

وزارة التربية الوطنية  
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

*Electronique*

المعرض الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Etude et réalisation d'un  
Télémetre Infra-rouge*

Proposé par :

M<sup>re</sup> BEN BELKACEM  
M<sup>re</sup> CHEKIMA

Etudié par :

M<sup>re</sup> BENSSETTI M<sup>re</sup> Ali  
M<sup>re</sup> BERMAK Amine

Dirigé par

M<sup>re</sup> BEN BELKACEM

PROMOTION

*Juillet 1993*

## REMERCIEMENTS

Tous nos remerciements au tout puissant d'abord, ensuite nous tenons à exprimer notre vive reconnaissance envers toutes les personnes qui ont rendu possible l'élaboration de ce projet, en particuliers Monsieur **BEN BELKACEM**, notre promoteur pour tous les conseils qu'il nous a prodigué, pour la confiance qu'il nous a témoigné et pour sa participation active durant notre travail.

Nos remerciements iront de même à Monsieur **CHEKIMA** pour sa contribution à la réalisation de ce travail.

Que tous les enseignants qui ont contribué à notre formation d'ingénieur, en particulier, ceux du département d'électronique (ENP), veuillent bien trouver ici l'expression de nos vifs remerciements.

Nous remercions également les enseignants de l'ENS (laboratoire de physique) qui à titre divers nous ont aidé à élaborer ce travail.

# DEDICACES

A ma mère, celle qui ma pris entre ces bras, là où je fais recours à tout moment d'inquiétude ... ma mère puis ma mère puis ma mère.

A celui qui s'est privé même du plus nécessaire pour qu'il nous assure le bonheur... mon père l'homme qui ma appris à l'être.

A mes frères et soeurs en témoignage de notre amour fraternel en particulier à l'ainé de la famille... Djahida, je suis fière d'être ton frère.

A tous mes amis qui me sont très chers particulièrement :

- oulidets oued El Had et la cité El Hayet.
- Ceux de mon milieu avec qui j'ai passé des moments agréables (Ecole, Lycée, Université...).
- Amine, celui avec qui j'ai eu la chance de travailler, et de connaître.

- A l'hommage du regretté frère et ami Fayçal Boudjema.

- A Mlle Houda pour le soutien moral.
- A tous les travailleurs de l'ENP.
- A tous les musulmans du monde.

Je dédie ce modeste travail

Madjid BENSETJI

Amine BERMAK

Je dédie ce modeste travail

À celle qui a souffert en me regardant en train de croître  
et munit étape par étape devant ses yeux, qui a donné son corps  
et son âme sacrifiée pour m'offrir un milieu favorable pour ma  
croissance normale, et pour qu'elle puisse dire un jour : Mon  
fils, je t'ai formé ingénieur... à ma mère  
À celui qui était plus content que moi le jour où j'ai franchi  
le baccalauréat, et nous a offert un soutien moral et le bonheur  
au détriment de ses nécessités pour nous voir aujourd'hui à ses  
côtés comme étant un cadre... à mon père  
À mes grands parents, la source d'affection.  
À mes frères et sœurs, en témoignage de notre amour  
fraternel.  
À tout (tes) mes amis (ies) particulièrement, avec qui j'ai  
mené le travail dans une entente et amitié de types très  
spécialisés... madjid  
À ceux avec qui j'ai mené les meilleurs moments de ma vie.

DES

## SOMMAIRE

<b>CHAPITRE I : INTRODUCTION</b>	1
<b>CHAPITRE II : ANALYSE COMPARATIVE ET CLASSIFICATION DES DIFFERENTS TELEMETRES</b>	
II.1 Introduction	3
II.2 La télémétrie passive	3
II.3 La télémétrie active	4
II.3.1 Les ultra-sons	
II.3.2 Les hyper-fréquences	
II.3.3 Les infra-rouges	
II.3.4 Le laser	
II.4 Les procédés de mesure	10
II.4.1 Introduction	
II.4.2 Le procédé par triangulation	
II.4.3 Le procédé par temps de vol	
II.5 Présentation des différents types de télémètres	16
II.5.1 Le télémètre à ultra-sons	
II.5.2 Le télémètre laser	
II.5.3 Le télémètre acousto-optique	
II.5.4 Le télémètre infra-rouge	
II.6 Les critères de choix d'une technologie adaptée à la télémétrie	24
II.6.1 Les critères de choix	
II.6.2 Les avantages et inconvénients des différentes technologies	
II.7 Conclusion	30
<b>CHAPITRE III : LES PERTURBATIONS EXTERIEURES</b>	
III.1 L'influence des conditions atmosphériques	33
III.2 L'influence du rayonnement solaire	36
<b>CHAPITRE IV : L'EMETTEUR</b>	
IV.1 Introduction	39
IV.2 Le choix du mode d'émission	40
IV.3 le synoptique	41
IV.4 Le principe de fonctionnement	42
IV.4.1 la base de temps	
IV.4.2 la modulation	
IV.4.3 L'amplification	
IV.4.4 L'émission	
IV.5 Le schéma complet de l'émetteur	50

## CHAPITRE V : LE RECEPTEUR

V.1 Le synoptique du récepteur	54
V.2 le principe de fonctionnement	51
V.2.1 La réception	
V.2.2 L'amplification	
V.2.3 La démodulation	
V.2.4 Le filtrage du bruit	
V.2.5 La msie en forme	
V.3 L'optique de collection	57
V.4 Le traitement de l'information	64

## CHAPITRE VI : CONCLUSION

72

## ANNEXE I : LES COMPOSANTS OPTO-ELECTRONIQUES

73

## ANNEXE II : LES CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS UTILISES

78

## NOMENCLATURE

## BIBLIOGRAPHIE

## **CHAPITRE I**

# **INTRODUCTION**

La télémétrie désigne tout système ou processus permettant d'acquérir des informations à distance, c'est à dire sans qu'il y ait contact physique entre l'appareil de mesure et l'objet étudié.

Les systèmes électroniques de télémétrie datent de quelques décennies. Ils rendent de très grands services dans le domaine industriel, ou ils permettent des mesures dans des sites d'accès difficile ou dangereux. Ils sont également très employés dans le domaine médical, on parlera dans ce cas de "biotélémétrie", on a aussi des applications dans le domaine de la robotique où un robot doit identifier son environnement par une série de mesures (pression, distance...).

Sachant que la distance est une information importante pour mesurer la position, l'orientation des objets ; ainsi les identifier, la télémétrie a pris de l'ampleur de plus en plus depuis une dizaine d'années.

Ces systèmes utilisent comme moyen de transmission de l'information les ondes radioélectriques, les ultrasons et les ondes infra-rouges. Notre travail consiste à l'étude et la réalisation d'un appareil de mesure de distance entre le système et une cible bien déterminée "télémetre".

Cette étude a été établie selon les étapes suivantes:

#### Première étape

L'étude des différents télémetres existants en présentant les avantages et les inconvénients et le domaine d'application de chacun.

deuxième étape

La conception des différents étages du télémètre à savoir:

-L'émetteur.

-récepteur.

-Le système de traitement.

-Le comptage et l'affichage de la distance.

# **CHAPITRE II**

## **ANALYSE COMPARATIVE ET CLASSIFICATION DES DIFFERENTS TELEMETRES**

## **II-1 Introduction:**

Nous nous proposons ici d'analyser brièvement les différentes technologies qui semblent devoir être en compétition sur le sujet : [1] ultrasons, hyperfréquences, ondes infrarouge et laser.

Nous ferons un rappel sur les principes physiques de chacun d'elles ainsi qu'une présentation des différents télémètres.

Avant d'aborder ces descriptions, il convient de rappeler que d'un point de vue énergétique, on peut classer les télémètres selon deux grandes catégories:

d'une part la catégorie "passive" où l'on s'efforce d'enregistrer l'énergie naturelle émise par les corps, et d'autre part la catégorie "active" où l'on éclaire les corps à détecter avant d'enregistrer l'énergie qu'ils renvoient vers le détecteur.

## **II-2 La télémétrie passive:**

Elle n'utilise pas de source d'énergie spéciale mais une partie du faisceau lumineux incident ou réfléchi.

Elle repose sur le principe que tout corps porté à une température au-dessus du zéro absolu, rayonne de l'énergie électromagnétique.[1]

## II-3 La télémétrie active:

Elle utilise une source spéciale d'énergie "émetteur" et détecte l'énergie réfléchiée "récepteur".

### II-3-1 Les ultrasons:

#### a) Définition:

Les ultrasons sont des sons trop aigus pour être audibles, ils constituent la partie supérieure du spectre des ondes acoustiques à partir du seuil de l'audibilité (fig 3-1), au delà de 15 KHZ environ, le tympan de l'oreille n'est plus capable de vibrer mécaniquement en phase avec de telles périodes [7].

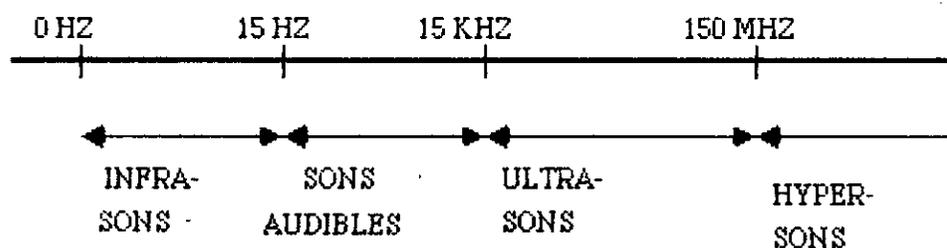


FIG (3-1) SPECTRE DES ULTRASONS

#### b) Les avantages des ultrasons:

- Insensibilité aux perturbations radio-électriques.
- résistance aux éclairages les plus intensives.
- simplicité de l'électronique.

#### c) Les inconvénients des ultrasons:

Les ultrasons sont néanmoins handicapés par leur faible pouvoir de pénétration dans l'air, c'est pourquoi on limite souvent le domaine d'application des ultrasons dans la télémétrie à courte distance.

En plus il faut tenir le dispositif à l'écart s'il doit fréquemment fonctionner en présence d'animaux.

Enfin le mode de propagation est lié au milieu [7].

#### d) Les applications des ultrasons:

La directivité des ultrasons, jointe à leur capacité de traverser des milieux opaques à la lumière, est exploitée dans trois voies principales:

la détection sous-marine (sonar), la métallographie et le diagnostic médical. [2]

Sans cesse, les ultrasons trouvent des applications dans de nouveaux domaines tels que la microscopie acoustique.

### **11-3-2 Les hyperfréquences:**

Le terme hyperfréquence sert à désigner une bande de fréquences situées entre environ 300 MHz et 300 GHz, caractérisant de ce fait un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde comprise entre 1m et 1mm.

Les hyperfréquences trouvent leurs application classique dans le radar, elles sont aussi abondamment utilisées en télécommunications notamment pour assurer les transmissions par satellites.

L'utilisation possible de capteurs microondes pour la vision et détection d'obstacles est liée à la réflexion des ondes EM par ces mêmes obstacles.

Ce phénomène est à l'origine du développement des radars.

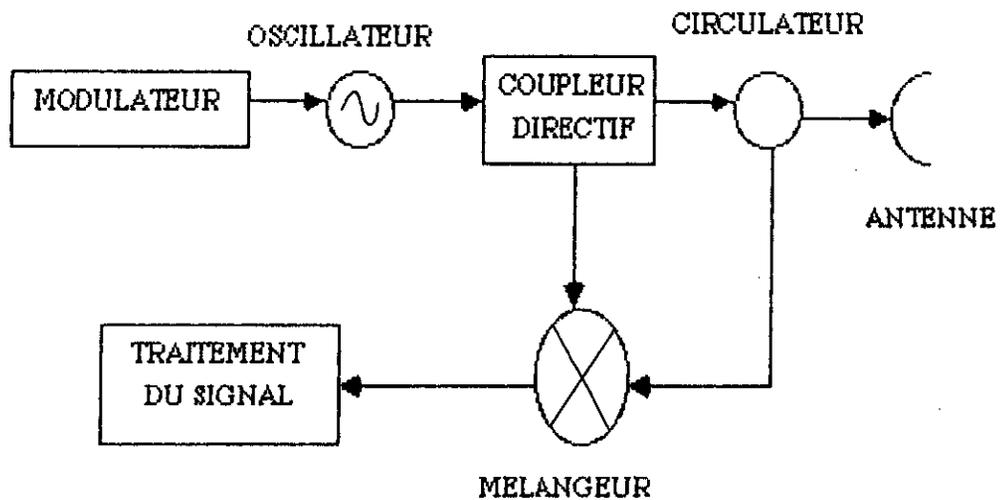
Pour mesurer la distance d'un obstacle, les exemples cités dans la littérature ont en commun le schéma bloc typique de la fig (3-2).

### **11-3-3) Les infrarouges:**

#### a)-Définition:

Tout comme l'oreille est incapable de détecter des sons trop graves "infrasons" ou trop aigus "ultrasons". L'oeil a aussi une bande passante limitée.

Le spectre infrarouge est situé entre le spectre du rayonnement visible (0.4  $\mu\text{m}$  à 0.75  $\mu\text{m}$ ) et le spectre des ondes millimétriques (1000  $\mu\text{m}$ ).



FIG(3-2)- SCHEMA BLOC D'UNE TETE DE RADAR [1]

Le domaine de l'infrarouge est divisé en infrarouge proche

( $0.75\mu\text{m} < \lambda < 1.5\mu\text{m}$ ), en infrarouge moyen ( $1.5\mu\text{m} < \lambda < 15\mu\text{m}$ )

et en infrarouge lointain (au delà de  $15\mu\text{m}$ ).

Cette division très arbitraire est liée au développement des types de détecteurs utilisables et à la nature des matériaux utilisés [4].

#### b) Avantages de la lumière IR:

-Pas de support matériel.

- Diodes d'émission et de réception peu encombrante, peu couteuse.
- Insensibilité aux perturbations et aux vibrations.
- Vitesse de transmission des informations très rapide.

#### c)Inconvénients de la lumière IR:

- portée limitée.
- Aveuglement du capteur par le rayonnement ambiant causé par les sources IR parasites.

#### d)Les applications de l'infrarouge:

Les applications de l'infrarouge couvrent un très large domaine par exemple: chauffage domestique ou industriel, soudure d'une part, d'autre part : analyse spectrochimique, détecteur de tumeurs...

Plus proche de nos préoccupations, le rayonnement infrarouge est utilisé dans des applications de détection et de guidage, en particulier à des fins militaires : autoguidage, vision nocturne.

On a aussi des applications dans des dispositifs électroniques évolués, les plus courants sont:

- Télécommande à infrarouge pour télévision, moteur etc...
- Barrière optique.

### **II-3-4 Le laser:**

#### a)Définition:

Les lasers sont des faisceaux de lumière monochromatiques cohérent et puissants.

Ils ont commencé à être mis en application il y'a un peu plus de deux décennies, et ont permis de résoudre toute une série de problèmes physiques, technologiques et même médicaux.

Parmi tous les types de lasers existants, seul le laser CO2 permet une plus grande puissance de travail avec une longueur de cohérence jusqu'à 30 km [10].

#### b)Avantages des lasers:

Le laser est souvent choisi comme source de lumière à cause des qualités particulières qu'il possède : faible divergence, haute monochromaticité, cohérence exceptionnelle, grande énergie dans un faible volume.

Les diodes lasers à lumière visible (rouge) offrent maintenant des performances équivalentes à celles des tubes hélium-néon, mais à des prix très sensiblement inférieurs.

Outre un encombrement sans commune mesure, ces diodes se contentent de quelques dizaines de milliampères sous quelques volts, et il est extrêmement facile de moduler la puissance qu'elles émettent.

Dependant l'avantage principal reste la portée qui peut atteindre quelque km avec une résolution acceptable.

#### c)Inconvénients des lasers:

- L'appareillage est très cher.
- présente un danger à l'oeil.
- on doit utiliser une grande puissance d'émission (plus de 15 mw).

#### d) Applications des lasers

Le laser se prête particulièrement bien à la réalisation de liaisons de télécommunications "atmosphériques", pouvant véhiculer aussi bien des ordres de télécommande que des données informatiques ou du son, cela sur des distances de l'ordre du kilomètre en vue directe, voir même davantage.

Et rien n'interdit de recourir à des "relais" pour augmenter la portée ou contourner les obstacles..

#### **II-4 Les procédés de mesure:**

##### **III-4-1 Introduction:**

Pour les télémètres actives le principe est toujours le même, une onde est envoyée d'un émetteur sur une cible qui la réfléchit; L'onde ainsi réfléchi arrive sur un récepteur.

La position de l'obstacle peut être déterminée par deux méthodes principales:

-une méthode de triangulation qui utilise nécessairement deux détecteurs dans une approche stéréoscopique [2].

-une méthode de temps de vol qui, outre l'angle de visée, mesure le décalage temporel entre l'émission d'un signal lumineux et sa réception après que le trajet aller-retour ait été effectué à la vitesse de la lumière.

## II-4-2 Procédé par triangulation:

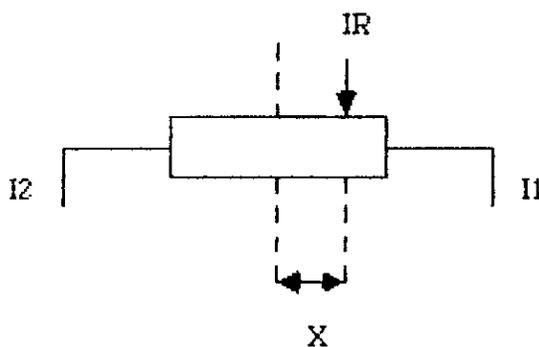
### a)-Principe de la mesure:

C'est la méthode la plus connue pour mesurer une distance. On l'utilise souvent pour des distances de l'ordre du mètre. [1]

Le faisceau est dirigé vers la cible dont on veut connaître la distance. On positionne alors le, ou les détecteurs pour recueillir la lumière réfléchie. Ces récepteurs auront pour mission de définir les angles  $\alpha, \beta$  [1]. (voir fig (3-4))

Cet objectif peut être par exemple atteint sur la base de deux barrettes photosensibles délivrant à chaque extrémité des courants dont la différence est proportionnelle à la distance au centre de la barrette, du point d'impact du faisceau incident:

$$x = k (I_1 - I_2). \quad (\text{voir fig (3-3)}).$$



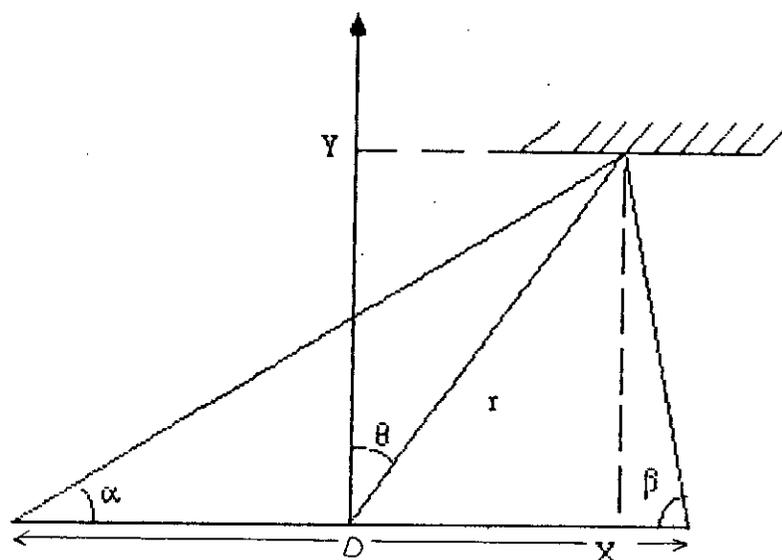
FIG(3-3) BARRETTES PHOTOSENSIBLES

Ce principe de mesure est basé de façon essentielle sur des considérations géométriques [1]:

Connaissant la base d'un triangle et les angles adjacents (fig 3-4), on peut déterminer le sommet (donc localiser l'obstacle) dans un système de coordonnées polaires :

$$r = D \frac{\sqrt{(\operatorname{tg}(\alpha) \operatorname{tg}(\beta))^2 + \left(\frac{\operatorname{tg}(\beta) - \operatorname{tg}(\alpha)}{2}\right)^2}}{|\operatorname{tg}(\alpha) + \operatorname{tg}(\beta)|}$$

$$\operatorname{tg}(\theta) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha)} - \frac{1}{\operatorname{tg}(\beta)} \right)$$



FIG(3-4) PRINCIPE DE LA TRIANGULATION

ou cartésiennes

$$x = \frac{D}{2} \left( \frac{\operatorname{tg}(\beta) - \operatorname{tg}(\alpha)}{\operatorname{tg}(\beta) + \operatorname{tg}(\alpha)} \right)$$

$$y = \frac{D}{\frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha)} + \frac{1}{\operatorname{tg}(\beta)}}$$

Ces coordonnées seront connues avec une incertitude qui dépendra des erreurs  $\delta\alpha$  et  $\delta\beta$  commises par le système respectivement sur les indications  $\alpha$  et  $\beta$ .

