

N° d'ordre: 146

50376
1973
225

THESE

présentée à l'

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

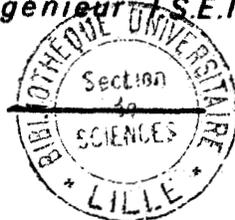
pour obtenir le titre de

DOCTEUR INGENIEUR

par

François VERDICKT

Ingénieur I.S.E.N.



**ETUDE ET REALISATION D'UN BANC D'ETIRAGE
REGLANT LA SECTION DES MECHEES EN FILATURE**

soutenu le 11 Octobre 1973 devant la commission d'examen:

Messieurs: P. VIDAL, Président et rapporteur

L. POVY, Examineur

F. LIENARD, Invité

A. EGGERMONT, Invité

A ma femme

A mes parents et beaux-parents

Avant propos

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au Centre d'Automatique de l'Université des Sciences et Techniques de Lille, en collaboration avec la société "La Lainière de Roubaix".

Nous remercions Monsieur le Professeur VIDAL pour l'accueil qu'il nous a réservé au sein de son Laboratoire. C'est avec la plus grande bienveillance qu'il nous a permis d'effectuer nos recherches et nous a prodigué ses précieux conseils. Nous sommes particulièrement sensible à l'honneur qu'il nous a fait en acceptant la Présidence de notre jury, et nous voudrions qu'il trouve ici l'expression de notre profond attachement.

Que Monsieur POVY, Maître de Conférences à l'Université des Sciences et Techniques de Lille, soit assuré de notre profonde gratitude pour l'intérêt qu'il nous a témoigné dans notre travail et pour les facilités qu'il nous a accordées tout au long de notre étude.

Nous sommes reconnaissant à Monsieur LIENARD, Directeur du Laboratoire de "La Lainière", d'avoir bien voulu juger ce travail dont il est l'initiateur. Nous sommes heureux de le remercier pour l'attention qu'il a porté à notre étude et pour ses précieuses interventions qui en ont permis la réalisation.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Monsieur EGGERMONT, Directeur de Filature à "La Lainière", pour sa présence dans notre jury, malgré ses nombreuses charges, et pour les moyens matériels mis à notre disposition.

Nous voulons exprimer notre sympathie à tous ceux qui ont prêté leur concours à la réalisation pratique de notre étude et à l'élaboration de ce mémoire.

Enfin, nous ne saurions terminer cet avant-propos sans adresser nos remerciements à tous les chercheurs du Laboratoire pour leur esprit d'équipe et leur aide amicale.

INTRODUCTION

Le travail des matières textiles a connu au XIX^{ème} Siècle un développement considérable et son essor fut un des facteurs principaux de ce qu'on a pu appeler la "Révolution Industrielle".

Cependant, cette activité n'a pas subi depuis lors de transformations profondes ce qui fait qu'elle reste souvent considérée à l'heure actuelle comme très traditionnelle.

Une volonté de modernisation commence à se manifester depuis quelques années tant par la recherche de techniques nouvelles que par l'introduction de l'ordinateur et des automatismes dans les chaînes de fabrication.

Dans ce sens, nous avons étudié et réalisé un régulateur électronique destiné à améliorer la régularité des mèches utilisées en filature de laine, l'utilisation de ce régulateur devant permettre de réduire le nombre des opérations nécessaires à la fabrication d'un fil de bonne qualité.

Notre mémoire a été divisé en deux parties principales :

- dans une première partie nous avons déterminé un modèle mathématique du fonctionnement du système permettant d'en définir les performances au moyen de l'atténuation des défauts suivant leur longueur d'onde.

- La seconde partie est consacrée à la réalisation d'un prototype et à des essais. Ce prototype a été construit en collaboration avec la société "La Lainière de Roubaix".

PREMIERE PARTIE

ETUDE DU MODELE MATHEMATIQUE DU REGULATEUR

Chapitre I

GENERALITES

I.1 - La filature

La filature est une des étapes les plus importantes du travail des textiles. Elle regroupe toutes les opérations nécessaires à la fabrication des fils destinés au tissage ou à la bonneterie.

Les fibres utilisées, qu'elles soient naturelles, artificielles ou synthétiques sont fournies sous forme de gros rubans dont le poids au mètre peut atteindre quarante grammes. Dans le cas particulier de la laine, elles ont déjà subi toute une série de traitements tels le lavage, le peignage et l'ensimage.

Les fils produits étant environ mille fois plus fins que les rubans initiaux, les travaux de filature sont donc essentiellement des opérations d'amincissement progressif de la matière, ces opérations devant préserver la régularité de section considérée comme la qualité principale des fils. Au niveau des techniques actuelles, cet amincissement est réalisé par étirage, tandis que la régularité est obtenue par des doublages consistant à rassembler ensemble plusieurs produits.

Il n'est pas possible de passer directement du ruban au fil car les étirages introduisent d'autant plus d'irrégularités qu'ils sont importants. C'est la raison pour laquelle la fabrication se fait en une série d'opérations successives d'étirage et de doublages combinés.

La filature de la laine comporte trois étapes principales (figure 1.1).
Ce sont successivement :

1 - La préparation qui regroupe généralement trois passages avec étirage et doublage et conduit à l'obtention d'une mèche d'environ quatre grammes au mètre.

2 - La filature proprement dite qui a lieu au continu à filer où l'étirage est beaucoup plus important. (Les mèches qui sont utilisées pour alimenter le continu à filer ont subi auparavant une légère torsion au banc à broches).

Les fils produits sont bobinés sur des fuseaux de carton avec une torsion suffisante pour assurer leur solidité.

3 - Des opérations de bobinage et d'épuration destinées à rassembler les fils en grosses bobines coniques pour leur commercialisation.

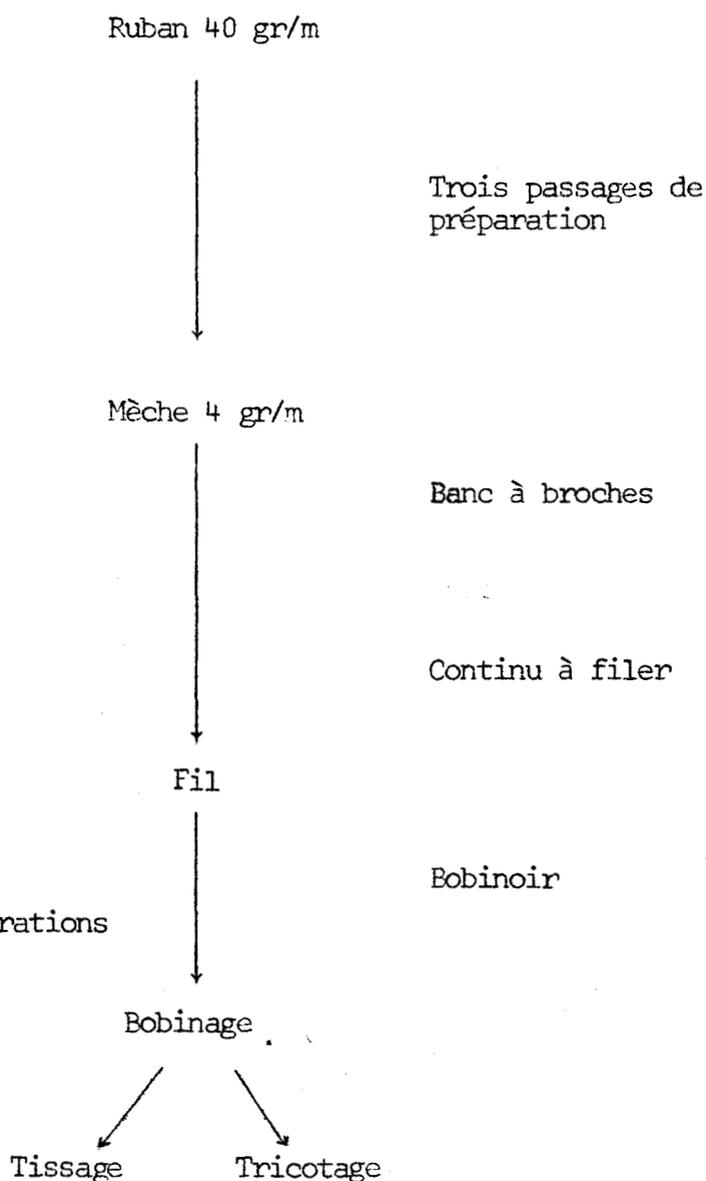


Figure 1.1 :
Schéma général des opérations de filature

Un tel processus de fabrication a une structure divergente. En effet, la matière s'amincissant de plus en plus, il est nécessaire pour garder la même cadence de production de travailler simultanément d'autant plus de produits que l'on s'approche du continu à filer. Ainsi, si les machines de préparation d'une filature se comptent par dizaines, le nombre de broches des continus à filer peut atteindre plusieurs dizaines de milliers.

1.2 - Enoncé du problème

I.2.1 - Les autolevelleurs et leurs limitations

Tous les efforts de modernisation de la filature portent sur la réduction du nombre d'opérations nécessaires sans pour autant diminuer la qualité des fils produits. Il faut donc à la fois pouvoir augmenter les étirages sans avoir à recourir à des doublages pour assurer la régularité.

Un progrès important a déjà été accompli dans ce sens au niveau des premiers passages de préparation grâce à l'introduction de machines nommées "Autolevelleurs" dont le principe de fonctionnement est le suivant :

- l'épaisseur de la matière à étirer est estimée au moyen d'un capteur et cette information est comparée à la valeur désirée. Le signe de l'erreur détermine alors une modification du taux de l'étirage destinée à compenser l'irrégularité. En effet, une augmentation de l'étirage va permettre d'éliminer les grosseurs et on conçoit qu'il soit alors possible d'obtenir un produit de section constante.

Cependant, l'action de ces machines est limitée du fait de leur inertie. Le système d'étirage est commandé à l'aide d'un variateur de vitesse mécanique dont le temps de réponse est important, et qui, étant donné la vitesse de sortie de la matière, ne permet pas d'éliminer les défauts dont la longueur d'onde est inférieure au mètre. Or celle-ci s'amplifie au fur et à mesure des étirages et les défauts les plus courts du ruban donneront des irrégularités dans le fil dont la période sera de quelques dizaines de mètres.

Les autolevelleurs sont donc incapables d'assurer une bonne stabilité à court et moyen terme de la section des fils que les exigences de qualité rendent indispensables. Il reste encore nécessaire de recourir aux doublages ce qui réduit d'autant le rythme de la production. Pour pouvoir en restreindre le nombre, il faut envisager la réalisation d'un régulateur opérant selon

le même principe qu'un autolevelleur, mais dont la rapidité d'action serait considérablement accrue. C'est là le but de notre recherche.

I.2.2 - Introduction d'un régulateur de mèches

Pour que la régularité à court terme des fils puisse être obtenue, il est souhaitable que l'action du régulateur se fasse aussi près que possible du continu à filer. Etant donné le nombre important de broches d'une filature, il ne peut être envisagé, pour des questions de prix de revient, d'opérer une régulation au niveau du continu lui-même, mais seulement au stade intermédiaire que constitue la préparation de la mèche.

La rapidité d'action du régulateur sera obtenue grâce à l'utilisation d'un moteur spécial à très faible inertie et dont la commande va s'effectuer électroniquement. Le nombre de pièces en mouvement est alors réduit au maximum.

Le régulateur sera donc introduit dans la chaîne de fabrication après le dernier passage de préparation. Sa faible inertie lui permettra une vitesse de sortie élevée et il viendra compléter l'action des autolevelleurs en éliminant les défauts les plus courts qui subsistent dans la mèche.

I.3 - Principes généraux de la réalisation

Nous allons examiner maintenant les différentes solutions qui se présentent à la fois dans la manière d'assurer la régulation elle-même et de réaliser un étirage variable.

I.3.1 - Mode d'action du régulateur

Il y a deux façons possibles d'envisager l'action d'une étireuse régulatrice sur la mèche qu'elle reçoit /1/. Nous allons les examiner successivement et déterminer la mieux adaptée au problème posé.

a) Régulation par rapport au titre absolu

Dans ces conditions, le titre de la mèche fournie à la sortie ne dépend que du réglage du régulateur lui-même et non de celui de la mèche initiale. C'est-à-dire que les corrections se font par rapport au titre désiré ou nominal.

Il est évident qu'un système fonctionnant de cette façon doit assurer une mesure extrêmement stable et précise de la section de la mèche entrante, toutes les fluctuations de cette mesure se retrouvant dans le titre du produit fini. Il est indispensable également que la linéarité de la courbe de réponse du système de commande de l'étirage soit excellente.

Il est alors possible d'obtenir une très bonne stabilité à long terme du titre de la mèche et c'est pourquoi ce principe est généralement retenu pour les autolevelleurs intervenant au premier passage de la préparation.

b) Régulation par rapport au titre moyen

Dans ce cas le régulateur n'élimine que les variations locales d'épaisseur autour d'une valeur moyenne qui est celle de la mèche entrante. Il n'est donc plus nécessaire d'avoir une mesure absolue du titre, mais seulement de ses fluctuations. Ce système a également l'avantage supplémentaire de pouvoir s'adapter facilement et sans réglages nouveaux lors du changement de qualité de la matière travaillée (nature des fibres par exemple). Mais il est encore nécessaire d'avoir une bonne linéarité de tous les organes pour que la régularité à long terme ne soit pas modifiée.

Dans le problème qui nous concerne, il ne s'agit que d'éliminer les variations à court terme du titre des mèches puisqu'une bonne régularité à moyen et à long terme a déjà été obtenue au cours des premiers passages de préparation. La régulation par rapport au titre moyen est donc plus avantageuse car elle est d'une réalisation plus facile et ne doit pas être aussi précise. En effet, l'irrégularité tolérée dans les mèches ou les fils est d'autant plus grande que la longueur d'onde du défaut diminue. Par ailleurs, il est extrêmement difficile de mesurer le titre absolu d'une matière textile étant donné le mode d'action des capteurs et l'influence d'éléments extérieurs comme la température ou l'humidité. C'est donc ce principe que nous avons retenu pour la réalisation du régulateur.

(Les différences de fonctionnement des deux procédés sont illustrées par la figure 1.2 :- page 12)

I.3.2 - Réalisation d'un étirage variable

L'étirage de la matière est obtenu au moyen de deux rangées de cylindres parallèles tournant à des vitesses différentes : les cylindres alimentaires à l'entrée et les cylindres délivreurs en sortie. Le rapport des vitesses tangentiels de ces deux paires de cylindre définit le taux d'étirage E .

$$E = \frac{V_D}{V_A}$$

V_D : Vitesse tangentielle des cylindres délivreurs

V_A : Vitesse tangentielle des cylindres alimentaires

L'écartement entre les deux rangées de cylindres est toujours supérieur aux plus longues fibres pour ne pas les briser et un ensemble de peignes tournant à une vitesse voisine de celle des alimentaires peut être utilisé pour contrôler le mouvement des fibres dans le banc d'étirage.

Le moyen de faire varier le taux d'étirage consiste simplement à maintenir constante la vitesse d'une paire de rouleaux et à modifier celle de l'autre. Sachant que le capteur d'épaisseur doit être associé à la paire de cylindres de vitesse constante, il est alors possible d'envisager deux configurations pour le régulateur suivant que la variation de vitesse se fait à l'entrée ou à la sortie.

a) Etirage avec vitesse d'entrée variable

La vitesse des cylindres alimentaires est variable et commandée à partir du signal fourni par un capteur situé au niveau des délivreurs (fig. 1.3).

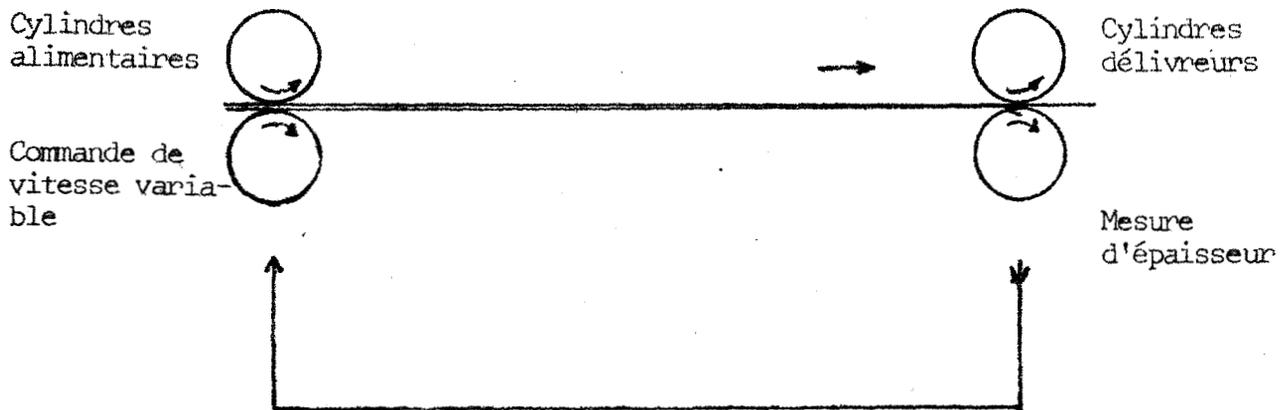


Figure 1.3 : Etirage avec vitesse d'entrée variable

Les caractéristiques d'un tel système sont les suivantes :

. La régulation est inefficace pour les défauts de faible longueur d'onde puisqu'il ne peut y avoir d'action sur la matière sortie de la machine au moment où l'écart est détecté. Seules les variations à long terme peuvent être éliminées en intégrant le signal d'erreur sur un temps suffisant.

. L'inertie de l'ensemble des pièces à vitesse variable ne peut être réduite aisément car les cylindres alimentaires entraînent l'ensemble des peignes qui contrôlent le mouvement des fibres.

. L'avantage principal de ce système est de permettre un bobinage facile de la mèche régulée étant donné que celle-ci sort à vitesse constante.

b) Etirage avec vitesse de sortie variable

Dans ce cas on agit sur la vitesse des cylindres délivreurs et le capteur d'épaisseur se trouve à l'entrée de la machine (fig. 1.4).

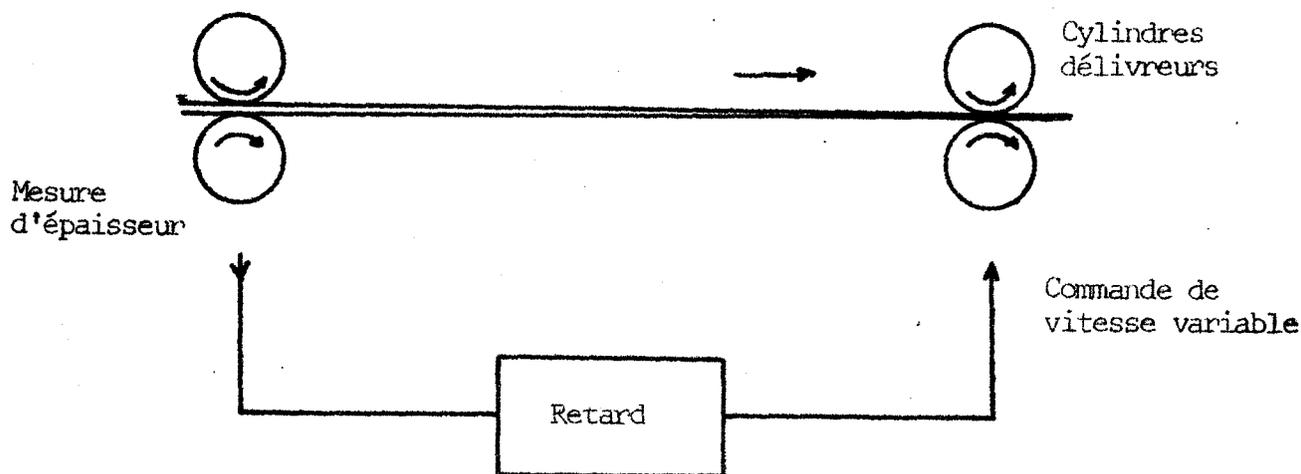


Figure 1.4 - Etirage avec vitesse de sortie variable

. L'inertie de l'équipage à vitesse variable peut-être rendue très faible puisque celui-ci est limité aux seuls cylindres de sortie et cela facilite d'autant une régulation à court terme. Mais si le temps de réponse en est inférieur au temps de passage de la matière dans le banc d'étirage, il est nécessaire d'introduire un retard à la commande de correction de manière à ce que celle-ci s'applique à ce qui a été mesuré. Dans ce cas, il est évident qu'il existe un retard permettant un fonctionnement optimum du régulateur étant donné les caractéristiques de l'étirage et du système à vitesse variable.

. Il ne s'agit ici que d'une régulation en boucle ouverte puisqu'il n'y a aucun contrôle de l'action de la correction apportée à l'épaisseur de la mèche produite. Mais l'inconvénient principal de ce système est d'impliquer un bobinage à vitesse variable, bobinage qu'il est assez délicat de réaliser. Il ne faudrait pas, en effet, réintroduire ensuite un étirage parasite détruisant la régularité obtenue.

Nous retiendrons cependant ce type de machine pour la réalisation de l'étireuse régulatrice, son adaptation étant aisée derrière un banc d'étirage classique puisque la vitesse d'entrée est constante. De plus, ses performances pour une régulation à court terme, qui est l'objectif recherché, sont de loin supérieures à celles du système à vitesse d'entrée variable.

