

6/83

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE <sup>1ex.</sup>

HOUARI BOUMEDIENNE

- ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER -

- 00000 -

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية  
المكننة  
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

# PROJET DE FIN D'ETUDES

INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRONIQUE

**Sujet** : Conception et réalisation d'un dispositif de mesure des caractéristiques des signaux aléatoires

Dirigé par :

BERKANI Daoud

Etudié et réalisé par :

AKKOUCHE Azze-eddine

ALIANE Ahcène

Promotion 83

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

HOUARI BOUMEDIENNE

- ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER -

- o o O o o -

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRONIQUE

**Sujet** : Conception et réalisation d'un dispositif de mesure des caractéristiques des signaux aléatoires

Dirigé par :

BERKANI Daoud

Etudié et réalisé par :

AKKOUCHE Azze-eddine

ALIANE Ahcène

-----ooo0ooo-----

/T-) La mémoire de ma grand-mère,

/T-) La mémoire de mon père,

/T-) Ma mère,

/T-) Mes soeurs et frères,

/T-) Toute ma famille,

/T-) Tous mes amis.

/T-) zze-eddine

-----ooo0ooo-----

-----ooo0ooo-----

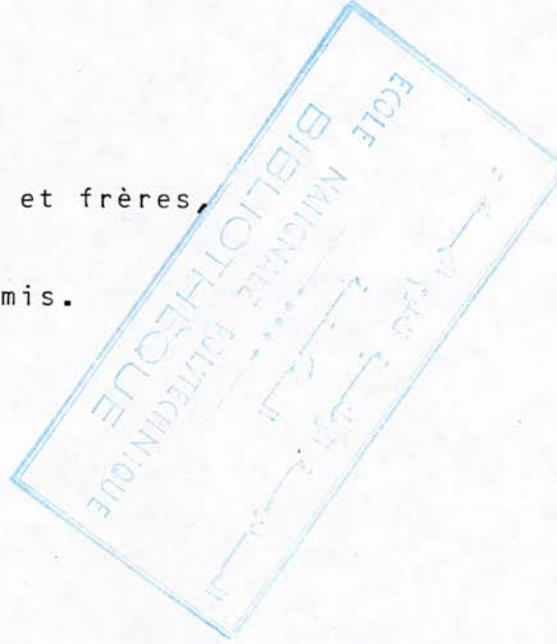
/7-) Mon père,

/7-) Ma mère,

/7-) Mon oncle,

/7-) Mes soeurs et frères,

/7-) Tous mes amis.



/7-)hcène  
-----

-----ooo0ooo-----

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

-----ooo0ooo-----

↳ Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Monsieur BERKANI pour l'aide matérielle et morale dont il nous a fait bénéficier durant l'élaboration de ce travail ainsi que pour ses judicieux conseils.

Nos remerciements vont également à Messieurs EDDAIKRA et GAOUA pour leur aide.

Que toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin dans notre travail et que tous les professeurs qui ont contribué à notre formation trouvent ici notre profonde reconnaissance.

-----ooo0ooo-----

- S O M M A I R E -

---ooo0ooo---

INTRODUCTION

CHAPITRE I : NOTIONS FONDAMENTALES DES PROBABILITES

- 1.1. Probabilité d'un évènements aléatoire.
  - 1.1.1. Classification des évènements.
  - 1.1.2. Règles d'addition des probabilités des évènements incompatibles.
  - 1.1.3. Règles de multiplication des probabilités.
- 1.2. Répartition continue.
- 1.3. Rappel sur la théorie des fonctions aléatoires.

CHAPITRE II : PROCESSUS ALEATOIRES

- 2.1. Notion de processus aléatoire.
  - 2.1.1. Fonction de répartition.
- 2.2. Moyennes temporelles et statistiques.
  - 2.2.1. Moyennes statistiques (moyennes d'ensemble).
  - 2.2.2. Moyennes temporelles.
- 2.3. Classification de processus aléatoire.
- 2.4. Processus aléatoire stationnaire.
- 2.5. Processus ergodique.
- 2.6. Processus aléatoire pur.
- 2.7. Processus quasi-stationnaire et non stationnaire.

- 2.7.1. Processus quasi-stationnaire.
- 2.7.2. Processus non-stationnaire.
- 2.8. Mesures des caractéristiques probabilistes des processus non-stationnaires.
- 2.8.1. Dépassement des processus aléatoires.
- 2.8.2. Durée moyenne des dépassements et des intervalles les séparant.

CHAPITRE III : DETERMINATION EXPERIMENTALE DE LA DENSITE  
DE PROBABILITE ET DE LA FONCTION DE REPAR-  
TITION D'UN SIGNAL ALEATOIRE.

- 3.1. Schéma synoptique.
- 3.2. Principe de fonctionnement.
- 3.3. Analyse du schéma électronique.
- 3.3.1. Ampli répartiteur.
- 3.3.2. Circuit de comparaison.
- 3.3.3. Trigger de schmitt.
- 3.3.4. Circuit d'addition ou sommateur.
- 3.3.5. Circuit soustracteur.
- 3.3.6. Intégrateur.
- 3.4. Mesures.

CONCLUSION.

CHAPITRE IV : ANALYSE DES EXTREMUMS.

- 4.1. Schéma synoptique.
- 4.2. Principe de fonctionnement.
- 4.3. Le fonctionnement électronique.
  - 4.3.1. Etude du générateur d'impulsions SN 74121 N.
  - 4.3.2. Circuit d'horloge.
  - 4.3.3. Etude du système de blocage.
  - 4.3.4. Le comptage.
  - 4.3.5. Le décodage.
  - 4.3.6. Les afficheurs 7 segments.
- 4.4. Mesures.

CONCLUSION.

CHAPITRE V : REALISATION D'1 INSTRUMENT DE MESURE  
DES MOYENNES TEMPORELLES D'UN SIGNAL  
ALEATOIRE.

- 5.1. Schéma synoptique.
- 5.2. Principe de fonctionnement
- 5.3. Analyse du schéma électronique.
- 5.4. Mesures.

CONCLUSION.

CONCLUSION GENERALE.

---ooo0ooo---

INTRODUCTION :

La plupart des signaux rencontrés en pratique possèdent plus ou moins un caractère aléatoire, plus encore, il n'y a pas de processus réel qui pourrait être mis sous forme analytique d'une façon exacte.

Le traitement du signal nécessite une étape d'analyse qui fait appel d'une part à l'appareil mathématique de la théorie des probabilités et des processus aléatoires, et d'autre part à la statistique mathématique et la théorie des probabilités et des processus aléatoires, et d'autre part à la statistique mathématique et la théorie des décisions.

La théorie des probabilités et la théorie des processus aléatoires sont l'instrument mathématique de base permettant d'analyser les signaux accompagnés de bruits à la traversée des dispositifs radio techniques, pour des modèles probabilités donnés des signaux et des bruits.

L'étape d'analyse nécessite la connaissance des caractéristiques probabilistes des signaux aléatoires. Nous proposons dans le cadre de ce travail un instrument d'estimation de certaines de ces caractéristiques tels que :

- la fonction de répartition (unidimensionnelle)
- la densité de probabilité (.....)
- Les moments d'ordre 1 et 2.

Ceci va être traité dans les chapitres 3 et 5.

Les caractéristiques probabilistes que nous avons citées, ainsi que les moments 1 et 2 ne peuvent bien décrire le signal aléatoire que dans le cas où il est stationnaire. Dans notre cas il est nécessaire de trouver d'autres caractéristiques spécifiques aux signaux non stationnaires. Pour cette raison nous avons mis au point un montage mesurant certaines de ces caractéristiques tels que :

- durée des dépassements pour un niveau X
- " de l'intervalle entre 2 dépassements.
- moyenne de la durée des dépassements et des intervalles les séparant.

Ce dispositif aura également pour avantage de tracer point par point la densité de probabilité et la fonction de répartition.

On traitera ceci dans le chapitre 4.

Nous présenterons dans les cahpitre 1 et 2 la théorie des probabilités et des signaux aléatoires nécessaire à la compréhension de notre travail.

Nous présenterons en fin en annexe le mise au point et le principe d'utilisation de dispositif nécessaire à une bonne (gestion - utilisation) de l'appareil.

## CHAPITRE I - NOTIONS FONDAMENTALES DES PROBABILITES :

### 1.1. Probabilité d'un évènement aléatoire :

Dans les recherches scientifiques, les applications techniques et industrielles, il est souvent difficile de prévoir les résultats des expériences, des épreuves ou de certaines opérations qui se répètent de nombreuses fois dans des conditions identiques. L'abandon de la description exacte est dû non pas tellement à ce que le phénomène étudié est très compliqué mais surtout à l'ignorance de toutes les causes ayant provoqué son apparition ou à l'impossibilité de donner le nombre nécessaire de conditions initiales.

La théorie des probabilités vise à rechercher les lois régissant les évènements aléatoires et les méthodes de leur description quantitative.

L'étude des longues séries de résultats d'expériences fait apparaître la loi suivante :

Les résultats des expériences isolées peuvent différer les unes des autres, mais les valeurs moyennes des séries d'expériences sont à peu près les mêmes, c'est-à-dire manifestent une certaine stabilité.

Cette loi statistique observée, la stabilité des résultats moyens, est une manifestation de la loi de probabilité régissant tout évènement aléatoire.

### 1.1.1. Classification des évènements :

Deux évènements sont dits incompatibles s'ils ne peuvent coexister pour un ensemble donné de conditions. Si l'on sait avec certitude qu'au cours d'une expérience aléatoire il se produit l'un des évènements incompatibles  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , l'ensemble de ces  $n$  évènements est alors appelé groupe complet.

Deux évènements sont contraires s'ils forment un groupe complet.

L'évènement contraire de  $A$  est noté :  $\bar{A}$  d'où :

$$\text{Si } P(\bar{A}) = P \quad P(A) = 1 - P.$$

- Si la probabilité de l'évènement  $A$  dépend de la réalisation d'un autre évènement  $B$ , on dit que ces deux évènements sont indépendants.
- Deux évènements sont dits indépendants si la probabilité de l'un d'eux ne dépend pas de celle de l'autre.
- Deux évènements sont dits équiprobables s'ils ont la même chance de réalisation.

### 1.1.2. Règles d'addition des probabilités des évènements incompatibles :

Si  $A_1, A_2, \dots, A_n$  sont des évènements incompatibles, la probabilité de la réalisation de l'un des évènements  $A_1$ , ou  $A_2$ , ou .... An est égale à la somme des probabilités de ces évènements.

$$P (A_1 \text{ ou } A_2 \dots \dots \dots A_n) = \sum_{K=1}^n P (A_K)$$

Si les évènements  $A_1, A_2, \dots, A_n$  forment un groupe complet alors :

$$P (A_1 \text{ ou } A_2 \dots \dots \dots \text{ ou } A_n) = 1$$

### 1.1.3. Règles de multiplication des probabilités :

La probabilité de la réalisation de 2 évènements aléatoire A et B dépendants est égale au produit de la probabilité de l'un d'entre eux par la probabilité conditionnelle de l'autre, calculée en supposant que le premier des évènements a eu lieu :

$$P (A \text{ et } B) = P (A) \cdot P_A (B) = P (B) P_B (A).$$

Cette formule recèle deux types de probabilité : - la probabilité marginale (inconditionnée) de l'évènement A (B) calculée en négligeant réalisation ou la non réalisation de B (A) qui en dépend, - la probabilité conditionnelle de l'évènement B (A) calculée en supposant que l'évènement A (B) a eu lieu. C'est pour cette raison que les probabilités marginales  $P (A)$  et  $P (B)$  sont appelées probabilités à priori, et les probabilités conditionnelles  $P_A (B)$  et  $P_B (A)$  probabilités à postériori.

$$P_A (B) = \frac{P (A \text{ et } B)}{P(A)}$$

$$P_B (A) = \frac{P (A \text{ et } B)}{P(B)}$$

En divisant les équations on obtient :

$$\frac{P_A(B)}{P_B(A)} = \frac{P(B)}{P(A)} \quad \text{d'où} \quad P_A(B) = \frac{P(B) \cdot P_B(A)}{P(A)}$$

dans le cas où A et B sont indépendants :

$$\text{on a : } P_A(B) = P(B) \text{ et } P_B(A) = P(A)$$

Pour des évènements indépendants la règle de multiplication s'exprime donc par la formule suivante :

$$P(A \text{ et } B) = P(A) \cdot P(B) \quad (x)$$

En vertu de (x) pour 2 évènements dépendants A et B la différence  $P(A \text{ et } B) - P(A) \cdot P(B)$  n'est pas nulle, il est donc naturel de choisir pour mesure quantitative de la dépendance entre ces deux évènements une grandeur proportionnelle à cette différence. Cette grandeur, appelée coefficient de corrélation entre les évènements A et B, est définie par la formule :

$$R_{AB} = \frac{P(A \text{ et } B) - P(A) \cdot P(B)}{\sqrt{P(A) \cdot P(\bar{A}) \cdot P(B) \cdot P(\bar{B})}}$$

## 1.2. Répartition continue :

On définit la fonction de répartition par  $F(X) = \text{Prob.}(X(t) \leq X)$  ce qui est équivalent à :

$$F(X) = \int_{-\infty}^X P(X) dx \quad \text{avec} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} P(X) dx = 1$$

On définit aussi la densité de probabilité par :

$$W(x) = \text{Prob}(x \leq X(t) \leq x + dx)$$

$$W(x) = P(x) dx$$

il conviendrait dès à présent de signaler qu'un théorème, le théorème de la limite centrale, montre qu'un très grand nombre de fonctions aléatoires est une densité de probabilité qui suit une loi dite de Gauss ou de la place Gauss. Une variable aléatoire est dite Gaussienne si sa densité de probabilité est de la forme :

$$P(X) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \exp \left[ -\frac{(X-m)^2}{2\sigma^2} \right]$$

### 1.3. Rappel sur la théorie des fonctions aléatoires :

Si au lieu d'associer au résultat d'une épreuve un nombre  $X$ , on lui adjoint une fonction dépendant d'un paramètre  $t$  (temps par exemple dans le cas d'un processus). On définit une fonction aléatoire  $\chi(E, t)$  de paramètre  $t$ , définie sur la catégorie d'épreuves :  $E_1, E_2, \dots$ . En connaître les propriétés statistiques de la fonction aléatoire  $\chi(E, t)$ . C'est connaître la fonction de répartition multidimensionnelle.

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n, t_1, t_2, \dots, t_n) = P(\chi(t_1) \leq X_1, \dots, \chi(t_n) \leq X_n)$$

Cette connaissance est équivalente à celle de l'ensemble des moments :

$\overline{\chi(t)}$  : valeur moyenne

$\overline{\chi(t_1) \cdot \chi(t_2)}$  :  $\Gamma(t_1, t_2)$  : covariance

$\overline{\chi(t_1) \cdot \chi(t_2) \cdot \dots \cdot \chi(t_n)}$  : moment d'ordre  $n$

## CHAPITRE II - PROCESSUS ALEATOIRES

Ce chapitre est consacré à l'étude des propriétés statistiques des signaux. L'importance de cette étude résulte du fait que, seuls, les signaux entièrement ou partiellement imprévisibles contiennent de l'information.

### 2.1. Notion de processus aléatoire :

Le cours des processus déterministes est défini d'une manière univoque, au contraire, celui des processus aléatoires représente les variations d'état d'un système physique impossible de prévoir.

On peut citer à titre d'exemple de processus aléatoire les fluctuations (effet de grenaille et effet thermique) des dispositifs radiothéoriques. L'étude de la tension de bruit à la sortie d'appareils identiques montre que les fonctions décrivant les variations de cette tension dans le temps sont différentes.

La théorie des processus aléatoires a pour but de rechercher les lois probabilistes reliant ces différentes fonctions décrivant un même effet physique (bruit de fond, par exemple).

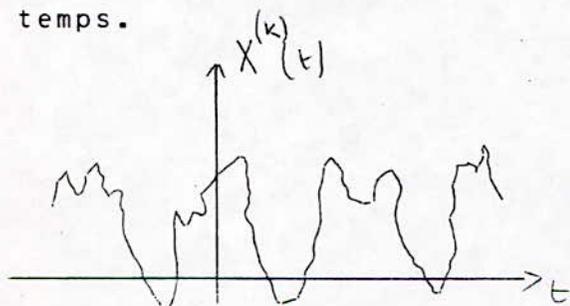
Quantitativement un processus aléatoire est décrit par une fonction aléatoire du temps  $\chi(t)$  qui à tout instant  $t$  peut prendre différentes valeurs suivant une certaine distribution. Ainsi pour tout  $t = t_i$  la valeur  $\chi_i = \chi(t_i)$  est une variable aléatoire.

Tout processus aléatoire (fonction aléatoire du temps) est donné par un ensemble de fonctions du temps et les lois caractérisant les propriétés de cet ensemble. Toute fonction de cet ensemble est appelée réalisation de la fonction aléatoire. On désigne par  $\chi^{(k)}(t)$ , où  $k$  est un nombre réel quelconque, une réalisation de la fonction aléatoire  $\chi(t)$ . Un processus déterministe à une réalisation unique décrite par une fonction donnée du temps.

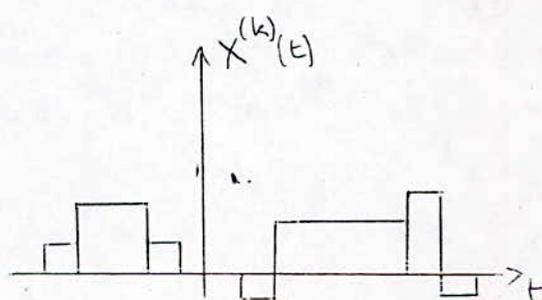
Suivant que les valeurs possibles du temps  $t$  et de la réalisation  $\chi(t)$  appartiennent à un ensemble discret ou à un segment de l'axe réel (ou peut-être de l'axe entier), on distingue quatre types de processus aléatoires.

- 1/ Les processus aléatoires de type général :  $t$  et  $\chi(t)$  peuvent prendre toutes les valeurs possibles sur un segment de l'axe réel.
- 2/ Les processus aléatoires discontinus (discrets) :  $t$  est continu et les valeurs de  $\chi(t)$  sont discrètes.
- 3/ Les suites aléatoires du type général.
- 4/ Les suites aléatoires discrètes :  $t$  et  $\chi(t)$  sont discrets.

Les réalisations d'un processus aléatoire peuvent être des fonctions continues du temps. On peut, par exemple, utiliser un tel aléatoire pour la description macroscopique du bruit de fond. Les réalisations d'un processus aléatoire discontinu sont des fonctions en escalier du temps.



Réalisation d'un processus aléatoire continu.



Réalisation d'un processus aléatoire discret.

Dans de nombreux de problèmes de radiotechnique on étudie les signaux utiles et le bruit les accompagnant, l'ensemble formant un processus aléatoire. Souvent le signal peut être considéré comme la partie déterministe ou quasi déterministe de ce processus, et le bruit comme une partie purement aléatoire. Cependant dans la théorie moderne des communications (théorie de l'information) les signaux sont considérés non pas comme des fonctions données du temps, mais comme un ensemble de fonctions possibles du temps ayant certaines caractéristiques probabilistes. On peut envisager des cas où les bruits (ou leur simulation) deviennent une partie déterministe du processus. Pour caractériser les propriétés statistiques des signaux aléatoires, il nous faut introduire la notion de probabilité.

### 2.1.1. Fonction de répartition

Passons maintenant à la définition des caractéristiques probabilistes d'un ensemble de réalisations d'un processus aléatoire.

Soient  $N$  réalisations d'une fonction aléatoire. Prenons-en les réalisations dont les valeurs à un instant  $t_1$  sont inférieures à un certain nombre  $x_1$ .

Lorsque  $N$  est grand la proportion  $\frac{n_1(x_1, t_1)}{N}$  des fonctions se trouvant à l'instant  $t_1$  au dessous du niveau  $x_1$  sera statiquement stable, c'est-à-dire que ce sera un nombre à peu près constant. Ce nombre sera appelé probabilité pour la fonction aléatoire  $X(t)$ , pour  $t = t_1$ , de se trouver au dessous du niveau  $x_1$ . Cette probabilité s'écrit  $P \{ X(t_1) \leq x_1 \}$ . Cette probabilité tout comme le nombre  $n_1$  dépend de l'instant choisi, c'est-à-dire que ce sera une fonction de 2 variables  $t_1$  et  $x_1$ .

La fonction  $F_1(x_1, t_1) = P \{ X(t_1) \leq x_1 \}$

est appelée fonction de répartition unidimensionnelle des probabilités du processus aléatoire. Si la fonction de répartition possède une dérivée partielle par rapport à  $x_1$   $\frac{\partial F_1(x_1, t_1)}{\partial x_1} = w_1(x_1, t_1)$

Cette dérivée est appelée densité de probabilité du processus aléatoire. Les fonctions  $F_1(x_1, t_1)$  sont les caractéristiques les plus simples d'un processus aléatoire et ne le représentent qu'à des instants donnés.

Pour caractériser d'une manière plus complète un processus aléatoire il faut connaître la relation existant entre les valeurs probabilistes des fonctions aléatoires pour deux instants arbitraires  $t_1$  et  $t_2$ . Pour cela considérons de nouveau  $N$  réalisations d'une fonction aléatoire et prenons les  $n_2$  réalisations dont la valeur à l'instant  $t_1$  est inférieure à  $x_1$ , et à l'instant  $t_2$  inférieure à  $x_2$ . Comme précédemment pour un  $N$  suffisamment grand la proportion des fonctions

$$\frac{n_2(x_1, t_1, x_2, t_2)}{N}$$

se trouvant pour  $t = t_1$  au dessous de  $x_1$  pour  $t = t_2$  au dessous de  $x_2$  sera statistiquement stable, donc un nombre à peu près constant. Ce nombre est appelé probabilité pour la fonction aléatoire  $(t)$  pour  $t = t_1$  de se trouver au dessous du niveau  $x_1$  et pour  $t_2$  au dessous du niveau  $x_2$ .

