

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET D'ELECTROTECHNIQUE

3ea

FILIERE D'INGENIEUR EN

ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

المكنية

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET :

ETUDE ET REALISATION DE
QUELQUES SYSTEMES REDUCTEURS
DE BRUITS

PROPOSE PAR :

D. BERKANI

REALISE PAR :

B. BOUZIDI
D. KALLECHE

JUIN 1982

ECOLE NATIONALE DE MEDICINE
D'ALGER
ALGER



REMERCIEMENT

Toute notre gratitude la plus profonde et la plus sincère à notre promoteur Monsieur D. BERKANI, qui par sa collaboration effective et ses judicieux conseils, a rendu possible l'élaboration de ce projet.

Nous exprimons notre vive et sincère reconnaissance à :

- Monsieur MEROUANE - DIRECTEUR TECHNIQUE A LA R.T.A.
- Monsieur KROUK - INTENDANT A L'ENPA
- Monsieur HADDAB - INGENIEUR A LA SONELGAZ
- Monsieur MOUSLI Ab.
- Monsieur RASSOUL - S/D DES ETUDES A L'E.N.T.
- Monsieur EDDAIKRA - PROFESSEUR A L'E.N.T.
- Melles KHEMSI & BADERREDINE

Nous tenons à remercier tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.

DEDICACES

- A MON PERE , A MA MERE
- A MON ONCLE BOUALEM
- A MES FRERES ET SOEURS
- A TOUTE MA FAMILLE
- A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS

DJILLALI

- A MON PERE; A MA MERE
- A MA GRAND-MERE
- A MES FRERES ET SOEURS
- A TOUTE MA FAMILLE
- A TOUS MES AMIS

BELKACEM

PLAN DE TRAVAIL

INTRODUCTION

Premier partie

I Notions sur les processus aleatoires et le bruit.....	1
- Les signaux aleatoires.....	4
- Correlation.....	2
- Fonction de distribution.....	2
- Processus stationnaires Ergodicite.....	3
II Differentes types de bruits.....	4
- Saturation et bruit dans les banotes magnetiques.....	6

Deuxième partie

Les reducteurs de bruit

- Introduction.....	13
- Principe des reducteurs de bruit.....	15
- Reducteurs de bruit à fonction unique.....	16
- Reducteurs de bruit à fonction complementaires.....	17

Troisième partie

Exemples de reducteurs de bruits

A-Fonction unique.

- DNL (Reduct dynamique de bruit).....	21
- DNF (Dgnamic Noise filter).....	24

B-Fonctions complementaires.

- DOLBY B	27
- DBX 124	30

Quatrième partie

- Caracteristiques de transfert des compresseurs-Expaisseurs.....	34
- Compression.....	40
- Expansions.....	40
- Phenomenes parasites dans les reducteurs de bruit.....	40

Cinquième partie

Exemples de reducteurs de bruits

- DNF - DNF.....	51
------------------	----

- DNF - DNF.....	53
------------------	----

Exemples de reducteurs de bruits

- DNF - DNF.....	55
------------------	----

- DNF - DNF.....	57
------------------	----

Cinquième partie

Realisation pratique

A - DNL - Etude de martage.....47

Experimentation du DNL53

B- Compresseur expauseur a gani variable

Principe de fonctionnement.....55

- Fonctionnement en compresseur.....68

-- Fonctionnement en expauseur.....69

Interpretation des resultats.....70

C - Principe de compresseur expauseur utilisant un ampli Rog, anti-Log.....71

Interpretation des resultats.....80

Conclusion82

- INTRODUCTION -

La préservation ou l'amélioration du rapport S/B et la dynamique du signal, l'utilisation maximale de la capacité d'un canal de transmission sont parmi les problèmes importants dans le domaine du traitement de l'information.

Ces caractéristiques permettent une utilisation rationnelle d'un canal de transmission et un traitement meilleur du signal.

Il existe plusieurs méthodes qui permettent d'atteindre cet objectif dont par exemple, les systèmes réduisant uniquement le niveau du bruit, ou les systèmes utilisant des procédés plus complexes tels que la compression, l'expansion, le filtrage dynamique

L'objet de notre projet consiste à l'étude des systèmes réducteurs le bruit, dont certains ont été réalisés et expérimentés.

PREMIERE PARTIE

NOTIONS SUR LES PROCESSUS ALEATOIRES
ET SUR LE BRUIT

I) LES SIGNAUX ALEATOIRES

† - Généralités

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

Dans le cas où les variations aléatoires des paramètres d'un signal sont négligeables, celui-ci est appelé déterministe et peut-être décrit à l'aide d'une fonction analytique.

Il existe des signaux, qu'on peut même approximativement les décrire à l'aide de fonctions déterministes. A cette catégorie de signaux, on peut joindre "les bruits". Pour un signal déterministe, on peut connaître la valeur de la fonction à n'importe quel moment, tandis que pour un signal aleatoire, l'important se réduit à connaître la probabilité que ce signal va prendre une de ses quelconques et nombreuses formes.

Un processus aléatoire peut-être décrit d'une façon probabilistique, ou bien dans certains cas, par un ensemble de valeurs non aléatoires numériques, constantes ou variables dans le temps. Tout ceci afin de mieux décrire le processus, on emploie souvent les caractéristiques suivantes.

- La valeur moyenne de la fonction (E)
- Le carré de la valeur moyenne (puissance moyenne)
- La variance (carré de la valeur moyenne de l'écart).

2 - Correlation

Une des caractéristiques importantes est la fonction de corrélation, qui exprime la liaison statistique entre les valeurs instantanées d'un signal.

Une relation lâche entre grandeurs, qui ne se réalise qu'en moyenne, porte le nom de corrélation, à la différence de la relation fonctionnelle (étroite)

La corrélation se manifeste lorsque jouent certains facteurs qui sont en général négligés, disons à cause de la nature trop compliquée de l'influence qu'ils peuvent exercer. Cependant la corrélation s'établit de façon nécessaire, sans rapport avec la complexité de ces facteurs, le fait est que si 2 variables X et Y sont fonctions d'un seul paramètre $X = X(t)$. Ces 2 relations définissent une dépendance fonctionnelle étroite entre X et Y. Par contre, si ces paramètres sont 2 ou plus, par exemples :

$$x = x(t_1, t_2, \dots, t_n) \quad y = y(t_1, t_2, \dots, t_n)$$

Ces expressions ne définissent plus en principe la relation fonctionnelle entre x et y. Ce n'est qu'en tenant compte de la fréquence de réalisation de différentes combinaisons de valeurs de paramètres t_1, t_2, \dots, t_n qu'on est autorisé de parler d'une relation entre x et y, qui n'est cependant qu'une corrélation.

3 - Fonction de distribution

a) Définition : soit $f(x)$ la densité de probabilité d'une certaine variable.

aléatoire \bar{x} ($-\infty < |x| < +\infty$) alors

$$f(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$$

est appelée fonction de répartition ou loi intégrale de distribution de probabilité.

Pour une variable aléatoire discrète

$$F(x) = \sum_{x_k < x} P_k$$

b) Caractéristiques numériques d'une variable aléatoire continue

- Espérance mathématique :

$$M(\bar{x}) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx$$

$f(x)$ étant la densité de probabilité de la variable aléatoire continue x .

Si x ne peut prendre que des valeurs dans un intervalle fini (a, b)

$$M(x) = \int_a^b x f(x) dx$$

- Ecart quadratique moyen

$$\sigma(\bar{x}) = \sqrt{D(\bar{x})} = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx}$$

$\sigma(x)$: écart quadratique moyen de la variable aléatoire \bar{x}
= racine carrée de la variance

$f(x)$: densité de probabilité

m_x : espérance mathématique

4 - Processus stationnaires - Ergodicité

Les processus aléatoires peuvent être divisés en 2 catégories (classe)

Le processus stationnaire est uniforme dans le temps ; c.à.d que la distribution des valeurs instantanées prises à des instants différents, ne dépendent que de l'intervalle de temps considéré

$$f_k(x_1, t_1 ; x_2, t_2 ; \dots ; x_k, t_k) = f_k(x_1, t_1 + dt ; x_2, t_2 + dt ; \dots ; x_k, t_k + dt)$$

dt étant l'intervalle de temps

Ergodicité : lorsqu'un processus peut-être représenté au moins et approximativement par une seule de ses relations, on dit que ce processus est ergodique.

II) DIFFERENTS TYPES DE BRUITS

On appelle bruit, toutes les variations de tension ou de courant ne faisant pas partie d'un signal utile.

1°) Les bruits externes :

Ce sont des bruits dont l'origine est naturelle ; on citera :

- Parasites atmosphériques
- Parasites cosmiques
- Bruits thermodynamiques

2°) Les bruits internes :

Ce sont des bruits liés aux fluctuations spontanées dans les composants électroniques, et sont présents d'une manière permanente.

* Les bruits thermiques : Il provient de l'agitation thermique des électrons dans les conducteurs, en l'absence de champ appliqué, et il provoque l'apparition d'un courant dû aux mouvements de ces électrons. Ce bruit résulte du fait que la moyenne du carré de la vitesse des électrons est faible mais non nulle, et, est proportionnelle à la température absolue du matériau.

- * Le bruit de grenaille : Il est dû aux fluctuations qui accompagnent la production d'une émission d'électrons. Dans un transistor, par exemple, le bruit de grenaille provient des fluctuations du courant des porteurs majoritaires.

- * Le bruit de scintillement : Son origine provient des inhomogénéités dans la réalisation des composants électroniques. Ils n'apparaît qu'aux fréquences basses, et son spectre est en $1/f$.

SATURATION ET BRUIT
dans les bandes magnétiques.

I- SATURATION

Deux phénomènes se conjugent pour limiter la dynamique des enregistrements sur bande magnétique :

- a) Aux faibles amplitudes du signal musical, le niveau des tensions utiles se rapproche du bruit.

La diminution du rapport S/B qui en résulte, conduit à une disparition de l'effet de masque. Ainsi le bruit propre de la bande, comme celui qu'engendre l'électronique de la platine de lecture, deviennent perceptibles à l'oreille, et détériorent la qualité de l'écoute.

- b) Aux forts niveaux, amplificateurs et bande peuvent-être saturés, il apparaît alors de la distorsion par écrêtage.

II- LES SOURCES DE BRUIT DANS LES ENREGISTREURS

On peut les classer en bruits inhérents à la structure même de la matière, donc fondamentalement irréductibles, et en bruits liés à la qualité du matériel utilisé, mais peuvent être atténués grâce à son perfectionnement.

1) BRUITS IRREDUCTIBLES

à cette catégorie appartiennent, notamment :

- a) Le bruit de l'ensemble de lecture :

Il englobe celui de l'amplificateur (différents composants électroniques) et celui de la tête de lecture. Tandis que le premier prédomine aux fréquences basses et moyennes, le second l'emporte pour les fréquences plus élevées, notamment à partir d'une dizaine de kilohertz. c'est ce que montrent les courbes (1) et (2) de la figure 1.1.

b) Le bruit d'effacement ou magnétique :

Aux cours de cette opération, les domaines magnétiques acquièrent, à la surface de la bande, une répartition irrégulière non nulle (répartition aléatoire des domaines de WEISS).

À la lecture suivante, cette distribution aléatoire donne naissance à un signal parasite, dont l'amplitude dépend d'ailleurs largement des caractéristiques de la bande. Le niveau de bruit correspondant, variable avec la fréquence remonte la courbe (2) ou niveau de la courbe (3).

c) Le bruit de polarisation :

créé par le courant alternatif de polarisation (courant de prémagnétisation), diminue lorsqu'augmente la fréquence de ce dernier. Les possibilités des têtes magnétiques ne permettent guère de dépasser la centaine de kilohertz. S'ajoutant aux précédents, le bruit de polarisation fait passer, dans la figure 1, de la courbe (3) à la courbe (4).

d) Le bruit de l'amplificateur d'enregistrement :

Analogue par sa nature à celui de l'amplificateur de lecture, il s'ajoute encore aux autres.

Au total pour l'ensemble de la chaîne enregistrement-lecture, on atteint finalement le niveau de bruit dont la courbe (5) de la figure 1.1 donne la répartition en fonction de la fréquence.

2) BRUITS REDUCTIBLES.

Dans les sources de bruits réductibles (parce que liés à la conception du matériel utilisé), on rangera principalement :

- a) Le bruit qu'introduit un courant de prémagnétisation non parfaitement sinusoïdal, et comportant, par suite, une composante continue, à cause de sa dissymétrie.
- b) Les divers ronflements, soit à la fréquence du secteur (50 HZ), soit à 100 HZ. Ils proviennent des fuites magnétiques dans le transformateur d'alimentation, ou de l'ondulation résiduelle des tensions d'alimentation redressées, mais insuffisamment filtrées.

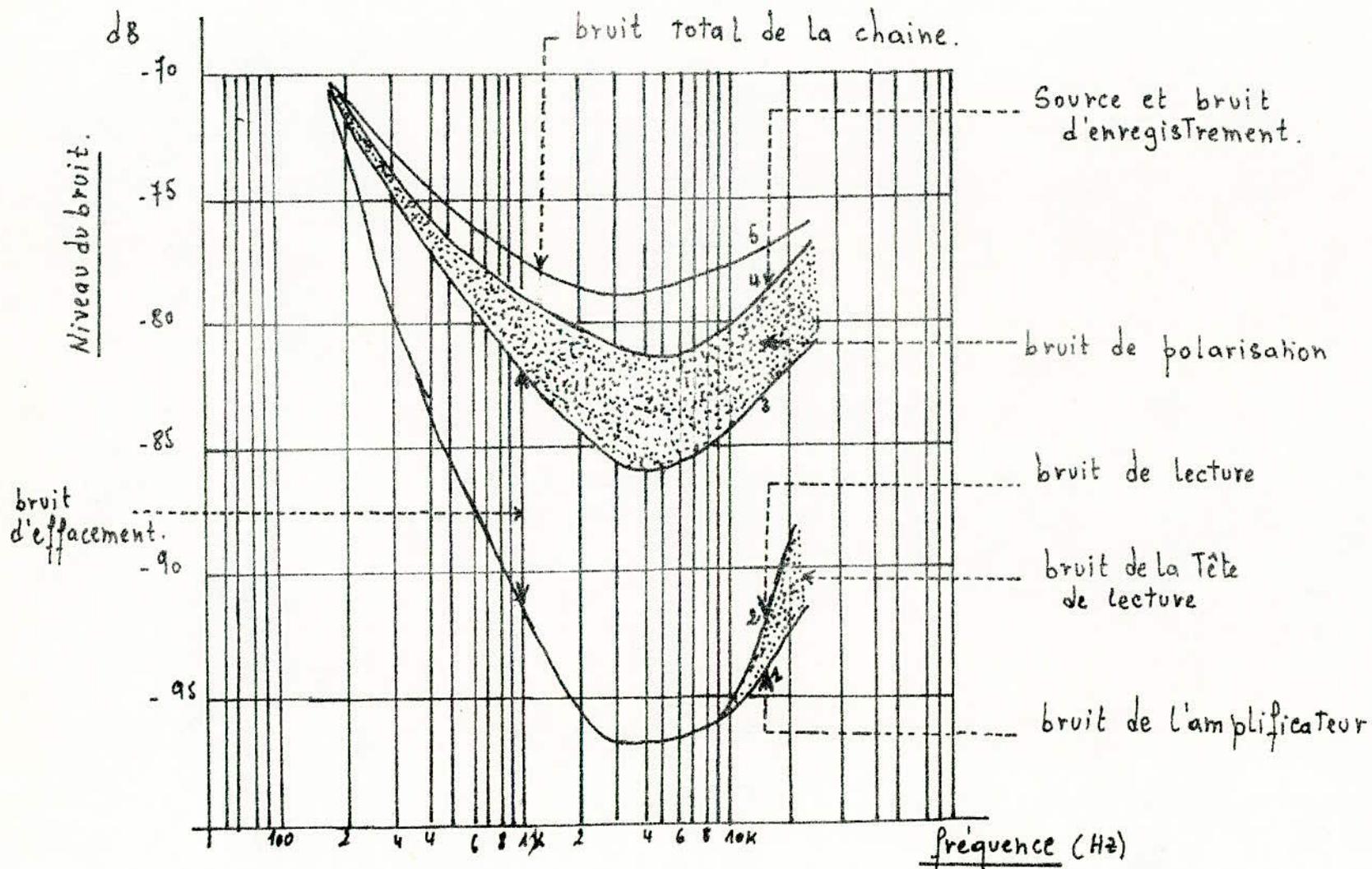


FIGURE I.1: répartition du bruit en fonction de la fréquence.

3) Le bruit de fond

On prend d'une part un ruban qui ne porte aucune modulation (ruban ^{vierge} ou effacé sans signal BF d'enregistrement) et d'autre part un ruban enregistré. On fait passer ces rubans devant la tête de reproduction. Dans les deux cas, on constate que la passage du ruban est accompagné d'un bruit de fond et en outre dans le cas du ruban enregistré, qu'une part du bruit est en corrélation avec l'enregistrement porté par le ruban. Pour cette raison on parle de bruit de modulation pour désigner le bruit en question.

a) Bruit du ruban sans modulation :

La couche magnétique du ruban est formée d'un très grand nombre de cristaux orientés dans toutes les directions. Normalement les vecteurs de tous les cristaux sont orientés de façon à neutraliser réciproquement leur champ magnétique. Cette compensation ne peut être parfaite dans tous les plans à la fois, ce qui veut dire que l'aimantation n'est nulle qu'en moyenne et que, localement, et spécialement à la surface du ruban on peut trouver de très faibles aimantations, réparties de façon hétéroclite au long du ruban. Ces aimantations vont soumettre la tête de reproduction à un faible champ variable, d'où résulte le bruit de fond constaté avec une bande vierge.

b) Bruit de modulation : (figure 1.2)

Il se manifeste quand on pourvoit le ruban d'un enregistrement. C'est un bruit qui accompagne la modulation et qui semble proportionnel au niveau de celle-ci. Le bruit a pour origine, comme il a été vu précédemment, à la non uniformité de la répartition des cristaux tout le long du ruban magnétique.

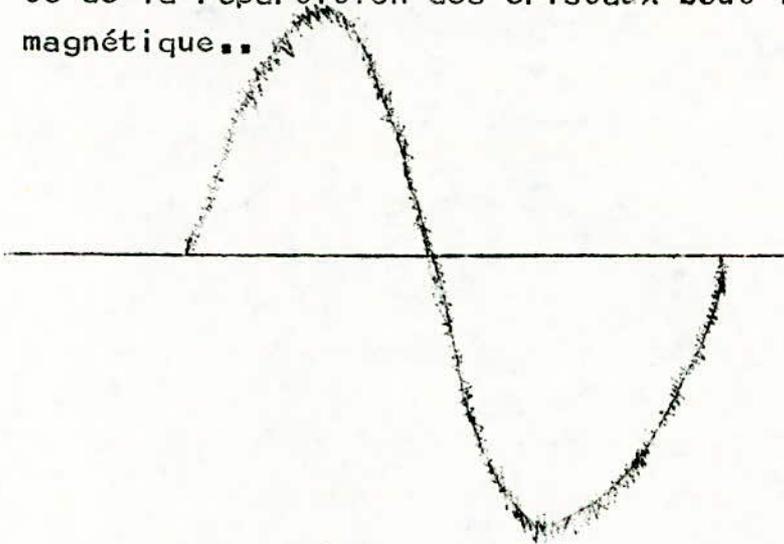


FIGURE 1-2 :

Variation du bruit de modulation en fonction du signal
 signal maximum, bruit maximum
 signal nul, bruit nul.

DEUXIEME PARTIE

LES REDUCTEURS DE BRUIT

I) INTRODUCTION

Dans une installation electroacoustique, la dynamique utile est limitée par plusieurs paramètres agissant l'un sur les signaux forts, le second sur les signaux faibles. Prenons par exemple le cas du magnétophone. Il n'est pas possible de lui envoyer de tension trop élevée sous peine de voir la distorsion augmenter considérablement.

Là on a une limite qui est imposée par la bande magnétique et par les têtes.

Du côté des faibles signaux, on a le bruit de souffle des différents éléments constituant l'appareil, et surtout, celui de la bande.

On ne pourra donc pas exploiter les signaux dont le niveau sera situé au-dessous de bruit de la bande, il faudra respecter une marge de sécurité, si l'on veut avoir un rapport S/B encore exploitable.

Le rapport S/B constitue la performance la moins satisfaisante des magnétophones amateurs, particulièrement des magnétophones à cassettes, et cela en raison de la faible vitesse de défilement de la bande et de l'étroitesse des pistes de ces derniers.

des efforts ont donc été faits pour améliorer le rapport S/B

et il en est résulté l'apparition des systèmes réducteurs de bruit
Examinons d'une manière générale, *les* moyens d'améliorer le rapport
S/B. Ce sont :

- a) - Augmenter la largeur de piste : le rapport S/B était amélioré
comme la racine carrée de l'augmentation de largeur, car on a
tout intérêt à obtenir un signal le plus élevé possible, ce qui
conduit à augmenter le flux capté par la tête. L'augmentation
du signal est directement proportionnel à l'accroissement du
volume de matériau magnétique présent dans l'entrefer - Par
exemple pour gagner 10 dB sur le rapport S/B, il faut décupler
la largeur de piste. De plus cette solution va à l'encontre de
la tendance à la réduction de la largeur des pistes.

- b) - Améliorer les rubans au point de vue souffle :
Les rubans actuels sont très proches de la limite théorique et
qu'il ne faut donc pas espérer un gain considérable de ce côté.
Il faut d'ailleurs remarquer que ce procédé ne diminue que le
souffle dû au ruban, lequel n'est qu'une partie du bruit total.

- c) - Traiter le signal : c'est le moyen le plus intéressant et c'est
l'étude des systèmes appliquants ce principe qu'on trouvera
dans les chapitres suivants :

I) Principe des réducteurs de bruit :

Les systèmes réducteurs de bruit mettent tous à profit une propriété de l'audition connue sous le nom d'effet de masque : un son faible est indiscernable en présence d'un son fort. Il en découle que l'action du réducteur de bruit peut se limiter aux passages faibles de la modulation (Signal BF à enregistrer).