I.4 - Conclusion

Reprenant les résultats précédents, il nous est maintenant possible d'établir le schéma de fonctionnement général du régulateur de mèches. (fig 1.5)

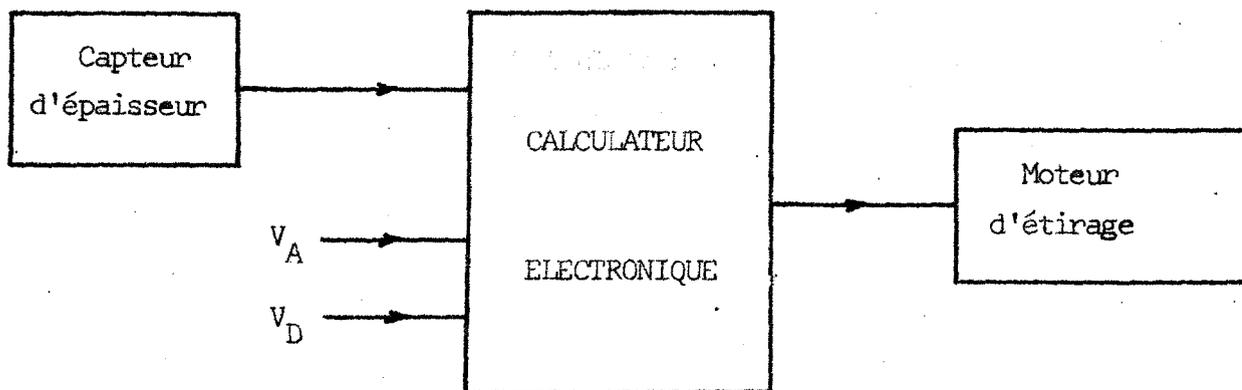


Figure 1.5 : Schéma général du régulateur

On peut y distinguer essentiellement les éléments suivants :

- . Un capteur associé aux cylindres d'entrée de vitesse constante et fournissant un signal proportionnel à l'épaisseur de la mèche entrante.
- . Un ensemble électronique détectant les fluctuations du titre autour de sa valeur moyenne et élaborant une commande permettant une compensation de l'irrégularité.
- . Un moteur à vitesse variable de faible inertie actionnant les cylindres délivreurs et permettant de faire varier l'étirage aussi rapidement

que possible, l'équation de variation de l'étirage étant de la forme :

$$E = \bar{E} (1+e) \quad \text{avec } e = \frac{f(\bar{S} - S)}{\bar{E}}$$

Il est évident que le signal de correction doit être calculé en fonction des différents paramètres du système : vitesse de la matière, écartement des rouleaux, longueur des fibres, inertie du moteur ... Dans ce cas il existe un réglage permettant d'obtenir les performances les meilleures, notamment pour le retard apporté à la commande d'étirage. Nous essaierons dans les prochains chapitres de déterminer l'influence de ce retard sur le fonctionnement du régulateur, en définissant tout d'abord un modèle mathématique de l'étirage qui nous permettra d'établir ensuite une fonction de transfert.

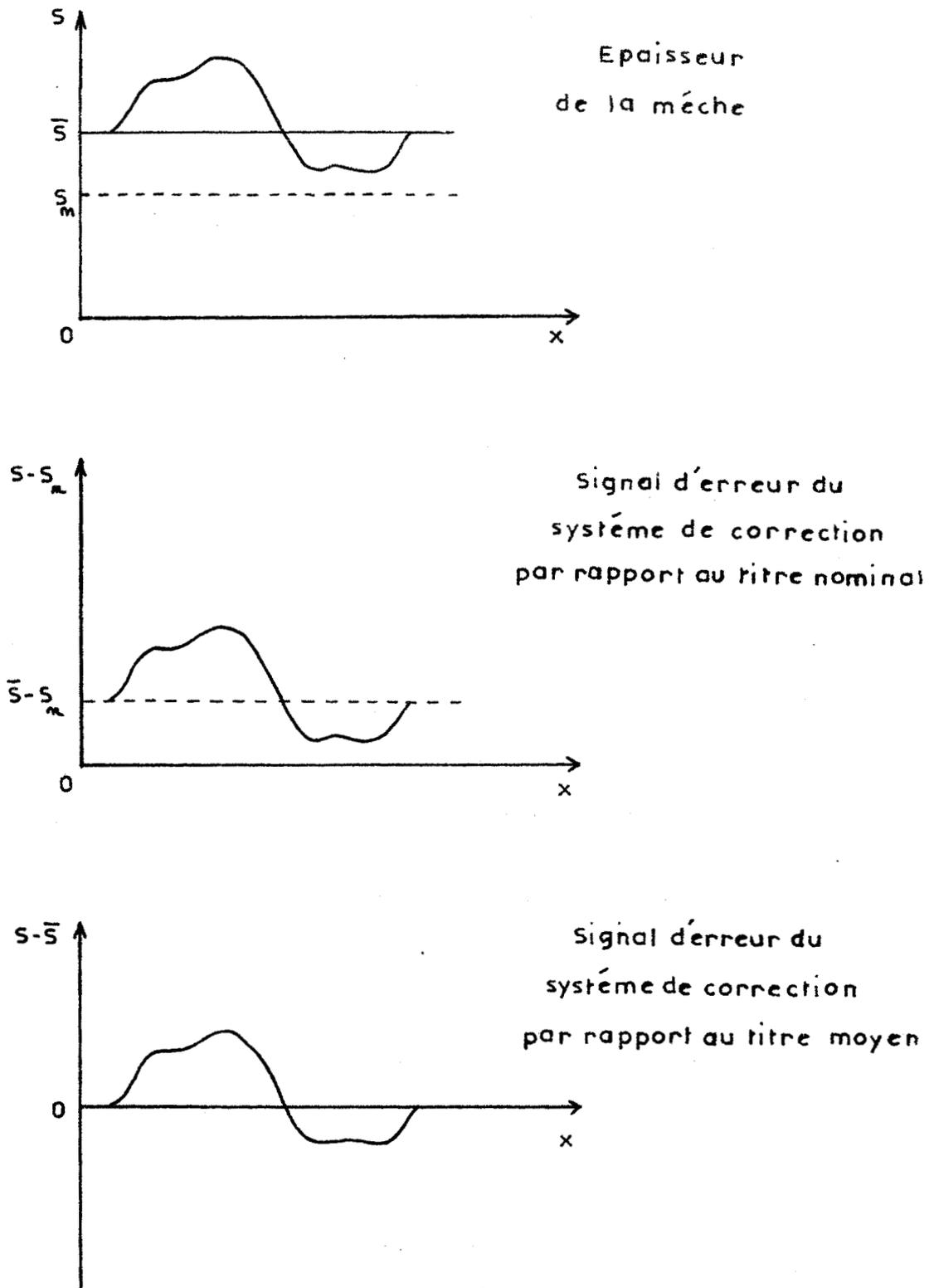


Figure 1.2 : Comparaison entre les régulations par rapport au titre nominal et au titre moyen.

Chapitre II

MODELE DU SYSTEME D'ETIRAGE

II.1 - Généralités

La nature des phénomènes physiques mis en jeux lors du passage des fibres dans un banc d'étirage est extrêmement complexe et pour pouvoir faire une analyse mathématique du système de régulation il est nécessaire de recourir à des hypothèses simplificatrices.

II.1.1 - Hypothèses concernant les mèches et les fibres

Nous supposerons tout d'abord que la mèche est formée d'un assemblage de fibres parallèles à son axe et que ces fibres sont assimilables à des cylindre droits de section constante (figure 2.1). Toutes les fibres n'ont pas la même longueur et un lot de matière est caractérisé par son diagramme qui représente le pourcentage des fibres ayant une longueur donnée (figure 2.2). Nous supposerons que le diagramme des fibres est constant tout au long de la mèche ce qui implique que le mélange est homogène et que le nombre de fibres en section est important.

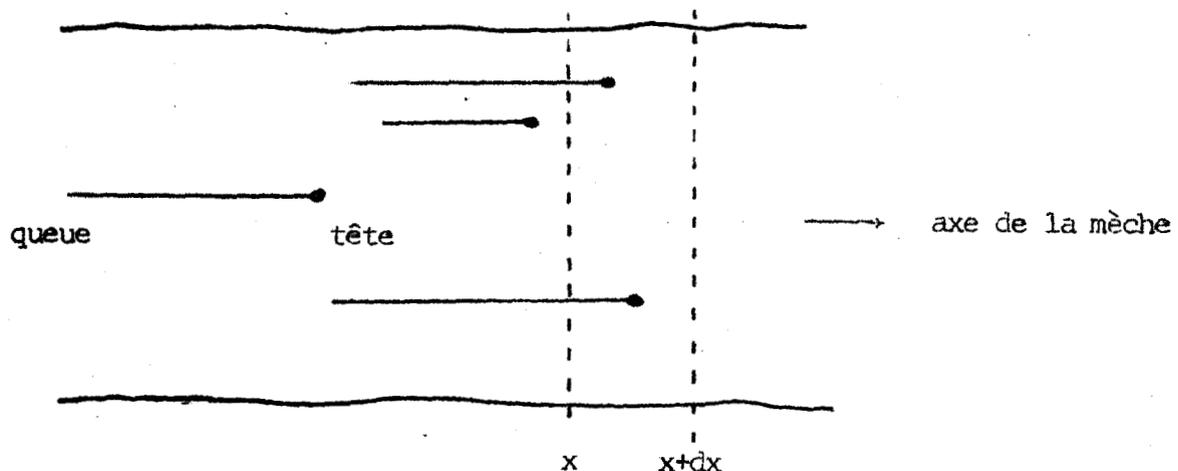


Figure 2.1 : Structure de la mèche

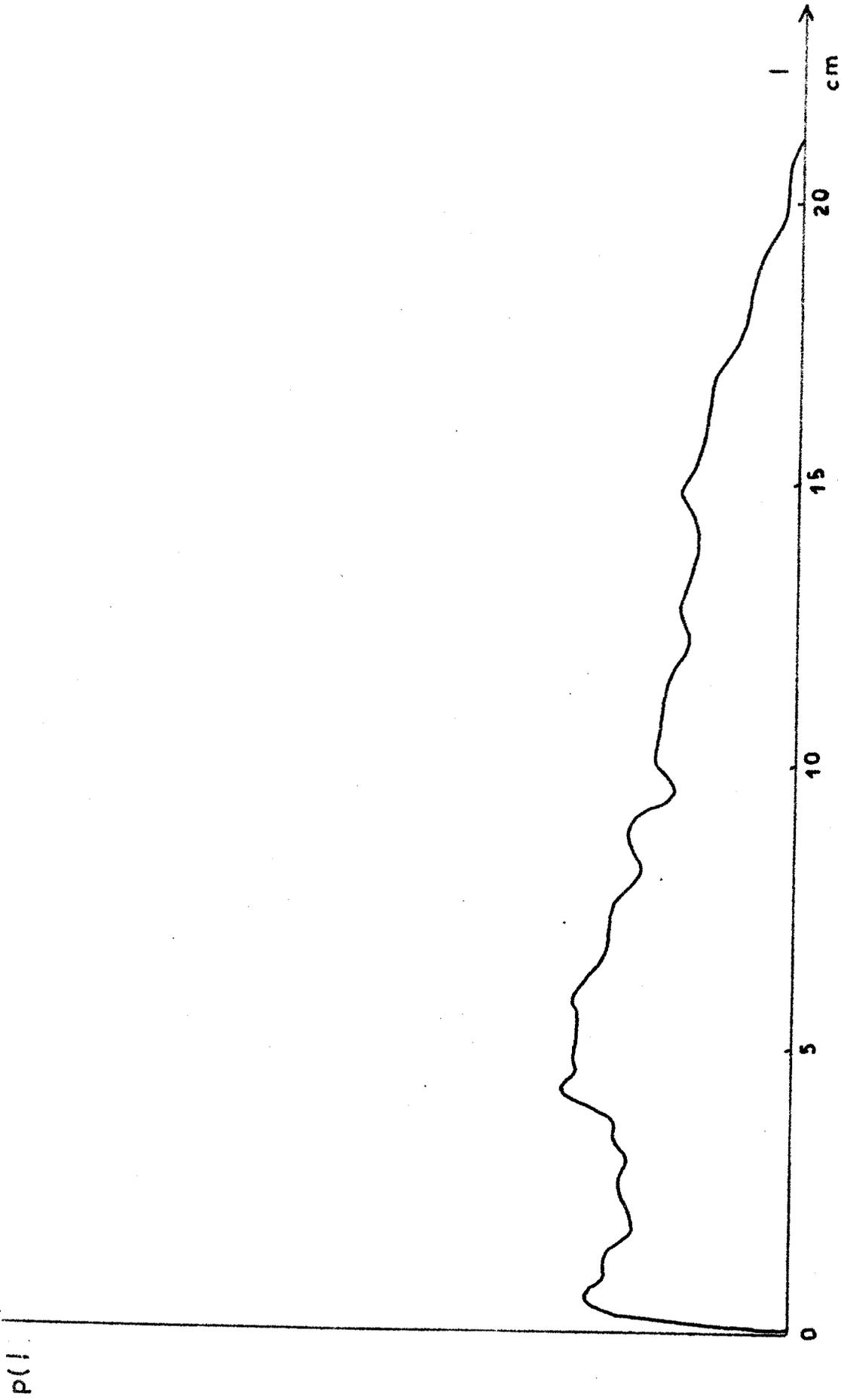


Figure 2.2 : Diagramme de longueur d'un lot de fibres .

Si on donne un sens et une origine à l'axe de la mèche, il est possible de distinguer pour chaque fibre une tête et une queue, la tête étant l'extrémité ayant l'abscisse la plus élevée. Nous allons définir une variable qui jouera un rôle très important dans l'étude des performances du régulateur, la densité de têtes de fibre $D_t(x)$. Elle représente le nombre de têtes de fibres par unité de longueur de la mèche.

$$D_t(x) = \frac{d N_t(x)}{dx} \quad (2.1)$$

$d N_t(x)$: nombre de fibres ayant leur tête entre les abscisses x et $x + dx$.

Elle varie naturellement le long de la mèche puisque celle-ci n'est pas régulière.

II.1.2 - Hypothèses concernant l'étirage

De nombreuses théories ont été proposées afin de décrire le phénomène d'étirage, mais aucune n'est réellement satisfaisante lorsque celui-ci dépasse quelques unités. Il apparaît en effet des défauts périodiques, nommés ondes d'étirage consécutives à l'allongement de la mèche entre les rouleaux ou à l'entraînement prématuré des fibres courtes. Ces ondes sont extrêmement préjudiciables à la qualité de la matière produite et c'est pourquoi le taux d'étirage moyen du régulateur a été choisi le plus faible possible.

Dans ces conditions, nous pouvons admettre que l'étirage réalisé est idéal. C'est-à-dire que les fibres gardent la vitesse des cylindres alimentaires tant que leurs têtes n'ont pas été pincées par les délivreurs et ceci quelle que soit leur longueur. Le rôle des peignes que l'on rajoute en général est d'empêcher que les fibres courtes, qui deviennent flottantes lorsqu'elles ne sont plus tenues, ne soient entraînées par les fibres déjà étirées.

L'étirage idéal se fait donc en un point bien déterminé au niveau du point de tangence des cylindres délivreurs. Il est alors évident qu'il réalise une simple division de la densité de têtes de fibres par étalement de la mèche. (figure 2.3).

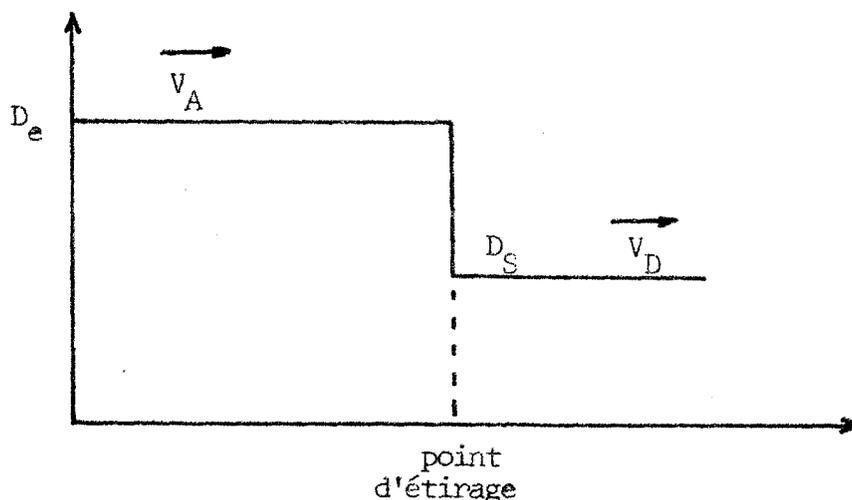


Figure 2.3 : Evolution de la densité de têtes de fibres de la mèche dans le banc d'étirage.

Soient D et D_S les densités de têtes de fibres de la mèche entrante et de la mèche sortante au niveau des cylindres délivreurs à l'instant t .

Alors :

$$D_S(t) = \frac{D(t)}{E(t)} \quad (2.2)$$

II.2 - Structure de la mèche idéale

La mèche idéale, c'est-à-dire celle que l'on s'efforcera de produire, doit permettre de former le fil le plus régulier possible. Il ne semble pas possible, étant donné la nature du processus de fabrication et le nombre de fibres intervenant dans une mèche, que la mèche idéale puisse être une mèche où chaque fibre occuperait une place bien déterminée de manière à éviter toute irrégularité de section. De plus, il a été montré qu'une mèche de section uniforme peut présenter une irrégularité considérable de sa densité de têtes de fibres, irrégularité qui engendrera des défauts importants lors des étirages suivants /2/.

Jusqu'à présent on avait donc considéré que la mèche idéale était constituée par un assemblage aléatoire de fibres, cet état de hasard se traduisant par une irrégularité limitée liée au diagramme de longueur des fibres. Le modèle le plus fréquemment utilisé dans ce sens est celui de Spencer-Smith et Todd généralement employé pour évaluer la qualité d'une production /3/.

Du fait de l'introduction d'autolevellers dans la chaîne de fabrication et étant donné la nature de l'étirage qui réalise une division de la densité de têtes de fibres, il est possible d'affirmer que la structure de la mèche idéale est celle d'une mèche où la densité de têtes de fibres est constante /4/.

Cette mèche aura alors une section constante si le diagramme ne varie pas. Nous pourrions donc définir les performances du régulateur à partir de l'étude de la fonction de transfert liant les variations de la densité de têtes de fibres de la mèche entrante à celles de la mèche sortante. C'est cette fonction de transfert que nous allons essayer de déterminer à l'aide des hypothèses simplificatrices précédentes.

Remarque :

Il convient de noter qu'après chaque étirage la matière subit un retournement, c'est-à-dire qu'un étirage se fait toujours en sens inverse du précédent. La densité de queues de fibres de la mèche étirée correspond à la densité de têtes pour le prochain passage. Or il est facile de montrer qu'une densité de têtes de fibres constante assure une densité de queues constante (Annexe B) et que la régularité de la mèche se conservera au long de la fabrication.

II.3 - Mise en équation

Nous venons de voir que la variable à corriger était la densité de têtes de fibres car elle permettait d'assurer une bonne régularité de la mèche, régularité qui va se retrouver dans le fil. L'étude des performances de la régulation va pouvoir être faite si on sait déterminer la fonction de transfert du système. Il s'avère tout d'abord nécessaire d'établir la relation liant la densité de têtes de fibres de la mèche à son épaisseur. Les variations de l'étirage sont en effet commandées à partir des variations d'épaisseur détectées au niveau des cylindres alimentaires car c'est la seule grandeur que l'on puisse mesurer directement.

II.3.1 - Calcul de la relation épaisseur-densité de têtes de fibres

Les fibres de longueur comprise entre l et $l+dl$ qui traversent l'abscisse x de la mèche ont leurs têtes situées entre les abscisses x et $x+l$ (Fig. 2.4).

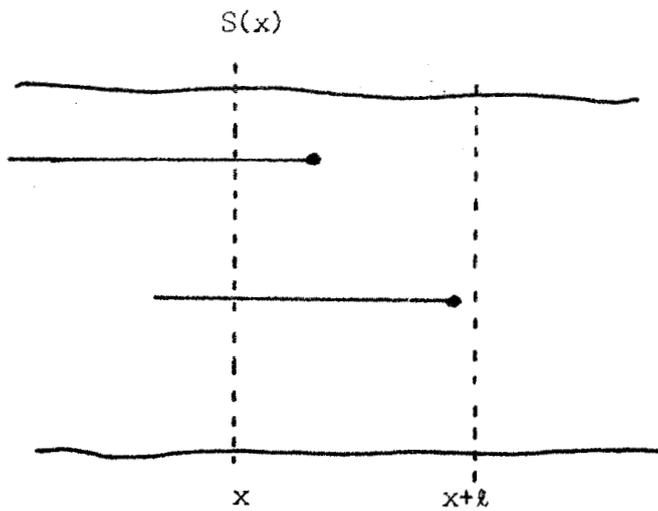


Figure 2.4

soit :

$$dN_{\ell}(x) = \int_x^{x+l} p(\ell) D_t(y) d\ell dy \quad (2.3)$$

où $p(\ell)d\ell$ représente la proportion des fibres de longueur ℓ . Si a est la section d'une fibre, l'épaisseur de la mèche à l'abscisse x sera :

$$S(x) = a \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} \int_x^{x+l} p(\ell) D_t(y) dy d\ell \quad (2.4)$$

Une densité de têtes de fibres constante D_t assure une section constante S :

$$S = a D_t \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} \int_x^{x+l} p(\ell) dy d\ell = a D_t \bar{L} \quad (2.5)$$

où \bar{L} est la longueur moyenne des fibres.

