

31/87

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRONIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRONIQUE

Sujet :

CONCEPTION ET REALISATION
D'UN DISPOSITIF DE SYNCHRONISATION
POUR LA TRANSMISSION NUMERIQUE
AVEC ZONE MORTE

Proposé par :
M. GORALSKI

Etudié par :
BOUKELLOUL A. El-Amine
ENGLIZ Nour-Eddine

Dirigé par :
M. GORALSKI

PROMOTION : Juin 1987

E. N. P. 10, avenue Hacène Badi, El-Harrach - ALGER

DEDICACES

J'ai dédié ce modeste travail à la mémoire de mon père, à ma mère,
à mes frères, mes sœurs, mes belles sœurs, à mes neveux et nièces
sans oublier CHAHRA, à toute la famille et à mes amis.

Ahmed-el-Amine

-A ma mère

-A mes sœurs

-A mes amis et mes frères de l'Islam.

Nour-Eddine

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier très vivement notre promoteur, Monsieur GORALSKI qui, par son aide morale et ses conseils judicieux, a su nous guider dans notre travail.

Nous tenons à remercier, aussi, Monsieur BENGHERABI brahim pour sa gentillesse, d'abord, et pour sa grande patience envers tous ceux qui l'ont fait travailler durant tout le projet et avec le sourire en plus.

Nos remerciements s'adressent également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce sujet.

- INTRODUCTION	1
- CHAPITRE I : --GENERALITE	3
--1--SYSTEME GENERALISE DE COMMUNICATION	5
--2--NATURE DES INFORMATIONS A ECHANGER ENTRE 9	
EMETTEUR - RECEPTEUR	
--3--TRANSMISSION NUMERIQUE	14
--4--SOURCES ET COLLECTEURS DE DONNEES	23
CANAL	
--BASE DE TEMPS	
--5--MODE ET SENS DE TRANSMISSION	25
--6--BRUITS ET DISTORSIONS	28
--7--SYNCHRONISATION DES SIGNAUX	31
--8--ETUDE MATHEMATIQUE DE LA TRANSMISSION DES 40	
DONNEES	
- CHAPITRE II : -- ETUDE ET REALISATION DU DISPOSITIF DE	44
SYNCHRONISATION AVEC ZONE MORTE	
--1--DESCRIPTION DES ELEMENTS UTILISES	45
--2--FONCTIONNEMENT DU SYSTEME	51
- CONCLUSION	61
- BIBLIOGRAPHIE	
- LEXIQUE	
- ANNEXE	

INTRODUCTION

Actuellement, la numérisation de la communication augmente chaque année, et plus la numérisation de l'information augmente et plus le réseau de transmission devient complexe.

La communication numérique est entrée dans tous les domaines liés à l'information, ainsi sont nés le teletexte, vidéotexte, la télématique etc...

L'émission, l'information (codée) est envoyée sur les lignes de transmission qui sans être parfaite peuvent altérer le signal utile en ajoutant les bruits provenant des perturbations extérieures.

Le récepteur, qui reçoit des données numériques venant de l'émetteur comporte une partie très importante souvent mal connue et peu traitée dans les livres sur les traitements de l'information en général. C'est la partie ayant trait à la synchronisation.

Si il n'y a pas de synchronisation, il n'y a pas de communication. Les bases de temps de l'émetteur et du récepteur doivent coïncider ainsi, les caractères ou les messages peuvent être facilement identifiés.

L'objet de la présente thèse est la conception et la réalisation d'un dispositif qui permet la synchronisation de la base de temps du récepteur avec celle de l'émetteur. Une synchronisation avec zone

morte dont on expliquera le fonctionnement après;



7)_u cours de cette étude, dans la première partie on exposera au préalable, des notions élémentaires de la théorie moderne de l'information dans laquelle on énumérera les différents cas de synchronisation des signaux numériques. On parlera aussi sur les bruits, les distorsions qui altèrent l'information. On fera une étude mathématique élémentaire sur la transmission des données en général.

7 nfin, dans la seconde partie, on expliquera les différentes parties de la maquette à réaliser, cette maquette comporte deux grandes parties, partie émission, partie réception. On achèvera notre travail par la mise au point et les tests de la maquette. On trouvera, à la fin, un lexique anglais-français et en annexe, quelques formules sur le traitement du signal.

§§§§ - CHAPITRE I - §§§§

((- GENERALITES -

Une personne qui parle ou une matière dans un état de transformation peuvent être des sources de données, donc des informations très utiles pour celui qui s'y intéresse. Ces informations sont à l'état brut, inexploitable pour le moment, aussi pour exploiter correctement une information on doit la transformer, la coder et l'adapter au canal pour l'acheminer vers le receptr (centre de calcul, ou une banque de données etc...)

La transmission de l'information suppose des moyens de communications appropriés. La structure d'un tel système de communications se compose de trois parties :

- l'émetteur : ensemble des appareils localisés près de la source
- le receptr : ensemble des appareils proche de l'utilisateur
- le canal de transmission : système assurant la liaison entre émetteur et receptr .

Le domaine d'emploi de la transmission de données est très vaste nous citerons quelques exemples :

- Réservation centralisée des places pour les compagnies de transport aérien.
- Interrogation à distance des centres de calcul.
- Calculs comptables de banques et de compagnies d'assurance.

Les systèmes numériques constituent un nouveau type de matériels particulièrement adaptés à la transmission de l'information. La numérisation et la transmission logique de l'information offrent un

.../...

uncertainnombre d'avantages qui sont:

- une proportion très importante d'équipement d'extrémité est constituée à base de semi-conducteurs et de circuits intégrés.

Cette constitution permet une économie très importante par rapport au matériel analogique.

- Le faible coût de ces équipements permet d'envisager l'emploi économique de multiplexeurs numériques sur les courtes distances.

- Les signaux acheminés sur le support de transmission sont formés d'une suite d'impulsions logiques, ce qui leur confère une résistance élevée aux bruits, aux distorsions et à la diaphonie par rapport aux signaux analogiques, de plus ces impulsions sont régénérées dans des stations relais ce qui permet d'augmenter la qualité de la transmission

- Le système numérique de transmission exigent moins de puissance que les systèmes analogiques, il suffira, en effet, de détecter la présence de l'impulsion pour connaître l'information.

- L'adaptation des signaux numériques aux lignes de transmissions classiques celles des lignes téléphoniques (par exp).

1-SYSTEME GENERALISÉ DE COMMUNICATION : (FIG. 1)

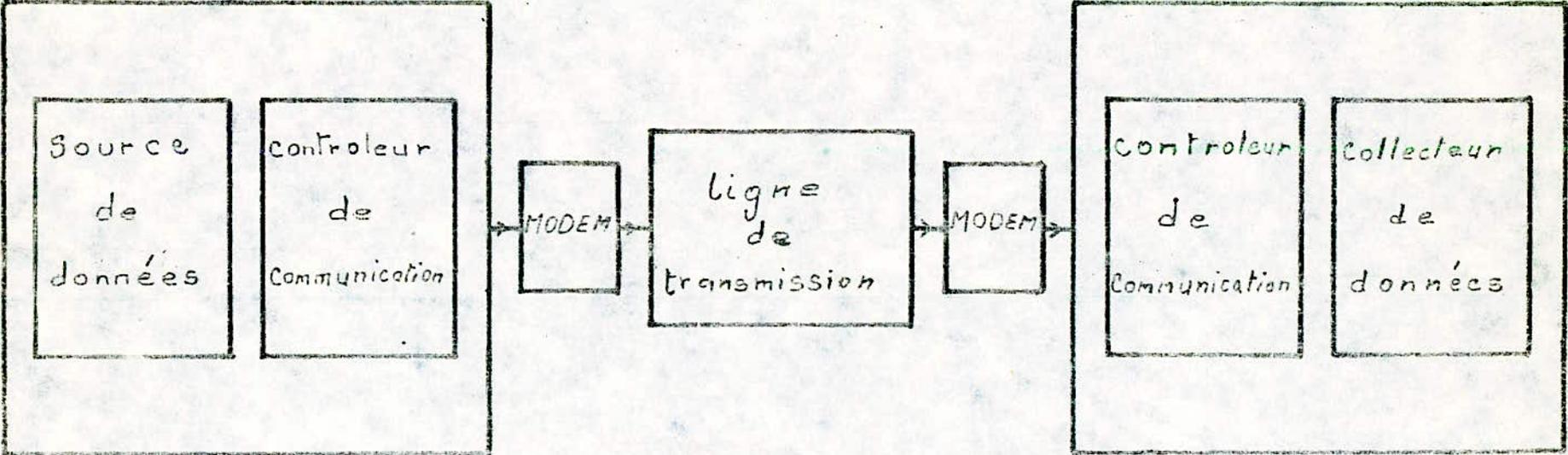
Le terme de réseau de télécommunication est l'ensemble des moyens mis en oeuvre à des usagers distants d'échanger entre -eux des informations avec un délai aussi court que possible.

Ce réseau surtout développé pour la transmission des signaux directement utilisables pour nos sens comme les signaux sonores qui sont de nature analogique. on a donc développé des procédés d'adaptation des moyens de télécommunication aux signaux numériques, constituant en une conversion analogique binaire, le plus souvent par modulation d'une onde sinusoïdale après une transformation préalable en un autre signal numérique (codage en bande de base). Cette fonction de conversion est assurée par un équipement intercalé entre la ligne de transmission et l'équipement terminal de traitement de données, de tels équipements de conversion sont appelés MODEM est sont placés à chaque extrémité d'une ligne de transmission pour constituer un circuit de données capable d'acheminer des signaux binaires, enfin les multiplexeurs permettent de juxtaposer plusieurs circuits de données sur un même support de transmission.

La figure () représente un schéma synoptique général d'un système de communication :

- Le premier élément de ce système est une source de données, l'émetteur vient ensuite, celui-ci adapte les signaux numériques à la ligne de transmission, ensuite on trouve le canal c'est le moyen utilisé pour transmettre le signal de l'émetteur au récepteur . Le canal peut-être le siège de bruits provenant de perturbation extérieures et peut apporter une distorsion plus ou moins grande.

Transmission des données de A vers B



terminal source A

terminal collecteur B

fig1

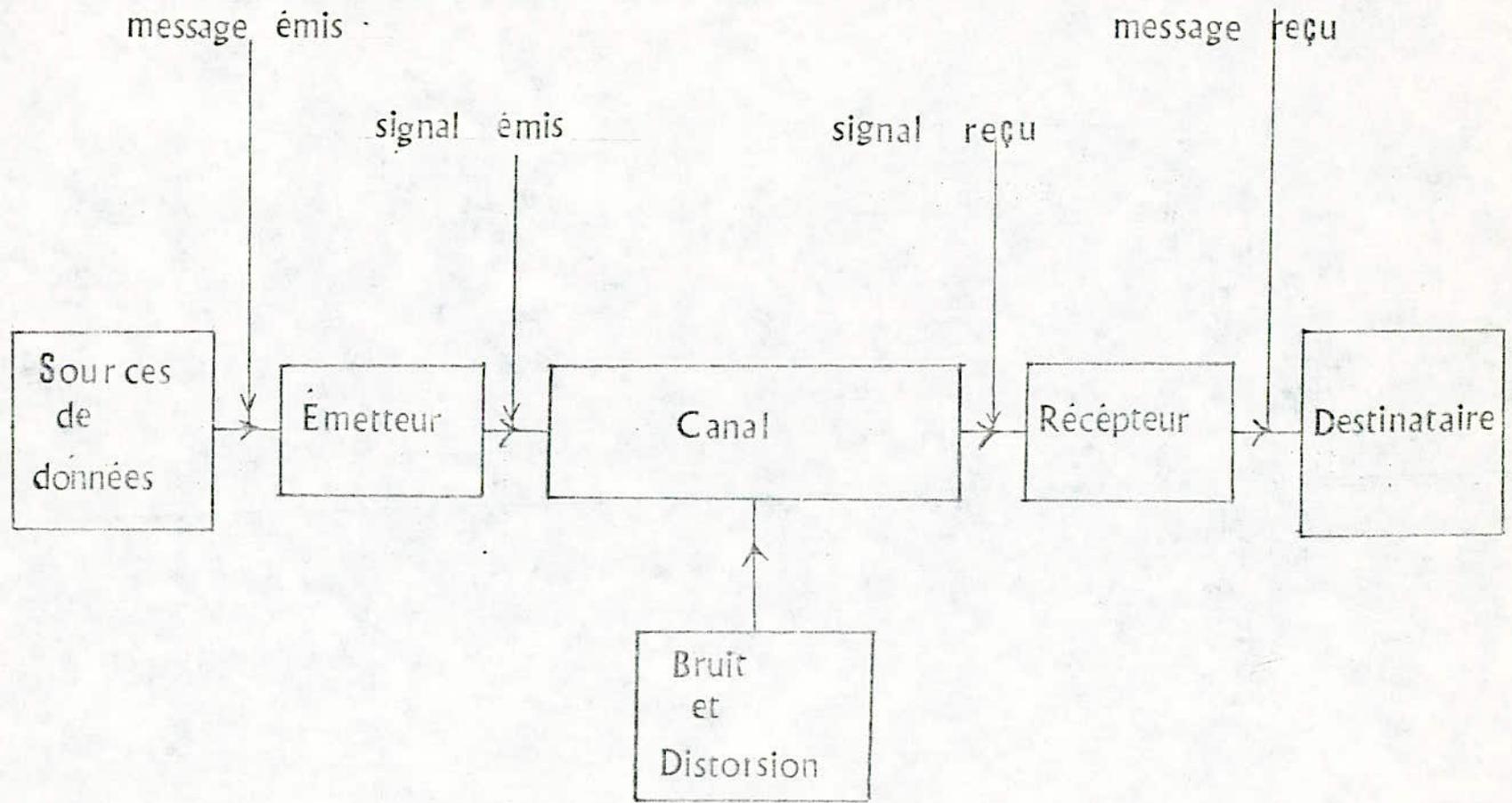


fig2

En principe il est possible de différencier le bruit de la distorsion en sachant que la distorsion est une opération fixe appliquée au signal, alors que le bruit vient de perturbation aléatoire et imprévisible. Toute une partie de l'effet de la distorsion peut-être corrigée en appliquant l'opération inverse mais une perturbation produite par le bruit ne peut être pas toujours être supprimée car le signal ne subit pas toujours la même modification durant la transmission. En fait la gamme des perturbations s'étend du bruit à la distorsion. L'entrée du canal est le signal qu'on appelle signal émis la sortie du canal est le signal reçu dont on suppose qu'il dans certaine mesure, une représentation fidèle du signal émis le récepteur vient canal. Le récepteur traite le signal reçu et essaye d'en extraire le message original, c'est une opération effectuée à l'émission. La qualité du récepteur doit être excellente pour extraire le signal sans bruit et corriger la distorsion due au canal le dernier maillon de la chaîne de transmission peut-être un écran ou une banque de données etc...

2- NATURE DES INFORMATIONS A ECHANGER ENTRE EMETTEUR ET RECEPTEUR :

Actuellement, la nature de l'information à échanger est surtout numérique, l'information circule entre équipements informatiques qui fonctionnent dans le système binaire plus maniable par rapport aux autres systèmes (décimal, octal etc...), le système binaire a deux états logiques "0" ou "1" l'information, pour qu'elle soit acheminée doit être mise sous forme de symboles. La signification précise de ces symboles est fondamentale. Ces symboles sont des conventions que le monde s'est mis d'accord pour représenter l'information. La traduction de l'information devant nécessiter une opération "physique" à partir d'une table de correspondance qui définit les significations de symboles. Toute information émise ou reçue par un équipement de traitement de données est appelée TERMINAL.

Dans ces équipements on distingue en fait deux parties qui réalisent des fonctions différentes : la machine de traitement qui peut être source ou collecteur de données et le contrôleur des communications qui regroupe les organes chargés des fonctions de communication. Ce dernier réalise, en particulier la protection contre les erreurs et introduit les éléments (caractères) de service permettant le dialogue entre les deux terminaux. L'équipement de terminaison du circuit de données est l'organe chargé d'adapter le signal électrique délivré par le terminal au support de transmission. Cette fonction est réalisée le plus souvent par modulation- démodulation d'un signal auxiliaire porteur appelé communément "MODEM".

Dans l'échange des informations entre deux terminaux A et B il importe que les symboles puissent être lus et interprétés aisément par les

circuits électroniques. Ces symboles sont représentés par une combinaison des états logiques "0" et "1".

Ces états sont physiquement réalisables par circuit ouvert qui représente l'état "0" et circuit fermé représente l'état logique "1" il s'agit alors de ramener les informations complexes que nous voulons échanger à un ensemble d'informations binaires élémentaires à l'aide de technique de codage.

DEFINITION : Un code est une loi de correspondance entre les informations à représenter et les configurations binaires associés, chaque caractère correspond à une unique configuration binaire.

Le codage est l'opération matérielle qui réalise la correspondance.

Le transcodage est le passage d'un code à un autre.

CARACTERES, MOTS, BLOCS ET MESSAGES.

Dans le domaine de traitement comme dans beaucoup d'autre, le problème du vocabulaire se pose avec une certaine acuité.

Définissons ici quelques termes souvent associés et parfois confondus avec celui de caractères.

- LE MOT : est un concept essentiellement informatique : c'est un ensemble d'éléments binaires traité comme un tout dans l'ordinateur.

En fait cette entité admet elle-même plusieurs acceptations selon qu'on envisage l'aspect sémantique ou l'aspect technologique.

Le mot technologique ou mot mémoire est le groupe de bits traité en une opération élémentaire par les circuits de l'ordinateur.

Le mot sémantique est un groupement de bits représentant instruction.

- LE TERME BLOC : désigne un ensemble de bits, de caractères, de mots ce terme est utilisé dans le langage informatique pour le transfert de données entre la mémoire et une unité d'échange (terminal) pour notre part il désigne l'entité constituée par le découpage de l'information à transmettre en vue de sa protection contre les erreurs. Le bloc est donc le quantum d'information traité comme un tout par le système de protection contre les erreurs, il est validé ou refusé en entier par le contrôleur de communication.

- LE MESSAGE : est une notion totalement liée à l'application. C'est l'ensemble de données échangées nécessaire à la mise en oeuvre d'un traitement. Il doit donc comprendre une désignation explicite de l'opération à effectuer la mise à disposition des opérandes non encore disponibles, les éventuelles références a des fichiers déjà constitués et stockés en mémoire etc...

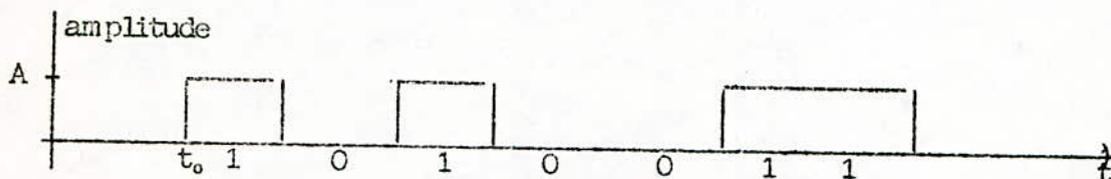
Un message peut comprendre plusieurs blocs et sa longueur est essentiellement variable.