L'effet de masque ne se produit que si le signal fort et le signal faible sont tous deux situés dans la même région du spectre sonore ; autrement dit un signal à 1000 HZ peut masquer les composantes de bruit proches de 1000 HZ mais non celles voisines de 10000 HZ par exemple.

Par conséquent, pour être efficace, un réducteur de bruit doit, soit se limiter à agir dans une portion délimitée du spectre sonore, soit partager le spectre sonore en un certain nombre de canaux dans lesquels son action s'exerce de manière indépendante.

Il existe deux catégories de réducteurs de bruit

- Ceux dits "à fonction unique" qui agissent uniquement à la reproduction.
- Ceux dits "à fonctions complémentaires" qui font subir un traitement déterminé au signal avant enregistrement et qui procèdent à un traitement inverse à la reproduction .

1) Réducteurs de bruit à fonction unique :

Les réducteurs agissant à la reproduction seule, reposent sur l'idée que le signal et le bruit gênant occupent des domaines séparés ; le problème de la réduction de bruit est ainsi ramené à définir la limite entre ces domaines, en se basant sur la fréquence, le niveau, ou les deux, et à concevoir un Circuit pour supprimer les composantes situées du côté "bruit" de la limite ainsi fixée.

Le spectre des fréquences musicales occupe essentiellement une plage supérieurement limitée vers 4000 HZ, au-delà n'intervient que la contribution relativement faibles des harmoniques, au contraire le bruit et surtout cantonné dans les fréquences élevées.

C'est sur cette hypothèse que certains constructeurs proposent de limiter le bruit de fond par un filtre passe-haut n'agissant qu'à la lecture de la bande (la structure synoptique est donnée par la figure II-1) le signal d'entrée est enregistré sans aucun traitement préalable, à la lecture, il est restitué avec la composante de bruit introduite par la bande magnétique et par la platine vers la sortie à travers un filtre passe-haut dont la fréquence de **coupure** varie parfois en fonction du contenu musical.

Malheureusement la réalité d'éloigne considérablement de cette hypothèse, il n'existe pas une frontière nette qui s'épare les fréquences musicales, du bruit.

Il est évident cependant qu'un tel système constitue nécessairement un compromis entre efficacité et pertes des signaux utiles.

Par conséquent l'amélioration apportée par le système à fonction unique ne dépasse guère quelques décibels, et cela au prix d'une détérioration de la courbe de réponse vers les fréquences hautes.

2) RÉDUCTEURS DE BRUIT A FONCTIONS COMPLEMENTAIRES :

Il s'agit de dispositifs dans lesquels la dynamique du signal est comprimée à l'enregistrement, de telle sorte que les signaux les plus faibles soient encore plus haut que le niveau qui, normalement eût été noyé dans le bruit à la reproduction, tandis que, à la reproduction, on procède à une expansion qui rend au signal sa dynamique originale et garde le bruit à un niveau inférieur au signal.

La figure II-2 donne la structure synoptique de ces dispositifs.

On distingue dans ce type de réducteurs deux modes d'action :

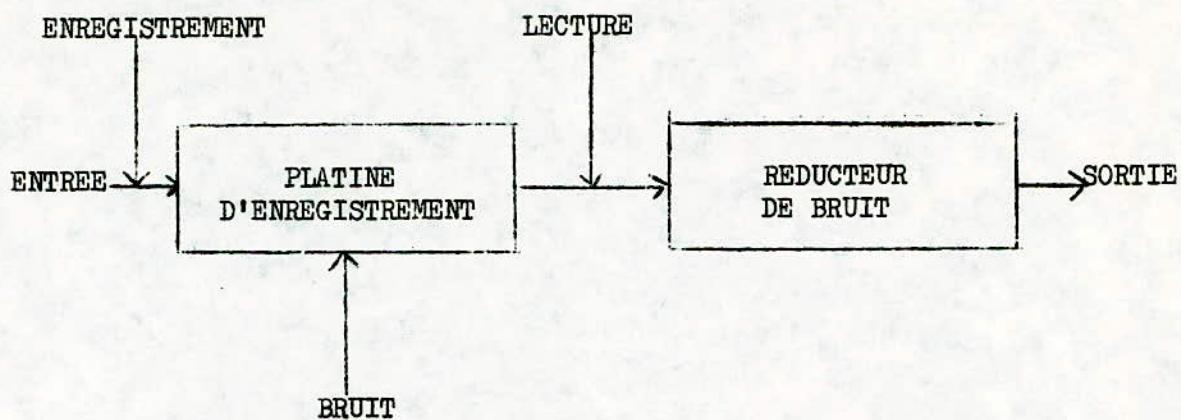


FIGURE : II-1

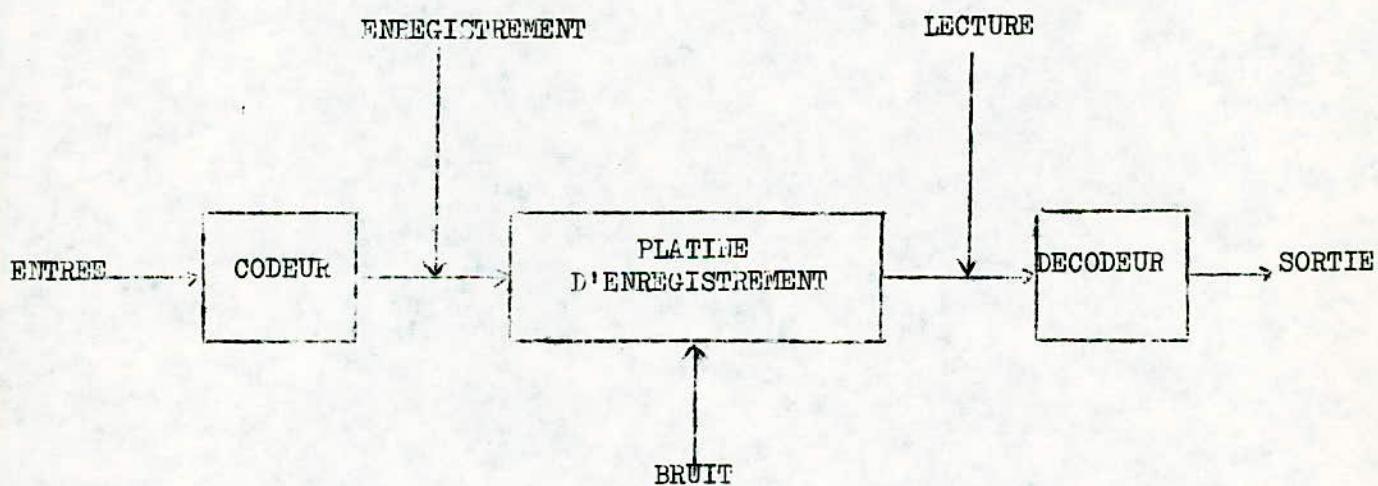


FIGURE : II-2

- a) Certains réducteurs n'agissent que par relèvement des niveaux faibles, les niveaux forts sont enregistrés sans modification, l'opération peut-être schématisée par la figure II-3.

On constate que ce mode d'action ne prévoit pas la saturation (cas des signaux forts), par conséquent, si un signal dont le niveau dépasse le seuil de saturation de la bande vient à l'entrée, à la sortie, on aura des distorsions qui altèrent sérieusement le message.

Ce mode d'action n'est valable que dans la mesure où les forts niveaux se situent au-dessous du niveau de saturation de la bande.

- b) D'autres réducteurs agissent à la fois sur les signaux forts et sur les signaux faibles, réalisant une compression de dynamique sur toute l'échelle à l'enregistrement. A la lecture, on doit avoir le système inverse réalisant une expansion afin d'avoir le signal original.

Dans le chapitre suivant, on verra des exemples de réducteurs de bruit agissants sur la dynamique, du signal mais avec fonctionnement différent tels que, le DNL, le DNF, le DOLBY, et le DBX.

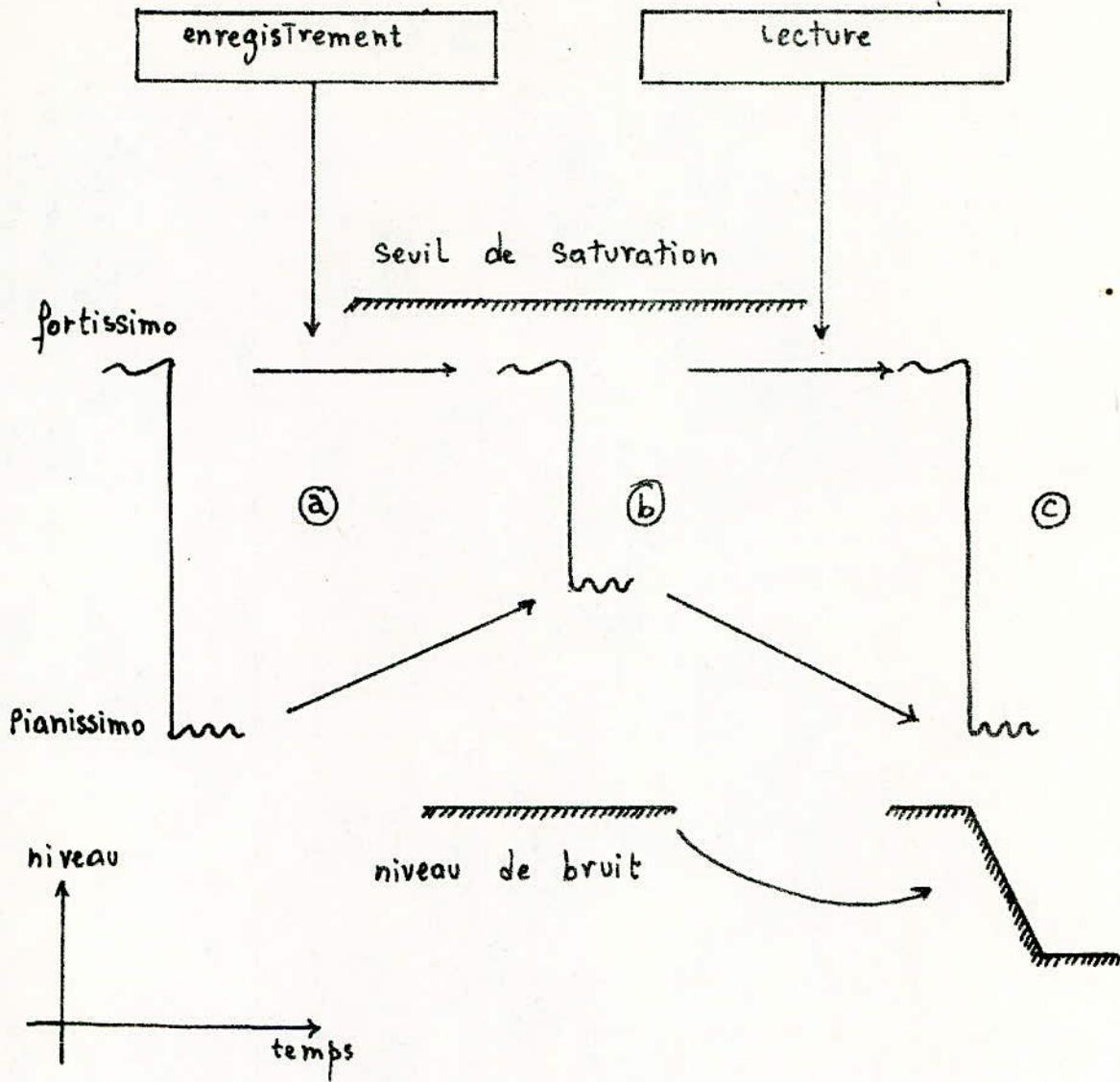


Figure: II-3

TROISIEME PARTIE

<p>EXEMPLES DE REDUCTEURS DE BRUIT</p>
--

Dans le chapitre précédant, on a vu que les réducteurs de bruit se divisent en deux grandes catégories : les réducteurs de bruit à fonction unique et les réducteurs à fonctions complémentaires, les uns à la reproduction uniquement, les autres à l'enregistrement, puis à la reproduction.

1) Réducteurs de bruit à fonction unique :

1- DNL (ou réducteur dynamique de bruit)

Ce système appartient à la catégorie des dispositifs à fonction unique.

Il consiste essentiellement en un filtre dynamique, ainsi que, l'on appelle un filtre dont les caractéristiques sont commandées par les caractéristiques instantanées du signal lui-même. Seuls sont traités les faibles signaux au-delà de la fréquence de coupure d'un filtre passe-haut (4 à 6 KHZ selon les réalisations).

La figure III-1, montre le schéma synoptique.

Le signal passe en premier lieu par un étage fournissant deux signaux déphasés de 180° avec un gain unité; l'un des signaux dit "voie unitaire" parvient directement à la sortie; dans la voie unitaire le signal complet est présent sans aucune modification.

Le second passe par un filtre passe-haut fixe, puis par un limiteur, qui selectionne les faibles signaux, et ensuite par un dispositif assurant une amplification d'autant plus poussée que le signal est faible. Le signal issu de cette seconde voie (voie dynamique) est mélangé en opposition de phase avec le signal de la voie unitaire, ce qui provoque l'atténuation souhaitée des faibles signaux.

Les caractéristiques de transmissions obtenues sont celles de la figure III-2. On constate que l'atténuation s'exerce uniquement sur les faibles signaux du haut du spectre. Une étude plus détaillée sera vue au chapitre réservé à la réalisation d'un tel système de réducteurs de bruit, ainsi que, les caractéristiques expérimentales obtenues pour ce système.

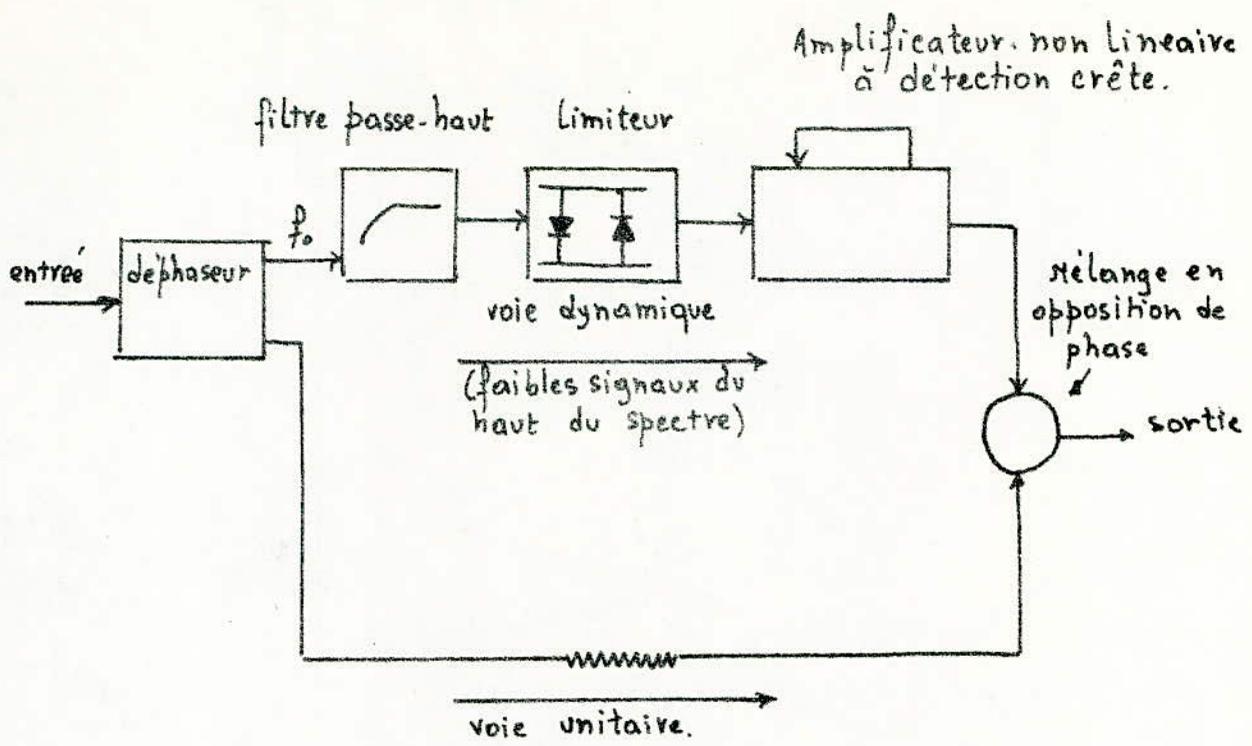


Figure III-1 : schéma synoptique du circuit réducteur de bruit DNL

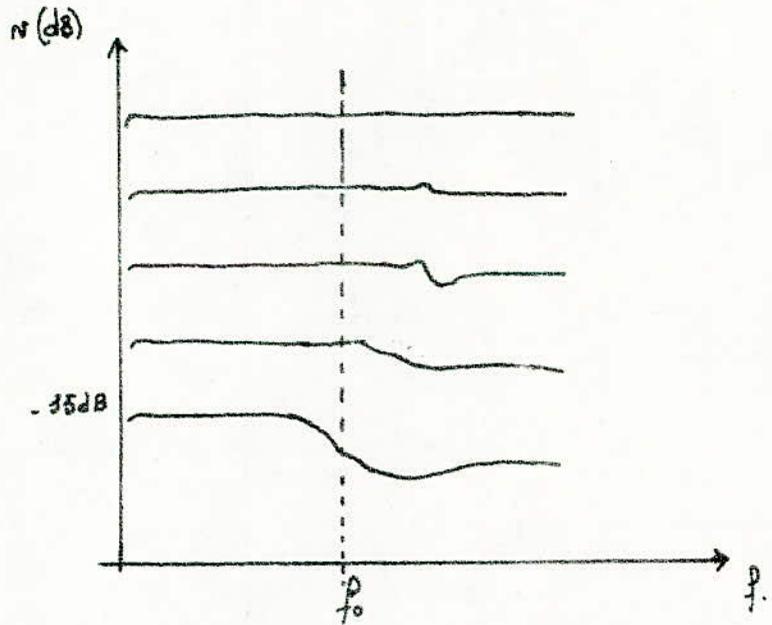


Figure III-2 : Caractéristique de transmission du circuit DNL en fonction du niveau. L'atténuation s'exerce uniquement sur les faibles signaux du haut du spectre.

2- DNF : (ou dynamique noise filter)

Le dynamique noise filter, ou filtre dynamique de bruit, est un dispositif à fonction unique.

Il s'agit d'un filtre passe-bande dont les deux fréquences de coupures sont indépendantes et peuvent-être commandées de manière progressive entre les valeurs extrêmes 400 HZ-200 HZ et 12 KHZ- 37 KHZ (figure III-3).

Le choix de ces limites est basée sur l'étude statistique des modulations habituelles, montrant que la majorité des composantes se situent la plus part du temps dans la bande 400 HZ- 1200 HZ.

Le schéma synoptique (figure III-4) montre que les fréquences de coupure sont déterminées à partir d'une détection des petits signaux du domaine des fréquences hautes pour le flanc haut et des fréquences basses pour le flanc bas. Ce système est beaucoup plus utilisé dans le domaine professionnel où il sera très apprécié pour sa faculté d'améliorer les vieux enregistrement.