La régulation se faisant par rapport au titre moyen donc à l'épaisseur moyenne de la mèche, la relation qui nous intéresse plus particulièrement est celle qui lie les variations de l'épaisseur à celles de la densité de têtes de fibres.

Nous pouvons poser :

$$D_t(x) = \bar{D}_t (1+d_t(x)) \quad (2.6)$$

et $S(x) = \bar{S} (1+s(x))$

où \bar{D}_t et \bar{S} sont des valeurs moyennes et $d_t(x)$ et $s(x)$ des écarts relatifs par rapport à ces valeurs moyennes.

En reportant dans la relation précédente :

$$\bar{S}(1+s(x)) = a \bar{D} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} \int_x^{x+\ell} p(\ell) (1+d_t(y)) dy d\ell \quad (2.7)$$

d'où l'on déduit :

$$\bar{S} = a \bar{D} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} \int_x^{x+\ell} p(\ell) dy d\ell = a \bar{D} \bar{L} \quad (2.8)$$

et $s(x) = \frac{a \bar{D}}{\bar{S}} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} \int_x^{x+\ell} p(\ell) d_t(y) dy d\ell \quad (2.9)$

Lors du fonctionnement du régulateur la mèche se déplace dans le banc d'étirage avec la vitesse V_A qui est celle des cylindres alimentaires. L'abscisse x de la mèche observée à l'instant t au niveau du capteur d'épaisseur est :

$$x_t = x_0 - V_A t = - V_A t \quad (2.10)$$

si on pose $x_0 = 0$ à $t = 0$

Il est alors possible d'exprimer la relation précédente (2.9) dans le domaine temporel à l'aide de ce changement de variable :

$$s(t) = \frac{V_A}{L} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} p(\ell) \int_0^{\ell/V_A} d_t(z+t) dz d\ell \quad (2.11)$$

Cette équation est linéaire et nous pouvons définir les transformées de Laplace $s(p)$ et $d_t(p)$ de chacune des variables et déterminer ainsi la fonction de transfert qui relie les variations d'épaisseur de la mèche observées au niveau du capteur, aux variations de la densité de têtes de fibres :

$$s(p) = \frac{V_A}{L} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} p(\ell) \int_0^{\ell/V_A} e^{-pz} d_t(p) dz d\ell \quad (2.12)$$

soit
$$s(p) = -\frac{V_A}{Lp} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} p(\ell) \{ e^{-p\ell/V_A} - 1 \} d\ell d_t(p) \quad (2.13)$$

En introduisant le paramètre $\tau = \frac{L}{V_A}$ qui représente le temps de passage moyen d'une fibre sous les cylindres alimentaires, nous obtenons :

$$\frac{s(p)}{d_t(p)} = \frac{1}{\tau p} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} p(\ell) \{ 1 - e^{-\tau p \ell / L} \} d\ell \quad (2.14)$$

Cette relation ne peut s'exprimer simplement en fonction du diagramme que dans certains cas particulier. Nous l'avons développée pour quelques exemples où des simplifications sont possibles (annexe C) :

. cas où toutes les fibres ont la même longueur L

$$\frac{s(p)}{d_t(p)} = \frac{1}{\tau p} (1 - e^{-\tau p}) \quad (2.15)$$

. cas où le diagramme est une courbe de Gauss d'écart type δ .

$$\frac{s(p)}{d_t(p)} = \frac{1}{\tau p} \left\{ 1 - e^{-p \left(1 - \frac{r_0^2}{2L^2} p \right)} \right\} \quad (2.16)$$

. cas où les fibres ont un diagramme rectangulaire, c'est-à-dire où $p(\ell)$ est constant.

$$\frac{s(p)}{d_t(p)} = \frac{1}{\tau p} \left\{ 1 - e^{-\tau p \frac{\text{sh } \Delta \tau p}{\Delta \tau p}} \right\}$$

avec
$$\Delta \tau = \frac{\ell_{\max} - \ell_{\min}}{2 V_A}$$

Dans toutes ces expressions il apparaît que l'épaisseur mesurée à l'instant t résulte d'une intégration de la densité de têtes de fibres sur une longueur de la mèche liée au diagramme. Du fait de cette intégration, il y a donc un certain retard dans l'acquisition de l'information, retard qui va intervenir dans le calcul des réseaux correcteurs nécessaires à l'amélioration des performances du système comme nous le verrons plus loin.

L'équation d'étirage que nous avons obtenue plus haut (2.2) n'est pas linéaire. Or il ne peut être défini de fonction de transfert du système que si ses équations de fonctionnement sont linéaires. Il importe donc tout d'abord de linéariser cette équation en justifiant l'approximation ainsi faite.

II.3.2 - Linéarisation de l'équation d'étirage

Il nous faut définir la relation liant les variations de densité de fibres de la mèche entrante à celles de la mèche sortante au moment de l'étirage au niveau des cylindres délivreurs. L'équation :

$$D_S(t) = \frac{D(t)}{E(t)}$$

n'est pas linéaire.

Posons :

$$\begin{aligned} D_S(t) &= \bar{D}_S (1+d_S(t)) \\ D(t) &= \bar{D} (1+d(t)) \\ E(t) &= \bar{E} (1+e(t)) \end{aligned} \quad (2.17)$$

en introduisant les valeurs moyennes des différentes variables.

En reportant dans la relation précédente et après avoir rendues égales composantes moyennes et variationnelles, nous obtenons :

$$\bar{D}_S = \frac{\bar{D}}{\bar{E}} \quad (2.18)$$

et $d(t) = d_S(t) + e(t) + e(t) d_S(t)$

Les variations de densité de têtes de fibres et d'étirage étant limitées en pratique ($\pm 20\%$), il est possible de négliger avec une bonne approximation le terme du second ordre $e(t) d_S(t)$ ce qui donne :

$$d_S(t) = d(t) - e(t) \quad (2.19)$$

Cette relation est linéaire.

Les variations de densité de têtes de fibres de la mèche entrante au niveau des cylindres délivreurs sont celles qui ont été observées au niveau du capteur à l'instant $t-T$ puisqu'il faut tenir compte du temps de passage de la matière entre les rouleaux :

Soit $d(t) = d_e(t-T)$ (2.20)

avec $T = \frac{X}{V_A}$ X étant l'écartement alimentaire-délivreur.

Nous avons alors :

$$d_s(t) = d_e(t-T) - e(t) \quad (2.21)$$

Et en introduisant les transformées de Laplace :

$$d_s(p) = d_e(p)e^{-Tp} - e(p) \quad (2.22)$$

Il nous est maintenant possible connaissant la relation densité de têtes de fibres-épaisseur mesurée et l'équation d'étirage, de déterminer l'expression de la fonction de transfert globale du régulateur.

II.4 - Calcul de la fonction de transfert du système

Cette fonction relie les variations de la densité de têtes de fibres de la mèche au niveau des cylindres alimentaires à celles qui subsistent après étirage. Soient $F_R(p)$ et $F_m(p)$ les fonctions de transfert du réseau correcteur et du moteur à vitesse variable, le schéma bloc du système est représenté figure 2.5. On peut y distinguer deux chaînes.:

- . La branche directe constituée d'un retard pur, temps de passage de la matière des cylindres alimentaires où se fait la mesure d'épaisseur, jusqu'aux cylindres délivreurs où elle est étirée.
- . La chaîne d'action où on distingue la fonction de transfert densité de tête de fibres à l'entrée + épaisseur mesurée, et la fonction de transfert du moteur et du réseau correcteur.

La variable de sortie résulte simplement de la différence des signaux issus de ces deux branches (cf. équation d'étirage).

La fonction de transfert de la boucle de correction peut s'écrire sous la forme $K F_C(p)$ où K est un gain statique ce qui donne pour le système global :

$$d_s(p) = d_e(p) e^{-Tp} - K F_C(p) d_e(p) \quad (2.23)$$

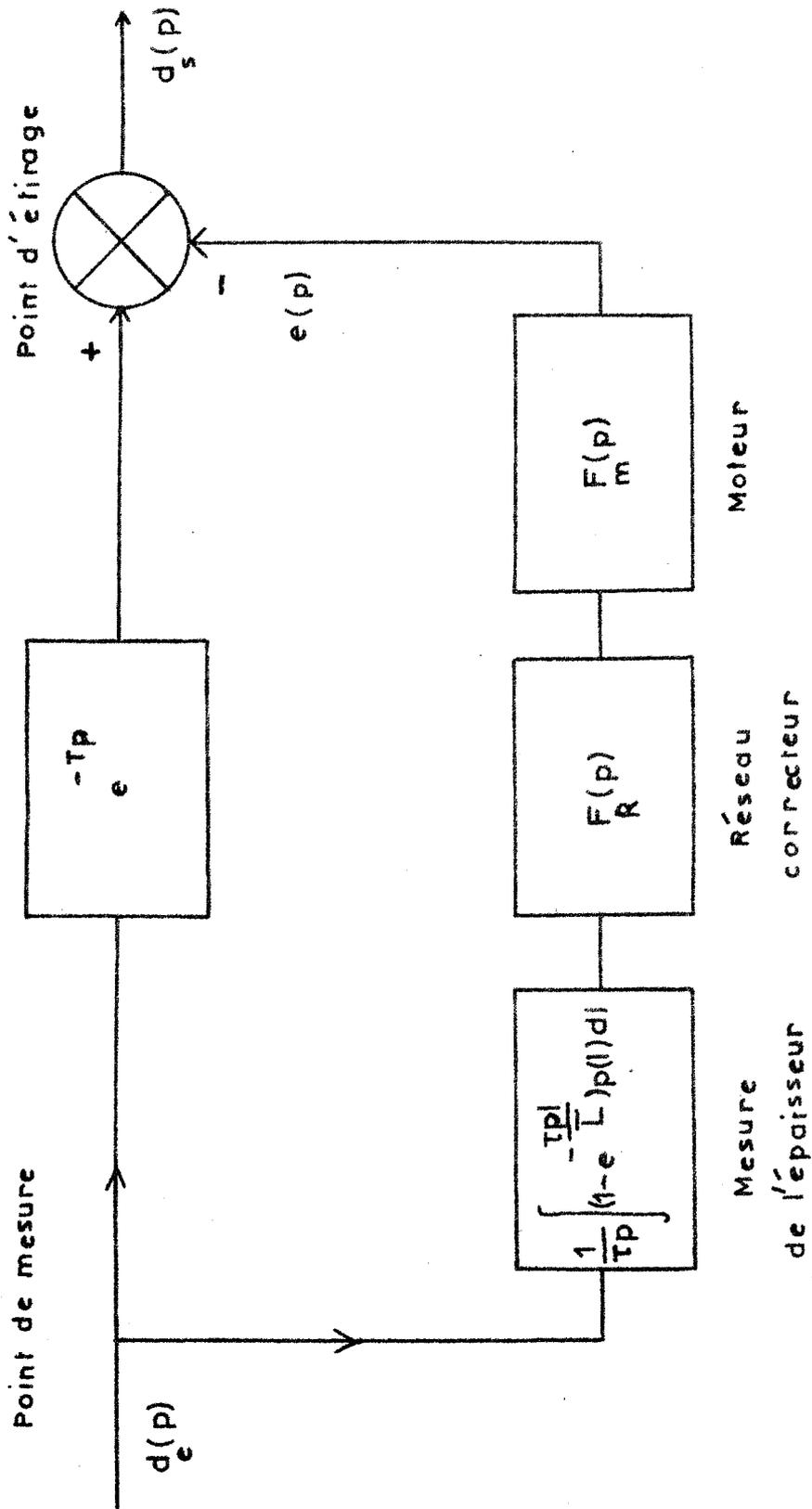


Figure 2.5 : Schéma bloc du régulateur



Sa fonction de transfert est alors :

$$F(p) = \frac{d_s(p)}{d_e(p)} = e^{-Tp} - K F_C(p) \quad (2/24)$$

Pour les défauts de grande longueur d'onde $p \rightarrow 0$ et $F(p) \rightarrow 1-K$.

Dans un système de régulation par rapport au titre moyen, celui-ci est conservé ce qui impose que K soit égal à 1. Ceci signifie simplement que les variations relatives d'étirage doivent être égales aux variations relatives de la densité de têtes de fibres à l'entrée.

Il apparaît dans la fonction de transfert globale du système que les variations de la densité de têtes de fibres en sortie seront nulles si la boucle de correction est équivalente à un retard pur égal au temps de passage de la matière dans le banc d'étirage. Ce fait ne pourra être réalisé exactement en pratique, d'une part à cause de l'inertie du moteur et d'autre part parce qu'il n'est pas possible de mesurer la densité de têtes de fibres, mais l'épaisseur de la mèche.

II.5 - Conclusions

Diverses limitations interviennent donc dans les performances du régulateur et nous allons essayer de les étudier au cours du chapitre suivant. Nous y analyserons quel doit être le réglage du retard pur introduit dans la chaîne d'action pour obtenir les performances les meilleures.

Les calculs qui viennent d'être développés ont permis de définir une fonction de transfert décrivant le fonctionnement du régulateur. Ces calculs supposent de nombreuses approximations et ne constituent qu'une approche simplifiée du problème réel. Des irrégularités proviennent des variations du diagramme de longueur des fibres le long de la mèche, qui en toute rigueur ne peut être considéré comme constant étant donné que le nombre de fibres en section est fini. Ces variations influenceront surtout sur les performances à très court terme et pour les longueurs d'ondes inférieures à la longueur moyenne des fibres. Il subsistera donc toujours une irrégularité limite de la mèche quelle que soit la rapidité de réponse du système d'étirage, cette irrégularité étant liée aux variations du diagramme de longueur des fibres qui ne peuvent être ni mesurées ni compensées.

Chapitre III

ETUDE DES PERFORMANCES DU REGULATEUR

III.1 - Introduction

La détermination de la fonction de transfert va nous permettre de définir les performances du régulateur par l'intermédiaire de l'atténuation des variations de densité de têtes de fibres de la mèche entrante relativement à celles de la mèche produite. Dans ces conditions, seule l'étude du module de cette fonction présente de l'intérêt, et elle sera faite par rapport à la longueur d'onde des défauts initiaux. En effet, c'est cette variable qui est la plus généralement utilisée pour caractériser l'irrégularité d'une matière textile.

Le module de la fonction de transfert est obtenu en remplaçant dans son expression, l'opérateur p par $2 \pi j V_A / \lambda$, où λ est la longueur d'onde du défaut dans la mèche à corriger.

Il convient de noter que la longueur d'onde du défaut correspondant de la mèche étirée est $\lambda \bar{\epsilon}$.

Parmi les différentes grandeurs qui vont intervenir dans le calcul du module de $F(p)$, certaines doivent être considérées comme des données du problème dont il ne sera pas utile d'envisager l'influence. Ainsi la vitesse d'entrée de la matière V_A est imposée par des considérations de productivité, alors que l'écartement X qui sépare alimentaires et délivreurs est égal aux fibres les plus longues.

Nous étudierons tout d'abord les modifications dans l'allure des courbes d'atténuation qui résultent d'un changement de diagramme. Cette étude est particulièrement intéressante car les qualités de matières travaillées sont extrêmement variables.

Ensuite nous analyserons l'influence de l'inertie du moteur d'étirage. Cette inertie peut constituer en quelque sorte un retard compensant le temps de transfert de la matière dans le banc. Nous essaierons de déterminer si il en existe une valeur permettant une régulation améliorée et si cette valeur est liée à la forme du diagramme.

Enfin, nous verrons quelles sont les performances obtenues lorsque la compensation du temps de transfert est réalisée à l'aide d'un retard pur plutôt que par l'inertie du moteur.

Dans tout ce qui suit nous supposerons que la mesure d'épaisseur de la mèche est parfaite, c'est-à-dire que les performances du capteur utilisé sont suffisantes pour en donner une évaluation exacte avec la vitesse de fonctionnement choisie. La chaîne d'action du système va donc se composer de la fonction de transfert épaisseur-densité de tête de fibres, de la fonction de transfert du moteur et éventuellement d'un retard pur. (Cf II.4).

III.2 - Etude de l'influence du diagramme de longueur des fibres

Le diagramme de longueur des fibres intervient à la fois dans le calcul de la relation épaisseur-densité de têtes de fibres et par le fait qu'il conditionne l'écartement des rouleaux.

La mesure d'épaisseur plutôt que celle de la densité de têtes de fibres pour établir le signal de correction limitera principalement l'atténuation des défauts les plus courts à cause de l'intégration qu'elle établit. Quant à l'écartement des rouleaux, il rendra nécessaire une correction à l'aide d'un retard pur, du fait de la distance qui sépare le point de mesure du point d'étirage. Pour simplifier les calculs et mieux mettre en évidence l'influence du diagramme lui-même, nous supposerons tout d'abord que l'inertie du moteur est nulle. Le régulateur corrige alors trop rapidement et une augmentation de l'irrégularité peut apparaître aux faibles longueurs d'ondes.

L'expression générale de la fonction de transfert $F(p)$ s'écrit :

$$F(p) = \frac{d(p)}{d_e(p)} = e^{-Tp} - \frac{1}{Tp} \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} p(l) \{ 1 - e^{-Tp l / \bar{L}} \} dl \quad (3.1)$$

Le calcul de son module est complexe et ne peut être conduit que pour des cas particulier. Nous l'avons fait pour trois diagrammes simples qui peuvent représenter approximativement ceux que l'on rencontre en pratique. Les expressions obtenues sont encore très lourdes et la détermination des variations du module en fonction de la longueur d'onde nécessite l'emploi d'un calculateur numérique.

III.2.1 - Cas où toutes les fibres ont la même longueur

Ce cas représente le diagramme le plus simple et les calculs en sont facilités.

Nous obtenons :

$$F(p) = e^{-Tp} - \frac{1}{\tau p} (1 - e^{-\tau p}) \quad (3.2)$$

Les grandeurs qui apparaissent sont τ et T , elles représentent respectivement les temps de passage d'une fibre sous les cylindres alimentaires et à travers le banc d'étirage. Elles sont toutes deux liées au diagramme et dans le cas présent $T = \tau$.

L'expression du module de $F(p)$ s'écrit alors :

$$|F(p)| = \sqrt{1 + \frac{\sin \frac{\omega \tau}{2}}{\frac{\omega \tau}{2}} \left\{ \frac{\sin \frac{\omega \tau}{2}}{\frac{\omega \tau}{2}} - 2 \cos \frac{\omega \tau}{2} \right\}} \quad (3.3)$$

en posant $\omega = \frac{2 \pi V_A}{\lambda}$

(Tous les calculs intermédiaires à effectuer pour obtenir le module de la fonction de transfert ont été reportés en Annexe D).

Il est commode d'exprimer la longueur d'onde des défauts par rapport à la longueur moyenne des fibres, c'est pourquoi nous ferons l'étude du module de $F(p)$ en fonction du paramètre $\bar{\lambda}$.

avec $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{L}$ (3.4)

Ce qui donne finalement :

$$F(\bar{\lambda}) = \sqrt{1 + \frac{\sin \pi/\bar{\lambda}}{\pi/\bar{\lambda}} \left\{ \frac{\sin \pi/\bar{\lambda}}{\pi/\bar{\lambda}} - 2 \cos \frac{\pi}{\bar{\lambda}} \right\}} \quad (3.5)$$

La courbe est donnée figure 3.1, son tracé a été limité aux longueurs d'ondes supérieures à $0,5 \bar{L}$, choix qui est justifié par les contraintes de validité de la théorie.

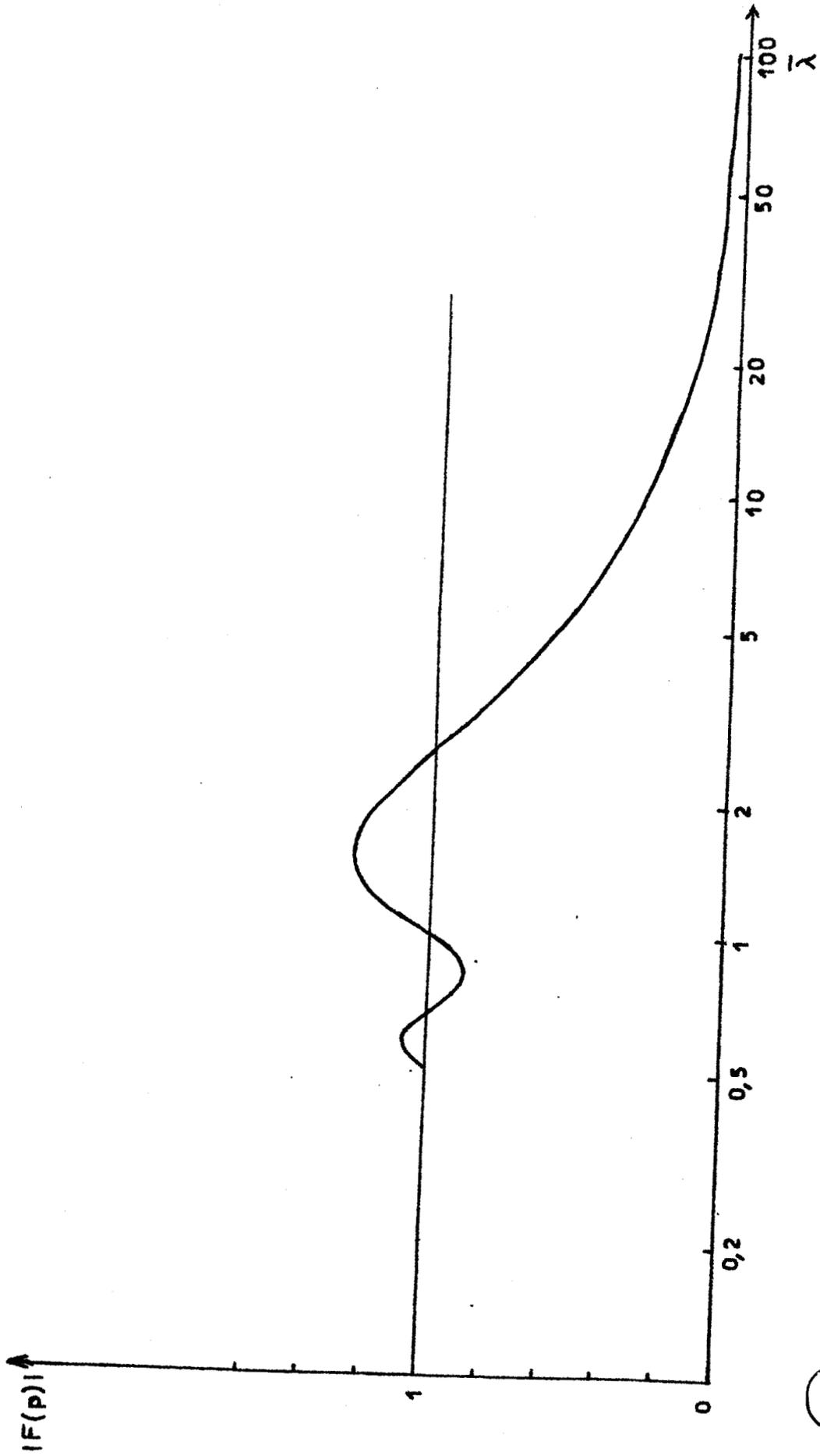


Figure 3.1 : Module de la fonction de transfert dans le cas de fibres d'égale longueur.