Proposons nous de calculer l'incertitude sur les coordonnées cartésiennes  $x$  et  $y$ , le calcul de dérivée donne:

$$\frac{dx}{x} = \left| \frac{dD}{D} \right| + \frac{2}{\operatorname{tg}^2 \beta - \operatorname{tg}^2 \alpha} \left( \operatorname{tg}(\alpha) (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) d\beta - \operatorname{tg}(\beta) (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) d\alpha \right).$$

$$\frac{dy}{y} = \frac{dD}{D} + \frac{y}{D} \left( \frac{d\alpha}{\sin^2 \alpha} + \frac{d\beta}{\sin^2 \beta} \right).$$

Les incertitudes auront alors pour expression:

$$\frac{\delta x}{x} = \left| \frac{\delta D}{D} \right| + \frac{2}{\operatorname{tg}^2 \beta - \operatorname{tg}^2 \alpha} \left( \left| \operatorname{tg}(\alpha) \right| (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) \delta\beta + \left| \operatorname{tg}(\beta) \right| (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) \delta\alpha \right)$$

$$\frac{\delta y}{y} = \left| \frac{\delta D}{D} \right| + \left| \frac{y}{D} \right| \left( \left| \frac{\delta\alpha}{\sin^2 \alpha} \right| + \left| \frac{\delta\beta}{\sin^2 \beta} \right| \right).$$

En première approximation on peut faire l'hypothèse que  $\delta D = 0$  et  $\delta\alpha = \delta\beta$  (systèmes identiques).

Les expressions précédentes deviennent alors:

$$\frac{\delta x}{x} = \left| \frac{2}{\operatorname{tg}^2 \beta - \operatorname{tg}^2 \alpha} \right| (|\operatorname{tg}(\alpha)| (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) \delta\alpha + |\operatorname{tg}(\beta) (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) \delta\alpha|)$$

$$\frac{\delta y}{y} = \left| \frac{y}{D} \left( \left| \frac{1}{\sin^2 \alpha} \right| + \left| \frac{1}{\sin^2 \beta} \right| \right) \delta\alpha \right|$$

L'inconvénient majeur de la méthode de triangulation est le fait qu'elle présente des erreurs de mesure non tolérables aux grandes distances.

Ceci a été démontré numériquement (programme en turbo pascal) en se basant sur les calculs cités précédemment.

Les résultats sont présentés sur le graphe de la fig(3-5) qui donne l'allure de  $\frac{dy}{y}$  dans le cas où  $D=1\text{m}$  et  $\lambda = 0.10^\circ = 1.7\text{mrad}$ .

### **11-4-3 Procédé par mesure du temps de vol:**

Une onde est envoyée d'un émetteur sur une cible qui la réfléchit. L'onde réfléchie arrive sur un récepteur. En calculant le temps d'aller-retour ou bien le déphasage entre l'onde émise et l'onde reçue on en déduit la distance séparant le bloc émetteur-récepteur de la cible, connaissant la vitesse de propagation de l'onde.

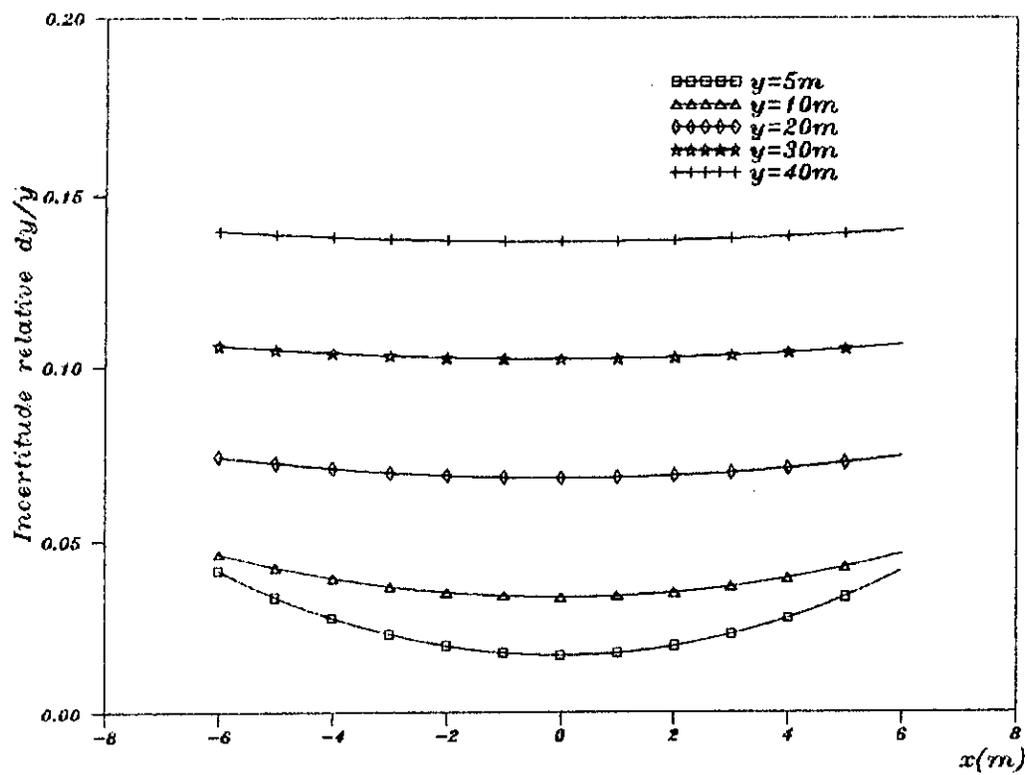


Fig (3-5) Incertitude relative  $dy/y$  due a la mesure par triangulation

sur le plan des principes, la télémétrie par mesure du temps de vol apparait comme un excellent candidat dans la télémétrie.

En pratique deux difficultés doivent être surmontés:

-Les mesures à courtes distances (10m) nécessitent des précisions de 10% c'est à dire des mesures effectuées au mètre près maximum, ce qui suppose: une électronique très rapide (100 MHZ à 1000 MHZ). (TABLEAU).

-Les questions de coût très élevé essentiellement liés, en l'état actuel des technologies, à cette nécessité de rapidité de l'électronique.

### **II-5 Présentation des différents types de télémètres:**

Selon le type de l'onde émise on peut citer quelques types de télémètres:

- Les télémètres à ultrasons.
- Les télémètres à infrarouge.
- Les télémètres lasers.

On peut avoir aussi un système de télémétrie utilisant deux techniques en même temps, c'est le cas du télémètre acousto-optique.

#### **II-5-1 Télémètres à ultrasons:**

##### a)Principe:

La mesure de distance est déduite du principe classique de la mesure du temps écoulé "t" entre l'émission d'une onde ultrasonique et la réception du premier écho FIG(3-6). [2]

La distance "L" entre l'émetteur et l'objet est donnée par:

$$L = 0.5 V T. \quad \text{Avec } V : \text{vitesse du son dans l'air.}$$

	TRINGULATION	TEMPS DE VOL
MODE D'EMISSION	IMPULSIONNEL	IMPULSIONNEL
VITESSE DE L'ELECTRONIQUE		100-1000 MHZ
LA PRECISION EN FONCTION DE LA DISTANCE	5m < 1m 30m 3m INUTILISABLE 100m	1m (150MHZ) 3m (50MHZ) 10m (15MHZ)
COUT	FAIBLE	TRES ELEVE

TABLEAU RECAPITULATIF: ETUDE COMPARATIVE DES DEUX TECHNIQUES DE MESURE TRIANGULATION ET TEMPS DE VOL

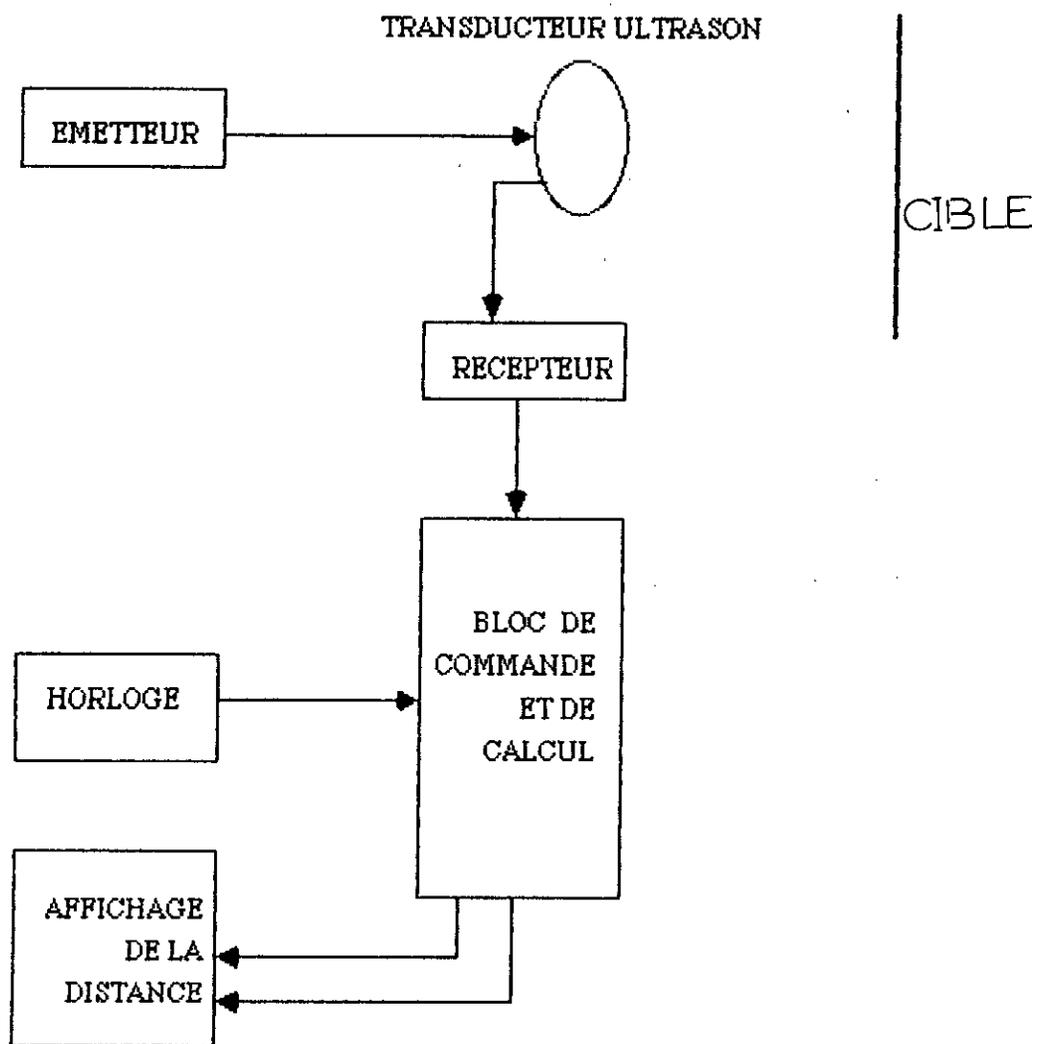


FIG (3-6) TELEMETRE A ULTRASON S  
SCHEMA DE PRINCIPE

## II-5-2 Télémètres lasers:

### a) Principe:

Un émetteur laser envoie une courte impulsion de rayonnement vers la cible. Le signal de retour est intercepté par une optique de réception. Celle-ci comporte généralement un filtre interférentiel.

Une faible fraction du signal émis sert à ouvrir une porte autorisant le comptage, par un chronomètre électronique, des impulsions générées par une horloge.

Le signal écho, après amplification, vient fermer cette porte afin d'arrêter le comptage.

La distance à mesurer est proportionnelle au nombre d'impulsions captées.

La précision de la mesure est conditionnée en partie par la fréquence de l'horloge.

dans la plupart des télémètres militaires, cette fréquence est de l'ordre de 30 MHz pour les courtes distances (1 à 10 m).

L'émetteur est une diode laser dont le pic de courant atteint 20 A et le récepteur une photodiode PIN.

Par contre pour des distances plus grandes, l'émetteur est souvent une diode laser au GaAs avec un pic de courant de 100 A sur une largeur de 50 à 200 ns. Le récepteur est une photodiode à avalanche [1].

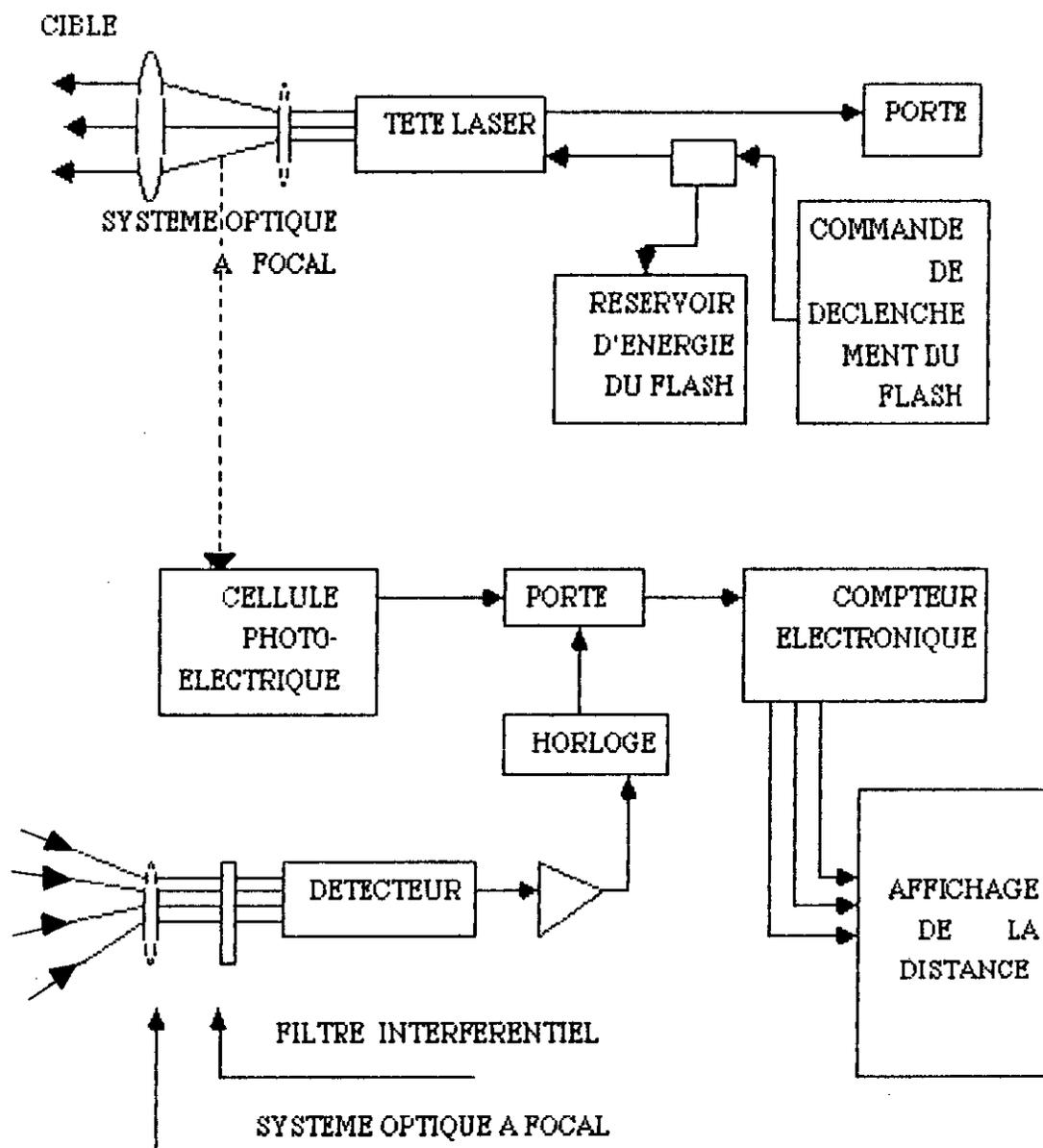


FIG (3-7) TELEMETRE LASER SCHEMA DE PRINCIPE

### **II-5-3 Télémètres acousto-optique:**

Le dispositif de télémétrie acousto-optique se compose de 2 parties (mesure et cible).

L'émetteur (mesure) envoie un signal infrarouge qui sera reçu par un récepteur à photodiodes (cible).

Ce signal commande l'émission d'un signal ultrasonique émis par la partie cible.

L'onde ultrasonique est à son tour reçue par l'élément piézoélectrique récepteur (mesure).

Au moment de l'émission du signal infrarouge, un compteur prend son départ et à la réception du signal ultrasonique il s'arrête.

