(3)*B4C1+D(4)*B3C1)
1740 V3= A3*(D(1)*B4C2-D(2)*B4C1+D(4)*B2C1)
1750 V4=-A4*(D(1)*B3C2-D(2)*B3C1+D(3)*B2C1)
1760 M4=V1+V2+V3+V4
1770 R1=M1/D : R2=M2/D : R3=M3/D : R4=M4/D
1780 LOCATE 19,1 :PRINT R1,R2,R3,R4,D
1790 RETURN
1800 ' *****
1810 ' ***** FILTRE PASSE BAS *****
1820 ' *****
1830 GOSUB 2010
1840 FOR K=0 TO (N-1)/2
1850 H(K)=1/N
1860   FOR I=1 TO (N-1)/2+1
1870     IF I<FG2-1 THEN G = 1:GOTO 1910
1880     IF I<FG2 THEN G =R1:GOTO 1910
1890     IF I<FG2+1 THEN G =R2:GOTO 1910
1900     G =0
1910 ' *****
1920 ' ***** CALCUL DES H(K) *****

```



```

1930 ' *****
1940 X=2*G*COS(2*PI*K*I/N)
1950 H(K)=H(K)+X/N
1960 NEXT I
1970 PRINT USING "H(##";K;
1980 PRINT USING ")=+#.#####";H(K)
1990 NEXT K
2000 RETURN
2010 IB=INT(FG2)
2020 DIM P1(IB+1),P2(IB+2),P3(IB+3),P4(IB+4)
2030 F1=(2*IB-1)/(2*N):F2=(2*IB+3)/(2*N)
2040 FOR J=0 TO IB+1
2050 P1(J)=SIN (N*PI*(F1-J/N))/(N*SIN (PI*(F1-J/N)))
2060 P2(J)=SIN (N*PI*(F1+J/N))/(N*SIN (PI*(F1+J/N)))
2070 P3(J)=SIN (N*PI*(F2-J/N))/(N*SIN (PI*(F2-J/N)))
2080 P4(J)=SIN (N*PI*(F2+J/N))/(N*SIN (PI*(F2+J/N)))
2090 NEXT J
2100 A1=P1(0):A2=P3(0)
2110 FOR J=1 TO IB-1
2120 A1=A1 +P1(J)+P2(J):A2=A2+P3(J)+P4(J)
2130 NEXT J
2140 B1=P1(IB)+P2(IB):B2=P3(IB)+P4(IB)
2150 C1=P1(IB+1)+P2(IB+1):C2=P3(IB+1)+P4(IB+1)
2160 D=B1*C2-B2*C1:D1=C2*(1+DET -A1)+C1*( DET+A2)
2170 D2=B1*( -DET -A2)-B2*(1+DET-A1)
2180 R1=D1/D:R2=D2/D
2190 RETURN

```

PROG 3 : CALCUL DES FILTRES RECURSIFS (RII)

```

100 REM *****
110 REM *** CALCUL DES POLES DES 4 FILTRES *****
120 REM *****
130 CLS:SCREEN 0:COLOR 2,7
140 M=4
150 PI=6.28318307179586#2
160 AL(1)=3 :AL(2)=3 :AL(3)=4 :AL(4)=10
170 T(1)=1/20:T(2)=1/20:T(3)=1/40:T(4)=1/80
180 BT(2)=2*PI*5.5:BT(3)=2*PI*10 :BT(4)=2*PI*17
190 FOR I=1 TO M
200 IF I=1 THEN 250
210 X1=-PI*AL(I)*COS(PI/4) :X2=X1
220 B5= PI*AL(I)*SIN(PI/4)
230 Y1=BT(I)+B5 :Y2=BT(I)-B5
240 GOTO 270
250 X1=-2*PI*AL(1)*COS(3*PI/8):Y1=2*PI*AL(1)*SIN(3*PI/8)
260 X2=-2*PI*AL(1)*COS(PI/8) :Y2=2*PI*AL(1)*SIN(PI/8)
270 A1=EXP(X1*T(I)):B1=COS(Y1*T(I)):C1=SIN(Y1*T(I))
280 A2=EXP(X2*T(I)):B2=COS(Y2*T(I)):C2=SIN(Y2*T(I))
290 'AFFICHAGE DES Z(I)

```



