

UNIVERSITÉ LAVAL,
Faculté des Sciences et de Génie,
Département de Génie Électrique,
LABORATOIRE de TĒLĒCOMMUNICATIONS.

RAPPORT FINAL

Etude de mesures quantitatives
de la qualité d'une image de télévision
(Phase 3)

par

André Pomerleau, Dany Sylvain et Roger Brousseau

pour

Gouvernement du Canada
Ministère des Communications, Ottawa

sous

Contrat OSU80-00301 du Ministère
des Approvisionnements et Services

Période du 1er Novembre 1980 au 31 Mars 1981

Rapport No LT-80-8230

Mars 1981

**UNIVERSITÉ LAVAL,
Faculté des Sciences et de Génie,
Département de Génie Électrique,
LABORATOIRE de TÉLÉCOMMUNICATIONS.**

RAPPORT FINAL

Etude de mesures quantitatives
de la qualité d'une image de télévision
(Phase 3)

par

André Pomerleau, Dany Sylvain et Roger Brousseau

pour

Gouvernement du Canada
Ministère des Communications, Ottawa

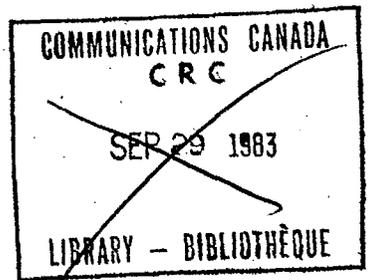
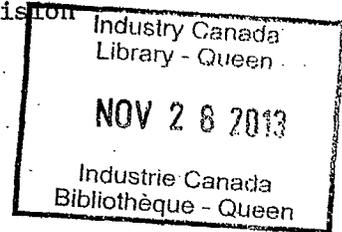
sous

Contrat OSU80-00301 du Ministère
des Approvisionnements et Services

Période du 1er Novembre 1980 au 31 Mars 1981

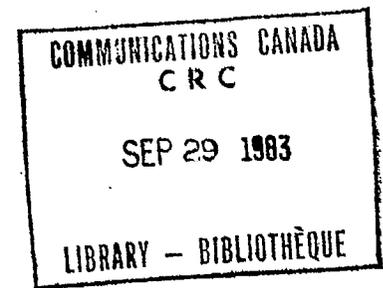
Rapport No LT-80-8230

Mars 1981



Rec'd from T. Coyne DRC 23/9/83

AVANT-PROPOS



Des limitations physiques et économiques font que tout système de transmission à distance d'images (ou télévision) peut être perturbé par des conditions extérieures au système. La perturbation généralement se reflète par une image de moins bonne qualité. Il est essentielle de connaître la relation entre la perturbation et la qualité de l'image pour mettre au point un système de télévision et en assurer le bon fonctionnement. La méthode conventionnelle pour mesurer cette relation est l'utilisation de tests subjectifs. Ils consistent à présenter une série d'images plus ou moins dégradées à un groupe de personnes et de leur demander de juger l'image selon un barème donné.

Cette méthode est cependant longue et demande plusieurs personnes pour sa réalisation. Dans ce projet, on décrit un appareil qui a été mis au point pour remplacer les tests subjectifs, i.e. l'appareil fournit une mesure de la qualité de l'image qu'on lui présente. Le principe de l'appareil est le suivant: un spectateur juge l'image qu'on lui présente à partir de la lumière émanant du tube écran qui est captée par ses yeux; pour obtenir avec un appareil le même jugement lorsque placé dans les mêmes conditions, on n'a qu'à reproduire le même processus. C'est-à-dire que l'appareil a comme source d'information la lumière en provenance du tube écran et que ses différentes sections doivent simuler le mieux possible un oeil humain.

Pour les dégradations d'images par le bruit, les caractéristiques de l'oeil qu'il faut reproduire sont l'acuité visuelle, la sensibilité aux couleurs, la réponse en fréquence et la non-linéarité. En simulant ces caractéristiques avec l'appareil, les mesures de qualité avec celui-ci donne des résultats semblables aux résultats des tests subjectifs qui ont été réalisés. L'appareil permet donc dans la majorité des cas une mesure de la qualité en quelques secondes plutôt qu'en quelques journées.

TABLE DES MATIERES

Avant-propos.....	p. ii
Table des matières.....	p. iii
Liste des figures.....	p. viii
Liste des tableaux.....	p. xi
INTRODUCTION.....	p. 1
CHAPITRE I - Transmission de l'image et évaluation de sa qualité.....	p. 4
A. Introduction.....	p. 4
B. Principe de fonctionnement d'un système de télévision.....	p. 5
B.1. Critères à rencontrer.....	p. 5
B.2. Principe de fonctionnement.....	p. 5
B.2.a. Caméra.....	p. 5
B.2.b. Téléviseur.....	p. 7
B.2.c. Transmission.....	p. 7
B.2.d. Références.....	p. 10
C. Contraintes.....	p. 10
C.1. Puissance de l'émetteur.....	p. 10
C.2. Largeur de bande.....	p. 12
C.3. Autres contraintes.....	p. 12
C.4. Choix de la mesure du bruit.....	p. 12
D. Evaluation de la dégradation par le bruit.....	p. 13
D.1. Intérêt de la mesure de la qualité.....	p. 13
D.2. Tests subjectifs.....	p. 13
D.3. Limitations des tests subjectifs.....	p. 15
D.4. Principe de l'appareil.....	p. 15
E. Conclusion.....	p. 16

CHAPITRE II - Caractéristiques de l'oeil.....	p.17
A. Introduction.....	p.17
B. Acuité visuelle.....	p.18
B.1. Comparaison entre l'oeil et un appareil photographique. p.18	
B.1.a. Principe d'un appareil photographique.....	p.18
B.1.b. Physiologie de l'oeil humain.....	p.18
B.2. Physiologie de la rétine.....	p.20
B.3. Acuité visuelle de l'oeil humain.....	p.20
B.4. Acuité visuelle et optique de l'appareil.....	p.20
C. Sensibilité aux couleurs.....	p.23
D. Sensibilité aux variations temporelles.....	p.26
D.1. Loi de Talbot.....	p.26
D.2. Réponse en fréquence de l'oeil.....	p.26
E. Comportement non-linéaire.....	p.27
F. Conclusion.....	p.30
 CHAPITRE III - Méthode de mesure et réalisation pratique.....	 p.32
A. Introduction.....	p.32
B. Principe de l'appareil.....	p.32
B.1. Mesure de bruit sur l'écran.....	p.32
B.2. Effets des caractéristiques de l'oeil.....	p.33
B.3. Simulation des caractéristiques de l'oeil.....	p.33
B.4. Traitement par micro-ordianteur.....	p.35
B.5. Utilisation d'un niveau gris uniforme.....	p.35
C. Système optique.....	p.35
C.1. Introduction.....	p.35
C.2. Surface de mesure.....	p.37
C.2.a. Evaluation.....	p.37
C.2.b. Réalisation.....	p.37
C.3. Senseur optique.....	p.39
C.3.a. Introduction.....	p.39
C.3.b. Critères de sélection.....	p.41
C.3.c. Différents senseur.....	p.41
C.3.d. Choix.....	p.41

C.4. Réalisation de l'optique.....	p.44
C.4.a. Principe de base.....	p.44
C.4.b. Implémentation.....	p.44
D. Electronique câblé.....	p.47
D.1. Préamplificateur.....	p.47
D.2. Amplificateur à gain variable.....	p.48
D.3. Filtre.....	p.50
D.4. Evaluation globale.....	p.52
D.5. Compensation du zéro.....	p.55
D.6. Conversion analogique-numérique.....	p.57
E. Unité de contrôle.....	p.60
F. Résumé des caractéristiques de chaque section.....	p.62
G. Conclusion.....	p.63
CHAPITRE IV - Tests subjectifs.....	p.64
A. Introduction.....	p.64
B. Enregistrement des tests.....	p.65
B.1. Images utilisées.....	p.65
B.2. Types de bruit utilisés.....	p.65
B.2.a. Bruit blanc.....	p.65
B.2.b. Bruit triangulaire.....	p.68
B.3. Génération du bruit.....	p.68
B.4. Montage pour l'enregistrement.....	p.68
B.5. Séquence de présentation des images.....	p.70
B.6. Test supplémentaire.....	p.73
C. Procédure de test.....	p.73
C.1. Contrôle des paramètre.....	p.73
C.2. Barème d'évaluation.....	p.76
C.3. Déroulement type d'un test subjectif.....	p.76
D. Résultats des tests subjectifs.....	p.76
E. Conclusion.....	p.79

B.2. Ajustement du téléviseur.....	p.137
B.2.a. Brillance et contraste.....	p.137
B.2.b. Largeur de bande.....	p.137
B.2.c. Couleur.....	p.139
B.3. Intensité lumineuse moyenne.....	p.139
B.4. Bruit résiduel.....	p.143
B.5. Téléviseur observé.....	p.143
C. Stabilité de la mesure.....	p.143
D. Conclusion.....	p.146
CONCLUSION.....	p.147
BIBLIOGRAPHIE.....	p.152
Appendice A.....	p.155
Appendice B.....	p.158
Appendice C.....	p.162
Appendice D.....	p.164
Appendice E.....	p.165
Appendice F.....	p.168
Appendice G.....	p.171

LISTE DES FIGURES

Figure

1.1- Principe de base de la télévision.....	p.6
1.2- Balayage de l'écran.....	p.8
1.3- Réponse temporelle typique d'un phosphore.....	p.9
1.4- Exemples de signal vidéo.....	p.9
1.5- Signal vidéo modulé.....	p.11
1.6- Résultats de tests subjectifs.....	p.14
2.1- Comparaison entre l'oeil humain et un appareil photographique..	p.19
2.2- Définition de l'acuité visuelle.....	p.21
2.3- Variation de l'acuité visuelle avec l'intensité lumineuse.....	p.22
2.4- Spectre électromagnétique.....	p.24
2.5- Sensibilité aux couleurs de l'oeil.....	p.25
2.6- Réponse en fréquence de l'oeil.....	p.28
2.7- Variation de la sensibilité avec l'intensité lumineuse.....	p.29
2.8- Modèle de l'oeil utilisé.....	p.31
3.1- Traitement du signal.....	p.34
3.2- Sensibilité au bruit.....	p.36
3.3- Evaluation des dimensions rencontrées.....	p.38
3.4- Effet du positionnement.....	p.40
3.5- Réponse en fréquence de la phot cellule.....	p.43
3.6- Principe de l'optique et masque.....	p.45
3.7- Préamplificateur et amplificateur à gain variable.....	p.49
3.8- Réponse en fréquence de l'oeil et approximation.....	p.51
3.9- Plan électrique du filtre.....	p.53
3.10- Réponse en fréquence du filtre.....	p.54
3.11- Réponse en fréquence du système.....	p.56
3.12- Convertisseur numérique-analogique.....	p.58

3.13-	Convertisseur analogique-numérique.....	p.59
3.14-	Contrôle du gain et décodage.....	p.61
4.1-	Exemples d'images utilisées.....	p.66
4.2-	Montage expérimental pour l'enregistrement.....	p.69
4.3-	Disposition des observateurs.....	p.75
4.4-	Feuille d'évaluation.....	p.77
4.5-	Distribution du jugement (bruit blanc).....	p.80
4.6-	Distribution du jugement (bruit triangulaire).....	p.82
4.7-	Distribution du jugement (test complémentaire).....	p.84
4.8-	Résultats de tests subjectifs (bruit blanc).....	p.85
4.9-	Résultats de tests subjectifs (bruit triangulaire, test 1).....	p.86
4.10-	Résultats de test subjectifs (bruit triangulaire, test 2).....	p.87
4.11-	Réaultats de test subjectifs (bruit triangulaire, test 1 et 2)	p.88
5.1-	Organigramme général.....	p.92
5.2-	Correction du niveau continu.....	p.96
5.3-	Echantillonnage.....	p.99
5.4-	Routine en langage machine.....	p.102
5.5-	Validation des mesures.....	p.103
5.6-	Cas où les drapeaux sont levés.....	p.105
5.7-	Mesures effectuées par l'appareil.....	p.110
5.8-	Comparaison.....	p.112
6.1-	Variation de la mesure avec l'intensité lumineuse moyenne.....	p.114
6.2-	Variation de la sensibilité avec l'intensité lumineuse.....	p.116
6.3-	Principe de la mesure de qualité.....	p.117
6.4-	Calcul de l'intensité moyenne.....	p.119
6.5-	Variation de la sensibilité - Approximation par une droite.....	p.122
6.6-	Montage expérimental.....	p.124
6.7-	Relation entre OM et le rapport signal au bruit.....	p.126
6.8-	Relation entre OM et la qualité de l'image.....	p.127
6.9-	Approximations.....	p.128

7.1- Comparaison tests subjectifs-mesure de l'appareil (bruit blanc)	p.133
7.2- Comparaison pour du bruit triangulaire.....	p.135
7.3- Effet de l'éclairage ambiant.....	p.136
7.4- Effet de la brillance et du contraste.....	p.138
7.5- Effet de la largeur de bande.....	p.140
7.6- Effet de l'ajustement couleur.....	p.141
7.7- Effet de l'intensité lumineuse moyenne.....	p.142
7.8- Effet du bruit résiduel.....	p.144
7.9- Autre téléviseur.....	p.145

LISTE DES TABLEAUX

Tableau

4.1- Séquence de présentation pour les tests subjectifs..... p.71
4.2- Séquence de présentation, test complémentaire..... p.74

INTRODUCTION

Depuis l'introduction de la télévision cette technologie est devenue un moyen privilégié de communication, une fenêtre ouverte sur le monde où tous les événements peuvent nous être présentés. Cette possibilité a considérablement modifié le comportement de la société et continuera à le faire encore longtemps. Derrière l'écran d'un simple téléviseur se cache un effort technique immense qui dure depuis au moins cinquante ans. Ce vaste travail a pour but de sans cesse améliorer la qualité de l'image que nous donne un téléviseur tout en respectant des contraintes technologiques et économiques.

Ces contraintes ont pour effet de dégrader de différentes façons l'image et c'est un jeu de compromis qui détermine dans quelle proportion les différentes dégradations possibles sont présentes. Par exemple on peut augmenter la résolution (finesse des détails) mais en perdant de l'immunité au bruit. Il n'est pas toujours facile de déterminer la meilleure combinaison qui fait que l'image est globalement la plus acceptable. Les personnes qui travaillent sur ce genre de problèmes n'ont actuellement que deux méthodes pour optimiser un système de télévision.

La première consiste à présenter à des personnes une série d'images qui sont plus ou moins dégradées et de leur demander de porter un jugement sur la qualité de ces images. Les cotes allant de excellente à mauvaise sont alors moyennées pour un grand nombre de personnes et on obtient ainsi une idée approximative du jugement moyen que porterait l'ensemble de la population sur cette image (1,2). Ce genre de test est appelé test subjectif car on fait appel à des notions de qualité qui comme on peut s'en douter varient d'un individu à l'autre. De plus ces jugements sont affectés par des paramètres difficiles à contrôler tels le contenu de l'image, l'ordre de présentation, l'état physique et mental de l'observateur, etc..

La seconde méthode consiste à mesurer les caractéristiques du signal électrique en différents endroits dans la chaîne de transmission et d'en déduire la qualité qu'aurait l'image ainsi transmise. On imagine facilement les difficultés rencontrées pour retrouver le jugement que donnerait une personne à partir du signal complexe utilisé pour la télévision et des mesures effectuées sur celui-ci. Différentes méthodes sont utilisées actuellement dont entre autre l'utilisation de filtres mais aucune d'entre elles ne donnent des résultats valides pour tous les systèmes de télévision existants (3).

Ni l'une ni l'autre des deux méthodes décrites auparavant n'est complète. Les tests subjectifs donnent des résultats qui sont globaux et tiennent compte de l'observateur mais les résultats peuvent varier en fonction de plusieurs paramètres. De plus ces tests demandent beaucoup de temps et d'argent afin d'obtenir un nombre suffisant d'échantillons pour avoir des résultats significatifs. Les tests au niveau du signal électrique sont par contre constants mais ne tiennent pas compte de l'ensemble du système et de la réaction du spectateur. Ainsi ces tests peuvent déceler des imperfections qui ne sont pas visibles sur l'écran.

L'idéal serait d'avoir une méthode de test qui permettrait d'obtenir les mêmes résultats que les tests subjectifs mais en beaucoup moins de temps et sans être affectés par les paramètres extérieurs. On voudrait aussi obtenir des résultats aussi précis et stables qu'avec les tests électriques.

Afin d'atteindre ces objectifs, un système de mesure basé sur un capteur optique qui simule l'oeil humain et un micro-ordinateur qui effectue le traitement du signal a été mis au point. Une mesure de la qualité de l'image est alors donnée tout comme le fait le spectateur moyen. Cet appareil devient alors un outil précieux de travail pour la mise au point et la vérification des systèmes de télévision.

Le but de ce projet a donc été de réaliser un prototype d'appareil basé sur ce principe afin de combler ce besoin. Ce n'est que depuis quelques années que la réalisation d'un tel appareil est rendue possible grâce à l'avancement des circuits intégrés à haute densité. Avec cette technologie maintenant disponible, le temps de développement, le coût et les dimensions ont été considérablement réduits.

Pour mettre au point cet appareil, il a fallu tout d'abord étudier les caractéristiques de l'œil humain et des systèmes de télévision afin de connaître les facteurs importants dont on devait tenir compte. Puis avec l'information disponible la partie d'acquisition de données a été construite. Afin d'obtenir des résultats semblables aux tests subjectifs on a comparé les mesures de l'appareil avec des résultats de tests subjectifs et par programmation on a simulé ces résultats sur l'appareil. Ainsi les mesures effectuées par l'appareil correspondent aux résultats de tests subjectifs. Finalement on a vérifié l'effet des paramètres extérieurs sur la mesure afin d'obtenir des résultats valides en tout temps.

CHAPITRE I

Transmission de l'image et évaluation de sa qualité

A. Introduction

Le principe de base de la télévision est de reproduire à distance une scène et d'être ainsi une extension de nos yeux. Le mot distance implique une forme ou une autre de transmission et tous les systèmes actuels utilisent une transmission sous forme séquentielle. Etant donné les contraintes physiques tel que puissance des émetteurs, largeur de bande des canaux de transmission, coût des équipements, compatibilité avec les systèmes existants, etc., la méthode de transmission doit être adaptée aux ressources disponibles. Cette adaptation n'est cependant pas parfaite et le résultat de cette imperfection est une diminution de qualité de l'image. Dans ce chapitre on voit comment interagissent les différents paramètres sur lesquels nous avons un certain contrôle et comment on mesure habituellement la qualité de l'image.

B. Principe de fonctionnement d'un système de télévision

B.1. Critères à rencontrer

Tout système de télévision doit rencontrer certains critères pour transmettre une image qui soit agréable à regarder (4). La netteté de l'image, la résolution des détails doit être suffisante sinon l'oeil cherchera continuellement à s'adapter et une fatigue apparaîtra rapidement. Le contraste entre une zone claire et une zone sombre doit être suffisamment élevé. Les mouvements des objets se trouvant sur l'image doivent apparaître continus même si on transmet un nombre fini d'images fixes. Une cadence de 16 images par seconde est suffisante pour assurer la continuité mais une fréquence plus élevée est nécessaire si on veut faire disparaître la scintillation (flicker); la fréquence minimum est alors de 50 images par secondes. Finalement les couleurs doivent être transmises avec une bonne fidélité.

B.2. Principe de fonctionnement

B.2.a. Caméra

La très grande majorité des systèmes de télévision fonctionne selon le principe suivant (fig. 1.1). Tout d'abord pour capter la scène à transmettre on utilise une caméra. Par un jeu de lentilles on projette l'image de la scène sur une surface photosensible et par un balayage vertical et horizontal d'un faisceau d'électrons, on va analyser chaque point de l'image. Après divers traitements, la sortie de la caméra est un signal électrique dont l'amplitude est proportionnelle à l'intensité lumineuse de chaque point de la scène observée.

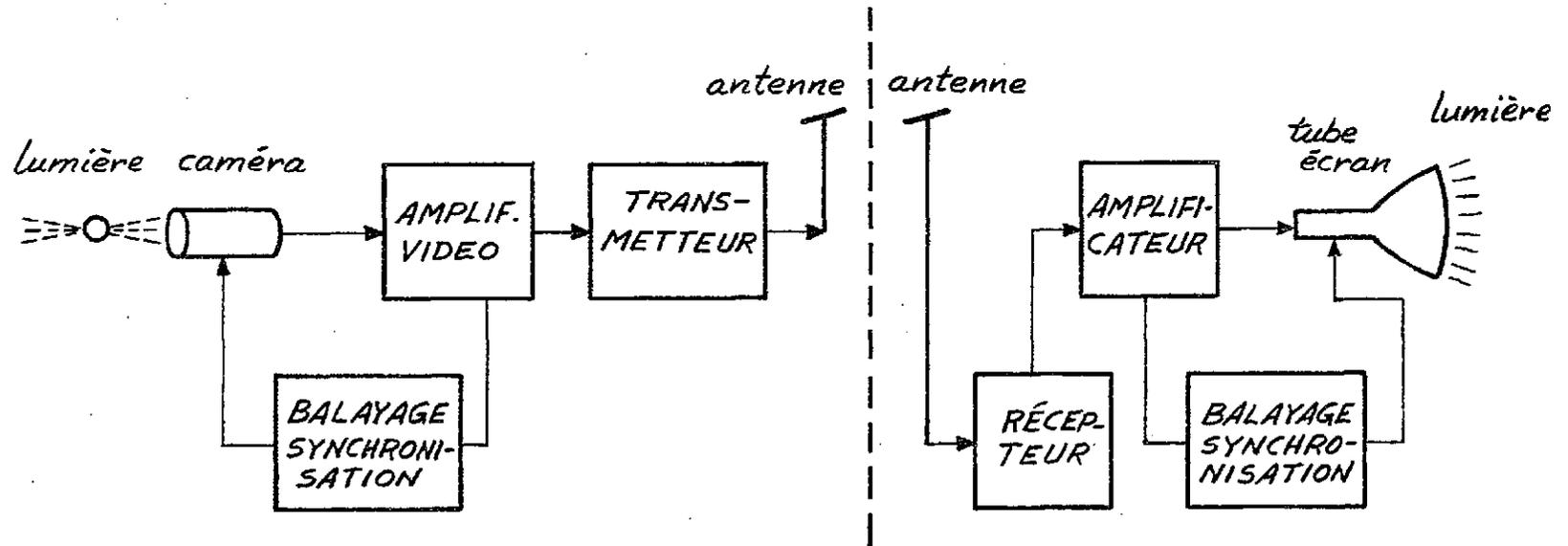


Fig. 1. 1- Principe de base de la télévision

B.2.b. Téléviseur

A la réception, on utilise le procédé inverse pour reconstituer l'image initiale. Un faisceau d'électron vient balayer verticalement et horizontalement une surface électroluminescente (fig. 1.2). Un balayage entrelacé est utilisé pour éviter l'apparition de scintillations tout en minimisant la bande passante nécessaire. Comme on envoie 30 images par secondes et que le balayage entrelacé divise l'image en deux sections, on obtient un taux de répétition de 60 Hz ce qui élimine les problèmes de scintillations.

Chaque image compte 525 lignes horizontales, donc 30x525 lignes par secondes soit 15750 Hz. L'intensité lumineuse de la surface étant proportionnelle au nombre d'électrons venant la frapper, il suffit alors de moduler le courant d'électrons pour reconstituer la scène originale. La surface électroluminescente est constituée habituellement d'une couche de phosphore. Celui-ci lorsque excité par le faisceau d'électrons émet de la lumière selon la réponse illustrée à la figure 1.3. On note une réponse initiale rapide suivie d'une décroissance exponentielle. Cette forme d'onde répétée 60 fois par seconde et les propriétés de moyennage de l'oeil font que la lumière résultante semble continue.

Pour la télévision noir et blanc, le phosphore utilisé émet une lumière blanche. Pour la télévision couleur, on utilise trois phosphores différents qui émettent respectivement du rouge, vert et bleu. Chaque couleur est contrôlée par un faisceau d'électrons distinct. En jouant sur les proportions de lumière de chaque phosphore, il est possible de reconstituer la majorité des couleurs et des teintes qu'on peut trouver.

B.2.c. Transmission

Pour transmettre de la caméra à un téléviseur on utilise le plus souvent une modulation à hautes fréquences sur des fréquences réservées à cette fin. Pour synchroniser les balayages verticaux et horizontaux de la caméra et du téléviseur, des signaux de synchronisation doivent être

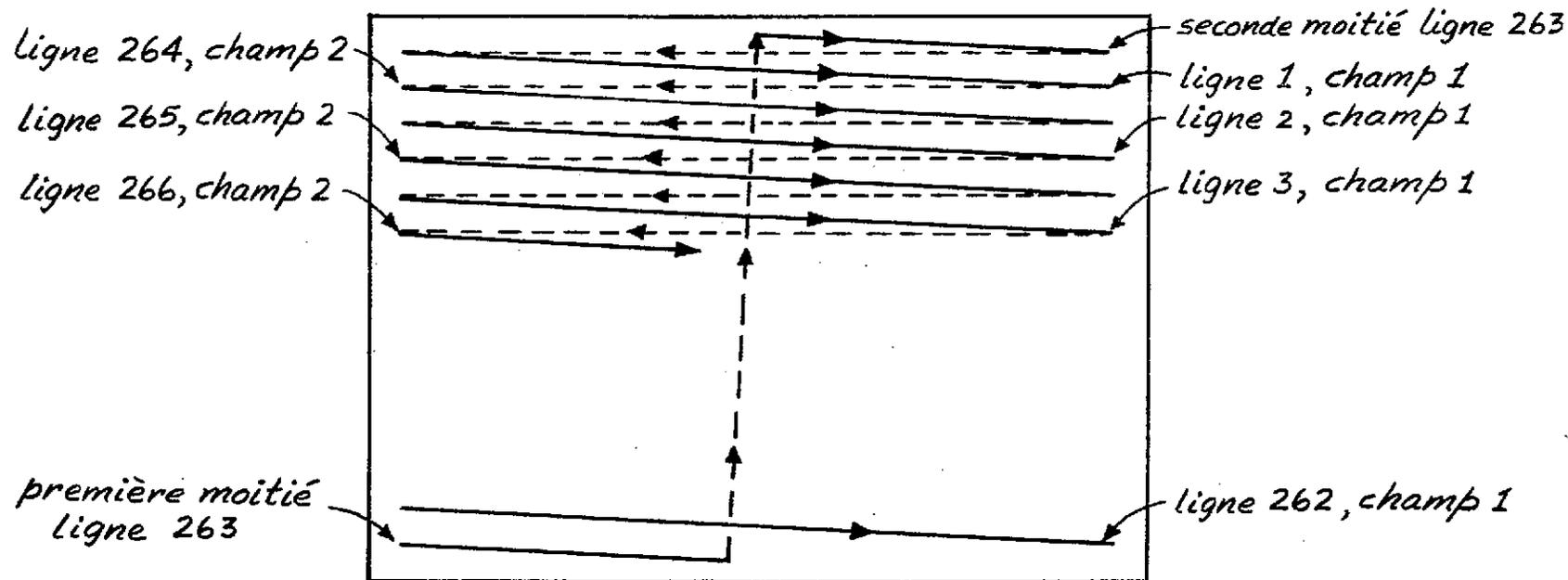


Fig. 1.2- Balayage de l'écran

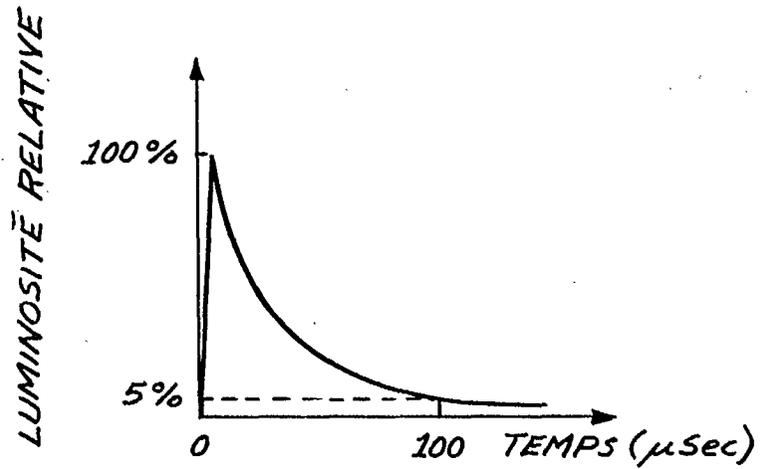


Fig. 1.3- Réponse temporelle typique d'un phosphore

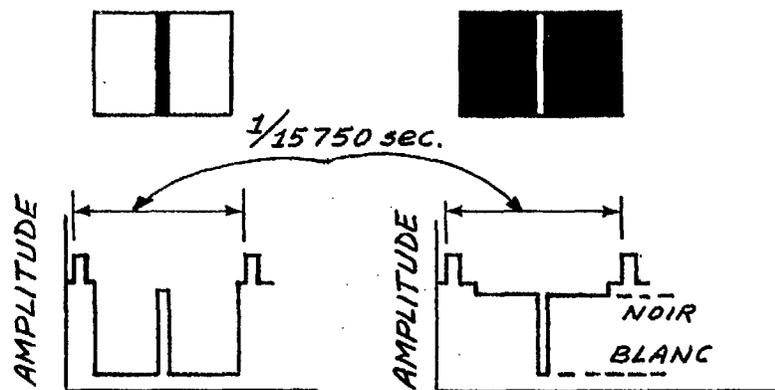


Fig. 1.4- Exemples de signal vidéo

ajoutés au signal de base. Un exemple du signal résultant est donné à la figure 1.4. Les systèmes de télévision couleurs, étant apparus après les systèmes en noir et blanc, ont dû assurer la compatibilité avec les systèmes existants. Ainsi dans le système NTSC, l'information couleur est ajoutée au signal de base en modulant une sous-porteuse de 3.58 MHz. On donne à la figure 1.5 la disposition des différents signaux une fois modulés. La largeur de bande globale est de 6 MHz.

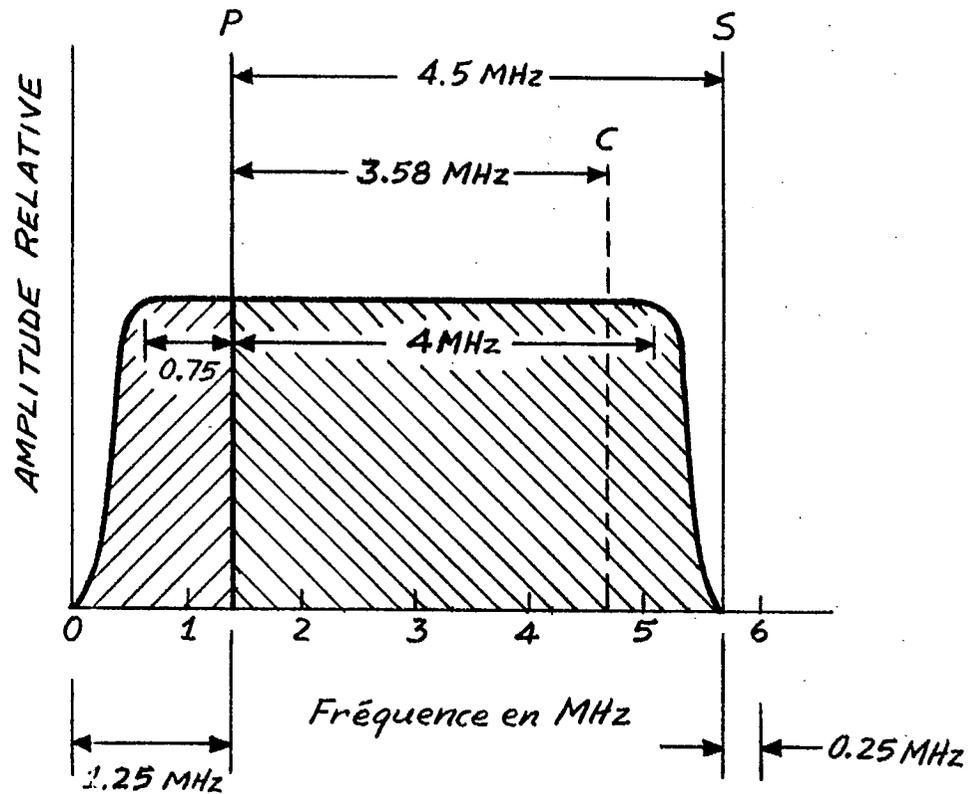
B.2.d. Références

La description détaillée d'un système de télévision dépasse largement le but de cette section. On se réfèrera plutôt à des livres consacrés à ce sujet (4,5). La brève description donnée ici n'est là que pour donner une vue d'ensemble.

C. Contraintes

C.1. Puissance de l'émetteur

Des contraintes physiques et des réglementations (6) doivent être respectées par tout système de télévision. Ces contraintes font que lorsqu'on n'opère pas avec des conditions et des composantes idéales, une certaine dégradation de l'image transmise en résulte. Par exemple, un émetteur ne peut avoir une puissance de transmission dépassant une certaine valeur, premièrement parce que les composantes ne peuvent faire mieux et deuxièmement pour éviter les interférences avec d'autres émetteurs. Ce qui signifie que le rapport signal au bruit à une distance donnée de l'émetteur est limité, que l'immunité au bruit est donc limitée, d'où une qualité limitée.



P : porteuse
C : sous-porteuse couleur
S : sous-porteuse son

Fig. 1.5- Signal vidéo modulé

C.2. Largeur de bande

Une autre limitation fondamentale est la largeur de bande du signal. Etant donné que le spectre électromagnétique est une "ressource naturelle" limitée, celui-ci doit être distribué avec soin pour répondre aux nombreux besoins. Comme la télévision n'est qu'un des services utilisant le spectre, une largeur de bande finie est allouée à chaque canal de télévision. Cette limitation impose donc que toute l'information soit transmise dans cette bande et pour ce faire on a dû limiter la finesse des détails qui peuvent être transmis. Du côté de la réception, le tube écran est un des éléments qui limite le plus la finesse des détails. Le tout fait que la netteté des détails pour une image de télévision est limitée et affecte la qualité de cette image.

C.3. Autres contraintes

Lors de l'introduction de la télévision couleur, il a fallu s'assurer la compatibilité avec les téléviseurs existants. Cette contrainte a forcé les ingénieurs à trouver des méthodes qui, bien que non-optimum, soient satisfaisantes. La conséquence de ceci est que dans des conditions non-idéales, une dégradation plus importante de l'image en résulte. Le facteur coût a également son importance, principalement au niveau du téléviseur car celui-ci se retrouve en millions d'exemplaires. Les performances d'un téléviseur peuvent être augmentées en utilisant des circuits plus performants mais une augmentation du coût en résulte. Aussi se retrouve-t-on avec des téléviseurs plus sensibles aux dégradations qu'en théorie.

C.4. Choix de la mesure du bruit

Toutes ces limitations et bien d'autres ont pour effet d'augmenter la dégradation de l'image lorsqu'on se trouve dans des conditions non-idéales de transmission. Les différentes dégradations que l'on retrouve sont nombreuses mais les principales sont les interférences, le bruit, les images fantômes, la netteté des détails et les défauts liés à la couleur.

Parmi ces différentes dégradations, celle que l'on retrouve le plus souvent est la dégradation par le bruit. Etant donné ce fait, il a été décidé de concentrer le travail sur la mise au point de la mesure du bruit et de son effet sur la qualité de l'image.

D. Evaluation de la dégradation par le bruit

D.1. Intérêt de la mesure de la qualité

Dans la plupart des systèmes de communication, le rapport signal au bruit influence les performances du système. Par exemple dans un système de communication digital, le rapport signal au bruit affecte la probabilité d'erreur de la communication. En télévision, le rapport signal au bruit affecte la quantité de neige présente dans l'image, d'où une influence sur la qualité de cette image. Pour un télédiffuseur, il est important de connaître la relation entre le rapport signal au bruit et la qualité de façon à connaître la puissance d'émetteur qu'il lui faut utiliser pour couvrir une zone donnée avec une image acceptable.

D.2. Tests subjectifs

Pour connaître la relation entre le rapport signal au bruit et la qualité, on effectue ce qui est appelé des tests subjectifs. Cela consiste à présenter à un groupe de personnes une série d'images dégradées à différents niveaux par du bruit et de leur demander de juger ces images selon un barème prédéterminé. Le barème le plus souvent utilisé est du type image excellente, bonne, acceptable, passable, mauvaise. En donnant une valeur numérique de 5 pour une image excellente, 4 pour bonne, etc. et en moyennant pour une image les différents jugements portés sur celle-ci, on obtient une valeur numérique qui est proportionnelle à la qualité subjective de l'image de télévision présentée. La figure 1.6 donne un exemple de relation qualité - rapport signal au bruit obtenu par tests subjectifs. On voit que pour des rapports signal au bruit élevés que l'image est très bonne mais lorsque le bruit augmente, la qualité diminue.

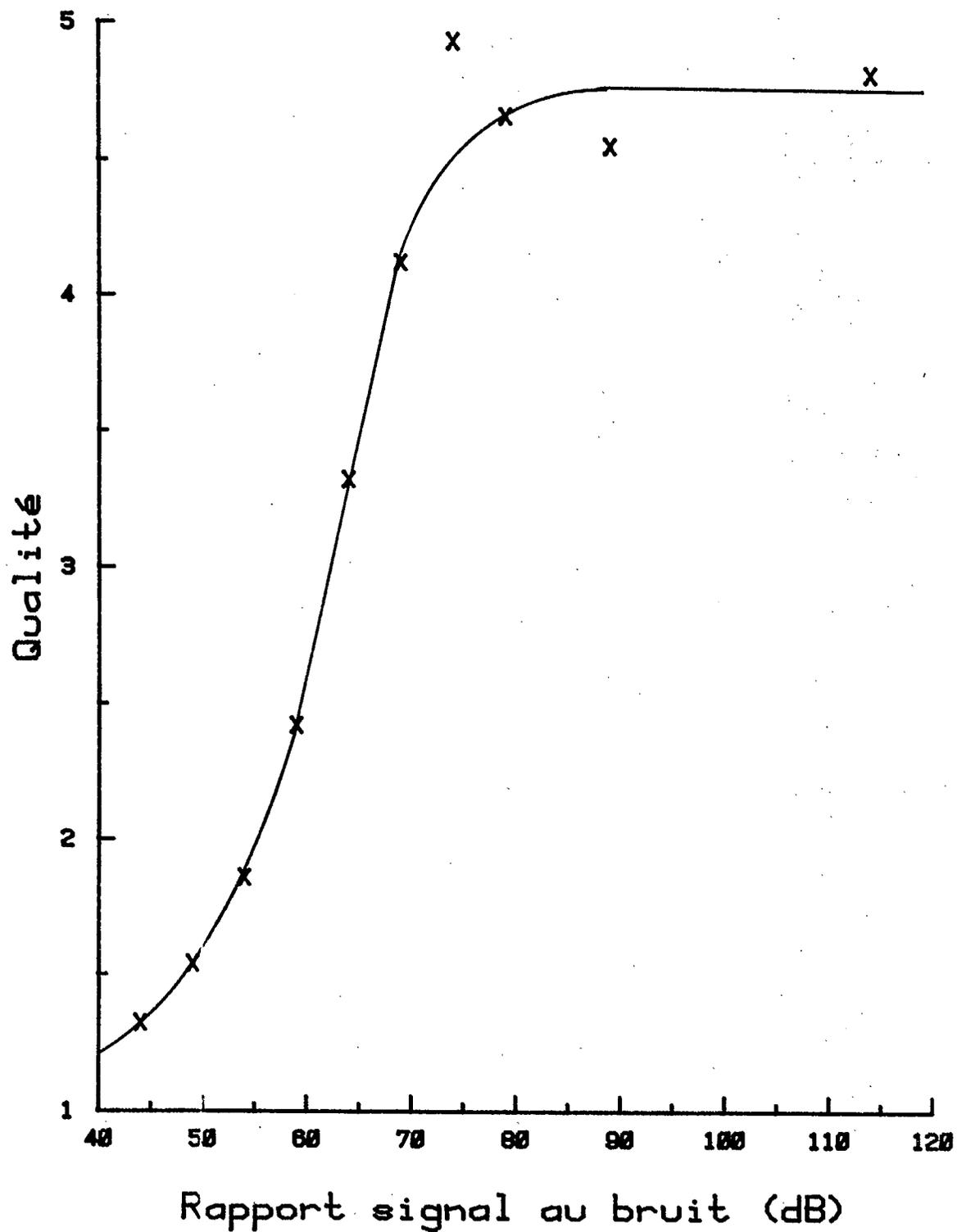


Fig. 1.6- Résultats de tests subjectifs

D.3. Limitations des test subjectifs

Une fois cette relation connue, il suffit de mesurer par des moyens conventionnels le rapport signal au bruit pour connaître la qualité qu'aurait l'image si un téléviseur était utilisé. Cette méthode a cependant des limitations. En effet la relation dépend de nombreux paramètres tel la fréquence de transmission, le type de bruit présent, la qualité des circuits du téléviseur utilisé, etc. On voit que le nombre de relation qualité - rapport signal au bruit à connaître pour couvrir tous ces cas est important. Si on s'intéresse aux nouveaux moyens de transmission tels la retransmission directe par satellite, de nouveaux tests subjectifs sont nécessaires pour tenir compte des nouvelles fréquences de transmission, de la modulation MF, des conditions météorologiques, etc..

Comme les tests subjectifs demandent beaucoup de temps et la réunion de plusieurs personnes, on cherche à en minimiser le nombre. Pour quelqu'un qui cherche à mettre au point de nouveaux circuits ou de nouveaux modes de transmission, cette limitation est peu désirable. De plus, lorsqu'on désire comparer deux systèmes de télévision, il faut s'assurer que les conditions expérimentales soient identiques, ce qui n'est toujours facile à réaliser.

D.4. Principe de l'appareil

Pour tenter de trouver une solution à ces difficultés, on a mis au point un appareil que l'on place devant le tube écran du téléviseur. L'appareil analyse l'image dégradée par du bruit pour donner une mesure de sa qualité qui soit identique à celle qu'aurait donné un test subjectif. Pour ce faire on simule le mieux possible les principales caractéristiques de l'oeil et on cherche à utiliser le même processus d'évaluation de la qualité qu'un observateur moyen. Un tel appareil permet une mesure très rapide de la qualité d'une image quelque soit la façon dont celle-ci est générée ou transmise.

E. Conclusion

Le principe de base de tout système de télévision consiste en une caméra qui analyse point par point la scène à transmettre, une transmission à distance de l'information ainsi obtenue par ondes radio ou autres moyens et un téléviseur qui décode les signaux reçus et reconstitue l'image par un moyen quelconque, habituellement par balayage électronique d'une surface électroluminescente. Les contraintes physiques imposées à tout système de télévision font que l'image du téléviseur est dégradée de différentes façons. Celle qui est le plus souvent rencontrée est la dégradation par le bruit et c'est celle-ci que l'appareil mesure. Conventionnellement elle est mesurée par des tests subjectifs. L'appareil a pour tâches d'obtenir les mêmes résultats que ceux-ci et ce en simulant les principales caractéristiques de l'oeil humain.

CHAPITRE II

Caractéristiques de l'oeil

A. Introduction

L'objectif fixé étant d'approximer le mieux possible le jugement porté par une personne sur la qualité d'une image, il semble que la meilleure méthode d'atteindre cet objectif est d'analyser tout d'abord le processus qui amène ce jugement. Une fois ce processus identifié, il est possible de l'implémenter par des moyens optiques et électroniques. Ainsi en créant un observateur artificiel qui possède les mêmes caractéristiques de base qu'un observateur humain, on espère pouvoir obtenir des mesures de qualité effectuées par l'appareil qui sont semblables à celles de l'observateur humain. C'est dans cette optique qu'au cours de ce chapitre on analyse l'oeil humain et le processus de jugement.

Sachant que le type de dégradation d'image que l'on considère est du type bruit aléatoire, on peut concentrer la simulation sur les caractéristiques qui affectent particulièrement ce point. La perception du bruit dans l'image comme on l'explique davantage plus loin peut être liée à quatre caractéristiques principales de l'oeil. Ces caractéristiques principales sont l'acuité visuelle, la sensibilité aux couleurs, la sensibilité aux variations temporelles et la non-linéarité.

B. Acuité visuelle

B.1. Comparaison entre l'oeil humain et un appareil photographique

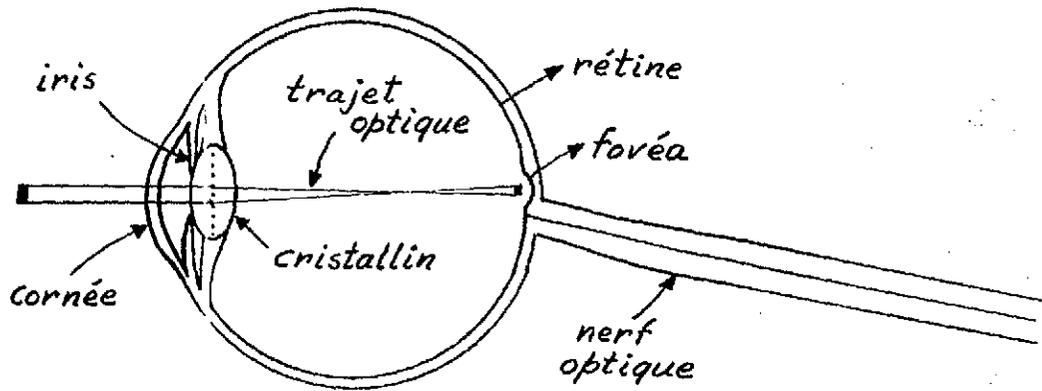
Pour comprendre le fonctionnement de l'oeil on peut faire la comparaison bien connue entre l'oeil et un appareil photographique (fig. 2.1).

B.1.a. Principe d'un appareil photographique

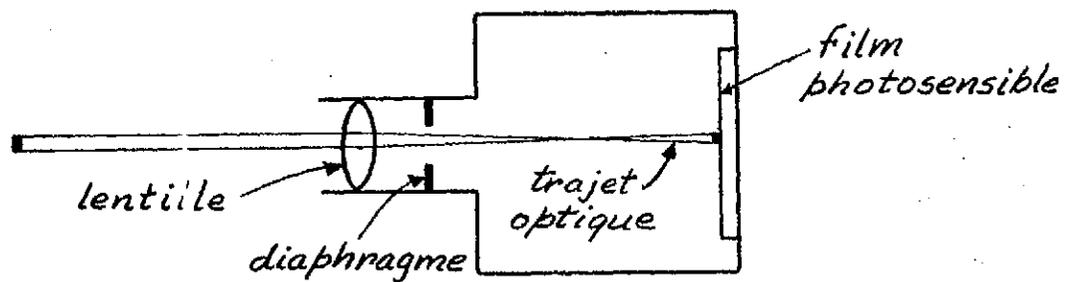
Pour un appareil photographique, la lumière provenant de l'objet observé passe par une lentille et est focalisée sur la pellicule photosensible. L'intensité lumineuse est ajustée par un diaphragme à ouverture variable de façon à ce que la quantité de lumière frappant la pellicule soit toujours optimale quelque soit l'intensité lumineuse de l'objet. Cependant ce jeu du diaphragme a pour effet de modifier la profondeur de champ, phénomène exploité par les photographes.

B.1.b. Physiologie de l'oeil humain

L'oeil a approximativement la même structure (7). La lumière de l'objet traverse le cristallin qui tient lieu de lentille et va frapper la rétine où se trouve les cellules photosensibles. Ces cellules transforment la lumière qui les touchent en une série d'impulsions électriques qui sont acheminées au cerveau par le nerf optique. Contrairement à l'appareil photographique, l'ajustement en intensité est assuré avant la lentille par l'iris. Celui-ci s'ouvre lorsque l'objet est de faible luminosité pour laisser passer davantage de lumière et se referme lorsque la luminosité est plus forte. On observe encore ici le phénomène de profondeur de champ.



a) Oeil humain.



b) Appareil photographique.

Fig. 2.1- Comparaison entre l'oeil humain et un appareil photographique

B.2. Physiologie de la rétine

Comme on l'a dit plus tôt, l'image qui se forme sur la rétine est analysée par des cellules photosensibles. Il en existe deux types qui ont des fonctions quelques peu différentes. Le premier type de cellules est appelé cône et ces cellules sont responsables de la vision en couleur. Elles sont concentrées dans une zone appelée fovéa sur laquelle l'oeil cherche naturellement à centrer la scène observée. Par contre ces cellules sont moins sensibles à la lumière que le sont le second type de cellule appelé bâtonnet. Ces cellules sont responsables de la vision nocturne alors que les cônes ne produisent qu'un faible signal. Cependant les bâtonnets ne distinguent pas les couleurs d'où une vision noir et blanc pour de faibles intensités lumineuses.

B.3. Acuité visuelle de l'oeil

Même en se situant au fovéa où les cellules sont les plus denses, dû aux dimensions finies des cellules, l'oeil ne peut discerner deux objets rapprochés qui forment un angle inférieur à une certaine limite (fig. 2.2) (8). On définit l'acuité visuelle comme étant cet angle limite. Cet angle varie en fonction de l'intensité lumineuse moyenne de la scène observée dû aux variations de profondeur de champ causé par l'iris et aussi de la variation de sensibilité des cellules de la rétine (fig. 2.3). Pour une intensité lumineuse correspondant aux intensités normales rencontrées durant une journée et pour celles que l'on rencontre en télévision, on peut approximer l'acuité visuelle comme étant une minute d'arc.