### **II-5-4 Télémètre à infrarouge:**

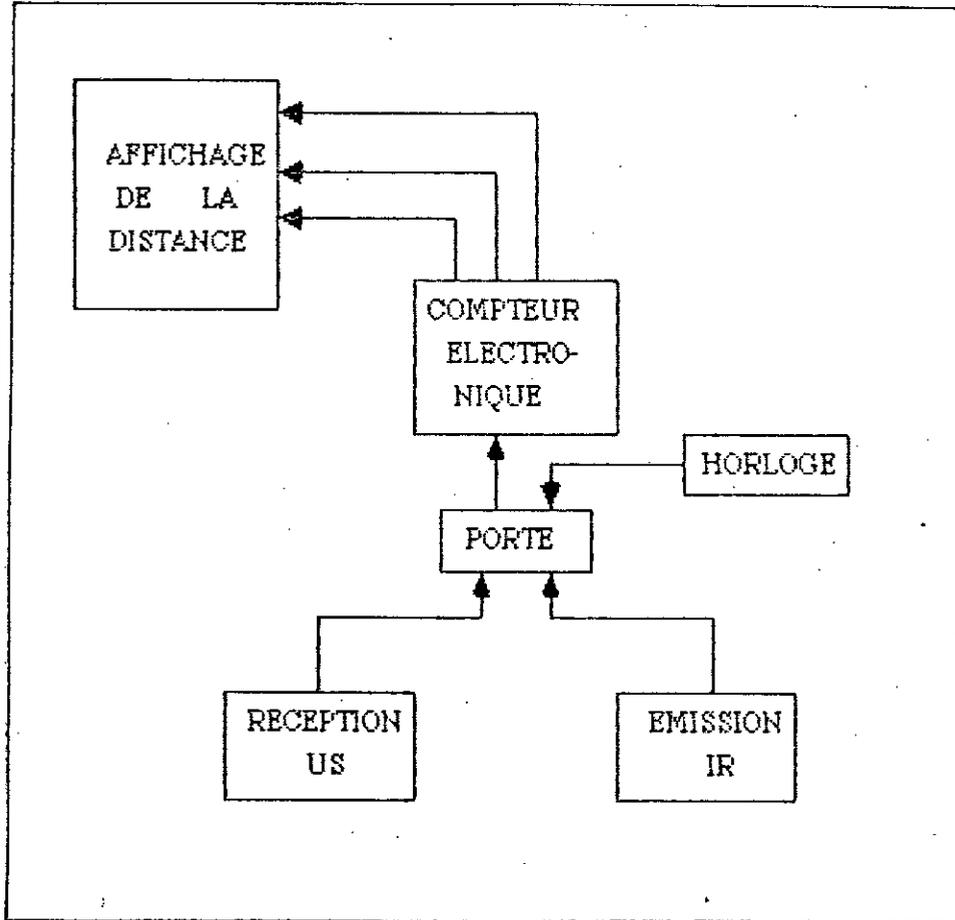
Une radiation de lumière IR modulée est envoyée par un émetteur IR constitué par une diode luminescente au GaAs sur la cible.

Après réflexion sur la cible, elle arrive sur un photo-détecteur constitué par une photodiode ou un phototransistor dont le signal de sortie est amplifié; puis démodulé. (voir fig 3-9).

Le signal réfléchi démodulé a un retard T sur le signal de modulation émis.

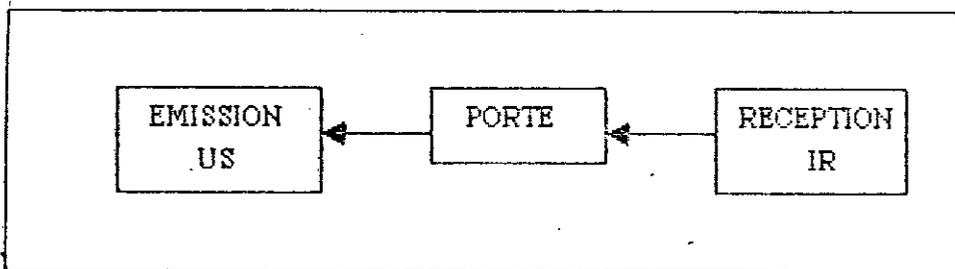
La distance d séparant le bloc émetteur-récepteur de la cible est liée à T par la relation:

$$T = 2 d/c \text{ avec } c = 3.10^8 \text{ m/s}$$



BLOC MESURE

BLOC CIBLE



Fig(3.8)

TELEMETRE ACOUSTO - OPTIQUE

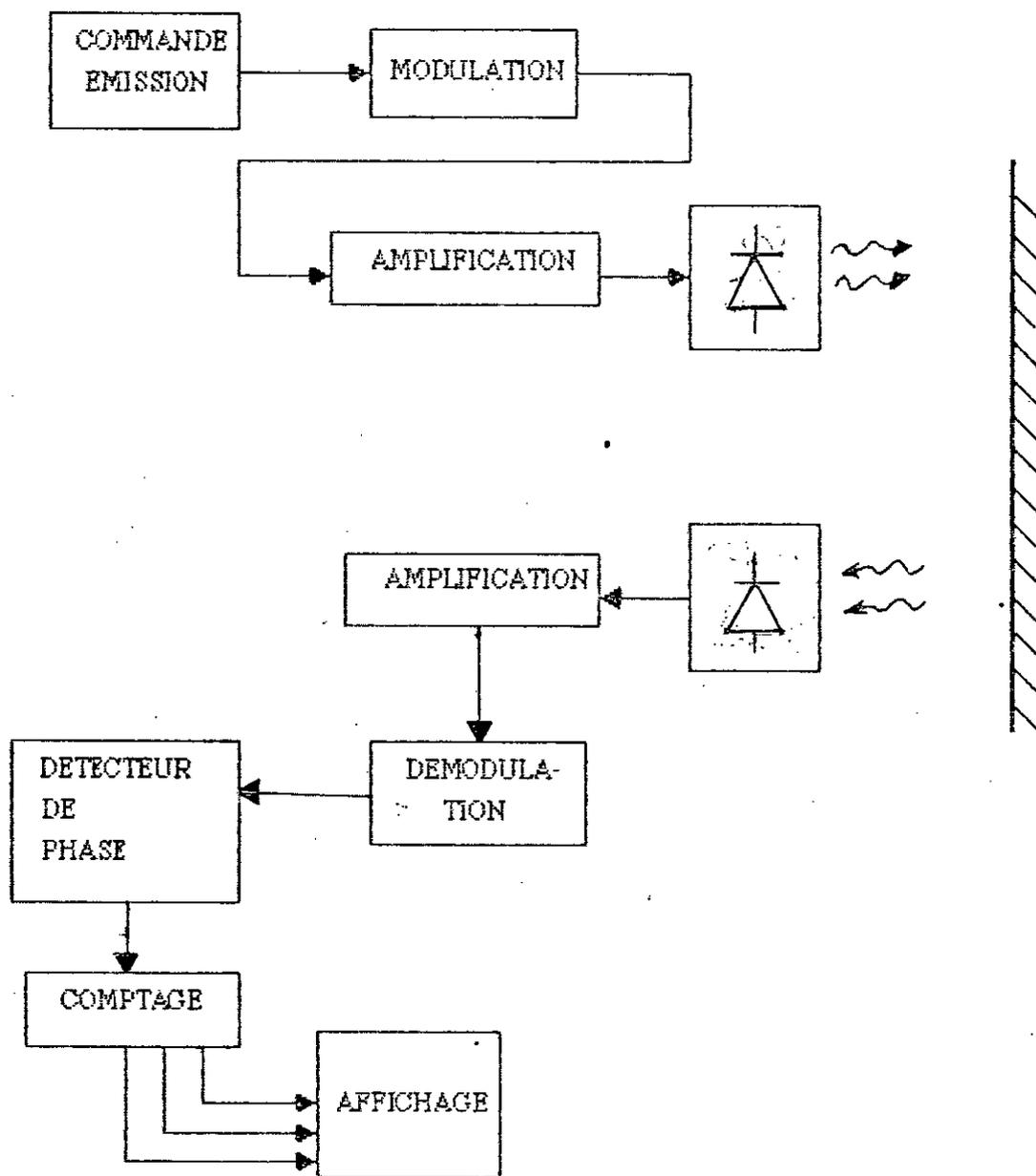


FIG (3-9) TELEMETRE IR  
SCHEMA DE PRINCIPE

## **II-6 Les critères de choix d'une technologie adaptée à la télémétrie:**

### **II-6-1 Les critères de choix:**

Le système est conçu pour assurer, dans la mesure du possible, les meilleurs performances. Donc l'étude comparative des technologies disponibles nous paraît devoir se faire principalement sur la base de quatre critères:

#### a) Propagation atmosphérique:

L'atmosphère ne transmet pas les radiations électromagnétiques d'une manière uniforme; deux phénomènes sont à l'origine de cette atténuation:

L'absorption par des constituants gazeux de l'atmosphère d'une part, et la diffusion due à des particules en suspension d'autre part (fumée brume, brouillard..).

Cette dernière est d'autant plus importante que la taille des particules est grande devant la longueur d'onde.[1].

#### b) Directivité:

La directivité est la propriété d'une antenne d'envoyer dans une direction bien déterminée un pinceau d'ondes suffisamment fin.

Elle est d'autant meilleure que les dimensions du dispositif rayonnant sont plus grandes par rapport aux longueurs d'onde.[1]

c)Encombrement du matériel:

C'est un facteur qu'il faut prendre en considération.

Le choix de la technologie conditionnera les dimensions du système.

d)Coût et disponibilité:

Ce facteur est très important car il peut aboutir à la condamnation de certaines technologies jugées trop chères.

**II-6-2 avantages et inconvénients des différentes technologies:**

a)Les ultrasons:

Propagation:

Les ultrasons, tout comme les ondes EM, "voient" leur amplitude décroître exponentiellement en fonction de la distance, cette atténuation dépend du milieu de propagation et de la fréquence des ultasons.

Par exemple à 200 °C, les estimations théoriques de l'atténuation ( $A/f^2$ ) pour l'air et l'eau sont:

$$(A/f^2)_{\text{air}} = 0,87.10^{-13} \text{ cm}^{-1}.$$

$$(A/f^2)_{\text{eau}} = 8,1.10^{-17} \text{ cm}^{-1}$$

D'autre part pour un milieu donné, A varie comme le carré de la fréquence, cela explique que les capteurs utilisés dans l'industrie fonctionnent aux basses fréquences ultrasonores (20 à 40 KHZ) pour la mesure des longues distances (0.2m à 10m) et aux fréquences plus élevées(250 KHZ) pour la mesure des courtes distances(qcq cm à 200 cm)

La vitesse de propagation des ultrasons dépend de la température du milieu

$$C = 20(T)^{1/2} \quad \text{m/s.}$$

La variation de la température peut introduire une erreur non négligeable:

Si  $T = d/c$  est le temps de vol du signal ultrasonore, alors  $dT/T = dc/c = 0.5 dT/T$ .

D'où la nécessité de faire la correction de température.

#### Directivité:

Pour un émetteur donné, elle est d'autant meilleure que les longueurs d'ondes émises sont petites.

Pour les dispositifs ultrasonores les plus connus en milieu industriel, les ouvertures des lobes sont de 15°.

#### Encombrement:

Les ultrasons s'adaptent bien aux techniques d'intégration électronique, les transducteurs ont des dimensions raisonnables et ne posent pas de problème d'encombrement.

#### Coût et disponibilité:

Bien que particulièrement adaptés à la mesure de distance, l'utilisation des ultrasons dans l'air a été pendant longtemps considérée comme ne présentant pas d'intérêt sur le plan commercial, à cause principalement des difficultés et des dépenses entraînées par la

fabrication des transducteurs.

La maîtrise de la fabrication des céramiques piézoélectriques à permis de mettre au point des transducteurs ultrasonores simples robustes et compétitifs.

#### b) Les hyperfréquences:

##### Propagation:

La propagation des hyperfréquences dans l'atmosphère se fait dans de bonnes conditions tant que la longueur d'onde ne descend pas au dessous de quelques centimètres (3cm).

Aux longueurs d'onde plus petites, on rencontre des difficultés dues principalement aux premières bandes d'absorption atmosphériques (vapeur d'eau + oxygène).

Par contre, les hyperfréquences sont moins sensibles au brouillard grâce à leurs longueurs d'onde relativement grande par rapport à celles des IR.

##### Directivité:

Pour avoir un faisceau étroit, il faut monter en fréquence ou augmenter la surface de l'antenne, ce paramètre joue en faveur des IR grâce à la petitesse de leurs longueurs d'onde.

##### Encombrement du matériel:

Nous venons de voir que le diamètre de l'antenne doit être important pour une meilleure précision.

Donc on a un problème d'encombrement.

### Coût et disponibilité:

L'hyperfréquence est une technique nouvelle et le marché à bas prix reste en attente.

Un effort considérable devrait être investi dans ce domaine pour aboutir à des prix plus modérés.

### c) L'infrarouge:

#### Propagation:

La condition de propagation des ondes IR dans l'atmosphère sont beaucoup moins favorables que celles des hyperfréquences.

La présence dans l'air de gaz carbonique et de vapeur d'eau provoque des bandes d'absorption très intense dans le spectre IR.

En plus du phénomène d'absorption, on doit tenir compte de la diffusion provoquée par la brume, le brouillard ou la pluie forte, ce qui limite les performances de l'IR par mauvais temps.

#### Directivité:

Les IR ont des longueurs d'onde relativement petites, leur directivité est semblable à celle du rayonnement visible, on peut obtenir aisément des ouvertures de faisceau inférieure au degré.

#### Encombrement du matériel:

L'infrarouge bénéficie des progrès de l'intégration de la microélectronique et s'adapte donc bien à la contrainte de faible encombrement.

seule la partie optique peut présenter un inconvénient d'encombrement.

#### Coût et disponibilité:

Pour des raisons de performances et de coût, les composants optoélectroniques sont plus ou moins disponibles sur le marché.

#### d)Le laser:

##### Propagation:

Les conditions de propagation des lasers dans l'atmosphère sont nettement meilleurs que celles des infrarouges car les premiers présentent l'avantage d'être des faisceaux de lumière monochromatiques cohérent et puissants ,avec les lasers on à une absorption atmosphérique plus faible et on à une transmission atmosphérique maximale dans deux fenêtres existantes : entre 1.5 et 1.75 $\mu$ m et entre 2.0 et 2.3 $\mu$ m.

##### Directivité:

Comme pour les infrarouges on peut obtenir des ouvertures de faisceaux inférieur au degré et ceci par l'utilisation de simples lentilles ou des lentilles moulées intégrées aux diodes.

##### Encombrement du matériel:

Pour des raisons technologiques les dispositifs à laser sont peu encombrants.

### Coût et disponibilité:

La diode laser reste un composant très cher (1000FF pour les diodes de forte puissance) par conséquent elle n'est pas disponible sur le marché.

### **II-7 CONCLUSION:**

-La détection passive: présente un avantage très considérable qui est la non pollution de l'environnement car son principe consiste à capter le rayonnement thermique infrarouge délivré par les cibles.

Malheureusement, les coûts très élevés de réalisation dûs au fait de l'utilisation des détecteurs photovoltaïques qui sont sensibles aux variations de température et donc il faut utiliser des sources de refroidissement.

Tous ces facteurs font que l'application de ces capteurs n'est pas du tout adaptable aux objectifs "télémétrie".

### La détection active:

Cette étude comparative a conduit aux constatations suivantes:

-Bien que plus affectés par la température et la nature du milieu traversé que les infrarouges, les ultrasons présentent l'avantage de se propager avec une vitesse nettement plus faible que celle des ondes électromagnétiques, ce qui peut être très profitable pour la télémétrie à temps de vol car on surmonte le problème des composants électroniques très rapide. Cependant, les ultrasons sont fortement atténués dans l'air ce qui présente un handicap majeur quant à leur utilisation pour des grandes distances.

-un des principaux avantages des hyperfréquences est leur pouvoir de pénétration dans le brouillard, pluie et fumée rendant possible une utilisation tout temps. Par contre les problèmes de coût, de pollution électromagnétique et d'encombrement donneraient plutôt l'avantage à l'infrarouge.

-L'IR est une technique bon marché, qui se prête à l'intégration microélectronique et présente l'avantage d'être insensible aux perturbations et aux vibrations, mais se trouve handicapée par le brouillard et par la limitation en portée.

-Le laser est souvent choisi comme source de lumière à cause des qualités particulières qu'il possède : faible divergence, haute monochromaticité, grande énergie dans un faible volume et par conséquent une portée nettement meilleur que celle des IR ce qui donne l'avantage au laser plutôt que l'IR mais pour des questions de coût et de disponibilité, on a choisi la technique IR en introduisant des techniques optiques pour augmenter la portée (l'utilisation de lentilles).

-Enfin il faut noter que le choix d'une technique dépend des objectifs visés:

Si on veut réaliser un télémètre à courte distance on a le choix entre deux techniques : télémètre à ultrason, télémètre à IR avec la méthode de triangulation.

Alors que si on veut monter en portée, deux techniques sont à éliminer: la triangulation qui présente des erreurs de mesure non tolérables aux grandes distances et les ultrasons qui sont limités en portée.

donc il reste à voir deux techniques:les télémètres IR avec l'insersion d'une optique appropriée, et les télémètres à laser.

-il faut en dernier lieu signaler que le télémètre acousto-optique décrit précédemment présente l'avantage d'avoir une portée supérieur au télémètre à ultrason car dans ce cas on a pas de réflexion sur un obstacle et par conséquent on a élimination des pertes par réflexion. Mais l'inconvénient majeur de ce télémètre est l'obligation d'équiper la cible par un dispositif électronique ce qui présente une contrainte très gênante.

# **CHAPITRE III**

## **LES PERTURBATIONS EXTERIEURES**

### III-1 Influence des conditions atmosphériques:[1]

L'atténuation atmosphérique est un phénomène complexe résultant de deux processus distincts:

-Une absorption sélective d'intensité variable sur l'ensemble du spectre de rayonnement, due à l'absorption propre de certains constituants de l'atmosphère,notamment la vapeur d'eau et le gaz carbonique.[1]

-Une diffusion non sélective,c'est à dire continue sur l'ensemble du spectre de rayonnement,due à la diffusion par les particules liquides ou solides en suspension dans l'atmosphère dont le diamètre est de l'ordre de grandeur des longueurs d'onde du spectre considéré.

Un modèle d'atténuation atmosphérique devrait être développé.C'est un travail que nous ne pouvons engager compte tenu de l'échéancier.nous rappellerons donc brièvement les différents mécanismes d'atténuation et ne ferons que des évaluations préliminaires.

#### III-1-1-Diffusion en atmosphère claire:

Deux théories de la diffusion existent selon la taille des particules:

##### a) Diffusion de RAYLEIGH:

Valable pour des particules de rayon  $r$  très faible devant  $\lambda$  ( $\frac{r}{\lambda} < 0.1$ )

le coefficient d'extinction est donné par la formule  $\gamma_{\lambda} = \frac{K r}{N \lambda^4}$  [1]

Avec  $N$ :concentration des particules par unité de volume.