```

290 'AFFICHAGE DES Z(I)
300 R1=A1*B1:I1=A1*C1 :R2=A2*B2:I2=A2*C2
310 IF I1=0 THEN PRINT "Z1( ; I; )=";R1 ; "+j"; I1 :GOTO 330
320 I1=I1*(-1) :PRINT "Z1( ; I; )=";R1 ; "-j"; I1,
330 IF I2=0 THEN PRINT "Z2( ; I; )=";R2 ; "+j"; I2 :GOTO 350
340 I2=I2*(-1) :PRINT "Z2( ; I; )=";R2 ; "-j"; I2
350 PRINT TAB(20)*MOD Z1(" ; I; ")=";A1^2
360 PRINT TAB(22)*MOD Z2(" ; I; ")=";A2^2
370 B1(I)=-2*A1*B1:B2(I)=A1^2:B3(I)=-2*A2*B2:B4(I)=A2^2
380 '*****CALCUL DES COEFFICIENTS DE LA FONCTION DE TRANSFERT *****
390 IF I=1 THEN B0(I)=(1+B1(I)+B2(I))*(1+B3(I)+B4(I)):GOTO 460
400 L1=1+B1(I)^2+B2(I)^2
410 L2=1+B3(I)^2+B4(I)^2
420 L1=L1+2*(B1(I)*(B2(I)+1)*COS(BT(I)*T(I))+B2(I)*COS(BT(I)*2*T(I)))
430 L2=L2+2*(B3(I)*(B4(I)+1)*COS(BT(I)*T(I))+B4(I)*COS(BT(I)*2*T(I)))
440 L3=2*(1-COS(2*BT(I)*T(I)))
450 B0(I)=((ABS(L1*L2/L3))^5)
460 PRINT "B0( ; I; )=";B0(I)
470 NEXT I
480 CLS:SCREEN 3
490 LINE(60,60)-(600,310),,B:LINE(59,59)-(601,311),,B
500 VIEW(60,60)-(600,292)
510 XMAX=.5
520 YMAX=2
530 GOSUB 680
540 FOR I=1 TO M
550 XX=T(I)/T(4)
560 FOR X=0 TO .5 STEP .005
570 L1=1+B1(I)^2+B2(I)^2+2*(B1(I)*(B2(I)+1)*COS(2*PI*X)+B2(I)*COS(4*PI*X))
580 L2=1+B3(I)^2+B4(I)^2+2*(B3(I)*(B4(I)+1)*COS(2*PI*X)+B4(I)*COS(4*PI*X))
590 IF I=1 THEN L3=1:GOTO 610
600 L3=2*(1-COS(4*X*PI))
610 H=B0(I)*(L3/(L1*L2))^5:PSET(X/XX,H):GOTO 650
620 IF X=0 THEN 640
630 LINE(X0,H0)-(X/XX,H)
640 X0=X/XX:H0=H
650 NEXT X
660 NEXT I
670 END
680 WINDOW(-XMAX/20,-YMAX/20)-(XMAX,YMAX)
690 FOR U=0 TO XMAX*3/4 STEP XMAX/4
700 LINE(U,YMAX/90)-(U,-YMAX/40)
710 FOR GF=U TO U+XMAX/4 STEP XMAX/40
720 LINE(GF,0)-(GF,-YMAX/70)
730 NEXT GF
740 NEXT U
750 LINE(-.01,0)-(XMAX,0) :LINE(0,0)-(0,YMAX)
760 LINE(XMAX,0)-(XMAX*.98,YMAX/50):LINE(XMAX,0)-(XMAX*.98,-YMAX/50)
770 LINE(0,YMAX)-(XMAX/80,YMAX*.97) :LINE(0,YMAX)-(-XMAX/80,YMAX*.97)
780 LINE(-XMAX/90,1)-(0,1):LINE(-XMAX/90,.7071068)-(0,.7071068)
790 LOCATE 11,9:PRINT "1" :LOCATE 19,10:PRINT "0"
800 LOCATE 19,42:PRINT "20Hz":LOCATE 19,25:PRINT "10Hz"
810 LOCATE 5,13:PRINT "H(f)":LOCATE 19,70:PRINT "f(Hz)"
820 LOCATE 6,30:PRINT "REponses DES 4 FILTRES RII UTILISES"
830 LOCATE 8,45:PRINT "POUR LA SIMULATION DE L'E.E.G."
840 RETURN

```

PROG 4 : CALCUL DES FILTRES DE L'ANALYSEUR DE SPECTRE