Il est possible, à partir de l'examen du graphe de faire les remarques suivantes :

. Pour les longueurs d'onde inférieures à la longueur des fibres le module de la fonction de transfert présente des oscillations. Ces oscillations résultent d'une action trop rapide du régulateur empêchant que la correction ne s'applique au défaut mesuré. Leur amplitude est décroissante vers les très courtes longueurs d'onde ~~du fait de la mesure d'épaisseur qui réalise une intégration du~~ signal.

. Pour les longueurs d'onde comprises entre une à trois fois la longueur des fibres une amplification des défauts intervient. Cette amplification est maximale pour $\lambda \approx 1,5 \bar{L}$, et est particulièrement gênante car c'est dans ce domaine qu'apparaissent en général les ondes d'étirage. Elle est encore provoquée par une action trop rapide du régulateur (hypothèse d'une inertie nulle).

Un retard est cependant introduit par la mesure de l'épaisseur de la mèche, ce retard est égal à la moitié du temps de passage des fibres sous les cylindres de mesure. En effet, si ce retard n'existait pas l'amplification maximale se produirait quand la distance entre le point de mesure et le point d'étirage serait égale à une demie longueur d'onde, soit pour $\lambda = 2 \bar{L}$. D'autre part, son amplitude est plus faible puisque le défaut devrait normalement être doublé.

Si aucun réseau correcteur n'est introduit, le régulateur n'aura donc d'efficacité que pour éliminer les irrégularités dont la longueur d'onde est supérieure à trois fois la longueur des fibres. La mesure d'épaisseur plutôt que de la densité de têtes de fibres vient cependant limiter l'amplification des défauts qui résulte du temps de transfert de la matière jusqu'au point d'étirage.

III.2.2 - Cas des diagrammes rectangulaires et Gaussien

Ces diagrammes sont plus complexes, mais s'assimilent beaucoup plus facilement à ceux que l'on rencontre dans la pratique (figure 3.2).

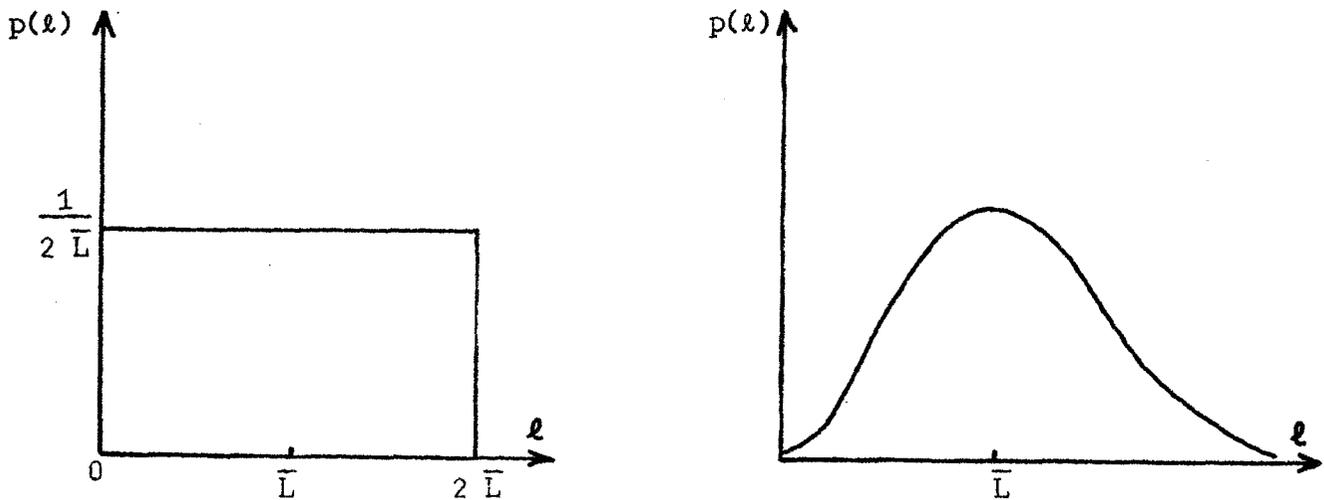


Figure 3.2 : Diagramme de longueur des fibres rectangulaire ou Gaussien.

Pour simplifier les calculs nous avons supposé que $l_{\min} = 0$ dans le cas du diagramme rectangulaire et nous avons retenu le cas d'un diagramme Gaussien d'écart type δ égal à $0,5 \bar{L}$, ce qui entraîne un écartement des rouleaux de $3 \bar{L}$ (Si il existait effectivement des fibres de longueur supérieure, l'intervalle précédent incluerait cependant 95 % de la totalité des fibres).

Les fonctions de transfert globale du système sont alors :

$$F(p) = e^{-T/p} - \frac{1}{\tau p} \left\{ 1 - e^{-\tau p} \frac{\text{sh}(\tau p)}{\tau p} \right\} \quad (3.6)$$

pour le diagramme rectangulaire,

$$\text{et } F(p) = e^{-T/p} - \frac{1}{\tau p} \left\{ 1 - e^{-\tau p \left(1 - \frac{\tau \delta^2}{2\bar{L}^2} p \right)} \right\} \quad (3.7)$$

pour le diagramme Gaussien.

Le calcul du module de ces fonctions conduit à des expressions assez complexes (annexe D), et leurs tracés ont été reproduits figure 3.3.

L'examen des courbes vient compléter les résultats obtenus à partir du diagramme précédent. On y distingue :

- . des oscillations du module de la fonction de transfert aux faibles longueurs d'onde du fait d'une mauvaise application du signal de correction.

- . une amplification plus importante due aussi à une réaction trop rapide du régulateur. Cette amplification se produit pour $\lambda = 3 \bar{L}$ dans le cas du diagramme rectangulaire, (écartement $2 \bar{L}$) et pour $\lambda = 5 \bar{L}$ dans le cas d'un

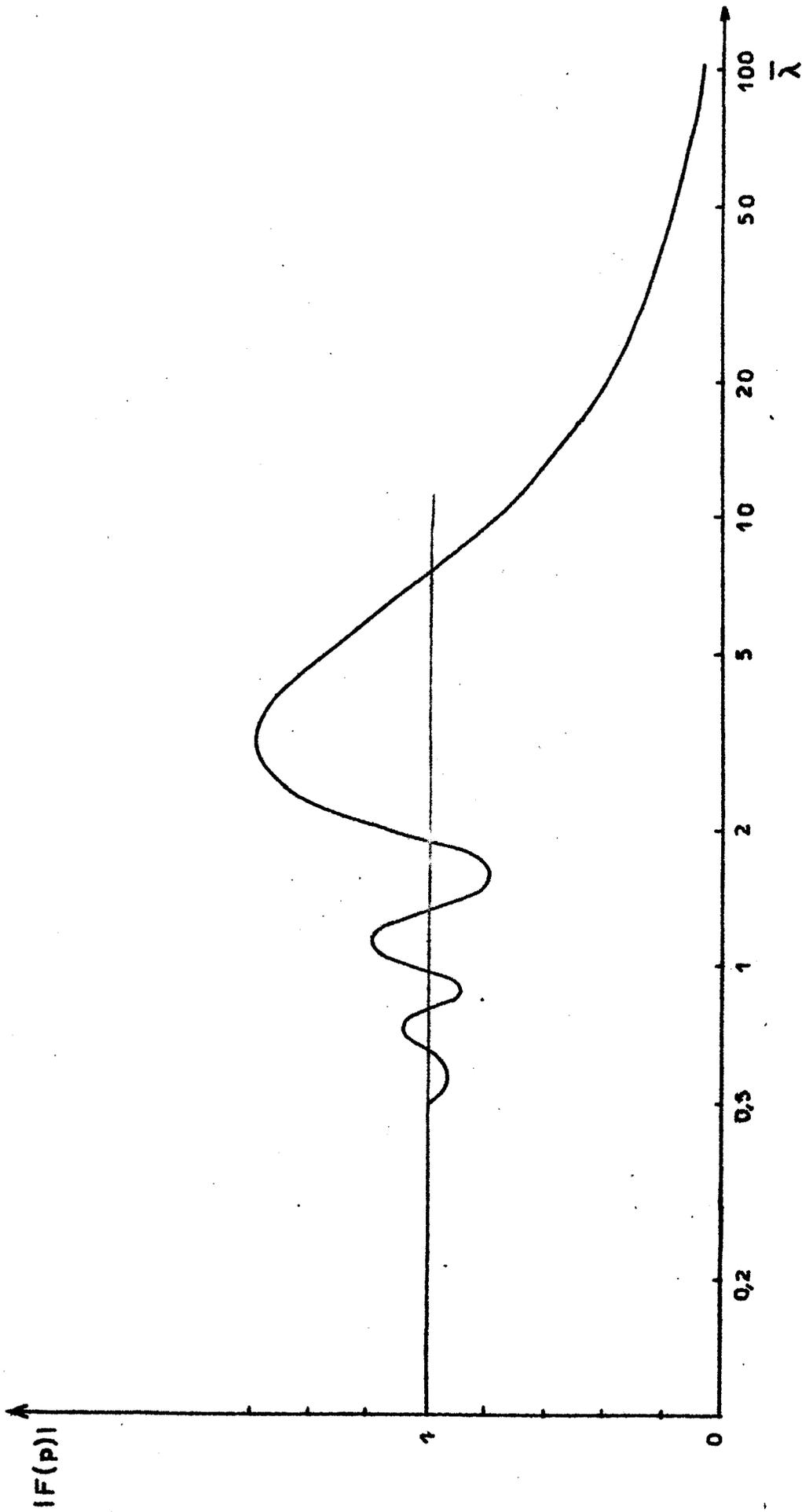


Figure 3.3.a : Module de la fonction de transfert dans le cas d'un diagramme rectangulaire



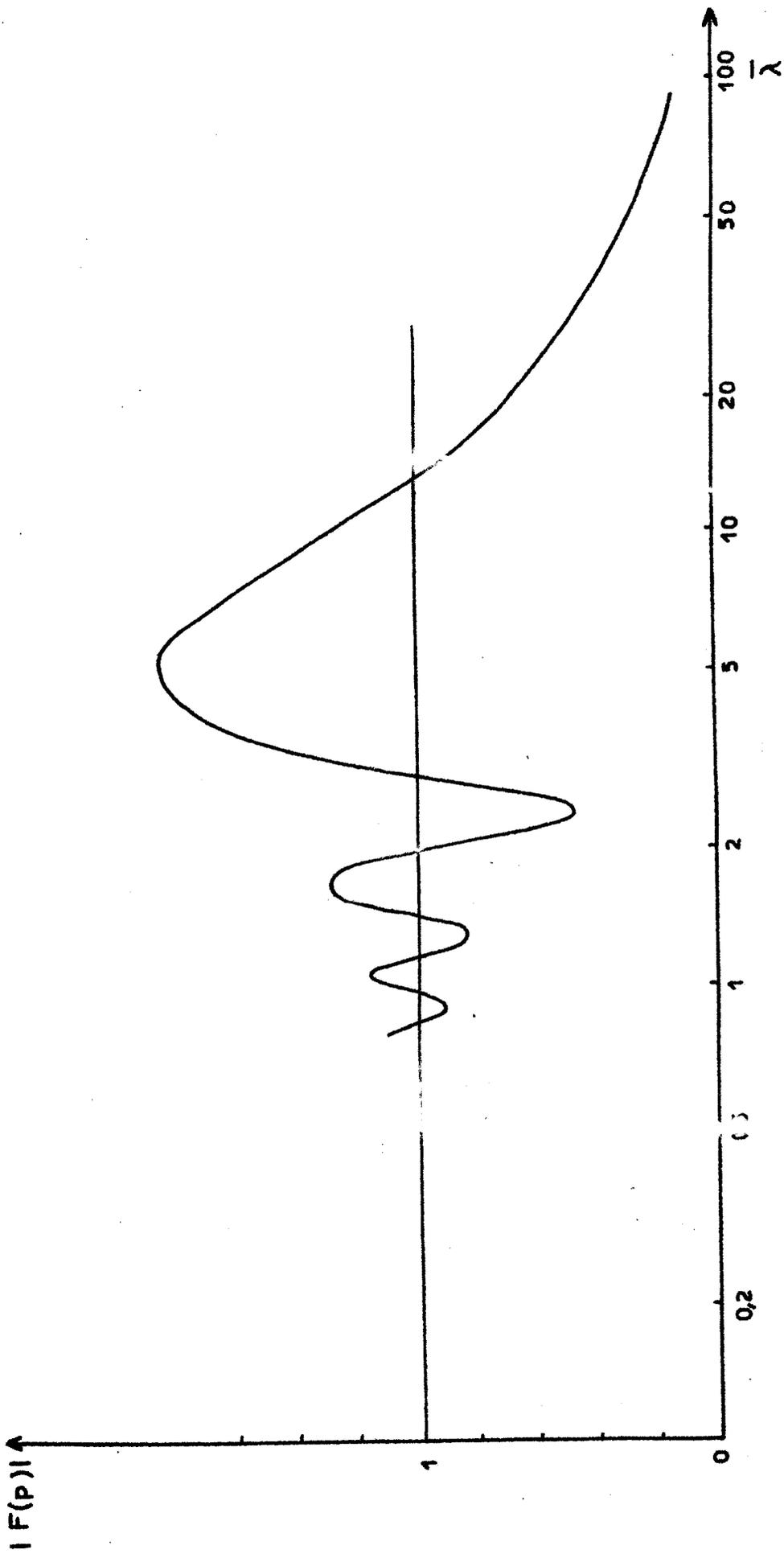


Figure 3.3.b : Module de la fonction de transfert dans le cas d'un diagramme Gaussien



diagramme Gaussien (écartement $3 \bar{L}$). On peut alors considérer que le retard apporté par la mesure d'épaisseur est encore égal à $0,5 \bar{L}$. Il convient de noter que l'écartement des rouleaux vis à vis de la longueur moyenne des fibres étant plus important que dans le cas où toutes les fibres ont la même longueur les oscillations du module de la fonction de transfert sont de période plus courte et d'amplitude plus grande et se situent dans le domaine des longueurs d'onde supérieures à la longueur moyenne des fibres.

De tous les résultats qui précèdent nous pouvons déduire que l'influence du diagramme se manifeste surtout dans la mesure où il conditionne l'écartement des rouleaux. Pour des lots de fibres de même longueur moyenne mais dont le rapport fibres longues - longueur moyenne est très différent, les performances du régulateur ne seront pas identiques. Un écartement plus large donnant des performances moins bonnes.

Il ne semble pas que la forme du diagramme lui-même (rectangulaire ou Gaussien par exemple) ait une action prépondérante sur les résultats obtenus, seul le rapport $\frac{l_{\max}}{\bar{L}}$ étant à considérer.

Les amplifications des défauts qui se produisent sont alors provoquées par une application trop rapide de la commande de correction du fait du temps de passage de la matière du point de mesure au point d'étirage.

La mesure de l'épaisseur de la mèche plutôt que celle de sa densité de têtes de fibres permet de limiter en partie cet inconvénient grâce au retard et à l'atténuation qu'elle apporte vers les faibles longueurs d'onde. Mais, en revanche, si le temps de transit de la matière est correctement compensé elle ne permettra pas d'obtenir une élimination des défauts les plus courts et constituera une limitation des performances de la régulation.

Il apparaît ainsi l'importance que pourrait avoir l'introduction d'un retard dans la chaîne d'action, son absence entraînant l'existence d'une amplification d'autant plus gênante qu'elle se situe dans le domaine des ondes d'étirage. Nous allons maintenant envisager l'influence de l'inertie du moteur qui constituera en quelque sorte le rôle d'un retard.

III.3 - Etude de l'influence de l'inertie du moteur

Nous supposons que le moteur d'étirage peut être représenté par l'introduction dans la boucle de correction d'une fonction de transfert du premier ordre de la forme :

$$\frac{1}{1 + ap}$$

L'influence de la constante de temps α va pouvoir se révéler utile dans la mesure où elle peut être assimilée à un retard destiné à compenser le temps de passage de la matière à travers le banc d'étirage. Mais il est évident que si la valeur de cette constante devient trop importante, le moteur ne réagira plus assez rapidement aux variations de vitesse qui lui sont demandées et la régulation deviendra médiocre, ou même inexistante pour les défauts de faible longueur d'onde.

Nous avons calculé le module de la fonction de transfert globale pour chacun des diagrammes précédents (annexe D) et tracé à chaque fois plusieurs courbes suivant la valeur de α/τ (figures 3.4). Ce paramètre représente le rapport entre la constante de temps du moteur et le temps de passage moyen d'une fibre sous les rouleaux palpeurs.

Les performances les meilleures sont obtenues quand le retard résultant de l'inertie du moteur, s'ajoutant au retard produit par la mesure d'épaisseur, compense exactement le temps de passage de la mèche dans le banc d'étirage.

Soit $\frac{\alpha}{\tau} = 0,5$ pour les fibres d'égales longueurs

$\frac{\alpha}{\tau} = 1,5$ pour le diagramme rectangulaire

et $\frac{\alpha}{\tau} = 2,5$ pour le diagramme gaussien

Les améliorations apportées se traduisent par une réduction importante du pic d'amplification maximale et son déplacement vers des longueurs d'onde plus courtes. L'efficacité du régulateur intervient alors beaucoup plus rapidement.

Cependant l'inertie du moteur ne peut être assimilée exactement à un retard pur. Il y a une atténuation d'amplitude et le déphasage ne varie pas linéairement avec la fréquence du signal.

Il est à noter que l'influence de l'atténuation d'amplitude introduite par le moteur élimine les oscillations de très courte longueur d'onde (inférieures à la longueur moyenne des fibres), mais elle limite la suppression des défauts dans le domaine des ondes d'étirage.

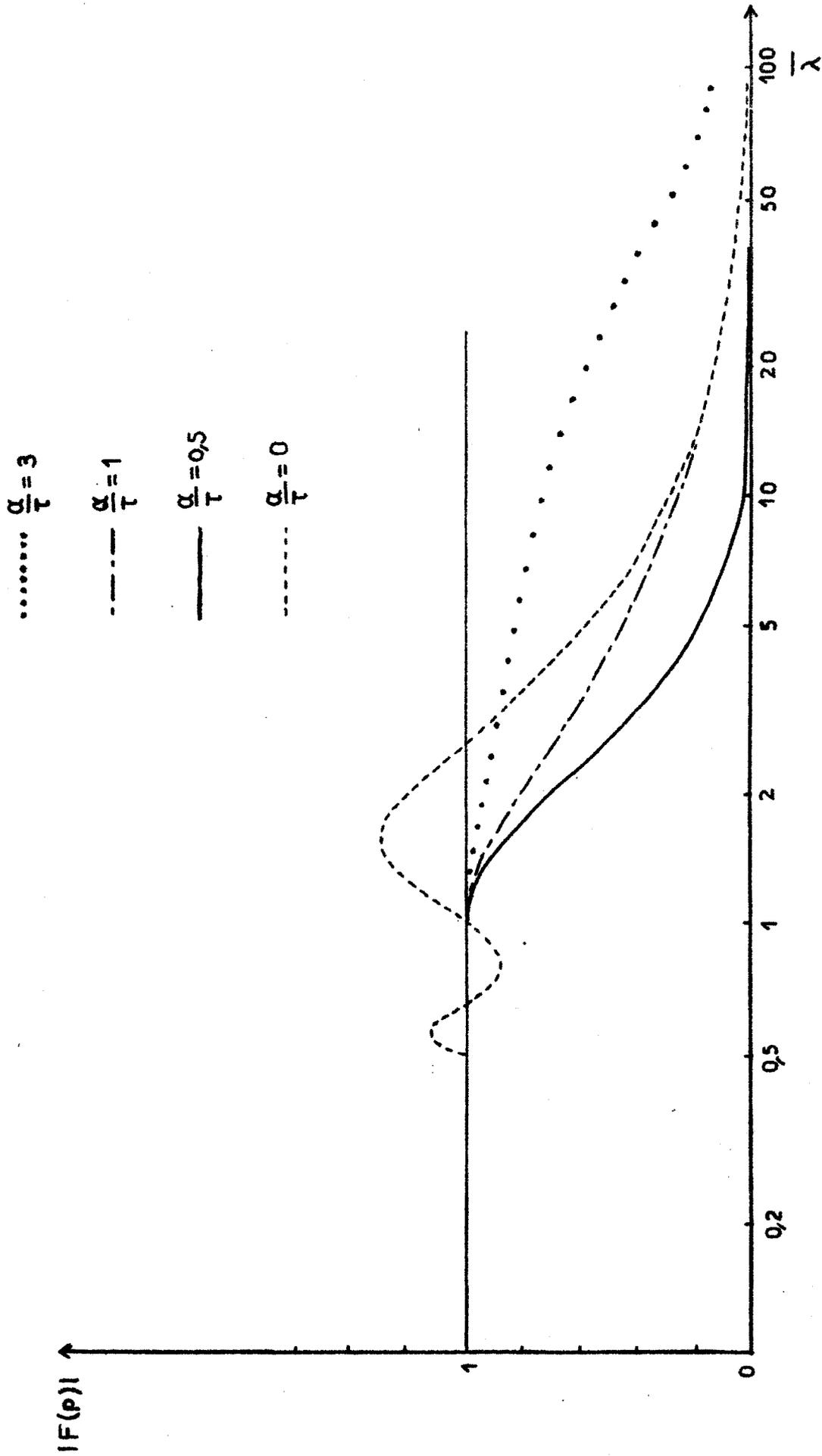


Figure 3.4.a : Influence de l'inertie du moteur dans le cas de fibres d'égale longueur.