Seules les molécules de gaz et les aérosols de petite dimension diffuseront suivant cette loi.

b) Diffusion de MIE:

Valable pour des particules de rayon r tel que:

$$\frac{r}{\lambda} > 0,1$$

L'atténuation en db/km est alors de la forme:

$$\text{Log } \tau \left( \frac{\text{db}}{\text{km}} \right) = 4,34 \frac{3,92}{V} \left( \frac{0,55}{\lambda} \right)^x$$

Avec V(km):la distance de visibilité correspondant au spectre visible.Nous adopterons pour x la valeur  $x=0.854$ . [1]

### **III-1-2- Diffusion en atmosphère brouillée:**

a)Brumes:

Elles sont caractérisées par une visibilité météorologique comprise entre 1km et 9km.Le diamètre des particules est compris entre 0.25 um et 1 um.La théorie de MIE s'applique dans ce cas avec  $x=1.3$ .

b)Brouillard:

Il est caractérisé par un diamètre des particules de 5um à 15um l'atténuation est presque constante dans le domaine du proche IR ( $x=0$ ),la valeur caractéristique du facteur d'atténuation est 100 db/km.(Visibilité 170m).

c)Pluie:

Les pluies sont constituées de gouttes d'eau de rayon compris entre 0.25mm et 3mm et sont caractérisées par leur intensité Z (mm/h).

Une relation empirique permet de calculer le facteur d'atténuation en fonction de Z. [4]

Le tableau récapitulatif suivant résume les résultats de cette étude.

	VISIBILITE (km)	ATTENUA- TION (dB/km)	DIAMETRE DES PARTICULES ( $\mu\text{m}$ ) ou INTENSITE DE LA PLUIE (mm/h)
TEMPS CLAIR	> 9	< 1	< 0,1
BRUME	1 - 9	1 - 10	0,25 - 1
BROUILLARD	0,17	100	5 - 15
PLUIE LEGERE	46	0,4	0,25
PLUIE MOYENNE	9	1,8	2,5
PLUIE FORTE	3	5,5	12,5
ORAGE VIOLANT	0,7	24	100

INFLUENCE DES CONDITIONS ATMOSPHERIQUES  
DANS LE PROCHE INFRAROUGE

Ces atténuations peuvent être à l'origine d'importantes limitations en portée voir (fig-2)-

### **III-2 Influence du rayonnement solaire:**

Le *maximum* d'énergie du rayonnement solaire se situe autour de 0.5 $\mu$ m donc il sera très difficile de se soustraire complètement au rayonnement solaire si l'on opère à des longueurs d'ondes proches du visible.

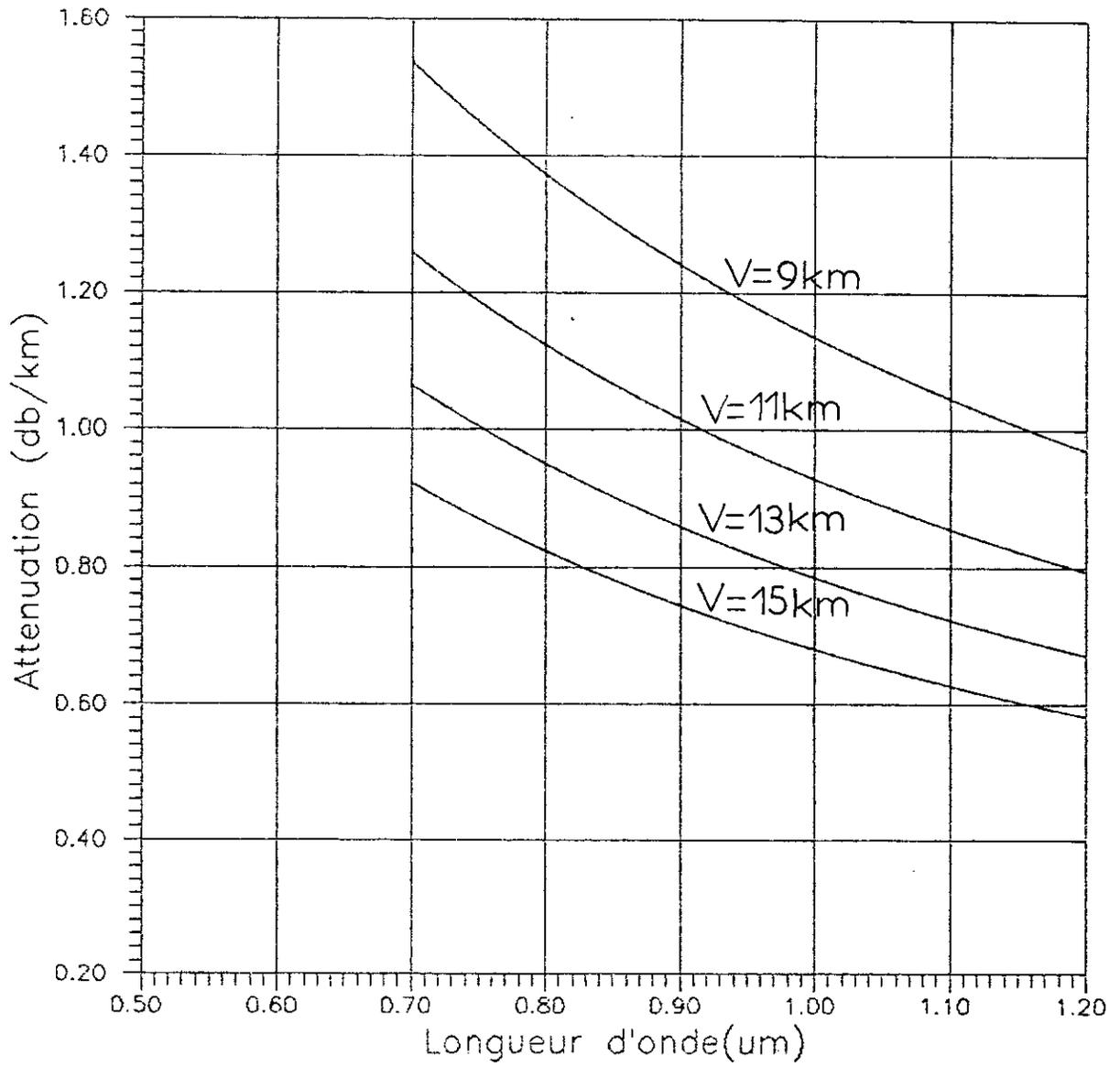


fig 2.a INFLUENCE DE L'ATMOSPHERE - TEMPS CLAIR DANS LE PROCHE IR

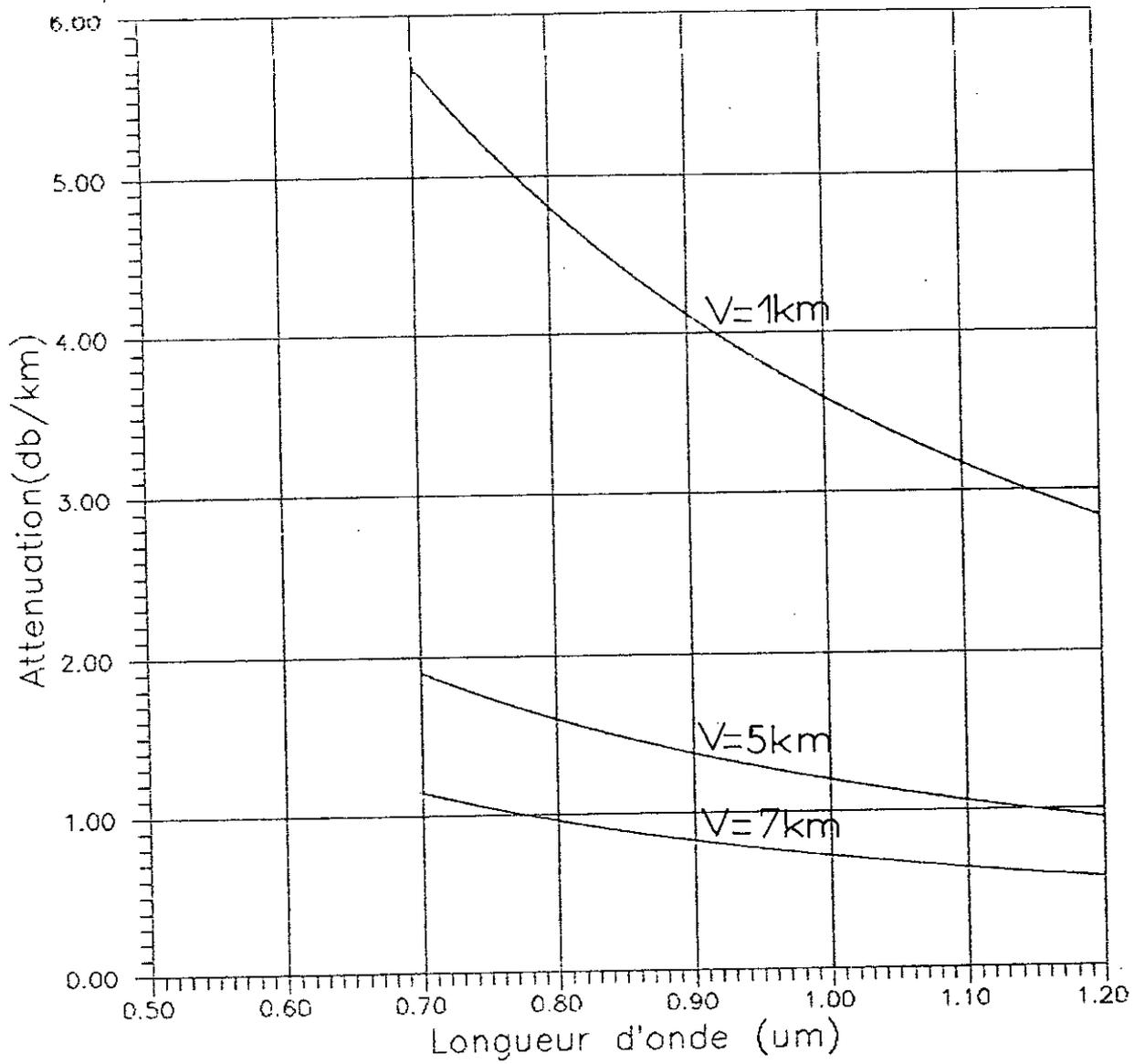


Fig 2.6 INFLUENCE DE L'ATMOSPHERE - BRUME DANS LE PROCHE IR

# **CHAPITRE IV**

## **L'EMETTEUR**

#### **IV-1 Introduction:**

La transmission sur un faisceau infrarouge s'effectue comme sur une onde radio. Les rayons infrarouges doivent être modulés en amplitude sur une fréquence élevée. Ceci permet au récepteur de distinguer la lumière IR venant de l'émetteur de la lumière ambiante non modulée.

Le signal émis peut être modulé sur la porteuse de diverses façons, y compris les modulations en amplitude, en fréquence, la modulation par largeurs d'impulsions et la modulation par impulsions codées (MIC).

Pour notre application d'un télémètre IR la technique MIC plus efficace, semble préférable.

Elle consiste simplement à allumer et à éteindre la lumière modulée à une porteuse élevée. A la réception, la présence de lumière est interprétée comme un "1" logique et son absence comme un "0" logique.

L'environnement de notre système infrarouge peut comprendre des sources de parasites comme les tubes fluorescents qui clignotent à 100 hz ou des postes de télévision, dont les écrans émettent de la lumière avec des structures d'interférences jusqu'à plus de 15 khz.

Il nous faut donc une fréquence porteuse suffisamment haute pour éviter les parasites, de cette façon on augmente la portée et on améliore considérablement le rapport signal sur bruit.

#### IV-2 Choix du mode d'émission:

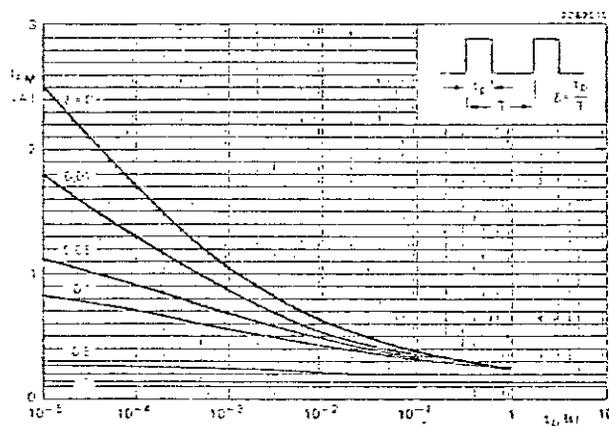
L'objectif d'obtenir une portée maximale exige d'accroître la puissance d'émission ce qui peut être obtenu en mode impulsionnel plutôt qu'en continu car dans le premier mode, les diodes électroluminescentes supportent des pics de courant assez important.

La fig(4-1) représente le courant supporté par la diode électroluminescente en fonction des paramètres du signal appliqué aux bornes de cette diode. [12]

On peut constater que pour augmenter le courant et donc augmenter la puissance il faut d'une part diminuer la durée du "1" logique et d'autre part diminuer le rapport cyclique voir fig(4-1).

$T_d$  : durée du "1" logique.

$T$  : période du signal.

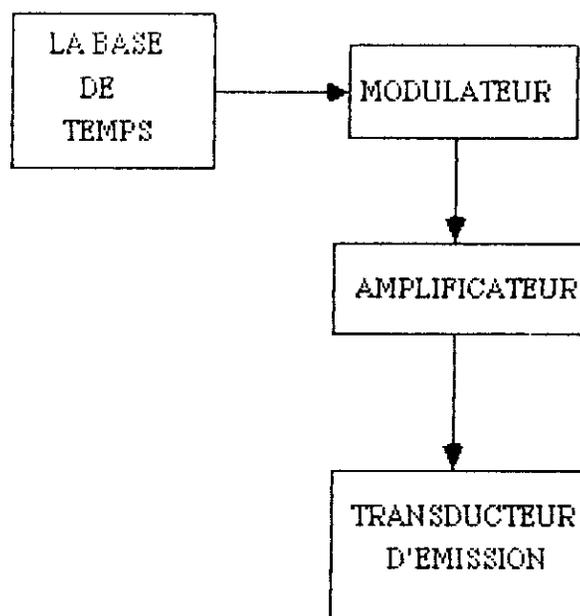


FIG(4-1): COURANT SUPPORTE PAR LA DIODE EN FONCTION  
DES PARAMETRES DU SIGNAL [13]

### IV-3 -Synoptique:

Les parties qui constituent l'émetteur sont:(voir fig(4-2)):

- La base de temps.
- Le modulateur.
- L'amplificateur.
- Le transducteur d'émission (LED à IR).



FIG(4-2) SYNOPTIQUE DE L'EMETTEUR IR

#### IV-4 Principe de fonctionnement:

##### 4-1 La base de temps:

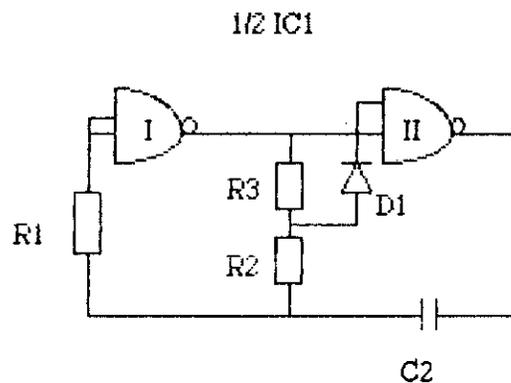


FIG 4-3 SCHEMA ELECTRIQUE DE LA BASE DE TEMPS

Les deux portes NAND I et II de IC1 (CD 4011) constituent un oscillateur astable dont la période dépend essentiellement de R2, R3 et C2.

Le principe de fonctionnement est le suivant:

Partons de l'instant initial où la capacité C2 est déchargée. Lorsque la sortie de la porte II est à l'état bas ce qui suppose que la sortie de la porte I est à l'état haut.

La capacité C2 se charge à travers R2 et R3 (D1 bloquée) jusqu'à ce que l'entrée de la porte I atteigne  $1/2 V$ .

A ce moment, le niveau de l'entrée de la porte I est assimilable à un "1" logique ce qui fait son basculement en sortie (niveau bas).

En conséquence, la sortie de la porte II passe à l'état haut.

A cet effet, la capacité C2 commence à se décharger à travers R2 (D1 passante) jusqu'à atteindre  $1/2 V_{cc}$  ce qui nous donne en sortie de la porte II et l'entrée de la porte I un état bas.

Vu la décharge de C2, le potentiel d'entrée de la porte I passe instantanément à  $-1/2$  et le cycle se poursuit.

La période obtenue s'exprime par la relation suivante:

$$T = 1.04 (2R_2 + R_3) C_2.$$

*Détermination de la période de la base de temps:*

Pendant la charge de C2:

$$V_c = V_{cc} \left[ 1 - \exp \left( -\frac{t_1}{\tau} \right) \right] \quad \text{avec} \quad \tau = (R_2 + R_3) C_2$$

Pour la valeur de  $V_c = -\frac{1}{2} V_{cc}$  on aura:

$$-\frac{1}{2} V_{cc} = V_{cc} \left[ 1 - \exp \left( -\frac{t_1}{\tau} \right) \right]$$

$$-\frac{2}{3} = -\exp \left( -\frac{t_1}{\tau} \right) \Rightarrow \exp \left( -\frac{t_1}{\tau} \right) = \frac{3}{2}$$

$$\Rightarrow -\frac{t_1}{\tau} = \text{Log} \frac{3}{2} \Rightarrow t_1 = -\tau (\text{Log} 3 - \text{Log} 2)$$

\* Pour la valeur de  $V_c = \frac{1}{2} V_{cc}$  on aura:

$$\frac{1}{2} V_{cc} = V_{cc} \left[ 1 - \exp \left( -\frac{t_2}{\tau} \right) \right] \quad \text{avec} \quad \tau = R_2 C_2 + R_3 C_2$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} = \exp\left(-\frac{t_2}{\tau}\right) \quad \text{D'où} \quad t_2 = \tau \log 2$$

$$T_a = t_2 - t_1$$

$$T_a = \tau \log 2 + \tau (\log 3 - \log 2) \quad \Rightarrow \quad T_a = \tau \log 3$$

$$T_a = (R_2 + R_3) C_2 \log 3$$

pendant la décharge de C2:

$$V_c = \frac{3}{2} V_{cc} \text{EXP}\left(-\frac{T_b}{R_2 C_2}\right)$$

pour  $V_c = \frac{1}{2} V_{cc}$  on aura:

$$\frac{1}{2} V_{cc} = \frac{3}{2} V_{cc} \text{EXP}\left(-\frac{T_b}{R_2 C_2}\right)$$

$$1 = 3 \text{EXP}\left(-\frac{T_b}{R_2 C_2}\right) \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{3} = \text{EXP}\left(-\frac{T_b}{R_2 C_2}\right)$$

$$\left(-\frac{T_b}{R_2 C_2}\right) = \log \frac{1}{3} \quad \Rightarrow \quad T_b = R_2 C_2 \log 3$$

D'où la période obtenue:

$$T = T_a + T_b$$

$$T = (R_2 + R_3) C_2 \log 3 + R_2 C_2 \log 3$$

$$T = (2R_2 + R_3) C_2 \log 3$$

#### **4-2 Modulation:**

La protection de la portée de la transmission du signal exige une modulation de ce dernier par fréquence porteuse aussi grande que possible. Ceci est justifié par le fait que l'influence du bruit varie dans

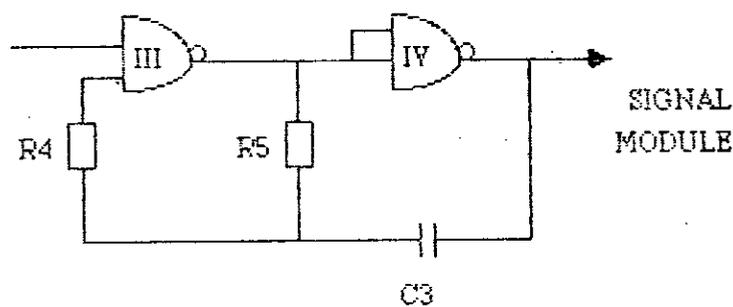
le sens inverse de la fréquence de transmission.