```

40 REM *****
50 SCREEN 0:COLOR 4,7:CLS
60 M=20:W=30
70 M#=STR$(M)
80 DIM BT(M),B1(M),B2(M),B3(M),B4(M),B0(M)
90 T=1/80
100 PI=6.28318307179586#2
110 FOR I=1 TO M
120   IF I=1 THEN 170
130   X1=-PI*W*COS(PI/4)/M :X2=X1
140   BT(I)=2*PI*W*(I-.5)/M :B5=PI*W*SIN(PI/4)/M
150   Y1=BT(I)+B5 :Y2=BT(I)-B5
160 GOTO 190
170   X1=-2*PI*W*COS(3*PI/8)/M :Y1=2*PI*W*SIN(3*PI/8)/M
180   X2=-2*PI*W*COS(PI/8)/M :Y2=2*PI*W*SIN(PI/8)/M
190   A1=EXP(X1*T):B1=COS(Y1*T):C1=SIN(Y1*T)
200   A2=EXP(X2*T):B2=COS(Y2*T):C2=SIN(Y2*T)
210 'AFFICHAGE DES Z(I)
220   R1=A1*B1:I1=A1*C1 :R2=A2*B2:I2=A2*C2
230 IF I1>0 THEN PRINT "Z1( ";I;" )=";R1 ;"+j";I1 :GOTO 250
240 I1=I1*(-1) :PRINT "Z1( ";I;" )=";R1 ;"-j";I1,
250 IF I2>0 THEN PRINT "Z2( ";I;" )=";R2 ;"+j";I2 :GOTO 270
260 I2=I2*(-1) :PRINT "Z2( ";I;" )=";R2 ;"-j";I2
270 B1(I)=-2*A1*B1:B2(I)=A1^2:B3(I)=-2*A2*B2:B4(I)=A2^2
280 REM *****CALCUL DES COEFFICIENTS DE LA FONCTION DE TRANSFERT *****
290 IF I=1 THEN B0(I)=(1+B1(I)+B2(I))*(1+B3(I)+B4(I)):GOTO 380
300 L1=1+B1(I)^2+B2(I)^2
310 L2=1+B3(I)^2+B4(I)^2
320 L1=L1+2*(B1(I)*(B2(I)+1)*COS(BT(I)*T)+B2(I)*COS(BT(I)*2*T))
330 L2=L2+2*(B3(I)*(B4(I)+1)*COS(BT(I)*T)+B4(I)*COS(BT(I)*2*T))
340 L3=2*(1-COS(2*BT(I)*T))
350 B0(I)=((ABS(L1*L2/L3))^-.5)
360 PRINT TAB(20)"MOD Z1( ";I;" )=";A1^2
370 PRINT TAB(22)"MOD Z2( ";I;" )=";A2^2
380 PRINT "B0( ";I;" )=";B0(I):PRINT
390 NEXT I
400 CLS:SCREEN 3
410 LINE(10,50)-(630,308),,B:LINE( 8,48)-(632,310),,B
420 VIEW(10,50)-(630,295)
430 XMAX=.5
440 YMAX=2
450 GOSUB 610
460 FOR I=1 TO M
470 IF I<6 THEN XX=.13 :YX=0:GOTO 490
480 XX=I*1.5/80+.05:YX=I*1.5/80-.05
490 FOR X=YX TO XX STEP XX/100
500 L1=1+B1(I)^2+B2(I)^2+2*(B1(I)*(B2(I)+1)*COS(2*PI*X)+B2(I)*COS(4*PI*X))
510 L2=1+B3(I)^2+B4(I)^2+2*(B3(I)*(B4(I)+1)*COS(2*PI*X)+B4(I)*COS(4*PI*X))
520 IF I=1 THEN L3=1:GOTO 540
530 L3=2*(1-COS(4*X*PI))
540 H=B0(I)*(L3/(L1*L2))^-.5

```