-REPRESENTATION ELECTRIQUES DES NOMBRES BINAIRES :

Dans cette partie nous énumérons brièvement quelques représentations des nombres binaires par des impulsions de courant continu, pour plus de détail voir ref.4 page 5 .

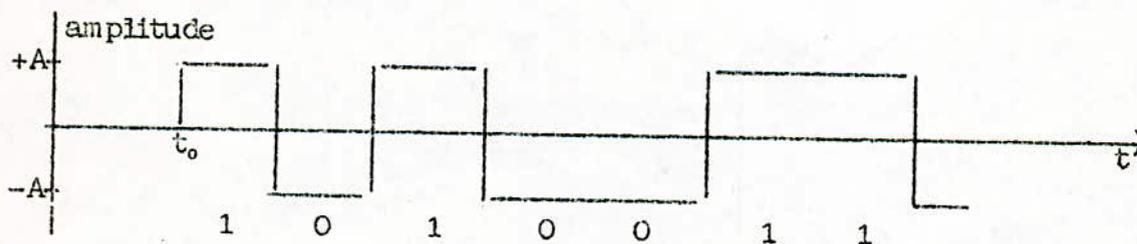
-Les impulsions TOUT OU RIEN :

C'est la plus simple représentation, le nombre 1 est représenté par une tension de valeur A, le nombre 0 est par une tension nulle. La durée des impulsions est T, ce qui correspond aux temps de transmission d'un moment élémentaire.



-Les impulsions POLAIRES :

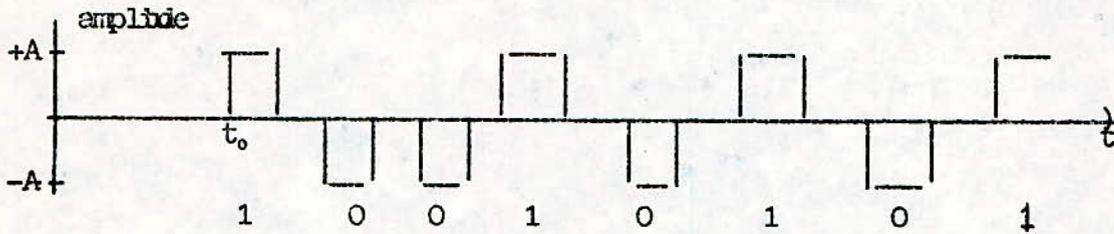
Dans ce cas les 1 sont représentés par une tension positive, les 0 par une tension négative.



-Les signaux avec RETOUR A ZERO (RZ) :

Le défaut des représentations indiquées ci-dessus, provient de ce qu'une variation n'a lieu si un signal est répété. Ceci peut être nuisible lorsque l'on cherche à la réception à se synchroniser sur les signaux reçus, car une succession de digits identiques peut entraîner une perte

de synchronisation. L'exemple ci-dessous se rapporte à un signal dit "auto-synchronisé", en effet au milieu de chaque digit on a une transition. Le moment élémentaire dure en réalité la moitié du temps nécessaire pour transmettre un digit.



3-TRANSMISSION NUMERIQUE DES DONNEES (fig.3)

L'échange de messages de données entre un terminal A et un terminal B, éloignés géographiquement l'un de l'autre, est réalisé à l'aide d'équipements spéciaux, par l'intermédiaire du réseau de télécommunications.

DANS CETTE PARTIE, nous parlerons de l'émetteur, récepteur, des multiplexeurs, les différents procédés de modulation. Nous verrons le cas où les données ne sont pas modulées et enfin nous citerons les différents supports de transmission.

Tout d'abord, nous donnons quelques définitions relatives aux transmissions numériques.

DEBIT BINAIRE : Le débit binaire d'une voie de données est le nombre maximum de symboles binaires d_1 transmis par seconde sur cette voie. Cette définition est surtout utilisable dans le cas d'une transmission en mode synchrone:

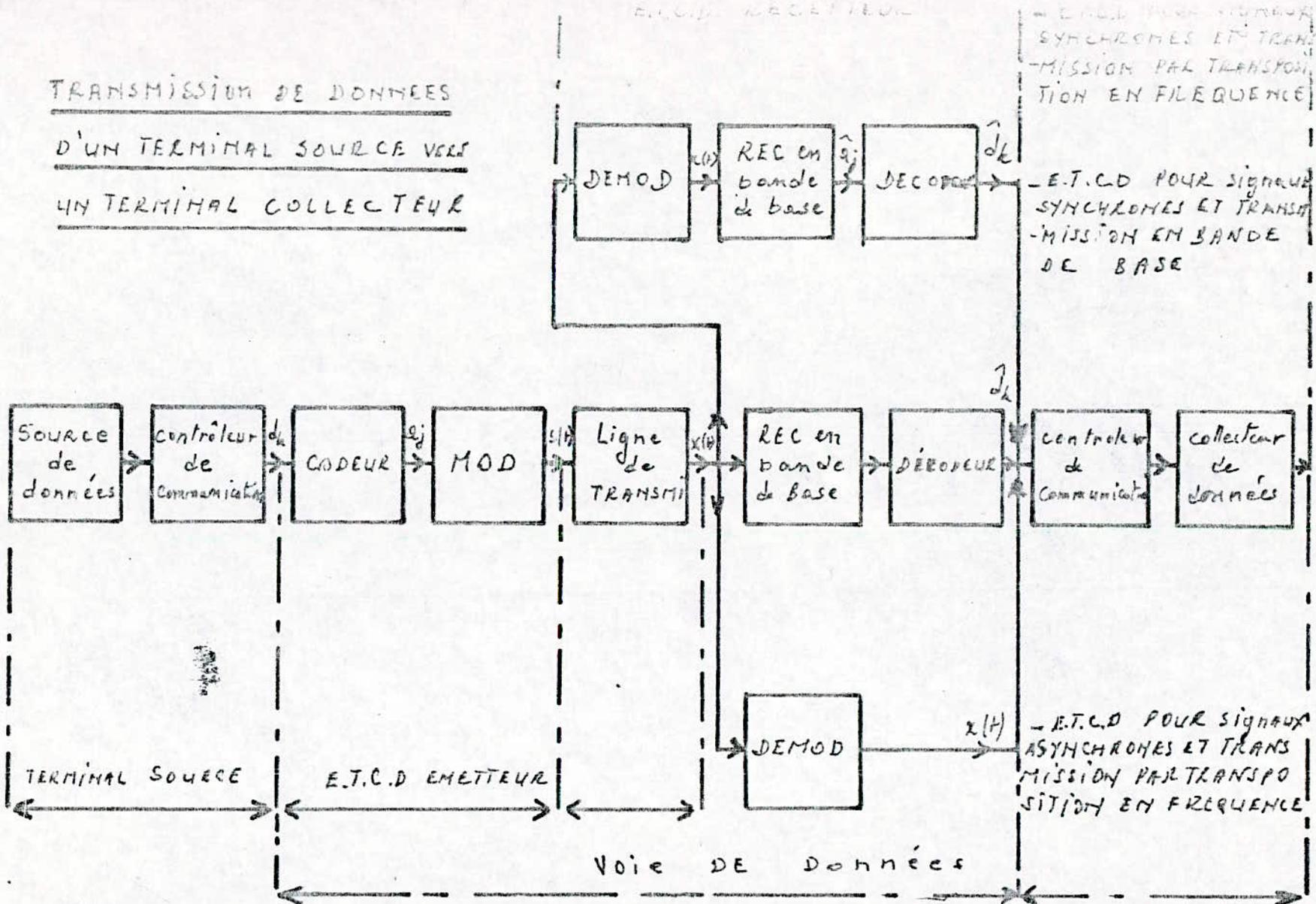
$$D = 1/T \text{ (bits/s)}$$

par contre, dans la transmission en mode asynchrone, on se réfère à la notion de rapidité de modulation exprimée en Baud et notée R. Si T représente la durée, exprimée en secondes, de l'intervalle significatif le plus court séparant deux instants significatifs; alors :

$$R = 1/T \text{ (Baud)}$$

QUALITE DE LA TRANSMISSION : Le taux d'erreurs sur les bits caractérise bien la qualité des transmissions synchrones. C'est le nombre de bits erronés, reçus pendant un intervalle de temps, rapporté au nombre total de bits transmis pendant cet intervalle de temps assez longs pour plusieurs mesures successives donnent des résultats

TRANSMISSION DE DONNEES
D'UN TERMINAL SOURCE VERS
UN TERMINAL COLLECTEUR



15

fig3

comparables.

3-1 L'E T C D Emetteur: (ETCD = équipement terminal de circuit de données).

L'émetteur a, en particulier, pour fonction de transformer le message de données qu'il reçoit en un signal comptable avec la ligne de transmission utilisée. Cette transformation s'effectue en deux étapes.

- CODAGE : Le codeur transforme la suite de symbole binaire (d k) en une suite de symboles choisis dans un alphabet fini de q symboles (....., a j, a_{j+1},), a j apparten t à (:) q : est appelé valence des signaux émis.

Dans le cas d'un message de données synchrones, la suite est délivrée par le codeur sous la forme d'un message a (t) du même type que le message de données. Ce message en bande de base.

- MODULATION : Le modulateur transforme le message en bande de base a (t) en un signal s (t) appelé signal de données ou signal émis.

Il est généralement obtenu en faisant varier les parametres d'une onde sinusoïdale (M A, M F, M G).

3-2 L'E T C D Recepteur :

Le recepteur est fonctionnellement différent suivant qu'il est conçu pour recevoir des signaux synchrones ou asynchrones.

- L'E T C D Recepteur pour signaux asynchrones :

Le recepteur estime le message en bande de base a (t) à partir du signal reçu X (t), et délivre cet estimé x (t) au terminal recepteur.

La transformation de X (t) en x(t) est une démodulation. Remarquons que les positions des transitions de X (t) ne correspondent qu'approximativement à celle qu'elles occupent dans le signal.

Originellement émis, dus aux distorsions (biaise et individuelle).

A la différence de la transmission synchrone où la prise de décision est effectuée dans le Modem, l'estimation des données reçues est faite dans le terminal. Par conséquent, en mode asynchrone, l'ETCD receptr est inutile dans le cas des transmissions en bandes de base et il est réduit au démodulateur dans le cas de signaux transposés en fréquence.

- L'ETCD receptr pour signaux synchrones :

Un ETCD receptr pour signaux synchrones a pour objet de délivrer une suite \hat{a}_k , estimée de la suite émise (a_k) , à partir du signal reçu $X(t)$. Il se compose en général de trois parties :

- Le démodulateur transforme $X(t)$ en un signal $x(t)$ estimé du message en bande de base original $a(t)$.
- Ce signal $x(t)$ est transformé par le receptr en une suite de symboles $(\dots \hat{a}_j \hat{a}_{j+1}, \dots)$ estimée de la suite (a_j) émise.
- Enfin une estimée (\hat{a}_k) de la suite de données binaires émises est reconstituée par le décodeur, à partir des (\hat{a}_j) , par l'opération inverse de celle du codeur;

Dans le cas de signaux synchrones en bande de base, le démodulateur se réduit à la transformation identité.

3-3 Les Multiplexeurs :

Le Multiplexage consiste à diviser par une méthode invariable dans le temps, un support commun de débit D entre plusieurs canaux (n) dont la somme des débits D_i ne peut excéder D . Le multiplexeur n'interprète pas les données qui le traversent, il doit être transparent. On citera deux types de multiplexages.

a) Multiplexage fréquentiel : Le domaine spectral du signal composite est divisé en sous-intervalles disjoints, et chacun d'eux est attribué à une liaison. Pour placer chaque signal informatif dans son sous-intervalle spectrale, on opère par modulation d'une porteuse de fréquence appropriée, appelée ici "sous-porteuse". A la réception, la séparation des différents termes du signal composite se fait par filtrage passe-bande.

b) Multiplexage temporel : Le temps est découpé en intervalles disjoints de même durée. Ces intervalles sont attribués séquentiellement aux différentes liaisons. L'élaboration du signal composite dans l'émetteur et la séparation des signaux informatifs élémentaires dans le récepteur sont réalisées par les dispositifs de commutation, travaillant en synchronisme.

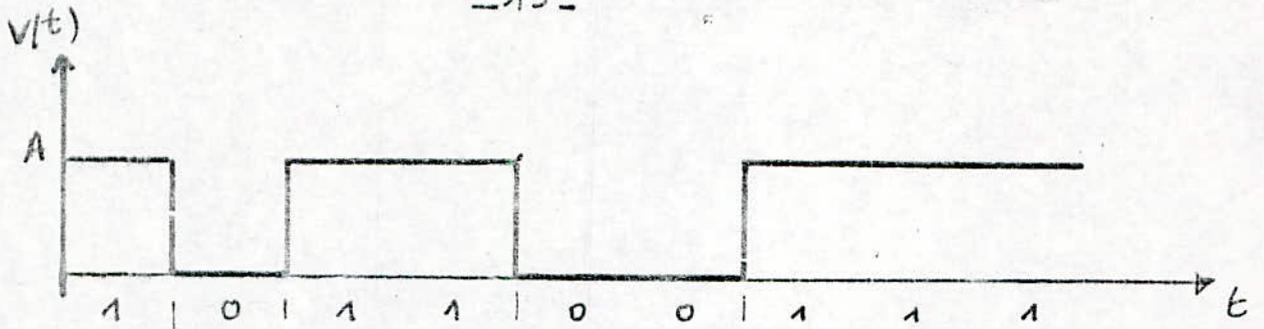
3-4 Types de transmission :

On trouve deux types de transmission de complexité différentes :

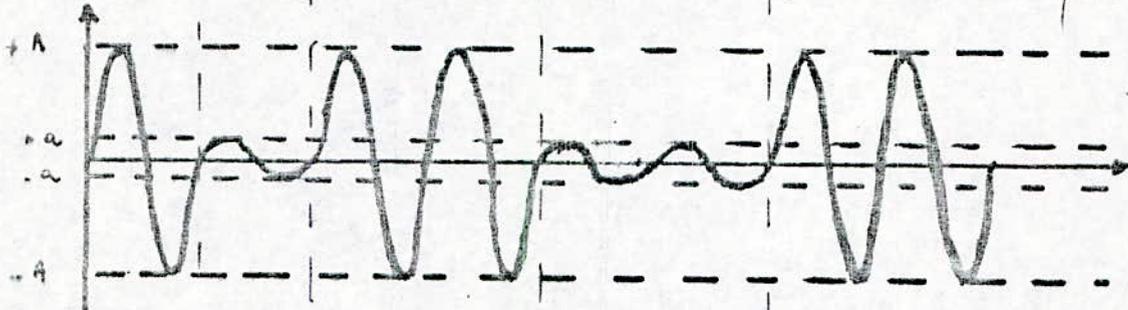
a) Transmission par transposition de fréquence : (Fig.2a)

Ce cas de transmission est utilisé lorsque le canal de transmission décale de spectre des signaux transmis. Ce type est de loin le plus utilisé et le plus important. C'est dans ce cas que les différents procédés de modulation sont appliqués sur une onde sinusoïdale haute fréquence par les signaux numériques, Citons les principaux cas de modulation (Fig.5) :

- Modulation d'amplitude
- " de phase
- " de fréquence

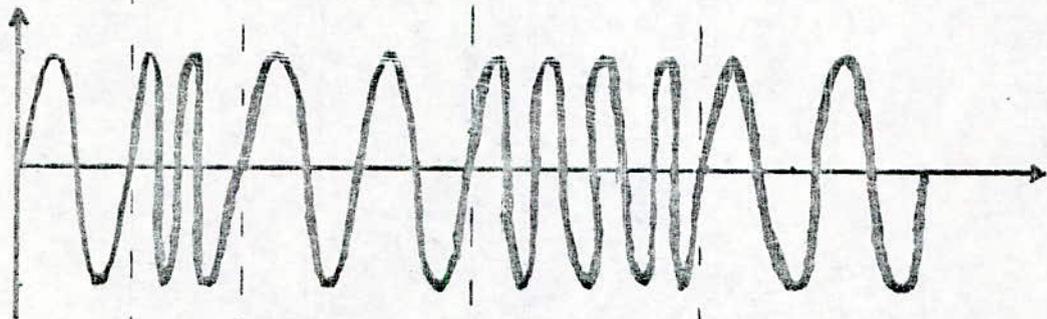


SIGNAL DE DONNEES EN BANDE DE BASE

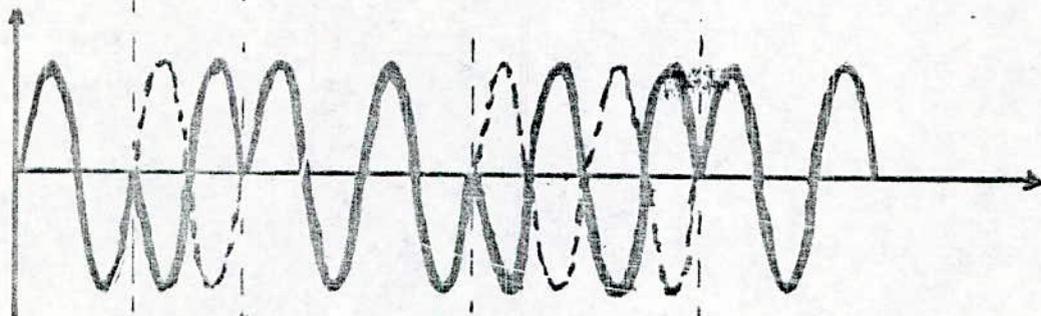


MODULATION D'AMPLITUDE (MDA)

1 → AMPLITUDE $-A \ a \ +A$ $\left\{ \begin{array}{l} A \gg a \\ a \approx 0 \end{array} \right\}$
 0 → " $-a \ a \ +a$



MODULATION DE FREQUENCE (MDF) ou FREQUENCY SHIFT KEYING (FSK) 1 → Frequency " F "
 0 → " " $2F$ "