Ces bruits sont surtout dus aux bruits optiques intrinsèques générés par les sources parasites, et qui sont concentrées dans les basses fréquences.

Une modulation en tout ou rien (on off keying) a été choisie. C'est une technique numérique relativement simple et performante.

Le modulateur est construit à l'aide de deux portes NAND montées en multivibrateur stable commandé (fig 4-5).

Lorsque l'entrée de commande est soumise à un état bas, la sortie de la porte III de IC1 (CD 4011) présente un état haut permanent, tandis que celle de la porte IV se caractérise par un état bas de repos.



FIG(4-5)SCHEMA ELECTRIQUE DU MODULATEUR

D'autre part, si l'entrée de commande reçoit un état haut l'oscillateur entre en oscillation.

En effet les deux entrées de la porte III étant subitement soumises à un état haut, la sortie passe à l'état bas, et la sortie de la porte IV, à l'état haut.

La capacité C3 subit des charges et des décharges à travers R5.

Le cycle se poursuit ainsi et l'on obtient à la sortie de la bascule des créneaux dont la période s'exprime par la relation:

$$T = 2.2 R5 C3$$

Et la fréquence porteuse par:  $F = \frac{1}{T}$

#### **4-3 Amplification:**

Désirant avoir une portée maximale il est nécessaire d'augmenter la puissance de notre signal. Pour cela le signal en provenance du modulateur attaque un circuit amplificateur constitué de deux transistors montés en darlington.

Les transistors sont montés en darlington; ce dernier se caractérise par une forte amplification en intensité et donc en puissance.

Dans le circuit des collecteurs, est montée une diode IR. Celle-ci travaille ici suivant le mode impulsif, elle est sollicitée de manière très forte mais pendant de brefs instants, ce qui présente deux avantages:

- Elle ne souffre pas de la très importante intensité qui la traverse.
- En dehors de cette brève activité la capacité C4 a le temps de se charger à travers R7 et de restituer son énergie au moment voulu.

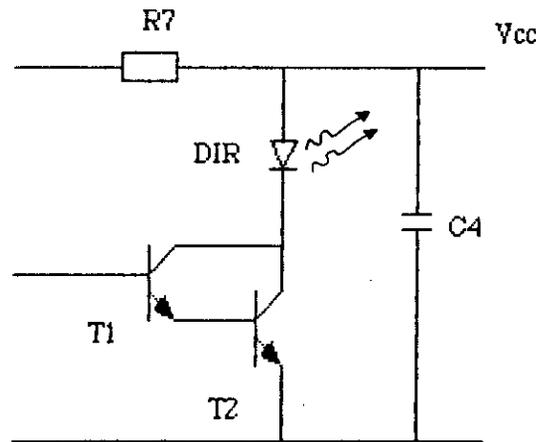


FIG 4-6 SCHEMA ELECTRIQUE DE L'AMPLIFICATEUR

Il en résulte une puissance maximale de rayonnement IR tout en limitant la consommation qui se trouve régulée grâce à ce procédé.

Ce darlington présente les avantages suivants:

- un très grand gain en courant : donné par le produit des gains en courant en régime dynamique de chaque transistor.

- une très grande impédance d'entrée:entraînant une bonne adaptation entre la source du signal et l'amplificateur.

- Une impédance de sortie très faible:l'amplificateur n'est donc pas influencé par la charge.

- Un écart de zéro satisfaisant:pour un signal d'entrée nul la sortie reste nulle aussi.

#### **4-5 Emission:**

Le transducteur d'émission à IR utilisé est une diode basée sur le principe de l'électroluminescence des semiconducteurs. Cette diode doit avoir les caractéristiques suivantes:

- Etre intense:cette puissance dépend de la directivité, largeur d'impulsion et de l'intensité électrique qui lui est fournie.

- Avoir un temps de réponse très court afin d'éviter la perte d'information par recouvrement.

- Etre facilement modulable afin d'augmenter la portée et de protéger le signal.

- Etre économique au point de vue consommation.

La LED est constitué de deux régions (P et N)dopées et d'une autre dépeuplée de porteurs appelée zone de transition. En absence de polarisation,il existe un champ électrique qui empêche l'échange de porteurs entre zones.

On associe à ce champ une ddp appelée barrière de potentiel (BP) évitant le déplacement de charges entre niveaux d'énergie.

Lors d'une polarisation en directe,des électrons sont injectés dans le matériau semi-conducteur type N et des trous dans le matériau P.

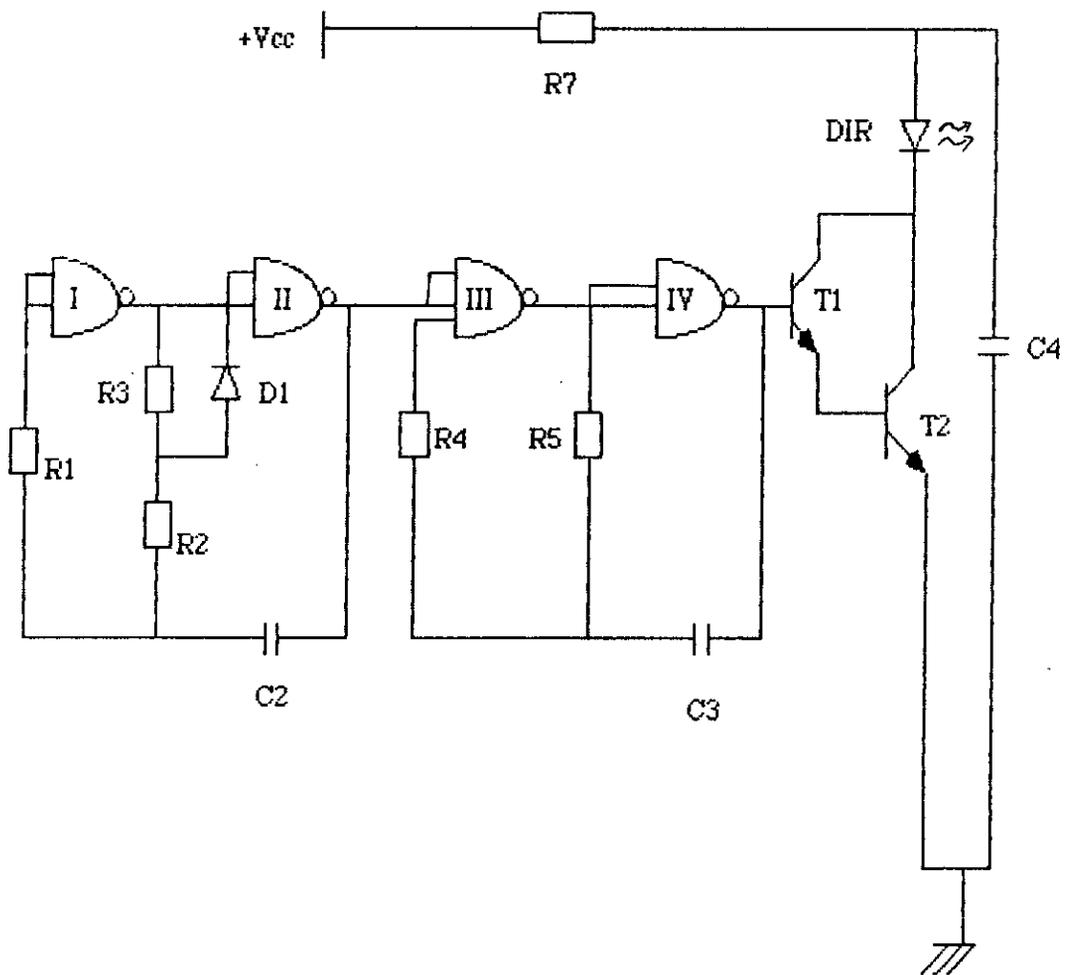
Lorsque les électrons et les trous injectés se recombinent avec les porteurs majoritaires à la jonction P/N,il y'a diminution de l'intensité du champ et l'abaissement de la barrière de potentiel, d'où la création de paires électrons trous.

L'énergie est libérée sous forme de photons à qui est associée une énergie photonique voisine de la barrière de potentiel.

L'effet infrarouge provient du matériau semi-conducteur utilisée.

L'arséniure de gallium présente une barrière de potentiel  $E_g=1.43$  eV, il produit donc en émission un flux énergétique de longueur d'onde  $\lambda=1240/E_g = 867$ nm située dans le domaine IR.

La LED utilisée est présentée dans l'annexe en présentant plus en détail la partie optoélectronique.



FIG(4-7) SCHEMA COMPLET DE L'EMETTEUR INFRAROUGE

# **CHAPITRE V**

## **LE RECEPTEUR**

Le récepteur est un système qui détecte et traite les signaux transmis par l'émetteur.

#### **V-1 Synoptique du récepteur:**

Le synoptique du récepteur étant représenté sur la fig(5-1).

Les différentes parties que comporte le récepteur sont :

##### **A)-Partie réception des IR :**

- transducteur récepteur à infrarouge.
- Amplificateur.
- Démodulateur.
- Filtrage du bruit
- Mise en forme.

##### **B)-Partie traitement de l'information:**

- Mesure du déphasage.
- Horloge.
- Comptage.
- Affichage.

#### **V-2 Principe de fonctionnement:**

Quand le signal est émis, il arrive au niveau de la photodiode de réception sous forme d'ondes vibratoires. Cette dernière, par le phénomène inverse de l'émission, convertit ces ondes en un signal électrique qui sera amplifié et démodulé.

Après démodulation, le signal est distordu et noyé dans bruit. Il doit passer donc par un étage de filtrage puis par un étage de mise en forme avant d'attaquer le déphaseur.

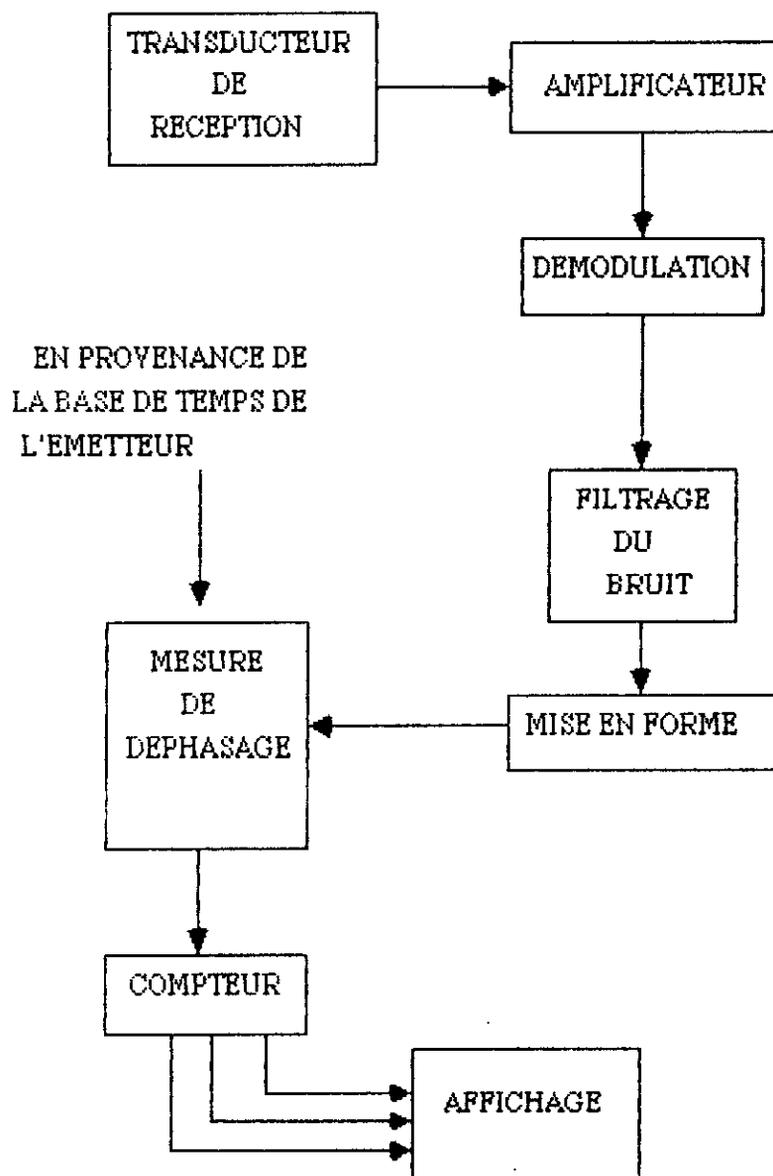


FIG (5-1) SYNOPTIQUE DU RECEPTEUR

Après la restitution du déphasage une horloge permet d'obtenir des créneaux de comptage qui seront acheminés vers un compteur puis les afficheurs donneront la distance qui sera proportionnelle à ces créneaux.

## **2-1 Réception:**

Le choix du détecteur de lumière approprié est tout aussi important que celui de l'émetteur .

Les photodiodes et les phototransistors sont deux types de composants utilisant des semiconducteurs courants ,germanium, et silicium qui sont surtout sensibles au rayonnement IR.

Ces détecteurs doivent être d'une grande:

-Sensibilité: ils doivent être capables de donner un signal électrique appréciable même quand ils reçoivent un flux énergétique très faible (un rapport signal / bruit supérieur à 1).

-Rapidité d'exécution : le détecteur doit être suffisamment rapide afin de pouvoir transformer l'information lumineuse qu'il reçoit sans la déformer.

-Compatibilité avec la source du point de vue directivité ,longueur d'onde d'émission et fréquence de coupure.

Dans notre réalisation on a utilisé une photodiode qui est constituée de deux zones P et N fortement dopées encadrant une zone intrinsèque de forte résistivité.

Les photons incidents ayant une énergie supérieure au gap d'énergie de la jonction PIN, créent des paires électrons-trous dans la zone de transition. Les électrons qui étaient initialement au repos se

retrouvent dans un état excité et passent dans la bande de conduction.

Pour éviter de nouvelles recombinaisons des électrons, un champ électrique est appliqué en inverse, ce qui a pour effet de séparer les couples et de créer ainsi un photocourant de l'ordre du mA.

Il existe en outre un courant d'obscurité très faible dû à l'effet de la température et à la surface photosensible.[8], [9]

## 2-2 Etage amplificateur:

Les rayons infrarouges émis par l'émetteur arrivent atténués au niveau de la photodiode, d'où la nécessité d'amplifier ces signaux après détection.

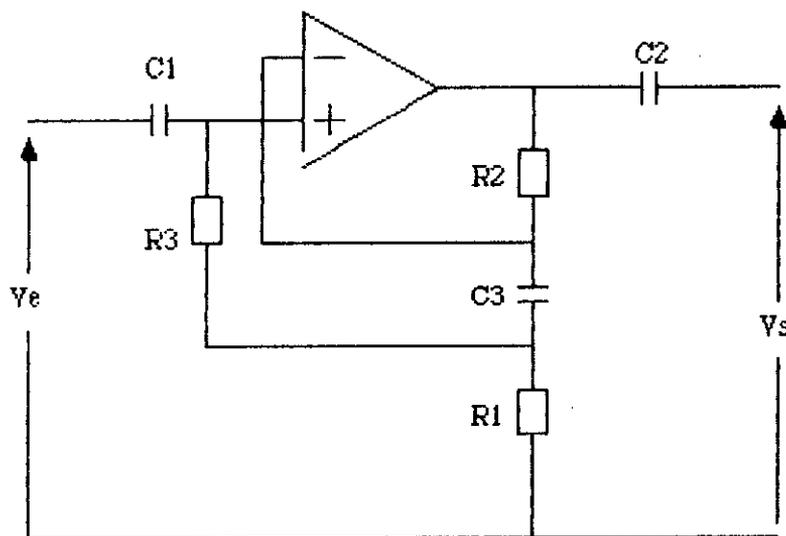


FIG (5-2) ETAGE AMPLIFICATEUR

Ce dernier montage a été choisi vu les propriétés qu'il possède :

- Grande impédance d'entrée .
- Stabilité en régime continu.

En effet pour le régime alternatif ,des signaux identiques apparaissent à la borne positive (d'entrée) de l'amplificateur opérationnel et au point de liaison R1-C3.

Dans ces conditions le courant alternatif qui traverse R3 est nul et par conséquent une très grande impédance d'entrée en régime variable et ceci tout en conservant une bonne stabilité en régime continu puisque la résistance entre la borne plus et la masse est faible .

Le gain en tension de ce montage est donné par :

$$G_v = \frac{V_s}{V_e} = \frac{R1 + R2}{R1}$$

Notre but est d'avoir un bon compromis entre la bande passante et le gain .

Or si on augmente l'un on réduit l'autre . La solution consiste à faire monter trois amplificateurs en cascade [6].

### **2-3 Démodulation:**

La démodulation peut tout simplement s'effectuer par un détecteur d'enveloppe FIG (5-5).

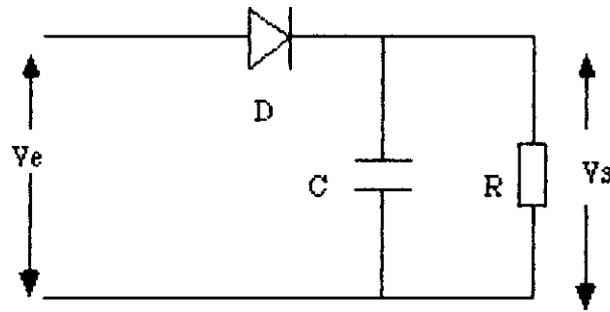


FIG (5-5) SCHEMA ELECTRIQUE  
DU DEMODULATEUR

Le choix de R et C doit s'effectuer de telle sorte que:

$$\frac{T_0}{2\pi} < RC < \frac{T}{2\pi}$$

$T_0$  : Période de la porteuse.

$T$  : période de la base de temps.

#### 2-4 Filtrage du bruit:

La diode PIN fournit à l'amplificateur un courant composé:

- D'un signal utile .
- D'un courant propre à la diode.
- D'un signal dû au bruit infrarouge environnant.
- D'un courant de polarisation.
- D'un bruit dû aux parasites électriques.

Le but du filtrage est d'éliminer les divers bruits et de ne laisser passer que le signal utile.

Ce filtre correspond à un filtre passe-haut puisque les bruits sont concentrés autour de la basse fréquence.

Le filtre est constitué d'une cellule RC classique (voir fig 5-6).

### **2-5 Mise en forme:**

Pour la mise en forme on utilise une porte AND montée en trigger de schmitt (voir fig 4-6).