Cette probabilité  $p \{ X(t_1) \leq x_1, X(t_2) \leq x_2 \}$  est une fonction de quatre variables  $x_1, x_2, t_1, t_2$ .

$F_2(x_1, x_2, t_1, t_2) = P \{ X(t_1) \leq x_1, X(t_2) \leq x_2 \}$ , et s'appelle fonction de répartition bidimensionnelle du processus aléatoire.

Si la fonction  $F_2(x_1, x_2, t_1, t_2)$  possède une dérivée

$$\frac{\partial F_2(x_1, x_2, t_1, t_2)}{\partial x_1 \partial x_2} = w_2(x_1, x_2, t_1, t_2).$$

Cette dérivée s'appelle densité de probabilité bidimensionnelle.

On peut d'une manière analogue définir la probabilité pour la fonction aléatoire  $X(t)$  à  $n$  instants  $t_1, t_2, \dots, t_n$  de se trouver au dessous des niveaux  $x_1, x_2, \dots, x_n$

$$P \left\{ X(t_1) \leq x_1, X(t_2) \leq x_2, \dots, X(t_n) \leq x_n \right\} = F_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n)$$

Si la fonction  $F_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n)$  possède une dérivée

$$\frac{\partial^n F_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n)}{\partial x_1 \partial x_2 \dots \partial x_n} = w_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n)$$

Celle-ci s'appelle densité de probabilité à  $n$  dimensions du processus aléatoire. La suite des fonctions  $w_1(x_1, t_1), w_2(x_1, x_2, t_1, t_2), \dots, w_n(x_1, \dots, x_n, t_1, \dots, t_n)$

est en quelque sorte une échelle dont chaque marche caractérise de mieux en mieux le processus aléatoire. La suite de fonctions considérées doit avoir toutes les propriétés des densités de probabilités étudiées dans le chapitre précédent. En particulier toutes les densités de probabilités d'ordre inférieur jusqu'au premier, peuvent être obtenues à partir de la densité de probabilité d'ordre  $n$ .

Aussi, les propriétés probabilistes d'un processus aléatoire peuvent être caractérisées par la densité de probabilité à  $n$  dimensions et cela avec autant de précision que  $n$  est grand. Si l'on se limite à

une fonction à  $n$  dimensions, la fonction aléatoire se trouve identique à un ensemble de  $n$  variables aléatoires  $X_i = X(t_i)$   
 $i = 1, 2, \dots, n$  où à 1 vecteur aléatoire  $X (X_1, \dots, X_n)$   
 dans un espace à  $n$  dimensions.

## 2.2. Moyennes temporelles et statistiques :

Les signaux aléatoires ne peuvent être connus en détail. Pour les caractériser, on évalue leur moyennes des différents ordres.

### 2.2.1. Moyennes statistiques (moyennes d'ensemble)

On fait dans ce cas la moyenne, au sens des probabilités, sur l'ensemble des réalisations possibles de  $X(t)$ , en des instants  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n, \dots$  choisis arbitrairement.

Les moyennes statistiques qui présentent le plus grand intérêt pratique sont :

1/ La valeur moyenne ou espérance mathématique (moment du premier ordre),

$$\overline{X(t_1)} = \int_{-\infty}^{+\infty} x_1 \omega_1(x_1, t_1) dx_1$$

2/ La moyenne quadratique (moment initial du deuxième ordre),

$$\overline{X^2(t_1)} = \int_{-\infty}^{+\infty} x_1^2 \omega_1(x_1, t_1) dx_1$$

3/ La fonction d'autocorrélation (moment initial mixte du deuxième ordre),

$$B_{XX}(t_1, t_2) = \overline{X(t_1)X(t_2)} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x_1 x_2 \omega_2(x_1, x_2, t_1, t_2) dx_1 dx_2$$

4/ La fonction de corrélation mutuelle (moment initial mixte du deuxième ordre),

$$B_{XY}(t_1, t_2) = \overline{X(t_1)Y(t_2)} = \int_{-\infty}^{+\infty} x_1 y_2 \omega_2(x_1, y_2, t_1, t_2) dx_1 dy_2$$

5/ La variance ou dispersion (moment centré du second ordre),

a) La fonction d'autocovariance :

$$K_{XX}(t_1, t_2) = M_{12} \left\{ X(t_1), X(t_2) \right\} = \overline{[X(t_1) - \overline{X(t_1)}][X(t_2) - \overline{X(t_2)}]}$$

b) La fonction de covariance mutuelle :

$$K_{XY}(t_1, t_2) = M_{12} \left\{ X(t_1), Y(t_2) \right\} = \overline{[X(t_1) - \overline{X(t_1)}][Y(t_2) - \overline{Y(t_2)}]}$$

### 2.2.2. Moyennes temporelles :

Dans ce cas, parmi l'ensemble des réalisations de  $X(t)$ , on considère une réalisation particulière  $X^{(k)}(t)$  et on fait sa moyenne dans le temps.

Les moyennes temporelles que présentent un intérêt pratique sont :

1/ La valeur moyenne :

$$\langle X^{(k)}(t_0+t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X^{(k)}(t_0+t) dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T X^{(k)}(t_0+t) dt$$

Cette limite est dite limite principale, car l'intervalle de temps  $-T/2$  à  $+T/2$  est étendu ( $T \rightarrow \infty$ ) afin qu'il comprenne entièrement  $X^{(k)}(t)$ . Dans la plupart des cas auxquels nous portons intérêt, cette limite est égale à :

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X^{(k)}(t_0+t) dt$$

ou à :

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} X^{(k)}(t_0+t) dt$$

La valeur moyenne temporelle ne dépend pas de l'origine  $t_0$  du temps. En effet, en faisant la substitution :  $t_0 + t = t'$ , il vient :

$$\langle X^{(k)}(t_0+t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_0 - \frac{T}{2}}^{t_0 + \frac{T}{2}} X^{(k)}(t') dt' = \langle X^{(k)}(t) \rangle$$

qui ne dépend pas de l'origine to.

La valeur moyenne représente la composante continue du signal.

2/ La moyenne quadratique temporelle :

$$\langle [X^{(k)}(t_0+t)]^2 \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} [X^{(k)}(t_0+t)]^2 dt = \langle [X^{(k)}(t)]^2 \rangle$$

La moyenne quadratique temporelle ne dépend pas de l'origine du temps et représente la puissance moyenne du signal (sur une charge unité).

3/ La fonction d'autocorrélation temporelle :

$$R_{XX}^{(k)}(t_1-t_2) = \langle X^{(k)}(t_1+t) \cdot X^{(k)}(t_2+t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} X^{(k)}(t_1+t) \cdot X^{(k)}(t_2+t) dt = R_{XX}^{(k)}(t_2-t_1)$$

qui ne dépend pas de l'origine du temps, mais seulement de l'intervalle de temps  $(t_1 - t_2)$ ,

En effet, en faisant la substitution :  $t = -t_1 + t'$ , il vient :

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_1-T/2}^{t_1+T/2} X^{(k)}(t') X^{(k)}(t_2-t_1+t') dt' = R_{XX}^{(k)}(t_2-t_1)$$

En faisant la substitution :  $t = -t_2 + t'$ , il vient :

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_1-T/2}^{t_1+T/2} X^{(k)}(t') X^{(k)}(t_2-t_1+t') dt' = R_{XX}^{(k)}(t_1-t_2)$$

donc :  $R_{XX}^{(k)}(t_2-t_1) = R_{XX}^{(k)}(t_1-t_2)$

4/ La fonction de corrélation mutuelle dans le temps :

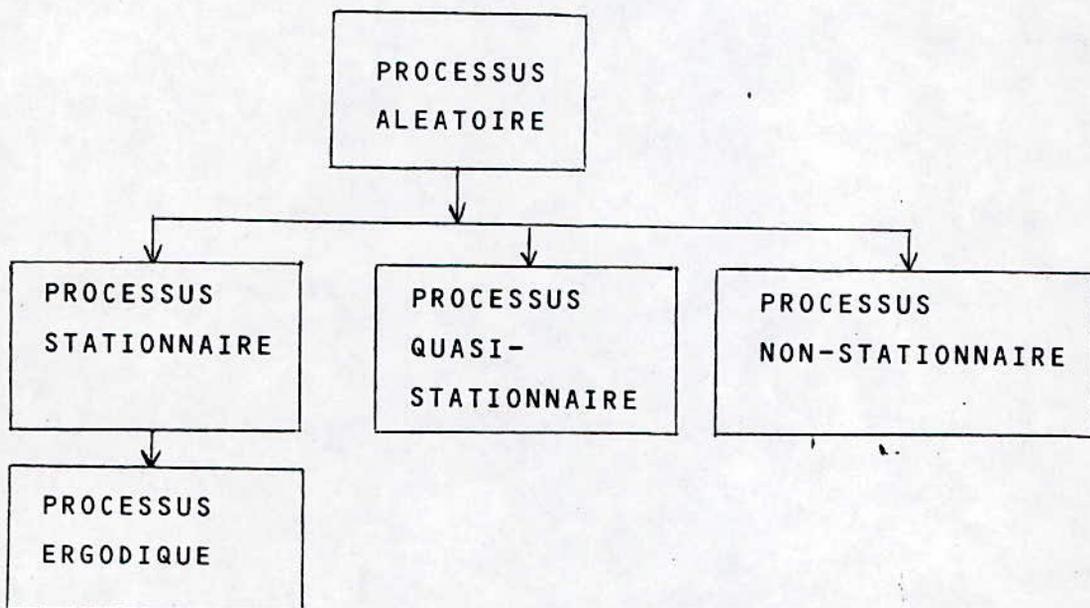
$$R_{xy}^{(k)}(t_1 - t_2) = \langle X^{(k)}(t_1 + t) Y^{(k)}(t_2 + t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X^{(k)}(t_1 + t) Y^{(k)}(t_2 + t) dt = R_{xy}^{(k)}(t_2 - t_1)$$

On voit donc bien que la fonction de corrélation ne dépend que de l'intervalle de temps  $\tau = (t_2 - t_1)$ .

### 2.3. Classification de processus àléatoire :

Les processus aléatoire qu'on rencontre dans le monde environant peuvent être classés actuellement en 3 types de processus :

- processus stationnaire
- processus quasi-stationnaire
- processus non-stationnaire.



#### 2.4. Processus aléatoire stationnaire :

Le processus aléatoire  $X(t)$  est dit stationnaire (au sens strict) si sa densité de probabilité  $w_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n)$  d'ordre  $n$  ne change pas lorsque l'on déplace tout le groupe de points  $t_1, t_2, \dots, t_n$  le long de l'axe du temps, c'est-à-dire si pour des  $n$  et  $\tau$  quelconques on a :

$$w_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n) = w_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1 + \tau, t_2 + \tau, \dots, t_n + \tau)$$

Conformément à la définition ci-dessus on note les propriétés suivantes d'un processus stationnaire :

- a) Sa densité de probabilité unidimensionnelle est la même à tout instant, c'est à dire qu'elle ne dépend pas du temps.

$$w_1(x, t) = w_1(x, t + \tau) = w_1(x)$$

- b) Sa densité de probabilité bidimensionnelle ne peut dépendre que de la différence  $t_2 - t_1$ .

$$w_2(x_1, x_2, t_1, t_2) = w_2(x_1, x_2, t_2 - t_1)$$

- c) Sa densité de probabilité tridimensionnelle ne peut dépendre que des deux différences  $t_2 - t_1, t_3 - t_1$

$$w_3(x_1, x_2, x_3, t_1, t_2, t_3) = w_3(x_1, x_2, x_3, t_3 - t_1, t_2 - t_1)$$

Il est évident que la densité de probabilité à  $n$  dimensions sera seulement fonction de  $(n - 1)$  paramètres temporels  $t_i - t_1$  ( $i = 2, \dots, n$ ).

Comme les densités de probabilité unidimensionnelles des processus stationnaires ne dépendent pas du temps, les moments de ces processus, en particulier leur moyenne et leur variance, sont des grandeurs constantes indépendantes du temps.

Il est évident que dans les cas exceptionnels (par exemple, pour les processus quasi déterministes) où la distribution unidimensionnelle détermine la distribution d'ordre quelconque, l'invariabilité dans le temps de  $w_1(X)$  suffit à elle seule pour conclure à la stationnarité du processus.

Bien que dans de nombreux cas pratiques on puisse avec assez de précision considérer le processus étudié comme étant stationnaire, il y a un grand nombre de problèmes dont la solution exige l'étude des processus non stationnaires. Un exemple simple de processus non stationnaire est la somme d'un processus aléatoire stationnaire et d'un processus déterministe.

Des oscillations modulées ne sont pas stationnaires au sens probabilistes même si la fréquence porteuse est modulée par un processus aléatoire stationnaire.

#### - Processus stationnaire d'ordre 2 :

##### - Stationarité au sens strict :

Un processus aléatoire est stationnaire au sens strict si toutes les propriétés statistiques sont indépendantes d'un changement de l'origine du temps.

La caractère stationnaire entraîne les particularités suivantes :

$$1/ P(x_1, x_2, t_1, t_2) = P(x_1, x_2, t_1 + \tau, t_2 + \tau)$$

2/ Le moment du 1er ordre est 1 constante indépendante du temps

$$\bar{X}(t) = m_1$$

3/ La covariance  $\Gamma(t_1, t_2)$  ne dépend que de la différence  $t_1 - t_2 = \tau$

Elle s'identifie avec la fonction de corrélation.

$$C(\tau) = \Gamma(t, t - \tau) = \overline{X(t)X(t - \tau)}$$

4/ Le moment ou espérance mathématique ou moyenne d'ensemble obtenue par la considération, à l'instant donné, d'un grand nombre de systèmes identiques égales à la moyenne temporelle obtenue en ne considérant qu'un système unique évoluant dans le temps.

$$\bar{X} = \langle X \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt \right\}$$

$$\text{de même : } C(\tau) = \overline{X(t) \cdot X(t - \tau)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{T} \int_0^T X(t) X(t - \tau) dt \right)$$

#### - Stationnarité au sens large :

Dans beaucoup de cas, on se contente d'étudier les 2 premières moyennes d'une fonction aléatoire. Cette définition, moins restrictive que la précédente est cependant suffisante pour représenter les grandeurs physiques qui nous intéressent. On définit une fonction aléatoire stationnaire d'ordre 2 par l'invariance des seuls moments d'ordre 1 et 2 :

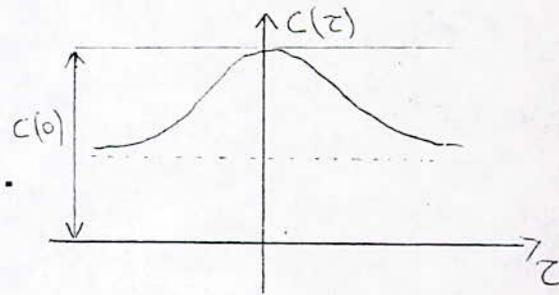
$$E[X(t)] = m \quad \Gamma(t_1, t_2) = C(\tau)$$

Pour un très grand nombre de problèmes pratiques la fonction de corrélation est une caractéristique suffisamment complète de la stationnarité du processus aléatoire. Une branche théorique étudiant les propriétés des processus aléatoires qui sont déterminées par leurs moments du premier ordre et du second ordre a reçu le nom de théorie corrélationnelle. Comme les densités de probabilité multidimensionnelles ne font pas objet de cette théorie, il est naturel de considérer comme stationnaire, dans le cadre de cette théorie, tout processus aléatoire dont la moyenne et la variance sont indépendantes du temps, et la fonction de corrélation ne dépend que de la différence

$\tau = t_2 - t_1$ . Les processus aléatoires satisfaisant à ces conditions sont dits stationnaires au sens large.

Notons que la densité de probabilité bidimensionnelle et surtout la fonction de corrélation ne caractérisent pas le processus aléatoire d'une manière aussi complète que la densité de probabilité multidimensionnelle. De plus, les mêmes fonctions de corrélation peuvent correspondre à des processus différents. En d'autres termes, l'égalité des fonctions de corrélation ne signifie pas que les processus eux-mêmes sont identiques.

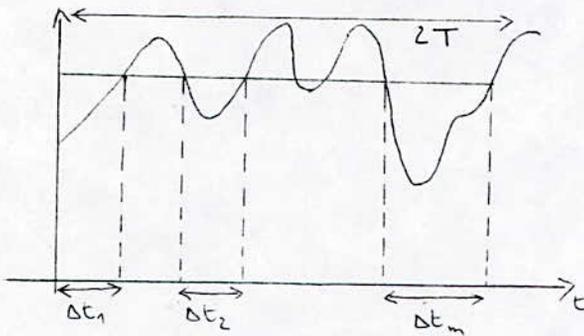
Il y a cependant une exception à cette règle, il existe une classe de processus aléatoires stationnaires appelés processus normaux (ou de la place-gauss), très répandus en radiotechnique et dans bien d'autres applications pour lesquels la fonction de corrélation détermine entièrement les distributions multidimensionnelles. Pour les processus normaux les notions de stationnarité au sens strict et au sens général coïncident.



## 2.5. Processus ergodique :

Un processus aléatoire est dit ergodique si chacune de ses caractéristiques obtenues en prenant la moyenne sur toutes les réalisations possibles est, avec une probabilité tendant vers 1, égale à la moyenne temporelle obtenue en prenant la moyenne sur un intervalle de temps suffisamment grand, ceci pour une réalisation du processus aléatoire. Comme la moyenne d'un processus ergodique peut indifféremment être prise par 2 méthodes, il n'est pas nécessaire d'étudier un grand nombre de réalisations, dont souvent le chercheur ne dispose pas, mais il suffit d'étudier une seule réalisation que l'on observera durant un temps suffisamment long.

Considérons quelques unes des caractéristiques temporelles des réalisations des processus aléatoire. Observons durant un temps  $2T$  assez long une certaine réalisation du processus  $X^{(k)}(t)$ . supposons que durant le temps  $2T$  le temps total où le processus se trouve au dessous d'un niveau de seuil  $X$  soit égal à :



$$Z_T^{(k)} = \sum \Delta t_i = \int_{-T}^{+T} u(x - X^{(k)}(t)) dt$$

$$\text{où : } u(x - X^{(k)}(t)) = \begin{cases} 1, & y \geq 0 \\ 0, & y < 0 \end{cases}$$

La limite  $y^{(k)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{Z_T^{(k)}}{T}$  s'appelle temps relatif où la réalisation  $X^{(k)}(t)$  se trouve dans l'intervalle  $(X_1, X_2)$

La moyenne temporelle de la réalisation est :

$$\langle X^{(k)}(t) \rangle = \lim \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} X(t) dt$$

On peut l'interpréter comme la composante constante de cette réalisation.

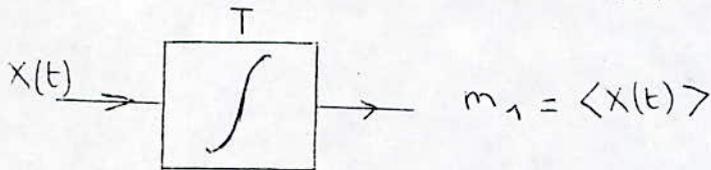
Le carré moyen temporelle est égal à :

$$\langle |X^{(k)}(t)|^2 \rangle = \lim \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} |X^{(k)}(t)|^2 dt$$

- Recherche de la moyenne temporelle d'ordre 1 :

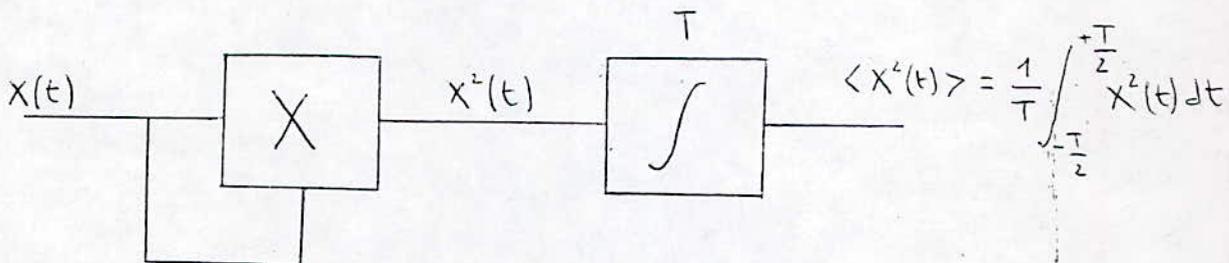
On injecte à l'entrée d'un intégrateur, la grandeur  $X(t)$  et on récupère à sa sortie la moyenne:

$$\langle x(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} X(t) dt$$



- Recherche de la moyenne quadratique ou variante  $\sigma^2$  :

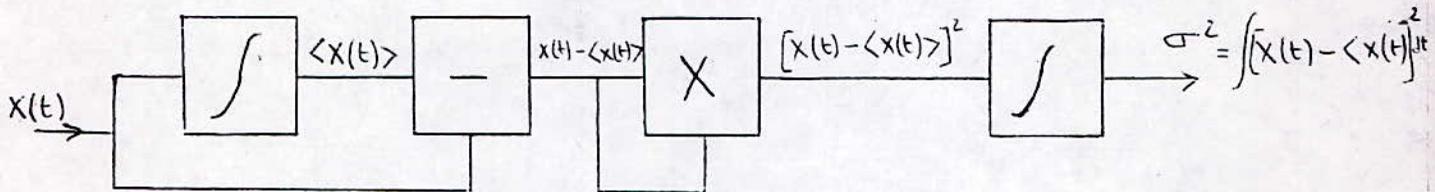
On injecte aux entrées d'un multiplieur, la grandeur  $X(t)$ , Le multiplieur délivre alors la quantité  $(X(t))^2$  qui est intégré par un intégrateur.