B.4. Acuité visuelle et optique de l'appareil

L'acuité visuelle est importante pour notre modèle de l'oeil humain. En faisant l'hypothèse que l'on possède un système optique qui permette d'avoir une "acuité visuelle" variable, on observe l'effet de celle-ci sur les mesures. Si l'acuité de l'optique est inférieure à celle de l'oeil, la mesure ne tient pas compte des petites variations spatiales d'intensité



Fig. 2.2- Définition de l'acuité visuelle

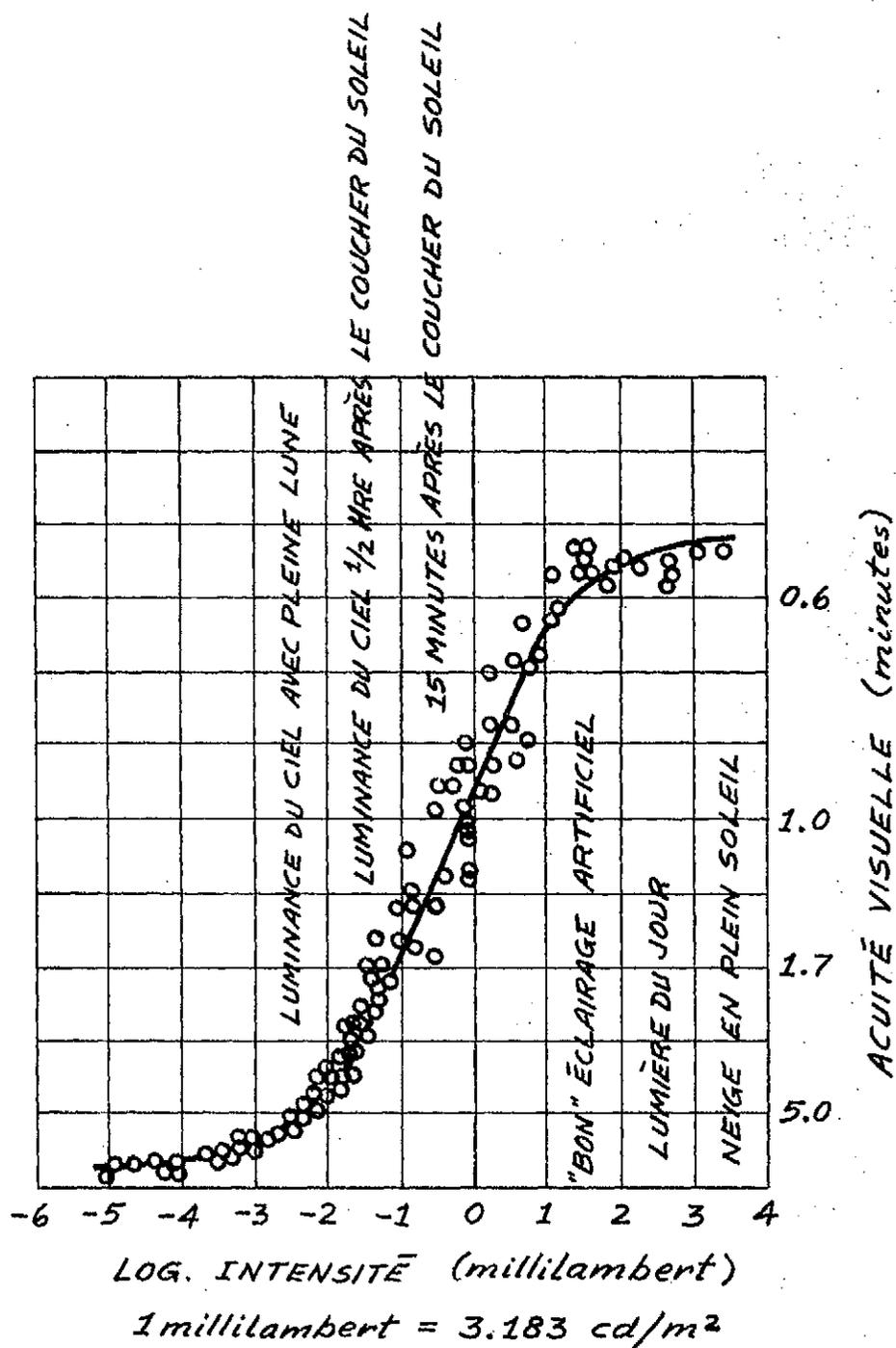


Fig. 2.3- Variation de l'acuité visuelle en fonction de l'intensité lumineuse moyenne

lumineuse sur l'écran. L'optique devient alors une sorte d'intégrateur spatial et la mesure de l'appareil indiquerait une image meilleure que celle jugée par une personne. Par contre si l'acuité de l'optique augmente, l'appareil peut alors discerner des variations que l'oeil ne peut voir et la mesure de l'appareil est alors plus défavorable que celle d'un observateur.

L'idéal est donc d'avoir une acuité visuelle pour l'optique qui soit la même que l'oeil. Un système optique qui a cette caractéristique est décrit plus loin. En faisant l'hypothèse que le bruit est uniformément distribué sur l'écran, il n'est pas nécessaire d'observer l'ensemble de l'écran mais bien une seule section suffit pour avoir une idée de l'ensemble. On utilise cette propriété dans la réalisation pratique pour simuler l'acuité visuelle de l'oeil.

C. Sensibilité aux couleurs

Comme on l'a vu auparavant, les cellules de type cône sont responsables de la vision en couleur. Mais cette sensibilité aux couleurs n'est pas égale pour tout le spectre. Comme on le sait, la lumière que perçoit l'oeil n'est qu'une fraction du spectre électromagnétique (fig. 2.4). De nombreuses études ont été effectuées afin de déterminer la sensibilité de l'oeil en fonction de la longueur d'onde et depuis plusieurs années le CIE (Comité international d'éclairage) a adopté une courbe appelée de l'observateur standard (9). Cette courbe montre la sensation d'intensité lumineuse relative par rapport au maximum d'une source lumineuse monochromatique variant en fréquence (fig. 2.5). On constate que le maximum est pour la longueur d'onde correspondant au vert et que la sensibilité décroît de part et d'autre en allant vers le rouge et vers le bleu.

Le seul moyen de répondre à ces exigences est de choisir un senseur optique ayant une réponse spectrale le plus près possible de l'oeil. La contribution de chaque couleur conserve ainsi son importance relative et on s'assure aussi que d'autres radiations comme l'infra-rouge ne viennent

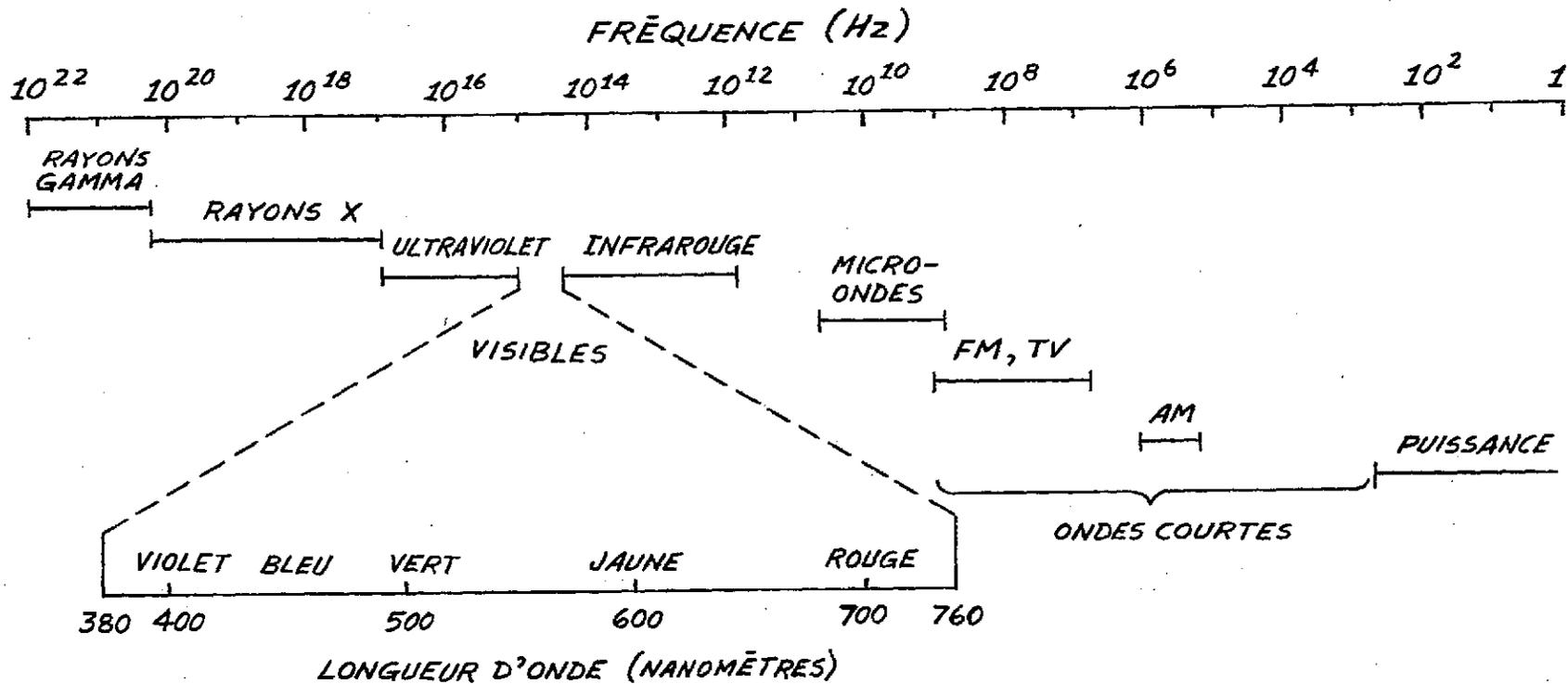


Fig. 2.4- Spectre électromagnétique

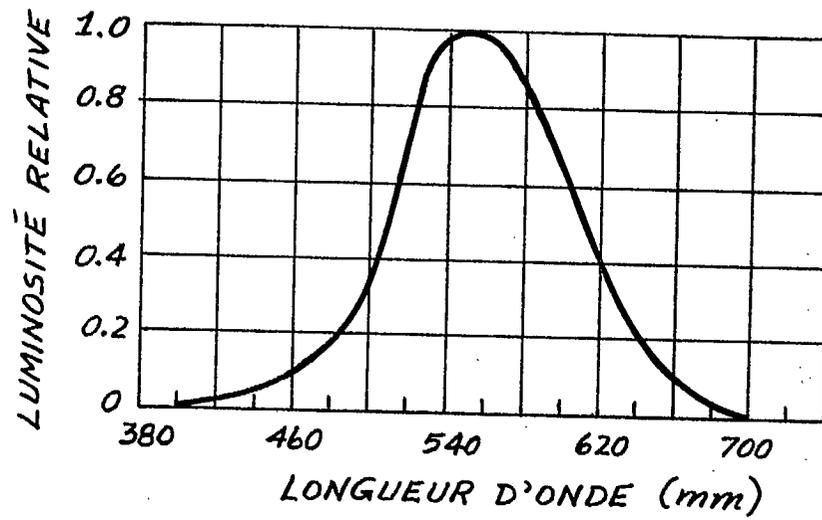


Fig. 2.5- Sensibilité aux couleurs

perturber les mesures. Ce point est important si le senseur choisi est du type à semiconducteur car ceux-ci ont leur maximum de sensibilité dans l'infra-rouge.

D. Sensibilité aux variations temporelles

Il suffit de faire quelques simples expériences pour constater que l'oeil ne peut détecter des variations temporelles de lumière trop rapides. Comme le bruit visible sur l'image en un point peut être décrit comme étant une variation temporelle d'intensité lumineuse, cette sensibilité est un des points les plus importants pour le modèle de l'oeil.

D.1. Loi de Talbot

Si on présente à une personne une source lumineuse modulée en intensité et qu'on augmente la fréquence de modulation progressivement, on atteint une certaine fréquence seuil où l'observateur ne détecte plus la modulation. L'intensité lumineuse apparente est alors la moyenne temporelle de l'intensité lumineuse de la source. Cette propriété est appelée loi de Talbot et a été vérifiée de nombreuses fois expérimentalement (10). Pour prouver cette loi on présente à un observateur simultanément une source lumineuse continue et une source modulée dont la valeur moyenne est la même que la source continue. Tous les résultats expérimentaux donnent que les deux sources lumineuses apparaissent comme ayant la même intensité. La section de l'oeil qui effectue le moyennage temporel est donc linéaire.

D.2. Réponse en fréquence de l'oeil

Si on fixe la fréquence de modulation et qu'on ajuste l'amplitude de celle-ci à la limite de non-détection, on obtient la sensibilité de l'oeil pour cette fréquence. En mesurant ainsi l'amplitude limite pour différentes fréquences, on trouve en quelque sorte la réponse en fréquence de l'oeil. Cette mesure a été effectuée par DeLange (11,12) et Kelly (13) entre autres et les résultats qu'ils obtiennent sont données à la figure 2.6.

On remarque immédiatement que la réponse en fréquence de l'oeil varie en fonction de l'intensité lumineuse moyenne pour les basses fréquences. Ce phénomène est entre autres dû à l'adaptation partielle de l'oeil par un passage progressif d'une vision par les cellules cônes (hautes intensités) à une vision par les cellules bâtonnets (faibles intensités). Si le processus visuel était entièrement linéaire, ce phénomène ne serait pas observé. On peut cependant faire une approximation et utiliser un modèle consistant en un filtre linéaire suivi d'un processus non-linéaire. Le filtre linéaire a un maximum de sensibilité près de 13 Hz et une atténuation rapide au-delà de cette fréquence.

E. Comportement non-linéaire

Comme on a vu dans la partie précédente à la figure 2.6, l'allure du filtre conceptuel de l'oeil se modifie en fonction de l'intensité lumineuse moyenne. Si le système était entièrement linéaire ce phénomène ne serait pas observé. Si la relation entre l'intensité moyenne et la modulation d'intensité nécessaire à la perception (au maximum de sensibilité) est tracée la courbe de la figure 2.7 est obtenue. On note que plus l'intensité lumineuse est grande, plus l'amplitude de la variation doit être grande pour quelle soit détectée. Cette courbe est utilisée dans les calculs de l'ordinateur. Pour les mesures qu'effectuent l'appareil, cette non-linéarité est la seule qui soit importante et qui affecte les calculs.

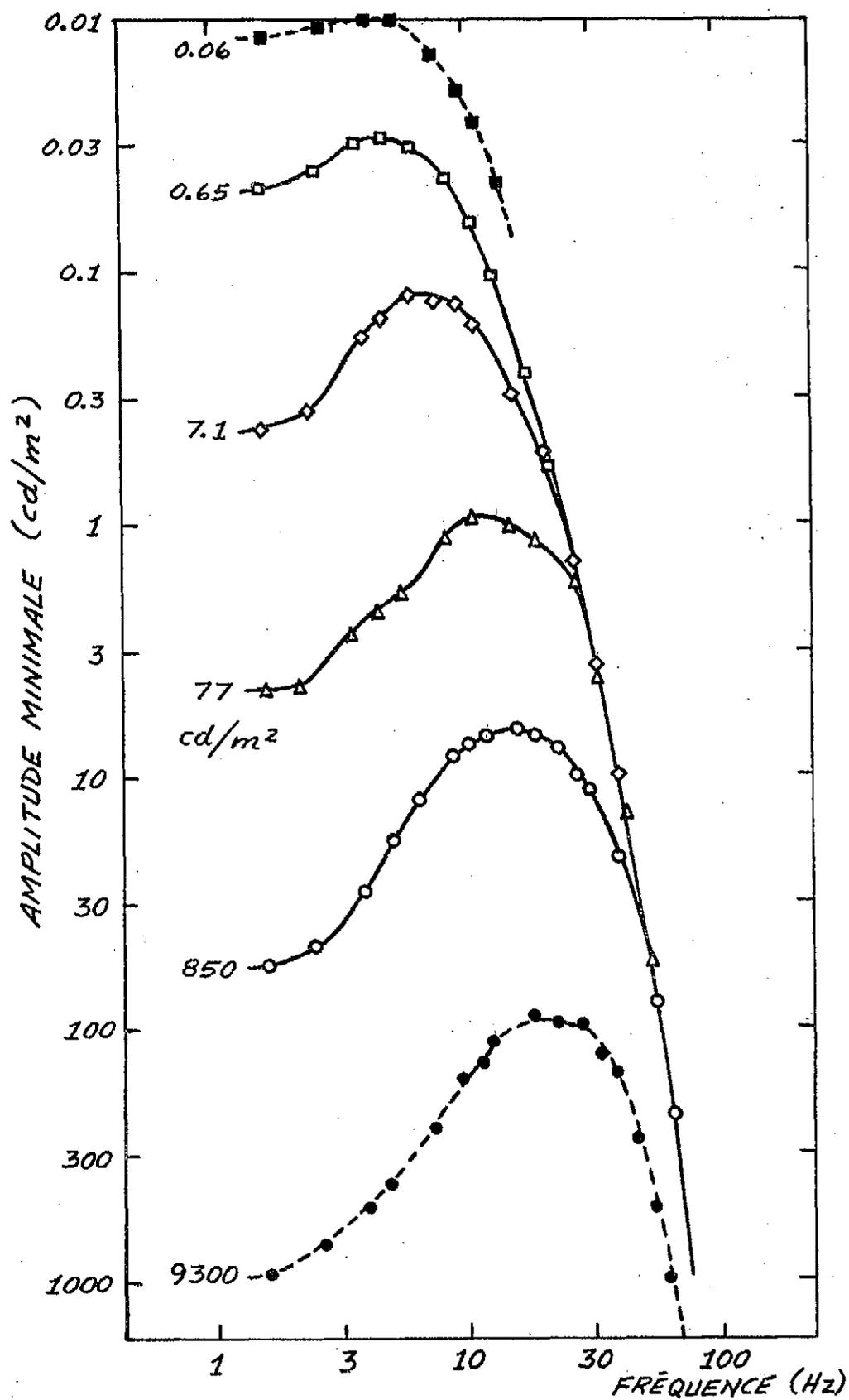


Fig. 2.6- Réponse en fréquence de l'oeil en fonction de l'intensité lumineuse moyenne

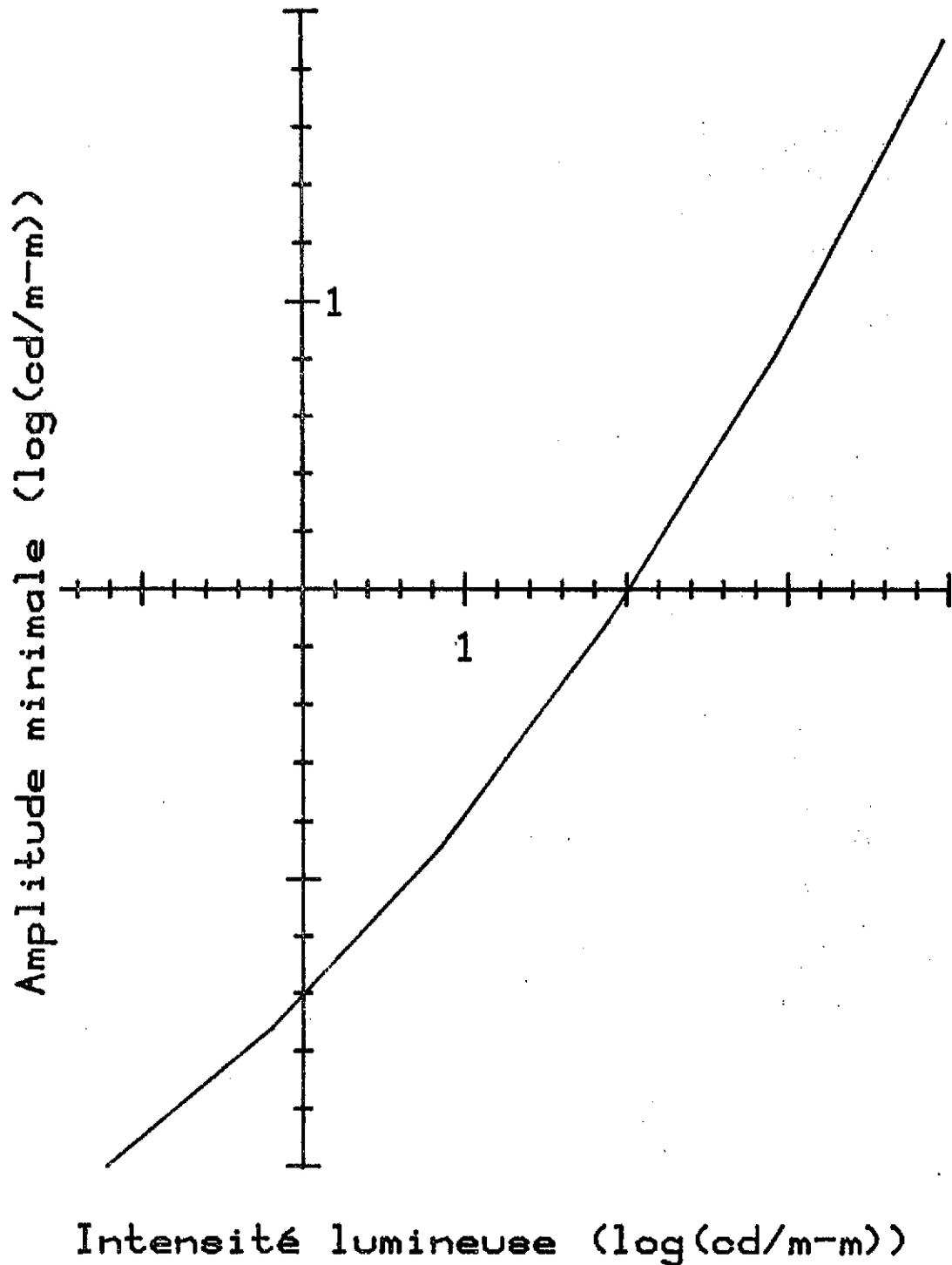


Fig. 2.7- Variation de la sensibilité avec l'intensité lumineuse

F. Conclusion

En examinant les caractéristiques de l'oeil et en retenant celles qui sont importantes pour les mesures qu'effectuent l'appareil, on espère être capable d'obtenir des mesures de qualité semblables à celles données par un spectateur. En résumé, les caractéristiques de l'appareil qui seront semblables à l'oeil sont:

- acuité visuelle : approximativement 1 minute d'arc
- sensibilité aux couleurs : entre 400 et 700 nm de longueur d'onde
- réponse temporelle : selon les courbes de la figure 2.6
- non-linéarité : selon la courbe de sensibilité de la figure 2.7

La figure 2.8 donne une vue d'ensemble du modèle qui vient d'être étudié.

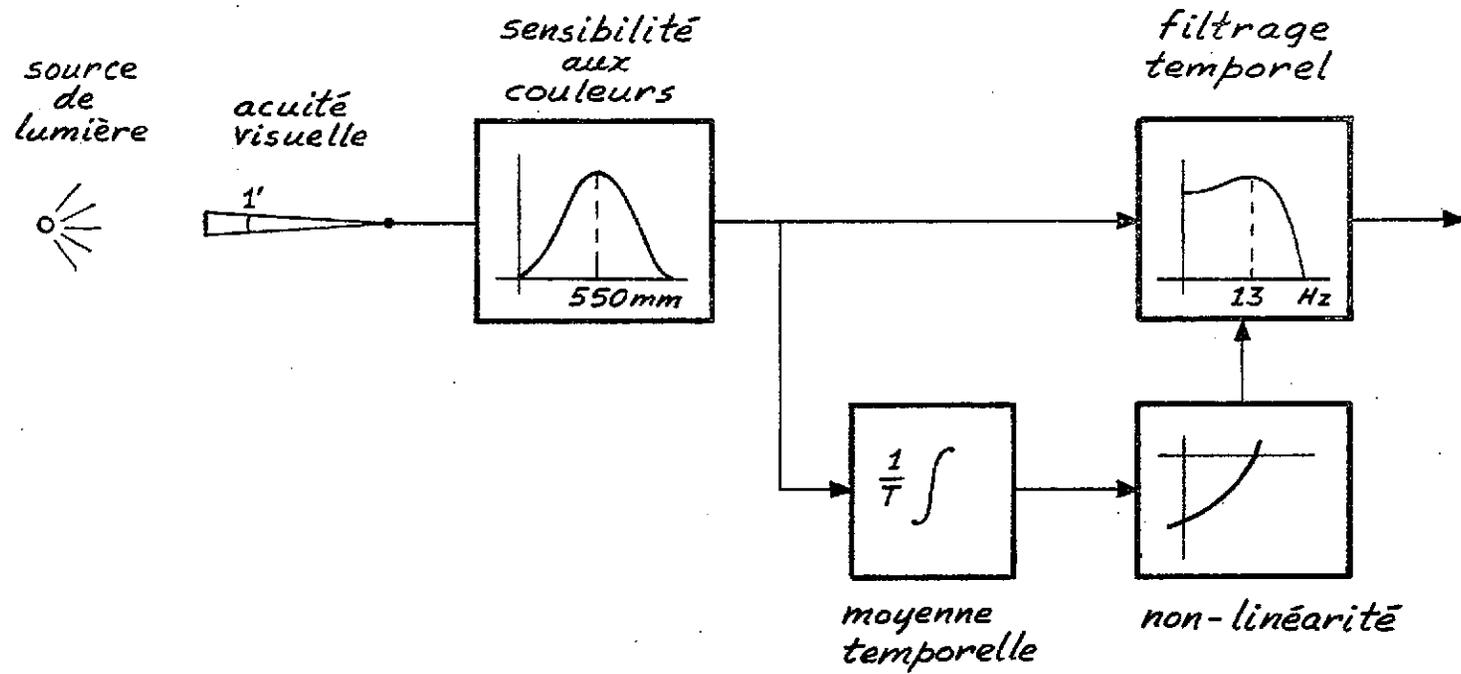


Fig. 2.8- Modèle de l'oeil utilisé

CHAPITRE III

Méthode de mesure et réalisation pratique

A. Introduction

On a jusqu'à maintenant décrit les principales caractéristiques du système de télévision et de l'oeil humain. Ces caractéristiques vont maintenant être utilisées pour mettre au point l'appareil de façon à ce qu'il puisse effectuer des mesures de qualité comme un observateur humain.

On commence par décrire le principe général de l'appareil puis on analyse chacune de ses parties. La partie optique est la première étudiée de même que le senseur optique. Les amplificateurs et le filtre sont ensuite abordés, suivis de la conversion analogique-numérique. On décrit enfin l'unité de contrôle et les programmes nécessaires à son fonctionnement.

B. Principe de l'appareil

B.1. Mesures de bruit sur l'écran

Parmi les différentes dégradations possibles que peut avoir une image de télévision, le bruit est celle que l'on retrouve le plus souvent. Le bruit au niveau du signal électrique se traduit sur l'écran par une variation aléatoire de l'intensité lumineuse autour d'une valeur moyenne. C'est l'amplitude de cette variation qui affecte principalement le

jugement de qualité que donne un observateur. Plus le bruit est fort, plus la variation d'intensité est importante et moins bon est le jugement de qualité de l'image. Et inversement lorsque le bruit diminue, le jugement devient plus favorable jusqu'à un certain point où les variations ne sont plus visibles pour l'observateur; le jugement demeure alors inchangé.

B.2. Effets des caractéristiques de l'oeil

Au chapitre 2 on a vu le processus par lequel passe l'information visuelle chez l'homme pour en arriver à un jugement. L'acuité visuelle limitée empêche la détection des variations spatiales courtes. La sensibilité aux couleurs pondère le bruit de même que la réponse temporelle pondère les différentes fréquences constituant le bruit. Egalement l'intensité lumineuse moyenne affecte la sensibilité aux variations. C'est après cette série de limitations que l'amplitude moyenne des variations est évaluée et que le jugement est porté.

B.3. Simulation des caractéristiques de l'oeil

Comme l'objectif fixé est d'obtenir des mesures de la qualité de l'image avec l'appareil qui soient semblables à celles d'un observateur, on cherche à utiliser le même processus que l'homme. Pour ce faire on utilise le principe suivant (fig. 3.1). On place devant l'écran de télévision un système optique qui amène la lumière sur le senseur. Cette partie donne la simulation de l'acuité visuelle. La lumière est alors convertie en un signal électrique proportionnel à la quantité de lumière frappant le senseur. Celui-ci a la même sensibilité aux couleurs que l'oeil. Ce signal est pour la mesure de bruit sur l'écran un niveau continu sur lequel se superpose une fluctuation aléatoire due au bruit. Après amplification, ce signal est filtré de façon à ne garder que les composantes visibles par l'oeil qui a une réponse temporelle limitée.

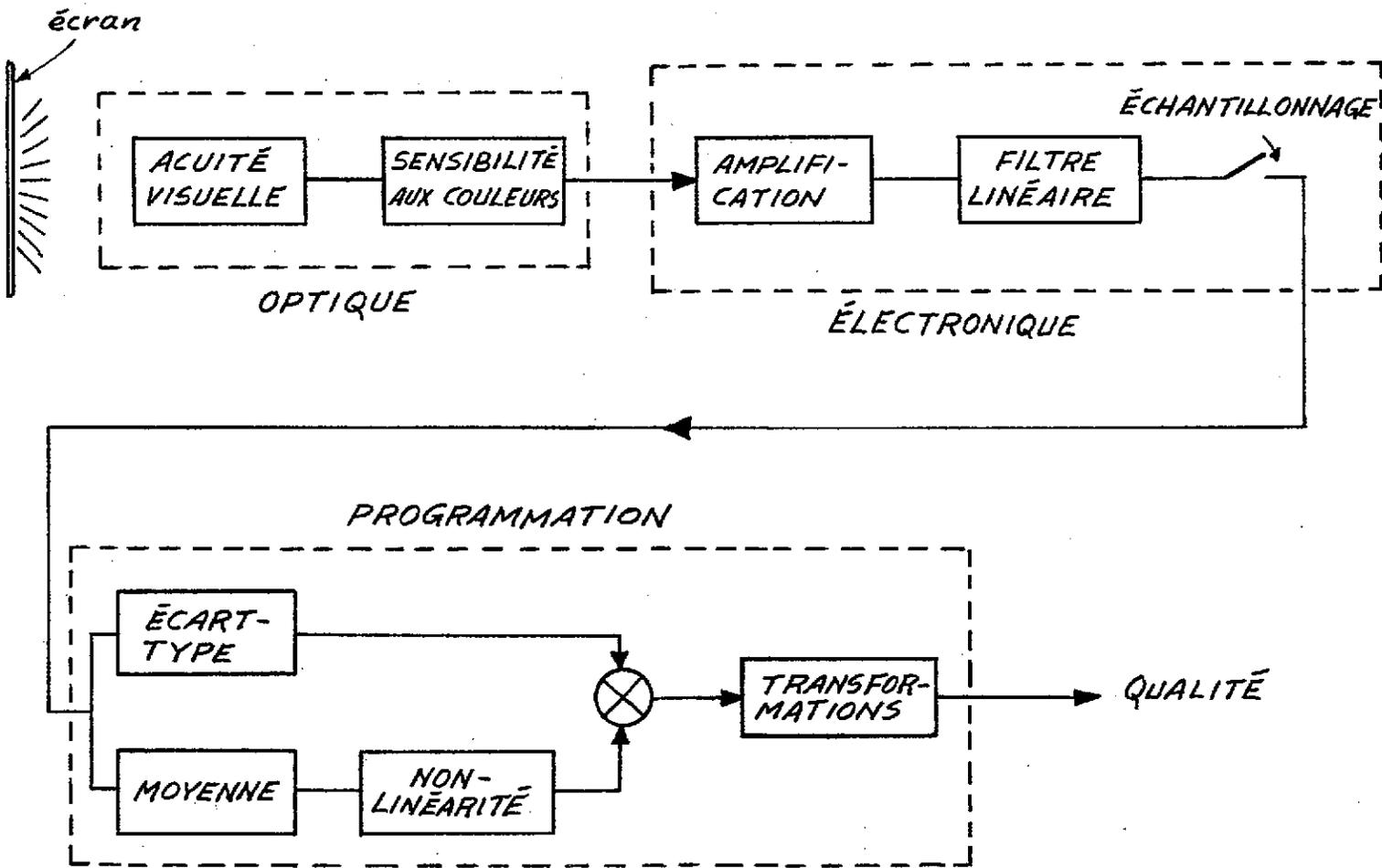


Fig. 3.1- Traitement du signal

B.4. Traitement par micro-ordinateur

Le signal est alors convertie sous forme numérique de façon à être compatible avec l'unité de traitement. A partir de là le traitement du signal est effectué par programmation. Essentiellement le programme consiste en un échantillonnage rapide de l'amplitude du signal électrique et dans le calcul de sa moyenne et de son écart-type. A partir de ces informations et de quelques autres recueillies auparavant, en tenant compte de la réponse non-linéaire, le programme est en mesure de fournir une mesure de la qualité de l'image qu'on lui a présentée.

B.5. Utilisation d'un niveau gris uniforme

Lorsqu'on demande à un observateur de juger une image avec du bruit, l'image qu'on lui présente est généralement une scène typique de télévision. Mais pour l'appareil le contenu de l'image compte peu car il n'a pas besoin de repères visuelles comme l'homme pour effectuer une mesure. C'est pourquoi on choisit d'utiliser une image uniformément grise qui a l'avantage d'être facilement généré par des moyens électroniques. Un second avantage est que cette image est très sensible au bruit (fig. 3.2). En effet puisqu'une image grise correspond à un signal électrique d'amplitude intermédiaire, le bruit peut moduler au maximum ce signal. Par contre si le signal se situe dans les extrémités (noir ou blanc), dû à la saturation des circuits, l'amplitude du bruit apparaît sur l'écran moins importante qu'en réalité.

C. Système optique

C.1. Introduction

La partie optique de l'appareil comme on l'a déjà dit auparavant doit avoir la même résolution spatiale ou acuité visuelle que l'oeil humain. Pour les intensités lumineuses qui sont rencontrées, la figure 2.3 indique une acuité visuelle pour l'oeil de 1 minute d'arc. On doit trouver un

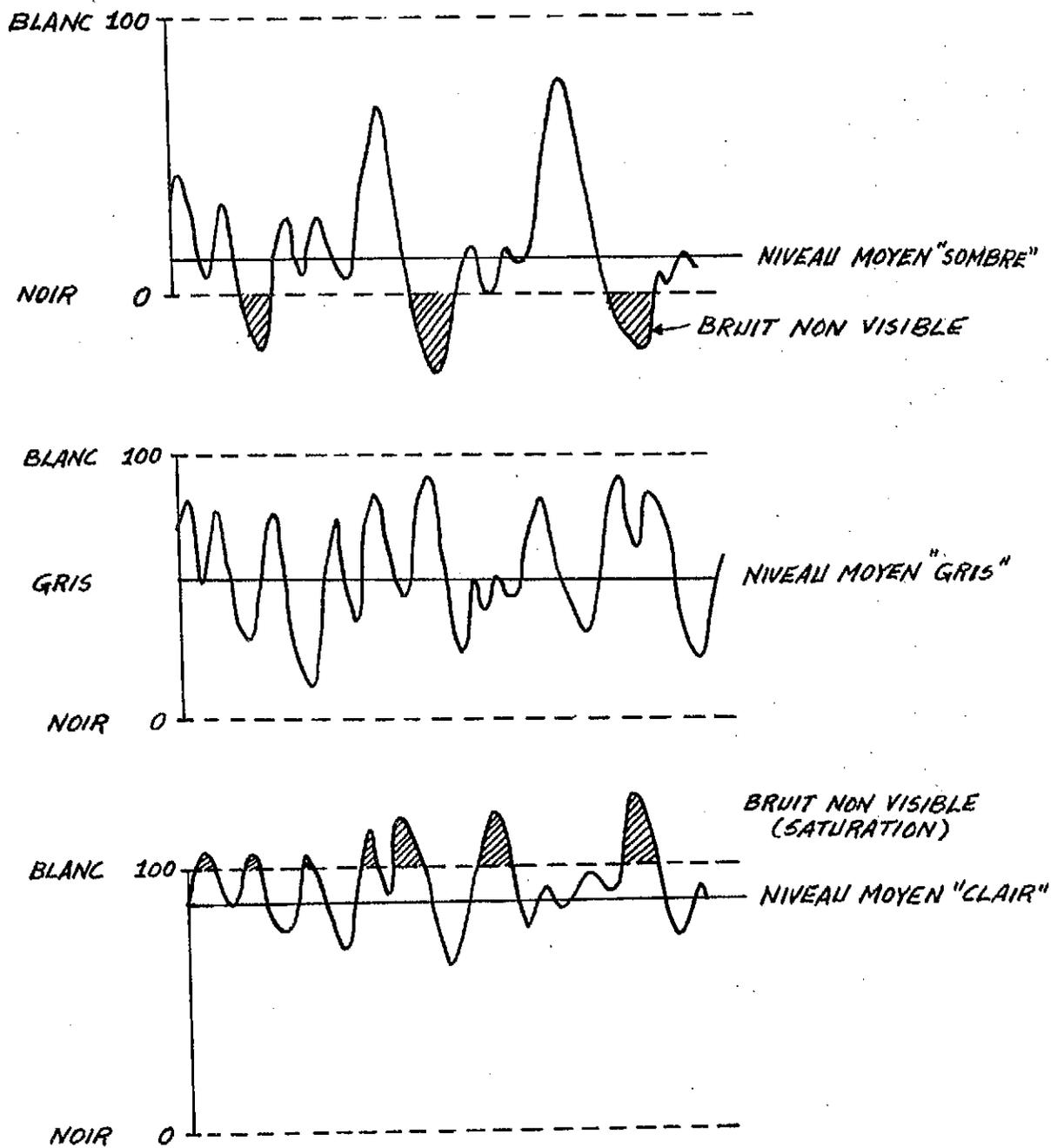


Fig. 3.2- Sensibilité au bruit

moyen de simuler cette caractéristique. On suppose que le bruit est uniformément distribué sur la surface de l'écran. Il suffit donc d'aller observer sur l'écran une petite surface pour avoir une idée de l'ensemble. Si celle-ci est la surface sous-tendue par un angle d'une minute d'arc pour un observateur situé à une distance normale d'observation, on atteint l'objectif qui est d'avoir une acuité visuelle identique à l'oeil. Car ainsi toute fluctuation qui est plus petite que le diamètre de la surface mesurée est intégrée spatialement par le senseur optique et n'est pas détectée tout comme pour l'oeil humain. Le système optique doit également avoir la même sensibilité aux couleurs que l'oeil.

C.2. Surface de mesure

C.2.a. Evaluation

On cherche à connaître la surface que l'optique doit isoler. Des études statistiques ont montré qu'en moyenne les spectateurs se placent à environ huit fois la hauteur de l'écran (14). En se référant à la figure 3.3, si on appelle H la hauteur de l'écran et la distance d'observation $8H$, il est facile de calculer la dimension Y en connaissant l'angle qui est de 1 minute d'arc. En sachant que le nombre de lignes horizontales visible est de 425, on arrive au résultat que Y est de même dimension que l'espace entre deux lignes ou encore l'espace occupé par une ligne. Ce résultat n'est pas surprenant car c'est ce calcul qui a été effectué pour déterminer le nombre de lignes horizontales qui devaient être utilisées pour qu'elles ne soient pas discernables.

C.2.b. Réalisation

La surface que l'on devrait utiliser serait donc de diamètre égale à celle d'une ligne. Cependant d'autres facteurs viennent compliquer la situation. La diamètre de mesure égale à une ligne implique que le système optique soit positionné de façon précise pour que la lumière provenant de l'écran soit celle désirée. En effet si le centre de la surface que va

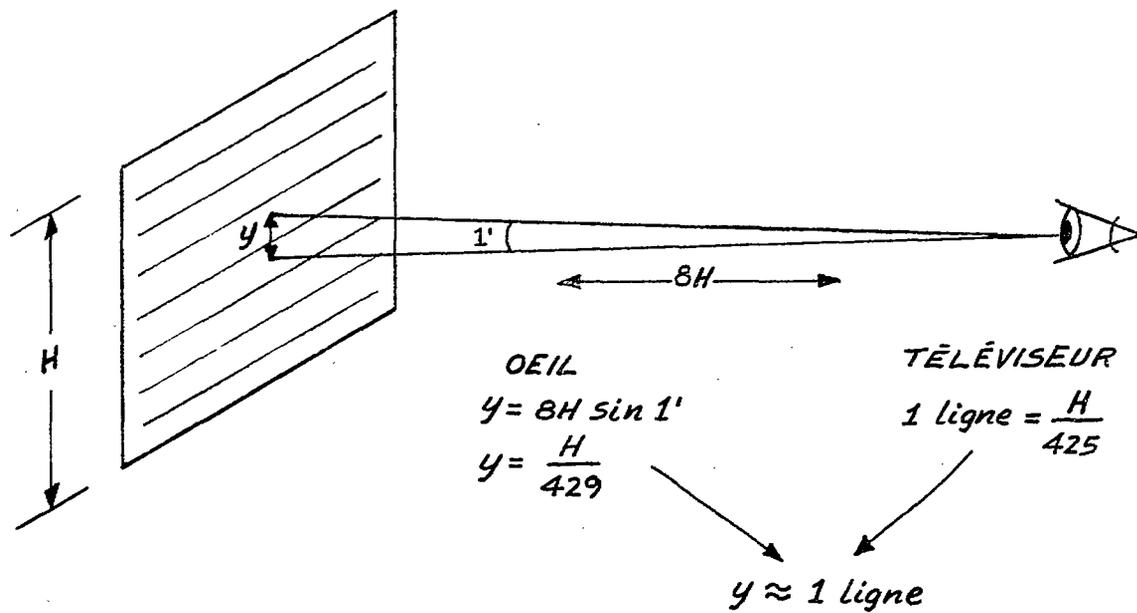


Fig. 3.3- Evaluation des dimensions rencontrées

mesurer l'optique est placée entre deux lignes, on aura tout d'abord une perte importante de signal utile et deuxièmement le signal sera une combinaison des deux lignes (fig. 3.4a). Une autre difficulté survient si on considère que la position absolue des lignes sur l'écran se déplacent dû à des phénomènes de dérive. Ce déplacement entraîne une forte variation d'amplitude du signal et vient perturber considérablement les mesures en plus d'imposer un déplacement continu du système optique pour suivre ces mouvements.

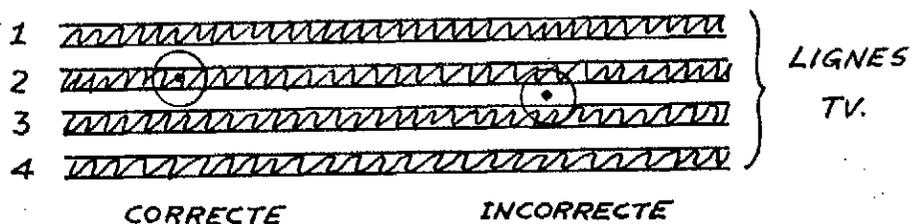
Afin d'éliminer ces problèmes, il a été décidé d'utiliser une surface ayant un diamètre de 2 lignes plutôt que 1. Cette dimension a plusieurs avantages. Elle élimine tout d'abord les problèmes de dérive en permettant d'avoir toujours l'équivalent de deux lignes dans la surface mesurée (fig. 3.4b). La quantité de lumière disponible est doublée d'où un signal plus fort. La mesure devient également moins sensible aux problèmes d'entrelaçage des lignes paires et impaires car en tout temps on a une ligne de chaque demi-image dans la surface de mesure.

La perte de résolution n'est pas aussi importante qu'on peut le croire car les mesures d'acuité visuelle utilisées dans les calculs sont pour des objets très bien contrastés. Mais dans la pratique il est peu fréquent que ce type d'image se présente et dans la majorité des images le contraste n'est pas aussi bon. Or l'acuité visuelle diminue lorsque le contraste diminue (15). On peut donc supposer que le choix d'une surface de mesure de diamètre égale à 2 lignes ne vient pas perturber significativement les mesures.

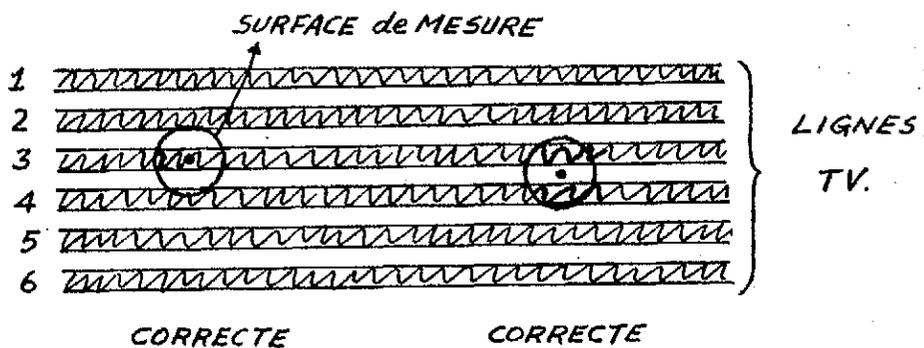
C.3. Senseur optique

C.3.a. Introduction

La partie optique étant déterminée, il s'agit maintenant de convertir la lumière émergeant du microscope en un signal électrique. Pour cela on doit choisir le senseur photoélectrique approprié.



a) Surface de mesure couvrant une seule ligne.



b) Surface de mesure couvrant deux lignes.

Fig. 3. 4- Effet du positionnement

C.3.b. Critères de sélection

Les critères de sélection sont les suivants. Il doit tout d'abord être suffisamment sensible pour les niveaux d'intensité lumineuse d'intérêt. Le capteur doit être stable et facile d'emploi. Il faut qu'il soit linéaire sur une bonne plage dynamique ou tout au moins doit-il être linéaire pour les signaux de petites amplitudes. De plus on doit être en mesure d'approcher la sensibilité aux couleurs de l'oeil. On examine avec ces critères les capteurs optiques possibles et on écarte ceux qui ne sont pas satisfaisants (16).

C.3.c. Différents capteurs

Un photomultiplicateur pourrait répondre aux exigences de sensibilité aux couleurs et de linéarité mais son utilisation demande des sources de tension à haut voltage et de plus il est instable. Une photodiode serait également utilisable mais elle demande une amplification très importante du signal qu'elle produit. Comme le capteur est placé dans un environnement où les bruits électriques irradiés par les composants du téléviseur sont encore très importants, le signal utile est entaché d'un très fort bruit. Un phototransistor serait davantage approprié mais sa sensibilité aux couleurs devrait être modifiée par l'utilisation de filtres optiques; on note également une certaine non-linéarité dans son fonctionnement.

C.3.d. Choix

Le choix s'est arrêté sur des photocellules (16) basées sur des cristaux de sulfide de cadmium (CdS) qui ont sensiblement la même sensibilité aux couleurs que l'oeil. Sa sensibilité à la lumière est également très bonne de même que de sa linéarité. Son principe de fonctionnement est simple: il est basé sur le fait que le cristal a une résistance électrique qui diminue lorsqu'il est éclairé. Il suffit donc de placer la photocellule dans un diviseur de tension résistif pour obtenir

un signal électrique proportionnel à la lumière incidente. On choisit donc une phot cellule comme senseur. Celle qui a été utilisée pour l'appareil a une résistivité d'environ 3 kilohms pour un éclairage ambiant de 3 candelas par mètre carré et une résistivité supérieure à 20 megohms lorsque l'éclairage est nul.

Comme c'est le produit de la réponse en fréquence du senseur et de celle du filtre linéaire qui donne la réponse en fréquence globale du système et que celle-ci doit approcher celle de l'oeil, il est important de connaître la réponse en fréquence du senseur. Pour mesurer cette réponse en fréquence on utilise la montage de la figure 3.5a. Une diode électroluminescente (lumière émise: verte à 565 nm de longueur d'onde) est utilisée comme source de lumière sinusoïdale grâce à une source de tension continue et une autre sinusoïdale. L'amplitude de la modulation est gardée faible pour éviter les problèmes de non-linéarité avec la diode. La phot cellule reçoit cette lumière et vient modulée la tension de sortie. En variant la fréquence et en notant l'amplitude du signal de sortie on arrive à la courbe de la figure 3.5b. La courbe est du type filtre passe-bas du premier ordre avec une fréquence de coupure de 2 Hz. Ces résultats seront utiles pour la mise au point des filtres qui sont nécessaires tel que décrit plus loin.

Afin d'expérimenter différentes combinaisons possibles, le microscope et le senseur ont tous deux été montés sur des supports permettant une entière flexibilité dans leur positionnement relatif. En pratique le microscope et le senseur (de même que le préamplificateur qu'on voit plus loin) seraient rendus solidaires et en position fixe l'un par rapport à l'autre.

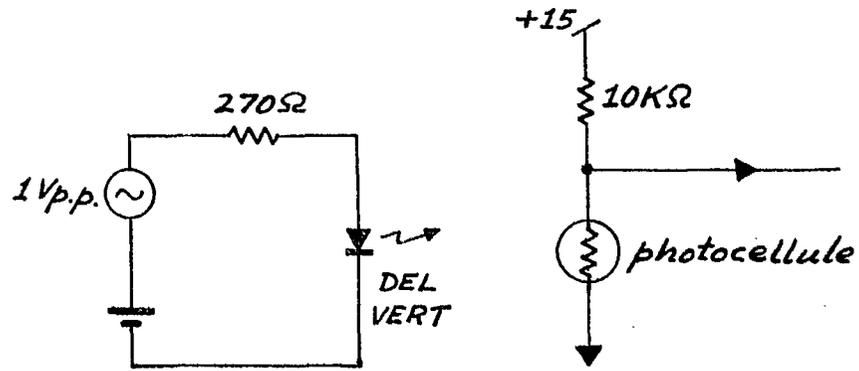


Fig. 3.5- a) Montage pour la mesure de la réponse en fréquence

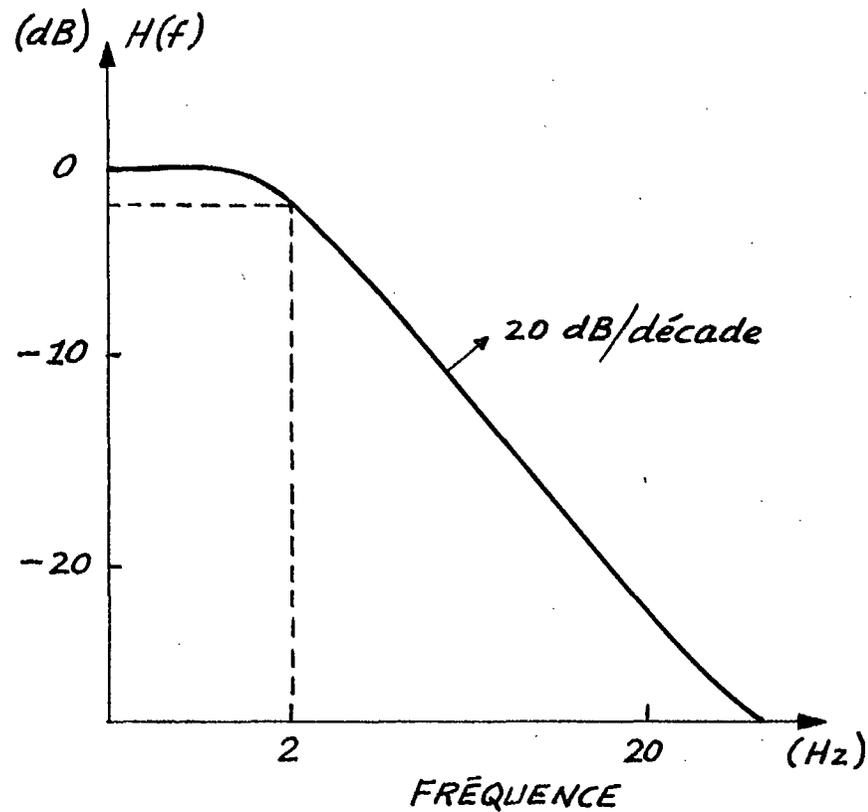


Fig. 3.5- b) Réponse en fréquence de la photocellule

C.4. Réalisation de l'optique

C.4.a. Principe de base

La méthode utilisée pour isoler la surface désirée est la suivante (fig. 3.6a). On place une première lentille devant l'écran qui transfère la lumière émise par celui-ci et une image se forme derrière la lentille. Ce point est important car il est impossible de délimiter la surface de mesure directement en plaçant un masque sur le tube étant donné l'épaisseur de verre du tube écran. La distance à laquelle on doit placer cette première lentille est déterminée par sa distance focale et ne doit pas être inférieure à l'épaisseur du verre. La distance maximum est limitée par la sensibilité du senseur et par l'ouverture de la lentille.