En effet, lors des basculements, dans un sens ou dans l'autre, la résistance R introduit une réaction positive ce qui accélère la vitesse du changement d'état.

### **V-3 Optique de collection:**

Afin d'augmenter la directivité du faisceau infrarouge à l'émission comme à la réception, on peut utiliser une lentille convergente (fig 4-7). Les lentilles susceptibles d'être utilisées sont du type convergent "loupes", de distance focale de l'ordre de 12 à 17 cm.

La qualité de ces lentilles n'a que peu d'importance. De même, à la réception, on utilisera des lentilles du même type pour pouvoir focaliser le faisceau sur la partie sensible de la photodiode.

La diode sera placée au foyer de la lentille, c'est à dire en un point de l'axe optique situé à une distance de la lentille égale à sa distance focale (fig 4-7).

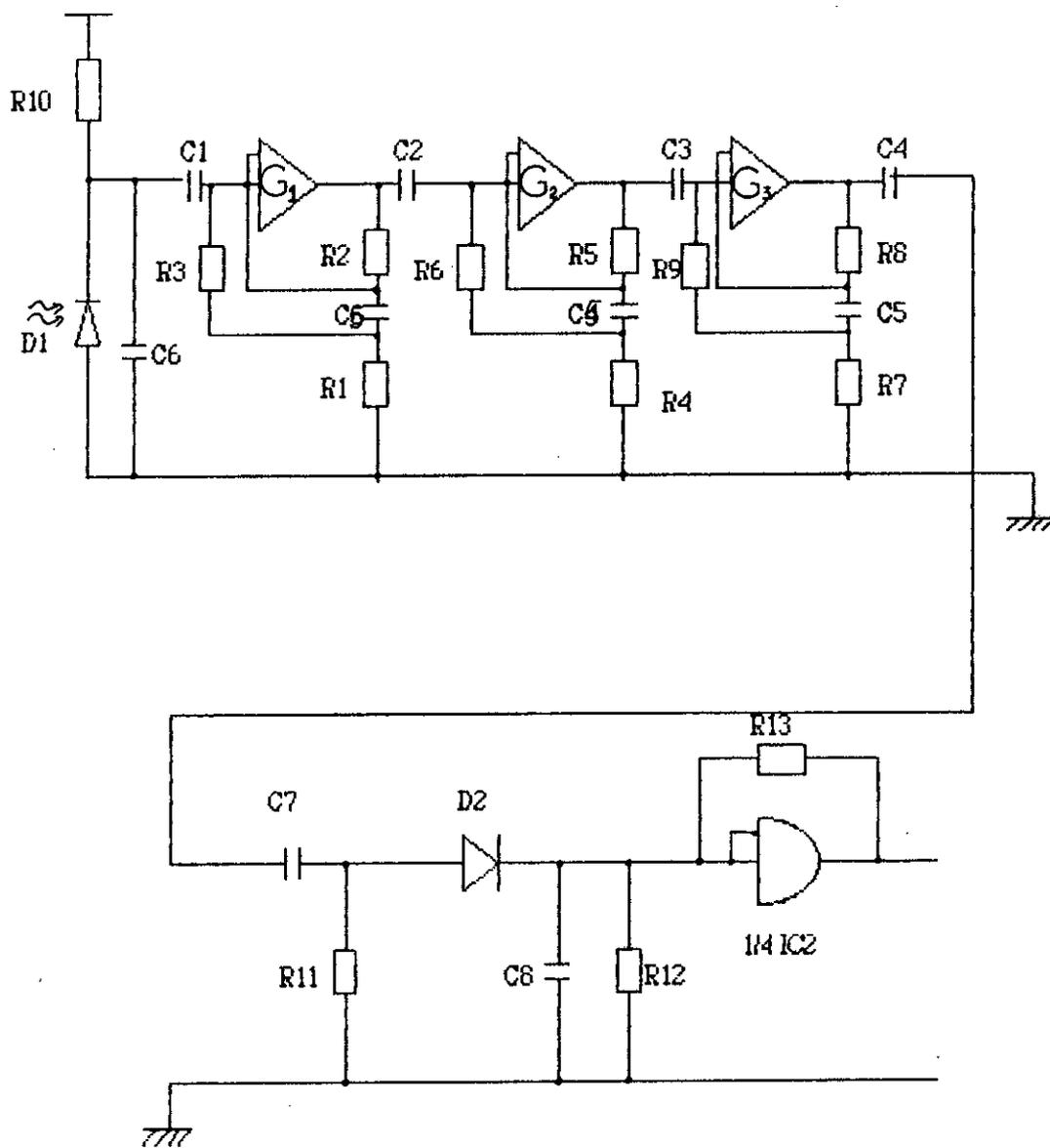
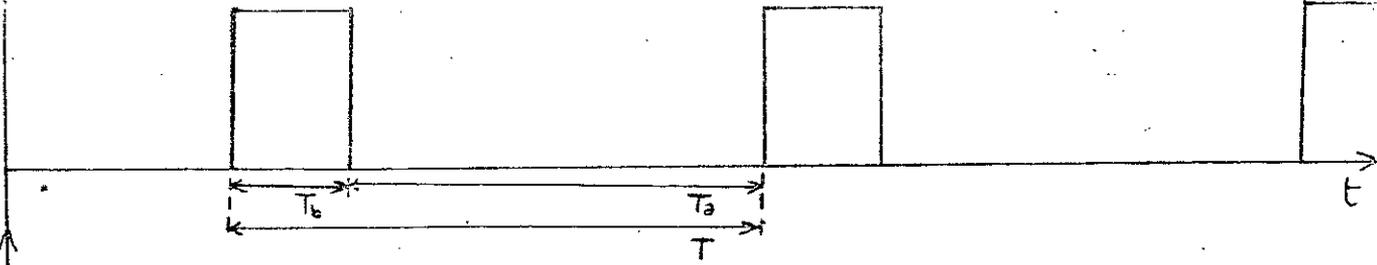
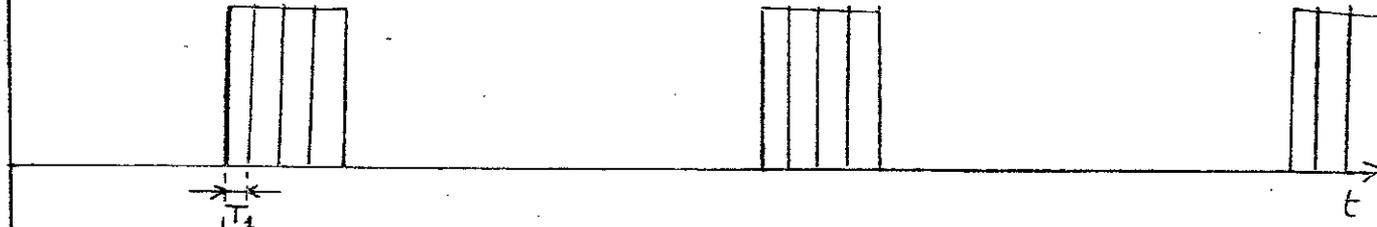


FIG (5-6): SCHEMA COMPLET DE LA RECEPTION INFRAROUGE  
(AMPLIFICATION, FILTRAGE, DEMODULATION, MISE EN FORME)

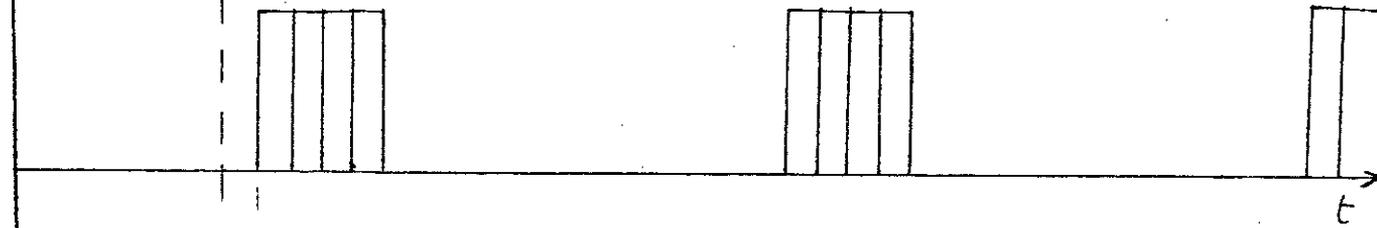
base de temps



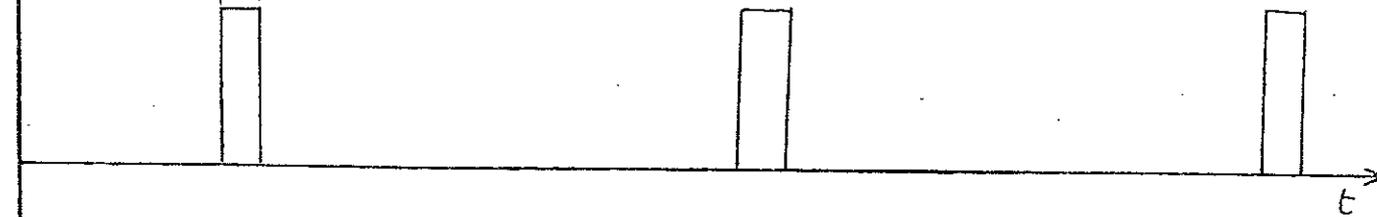
après modulation



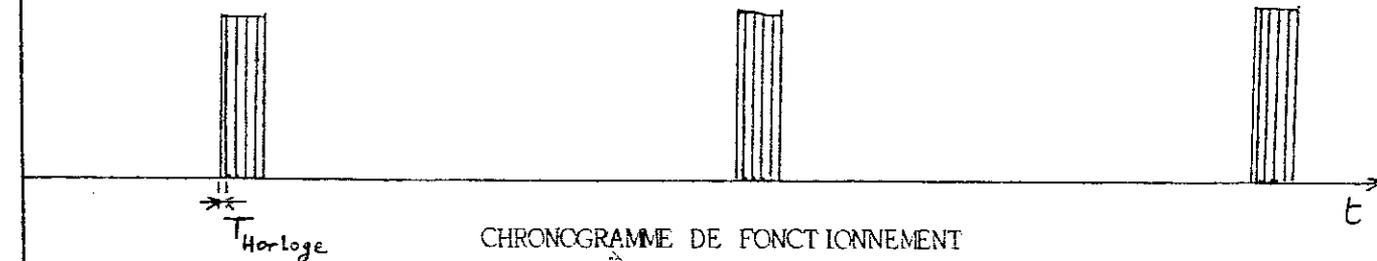
signal reçue



Déphasage



sortie de l'horloge de comptage



CHRONOGRAMME DE FONCTIONNEMENT

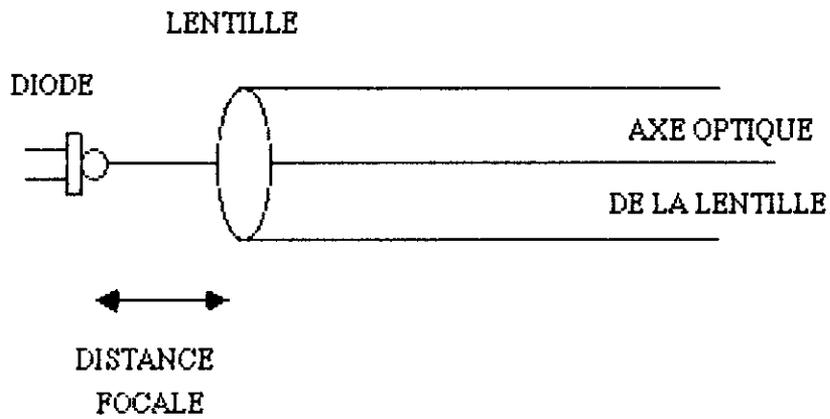
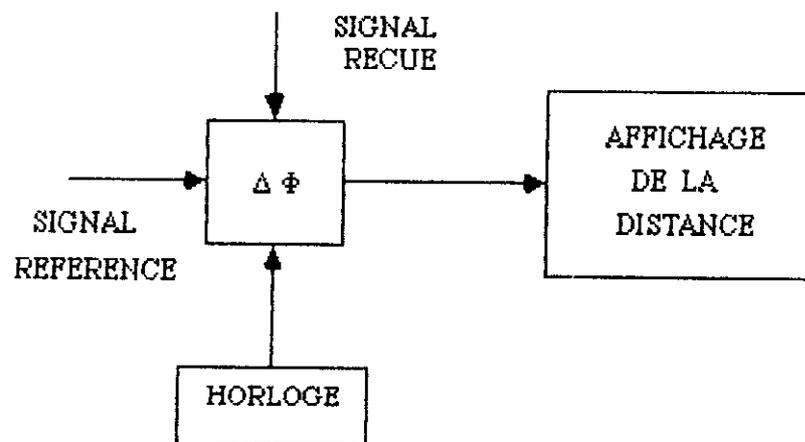


FIG (4-7) UTILISATION D'UNE LENTILLE

## V-4-LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION:

### V-4-1 Synoptique:



FIG(4-8) SYNOPTIQUE DE LA PARTIE TRAITEMENT DE L'INFORMATION

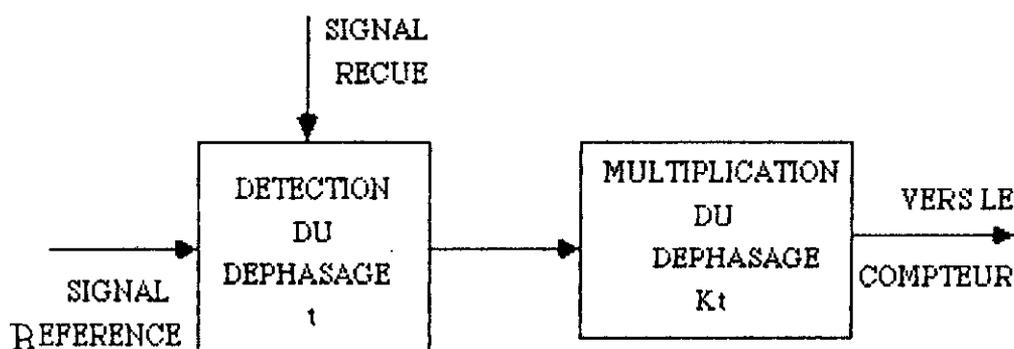
La partie traitement de l'information comporte:

- un bloc qui permet la mesure du déphasage.
- une horloge qui permet d'avoir des créneaux de comptage.
- un bloc d'affichage de la distance.

### V-4-2 Mesure du déphasage:

En plus du détecteur de déphasage, et afin d'utiliser des compteurs ordinaires, ce bloc (bloc mesure de déphasage) comprend aussi un circuit qui

permet d'effectuer un agrandissement du déphasage (multiplication par un facteur K). Voir fig(4-9).



FIG(4-9) SYNOPTIQUE DU BLOC MESURE DE DEPHASAGE

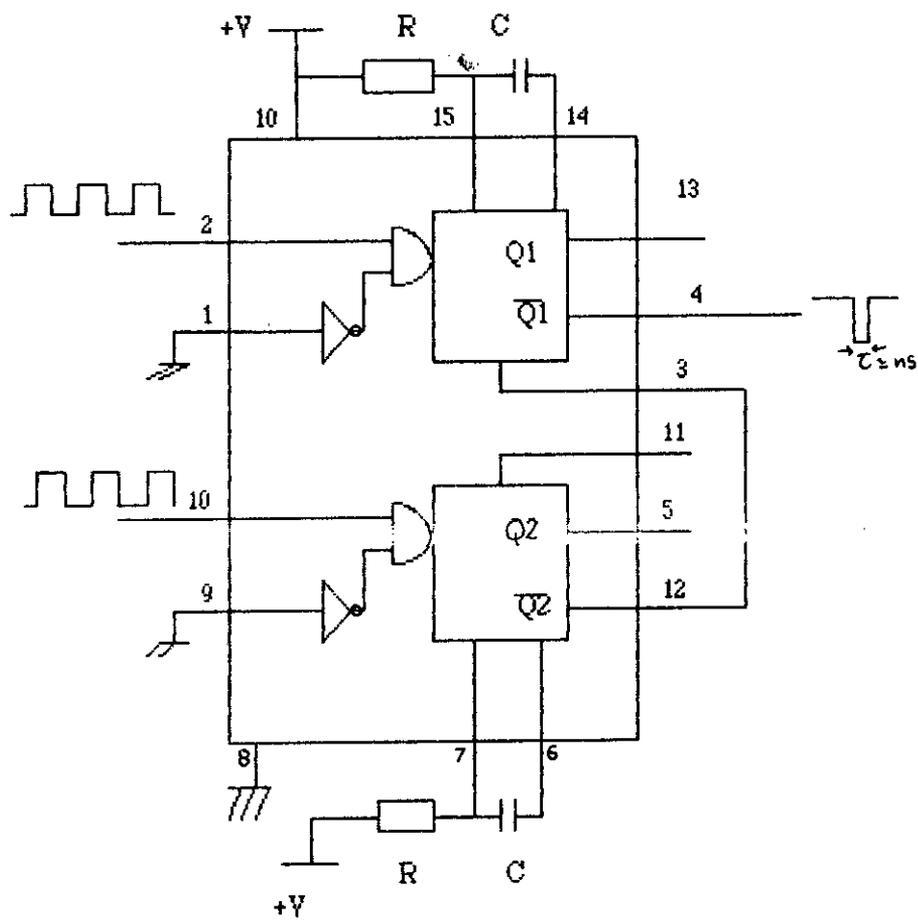
a)- Détection du déphasage:

deux multivibrateurs monostables (74 LS 123) constituent un détecteur de déphasage dont le brochage est représenté à la fig (4-10) [5].

Le 74 LS 123 présente un temps de montée de 9 ns ce qui correspond à une distance  $d = 1.35 \text{ m}$  ( $d=ct / 2$ ) donc notre circuit de détection présente une limite inférieure qui est de l'ordre de 1.5m.

b)-Multiplication du déphasage:

Pour des distances variant entre  $d1 = 1.5 \text{ m}$  et  $d2 = 10 \text{ m}$  le déphasage varie entre  $t1 = 10 \text{ ns}$  et  $t2 = 70 \text{ ns}$  ( $t=2 d / c$ ), ce qui correspond à une fréquence d'horloge de l'ordre des GHz (=15GHZ) et par conséquent il faudra employer des compteurs hyperfréquences ce qui sort de notre objectif "optimisation du coût".



FIG(4-40) BROCHAGE DU DETECTEUR DE DEPHASAGE

Ce problème nous a incité à chercher d'autres solutions.

Dans cette partie on propose un système qui permet d'effectuer une multiplication du déphasage par un facteur  $K > 1$ .