- Récherche de la moyenne quadratique centrée (ou variance centrée).

On injecte à l'entrée d'un soustracteur outre la grandeur  $X(t)$ , une autre grandeur  $\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(t) dt = \langle X(t) \rangle$  obtenue à l'aide d'un intégrateur le soustracteur délivre alors la quantité  $X(t) - \langle X(t) \rangle$  qui est appliquée aux entrées d'un multiplieur qui délivre alors :

$$\left[ X(t) - \langle X(t) \rangle \right]^2 \quad \text{qui sera intégrée par un intégrateur :}$$



## 2.6. Processus aléatoire pur :

Un processus aléatoire pur est un processus pour lequel les valeurs successives de  $X$  ne dépendent absolument pas les unes des autres. Dans ce cas, les valeurs du signal, prises à des intervalles aussi petit que l'on veut, sont indépendantes, ce qui peut être écrit sous la forme :

$$W_n(x_n, t_n / x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, t_1, t_2, \dots, t_{n-1}) = W(x_n, t_n)$$

Où

$$W_n(x_n, t_n / x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, t_1, t_2, \dots, t_{n-1})$$

est la probabilité pour que  $X(t)$  prenne une valeur comprise entre  $x_n$  et  $x_n + dx_n$  à l'instant  $t_n$ , alors que  $X$  a pris les valeurs  $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$ , aux instants  $t_1, t_2, \dots, t_{n-1}$ ,  $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_{n-1}$ .

$$\text{Aussi on a : } W_2(x_1, x_2; t_1, t_2) = W_1(x_1, t_1) \cdot W_1(x_2, t_2)$$

$$\text{et pour tout } n : W_n(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n) = \prod_{k=1}^n W_1(x_k, t_k) \quad (1)$$

Dans ce cas, le processus est complètement décrit par sa densité de probabilité du 1er ordre parce que, conformément à la relation (1) on peut obtenir sa densité de probabilité d'ordre  $n$  si l'on connaît la densité de probabilité du 1er ordre.

Les processus continus purs constituent un cas limite qu'on ne rencontre jamais en réalité. Dans les cas physiquement réalisés,  $X(t_1)$  et  $X(t_2)$  sont toujours corrélés si  $t_1$  est très voisin de  $t_2$ . La situation la plus proche du cas idéal est le bruit à large bande, approximation du bruit blanc (bruit à spectre uniforme).

## 2.7. Processus quasi-stationnaire et non stationnaire

### 2.7.1. Processus quasi-stationnaire :

Ce qui précède concerne essentiellement la description des bruits physiques. Il arrive souvent dans la technique que des signaux soient obtenus à partir d'une fonction de durée  $T$ , dépendant d'un paramètre aléatoire qui fait l'objet de tirages toutes les  $T$  secondes, et reste constant dans leur intervalle par exemple, une forme de modulation en amplitude consiste à maintenir constante pendant toute la période  $T$  l'amplitude du signal, cette amplitude étant tirés au hasard, avec une certaine loi de probabilité, au début de chaque période, indépendamment de l'amplitude prise pendant la période précédente.

Il convient de signaler qu'une multitude de signaux sont quasi-stationnaire. Ainsi, la musique vocale ou instrumentale a un caractère quasi-stationnaire et pour un certain temps d'analyse  $T$ , On constate que les caractéristiques temporelles sont constantes.

### 2.7.2. Processus non stationnaire :

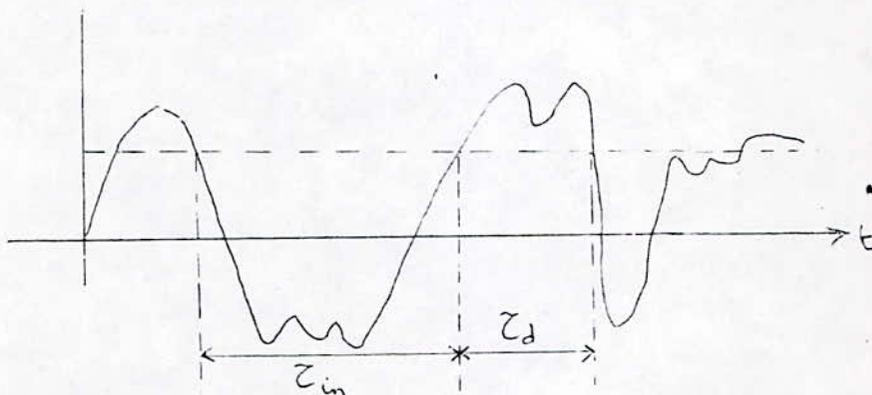
Un processus non stationnaire est un processus qui ne peut être gouverné par une loi probabiliste. Il ne peut donc être étudié par les méthodes citées auparavant. Il serait donc indispensable d'approcher le problème d'une autre façon. Au lieu d'approfondir la connaissance du signal non stationnaire (aucune théorie n'est encore faite sur cet type de signaux). Nous essayerons tout au moins d'avoir quelques informations sur le signal. Ces informations nous seront évidemment très utiles.

La particularité de ces processus est que leurs caractéristiques probabilistes dépendent de l'origine des temps.

## 2.8. Mesures des caractéristiques probabilistes des processus non-stationnaires

### 2.8.1. Dépassement des processus aléatoires

Dans de nombreux problèmes pratiques on a besoin de connaître la densité de probabilité où les caractéristiques numériques des durées des dépassements d'un processus aléatoire  $X(t)$ , où la durée des dépassements d'un processus aléatoire  $X(t)$ , où la durée  $\tau_d$  du dépassement est l'intervalle de temps durant lequel  $X(t)$  est supérieur à un certain niveau  $x = x_0$ . Il est aussi intéressant de connaître la durée des intervalles  $\tau_{in}$  séparant les dépassements (dépassement négatif), c'est-à-dire des intervalles de temps durant lesquels  $X(t)$  est inférieur à un certain niveau  $X = X_0$



Parfois au lieu de la distribution de la durée des dépassements on étudie la distribution des zéros d'une variable aléatoire, c'est-à-dire des points d'intersection de  $X(t)$  avec une fonction donnée  $f(t)$  ou le temps global durant lequel le processus dépasse une fonction donnée. Ceci conduit au problème de la distribution du temps où les processus aléatoires se trouvent entre 2 niveaux.

### 2.8.2. Durée moyenne des dépassements et des intervalles les séparant :

On peut facilement trouver la valeur moyenne du temps où un processus aléatoire ergodique dépasse un niveau  $X = X_0$ . Considérons le temps relatif pendant lequel la réalisation de ce processus aléatoire se trouve au dessus du niveau  $X_0$  sur l'intervalle  $T$ . En vertu de la propriété d'ergodicité, pour des valeurs grandes de  $T$ , cette grandeur tend vers :

$$P \{ X(t) > X_0 \} = 1 - F_1(X_0)$$

et par conséquent le temps total où la réalisation du processus  $X(t)$  se trouve au dessus du niveau  $X_0$  tend asymptotiquement vers  $[1 - F_1(X_0)] T$ ,  $F_1(X)$  étant la fonction de répartition unidimensionnelle du processus aléatoire  $X(t)$ . Durant un temps  $X(t) > X_0$  est égal au nombre moyen de dépassements durant ce temps, c'est-à-dire est égal à  $\lambda_1(X_0) \cdot T$ .

La valeur moyenne de la durée du dépassements est égale à :

$$m_1 \{ \tau_d \} = \frac{[1 - F_1(X_0)] T}{\lambda_1(X_0) T} = \frac{1 - F_1(X_0)}{\lambda_1(X_0)}$$

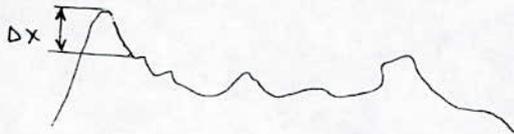
D'une manière analogue on peut obtenir l'expression de la durée moyenne des intervalles séparant les dépassements d'un processus aléatoire ergodique.

$$m_1 \{ \tau_{in} \} = \frac{F_1(X_0)}{\lambda_1(X_0)}$$

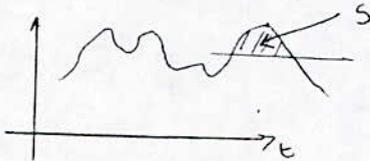
On peut énumérer d'autres caractéristiques probabilistes des signaux non-stationnaires qui sont :

- mesure de la durée d'un extrémum à un niveau  $X$ .
- mesure de la durée de l'intervalle entre deux extrémums à un niveau  $X$ .

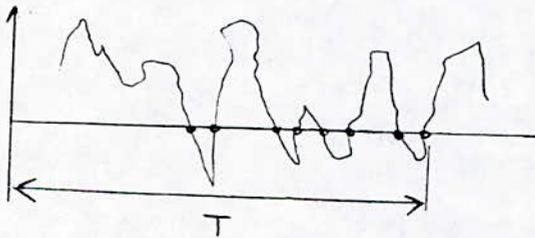
- mesure de l'amplitude.



- mesure de la surface.



- mesure du nombre de passage par zéro.



### CHAPITRE III :

Détermination expérimentale de la densité de probabilité et de la fonction de répartition d'un signal aléatoire.

#### 3.1. Schéma synoptique :

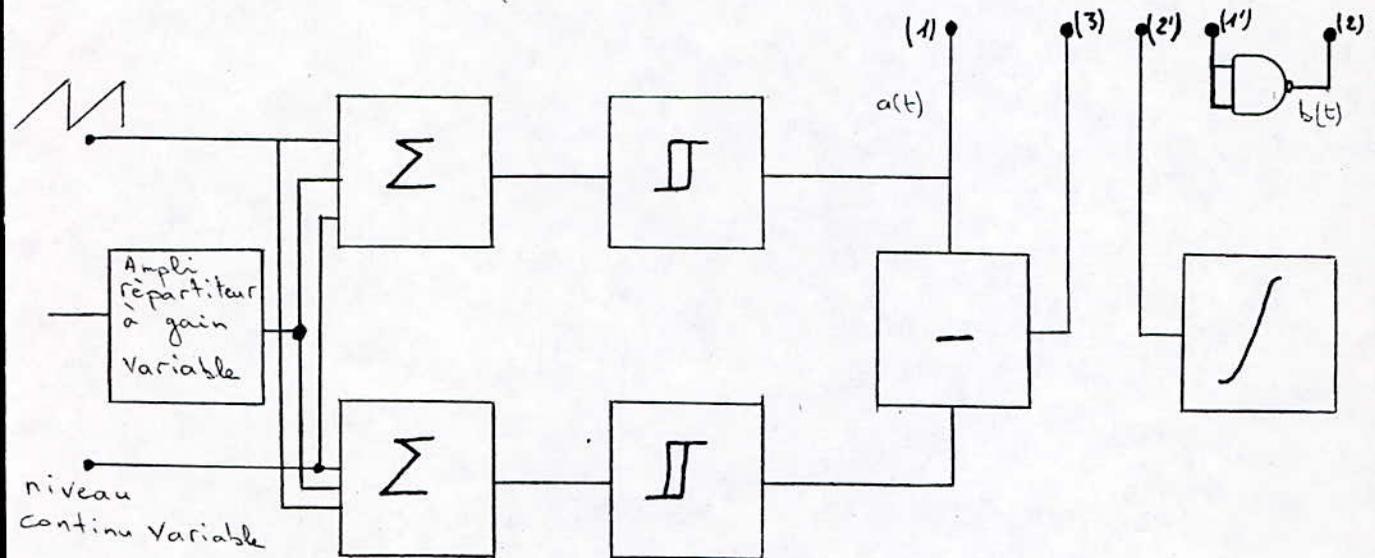


fig 3.1

#### 3.2. Principe de fonctionnement :

Le but du montage proposé est de faire apparaître sur un écran d'oscilloscope la courbe de la densité de probabilité et de la fonction de répartition d'un signal aléatoire.

En effet la fonction de répartition d'une variante aléatoire  $X$  (dans notre cas c'est une amplitude) est définie par :

$$F(X) = \text{Prob} ((X)(t) < X).$$

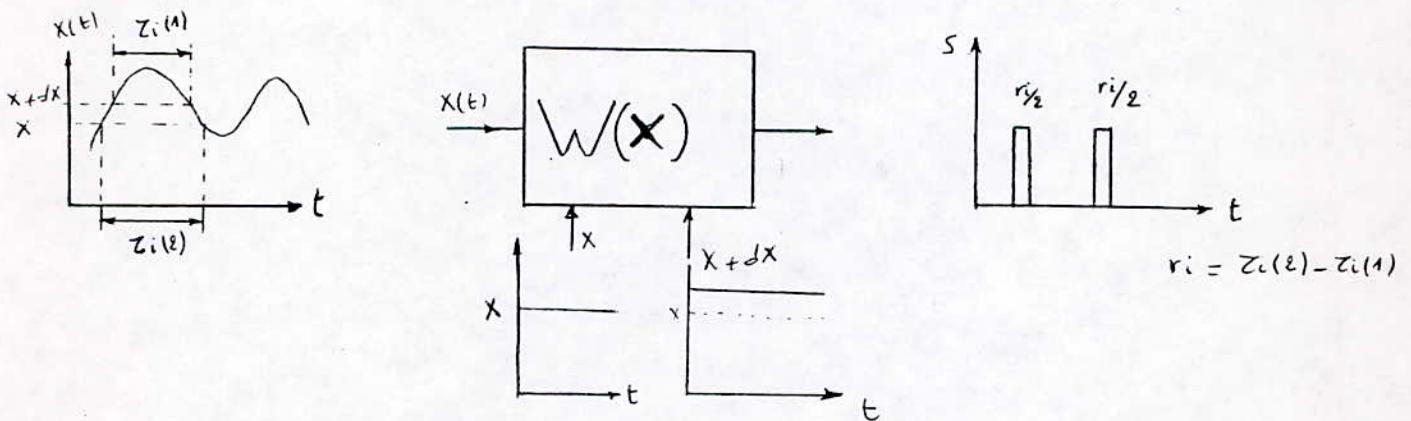
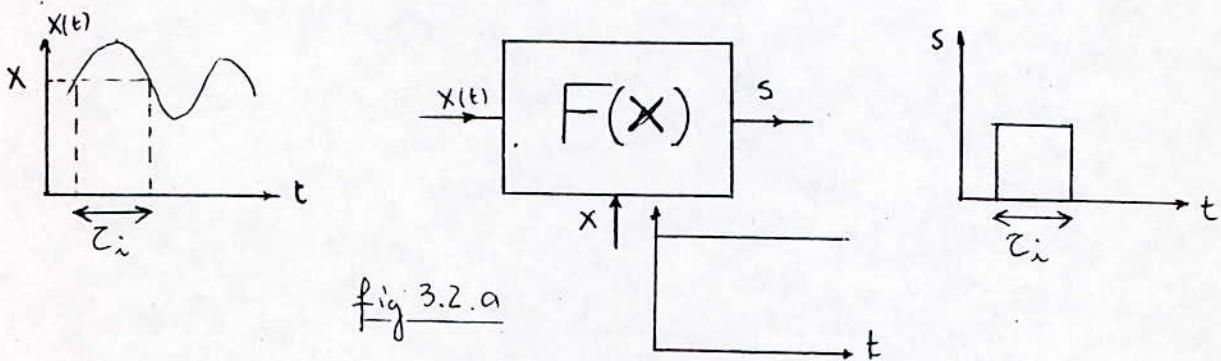
On peut donc la représenter par une impulsion dont la durée est égale à la durée de l'intervalle entre deux extrêmes ( $\tau_i$ ) où  $x(t) < x$  puisqu'on a dans ce cas :  $F(x) =$

$$P(x(t) < x) = \frac{\tau_i}{T} \quad (T : \text{temps d'analyse});$$

La probabilité  $\frac{\tau_i}{T}$  serait maximale :  $F(x) = 1$  dans le cas où  $\tau_i = T$ , ceci signifierait donc que l'événement  $X(t) < x$  est certain (fig 3.2.a).

On peut également représenter la densité de probabilité qui est définie par  $W(x) = P(x)dx = P(x+dx) - P(x)$ , par une impulsion dont la durée est égale à la différence de la durée des deux impulsions correspondantes à  $P(x+dx)$  et  $P(x)$ , dans ce cas là la densité de probabilité serait égale à :

$$W(x) = P(x+dx) - P(x) = \frac{r_i}{T} \quad (\text{fig 3.2.b}).$$



Le système d'estimation de la fonction de répartition  $F(X)$  est constitué d'un comparateur qui compare le signal  $X(t)$  à une tension continue  $X$ . Dès que le signal aléatoire  $X(t)$  dépasse le niveau  $X$ , ce comparateur délivre une tension continue dont l'amplitude est invariable.

Pour pouvoir visualiser sur un écran d'oscilloscope la courbe de la fonction de répartition en fonction du niveau, il est indispensable que ce niveau soit variable, pour cela on a deux alternatives.

La première c'est une variation discrète du niveau  $X$ , l'autre c'est une variation continue du niveau  $X$ .

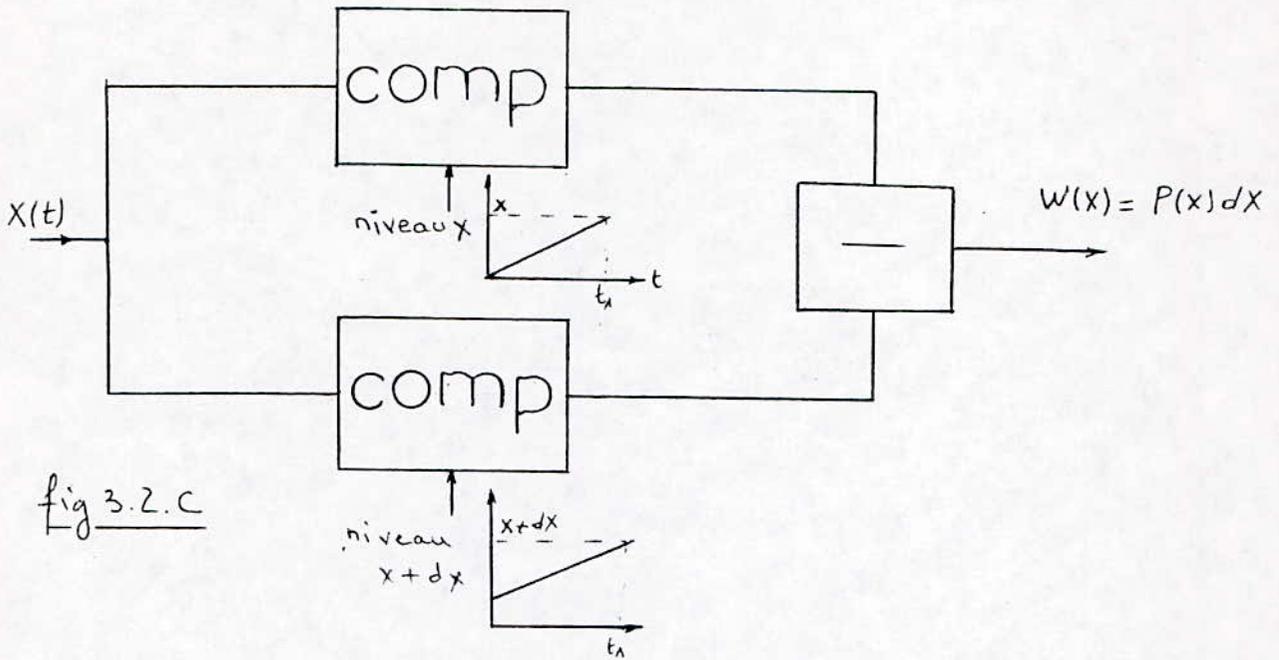
- Dans le premier cas, la variation discrète de  $X$  est sous forme de marches  $\beta$  de durée bien spécifique. On a évité cette première possibilité car elle nécessite un générateur d'escaliers qu'on n'a pas pu réalisé faute de composants, d'autre part les fonctions  $F(X)$  et  $W(X)$  seront discrètes. L'avantage de système en escaliers c'est qu'il est stable.

- Variation continue du niveau  $X$  :

Pour cette variation on a utilisé un signal en dent de scie (base de temps de l'oscillo), qui n'est rien d'autre qu'un signal en marches d'escalier dont la durée  $\beta$  est très brève (tend vers zéro).

Comme vu précédemment la densité de probabilité d'un signal aléatoire est équivalente à  $P(X+dX) - P(X)$ , pour la représenter on a besoin de deux signaux de référence  $X+dX$  et  $X$ .

Et ceci est réalisé par le schéma fig. 3.2.C.



Jusqu'ici on a parlé de la transformation du signal en impulsions dont les durées sont équivalentes à des probabilités. A cette étape, (sortie du soustracteur);

La visualisation des courbes  $F(X)$  et  $W(X)$  n'est pas possible. Pour y remédier on est amené à transformer la durée des impulsions en amplitude, ceci est réalisé par un intégrateur de constante de temps bien précise.

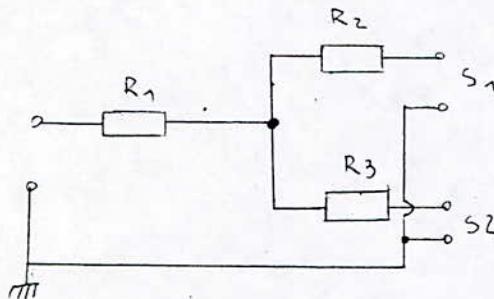
Finalement pour visualiser la courbe de la fonction de répartition  $F(X)$  on relie (1,1') et (2-2') par des cavaliers, (fig.3.1.) et pour  $W(X)$  (3,2').