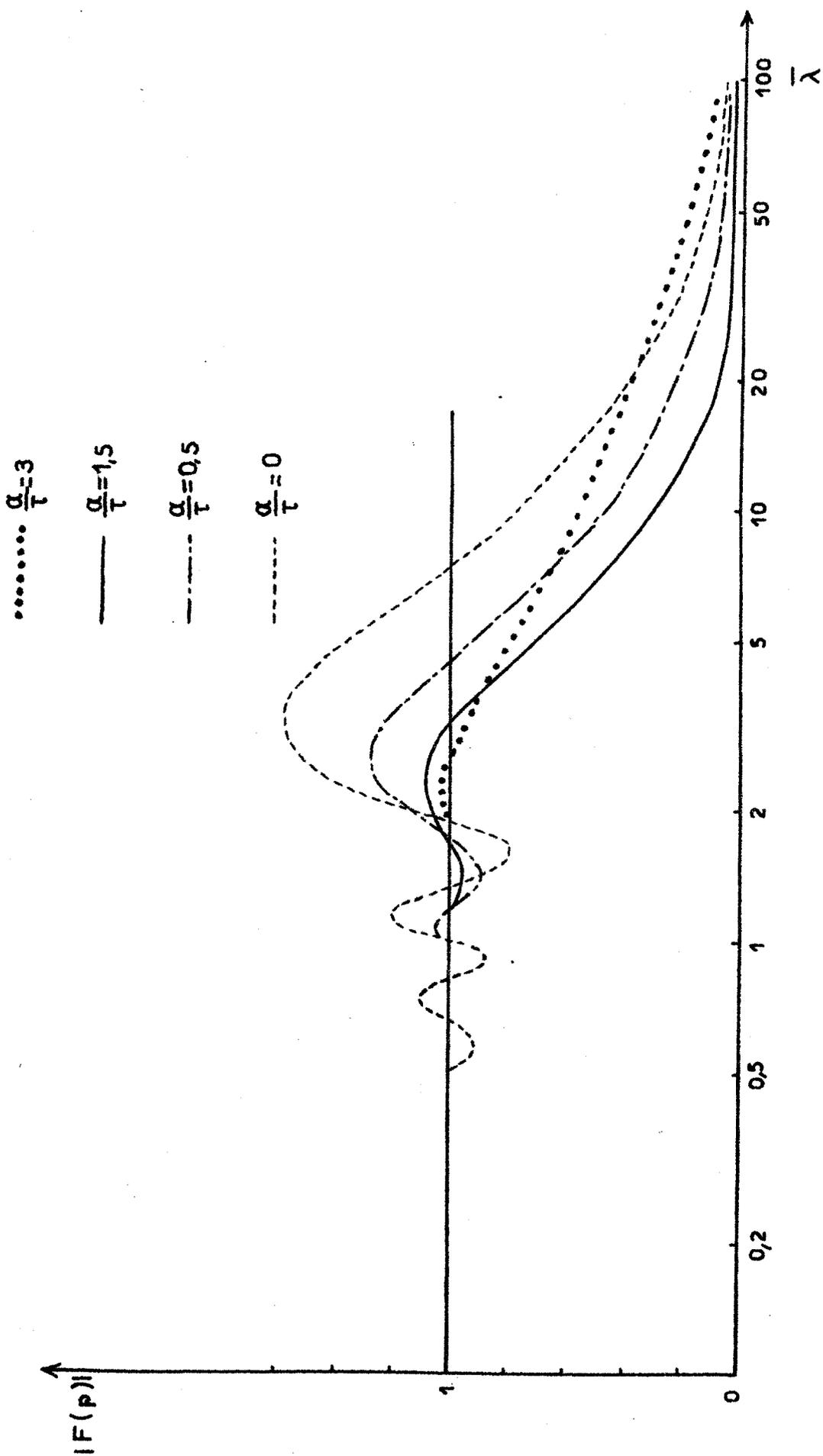


Figure 3.4.b : Influence de l'inertie du moteur dans le cas d'un diagramme rectangulaire



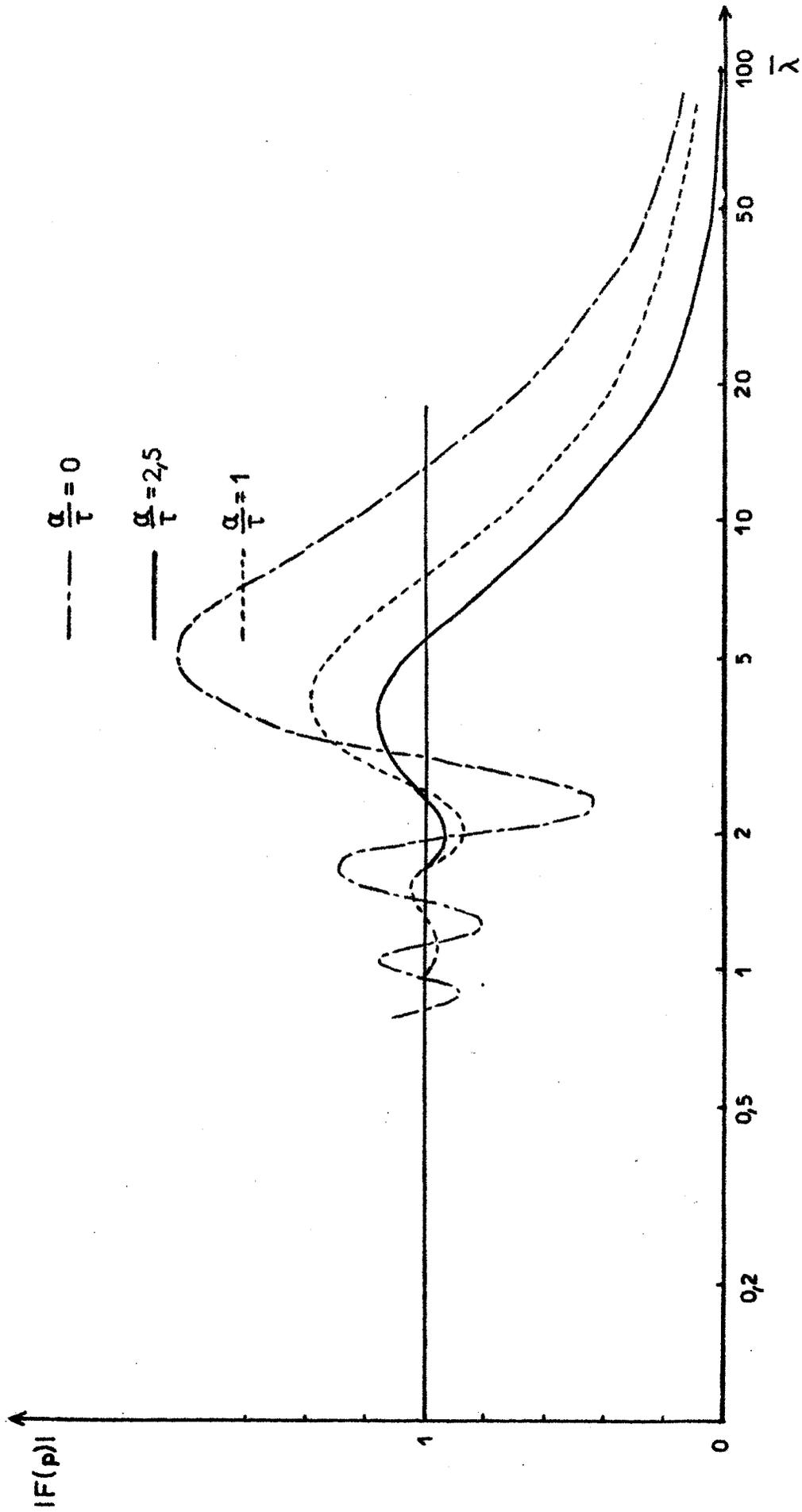


Figure 3.4.c : Influence de l'inertie du moteur dans le cas d'un diagramme Gaussien



Une compensation par retard pur devrait donc permettre des performances supérieures, notamment pour compenser les défauts d'une longueur d'onde voisine de la longueur moyenne des fibres.

De plus l'inertie du moteur ne peut être modifiée facilement et on ne peut envisager de l'utiliser comme moyen de réglage lors d'un changement de qualité par exemple. C'est pourquoi nous allons étudier maintenant les performances résultant de l'introduction d'un retard pur, celui-ci pouvant être réalisé au moyen de circuits électroniques.

III.4 - Amélioration des performances au moyen d'un retard pur

Nous venons de voir que l'inertie du moteur pouvait être utilisée comme moyen de compenser le temps de passage de la matière dans le banc. L'amélioration des performances est cependant limitée vers les faibles longueurs d'onde à cause de l'atténuation d'amplitude du signal. L'utilisation d'un retard pur va permettre une régulation beaucoup plus efficace dans ce domaine.

Pour mieux mettre en évidence l'effet du retard pur nous supposerons que l'inertie est nulle. Nous avons donc tracé le module de la fonction de transfert pour chacun des trois diagrammes précédents, lorsque le retard pur est égal respectivement à 0,5 - 1,5 et 2,5 fois le temps de passage moyen des fibres sous les palpeurs.

Les courbes correspondantes (figures 3.5) montrent qu'il n'y a jamais d'amplification des défauts dont la longueur d'onde est supérieure à la longueur moyenne des fibres et que l'atténuation obtenue est toujours supérieure au cas d'une compensation par l'inertie du moteur.

Pour les longueurs d'onde inférieures à la longueur moyenne des fibres des oscillations subsistent, mais elles pourront être facilement éliminées par filtrage du signal de correction. Elles résultent de l'impossibilité de faire une mesure directe de la densité de têtes de fibres.

Il apparaît à nouveau que la forme du diagramme n'affecte pas sensiblement l'allure de la fonction de transfert. Les performances les moins bonnes sont obtenues pour le diagramme rectangulaire où la dispersion des fibres autour de la valeur moyenne est relativement plus grande. Ce résultat est très important étant donné que les diagrammes rencontrés en pratique sont très différents suivant les qualités de matière travaillées.

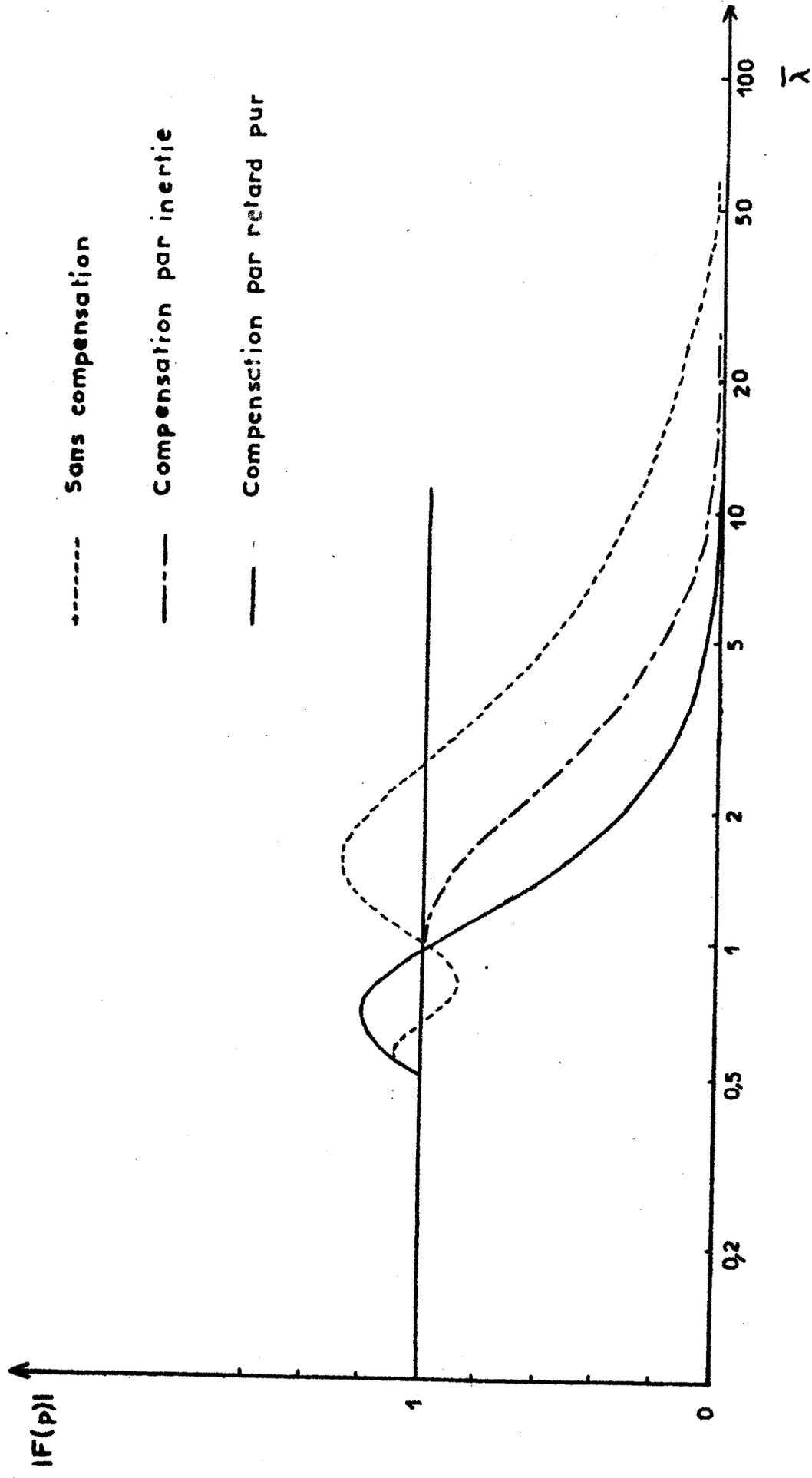


Figure 3.5.a : Compensation par retard pur dans le cas de fibres d'égale longueur



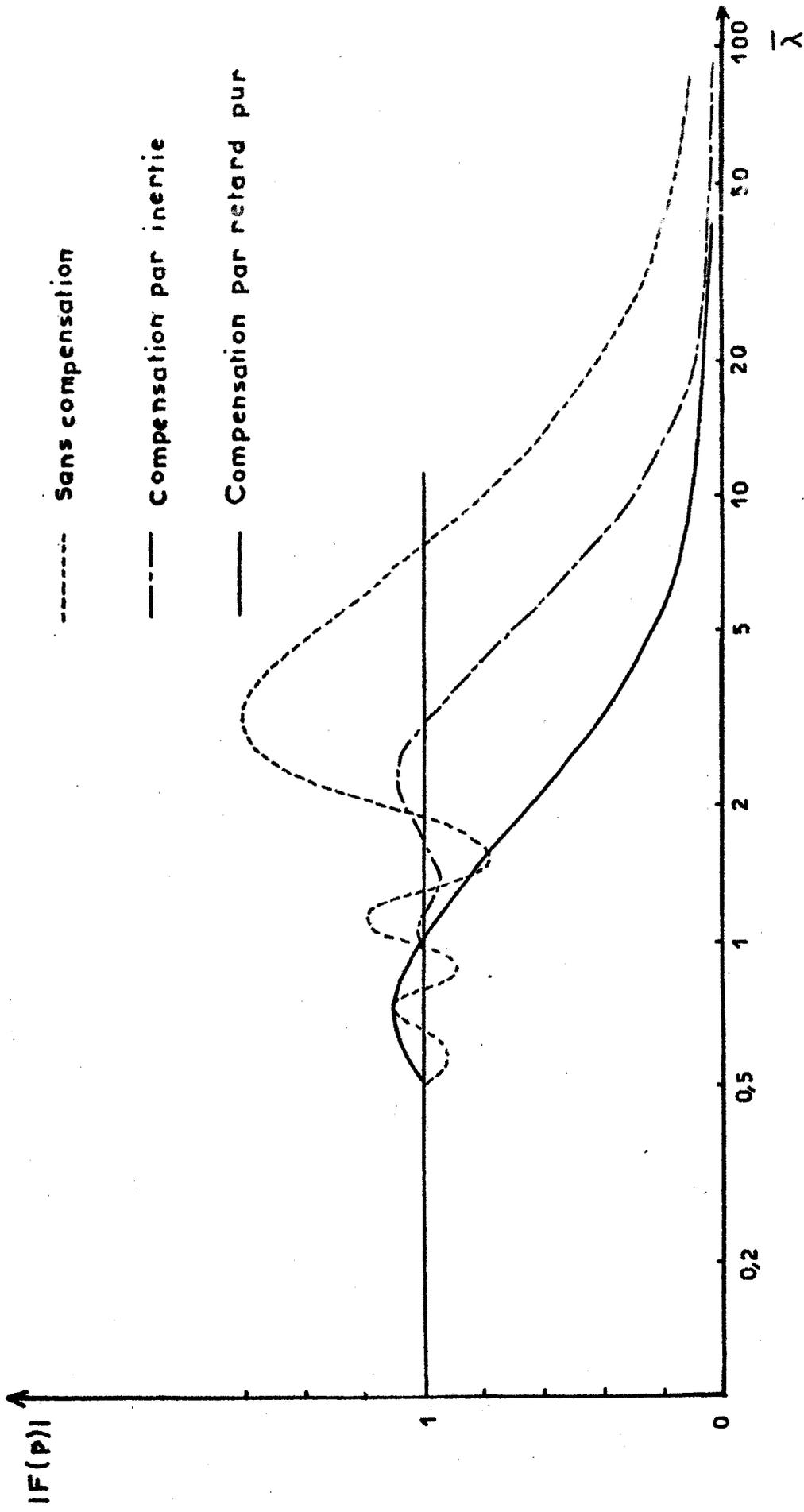


Figure 3.5.b : Compensation par retard pur dans le cas d'un diagramme rectangulaire



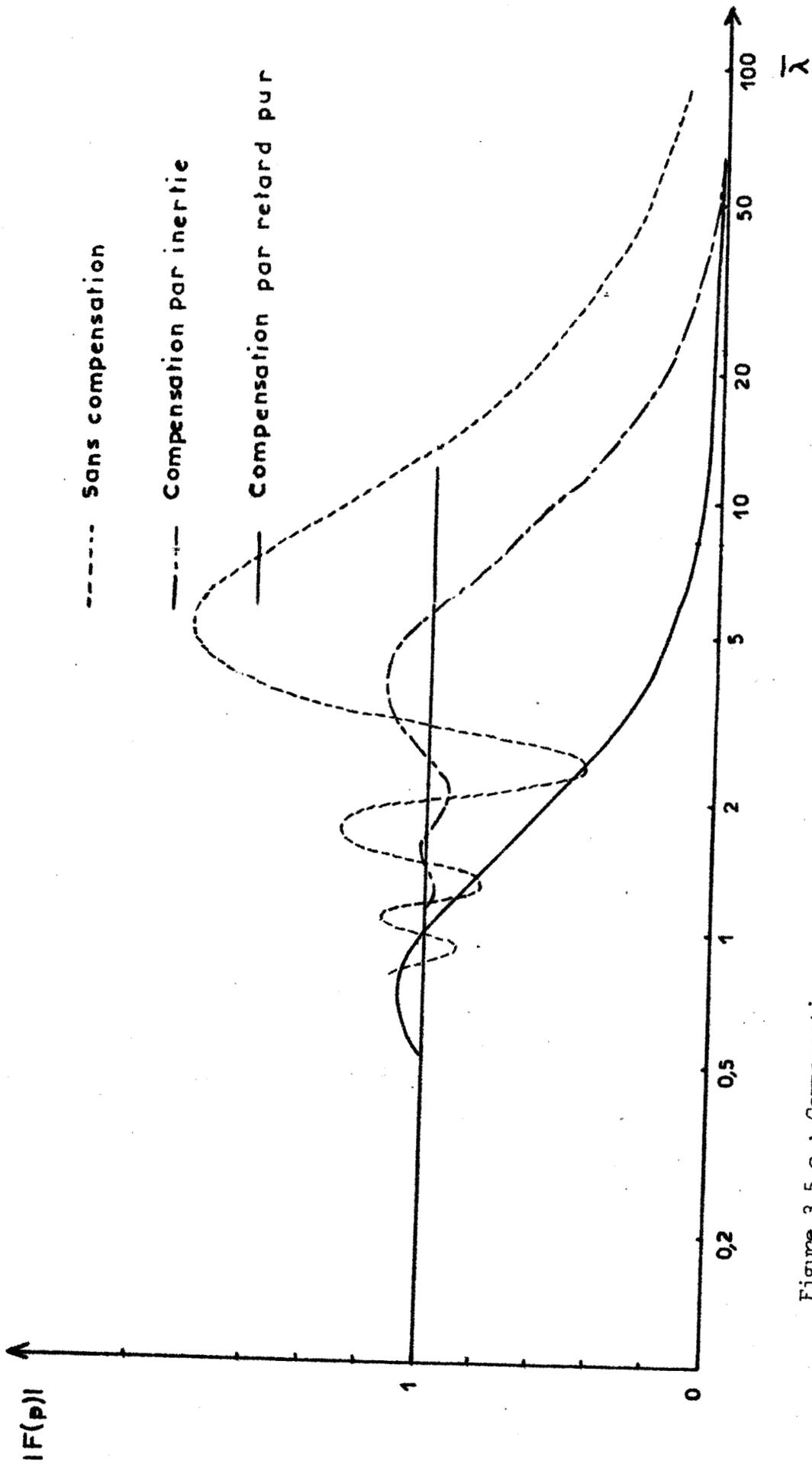


Figure 3.5.c : Compensation par retard pur dans le cas d'un diagramme Gaussien



L'examen des tracés montre l'importance des améliorations apportées à la régulation, notamment dans le domaine des faibles longueurs d'onde .