```

550 IF X=YX THEN 570
560 LINE(X0,HO)-(X,H)
570 XO=X:HO=H
580 NEXT X
590 NEXT I
600 LOCATE 22,1:END
610 WINDOW(-XMAX/20,-YMAX/20)-(XMAX,YMAX)
620 FOR U=0 TO XMAX*3/4 STEP XMAX/4
630 LINE(U,YMAX/90)-(U,-YMAX/40)
640 FOR GF=U TO U+XMAX/4 STEP XMAX/40
650 LINE(GF,0)-(GF,-YMAX/70)
660 NEXT GF
670 NEXT U
680 LINE(0,0)-(XMAX,0):LINE(0,0)-(0,YMAX)
690 LINE(XMAX,0)-(XMAX*.98,YMAX/50):LINE(XMAX,0)-(XMAX*.98,-YMAX/50)
700 LINE(0,YMAX)-(XMAX/90,YMAX*.95):LINE(0,YMAX)-(-XMAX/90,YMAX*.95)
710 LINE(-XMAX/90,1)-(0,1):LINE(-XMAX/90,.7071068)-(0,.7071068)
720 LOCATE 11,4:PRINT "1" :LOCATE 13,3 :PRINT ".7"
730 LOCATE 19,73:PRINT "F(Hz)":LOCATE 5,7:PRINT "H(F)"
740 LOCATE 21,5:PRINT USING "REponses DES & FILTRES POUR L'ANALYSE SPECTRALE";H$
750 LOCATE 19,42:PRINT "20Hz":LOCATE 19,23:PRINT "10Hz"
760 RETURN
770 LOCATE 21,5:PRINT USING "REponses DES& FILTRES POUR L'ANALYSE SPECTRALE";H $
780 LOCATE 19,42:PRINT "20Hz":LOCATE 19,23:PRINT "10Hz"
790 RETURN

```

#####

PROG 5 : VERIFICATIONS STATISTIQUES

```

40 NP=512 : 'NP nombres d'échantillons
50 NCLA=23 : 'NCLA nombres de classes
60 PI=3.14
70 G$MAX=0:PR$MAX=0
80 DIM X(NP),PROB(NCLA),GAUSS(NCLA)
90 DIM XMO(L),PMX(L),A(L),PP(L),PH(L)
100 GOSUB 3000
110 '
120 PRINT :INPUT "NOM DU FICHIER";ME$
130 OPEN ME$ FOR INPUT AS 3
140 FOR I=1 TO NP
150 INPUT #3,X(I)
160 X(I)=X(I)
170 XMO=XMO+X(I)
180 NEXT I

```