### 3.3. Analyse du schéma électronique :

#### 3.3.1. Ampli répartiteur :

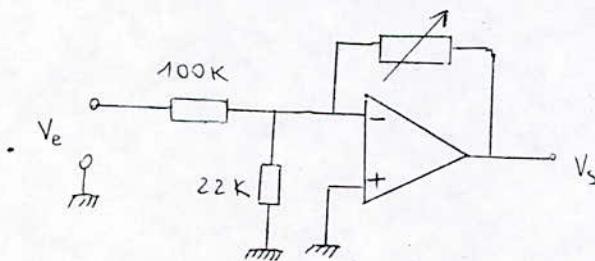
Cet ampli sert à assurer une certaine gamme de niveau du signal d'entrée. Les répartiteurs sont connus des techniciens s'intéressant aux antennes collectives. Il s'agit de distribuer le même signal aux utilisateurs de manière à ce que qu'aucun deux ne puisse gêner les autres en manipulant son téléviseur.

D'une manière inspirée des mêmes principes généraux, mais dans notre cas avec des signaux BF. Le schéma qu'on a conçu est très simple, ne comportant que d'éléments passifs purement résistif. Avec résistances suffisamment élevées on aura une bonne séparation.



Ce type de répartiteur ne produit pas de distorsions, mais il atténue les signaux de sortie, car il y a perte de puissance dans les résistances c'est pour cette raison qu'on a associé un amplificateur compensateur de ces atténuations.

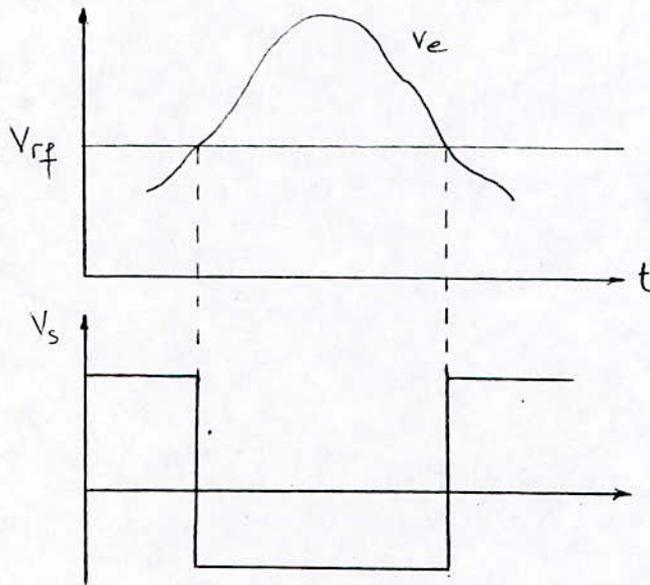
Le schéma du montage qu'on a réalisé est le suivant :



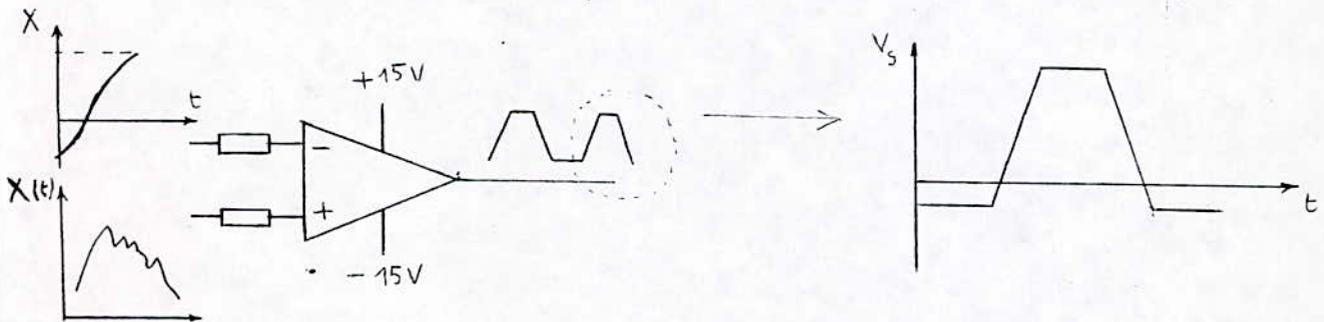
### 3.3.2. Circuits de comparaison ou comparateurs :

Les comparateurs permettent de comparer deux signaux à l'entrée suivant que l'un  $v_e$  est supérieur (ou inférieur) à l'autre  $V_{rf}$  (signal de référence). La sortie de l'amplificateur opérationnel est saturé positivement ou négativement.

L'entrée  $V_e$  est analogique, la sortie  $V_s$  (saturation + ou -) est logique (fig. 3.3.2a).



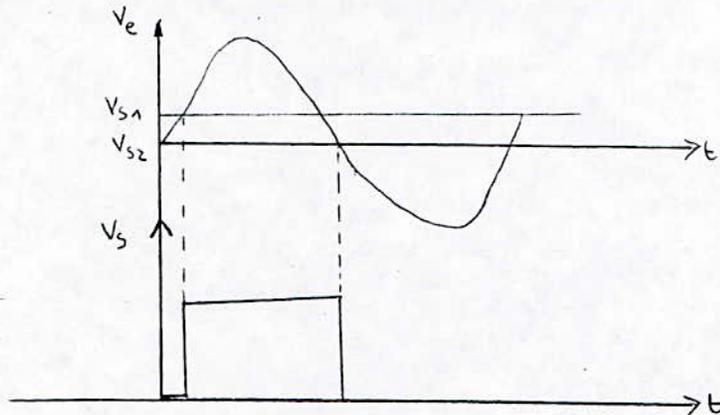
En utilisant un ampli-opérationnel U A741 pour réaliser ce comparateur, on a remarqué que le signal de sortie ne possédait pas une porte très prononcée (verticale) et qu'il ne restait pas au niveau de tension faible ou élevée jusqu'à ce qu'il bascule (fig. 3.3.2.b).



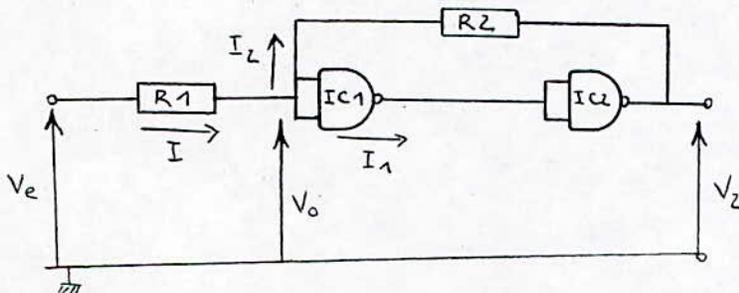
Faute de circuit intégré spécialement conçu pour cette fonction (exemple le LM311), on a opté pour un sommateur suivi d'un trigger de schmitt, étant donné que ce dernier ne réalise pas à lui seul la comparaison à différents niveaux.

### 3.3.3. Trigger de schmitt

On a opté pour le trigger de schmitt parcequ'il donne un signal de sortie possédant une pente très prononcée (verticale), il produit donc un signal de sortie numérique-soit le niveau de tension logique 0, soit le niveau logique 1 .



Ce trigger de schmitt est basé autour d'un circuit intégré T.T.L SN 7400 (4 portes Nand). Il est représenté par le schéma électrique suivant :



Les deux tensions de seuil  $V_{S1}$  et  $V_{S2}$  dépendent seulement de  $R_1$  et  $R_2$ . Soit une tension  $V_e$  appliquée à l'entrée du trigger, un courant  $I$  prend naissance à l'intérieur de ce dernier, vu la grande impédance d'entrée que présente la porte Nand, le courant  $I_1$  qui circule à travers  $Ic_1$  est négligeable par rapport  $I_2$  qui passe par  $R_2$ .

$$I = I_1 + I_2 \simeq I_2$$

$$\text{d'où : } V_e = R_1 I + R_2 I + V_2.$$

./..

A la première tension de seuil  $V_{s1}$ , la sortie  $V_2$  est égale à un 1 logique qu'on appellera par la suite  $V_H$  (High), alors qu'à la deuxième tension de seuil  $V_{s2}$ , la sortie  $V_2$  serait équivalente à un 0 logique notée  $V_L$  (Low).

Les tensions de seuils  $V_{s1}$  et  $V_{s2}$  s'expriment par les relations suivantes :

$$V_{s1} = R_1 I + R_2 I + V_H. \quad (1)$$

$$V_{s2} = R_1 I + R_2 I + V_L. \quad (2).$$

Pour le type T.T.L la tension de basculement  $V_0$  est égale à 1,35V d'après le schéma :  $V_0 = R_2 I + V_2 \Rightarrow I = \frac{V_0 - V_2}{R_2}$

En remplaçant I par sa valeur dans (1) et (2) on obtient les équations :

$$V_{s1} = (R_1 + R_2) \frac{V_0 - V_H}{R_2} + V_H \quad (3)$$

$$V_{s2} = (R_1 + R_2) \frac{V_0 - V_L}{R_2} + V_L \quad (4).$$

Par contre on ne peut pas faire varier le niveau de déclenchement du trigger à volonté pour deux raisons :

- La 1ère est que les circuits du type T.T.L consomment un courant qui est de l'ordre de 16mA par porte Nand. Si on augmente la valeur de la résistance  $R_1$ , on risque de diminuer fortement le courant I ce qui nous conduit au non fonctionnement du trigger.

./..

- La 2ème c'est que la différence entre les deux tensions de seuil est faible.

$$V_{s1} \simeq V_{s2} \implies (3) \quad (4).$$

$$\frac{(R_1 + R_2)}{R_2} (V_o - V_H) + V_H \simeq \frac{(R_1 + R_2)}{R_2} (V_o - V_L) + V_E$$

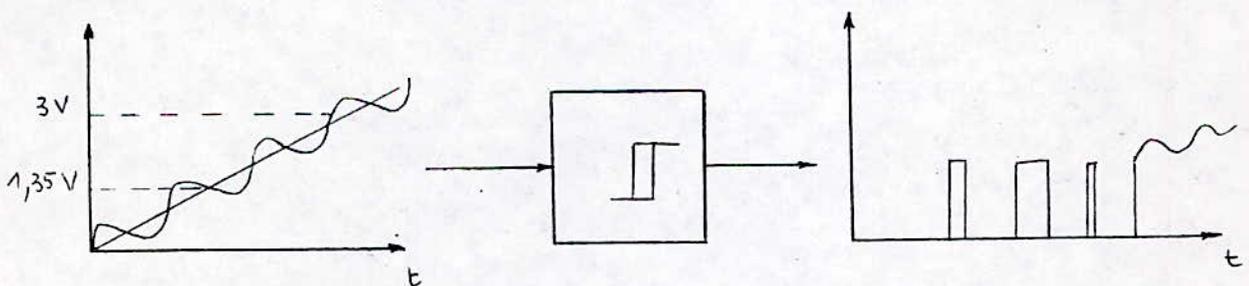
$$\frac{(R_1 + R_2)}{R_2} [V_o - V_H - V_o + V_L] \simeq V_L - V_H$$

$$\frac{(R_1 + R_2)}{R_2} [V_L - V_H] \simeq V_L - V_H.$$

D'où  $\frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1$ . On déduit donc que  $R_2 \gg R_1$

Dans notre montage on a choisi  $R_2 = 10R_1$   $\left\{ \begin{array}{l} R_1 = 220\Omega \\ R_2 = 2,2k\Omega \end{array} \right.$

En réalisant ce trigger, on a remarqué qu'en dépassant le niveau de tension de 3V le trigger de schmitt n'est plus en régime de commutation.

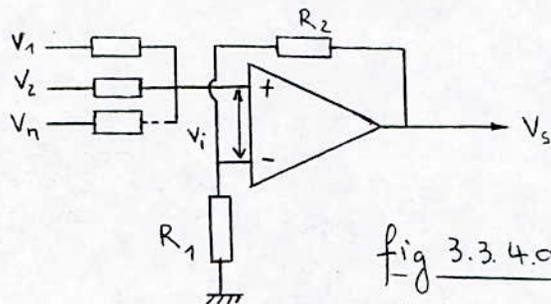


### 3.3.4. Circuit d'addition ou sommateur

L'additionneur (ou sommateur) analogique est probablement le circuit à amplificateur opérationnel le plus utile, employé dans les calculateurs analogiques.

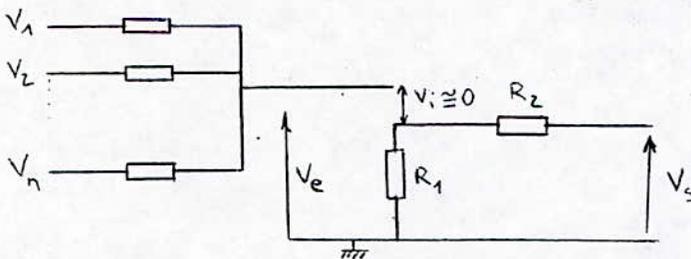
Pour remplir cette fonction on a utilisé un  $\mu A$  741 monté en amplificateur non inverseur à plusieurs entrées.

La fig (3.3.4 a) représente ce circuit de sommation.



Ce circuit permet d'additionner algébriquement ces  $n$  tensions d'entrées après avoir amplifié (multiplié) chacune d'elles par un facteur (gain) constant.

A l'aide du circuit équivalent virtuel, la tension de sortie peut être exprimée en fonction des tensions d'entrées comme suit : .



La tension aux bornes de  $R_1$  est  $V_e$ , puisque  $V_i = 0V$ . Cette tension doit être égale à la tension générée par le signal de sortie  $V_s$  et par le diviseur de tension composé de  $R_1$  et  $R_2$  de sorte que :

$$V_e = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s \Rightarrow \frac{V_s}{V_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad \text{c'est le facteur (gain) constant}$$

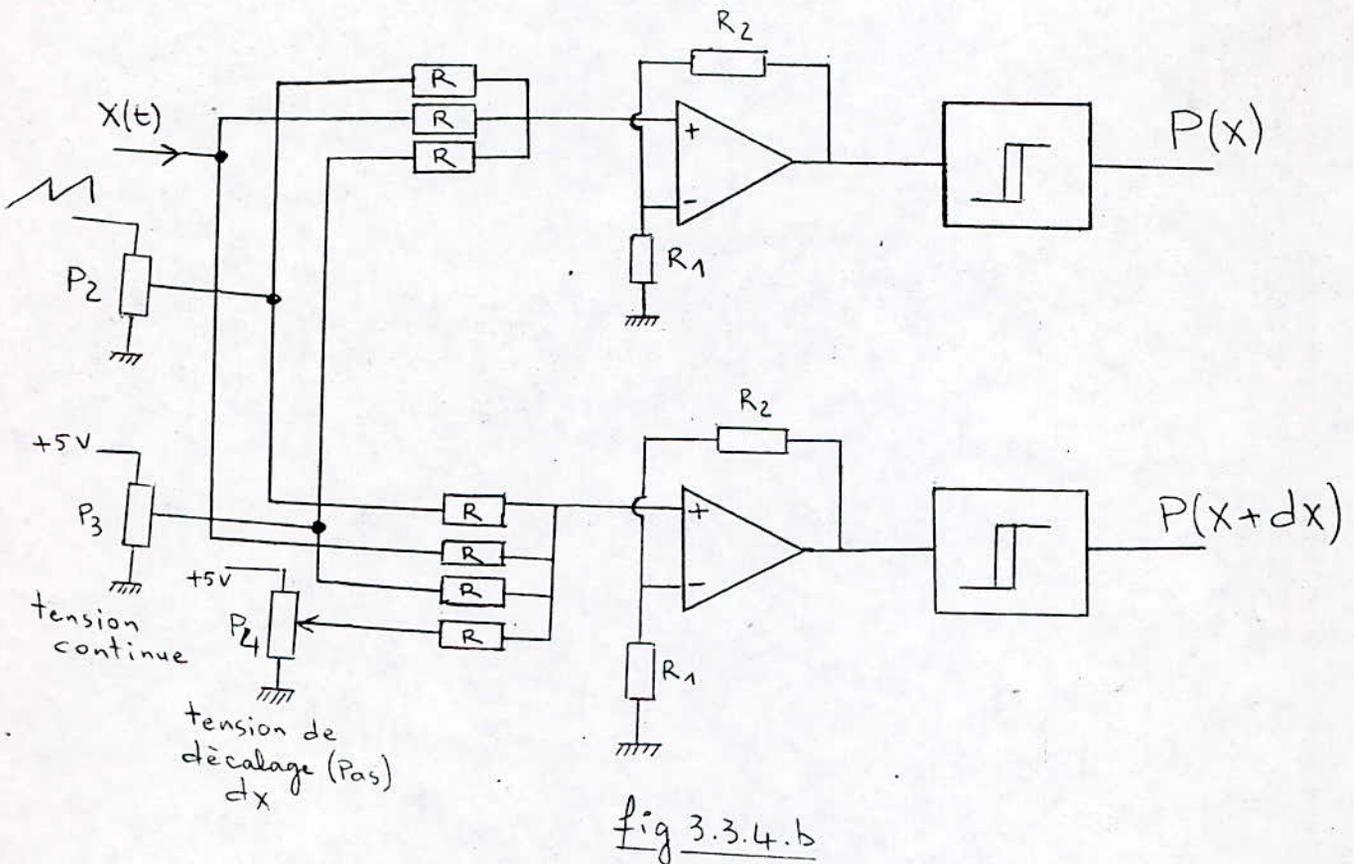
d'où  $V_s$  en fonction de  $(V_1, \dots, V_n)$  est égale à :

$$V_s = \frac{R_1 + R_2}{R_1} (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

./.....

Comme il a été dit dans le paragraphe précédent, ce sommateur est utilisé pour faire l'addition du signal aléatoire d'entrée  $X(t)$ , du signal de référence (signal en dent de scie), de la tension continue prévue pour faire varier la tension de référence avec le potentiomètre  $P_3$  et enfin d'une tension de décalage (le pas  $dx$ ) qu'on fait varier à l'aide du potentiomètre  $P_2$ .

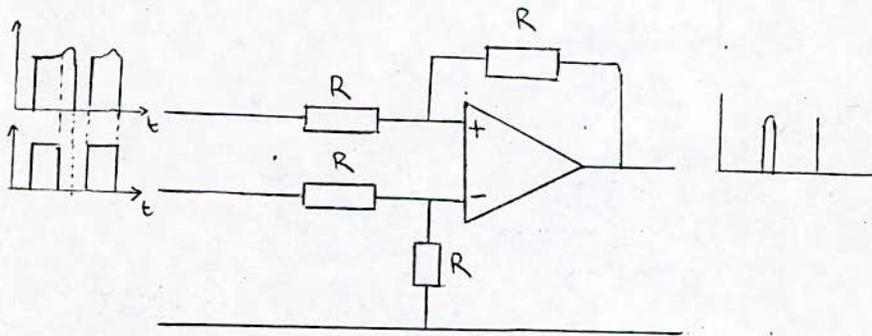
La figure (3.3.4b) représente le schéma électrique de ce montage :



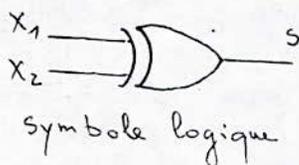
### 3.3.5 Circuit soustracteur

Le choix du soustracteur est très important dans notre montage. En effet, ce soustracteur doit être insensible aux faibles différences de niveau et doit donner avec une bonne précision la différence de largeur des impulsions correspondantes à  $P(x)$  et  $P(x + dx)$ .

Dans notre cas on ne peut pas utiliser comme amplificateur de différence un amplificateur opérationnel du type 741 par qu'il ne remplit pas les conditions citées ci-dessus.



Ce type de soustracteur n'est réalisable que par une porte OU EXCLUSIF (1 du circuit intégré SN 7486) qui'elle, ne tient pas compte des faibles différences de niveau. En T.T.L. le 0 logique est une tension variant de 0V à 0,8V, et le 1 logique de 2,8V à 5V.