L'image qui se forme à l'arrière de la première lentille est une réplique inversée et agrandie de ce qui se trouve sur l'écran. Il devient alors possible de limiter la dimension de la surface que l'on désire garder en plaçant un masque à l'endroit où se forme l'image de façon à ne laisser passer que la lumière provenant de la surface voulue.

La lumière qui passe au travers du masque est donc uniquement celle qui provient de la surface désirée. A la sortie du masque, cette lumière est divergente et pour garder le maximum de lumière disponible on place une seconde lentille. Celle-ci a pour effet de reformer une image dont le point de convergence est la surface du senseur. Cela donne un maximum de lumière d'où un maximum de sensibilité.

C.4.b. Implémentation

Le principe de fonctionnement décrit ici est exactement le même que celui d'un microscope (17). C'est pourquoi a-t-on décidé d'utiliser un microscope comme élément de base pour l'optique. Cela a le grand avantage de diminuer considérablement le temps de développement et le coût de l'ensemble puisqu'on utilise des pièces standardisées.

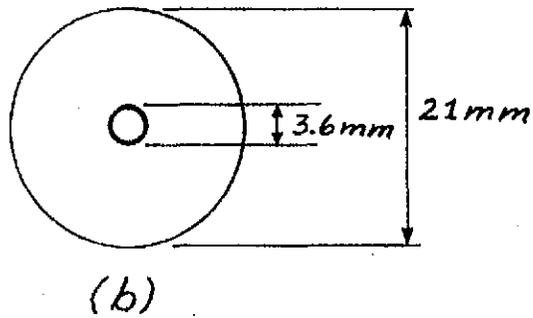
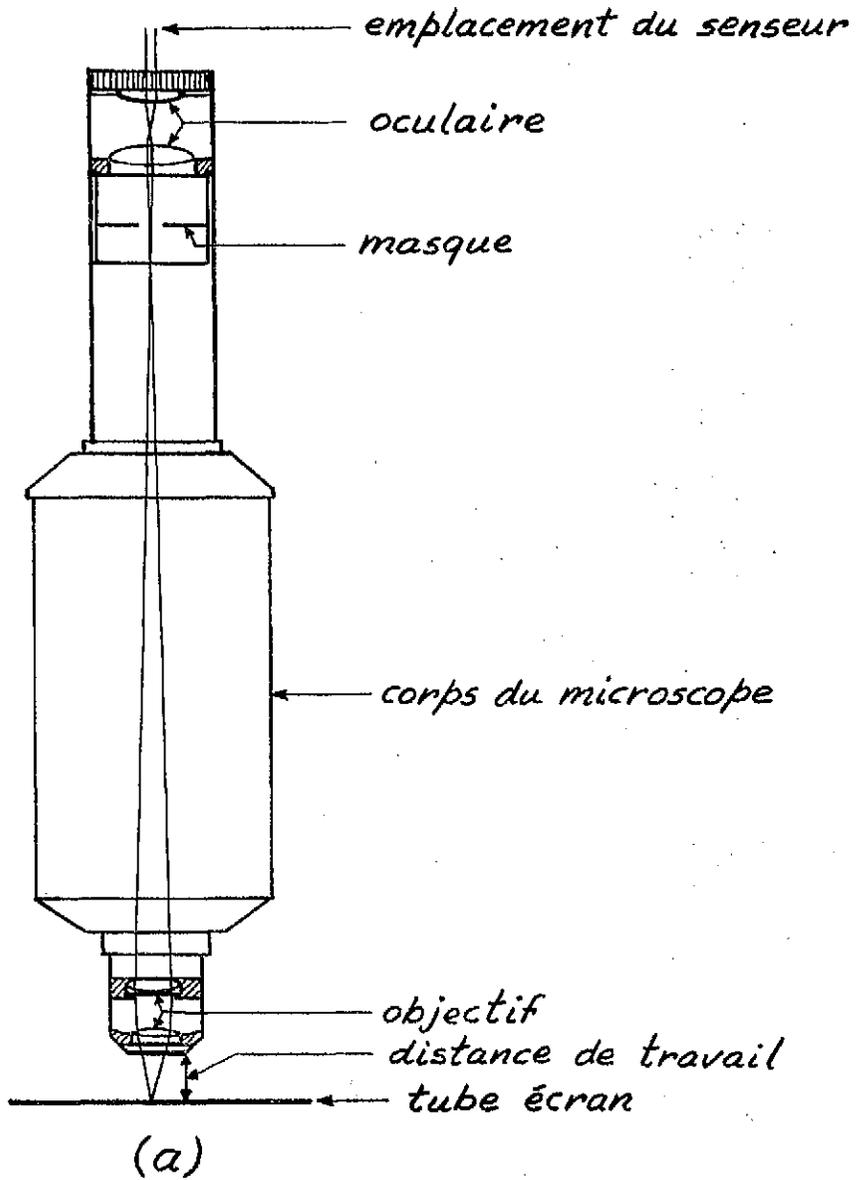


Fig. 3.6- a) Principe de l'optique b) Masque

Le corps du microscope est un tube monté sur une glissière permettant la mise au foyer de l'optique. La distance séparant l'épaulement arrière de l'objectif (première lentille) et le point de formation de l'image lorsque l'optique est bien focalisé est de 148 mm. Cette longueur est standardisée pour de nombreux microscopes et tous les objectifs, quelque soit leur magnification, utilise ce standard. Une tourelle pivotante placée du côté des objectifs permet un changement rapide d'objectifs. Cette caractéristique a été utilisée au cours des essais initiaux mais n'est pas utilisée dans le fonctionnement normal.

L'objectif qui a été sélectionné a une magnification de 2.5 et une distance de travail (distance entre l'objet observé et l'extrémité de l'objectif) de 45 mm. Cette distance est suffisamment grande pour permettre l'utilisation de tout tube écran, peu importe l'épaisseur du verre, et suffisamment courte pour recevoir assez de lumière. La deuxième lentille est appelée oculaire dans la nomenclature des microscopes. L'oculaire utilisé est du type Ramsden (17) et a un facteur de magnification de 10.

L'image produite par l'objectif est donc agrandie 2.5 fois. La surface qui doit être conservée est d'un diamètre de 2 lignes. Malheureusement cette dimension varie en fonction de la dimension du tube écran. La dimension de l'ouverture du masque doit donc changer en fonction du tube écran utilisé. Les téléviseurs utilisés au cours de la mise au point de l'appareil et des essais ont tous une hauteur d'écran H de 30 cm. Aussi le calcul du masque est effectué en fonction de cette dimension d'écran. Pour accommoder une autre dimension il suffit de changer le masque.

Comme on compte 425 lignes visibles sur le tube écran, chaque ligne occupe 0,706 mm et deux lignes occupent 1,412 mm. Agrandie 2.5 fois par l'objectif, l'image de ces deux lignes est de 3,6 mm de hauteur. Le masque nécessaire est donc une plaque circulaire de 21 mm de diamètre (diamètre intérieur du microscope) avec une ouverture circulaire centrée d'un diamètre de 3,6 mm (fig. 3.6b). Avec ce masque, la surface de mesure est limitée en diamètre à la hauteur de deux lignes et vient imposer une acuité visuelle approchant celle d'un oeil humain.

La partie optique est donc constituée des éléments suivants:

- corps de microscope avec glissière d'ajustement et tourelle pivotante
- objectif : magnification 2.5X
 distance focale 45 mm
 distance de travail 45 mm
 ouverture numérique 0,01
- masque : diamètre 23 mm
 ouverture 3,6 mm (diamètre)
- oculaire : magnification 10X
 type Ramsden
- photocellule: réponse en fréquence semblable à celle de l'oeil

D. Electronique câblée

D.1. Préamplificateur

L'amplification du signal a été séparée en deux sections. L'étage de préamplification a pour but de transformer le signal fournit par la photocellule sous une forme compatible avec le reste de l'appareil et pour minimiser le plus possible les problèmes de bruit. En effet comme le

Le capteur doit être positionné près du téléviseur et que l'unité de traitement ne peut être localisée tout près, on doit utiliser un câble pour relier les deux parties. Comme le signal peut être assez faible dans certains cas, du bruit extérieur aurait pu venir brouiller les mesures. Aussi a-t-on choisi d'amplifier le signal le plus près possible de sa source.

Les variations de lumière à la surface du capteur sont converties en modulation de la résistance du cristal. Ces variations modifient le courant circulant dans la photocellule et ce courant est converti en tension par l'amplificateur opérationnel (fig. 3.7a). Le gain utilisé a été choisi de façon à ce que même pour une intensité lumineuse maximale l'amplificateur ne soit pas saturé. Ce signal est alors transmis par le câble jusqu'au second amplificateur. On note également sur le schéma électrique la présence d'un signal appelé compensation du zéro. En gros ce signal est utilisé pour augmenter la sensibilité de l'appareil; on voit son utilité plus loin.

D.2. Amplificateur à gain variable

Le signal provenant du préamplificateur a besoin d'être encore amplifié. Il est essentiellement constitué d'un niveau continu qui est dû à l'intensité lumineuse moyenne et d'une fluctuation due au bruit. Il faut essayer de minimiser le plus possible le niveau continu de façon à garder le maximum de plage dynamique pour les fluctuations. La compensation du zéro est le moyen par lequel on minimise le niveau continu.

Supposons maintenant que le niveau continu soit éliminé (le moyen utilisé est vu à la section D.5.). Le bruit que l'on désire mesurer varie entre une fluctuation à peine perceptible et un bruit masquant presque complètement l'image. La variation d'amplitude mesurée expérimentalement entre les deux cas est d'environ un facteur 400. Avec une telle différence de niveaux, les bruits de faible amplitude deviennent difficiles à mesurer pour l'unité de traitement. Le signal doit être en

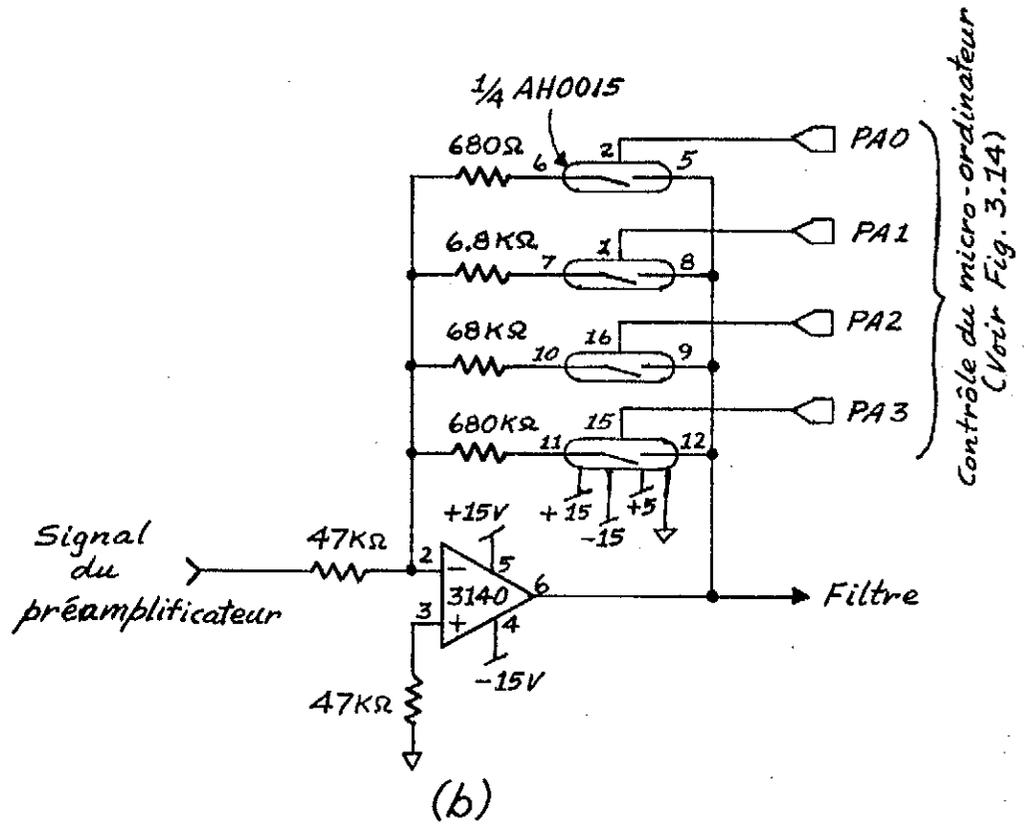
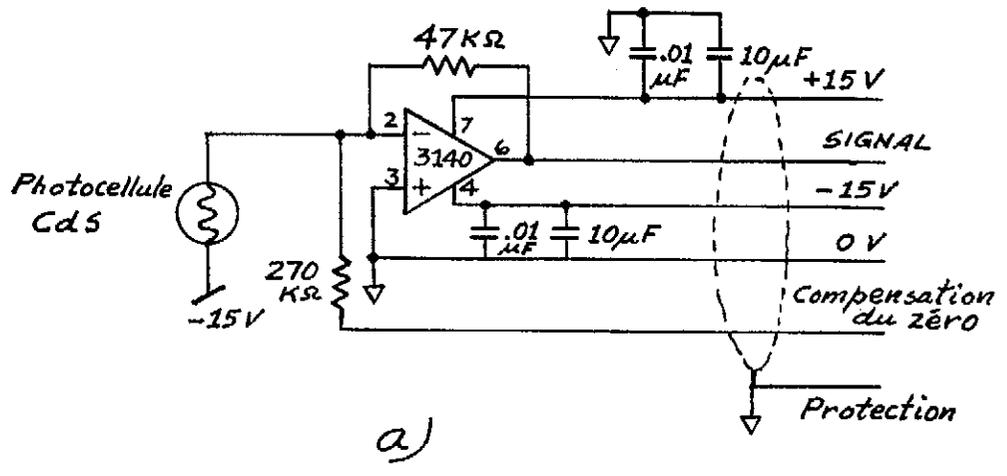


Fig. 3.7- a)Préamplificateur b) Amplificateur à gain variable

effet converti sous forme numérique et comme le convertisseur analogique-numérique utilisé a une résolution en tension qui est limitée, l'amplitude du signal doit être suffisante sinon aucun bruit n'est détecté.

Pour pouvoir mesurer tout aussi bien tous les types de bruit, on utilise un amplificateur à gain variable. Lorsque le bruit est faible on utilise le gain maximum. Dès que l'on dépasse les limites d'opération lorsque le bruit augmente, le gain est diminué. Le résultat est une augmentation de précision pour les mesures de bruit de faible amplitude. Le gain est varié de façon discrète par l'utilisation d'interrupteurs analogiques que l'unité de contrôle vient actionnés selon les besoins (fig. 3.7b).

Chaque interrupteur placé dans la boucle de contre-réaction de l'amplificateur opérationnel une résistance qui vient déterminer le gain. Un seul interrupteur est utilisé à la fois et les gains sont variés d'un facteur 10 entre eux. Ainsi en considérant le gain maximum comme étant de 1000, les autres gains sont 100, 10 et 1. Les valeurs actuelles de résistances ont été obtenues expérimentalement de façon à ce que pour un bruit très faible la fluctuation de tension provoque une variation au niveau du convertisseur analogique-numérique égale à la moitié de sa plage dynamique. On s'assure ainsi que l'appareil puisse mesurer tous les niveaux bruits que l'on rencontre en pratique dans une image de télévision.

D.3. Filtre

On a trouvé précédemment que l'œil a une réponse temporelle qui peut être simulée à l'aide d'un filtre ayant une réponse en fréquence particulière (fig. 2.6). Maintenant qu'un signal électrique proportionnel à l'intensité lumineuse est disponible il est relativement facile de simuler cette réponse temporelle. On utilise comme modèle la courbe parmi celles données à la figure 2.6 correspondant à une intensité lumineuse de 77 cd/mètre-carré (fig. 3.8a). On peut avoir une bonne approximation de cette courbe en utilisant la courbe de la figure 3.8b qui est réalisable

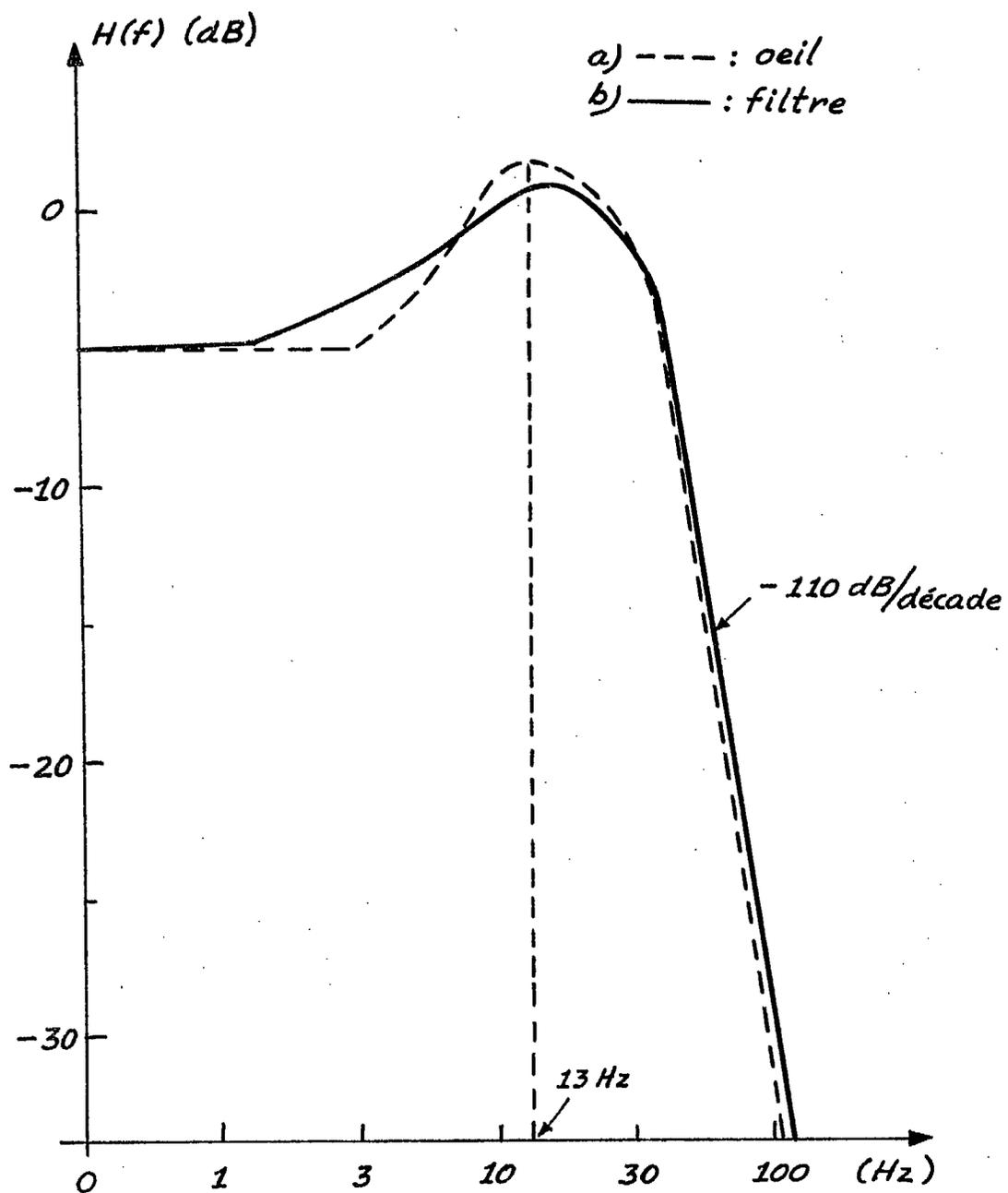


Fig. 3.8-Réponses en fréquence: oeil et filtre

en utilisant un filtre actif. Les caractéristiques importantes de cette réponse en fréquence sont une résonance à 13 Hz avec un facteur de surtension d'approximativement 5 et une atténuation de 100 db par décade à partir de 21 Hz.

Ce filtre peut être réalisé de différentes façons; la méthode qui a été utilisée consiste à cascader une série de filtres du deuxième ordre ayant chacun une fréquence de résonance et un facteur de surtension différents. Pour obtenir l'atténuation de 100 db par décade il faut utiliser 3 de ces étages. La réponse en fréquence du senseur (fig. 3.5) doit également être considérée afin que la réponse globale du système approche celle de l'oeil. En effet, c'est le produit de la réponse en fréquence du senseur par celle du filtre qui donne la réponse globale.

Etant donné qu'aucune méthode systématique n'existe pour la mise au point de filtre avec une résonance de la sorte, il a fallu user d'intuition et d'expérimentation pour obtenir le résultat désiré. Chaque étage du filtre consiste en un amplificateur opérationnel et une combinaison de résistances et de condensateurs appropriés pour obtenir la réponse en fréquence désirée (fig. 3.9). La réponse en fréquence résultante du filtre est donnée à la figure 3.10. On trouve à l'appendice A une description plus complète de la réalisation du filtre.

D.4. Evaluation globale

Il reste maintenant à vérifier la réponse globale du système, c'est-à-dire lorsque senseur, amplificateurs, et filtre sont tous réunis. Pour ce faire on utilise la méthode suivante. A l'entrée du système on injecte du bruit dont la densité spectrale de puissance est uniforme dans les fréquences d'utilisation du système, soit moins de 100 Hz. On recueille alors le bruit qui apparaît à la sortie du système et on en calcule le spectre. Afin d'obtenir un résultat valide on utilise une longue durée d'échantillonnage et un moyennage des résultats. Le spectre ainsi obtenu est la réponse en fréquence du système.

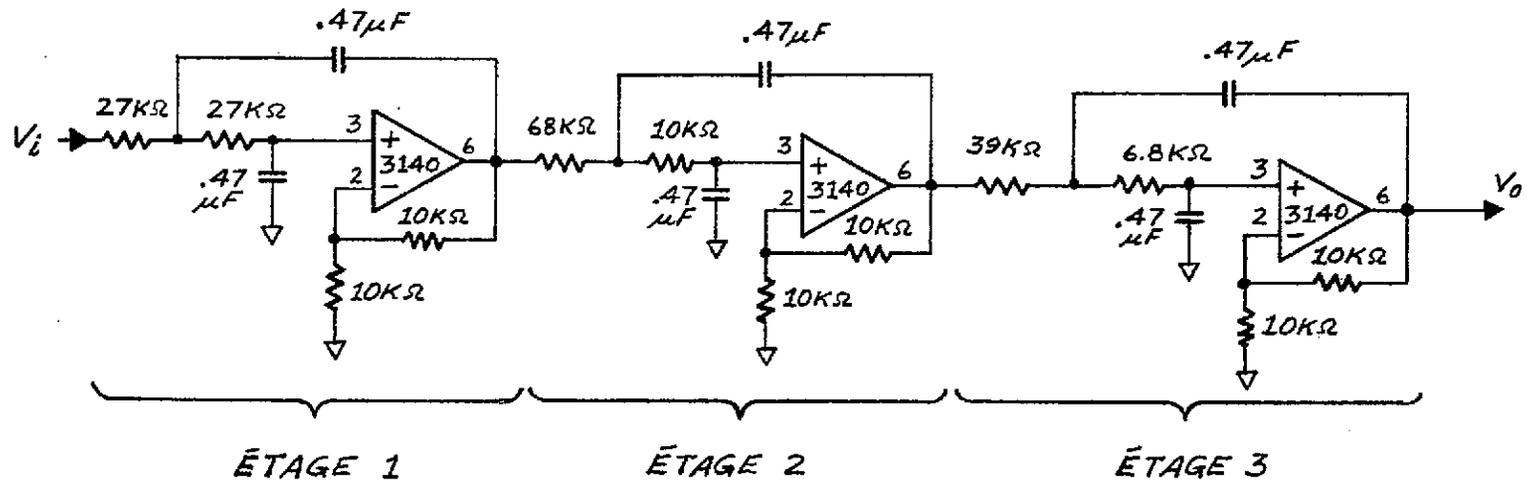


Fig. 3.9- Plan électrique du filtre

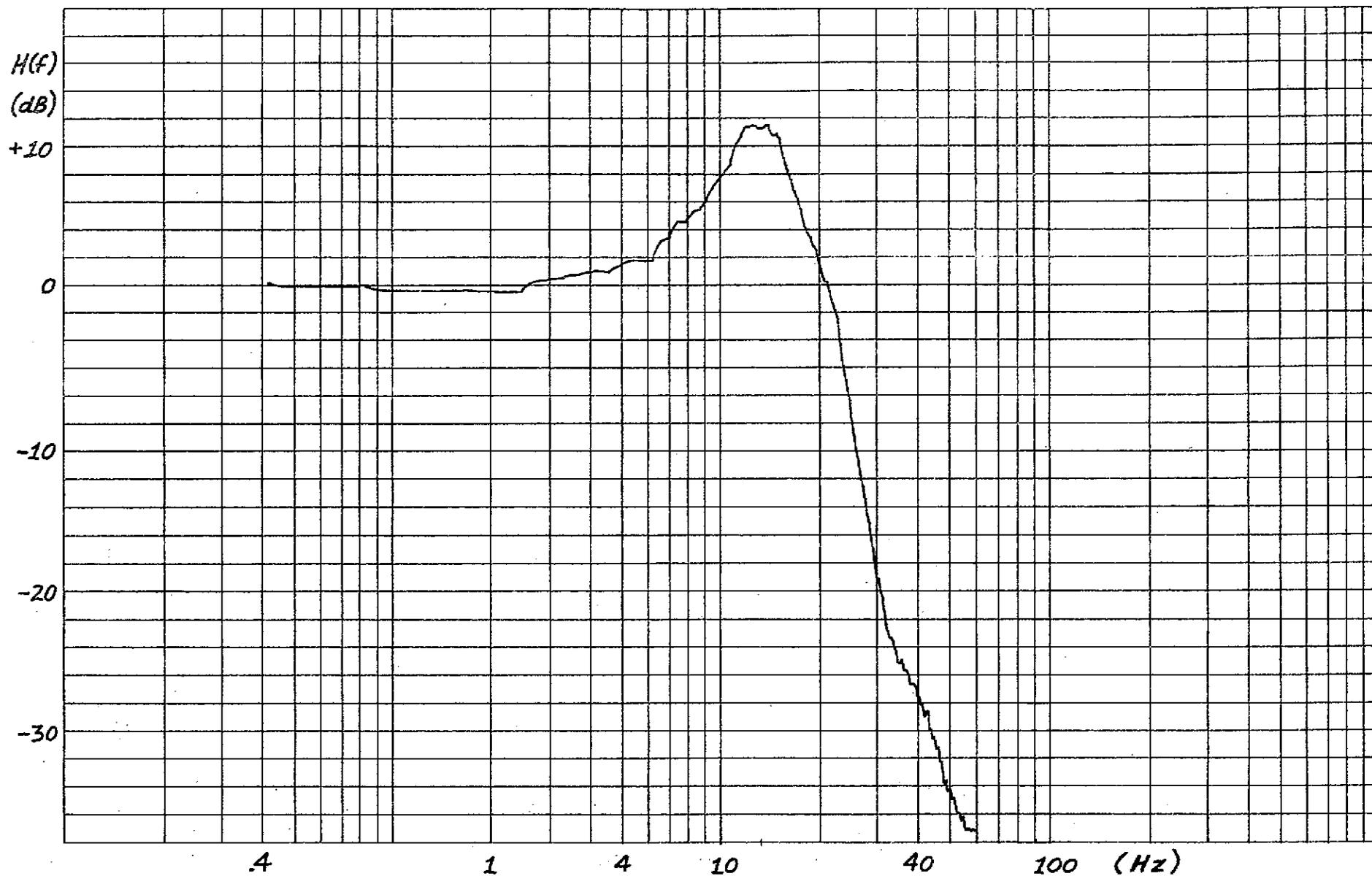


Fig. 3.10- Réponse en fréquence du filtre

Etant donné que l'entrée du système est constituée uniquement d'intensités lumineuses il faut utiliser une source de bruit lumineuse. La meilleure source de bruit optique qui a été trouvée est tout simplement un téléviseur dont le sélecteur de canal est sur une position de fréquence inutilisée. Le résultat est un écran qui ne comporte que du bruit. Celui-ci a un spectre de puissance uniforme à l'exception de raies spectrales à 30 et 60 Hz qui sont dues au balayage périodique de l'écran à ces fréquences. Il s'agit donc de négliger ces raies dans les résultats des tests.

La réponse en fréquence du système ainsi mesurée est donnée à la figure 3.11. Cela correspond assez bien avec la réponse en fréquence de l'oeil qui était notre objectif.

D.5. Compensation du zéro

Le signal électrique en provenance du senseur optique est composé essentiellement d'un niveau continu proportionnel à l'intensité lumineuse moyenne et d'une fluctuation dont l'amplitude est reliée à la quantité de bruit présent dans l'image. Comme cette fluctuation est faible pour les niveaux de bruit peu importants on est obligé d'utiliser des gains importants pour pouvoir la détecter. Si le niveau continu était laissé tel quel il aurait tôt fait de saturer les amplificateurs. Un couplage capacitif pourrait être une solution mais deux raisons principales le proscrivent. Tout d'abord étant donné les basses fréquences utilisées, la valeur des condensateurs qu'il faudrait utiliser serait trop grandes. Ensuite il est important de connaître le niveau continu car il renseigne sur l'intensité moyenne de l'écran et ce paramètre est utilisé dans les calculs. On ne peut donc tout simplement le faire disparaître.

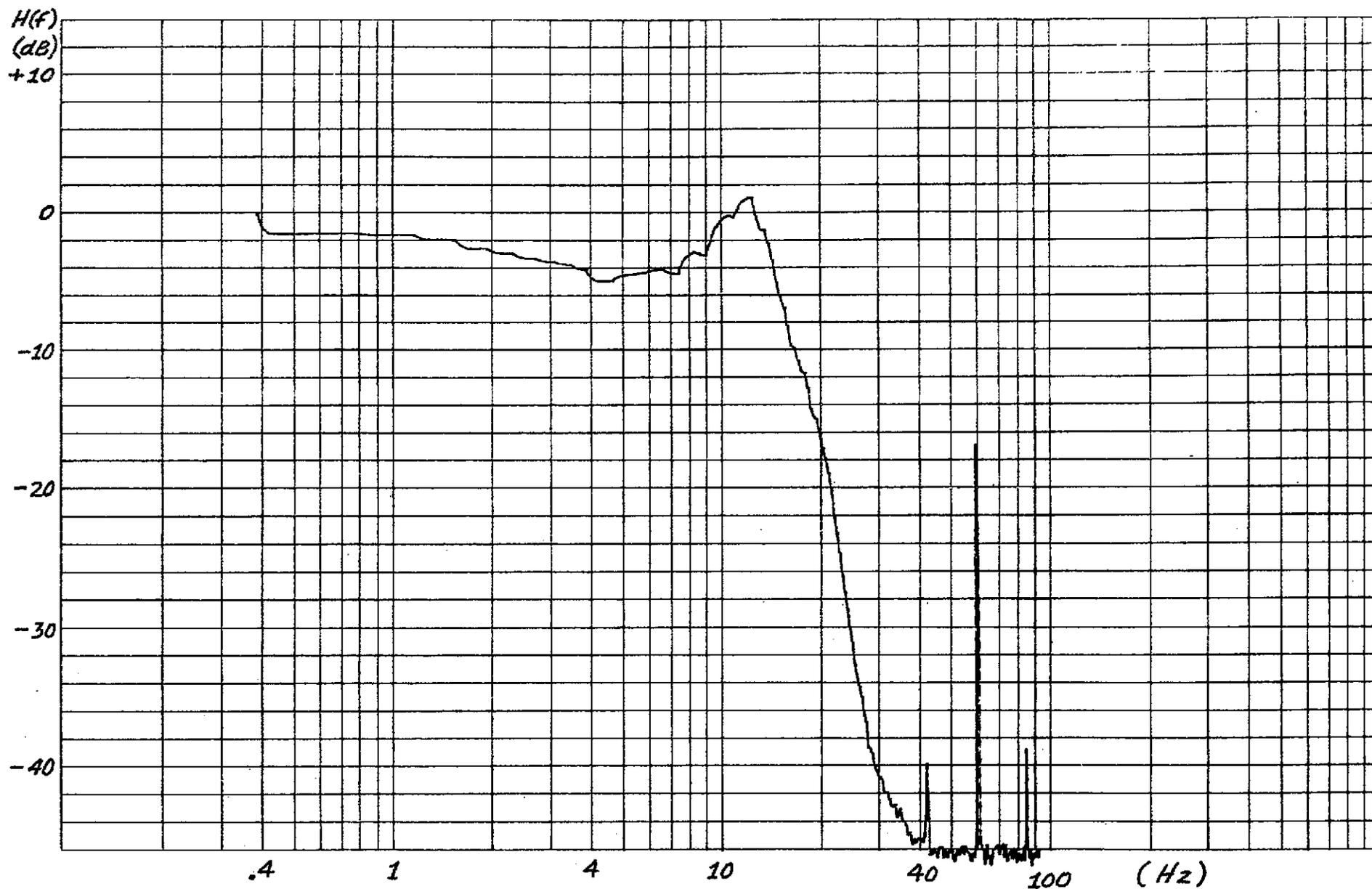


Fig. 3.11- Réponse en fréquence du système

On opte plutôt de l'annuler. Pour ce faire on soustrait au niveau du préamplificateur un niveau continu qui compense pour le niveau continu en provenance du senseur et ainsi donne une sortie de moyenne nulle (fig. 3.7a). Ce niveau continu que l'on soustrait doit être variable. En effet le niveau continu dû au senseur est sujet à varier quelque peu. Cette variation est due aux variations d'ajustements du téléviseur, de même qu'à la variation dans l'éclairage extérieur au système comme par exemple l'éclairage ambiant de la pièce.

Afin d'avoir un niveau continu variable, on utilise un convertisseur numérique-analogique contrôlé par l'unité de traitement (fig. 3.12). Ainsi on connaît en tout temps le niveau continu qu'on soustrait, par le fait même on connaît celui en provenance du senseur. Il est également toujours possible d'ajuster le convertisseur si une variation quelconque survient. Le convertisseur utilisé a une précision de 8 bits, soit 256 niveaux distincts sur une gamme de tension 0-10 Volts. Avec cette méthode il est possible d'avoir un gain important tout en connaissant le niveau continu du signal amplifié.

D.6. Conversion analogique-numérique

Avec le traitement du signal effectué auparavant, le signal électrique est maintenant près à être transmis à l'ordinateur pour poursuivre le traitement. Le signal analogique doit donc être converti sous une forme compatible avec l'ordinateur. On utilise pour ce faire un convertisseur analogique-numérique. Comme le convertisseur utilisé fonctionne pour des tensions positives allant de 0 à 10 volts et que le signal est bipolaire de moyenne nulle il faut lui ajouter une tension continue pour le rendre compatible (fig. 3.13).

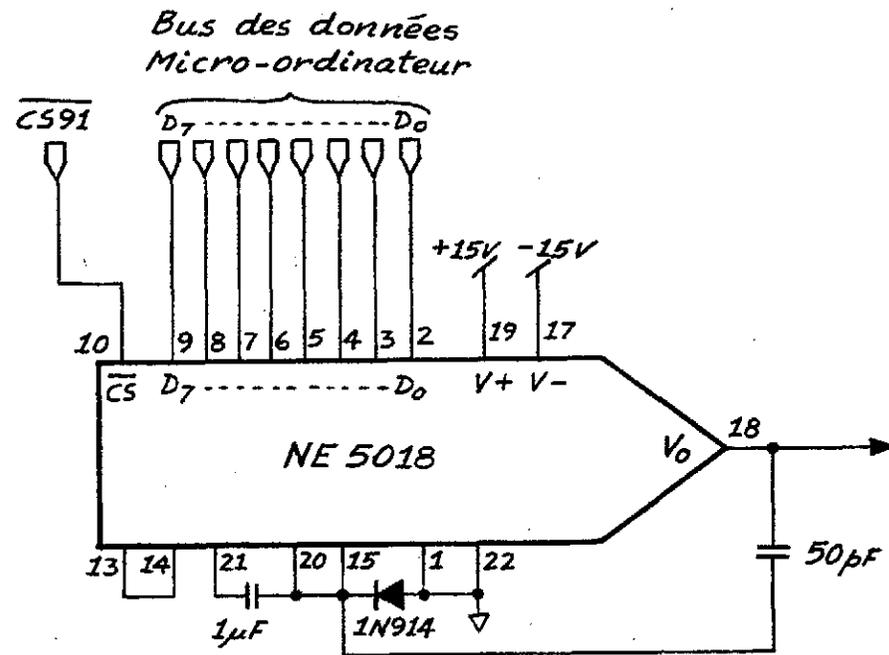


Fig. 3.12- Convertisseur numérique-analogique

RÉFÉRENCE de TENSION -10V

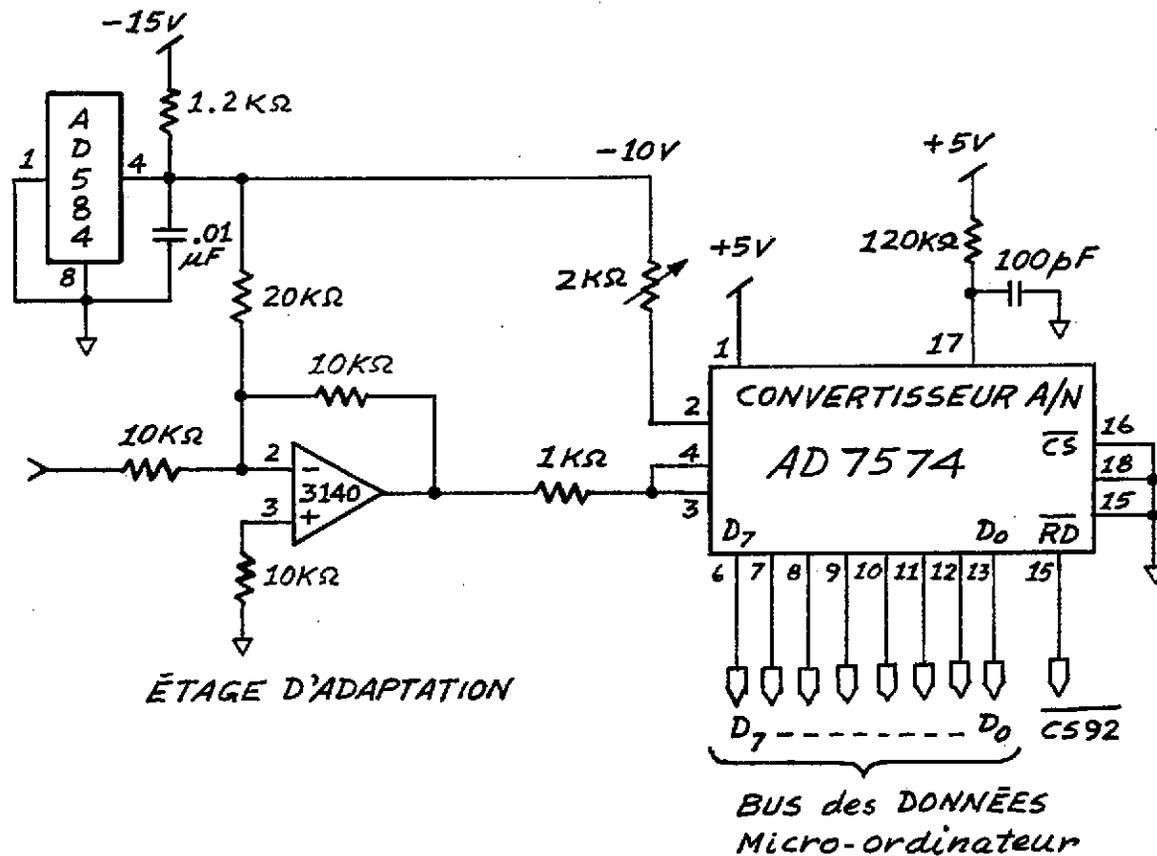


Fig. 3.13- Conversion analogique-numérique

Pour effectuer la conversion, le convertisseur utilise la méthode d'approximation successive qui prend environ 15 microsecondes pour s'effectuer. Etant donné la rapidité de la conversion et les basses fréquences rencontrées à la sortie du filtre (moins de 70 Hz) il n'est pas nécessaire d'utiliser un échantillonneur-bloqueur. La précision du convertisseur est de 39 mVolts étant donné qu'il est de 8 bits et que sa plage dynamique est de 0-10 Volts. Le fait d'utiliser un amplificateur à gain variable a comme effet d'augmenter beaucoup cette plage dynamique. Si le gain maximum était conservé pour tout les signaux et que les amplificateurs pouvaient générer ces tensions, la plage dynamique serait théoriquement de 0-10000 Volts. Le convertisseur est câblé de façon à ce qu'il commence une conversion aussitôt après qu'il soit adressé. La stabilité de la mesure est assurée par une référence de tension compensée pour les variations de température et d'alimentation.

Le signal électrique est maintenant mis sous une forme compréhensible par l'ordinateur. La programmation prend à partir d'ici la relève des circuits et effectue les calculs à partir des échantillons fournis par le convertisseur.

E. Unité de contrôle

L'appareil se compose de deux parties principales. La première partie est une carte de circuits contenant tous les circuits décrits auparavant. La seconde partie consiste en un micro-ordinateur pré-assemblé. Les deux parties communiquent par l'entremise d'un module d'expansion. Ce qu'on appelle unité de contrôle est constitué principalement du micro-ordinateur mais quelques circuits sont également présents sur la carte construite. En plus des amplificateurs de ligne (buffer) qui sont toujours nécessaires on retrouve le décodeur d'adresse qui sélectionne les périphériques utilisés par l'unité de traitement et également un port d'entrée-sortie qui contrôle le gain de l'amplificateur (fig. 3.14).

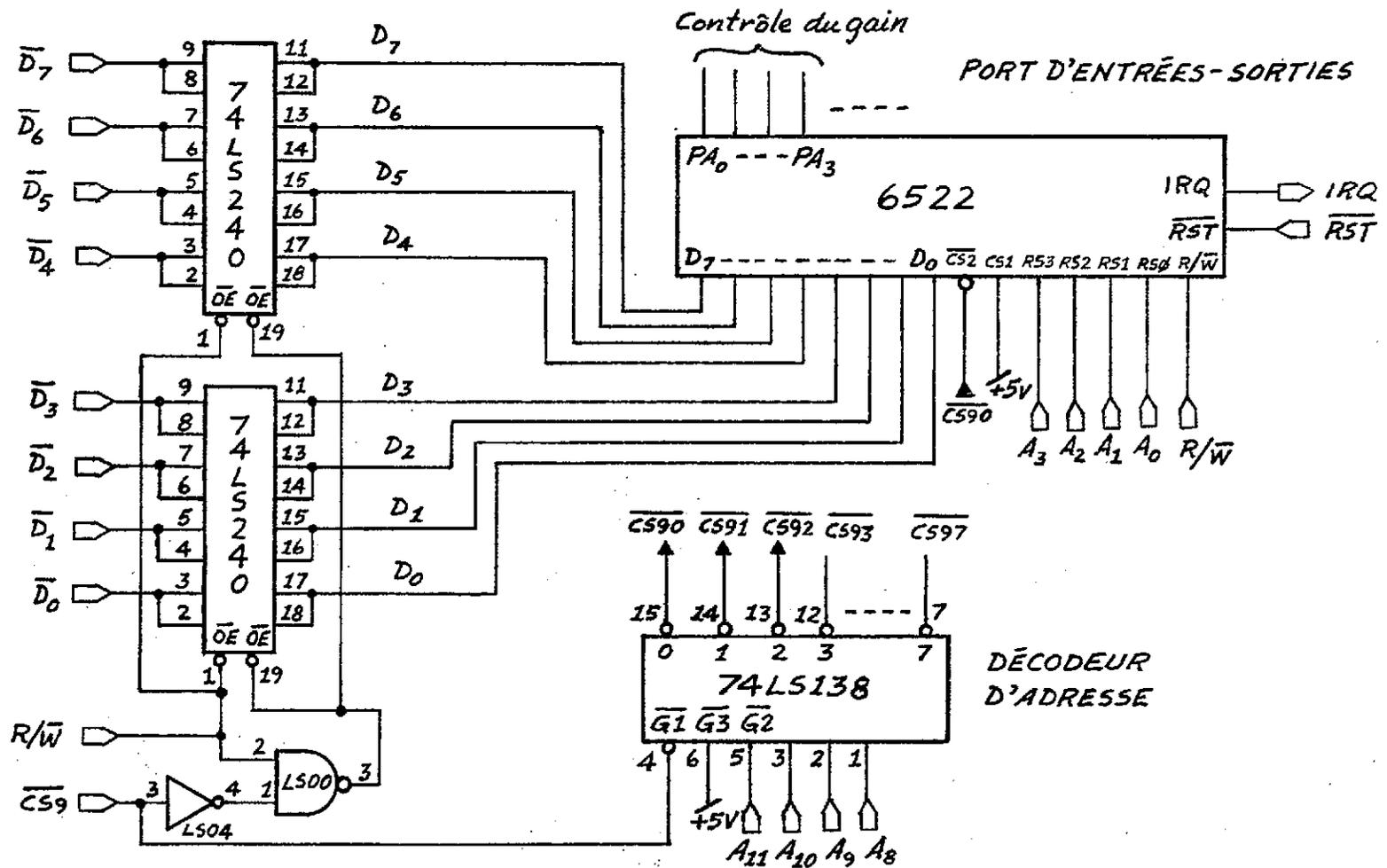


Fig. 3.14- Circuits auxiliaires

Le micro-ordinateur utilisé est un AIM-65 fabriqué par la compagnie Rockwell International. Il est basé sur un microprocesseur 6502 et a les caractéristiques suivantes: 4K octets de mémoires vives (RAM), un affichage alphanumérique de 20 caractères, une imprimante thermique de même largeur, un clavier de 63 touches, une interface pour magnétophone et une interface sérielle pour terminal. Les programmes fournis avec l'appareil sont un moniteur de 8K octets avec éditeur de texte et mini-assembleur, un assembleur de 4K octets et un interpréteur de langage BASIC de 8K octets. Le tout forme un système facile d'emploi et d'une grande souplesse. Le module d'expansion facilite grandement les possibilités d'addition d'éléments nouveaux. Les caractéristiques de ce micro-ordinateur sont détaillées dans l'appendice B.

F. Résumé des caractéristiques de chaque section

-optique:-isole une surface de 1,41 mm de diamètre sur l'écran
-distance de travail 45 mm

-photocellule:

-convertie la lumière transmise par l'optique en signal électrique
-sensibilité aux couleurs semblable à l'oeil
-réponse en fréquence du type filtre passe-bas avec une fréquence de coupure de 2 Hz

-préamplificateur:

-amplifie le signal avant de le transmettre à l'unité de traitement
-minimise les problèmes de bruit

-amplificateur à gain variable:

-gain variant discrètement : 1X, 10X, 100X, 1000X
-gain contrôlé par l'unité de traitement

-filtre:

- type passe-bas avec résonance à 13 Hz
- atténuation de 100 db/décade après la résonance
- facteur de surtension de 5

-convertisseur numérique-analogique:

- annule le niveau continu à la sortie des amplificateurs
- 8 bits, génère 256 niveaux de 39 mV entre 0-10 Volts

-convertisseur analogique-numérique:

- convertie le signal sous une forme compatible avec l'ordinateur
- 8 bits, convertie 256 niveaux de 39 mV entre 0-10 Volts

-unité de traitement:

- effectue les calculs et assure le contrôle
- 4K RAM, 20K ROM: BASIC, Assembleur, Moniteur
- basé sur un microprocesseur 6502

G. Conclusion

Les différentes sections de l'appareil ont été décrites et leur utilisation justifiée. On trouve à l'appendice C un plan électrique global de l'appareil. En résumé, on retiendra que l'ensemble cherche à simuler le mieux possible l'oeil humain. La partie optique s'occupe de l'acuité visuelle, le senseur de la sensibilité aux couleurs, le filtre de la réponse temporelle et les autres circuits servant à lier le tout. Finalement le programme décrit au chapitre 6 s'occupe de la non-linéarité et donne des mesures de la qualité de l'image.