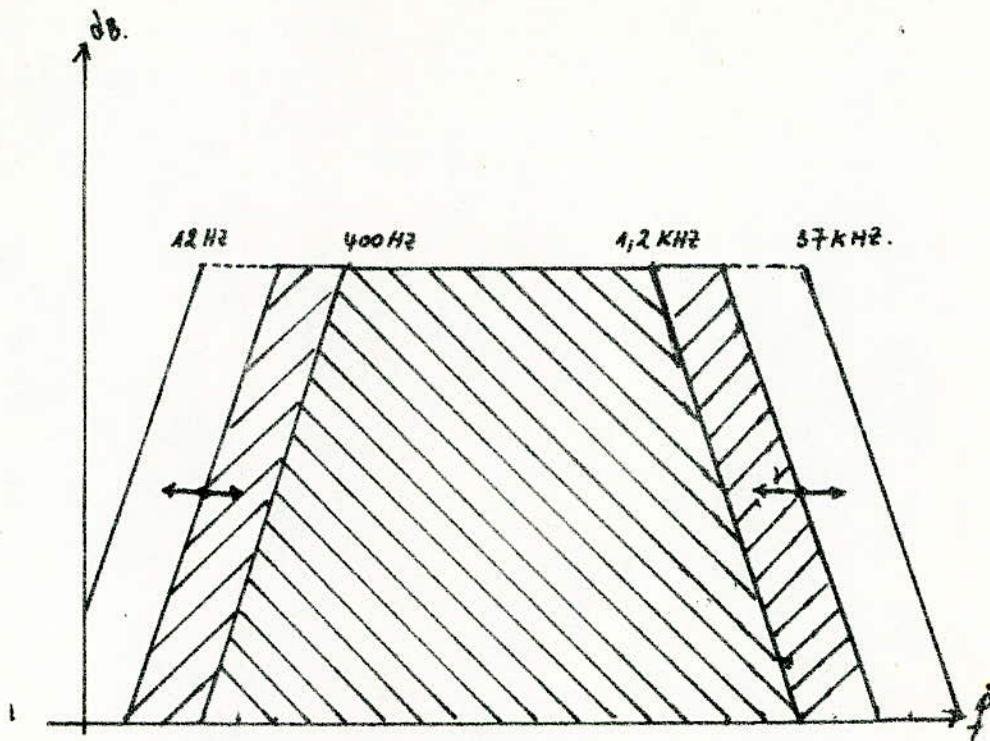


Figure III-3:

Principe de la réduction de bruit par un filtre passe-bande à fréquence de coupure variable pour limiter à chaque instant la bande passante aux composants utiles du signal

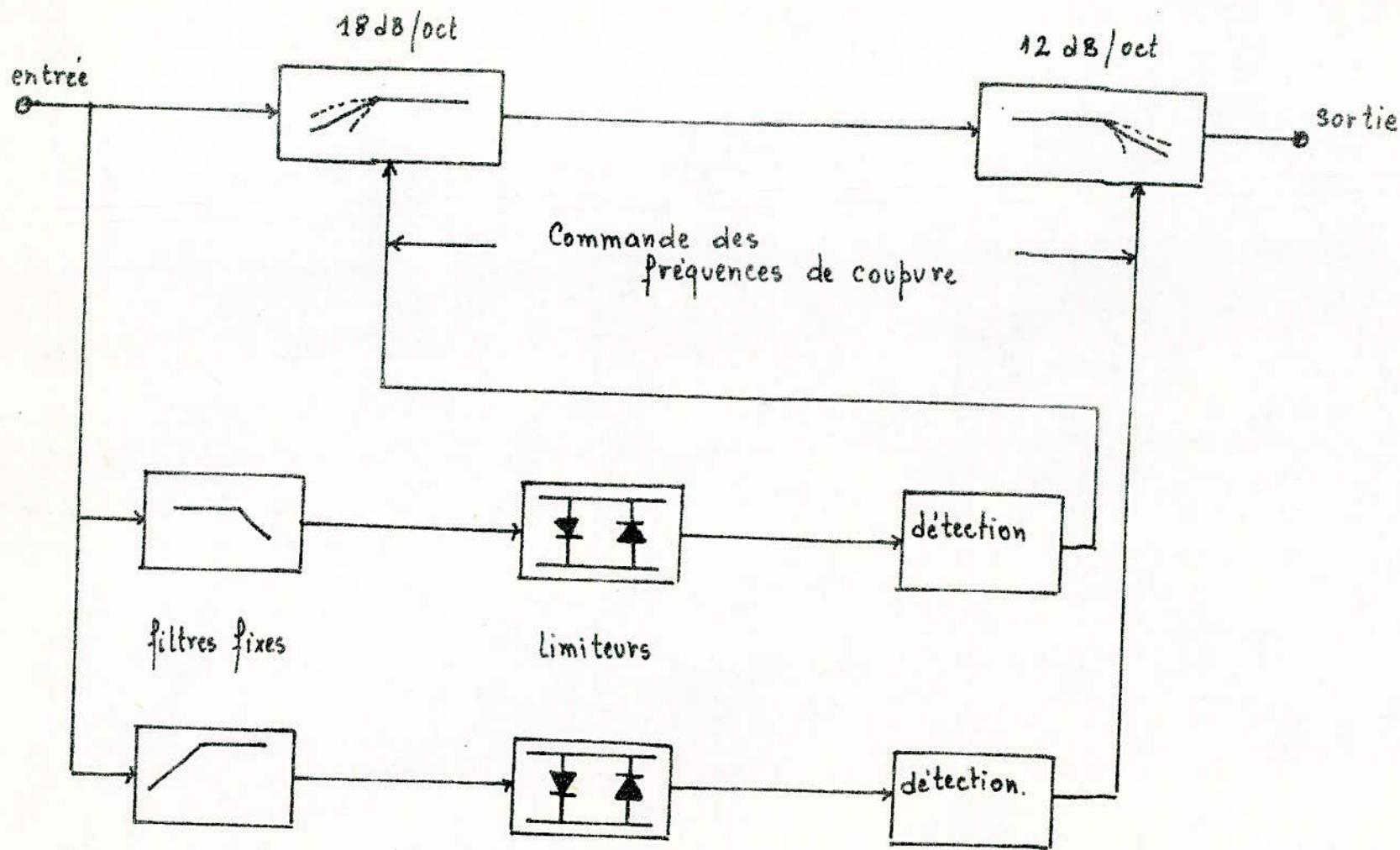


Figure III.4 : schéma synoptique du filtre à bande passante variable.
 Les fréquences de coupure sont commandées par la détection des petits signaux.

II- Réducteurs de bruit à fonctions complémentaires.

Il s'agit de dispositifs dans lesquels la dynamique du signal est comprimée à l'enregistrement, puis expansée à la lecture. Le compresseur, comme l'expanseur se compose d'un détecteur de niveau qui commande un amplificateur **commandé** en tension. Le compresseur réduit la dynamique du signal. Il abaisse les pointes de niveau et remonte les faibles tensions. Ce qui produit logiquement une remontée de bruit fond.

L'expanseur par contre, remontera les forts niveaux et abaissera le bruit de fond.

Si un bruit a été introduit par un magnétophone, ce bruit se trouvera réduit par l'expanseur.

Etant donné que le bruit de l'enregistrement magnétique est plus important que celui de la source, on aura une amélioration importante du rapport S/B.

A titre d'exemples, on donnera le principe de fonctionnement de deux réducteurs de bruit à fonctions complémentaires à savoir, le Dolby B et le DB X 124.

1-DOLBY B

Ce dispositif traite un seul canal qui correspond aux fréquences moyennes et hautes, car c'est là que rencontre surtout le bruit désagréable. On sait toutefois que l'effet de masque ne se produit pas lorsque le signal et le bruit ont des fréquences trop différentes, c'est pour quoi, et c'est la particularité essentielle du Dolby B, le domaine des fréquences traité n'est pas fixe, mai variable en fonction du signal lui même.

A titre indicatif, une autre version du même système le Dolby A (réservé aux professionnels) où l'existence d'un signal fort dans un canal supprime la compression et l'expansion laissant à l'effet de masque le soin de **couvrir** le bruit dans le canal considéré :

Dans le Dolby B par contre, la présence d'un signal fort dans le canal fait reculer vers les fréquences élevées le domaine soumis à la compression expansion où s'opère une réduction effective du bruit.

1.a) Chaîne de compression : (figure III-5)

Fonctionnement : Après passage dans un premier amplificateur A, les signaux traversent le filtre passe bas destiné à éliminer les tensions parasites. A la sortie de l'amplificateur B, ils se partagent en deux voies; la voie principale qui envoie le signal sans modification sur l'une des entrées de l'additionneur E; la voie secondaire qui contrôle la dynamique du compresseur. Cette voie secondaire débute par un filtre passe-haut, composé des condensateurs C_1, C_2, C_3 , des résistances fixes, R_1 et R_2 et de la résistance variable F (il s'agit en réalité d'un transistor à effet de champ). Aux faibles niveaux, F offre une résistance élevée, et l'entrée du filtre (C_1, C_2, R_1) contrôle la réponse en fréquence de la voie secondaire. Le signal de sortie du filtre, amplifié par C, est ajouté dans l'additionneur E, à celui de la voie principale.

Le gain de la voie latérale est calculé de telle façon que le niveau à la sortie de l'additionneur soit accru de 10 dB à 5 KHZ.

Amplifié par D, le signal latéral est simultanément redressé et filtré dans l'ensemble détecteur-intégrateur G.

La tension continue qui en résulte sert à commander électriquement la résistance variable F. Au delà d'un seuil prédéterminé, F diminue ce qui augmente la fréquence de coupure de la deuxième partie du filtre (R_2 , C_3 et F), alors, les signaux de basses et de moyennes fréquences sont atténués dans la voie latérale.

1.b) Chaîne d'expansion : (figure III-6)

A l'expansion, on retrouve des circuits très voisins de ceux du compresseur. Mais cette fois l'entrée de la chaîne latérale est raccordée à la sortie de l'additionneur, à travers l'inverseur K. Le filtre dynamique s'incorpore donc dans une boucle de contre-réaction, et son signal de sortie est soustrait du signal*, au lieu d'y être ajouté.

La passage de l'enregistrement à la lecture, s'effectue par compression, les mêmes composants sont utilisés, ce qui garantit la symétrie des courbes de compression et d'expansion.

* Signal principal

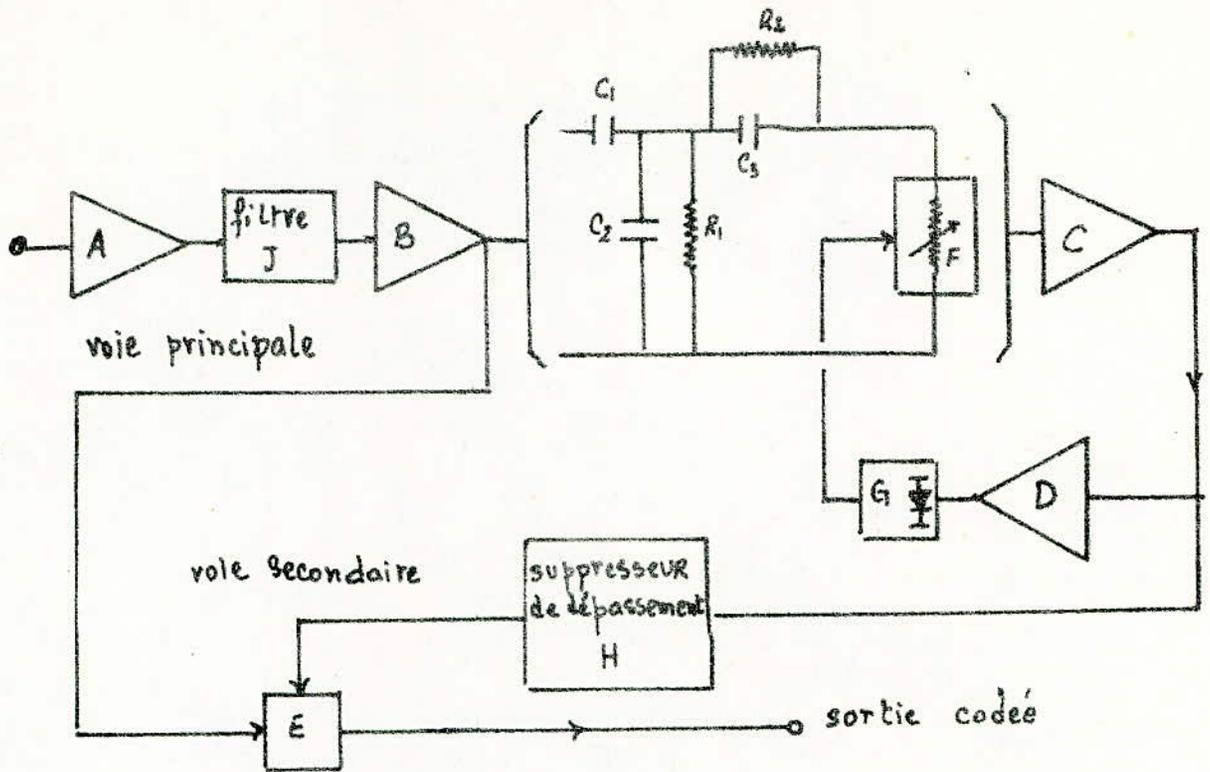


Figure III-5 : chaîne de compression.

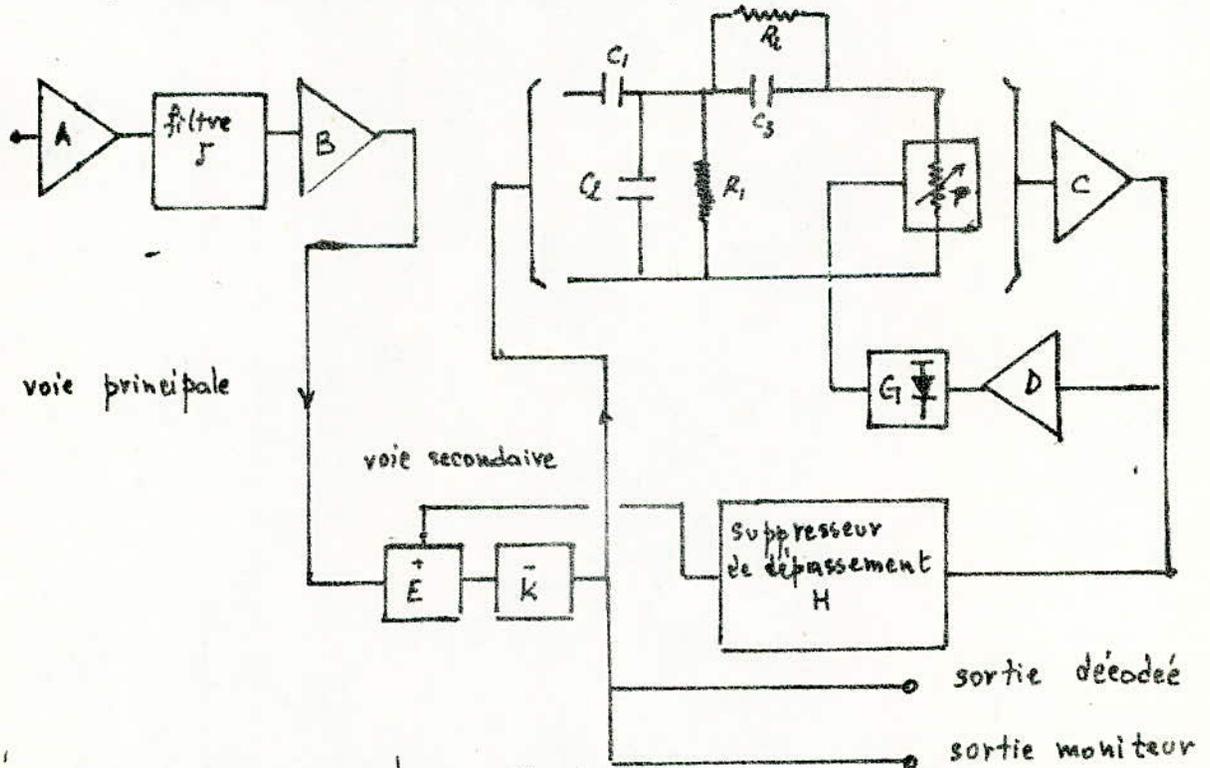


Figure III-6 : chaîne d'expansion.

2) DBX 124

2.a- Principe et mode d'action : le DBX agit à la fois par relevement des faibles niveaux et réduction des niveaux élevés à l'enregistrement. Les fonctions inverses sont symétriquement effectuées à la lecture. Il apporte donc un accroissement de la dynamique par diminution du niveau de bruit, et augmentation de seuil de saturation. Le taux de compression et d'expansion qu'il offre sont constants, ce qui permet de restituer au signal sa dynamique originale. L'appareil comporte quatre voies, ce qui lui permet d'être utilisé dans les enregistrements tétraphoniques, ou pour le contrôle de bande en stéréophonique.

2.b- Fonctionnement.

*Chaîne de compression : (schéma synoptique figure III 7)

La chaîne de codage (ou de compression) est composée d'un filtre passe-bande permettant d'éliminer les composantes **indésirables** qui n'existent pratiquement pas dans la musique (coupure à 30 HZ).

Ensuite, nous avons un système de pre-accentuation. Ce système remonte les fréquences au dessus d'une certaine fréquence (2000 HZ par exemple).

Le circuit de pré-accentuation est suivi d'un amplificateur commandé en tension. Le dispositif de commande en tension exploite le signal de sortie, il agit donc comme une commande automatique de gain.

Un filtre passe-bande est installé entre la sortie du compresseur et l'entrée. Ce filtre a une courbe de réponse linéaire entre 50 et 10.000 HZ, les fréquences situées de part et d'autre de cette bande sont atténuées. Les fréquences au dessus de 10 KHZ sont éliminées pour améliorer le fonctionnement du détecteur de valeur efficace, en présence d'un signal HF. Au dessous de 50 HZ la limitation est imposée pour des raisons de reproduction.

Le circuit de preaccentuation du signal de commande du détecteur de valeur efficace, sert à réduire le niveau des fréquences hautes au moment de l'enregistrement. Nous avons aussi une commande qui n'est pas linéaire en fréquence. Si un message musical comporte une proportion importante d'aigu, le niveau global sera diminué, pour éviter la saturation de la bande magnétique. Nous trouvons enfin, un détecteur de valeur efficace qui va commander l'amplificateur.

La tension de commande est donc la tension disponible sur l'entrée comprimée.

* Chaîne d'expansion (schema synoptique figure III-8)

Dans la chaîne d'expansion, la boucle de commande est la même que celle de la chaîne de compression.

Nous retrouvons le filtre passe bande, qui élimine les fréquences indésirables au niveau de la reproduction, et qui ne se trouvaient pas dans le message enregistré. Nous retrouvons aussi à l'entrée du système de détection de valeur efficace,⁽¹⁾ le signal qui avait été utilisé à l'enregistrement.

Cette fois-ci, l'amplificateur commandé, fonctionne avec une tension inverse, il travaille en expenseur.

A la sortie de l'amplificateur, nous retrouvons une tension qui va être désaccentuée par un circuit, dont la courbe de réponse est symétrique par rapport à celle utilisée à l'enregistrement. Puis un étage de sortie se charge de fournir une tension, d'un niveau suffisant, pour attaquer un préamplificateur.

(1) Errata: 8^e ligne.

Le signal qui avait servi au codage. Les filtres sont les mêmes que ceux utilisés à l'enregistrement.

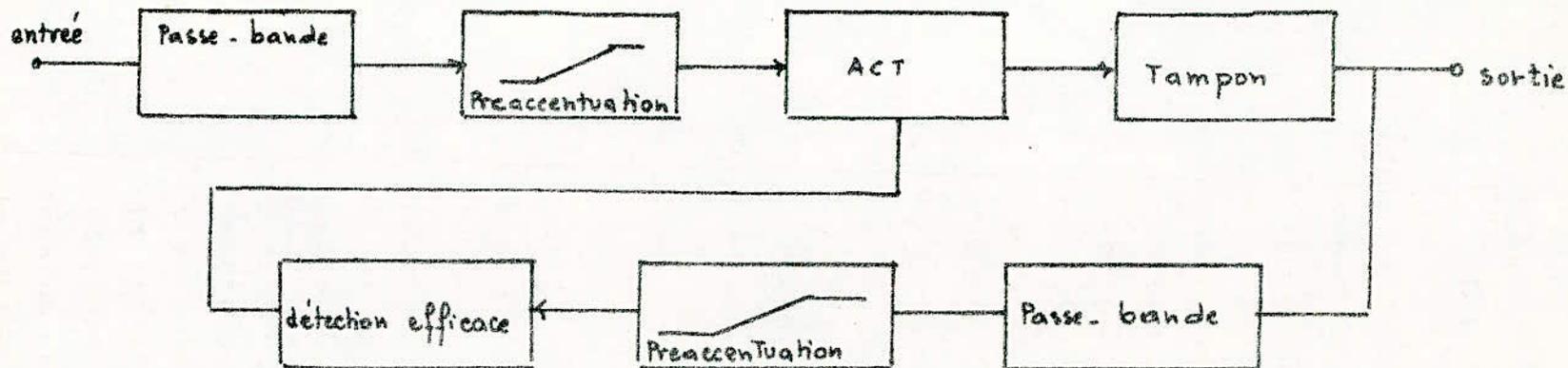


Figure III-7 : Synoptique du DBX 124 « Codage » (compression)

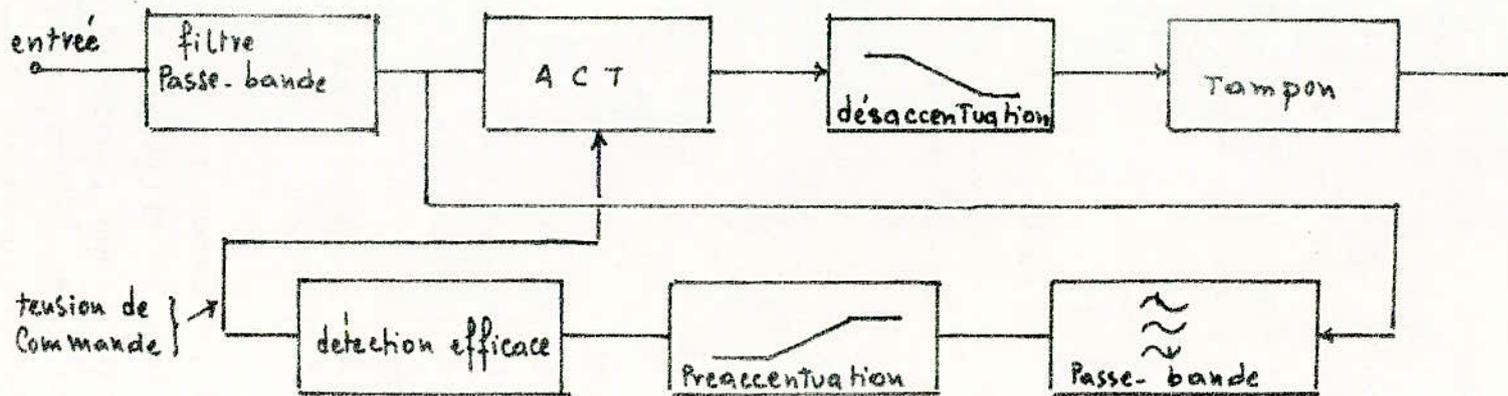


Figure III-8 Synoptique du DBX 124 « Décodage » (expansion)

QUATRIEME PARTIE

LES CARACTERISTIQUES DE TRANSFERT
DES COMPRESSEURS - EXPANSEURS

Une caractéristique principale d'un compresseur - expenseur, c'est sa caractéristique de transfert, qui reflète le comportement de l'appareil, lorsqu'on fait varier progressivement le niveau d'entrée.

Cette caractéristique tracée sur une table x-y, donne la relation entre la tension d'entrée est celle de sortie.

I - Courbes de réponse

Les principales courbes de réponse d'un appareil fonctionnant en compresseur ou expenseur sont les suivantes :

- 1 : Si la relation entre la tension d'entrée et celle de sortie est une droite (réponse linéaire), la sortie suit l'entrée. Dans ce cas, l'appareil se comporte comme un simple amplificateur, avec un gain d'amplification que nous pouvons déterminer sur la droite avec G (Gain) = V_s/V_e .

$$G \text{ (dB)} = 20 \text{ Log } \frac{V_s}{V_e} \quad \text{avec } \frac{V_s}{V_e} \text{ (la pente de la droite)}$$

- 2 : Si la courbe est située au-dessus de la droite, et qu'elle la coupe en un certain point pour passer au-dessous aux niveaux élevés ; c'est qu'il y a compression.

Dans ce cas une variation de n db à l'entrée se traduit par une variation d'un nombre moins important de (n/k) db en sortie.

- 3 : Pour l'expansion: pour n db à l'entrée, nous aurons une variation de nk db, (le nombre k , étant le taux de compression).

- * Si les deux pentes sont symétriques par rapport à la droite, les deux opérations seront complémentaires. Si ces droites se coupent au même endroit, la complémentarité des deux opérations sera parfaite.