Sa table de vérité est :

$X_1$	$X_2$	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

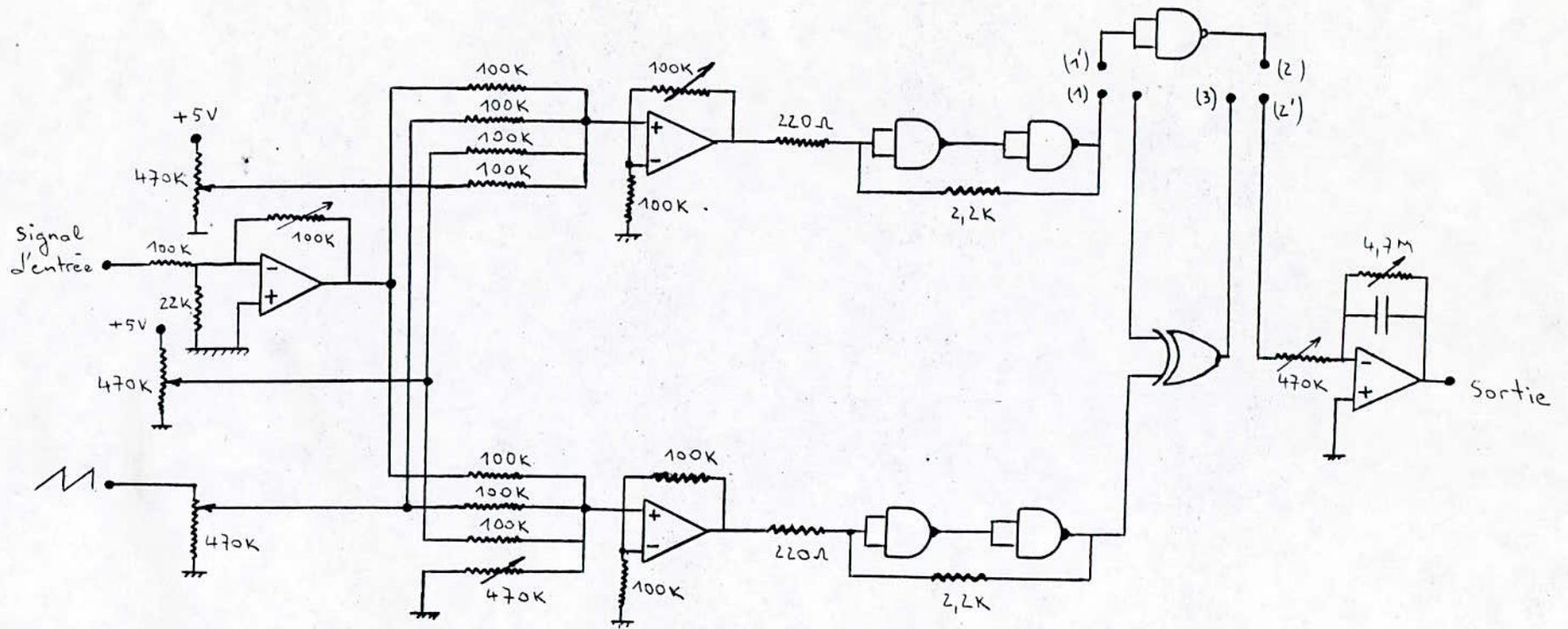


Schéma Electronique

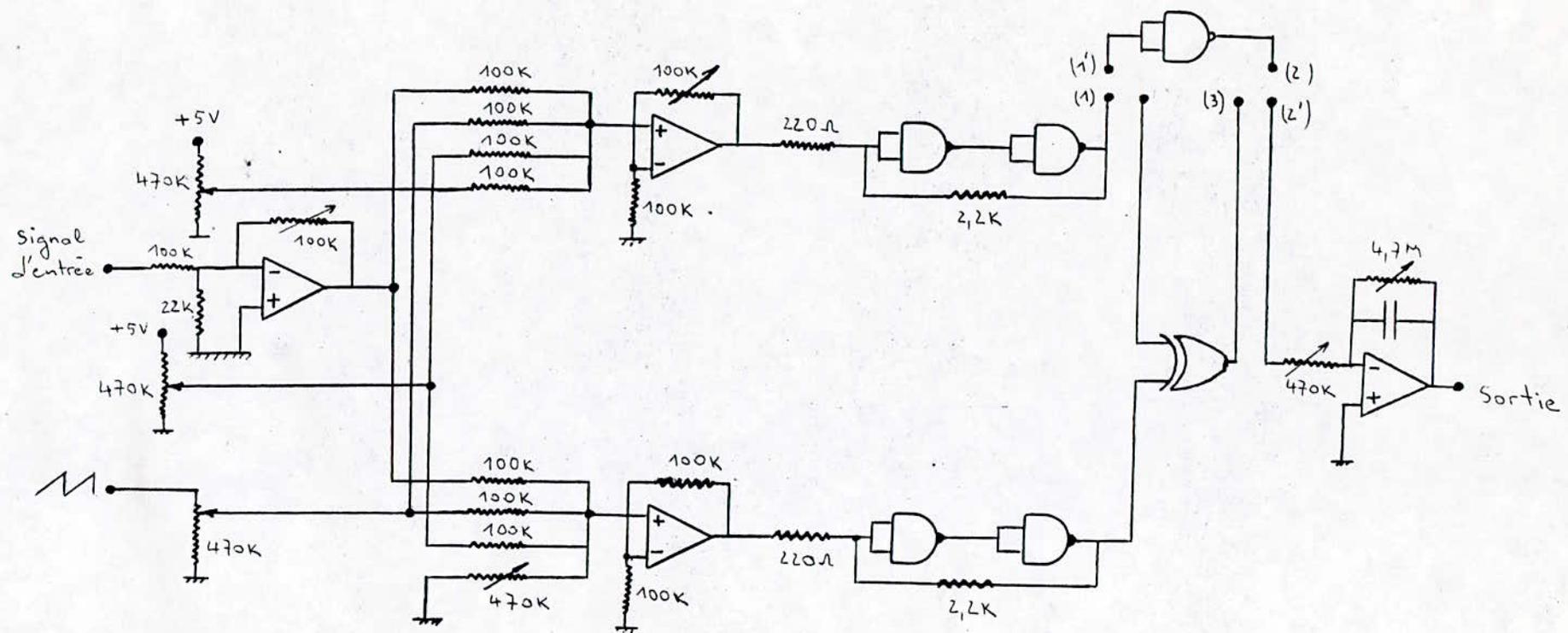


Schéma Electronique

3.4. Mesures

### III - CONCLUSION :

Nous avons effectué les mesures sur un signal musical qui est non stationnaire. Les courbes tracées automatiquement par l'enregistreur nous montre que la densité de probabilité et la fonction de répartition dépendent du temps. Ceci constitue donc la vérification de ce bloc. Evidemment, nous aurons été plus satisfait si on avait à notre disposition un générateur de signaux stationnaires qui aurait donné des courbes ne dépendant pas du temps. Ceci permettrait d'avoir un affichage très stable sur l'oscilloscope.

Remarquons que le dispositif pourra estimer le densité de probabilité et la fonction de répartition des dépassements. Ceci sera dans la mise au point et principe d'utilisation qui se trouve en annexe.

CHAPITRE IV: Analyse des Extremums

4 - 1: Schéma Synoptique:

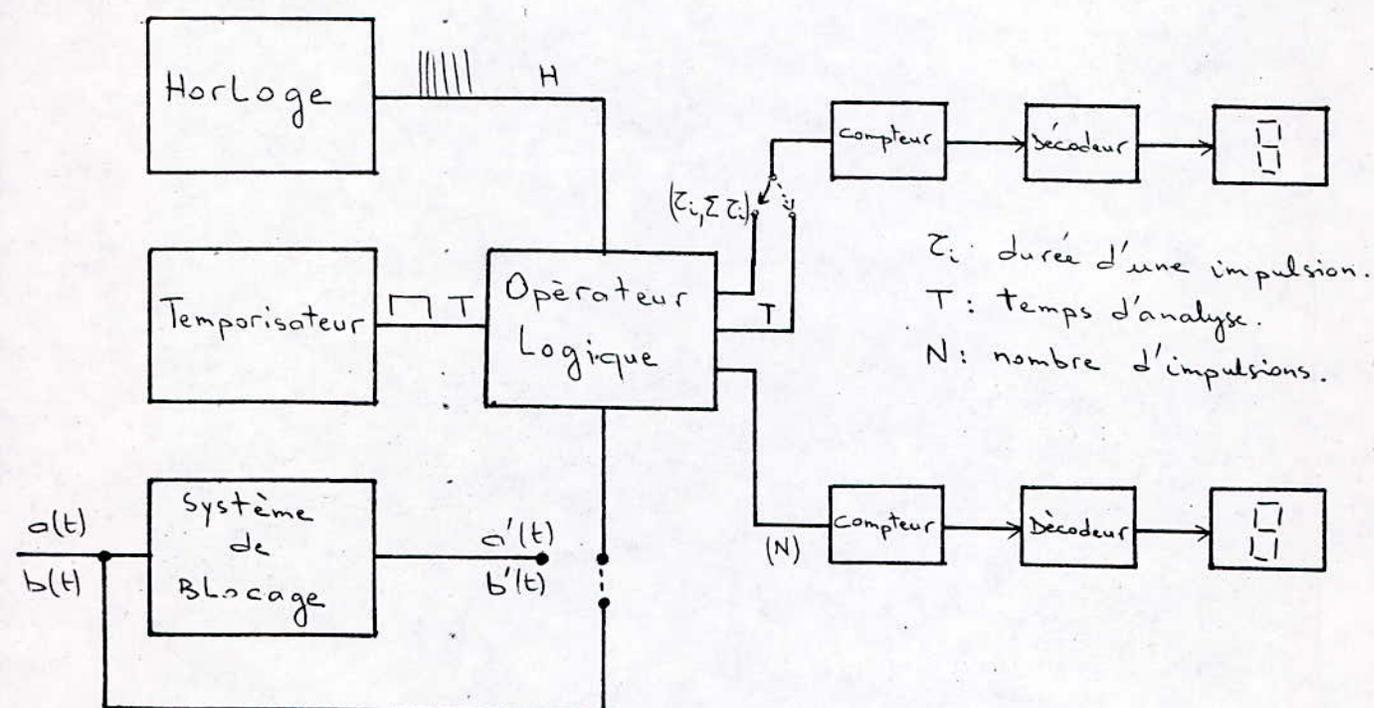


Fig.4.1.

Ce 2ème montage nous permet de mesurer certaines caractéristiques du signal aléatoire tel que :

- 1 - Durée d'un extremum  $z_i$  pour un niveau X ( voir fig 4.2.a)
- 2 - Durée de l'intervalle entre deux extremums  $I_i$  pour un niveau X ( voir fig 4.2.b)
- 3 - Moyenne de la durée des extremums pour un niveau X :  $\bar{z} = \frac{\sum z_i}{N}$
- 4 - Moyenne de la durée de l'intervalle des extremums pour un niveau X
- 5 - Fonction de répartition F ( X ) pour un niveau X :  $F(x) = \frac{I_i}{T}$
- 6 - Densité de probabilité W ( X ) pour un niveau X :  $w(x) = \frac{f_i}{T}$

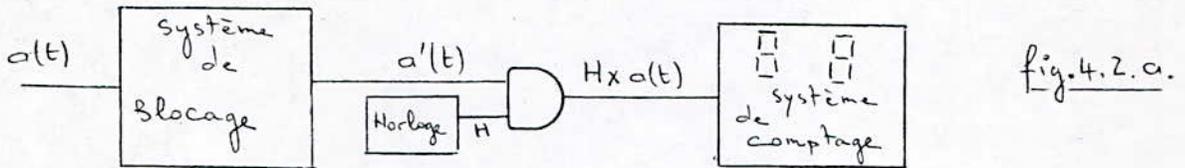
Avant de décrire en détail le fonctionnement de chaque circuit de ce 2ème montage, nous pensons qu'une analyse préliminaire de chaque fonction n'est pas superflue.

1- MESURE DE LA DUREE D'UN EXTREMUM  $\tau_i$  POUR UN NIVEAU X.

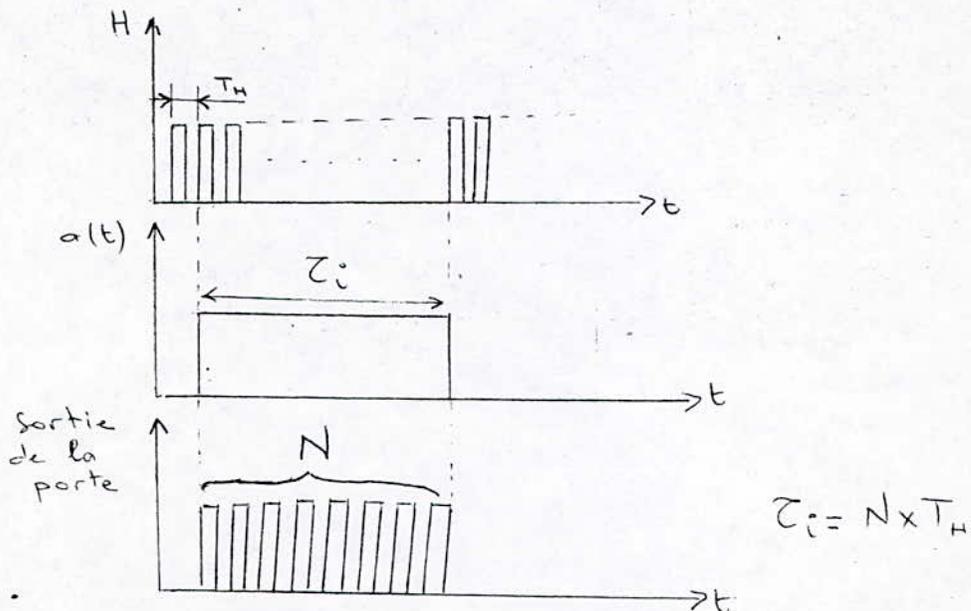
Le synoptique de la figure 4.2.a montre l'organisation interne du bloc n°2 lorsque celui-ci est commuté sur la fonction : mesure de  $\tau_i$ .  
 la commande de la porte est pilotée par l'impulsion  $a(t)$ . Pendant le temps  $\tau_i$  de l'impulsion  $a(t)$ , la porte est ouverte et laisse alors passer  $N$  impulsions d'horloge. Le compteur affichera donc le nombre d'impulsions d'horloge et la valeur de  $\tau_i$  sera par conséquent :

$$\tau_i = N \times T_H \quad T_H: \text{période de l'horloge.}$$

Remarquons qu'une mémorisation de la valeur  $N$  comptée, dans une bascule dite latch n'est pas nécessaire puisqu'on a une remise à 0 manuelle. Ainsi le système de comptage est très simplifié puisqu'il n'est constitué que par des compteurs, décodeurs et des afficheurs.



Le chronogramme suivant montre l'allure des signaux recueillis en divers points du montage



2- DUREE DE L'INTERVALLE ENTRE DEUX EXTREMUMS ( $I_i$ ) POUR UN NIVEAU X :

Le signal  $b'(t)$  étant prélevé de la borne du bloc n°1 est traité de la même façon que le signal  $a'(t)$  (mesure de  $\tau_i$ ). De cette façon on lira sur les afficheurs la valeur de  $I_i$

3- MOYENNE DE LA DUREE DES EXTREMUMS ( $\bar{\tau}$ ) POUR UN NIVEAU X :

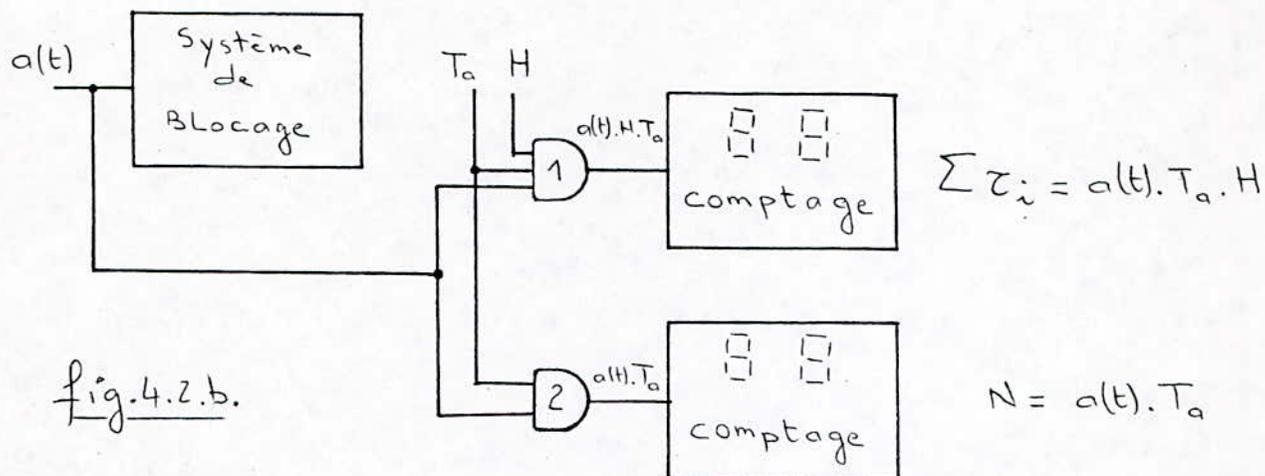
La moyenne de la durée  $\bar{\tau}$  pendant un temps d'analyse est définie par :

$$\bar{\tau} = \frac{\sum \tau_i}{N}$$

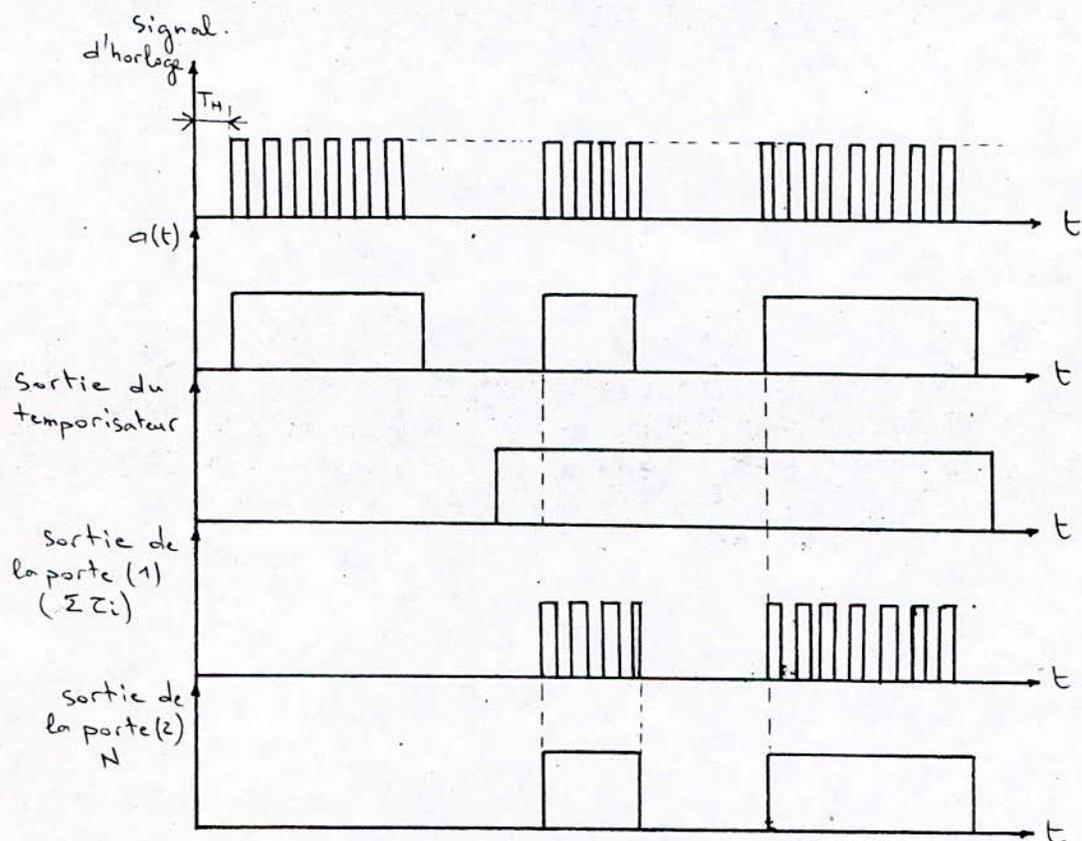
où :  $\tau_i$  = durée d'un extremum = durée de l'impulsion  $a(t)$   
 $N$  = nombre d'impulsions de  $a(t)$  durant le temps d'analyse.

Le synoptique de la figure 4.2. nous montre l'organisation interne du bloc n°2 lorsque ce dernier est commuté sur la mesure de  $\bar{\tau}$ . le signal  $a(t)$  est appliqué d'une part à l'entrée d'une porte and à 3 entrées, sur la deuxième entrée se trouve le signal d'horloge H, et, enfin sur la troisième entrée on trouve une impulsion  $T_a$  (générée par un temporisateur) dont la durée représente un temps d'analyse. La commande de la porte est pilotée par  $T_a$ . En effet, tant que cette impulsion est à l'état 1, la porte And est ouverte et le compteur compte la durée  $\sum \tau_i$ , mais dès que  $T_a$  est à 0, la porte est fermée et aucune impulsion d'horloge ne se présente au compteur.

Le signal  $a(t)$  est appliqué d'autre part à l'entrée d'une porte And dont l'autre entrée reçoit l'impulsion  $T_a$  générée par le temporisateur. La commande de cette porte est donc pilotée par  $T_a$  durant l'ouverture de la porte, le compteur reçoit donc les Nimpulsions de  $a(t)$  qui se trouvent dans un temps d'analyse T.



Le chronogramme suivant montre l'allure des signaux recueillis en divers points du montage.



4- MOYENNE DE LA DUREE  $\bar{I}$  DE L'INTERVALLE DES EXTREMUMS POUR UN NIVEAU X :

Le signal  $b(t)$  prélevé de la borne ( 2 ) du bloc n°1 est traité de la même façon que le signal  $a(t)$ . La valeur de  $\bar{I}$  sera donc :

$$\bar{I} = \frac{\sum I_i}{N} = \frac{b(t) \times T_a \times T_H}{b(t) \times T_a}$$

5- FONCTION DE REPARTITION POUR UN NIVEAU X :

Nous avons vu dans le chapitre précédant que la fonction de répartition peut être estimée par :

$$F(x) = \frac{\tau_i}{T} \quad \text{où } T \text{ est un temps d'analyse.}$$

Nous pouvons donc dire que l'intervalle  $I_i$  représente une fonction de répartition.

La durée  $I_i$  est donc une estimation de la fonction de répartition pour un niveau X .

6- DENSITE DE PROBABILITE POUR UN NIVEAU X :

La densité de probabilité étant équivalente à la durée de l'impulsion prélevée de la borne ( 3 ) du bloc n°1, subit donc le même traitement que celui effectué pour la mesure de  $\tau_i$ . De cette façon la durée sera donc une estimation de la densité de probabilité pour un niveau X .

### 4.3. Fonctionnement électronique

#### 4.3.1. Etude du générateur d'impulsions SN 74121N

Le circuit intégré se présente en circuit D.I.L. (Dual in Line) à 14 broches construit en technologie T.T.L. C'est un multivibrateur monostable. La définition d'un monostable : c'est un circuit logique, dont la sortie ne peut donc occuper que l'un ou l'autre de deux états notés 0 et 1. Dans un monostable, l'état stable peut durer éternellement, tant qu'un signal de caractéristiques convenables ne parvient pas sur l'entrée de déclenchement.

Par contre, lorsque ce phénomène intervient, la sortie passe brusquement dans l'autre état. Elle y reste pendant une durée généralement baptisée pseudo-période, qui dépend essentiellement de composants de temporisation (résistance et capacité) Associés au circuit.