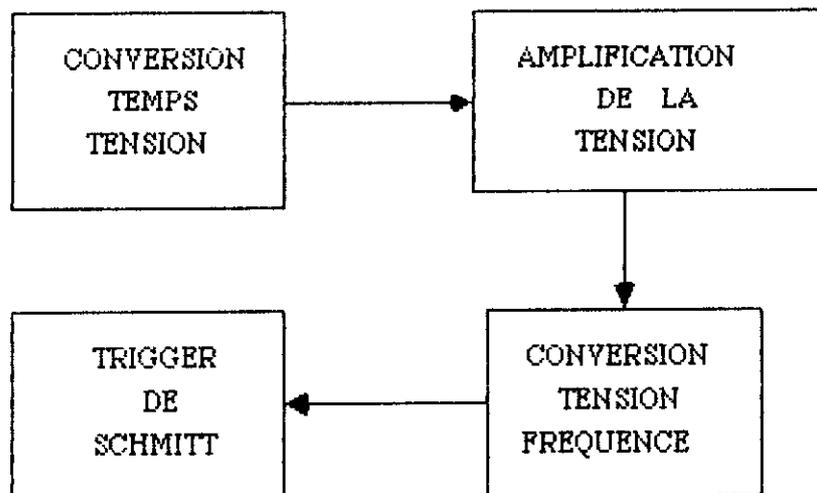
Le principe est le suivant:

tout d'abord on doit faire la conversion temps tension après on effectue l'amplification de cette tension.

Après amplification on doit de nouveau convertir cette tension en fréquence.

L'étage final étant un convertisseur analogique numérique.

(voir fig (4-11))



FIG(4-11) SYNOPTIQUE DU MULTIFLICATEUR  
DE DEPHASAGE

b1)-conversion temps tension:

Cette conversion s'effectue à l'aide du circuit ci-dessous:

La constante de temps de la charge étant :  $5R C$  .

La constante de la décharge étant :  $5R' C$  .

Pour avoir une tension proportionnelle à la durée de l'impulsion on doit éviter la charge du condensateur à la tension  $V_{cc}$ .

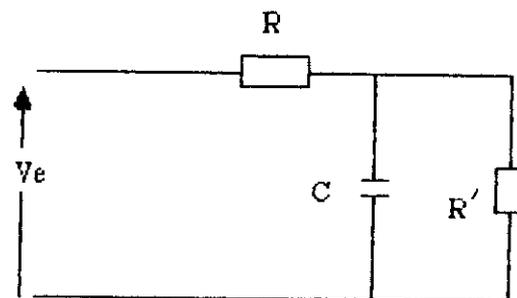
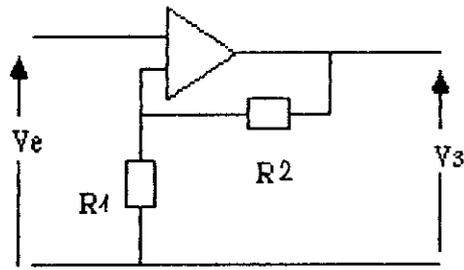


FIG (4 -a) CONVERTISSEUR TEMPS-TENSION

b2)-Amplification de la tension:

On utilise un amplificateur opérationnel.

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$



FIG(4-13) AMPLIFICATION

b3)-Conversion tension fréquence:

Cette fonction peut être réalisée par un oscillateur commandé par variation de tension [11].

Le principe étant l'utilisation d'un intégrateur de miller (fig (4-14)).

$$\frac{dV_0}{dt} = \frac{-V_1}{RC}$$

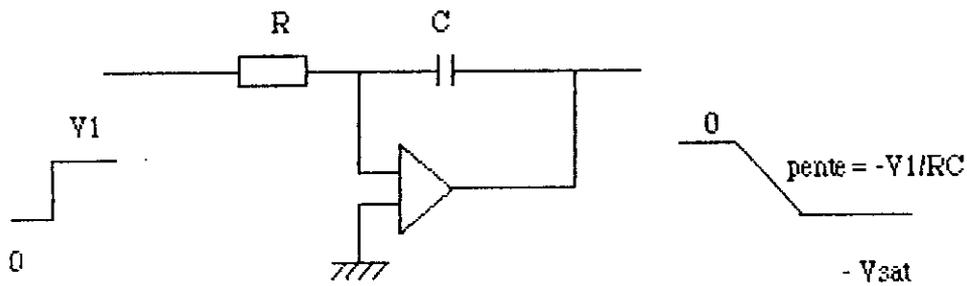
pour construire un oscillateur commandé par variation de tension, on insère dans le circuit de la FIG (4-14) un transistor unijonction programmable entre les bornes du condensateur FIG (4-15). Lorsque la sortie atteint la tension de déclenchement le transistor conduit et par conséquent, décharge le condensateur. Le retour idéal atteint 0 V, ou le cycle suivant commence.

On a retour à zéro quand:

$$V_0 = V_{\text{commande}}$$

$$m = \frac{V_{com}}{T} = \frac{V_{cc}}{R C} \Rightarrow \frac{V_{com}}{T} = \frac{V_{cc}}{R C}$$

D'après la dernière expression on voit bien que T est proportionnelle à  $V_{com}$ .



FIG(4-14) INTEGRATEUR DE MILLER

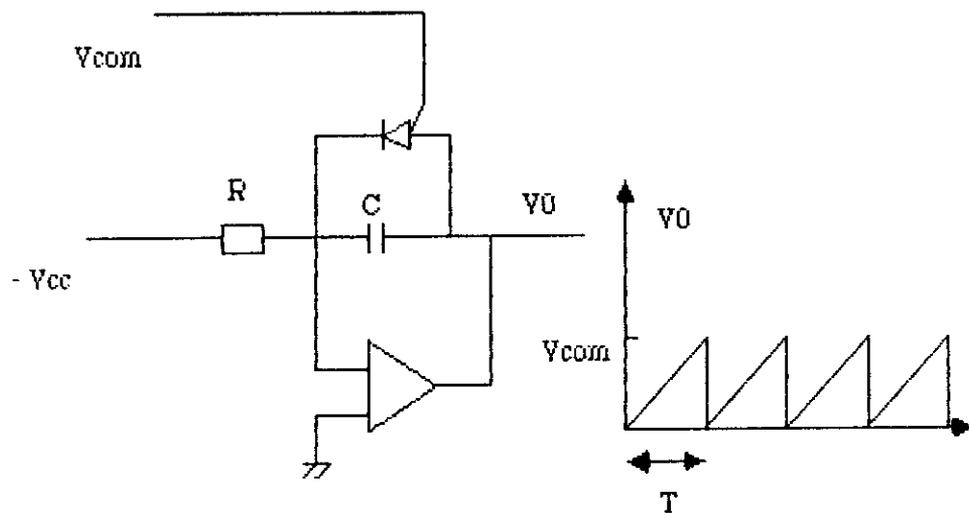


FIG (4-15) CONVERTISSEUR TENSION - FREQUENCE

d4)-conversion analogique numérique (Trigger de Schmitt):

A la sortie du convertisseur tension fréquence on insère un trigger de schmitt qui joue le rôle d'un convertisseur analogique numérique.

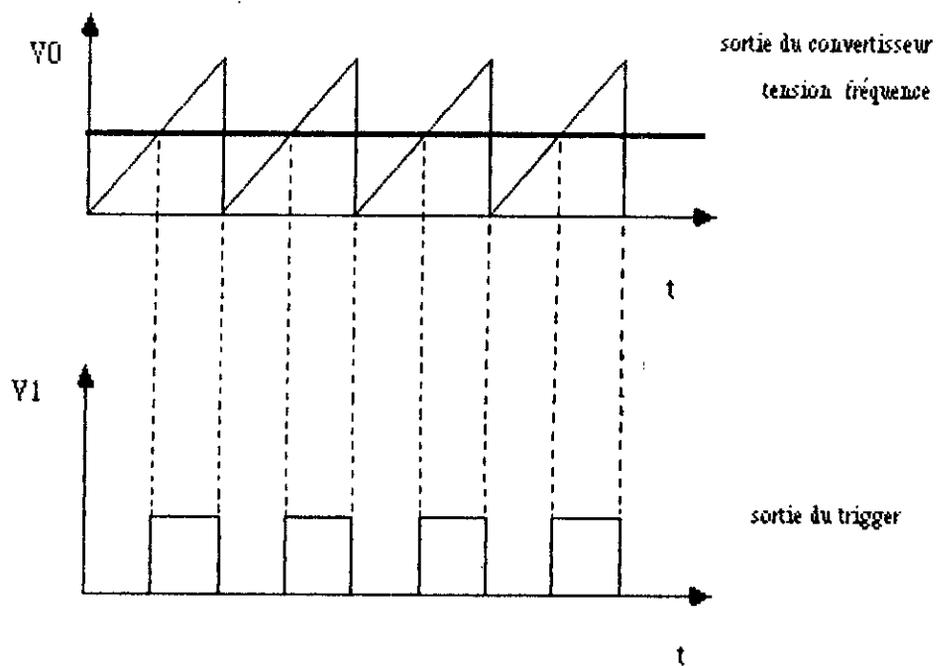


FIG (4 -15a):CONVERSION ANALOGIQUE NUMERIQUE

### V-4-3 Horloge de comptage:

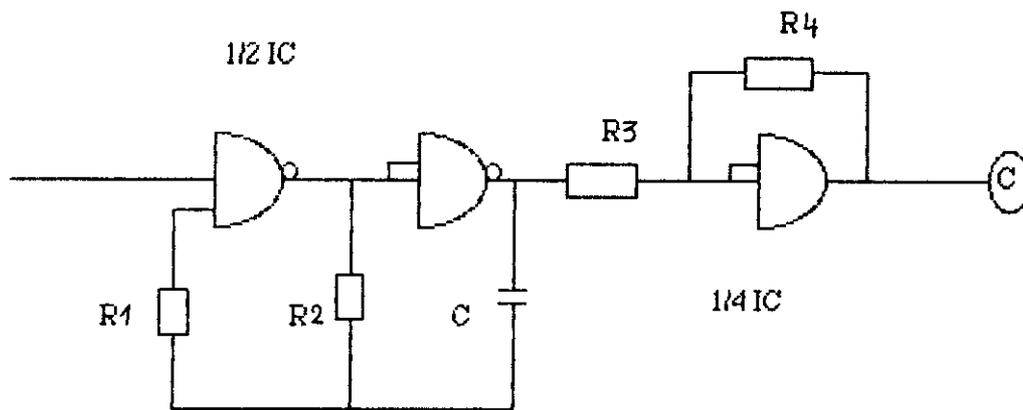
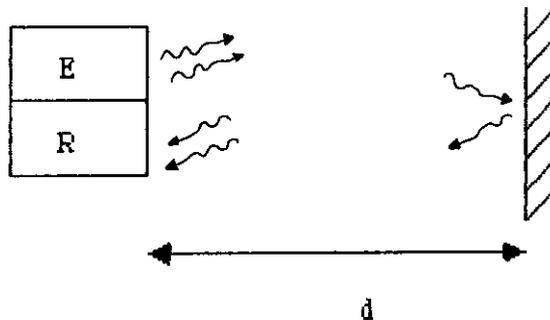


FIG (4 -16) HORLOGE DE COMPTAGE

Pendant la durée où la porte de mémorisation précédemment évoquée présente un état haut le multivibrateur astable, constitué par les deux portes NAND, entre en oscillation.

En fait il fournit les créneaux de comptage dont la mise en forme est effectuée par le trigger (porte AND).

Calcul de la fréquence de comptage:



$$t = \frac{2d}{C} \quad K t = N t = \frac{N}{F_h} \Rightarrow F_h = \frac{N}{2d} \cdot \frac{C}{K}$$

pour  $N = 1000$  et  $d_{\max} = 10 \text{ m}$  on aura:

$$F_h = \frac{15}{K} \text{ GHZ}$$

ou  $k$  : facteur multiplicatif.

$t$  : déphasage entre l'onde de référence et l'onde reçue.

$N$  : nombre d'impulsion.

$F_h$  : fréquence des créneaux.

Les impulsions de comptage attaquent l'entrée "horloge" d'un premier compteur décimal IC .

la sortie de report de celui-ci est reliée à l'entrée horloge d'un second compteur du même type, IC , qui est relié, à son tour, suivant le même principe à IC .

Ces derniers (compteurs) alimentent les segments des afficheurs à cathode commune (voir FIG (4 -17)).

Les compteurs utilisés sont des CD 4033 qui sont décrits en détails en ANNEXE II.

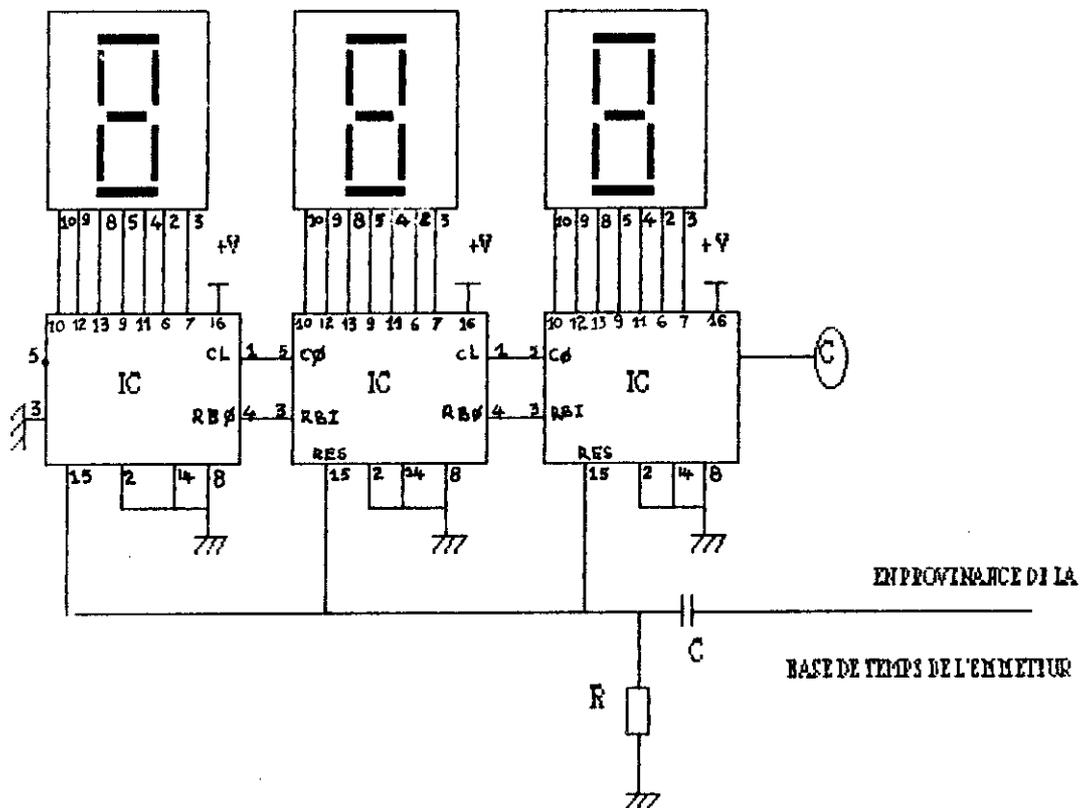


FIG (4 -17) CIRCUIT DE COMPTAGE ET D'AFFICHAGE

**CHAPITRE VI**

**CONCLUSION**

Notre projet a consisté à étudier et réaliser un télémètre infra-rouge.

Nous avons entamé notre travail par une étude bibliographique sur les différents types de télémètres et les procédés utilisés. Notre choix s'est porté sur le télémètre IR par mesure du temps de vol, pour des raisons de coût de simplicité et de disponibilité des composants.

Nous avons rencontré des difficultés dûs essentiellement:

- à l'émetteur IR (LED) qui étant limité en puissance ne permet pas des mesures à des distances élevées.

- à la réception (mesure de déphasage); vu la distance relativement petite, le déphasage mesuré est de l'ordre du nanoseconde; ce qui nécessite des compteurs hyperfréquence..

Nous avons proposé un montage de multiplication du temps (Kt) afin d'éviter l'utilisation de compteur hyperfréquence non disponible et très coûteux.

Enfin nous pensons que notre réalisation pourrait être amélioré par l'utilisation de :

- Diode IR ayant un diagramme de rayonnement très directif (ou diode laser) et ceci pour augmenter la portée.

- Un amplificateur spécialisé aux IR (TEA 1009) assurant une grande sensibilité tout en minimisant l'effet du bruit.

- Un filtre interférentiel permettant d'éliminer par voie optique les bruits parasites.

- Des compteurs hyperfréquences permettant de mesurer des temps de l'ordre du ns

# **ANNEXE I**

## **LES COMPOSANTS OPTO-ELECTRONIQUES**

## I-Introduction:

On regroupe sous l'appellation "dispositifs optoélectronique", tous les éléments qui convertissent l'énergie électrique en un rayonnement optique ainsi que ceux qui permettent de détecter un rayon optique pour le traduire en un signal électrique par le biais de dispositifs électronique.

## II-Les émetteurs électroluminescents:

### II-1 Généralités:

La figure(1) illustre la structure d'une "DEL" qui est finalement comme tous les semiconducteurs (3 bandes).L'énergie libérée lors d'une transition électronique qui assure le passage d'un électron d'un niveau d'énergie  $W1$  à un niveau d'énergie  $W2$  inférieur au premier, peut être émise sous forme d'un photon.

Pour une transition indirecte l'énergie " $hu$ " du photon émis est égale à la différence des énergies entre les états initial et final:

$$hu = W1 - W2.$$

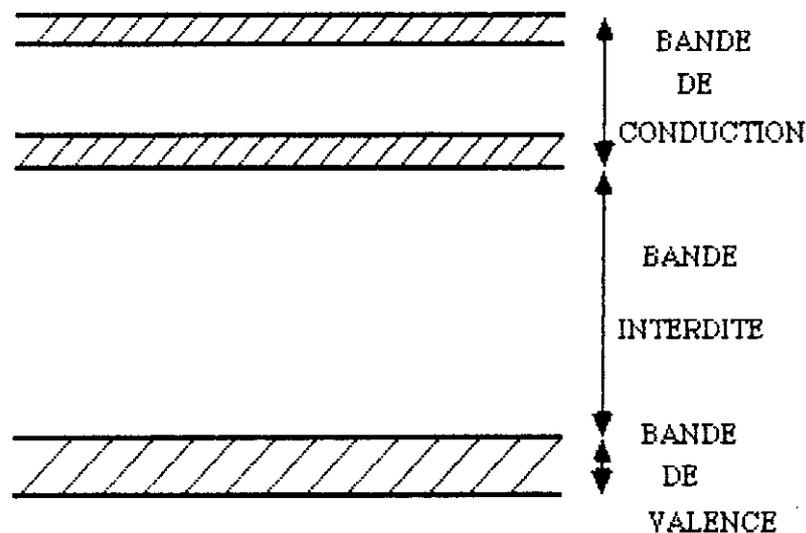


FIG 1: STRUCTURE D'UNE DEL

Par contre pour une transition directe avec un semiconducteur à bande interdite l'énergie des photons émis correspond à la hauteur de la bande interdite  $\Delta E$ .

$$\Delta E = hu \text{ avec } u = c/\lambda \text{ d'où: } \lambda = hc/\Delta E$$

c: célérité de la lumière.

h: constante de planck  $h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ j.s}$

$\Delta E$  : hauteur de la bande interdite (ev).