CHAPITRE IV

Tests subjectifs

A. Introduction

L'appareil décrit jusqu'à maintenant simule l'oeil et effectue des mesures de bruit sur un écran de télévision. Les mesures qu'effectuent l'appareil doivent subir un certain nombre de transformations avant de donner une mesure de qualité semblable à l'homme. Ces transformations sont expliquées en détail au chapitre 6. C'est dans le but de préciser le genre de transformation qui doivent être effectuée que les tests subjectifs ont été effectués. Un test subjectif consiste à présenter à un certain nombre de personnes une série d'images sur un écran de télévision. Ces images sont plus ou moins dégradées par la présence de bruit de différents niveaux.

Pour chaque image présentée, on demande aux observateurs de porter un jugement personnel sur la qualité de l'image. Un barème typique consiste en des qualificatifs du genre excellente, bonne, moyenne, passable, mauvaise. En accordant une valeur de 5 à une image jugée excellente et 1 pour une mauvaise, puis en moyennant sur l'ensemble des observateurs on obtient une valeur numérique sur la qualité de l'image tel que perçue par des observateurs humains. C'est exactement cette valeur numérique que l'on cherche à obtenir à partir des mesures effectuées par l'appareil. Pour ce faire, des tests subjectifs doivent être effectués de façon à connaître la relation entre la mesure de l'appareil et le jugement humain et par après être capable de simuler ce jugement. C'est à dire transformer la mesure

obtenue par l'appareil (écart-type du bruit) en facteur de qualité.

B. Enregistrement des tests

B.1. Images utilisées

Etant donné que la présentation des images dégradées doit être répétée souvent afin d'avoir un nombre suffisant de jugements pour une image, un ruban magnétoscopique a été préparé contenant la séquence d'images désirées. Les images de base utilisées pour effectuer l'enregistrement sont 4 images utilisées de façon traditionnelle pour effectuer ce genre de test (fig. 4.1a). Ces images sont utilisées parce que les dégradations apparaissent plus rapidement avec celles-ci. Ainsi une des images a de grandes zones uniformes, une autre compte beaucoup de détails, une autre a des couleurs vives, etc. Ces images sont disponibles sur un ruban magnétoscopique.

B.2. Types de bruit utilisés

B.2.a. Bruit blanc

Deux types de bruit ont été utilisés au cours de ces tests subjectifs. Le premier est un bruit thermique avec une densité spectrale uniforme. Ce bruit est présent à tous les niveaux dans la transmission de l'image et plus particulièrement dans les circuits à tubes ou à transistors.



Fig. 4.1- a) Images types

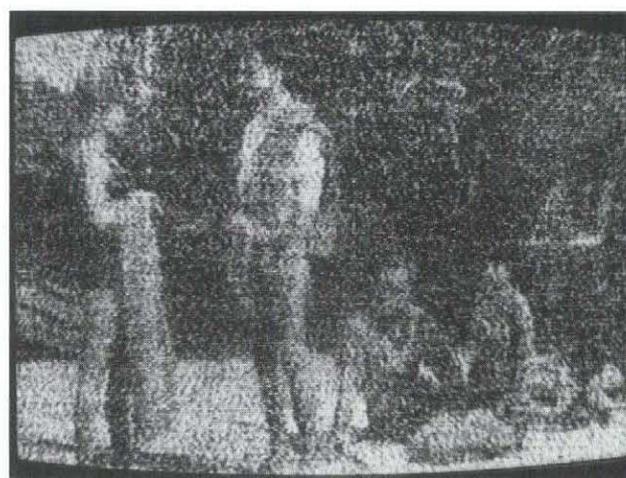


Fig. 4.1- b) Images dégradées par le bruit

B.2.b. Bruit triangulaire

Le second type de bruit est du type triangulaire, c'est-à-dire que sa densité spectrale de puissance augmente avec le carré de la fréquence. Ce bruit est généré principalement dans les liens radio utilisant la modulation de fréquence, comme par exemple le lien entre le studio et l'antenne émettrice. Par contre les circuits d'accentuation et de désaccentuation (pre-emphasis, de-emphasis) viennent atténuer ce problème. En général, le bruit que l'on retrouve au téléviseur après que le signal est franchi différents moyens de transmission est situé entre le type uniforme et triangulaire. En utilisant les deux extrêmes il est possible d'interpoler les résultats pour avoir des résultats pour des bruits intermédiaires.

B.3. Génération du bruit

Pour générer ces bruits on utilise un générateur de bruit à large bande suivi d'amplificateurs et d'un atténuateur pour pouvoir varier aisément la puissance du bruit. Le spectre de puissance de ce bruit est uniforme; pour obtenir le bruit triangulaire on ajoute un filtre passe-haut du deuxième ordre qui approxime bien pour les fréquences utilisées une augmentation du bruit avec le carré de la fréquence. On trouve à l'appendice D le détail de sa réalisation.

B.4. Montage pour l'enregistrement

La figure 4.2 indique comment l'enregistrement a été effectué. D'une part on retrouve le générateur de bruit, les amplificateurs, le filtre lorsque nécessaire et l'atténuateur qui donne une puissance de bruit maximum de -63 dbm (sans filtre). D'autre part on a un magnétoscope avec l'enregistrement des images de base. Le signal vidéo est alors modulé MA sur une porteuse de 62 MHz (canal 3) par le modulateur présent dans le magnétoscope et est ensuite amplifié pour avoir la porteuse vidéo à -20 dbm. Cette amplification a été rendue nécessaire pour avoir une image

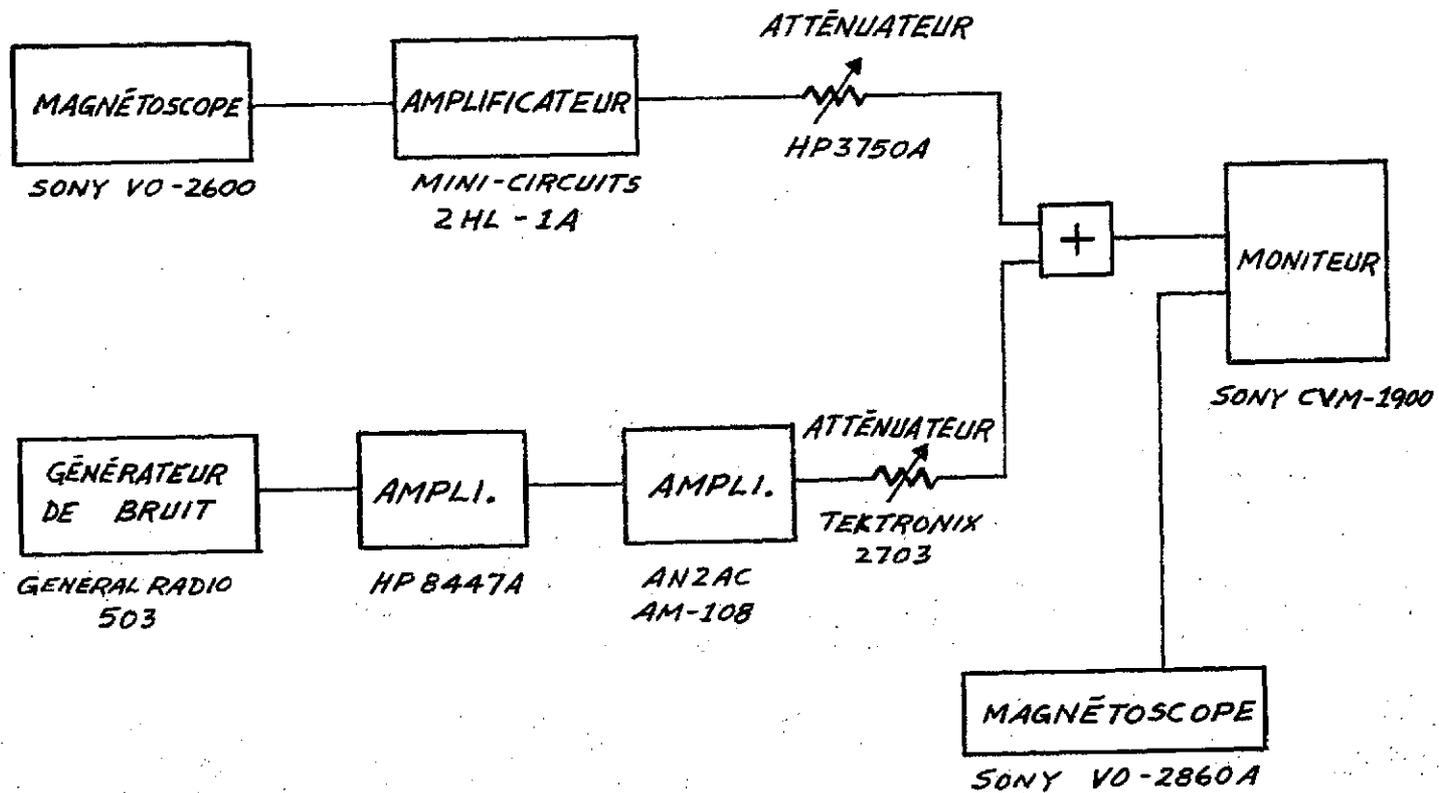


Fig. 4.2- Montage pour l'enregistrement

presqu'idéale lorsque le bruit qu'on ajoute est enlevé. Le bruit et le signal de télévision sont ensuite combinés et envoyés au moniteur de contrôle. Celui-ci nous fournit le signal vidéo démodulé qui est alors enregistré sur un deuxième magnétoscope. L'enregistrement résultant est celui qui est utilisé pour les tests subjectifs. Pour vérifier les niveaux de bruit et de porteuse, on utilise un analyseur de spectre branché à la place du moniteur de contrôle.

B.5. Séquence de présentation des images

Le choix de l'ordre de présentation des images avec diverses dégradations a été effectué au hasard avec la seule restriction qu'on ne présente pas deux fois de suite la même image. En effet on répète la même image dans l'expérience pour d'abord avoir un plus grand échantillonnage d'opinions et pour minimiser l'effet de l'ordre de présentation. Celui-ci est donné au tableau 4.1 avec l'image présentée, le type de bruit et le rapport puissance de porteuse à puissance de bruit à la fréquence de la porteuse. La figure 4.1b donne quelques exemples des images utilisées.

Pour chaque image on a la séquence suivante. On présente tout d'abord l'image sans dégradation pendant 7 secondes, suivi pendant 5 secondes d'un écran gris (absence d'image). L'image dégradée est ensuite montrée pendant 15 secondes. Un temps mort de 10 seconde est placé avant qu'on ne recommence pour la prochaine image. On utilise encore une fois l'écran gris pendant cette période. Cette procédure est la plus utilisée pour la réalisation de tests subjectifs car elle permet d'obtenir des résultats plus constants étant donné que la référence est présentée (18). Pour guider les observateurs lors des tests, une trame sonore annonçant le numéro de l'image présentée est enregistrée.

TABLEAU 4.1- Séquence de présentation pour les tests subjectifs

<u>Image</u>	<u>S/B (dB)</u>	<u>Type de bruit</u>	<u>Sujet</u>
1	60	Triangulaire	Fille
2	79	Blanc	Groupe
3	69	Blanc	Maquillage
4	39	Triangulaire	Fruits
5	70	Triangulaire	Maquillage
6	114	Blanc	Fille
7	64	Blanc	Groupe
8	59	Blanc	Fille
9	89	Blanc	Fruits
10	69	Blanc	Maquillage
11	59	Blanc	Fille
12	44	Blanc	Groupe
13	70	Triangulaire	Maquillage
14	50	Triangulaire	Fille
15	50	Triangulaire	Fruits
16	74	Blanc	Fille
17	80	Triangulaire	Groupe
18	49	Blanc	Fille
19	79	Blanc	Groupe
20	75	Triangulaire	Maquillage
21	57	Triangulaire	Fruits
22	80	Triangulaire	Groupe
23	85	Triangulaire	Maquillage
24	65	Triangulaire	Fruits
25	57	Triangulaire	Fruits
26	55	Triangulaire	Maquillage
27	49	Blanc	Fille
28	95	Triangulaire	Groupe
29	60	Triangulaire	Fille
30	54	Blanc	Maquillage
31	74	Blanc	Fille

TABLEAU 4.1- Séquence de présentation pour les tests subjectifs (suite)

<u>Image</u>	<u>S/B (dB)</u>	<u>Type de bruit</u>	<u>Sujet</u>
32	89	Blanc	Fruits
33	44	Blanc	Groupe
34	50	Triangulaire	Fille
35	75	Triangulaire	Maquillage
36	64	Blanc	Groupe
37	114	Blanc	Fille
38	95	Triangulaire	Groupe
39	65	Triangulaire	Fruits
40	54	Blanc	Maquillage

B.6. Test supplémentaire

Les résultats obtenus avec ces tests subjectifs sont donnés un peu plus loin. Ils indiquent cependant que les images dégradées par du bruit triangulaire n'étaient pas suffisamment "mauvaise". En effet pour la réalisation de tests subjectifs on cherche à obtenir une moyenne générale sur l'ensemble des images présentées qui soit "image acceptable". Cet objectif a été atteint pour les images avec du bruit blanc mais celles avec le bruit triangulaire ont plutôt eu une moyenne de "bonne". On peut expliquer cela par le fait que le filtre utilisé pour simuler le bruit triangulaire a une perte par insertion qui vient diminuer le niveau de bruit maximum que génère l'équipement.

On a donc voulu reprendre le test avec cette fois-ci davantage de bruit triangulaire mais on s'est aperçu lors de l'enregistrement que le magnétoscope perdait son synchronisme pour les niveaux de bruit qui étaient utilisés alors. Aussi a-t-on été forcé de réaliser ces tests directement, c'est-à-dire sans réaliser d'enregistrement. Etant donné que les manipulations devaient être reprise pour chaque groupe, l'échantillonnage a été considérablement réduit de même que le nombre d'images présentées. Le tableau 4.2 donne les images utilisées pour ce second test.

C. Procédure de test

C.1. Contrôle des paramètres

La procédure et le contrôle des paramètres affectant le test subjectif sont effectués selon la procédure recommandée par le CCIR (19). Le visionnement des images est effectué par groupe maximum de 5 personnes et leur disposition dans la pièce est donné à la figure 4.3. Ces personnes sont non-expertes, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas d'expérience dans ce genre de test et n'ont subi aucun entraînement particulier. La distance de visionnement varie entre 4 à 6 fois la hauteur de l'écran. Le téléviseur utilisé pour la présentation des images est un moniteur de

TABLEAU 4.2- Séquence de présentation pour test complémentaire

<u>Image</u>	<u>S/B (dB)</u>	<u>Type de bruit</u>	<u>Sujet</u>
1	53	Triangulaire	Fille
2	45	Triangulaire	Fruits
3	95	Triangulaire	Groupe
4	50	Triangulaire	Fruits
5	45	Triangulaire	Maquillage
6	35	Triangulaire	Groupe
7	53	Triangulaire	Fille
8	40	Triangulaire	Maquillage
9	35	Triangulaire	Groupe
10	95	Triangulaire	Maquillage
11	50	Triangulaire	Fruits
12	40	Triangulaire	Maquillage

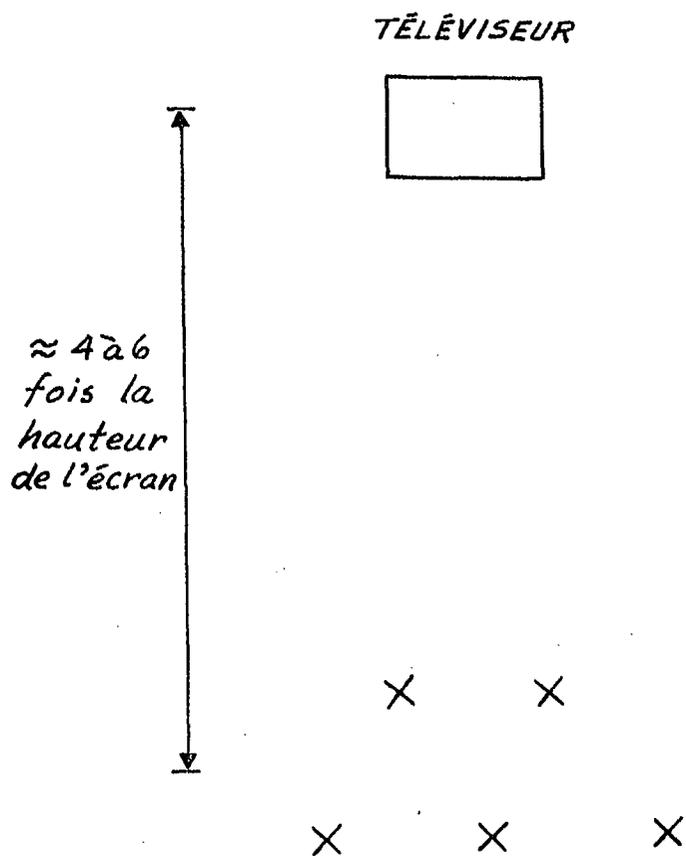


Fig. 4.3- Disposition des observateurs

télévision de bonne qualité dont les ajustements couleurs sont normaux et la luminance maximum de l'écran ajustée pour avoir 70 plus ou moins 10 cd/m-carré. La luminance du tube écran est inférieur à 0,02 cd/m-carré en l'absence de signal vidéo et l'éclairage ambiant de la pièce est faible.

C.2. Barème d'évaluation

Pour chaque image présentée, les observateurs doivent porter un jugement sur la qualité de l'image. Pour ce faire on leur fournit une feuille qui leur permet d'indiquer leur jugement. La figure 4.4 montre la feuille employée. L'image peut être jugée selon 5 qualificatifs allant d'excellente à mauvaise. Pour aider l'observateur dans sa décision, de brèves descriptions sont données uniquement à titre indicatif.

C.3. Déroulement type d'un test subjectif

Les observateurs s'assoient et on leur donne les feuilles d'évaluation. On leur explique brièvement ce qu'on leur demande de faire puis on leur présente des images avec le type de dégradation qui sera présent dans les images du test. Cependant on ne leur présente pas les mêmes images qui sont dans le test. Lorsque les images préalables sont montrées aucune indication n'est faite sur la note que devrait avoir ces images. Le test proprement dit commence immédiatement après qu'on ait répondu aux questions possibles des observateurs. Le temps global du test et du préambule ne dépasse pas 30 minutes.

D. Résultats des tests subjectifs

La distribution du jugement des observateurs pour chaque image présentée est donnée aux figures 4.5, 4.6, 4.7. En attribuant une note de 5 pour une image jugée excellente, 4 pour bonne, 3 pour passable, 2 pour médiocre et 1 pour une image mauvaise on calcule sur l'ensemble des

EVALUATION de la QUALITE d'IMAGES

Expérience: _____ Observateur: _____

Excellente: l'image est de très haute qualité, aussi bonne que l'on puisse désirer.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40

Bonne: l'image est de bonne qualité; l'interférence est perceptible.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40

Passable: l'image est de qualité acceptable; l'interférence est quelque peu désagréable.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40

Médiocre: l'image est mauvaise mais encore observable.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40

Mauvaise: l'image est mauvaise; elle est difficilement observable.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40

Fig. 4. 4- Formulaire de jugement

observateurs le jugement moyen Q (ou facteur de Qualité) pour une image. Si on trace maintenant la relation entre Q et le rapport signal au bruit de l'image présentée on obtient les figures 4.8, 4.9, 4.10. Comme le test supplémentaire est une suite aux tests avec bruit triangulaire, la combinaison des résultats donne la figure 4.11.

A partir de ces courbes, on peut faire les observations suivantes:

-Pour les rapports signal au bruit (S/B) élevés, le jugement moyen est constant. C'est-à-dire qu'une augmentation du S/B n'entraîne pas une amélioration de l'image.

-Même quand le S/B est très élevé, le jugement moyen n'atteint pas le maximum possible ($Q=5$). La principale cause de ce fait est la présence d'une dégradation d'image résiduelle causée par la non-perfection des équipements utilisés pour effectuer les tests. Une des principales sources de dégradation résiduelle sont les magnétoscopes utilisés pour l'enregistrement et la reproduction des images.

-On note une plus grande disparité des points autour de la courbe lorsque le S/B est élevé. Ces variations sont sans doute dues qu'à ce moment le contenu même de l'image affecte le jugement. Ce phénomène disparaît lorsque le S/B diminue.

-Lorsque le S/B est moyen la relation entre le jugement Q et le S/B est linéaire.

-On atteint un second plateau lorsque le S/B est faible. A ces niveaux la dégradation de l'image est très importante et l'image ne peut être que mauvaise même si on augmente le bruit.

-Le passage est graduel entre les différentes sections de la courbe.

-Si on compare les résultats du test avec bruit blanc et du test avec bruit triangulaire on constate que le bruit triangulaire affecte davantage la qualité de l'image pour une même puissance. On note également une légère différence dans la pente des courbes.

E. Conclusion

La procédure utilisée pour réaliser les tests subjectifs a été décrite. La relation entre le rapport signal au bruit (S/B) et le jugement moyen Q est approximativement linéaire sur une certaine plage puis devient une constante de part et d'autre de cette plage. Le bruit triangulaire dégrade davantage l'image que ne le fait le bruit blanc (uniforme). Les résultats obtenus avec les tests subjectifs vont permettre de déterminer les transformations qui doivent être effectuées aux mesures de l'appareil.

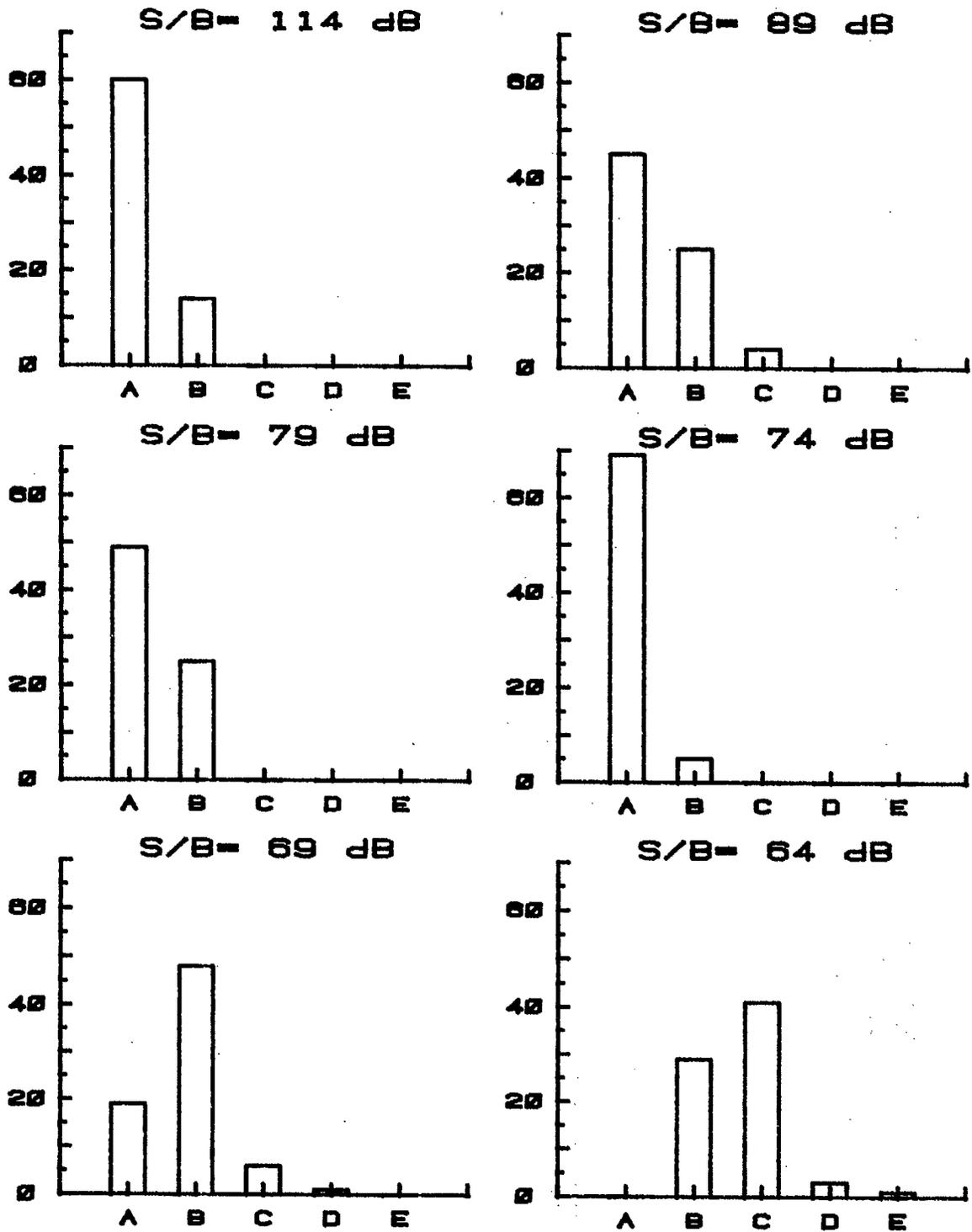


Fig. 4. 5. Distribution du jugement
Bruit blanc

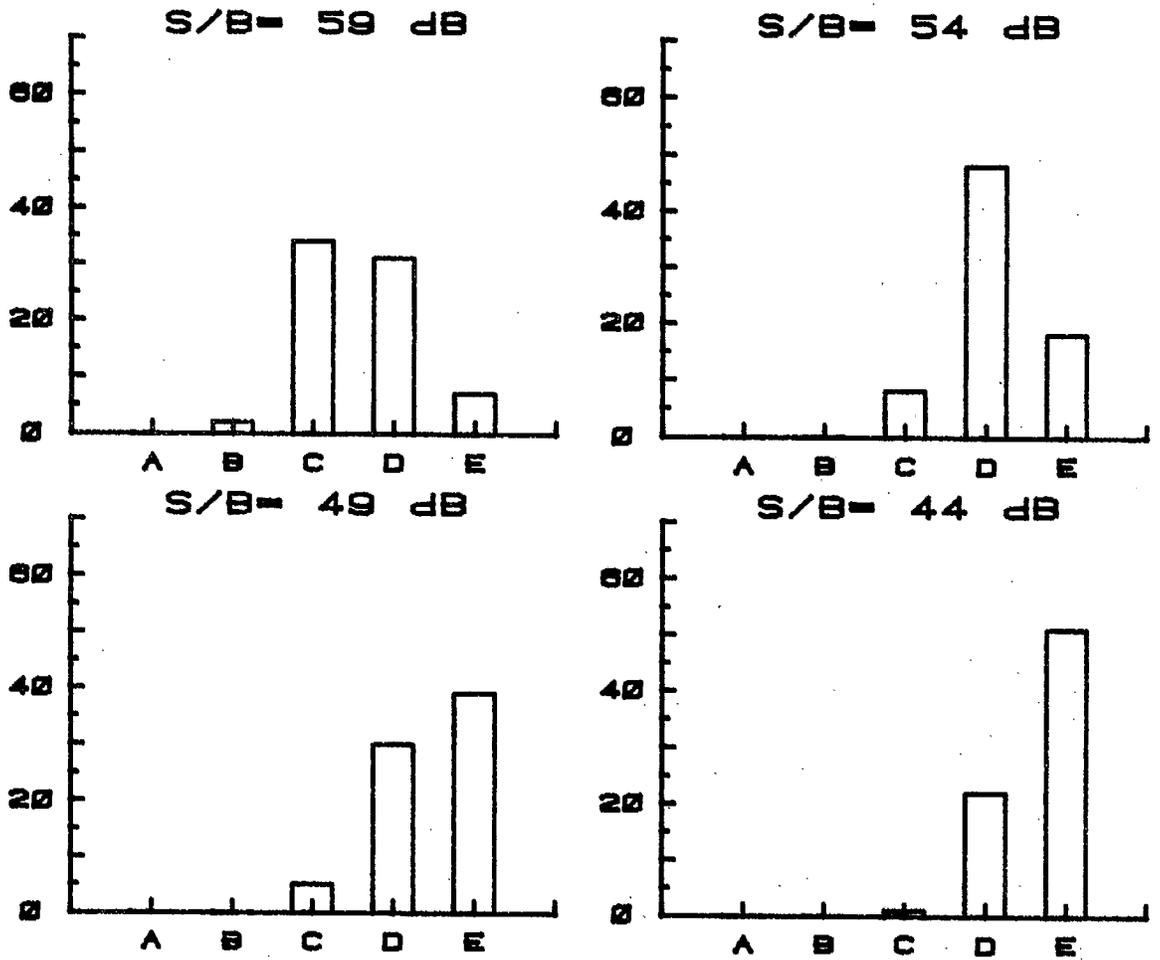


Fig. 4. 5- (cont.)

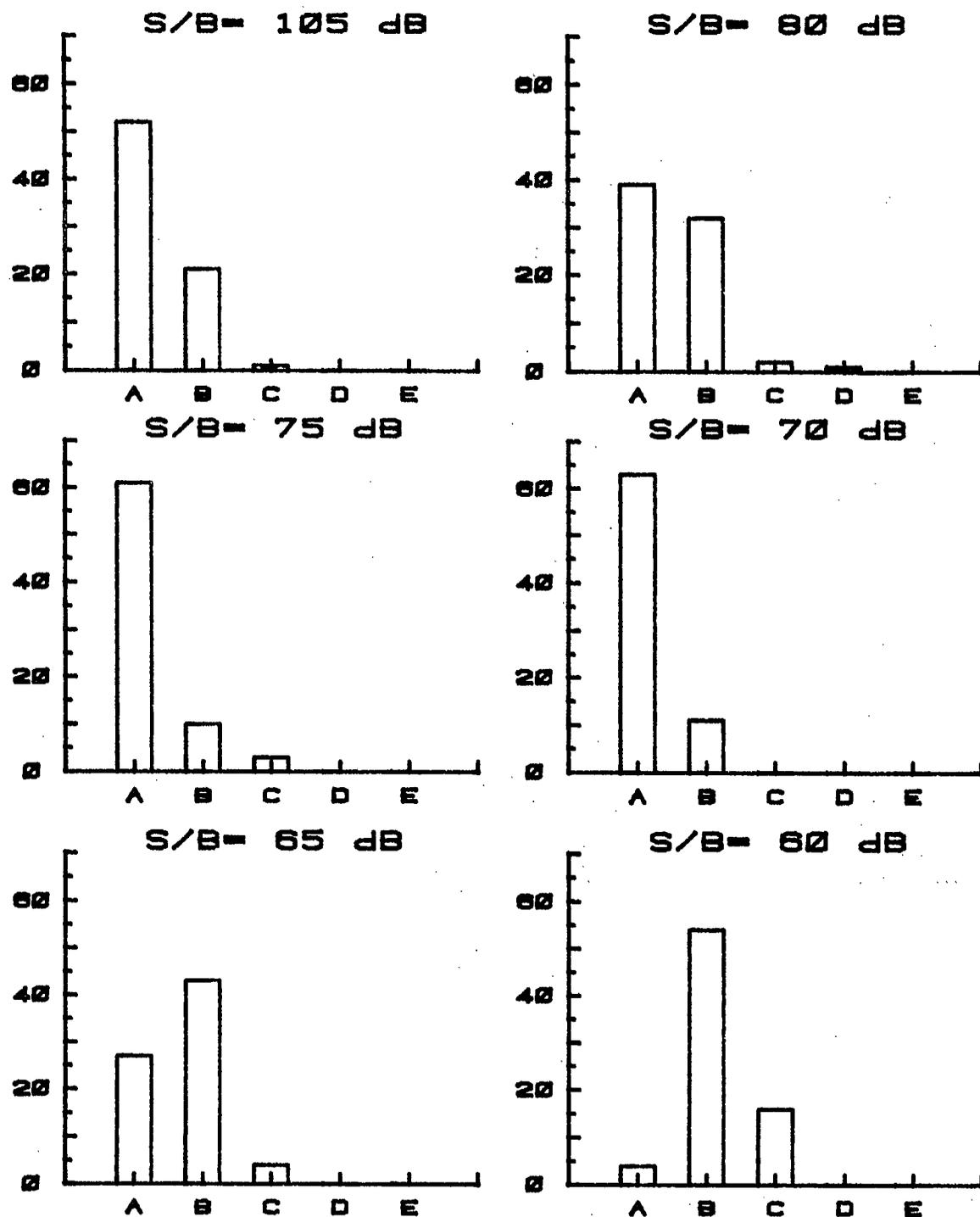


Fig. 4. 6-Distribution du jugement
Bruit triangulaire

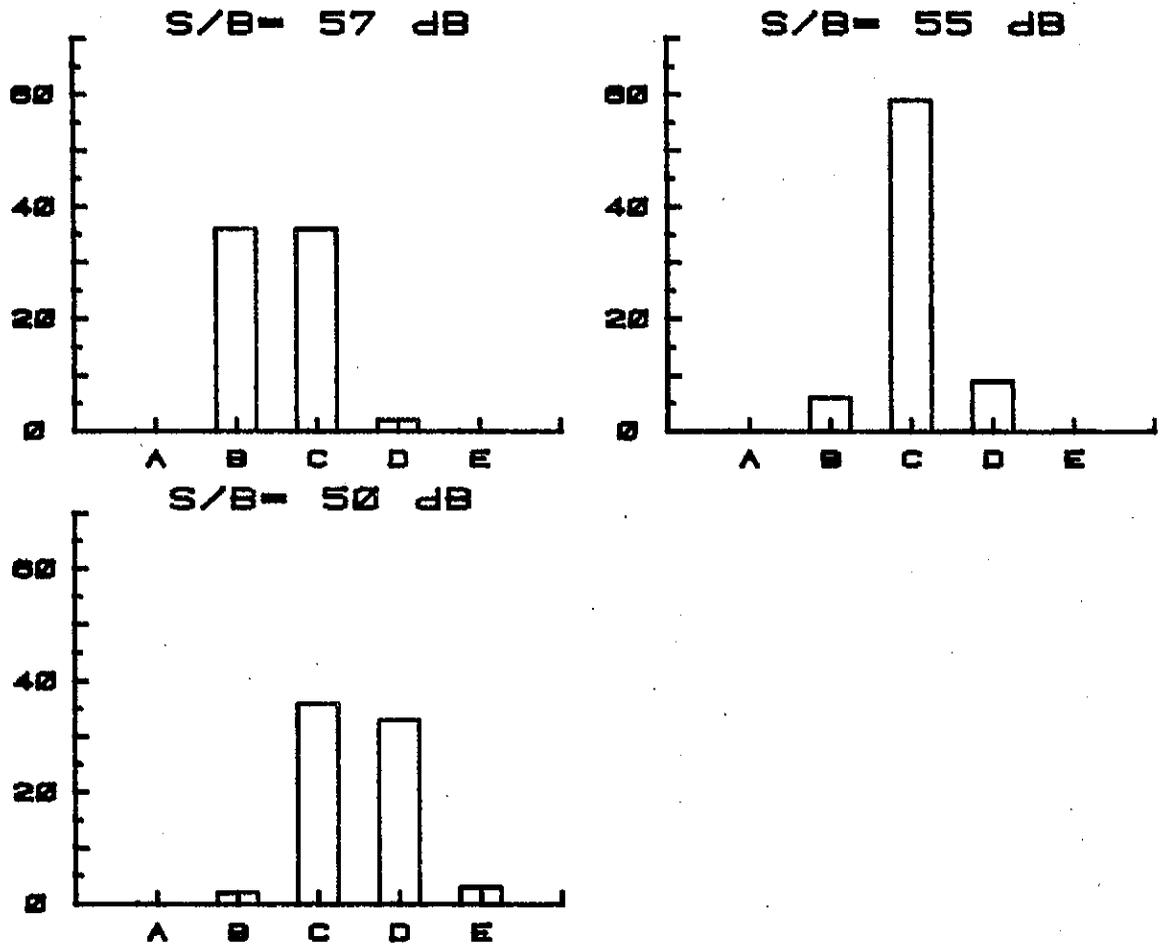


Fig. 4. 6- (suite)

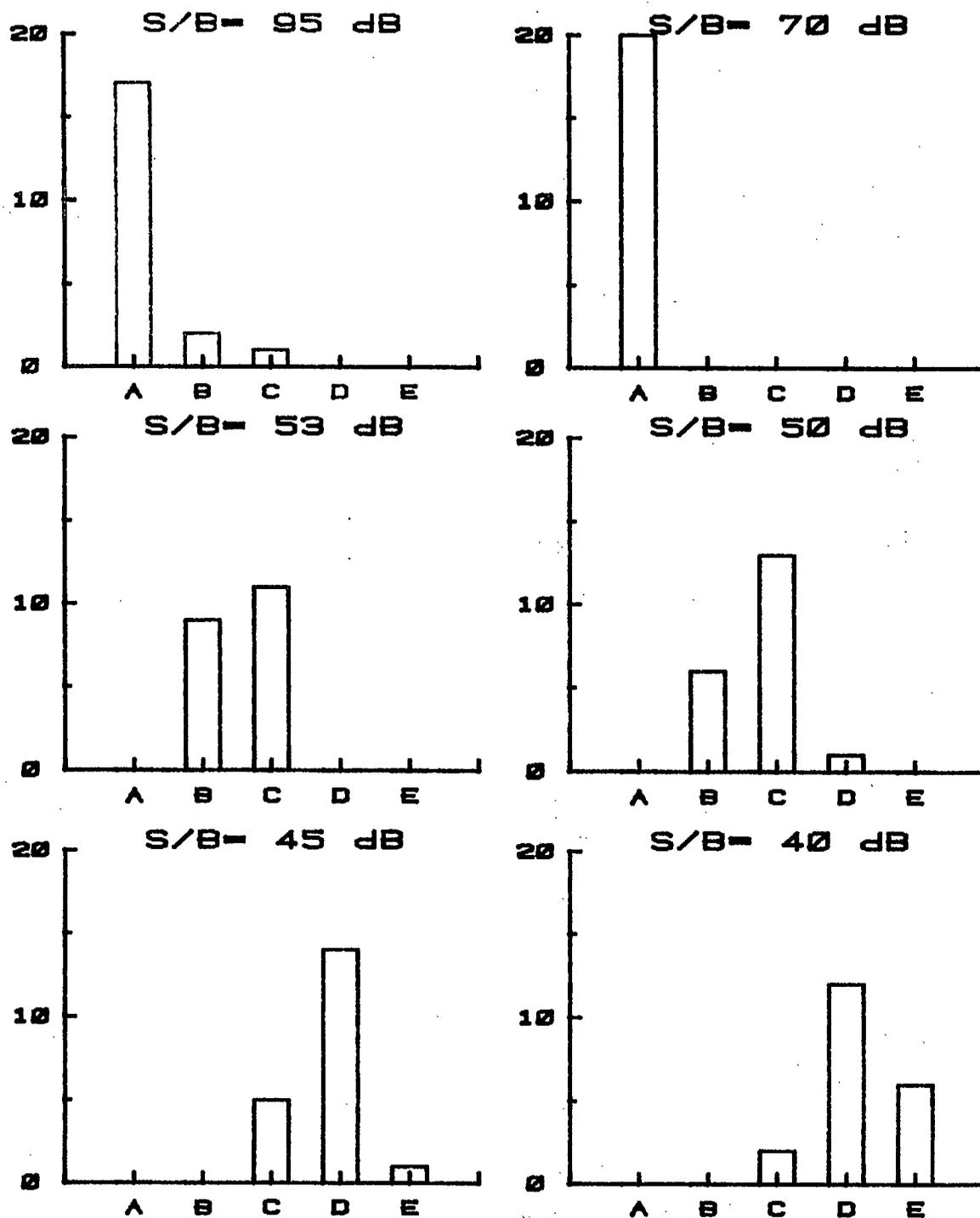


Fig. 4. 7-Distribution du jugement
Test complémentaire

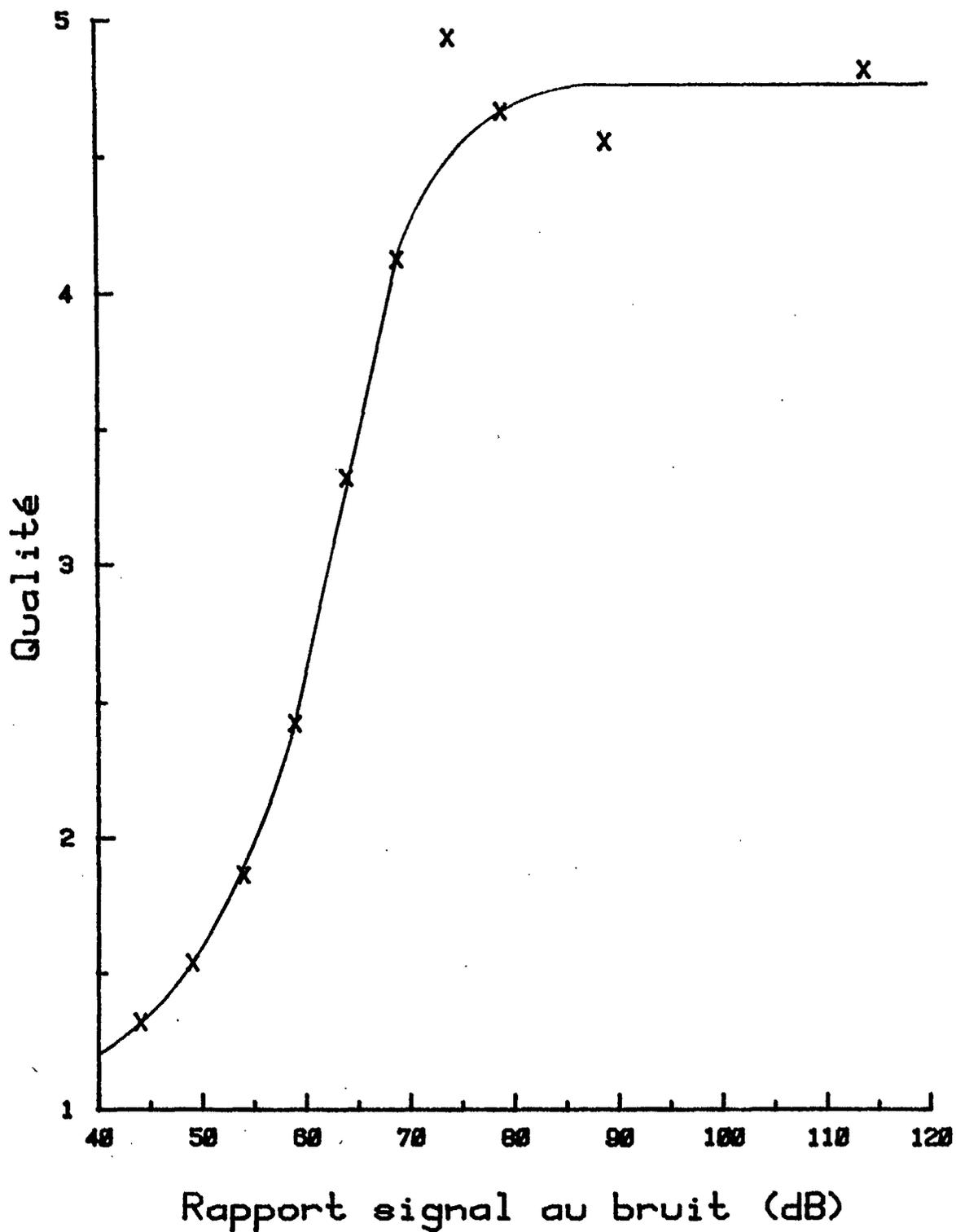


Fig. 4.8- Résultats de tests subjectifs
Bruit blanc

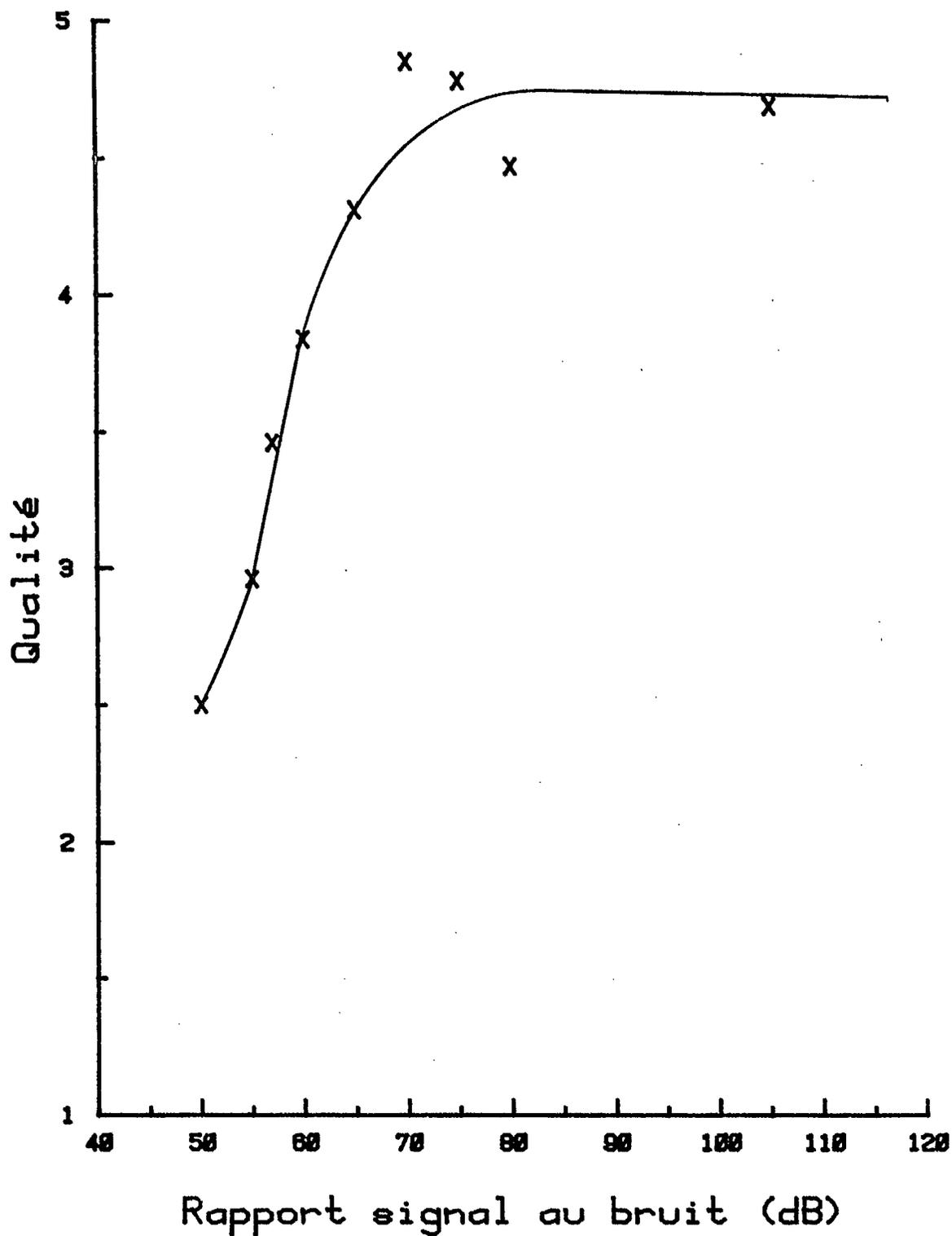


Fig. 4.9- Résultats de tests subjectifs
Bruit triangulaire (test 1)

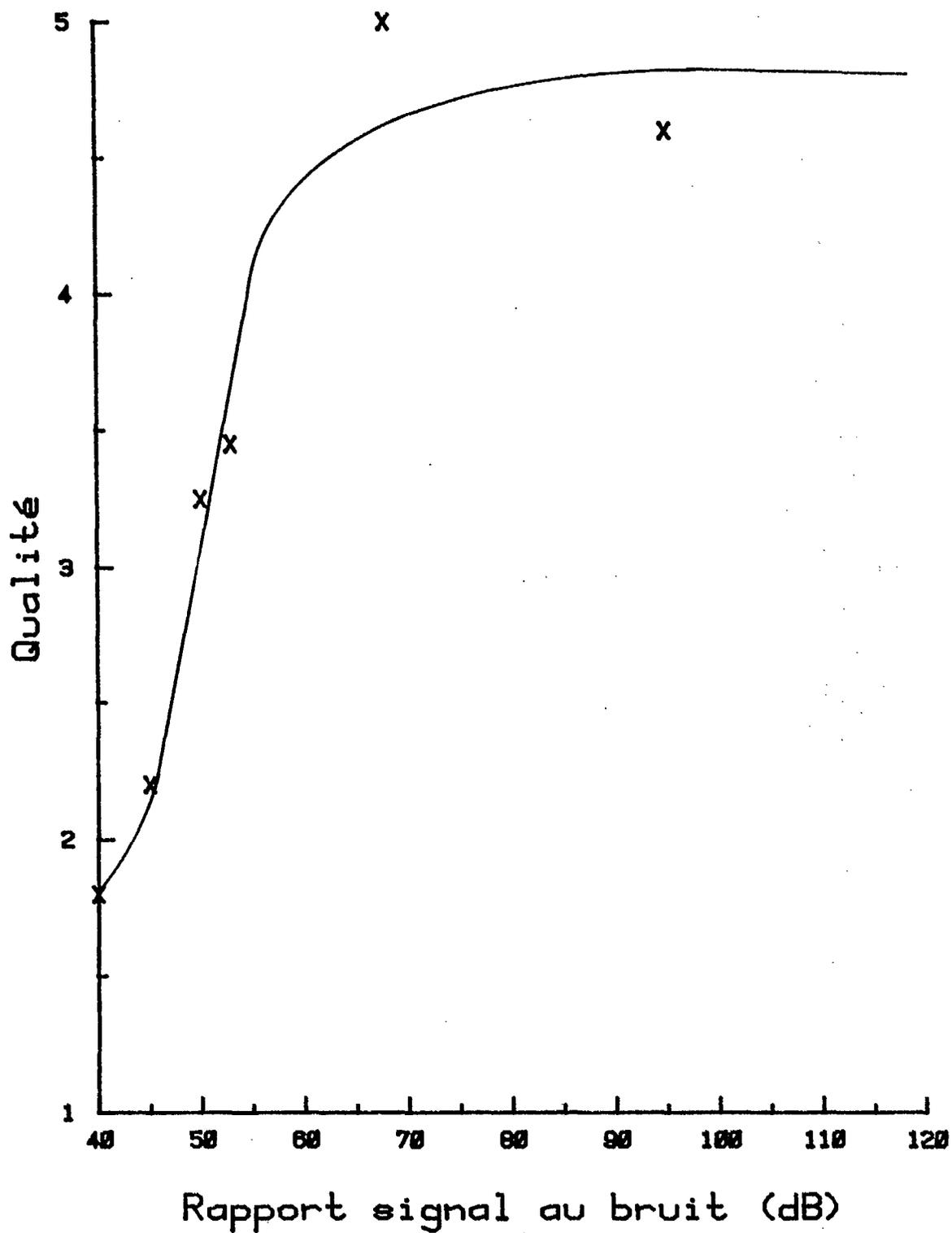


Fig. 4. 10- Résultats de tests subjectifs
Bruit triangulaire (test 2)

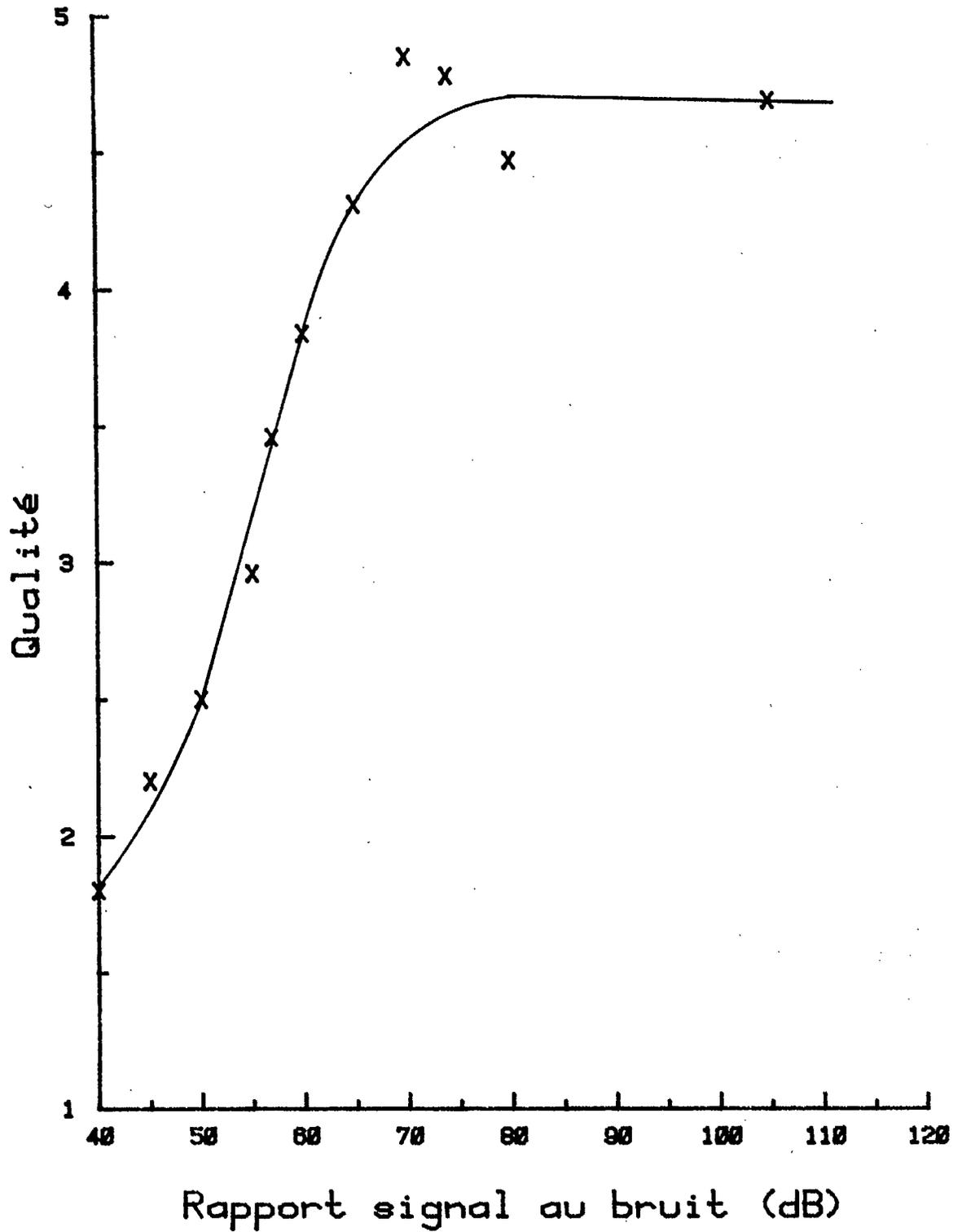


Fig. 4.11- Résultats de tests subjectifs
Bruit triangulaire (courbe globale)

CHAPITRE V

Logiciel de contrôle

A. Introduction

Les différents circuits constituant l'appareil ont été vus au chapitre 3. Un système optique isole sur l'écran une surface et transfère la lumière de celle-ci sur un senseur photoélectrique. Le signal électrique qui en sort est amplifié, filtré, puis converti sous forme numérique. Dans ce chapitre, la programmation et le déroulement des opérations sont couverts. Essentiellement le programme effectue les ajustements nécessaires tel gain et compensation du zéro, puis effectue un échantillonnage rapide du signal pour en calculer la moyenne et surtout l'écart-type. Au chapitre 6 on voit comment cet écart-type peut être utilisé pour déterminer la qualité de l'image.