Ces améliorations restent appréciables pour des irrégularités atteignant jusqu'à plusieurs dizaines de fois la longueur moyenne des fibres.

Il faut noter cependant que le réglage du retard doit être correctement établi. Un retard trop important ou trop faible laissera subsister une amplification des défauts qu'il faut éviter à tout prix.

III.5 - Conclusion

L'analyse de tous les résultats qui précèdent nous montre qu'il est possible d'améliorer les performances du régulateur vers les faibles longueurs d'onde grâce à l'action d'un réseau correcteur. Ce réseau correcteur a pour rôle d'apporter un retard au signal de commande destiné à compenser le temps de passage de la matière dans le banc d'étirage. Il sera avantageusement réalisé au moyen d'un retard pur plutôt que grâce à l'effet d'inertie du moteur d'étirage (figure 3.5). La régulation pourra alors intervenir pour les longueurs d'onde supérieures à la longueur moyenne des fibres.

Dans la réalisation nous nous efforcerons donc de réduire le plus possible l'inertie de l'équipage mobile de façon à opérer la compensation à l'aide d'un retard pur obtenu par des circuits électroniques.

Cette étude montre de plus que le réglage du retard ne dépend que de l'écartement des rouleaux étireurs par rapport à la longueur moyenne des fibres, la forme du diagramme lui-même n'ayant que peu d'influence.

Le retard apporté du fait de la mesure de l'épaisseur de la mèche au lieu d'une mesure directe de la densité de têtes de fibres peut-être considéré comme égal à la moitié du temps de passage moyen des fibres sous les rouleaux alimentaires, quel que soit le diagramme. Dans ces conditions, l'écartement entre les rouleaux étant $k\bar{L}$ et la constante de temps du système d'étirage α , le réglage du retard sera :

$$\beta = \frac{k\bar{L}}{\bar{V}_A} - 0,5 \frac{\bar{L}}{\bar{V}_A} - \alpha$$

$$\text{soit } \beta = \frac{\bar{L}}{\bar{V}_A} (k - 0,5) - \alpha \quad (3.8)$$

Il devra donc se faire en fonction de la vitesse d'entrée V_A et de l'écartement des rouleaux conditionné par la taille des fibres les plus longues.

Dans la seconde partie de notre mémoire nous allons décrire la réalisation pratique du régulateur construit à partir des principes qui viennent d'être définis.

DEUXIEME PARTIE

REALISATION EXPERIMENTALE

Chapitre IV

DESCRIPTION GENERALE DU REGULATEUR

IV.1 - Système d'étirage

IV.1.1 - Choix de l'étirage moyen

Dans la régulation que nous avons choisie, le titre moyen de la mèche produite dépend de celui de la mèche entrante, leur rapport étant égal à l'étirage moyen. Ce dernier doit être suffisant afin que l'amplitude de ses variations permette de compenser les défauts rencontrés (l'étirage doit toujours être supérieur à 1).

L'analyse de la section des mèches qui vont être utilisées montre que l'irrégularité maximale ne dépasse jamais 20 % de la section moyenne (figure 4.1) Dans ces conditions, nous avons choisi un étirage moyen de 1,25 étant donné qu'il est préférable d'avoir un étirage faible pour limiter les variations de vitesse du moteur.

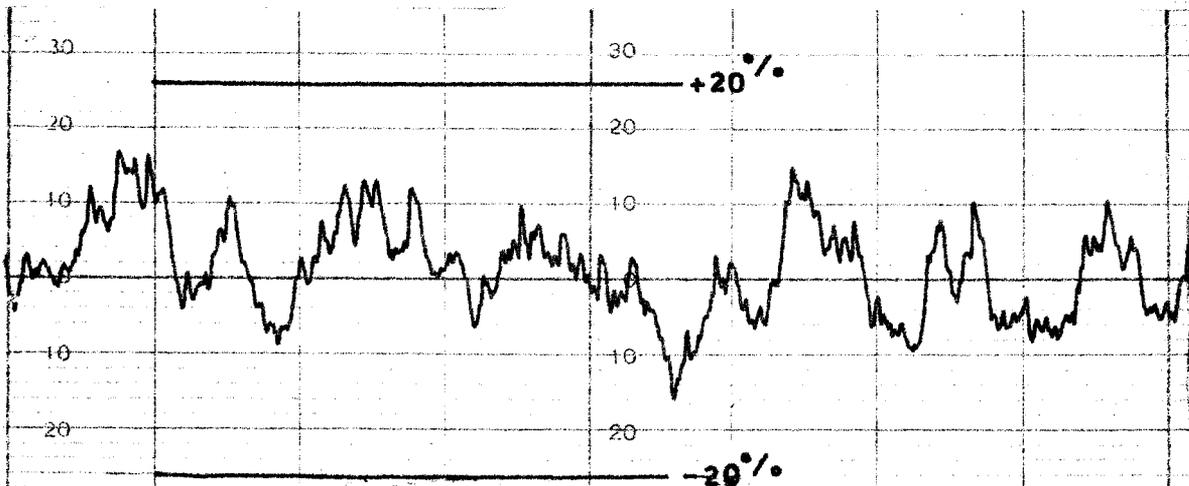


Figure 4.1 : Section d'une mèche.

L'équation qui décrit alors l'étirage du régulateur s'écrit :

$$E = 1,25 (1+e) \quad (4.1)$$

avec $|e| \leq 0,2$

IV.1.2 - Contrôle de l'étirage

L'étirage idéal est celui qui se produit au niveau des cylindres délivreurs. Malheureusement les fibres courtes sont libérées lorsqu'elles ne sont plus tenues par les cylindres alimentaires puisque leur longueur est inférieure à l'écartement des rouleaux. Elles auront alors tendance à être entraînées prématurément par les fibres déjà étirées. L'étirage se produit dans une zone fonction de la longueur des fibres.

Pour essayer d'empêcher ce phénomène il a été prévu de pouvoir placer un ensemble de peignes circulaires tournant à la vitesse des cylindres alimentaires, et dont les dents vont séparer et retenir les fibres (figure 4.2).

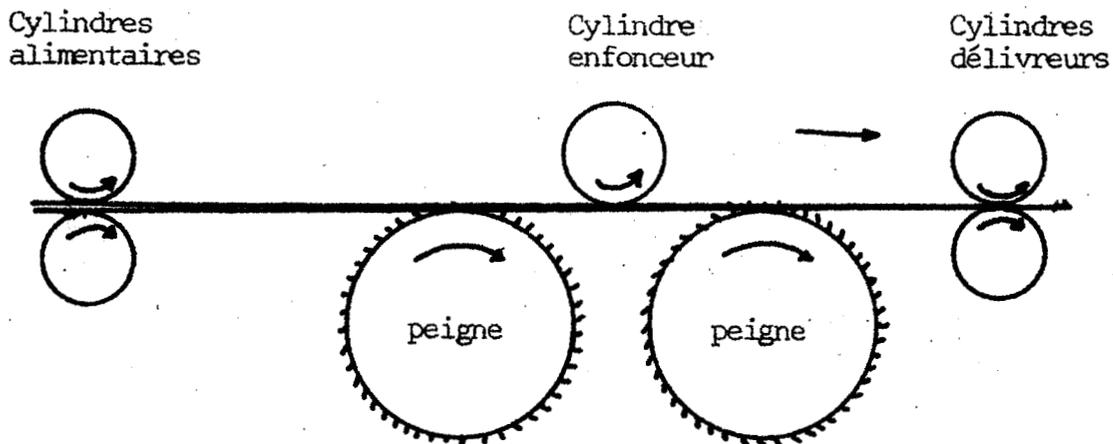


Figure 4.2 : Système de contrôle de l'étirage

Lors des variations de vitesse du moteur d'étirage la mèche pourrait être amenée à quitter les dents des peignes et son maintien doit être assuré au moyen d'un rouleau enfonceur.

Les imperfections de l'étirage constituent une limitation importante des améliorations de la régularité des mèches.

IV.1.3 - Performances du moteur d'étirage

Il est envisagé d'utiliser le régulateur avec une vitesse de sortie de l'ordre de 180 mètres par minute. Dans l'étude qui précède (chapitre III) nous avons montré qu'une atténuation était possible quand la longueur d'onde des défauts était supérieure à la longueur moyenne des fibres. Pour la laine celle-ci varie de 5 à 10 cm environ. Il faut donc que le moteur d'étirage puisse avoir des variations de vitesse dont la fréquence atteint 50 Hz.

De telles performances ne peuvent être obtenues qu'en utilisant un moteur Axem-Servaco dont le rotor imprimé présente une inertie très faible /5/ Ce moteur à courant continu peut être commandé par un amplificateur électronique et sa courbe de réponse tension-vitesse a une excellente linéarité. De plus, l'absence de bobinage lui donne un coefficient de self négligeable et il se prête particulièrement bien à une commande en vitesse variable.

Les pièces entraînées ont été allégées autant que possible et elles se limitent pratiquement aux cylindres étireurs. Ainsi, l'inertie globale a été réduite à environ 2500 gr/cm² autorisant les fréquences de variation de vitesse demandées. L'axe du moteur est relié directement au cylindre étireur inférieur, le cylindre supérieur étant entraîné par pression.

La vitesse du moteur d'étirage doit vérifier la relation :

$$\Omega_D = 1,25 \Omega_A \frac{R_A}{R_D} (1+e) \text{ soit } V_D = 1,25 V_A (1+e) \quad (4.2)$$

où R_A et R_D sont respectivement les rayons des cylindres alimentaires et délivreurs et Ω_A et Ω_D leurs vitesses angulaires.

Pour que cette équation soit toujours réalisée avec précision, nous utiliserons un asservissement. Il est alors nécessaire de disposer de la mesure des vitesses V_A et V_D . Quant au signal de correction e , il est établi à partir des variations d'épaisseur de la mèche détectées par le capteur associé aux cylindres alimentaires.

IV.2 - Description des capteurs utilisés

IV.2.1 - Capteur d'épaisseur

Il existe différentes méthodes pour mesurer l'épaisseur d'une matière textile. Une des plus usuelles consiste à la faire passer entre les armatures d'un condensateur dont les variations de capacité reproduiront les variations de section. Bien que la sensibilité et la rapidité de réponse soient bonnes, ce système présente de nombreux inconvénients. Il est surtout très sensible à l'influence de l'humidité et celle-ci varie beaucoup dans un lot de matière. Il est aussi nécessaire d'effectuer un calibrage périodique, possible pour un appareil de laboratoire, mais qui ne peut être envisagé pour une machine de fabrication.

La mesure de l'absorption des rayons infra-rouges est sujette aux mêmes défauts.

Nous avons donc utilisé un capteur mécanique insensible à l'humidité et qui a de plus l'avantage d'une grande stabilité dans le temps. L'inertie en a été réduite au maximum pour permettre de détecter les défauts les plus courts.

Ce capteur mesure l'épaisseur de la mèche en la comprimant dans une gorge formée à l'aide des deux cylindres alimentaires (figure 4.3.a).

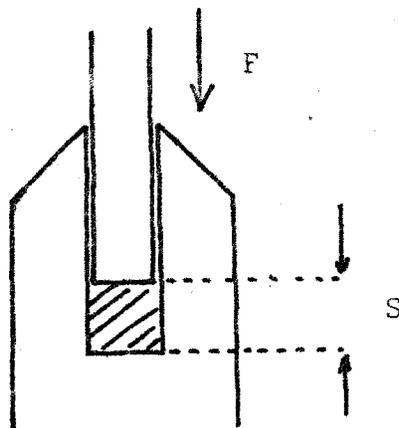
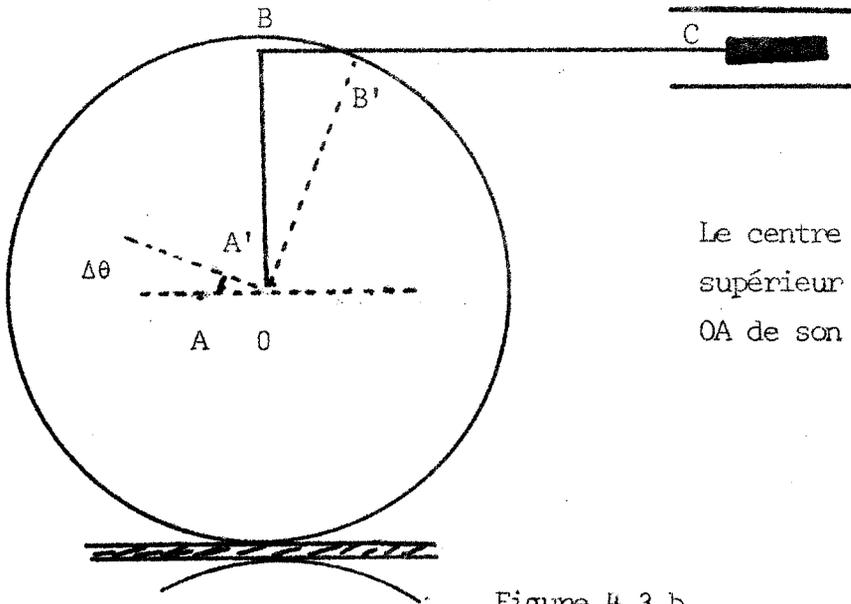


Figure 4.3.a : Capteur d'épaisseur de la mèche.

Le cylindre supérieur est légèrement excentré et va se déplacer suivant l'épaisseur de la mèche. La pression exercée atteint plusieurs dizaines de kilos.

Une variation Δs d'épaisseur entraîne une rotation du cylindre d'un angle $\Delta\theta \approx \frac{\Delta s}{OA}$ (figure 4.3.b).



Le centre géométrique A du cylindre supérieur est décalé de la distance OA de son point de rotation O.

Figure 4.3.b

Cet angle étant petit, on peut assimiler sa valeur en radians au rapport

$$\Delta\theta \approx \frac{\Delta s}{OA} \approx \frac{\widehat{AA'}}{OA}$$

L'amplification mécanique du mouvement vaut :

$$\frac{\widehat{BB'}}{\widehat{AA'}} = \frac{\widehat{BB'}}{\Delta s} = \frac{OB}{OA} = 9 \text{ dans la réalisation pratique.}$$

Le point B est relié au noyau d'un capteur de déplacement linéaire à variation de mutuelle-induction qui permet de traduire en signaux électriques les variations d'épaisseur détectées. Comme ce point suit une trajectoire circulaire l'équipage de mesure portant le capteur peut tourner autour d'un axe et suivre les variations d'inclinaison de la tige BC.

IV.2.2 - Capteurs de vitesse

La mesure des vitesses V_A et V_D est réalisée au moyen de capteurs magnétiques qui ont l'avantage d'une grande robustesse (figure 4.4).

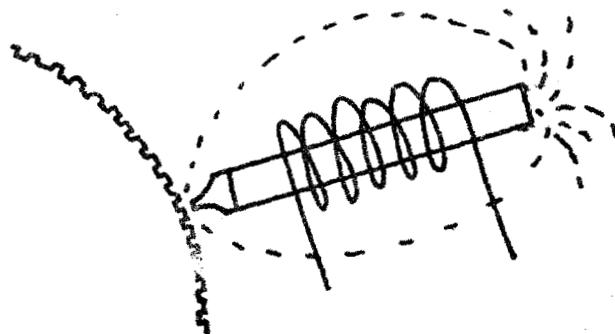


Figure 4.4 : Capteur de vitesse.

Une roue dentée en acier doux est solidaire de l'axe dont la rotation doit être contrôlée. Le capteur proprement dit est constitué d'un barreau aimanté sur lequel on a réalisé un bobinage. Une pointe en acier termine l'ensemble.

Normalement, les lignes de forces de l'aimant se referment dans l'air, mais du côté de la roue dentée, elles sont canalisées par cette dernière vers le pôle constitué par la pointe où l'entrefer est de faible valeur.

Une variation de flux prend naissance à chaque passage d'une dent ou d'un creux, l'entrefer variant alors de 0,15 à 0,75 mm environ. Une tension induite est recueillie aux bornes de la bobine; tension dont la fréquence est proportionnelle à la vitesse de rotation de l'axe :

$$f = 220 \cdot \Omega / 60$$

Ω : nombre de tours minutes de l'axe. Le facteur 220 est donné par le nombre de dents.

La hauteur du signal est fonction de la vitesse de rotation. Il va donc être nécessaire d'en effectuer la mise en forme avant la détection de fréquence.

Pour chaque capteur un circuit électronique assure la conversion des signaux délivrés en une tension continue proportionnelle à la fréquence et par conséquent à la vitesse de rotation de l'arbre. Cette opération est réalisée à l'aide des fonctions schématisées figure 4.5.

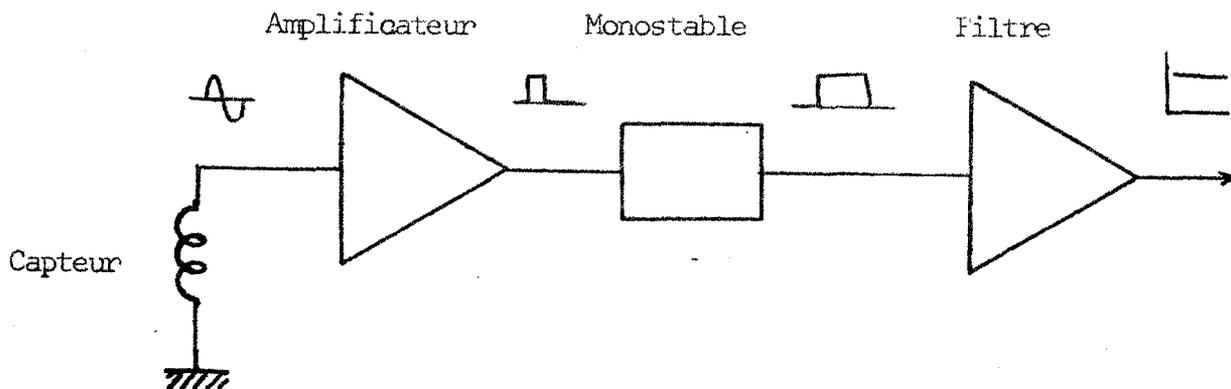


Figure 4.5 : Circuits de détection de fréquence

On y distingue :

. un amplificateur à grand gain destiné à mettre en forme les signaux reçus. Sa sensibilité est d'une dizaine de millivolts et il fournit des impulsions rectangulaires.

. un monostable délivrant des créneaux d'amplitude calibrée et de largeur variable. Le réglage de cette largeur permet d'ajuster la sensibilité de mesure.

. un amplificateur filtre-actif permettant de retrouver la composante continue du signal qui est proportionnelle à la fréquence.

La bande passante de ce filtre est suffisante pour détecter les variations de vitesse rencontrées (50 Hz pour la vitesse d'entrée, 100 Hz pour la vitesse de sortie).

La sensibilité η des deux capteurs a été ajustée de manière à obtenir :

$$\eta = 2 \text{ V/m/sec}$$

et l'étalonnage des circuits montre une parfaite linéarité de la courbe de réponse tension-fréquence (figure 4.6).