Par exemple sur la figure (IV-1), on remarque que pour -60db à l'entrée, on retrouve -30db sur la bande après compression de la dynamique d'un signal.

Au décodage, on considère alors comme signaux d'entrée, ceux qui pénètrent dans l'expandeur de lecture, et en ressortent pour attaquer les amplificateurs de puissance. Ainsi à partir de -30db de la bande, on retrouve bien les -60db d'origine. Cette restitution suppose une parfaite symétrie des courbes de transfert.

Dans le cas contraire, on constate une translation générale des niveaux de sortie par rapport à ceux de l'entrée. La courbe de réponse globale pour l'ensemble compresseur - expandeur n'est plus la bissectrice, avec -30db à l'entrée, on retrouve -40db en sortie (figure IV-2).

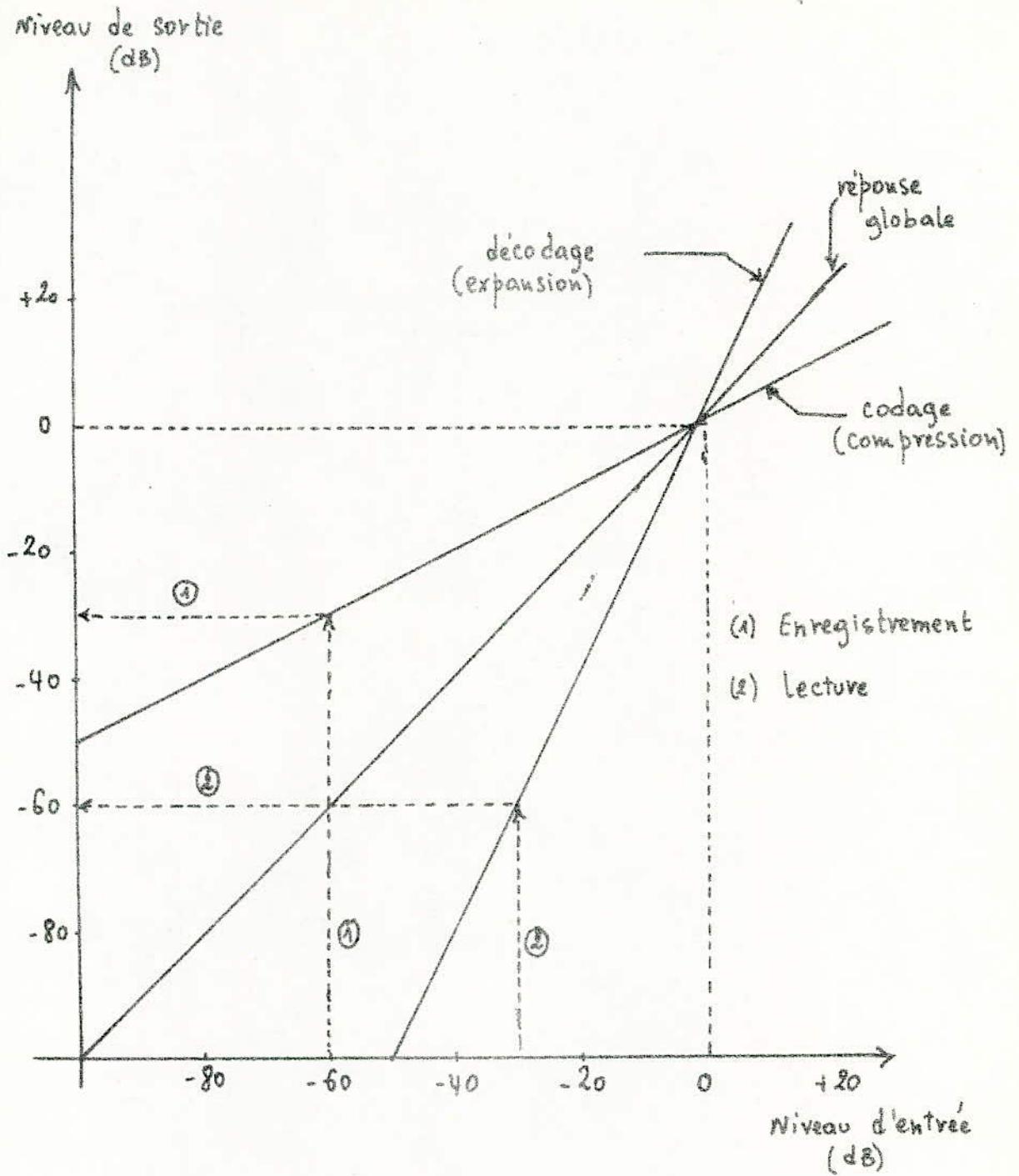


Figure IV-1.

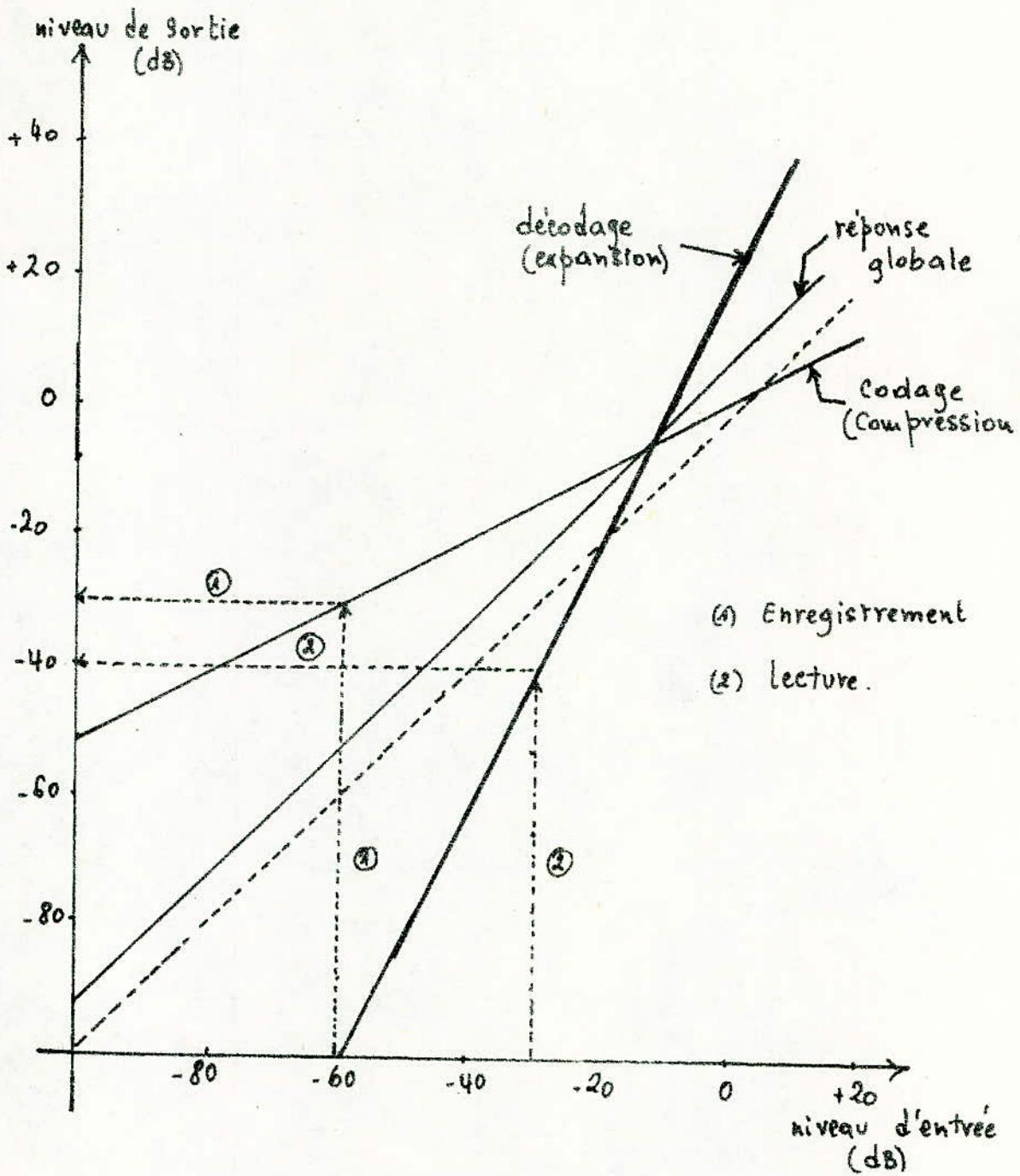
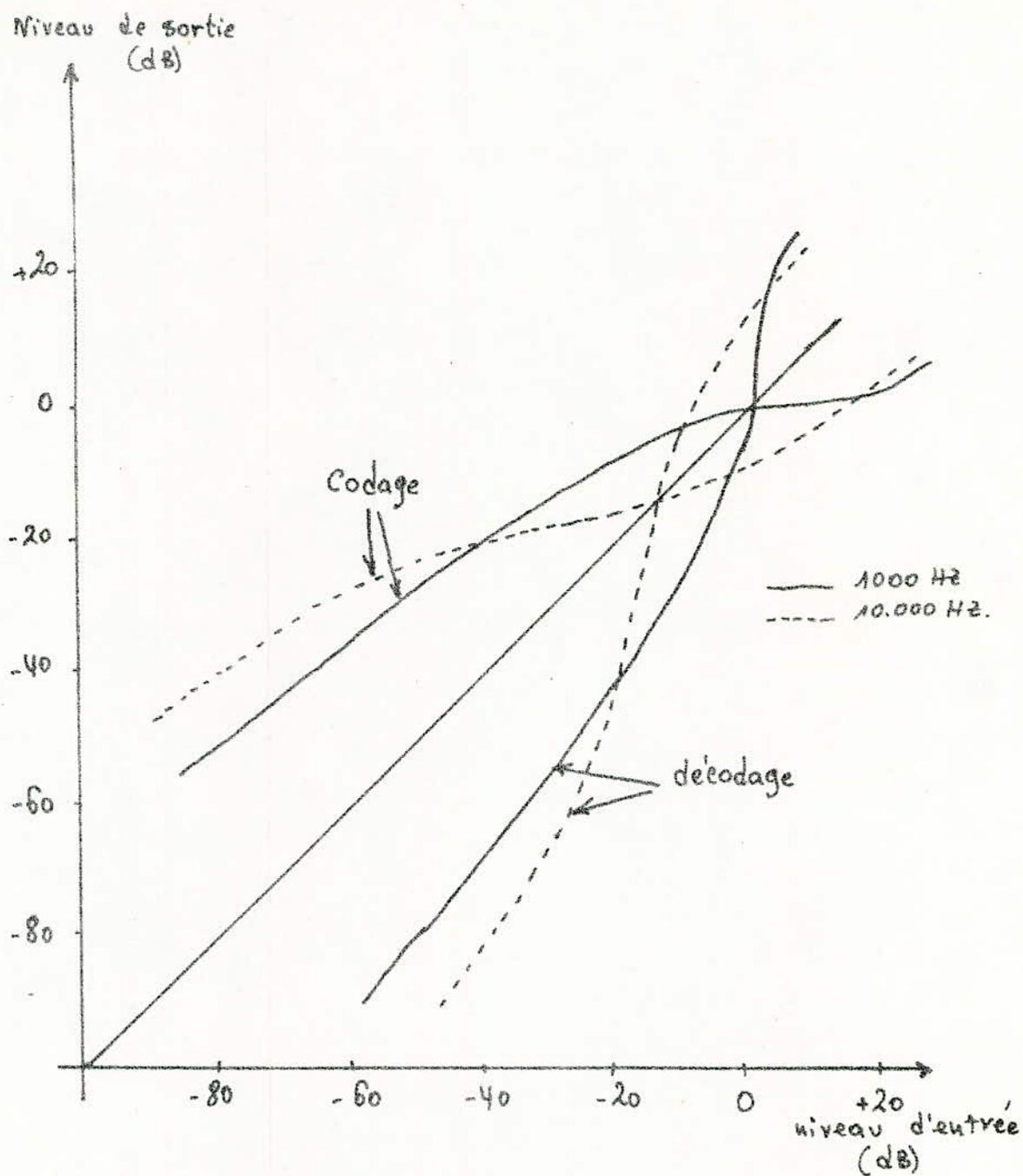


Figure IV-2

NB : Pour simplifier cette théorie des compresseurs - expanseurs et pour la compréhension des différentes courbes de réponse du système, on a supposé que lorsque l'appareil fonctionne sans la compression et l'expansion. C'est comme un amplificateur, on a supposé que l'amplification est égale à l'unité ($G = \frac{V_s}{V_e} = 1$) et que la droite tracée (voir I-a) est à 45° mais en réalité cela pourrait être autrement.

Tenant compte de la prédominance du bruit de fond aux fréquences élevées et pour une amélioration plus efficace du rapport signal/bruit, il est donc préférable d'accroître la compression et l'expansion sur ces fréquences par rapport au reste du spectre. On dispose alors pour l'ensemble des circuits codeur et décodeur ; de plusieurs courbes de transfert dont la figure IV.3 donne un exemple.

Figure IV-3

II - Interprétation des courbes

L'ensemble des courbes de transfert du compresseur et de l'expandeur, tracées pour différentes fréquences, renseigne complètement sur le comportement d'un réducteur de bruit, tant en fonction des niveaux traités, que de la fréquence du signal.

Ces courbes sont établies d'une part pour le compresseur et d'autre part pour l'expandeur.

Dans chaque cas, il faut une famille de courbes, dont chacune correspond à un niveau donné du signal appliqué sur l'entrée du dispositif. Les figures IV-4 et IV-5 nous donnent deux exemples de ce type de graphiques.

1) La Compression :

La figure (IV-4) correspond aux caractéristiques de compression à l'enregistrement. Chaque courbe est relevée à un niveau constant du signal appliqué au compresseur, et pour des fréquences croissantes de 20 Hz à 20000 Hz.

2) L'expansion :

Pour un fonctionnement parfait, c'est à dire une exacte restitution de la dynamique, les courbes d'expansion à la lecture (figure IV-5), devraient, à chaque fréquence et pour chaque niveau enregistré sur la bande, redonner le niveau du signal d'origine.

III - Phénomènes parasites dans les réducteurs de bruit

Si les réducteurs de bruit remplissent correctement le rôle qui leur est assigné, à savoir ;

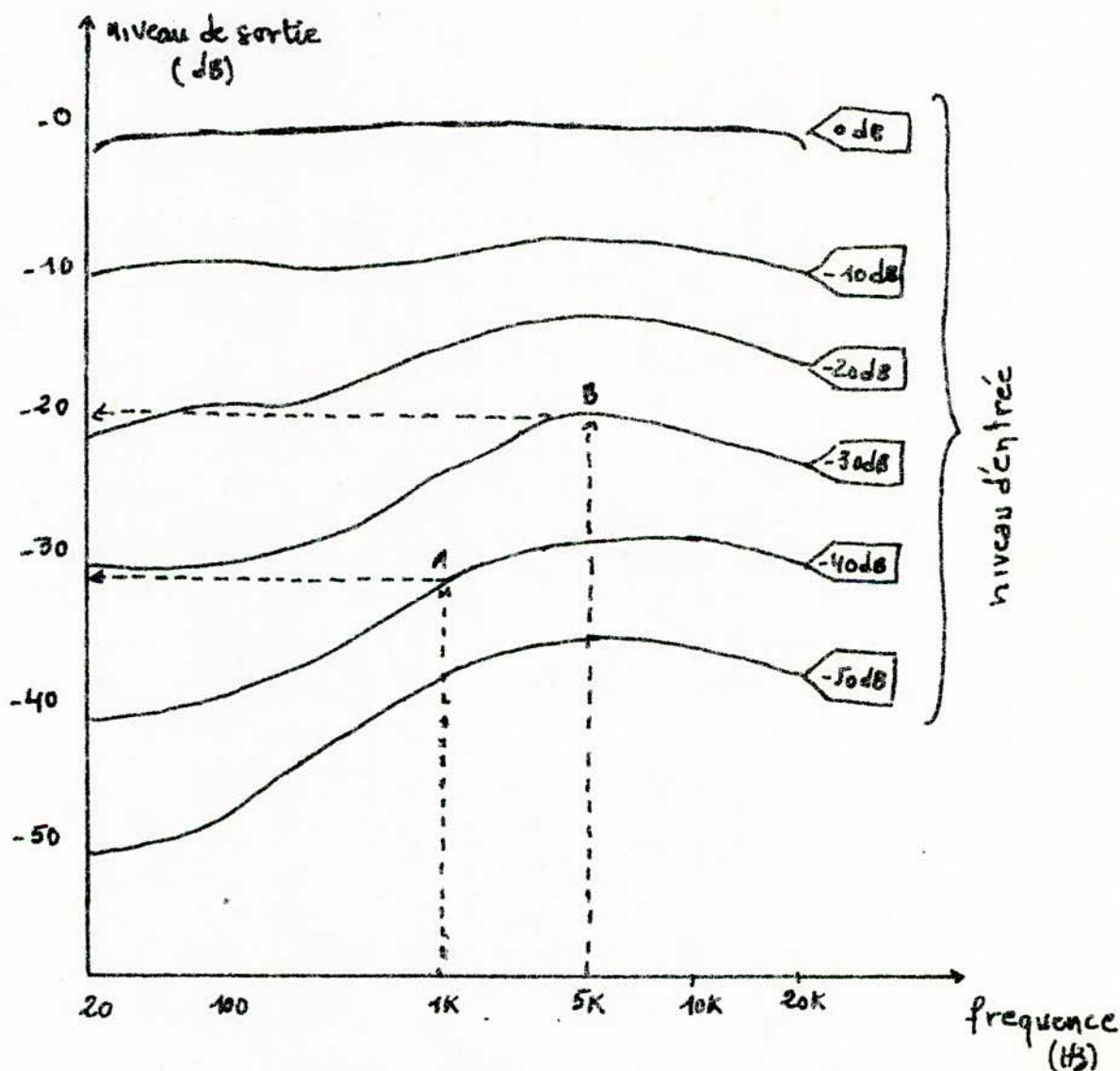


Figure 4-4 : Compression à l'enregistrement

Pour le point A, correspond à un niveau d'entrée de -40 dB et une fréquence de 1000 Hz, la sortie se situe à -32 dB soit une compression de 8 dB.

De même pour le point B (-30 dB à l'entrée, 5000 Hz), la sortie à -20 dB. Une compression de 10 dB.

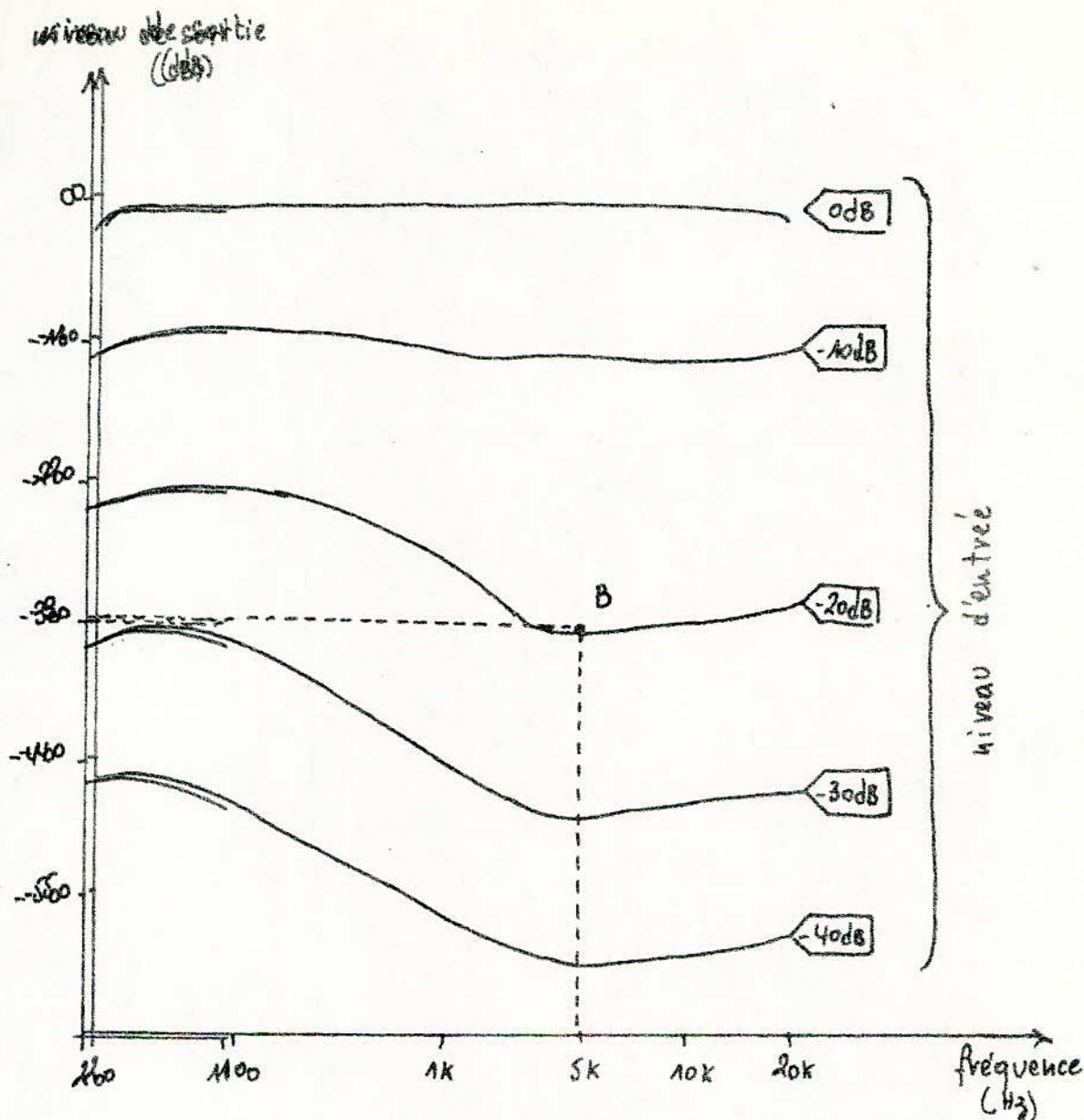


Figure IV-5 : Expansion à la lecture.

Pour un signal à -30 dB et une fréquence de 5000 Hz, le compresseur donnait -20 dB.