## **II-2 Semiconducteurs utilisés:**

On sait que l'oeil humain ne perçoit que le rayonnement électromagnétique de longueur d'onde comprise entre 780 et 380 nm, soit une énergie de 1.8 à 3.1 ev.

Nous avons porté dans le tableau ci-dessous les caractéristiques des principaux matériaux pour la fabrication des diodes électroluminescentes.

## **III- Les photorécepteurs:**

La photoconduction est un phénomène physique dans lequel l'absorption des photons par les électrons liés d'un matériau semiconducteur, fait passer ces électrons dans un état d'énergie plus élevé.

Il existe deux groupes de photoconducteurs:

- les détecteurs homogènes à conduction intrinsèque ou extrinsèque, également appelés détecteurs photoconductifs.

- les détecteurs non homogènes ou à jonction.

on distingue:

1- *Les photodiodes* : elles sont constituées de cristaux rectangulaires de quelque millimètres carrés. les porteurs sont essentiellement collectés par le champ électrique de la jonction. Pour cela on a deux phénomènes : le phénomène de la diffusion et celui d'avalanche.

2- *Les phototransistors* : ils sont constitués, comme un transistor classique, mais le courant de base est généré par l'effet photoélectrique. Le phototransistor peut être considéré comme l'association d'une photodiode (jonction base-collecteur) et d'un transistor en série jouant le rôle d'amplificateur.

3- *Les photorésistances* : Certains semi-conducteurs sont doués de propriétés photoconductrices l'action des photons sur eux diminue grandement leur résistance, grâce aux électrons introduits dans la bande de conduction. Elles sont constituées par une plaquette isolante sur laquelle on dépose le semiconducteur.

4- *Les photocoupleurs* : Ces composants regroupent dans le même boîtier une diode photoémissive et une photodiode ou un phototransistor.

Le tableau qui suit résume les principales caractéristiques des photorécepteurs.

#### **IV- Les applications:**

Pratiquement, un circuit électrique fonctionnant par tout ou rien peut presque toujours être remplacé par un dispositif photo-électrique. Un faisceau lumineux peut être concentré, dévié, réfléchi, modulé ou sélectionné par des filtres et des cellules sensibles à une zone particulière du spectre. [4],[9],[11]

MATERIAU	SYMBO- LE	Eg (ev)		GAMME D'EMISSION
ARSENURE DE GALLIUM	Ga As	1.43	910	INFRA-ROUGE
PHOSPHURE DE GALLIUM DOPE D'AZOTE	GaPN	2.24	560	VERT
ARSENURE AU PHOSPHORE DE GALLIUM	GaAs-xPx	1.42-1.97	560-910	VERT-IR
CARBURE DE SILICIUM	SiC	2.5	475	BLEU
NITRURE DE GALLIUM	GaN	3.96	400	VIOLET

TABLEAU: CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

Type	Réponse Spectrale ( $\mu\text{m}$ )	Surface Sensible ( $\text{m}^2$ )	Réponse en fréquence (Hz)	Influence de $T^\circ$ ( $^\circ\text{C}$ )	Bruit de fond	Seuil de sensibilité (L x)
CDS	CELLULES PHOTOCONDUCTR	1 à 500	$10$ à $10^2$	Moyenne à Grande	Moyen	$10^{-3}$
P						
Ge	PHOTODIODES	1	$5 \cdot 10^2$ à $10^3$	Moyenne ( $T_{\text{max}} = +65$ )		10
Si						
Ge	PHOTOTRANSISTORS	1 à 2	$10^3$	Moyenne ( $T_{\text{max}} = +65$ )	Moyen à Grand	10
Si						

- Caractéristiques de certains composants optoélectroniques -

## **ANNEXE II**

### **LES CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS UTILISES**

## I-LES COMPOSANTS OPTOELECTRONIQUES: [5],[12],[13]

\* La LED CQY 89 de gallium émet dans l'infrarouge proche du visible. Elle est montée dans une capsule (bleue foncée). C'est une diode compatible avec la photodiode pin BPW 50.

### CARACTERISTIQUES LIMITEES:

- Tension inverse	Vr	5V
- Courant direct	Ip	130mA
- Puissance dissipée	Ptot	219mW
- Température de jonction	Tj	100°C
- Intensité statique des radiations	Ie	9mW/Sr
- Courant de pointe (tp<10us)	Ifsm	2500mA
- Résistance thermique jonction-ambiante	Rth j-a	350K/W
- Longueur d'onde d'émission	$\lambda_p$	830nm

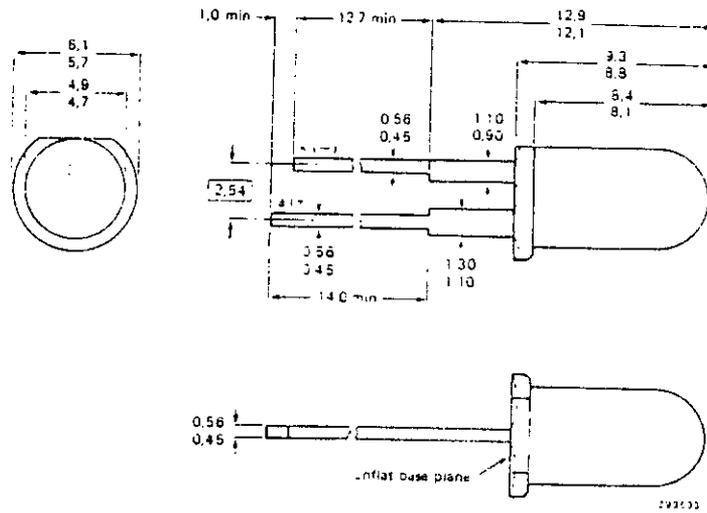
\*La BPW 50 est une photodiode recommandée pour fonctionner avec CQY 89.Si elle est combinée avec une diode émettrice IR de grande vitesse elle peut accepter une porteuse de 1MHZ.

### CARACTERISTIQUES LIMITEES:

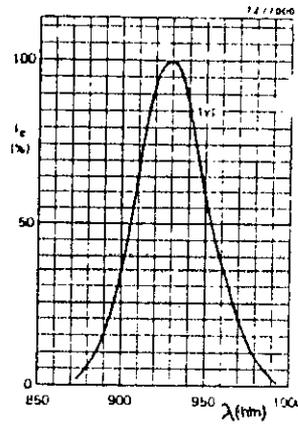
- Tension inverse	Vr	32V
- Puissance totale dissipée	Ptot	150mW
- Température de jonction	Tj	100°C
- courant inverse d'obscurité	Ird	<30nA
- Courant inverse	Ir	>30uA
- longueur d'onde de réception	Ip	930nm
- surface sensible	A	5mm <sup>2</sup>

MECHANICAL DATA  
Fig. 1 SOD-6382.

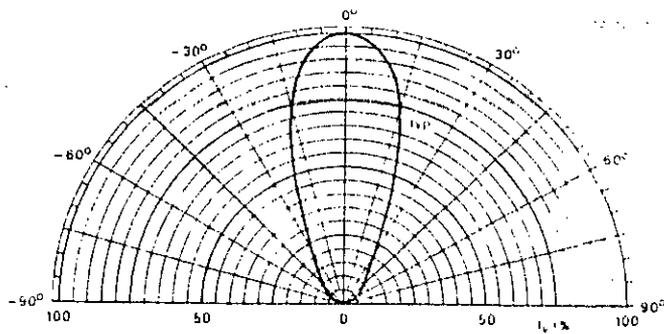
Dimensions in mm



CQY89 - CARACTERISTIQUES MECANIKES



CQY89 - SPECTRE D'EMISSION



CQY89 - DIAGRAMME DE RAYONNEMENT



## II-LES COMPTEURS:

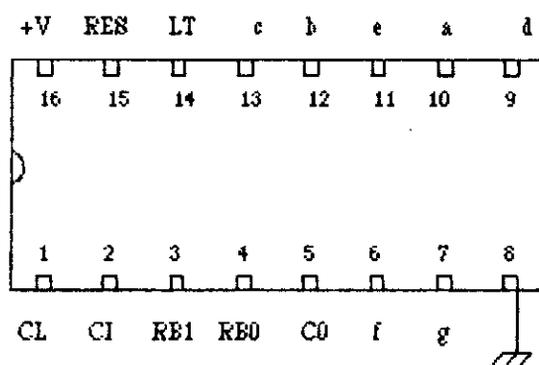


FIG ( - ) BROCHAGE DU CD 4033

\*Ce compteur avance au rythme des fronts ascendants des créneaux de comptage (appliquée en CL).

CI (carry in) = 0 ..... comptage.

= 1 ..... blocage sur la dernière valeur.

RAZ = 0 ..... fonctionnement normale.

= 1 ..... compteur remis à zéro.

CO = 0 ..... pour les positions décimales 5,6,7,8,9.

= 1 ..... pour les positions décimales 0,1,2,3,4.

C'est la sortie dite de report, elle permet la liaison avec l'entrée "horloge" d'un compteur aval.

Les CD 4033 comportent encore d'autres raffinements. En effet indépendamment de leur aptitude au comptage, ils sont en même temps des décodeurs 7 segments. De plus ils comportent leur propre système de limitation de courant pour alimenter les segments des afficheurs à cathode commune donc on a pas besoin d'interposer des résistances entre les sorties a,b,c,d et de f et les segments correspondants de l'afficheur.

De plus le CD 4033 possède une entrée RBI et RBO qui grâce à elles les afficheurs indiquent la valeur utile ex : 0,93 sera indiquée ,93 et particulièrement la valeur 0,00 sera indiquée par ,.

Le CD 4033 comporte une entrée "LT" qui est normalement reliée à un état bas et une fois reliée à un état haut permet de tester le bon fonctionnement des afficheurs.

# **NOMENCLATURE**

### EMETTEUR:

R1 = 470 K $\Omega$

R2 = 10K $\Omega$

R3 = 470K $\Omega$

R4 = 220K $\Omega$

R5 = 4,7K $\Omega$

R7 = 47 $\Omega$

C2 = 0,1  $\mu$ F

C3 = 1 nF

C4 = 47  $\mu$ F/25 V

T1,T2 : 2N 1711

D1 : 1N 4002

IC1 : CD 4011 (4 PORTES NAND)

D : DIODE EMETTRICE IR CQV 89

### RECEPTEUR:

R1 = 4,7 K $\Omega$

R2 = 100 K $\Omega$

R3 = 100 K $\Omega$

R4 = 10 K $\Omega$

R5 = 100 K $\Omega$

R6 = 100 K $\Omega$

R7 = 1 K $\Omega$

R8 = 100 K $\Omega$

R9 = 100 K $\Omega$

R10 = 220 K $\Omega$

R11 = 22 K $\Omega$

R12 = 100 K $\Omega$

R13 = 1 K $\Omega$

C1 = 1 nF

C2 = 0,1  $\mu$ F

C3 = 0,1  $\mu$ F

C4 = 0,1  $\mu$ F

C5 = 2,2  $\mu$ F

C6 = 68 pF

C7 = 1 nF

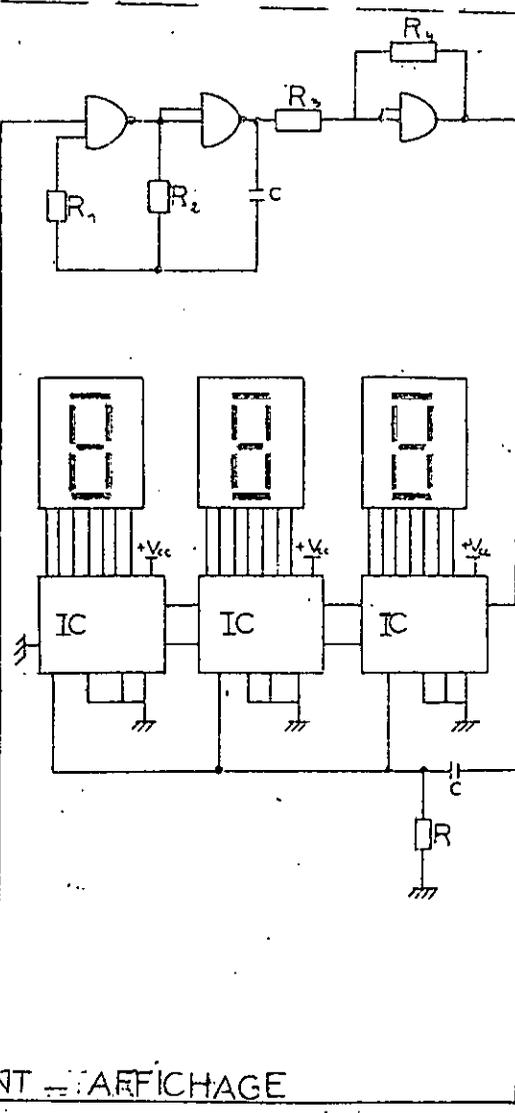
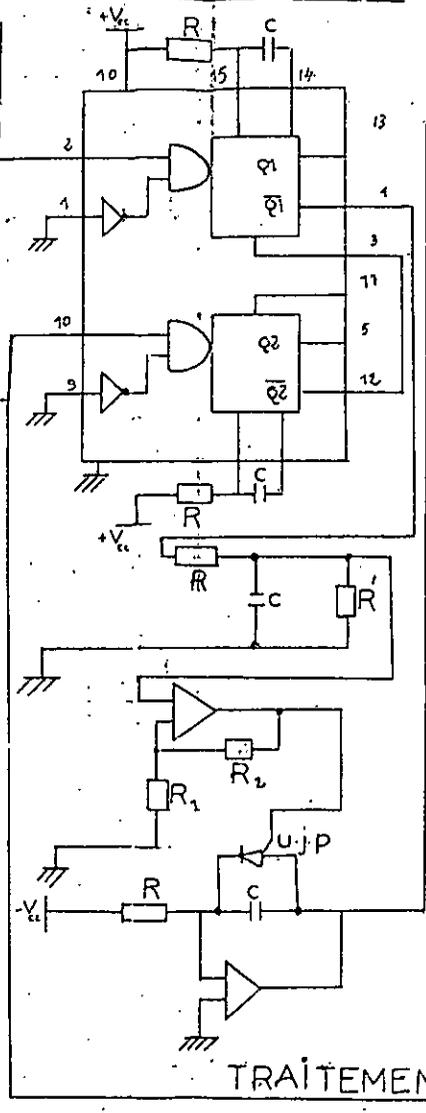
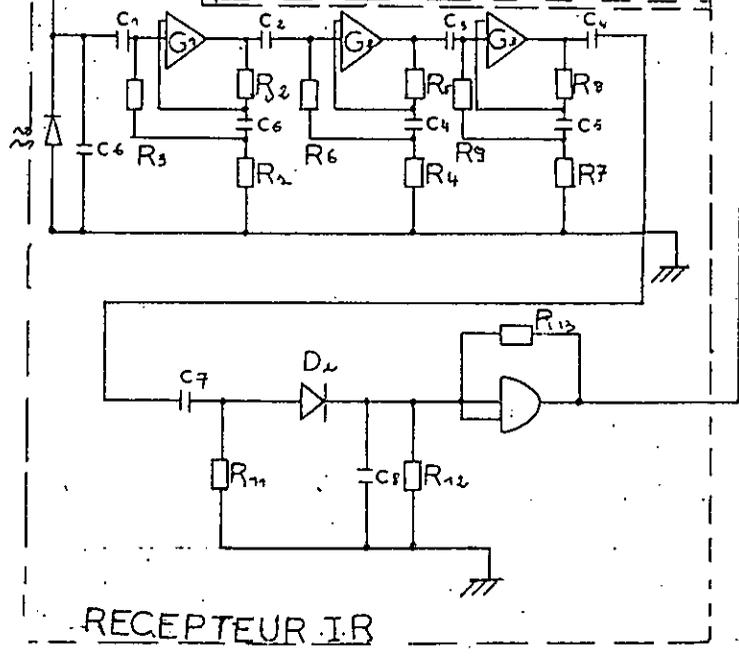
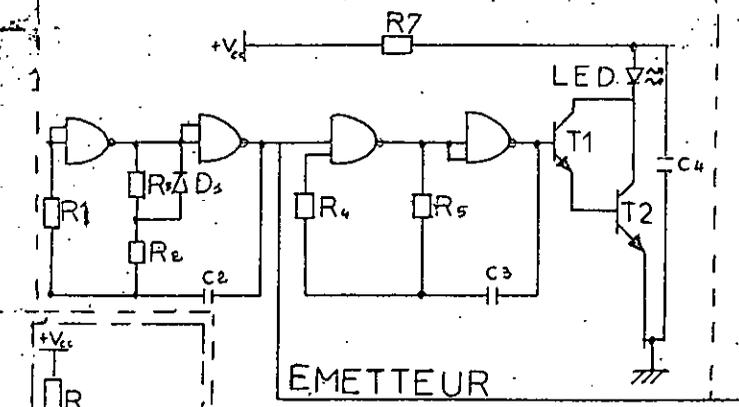
C8 = 1 nF

IC2 : CD 4081

D2 : 1N4002

IC3 : HA741

D1 : PHOTODIODE DE RECEPTION BPW 50



# BIBLIOGRAPHIE

1- Etude et réalisation d'un système infra-rouge de détection d'obstacles à usage automobile.

Thèse de doctorat Amine ALLAOUI 1991

2- La télémétrie

Rapport de stage D.E.A A. BAYADROUN

3- Télécommandes : techniques et réalisations

P. GUEULLE

Edition ETSF 1989

4- Les infra-rouges en électronique

Herman SCHREIBER

Edition ETSF 1989

5- Electronic circuits

Samuel WEBER

Edition Mc GRAW-HILL

6- Les amplificateurs operationnels : Principes et applications

DAMAYE

Edition RADIO

7- Radar experimental

Electronique pratique n ° 156 Fev. 1992

8- Technologies des composants électroniques T.2

Besson

Edition RADIO 1986

9- Les semi-conducteurs opto-électroniques

Radio plan n° 511 Mars 1992

10- Focalisation automatique du laser CO<sub>2</sub>

Thèse de magister N. BATEL 1992

11- Principes d'électronique

MALVINO

12- Catalog of opto-electronic

General instrument 1983

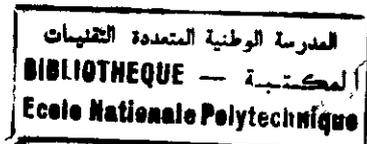
13- Opto-electronic devices- semi-conductors book 58b

Phillips data handbook 1986

EM : ELECTROMAGNETIQUE

IR : INFRA-ROUGE

US : ULTRA-SONS



P.45 : LIGNE 3 - BASSES

P.51 : LIGNE 6 - LA PARTIE RECEPTION DES IR EST COMPOSEE DES MODULES SUIVANTS.

P.51 : LIGNE 12 - LA PARTIE TRAITEMENT DE L'INFORMATION EST COMPOSEE DES MODULES SUIVANTS.

P.08 : LIGNE 12 - LE RAYONNEMENT INFRA-ROUGE EST AUSSI UTILISE....

P.46 : LIGNE 17 - UNE FORTE AMPLIFICATION EN COURANT.