MODULATION DE PHASE (MDΦ) PHASE SHIFT KEYING (PSK) 1 → PHASE ϕ_0
 0 → " $\phi_0 + \pi$

LES DIFFERENTS CAS DE MODULATIONS

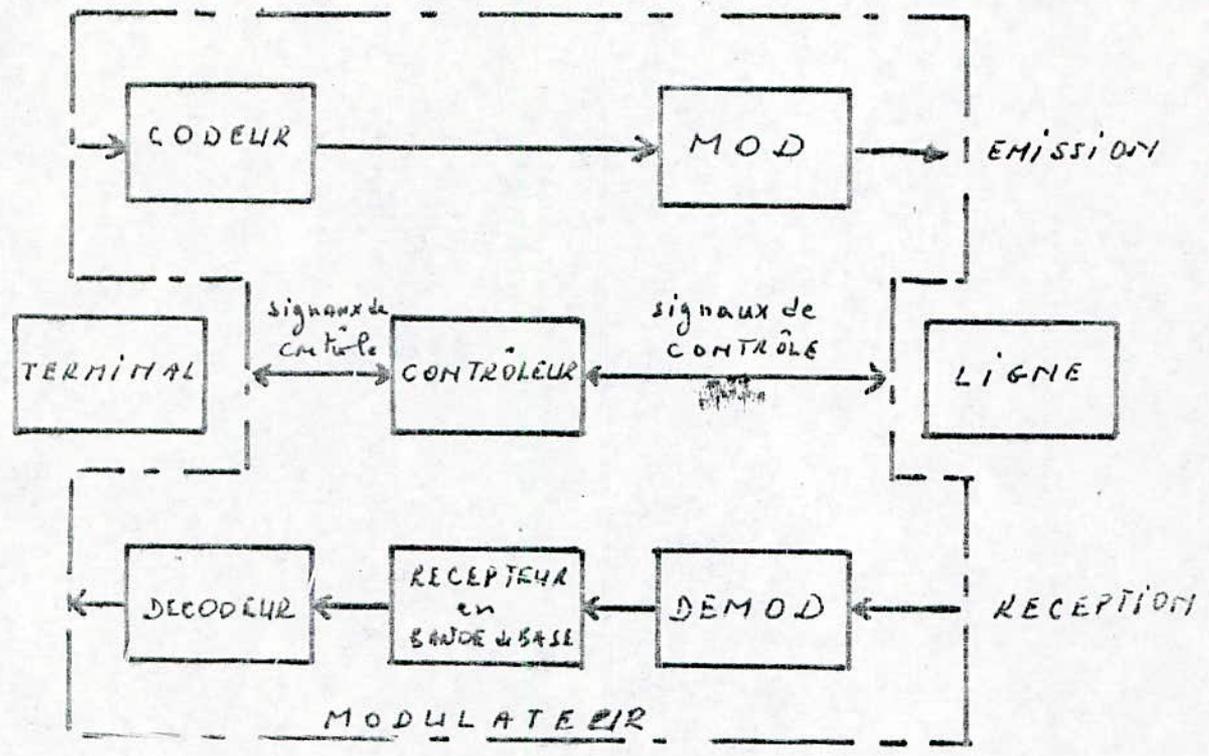


Fig 4a

SYNOPSIS D'UN MODEM POUR TRANSDUCTION DE FREQUENCE

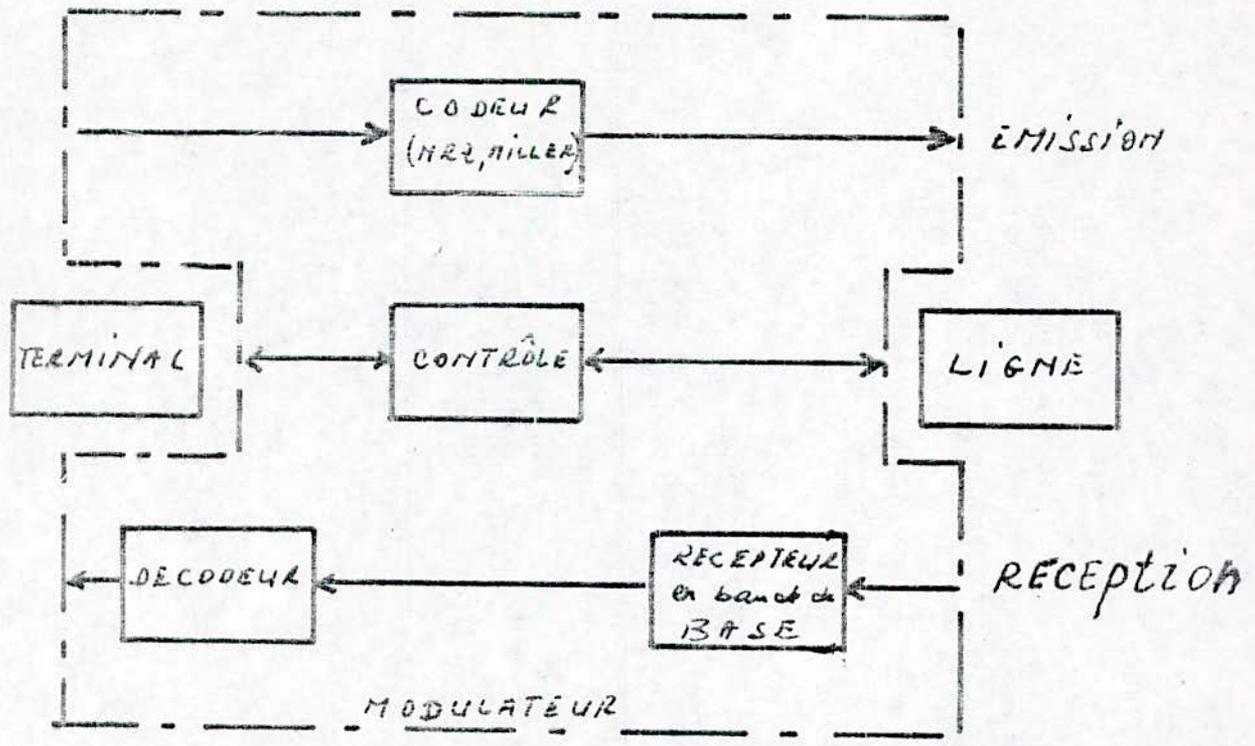


Fig 4b

SYNOPSIS D'UN MODEM EN BANDE DE BASE

b) Transmission en bande de base : (Fig.4b)

Une telle transmission permet l'utilisation d'ETCD particulièrement simple à l'émission, comme à la réception. Dans le cas de transmission synchrone, surtout aux grandes rapidités, cette simplicité rend le modem en bande de base économiquement plus avantageux que les modems utilisant une transposition de fréquence, par contre, dans le cas des transmissions asynchrones où la rapidité est faible, on préfère utiliser la transposition en fréquence c'est plus rapide et du même ordre de prix que la transmission en bande de base.

Pour la transmission en bande de base au cas des signaux synchrones, on pourrait envisager de transmettre directement le message de données est de valeur moyenne $1/2$. Or la ligne ne laisse en général pas passer la composante continue, car les transformateurs aux extrémités de la ligne et les amplificateurs réparties le long de la ligne coupent les très basses fréquences.

En particulier, une longue suite de 1 ne peut être distinguée d'une longue suite de 0.

Il est donc nécessaire de concevoir un signal en bande de base dont le spectre soit mieux adapté à la ligne. Cela est réalisé par un codage. Les divers codes utilisés sont : code NRZ, BIPHASE, MILLER, etc... à la réception, le récepteur en bande de base corrige la distorsion du signal reçu (égalisation). Cette correction peut s'effectuer, par exemple, en mettant en série avec la ligne, à l'autre extrémité, un filtre dont le gain suit la courbe d'affaiblissement de la ligne.

-3-5 Citons, enfin les différents supports de transmissions :

- Des fils de cuivre simple, utilisé pour la transmission locale en bande de base, ou basse fréquence (B F) sur courte distance.
- Des paires symétriques, ou fils torsadés, utilisés en ~~inter~~urbain pour les transmissions numériques.
- Des câbles coaxiaux utilisés essentiellement pour la transmission interurbaine à haute débit (longue distance). Les câbles coaxiaux caractérisent, dans un réseau de télécommunication, les liaisons interurbaines et internationales (sous-marines ou terrestres).
- Des fibres optiques, solution d'avenir dans tous les domaines des télécommunications, liaisons locales (abonnés), urbaines et interurbaines.
- Des faisceaux hertziens, liaison de télécommunication à large bande passante (haut débit).
- Des satellites de télécommunication et de télédiffusion, solution d'avenir, caractérisés par de très hauts débits.

4 - Dans cette partie, nous allons expliciter les sources et collecteurs de données, canal et la base de temps.

4-1 SOURCES ET COLLECTEURS DE DONNEES :

a) Sources de données :

La source est caractérisée par son taux ou débit d'informations, mesuré en bits/seconde, elle peut être de nature très diverse :

- MACHINE à écrire associée à un équipement de communication
- TELEIMPRIMEUR
- CLAVIER-ECRAN
- POSTE TELEPHONIQUE à CLAVIER
- LECTEURS de BANDES MAGNETIQUES
- MEMOIRES de CALCULATEUR

b) Collecteur de données :

Le récepteur de données peut être aussi de nature très diverse.

- MACHINES IMPRIMANTES
- ENREGISTREURS de BANDES MAGNETIQUES
- ECRAN CATHODIQUES
- MEMOIRES de CALCULATEURS

4-2 CANAL :

D'une manière générale, nous appellerons canal un dispositif assurant une liaison sélective entre un émetteur et un récepteur. Dans les cas les plus usuels, il sera caractérisé par un certain milieu de propagation (espace libre, diélectrique d'une ligne ...) et par un certain intervalle de fréquence $DF = [F_1, F_2]$ qui pourra être matérialisé par un filtre passe-bande, DF définit la forme et la vitesse des signaux. Une autre caractéristique importante du canal, c'est la capacité, définie par

la relation :

$$C = DF \text{ LOG}(1+S/N) \text{ bits /s}$$

N: represente la puissance moyenne de bruit dans la bande DF

S: " " " utile " "

Remarquons ici que le signal utile est limité à intervalle de temps T , à une bande passante DF , de puissance moyenne S , ce canal est soumis à un bruit additif:bruit blanc ou bruit gaussien

4-3 BASE DE TEMPS :

Elle est délivrée par un oscillateur local.Le signal de la base de temps est périodique ,il est toujours associé à une suite de données car cette dernière nécessite un découpage du temps en intervalles élémentaires,autrement dit,le signal d'horloge est utilisé pour commander le rythme de certaines fonctions telles que la fixation de la durée des éléments des signaux,l'échantillonnage,etc...

La fréquence de l'horloge à l'émission définit le débit binaire (cas synchrone).L'oscillateur local est placé à l'émission et un autre à la réception;si les deux bases de temps délivrées par les deux oscillateurs sont en phases donc synchronisées alors les informations reçues sont identiques aux informations émises,aux erreurs près,dans le cas où il n'y a pas coïncidence,on alors pertes d'informations.

-5- MODE ET SENSE DE TRANSMISSION

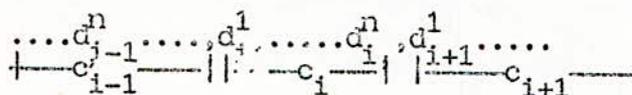
-5-1 MODE DE TRANSMISSION :

La transmission d'un signal nécessite, sur le plan temporel, une synchronisation afin de permettre aux récepteurs de reconnaître notamment le début et la fin de la transmission, on distingue :

- la transmission synchrone.
- la transmission asynchrone.

-5-1-1 Transmission synchrone :

Considérons une source A qui transmet vers le terminal B un ensemble de caractères d'informations. Chacun de ces caractères est représenté par un ensemble de N symboles binaires conformément au code ; Après la conversion parallèle série effectuée le plus souvent en vue de la transmission, alors la source A délivre ses caractères accolés les uns aux autres en une succession régulière dans le temps de symboles binaires: (voir fig 6a) sous forme d'un signal électrique appelé message de données noté d (t)



L'interprétation du signal binaires d(t) nécessite un découpage du temps en intervalle élémentaire, c'est pourquoi un signal d'horloge h(t) est toujours associé à la suite de données. Le signal d'horloge étant périodique de période T. La source A délivre par seconde un nombre de bits égal à $1/T$, fréquence du signal d'horloge. La cadence d'émission étant celle de l'horloge. Ce mode de transmission caractérise les échanges d'information à hauts débits (par blocs ou paquets de caractères).

-5-1-2 Transmission asynchrone : (voir fig 6b)

L'instant d'émission de chaque signal est arbitraire: la transmission s'effectue caractère par caractère. L'intervalle séparant deux caractères

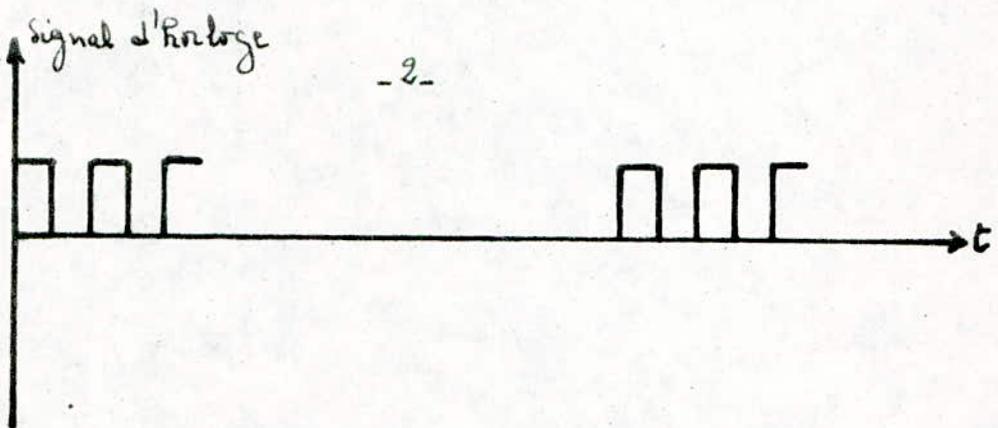
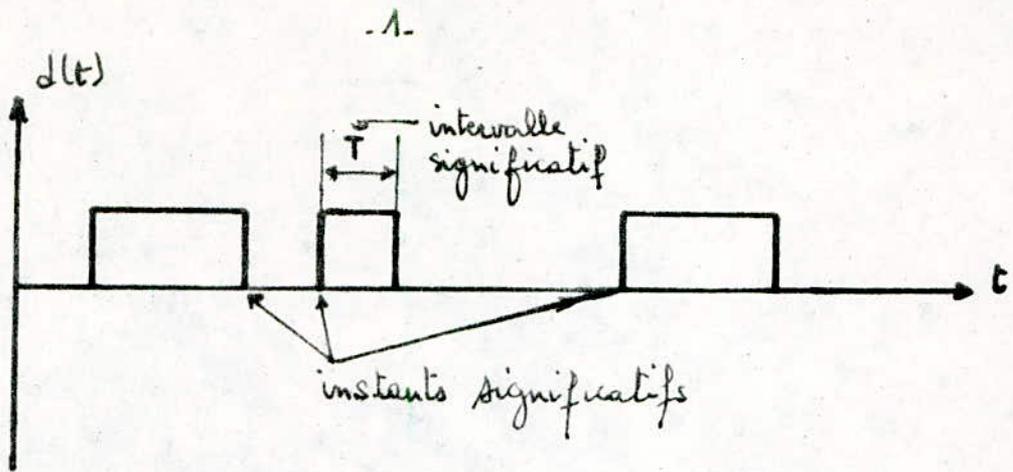


fig 6a MESSAGE DE DONNÉES SYNCHRONES
 - (1) message de données
 - (2) signal d'horloge.

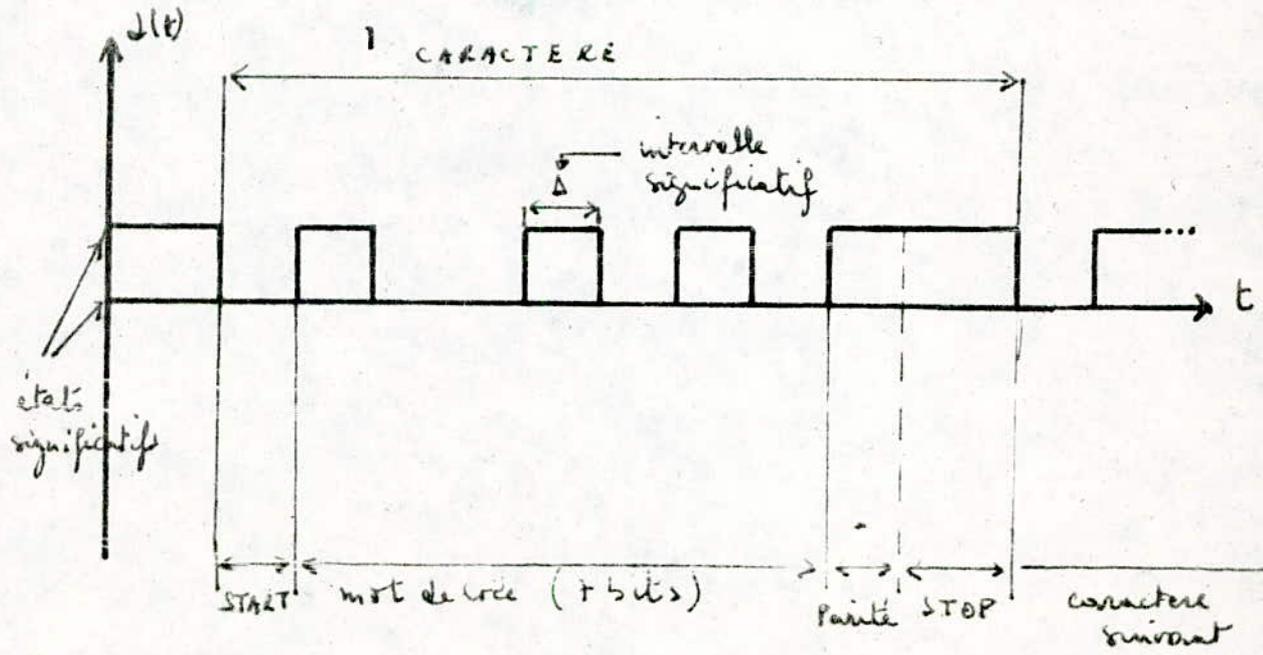


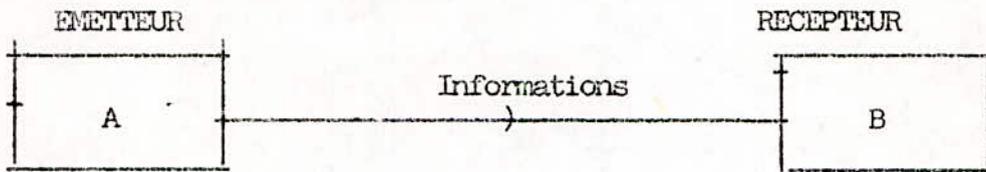
fig 6b MESSAGE DE DONNÉES ASYNCHRONES

peut avoir une durée quelconque; par contre, les bits d'un même caractère sont, comme précédemment, émis à la cadence de l'horloge. Ce mode de transmission nécessite l'adjonction à chaque caractère d'élément de repérage permettant la reconnaissance du début et de la fin du caractère désigné par START (élément de départ) et STOP (élément d'arrêt). La durée du START est fixée à celle d'un bit du caractère, celle du STOP est variable suivant le code.