À la lecture, en appliquant -10 dB à 5000 Hz, on doit retrouver -30 dB ; c'est bien ce qui se passe au point B.

- Réduction du bruit.
- Accroissement de la dynamique.

Ces dispositifs introduisent aussi quelques perturbations que nous ne pouvons ignorer.

* Influence de la bande passante d'un enregistreur.

La parfaite symétrie d'action des deux dispositifs : compresseur - expanseur, implique l'absence de toutes les perturbations de la part du magnétocassette qui les sépare (voir synoptique de la figure II-2 du chapitre -II).

Malheureusement, la platine d'enregistrement et de lecture des bandes magnétiques, avec ses têtes et son électronique, n'offre pas une réponse plate dans toute la gamme des fréquences sonores, dans ces conditions, le réducteur de bruit augmente les écarts (figure IV-6).

Pour que nos suppositions soient fondées, afin de faire le graphe de la figure IV-6, le compresseur, comme l'expanseur travaillent avec un rapport indépendant de la fréquence.

A l'entrée de la chaîne, on applique un signal de fréquence variable, mais de niveau constant (courbe 1. de la figure IV-6).

Le compresseur réduisant la dynamique dans un rapport 2, injectera, à l'entrée du magnétocassette, un signal de niveau 30 db, indépendant de la fréquence (courbe 2, de la figure IV-6).

Supposons que la courbe de réponse de la platine d'enregistrement lecture, soit celle de la courbe 3 (figure IV-6) et non à partir du niveau théorique de la courbe 2.

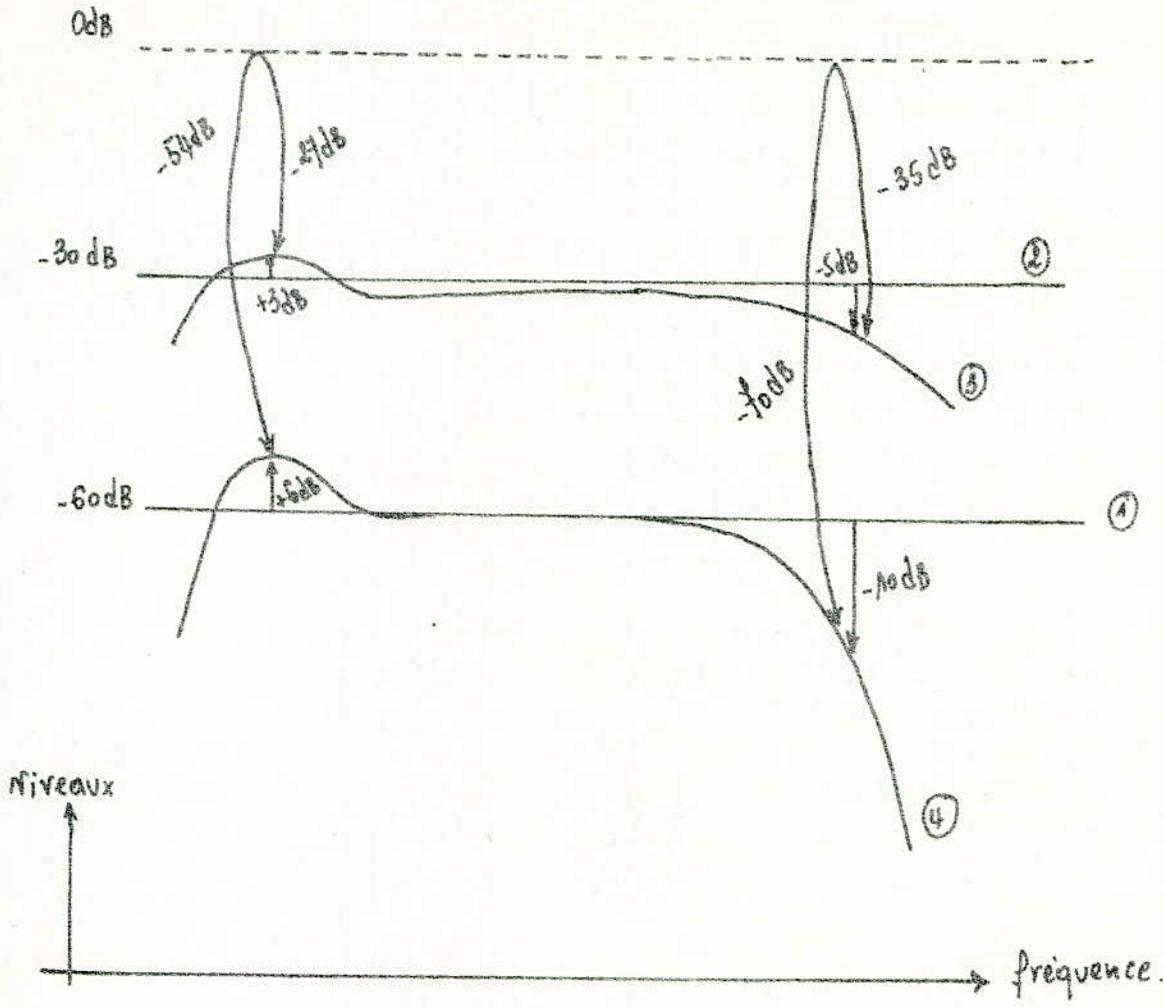


Figure IV-6

En générale, toutes les irrégularités de la courbe de réponse du magnétocassette sont, en présence du réducteur de bruit, supposé parfait, multipliées par le rapport de compression ou d'expansion.

A l'aide d'un exemple, nous pouvons voir l'effet que causent ces irrégularité (figure IV-6).

A cause de la bosse à +3 db dans les fréquences basses, le niveau d'entrée vu par l'expasseur devient - 27 db (au lieu de -30 db), et la sortie se placera à -54 db (au lieu de -60 db), l'accident, dans la courbe de réponse, passe de + 3 db à + 6 db. Par un raisonnement analogue, une atténuation de 5 db aux fréquences élevées passe à 4 0 db

CINQUIEME PARTIE

REALISATION PRATIQUE

Notre étude pratique consiste à réaliser et expérimenter 3 systèmes réducteurs de bruit.

- I - Réducteur de bruit à fonction unique - D.N.L
- II - Réducteur de bruit à fonctions complémentaires
compresseur - expanseur commandés en tension
- III - Principe d'un compresseur - Expanseur utilisant
des amplificateurs logarithmique et anti-logarithmique.

D . N . L

Le système dynamic noise limiter ou réducteur de dynamique du bruit a été élaboré par philips et appartient à la Catégorie des dispositifs à fonction unique.

Le principe de fonctionnement a été vu au chapitre III (exemples de réducteurs de bruit).

I) ETUDE DU MONTAGE

Le schéma pratique est donné à la figure (V-1-a)

L'étage déphaseur est constitué par le transistor T1 dont le collecteur alimente la voie unitaire, simple résistance ajustable, tandis que l'émetteur est le départ de la voie dynamique.

Nous remarquons que dans la voie unitaire tous les signaux s'y trouvent, que ce soient forts ou faibles, et grâce à la seconde voie (voie dynamique) qui ne sélectionnera en sortie que les faibles signaux avec une fréquence supérieure ou égale à la fréquence de coupure du filtre, qui seront mélangés en opposition de phase avec ceux de la voie unitaire pour ne laisser finalement que les signaux forts (signaux utiles).

En effet ; après T1, le filtre RC ne laisse passer que les signaux dont la fréquence est supérieure ou égale à f_c ($f_c = 4 \text{ KHZ}$) étant la fréquence de coupure du filtre, car le bruit représentant les signaux indésirables est généralement cantonné vers ces fréquences. Le Transistor T2 n'est qu'un simple étage amplificateur. Les diodes D5 et D6 montées en tête-bêche assurent la limitation en provoquant

une contre - réaction énergique sur les transistors T3 et T4 dès que leur seuil est dépassé (0,9 v), car à la sortie du transistor T4, les signaux sont amplifiés de telle manière qu'ils ne doivent pas dépasser un certain niveau fixé par le limiteur.

Finalement, on trouve l'amplificateur non linéaire à détection crête formé par le Transistor T4 et des diodes D1 à D4 agissant en résistance variable. Le signal traverse encore la résistance de 120 K Ω , qui sera combiné ensuite avec le signal issu de la voie unitaire, afin de recueillir en sortie que les signaux utiles.

N.B : En sortie, il faudra que le signal le plus faible soit facilement discerné du bruit.

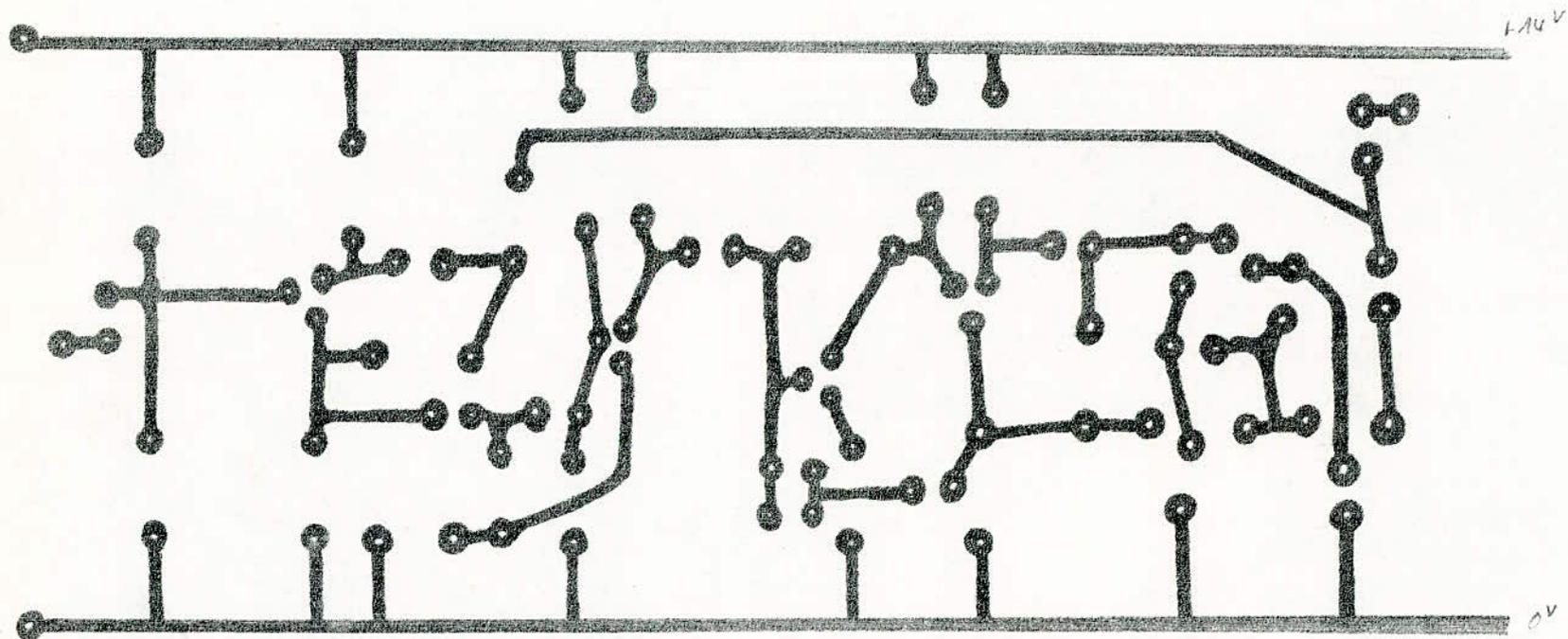
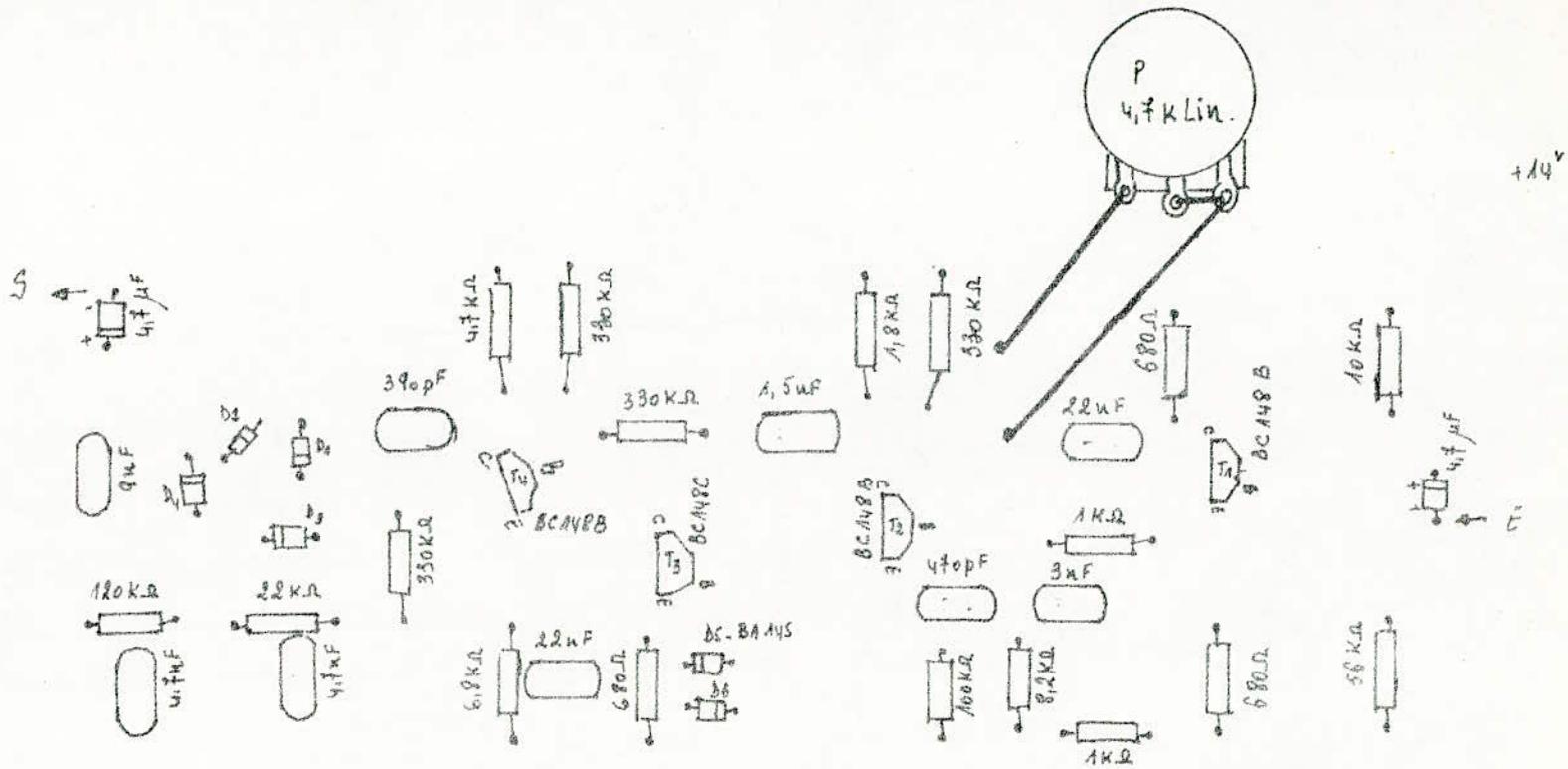
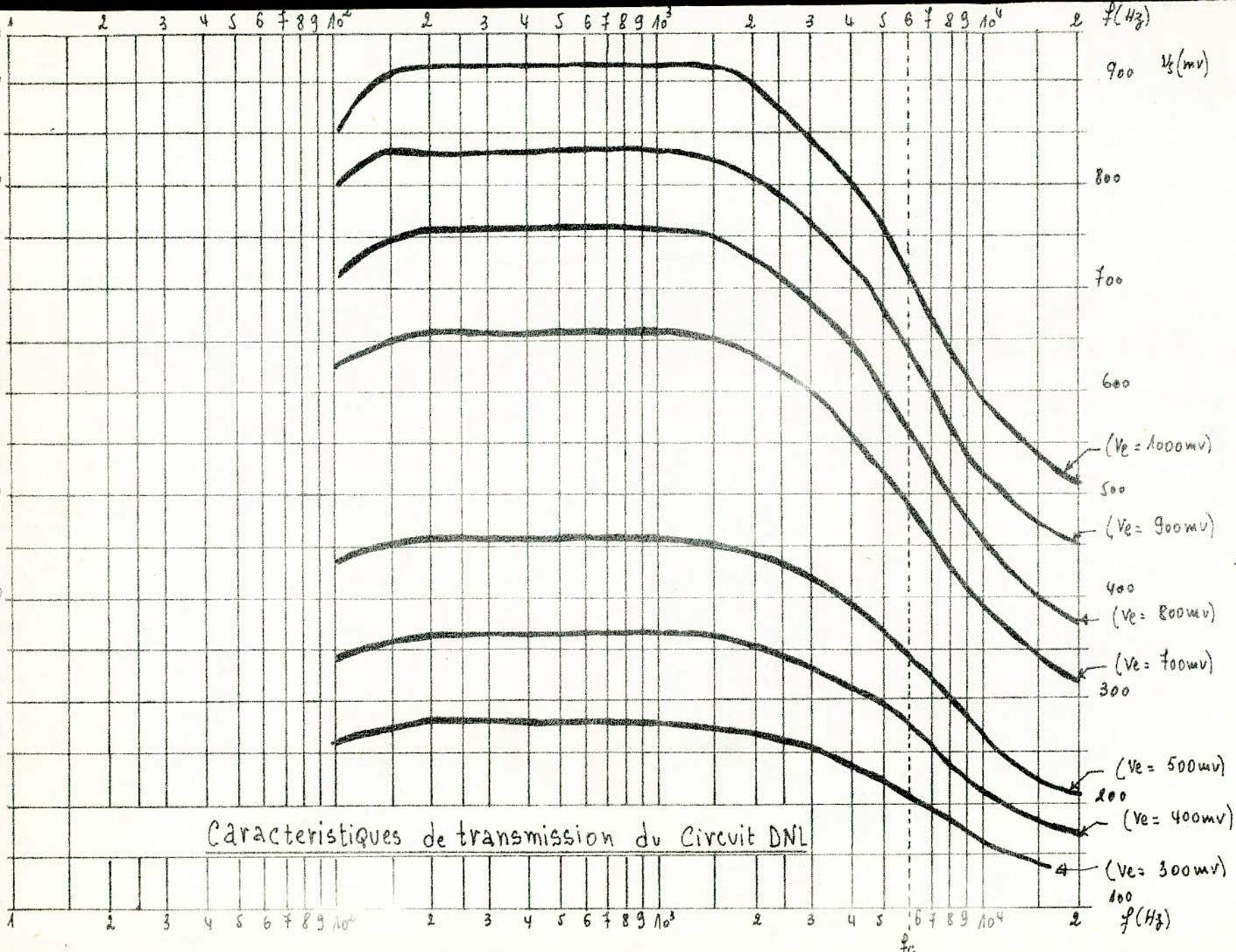


Figure 3.1.b : Circuit imprimé du
Réducteur de bruit D-N-L



Implantation des Composants dans le circuit DNL.



Caracteristiques de transmission du Circuit DNL

II) EXPERIMENTATION DU CIRCUIT DNL

D'après les caractéristiques de transmissions relevées expérimentalement, on remarque que tous les signaux sont plus ou moins atténués vers les fréquences élevées. L'atténuation est beaucoup plus importantes pour les faibles signaux.

ACTION DU DNL SUR UNE CASSETTE VIERGE (à la lecture)

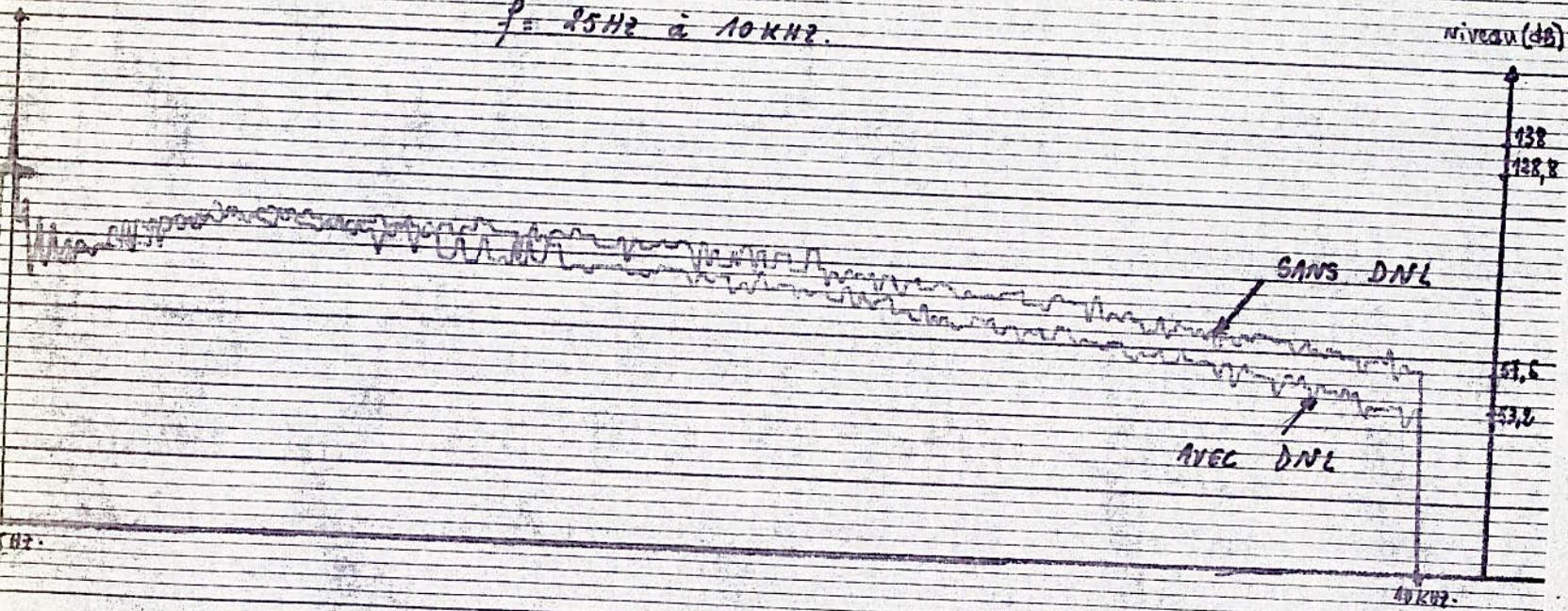
Les valeurs portées dans le tableau ci-dessous montrent l'action du système sur le niveau du bruit d'une cassette vierge. On remarque la réduction du bruit est d'autant plus efficace que les fréquences sont élevées. Aux BF, l'atténuation est très négligeables.