```

190 'Valeur de la moyenne XM0
200 XM0=XM0/NP :PRINT :PRINT " Moyenne=";XM0
210 ' - - - - CALCUL DE LA VARIANCE - - -
220 VAR=0
230 FOR I=1 TO NP
240     VAR=VAR+(X(I)-XM0)^2
250 NEXT I
260 VAR=VAR/NP           :PRINT "VARIANCE=";VAR
270 ' - - - - Densité de probabilité des N valeurs
280 ECAR=SQR(VAR)
290 XMIN=XM0-2.2*ECAR
300 XMAX=XM0+2.2*ECAR
310 CLAS=(XMAX-XMIN)/(NCLA-2)
320 FOR I=1 TO NCLA
330     PROB(I)=0
340 NEXT I
350 FOR I=1 TO NP
360     IF X(I)<=XMIN THEN 400
370     IF X(I)>XMAX THEN 410
380     J=2+INT((X(I)-XMIN)/CLAS)
390     PROB(J)=PROB(J)+1:GOTO 420
400     PROB(1)=PROB(1)+1:GOTO 420
410     PROB(NCLA)=PROB(NCLA)+1
420 NEXT I
430 FOR I=1 TO NCLA
440     PROB(I)=PROB(I)/NP
450     IF PRMAX<PROB(I) THEN PRMAX=PROB(I)
460     READ GAUSS(I)
470 NEXT I
480 DATA .0139,.00937,.01416,.02062,.02852,.03805,.04828,.05881
490 DATA .0685,.07646,.08163,.08340,.08163,.07646,.0685,.05910
500 DATA .04801,.038,.02855,.02062,.01416,.00897,.01390
510 ' - - - comparaisons des deux densités par test de  $\chi^2$ 
520 KI=0
530 FOR I=1 TO NCLA
540     KI=(PROB(I)-GAUSS(I))^2/GAUSS(I)+KI
550 NEXT I
560 KI=INT(NP*KI)
570 ' TRACE DES COURBES
580 CLS:SCREEN 3
590 GOSUB 2000
600 REM #####
610 REM ****Stationnarite de la moyenne ****
620 REM ***** et de la variance *****
630 REM #####
640 'L=32  Nombres de segments
650 STU= 1.86  :'"Valeur de Student 't(lib,alpha/2'
660 QIG=15.507 :'"Valeur du khi-deux(lib,1-alpha/2)
670 QIF= 2.733 :'"Valeur du khi-deux(lib,alpha/2)
680 NOL=NP/L:LIB=NOL-1
690 FOR I=1 TO L
700     VM0=0:PMV=0
710     D=(I-1)*NOL+1 :F=I*NOL
720     FOR J=D TO F
730         VM0=VM0+X(J)

```

```

740          PMV=(X(J)-VMO)^2+PMV
750  NEXT J
760  VMO=VMO/NOL:PMV=PMV/NOL
770  XMO(I)=VMO:IF VMX<ABS(VMO) THEN VMX=ABS(VMO)
780  PMX(I)=PMV:IF PMAX<ABS(PMV) THEN PMAX=ABS(PMV)
790  NEXT I
800  AX=0:PX=0:P1X=0
810  FOR I=1 TO L
820  A(I)=STU*SQR(PMX(I)/LIB):IF AX<A(I) THEN AX=A(I)
830  PP(I)=PMX(I)*LIB/QIF :IF PX<PP(I) THEN PX=PP(I)
840  PM(I)=PMX(I)*LIB/QIG
850  NEXT I
860  CLS
870  GOSUB 2190
880  LOCATE 21,10:PRINT " KI²=";KI"    MMX="VMX,"    σ²="PMAX
890  REM #####
900  REM *** Vérification du caractère *****
910  REM **** aléatoire du signal *****
920  REM #####
930  NT=INT(NP/100):LOCATE 14,65:PRINT " I  JRUN TREND"
940  FOR I=1 TO NT
950  VM=0:JRUN=0:TREND=0
960  D=(I-1)*100+1
970  F=100*I :JRUP=0
980  FOR J=D TO F
990  VM=VM+X(J)
1000  NEXT J
1010  Vm=VM/100
1020  D1=D+1
1030  FOR J=D1 TO F
1040  IF X(J)=VM AND X(J-1)<=VM THEN 1060
1050  IF X(J)<=VM AND X(J-1)=VM THEN 1060 ELSE 1070
1060  JRUN=JRUN+1
1070  NEXT J
1080  F1=F-1
1090  FOR J=D TO F1
1100  J1=J+1
1110  FOR K=J1 TO F
1120  IF X(J)<X(K) THEN 1140
1130  TREND=TREND+1
1140  NEXT K
1150  NEXT J
1160  LOCATE 14+I,65:PRINT I JRUN TREND
1170  NEXT I
1180  END

```

```

2000 '***** Tracé graphique *****
2010 CLS
2020 VIEW(20,20)-(500,100),,1
2030 WINDOW(-1,-10)-(NP*1.1,10)
2040 FOR I=1 TO NP
2050  IF I=1 THEN 2070
2060  LINE(I0,X0)-(I,X(I))
2070  I0=I:X0=X(I)
2080  NEXT I
2090  VIEW(20,110)-(500,300),,1

```