-5-2 SENSE DE TRANSMISSION :

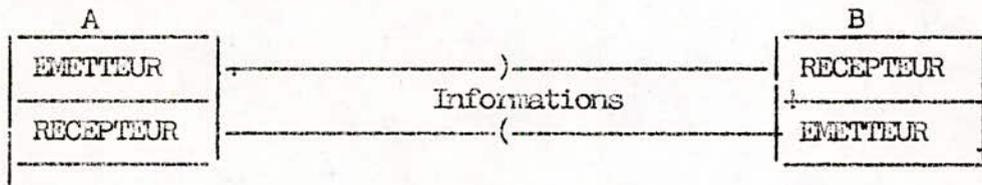
Quel que soit le mode de transmission, on peut définir trois (03) manières distinctes pour transférer l'information entre deux (02) équipements d'extrémité, A et B.

-1 Liaison en MODE SIMPLEXE :



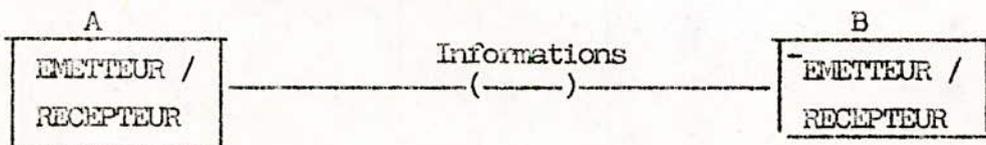
Les informations circulent dans un seul sens de A vers B.

-2 Liaison en MODE SEMI-DUPLEX :



Les informations circulent alternativement de A vers B puis de B vers A

-3 Liaison en MODE DUPLEX INTEGRAL :



Les informations circulent dans les deux sens simultanément de A vers B et de B vers A.

-6- BRUITS ET DISTORSIONS :

6-1 BRUITS :

Def : Dans les problèmes de transmission, les bruits peuvent être tout phénomène responsable des signaux parasites qui affectent la voie de transmission.

On distingue deux types de bruit:

-Le bruit blanc:

C'est un bruit dont la puissance est uniformément répartie dans la bande de fréquence utilisée. Il s'agit essentiellement d'un bruit d'agitation thermique introduit par les lignes à grande distance. La valeur du bruit blanc n'est jamais un paramètre critique pour la transmission de données.

-Le bruit impulsif:

Il se présente sous forme de tensions perturbatrices de valeur élevée mais de durée brève. Ces bruits sont très gênants pour la transmission de données car le signal perturbateur modifie la forme du signal reçu dans des proportions telles qu'il se produit des erreurs à la réception.

6-2 Les distorsions:

Les principaux défauts qui affectent les canaux de transmissions sont la distorsion d'amplitude, distorsion de phase et l'affaiblissement. On verra aussi ce que c'est la distorsion biaise.

-Distorsion d'amplitude:

Elle caractérise la bande passante réelle, en effet certains canaux, comme les câbles téléphoniques chargés "coupent" les fréquences supérieures à 2KHZ, non gênant pour les transmissions téléphoniques mais peut-être préjudiciable aux transmissions de données.

-- Distorsion de phase:

C'est la variation du temps de propagation avec la fréquence. Ce défaut n'est pas grave pour les communications téléphoniques mais il l'est pour les transmissions de données, puisque des signaux émis simultanément sur plusieurs sous-porteuses arriveront avec des décalages qui peuvent dépasser la milliseconde et ainsi un récepteur reçoit à un instant donné des données qui ne sont pas dans l'ordre où elles ont été envoyées.

- L'affaiblissement:

Il indique la diminution de la puissance émise quand la longueur de la ligne augmente. Il est exprimé par l'équivalent E défini par :

$$E(\text{dB}) = 10 \text{LOG}(P_1/P_2)$$

P_1 : puissance émise

P_2 : puissance reçue

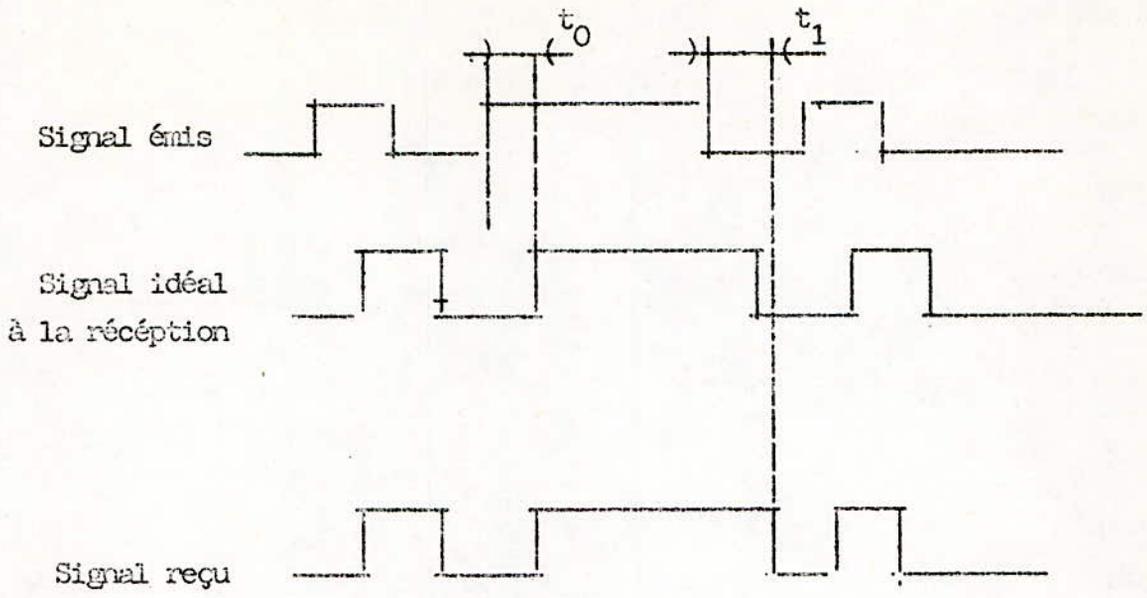
- Distorsion d'affaiblissement:

Elle montre que l'affaiblissement n'est pas linéaire en fonction de la fréquence. Dans la plupart des cas, il est proportionnel à la racine carrée de la fréquence (\sqrt{f}) :

- Distorsion biaise:

Elle caractérise un défaut relatif à des transitions 0-1 et 1-0 qui seraient affectées de temps de propagation différents. Si t_0 et t_1 sont les valeurs moyennes de ces deux temps, T désignant toujours le plus petit intervalle séparant deux transitions (durée du bit en pratique). Elle est définie par:

$$d_B = |t_1 - t_0| / T \%$$



-Distorsion biaise-

-7- SYNCHRONISATION DES SIGNAUX

-Synchronisation:

A la réception, la synchronisation c'est à dire la mise en coïncidence de la base de temps du récepteur avec celle de l'émetteur, au décalage près, dû au temps de propagation, est essentielle pour la reconstitution des données. S'il n'y a pas coïncidence, le récepteur risque d'échantillonner dans le temps des valeurs binaires ne correspondant pas à celles envoyées par l'émetteur. Cette synchronisation se fait d'une part au niveau des éléments binaires, d'autre part au niveau des caractères.

-En transmission synchrone, le temps est découpé en permanence en intervalles élémentaires et le récepteur doit à la fois reconstituer le système 1/T (élaboré soit par le terminal soit les équipements de terminaisons de circuits de données qui ont servi à l'émission et l'instant de référence t_0 de l'équation:

$$d(t) = \text{SOM} \left[d_k R_T(t - kT - t_0) \right] \quad k \text{ varie de } - \text{ à } + \text{ l'infini}$$

Dans le cas général le signal horloge doit être reconstitué à partir du signal signal reçu. Certains équipements utilisent par exemple les transitions (de 0 à 1 et de 1 à 0) des données pour maintenir la synchronisation pendant la transmission; si des données comportent de longues suites de 0 ou de 1. Il faut imaginer un palliatif tel que le codage dit par transition (qui consiste à présenter une transition lorsqu'on rencontre un 0 ou un 1 selon les conventions).

La synchronisation des caractères, dans ce mode de transmission, se fait au niveau de groupes de caractères appelés bloc ou trames et se fonde

sur l'utilisation de combinaisons spéciales. Pour maintenir la synchronisation caractères pendant la transmission, une procédure de transmission pourra être amenée à insérer des caractères de synchronisation dans la transmission des données.

-En transmission asynchrone, la synchronisation des caractères se fait évidemment par reconnaissance des signaux de départ (START) et des signaux d'arrêt (STOP) qui ne portent pas d'information et délimitent chaque caractère.

La synchronisation des bits est immédiate car on dispose à l'émission et à la réception d'horloges locales de même fréquence nominale.

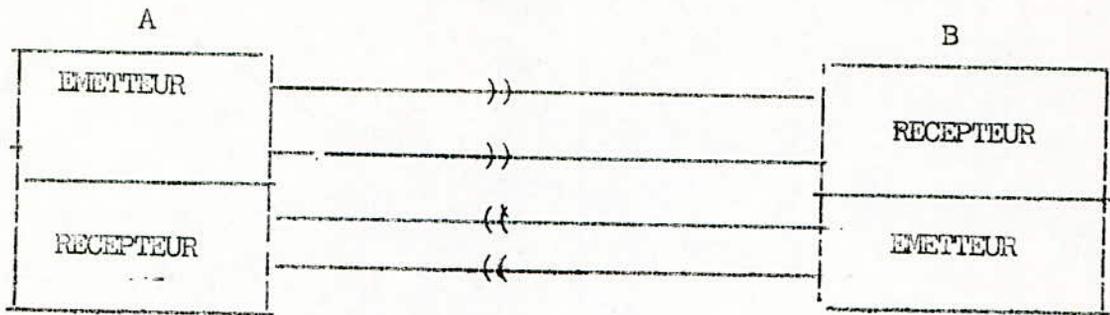
Dans le récepteur, le signal de départ déclenche au début de chaque caractère la mise en route de l'oscillateur local qui permet l'échantillonnage des symboles binaires contenus dans le caractère. La dérive qui se produit par rapport à l'instant idéal est sans conséquence sur la durée faible concernée (quelques éléments binaires).

-Synchronisation des signaux:

Le problème se pose au niveau d'un récepteur qui reçoit un message d'information. Ce message arrive en série; il est caractérisé par une suite d'états significatifs lesquels sont séparés par des changements d'états (fréquence, amplitude, phase).

L'exploitation du message par le récepteur est subordonnée à la prise en compte de ces états et ces changements d'état. Cette prise en compte constitue une part de synchronisation (synchronisation bit). Une autre part réside dans le repérage convenable de découpage des éléments du message. C'est ce que nous appellerons la synchronisation caractère.

-Synchronisation bit dans la transmission synchrone



-voie à 4 fils-

Considerons le cas d'une transmission point à point sur une voie (4 fils); on peut pour chaque sens de transmission établir une synchronisation bit permanente qu'on maintiendra pendant les moments de silence sur la ligne. Nous savons que toutes les transitions surviennent à des intervalles de temps multiples entiers de l'unité temps. De là découlent les deux moyens utilisés pour établir la synchronisation.

-Adjoindre au signal d'information, un signal spécial donnant la synchronisation bit.

-Utiliser les transitions du signal pour distribuer les temps au récepteur, soit par commandement d'horloge locale soit par un traitement direct.

Dans les deux cas, on ne retient, en général, que les transitions d'un seul sens pour éliminer les effets de la distorsion biaise.

-Détection d'un signal spécial de synchronisation:

Il faut supposer que la porteuse du signal n'est pas modulée complètement ou qu'il existe une sous-porteuse dont la période est égale à la durée d'un bit et dont les passages par 0 correspondent exactement aux transitions (changement d'état). L'exploitation de ce signal revient à réaliser l'asservissement de

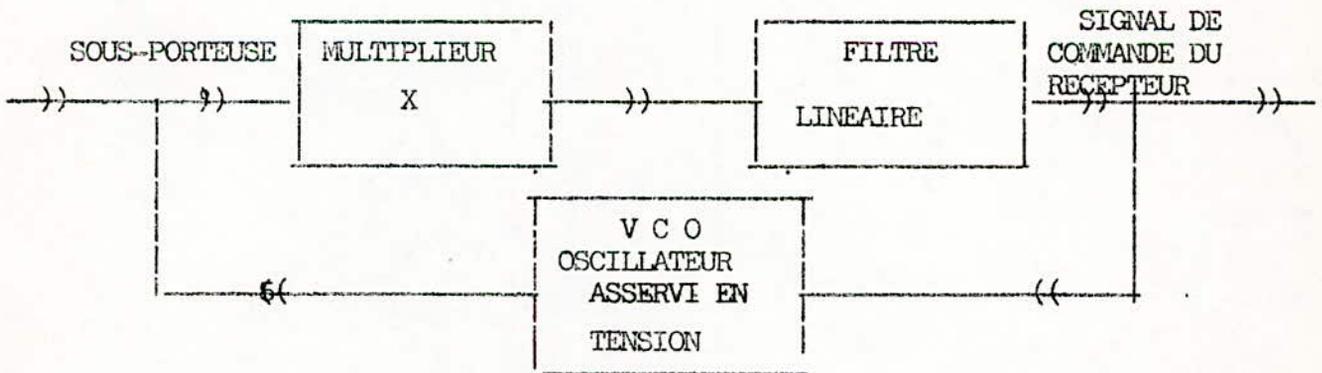
l'oscillateur local commandé en tension, la réalisation de la cohérence en phase et de la synchronisation bit sur un système de données sont très analogues aux mesures de vitesse radiale et de distance en matière de radar.

Les inconvénients majeurs qui sont responsables de la déformation du signal :

- Niveau du bruit.
- Distorsion de phase apportée par le canal.
- Vitesse de transmission.
- Puissance totale.

Pour minimiser les effets mentionnés ci-dessus. On doit consacrer toute l'énergie au signal d'information et moduler complètement la porteuse pour tirer la synchronisation du traitement de données détectées et remise en forme. Cependant cette façon de procéder introduit des erreurs appréciables sur la phase en démodulation, ce qui rend les démodulateurs très sensibles au bruit.

Le schéma de base d'un asservissement de phase est toujours le suivant :



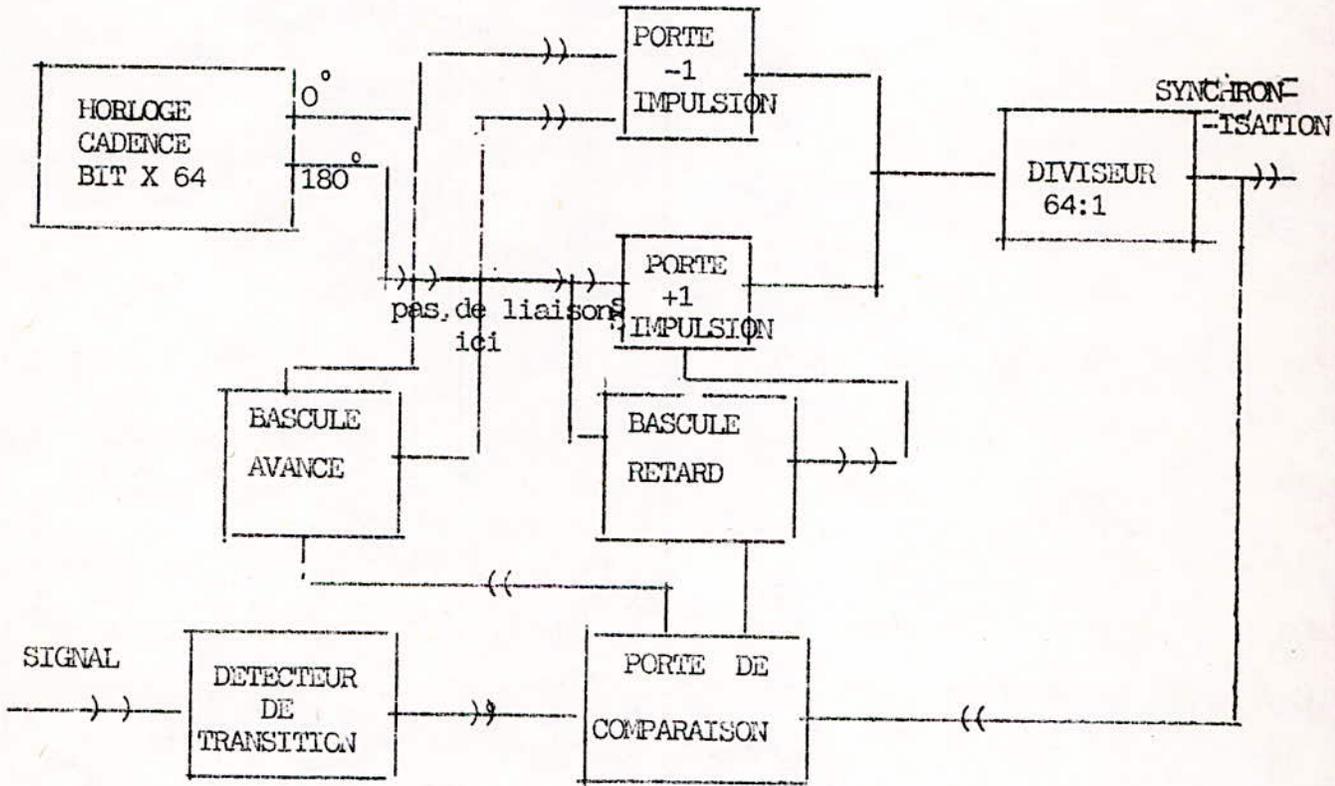
-Asservissement de phase-

L'obtention de meilleures lois de réponses, et l'annulation des erreurs de position (déphasages) conduisent à compliquer ces systèmes de base, et à intr-

introduire des éléments non linéaires, générateur de fonction, et intégrateur dans la boucle. Alors, et même en présence du bruit, un tel système permet la synchronisation bit.

METHODE DIGITALE DE SYNCHRONISATION: (voir fig. 7)

Si la comparaison montre que l'onde de synchronisation précède les transitions à un instant donné, on supprime une des impulsions de comptage de l'oscillateur, retardant ainsi la phase d'une durée de $1/64$ bit. En revanche lorsqu'on trouve que l'onde de synchronisation est en retard, on ajoute une impulsion de comptage avançant ainsi la phase de $1/64$ bit. Un raffinement de la méthode conduit à l'emploi d'une mémoire qui en l'absence de nouvelle transition conserve le réglage précédent. Ce procédé (mémoire) permet aussi de s'affranchir de certaines transitions (parasites) intervenant avec des phases (aléatoires) éloignées de la référence, celle-ci étant, déjà bien calée. De même, on peut avec ce procédé se prémunir contre de fortes distorsions des signaux, en définissant des largeurs de "fenêtre" où l'on doit chercher les transitions utiles, une fois que la synchronisation est bien verrouillée. Cette méthode de synchronisation pas à pas à l'inconvénient d'être lente à s'établir : si pendant une longue période de temps, aucune transmission n'a lieu (état constant sur la ligne) les horloges d'émission et de réception peuvent se décaler; C'est pourquoi l'on intercale souvent des convertisseurs de codes dont le but est de transformer le code de la source des données pour assurer un maximum de transitions compatibles avec la stabilité des horloges, même pendant les périodes de silence.