7 (HZ)	50	150	400	1000	3150	6300	7000	8000	10000
SANS DNL	85	75,9	65,8	68,3	72,8	69	66,3	63,7	57,6
AVEC DNL	85	75,9	65,8	69	69,6	65,2	63,7	58,1	53,2

LECTURE D'UNE CASSETTE VIERGE

$f = 25 \text{ Hz} \text{ à } 10 \text{ kHz}$

niveau (dB)



QP 1102

10 kHz
133,8
116
100

COMPRESSEUR EXPANSEUR
à GAIN VARIABLE

1- INTRODUCTION :

Tous les systèmes connus pour enregistrer ou restituer les sons ont le même défaut dans des proportions plus ou moins importantes; à savoir qu'ils sont incapables de conserver ^{toute} la dynamique d'un événement sonore. La solution employée est donc de comprimer cette dynamique à la limite de ce que l'oreille humaine juge acceptable. Le circuit qu'on a voulu réaliser, permet artificiellement de restituer une partie de la dynamique perdue (expandeur) ou à l'inverse de diminuer celle-ci (compresseur).

2- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

En se référant au schéma de principe de la figure V-2-a, on y voit un premier bloc : le préamplificateur.

Ce collecteur par le couplage de C_2 attaque le crête-mètre. Celui-ci est composé de R_{15} , R_{16} , C_3 dont le rôle est de transformer les signaux alternatifs de T_1 en signaux continus qui attaquent le transistor T_4 .

Si les signaux continus ont un niveau suffisant (0,6v), le transistor T_4 se polarise, (la led s'illumine). La mise en parallèle de R_{15} et R_{16} fixe le seuil de déclenchement de T_4 .

Le bloc de redressement et contrôle est composé d'un étage amplificateur T_2 et à sa suite C_5 , D_1 et D_2 , qui constituent un redresseur doubleur de tension RII et C_7 assure une constante de temps de réponse rapide.

L'interrupteur K permet de bloquer le transistor T_3 (tension de base nulle).

2-a) Fonctionnement du transistor T_3

Si T_3 n'est pas polarisé; aucun courant ne traverse du collecteur à l'émetteur, donc sa résistance collecteur émetteur RCE est très élevée.

Si sa base est polarisé, un courant peut s'établir entre collecteur et émetteur; donc sa résistance RCE est faible. Puisque son collecteur est découplé par le condensateur C_8 , on peut dire que le transistor T_3 joue le rôle d'une résistance RCE variable, avec la tension entre base et émetteur (VBE) qu'on lui applique.

Plus VBE est grande, plus RCE est petite. La résistance R_8 et les diodes D_1 et D_2 , fixent le seuil à partir duquel le transistor T_3 travaille. La résistance R_{13} fixe la loi de variation de RCE.

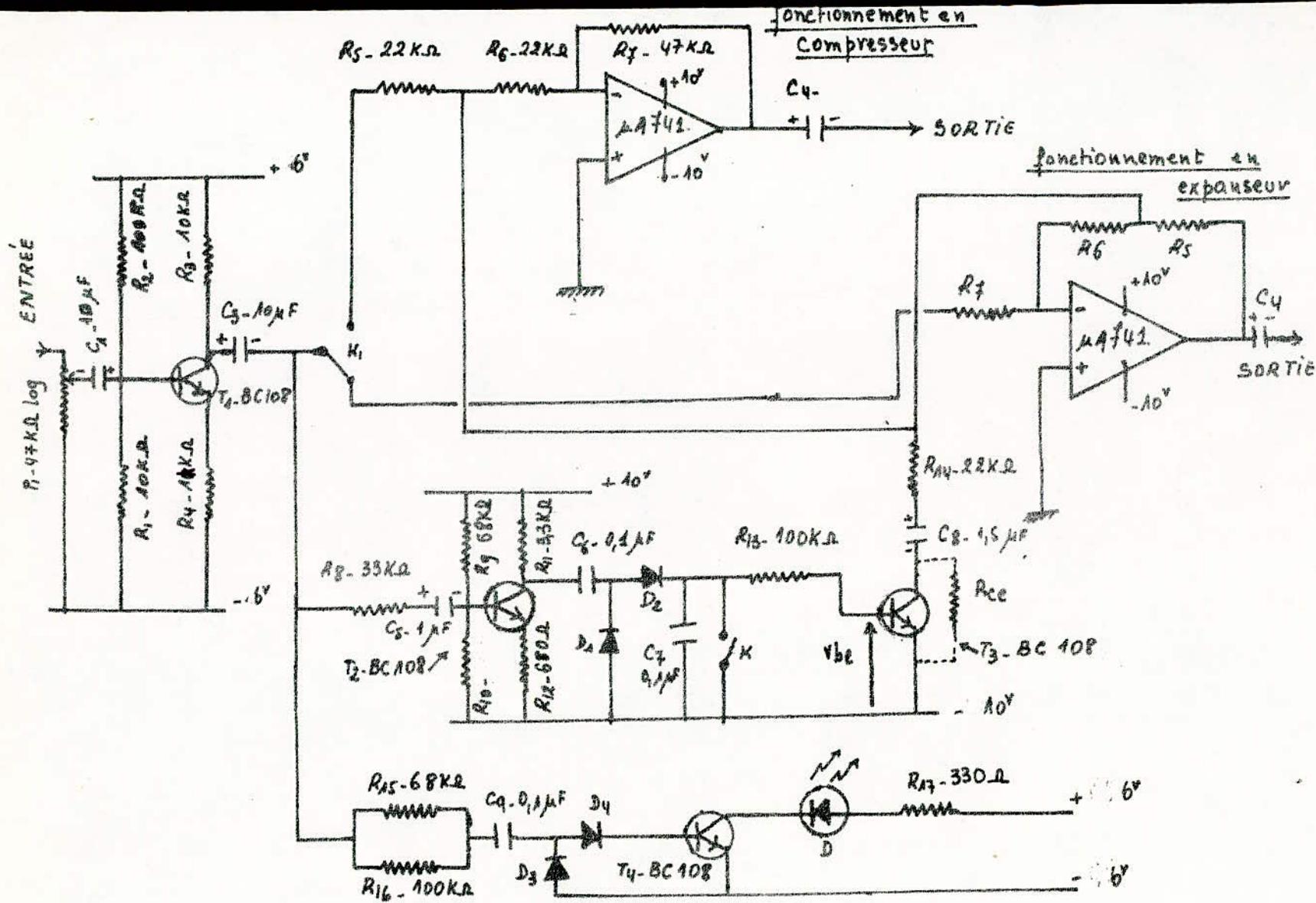


Figure V-2-a : schéma du compresseur - expandeur.

2-b) Fonctionnement des blocs compresseur-expandeur :

Les blocs compresseurs-expandeur, sont en fait un même circuit amplificateur grâce à l'amplificateur opérationnel μA 741, dont on réalise les connexions par interrupteur, de gain variable.

En effet reportons nous à la figure V-2-b. Si l'interrupteur k_1 est ouvert, l'amplificateur opérationnel se comporte comme un simple amplificateur dont le gain est :

$$A_v = \frac{R_2 + R_3}{R_1}$$

Si K_1 est fermé, le gain de l'AOP augmente d'autant plus que le curseur de P se rapproche de la masse. Ce gain est cependant limité en valeur maximale par la présence de la résistance R.

En fait P et R ne sont autres que le transistor T_3 et la résistance R14 respectivement.

Donc, quand le niveau d'entrée du montage atteint une certaine valeur T_3 commence à agir. Il s'agit d'autant plus que la tension d'entrée est grande. Donc il y a bien expansion, puisque l'on amplifie les sons d'autant plus qu'ils sont eux même forts. Donc la dynamique entre les sons faibles et les sons fort augmente.

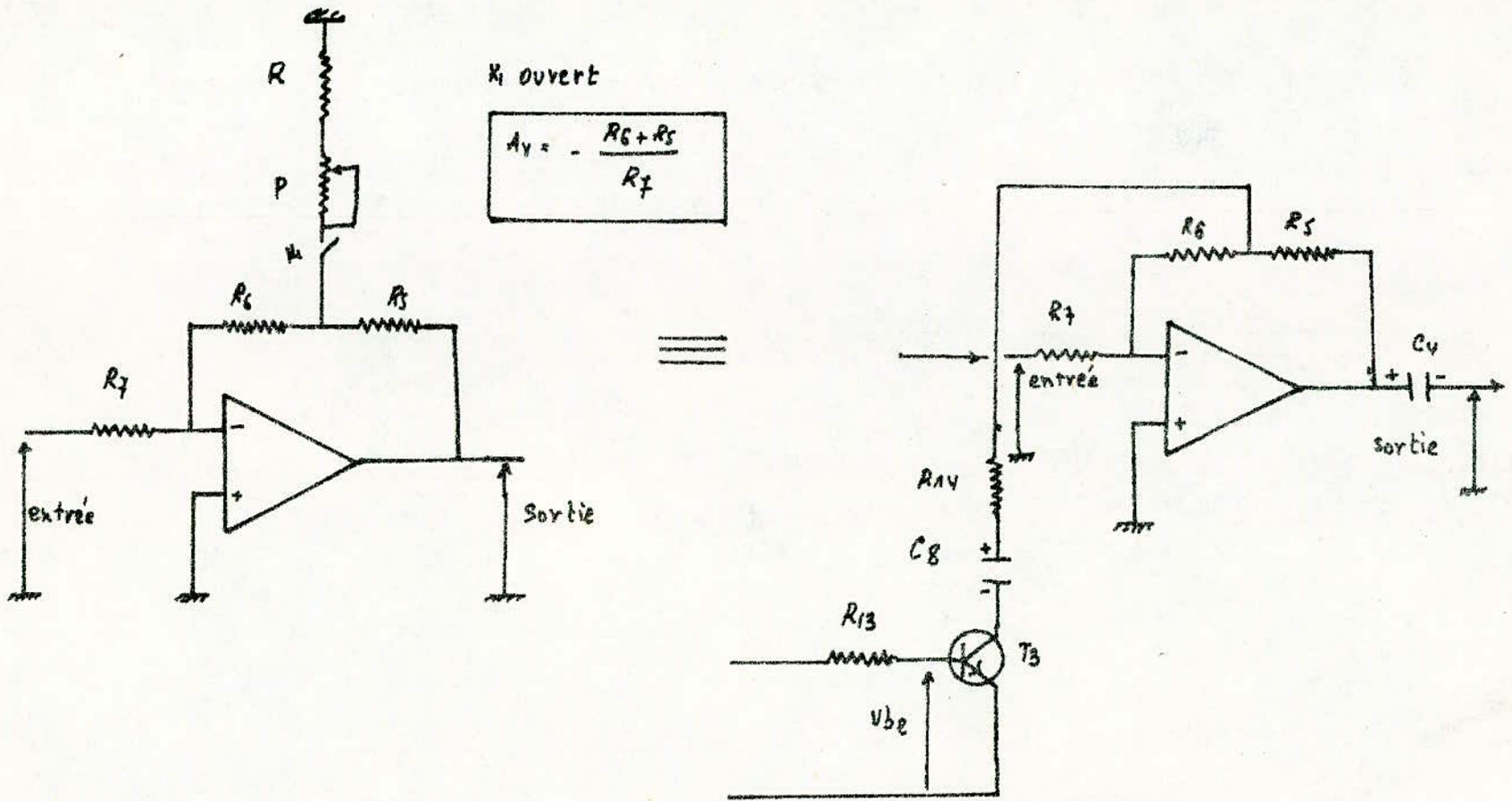


Figure V-2-b: phénomène d'expansion.

A la figure V-2-c; on y trouve la figure exactement inverse. Plus le curseur de P se rapproche de la masse, Plus le signal qu'amplifie l'AOP est faible, ⁽¹⁾ Donc, plus la tension d'entrée s'élève, plus le transistor T_3 devient actif (RCE diminue), ce qui fait que moins on amplifie. On a dans ce cas un phénomène de compression de la dynamique, puisque les sons sont restés moins forts qu'ils ne l'étaient à l'entrée (car plus les sons présents à l'entrée sont forts moins on les amplifie)

3- Utilisation

Le montage peut-être compresseur ou expanseur par deux commutations.

*en compresseur : K ouvert et K1 entre A et B

*en expanseur : K ouvert et K1 entre A et D

Si l'interrupteur K est fermé, les phénomènes de compression ou d'expansion sont hors service (tension de base nulle de T_3) dès lors le montage se comporte comme un amplificateur dont le gain peut être réglé par l'intermédiaire du potentiomètre P1.

(1): donc, plus la tension de sortie diminue.

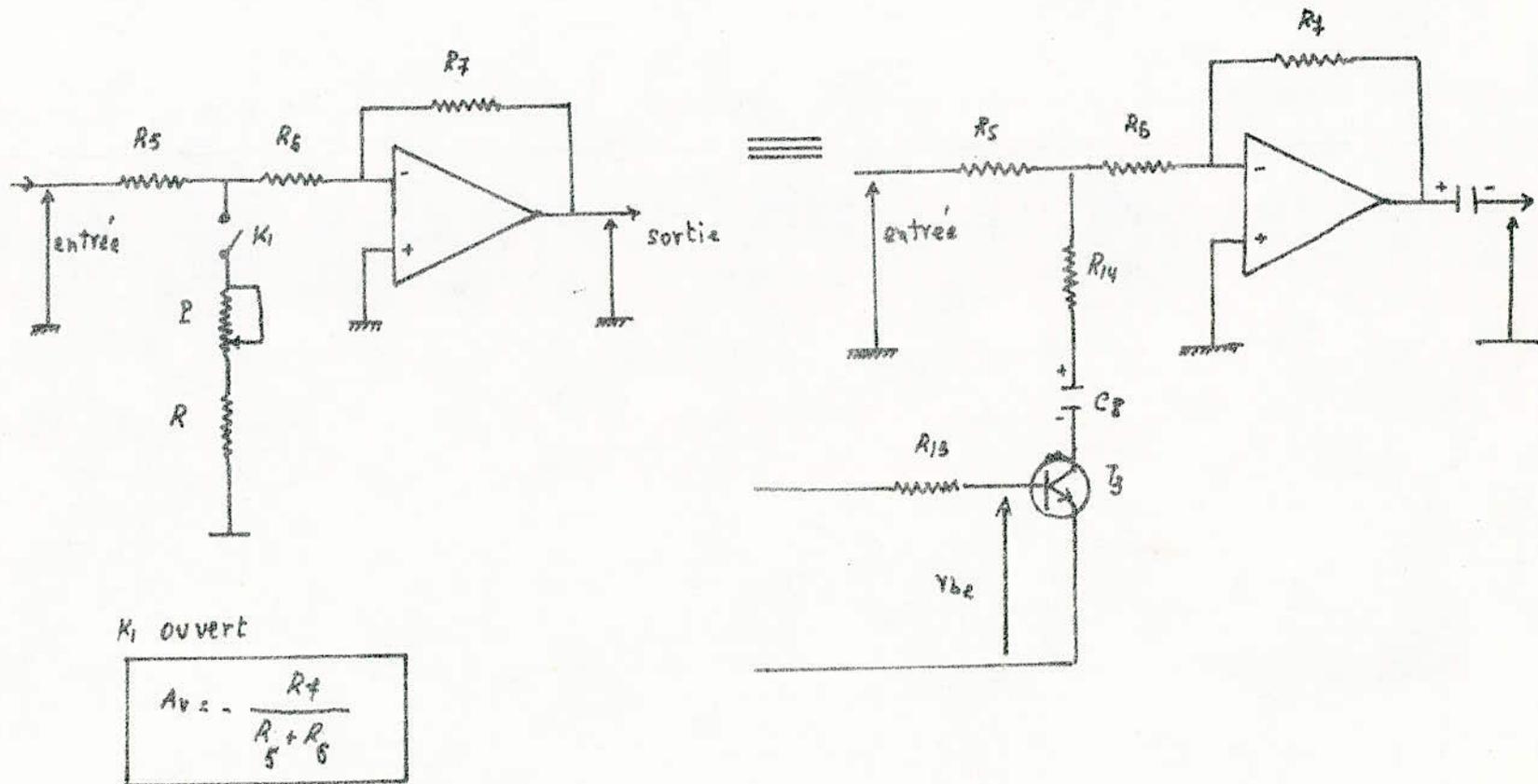
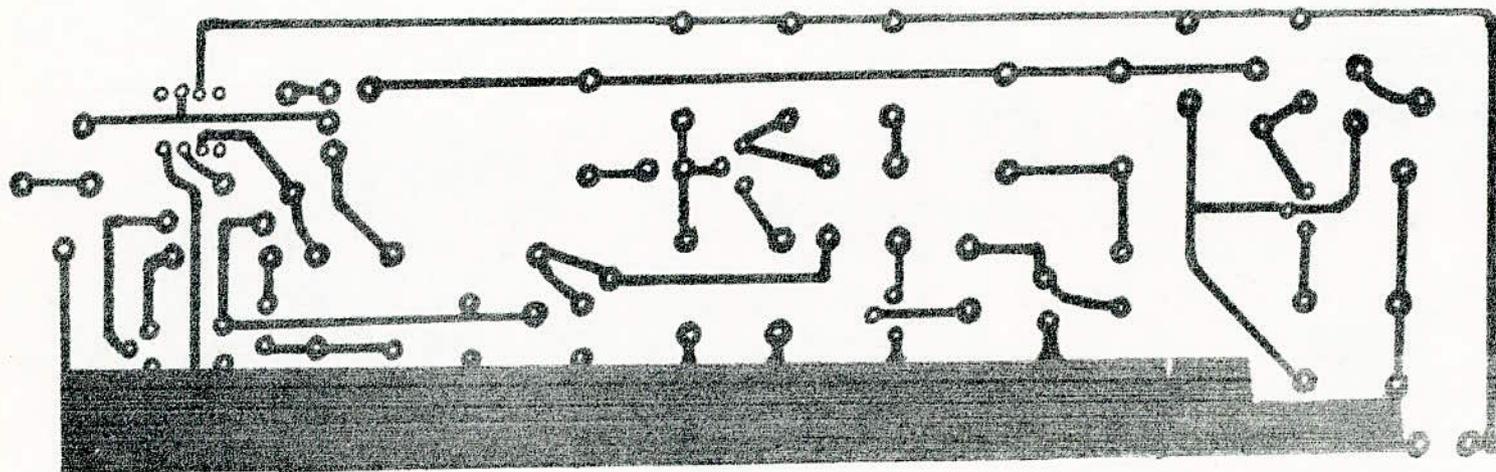
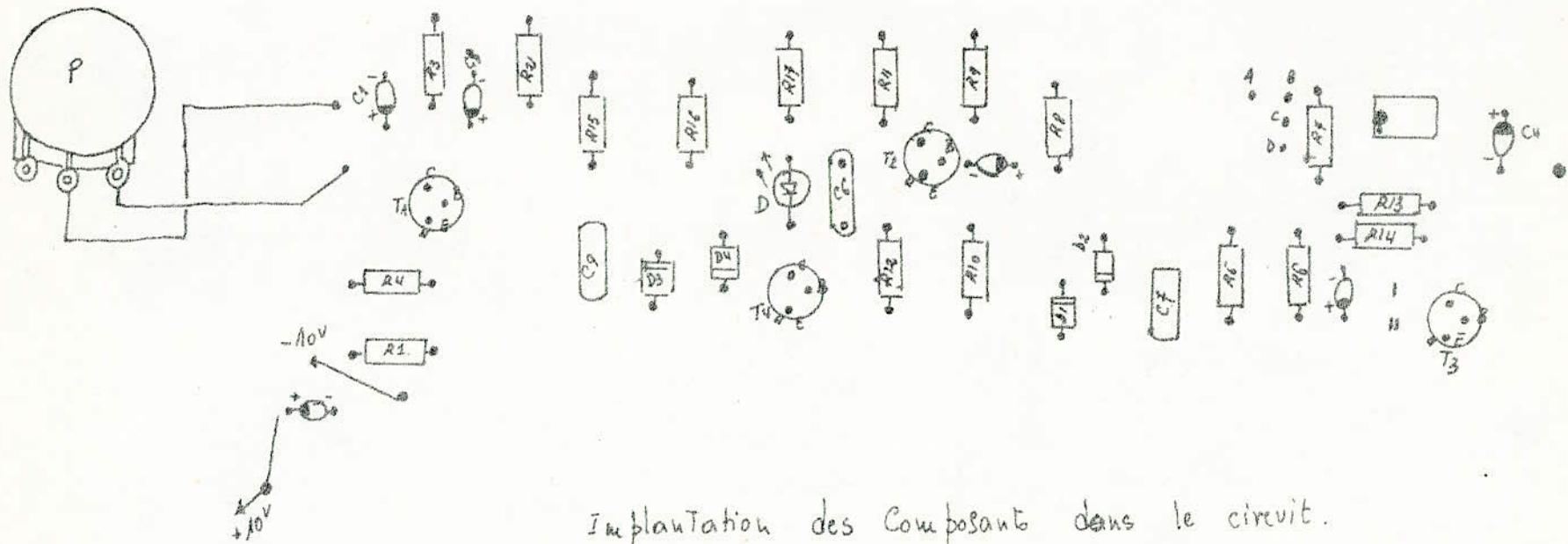