Pour commander le monostable, on dispose de trois entrées  $A_1$ ,  $A_2$ , et B (broches 3.4.5).

Comme on le voit sur la table de vérité figure 4.3.1.a, pour obtenir le déclenchement du circuit il suffit d'amener l'entrée B de 0 à 1, en maintenant à 0 au moins une des deux entrées  $A_1$  ou  $A_2$  ou bien, en maintenant B à 1, de porter une ou les deux entrées  $A_1$  et  $A_2$  de 1 à 0.

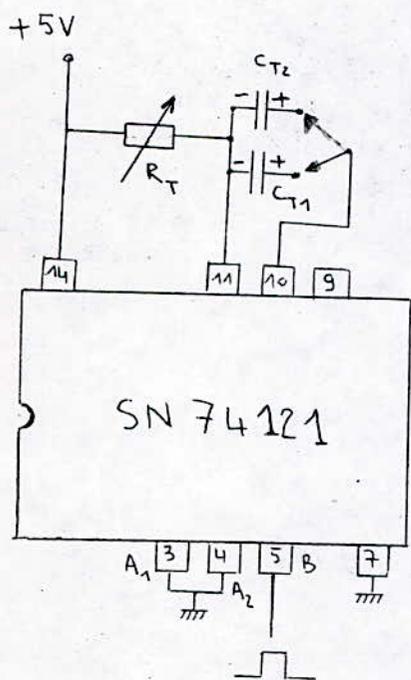
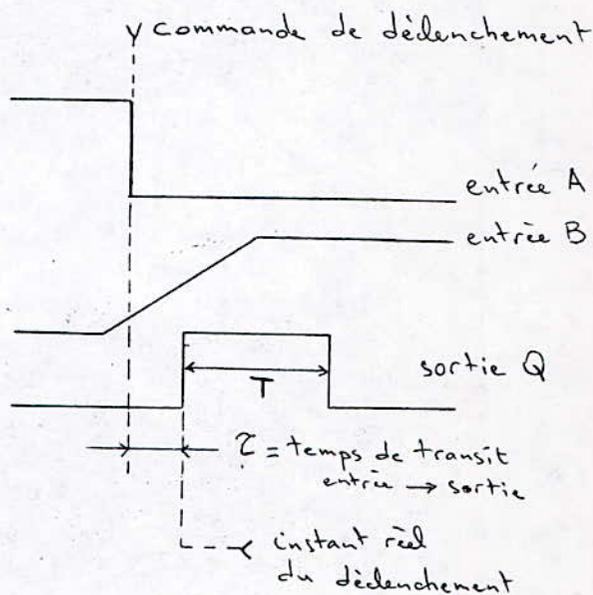
Ces deux modes de déclenchement présentent une différence importante. Les entrées A se distinguent de l'entrée B d'abord par la polarité du signal d'entrée, négatif pour les A, positif pour B, ensuite par le fait que les A sont des entrées pour des signaux logiques à temps de descente rapide, tandis que l'entrée B accepte les signaux à variation lente qui offre les caractéristiques d'un trigger de schmitt. Ces différences sont précisées dans le diagramme de la figure 4.3.1.b.

fig.4.3.1.a : table de vérité

$A_1$	$A_2$	B	Q	$\bar{Q}$
0	X	1	0	1
X	0	1	0	1
X	X	0	0	1
1	1	X	0	1
1	↓	1		
↓	1	1		
↓	↓	1		
0	X	↑		
X	0	↑		

X : niveau 0 ou 1.  
 ↑ : front de montée.  
 ↓ : front de descente.  
 : impulsion.

fig 4-3.1.b.



$A_1 = A_2 = 0$   
 $B = 1$

fig.4.3.1.c

La durée de l'impulsion de sortie est donnée par la relation :

$$T = C_T R_T \text{Log}_e 2 = 0,7 C_T R_T$$
 si on veut des durées supérieures à 40 ns (valeur minimale).

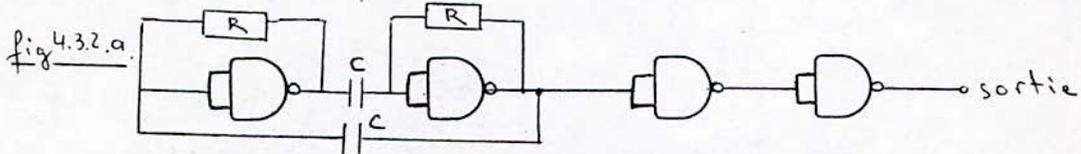
Le schéma électrique du Montage qu'on a réalisé est donné à la figure 4.3.1.c

On a utilisé un potentiomètre monté en résistance variable, qui nous permet de faire varier la largeur de l'impulsion de sortie de 4  $\mu$ S à 400 mS avec  $C_{T1}$  et de 400 mS à 4S avec  $C_{T2}$ .

### 4.3.2. Circuit d'horloge

Ce circuit d'horloge est un multivibrateur astable, il ne possède aucun état stable - le circuit oscille dans un mouvement de va et vient entre les états de mise à 1 et de remise à 0.

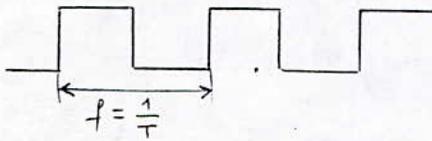
Pour la réalisation de cette horloge on a utilisé un circuit intégré SN 7400. Son schéma électrique est donné par la fig. 4.3.2a.



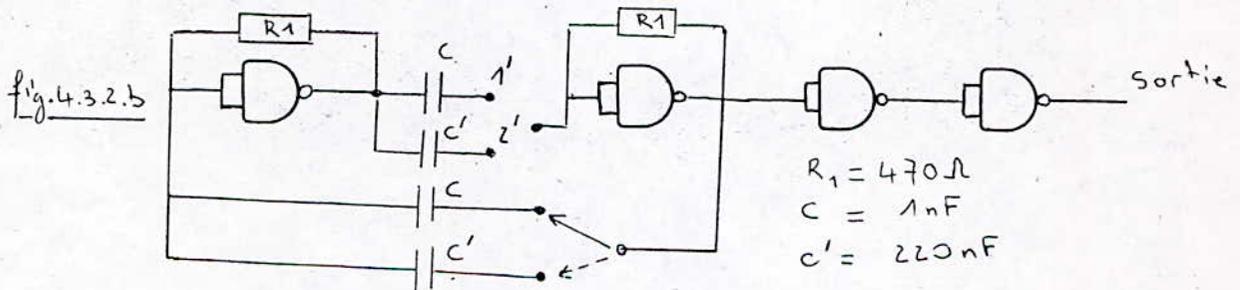
Sa fréquence est donnée par l'expression suivante :

$$F = \frac{1}{2T} = \frac{1}{2(0,7RC)} = \frac{1}{1,4RC} = \frac{0,7}{RC}$$

Forme d'onde de sortie de l'horloge



Le circuit d'horloge qu'on a réalisé est celui de la fig. 4.3.2b.



Il délivre deux fréquences  $f_1$  et  $f_2$  suivant un système de commutation  $f_1 = 1MHz$   $f_2 = 7KHz$ .

Ce circuit d'horloge est suivi : par une cascade de deux diviseurs de fréquence par 10

De cette manière la base de temps peut être commutée sur 6 temps d'horloge

$$T_1 = 1 \mu s$$

$$T_2 = 10 \mu s$$

$$T_3 = 100 \mu s$$

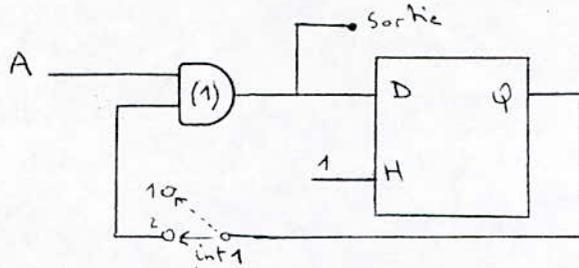
$$T_4 = 150 \mu s$$

$$T_5 = 1,5 ms$$

$$T_6 = 15 ms$$

4-3-3 ETUDE DU SYSTEME DE BLOCAGE

Le système de blocage est constitué par une bascule D et une porte And



Avant d'étudier ce système de blocage, on donnera d'abord un aperçu sur la bascule D.

-Le schéma de principe d'une bascule D est indiqué à la figure 4.3.3.a

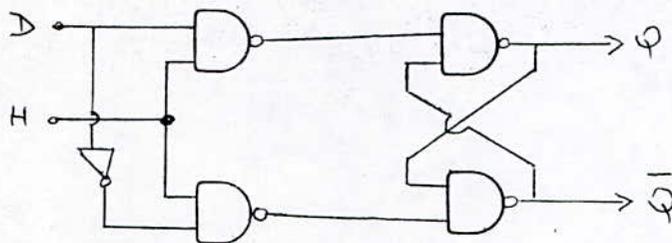


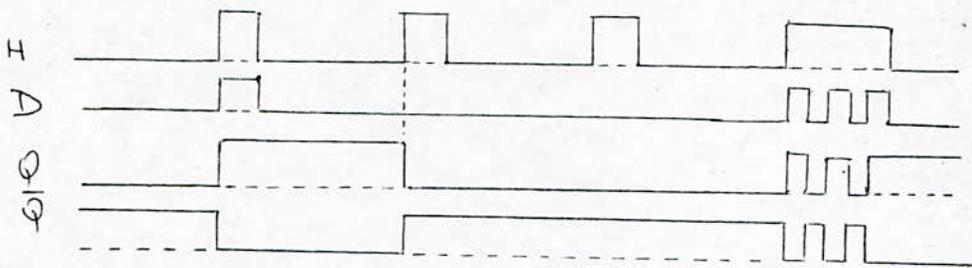
fig 4.3.3.a.

La sortie Q change d'état en prenant celui de D, exclusivement au moment où le signal d'horloge (clock) passe de l'état logique 0 à l'état 1 tout autre changement d'état, tant sur l'entrée D que sur l'entrée H ne provoque aucun changement de l'état de sortie .

Cette situation est illustrée par la table de vérité suivante :

Entrée D	Entrée H	sortie Q	sortie $\bar{Q}$
0	0	0	1
1	0	0	1
1	0-1	1	0
1	1	1	0
0	1	1	0
0	1-0	1	0
0	0	1	0
0	0-1	0	1
0	1	0	1
1	1	0	1
1	1-0	0	1
1	0	0	1
0	0	0	1

Le fonctionnement de la bascule D est bien illustré par les chronogrammes suivants :



On a utilisé pour réaliser cette fonction un circuit intégré SN 7474 qui renferme deux bascules D avec commandes clear et preset. une impulsion "0" appliqué à la broche clear porte la sortie Q au niveau 0, tandis que la même impulsion appliquée à l'entrée preset porte Q à 1, indépendamment du signal d'horloge. Les entrées clear et preset inhibent les entrées D et H. Rappelons enfin que les entrées clear et preset non connectées se trouvent naturellement à l'état 1.

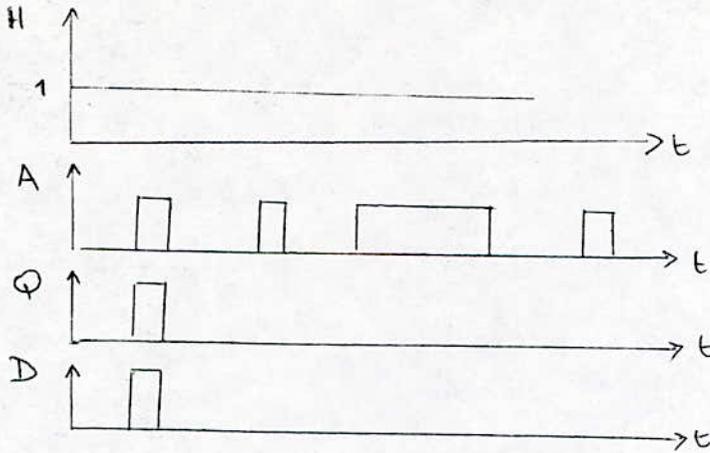
On constate d'après les chronogrammes que la sortie Q de la bascule D suit les variations de tension de l'entrée D lorsque l'horloge est constamment égale à 1.

-Etudions maintenant comment s'effectue le blocage après le passage de la 1ere impulsion .

L'interrupteur int 1 étant commuté à la position 2, la porte (1) est alors commandée par la sortie Q de la bascule D.

En appliquant une tension sur l'entrée preset, la sortie Q est mise à 1 et la porte est alors ouverte.

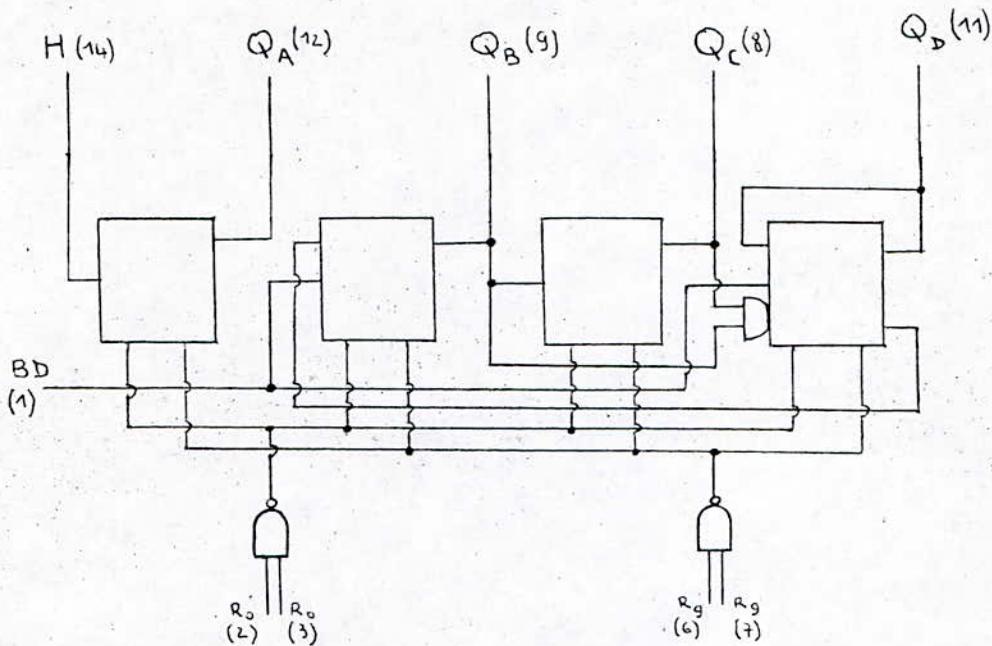
Au front descendant de l'impulsion la sortie Q est mise à 0 est la porte (1) est alors fermée. Tout ceci est illustré par les chronogrammes suivant:



Remarquons que lorsque l'interrupteur int 1 est commuté sur la position (1), la porte est constamment ouverte, il n'ya donc pas de blocage.

#### 4.3.4. LE COMPTAGE

Le comptage est confié au compteur intégré à décade SN 7490 son schéma logique est le suivant :



Il est constitué de 4 bascules en cascade comportant en outre, différentes connexions internes supplémentaires. Par ailleurs les 3 premières bascules sont de type J-K, tandis que la 4ème est de type D.

Il possède également une entrée par une porte NAND pour la mise à zéro (broches 2 et 3) et une seconde (broches 6 et 7) pour la mise à 9 des différentes sorties D, C, B, A (1001) en binaire.

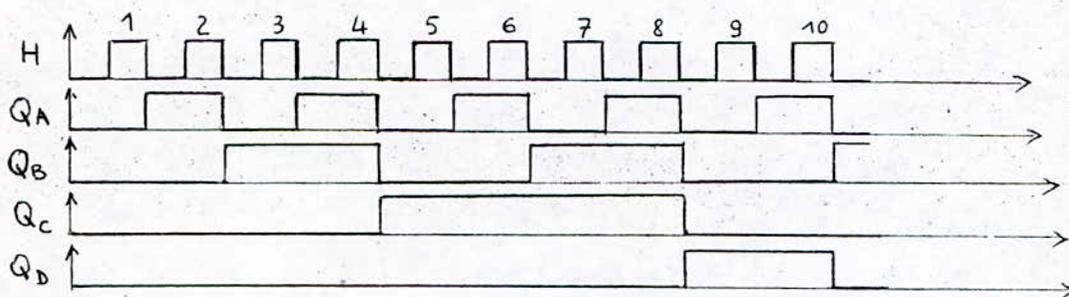
La table de reset indique les niveaux auxquels doivent être portées les entrées  $R_{01}$ ,  $R_{02}$ ,  $R_9(1)$ ,  $R_9(1)$  pour que le compteur se trouve en état de comptage ou pour ramener le compteur à 0 et 9

Entrées de Reset				Sorties			
R <sub>0</sub> (1)	R <sub>0</sub> (2)	R <sub>1</sub> (1)	R <sub>1</sub> (2)	Q <sub>D</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>A</sub>
1	1	0	X	0	0	0	0
1	1	X	0	0	0	0	0
X	0	1	1	1	0	0	1
0	X	1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	0	0	1
X	0	X	0	Comptage // // //			
0	X	0	X				
0	X	X	0				
X	0	0	X				
X	0	0	X				

La condition X indique que les entrées peuvent être indifféremment à 0 ou à 1, sans modifier l'état des sorties

Lorsque les conditions de comptage sont réunies, ce dernier s'effectue selon la table de vérité reproduite ci-dessus, après avoir cependant connecté extérieurement la sortie Q<sub>A</sub> (broche 12) à l'entrée BD (broche 1). Remarquons que le + 5V est relié à la broche 5 et la masse à la broche 10. L'entrée des impulsions s'effectue sur la broche (14) et le comptage peut être visualisé sur les sorties Q<sub>A</sub>, Q<sub>B</sub>, Q<sub>C</sub>, Q<sub>D</sub> à condition que les entrées de reset soient aux niveaux convenables. Les transitions s'effectuent sur le flanc descendant

L'état des différentes sorties en fonction des impulsions successives est représenté graphiquement ci-dessous :



Comme on le voit le compteur part de zéro et y retourne après 10 impulsions.

La présentation du comptage s'effectue en code binaire.

#### 4.3.5. LE DECODAGE

-----

On a utilisé le SN 7447 qui est un décodeur B.C.D - 7 segments le plus répandu, ce circuit est à même de réaliser seul le transcodage entre un code binaire et les segments à allumer pour représenter le chiffre ainsi exprimé, d'autre part il dispose des sorties à collecteur ouvert autorisant une liaison directe avec des afficheurs à anodes communes. D'autre entrées sont aussi prévues :

-LT ou lamp test qui permet de vérifier le fonctionnement de l'afficheur en allumant tous les segments (broche 3)

BI et RBI ( Blanking In put et Ripple Blanking In put ) qui permettent dans un affichage à plusieurs chiffres, d'éliminer automatiquement les zéros non significatifs en début d'affichage.

Le SN 7447 est le type de circuit qui convient pour piloter, soit les displags à filament ayant un pôle commun au +5V, soit les displys à LED à anode commune qui est connectée au +5V. Dans ce derniers cas cependant, entre chaque sortie et la cathode correspondante est intercalée une résistance limiteuse de courant comme le montre le schéma de la figure ( 4.3.5.).

Ce type de décodeur absorbe en permanence à l'état 0, c'est à dire au niveau actif, quand le segment est allumé, un courant qui peut s'élever jusqu'à 40 mA par sortie (donc par segment), tandis qu'au niveau 1, quand le segment n'est pas éclairé, il peut supporter sur le collecteur (même ouvert) du transistor de chaque sortie, une tension qui peut atteindre un maximum de 15V. Pour les alimenter on a utilisé l'alimentation du laboratoire.

Dans ces conditions normales, c'est à dire avec les broches 3.4.5 non connectées ou portées au niveau 1, la table ci-dessous donne les conditions d'allumage des segments en fonction des conditions des entrées A,B,C,D.

Nombre décimal ou fonctions	ENTRÉES						BI/RBO	SORTIES						
	LT	RBI	D	C	B	A		a	b	c	d	e	f	g
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1	1	X	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
2	1	X	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
3	1	X	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
4	1	X	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
5	1	X	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0
6	1	X	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
7	1	X	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
8	1	X	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	1	X	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
BI	X	X	X	X	X	X	0	1	1	1	1	1	1	1
RBI	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
LT	0	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0

- Conditions d'allumage des segments  
en fonction des conditions des entrées A, B, C, D. -

- Interprétation des 3 dernières lignes de la table de vérité.

- Sur la 1ère ligne on voit qu'en appliquant à la broche 4 (BI/RBO) le niveau 0, indépendamment de l'état des autres entrées qui peut être quelconque (X), on obtient un niveau 1 sur tous les segments qui sont éteints. Cette propriété peut-être utilisée pour réduire automatiquement la consommation de courant lorsque la lecture du display n'est plus indispensable.
- Sur la seconde ligne, on constate au contraire, qu'en portant toutes les entrées à 0, à l'exclusion de la broche 4 (BI/RBO) et la broche 3 (LT) tous les segments sont encore éteints. Cette disposition peut-être utilisée quand on désire éteindre un zéro non significatif. En effet, on a  $A = B = C = D = 0$ , en outre, l'entrée BI/RBO se porte automatiquement à l'état 0 et sert à piloter l'entrée RBI du décodeur au display adjacent, permettent ainsi d'éteindre tous les zéros non significatifs.
- La dernière ligne montre que si l'entrée BI/RBO est au niveau 1 et qu'on applique le niveau 0 sur la broche 3 (lamp-test) tous les segments s'allument ce qui permet de vérifier le bon fonctionnement du display.

Il convient de remarquer que le 8e segment réduit le plupart du temps à un point, n'est piloté par aucun décodeur, mais en général, on le fait allumer au moyen d'un commutateur manuel.