-fig7- schemas d'un dispositif de synchronisation

-La transmission synchronisée :

La transmission asynchrone synchronisée est caractérisée par le fait que les messages sont transmis de manière synchrone. L'intervalle entre deux messages consécutifs a, lui, une longueur aléatoire. Ce mode de transmission est celui qui est le plus utilisé pour les transmissions à l'alternat (half-duplex) entre deux terminaux munis d'une logique d'émission synchrone. La différence avec la transmission synchrone pure, est que l'on ne peut maintenir la synchronisation pendant les périodes de silence. Il faut donc au récepteur, un

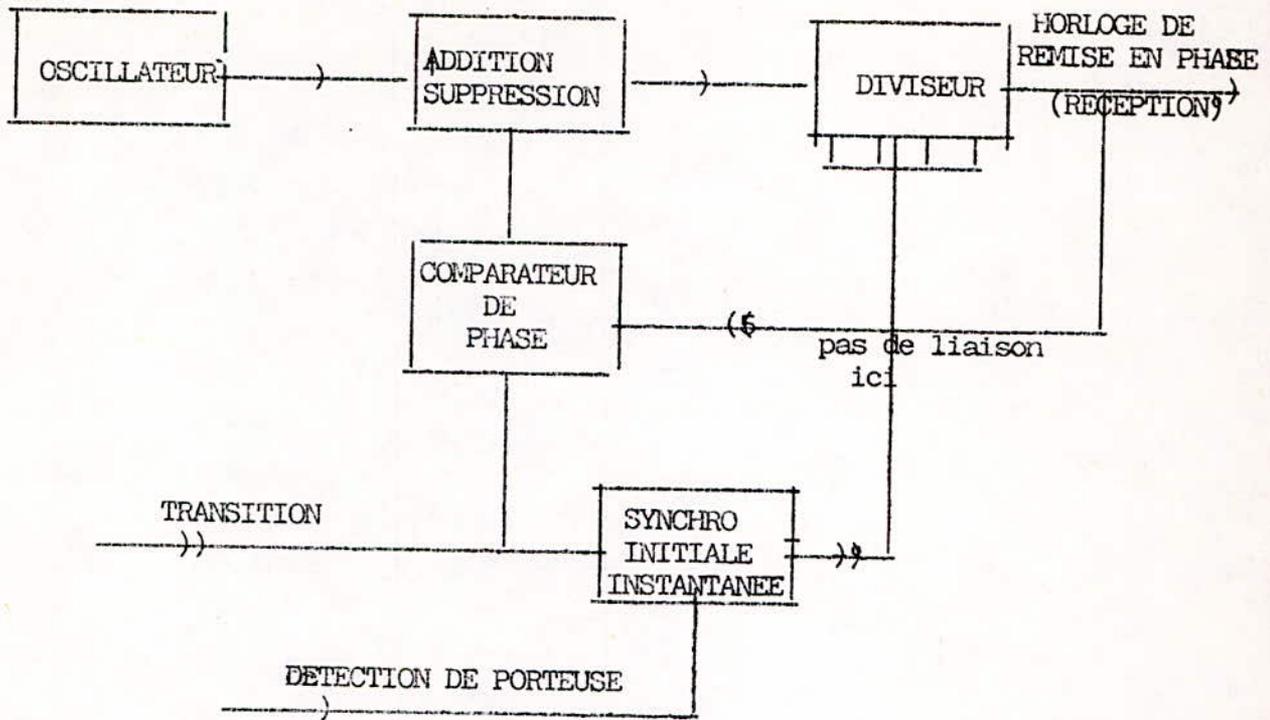
dispositif pour acquérir la synchronisation au début des messages.

Deux solutions existent :

-Prevoir un préfixe au message, comportant beaucoup de transitions pour que l'on soit sûr de l'accrochage de la synchronisation avant le début véritable du message (information proprement dite). Il faut compter dans ce préfixe, suffisamment de transitions pour que, pour le gain de la boucle de commande de phase de l'horloge du récepteur, et pour le cas le plus défavorable à l'instant initial (opposition de phase), les deux horloges aient le temps de se recalibrer.

On verra qu'à ce préfixe synchro-bit, on peut adjoindre des caractères de synchronisation-caractère.

-Munir le dispositif de maintien de la phase en réception, d'un accessoire permettant la remise en phase brutale au début des messages. Cette deuxième méthode permet de gagner du temps en économisant sur la longueur des messages (raccourcissement du préfixe). Elle est très utilisée dans les transmissions à l'alternat. Le schéma du dispositif complet de synchronisation bit peut alors se ramener au principe suivant : (voir fig 8)



-fig8-Dispositif de synchronisation rapide

-La synchronisation caractère :

C'est la reconnaissance du debut veritable de l'information au sens de la transmission. En effet, au sens de traitement des données, certaines sequences peuvent proceder ou suivre les blocs de données propement dites. Ces sequences font partie des procedures de transmission et servent à faire le decoupage des messages, ce qui est davantage à rapprocher du traitement des données que de la transmission. La transmission necessite, elle, la presence de la fonction de la reconnaissance du debut du message reçu. Comme dans la synchronisation bit, il y' a deux etapes distinctes :

-Etablissement de la phase de la synchronisation caractère.

-Maintient de la phase " " " " " "

Si l'on travaille avec des caractères de longueur fixe (code caractère donné),

la fréquence de la synchronisation caractère est sous-multiple fixe de la synchronisation bit. On peut après accrochage de la synchronisation la maintenir à l'aide d'un compteur qu'on incremente à l'arrivée de chaque bit nouveau. Cependant, si la liaison est de mauvaise qualité, ou si les messages sont très longs, il est possible que la synchronisation caractère soit altérée par l'omission d'un bit, ou par un parasite. Dans certains cas, il peut être plus rentable de perdre le seul caractère entaché d'erreur que d'annuler tout le message (absence de voie de retour pour demander de répétition ou surveillance en temps réel d'un processus évolutif). On peut alors travailler avec un code caractère à autosynchronisation qui permet de vérifier et de recalibrer la synchronisation caractère pour chaque caractère reçu.

Si l'on travaille avec des blocs de donnée sans format fixe (mode transparent), on n'est obligé de structurer le message avec des mots de code destinés à marquer les frontières entre les blocs. Entre ces mots, il n'y a pas de synchronisation caractère.

Finalement, les deux moyens d'établir la synchronisation caractère sont :

- L'emploi d'un préfixe (début de message).
- " d'un code à auto-synchronisation.

-8-ETUDE MATHEMATIQUE ELEMENTAIRE DES SIGNAUX NUMERIQUES

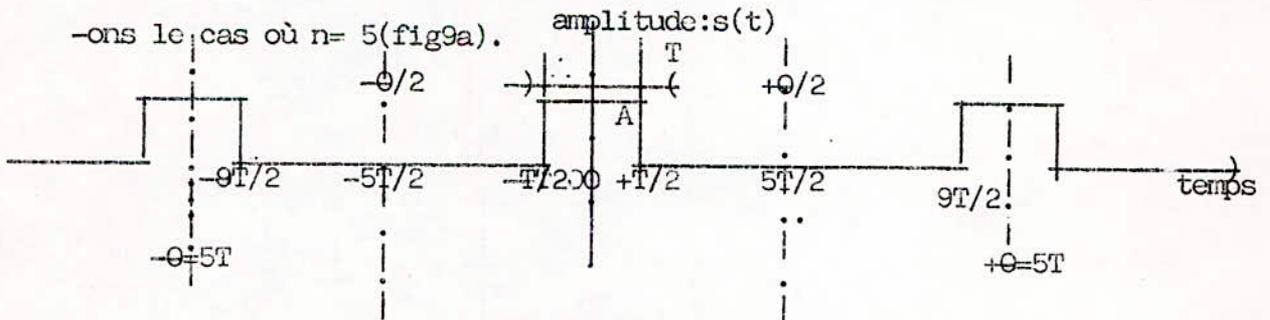
-ANALYSE SPECTRALE DES SIGNAUX BINAIRES :

-GENERALITES :

Les signaux binaires vont être transmis sur des canaux de transmission qui ne laissent passer qu'une bande restreinte de fréquence, il est donc nécessaire de connaître la bande occupée. L'étude sera faite sur un train d'impulsion périodique que nous pourrons traiter en utilisant les séries de FOURIER. Une suite aléatoire d'impulsions non corrélées met en jeu des fonctions aléatoires. Ce dernier cas est le plus représentatif de la réalité, mais en pratique l'approche utilisée donne le même résultat en ce qui concerne la bande du spectre de fréquences.

-TRAIN PERIODIQUE D'IMPULSION :

Nous considérons un train périodique d'impulsion d'amplitude A et de durée T . La période de répétition est $\theta/\theta=nT$, n est un entier naturel. Nous prenons le cas où $n=5$ (fig 9a).



-fig 9a-Train periodique d'impulsions $\theta=5T$.

L'origine des temps est prise au milieu d'une impulsion ainsi la fonction périodique $s(t)$ représentant le train d'impulsions sera symétrique par rapport à l'axe des s et nous obtiendrons une série de cosinus dans le développement en série de FOURIER.

$$s(t) \text{ est définie dans } \left[-\theta/2, +\theta/2 \right]$$

$$s(t) = \begin{cases} A & \text{pour } t \text{ appartenant à } (-T/2, +T/2) \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

Le développement de $s(t)$ s'écrit :

$$s(t) = C_0 + 2 \cdot \text{SOM}(C_n \cdot \cos(nw_0 t)) \quad n \text{ varie de } 1 \text{ à l'infini}$$

$$w_0 = 2\pi f_0 = 2\pi/\theta$$

$$C_n = 1/\theta \cdot \text{INTEGRAL}(s(t) \cdot \text{EXP}(-jnw_0 t) dt) \quad t \text{ est compris entre } (-T/2, +T/2)$$

$$\text{donc } C_0 = 1/\theta \cdot \text{INTEGRAL}(A \cdot dt) = AT/\theta \quad t \quad " \quad "$$

$$\text{et } C_n = 1/\theta \cdot \text{INTEGRAL}(A \cdot \text{EXP}(-jnw_0 t) dt) \quad t \quad " \quad "$$

$$\text{soit } C_n = 2A \cdot \sin(nw_0 T/2) / (\theta n w_0)$$

Le développement de $s(t)$ s'écrit :

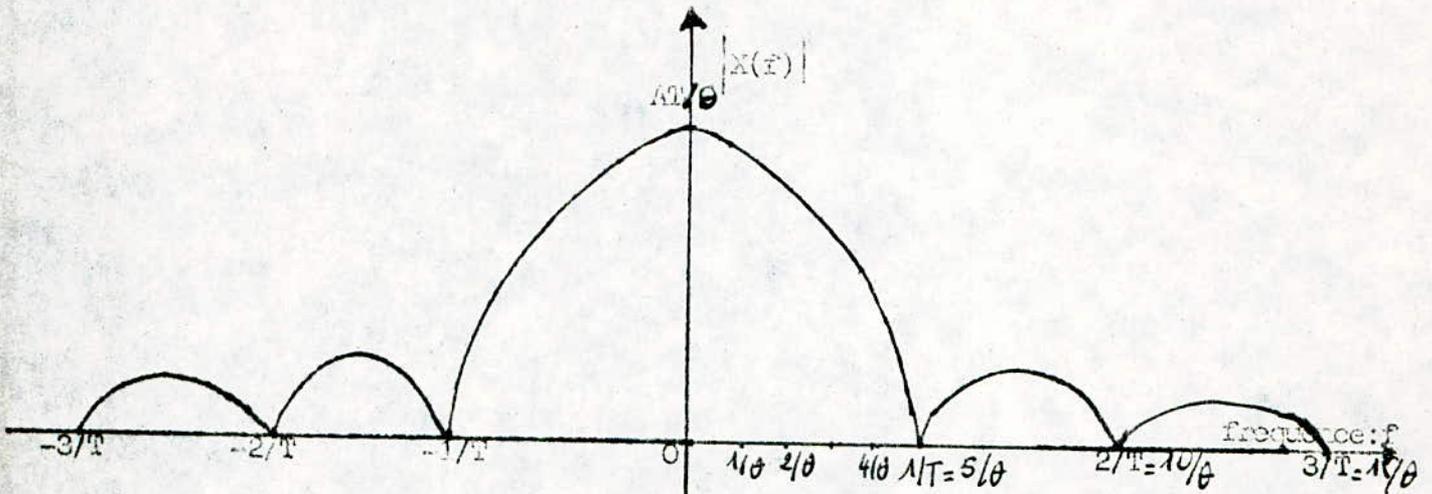
$$s(t) = AT/\theta \left[1 + 2 \cdot \text{SOM} \left(\frac{\sin(n\pi f_0 T)}{n\pi f_0 T} \cdot \cos(2n\pi f_0 t) \right) \right] \quad n \text{ varie de } 1 \text{ à l'infini}$$

Le spectre d'amplitude de cette fonction est donnée par :

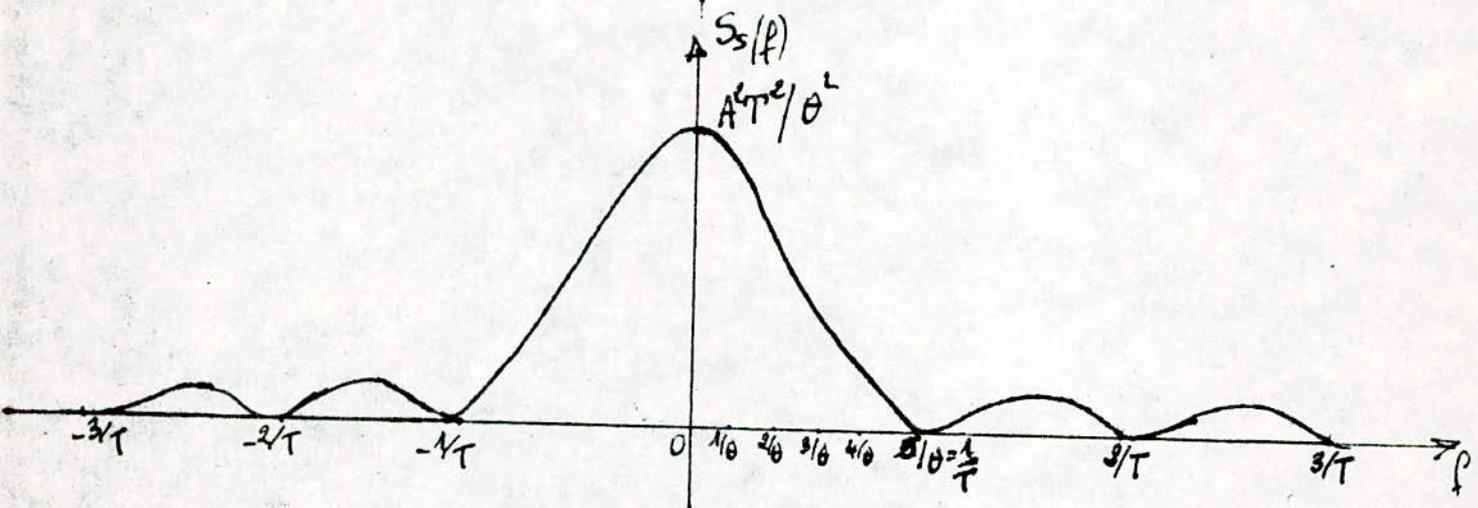
$$|X(f)| = \text{SOM}(|C_n| \delta(f - nf_0)) \quad n \text{ varie de } -\infty \text{ à } +\infty$$

$$= AT/\theta \cdot \text{SOM} \left(\left| \frac{\sin(n\pi T/\theta)}{n\pi T/\theta} \right| \right) \quad n \quad " \quad "$$

On voit que les deux spectres sont des spectres de raies, l'amplitude des raies suivant respectivement les lois $|\sin(x)/x|$ et $|\sin(x)/x|^2$. Ces deux fonctions s'annulent pour les valeurs de $f = n/\theta = k/T$. En particulier le premier 0 est obtenu pour $f = 1/T$. Nous représentons à la figure 9b le spectre d'amplitude et à la figure 9c la densité spectrale de puissance moyenne dans le cas où $n = 5T$.



-fig9b-Spectre d'amplitude d'un train périodique d'impulsions de durée T et de période θ dans le cas où $\theta=5T$



-fig9c-Densité spectrale de puissance moyenne d'un train périodique d'impulsions de durée T et de période θ dans le cas où $\theta=5T$.

Il est intéressant de connaître la puissance contenue dans les n premiers harmoniques, ce qui permet d'obtenir un ordre de grandeur de la largeur de bande du filtre nécessaire pour laisser passer le signal sans déformation donc sans perte importante d'énergie.

$$P_m = \int_{-nf_0}^{+nf_0} S_s(f) \cdot df \quad f \text{ varie entre } (-nf_0, +nf_0)$$

$$P_m = A^2 T^2 F_0^2 \left[1 + 2 \sum_{n=1}^m \left(\frac{\sin(n\pi f_0 T)}{n\pi f_0 T} \right)^2 \right] \quad n \text{ varie de } 1 \text{ à } m$$

Pour un train periodique, la puissance moyenne du signal $s(t)$ est donnée par:

$$P_m = 1/\theta \int_{\theta} s(t)^2 dt$$

Dans notre cas où $\theta=5T$, on trouve $P_0=A^2/5$ et pour $m=1$ (le fondamentale), on trouve $P_1=A^2(1+17,27/\pi^2)/25$ donc $P_1=0,55P_0$.

Ainsi, un filtre ne laissant passer que le fondamentale permettra de transmettre 50% de la puissance contenue dans le train d'impulsions. Par le même calcul, on trouve qu'il faut passer le dixième harmonique (soit une bande dix fois plus grande) pour transmettre 98% de la puissance totale. Il n'est donc pas pratiquement rentable de prévoir une bande passante supérieure à $DF=1/T$ pour les circuits destinés à recevoir ce signal. Il est sous-entendu ici que nous n'avons envisagé que l'aspect énergétique du problème et que si la retransmission de la forme exacte du signal importe, il est nécessaire de multiplier cette bande passante DF par un coefficient égal ou supérieur à 10.

Rqce : INT. ou INTEGRAL et SOM representent les symboles mathematiques sous forme litteraire.

§§§§ - CHAPITRE II - §§§§

- Etude et réalisation du dispositif de synchronisation avec zone morte -

L'étude est basée sur un système de communication simple pour vérifier le fonctionnement de notre dispositif. Les données sont transmises en bande de base et en mode synchrone ce qui permet l'emploi de composants simples et peu onéreux. LA transmission en bande de base est toujours utilisée mais pour les transmissions locales (liaisons courtes), entre équipements par exemple. Pour les liaisons à grande distance, il faut utiliser la transmission par transposition de fréquence. Notre émetteur se compose des etages suivants :

- Oscillateur à quartz et les diviseurs de fréquence
- Générateur de séquences pseudo-aléatoires
- Filtre d'émission
- Générateur de bruit
- Amplificateurs

et le récepteur :

- Filtre de réception
- Etage limiteur
- Etage T.T.L
- Etage de détecteur de transitions
- Comparateur de phase
- Oscillateur et diviseurs de fréquence
- Etage "zone morte"
- Organe de décision

1-Description des éléments utilisés

Partie Emission : (fig.10)

L'oscillateur à quartz : (fig.11a)

Cet oscillateur nous permet d'avoir une fréquence précise et stable ce qui est nécessaire pour les transmissions numériques. Le quartz utilisé est de 4 MHz; on a réalisé cet oscillateur en utilisant des portes logiques qui en fait sont des amplificateurs. La fréquence ~~d'émission~~ correspond à la fréquence d'accord du quartz utilisé. Il y'a bien réaction puisque la sortie de la deuxième NAND est en phase avec l'entrée de la première NAND. Les deux résistances sont choisies de façon à amener le point de repos de l'amplificateur dans la partie linéaire de sa caractéristique de transfert.