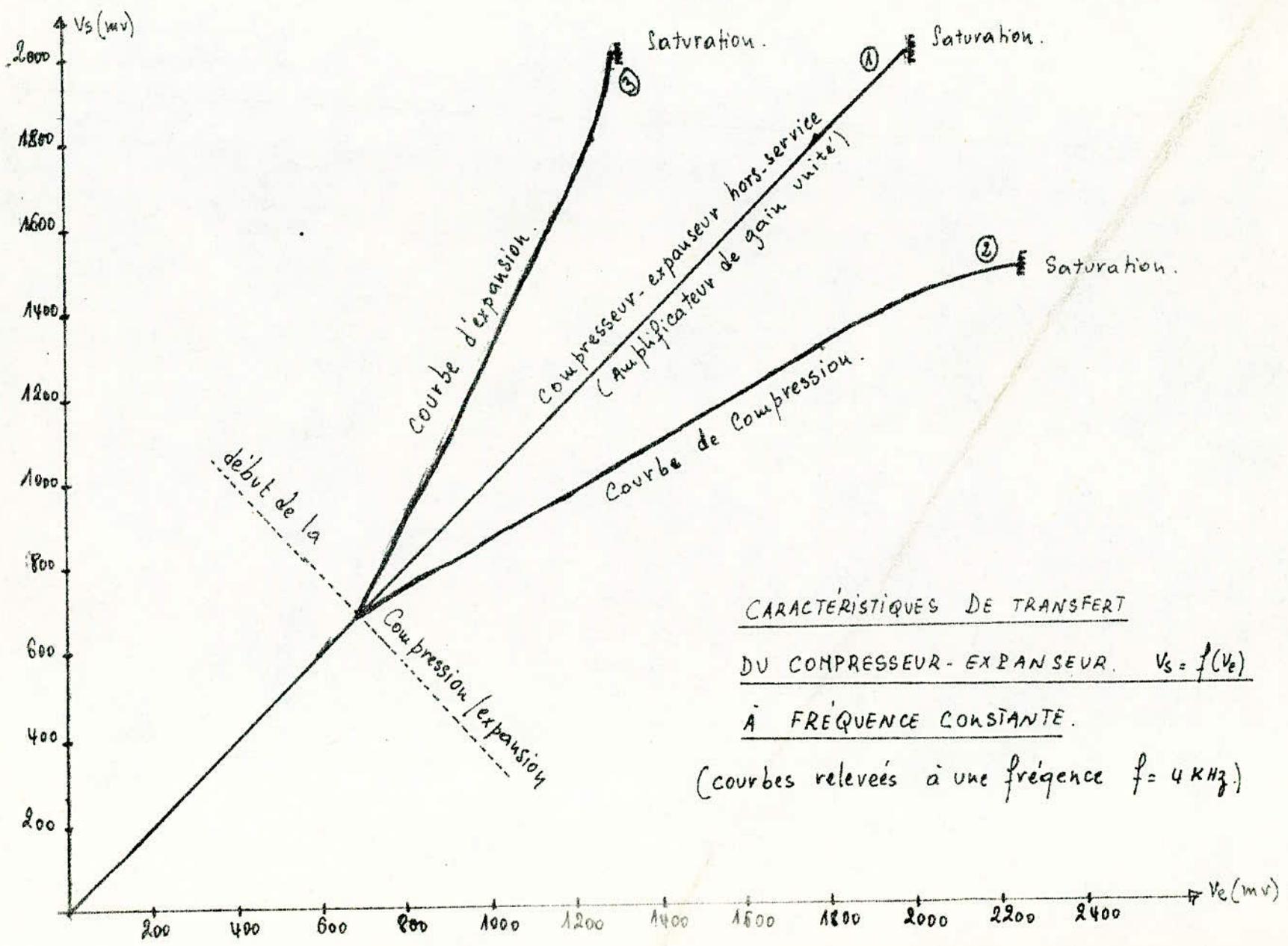
Figure ̄-2-c : Phénomène de compression



Circuit imprimé du Compresseur-Expandeur
à Gain variable. (représentation d'1 seul Canal)
(une autre partie symétrique devra lui être associée
pour un appareil stéréophonique)

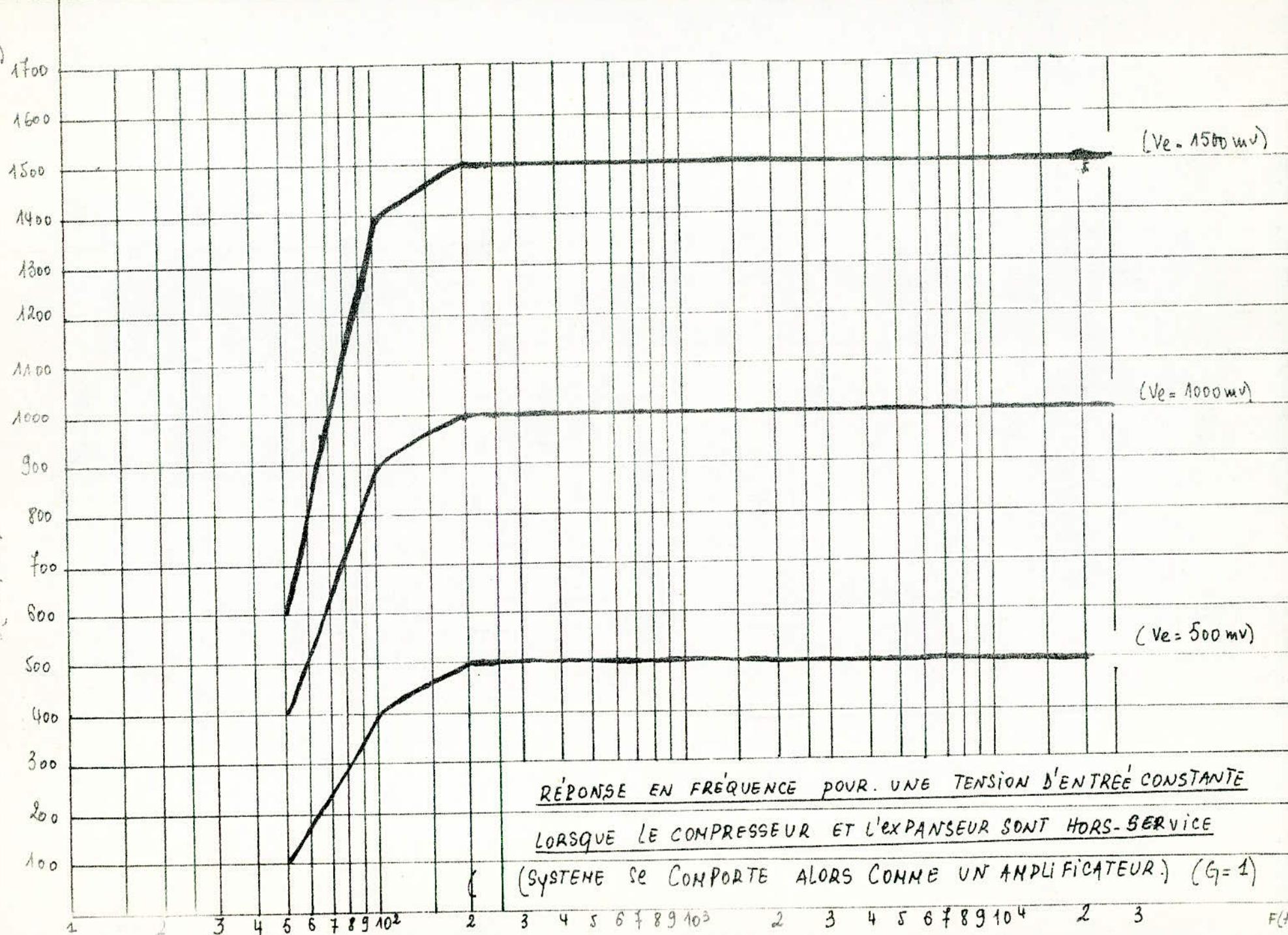


Implantation des Composant dans le circuit.
Compresseur - expanseur à Gain variable.

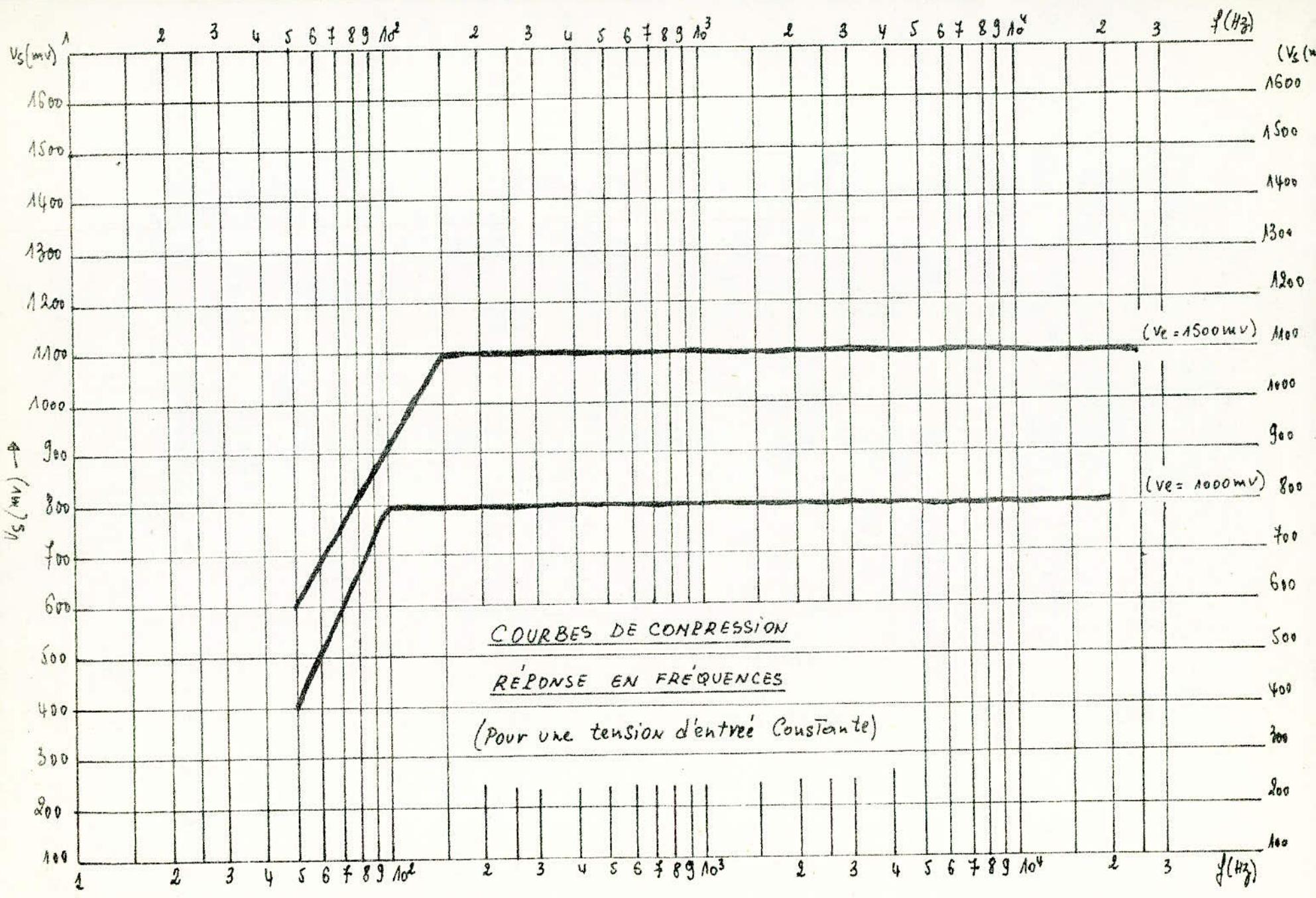


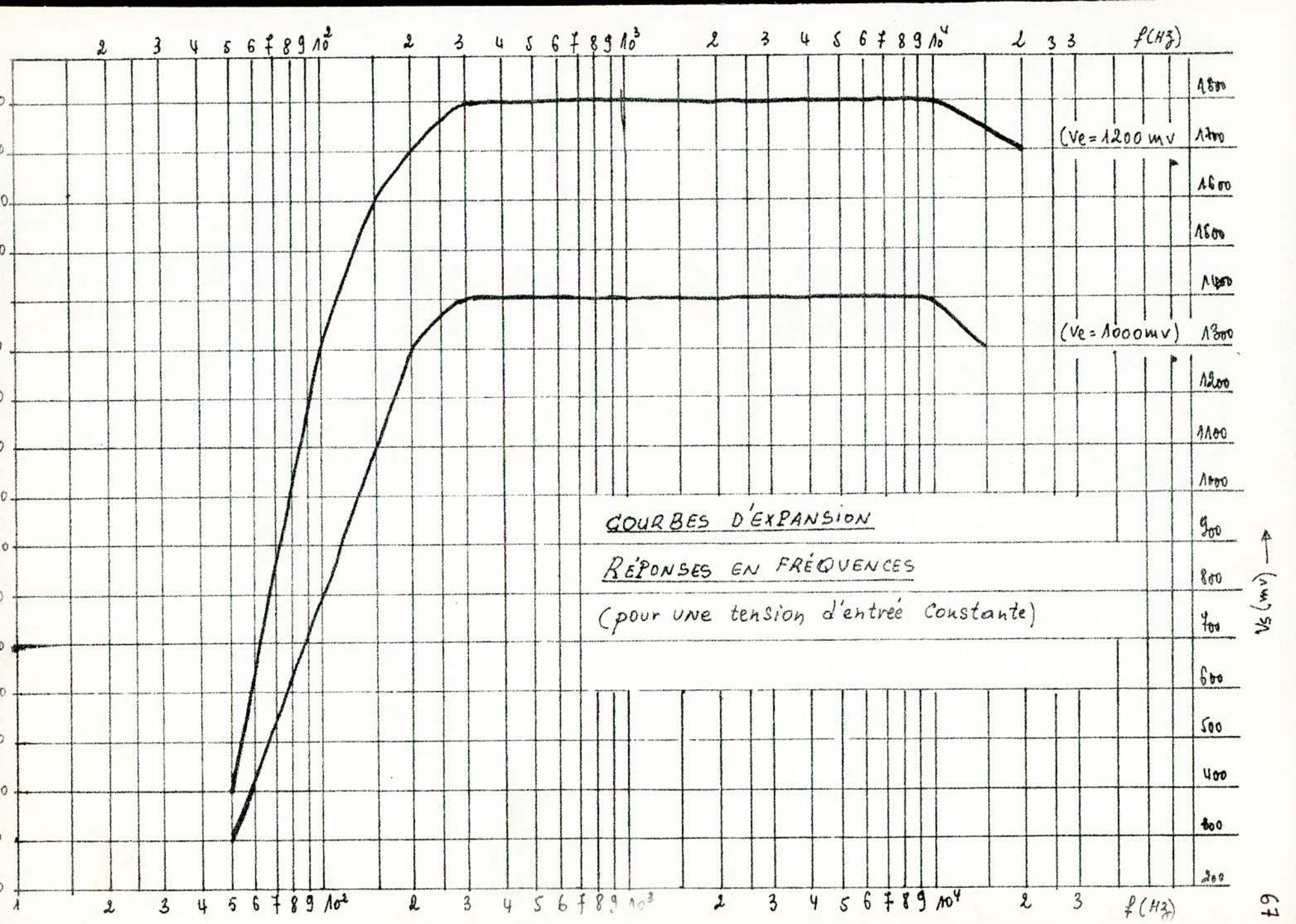
CARACTÉRISTIQUES DE TRANSFERT
DU COMPRESSEUR-EXPANSEUR. $V_s = f(V_e)$
À FRÉQUENCE CONSTATTE.

(courbes relevés à une fréquence $f = 4 \text{ kHz}$)



RÉPONSE EN FRÉQUENCE POUR UNE TENSION D'ENTRÉE CONSTANTE
 LORSQUE LE COMPRESSEUR ET L'EXPANSEUR SONT HORS-SERVICE
 (SYSTÈME SE COMPORTE ALORS COMME UN AMPLIFICATEUR.) ($G=1$)





L'intérêt principal de ce montage utilisant la Compression et l'expansion de la dynamique d'un signal est de faire actionner un interrupteur (KI) pour avoir la Compression ou l'expansion : ce qui assure la complémentarité des 2 opérations (en utilisant les mêmes éléments du circuit). Ceci est bien illustré par les courbes 2 et 3 (caractéristiques de transfert), respectivement pour la compression et l'expansion qui sont symétriques par rapport à la courbe 1, lorsque le circuit fonctionne en amplificateur (compresseur - expanseur hors service).

1°) FONCTIONNEMENT EN COMPRESSEUR

- K ouvert, K_T entre A et B

Le potentiomètre P étant ajusté de manière à avoir un gain unité pour K fermé.

- Le début de la Compression est à 700 mv (lorsque la led s'illumine) c.à.d lorsque le transistor T4 commence à conduire.
- Lorsque la tension d'entrée dépasse 2,4v, on obtient la saturation.
- On constate une déformation du signal au début de la compression (à 700 mv) qui disparaît pour des valeurs supérieures ($V_e > 700\text{mv}$)
- On remarque que la compression est d'autant plus efficace que le niveau d'entrée est élevé.

exp :	$V_e = 1400 \text{ mv}$	$V_s = 1100 \text{ mv}$
	$V_e = 2000 \text{ mv}$	$V_s = 1400 \text{ mv}$

- Le système offre une bande passante qui s'étend d'environ de 65HZ à 2000 HZ d'où $B = 19935$ HZ, ce qui permet de couvrir les fréquences audibles (voir courbes de compression : réponse en fréquences).
- Dans cette gamme de fréquences ; le taux de compression est indépendant de la fréquence.

2°) FONCTIONNEMENT EN EXPANSEUR

- K ouvert, KI entre A et D
le potentiomètre P est toujours ajusté de manière à avoir un gain Unité lorsque K est fermé.
- Le début de l'expansion est à 700 mv (comme pour le compresseur)
- Lorsque la tension d'entrée dépasse 1300 mv ; on obtient la saturation.
- Le problème de distorsion au début de l'expansion ne se pose plus, car le signal de sortie ne subit aucune atténuation, au contraire après 700 mv, le signal croit rapidement .
- L'expansion est d'autant plus efficace que le niveau d'entrée est élevé (cas inverse du compresseur).
- Le système offre une bande passante qui s'étend d'environ 130 HZ à 2000 HZ. Soit $B = 19870$ HZ. Couvrant ainsi les fréquences parfaitement audibles (voir courbes d'expansion : réponse en fréquences).
- Dans cette gamme de fréquences, le taux d'expansion est indépendant de la fréquence.

3°) INTERPRETATION DES RESULTATS

a) - Niveaux faibles :

Pour ces niveaux, le compresseur - expanseur sont hors-service le montage fonctionne alors en amplificateur grâce à l'étage constitué par le transistor T1, qui de ce fait élève le niveau d'entrée par rapport au niveau du bruit. Ce qui permet un gain S/B. *est que*

$$\frac{S}{B} \text{ (db)} = 20 \log \frac{V_s}{V_e} \quad V_s = 6 V_e$$

$$\frac{S}{B} = 20 \log 6 = 15 \text{ db}$$

b - Niveaux forts :

Grâce à la compression, ces niveaux seront ramenés à un niveau inférieur, ce qui permet d'éviter la saturation (éloignement).

Exp. pour une tension d'entrée de 2000 mv, après la compression elle est ramenée à 1400 mv.

$$G \text{ (db)} = 20 \log \frac{V_s}{V_e} = 20 \log \frac{1400}{2000} = 3 \text{ db}$$

pas

N.B : Les valeurs relevées expérimentalement ne sont véritablement exactes, du fait que les essais étaient faits avec un montage volant.

Principe du compresseur-expandeur

utilisant des amplificateurs logarithmique et anti-logarithmique

On désigne ainsi des amplificateurs dont la fonction de transfert (relation entre la tension de sortie et celle d'entrée), diffère d'une fonction lineaire, et, à fortiori d'une simple relation de proportionnalité.

Les plus fréquemment utilisés sont les amplificateurs logarithmiques. Dans un amplificateur opérationnel, la fonction de transfert V_s/V_e est déterminée par les composants mis en oeuvre dans la boucle de contre-réaction. Or, les jonctions Pn des semi-conducteurs, offrent une relation logarithmique entre le courant qui les traverse et la tension à leurs bornes. Cette relation est particulièrement bien vérifiée pour la jonction base-émetteur des transistors ; c'est donc une telle jonction qu'on insérera dans la boucle de contre-réaction.

La figure a, montre un exemple de réalisation baptisé "transdiode".

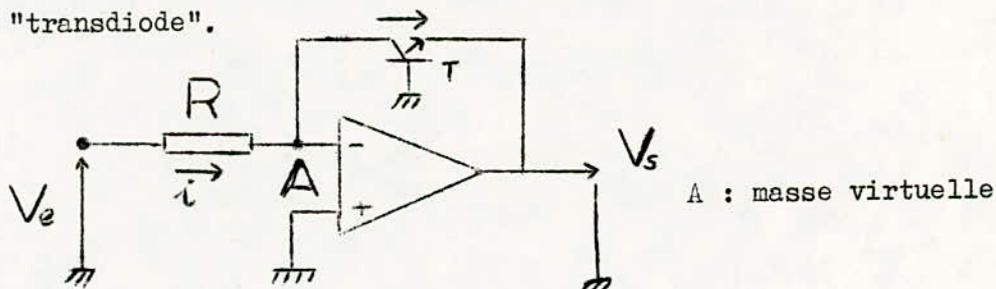


FIGURE a

$$\text{avec } I_E = I_S \left(\exp \left(\frac{q}{KT} V_{be} \right) - 1 \right) \quad I_E = I_S \exp \left(\frac{q}{KT} V_{be} \right)$$

$$\text{or } V_S = V_{be} \quad \text{et } I = I_E$$

$$\text{d'où } I = I_S \exp \left(\frac{q}{KT} V_S \right) \quad \text{et } I = \frac{V_e}{R}$$

Donc la tension de sortie V_S , dépend de la tension d'entrée par la relation

$$V_S = - \frac{KT}{q} \text{ Loge } \frac{V_e}{RI_S}$$

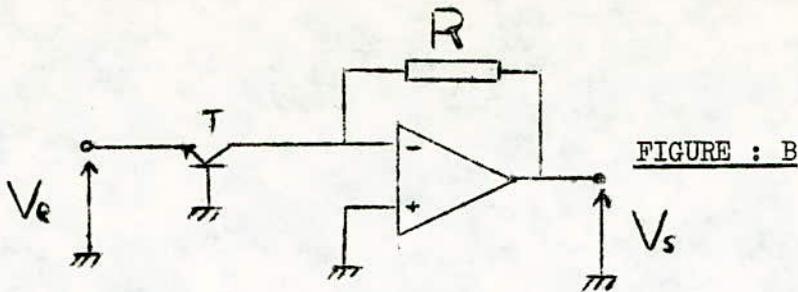
dans laquelle

- * K est la constante de Boltzmann
- * T : température absolue
- * q : charge élémentaire de l'électron
- * I_S : courant inverse

$$\frac{KT}{q} = 26 \text{ mV } (T = 25^\circ\text{C}).$$

Pour un retour à des variations linéaires, il convient de réaliser l'opération inverse, dans laquelle la tension de sortie devient exponentielle de celle qu'on applique à l'entrée.