B. Echantillonnage

Le signal que l'on doit échantillonner est essentiellement un niveau continu auquel se superpose une variation aléatoire d'amplitude due au bruit. Le spectre de ce signal est en pratique la réponse en fréquence du système (fig 3.11). On note sur ce graphique que la fréquence maximale ayant une amplitude détectable par l'appareil est de 60 Hz. Afin d'éviter tout replant du spectre avec un échantillonnage trop lent, on choisit la fréquence minimum de celui-ci comme étant 120 Hz soit la fréquence de Nyquist.

Pour calculer le nombre d'échantillons qui doivent être pris pour avoir une certaine précision dans les mesures, on doit avoir recours aux méthodes statistiques. Les échantillons qui sont pris servent essentiellement à calculer l'écart-type. Dans les calculs qui suivent on suppose que le niveau continu a été réduit à zéro et donc que la moyenne est nulle. Selon Bendat et Piersol (20), la variance (le carré de l'écart-type) peut être estimé par

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N (x_i)^2 \right)$$

où N est le nombre d'échantillons et x_i est un échantillon. En utilisant cette formule pour estimer la variance du signal qui peut être considérée comme un bruit blanc à bande limitée B à 60 Hz, l'erreur quadratique moyenne est:

$$E^2 = \frac{f_e}{B \times N}$$

où f_e est la fréquence d'échantillonnage et B la largeur de bande du signal analysé. Comme on a $f_e = 2B$ (section précédente) l'erreur est donnée par:

$$E^2 = \frac{2}{N}$$

On peut avec ce résultat calculer l'intervalle de confiance sur cette mesure. On utilise pour cela l'intervalle de confiance de 99% avec une distribution gaussienne étant donné que le nombre d'échantillon est grand. En supposant que $N=4000$, on trouve pour l'écart-type:

$$(1 - 2,58 \times E) \times \sigma_x^2 < \sigma_x^2 < (1 + 2,58 \times E) \times \sigma_x^2$$

$$(1 - 0,05769) \times \sigma_x^2 < \sigma_x^2 < (1 + 0,05769) \times \sigma_x^2$$

$$1,02844 \sigma_x < \sigma_x < 0,97156 \sigma_x$$

Donc avec un échantillonnage de 4000 on obtient une précision sur l'écart-type de + ou - 2.84% et ce 99% du temps. Comme toujours la taille de l'échantillon est un compromis entre la précision de la mesure et le temps nécessaire pour effectuer l'échantillonnage. Les calculs n'ont pas été fait avec 4000 sans raison car c'est la taille de l'échantillon qui est utilisé en pratique. Comme on l'a calculé, la précision de la mesure est bonne et le temps d'échantillonnage est d'environ de 30 secondes ce qui est un temps raisonnable d'attente pour obtenir une mesure de qualité si on compare aux journées que demandent les tests subjectifs.

C. Programmation

C.1. Introduction

Dans cette section, chaque section du programme est expliquée de même que son interaction possible avec les circuits. Les calculs et ajustements requis pour effectuer les mesures de qualité sont cependant décrits au chapitre 6.

La figure 5.1 donne l'organigramme général du programme utilisé. On a tout d'abord une initialisation des différentes variables du programme (&1). Un ajustement préalable des circuits extérieurs est ensuite effectué de façon à ce que l'appareil soit en mesure de fonctionner normalement (&2). On entre ensuite dans la boucle principale du programme. En (&3) les N échantillons sont pris et la moyenne et l'écart-type sont calculés simultanément. Après que les N échantillons soient pris, on teste des cases de mémoires pour vérifier la validité de la mesure (&4). En effet si le signal électrique converti est de trop grande amplitude ou si le niveau continu est modifié, on peut sortir de la plage dynamique du convertisseur

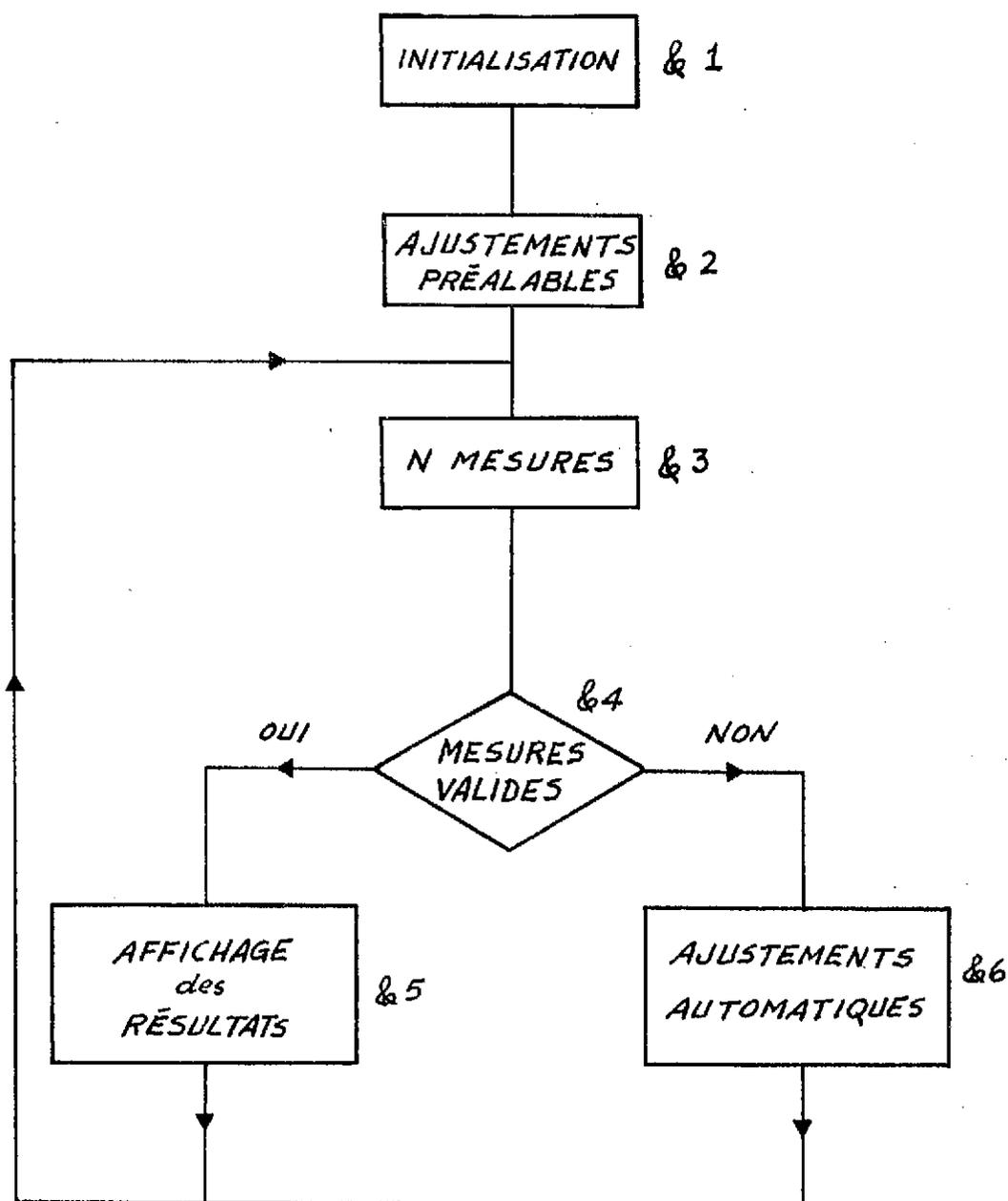


Fig. 5.1- Organigramme général

et avoir ainsi une erreur dans les mesures. Si le test s'avère négatif (pas de dépassement) les calculs sont effectués et les résultats sont affichés (&5). Si au contraire le test est positif, le programme va effectuer des ajustements aux circuits de façon à ce que le signal revienne dans les normes (&6).

C.2. Langages utilisés

La majeure partie du programme est écrit en langage BASIC. On retrouve à l'appendice E une description de ce langage. Les avantages d'employer un langage évolué pour le logiciel sont tout d'abord un gain appréciable en temps pour la mise au point des routines d'entrée-sortie et de calcul. On gagne également en temps pour la mise au point du programme étant donné la nature interactive du langage qui permet de corriger très rapidement les erreurs. La compréhension du programme est également facilitée puisque les différentes commandes du langage ressemblent à un texte en anglais.

Cependant le langage BASIC a le désavantage d'être relativement lent. Afin d'effectuer un échantillonnage rapide du signal électrique et en même temps calculer la moyenne et l'écart-type, il faut recourir au langage machine du microprocesseur. La communication entre les deux sections se fait par l'intermédiaire de commandes spéciales en BASIC et par l'utilisation de cases mémoires réservées.

C.3. Initialisation

Dans cette section du programme les différentes variables nécessaires sont initialisées de même que le périphérique qui contrôle le gain de l'amplificateur. On définit à la ligne 10 les variables qui sont utilisées lors de l'échantillonnage rapide. Elles sont placées à cet endroit de façon à maximiser la vitesse d'exécution de la ligne 1020 qui est la ligne où s'effectue l'échantillonnage et qu'il faut optimiser. A la ligne 20 et 30 on définit l'adresse décimale du convertisseur analogique-numérique

(AD) et numérique-analogique (DA). La ligne 40 va structurer le périphérique qui contrôle le gain de l'amplificateur en un port de sortie pour les 4 bits utilisés (fig. 3.14). Les lignes 50 et 60 initialisent le gain à sa valeur maximum. Le code utilisé est expliqué à la section C.8.

A la ligne 70 on vérifie si le code machine nécessaire au fonctionnement du programme a été mis en mémoire. On teste pour ce faire un octet du code machine. Si ce qui est lu ne correspond pas à la valeur prévue, le programme génère un message d'erreur et arrête. On définit l'adresse de départ du code machine aux lignes 80 et 90. Lorsque toutes ces opérations sont terminées, la ligne 100 indique que l'initialisation s'est bien déroulée. On définit aux lignes 110, 120 et 130 des fonctions qui sont utilisées dans le programme. FNA calcule le logarithme en base 10 de X et le multiplie par 10. FNB calcule le logarithme en base 2 et FNC fait 10 exposant ce logarithme.

```

10 A=0:B=0:C=0:D=4095
20 AD=37376
30 DA=37120
40 POKE 36867,15
50 GAIN=8
60 POKE 36865,GAIN
70 IF PEEK(3968) <> 173 THEN PRINT"CODE MACHINE NON DISPONIBLE": END
80 POKE 4,128
90 POKE 5,15
100 PRINT"INITIALISATION COMPLETEE"
110 DEF FNA(X)=4.34294482*LOG(X)
120 DEF FNB(X)=1.442695*LOG(X)
130 DEF FNC(X)=10**FNB(X)

```

C.4. Correction du niveau continu

Tel que décrit à la section III.D.5., le niveau continu que l'on retrouve à l'entrée des amplificateurs doit être près de zéro de façon à ne pas les saturer. C'est la section du programme décrite ici qui assure ce contrôle. On sait que le convertisseur analogique-numérique donne une lecture de 128 lorsque la tension à son entrée est de 5 Volts, ce qui correspond à une tension de 0 Volt avant le circuit d'adaptation (fig. 3.13); il faut donc retrouver 0 Volt à la sortie du filtre ou 5 Volts (128) à l'entrée du convertisseur pour utiliser le maximum de plage dynamique et pour minimiser les problèmes de saturation. La stratégie utilisée est la suivante: on effectue une lecture de tension avec le convertisseur analogique-numérique. Si la lecture est supérieure à 128 on augmente la tension de sortie du convertisseur numérique-analogique de façon à diminuer le niveau de tension. Si à l'inverse la lecture est inférieure à 128, on diminue la tension soustraite de façon à ce que la tension de sortie augmente.

La figure 5.2 donne l'organigramme utilisé pour implémenter cette stratégie. On commence par mettre la tension du convertisseur numérique-analogique (correspondant à la variable OF dans le programme) au maximum (&1). La variable OH qui représente l'incrément qu'on donne à OF après chaque essai est également mis à sa valeur maximale. Après que la commande soit envoyée au convertisseur on attend un certain temps de façon à ce que les circuits aient le temps de se stabiliser (&2). On effectue ensuite la mesure de la valeur moyenne du signal à l'entrée du convertisseur analogique-numérique en prenant plusieurs mesures consécutives et en calculant la moyenne (&3). L'incrément OH est divisé par deux de façon à affiner l'ajustement à chaque passage dans la boucle (&4).

On teste alors la valeur moyenne pour savoir si on a atteint l'objectif visé avec une certaine précision (&5). Si oui on affiche la tension qui est utilisée pour amener la moyenne près de zéro et on retourne au programme principal (&14). Si le test est négatif on vérifie si la tension mesurée MES est plus grande ou plus petite que zéro (code 128) (&6). Pour une tension trop grande on augmente OF par OH (&8) ou si

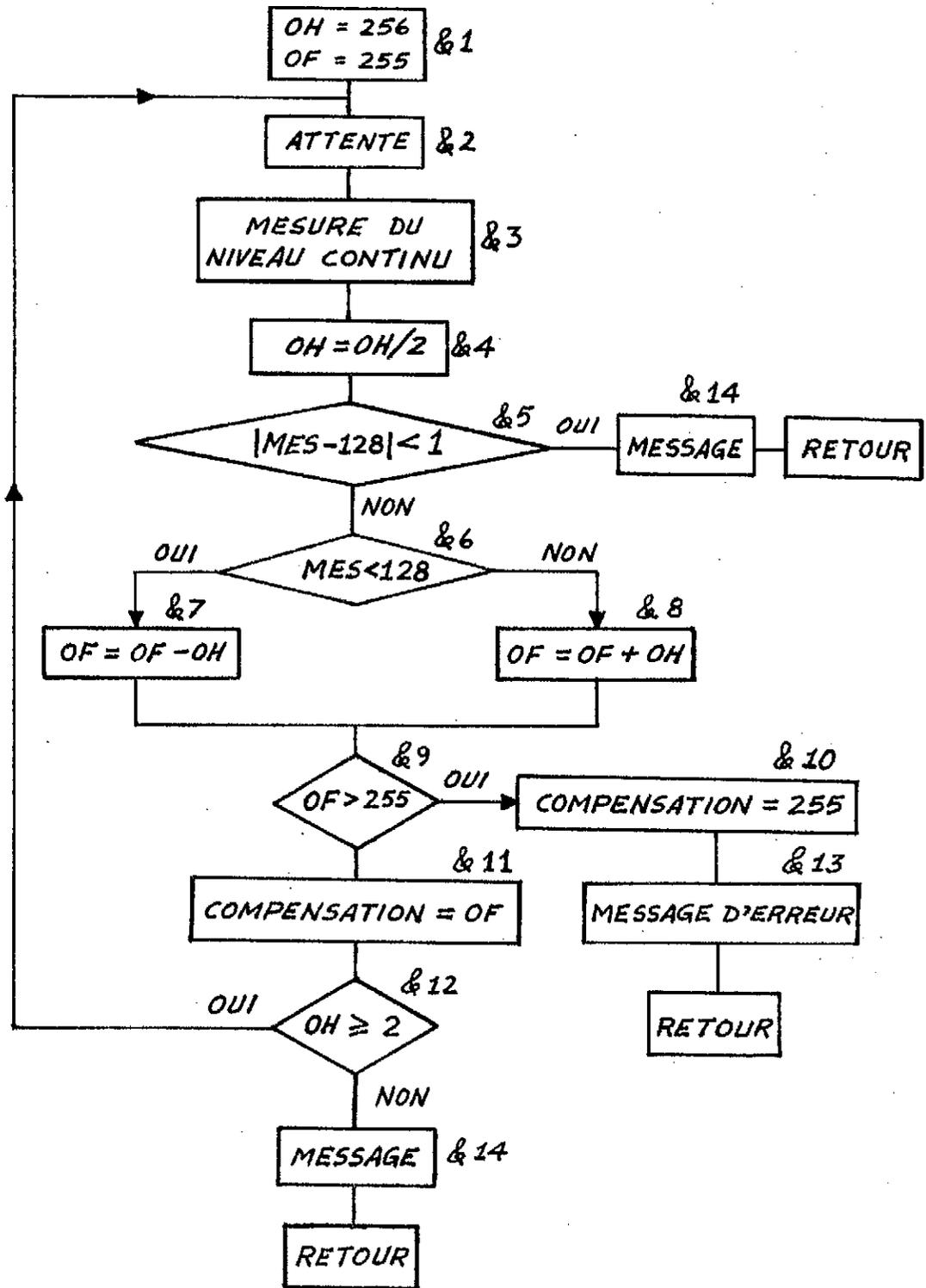


Fig. 5.2- Correction du niveau continu

la tension est trop petite on soustrait OH (&7). On teste si OF n'est pas trop grand pour le convertisseur utilisé (&9) et si oui on affiche un message d'erreur et on garde la valeur maximum comme tension (&10,&13). Si non le programme envoie le code au convertisseur (&11) et vérifie si on atteint la limite de précision de celui-ci (&12). On recommence alors le même processus avec cette fois-ci une nouvelle valeur pour OF. Ainsi par itération on approche la valeur de tension de correction du zéro qui est nécessaire. Si la limite de précision est dépassée (&14) on utilise la dernière valeur de OF comme une approximation de la valeur réelle.

Le sous-programme qui réalise cette fonction est une implémentation presque directe de l'organigramme. On donne ici la correspondance entre les blocs de l'organigramme (&XX) et le programme même.

```

2000 PRINT"CORRECTION DU NIVEAU CONTINU"
&1 2010 OF=255: OH=256
. 2020 POKE DA,OF
&2 2030 FOR I=1 TO 10*OH: NEXT I
&3 2040 GOSUB 2400
&4 2050 OH=OH/2
&5 2060 IF ABS(MES-128) < 1 GOTO 2200
&6 2070 IF MES < 128 THEN
&7          OF=OF-OH: GOTO 2090
&8 2080 OF=OF+OH
&9 2090 IF OF > 255 GOTO 2300
&11 2100 POKE DA,OF
&12 2110 IF OH >= 2 GOTO 2030
&14 2120 GOSUB 2400
. 2200 PRINT"TENSION DE COMPENSATION:"; INT(OF*1000/256)/100; "VOLTS"
. 2210 RETURN
&10 2300 POKE DA,255
&13 2310 PRINT"INTENSITE TROP FORTE POUR LE GAIN ...SORTIE NON COMPENSEE"
. 2315 GOTO 3210

&3 2400 MES=PEEK(AD)
. 2410 MES=0

```

- . 2420 N=250
- . 2430 FOR I=1 TO N: MES=MES+PEEK(AD): NEXT
- . 2440 MES=MES/N
- . 2450 RETURN

C.5. Mesures

C.5.a. Boucle principale

Cette section du programme est le noyau qui effectue l'appel des différentes sous-routines. Ainsi toute modification ou addition au programme peut se faire en n'ajoutant qu'une seule ligne qui appelle une nouvelle sous-routine. Cette approche structurée sauve beaucoup de temps lors de la mise au point du programme de même que lorsqu'on modifie une section du programme. Un organigramme est superflu dans ce cas et une simple énumération de la fonction de chaque sous-routine suffit. La ligne 250 du programme affiche que l'appareil est maintenant prêt à effectuer des mesures de bruit. En 300 on appelle la routine qui effectue les mesures proprement dites et en 400 on fait vérifier la validité des mesures et on effectue tout ajustement qui s'avère nécessaire. La ligne 500 s'occupe d'aller faire les calculs qui s'imposent et affiche les résultats. Finalement la ligne 560 fait recommencer le tout (Appendice G).

C.5.b. Routine de mesure

C'est dans cette section du programme que s'effectue la majeure partie du travail. En effet on échantillonne avec cette routine le signal électrique et on calcule en maintenant la moyenne et l'écart-type. Pour ce faire on doit échantillonner le signal, prendre sa valeur numérique et l'additionner à un sous-total et faire de même avec son carré. L'organigramme de cette routine est donné à la figure 5.3. En &1 on attend que l'opérateur indique que l'image à mesurer est prête. Une fois fait, le programme initialise les différentes variables dont il a besoin (&2). On entre ensuite dans la boucle principale qui effectue l'échantillonnage.

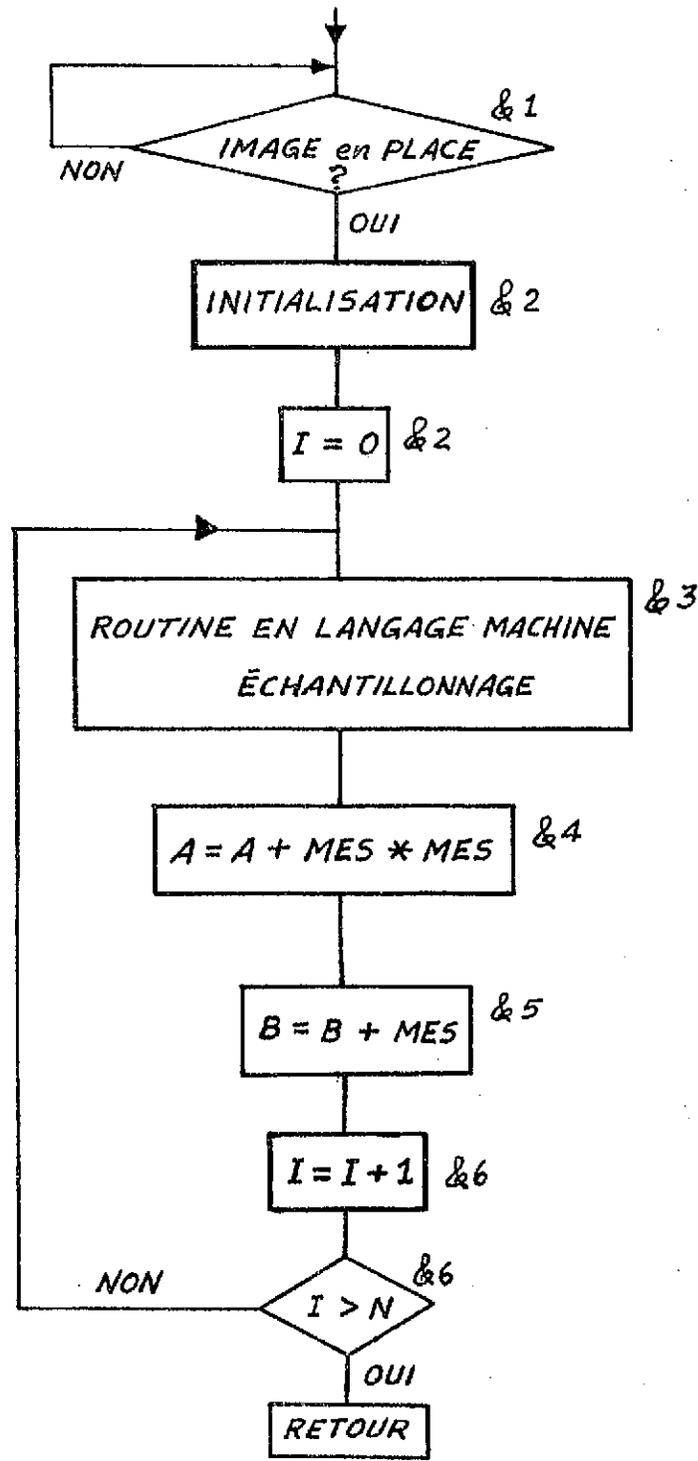


Fig. 5. 3- Echantillonnage

La sous-routine en langage machine est tout d'abord appelée (&3); elle échantillonne le signal et place sa valeur dans une case de mémoire puis calcule son carré qu'elle place également dans des cases de mémoires. Le détail est vu dans la prochaine section. En &4 et &5 on fait la somme cumulative des échantillons et de leur carré pour pouvoir calculer par après la moyenne et l'écart-type. Finalement en &6 on incrémente le compteur de boucle et on poursuit l'échantillonnage si le compte n'est pas atteint. Pour prendre le minimum de temps entre deux mesures, les bloc &3 à &6 sont réunis sur une seule ligne. Cette compression de lignes de même que l'utilisation d'une sous-routine en langage machine permet un échantillonnage de 133 mesures par seconde. Pour effectuer les 4000 mesures demandées le programme prend donc environ 30 secondes.

```

&1 1000 GOSUB 5000
&2 1010 N=4000
. 1015 A=0: B=0
&6 1020 FOR I=1 TO N:                               :NEXT
&4                               A=A+
&3                               USR(C):
&5                               B=B+PEEK(D)
1030 RETURN

```

C.5.c. Sous-routine en langage machine

On se rappelle que cette sous-routine est utilisée pour gagner en vitesse d'échantillonnage. Le facteur limitatif principal d'un programme entièrement écrit en BASIC est dans ce cas-çi le temps d'exécution de la multiplication. En effet on doit élever au carré la valeur de l'échantillon à chaque itération dans la boucle. La routine de multiplication en BASIC prend du temps parce qu'elle est effectuée sur des nombres en virgule flottante de plusieurs octets. Comme dans notre cas le nombre à multiplier est un entier d'un seul octet, on a décidé d'écrire une nouvelle routine de multiplication en langage machine qui soit adapter à cette situation et ainsi prend moins de temps. On trouve à l'appendice F

une description du langage machine utilisé. La sous-routine en langage machine est donnée à l'appendice G.

La sous-routine fonctionne de la façon suivante (organigramme à la fig. 5.4). On commence par échantillonner le signal (&1) et la mesure est placée dans une mémoire réservée à cette fin (&2). Plus tard le programme principal en utilisant une instruction PEEK(adresse de la mémoire) a accès à cette valeur. L'échantillon est également placé dans deux registres du microprocesseur prêt pour que la multiplication débute. Celle-ci prend les 2 octets de 8 bits et les multiplie pour donner un résultat de 16 bits (&3). Ce résultat est placé dans l'accumulateur en point flottant utilisé par le BASIC (&4) puis on appelle une sous-routine qui traite le résultat de façon à le rendre compatible avec le reste du logiciel BASIC (&5). On teste ensuite si l'échantillon qui a été pris n'est pas 0 ou 255 soit les limites inférieure et supérieure de la plage dynamique du convertisseur analogique-numérique (&6). Cela est fait de façon à s'assurer que des erreurs dues à ces limitations ne perturbent les mesures. Des drapeaux sont levés si ces limites sont atteintes. Le programme principal vient les tester par après.

La méthode utilisée pour réaliser la multiplication est classique et une bonne description des principes utilisés peut être trouvée à la référence (21). Essentiellement elle consiste à effectuer une série d'addition et de décalage tout comme une multiplication faite à la main.

C.6. Validation des mesures

On a vu que des drapeaux étaient levés si la mesure du signal électrique atteignait les limites du convertisseur analogique-numérique. Dans la section de validation des mesures on teste ces drapeaux (organigramme à la figure 5.5). Le drapeau haut (H) est levé (mis à 1) lorsque la mesure égale 255, ce qui est la valeur maximale que l'on peut avoir. De même, le drapeau bas (BL) est levé lorsque la mesure égale 0 soit la valeur minimale.

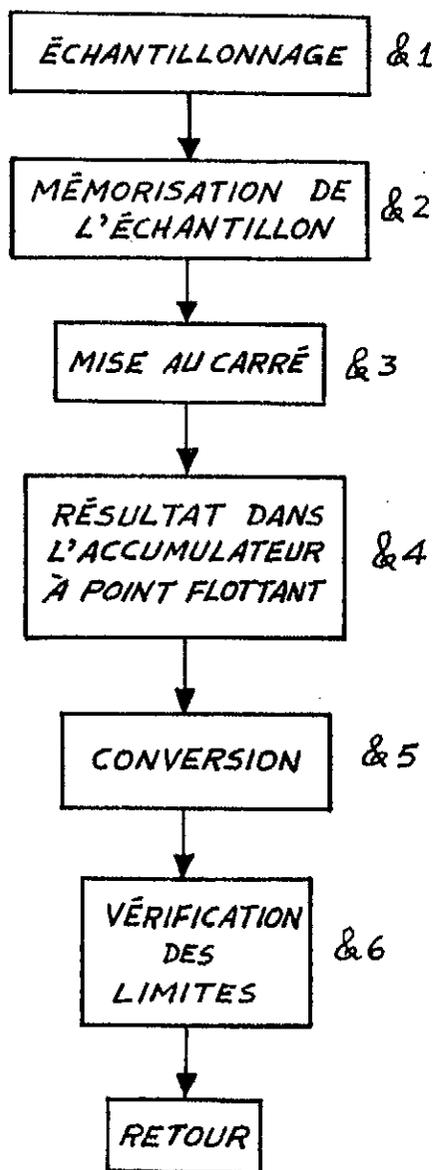


Fig. 5.4- Routine en langage machine

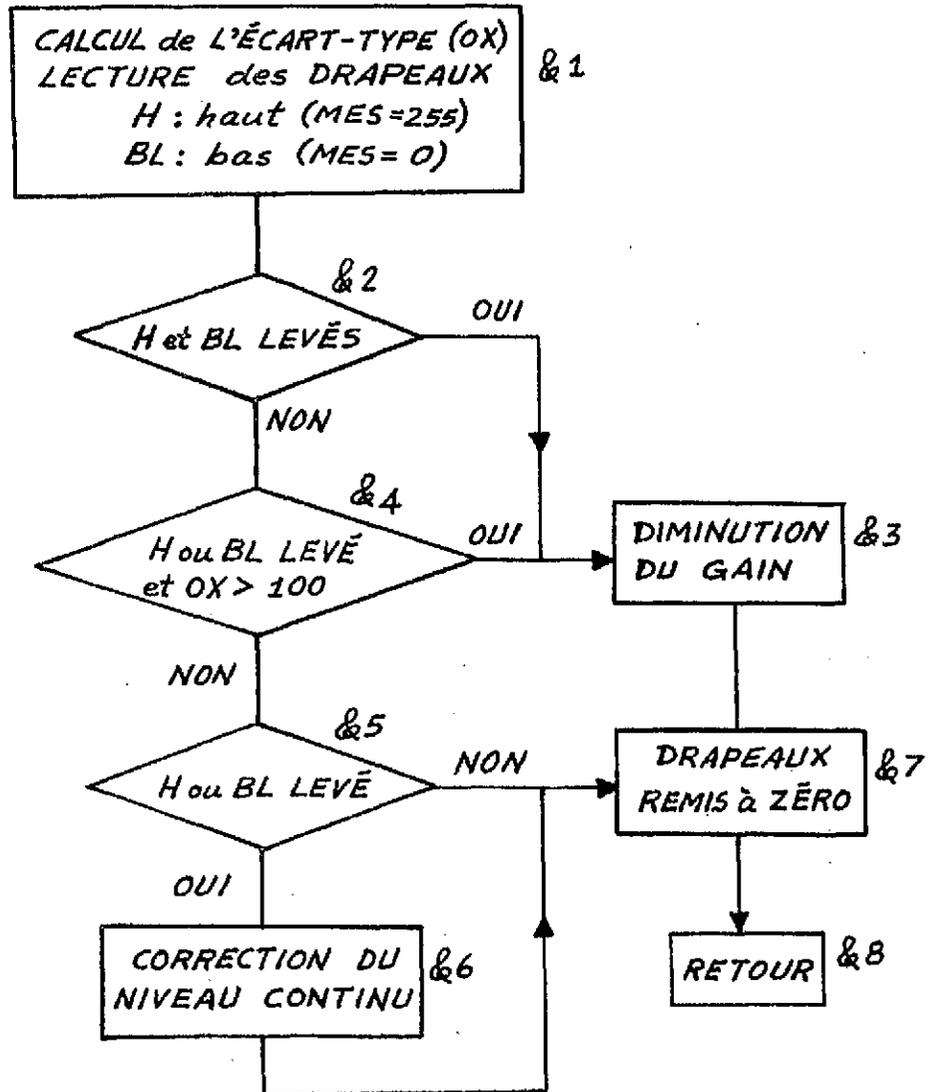


Fig. 5.5- Validation des mesures

Le programme commence par lire les drapeaux et calculer l'écart-type du signal (cela donne une approximation de l'amplitude du signal) (&1). La méthode de calcul est vue à la section C.8. En &2 on regarde si les deux drapeaux sont levés. Si oui on en conclue que l'amplitude du signal électrique est trop élevée d'où un dépassement aux deux extrémités (fig. 5.6a). Dans ce cas on appelle une routine qui va diminuer le gain de l'amplificateur (&3). Si un seul des deux drapeaux est levé et que l'écart-type du signal est plus grand que 100, on en conclue que le niveau continu est mal ajusté mais aussi que l'amplitude du signal a de bonnes chances d'être d'amplitude trop forte lorsque le niveau continu sera corrigé (fig. 5.6b). Aussi décide-t-on de diminuer immédiatement le gain (&4). Si l'écart-type est inférieur à 100 (&5) (fig. 5.6c), on effectue uniquement la correction du niveau continu (&6). Après que les ajustements appopriés sont effectués on remet les drapeaux à zéro de façon à être prêt pour de nouvelles mesures (&7). On retourne alors au programme principal (&8).

```

&1 3000 H=PEEK(4094)
    . 3010 BL=PEEK(4093)
    . 3015 OX=((A-B*B/N)/(N-1))**.5
&2 3020 IF (H=1) AND (BL=1) THEN
&3                                     GOSUB 3200: GOTO 3150
&4 3025 IF ((H=1) OR (BL=1)) AND (OX>100) THEN
&3                                     GOSUB 3200: GOTO 3150
&5 3030 IF (H=1) OR (BL=1) THEN
&6                                     GOSUB 3300: GOTO 3150
&7 3150 POKE 4094,0
    . 3160 POKE 4093,0
&8 3170 RETURN

```

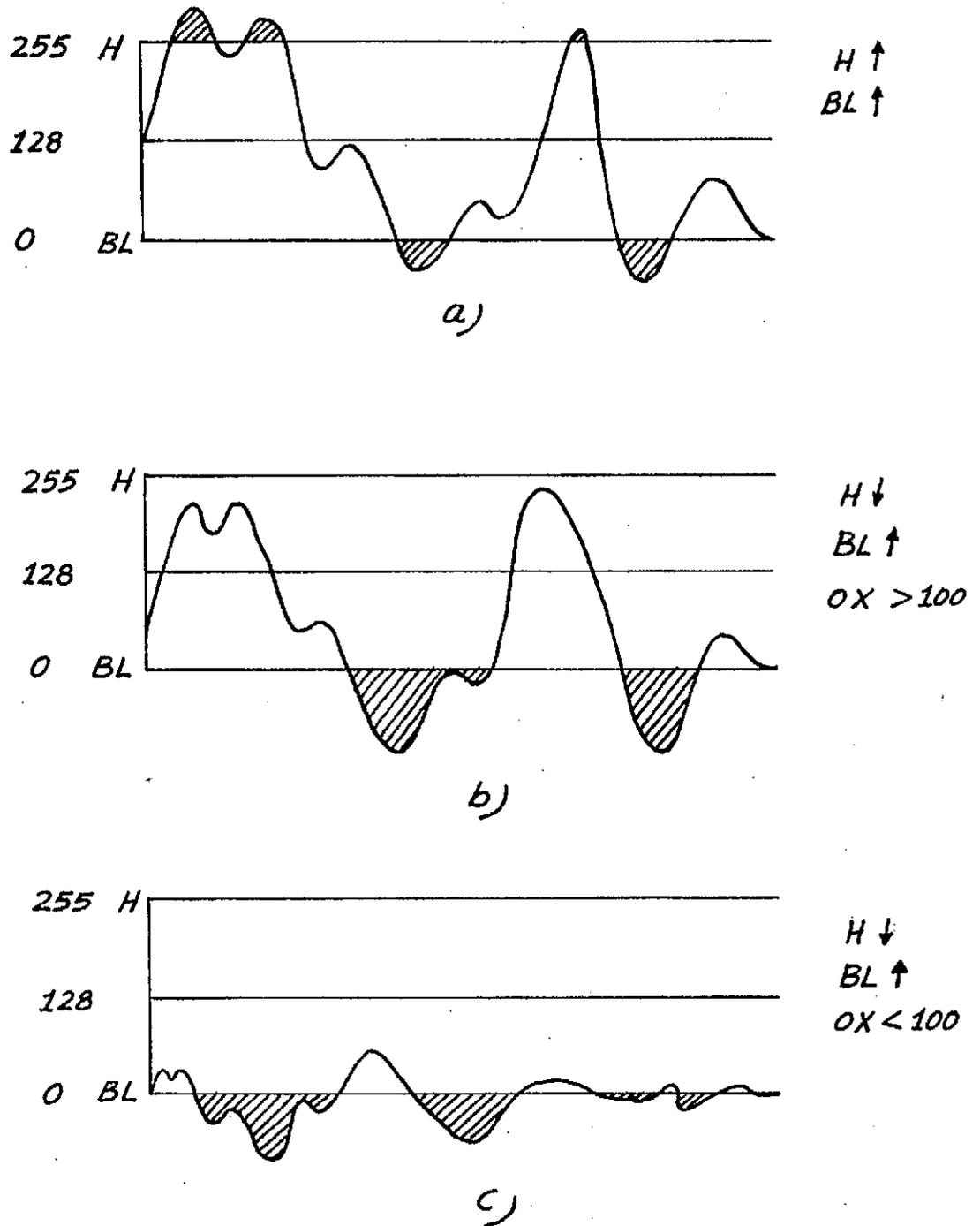


Fig. 5.6- Cas où les drapeaux sont levés

C.7. Ajustements

C.7.a. Gain

Le programme ajuste le gain en deux circonstances. La première est celle décrite précédemment: lorsque l'amplitude du signal est trop forte on doit diminuer le gain. La deuxième survient lorsque l'écart-type du signal est calculé; si cet écart-type est inférieur à une valeur donnée on conclue que le gain de l'amplificateur est trop faible et on doit augmenter son gain. Le programme indique tout d'abord le message d'erreur approprié (ligne 3200 ou 4100) puis demande à l'opérateur d'approuver l'opération qu'il désire effectuer (3210,3220-4110,4120). Cette question est posée de façon à minimiser les pertes de temps si on a par erreur présenté la mauvaise image.

Aux lignes 3225 ou 4130 on diminue ou on augmente la valeur du gain. La représentation de la valeur du gain dans le programme est faite en fonction des circuits de contrôle du gain. On sait en effet que le gain de l'amplificateur est fixé par des interrupteurs gérés par un port de sortie (fig. 3.7b). Le mot de contrôle que l'on doit utiliser pour sélectionner chaque gain est donné ici:

Gain	Mot de contrôle	
	(binaire)	(décimal)
1000	00001000	8
100	00000100	4
10	00000010	2
1	00000001	1

Comme on peut le constater, pour augmenter le gain il suffit de multiplier par 2 la représentation décimale du mot de contrôle et de diviser par 2 pour le diminuer. C'est ce qui est fait dans le programme. Il ne faut pas cependant dépasser les valeurs maximum et minimum possibles du gain et les lignes 3230 et 4140 font cette vérification. Si les limites sont atteintes, un message approprié est affiché et les valeurs maximum ou minimum sont substituées. Le mot de contrôle est ensuite envoyé au port de

contrôle par la ligne 3240 ou 4150. Après un changement de gain, un nouvel ajustement du niveau continu est effectué pour s'assurer que l'appareil est correctement ajusté.

```
3200 PRINT"AMPLITUDE DU BRUIT TROP FORTE POUR LE GAIN"  
3210 INPUT"VOULEZ-VOUS DIMINUEZ LE GAIN"; G  
3220 IF G<>1 THEN RETURN  
3225 GAIN=GAIN/2  
3230 IF GAIN<1 THEN PRINT"GAIN MINIMUM ATTEINT": GAIN=1  
3240 POKE 36865,GAIN  
3245 GOSUB 2000  
3250 RETURN
```

```
4100 PRINT"GAIN TROP FAIBLE POUR LE NIVEAU DE BRUIT MESURE"  
4110 INPUT"VOULEZ-VOUS AUGMENTEZ LE GAIN";G  
4120 IF G<>1 THEN RETURN  
4130 GAIN=GAIN*2  
4140 IF GAIN>8 THEN PRINT"GAIN MAXIMUM ATTEINT": GAIN=8  
4150 POKE 36865,GAIN  
4160 RETURN
```

C.7.b.Niveau continu

A la section C.6. on a vu que le niveau continu pouvait être mal ajusté. Lorsque cela arrive, le programme appelle la sous-routine suivante. Elle commence à la ligne 3300 en affichant le message d'erreur approprié. L'approbation de l'opérateur est demandé aux lignes 3310 et 3320. La routine de correction du zéro est appelée à la ligne 3330. Cette routine est la même que celle décrite à la section C.4.

```
3300 PRINT"NIVEAU CONTINU MAL AJUSTE"  
3310 INPUT"VOULEZ-VOUS CORRIGER LE NIVEAU CONTINU";G  
3320 IF G<>1 THEN RETURN  
3330 GOSUB 2000  
3350 RETURN
```

C.8. Calculs et affichage des résultats

Après avoir effectué les mesures et vérifié leur validité, le programme calcule les caractéristiques principales du signal qu'on lui a fourni et affiche les résultats. Le tout commence à la ligne 4000 où on vérifie si les drapeaux ont été levés. Si oui, les mesures ne sont pas valides et on passe l'étape de calcul. Dans le cas contraire les calculs sont effectués. La moyenne du signal est d'abord calculée à partir de B qui est la somme des échantillons. Une fois divisé par le nombre d'échantillons on soustrait 128 dû à l'étape qui ajoute une tension continue au signal (ligne 4005). On calcule également l'écart-type (ligne 4010) à partir de la formule classique:

$$\text{écart-type (OX)} = \sqrt{\frac{(\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{N})}{(N - 1)}}$$

Le résultat de ces calculs est affiché. L'écart-type est donné tel quel et sous forme de décibel (10 fois le logarithme en base 10) avec une correction tenant compte du gain de l'amplificateur (lignes 4030,4020). Pour chaque diminution d'un facteur 10 dans le gain on augmente la valeur en décibel de 10 db; cela compense pour la perte en sensibilité. C'est cette valeur en décibel de l'écart-type du signal que l'on considère comme étant la mesure de bruit qu'effectue l'appareil. Etant donné que la mesure de bruit en décibel s'effectue sur des intensités lumineuses, on change le nom décibel pour décilum, ce qui indique mieux la nature de la mesure. Le décilum est donc 10 fois le logarithme en base dix d'une intensité lumineuse; sa valeur est relative tout comme le décibel. D'autres informations sont également affichées tel la valeur moyenne (4034), la correction du niveau continu utilisé (4036) et le gain de l'amplificateur (4038). Finalement si la valeur de l'écart-type est inférieure à 2, le programme suppose que le gain de l'amplificateur est trop faible et exécute en conséquence la sous-routine d'augmentation du gain décrite à la section C.7.a. (ligne 4060). On revient ensuite à la boucle principale, prêt pour effectuer une nouvelle série de mesure.

```
4000 IF (H=1) OR (BL=1) THEN RETURN
4005 MZ=B/N-128
4010 OX=((A-B*B/N)/(N-1))**.5
4020 PRINT"BRUIT:"; INT((FNA(OX)+30-FNC(GAIN))*100)/100
4030 PRINT"OX:";INT(MZ*100)/100
4034 PRINT"MOYENNE:"; INT(MZ*100)/100
4036 PRINT"NIVEAU CONTINU:"; OF
4038 PRINT"GAIN:"; GAIN
4060 IF OX < 2 THEN GOSUB 4100
4070 RETURN
```

D. Mesures de bruit effectuées avec l'appareil

Avec le logiciel que l'on vient de décrire et les circuits décrits au chapitre 3, l'appareil est maintenant en mesure d'effectuer des mesures de bruit sur une image que l'on place devant la partie optique. Après que le programme en langage BASIC et la sous-routine en langage machine soient mis en mémoire, il suffit d'entrer la commande RUN et que l'opérateur suive les instructions données par l'ordinateur pour que les mesures soient effectuées correctement. Il est à noter qu'on ne parle pas encore de mesure de qualité semblable à l'homme; cet aspect est étudié au chapitre 6.

On présente à l'appareil une image uniformément grise d'intensité lumineuse de 40 cd/m-carré. Sur cette image on superpose un bruit blanc dont on contrôle la puissance. Le montage expérimental pour obtenir cette image est le même qu'à la figure 4.2. L'appareil à partir de cette image réalise une mesure de bruit en décilum. Si on varie la puissance du bruit et qu'on note la mesure de bruit effectuée par l'appareil on obtient la figure 5.7.