Les diviseurs de fréquence : (fig.11b)

Pour obtenir le débit choisi à notre étude, la fréquence 4MHz est divisée par 4 diviseurs de fréquences qui sont en fait des compteurs .

$$f_c = 4\text{MHz} : 4, : 10, : 10, : 10 = 1000 \text{ bits/seconde.}$$

Si on veut changer de débits, on prend la sortie de chaque compteur, on obtient ainsi 4 débits différents ou vitesses de transmissions.

Les compteurs utilisés sont les SN 74 LS 93 et SN 74 LS 90. Les caractéristiques de ces compteurs sont mentionnées sur les anciennes thèses (années: 82, 84 etc...).

Générateur de séquences pseudo-aléatoires (G.S.P.A.): (fig.11c)

Ce générateur engendre une suite binaire pseudo-aléatoire de niveau "0" et "1". Il comporte un registre à décalage de 7 bascules bouclé sur lui même à travers une fonction booléenne, qu'on choisit très généralement comme addition modulo-2. La séquence obtenue est périodique et la longueur dépend du choix de la boucle prise à la sortie des bascules vers l'entrée du registre. Notre registre est composé de SN 74 95 (ce sont des registres à décalage). La longueur maximale est obtenue en prenant les sorties 6 et 7 du registre. Elle a pour valeur $: 2^7 - 1 = 127$ bits et sa période $T = (2^7 - 1) \theta_H = 127 \text{ ms}$ où $\theta_H = 1/f_H$ f_H : étant la fréquence d'horloge ($f_H = 1\text{KHz}$).

schémas
synoptique de
l'émetteur

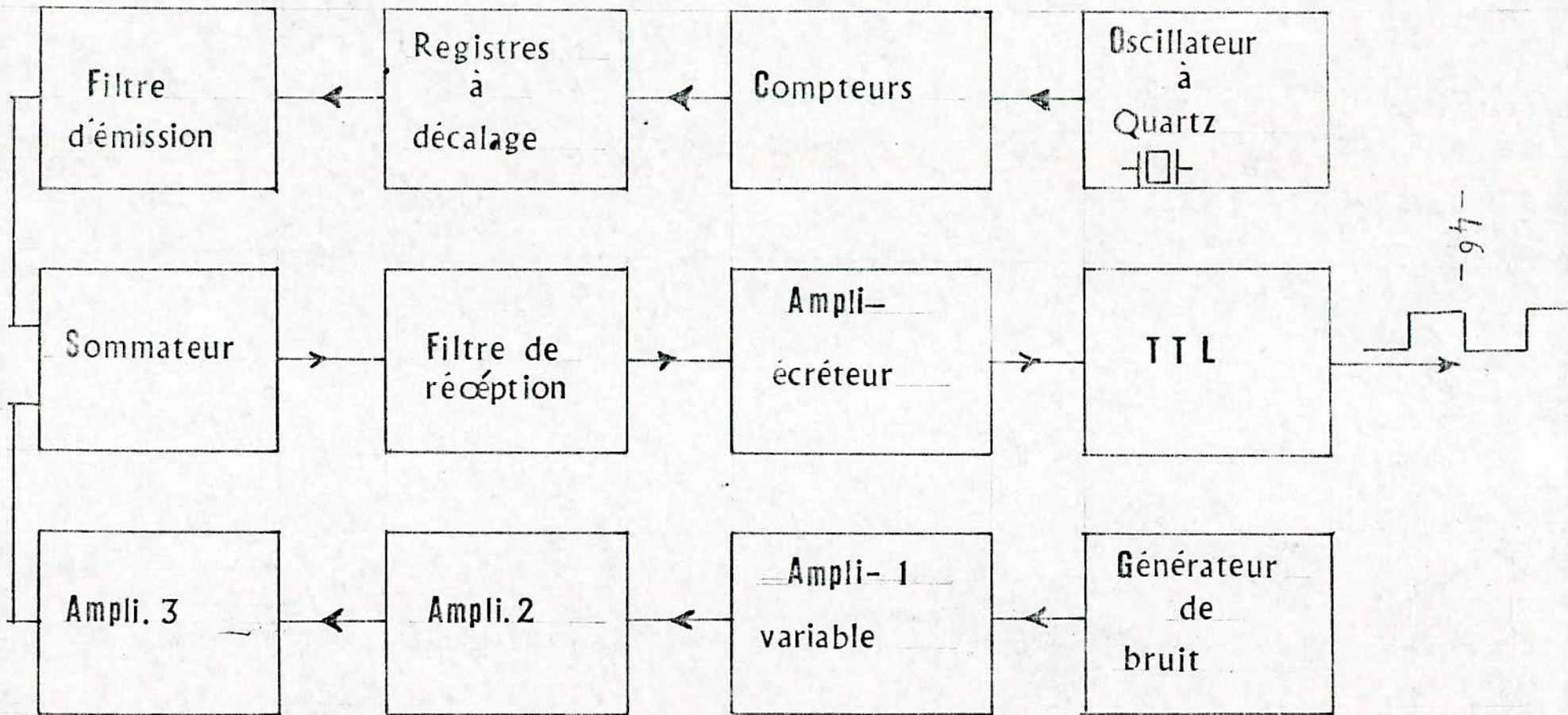
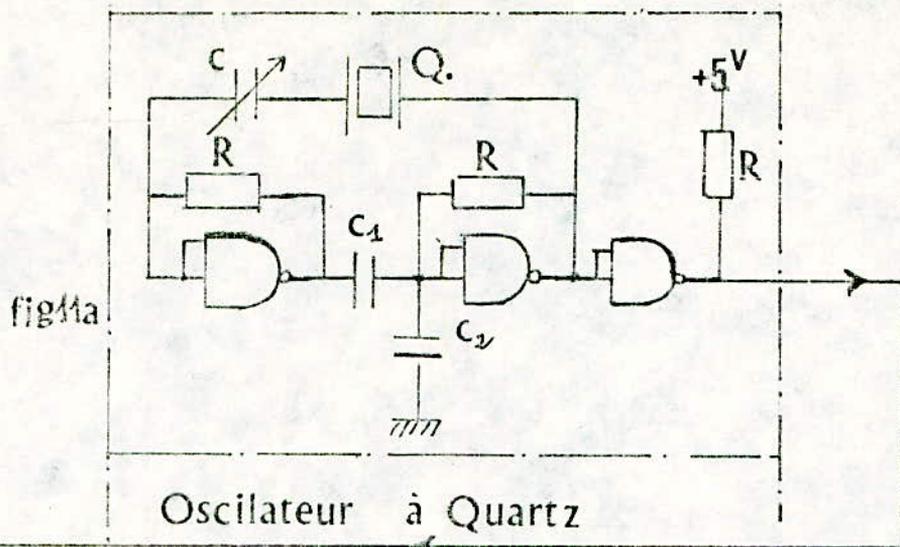


fig10



Compteurs

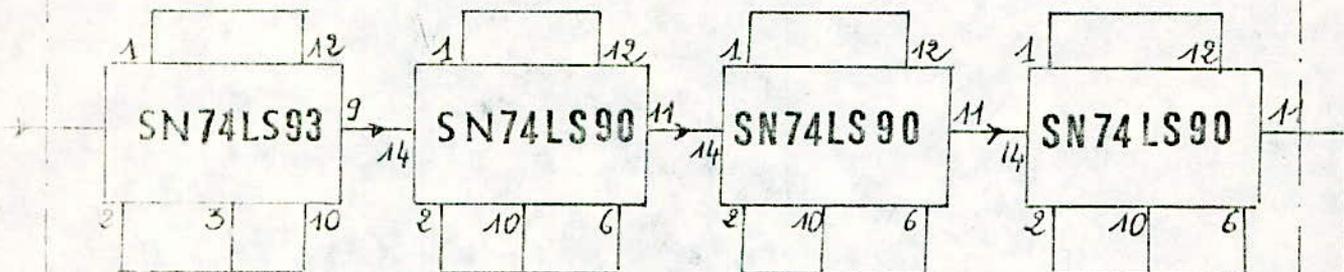


fig1b

Générateur de séquences pseudo-aleatoires

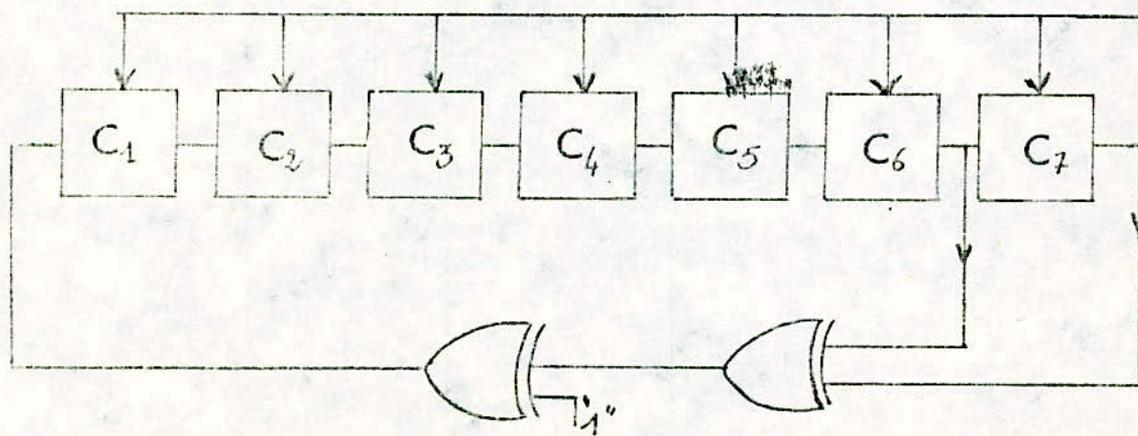


fig1c

Filtre d'émission :

C'est un filtre actif pass-bas d'ordre 2 dont la fonction de transfert est du type de Bessel, la réponse de Bessel se caractérise par sa phase qui est proportionnelle à la fréquence. La rotation de phase de ce filtre est la plus faible par rapport aux autres types de filtres.

Générateur de bruit :

Il existe de nombreuses façons de générer le bruit : résistance, diode à vide etc... On a préféré la génération par diode Zener. Pour de très faibles courants inverses, de l'ordre de quelques micro-ampères, le courant I_z subit des fluctuations aléatoires. Le transistor 2N2222 permet d'augmenter le niveau du bruit à 0,5 volts et pour un spectre s'étendant jusqu'à 30 MHz.

Amplificateur :

C'est un montage très connu, basé sur l'amplificateur opérationnel (O.P.) monté en amplificateur de tension inverseuse et qui permet d'amplifier le niveau du bruit. On en a utilisé 3 montés en cascade.

Sommeur :

Cette opération mathématique est réalisée par l'O.P. qui permet d'additionner le bruit avec le signal util.

Limiteur :

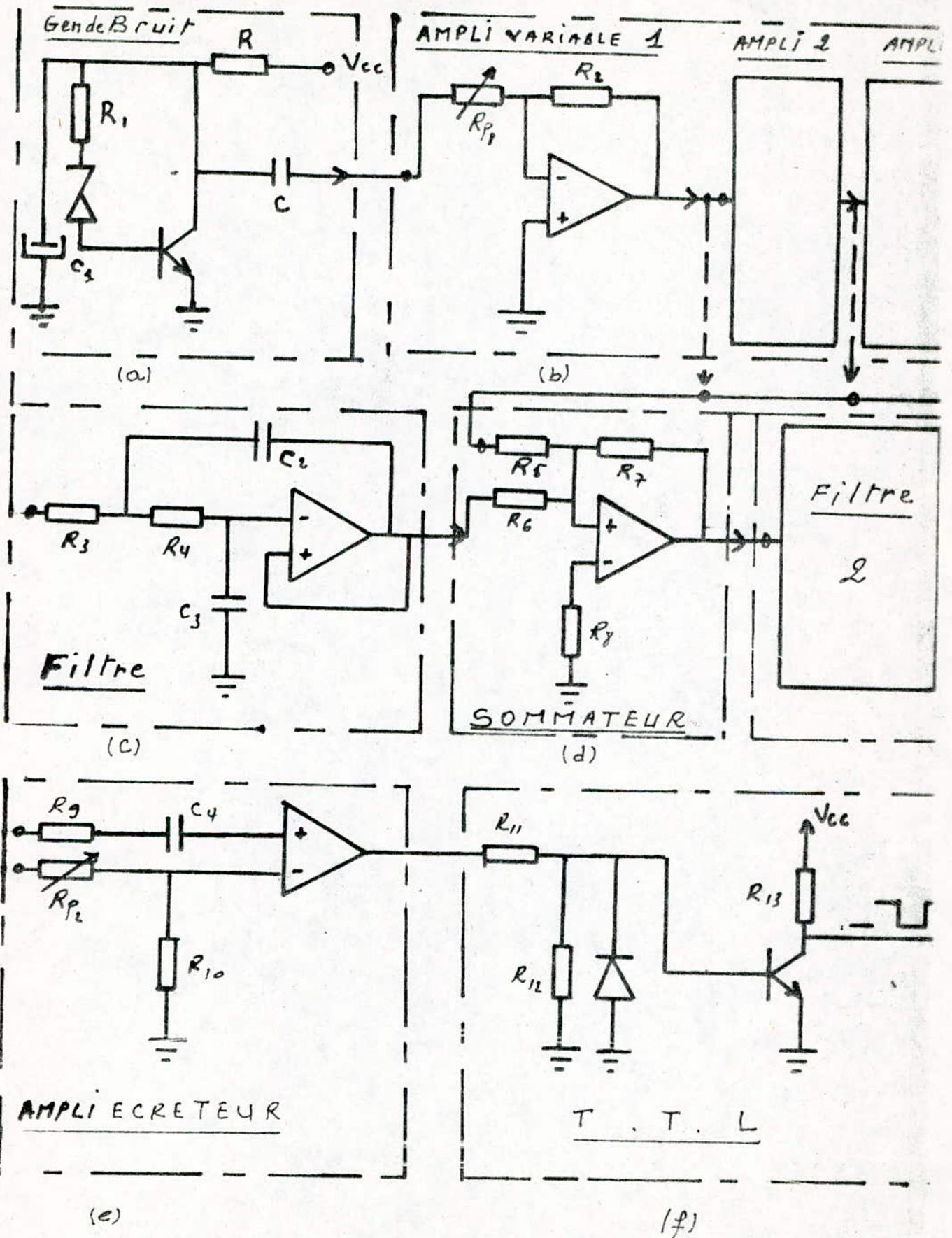
Ce montage a pour but de limiter l'amplitude, monté lui aussi autour de l'O.P.

Filtre de réception :

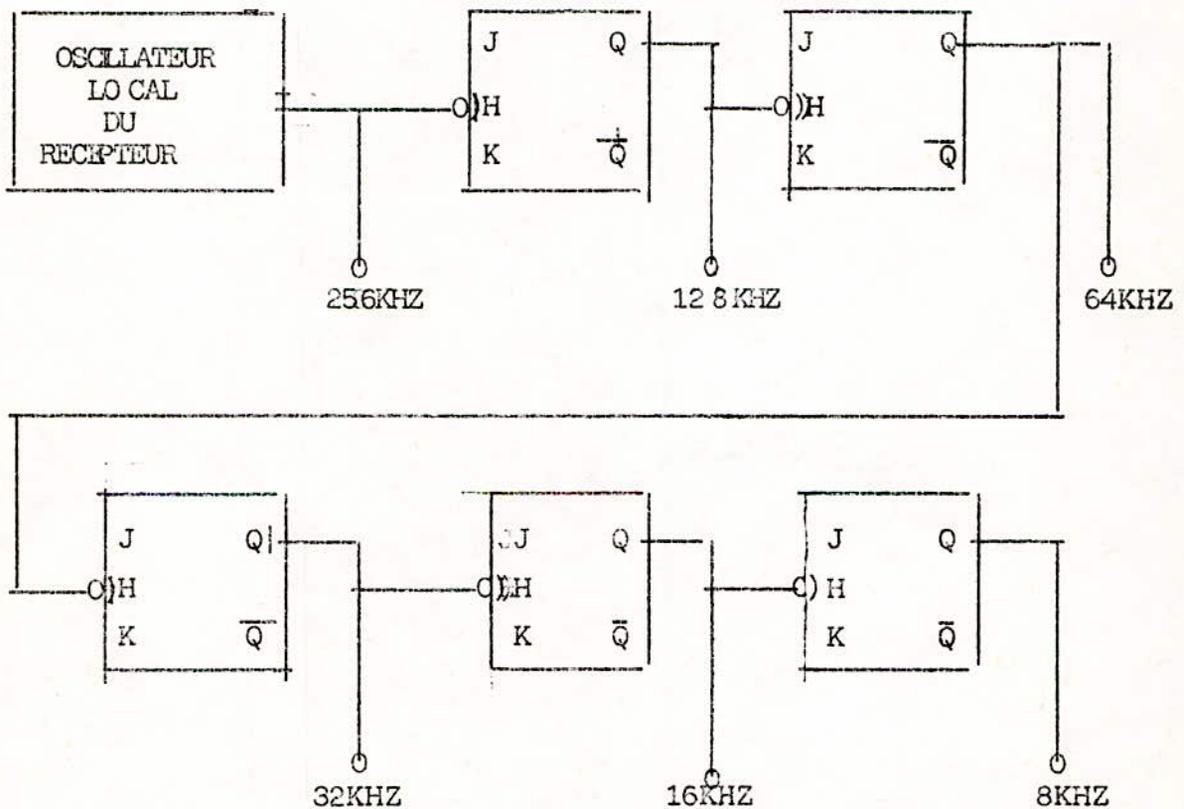
Identique au filtre d'émission.

Étage T.T.L :

Ce montage permet la compatibilité entre la sortie du limiteur et l'entrée des circuits de traitement du récepteur (qui sont en T.T.L) Ces circuits de traitements seront détaillés par la suite.



Le récepteur contient un oscillateur local et des diviseurs de fréquence. On dispose de 6 fréquences (fig.12), ces 6 signaux sont utilisés pour l'étage "zone morte"; ces 6 signaux nous permettent de changer la largeur de la "zone morte". De ces 6 signaux, on prend 4 qui nous permettent d'avoir 4 pas de synchronisation différents.