Pour cela, on inverse les rôles et les positions de la résistance R et du transistor, ce qui conduit au montage de la figure B



$$I_E = I_s \exp\left(\frac{q}{KT} V_{BE}\right) \quad \text{dans ce cas } V_{BE} = V_e$$

$$\text{d'où } I_E = I_s \exp\left(\frac{q}{KT} V_e\right) \quad \text{et } I_E = -I = -\frac{V_s}{R}$$

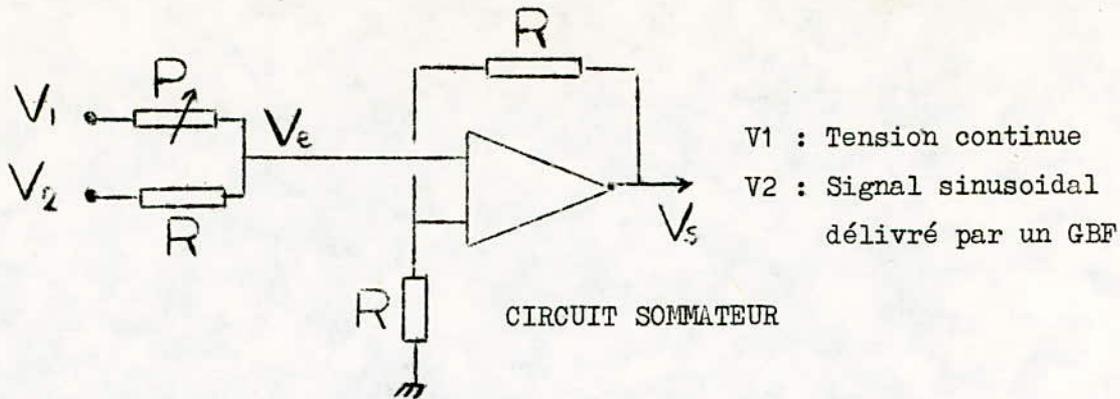
Donc entre l'entrée V_e et la sortie V_s , on a maintenant la relation :

$$V_s = -RI_s \exp\left(\frac{q}{KT} V_e\right)$$

Remarques :

Ces montages ne fonctionnent qu'avec des tensions d'entrée positives pour des transistors PNP et négatives pour des transistors NPN.

C'est ainsi que dans notre réalisation pratique, et, pour un signal SINUSOIDAL à l'entrée, on lui a superposé une tension continue à l'aide d'un Circuit sommateur ; de façon à rendre le signal entièrement positif.



$$V_s = \left(1 + \frac{R}{R}\right) V_e = 2 V_e$$

en plus : $V_e = \frac{V_1 - R}{R + P} + V_2 \frac{R}{R + P}$

$$V_s = 2 \left[V_1 \frac{R}{R + P} + V_2 \frac{R}{R + P} \right]$$

On remarque que si $P = R$ $V_s = V_1 + V_2$

Le fait que l'additionneur classique (avec un amplificateur inverseur) introduit une inversion de polarité du signal de sortie peut parfois s'avérer gênant (cas de notre montage logarithmique), de plus l'impédance d'entrée de ce montage est assez-faible, ce qui peut dans certain cas constituer une nouvelle source d'erreur.

$$V_s = 2 \left[V_1 \frac{R}{R + P} + V_2 \frac{R}{R + P} \right] \quad (1)$$

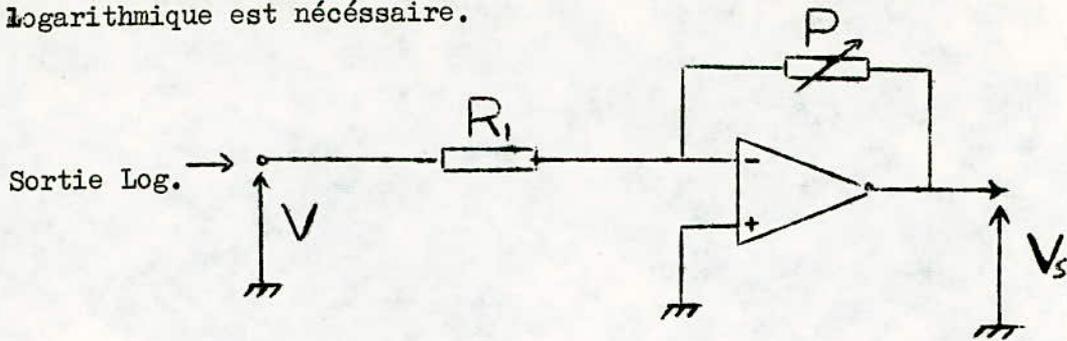
(1) sera la tension d'entrée de l'amplificateur logarithmique.

De ce qui précède, la tension de sortie du Circuit Log.

sera en définitive

$$V_s = - \frac{KT}{q} \text{ Loge } \left\{ \frac{2}{R I_s} \left[V_1 \frac{R}{R + P} + V_2 \frac{R}{R + P} \right] \right\}$$

Pour terminer, et afin de pouvoir modifier la pente de la caractéristique de transfert, un amplificateur lineaire à la sortie de l'amplificateur logarithmique est nécessaire.



$$\text{avec } V_s = - \frac{P}{R_1} V$$

(V : tension de sortie de l'amplificateur logarithmique)

N.B : Tout ce qui a été fait pour le montage logarithmique, reste valable pour le montage anti-logarithmique.

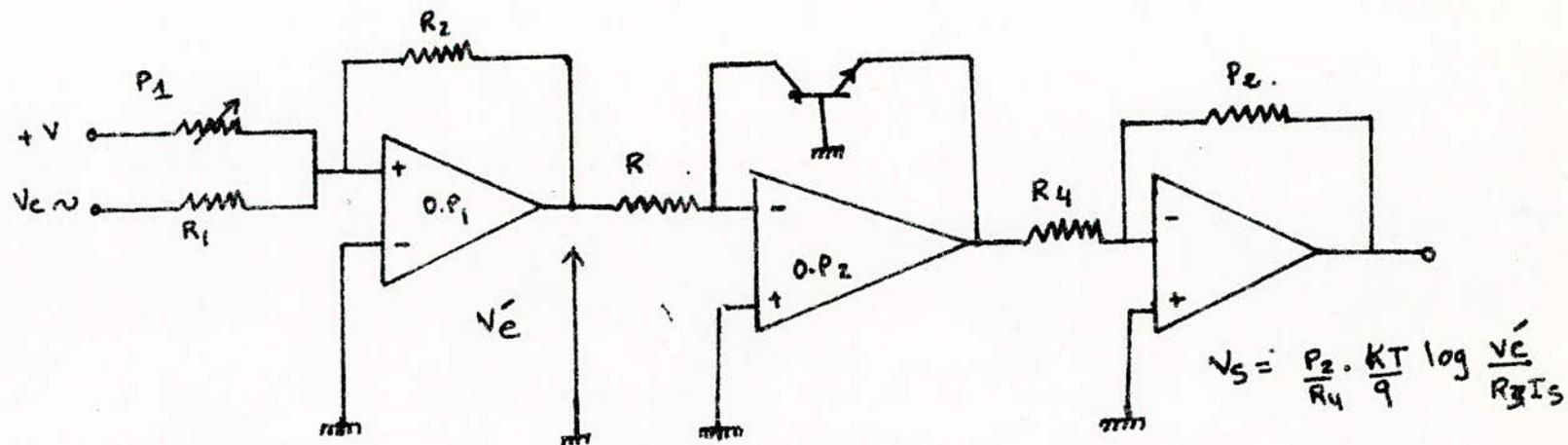
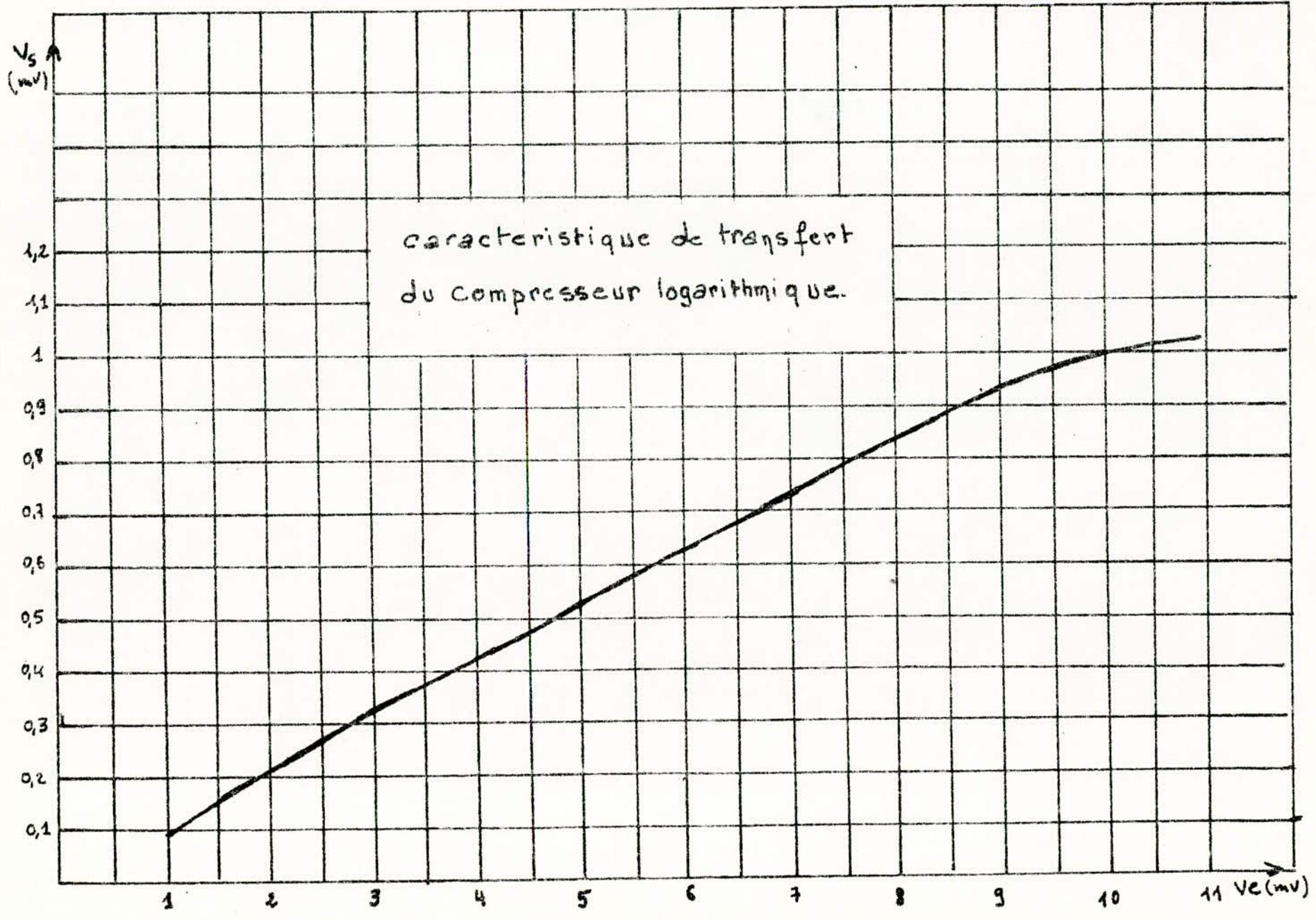
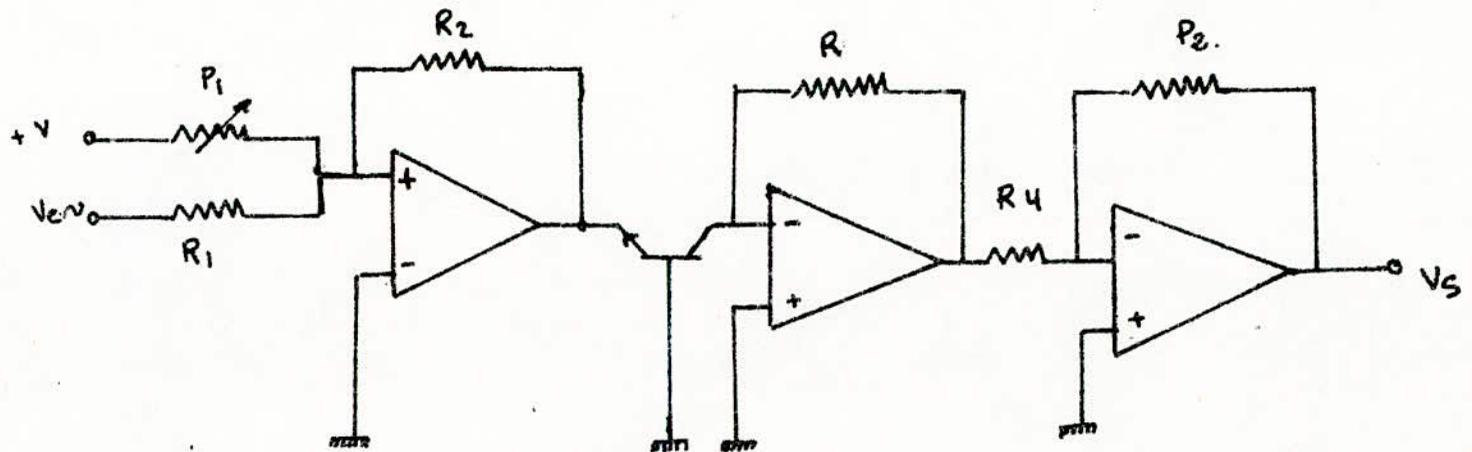


Schéma électronique du Compresseur logarithmique.

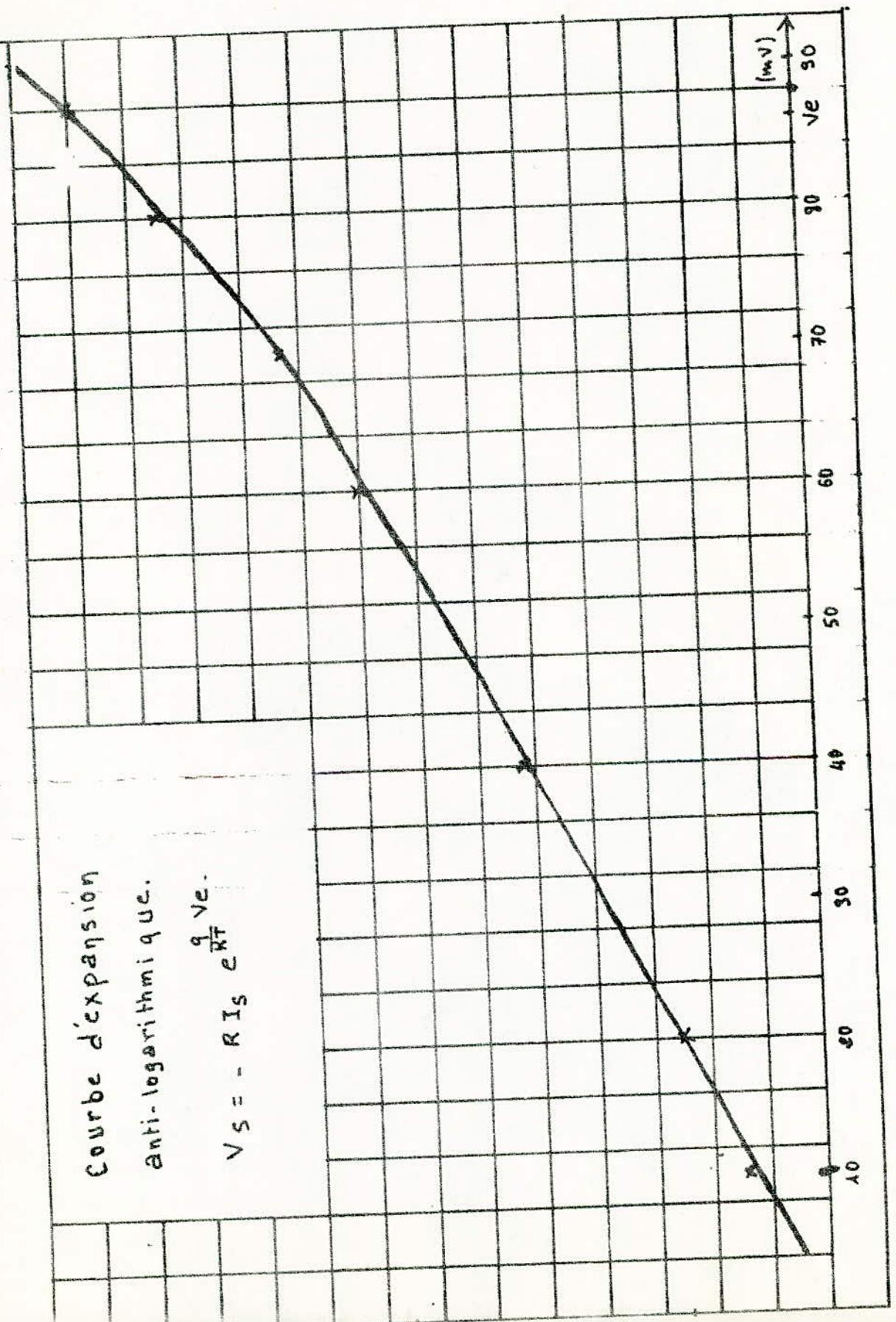




Schema electronique de l'expandeur anti-logarithmique.

Courbe d'expansion
anti-logarithmique.

$$V_s = - R I_s e^{\frac{q V_e}{RT}}$$



INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats expérimentaux trouvés pour ce genre de systèmes ne sont pas satisfaisantes, du fait que l'amplificateur logarithmique jouant le rôle du compresseur, ne réagit que pour des faibles tensions d'entrée.

En effet ; d'après la caractéristique de transfert du compresseur logarithmique, la tension maximum qu'on puisse donner à l'entrée de notre montage ne peut dépasser 10 mv. Au-delà de cette tension, le compresseur réagit alors comme un amplificateur lineaire.

Ceci est dû principalement à la tension continue ajoutée au signal SINUSOIDAL avant d'attaquer l'amplificateur logarithmique (tension continue de l'ordre de 400 mv).

On sait que les jonctions PN des semi-conducteurs, offrent une relation logarithmique entre le courant qui les traverse et la tension à leurs bornes, particulièrement dans la région non-linéaire de leurs caractéristiques.

Or, à la sortie du circuit sommateur (addition de la tension continue et d'un signal SINUSOIDAL), la région non linéaire est vite dépassée, ce qui a pour conséquences une réponse linéaire du système.

Pour avoir un fonctionnement correct et une compression à grande échelle ; une amélioration du système s'impose.

A titre indicatif, nous citerons quelques circuits intégrés qui pourraient être éventuellement utilisés pour la réalisation d'amplificateurs logarithmique et anti-logarithmique (compresseur-expandeur) :

* SN 72709 SN 5631 et SN 76502

Pour de plus amples informations voir :

. TEXAS INSTRUMENTS FRANCE

" Recueil de notes d'application sur les CI analogiques et composants électroniques".

* COMPRESSEUR - EXPANSEUR BF AVEC LE NE 571

L RADIO - PLAN N°

- CONCLUSION -

Les systèmes réducteurs de bruit bien qu'ils améliorent la qualité de transmission, présentent quelques inconvénients.

- * Les systèmes à fonction unique agissent seulement à la reproduction. L'intérêt principal de ces systèmes, réside dans la réduction du bruit quelque soit son origine. Mais cette réduction se fait non sans affecter les signaux utiles de fréquences élevées.
- * Les systèmes à fonctions complémentaires-compresseur/expandeur-, outre l'amélioration du rapport S/B, permettent de transmettre un signal ayant une dynamique supérieure à celle du canal.

Une symétrie parfaite entre le compresseur et l'expandeur est exigée, afin que le système n'introduise pas des distorsions non linéaires altérant sérieusement le signal, ainsi, qu'une courbe de réponse en fréquence extra plate des systèmes de reproduction pour pouvoir restituer fidèlement la dynamique originale du signal.

Le défaut majeur des compresseurs-expandeurs est leur comportement vis à vis des transitions brutales, un compresseur-expandeur utilisant des amplificateurs logarithmiques et anti-logarithmiques permet de remédier à cet inconvénient, grâce à leur réponse instantanée.

- BIBLIOGRAPHIE -

- R. DUGEHAUT : Application pratiques de l'amplificateur operationnel.
(collection scientifique contemporaine).
- M. AUMIAUX : Pratique de l'electronique
Tome 1 et 2 - Edition MASSON
- ALDERT-VAN-DERZIEL :

NOISE SOURCES, CHARACTERIZATION, MEASUREMENT
(PRENTICE-HALL ELECTRICAL ENGINEERING SERIES)
- ROGER MASSCHO : Technique du magnétophone
EDITIONS RADIO
- W. SCHAFF : Magnétophone service
(librairie de la Radio-Paris)
- Le Haut-Parleur n° 1654 - 1591
- ZELDOVITCH - A MYCHKIS

ELEMENTS DE MATHEMATIQUE APPLIQUEE
(EDITION MIR)
- N PISKOUNOV : Calcul differentiel et integral (Edition Mir)
- J WILLEMART: Compresseurs-expandeur, limiteurs et écréteurs dans la
technique Radio et T.V.
(R.T.B.)
- H. LILEN : Principes et applications des circuits intégrés linéaires
- ELECTRONIQUE PRATIQUE N° 39
- ELECTRONIQUE APPLICATION N° 20.