```

2100 WINDOW(0, -.5*PRMAX)-(NCLA*1.1, 1.2*PRMAX)
2110 FOR I=1 TO NCLA
2120 IF I=1 THEN 2160
2130 LINE (I,PROB(I))-(I0,POR)
2140 LINE (I,GAUSS(I))-(I0,GOS)
2150 PSET(I,0)
2160 I0=I:POR=PROB(I):GOS=GAUSS(I)
2170 NEXT I
2180 RETURN
2190 VIEW (20 ,110)-(500,205) , ,1
2200 WINDOW(0,VMX-AX)-(L+1,VMX+AX)
2210 FOR I=1 TO L
2220 IF I=1 THEN 2240
2230 LINE(I0,F0)-(I,XM0(I))
2240 I0=I:F0=XM0(I):PSET(I,0)
2250 LINE(I,XM0(I)+A(I))-(I,XM0(I))
2260 LINE(I,XM0(I)-A(I))-(I,XM0(I))
2270 NEXT I
2280 VIEW(20 ,206)-(500,300) , ,1
2290 WINDOW(0, 0 )-(L+1,PX)
2300 FOR I=1 TO L
2310 IF I=1 THEN 2330
2320 LINE(I0,F0)-(I,PMX(I))
2330 I0=I:F0=PMX(I) :PSET(I,0)
2340 LINE(I,PP(I))-(I,PMX(I))
2350 LINE(I,PM(I))-(I,PMX(I))
2360 NEXT I
2370 RETURN
3000 SCREEN 0:SCREEN 1 :COLOR 4, 6
3010 PRINT "CE PROGRAMME VERIFIE LES PROPRIETES"
3020 PRINT " STATISTIQUES DU : "
3030 PRINT :PRINT:KEY OFF
3040 PRINT :PRINT " SIGNAL EEG SIMULE"
3050 FOR I=1 TO 1000:NEXT I
3060 SCREEN 3
3070 RETURN

```


REFERENCES:

- [1] - S.V. NARASIMHAN & D. NARAYANA , "Software simulation of the E.E.G",
2 J. Biomed.En, 1985 October n° 275
- [2] - P. HAZEMANN & M. MASSON, ABC d'électro-encéphalographie, MASSON 1979
- [3] - L.A. GEDDES & L.E. BAKER, Principles of applied biomedical instrumentation, Second edition, WILEY-INTERSCIENCE, 1975
- [4] - M. LABARERRE & J.P. KRIEF & B. GIMONET, Le filtrage et ses applications, Cepadues 1982
- [5] - M. KUNT , Traitement numérique du signal, MASSON 1981
- [6] - M. BELLANGER, Traitement numérique du signal, MASSON 1983
- [7] - J. MAX , Méthodes et techniques de traitement du signal et ses applications aux mesures physiques, Tome I et II, MASSON 1981
- [8] - V. CAPPELLINI & A.G. Constantinides, Filters and their application,
- [9] - D. CHILBERS & A. DURLING, Digital filtering and signal processing, WEST PUBLISHING COMPANY 1975
- [10] - M. GAULTIER, Analyse, probabilité et méthode statistique, Tome 2 VUIBERT Université 1984
- [11] - R. PELLET, Test et contrôle statistique, Entreprise moderne d'édition 1966
- [12] - J. ROVEGNO, Traitement automatique de l'électro-encéphalogramme, Thèse de Docteur-ingénieur, Provence, 1972
- [13] - F. SOLTANI & T. NACER, Traitement de données numériques de l'E.E.G, Projet fin d'étude ENP Juin 1985
- [14] - R. LAVOIE, Statistique appliquée auto apprentissage par objectifs, Presses de l'Université du Québec, 1983
- [15] - J. RAFFEGEAU & F. DUBOIS, Audit méthodes statistiques, Presse Universitaire de France, col Que sait-je?, 1984
- [16] - D. AIT BOUDAUD & A. AGGOUN, Etude comparative des méthodes de traitement numérique de l'E.E.G, Projet fin d'étude Juin 1986
- [17] - N. BENIDDIR & K. DJEZZAR, Simulation d'une analyse spectrale numérique d'E.E.G, Projet fin d'étude, Janvier 1985
- [18] - H. AOUIZERAT & F. KERROUCHE, Etude de la sensibilité structurelle de filtres numériques RII & RIF "POUR E.E.G", Projet fin d'étude Juin 1986