Le filtre actif réalisant la restitution de la composante continue est obtenu au moyen d'un amplificateur opérationnel bouclé (figure 4.7). Nous avons choisi pour ce filtre une fonction de transfert de Butterworth d'ordre 2 de la forme :

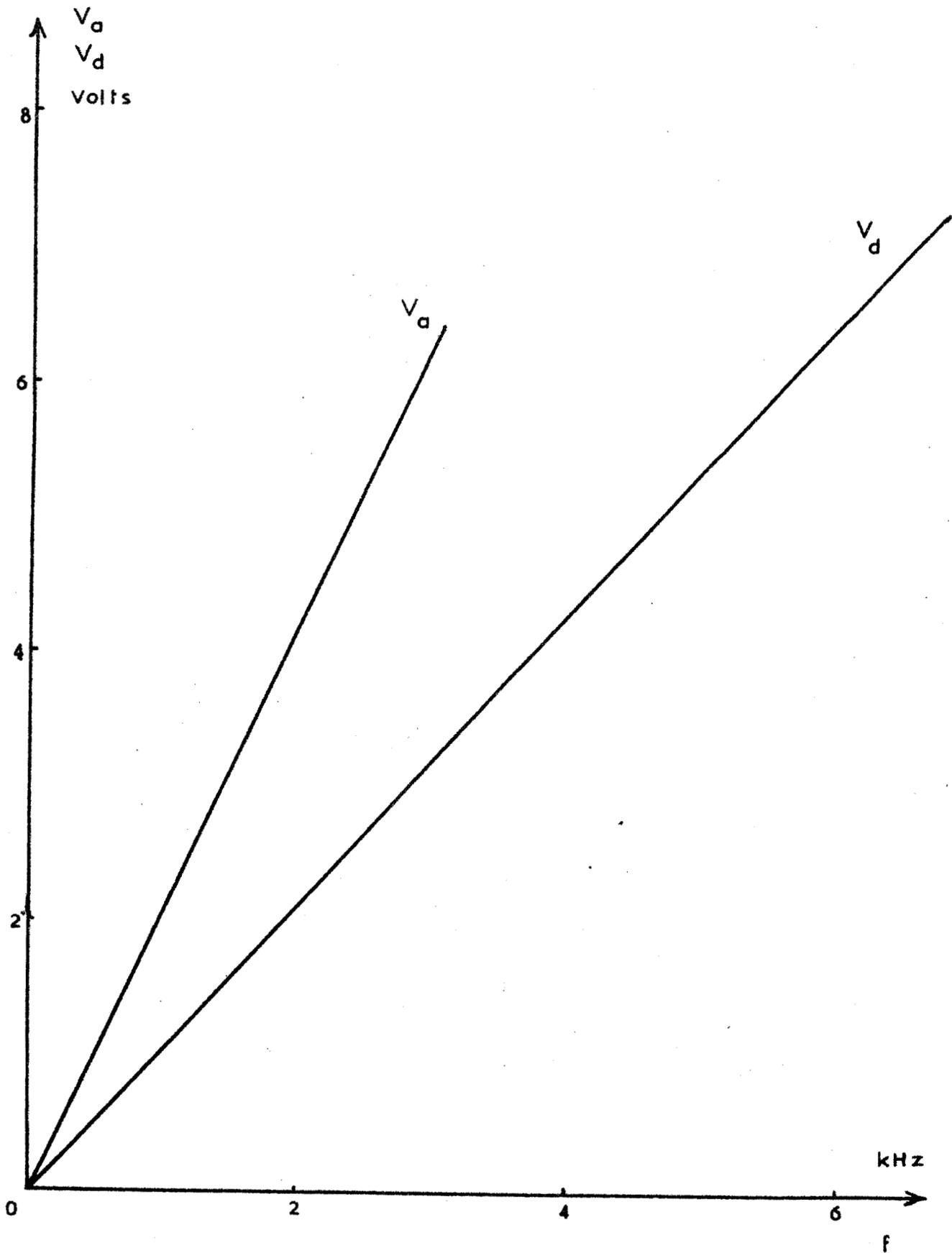


Figure 4.6 : Etalonnage des capteurs de vitesse



$$\frac{1}{1 + \frac{\sqrt{2} p}{\omega_n} + p^2/\omega_n^2} \quad (\omega_n : \text{fréquence de coupure à } 3 \text{ dB})$$

Celle-ci donne un temps de transmission pratiquement constant avec la fréquence du signal et l'atténuation des composantes à haute fréquence est excellente /6/.

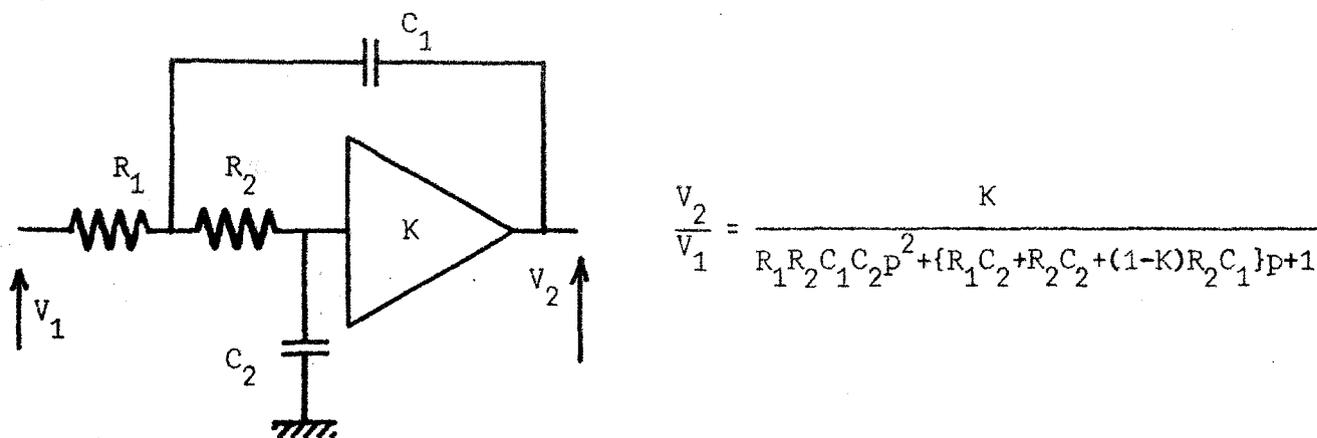


Figure 4.7 : Schéma d'un filtre actif

IV.3 - Asservissement du moteur d'étirage

IV.3.1 - Fonction de transfert

Pour que les corrections de vitesse demandées au moteur d'étirage puissent être parfaitement suivies, celui-ci est intégré dans un asservissement. Le schéma bloc de cet asservissement est représenté figure 4.8. On y distingue la présence d'un réseau correcteur dans la branche directe destiné à améliorer la courbe de réponse en fréquence de l'ensemble. L'amplificateur de puissance dont la bande passante est très largement supérieure à celle du moteur peut être assimilé à un gain G. La fonction de transfert du moteur commandé en tension est celle d'un système du premier ordre $A/(1+ap)$ (annexe E). Le retour est constitué par le filtre actif décrit précédemment.

Nous avons vu au cours des premiers chapitres de l'étude que l'inertie du moteur limitait la qualité de la régulation dans la mesure où elle ne pouvait être assimilée exactement à un retard pur. Il s'agit donc que la réponse en fréquence de l'asservissement présente un temps de transmission et un gain à peu près constant pour toutes les fréquences utiles (jusque 50 Hz).

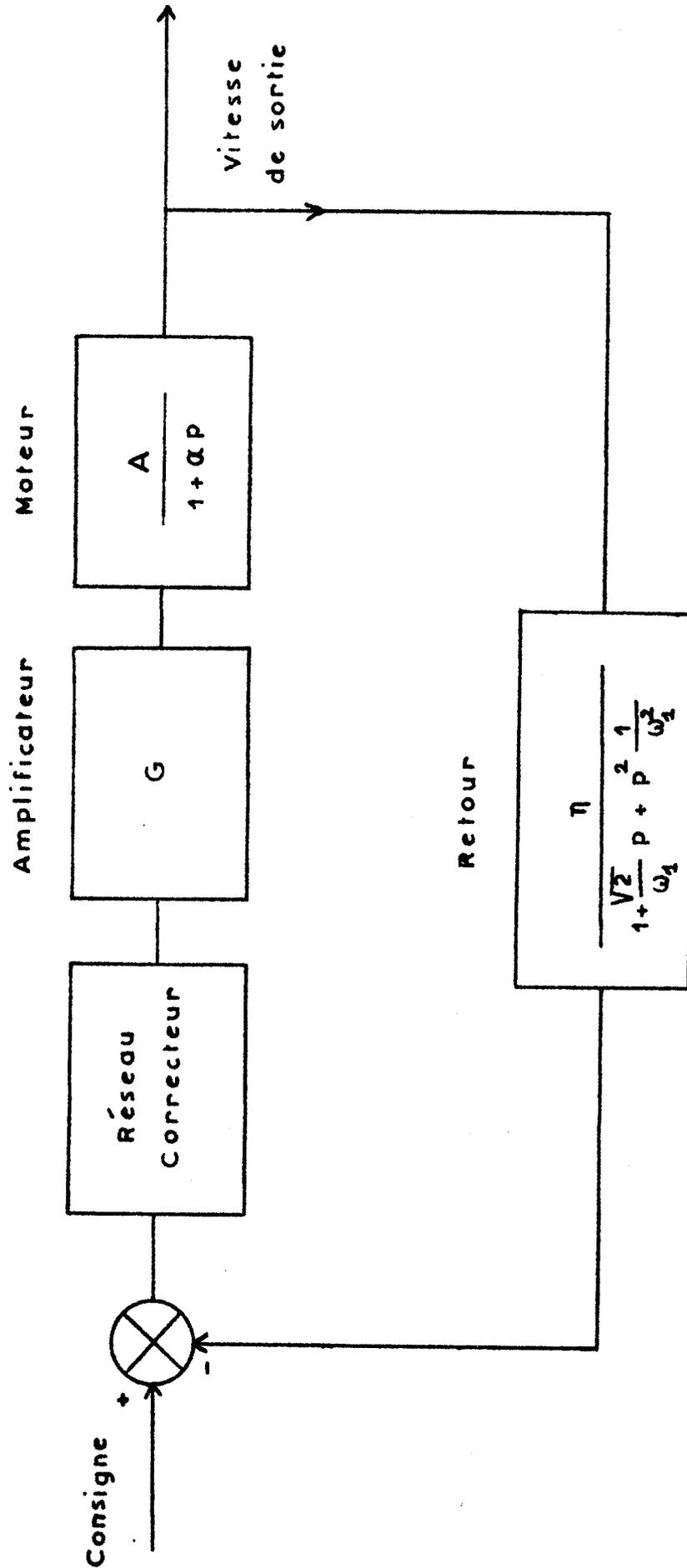


Figure 4.8 : Schéma bloc de l'asservissement de vitesse



La limitation principale de la bande passante résulte de la constante de temps du moteur. Cet effet pourra être éliminé en introduisant dans la chaîne directe une fonction de la forme $1+\alpha p$. Si on ajoute de plus une intégration pour augmenter la précision, la fonction de transfert du réseau correcteur sera $k(1+\alpha p/p)$ //, le réglage du gain k permettant d'obtenir la bande passante désirée. Ce filtre peut être réalisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel (figure 4.9).

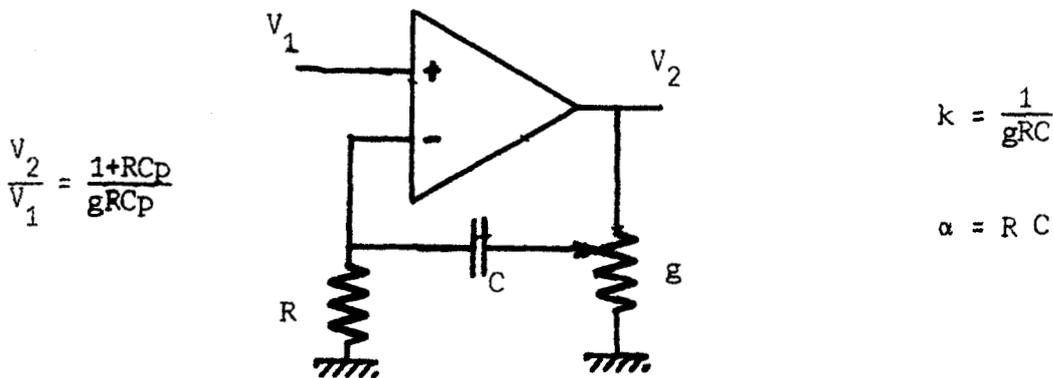


Figure 4.9 : Réseau correcteur

Nous utiliserons l'abaque de Black pour déterminer la valeur du gain de la chaîne directe. Le système étant à retour non unitaire il faut considérer comme fonction de transfert en boucle ouverte, la fonction :

$$\eta \frac{k G A}{1+\alpha p} \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{2} p}{\omega_1} + \frac{p^2}{\omega_1^2}}$$

La bande passante à 3 db sera de 30 Hz environ si l'on choisit un gain global $K = 48$ db (figure 4.10). D'où l'on déduit :

$$k = \frac{K}{\eta G A} \quad (4.3)$$

La fonction de transfert globale de l'asservissement est :

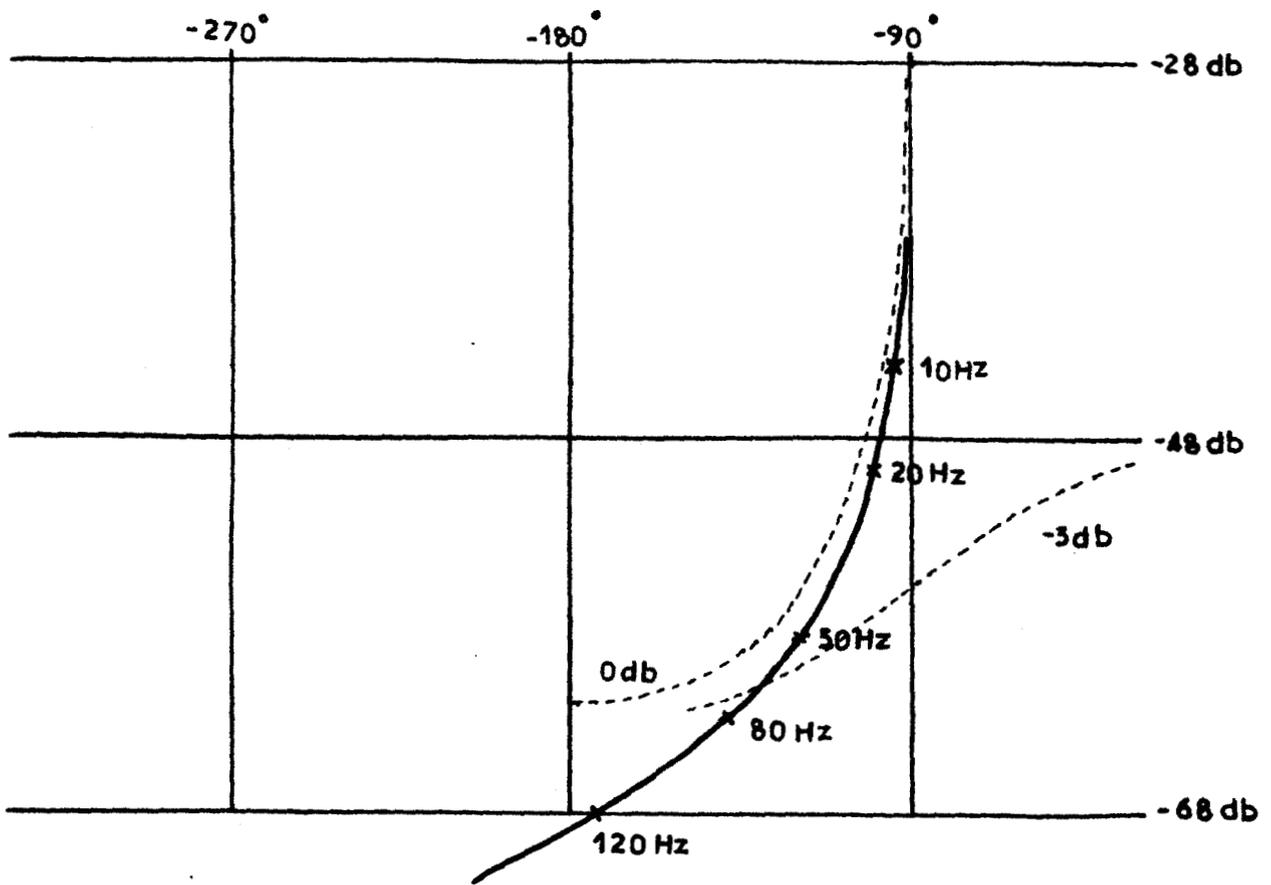


Figure 4.10 : Lieu de Black de l'asservissement du moteur



$$H(p) = \frac{1 + \frac{\sqrt{2}}{\omega_1} p + \frac{p^2}{\omega_1^2}}{1 + \frac{p}{K} + \frac{2z}{\omega_1} p^2 + \frac{p^3}{\omega_1^2 K}} \quad (4.4)$$

$$\text{Si } p \rightarrow 0 \quad H(p) \rightarrow \frac{1 + \frac{\sqrt{2}}{\omega_1} p}{1 + p/K}$$

Le retard apporté au signal est donc égal à :

$$-\frac{1}{\omega} \text{Arc tg } \frac{\sqrt{2} \omega}{\omega_1} + \frac{1}{\omega} \text{Arc tg } \frac{\omega}{K} \approx \frac{\sqrt{2}}{\omega_1} + \frac{1}{K} = 2,3 \text{ msec avec les valeurs}$$

numériques du problème.

IV.3.2 - Réalisation de l'amplificateur de puissance

Le moteur est commandé par un amplificateur de puissance à transistor dont le dernier étage est du type push-pull (figure 4.11). Etant donné que le moteur tourne toujours dans le même sens, une seule alimentation continue positive est nécessaire.

Il s'ensuit une dissymétrie de fonctionnement de cet amplificateur qui entraîne une conception spéciale de la réalisation.

En effet au moment des accélérations ou en régime permanent le moteur consomme du courant par l'intermédiaire du transistor T_1 . Mais si on demande un freinage rapide, celui-ci ne pourra être obtenu que si le moteur peut céder rapidement l'énergie qu'il a accumulé du fait de son inertie. Il fonctionne alors en générateur de courant à travers T_2 .

La commande des transistors T_1 ou T_2 s'effectue donc suivant le signe du signal d'erreur de l'asservissement de vitesse. La séparation des deux voies est réalisée au moyen d'un montage redresseur double-alternance, débloquant le transistor approprié.

La tension aux bornes du moteur est-elle même asservie à la tension d'entrée de l'amplificateur pour assurer une parfaite linéarité de la réponse à un signal alternatif et éliminer l'influence des commutations entre T_1 et T_2 .

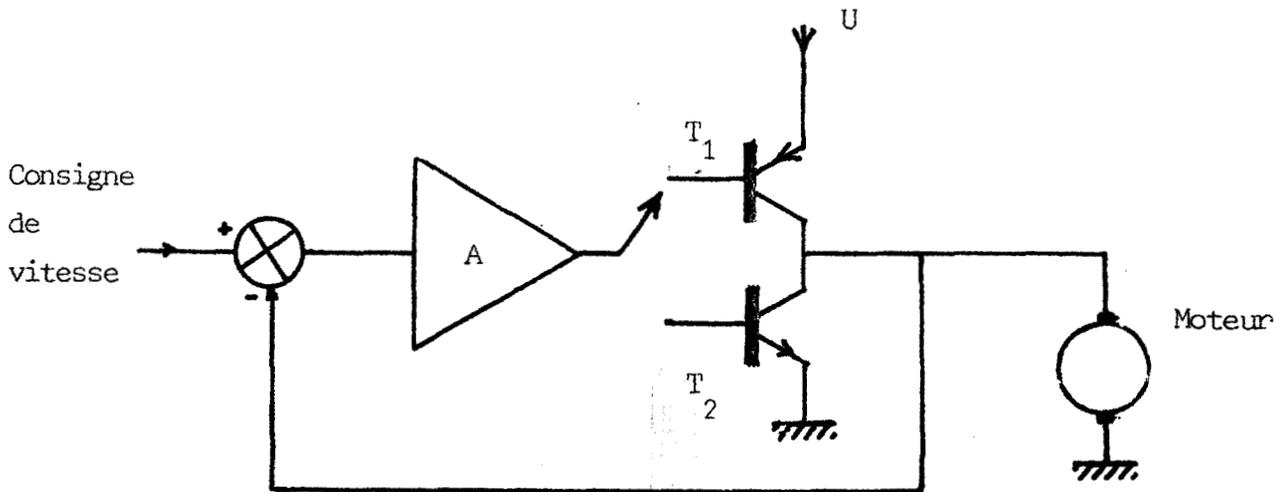


Figure 4.11 : Schéma de l'amplificateur de puissance

Il convient de signaler encore que la tension stabilisée qui alimente l'étage de puissance est asservie à la vitesse d'entrée de la mèche. Ceci permet une meilleure répartition de la puissance dissipée dans les transistors (figure 4.12) /8/. Elle possède également une limitation de courant fixée à 15 A. Cette limitation est suffisante pour assurer un fonctionnement correct en régime permanent, son rôle est de limiter le courant au moment du démarrage du régulateur (surintensités) (annexe E).

IV.4 - Conclusion

Nous avons donc réalisé un asservissement capable de suivre les variations de vitesse qui lui sont demandées. Ces variations de vitesse vont être obtenues à partir d'un signal résultant de la mesure de l'épaisseur de la mèche. Etant donné la rapidité de réponse du moteur, il est nécessaire que ce signal soit convenablement retardé pour s'appliquer à ce qui a été mesuré. Nous allons décrire dans le chapitre suivant la façon dont ce retard est obtenu.