-fig.12- schémas de l'oscillateur local et les diviseurs de fréquence
Les fréquences : 256KHZ, 128KHZ, 64KHZ, 32KHZ, 16KHZ, 8KHZ sont utilisées pour l'étage "zone morte".

: 128KHZ, 64KHZ, 32KHZ, 16KHZ sont utilisées pour changer le pas de synchronisation.

Fonctionnement du système :

Il est important de souligner que le système de communication ici est de nature statistique : les performances de ce système ne peuvent être fournies qu'en termes probabilistes puisque la source transmet des séquences binaires pseudo-aléatoire.

Caractéristique du signal de données ;:

Une suite des données binaires n'a pas toujours les propriétés désirables pour que l'émission et la réception puissent s'effectuer de manière correcte, ainsi, dans le cas d'une transmission synchrone, si les données sont transmises par paquets, l'absence d'information entre deux paquets se traduit par une longue suite de "1" pour les symboles binaires des données. Ces longues suites de symboles identiques sont un obstacle à la reconstitution du signal d'horloge à la réception, qui se base sur les transitions du message en bande de base. Après estimation du récepteur, lorsqu'il ne se produit que peu de transitions, le signal d'horloge n'est pas reconstitué correctement. Il est donc nécessaire que la suite des données émises comporte suffisamment de transitions. Il en est ainsi si les données satisfont à l'hypothèse suivante :

$$P_r(d_k) = P_r(d = 0) = P_r(d = 1) = 1/2$$

Or le générateur de séquences binaires pseudo-aléatoires satisfait à l'hypothèse.

Une autre caractéristique de données très importante pour la reconstitution de l'horloge à la réception nous la donnons sous forme de définition.

Suite synchrone de données en série :

On dit d'une suite de données en série est synchrone, lorsque le temps qui separe deux quelconques de ces instants significatifs est un multiple entier d'un même intervalle de temps T . Nous convenons d'appeler instants significatifs les instants où la donnée est délivrée par le générateur en conséquence les instants de synchronisation du signal de données émis correspondent aux instants de front montant du signal d'horloge de l'émetteur. Ainsi, si à la la réception, les instants de synchronisation du signal de données reçu coïncident aux instants de front montant de l'horloge, au decalage près, alors on dira qu'on a reconstituer le signal d'horloge de l'émetteur et donc les horloges de l'émetteur et du récepteur sont en phase ou synchronisées.

Emetteur :

Le generateur de sequence pseudo-aleatoires est l'instrument de base pour l'essai de notre dispositif. Ce generateur remplace la source de données et le codeur. La sequence binaire est envoyée en mode synchrone . La sequence binaire constitue notre message en bande de base $d(t)$. L'horloge de l'émetteur definit le debit binaire que nous prenons $D = 1\text{Kbits/s}$. Le filtre d'emission est un filtre actif pass-bas de type de bessel, ce type de filtre n'introduit pas de distorsion de phase autrement dit le temps de propagation du groupe de frequence est constant. La frequence de coupure de ce filtre est prise à $f_c = 0,6f_h$: (f_h est la frequence du signal d'horloge de l'émetteur) pour éviter les interferences entre les impulsions émises (critère de nyquist). Du point de vue

puissance, le filtre laisse passer une puissance suffisante pour la détection optimale du signal émis. Le sommateur permet d'additionner le signal utile et le bruit, ceci nous permet de voir l'effet du bruit sur la synchronisation à la réception.

Récepteur : (fig.13)

Estimation du signal d'horloge à la réception :

Les méthodes d'estimation peuvent être classées en deux catégories suivant que le signal d'horloge est émis ou ne l'est pas.

Le signal d'horloge peut être émis, en additionnant au signal en bande de base, une sinusoïde dont la fréquence coïncide avec le zéro du spectre du signal de données émis, par exemple dans notre cas la fréquence de la sinusoïde est $f_h = 1/T_h = 1\text{KHZ}$.

Il est ainsi possible à la réception d'estimer la fréquence du signal d'horloge mais un réglage de phase est nécessaire pour synchroniser le signal d'horloge reconstitué avec le signal reçu. Cette méthode présente un autre inconvénient : l'émission du signal d'horloge, sous forme d'une sinusoïde, consomme une partie de la puissance émise.

Lorsque le signal d'horloge n'est pas émis, il doit être estimé par le récepteur à partir du signal reçu. La méthode couramment utilisée, consiste à asservir en phase un oscillateur local avec le signal reçu, en se basant sur les instants où se produisent les transitions. Cette méthode suppose que les transitions du signal en bande de base sont en nombre suffisant car en l'absence de transition aucune correction n'est apportée à l'oscillateur local. Cette hypothèse est

schémas
synoptique du
récepteur

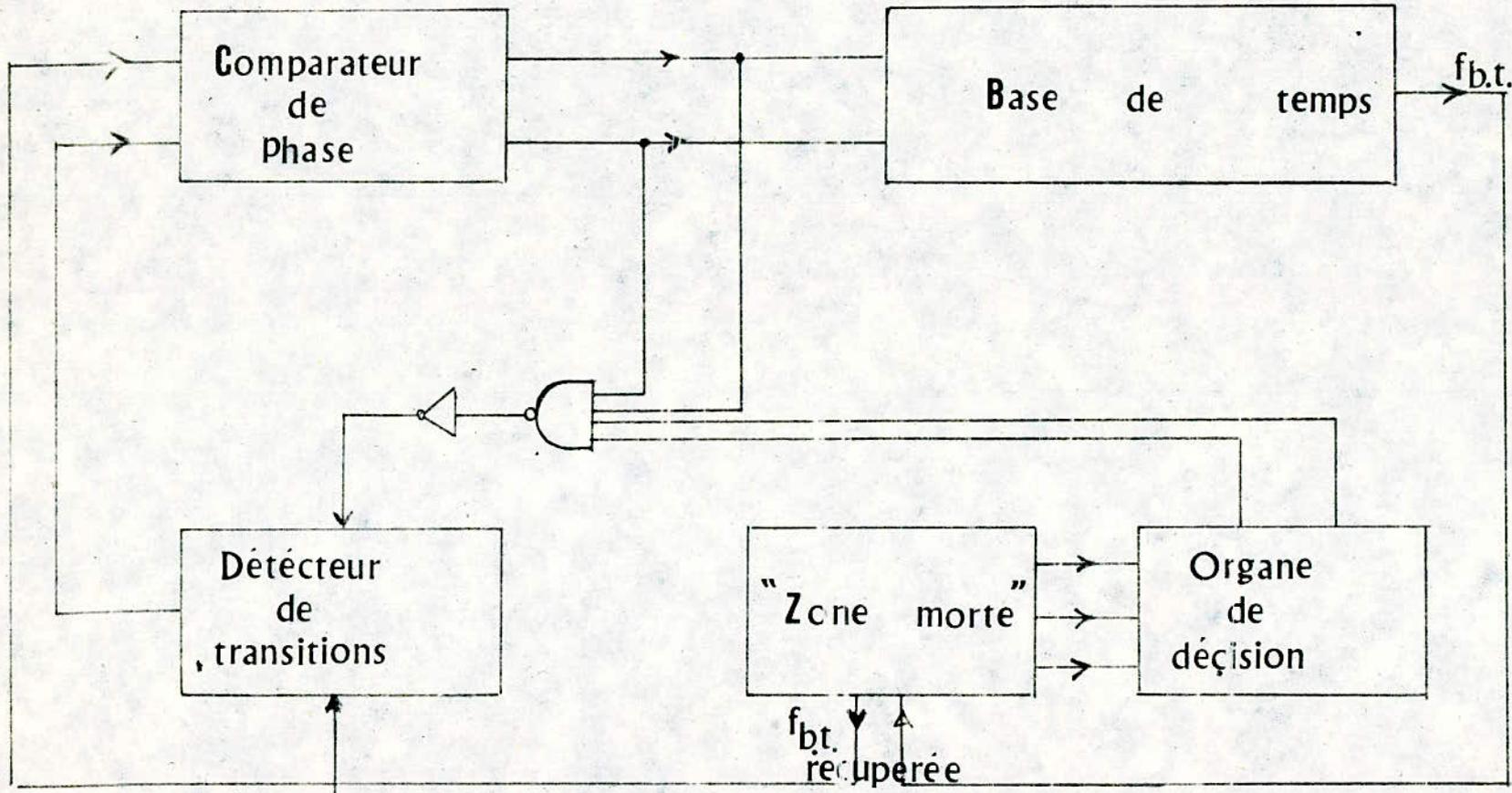


fig13

largement vérifiée par les codes biphasés de miller et par notre générateur.

Filtre de réception :

Ce filtre, ayant les mêmes caractéristiques que le filtre d'émission, permet de capter les signaux utiles afin de diminuer le plus possible à la réception le bruit apporté par la "ligne de transmission". L'étage TTL permet d'adapter le signal de données aux circuits de traitement.

Circuits de traitement du signal de données : (fig.14)

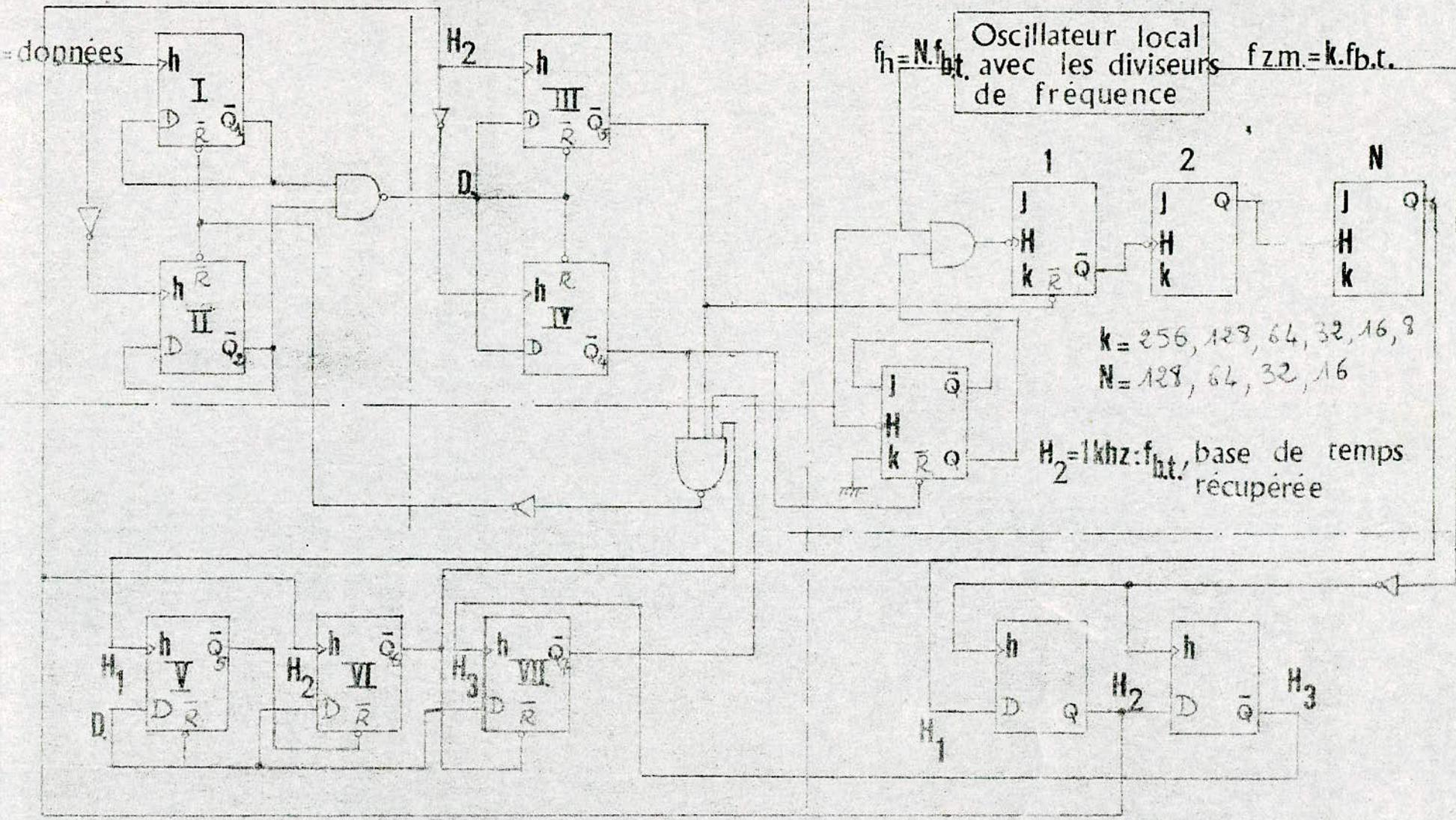
Avant de commencer, expliquons ce que c'est "zone morte": elle représente une fenêtre temporelle dont la largeur est variable. L'horloge du récepteur est centrée dans la fenêtre et dont on veut comparer la phase avec celle du signal de données, n'oublions pas que l'instant de synchronisation du signal de données nous indique la position du front montant de l'horloge de l'émetteur, ainsi, si l'instant de synchronisation du signal de données se situe à l'intérieur de la fenêtre alors la phase de l'horloge de l'émetteur coïncide, au décalage près, avec celle du signal d'horloge du récepteur car le front montant de ce dernier est situé à l'intérieur de la fenêtre (il est centré dans celle-ci). L'erreur sur l'écart des phases des horloges de l'émetteur et du récepteur dépend de la largeur de la fenêtre. La précision augmente avec la diminution de la largeur de la fenêtre.

L'étage de "zone morte" est constitué de deux bascules D l'horloge locale du récepteur attaque l'entrée de la première bascule D. En

Détecteur de transitions

Comparateur de phase (D avec H_2)

Diviseur programmable N-1, N, N+1



Organe décision

Étage "zone morte"

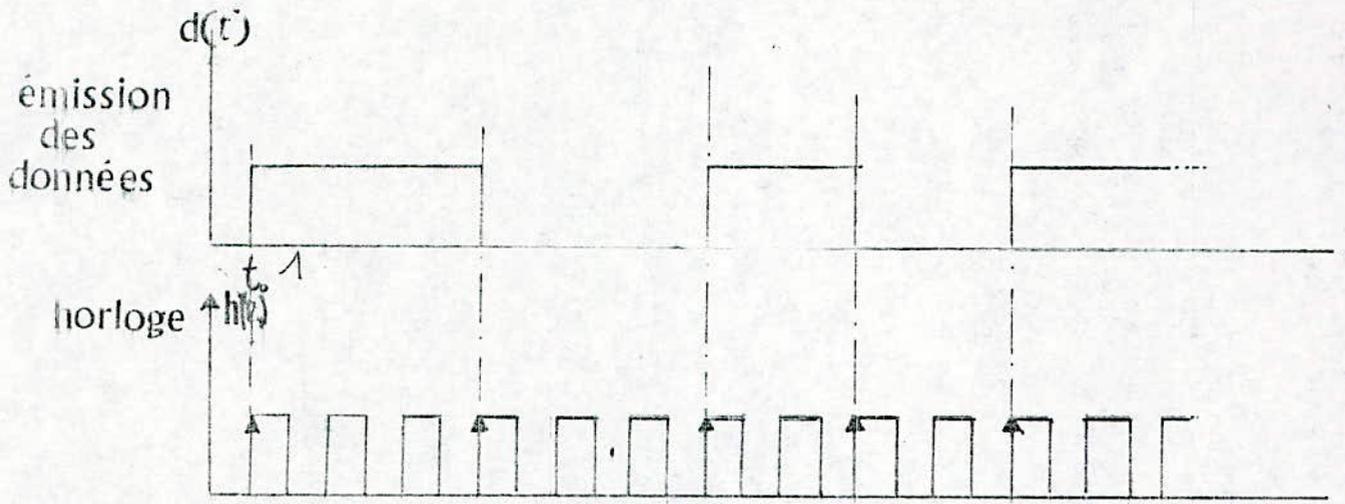
fig 14

sait que la bascule D reproduit le même signal d'entrée mais décalé dans le temps d'une période d'horloge appliquée à cette bascule. Aussi, avec deux bascules D, on obtient trois horloges identiques, les horloges extrêmes (H_1 et H_3) forment les "cadres" de la fenêtre dont la largeur est $2xT_H(F_H \pm 1/T_H)$; F_H étant la fréquence du signal utilisé pour l'étage "zone morte", F_H est appliquée aux deux bascules D). H_2 étant le signal d'horloge dont on veut comparer la phase avec celle du signal reçu. H_2 sera donc le signal d'horloge reconstitué.

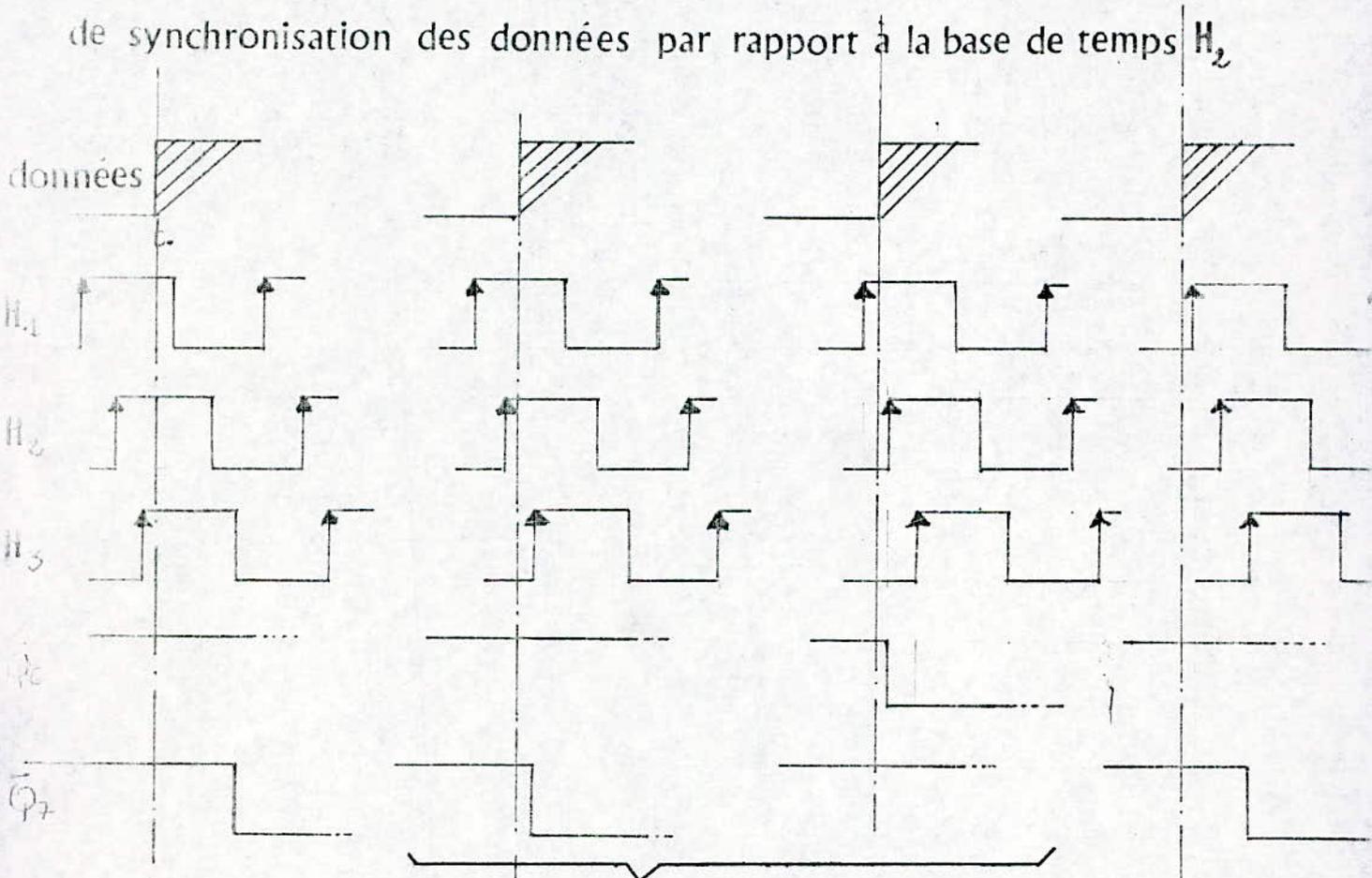
Les bascules I et II détectent les transitions du signal de données qui sont en fait les critères de synchronisation. L'étage qui suit après compare les phases de H_2 et du signal reçu. On donnera sous forme de chronogrammes les différentes positions du signal de données par rapport à H_2 ; si l'instant de synchronisation du signal reçu se trouve à l'intérieur de la fenêtre, la phase de H_2 sera conservée par contre s'il est à l'extérieur, là, on agit sur la phase de H_2 pour la faire coïncider avec la phase du critère de synchronisation ou pour être exacte avec l'instant du front montant du signal reçu.