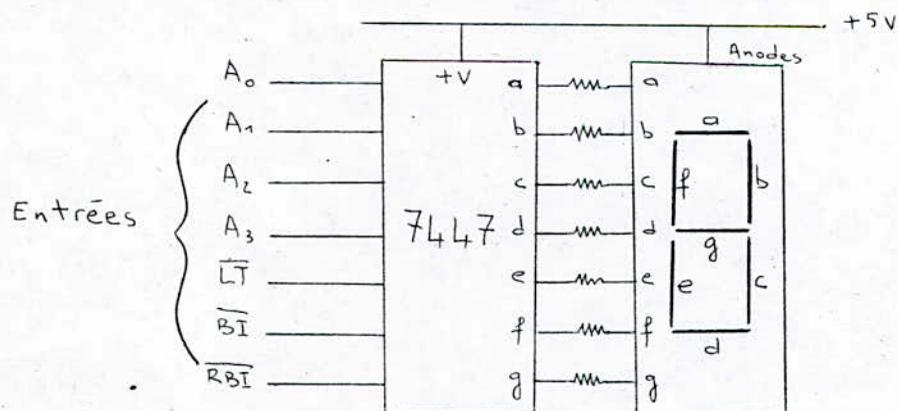


fig 4.3.5 : schéma d'utilisation du SN7447

#### 4.3.6. Les afficheurs 7 segments

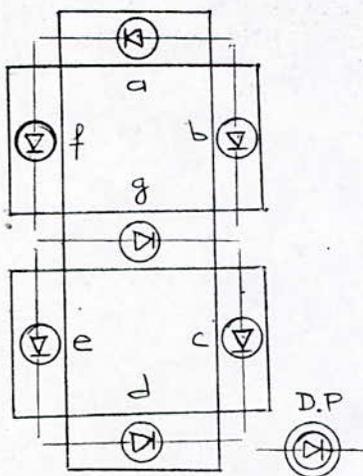
Ces afficheurs comme le montre la figure 4.3.6., ne sont qu'un assemblage de 7 LED en forme de bâtonnets disposés de façon à pouvoir former des chiffres plus ou moins stylisés.

En conséquence, les caractéristiques de ces afficheurs sont rigoureusement identiques à celles des LED qui les composent et les conditions d'utilisation sont aussi identiques.

Pour pouvoir se comprendre, les appellations des segments ont été normalisées et les lettres de a à g indiquées sur la figure 4.3.6. sont valables quelque soit le type et le fabricant de l'afficheur 7 segments.

Les afficheurs qu'on a utilisé sont du type FND 567 :

- . anodes communes de couleur rouge.
- . Vu le nombre réduit d'afficheurs qu'on a reçu (quatre)  
On a utilisé deux pour l'affichage du nombre d'impulsions et deux pour la mesure des durées.



chiffre	Segments à allumer						
	a	b	c	d	e	f	g
0	X	X	X	X	X	X	-
1	-	X	X	-	-	-	-
2	X	X	-	X	X	-	X
3	X	X	X	X	-	-	X
4	-	X	X	-	-	X	X
5	X	-	X	X	-	X	X
6	-	-	X	X	X	X	X
7	X	X	X	-	-	-	-
8	X	X	X	X	X	X	X
9	X	X	X	X	-	X	X

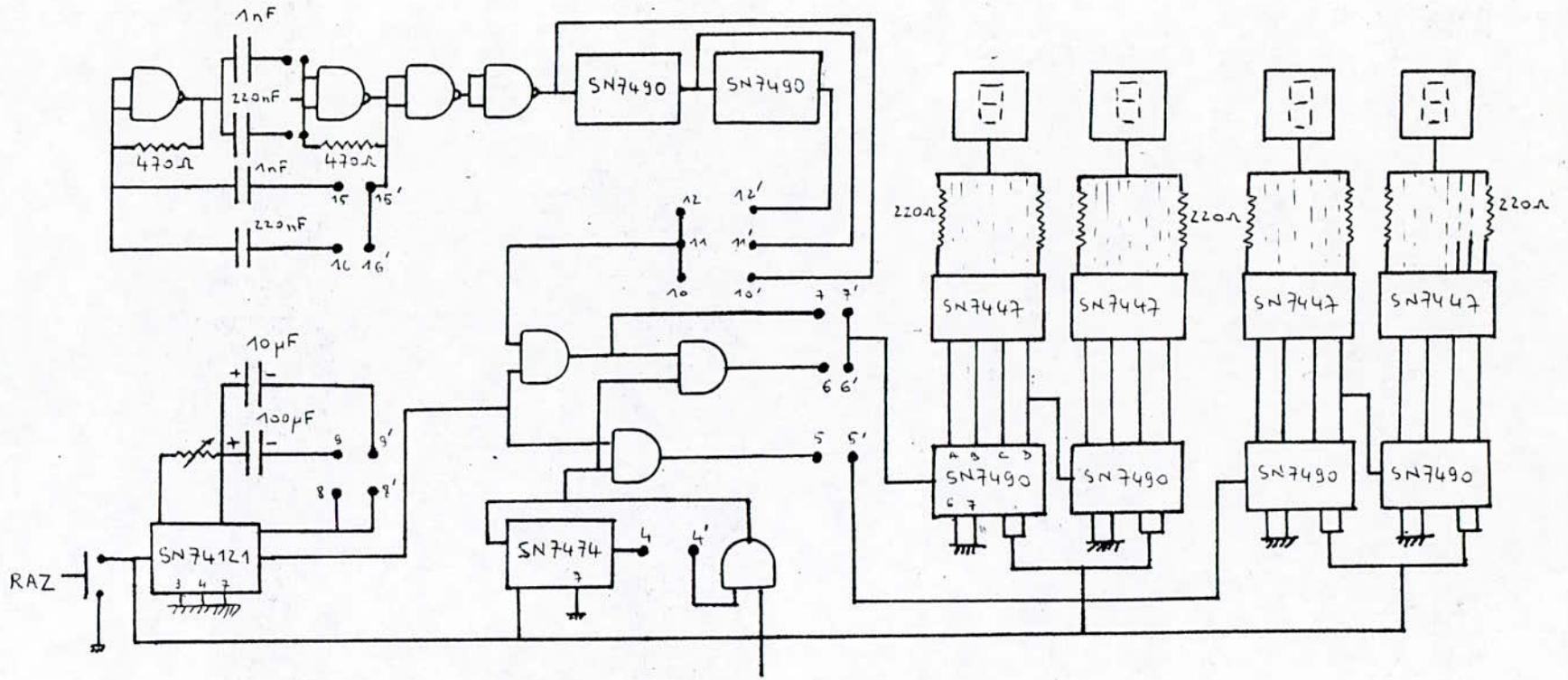
X : segment allumé

- table de vérité des segments à allumer pour représenter un chiffre de 0 à 9.

fig 4.3.6 : Aspect d'un afficheur 7 segments et appellation des segments.

SCHEMA ELECTRONIQUE

-----



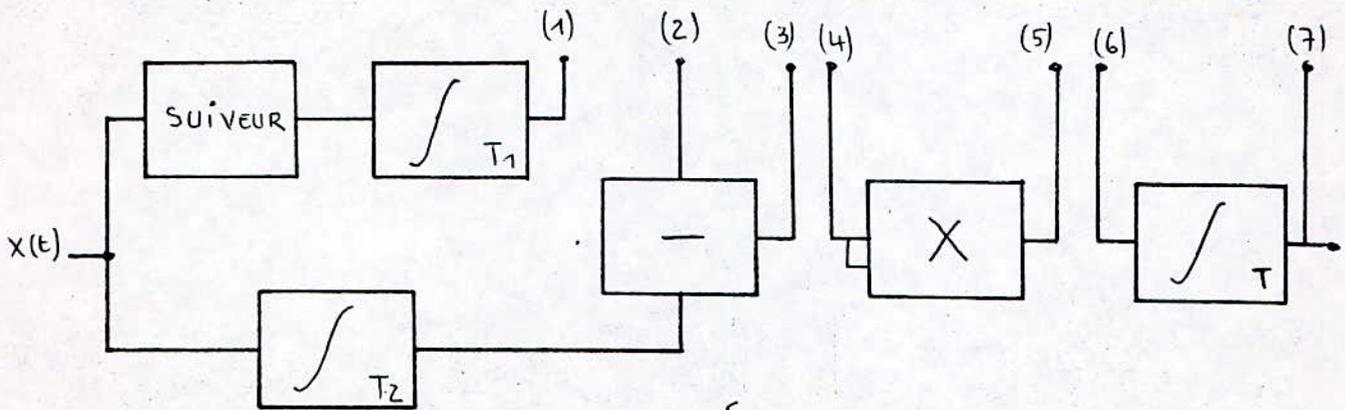
CONCLUSION :

La mesure de la durée des extrêmums, intervalles de durée d'extrêmums ainsi que les moyennes : la moyenne de la durée des extrêmums ( ) et la moyenne de la durée (I) de l'intervalle des extrêmums peuvent nous donner beaucoup d'information sur le signal aléatoire. En effet, la connaissance de la moyenne par exemple peut nous informer si le signal est constamment supérieur à un niveau de tension ou non dans un certain temps d'analyse, de sa fréquence et de son amplitude. Toutes ces informations peuvent donc constituer la base d'un "traitement" (on ne peut pas imaginer de traitement sans analyse).

Exemple : Le fait de savoir que le signal dépasse un certain niveau  $X_1$  nous conduit déjà à ne pas utiliser un dispositif dont le niveau d'entrée maximal est égal à  $X_1$  .

CHAPITRE V:

Réalisation d'un instrument de mesure des moyennes temporelles d'un signal aléatoire.

5 - 1: Schéma Synoptique:

$\{(1-2), (3-4), (5-6)\}$  : variance  $\sigma^2$   
 $\{(3-4), (5-6)\}$  : moment d'ordre 2 :  $m_2$   
 $\{(1-5)\}$  : moment d'ordre 1 :  $m_1$   
 $\{(3-6)\}$  :  $\langle X_0(t) \rangle$   
 $\{(3-7)\}$  :  $X_0(t)$

4.4. Mesures

5 - 2

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

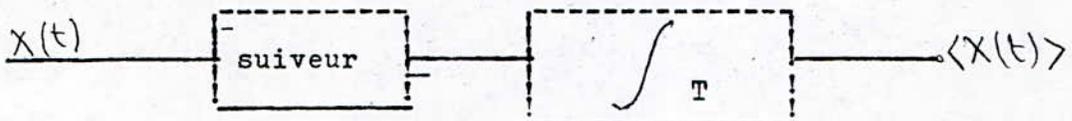
Ce dispositif permet de mesurer plusieurs moyennes temporelles d'un signal radiophonique et qui sont les suivantes :

- 1- Moyenne temporelle d'ordre 1 :  $\langle X(t) \rangle$
- 2- Centrage du processus :  $X(t) - \langle X(t) \rangle = X_0(t)$
- 3- Moyenne quadratique temporelle:  $\langle X^2(t) \rangle$
- 4- Variance ou moyenne quadratique temporelle centrée:  $\langle X_0^2(t) \rangle$
- 5- Moyenne du processus centré :  $\langle X_0(t) \rangle$
- 1- Moyenne temporelle d'ordre 1 :  $\langle X(t) \rangle$

La moyenne temporelle d'ordre 1 est définie par :

$$\langle X(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt$$

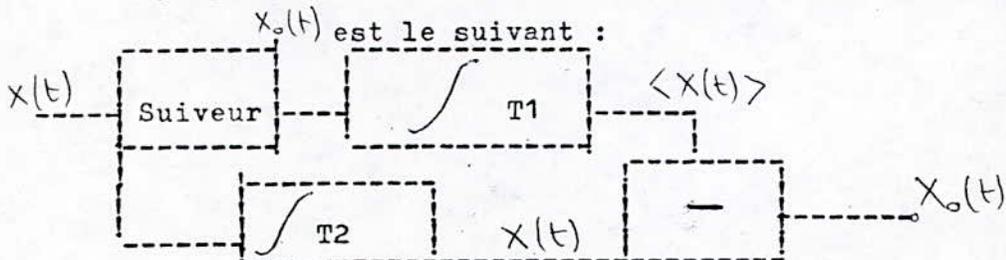
Le synoptique du dispositif lorsqu'il est commuté sur la mesure de  $\langle X(t) \rangle$  est le suivant :



Le suiveur adapte l'intégrateur dont la constante de temps est réglable avec la source d'entrée. L'intégrateur T délivre à sa sortie la moyenne temporelle d'ordre 1 :  $\langle X(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt$

2°/Centrage du processus :  $X_0(t) = X(t) - \langle X(t) \rangle$  :

Le synoptique du dispositif lorsqu'il est commuté sur la mesure de

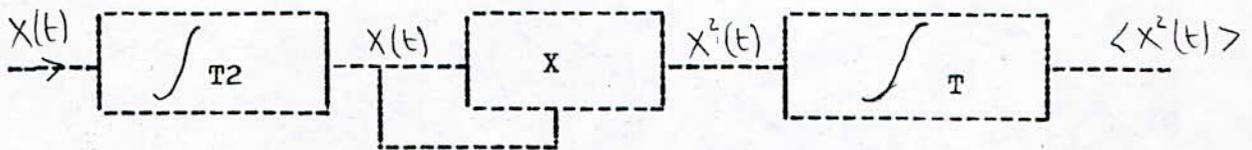


L'intégrateur T2 a pour rôle de filtrer le signal radiophonique  $X(t)$  des perturbations s'il en existe. Le soustracteur recevant à ces entrées les signaux :  $\langle X(t) \rangle$  et  $X(t)$  délivre donc le signal :

$$X_o(t) = X(t) - \langle X(t) \rangle$$

3°/- Moyenne quadratique temporelle :

Le synoptique du dispositif lorsqu'il est commuté sur la mesure de la moyenne quadratique temporelle  $\langle X^2(t) \rangle$  est le suivant :



A la sortie de l'intégrateur,  $X(t)$  filtré de quelques bruits se présente aux deux entrées d'un multiplieur qui délivre à sa sortie le signal :

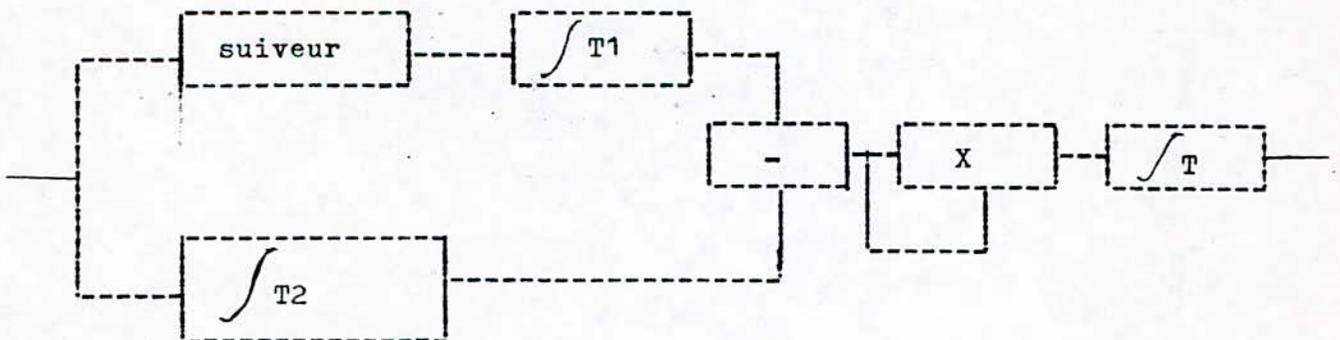
$X^2(t)$  qui se trouve alors à l'entrée d'un intégrateur T qui délivre en sortie le signal :  $\langle X^2(t) \rangle = \frac{1}{T} \int X^2(t) dt$

4°/- Variance :  $\sigma^2 = \langle X_o^2(t) \rangle$

Le signal  $X_o(t)$  se présente aux deux entrées d'un multiplieur délivrant à sa sortie un signal  $X_o^2(t)$  qui est intégré par un intégrateur dont la sortie est la moyenne temporelle

$$\sigma^2 = \langle X_o^2(t) \rangle : \text{variance}$$

Le synoptique du dispositif dans ce cas est le suivant :



5°/- Le signal  $X_o(t)$  se présente à l'entrée d'un intégrateur dont la sortie délivre

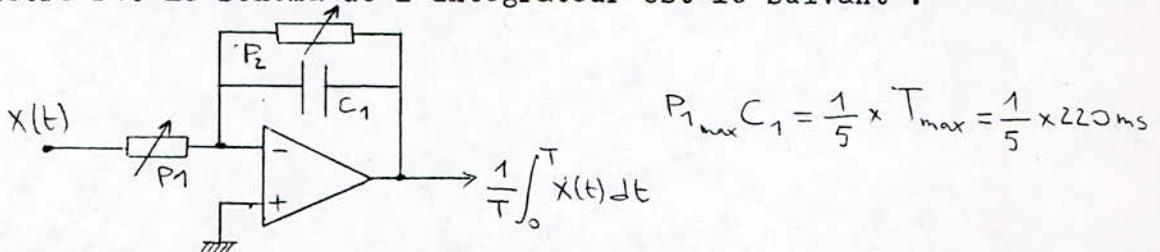
5 - 3 -

ANALYSE DU SCHEMA ELECTRONIQUEINTEGRATEURS :

Le choix du temps d'intégration est conditionné par les propriétés du signal acoustique.

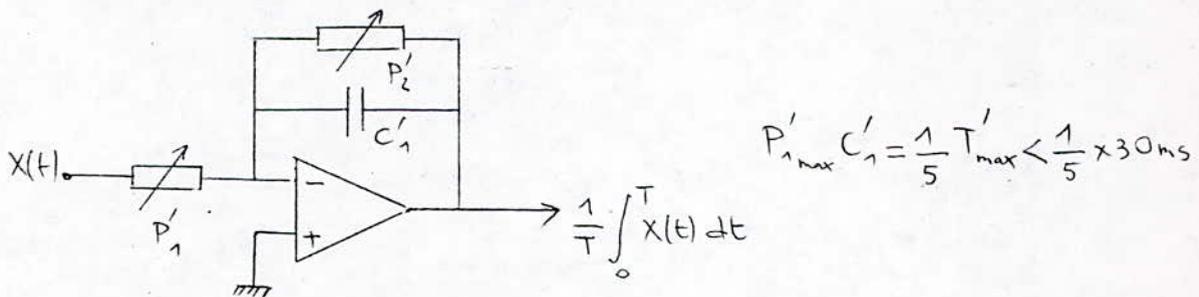
Le plus faible temps d'analyse où un signal acoustique est supposé stationnaire est de 30 ms. Pour cette raison, le temps d'intégration ne doit pas être inférieur à la valeur de 30 ms

- Les intégrateurs T1 et T ont des temps d'intégration variant de 30ms à 220 ms. La variation du temps d'intégration se fait par le réglage du potentiomètre P1. Le schéma de l'intégrateur est le suivant :



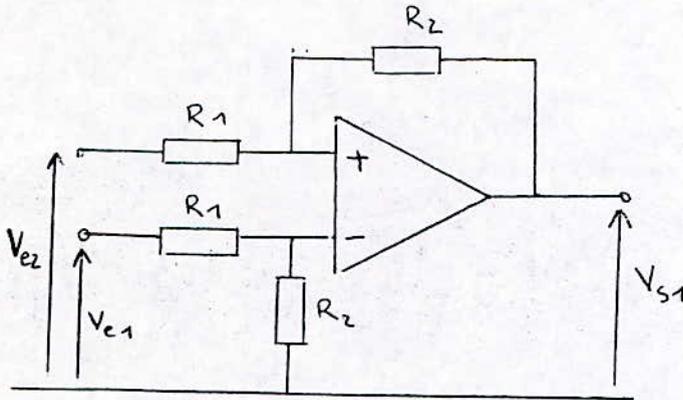
Le réglage de P2 permet l'amplification du signal intégré.

- L'intégrateur T2 est un filtre pour les bruits qui altèrent le signal acoustique. Le temps d'intégration de T2 doit être très faible (inférieur à 30 ms). Le schéma de l'intégrateur T2 est le suivant :



SOUSTRACTEUR :

C'est un montage qui permet de réaliser la différence des tensions appliquées  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$



En négligeant les influences du gain interne non infini et des impédances  $Z_i$ ,  $Z_{cm}$  et  $Z_o$ , il est possible d'écrire :

$$A = \frac{V_{s1}}{V_{e2} - V_{e1}} = \frac{R_2}{R_1}$$

En effet 
$$V_{s1} = V_{e1} \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) - V_{e2} \frac{R_2}{R_1}$$

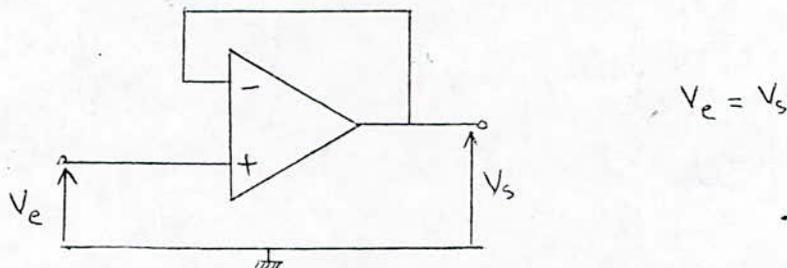
$$= V_{e1} \frac{R_2}{R_1} - V_{e2} \frac{R_2}{R_1}$$

- Comme  $R_1 = R_2$

$$\Rightarrow V_{s1} = V_{e1} - V_{e2}$$

### - CIRCUIT SUIVEUR DE TENSION

On utilise un ampli opérationnel comme suiveur de tension de précision.