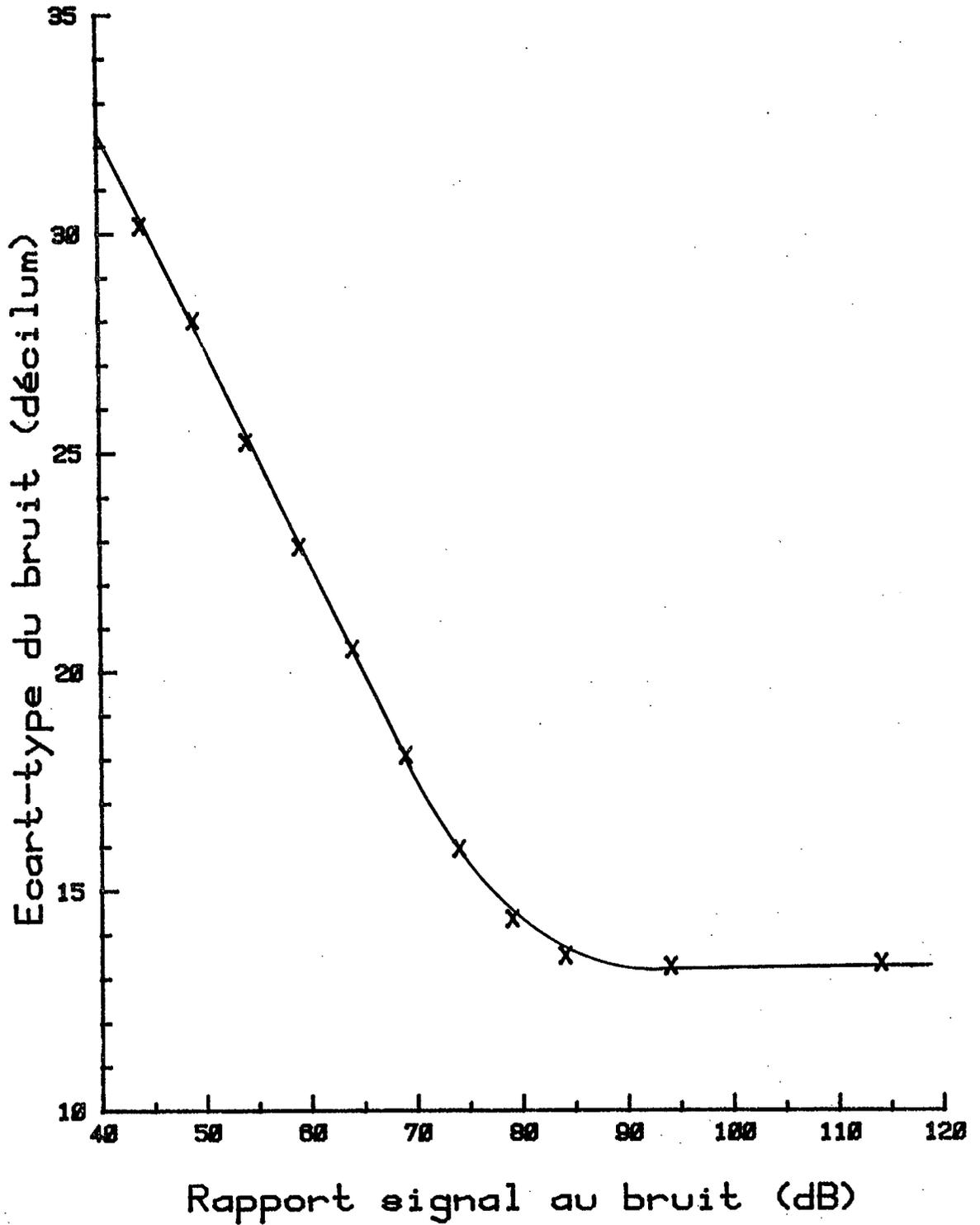


Fig. 5.7- Mesures effectuées par l'appareil

Cette courbe indique qu'il existe une relation de proportionnalité entre le rapport signal au bruit électrique et les mesures de bruit en décilum pour une certaine zone. Pour des rapports signal au bruit élevé on note cependant un plateau sur la mesure en décilum. Ces deux points rappellent les observations faites sur les résultats des tests subjectifs. Pour juger à quel point les tests subjectifs ressemblent aux mesures en décilum on compare les deux à la figure 5.8. Afin de mieux comparer, les résultats des tests subjectifs qui sont normalement donnés en mesure de qualité (échelle 1-5) sont tracés en mesure de dégradation (échelle 4-0) en soustrayant 5 aux mesures de qualité. Ceci est fait étant donné que les mesures en décilum sont en fait des mesures de dégradation.

Sauf pour les rapports signal au bruit faibles, les deux courbes ont sensiblement la même allure. Toutes deux ont un plateau pour les rapports élevés et ont la même pente pour les rapports intermédiaires. Cette brève comparaison suggère que l'appareil avec sa simulation de l'oeil humain serait capable de donner sensiblement les mêmes mesures de qualité qu'un observateur si certaines transformations étaient effectuées aux mesures en décilum. Ce sont ces transformations que le chapitre 6 décrit.

E. Conclusion

Le logiciel nécessaire pour effectuer des mesures de bruit en décilum vient d'être décrit. Essentiellement on échantillonne 4000 fois avec un taux de 133 mesures par seconde le signal électrique provenant du senseur optique. Avec ces échantillons on calcule l'écart-type du signal et celui-ci est utilisé pour le calcul de la qualité de l'image. Pour s'assurer du bon fonctionnement des circuits, un ajustement du gain et du niveau continu est effectué lorsque nécessaire. Les mesures de bruit en décilum effectuées avec l'appareil montrent une relation directe avec le rapport signal au bruit électrique.

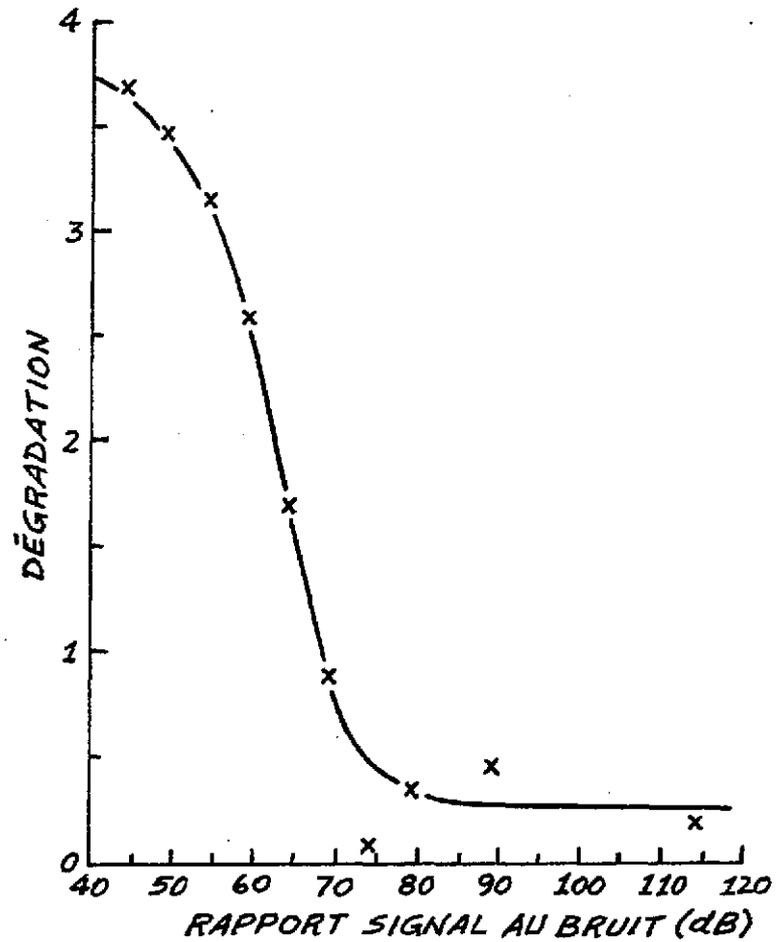
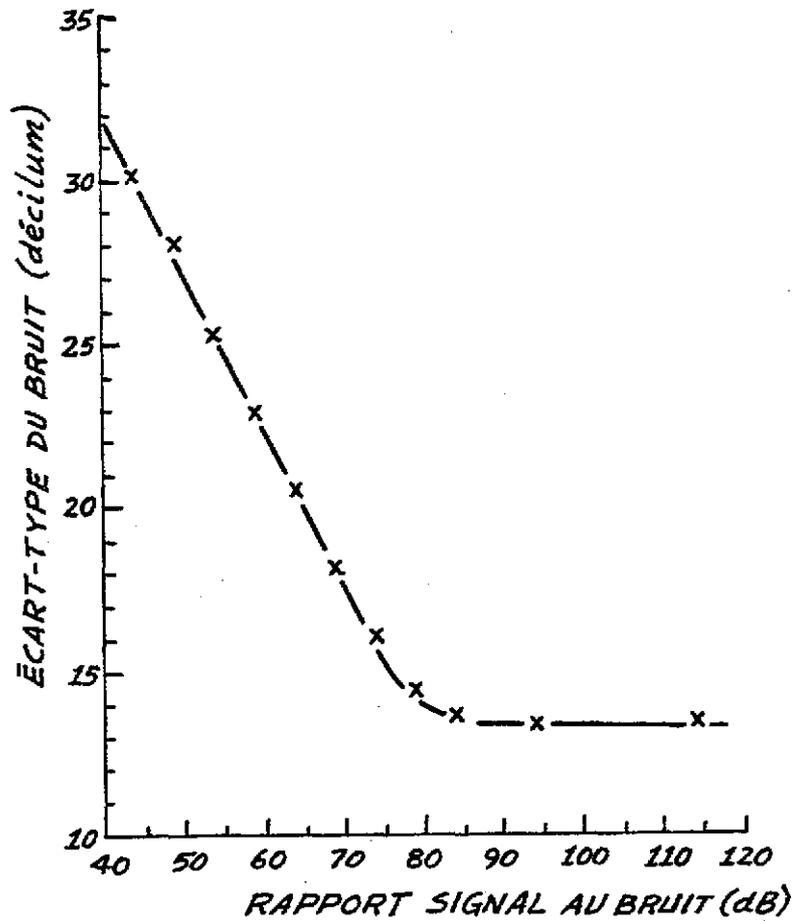


Fig. 5.8- Comparaison: mesures de l'appareil vs tests subjectifs

CHAPITRE VI

Calcul de la qualité

A. Introduction

Jusqu'à maintenant, avec les circuits et le logiciel décrits, l'appareil est en mesure d'évaluer l'écart-type de la variation d'intensité lumineuse sur la surface d'un écran de télévision tel que perçue par l'oeil humain. Il s'agit maintenant de trouver une relation pouvant relier cet écart-type et le jugement de qualité que donnerait un observateur.

B. Variation de la mesure en décilum

Une première constatation que l'on peut faire à partir des mesures de bruit en décilum qu'effectue l'appareil est que pour un même rapport signal au bruit, la mesure en décilum change avec l'intensité moyenne de l'écran (fig. 6.1). On voit que lorsque l'intensité lumineuse augmente, pour une même quantité de bruit au niveau du signal électrique, la mesure en décilum augmente également. Ce phénomène est tout à fait normal puisque lorsqu'on augmente l'intensité lumineuse, on ajuste les contrôles de brillance et de contraste du téléviseur. Cela a pour effet d'augmenter le niveau continu et l'amplitude du signal électrique qui est envoyé au tube écran. Ces ajustements, en plus d'amplifier le signal électrique de l'image, amplifient également le bruit. Le résultat net est une augmentation de l'intensité lumineuse et également de l'écart-type du

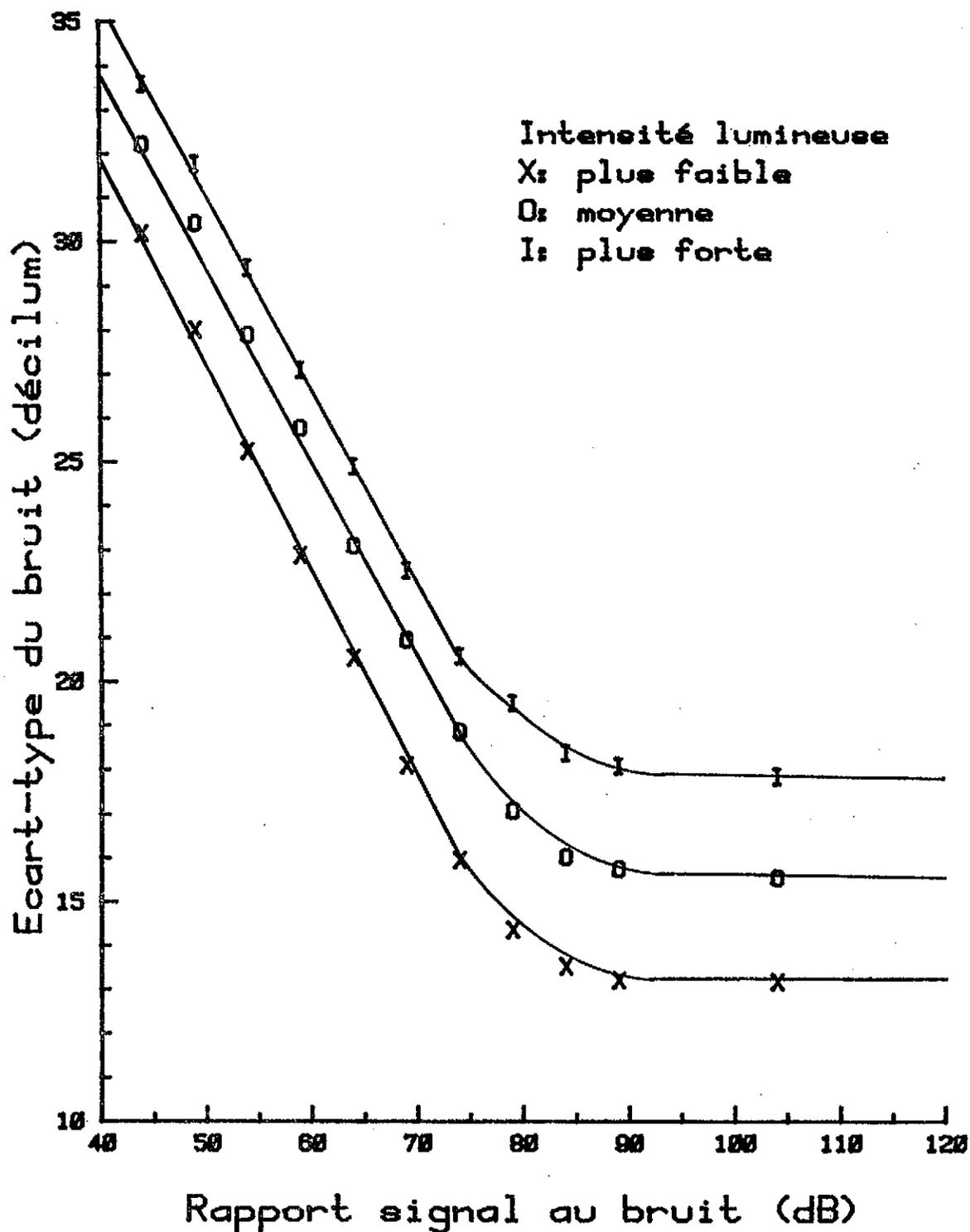


Fig. 6.1- Variation de la mesure avec l'intensité lumineuse moyenne

bruit. On peut conclure que la mesure de l'écart-type uniquement est insuffisante et que l'on doit également connaître l'intensité lumineuse moyenne pour effectuer une mesure de la qualité.

En observant les différentes courbes de la figure 6.1 on remarque la similitude entre celles-ci. On peut dire que seul le niveau du plateau correspondant au niveau du bruit résiduel change avec l'intensité lumineuse. On rappelle que le bruit résiduel est la variation d'intensité sur l'écran qui est due au téléviseur même et non au signal électrique. Il suffit donc de connaître le niveau de bruit résiduel ou niveau de base pour que toutes les courbes se ramènent à une seule.

On a vu au chapitre 2 que la sensibilité de l'oeil aux variations d'intensité lumineuse diminue lorsque l'intensité lumineuse augmente (fig. 2.7, fig. 6.2). Cette courbe donne l'amplitude minimum que doit avoir la variation pour que celle-ci soit détectée.

C. Principe

A partir de ces différentes observations, on est maintenant en mesure d'établir les opérations qui doivent être faites sur les mesures d'écart-type et de moyenne décrites au chapitre 5 pour obtenir une mesure de la qualité de l'image. On commence par calculer l'intensité lumineuse moyenne du tube écran (fig. 6.3) car on sait que la sensibilité de l'oeil change en fonction de cette intensité. En connaissant celle-ci, on peut trouver l'amplitude minimale de la variation lumineuse pour laquelle soit détectée. Cette amplitude exprimée en décilum devient ce qu'on appelle le niveau de base. En soustrayant celui-ci à la mesure de l'écart-type exprimée en décilum on obtient une valeur en décilum qui tient compte de la variation de sensibilité de l'oeil et qui est proportionnelle à la quantité de bruit que percevrait un spectateur moyen. Au résultat de cette opération on applique une fonction de transformation qui nous donne une mesure de la qualité.

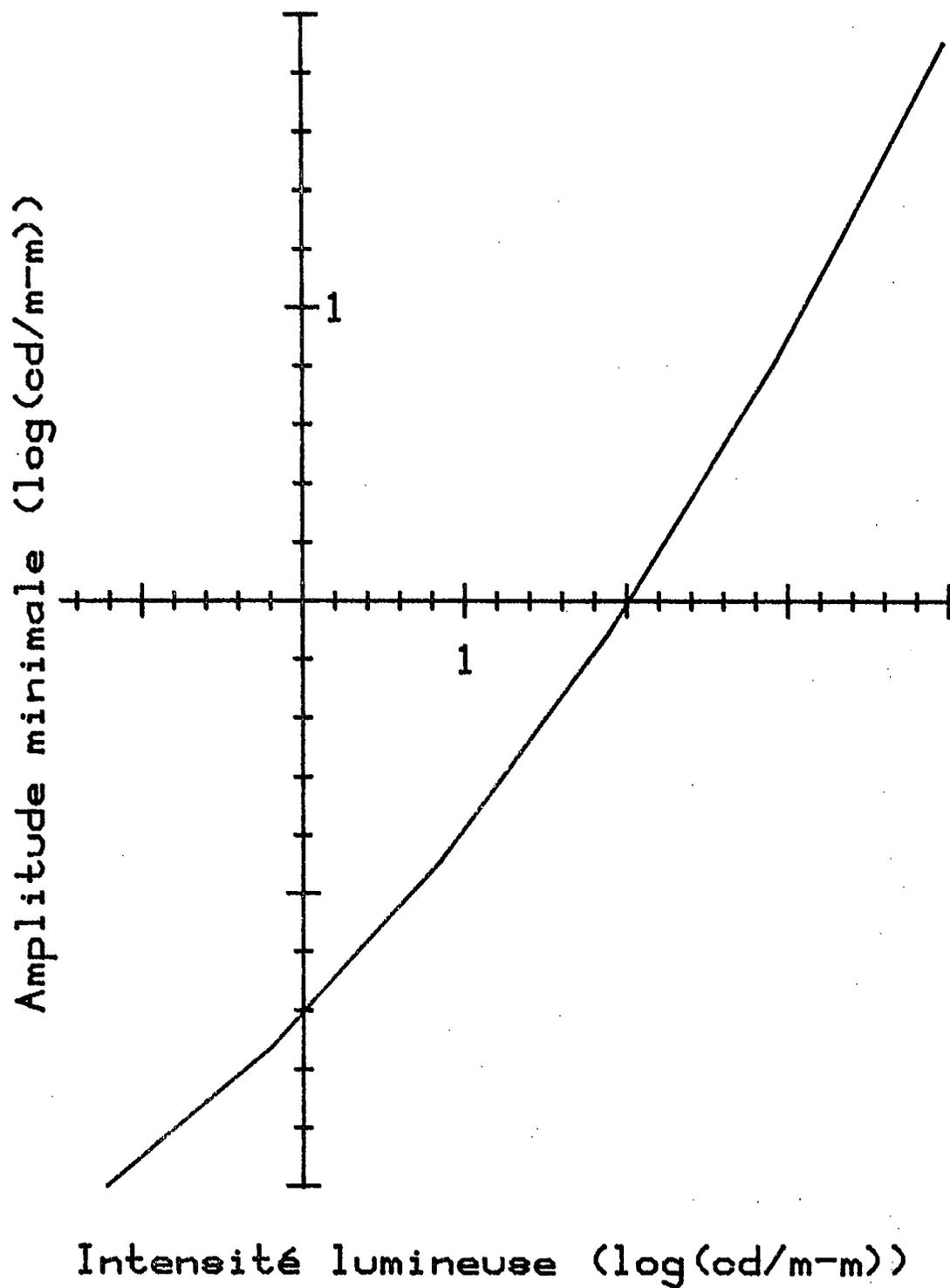


Fig. 6.2- Variation de la sensibilité
avec l'intensité lumineuse

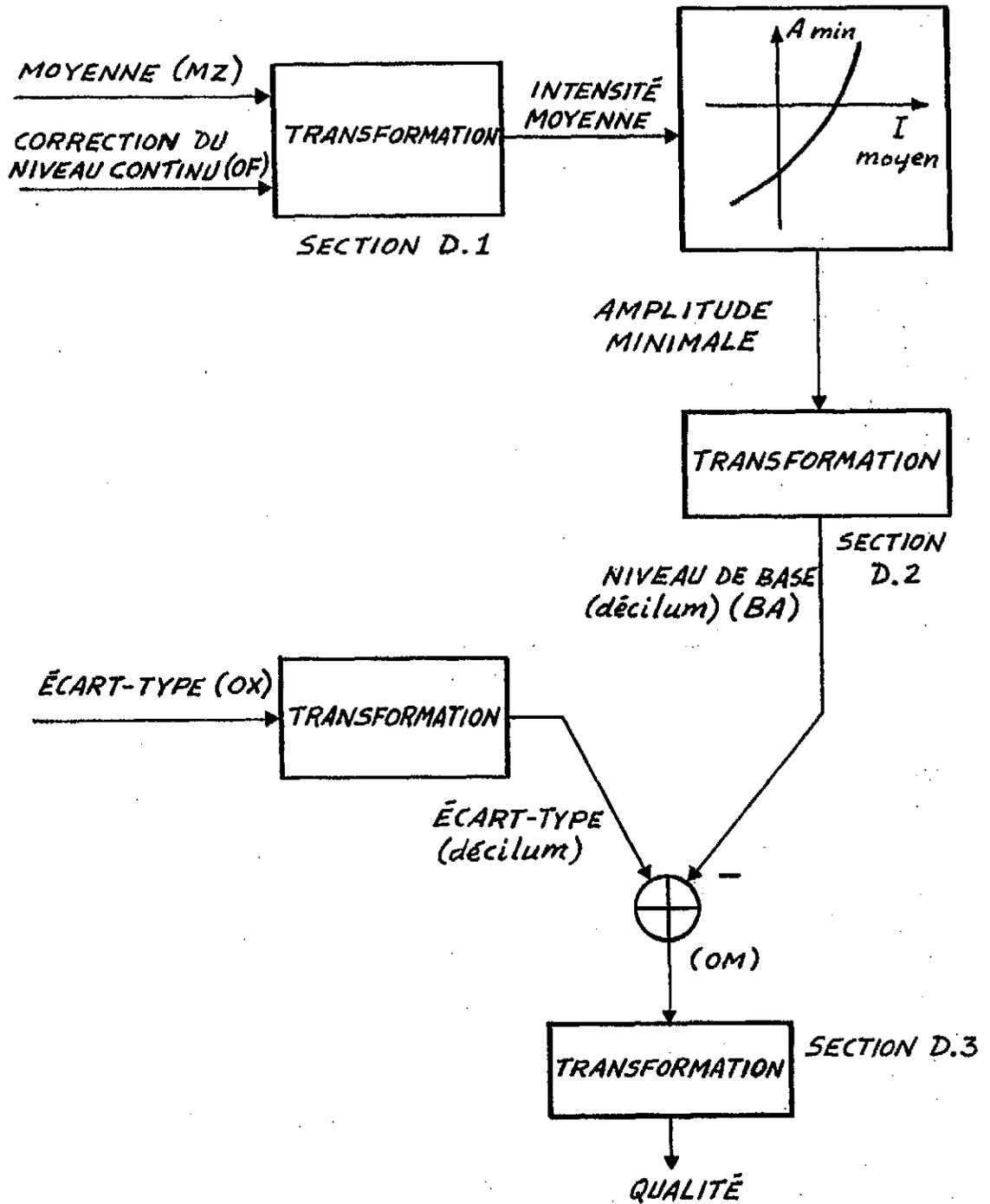


Fig. 6.3- Principe de la mesure de qualité

D. Calculs

D.1. Calcul de l'intensité lumineuse moyenne

L'intensité lumineuse moyenne doit être connue pour pouvoir calculer le niveau de base. La figure 6.4 est une simplification des circuits pour comprendre le calcul de l'intensité moyenne. Celle-ci est calculée à partir de la mesure de la valeur moyenne de V_1 et de la compensation I_0 . Ce qui est cherchée est la contribution de I_L à la tension de sortie V_1 .

I_L : courant provenant du senseur optique

V_1 : tension à l'entrée du convertisseur analogique-numérique

V_L : contribution de I_L à la tension de sortie V_1

MZ : valeur moyenne de V_1 après la conversion A/N

OF : représentation interne à l'ordinateur de la tension de compensation

A_2 : amplificateur à gain variable (1000, 100, 10, 1)

R_1 : gain de l'amplificateur qui transforme le courant en tension
(comprend le gain du préamplificateur et du filtre)

On connaît les relations suivantes:

$$V_1 = \frac{MZ \times 10}{256} \text{ Volts} \quad (\text{plage du convertisseur A/N: 0-10 Volts, 256 pas})$$

$$I_0 = \frac{OF \times 10}{(256 \times 270K)} \text{ Amp} \quad (\text{puisque la tension du convertisseur N/A est envoyé par une résistance de 270Kohm})$$

D'après la figure 6.3

$$V_1 = (I_0 - I_L) \times R_1 \times A_2 \text{ Volts}$$

$$I_L = I_0 - \frac{V_1}{R_1 \times A_2} \text{ Amp}$$

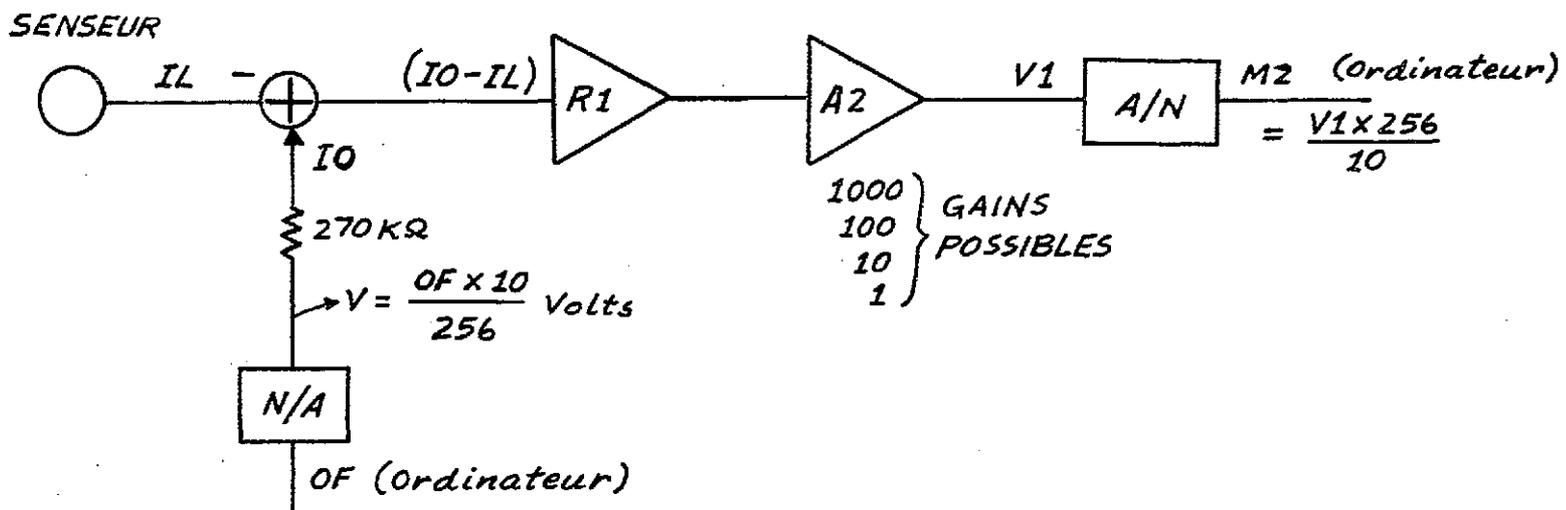


Fig. 6.4- Calcul de l'intensité moyenne

La valeur de R_1 peut être trouvée en sachant qu'en augmentant OF de 1, avec le gain de l'amplificateur égale à 1000 on obtient une diminution de 0,8 Volt au niveau de V_1 .

$$V_1 = \left(\frac{OF \times 10}{256 \times 270K} - IL \right) \times R_1 \times A_2 \text{ Volts}$$

$$\frac{d(V_1)}{d(OF)} = \frac{10 \times R_1 \times A_2}{256 \times 270K} = -0,8 \text{ Volt} \quad \text{avec } A_2 = 1000$$

d'où

$$R_1 = -5530 \text{ Volts/Amp}$$

$$IL = \frac{OF \times 10}{256 \times 270K} - \frac{MZ \times 10}{256 \times R_1 \times A_2} \text{ Amp}$$

La tension que génèrerait IL si aucun ajustement du niveau continu ou diminution du gain n'était fait serait donc:

$$V_L = IL \times R_1 \times 1000 \text{ Volts} \quad (A_2 \text{ au maximum} = 1000)$$

$$V_L = \frac{OF \times 10 \times R_1 \times 1000}{256 \times 270K} - \frac{MZ \times 10 \times 1000}{256 \times A_2} \text{ Volts}$$

$$V_L = -0,8 \times OF - \frac{39 \times MZ}{A_2} \text{ Volts}$$

Après l'étage d'adaptation (fig. 3.13), la contribution du signal lumineux au niveau du convertisseur A/N devient:

$$V_L = 0,8 \times OF + \frac{39 \times MZ}{A_2} \text{ Volts} \quad (6.1)$$

La lumière qui vient frapper le senseur est essentiellement la lumière provenant du tube écran mais l'éclairage ambiant contribue également au signal. Comme on veut éliminer le plus possible l'influence des paramètres extérieurs on annule cette contribution. Pour ce faire on commence par annuler l'intensité lumineuse provenant du tube écran. Puis on effectue une mesure de OF et de MZ avec le programme décrit au chapitre 5 et on utilise l'équation 6.1. La valeur de VL ainsi trouvée (identifiée par EC) est par après soustraite à la valeur trouvée lorsque le tube écran est réglé normalement (VL) de façon à ne garder que la contribution provenant du tube écran (DC).

$$DC = VL - EC \quad \text{contribution venant du tube écran}$$

D.2. Calcul du niveau de base

La relation entre amplitude minimum et intensité lumineuse moyenne sur des échelles logarithmiques tel que tracée à la figure 6.2 n'est pas une ligne droite. On peut cependant limiter les valeurs maximum et minimum de l'intensité lumineuse moyenne que mesure l'appareil et approximer par une droite la courbe (fig. 6.5). On choisit comme point central une intensité lumineuse moyenne de 30 cd/m-carré. La relation qui est trouvée est la suivante:

$$\log(\text{Amplitude minimum (cd/m-m)}) = .875 \times \log(\text{Intensité (cd/m-m)}) - 1.75$$

Comme les unités de cette courbe sont arbitraires, on remplace les unités en cd/mètre-carré par la tension correspondante à l'entrée du convertisseur analogique numérique:

$$10 \times \log(\text{Amplitude minimum (Volts)}) = 8.75 \times \log(\text{Intensité (ou DC en Volts)}) - 17.5$$

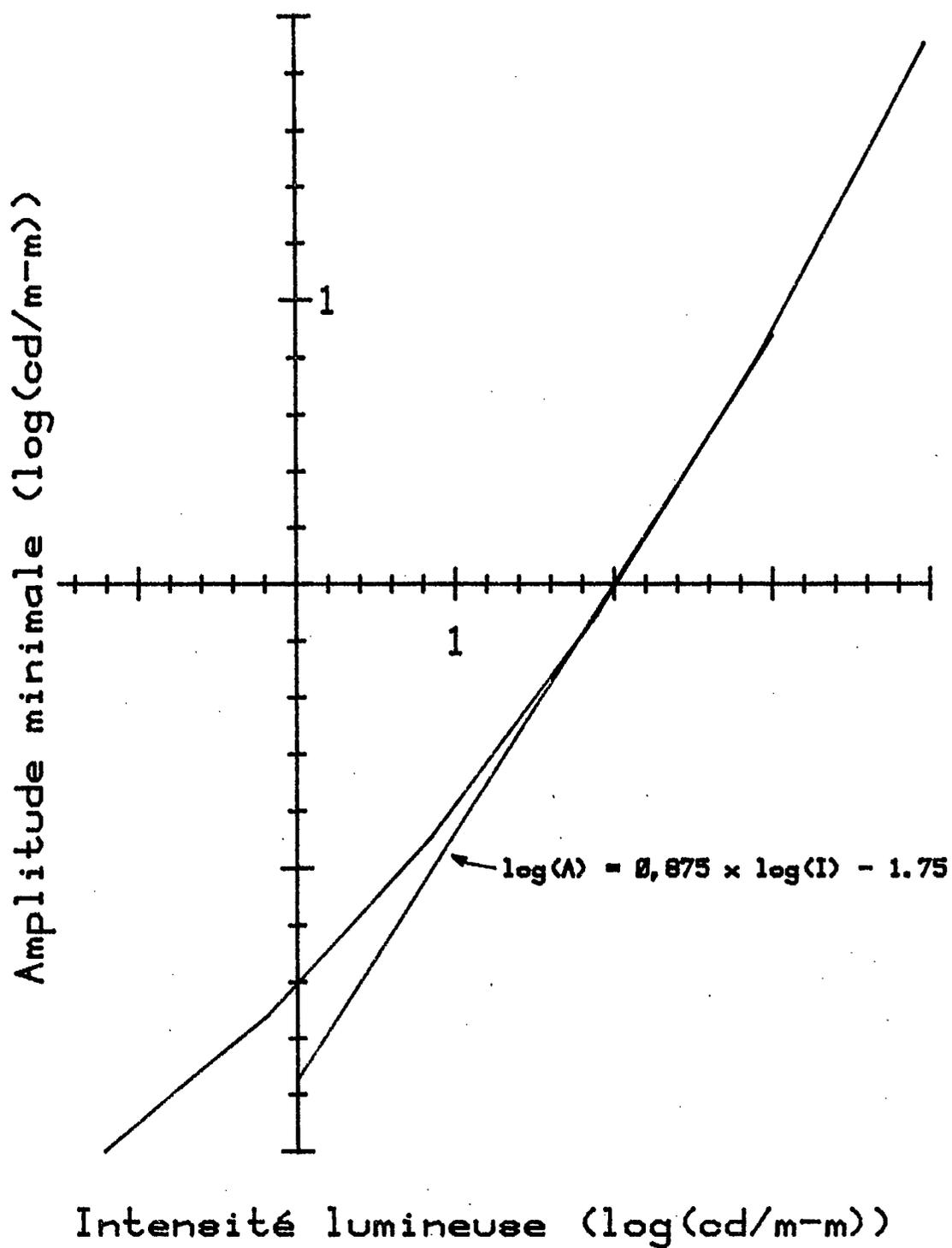


Fig. 6.5- Variation de la sensibilité
Approximation par une droite

Si on transforme l'amplitude minimum en représentation interne par l'ordinateur, on obtient:

$$\log(A(\text{Volts})) = \log(A(\text{ordinateur}) \times \frac{10}{256})$$

$$= \log(A(\text{ordinateur})) - 1.408$$

où $A(\text{ordinateur})$ est la valeur fournie par le convertisseur analogique-numérique. En remplaçant dans l'équation précédente:

$$10 \times \log(A(\text{ordinateur})) - 14.08 = 8.75 \times \log(\text{DC}) - 17.5$$

$$10 \times \log(A(\text{ordinateur})) = 8.75 \times \log(\text{DC}) - 3.42$$

$$\text{BA (décilum)} = 8.75 \times \log(\text{DC}) - 3.42$$

où BA est le niveau de base en décilum que l'on désirait obtenir. C'est la différence entre ce niveau de base et la mesure en décilum de l'écart-type qui est utilisée pour déterminer la qualité de l'image.

D.3. Fonction de pondération

Il s'agit maintenant de déterminer comment transformer les mesures d'écart-type en décilum pour obtenir une mesure de la qualité. Pour trouver la transformation nécessaire on utilise le principe suivant. Les images qui ont été présentées lors des tests subjectifs ont été réalisées en utilisant un montage particulier (fig. 4.2). Ces images ont été jugées et l'indice de qualité de chacune a été calculé. Afin d'obtenir des résultats identiques avec l'appareil, le même montage doit être utilisé pour présenter les images à l'appareil (fig. 6.6). Cependant les images sont remplacées par un niveau gris uniforme qui est plus approprié pour l'appareil

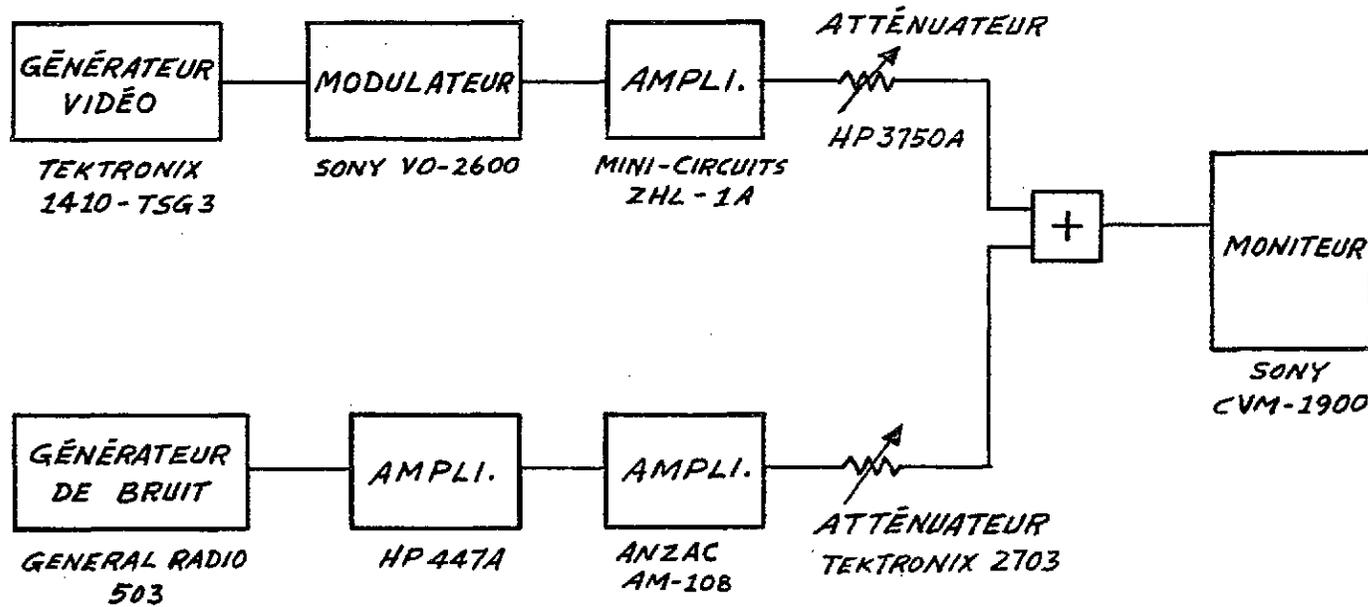


Fig. 6.6- Montage pour les mesures avec l'appareil

Avec les mêmes niveaux de bruit qu'utilisés pour les tests subjectifs l'appareil mesure l'écart-type en décilum de la variation d'intensité lumineuse. A cette mesure on soustrait le niveau de base BA calculé tel qu'indiqué précédemment; ce résultat est appelé OM. La figure 6.7 donne la mesure OM en fonction du rapport signal au bruit (bruit blanc). Si on trace maintenant un graphique dont un des axes est en décilum et l'autre en indice de qualité et que l'on porte la mesure OM et l'indice de qualité pour un rapport signal au bruit donné on obtient la figure 6.8.

On peut faire les remarques suivantes sur le résultat obtenu:

- La région centrale est une ligne droite indiquant que le principe de mesure utilisé est valide.
- Pour les rapports signal au bruit élevés, le jugement subjectif (indice de qualité) est moins sévère que l'appareil. Cela est peut-être dû à la nature finie de l'échelle de jugement (excellente-mauvaise) et qu'au-delà d'une certaine limite l'observateur perd la notion de qualité (une mauvaise image est encore une mauvaise image même si l'interférence augmente). Par contre, si des test comparatifs étaient effectués, ce phénomène ne serait pas aussi marqué.
- Pour les rapports signal au bruit élevés on constate un étalement des mesures. Ce résultat est normal puisqu'à ces niveaux la nature ou contenu de l'image affecte davantage le jugement. En effet certaines images laissent davantage paraître le bruit que d'autres.
- La relation entre la mesure en décilum et l'indice de qualité tel qu'indiquée à la figure 6.8 peut facilement simulée par l'ordinateur. La figure 6.9 montre quelles sont les approximations utilisées et les équations appopriées.

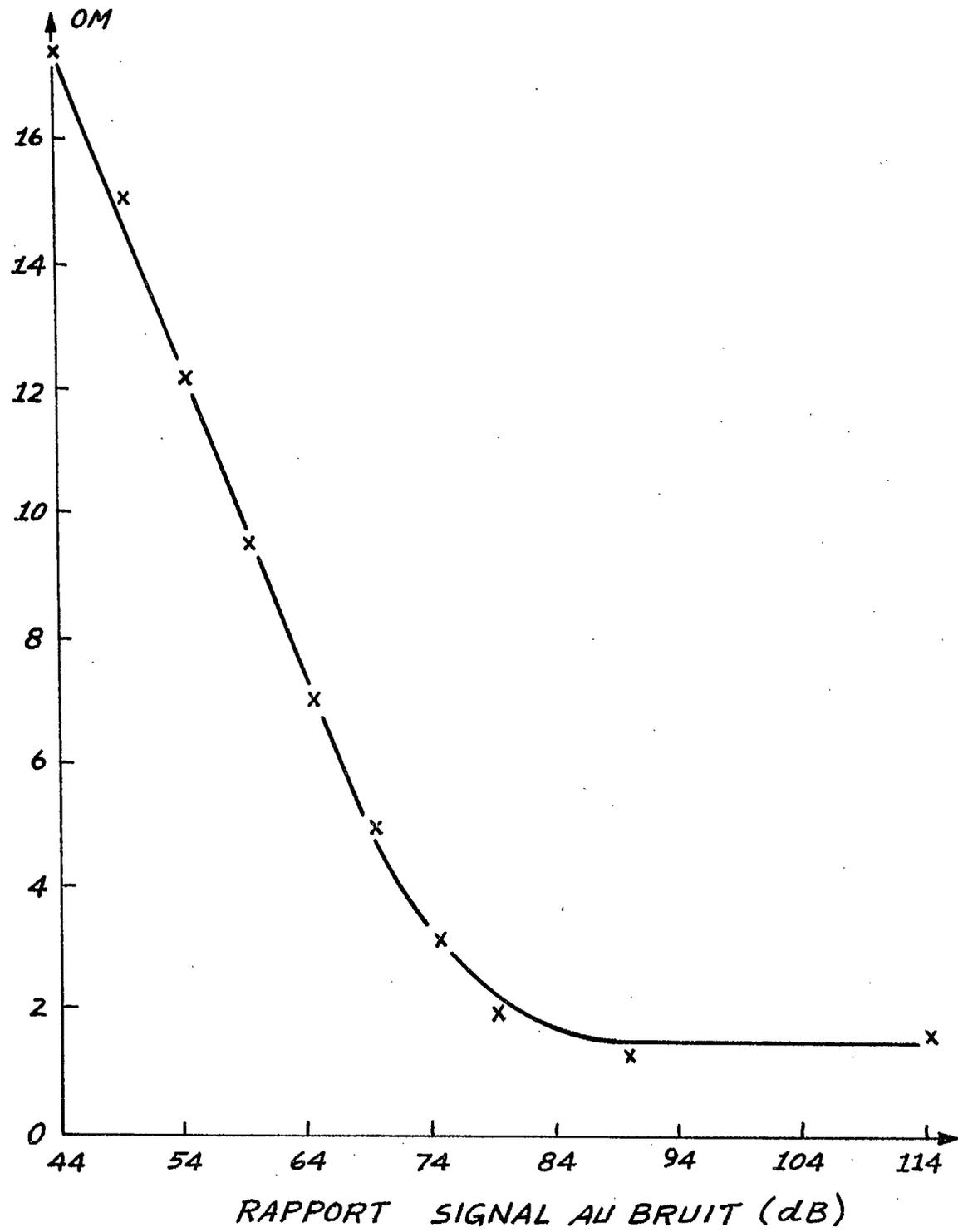


Fig. 6.7- Relation entre OM et le rapport signal au bruit.

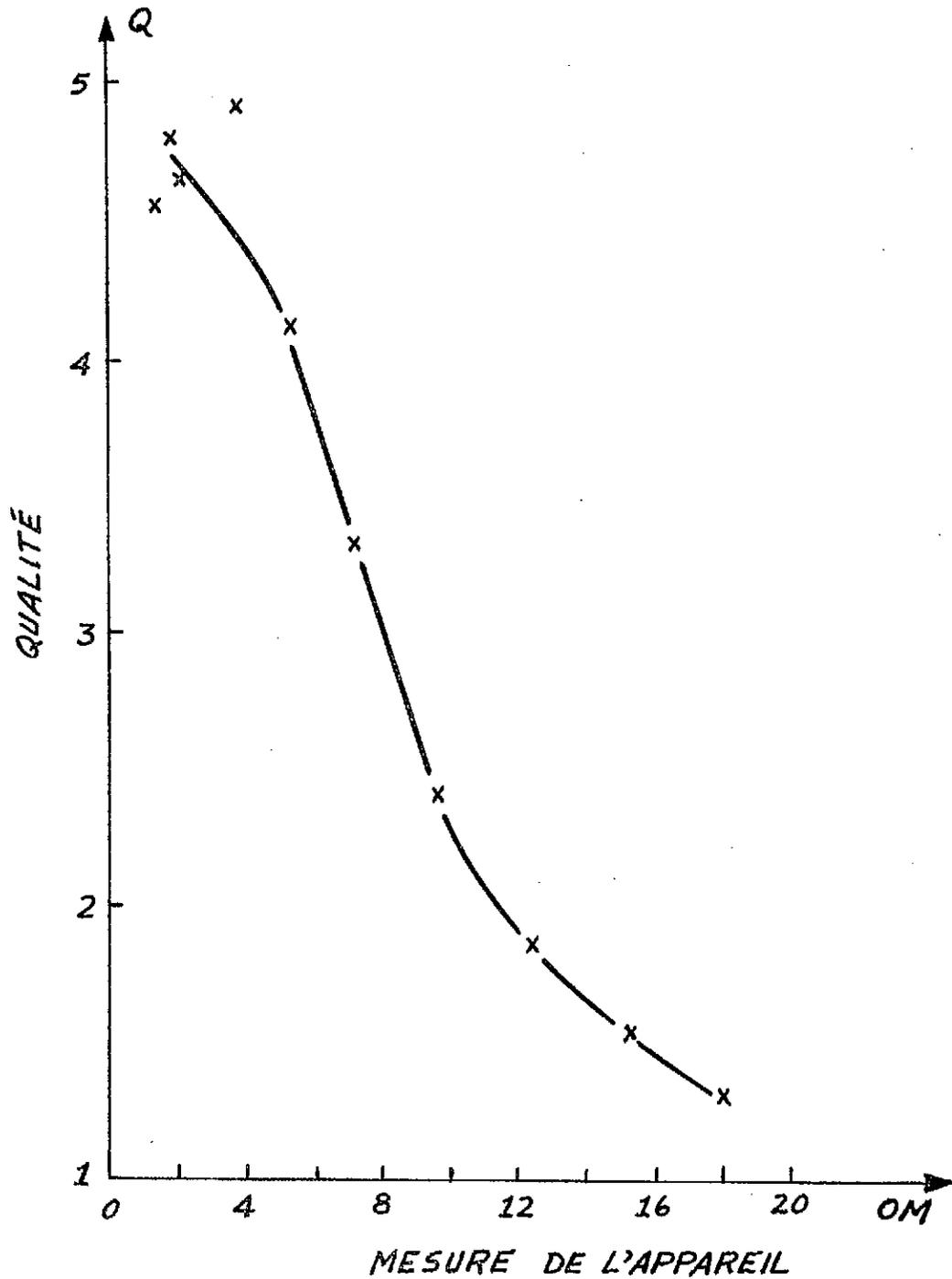


Fig. 6.8- Relation entre OM et Q

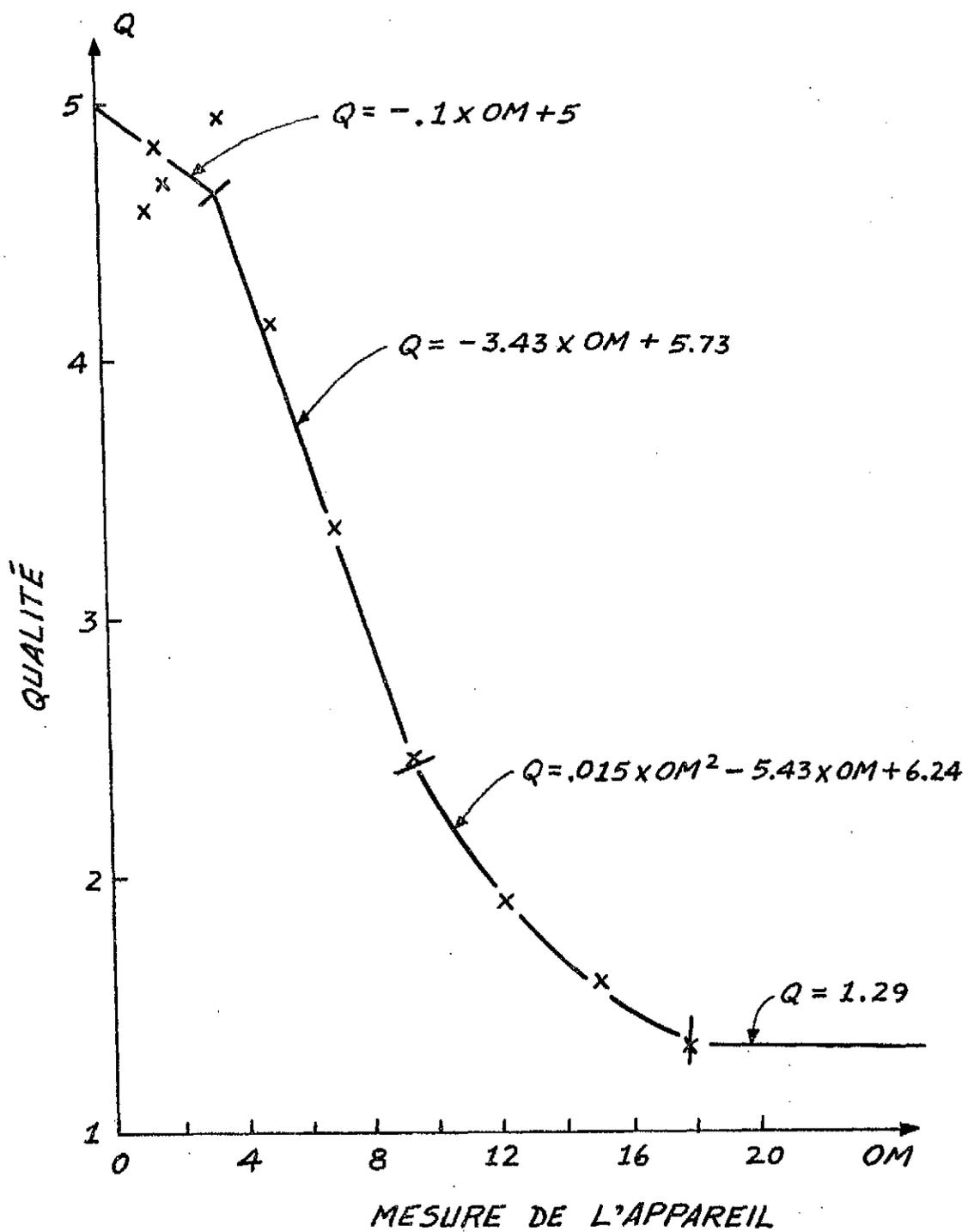


Fig. 6.9- Approximations

E. Programmation

Pour pouvoir effectuer des mesures de qualité avec l'appareil, il faut ajouter au programme décrit au chapitre 5 les différentes opérations qui viennent d'être décrites. Immédiatement après l'initialisation du programme et de l'appareil, on doit effectuer une mesure de l'effet de l'éclairage ambiant (ligne 150). Pour ce faire, on demande à l'opérateur d'annuler toute intensité lumineuse provenant du tube écran pour ne garder que l'éclairage ambiant (6000, 6010). On effectue alors un appel à la routine de correction du niveau continu (6020). En ayant ainsi la valeur de OF et de MZ (MES dans ce cas), on connaît EC en utilisant la formule trouvée auparavant (6030). On rappelle que la fonction FNC(Gain) transforme le code Gain pour donner A2. Le calcul de EC n'est effectué qu'une fois au début des mesures. Il faut toutefois reprendre la mesure si l'éclairage ambiant est changé.