L'action sur H_2 est effectuée par les sorties \bar{Q}_3, \bar{Q}_4 des bascules D de l'étage "comparateur de phase", en effet \bar{Q}_3, \bar{Q}_4 en se mettant à l'état bas (pas en même temps bien sûr) permettent respectivement d'accélérer ou de retarder la phase de l'horloge H_2 . Le changement (accélération ou retard) ou non est décidé par l'étage de décision.

Si les sorties \bar{Q}_6, \bar{Q}_7 DE CET étage sont toutes deux à l'état haut alors il y'a changement : on accélère la phase de H_2 si elle est en retard par rapport à l'instant du critère de synchronisation du



réception des données : on donne les différentes positions du critère de synchronisation des données par rapport à la base de temps H_2



D est en avance sur D .
doit retarder H_2

D se trouve dans la "zone morte" formée par H_1 et H_3 . la phase de H_2 est conservée.

H_2 est en retard par rapport à D . on avance donc, la phase de H_2

signal reçu ou l'inverse, dans le cas où H_2 est en avance sur le signal. Maintenant si l'une des sorties Q_6 ou Q_7 est à l'état bas, là, on a une remise à "zéro" des bascules I, II de l'étage "détecteur de transitions" qui commandent à leur tour la remise à "zéro" des bascules III, IV, de ce fait, les sorties de ces bascules ne changent pas d'état donc la phase de H_2 n'est pas touchée ce qui veut dire qu'à cet instant l'horloge H_2 du récepteur, est en phase avec l'horloge de l'émetteur, aux erreurs près.

REMERCIEMENTS

CALCUL DES ELEMENTS :

Nous donnons le calcul des éléments seulement du filtre et de l'étage TTL.

-Filtre pass-bas d'ordre 2 de type de Bessel (fig. 15c)

La fonction de transfert :

$$F(p) = 1/0,615913 p^2 + 1,359316 p + 1$$

f_p = fréquence de coupure , $f_p = 0,6 f_H = 600\text{HZ}$ f_H : fréquence du signal d'horloge de l'émetteur

$$A = 1/RW_p = 1/R2 \prod f_p \quad \text{on prend } R = R_3 = R_4 = 10^3 \text{ ohms}$$

$$\text{alors } C_2 = 2.0,615913/A/1,359316 = 2,4 \text{ nF}$$

$$C_3 = 1,359316.A/2 = 18 \text{ nF}$$

Etage TTL

$$R_c = \frac{V_{cc} - V_{cesat.}}{I_c} = \frac{5 - 0,25}{100} = 10^3 \text{ ohms} = 47,5 \text{ ohms (1/2 W)}$$

$$R_b = \frac{E - V_{Besat.}}{I_{bsat.}} = 3,82 \cdot 10^3 \text{ ohms (1/2 W)}$$

CONCLUSION

L'étude sur la synchronisation des signaux numériques nous a permis de connaître un domaine technique peu connu des étudiants. Notre travail a été axé surtout sur la réalisation pratique du dispositif de synchronisation avec les parties (émetteur et récepteur). Il n'en demeure pas moins que nous avons eu un aperçu sur les difficultés qui se posent quand on passe du stade théorique au stade pratique. Notre dispositif est une maquette faite pour les étudiants et peut être utilisée comme un TP d'initiation sur la synchronisation des signaux numériques en plus on peut ajouter du bruit au signal de même on peut faire subir au signal une distorsion biaisée et voir ainsi leurs effets sur la synchronisation des signaux.

Nous souhaitons avoir donné le minimum d'informations sur la transmission des données.

§§§§ BIBLIOGRAPHIE §§§§

- 1-GORDON RAISBERG :theorie de l'information -MASSON & CIE (1964)
- 2-J. DUPRAZ : " " la communication Edition EYROLES (1973)
- 3-A. VITERBI/J.K.OMURA :principe des communications numériques
-PARISDUNOD (1982)
- 4-J.LAVIER,G.COFFINET,F.BEHR: théorie et technique de la transmission
des données tome I,II édition MASSON et CIE
- 1972 -
- 5-FJESSIE, MAC WILLAMS, NEILJASLOANE Pseudo-Random séquences
and arrays Proceeding of IEEE-
DECEMBER 1976
- 6-M.AUMIAUX :Pratique de l'électronique NEW-YORK,MASSON,1977
- 7-THE TTL DATA BOOK - Texas instrument -1973
- 8- J.AUVREY : Electronique des signaux échantillonnés et numériques
PARISà DUNOD, 1979
- 9-C. VERBEEK/ Les fonctions essentielles en commutation, PARIS, DUNOD, 1980
- 10-H.LELEN: Circuits intégrés numériques, PARIS?édition Radio, 1978
- 11-R.DELSOL: Circuits intégrés et techniques numériques-TOULOUSE, CEPADUES
Edition 1978
- 12-C.MACCHI,J?F. GUILBER,: Téléinformatique -édition DUNOD, 1983
- 13-J.HERVE: Electronique appliquée à la transmission de l'information
tome II, MASSON, PARIS 1982

LEXIQUE

Nous donnons ici un lexique des termes anglo-saxons couramment employés dans la technique des transmissions de données.

<u>ALPHABET</u> /	<u>BIT</u>
<u>ALPHABET</u> :	<u>BIT</u> : (abreviation pour "element binaire")
Quantité d'information qui résulte du	
choix entre deux possibilités qui s'ex-	
-cluent l'une l'autre, et qui ont chacune	
une probabilité de réalisation égale à 1/2.	
<u>CALLING</u>	
<u>APPEL</u> :	
Processus consistant à émettre des sign-	
-aux d'adresse en vue d'établir une	
liaison entre des stations de données.	
<u>START-STOP (transmission)</u>	
<u>arythmétique (")</u>	
Transmission asynchrone dans laquelle	
un groupe de signaux représentant un	
caractère est précédé par un signal de	
départ suivi par un signal d'arrêt.	
<u>BASE BAND (transmission)</u>	
<u>BANDE DE BASE (transmission)</u>	
Transmission d'un signal de données	
dans sa bande de fréquence d'origine,	
sans qu'il subisse de modulation.	
<u>TIME FRAME</u>	
<u>BASE DE TEMPS</u> :	
Structure de nature chronologique, basée	
sur des événements périodiques.	

Tableau de correspondance entre un ensemble conventionnel de caractères et les signaux ou séquences de symboles qui représentent ces caractères.

HALF-DUPLEX (transmission)
ALTERNAT (transmission à 1') :
Transmission sur un circuit de données dans un sens ou dans l'autre, le choix du sens est commandé par le terminal.

ASYNCHRONOUS (transmission)
ASYNCHRONE (transmission) :
Mode de transmission de données dans lequel l'instant d'émission de chaque caractère ou bloc de caractères est fixé arbitrairement. L'instant d'émission de chaque signal représentant un élément binaire à l'intérieur d'un caractère, ou d'un bloc, est calé sur les instants significatifs d'une base de temps donnée.

BLOCK

BLOC :

Groupe de bits ou de caractères manipulé comme un tout :

1) Constituant l'unité de lecture ou d'écriture sur un support d'information.

2) En transmission de données, groupe transmis comme un tout auquel est généralement appliquée une méthode de codage pour la protection contre les erreurs.

CHARACTERE

CARACTERE :

Lettre, chiffre (en numérotation décimale ou autre), signe de ponctuation ou autre, entrant dans la constitution d'un message. En dehors de ces caractères, il peut en exister d'autres correspondant à des symboles spécifiques ou à la commande de certaines fonctions.

CODE

0

CODE

CODE :

Répertoire des règles et des conventions selon lesquelles doivent être formés, émis, reçus et traités les signaux télégraphiques intervenant dans un message où les signaux de données intervenant dans les blocs

DATA SINK

COLLECTEUR DE DONNEES :

Partie d'un terminal par laquelle les données sont reçues d'une liaison de données.

DATA COMMUNICATION

COMMUNICATION DE DONNEES :

Transfert de données entre une source et un collecteur de données par l'intermédiaire d'une ou plusieurs liaisons de données conformément à une procédure de liaison.

CAPACITE(ou THROUGHPUT)

DEBIT MAXIMUM :

Quantité maximale d'information qui peut être manipulée par unité de temps dans un système de traitement.

CROSS-TALK

DIAPHONIE

Défaut de transmission dû au tra-
-nsfert d'une partie de l'énergie
du signal transmis par un circuit
à un autre circuit.

DATA SIGNALLING RATE

DEBIT BINAIRE :

Le débit binaire d'une voie de do-
-nnées est le nombre maximum d'
éléments binaires que cette voie
peut transmettre par seconde. Le
débit binaires s'exprime en élem-
-ents binaires par seconde(bit/s).

DEMODULATION

demodulation :

Procedé permettant de reconstituer
le message original à partir d'une
onde porteuse modulée par ce méss-
-age.

DISTORSION

DISTORSION :

Déformation subie par le sigaal
dans un système de transmission.

SIGNIFIANT INTERVAL :

Intervalle significatif:

intervalle de temps compris

FULL-DUPLEX(transmission)

DUPLEX (transmission en)

Transmission de données sur un circuit
de données dans les deux sens à la fois.

SIGNAL ELEMENT

ELEMENT DU SIGNAL :

chacune des parties constituant un signal
télégraphique ou de données et se distin-
distinguant des autres par sa nature,
sa grandeur ,sa durée.

CLOCK

HORLOGE ou GENERATEUR DE RYTHME :

Equipement fournissant la base de temps
utilisée dans un système de transmission
pour commander le rythme de certaines
fonctions telles que la fixation de la
durée des elements des signaux,l'echan-
-tillonage,etc...

SIGNIFICANT INSTANTS

INSTANTS SIGNIFICATIFS :

Instants auxquels débutent les états
significatifs pris successivement par
l'organe approprié de l'appareil emetteur.
(p récepteur).

entre eux inat significatif
successifs

MESSAGE :

MESSAGE:

Groupe de caractères et suite
d'éléments binaires de commande
transférés comme un tout d'une
source de données vers un col-
lecteur de données, la répartition
des caractères étant déterminés
par la source.

DATA MULTIPLEXER :

MULTIPLEXEUR (de données) :

Unité fonctionnelle permettant à
plusieurs sources de données
d'utiliser simultanément des
moyens communs de transmission
tout en assurant à chaque source
sa propre voie indépendante.

MODULATION RATE :

RAPIDITE DE MODULATION :

Inverse de la durée du plus
court intervalle significatif du
signal modulé si cette durée est
exprimée en secondes, la rapidi-
té de modulation s'exprime en
bandes.

DATA TRANSMISSION LINE

LIGNE DE TRANSMISSION DE DONNEES :

Moyen de transfert à distance de signaux

MODEM:

MODEM :

Unité fonctionnelle servant principa-
lement à moduler les signaux.une des
fonctions du modem est de permettre
la transmission de données numériques
sur des circuits analogiques.

MODULATION :

MODULATION:

Variation dans le temps d'une ou
plusieurs caractéristiques quantifiées
d'une onde électromagnétique, suivant
les signaux de données à transmettre.

PARALLEL TRANSMISSION :

PARALLELE (transmission en) :

Transmission simultanée d'un groupe
d'éléments binaires constituant un
caractère ou toute autre entité de
données.

SERIAL TRANSMISSION :

SERIELE (transmission en) :

Transmission successive d'un groupe
d'éléments binaires constituant un

<u>SIGNAL-TO-NOISERATIO:</u>	caractère de toute autre entité de
<u>RAPPORT SIGNAL SUR BRUIT :</u>	données.
Rapport de la puissance du	<u>SIGNAL :</u>
signal à la puissance du bruit	<u>SIGNAL :</u>
sur une ligne de transmission	Grandeur, fonction du temps, caracté-
par exemple.	risant un phénomène physique et repré-
<u>STOP SIGNAL :</u>	sentant des données.
<u>SIGNAL D'ARRET :</u>	<u>DATA SIGNAL :</u>
En transmission arythmique, signa-	<u>SIGNAL DE DONNEES :</u>
l transmis immédiatement après	Signal qui représente un ensemble de
un caractère.	symboles utilisés pour transmettre des
<u>START SIGNAL :</u>	informations.
<u>SIGNAL DE DEPART :</u>	<u>BINARY DIGIT:</u>
En transmission arythmique,	<u>SYMBOLE BINAIRE :</u>
signal indiquant le début d'un	Symbole servant à représenter des
caractère.	données.
<u>DATA SOURCE :</u>	<u>SYNCHRONOUS(transmission):</u>
<u>SOURCE DE DONNEES :</u>	<u>SYNCHRONE (transmission) :</u>
Partie de terminal par laquelle	Mode de transmission de données dans
les données sont introduites	lequel l'instant d'émission de chaque
dans une liaison de données.	signal représentant un élément binaire
<u>DATA TRANSMISSION :</u>	et calé sur une base de temps de
<u>TRANSMISSION (de données):</u>	données.
Action de faire parvenir des	<u>CHANNEL:</u>
données d'un point à un autre	<u>VOIE (de transmission) :</u>
par l'intermédiaire de signaux	Ensemble des moyens permettant la
sur une voie.	transmission en simplex de signaux
	dans un sens fixé à l'avance

ANNEXE

Nous donnons dans cette annexe, sous forme concise, quelques résultats de la théorie du signal utiles à une bonne compréhension d'un système de transmission de données, pour plus de détails, nous conseillons le lecteur de voir les livres suivants :

- Element de théorie du signal de B. PICINBONO édition DUNOD
- Théorie et traitement des signaux de F. DE COULON " "
- Traitement numérique des signaux de M. KUNT " "

A-1 Signaux certains :

A-1-1 Fréquence :

Introduisons tout d'abord la notion de fréquence, en rappelant qu'une exponentielle complexe $EXP(2\pi j f t)$ est un signal à la fréquence pure et qu'un signal sinusoidal réel $COS(2\pi f t)$ est un signal aux fréquences $+f$ et $-f$:

$$\begin{cases} EXP(2\pi j f t) = COS(2\pi f t) + j SIN(2\pi f t) \\ COS(2\pi f t) = [EXP(2\pi j f t) + EXP(-2\pi j f t)] / 2 \end{cases}$$

Les exponentielles complexes ont une place importante en théorie du signal à cause des propriétés :

- Transformation de FOURIER
- Filtres linéaires.

A-1.2 LES FONCTIONS X (T) DEFINIES SUR UN INTERVALLE FINI :

$(-T/2, T/2)$ à valeur dans C, d'énergie finie, peuvent s'écrire s'écrire sous la forme bien connue de la série de FOURIER ,

$x(t) = \text{SOM}(C_k \cdot EXP(2\pi j k/T))$ k varie de - à + l'infini

(2) avec $C_k = 1/T \int_{-T/2}^{+T/2} x(t) \cdot EXP(-2\pi j k/T)t dt$ t est compris entre $[-T/2, +T/2]$

Les coefficients C_k sont appelés coefficients de FOURIER de $x(t)$.

La série de FOURIER (2) définit une fonction périodique, de période T qui coïncide avec $x(t)$ sur $(-T/2, +T/2)$. L'égalité (2) demeure pour tout t appartenant à \mathbb{R} si $x(t)$ est également périodique de période T . De plus, on montre que la puissance P de $x(t)$ est répartie sur l'axe des fréquences aux points $f = k/T$, suivant les valeurs de $|C_k|^2$,

$$1/T \int_{-T/2}^{+T/2} |x(t)|^2 dt = \sum |C_k|^2 \quad \text{avec } t \text{ appartenant à } \int_{-T/2}^{+T/2}$$

et k varie de $-\infty$ à $+\infty$

C'est pourquoi on appelle spectre de puissance de $x(t)$, l'ensemble des $|C_k|^2$.

A-1.3 Les fonctions $x(t)$, t appartenant à \mathbb{R} , à valeur dans \mathbb{C} , d'énergie finie, sont telles que :

$$(4) \quad \begin{cases} x(t) = \int \hat{x}(f) \exp(2\pi jft) df \\ \hat{x}(f) = \int x(t) \exp(-2\pi jft) dt \end{cases}$$

avec t et f appartenant à l'intervalle de $-\infty$ à $+\infty$

On dit que $x(t)$ et $\hat{x}(f)$ sont une paire de transformées de FOURIER et on résume (4) sous la forme : $x(t) \xrightarrow{\quad} \hat{x}(f)$

Rappelons brièvement quelques propriétés élémentaires des transformées de FOURIER

Changement d'origine : $x(t + t_0) \xrightarrow{\quad} \hat{x}(f) \cdot \exp(2\pi jft_0)$

PRODUIT de convolution : $x(t) \cdot y(t) \xrightarrow{\quad} \int \hat{x}(f) \cdot \hat{y}(f) \cdot \exp(-2\pi jft) df$

f varie de $-\infty$ à $+\infty$

Théorème de PARSEVAL

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot y^*(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{x}(f) \cdot \hat{y}^*(f) df \quad \text{avec } t \text{ et } f \text{ variant de } - \infty \text{ à } +\infty$$

Cette égalité pour $y(t) = x(t)$ exprime que l'énergie de $x(t)$ est répartie sur l'axe des fréquences suivant $|\hat{x}(f)|^2$, c'est pourquoi on appelle spectre d'énergie de $x(t)$ la fonction $|\hat{x}(f)|^2$.