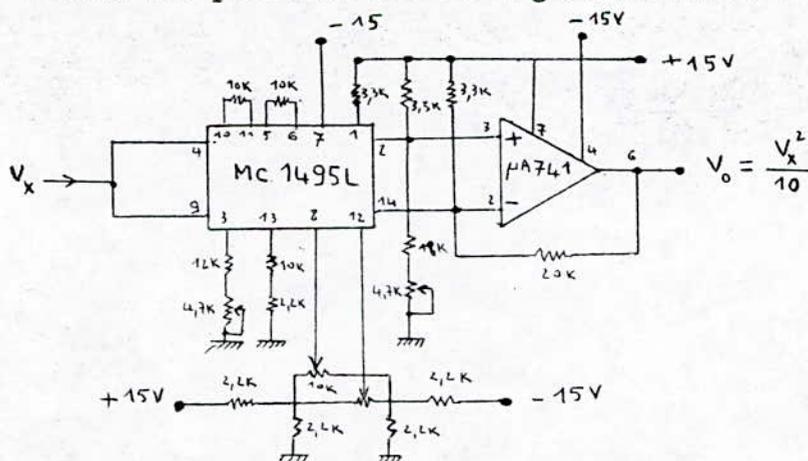
Dans ce montage la borne + est reliée directement au signal d'entrée tandis que sa borne négative est reliée directement à la sortie, ce qui produit une contre réaction continue de 100%, réalisant ainsi un amplificateur non inverseur à courant continu de gain unité.

Ce montage a pour avantage d'avoir une très grande impédance d'entrée ( quelques centaines de  $M\Omega$  ) et une très faible impédance de sortie ( quelques ohms ).

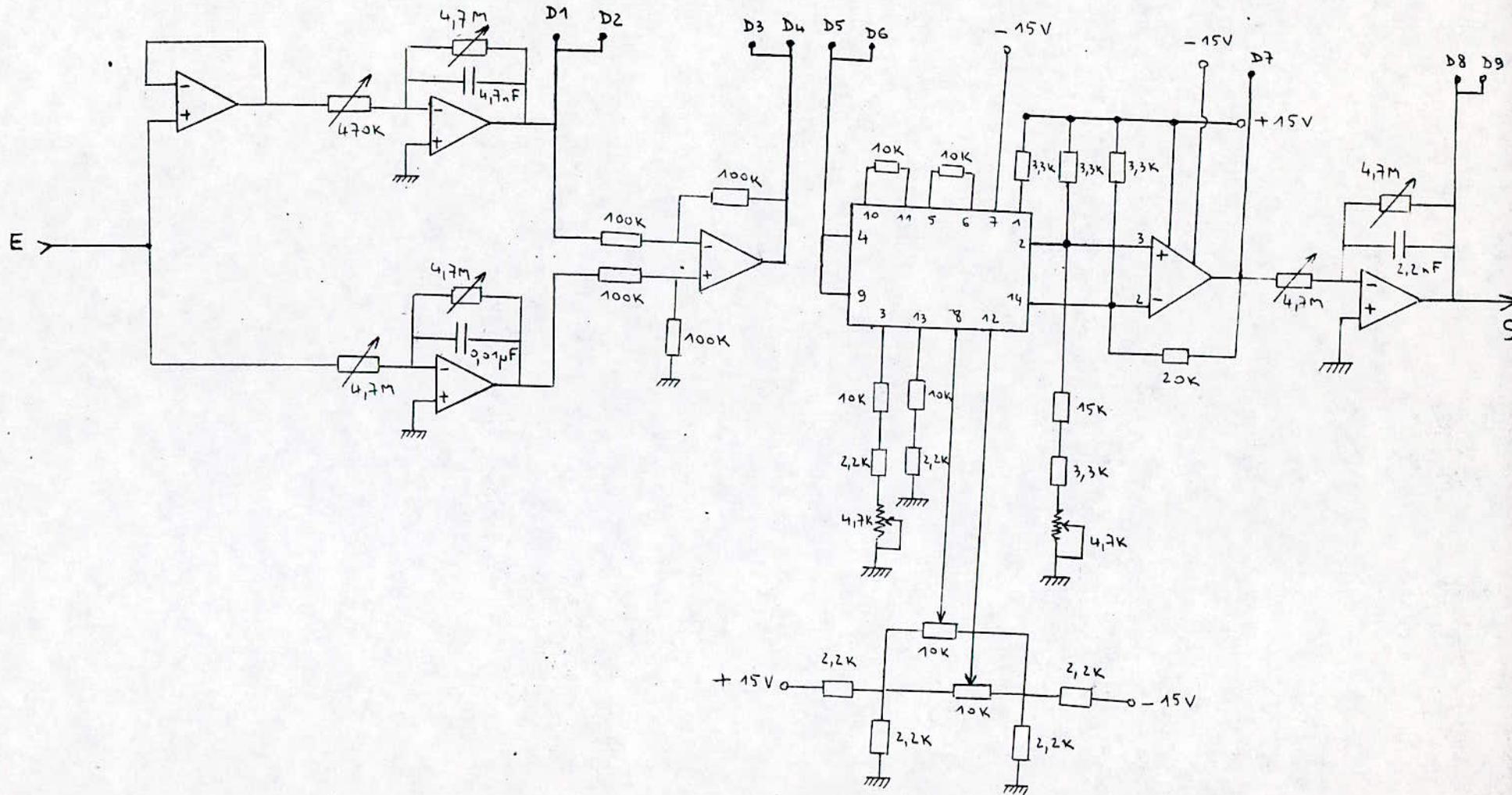
Dans la pratique, la sortie du circuit va suivre l'entrée depuis quelques  $mV$  jusqu'à 1 à 2 volts de la tension d'alimentation. On peut ramener la limite inférieure à quelques  $\mu V$  en ajoutant au montage le potentiomètre qui annule la tension d'offset.

### MULTIPLIEUR :

Le circuit multiplieur est constitué par un circuit intégré : MC 1495L dont le schéma est présenté sur la figure suivante :



# Schéma Electronique



5.4. Mesures :

Parthemer



L. H. P.

CONCLUSION :

Les mesures effectuées sont des estimations des moyennes d'ordre 1 et 2 d'un signal audible.

On a choisi des constantes de temps d'intégration comprises entre 30 ms et 220 ms du fait que la durée minimale d'un son est de 30 ms et son durée maximale de 800 ms.

Remarquons que ce dispositif présente également l'avantage de centrer le processus  $(X_0(t), X_0^2(t))$  .

CONCLUSION GENERALE

Le travail qu'on a effectué constitue une contribution au développement du Laboratoire d'acoustique.

Le dispositif qu'on a conçu présente des performances acceptables et que notre travail a abouti aux résultats escomptés.

Notre dispositif n'est utilisable que pour la mesure des caractéristiques d'un signal aléatoire de basse fréquence, vu que les circuits intégrés qu'on a utilisés ont une vitesse de propagation assez faible.

Ce problème serait écarté avec l'utilisation de circuits intégrés du type T.T.L. L.S. qui permettront d'élargir la gamme des signaux aléatoires à étudier (signaux HF).

Cette réalisation nous a permis de voir tous les problèmes que pose une réalisation pratique.

L'extension des possibilités de mesure de notre dispositif est très simple, il suffit de relier les deux maquettes par un cavalier pour pouvoir estimer d'autres caractéristiques importantes qui sont :

- la valeur moyenne des dépassements - la variance de ces dépassements.
- la densité de probabilité du signal centré ... etc...

Notre réalisation aurait été plus complète si on avait à notre portée un corrélateur et un générateur de bruit.

Vu l'importance de ces appareils, nous espérons que dans les semestres à venir, d'autres étudiants viendront compléter notre travail, de même que l'utilisation d'un système intelligent (micro) pour une mesure systématique, et un stockage des caractéristiques voulues, est souhaitable.

A N N E X E S

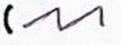
A N N E X E 1 : Mise au point et principe  
d'utilisation du dispositif de mesure.

A N N E X E 2 : Circuits imprimés.

An1 : Mise au point et principe d'utilisation :

1- Mesure de la densité de probabilité  $w(X)$  et la fonction de répartition  $F(x)$ .

La mise au point du montage consiste à suivre les étapes suivantes :

- introduire un signal sinusoïdal de basse fréquence à l'entrée du montage
- Appliquer les 2 sondes de l'oscilloscope aux bornes (1) des résistances de  $220\Omega$ .
- Régler  $P_1$  et  $P_2$  de façon à ce que les courbes obtenues soient centrées .
- Introduire la sortie swantorth de l'oscilloscope à l'entrée (  ).
- Régler le potentiomètre  $P_3$  et la résistance ajustable  $AJ_3$  afin que " les signaux visualisés dans l'oscilloscope " soient confondus.
- En lever la sortie du Générateur BF de l'entrée du montage.
- Régler  $AJ_2$  de façon à ce que l'amplitude du signal en dent de scie (délivré par la sortie swantuth de l'oscillo) soit égale à  $2,8V$
- Appliquer les 2 sondes de l'oscilloscope l'une à la douille ( $D_2$ ) et l'autre à la douille ( $D_1$ ) (sortie du soustracteur)
- Régler le potentiomètre  $P_1$  pour que l'on ait :

(sortie du)  $D_1(2)$

Trigger

(Sortie du)  $D_1(4)$

soustracteur

- Enlever le cavalier de la douille ( $D_4$ ) s'il s'y trouve et appliquer à cette douille un signal carré de très basse fréquence (5 ou 6 hz).
- Régler le potentiomètre  $P_4$  et l'ajustable  $AJ_5$  de manière à ce que le signal de sortie soit en dent de scie.

A ce niveau le réglage du dispositif est terminé ne plus toucher alors :

$AJ_3$  ,  $AJ_5$  ,  $P_1$  ,  $P_3$  et  $P_4$ .

./..

- Principe d'utilisation :

1- Visualisation de la densité de probabilité des niveaux, fonction de répartition, densité de probabilité et fonction de répartition des dépassement.

- Introduire le signal à étudier à l'entrée du montage

- Relier la sortie swantouth de l'oscilloscope à l'entrée (M) du montage.

a / mesure de la densité de probabilité des niveaux :

- mettre le cavalier entre les douilles ( $D_4$ ) et ( $D_1$ )

- Régler l'ajustable  $A_{J_1}$  de sorte que le signal varie autour de 1,35 V.

b / mesure de la fonction de répartition :

- mettre le cavalier entre les douilles ( $D_1'$ ) et ( $D_4$ ) .

- Le réglage de  $A_{J_1}$  ayant été fait, cette mesure ne nécessite réglage.

c / mesure de la densité de probabilité des maximums :

- suivre les mêmes instructions de a/

- Régler l'ajustable  $A_{J_2}$  de manière que le signal en dent de scie. une amplitude de 1,4 V.

d / mesure de la densité de probabilité des minimums :

- même réglage que pour a/.

- régler le potentiomètre  $P_2$  de façon à ce que le voltmètre branché à la douille ( $D_0$ ) indique une tension de 1,4 V.

./...

2- Affichage de la durée d'un dépassement, la durée de l'intervalle entre 2 dépassements, durée moyenne des dépassements et de l'intervalle les séparant :

- Retirer la sortie swantouth de l'entrée (M) du montage.

a / Affichage de la durée d'un dépassement :

- Mettre un cavalier entre ( $D_2$ ) et ( $D_2'$ ) et un autre entre ( $D_5$ ) et ( $D_5'$ ).

- Choisir un temps d'horloge pour lequel il n'y ait pas de dépassement des afficheurs.

b / Affichage de la durée de l'intervalle entre 2 dépassements :

mettre un cavalier entre ( $D_5$ ) et ( $D_5'$ ).

- choisir un temps d'horloge optimal pour lequel il n'ya pas de dépassement des afficheurs.

c / Affichage de la durée moyenne des dépassements :

- choisir un temps d'analyse et un temps d'horloge pour les quels il n'ya pas de dépassement des afficheurs.

/ Le choix du temps d'analyse se fait par le réglage de l'ajustable  $A_{J_1}$ .  
mette un cavalier entre  $D_2$  et  $D_2'$ .

d / Affichage de la durée moyenne des intervalles entre les dépassements :

Mêmes observations que pour (c).

./....

- Mise au point et principe d'utilisation de la maquette (2) :

a/ Réglage de la constante de l'intégrateur  $T_1$  à 30ms.

- introduire un signal carré de basse fréquence ( 30 hz ) et d'amplitude 2V à l'entrée de la maquette.

- Régler  $A_{J_1}$  et  $A_{J_2}$  de façon à ce que l'on ait des dents de scie à la borne (2) de  $C_1$ .

b/ réglage de la constante de temps de l'intégrateur  $T_2$  à 220 ms :

- introduire un signal carré de très basse fréquence (5 hz) et d'amplitude 2V à l'entrée.

- Régler  $A_{J_9}$  et  $A_{J_{10}}$  de façon à avoir des dents de scie à la sortie du montage.

c/ Réglage du multiplieur :

- Appliquer un signal sinusoïdal de 1 KHz et de 5 volts crête à crête

- Relier la sortie à l'analyseur de spectre.

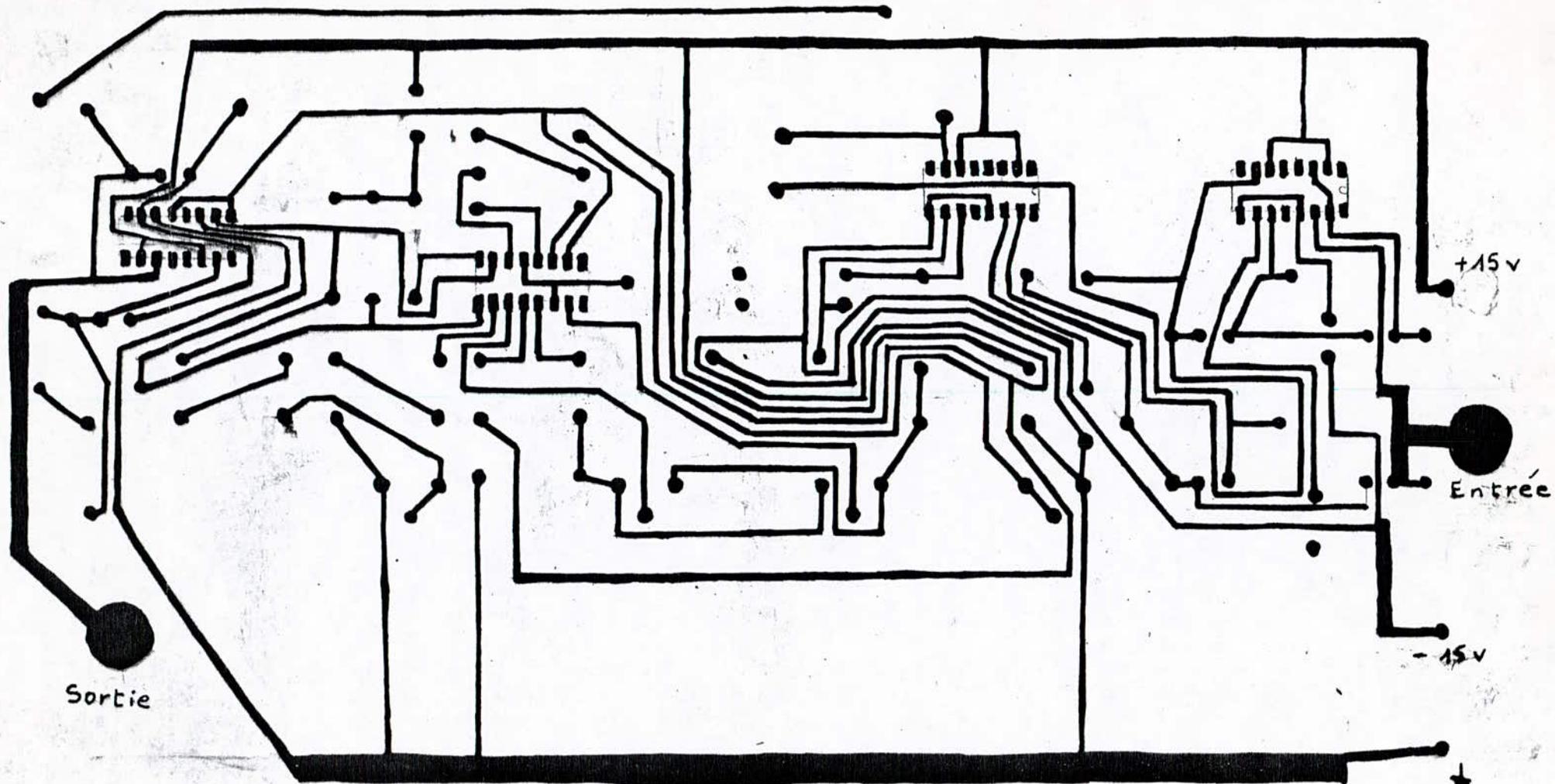
- Régler l'ajustable  $A_{J_7}$  afin d'augmenter les niveaux correspondant à la fréquence de 2 KHz.

- Régler l'ajustable  $A_{J_5}$  afin d'atténuer le niveau correspondant à 1 KHz.

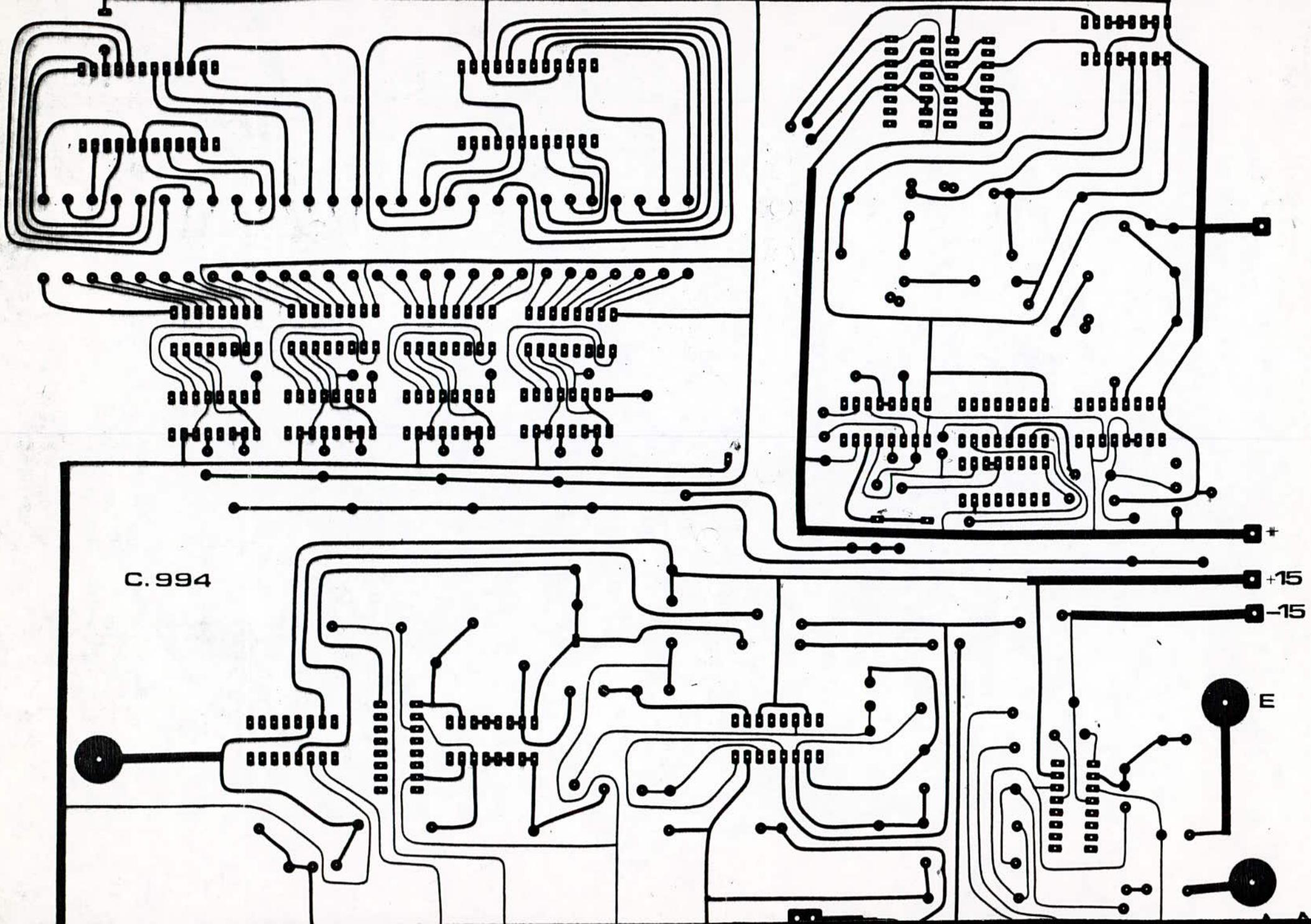
- débrancher la sortie du montage de l'entrée de l'analyseur.

- mettre à la masse la douille ( $D_3$ ) (entrée du multiplieur) et régler l'ajustable  $A_{J_8}$  afin qu'à la sortie on ait 0V.

- Appliquer à la douille ( $D_3$ ) une tension continue de 1,0V et  $A_{J_5}$  de façon à obtenir à la douille (D) une tension de 0,100 volts.



PC449



C. 994

+15

-15

E

## B I B L I O G R A P H I E

-----ooo0ooo-----

- B. LEVINE : Fondements théoriques de la radiotechnique statistique, Tome 1. Ed. MER.
- AL. SPATARU : Théorie de la transmission de l'information. Tome- 1.
- J. AUVRAY : Electronique des signaux échantillonnés et numériques.
- F. HURE : Traité expérimental de logique digitale.
- R.M.MARSTON : 110 études pratiques de l'amplificateur opérationnel.
- Electronique pratique n, 49 Mai 1982.
- Haut parleur n, 1679 Avril 1982.

-----ooo0ooo-----