La seconde opération consiste à ajuster l'intensité lumineuse moyenne du tube écran de façon à la situer dans la zone où l'appareil est calibré (160). On utilise à cette fin l'affichage de l'ordinateur avec un caractère qui est placé horizontalement de façon proportionnelle au résultat de la conversion analogique-numérique. Lorsque le caractère est centré sur l'affichage, l'intensité lumineuse est ajustée à la valeur nominale (lignes 6500 à 6570).

Une fois ces deux opérations effectuées, le programme se déroule normalement et les mesures sont effectuées comme précédemment. Une fois que la mesure en décilum est calculée, on appelle à la ligne 4040 une sous-routine qui effectue la transformation pour obtenir une mesure de qualité. On calcule d'abord l'intensité lumineuse moyenne DC (4300) puis cette valeur sert à calculer le niveau de base BA (4310). On soustrait BA à la valeur en décilum de l'écart-type pour obtenir OM (4320). Finalement on convertit OM en indice de qualité avec les lignes 4330 à 4370. Le résultat de ces opérations est affiché par la ligne 4050. On trouve à l'appendice G tous les modules de logiciel réunis.

150 GOSUB 6000

160 GOSUB 6500

6000 PRINT"INTENSITE MINIMUM SUR L'ECRAN"

6010 GOSUB 5000

6020 GOSUB 2010

6025 MES=MES-128

6030 EC=.8*OF+39*MES/FNC(GAIN)

6040 RETURN

6500 PRINT"AJUSTEZ L'INTENSITE POUR CENTRER LE CURSEUR"

6505 POKE DA,128

6510 I=0

6520 MES=PEEK(AD)

6530 PRINT TAB(INT(MES/14))+ "*"

6540 IF (MES<40) OR (MES>215) GOTO 6510

6550 I=I+1

6560 IF I<30 GOTO 6520

6570 RETURN

4040 GOSUB 4300

4050 PRINT"QUALITE:";INT(QL*100)/100

4300 DC = 0.8*OF + 39*MZ/FNC(GA) - EC

4310 BA = 0.875*FNA(DC) - 3.42

4320 OM = FNA(OX) + 30 - 10*FNB(GAIN) - BA

4330 IF OM <= 0 THEN QL=5 : RETURN

4340 IF OM < 3 THEN QL = -0.1*OM + 5 : RETURN

4350 IF OM < 10 THEN QL = -0.342857*OM + 5.72857 : RETURN

4360 QL = 0.01492676*OM*OM - 0.54316850*OM + 6.239011

4370 IF OM > 18 THEN QL = 1.298

4380 RETURN

F. Conclusion

Les différentes opérations nécessaires pour que l'appareil effectue des mesures de qualité identiques à un observateur moyen ont été vues. Essentiellement elles consistent à prendre la mesure en décilum de l'écart-type de la variation lumineuse, de lui soustraire un niveau de base qui est déterminé par la sensibilité de l'oeil et d'appliquer le résultat à une fonction de transformation. La validité de la mesure de qualité par l'appareil et sa sensibilité à différents paramètres est abordée au chapitre suivant.

CHAPITRE VII

Validité des mesures et effet des paramètres extérieurs

A. Introduction

L'appareil est maintenant prêt à évaluer la qualité d'une image de télévision dégradée par du bruit avec les mêmes critères qu'un observateur moyen. Il reste à vérifier la validité des mesures qu'effectuent l'appareil et à connaître les paramètres extérieurs qui influencent les mesures de façon à pouvoir les contrôler. Les paramètres qui sont observés sont l'éclairage ambiant, les divers ajustements du téléviseur utilisé, l'intensité lumineuse moyenne de l'écran, le bruit résiduel et le type de téléviseur utilisé. Finalement la stabilité de la mesure est mesurée.

En utilisant le même montage expérimental que pour les tests subjectifs, on place devant l'image produite par le téléviseur l'optique de l'appareil de façon à mesurer la qualité de celle-ci. Le programme de contrôle est démarré et les mesures de qualité que donne l'appareil en fonction du rapport signal au bruit (blanc) sont notées. On compare les résultats obtenus avec les tests subjectifs à la figure 7.1. On note la très grande concordance entre les deux courbes sauf pour les rapports signal au bruit élevés. Cette concordance n'est pas étonnante puisque c'est avec les mêmes résultats de tests subjectifs que la relation mesure-qualité a été trouvée. La différence pour les rapports élevés est entre autres due à ce que le bruit résiduel du générateur vidéo utilisé pour générer le niveau de gris est beaucoup plus faible que celui du magnétoscope.

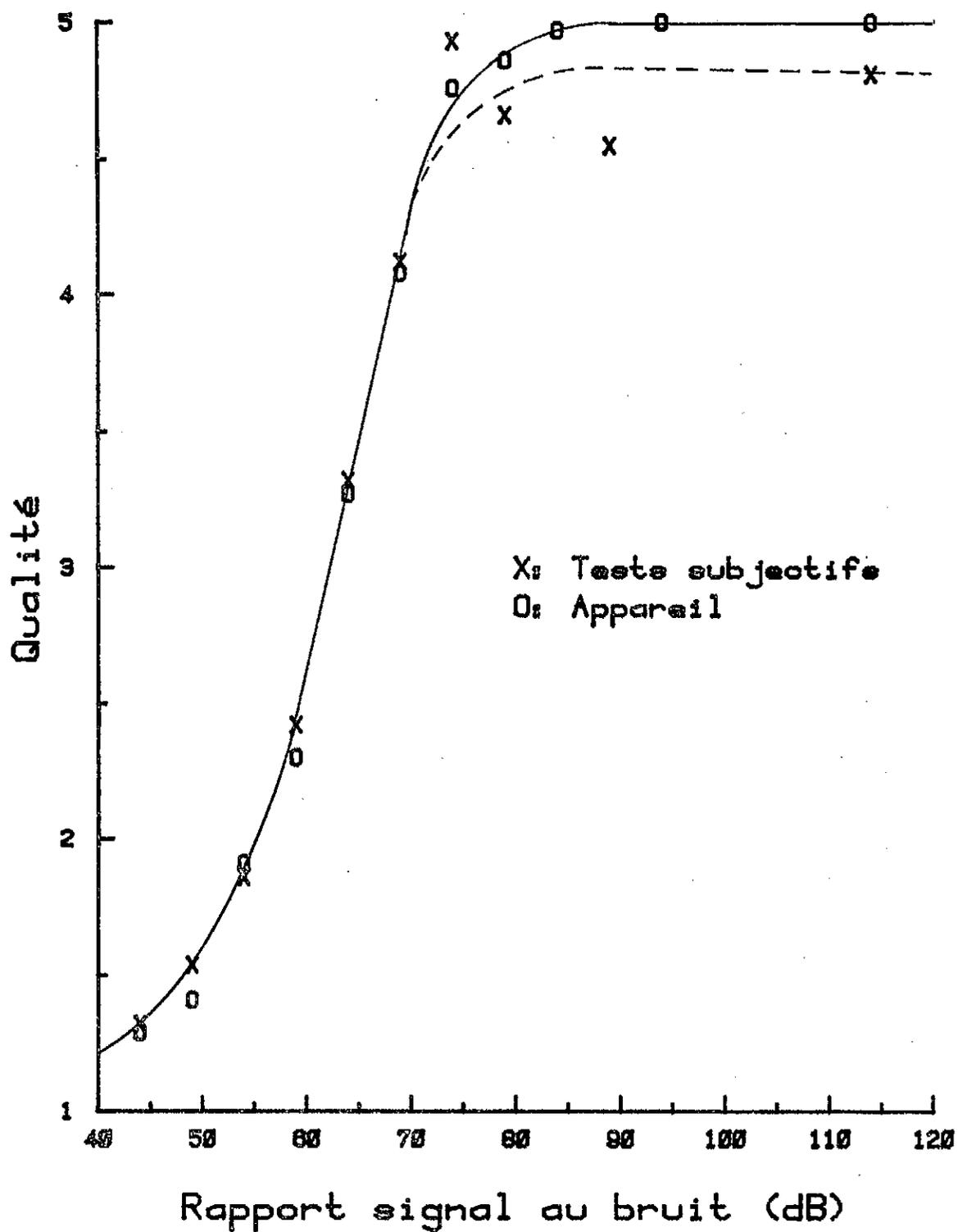


Fig. 7.1- Comparaison tests subjectifs vs mesures de l'appareil (bruit blanc)

Si maintenant on recommence les mesures avec un bruit triangulaire et qu'on compare avec les tests subjectifs, on obtient la figure 7.2. Le même phénomène pour les rapports signal au bruit élevés apparaît avec la même explication tant qu'à sa provenance. La région centrale de la courbe est bien suivie et on note une moins bonne concordance pour les rapports faibles. Il faut toutefois rappeler que l'échantillonnage pour les tests subjectifs dans cette zone est moins important étant donné les problèmes rencontrés lors de l'enregistrement du ruban de test. Comme un échantillonnage plus restreint implique une plus grande incertitude, on peut supposer que l'appareil donne encore des mesures valables.

B. Influence sur la mesure de qualité des paramètres extérieurs

B.1. Eclairage ambiant

On entend par éclairage ambiant toute source lumineuse autre que le tube écran qui parvienne à atteindre le senseur photoélectrique. On a vu au chapitre 6 que le programme compensait pour l'existence de telles sources. Pour vérifier l'efficacité de la compensation, on contrôle une source lumineuse qui fait passer de 40 à 50 et de 40 à 30 cd/m-carré la lumière incidente à la surface de l'écran. Cette variation a pour effet de faire varier la variable EC représentant l'éclairage ambiant entre 18 et 33. La figure 7.3 donne les résultats d'une série de mesure de qualité dans chaque cas. On constate que d'un extrême à l'autre il n'y a que très peu de changement. L'éclairage ambiant a donc très peu d'influence sur la mesure grâce à la compensation apportée dans le programme.

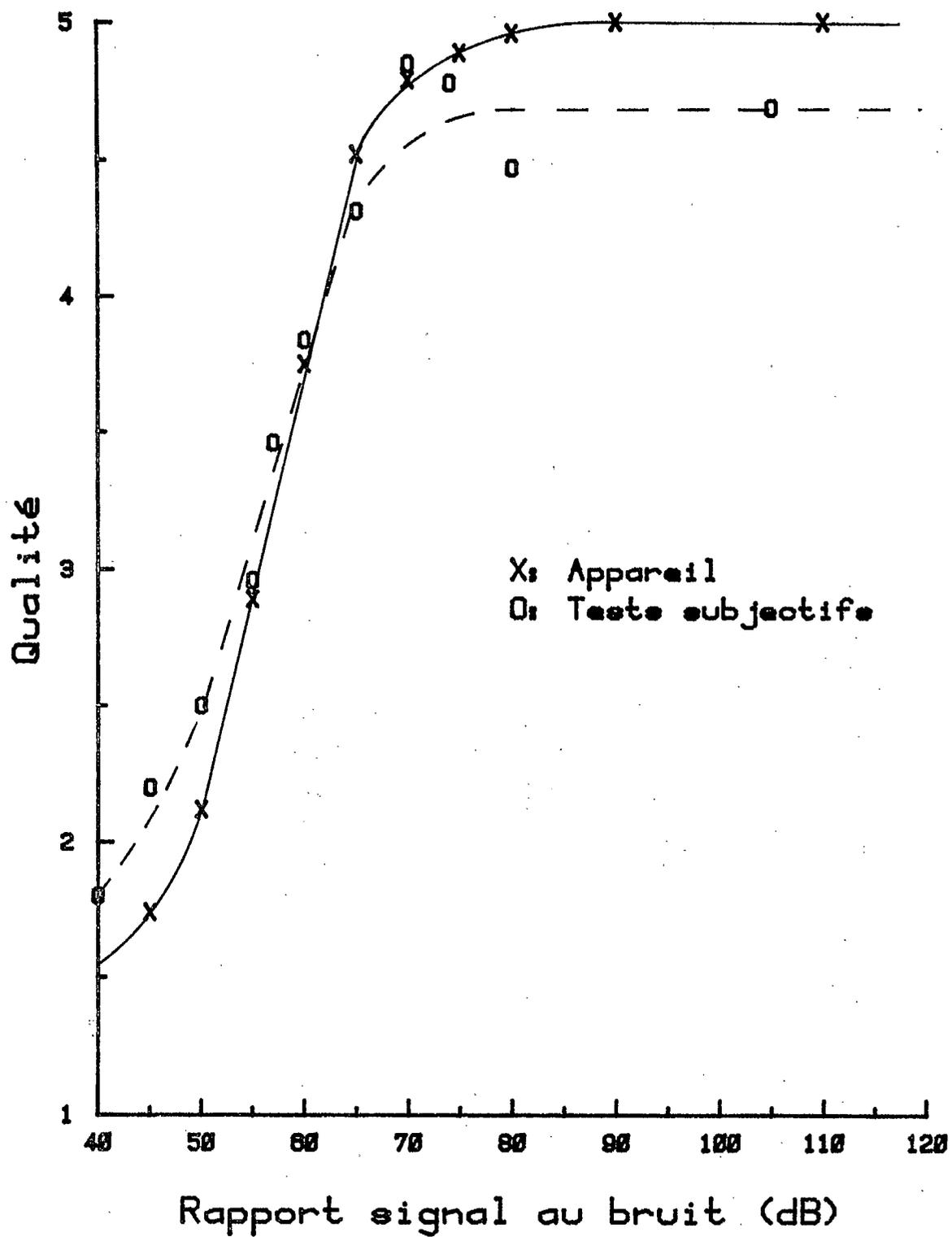


Fig. 7.2- Comparaison pour du bruit triangulaire

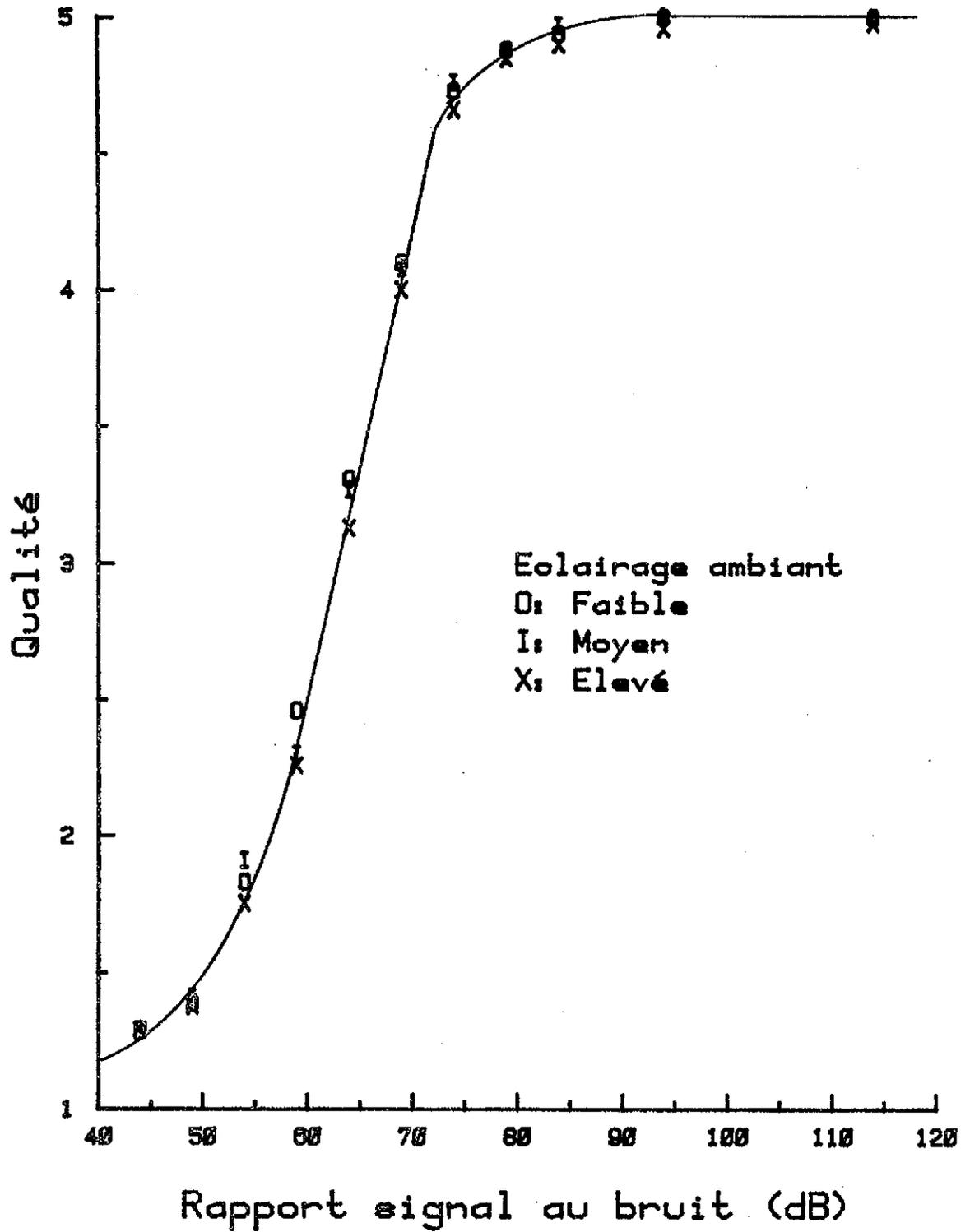


Fig. 7.3- Effet de l'éclairage ambiant

B.2. Ajustement du téléviseur

Chaque téléviseur compte un certain nombre d'ajustements qui affectent l'image que l'on retrouve sur le tube écran. On observe ici l'effet des principaux ajustements et la façon dont ils affectent la mesure de qualité pour minimiser leur effet.

B.2.a. Brillance et contraste

La brillance affecte principalement la valeur moyenne de l'intensité lumineuse tandis que le contraste change la différence en intensité entre une zone sombre et une zone claire. Au niveau du signal électrique, le contraste contrôle l'amplitude du signal vidéo tandis que la brillance modifie le niveau continu. On peut donc s'attendre à ce que le bruit apparaisse davantage lorsque le contraste est élevé.

Pour vérifier l'effet de ces ajustements on effectue trois séries de mesures avec un signal vidéo constant et une intensité lumineuse moyenne constante. Dans une première série la brillance est mise au minimum et le contraste au maximum pour obtenir l'intensité fixée. Les deux autres séries sont faites avec la brillance maximum et médiane et l'ajustement du contraste nécessaire pour conserver la même intensité lumineuse moyenne. La figure 7.4 donne les résultats de ces séries de mesures. Comme on s'y attendait l'amplitude du bruit sur l'écran augmente lorsque la brillance diminue (contraste qui augmente) et par le fait même diminue l'indice de qualité.

B.2.b. Largeur de bande

Certain téléviseur permette de modifier la largeur de bande du canal vidéo. Une augmentation de la largeur de bande amène une plus grande netteté des images, des détails plus discernables mais malheureusement laisse passer également davantage de bruit. Deux séries de mesure en utilisant une largeur de bande maximum et moyenne (position centrale de

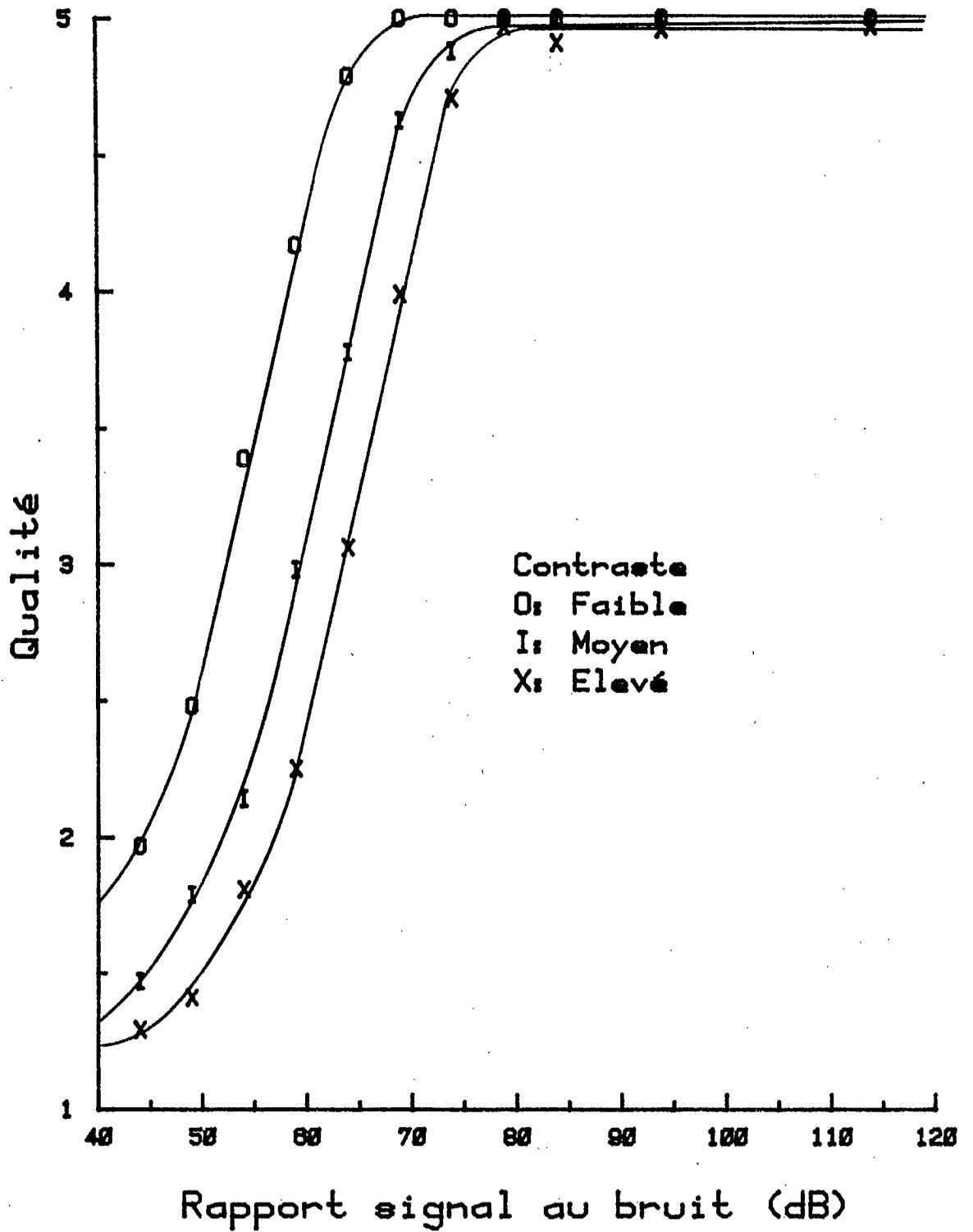


Fig. 7.4- Effet de la brillance et du contraste

l'ajustement) ont été effectuées. Les résultats sont donnés à la figure 7.5. On constate qu'effectivement une augmentation de largeur de bande augmente la quantité de bruit sur l'écran puisque la qualité est diminuée.

B.2.c. Couleur

Jusqu'à maintenant les différentes mesures ont été effectuées en utilisant un ajustement couleur normal. Pour voir si l'ajustement des couleurs peut avoir un effet sur les mesures, une série de mesures avec l'ajustement du rouge au maximum et une autre en annulant les ajustement couleur pour avoir une image noir et blanc ont été effectuées. En observant les résultats de la figure 7.6, on constate qu'aucune différence appréciable n'existe entre un ajustement couleur normal et un ajustement noir et blanc. Cependant un mauvais ajustement des couleurs entraîne une forte dégradation de la qualité.

B.3. Intensité lumineuse moyenne

On a déjà indiqué que l'amplitude du bruit sur l'écran augmente lorsque l'intensité lumineuse augmente dû à une augmentation du gain des amplificateurs. Cependant la sensibilité de l'oeil diminue lorsque l'intensité augmente. Pour vérifier que la correction apportée par programmation est efficace, on effectue plusieurs séries de mesure avec différentes intensités moyennes. Pour ces intensités, la variable DC correspond à 54, 64 et 74. La figure 7.7 indique que les mesures varient peu avec l'intensité moyenne. On peut conclure que la compensation apportée dans le programme est efficace.

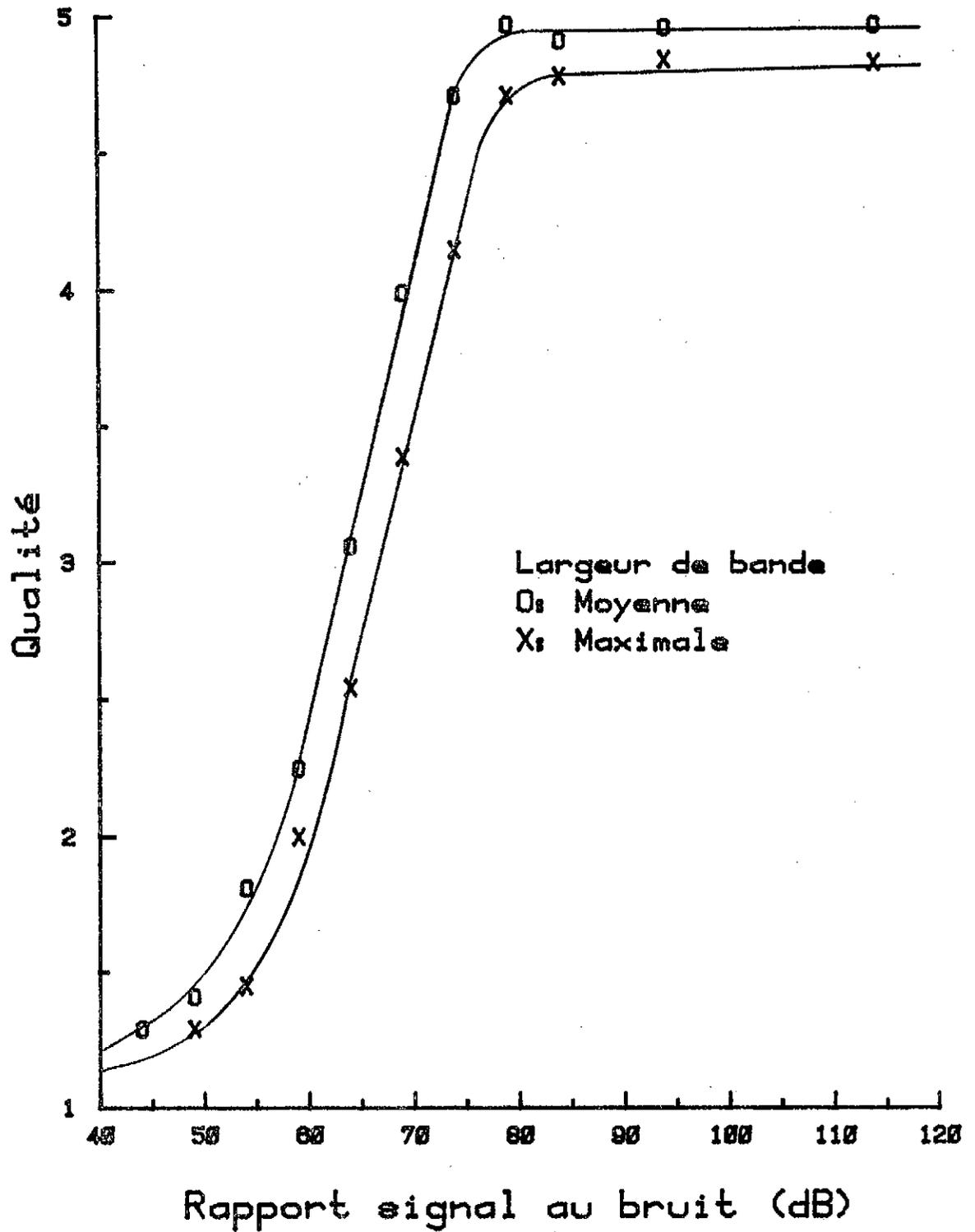


Fig. 7.5- Effet de la largeur de bande

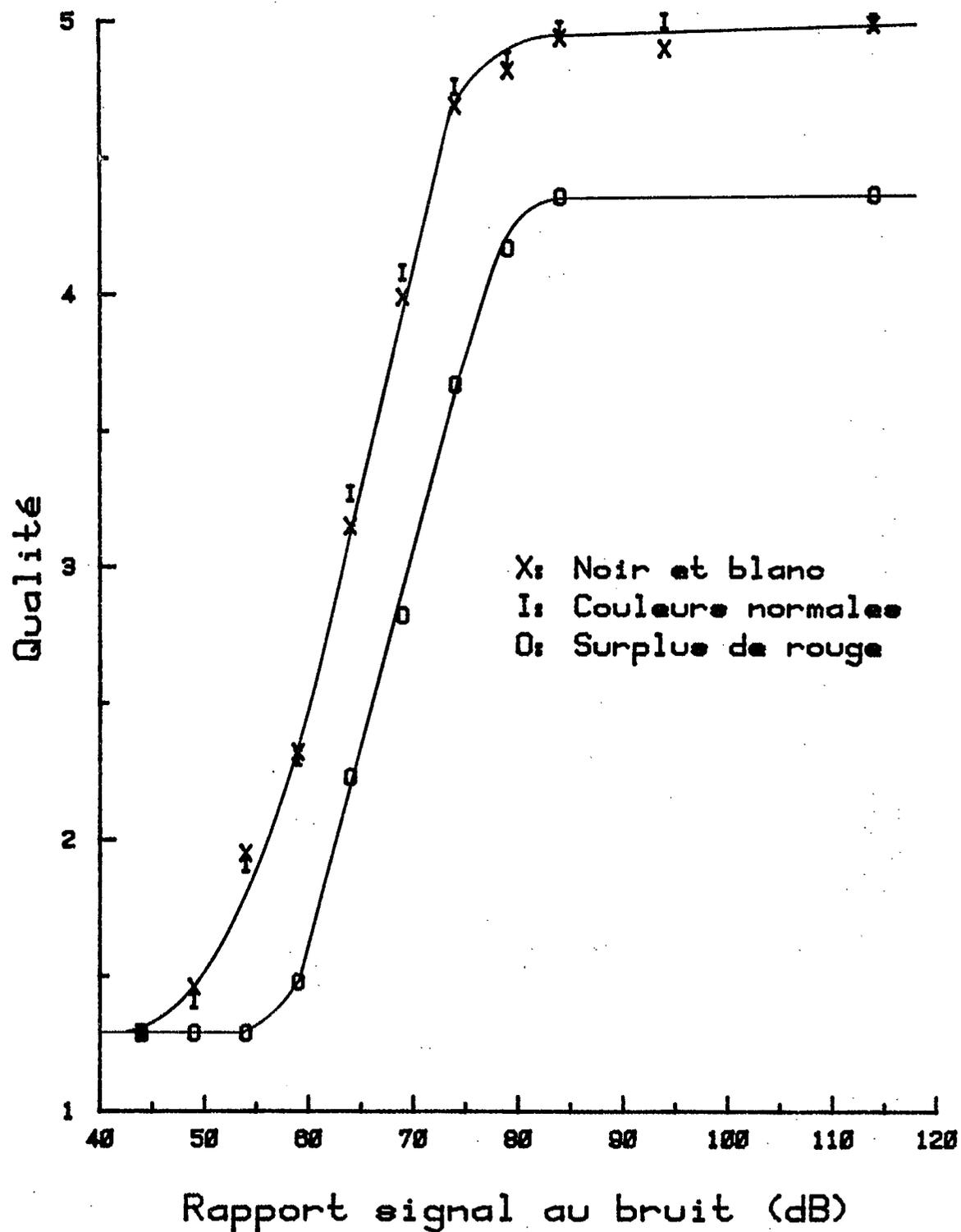


Fig. 7.6- Effet de l'ajustement couleur

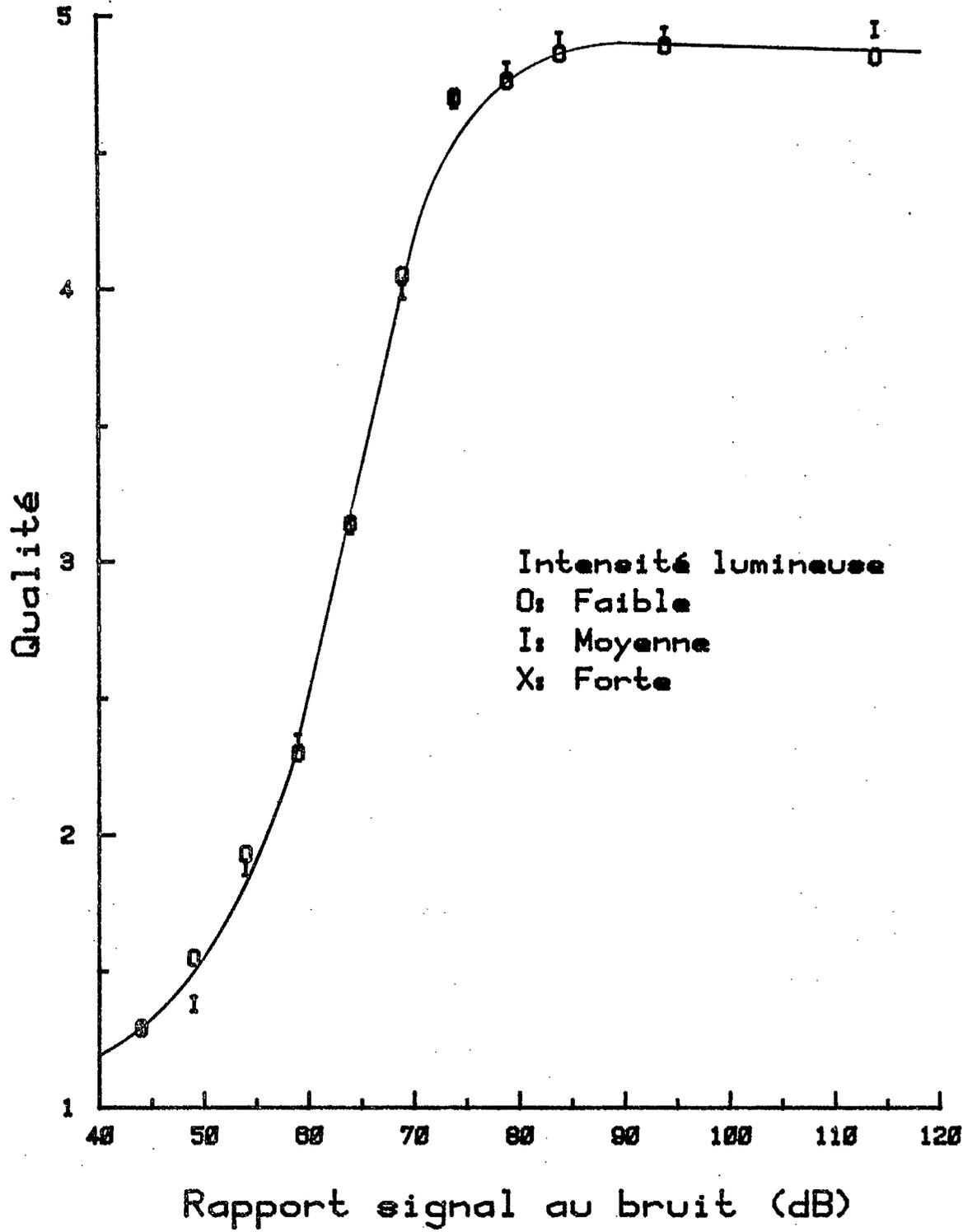


Fig. 7.7- Effet de l'intensité lumineuse moyenne

B.4. Bruit résiduel

Le bruit résiduel est le bruit existant sur l'image même lorsque le rapport signal au bruit est très élevé. Le bruit provient du système même et non de l'extérieur. Pour voir l'effet d'un bruit résiduel sur les mesures on utilise comme source de signal un magnétoscope plutôt qu'un générateur vidéo. Comme le magnétoscope introduit un bruit qui devient ainsi résiduel on peut voir son effet sur les mesures. La figure 7.8 donne les résultats d'une série de mesure effectuée avec le magnétoscope. On constate que seulement la section où le rapport signal au bruit est élevé se trouve affectée par l'introduction d'un bruit résiduel. Celui-ci peut donc négligé pour les rapports signal au bruit faibles.

B.5. Téléviseur observé

On sait jusqu'à maintenant que la bande passante et le bruit résiduel affectent la qualité de l'image. Si un autre type de téléviseur est utilisé avec des caractéristiques différentes, on peut donc s'attendre à ce que la relation qualité-rapport signal au bruit soit différente. On mesure donc cette relation sur un second téléviseur dont la principale différence est une bande passante plus étroite. La relation obtenue est donnée à la figure 7.9. Comme sa bande passante est plus étroite, on constate que l'image est moins détériorée pour un même rapport signal au bruit. Il est certain que de nombreux autres causes peuvent affectés la relation obtenue, mais une étude exhaustive de ces causes dépasse largement les objectifs de ce projet. L'essai effectué n'est là qu'à titre indicatif des résultats qui peuvent être obtenus.

C. Stabilité de la mesure

Afin de vérifier la stabilité de la mesure, on effectue 3 mesures consécutives à des niveaux de rapport signal au bruit de 94, 69 et 54 db. La variation de la mesure de qualité mesurée correspondante est de 0,35%, 0,79%, 1,32%. On voit que lorsque le bruit augmente la précision de la

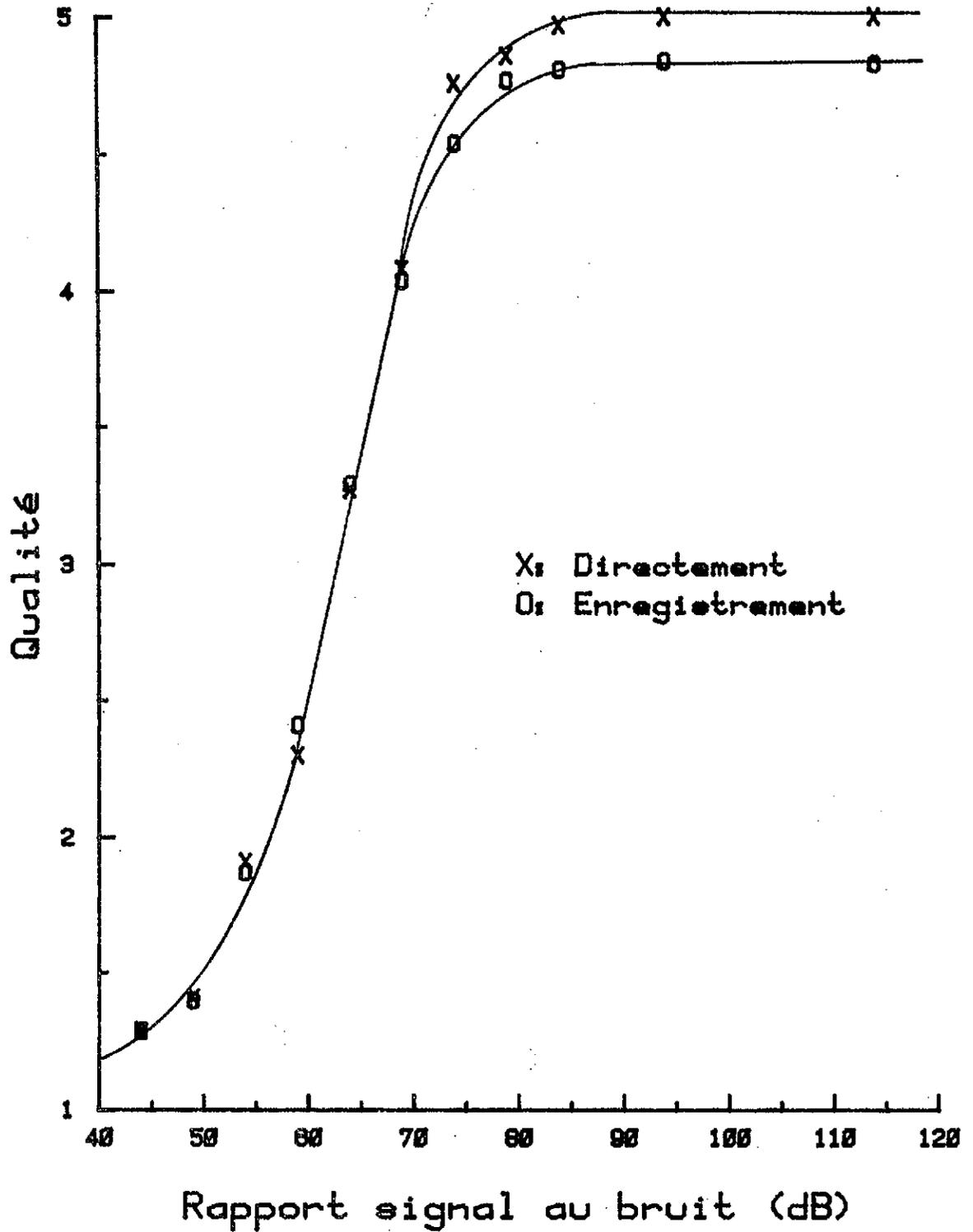


Fig. 7.8- Effet du bruit résiduel

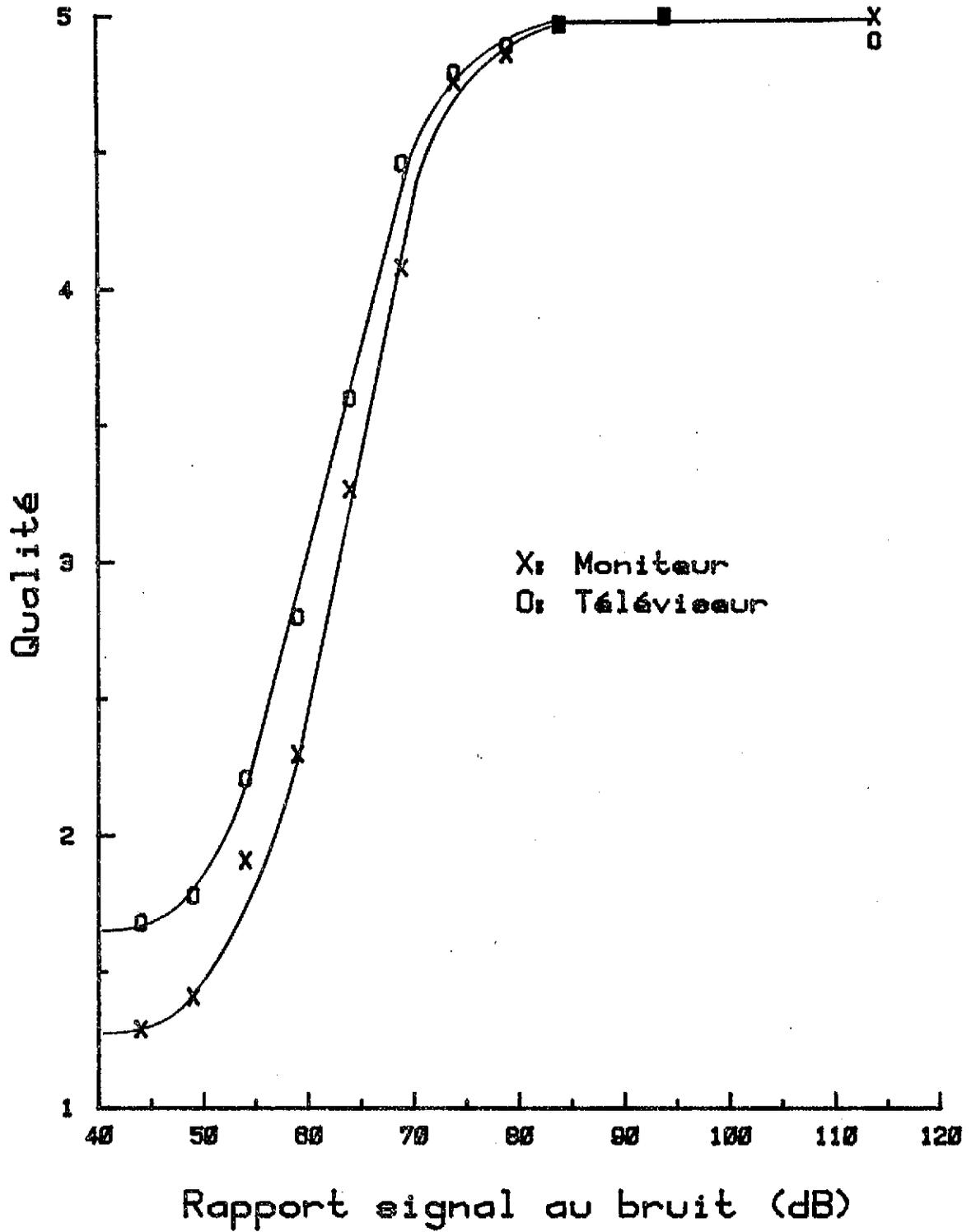


Fig. 7.9- Autre téléviseur

mesure de qualité diminuée. On reste cependant dans les limites théoriques calculées à la section 5.B. de + ou - 2,84%.

D. Conclusion

Les mesures de qualité effectuées par l'appareil sont valides et donnent des résultats semblables aux tests subjectifs. L'éclairage ambiant affecte peu les mesures de qualité grâce à la compensation apportée par le programme. Les ajustements du téléviseur affectent davantage la précision des mesures. Pour pouvoir comparer plusieurs séries de mesures entre elles, on adopte les conventions suivantes. Le contraste est mis à son maximum de façon à faire ressortir le maximum de bruit. La brillance est ajustée pour que l'intensité moyenne soit celle pour laquelle l'appareil est calibrée (ce point est moins important que le contraste). La bande passante si elle est contrôlable est mis dans une position intermédiaire. On utilise un ajustement des couleurs normal ou un ajustement noir et blanc. En résumé, on utilise des ajustements normaux qui sont utilisés pour présenter une image agréable à un observateur.

CONCLUSION

La notion de qualité d'une image de télévision est difficile à bien définir par des mots et encore plus difficile à mesurer avec des appareils. Et pourtant elle est essentielle pour tous ceux qui travaillent dans ce domaine et encore plus pour le spectateur qui regarde cette image. Conventionnellement on mesure la qualité d'une image par le biais de tests subjectifs pour établir une relation entre la qualité de l'image et l'importance du phénomène causant la dégradation. Une fois cette relation connue, on mesure uniquement la source de dégradation et on en déduit la qualité résultante.

Comme on l'a vu, cette méthode est limitée aux cas déjà mesurés et comme le nombre de paramètres à considérer est important, un grand nombre de tests subjectifs est requis. Avec l'investissement en temps et en personnes qu'ils demandent, on comprend qu'on cherche à en minimiser le nombre, ce qui est pourtant à l'encontre des besoins réels. Pour tenter de solutionner ce dilemme, on a mis au point un appareil qui à partir de l'image qu'on lui présente en déduit la qualité que des tests subjectifs auraient donnée.

Un tel appareil, à notre connaissance, est le premier à effectuer ce genre de mesure directement à partir de l'image de télévision. Le principe général qui a guidé la mise au point de l'appareil est le suivant: un spectateur juge l'image qu'on lui présente à partir de la lumière émanant du tube écran qui est captée par ses yeux; pour obtenir avec un appareil le même jugement lorsque placé dans les mêmes conditions, on n'a qu'à reproduire le même processus. C'est-à-dire que l'appareil a comme source d'information la lumière en provenance du tube écran et que ses différentes sections doivent simuler le mieux possible un oeil humain.

Pour réaliser l'appareil, il a tout d'abord fallu étudié le fonctionnement des systèmes de télévision et les caractéristiques de l'oeil humain pour savoir comment les deux interagissent. Les résultats de cette étude indiquent que les caractéristiques de l'oeil qui doivent être simulées sont l'acuité visuelle, la sensibilité aux couleurs, la réponse en fréquence et la variation de sensibilité avec l'intensité lumineuse. Avec cette information, on a construit un système d'acquisition de données basé sur un micro-ordinateur et qui simule l'oeil humain.

Comme dans ce projet on s'intéresse particulièrement à la dégradation par le bruit, dans un premier temps les mesures effectuées par l'appareil consistaient en une évaluation de l'écart-type des signaux lumineux en provenance du tube écran. Comme le but fixé était d'obtenir les mêmes résultats que les tests subjectifs, il a été nécessaire de réaliser de tels tests pour connaître la relation entre la qualité et l'écart-type mesuré. Une relation entre les deux a été trouvée et implantée par programmation. Donc dans un deuxième temps des mesures de la qualité d'images ont été effectuées et comparées avec les tests subjectifs. Finalement on a vérifié l'influence des paramètres extérieurs sur les mesures de l'appareil.

Les mesures de qualité avec l'appareil ont données d'excellents résultats. Pour les deux types de bruit utilisés (bruit blanc et triangulaire) et la modulation utilisée (MA), la correspondance entre les mesures de l'appareil et les tests subjectifs est bonne. On peut supposer qu'avec l'effort qui a été fait pour simuler le mieux possible l'oeil humain, d'autres types de bruit (par exemple du type impulsif) et d'autres types de modulation (MF) auront une correspondance tout aussi bonne. Même si la correspondance n'était pas aussi bonne dans tous les cas, l'appareil demeurerait un outil précieux pour la mise au point de nouveaux modes de transmission (par exemple : satellites) puisqu'il donne une mesure de la qualité de l'image dégradée par du bruit en quelques secondes plutôt que plusieurs journées pour les tests subjectifs.

Les possibilités d'utilisation de l'appareil qui a été mis au point sont nombreuses. Partout où la qualité de l'image de télévision dégradée par du bruit doit être connue, l'utilisation de l'appareil peut sauver beaucoup de temps et d'argent. En voici quelques exemples:

-Pour l'installation d'un nouvel émetteur de télévision, on doit connaître la zone couverte avec une qualité d'image donnée. Conventionnellement on se contente de mesurer le champ électrique ou magnétique et d'en déduire la qualité résultante par des tableaux. Ces mesures ne tiennent pas compte de la fréquence de transmission, du type de bruit rencontré dans la région observée, etc. Des mesures effectuées par l'appareil seraient plus globales et tiendraient compte des différents facteurs.

-Un réseau de câblodistribution est constitué généralement de câbles coaxiaux et d'amplificateurs répartis en différents endroits pour maintenir le signal utile à un niveau acceptable. A chaque étage d'amplification, il y a augmentation du niveau de bruit et celui-ci peut changer selon la fréquence. Des mesures de la qualité en différents endroits dans le réseau avec l'appareil permettraient d'identifier les points faibles et d'apporter les correctifs qui s'imposent.

-Dans les liens entre studios et antennes de transmission ou les liaisons entre deux villes, on utilise fréquemment les micro-ondes et une modulation MF. L'utilisation de l'appareil pour vérifier la transmission et voir l'effet de tels équipements sur l'image une fois rendue chez le spectateur peut être envisagée.

-Une des applications les plus intéressantes est l'utilisation de l'appareil pour évaluer les performances de différents types de téléviseur tant qu'à leur sensibilité aux bruits. Combiné à la mesure de différents autres paramètres tel largeur de bande, gain et phase différentielle, sélectivité, etc.,(22) des spécifications du genre qui sont données pour les composantes audio pourraient être données sur les téléviseurs. Ceci est actuellement un grande lacune qui favorise les manufacturiers au détriment des consommateurs qui n'ont aucune base de comparaison pour l'achat d'un téléviseur. Des spécifications du même genre pourraient

également être données pour les magnétoscopes et les systèmes à vidéo-disques.

-L'utilité de l'appareil devient évidente lorsqu'on désire mettre au point un nouveau mode de transmission. Si on prend par exemple la retransmission directe par satellite, de nombreux facteurs doivent être pris en considération: puissance d'émission, fréquence, type d'antenne, polarisation, modulation, facteur de bruit des récepteurs, conditions atmosphériques, etc. . Si des tests subjectifs pour chacune des conditions de fonctionnement devaient être effectués, ils dureraient très longtemps et ralentiraient son optimisation. Par contre avec l'appareil les changements peuvent être effectués et l'effet vérifié immédiatement. Un autre exemple est la transmission par fibre optique où cette fois on utilise de nouveaux types de transmetteur et de récepteur sans parler du nouveau média de transmission.

On voit que les endroits où l'appareil peut être utilisé sont nombreux et que son utilité est maximale pour la mise au point de nouveaux modes de transmission et pour l'expérimentation. Ceci est uniquement pour la mesure de qualité d'une image dégradée par du bruit. Le principe d'utiliser l'information visuelle pour mesurer le bruit peut être étendu à d'autres paramètres. On pense entre autre à la mesure de la bande passante du système directement sur le tube écran en tenant compte ainsi de toutes les composantes de la transmission. Le gain et la phase différentielle peuvent également être mesurés sur le tube écran là où ils sont le plus évident. On peut également voir comment se répartit le bruit pour chaque composante couleur (rouge,vert, bleu) en décomposant le signal par des filtres optiques. On peut en nommer ainsi plusieurs qui se prêtent bien à la mesure optique (22). Il s'agit d'adapter l'appareil en conséquence.

En résumé, on a mis au point un appareil qui mesure la qualité d'une image de télévision dégradée par du bruit. Pour ce faire, on simule les principales caractéristiques de l'oeil soit l'acuité visuelle, la sensibilité aux couleurs, la réponse en fréquence et la variation de la sensibilité avec l'intensité lumineuse. Les mesures données par l'appareil concordent avec les résultats des tests subjectifs et les possibilités d'utilisation de l'appareil sont nombreuses.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Fredendall, G.L., Behrend, W.L., "Picture quality- Procedure for evaluating subjective effects of interference", Proceeding of the IRE, Vol. 48, no.6 (Juin 1960), pp.1030-1034.
- (2) Dean, C.E., "Measurements of the subjective effects of interference in television reception", Proceedings of the IRE, Vol. 48, no. 6 (Juin 1960), pp.1035-1051.
- (3) Mertz, P., "Perception of television random noise", SMPTE Journal, Vol. 54, no. 1 (Janvier 1950), pp.8-34.
- (4) Fink, D.G., Electronics Engineers' Handbook, Section 20, New York, McGraw-Hill, /1975/, Section 20.
- (5) Grob, B., Basic Television, Principle and Servicing, New York, McGraw-Hill, /1975/. 732p., 21 cm.
- (6) Ministère des Communications, Procédure sur la radiodiffusion- Normes techniques et méthodes pour les entreprises de réception de radiodiffusion (télévision par câble), Procédure 23, Gouvernement du Canada, Service de la réglementation des télécommunications, s.d.
- (7) Southhall, J.P.C., Introduction to physiological optics, New York, Dover Publication, /1937/. 426p., 26 cm.
- (8) Fink, D.G., Electronics Engineers' Handbook, Section 1, New York, McGraw-Hill, /1975/.

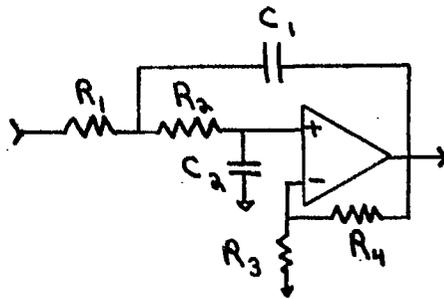
- (9) Commission Internationale de l'Eclairage, Colorimétrie- Recommendations officielles, Publication CIE no. 15, Paris, 1971.
- (10) Landris, C., An annotated bibliography of flicker fusion phenomena covering the period 1740-1952, Washington, D.C., Armed Forces, National Research Council, 1953.
- (11) DeLange, H., "Relationship between critical flicker frequency and a set of low-frequency characteristic of the eye", J. Opt. Soc. Am., Vol. 44 (1954), pp.380-389.
- (12) DeLange, H., " Research into the dynamic nature of the human fovea-cortex systems with intermittent and modulated light", J. Opt. Soc. Am., I: Vol. 48 (1958), pp. 777-784; II: pp. 784-789.
- (13) Kelly, D.H., "Visual response to time-dependent stimuli. I: Amplitude sensitivity measurements", J. Opt. Soc. Am., Vol. 51 (1961), pp. 422-429.
- (14) Smol, G., Hamer, M.P.R., Hills, M.T., Telecommunication: A Systems approach, Londres, Allen and Uwin, 1976. 270p., 25 cm.
- (15) Moses, R.A.(éd.), Newman, M., Adler's Physiology of the eye, Chap. 18: Visual Acuity, Saint Louis, C.V. Mosby, 1975. 702 p., 26 cm.
- (16) Fink, D.G., Electronics Engineers' Handbook, Section 10, New York, McGraw-Hill, /1975/.
- (17) Melles Griot, Optics guide, Irvine, Californie, Etats-Unis, /1975/. 192p., 28 cm.
- (18) CCIR, Subjective assessment of the quality of television picture, Doc. 11/1024-E, CCIR XIVth Plenary Assembly, Kyoto, 1978.

- (19) CCIR, Method for the subjective assessment of the quality of television picture, Doc. 11/1022-E, CCIR XIVth Plenary Assembly, Kyoto, 1978.
- (20) Bendat, J.S., Piersol, A.G., Random data; analysis and measurement procedures, Toronto, Wiley-Interscience, /1971/. 407p., 24 cm.
- (21) Peatman, J.B., Microcomputer-based design, New York, McGraw-Hill, /1977/. 590p., 24 cm.
- (22) Pomerleau, A., Brousseau, R., Bouliane, J., Etude de mesures quantitatives de la qualité d'une image de télévision, Rapport Final, Dept. Génie Electrique, Université Laval, Québec, Mars 1979
- (23) Graeme, J.G., Tobey, G.E., Operational Amplifier: Design and Applications, New York, McGraw-Hill, /1971/. 356p., 28 cm.
- (24) DeMaw, D., The Radio Amateur's Handbook, Newington, Connecticut, American Radio Relay League, 1980.
- (25) Kemeny, J.G., Kurty, T.E., Basic Programming, New York, /1967/. 122p., 28cm.
- (26) Camp, R.C., Smay, T.A., Triska, C.J., Microcomputer Systems Principles featuring the 6502/KIM, Portland, Oregon, Matrix Publishers, /1978/. 574p., 22cm.

APPENDICE A

Réalisation du filtre pour une réponse en fréquence semblable à l'oeil

Le filtre est réalisé en cascadant trois étages du type suivant:



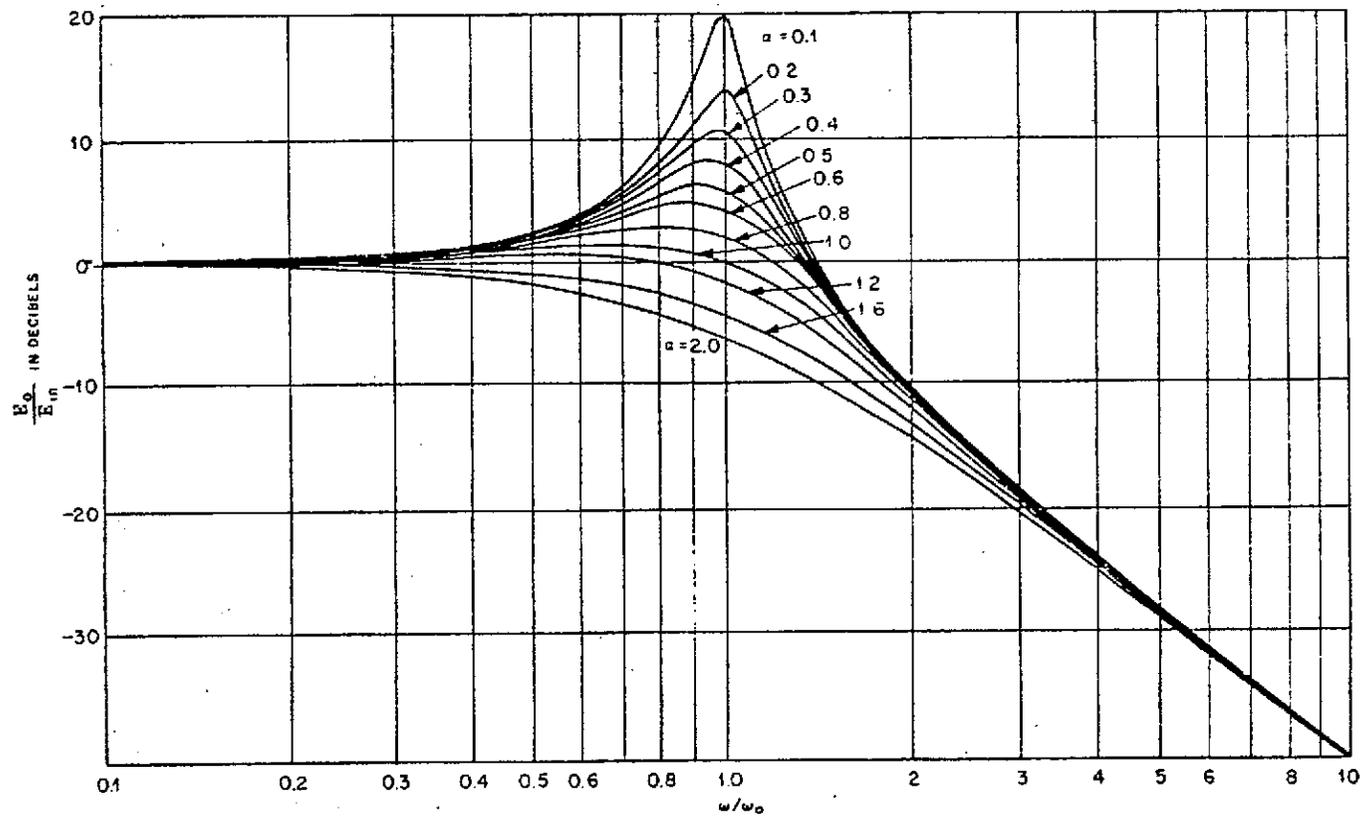
$$1 + \frac{R_4}{R_3} = K$$

qui ont une réponse en fréquence réglée comme tout système du deuxième ordre par les paramètres α (amortissement) et ω_0 (fréquence centrale). Il est possible de trouver les résistances et condensateurs nécessaires pour obtenir une réponse en fréquence donnée à partir de α , ω_0 et H_0 (gain DC) (23). Pour simplifier le design, on pose $C_1 = C_2 = C$ et aussi $H_0 = K = 2$. On choisit $C = 0,47$ F. En analysant le circuit, on trouve que les résistances R_1 et R_2 doivent être:

$$R_2 = \frac{\alpha}{\omega_0 C}$$

$$R_1 = \frac{R_2}{\alpha^2}$$

Pour obtenir une réponse en fréquence globale pour le système qui approche celle de l'oeil, on trouve expérimentalement que les différents étages du filtre doivent avoir les caractéristiques suivantes:

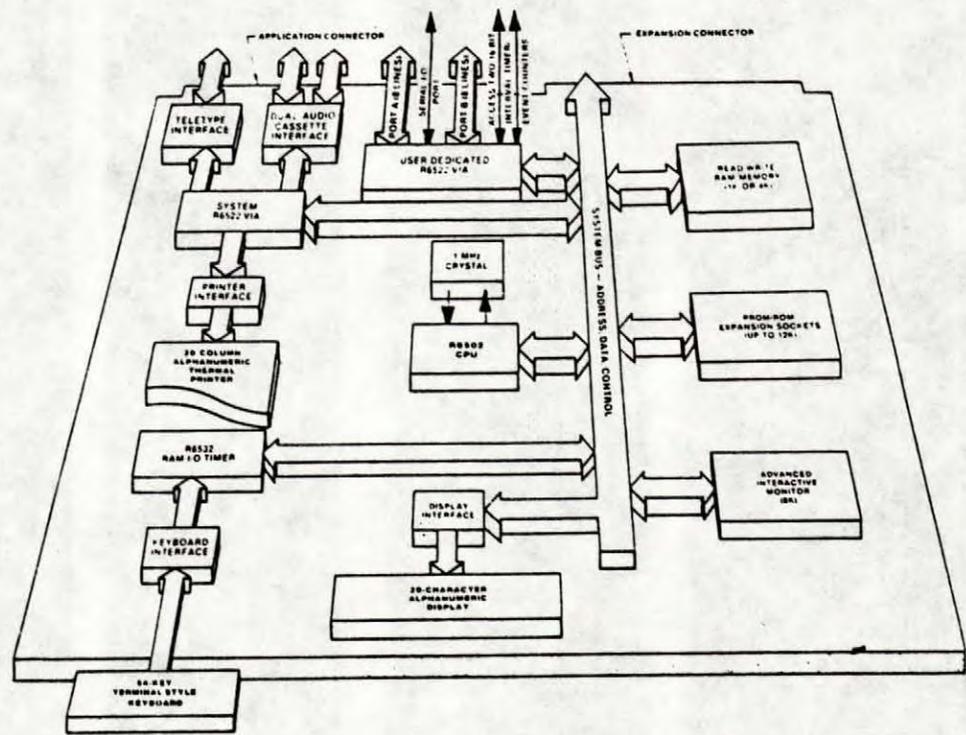
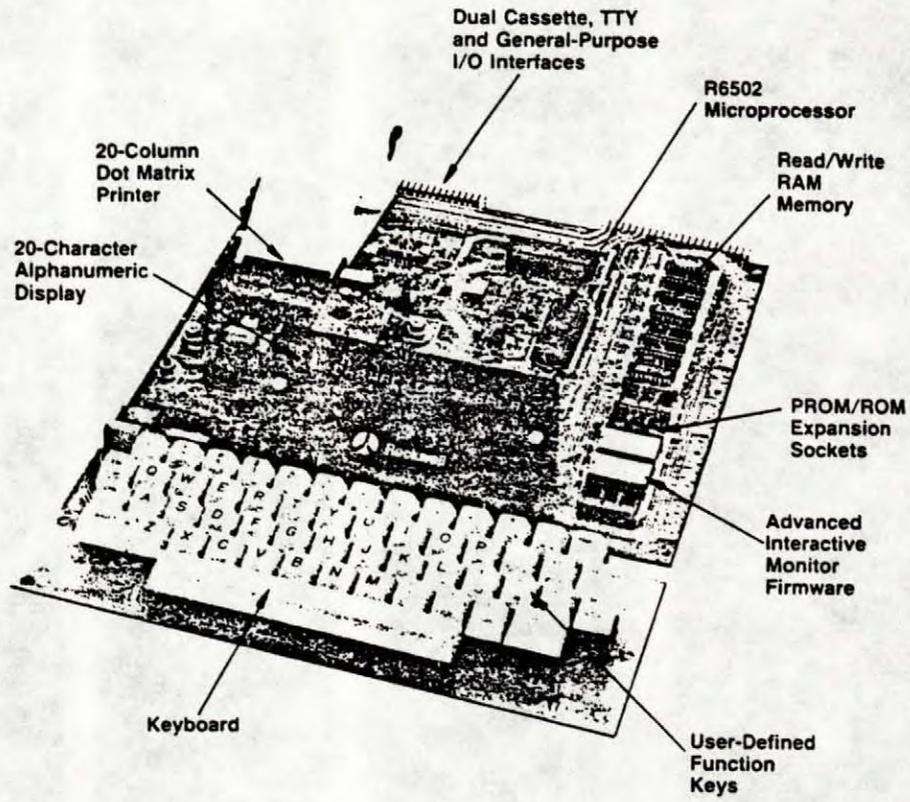


Filtre du deuxieme ordre - Effet de la variation de Q

APPENDICE B.

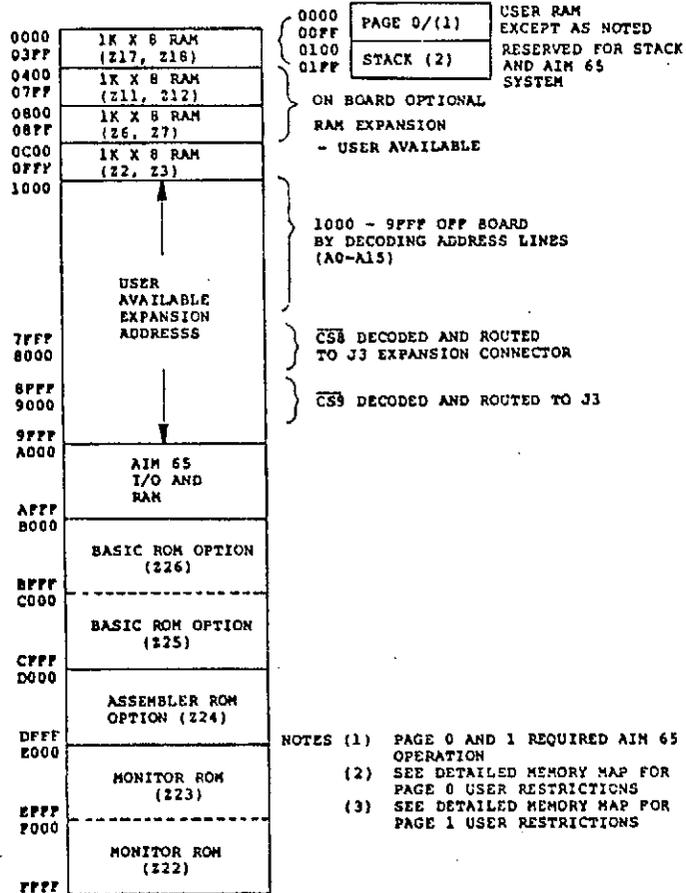
Caractéristiques du AIM-65

On trouve ici sous forme de photocopies des manuels d'utilisation les principales caractéristiques du AIM-65.



Bloc-diagramme du AIM-65

PAGE 1 & 2 REQUIRED FOR
AIM 65 OPERATION



0000 PAGE 0/(1) USER RAM
EXCEPT AS NOTED
00FF RESERVED FOR STACK
0100 AND AIM 65
01FF SYSTEM

ON BOARD OPTIONAL
RAM EXPANSION
- USER AVAILABLE

1000 - 9FFF OFF BOARD
BY DECODING ADDRESS LINES
(A0-A15)

CS8 DECODED AND ROUTED
TO J3 EXPANSION CONNECTOR

CS9 DECODED AND ROUTED TO J3

- NOTES (1) PAGE 0 AND 1 REQUIRED AIM 65
OPERATION
(2) SEE DETAILED MEMORY MAP FOR
PAGE 0 USER RESTRICTIONS
(3) SEE DETAILED MEMORY MAP FOR
PAGE 1 USER RESTRICTIONS

NOTE: (3) ADDRESSES 1000-9FFF
AVAILABLE FOR USER
OFF-BOARD EXPANSION

Utilisation de la mémoire

TABLE 3-1. AIM 65 MONITOR COMMANDS

<u>CATEGORY</u>	<u>COMMAND</u>	<u>FUNCTION</u>
Major Function Entry	RESET	Enter and Initialize Monitor
	ESC	Re-Enter Monitor
	E	Enter and Initialize Text Editor
	T	Re-Enter Text Editor
	N	Enter Assembler
	5	Enter and Initialize BASIC
	6	Re-Enter BASIC
Display/Alter Registers	*	Alter Program Counter
	P	Alter Processor Status
	A	Alter Accumulator
	X	Alter X Register
	Y	Alter Y Register
	S	Alter Stack Pointer
	R	Display Registers
Display/Alter Memory	M	Display Specified Memory Contents
	SPACE	Display Next Four Memory Contents
	/	Alter Memory Contents
Instruction Entry/Disassembly	I	Instruction Mnemonic Entry
	K	Disassemble Memory

TABLE 3-1. AIM 65 MONITOR COMMANDS (Cont.)

<u>CATEGORY</u>	<u>COMMAND</u>	<u>FUNCTION</u>
Execution/Trace	G	Start Execution at Program Counter Address
	Z	Toggle Instruction Trace Mode On/Off
	V	Toggle Register Trace Mode On/Off
	H	Trace Program Counter History
Manipulate Breakpoints	?	Display Breakpoints
	#	Clear All Breakpoints
	B	Set/Clear Breakpoints
	4	Toggle Breakpoint Enable On/Off
Load/Dump Memory	L	Load Memory
	D	Dump Memory
Peripheral Control	CTRL PRINT	Toggle Printer On/Off
	PRINT	Print Display Contents
	LF	Line Feed
	1	Toggle Tape 1 Control On/Off
	2	Toggle Tape 2 Control On/Off
	3	Verify Tape Checksum
User Function Interface	F1	User Function 1
	F2	User Function 2
	F3	User Function 3

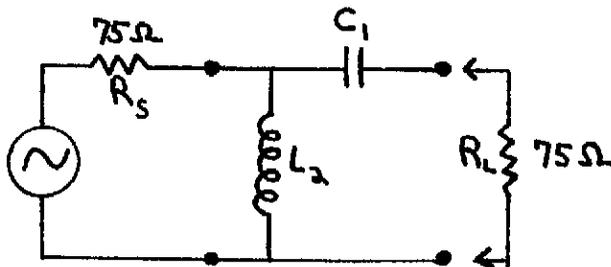
APPENDICE C.

Plan électrique général

APPENDICE D

Réalisation du filtre passe-haut pour le bruit

Le design de ce filtre est basé sur la méthode décrite à la référence (24). On veut un filtre passe-haut du deuxième ordre avec une fréquence de coupure de 70 MHz (de façon à ce que pour la bande de 60 à 66 MHz on est un bruit triangulaire).



Pour avoir les caractéristiques recherchées, on a pour un filtre normalisé:

$$C_1 = L_2 = 1,4142$$
$$R_s = R_L = R = 75\Omega$$

A la fréquence d'opération $f_c = 70$ MHz

$$C = \frac{1}{2\pi f_c R C_1}$$

$$C = 21,4 \text{ pF}$$

$$L = \frac{R}{2\pi f_c L_2}$$

$$L = 0,12 \mu\text{H}$$

Pour bien ajuster le filtre, le condensateur est ajustable. L'inductance consiste en 2 tours d'un diamètre de 4 cm de fil 28.

APPENDICE E

Langage BASIC

Les différentes commandes ou instructions du langage BASIC sont données ici. Une description plus complète de ce langage peut être trouvée à la référence (25).

OPERATORS

Symbol	Function
=	Assignment, or equality test
-	Negation or subtraction
+	Addition or string concatenation
*	Multiplication
/	Division (floating point result)
↑ (F3)	Exponentiation
NOT	One's complement (integer)
AND	Bitwise AND (integer)
OR	Bitwise OR (integer)
XOR	Bitwise exclusive OR (integer)
=	Equal
<	Less than
>	Greater than
<=	Less than or equal
>=	Greater than or equal
<>	Not equal

The precedence of operators is:

- (1) Expressions in parentheses
- (2) Exponentiation (↑)
- (3) Negation (- X)
- (4) *, /
- (5) +, -
- (6) Relational operators { =, <, >, <=, >= }
- (7) NOT
- (8) AND
- (9) OR
- (10) XOR

SPECIAL CHARACTERS

RETURN	Ends every line typed in
LF	Advances printer paper one line
DEL	Erases last character typed
:	(colon) Separates statements typed on the same line
?	Equivalent to PRINT
F1	Break in execution
ESC	Returns control to monitor
↑	Causes print even if printer control is turned off
@	Erases current line
\$	Suffix, specifies string variable
%	Suffix, specifies integer variable

COMMANDS

Statement	Syntax/Function	Example
CLEAR	CLEAR Clear program variables	CLEAR
CONT	CONT Continue program execution	CONT
FRE	FRE (expression) Gives memory free space not used by BASIC	PRINT FRE (0)
LIST	LIST [{ start line}] [{ end line}] List program lines at terminal	LIST 100-1000
LOAD	LOAD input device filename tape no. Load a program file.	LOAD IN = T F = NAME1 T = 1
NEW	NEW Delete current program and variables.	NEW
PEEK	PEEK (address) Reads a byte in decimal from memory at specified decimal address	PRINT PEEK (2000)
POKE	POKE address, byte Puts byte specified in decimal into decimal memory location specified	POKE 23100, 255
RUN	RUN (line number) Run a program (from line number)	RUN RUN 50
SAVE	SAVE output device filename, tape no. Save the program in memory with name "filename"	SAVE OUT = T F = PROG T = 1

PROGRAM STATEMENTS

Statement	Syntax/Function	Example
DEF FN	DEF FNx { (argument list)} = expression Define an arithmetic or string function	DEF FNA (X,Y) = SOR (X*X + Y*Y)
DIM	DIM variable (size 1, { size 2...}) ... Allocate space for arrays.	DIM A (3), B\$ (10, 2, 3)
END	END Stop program and return to BASIC command level.	END
FOR	FOR variable = expression TO expression [STEP expression] Used with NEXT statement to repeat a sequence of program lines. The variable is incremented by the value of STEP.	FOR I = 1 TO 5 STEP .5 ...
GOSUB	GOSUB line number Call a BASIC subroutine by branching to the specified line number. See RETURN.	GOSUB 210
GOTO	GOTO line number Branch to specified line number	GOTO 90
IF ... GOTO	IF expression GOTO line number The relation X < Y is tested; if true, the GOTO clause is executed. If false the GOTO clause is not executed.	IF X < Y GOTO 100
IF ... THEN	IF expression THEN statement [:statement] ... The relation X < Y is tested. If true, the THEN clause is executed. If false, the THEN clause is not executed.	IF X < Y THEN Y = X
LET	[LET] variable = expression Assign a value to a variable	LET X = I + 5
NEXT	NEXT variable [, variable] ... Delimits the end of a FOR loop	NEXT
ON ... GOSUB	ON expression GOSUB line [, line] ... GOSUBs to statement specified by expression. (If J + 1 = 1, to 20; if J + 1 = 2, to 20; if J + 1 = 3, to 40)	ON J + 1 GOSUB 20,20,40
ON ... GOTO	ON expression GOTO line [, line] ... Branches to statement specified by I (To 20 if I = 1; to 30 if I = 2)	ON I GOTO 20,30
REM	REM any text Allows user to insert comments in program (not executed). Note: "" does not terminate a REM statement.	REM comment
RESTORE	RESTORE Resets DATA pointer so that DATA statements may be re-read	RESTORE
RETURN	RETURN Return from subroutine to statement following last GOSUB performed	RETURN
STOP	STOP Stop program execution, print BREAK message, and return to COMMAND mode.	STOP
USR	USRn (argument) Calls the user's machine language subroutine with the specified argument.	PRINT USR (27000)
WAIT	WAIT address, mask [, select] Waits for input to appear on a hardware port	WAIT 21, 1

ARITHMETIC FUNCTIONS

Statement	Syntax/Function	Example
ABS	ABS (expression) Absolute value of expression	Y = ABS (A + B)
ATN	ATN (expression) User-provided function that returns arctangent of the expression (in radians)	PRINT ATN (A)
COS	COS (expression) Cosine of the expression (in radians)	A = COS (2, 3)
EXP	EXP (expression) Raises the constant e to the power of the variable	B = EXP (C)
INT	INT (expression) Evaluates the expression for the largest integer contained	C = INT (X + 3)
LOG	LOG (expression) Gives the natural logarithm of the expression	D = LOG (Y - 2)
RND	RND (parameter) Generates a random number. Parameters are: <0 seed new sequence = 0 return previous random number >0 return new random number	E = RND (1)
SGN	SGN (expression) 1 if expression > 0 0 if expression = 0 - 1 if expression < 0	B = SGN (X + Y)
SIN	SIN (expression) Sine of the expression (in radians)	B = SIN (A)
SQR	SQR (expression) Square root of the expression	C = SQR (D)
TAN	TAN (expression) Tangent of the expression (in radians)	D = TAN (3.14)

BASIC INSTRUCTION FORMAT

00A₁A₂A₃A₄N₁N₂N₃N₄XX...XX00A₁A₂A₃A₄...

Where: 00 = Line delimiter; i. e., start of new statement line
 A₁A₂A₃A₄ = Address of the start of the next statement, in binary
 N₁N₂N₃N₄ = Statement line number, in binary
 XX...XX = Tokens (statement codes) and data, in ASCII and BASIC encoded symbols

INPUT OUTPUT STATEMENTS

Statement	Syntax/Function	Example
DATA	DATA Item [, Item ...] Specifies data to be used in a READ statement	DATA 2,3, "PLUS", 4
INPUT	INPUT [!] ["prompt string literal";] variable [, variable] ... Read data from the keyboard. If ! is included, the input data is printed regardless of printer control state	INPUT "VALUES"; A, B
PRINT	PRINT [!] expression [, expression] Display/print data at the terminal. If ! is included, the data is printed regardless of the printer control state	PRINT X,Y AS, BS PRINT X, Y PRINT "VALUE"; X
READ	READ variable [, variable] Reads data into specified variables from DATA statement	READ I, X, AS
SPC	SPC (expression) Used in PRINT statement to print spaces	PRINT SPC (5)
TAB	TAB (expression) Used in PRINT statement to tab start of print to specified position.	PRINT TAB (20)

STRING FUNCTIONS

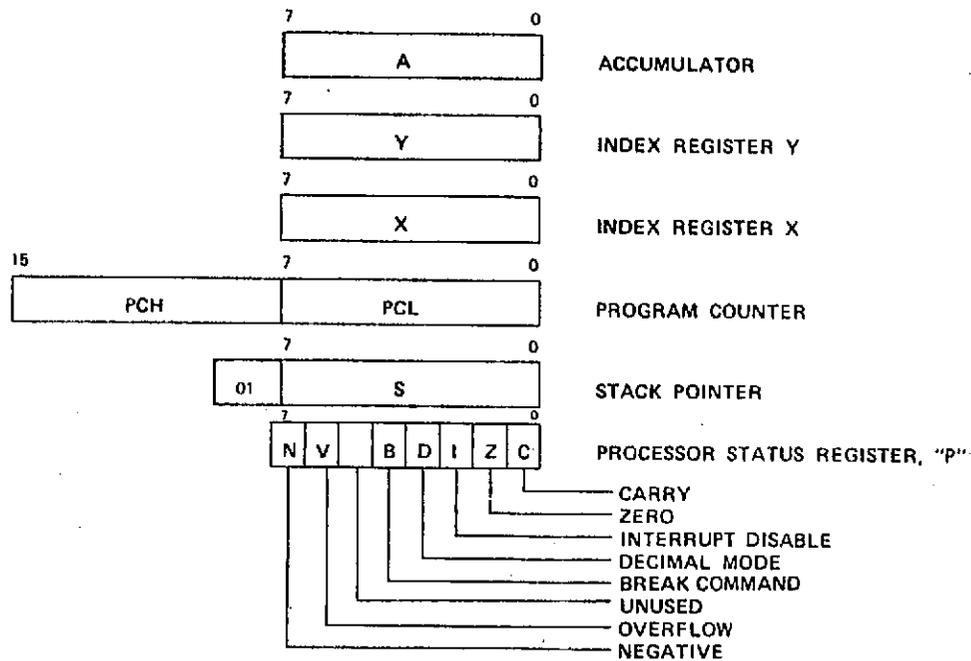
Statement	Syntax/Function	Example
ASC	ASC (string expression) Returns the ASCII value of the first character of a string	PRINT ASC (A\$)
CHR\$	CHR\$ (expression) Returns one character, the ASCII equivalent of the expression	PRINT CHR\$ (48)
GET	GET string variable Inputs a single character from the keyboard. Continues execution if no character is available.	GET A\$
LEFT\$	LEFT\$ (string expression, length) Returns leftmost length characters of the string expression	B\$ = LEFT\$ (X\$, 8)
LEN	LEN (string expression) Returns the length of a string	PRINT LEN (B\$)
MID\$	MID\$ (string expression, start [, length]) Returns characters from the middle of the string starting at the position specified to the end of the string or for length characters MID\$ may also be used to assign a substring inside a string	A\$ = MID\$ (X\$, 5, 10) MID\$ (A\$, 3, 2) = "TO"
RIGHT\$	RIGHT\$ (string expression, length) Returns rightmost length characters of the string expression	C\$ = RIGHT\$ (X\$, 8)
STR\$	STR\$ (expression) Converts a numeric expression to a string	PRINT STR\$ (35)
VAL	VAL (string expression) Converts the string representation of a number to its numeric value	PRINT VAL ("3.1")

APPENDICE F

6502 - Langage Machine

On trouve ici en résumé les caractéristiques du microprocesseur 6502 et du langage machine qu'il utilise. Pour une meilleure description, on peut se référer à un livre spécialisé (26).

PROGRAMMING MODEL R6500



R6500 MICROPROCESSOR INSTRUCTION SET – ALPHABETIC SEQUENCE

ADC	Add Memory to Accumulator with Carry	JSR	Jump to New Location Saving Return Address
AND	"AND" Memory with Accumulator	LDA	Load Accumulator with Memory
ASL	Shift Left One Bit (Memory or Accumulator)	LDX	Load Index X with Memory
BCC	Branch on Carry Clear	LDY	Load Index Y with Memory
BCS	Branch on Carry Set	LSR	Shift Right One Bit (Memory or Accumulator)
BEQ	Branch on Result Zero	NOP	No Operation
BIT	Test Bits in Memory with Accumulator	ORA	"OR" Memory with Accumulator
BMI	Branch on Result Minus	PHA	Push Accumulator on Stack
BNE	Branch on Result not Zero	PHP	Push Processor Status on Stack
BPL	Branch on Result Plus	PLA	Pull Accumulator from Stack
BRK	Force Break	PLP	Pull Processor Status from Stack
BVC	Branch on Overflow Clear	ROL	Rotate One Bit Left (Memory or Accumulator)
BVS	Branch on Overflow Set	ROR	Rotate One Bit Right (Memory or Accumulator)
CLC	Clear Carry Flag	RTI	Return from Interrupt
CLD	Clear Decimal Mode	RTS	Return from Subroutine
CLI	Clear Interrupt Disable Bit	SBC	Subtract Memory from Accumulator with Borrow
CLV	Clear Overflow Flag	SEC	Set Carry Flag
CMP	Compare Memory and Accumulator	SED	Set Decimal Mode
CPX	Compare Memory and Index X	SEI	Set Interrupt Disable Status
CPY	Compare Memory and Index Y	STA	Store Accumulator in Memory
DEC	Decrement Memory by One	STX	Store Index X in Memory
DEX	Decrement Index X by One	STY	Store Index Y in Memory
DEY	Decrement Index Y by One	TAX	Transfer Accumulator to Index X
EOR	"Exclusive-Or" Memory with Accumulator	TAY	Transfer Accumulator to Index Y
INC	Increment Memory by One	TSX	Transfer Stack Pointer to Index X
INX	Increment Index X by One	TXA	Transfer Index X to Accumulator
INY	Increment Index Y by One	TXS	Transfer Index X to Stack Pointer
JMP	Jump to New Location	TYA	Transfer Index Y to Accumulator

APPENDICE G

Programmes

Le programme en langage BASIC et la sous-routine en langage machine sont listés en entier dans cette appendice.

Programme en langage BASIC

```
10 A=0:B=0:C=0:D=4095
20 AD=37376
30 DA=37120
40 POKE 36867,15
50 GAIN=8
60 POKE36865,GAIN
70 IF PEEK(3968)<>173 THEN PRINT"CODE MACHINE NON DISPONIBLE":END
80 POKE 4,128
90 POKE 5,15
100 PRINT"INITIALISATION COMPLETEE"
110 DEF FNA(X)=4.34294482*LOG(X)
120 DEF FNB(GA)=1.442695*LOG(GA)
130 DEF FNC(GA)=10^FNB(GA)
150 GOSUB 6000
160 GOSUB 6500
200 GOSUB 2000
250 PRINT" ":PRINT"PRET POUR MESURES DE BRUIT"
300 GOSUB 1000
400 GOSUB 3000
500 GOSUB 4000
560 GOTO 250
1000 GOSUB 5000
1005 OH=PEEK(AD)
1010 N=4000
1015 A=0:B=0
1020 FORI=1TON:A=A+USR(C):B=B+PEEK(D):NEXT
1030 RETURN
2000 PRINT"CORRECTION DU NIVEAU CONTINU"
2010 OF=255:OH=256
2020 POKE DA,OF
2030 FOR I=1 TO 10*OH:NEXT I
2040 GOSUB 2400
2045 PRINTMES,OF
2050 OH=OH/2
2060 IF ABS(MES-128)<1 GOTO 2200
2070 IF MES<128THEN OF=OF-OH:GOTO 2090
```

```
2080 OF=OF+OH
2090 IF OF>255 GOTO 2300
2100 POKE DA,OF
2110 IF OH>=2GOTO 2030
2120 GOSUB2400
2130 PRINTMES,OF
2200 PRINT"TENSION DE COMPENSATION:";INT(OF*1000/256)/100;"VOLT(S)"
2210 RETURN
2300 PRINT"INTENSITE TROP FORTE POUR LE GAIN...SORTIE NON COMPENSEE"
2305 GOSUB3210
2310 POKE DA,255:RETURN
2400 MES=PEEK(AD)
2410 MES=0
2420 N=250
2430 FOR I=1 TO N:MES=MES+PEEK(AD):NEXT
2440 MES=MES/N
2450 RETURN
3000 H=PEEK(4094)
3010 BL=PEEK(4093)
3015 OX=((A-B*B/N)/(N-1))^.5
3020 IF (H=1)AND(BL=1)THEN GOSUB 3200:GOTO 3150
3030 IF (H=1)OR(BL=1)THEN GOSUB 3300 :GOTO 3150
3150 POKE 4094,0
3160 POKE 4093,0
3170 RETURN
3200 PRINT"AMPLITUDE DU BRUIT TROP FORTE POUR LE GAIN"
3210 INPUT"VOULEZ-VOUS DIMINUEZ LE GAIN";G
3220 IF G<>1 THEN RETURN
3225 GAIN=GAIN/2
3230 IF GAIN<1 THEN PRINT"GAIN MINIMUM ATTEINT":GAIN=1
3240 POKE 36865,GAIN
3245 GOSUB2000
3250 RETURN
3300 PRINT"NIVEAU CONTINU MAL AJUSTE"
3310 INPUT"VOULEZ-VOUS CORRIGER LE NIVEAU CONTINU";G
```

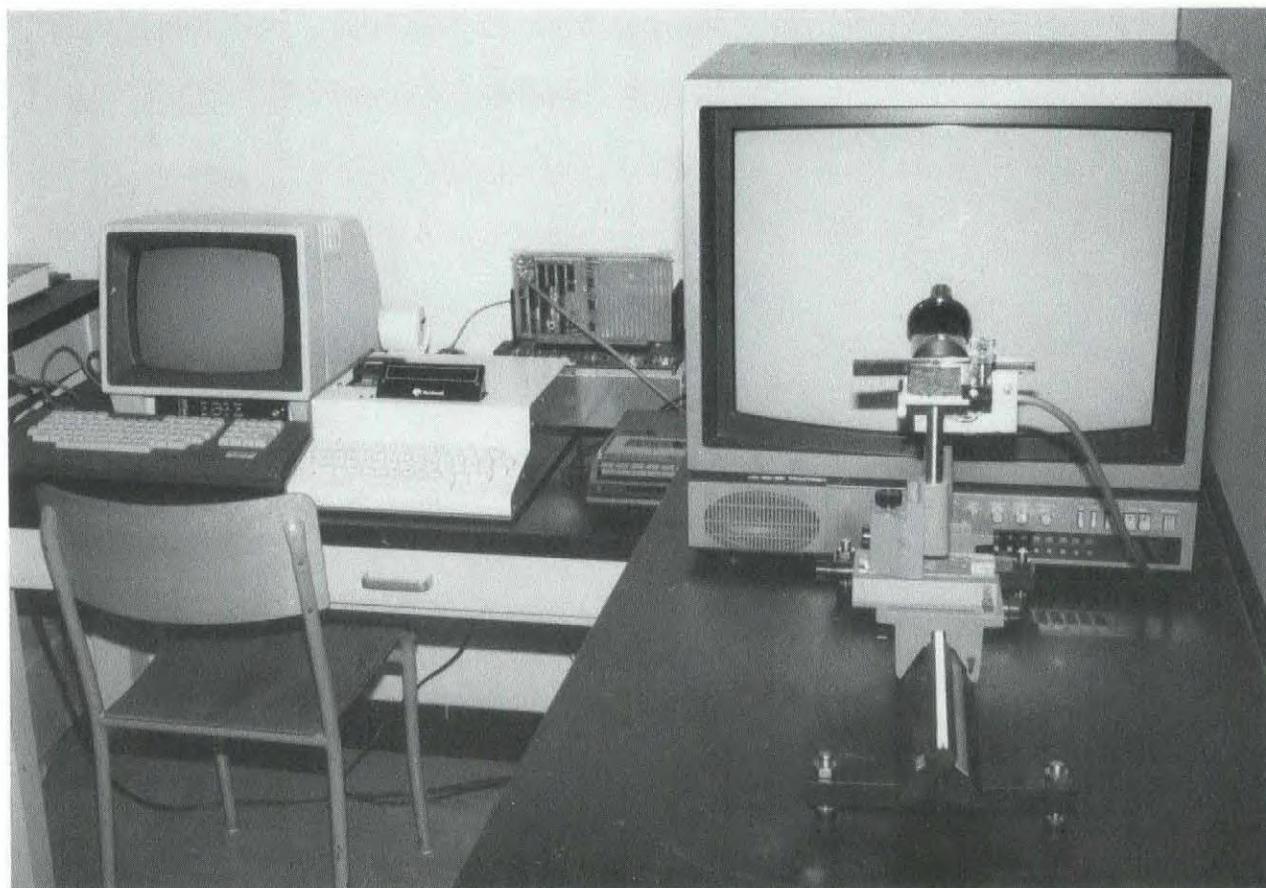
```
3320 IF G<>1 THEN RETURN
3330 GOSUB 2000
3350 RETURN
4000 IF (H=1)OR(BL=1)THEN RETURN
4005 MZ=B/N-128
4010 OX=((A-B*B/N)/(N-1))^.5
4020 PRINT"BRUIT:";INT((FNA(OX)+30-14.4269504*LOG(GAIN))*100)/100
4030 PRINT"OX:";INT(OX*100)/100
4034 PRINT"MOYENNE:";INT(MZ*100)/100
4036 PRINT"OFFSET:";OF
4038 PRINT"GAIN:";GAIN
4040 GOSUB 4300
4050 PRINT"QUALITE";INT(QL*100)/100
4060 IF OX<2 THEN GOSUB 4100
4070 RETURN
4100 PRINT"GAIN TROP FAIBLE POUR LE NIVEAU DE BRUIT MESURE"
4110 INPUT"VOULEZ-VOUS AUGMENTER LE GAIN";G
4120 IF G<>1 THEN RETURN
4130 GAIN=GAIN*2
4140 IF GAIN>8 THEN PRINT"GAIN MAXIMUM ATTEINT":GAIN=8
4150 POKE 36865,GAIN
4155 GOSUB 2000
4160 RETURN
4300 DC=.8*OF+39*MZ/FNC(GA)-EC
4310 BA=.875*FNA(DC)-3.42
4320 OM=FNA(OX)+30-10*FNB(GAIN)-BA
4330 IF OM<=0 THEN QL=5:RETURN
4340 IF OM<3 THEN QL=-.1*OM+5:RETURN
4350 IF OM<10 THEN QL=-.342857*OM+5.72857:RETURN
4360 QL=.01492676*OM*OM-.54316850*OM+6.239011
4370 IF OM>18 THEN QL=1.298
4380 RETURN
5000 INPUT"TAPEZ 1 LORSQUE PRET";AS
5010 IF AS<>1 GOTO 5000
5020 RETURN
6000 PRINT"INTENSITE MINIMUM SUR L'ECRAN"
```

```
6010 GOSUB 5000
6020 GOSUB 2010
6025 MES=MES-128
6030 EC=.8*OF+39*MES/FNC(GAIN)
6040 RETURN
6500 PRINT"AJUSTEZ L'INTENSITE POUR CENTREIR LE CURSEUR"
6505 POKE DA,128
6510 I=0
6520 MES=PEEK(AD)
6530 PRINTTAB(INT(MES/14))+"*"
6540 IF (MES<40)OR(MES>215)GOTO 6510
6550 I=I+1
6560 IF I<30 GOTO 6520
6570 RETURN
```

Programme en langage machine

```
0F80 AD LDA 9200
0F83 A8 TAY
0F84 8D STA OFFF
0F87 48 PHA
0F88 A9 LDA #08
0F8A 48 PHA
0F8B BA TSX
0F8C A9 LDA #00
0F8E 18 CLC
0F8F 20 JSR OFA7
0F92 90 BCC OF98
0F94 18 CLC
0F95 7D ADC 0102,X
0F98 6A ROR .A
0F99 20 JSR OFA7
0F9C DE DEC 0101,X
0F9F D0 BNE OF92
0FA1 E8 INX
0FA2 E8 INX
0FA3 9A TXS
0FA4 4C JMP OFD0
0FA7 48 PHA
0FAB 98 TYA
0FA9 6A ROR .A
0FAA A8 TAY
0FAB 68 PLA
0FAC 60 RTS
```

OFD0 A2 LDX #90
OFD2 86 STX A9
OFD4 85 STA AA
OFD6 84 STY AB
OFD8 A9 LDA #00
OFDA 85 STA AC
OFDC 85 STA AD
OFDE 85 STA AE
OFEO 85 STA B0
OFE2 85 STA B8
OFE4 85 STA DA
OFE6 EA NOP
OFE7 20 JSR C616
OFEA AD LDA OFFF
OFED F0 BEQ OFC0
OFEF C9 CMP #FF
OFF1 F0 BEQ OFC6
OFF3 60 RTS



Vue de l'appareil et du montage expérimental