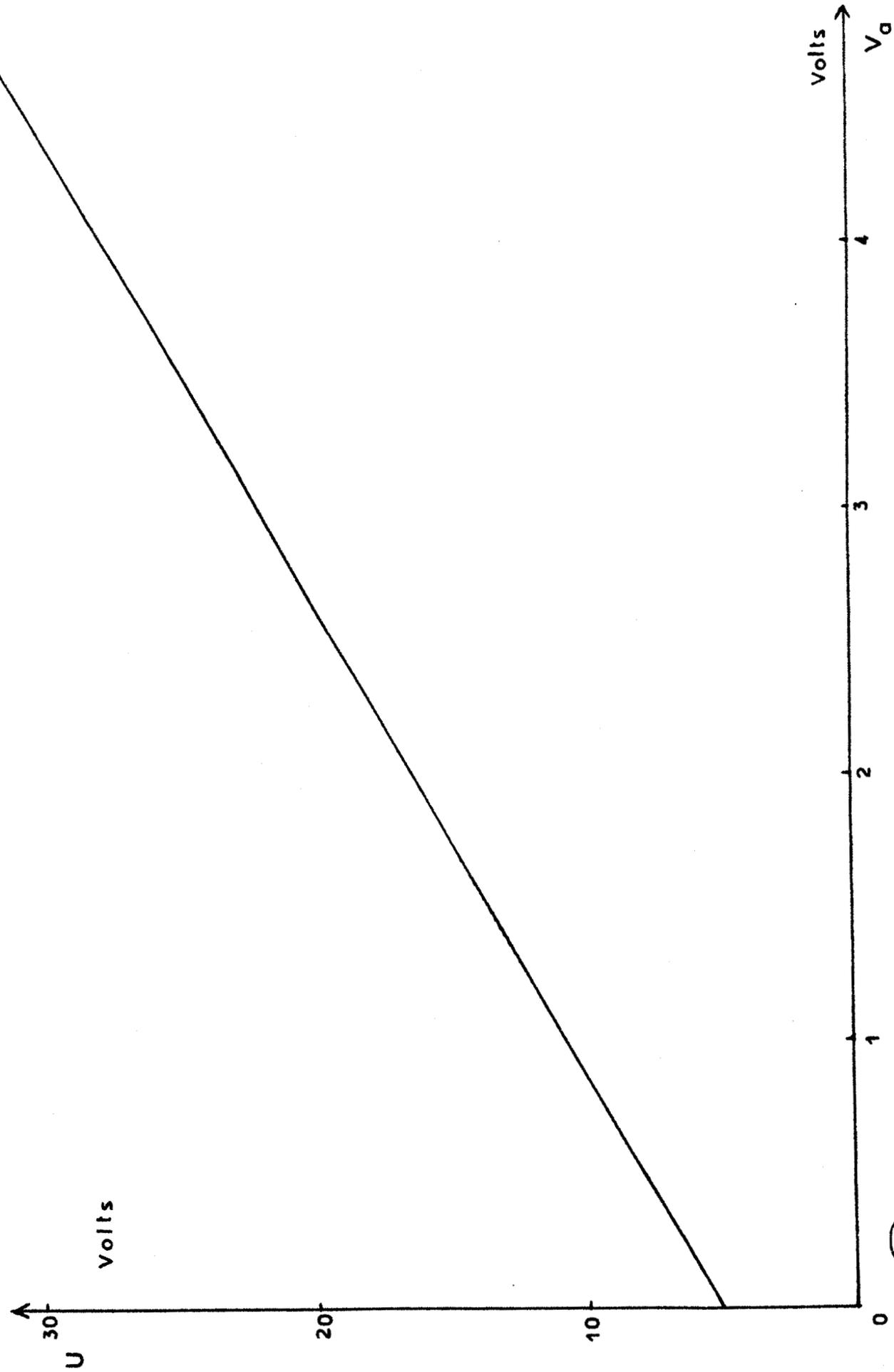


Figure 4.12 Variation de la tension d'alimentation avec la vitesse d'entrée



Chapitre V

CALCUL DU SIGNAL DE CORRECTION

V.1 - Réalisation d'une correction par rapport au titre moyen

V.1.1 - Principe

Nous avons vu au début de l'étude (chapitre I.3) que la régulation pouvait se faire par rapport à l'épaisseur moyenne de la mèche entrante et être limitée aux défauts de courte longueur d'onde, étant donné qu'une bonne régularité à long terme a déjà été acquise au cours des premiers passages de la préparation.

Le capteur de déplacement associé aux cylindres de mesure d'épaisseur fournit un signal proportionnel à la différence $S - S_0$, si S_0 est l'épaisseur de la mèche correspondant à son zéro électrique. Le signal d'écart d'une régulation par rapport au titre moyen sera alors simplement obtenu à l'aide d'un filtre passe-haut. En effet, celui-ci va éliminer la composante continue $S_0 - \bar{S}$ alors qu'il transmettra intégralement les fluctuations rapides de section. La fréquence de coupure de ce filtre n'a pas besoin d'être calculée précisément, elle définit simplement le domaine d'action du régulateur. Nous l'avons choisie égale à 0,1 Hz environ, ce qui correspond à une longueur d'onde d'une dizaine de mètres avec une vitesse de fonctionnement de 180 mètres à la minute.

Mais, le signal de correction de vitesse doit être établi en fonction des variations relatives d'épaisseur de la mèche (cf Chapitre I). Il importe donc de réaliser l'opération :

$$e = \frac{S(t) - S_0}{\bar{S}}$$

ce qui ne peut être fait exactement car on ne dispose pas de la valeur de \bar{S} . Cette difficulté peut être surmontée si on connaît une valeur approximative de l'épaisseur moyenne, étant donné que la précision des corrections peut être limitée dans le cas d'une régulation à court terme. (Pour une mèche de 4 grammes au mètre et avec le type de capteur utilisé, il est établi que l'épaisseur moyenne est de 800 μ environ).

La vitesse de sortie du régulateur est régie par l'équation :

$$V_D = 1,25 V_A (1+e) \quad (5.1)$$

qui peut aussi s'écrire :

$$V_D = 1,25 (V_A + V_A e)$$

Le signal de consigne de l'asservissement de vitesse résultera donc de la somme du signal de mesure de V_A et du signal de correction $V_A e$. Il s'avère nécessaire de calculer le produit $V_A e$ et les opérations à effectuer pour obtenir le signal de correction sont résumées figure 5.1.

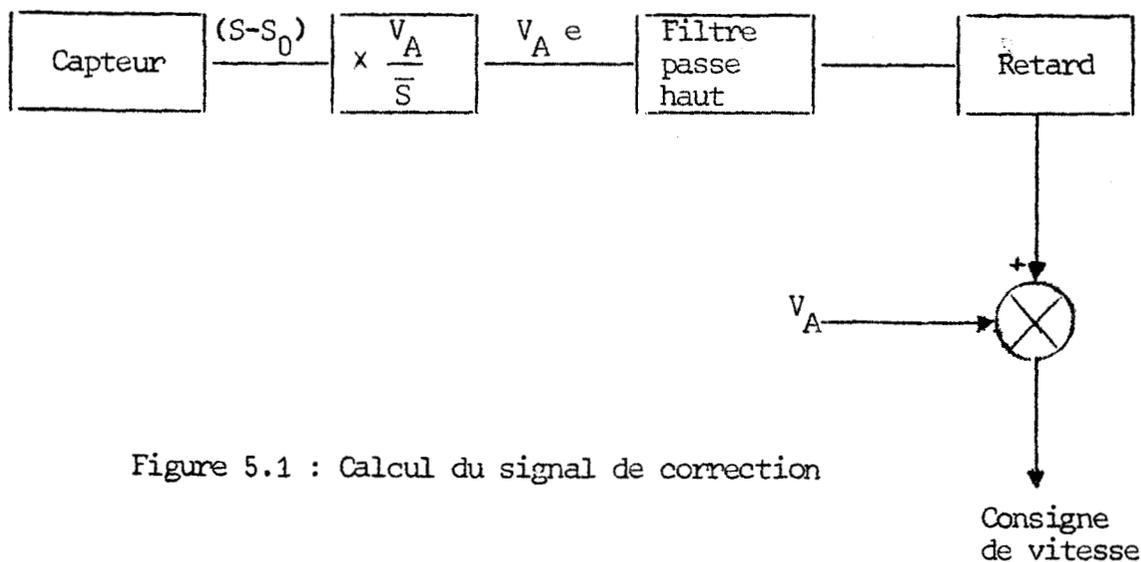


Figure 5.1 : Calcul du signal de correction

Celui-ci sera convenablement retardé afin d'être remis en correspondance avec le défaut qu'il doit permettre d'éliminer. Avant d'examiner en détail la façon de réaliser ce retard, nous allons décrire les circuits utilisés pour obtenir le produit $V_A e$.

V.1.2 - Etude des circuits fournissant le signal de correction de vitesse

La mesure d'épaisseur est effectuée par un capteur de déplacement linéaire associé aux cylindres alimentaires (cf IV.2.1.). Celui-ci comporte deux bobinages symétriques fixes à l'intérieur desquels est placé un barreau en ferrite. Les variations d'épaisseur provoquent le mouvement du barreau, ce qui déséquilibre le demi-pont formé par les deux bobines (figure 5.2)

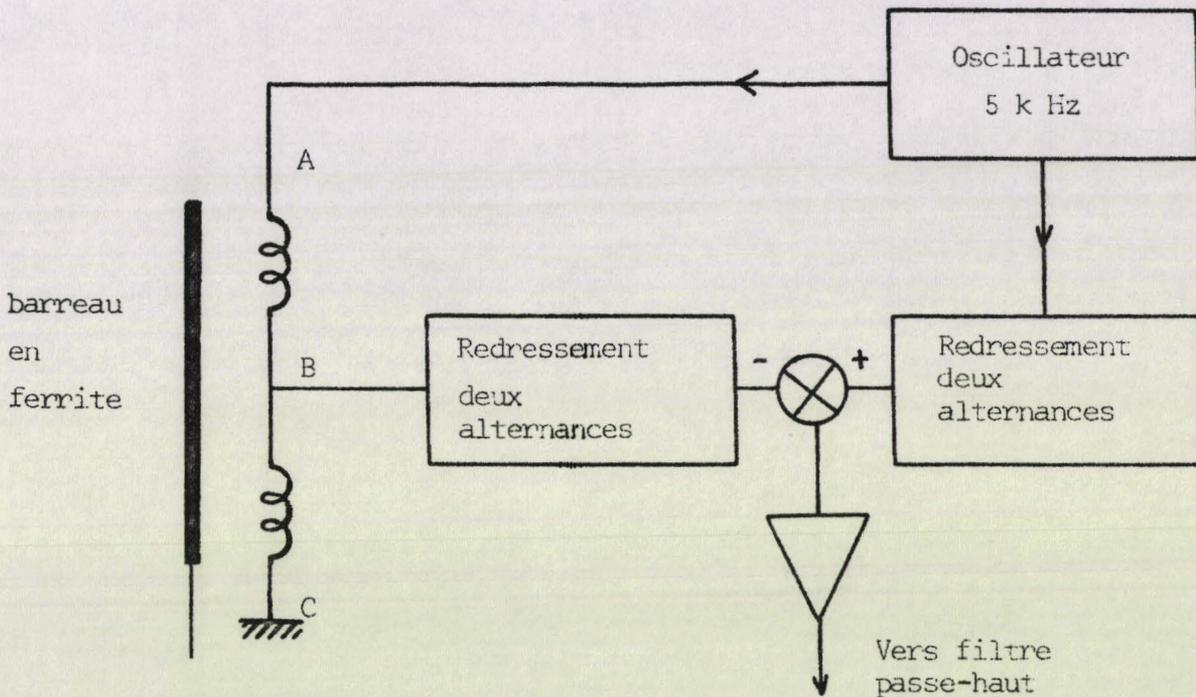


Figure 5.2 : Schéma électrique du capteur de déplacement

L'ensemble étant alimenté par un oscillateur sinusoïdal à 5 kHz. La différence de tension qui apparaît entre les deux bobines a une amplitude proportionnelle au déplacement Δd du barreau par rapport à la position d'équilibre :

$$|V_{AB}| - |V_{BC}| = 2 k \Delta d \quad (5.2)$$

Les tensions étant en phase

$$|V_{AB}| + |V_{BC}| = V_{osc} \quad (5.3)$$

d'où on déduit :

$$k_{\Delta d} = \frac{|V_{osc}|}{2} - |V_B| \quad (5.4)$$

La mesure de l'amplitude des différents signaux est obtenue simplement à l'aide de circuits redresseurs double-alternance (Annexe G). A la sortie de l'amplificateur sommateur on recueille un signal dont la composante continue est proportionnelle en grandeur et en signe aux variations relatives de l'épaisseur de la mèche. Le gain de cet amplificateur est fonction des caractéristiques mécaniques et électriques de l'ensemble du système ainsi que de l'épaisseur moyenne de la mèche à corriger (pour une mèche de 4 grammes au mètre il est de 8,4).

Il est apparu nécessaire d'effectuer le produit V_A e pour obtenir le signal de commande de l'asservissement de vitesse. Or le capteur de déplacement a une sensibilité k proportionnelle à l'amplitude de la tension qui l'alimente. La multiplication précédente pourra s'effectuer simplement en asservissant la tension de l'oscillateur à la vitesse d'entrée du régulateur.

Ceci est obtenu à l'aide de l'ensemble des circuits schématisés figure 5.3. On y distingue un multivibrateur fournissant un signal rectangulaire à 5 k Hz d'amplitude constante. Ce multivibrateur alimente un filtre sélectif au moyen d'un atténuateur à gain variable réalisé par un transistor à effet de champ. L'amplitude de l'oscillation sinusoïdale de sortie est mesurée par l'intermédiaire d'un circuit redresseur double-alternance et comparée à la valeur de V_A .

Le signal d'erreur est intégré et assure la polarisation du transistor à effet de champ réglant le gain.

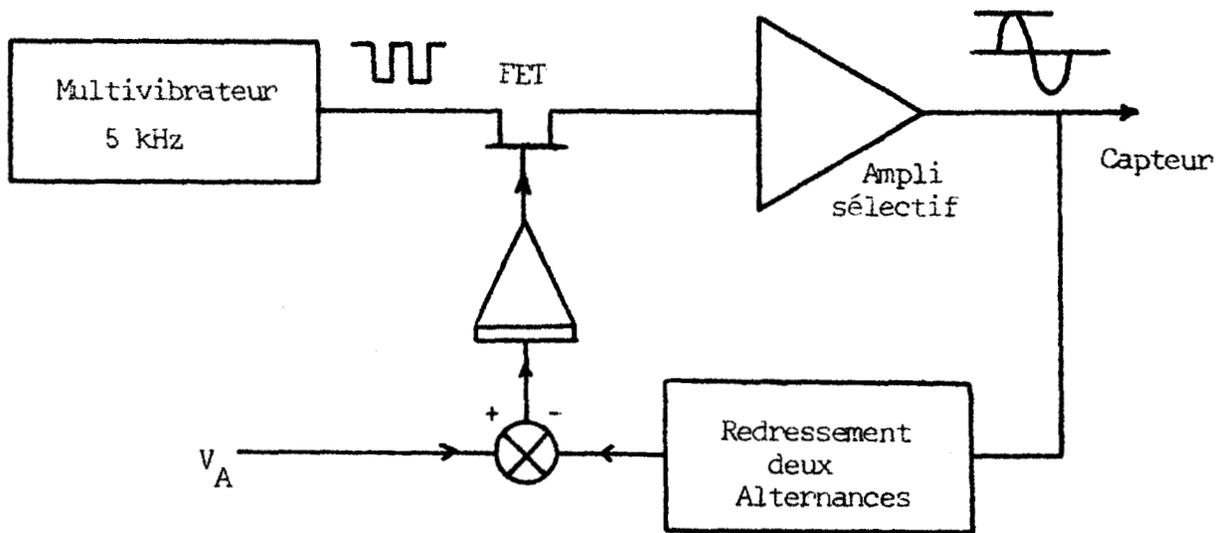


Figure 5.3 : Asservissement en tension de l'oscillateur

V.2 - Réalisation d'un retard pur

Nous disposons donc du signal de correction de vitesse permettant une régulation par rapport au titre moyen de la mèche. Il s'agit maintenant de retarder convenablement ce signal de manière à le mettre en coïncidence avec les défauts mesurés.

Pour cela, il est nécessaire que le retard électronique qu'on va lui faire subir puisse être ajusté en fonction de la géométrie du système d'étirage. Il faut aussi pouvoir transmettre toutes les fréquences utiles sans atténuation et ne pas apporter de distorsion ce qui pourrait perturber la régularité à long terme de la mèche.

L'écartement entre les rouleaux étireurs est généralement ajusté vers trois fois la longueur moyenne des fibres. Celle-ci variant de 5 à 10 cm selon la matière, et la vitesse d'entrée du régulateur étant de 2,4 m/sec le retard β doit pouvoir être réglé de 50 à 100 msec environ.

$$50 \leq \beta \leq 100 \text{ msec}$$

Il apparaît tout de suite qu'à l'échelle des circuits électroniques ces retards sont relativement importants. Nous allons examiner maintenant quels sont les différentes solutions possibles afin de les obtenir.

V.2.1 - Ligne à retard analogique

La ligne de retard est alors constituée d'une série de cellules élémentaires LC placées en cascade (figure 5.4).

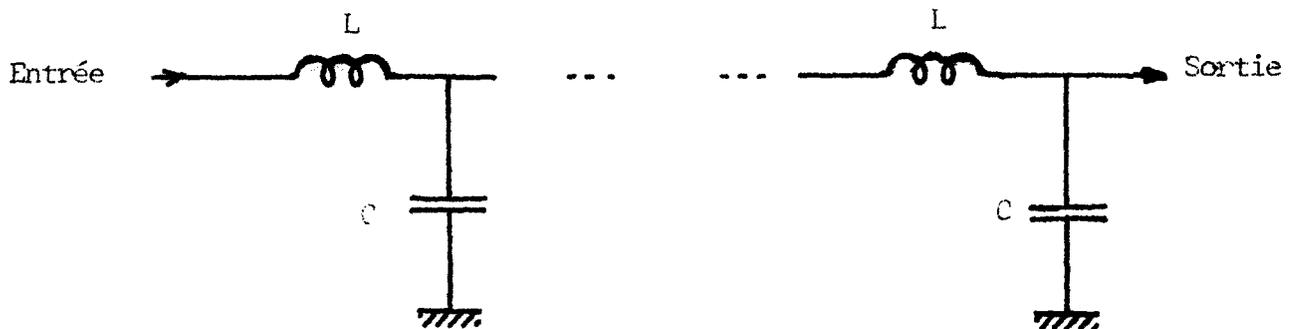


Figure 5.4 : Ligne à retard analogique.

Cette ligne à retard est couramment utilisée dans le domaine des hautes fréquences mais elle ne permet alors que des retards inférieurs à la milli-seconde. Si les retards doivent être plus importants, il faut employer des capacités et des inductances de fortes valeurs, difficiles à réaliser. D'autre part, le réglage du retard ne peut se faire simplement et celui-ci n'est pas constant à l'intérieur de la bande passante. Si on note en outre que de la distorsion peut apparaître du fait de la non linéarité des éléments selfiques, il ne semble pas possible de retenir une solution de ce type.

L'emploi d'une ligne à retard acoustique ne peut être envisagé non plus dans le domaine d'utilisation prévu et du fait de l'absence de réglage possible

V.2.2 - Ligne à retard à mémoire

V.2.2.1 - Principe

Dans ce type de ligne à retard le signal est échantillonné, mis en mémoire puis restitué au bout du temps désiré. Le temps de retard est défini par le nombre de positions de la mémoire et la fréquence d'échantillonnage :

$$\beta = N T_e \quad (5.5)$$

avec N : nombre de positions de la mémoire

T_e : période d'échantillonnage

La mémoire ayant une capacité donnée le retard pourra être réglé simplement en agissant sur la période d'échantillonnage.

Il reste à déterminer quel est le nombre de positions de mémoire nécessaire au stockage des informations et quelles sont les performances quant à la fidélité de transmission du signal.

V.2.2.2 - Choix du nombre de positions de la mémoire

Il est indispensable lors de l'échantillonnage de respecter le théorème de Shannon : (réf 9)

$$f_e = n f_{\max} \quad \text{avec } n > 2 \quad (5.6)$$

où f_{\max} est la fréquence maximale à transmettre.

$$f_{\max} = \frac{V_A}{\lambda_{\min}} \quad (5.7)$$

Or, à partir de l'étude de la fonction de transfert du système (chapitre III) il est apparu que la régulation ne pouvait être efficace que pour les longueurs d'onde supérieures à la longueur moyenne des fibres

$$\text{Donc } \lambda_{\min} = \bar{L} \quad (5.8)$$

$$\text{d'où } f_{\max} = \frac{V_A}{\bar{L}} = \frac{1}{\tau}$$

A partir des relations précédentes nous déduisons :

$$\beta = N T_e = \frac{N}{n} \tau \quad (5.9)$$

Si l'on admet que l'écartement des rouleaux est $3 \bar{L}$, dans le cas le plus défavorable, alors $\beta = 2,5 \tau$ et on en déduit :

$$N = 2,5 n \quad \text{avec } n > 2$$

Le choix du nombre de mémoires est lié à la valeur du coefficient n . Celui-ci dépend essentiellement du taux de distorsion toléré et de l'efficacité du filtrage avant échantillonnage comme nous allons le montrer maintenant /10/.

En effet le signal n'a pas en général de spectre fini et l'autodistorsion apparaît lors de l'échantillonnage par composition des fréquences du spectre au delà de $f_e/2$. Il ne sera jamais possible de retrouver celui-ci exactement mais la déformation en sera d'autant plus faible que le filtrage est efficace et la fréquence d'échantillonnage élevée par rapport à la fréquence de coupure du filtre.

Nous avons choisi de réaliser le filtre à partir d'un gabarit de Butterworth étant donné sa facilité de réalisation /5/. Sa fonction de transfert est de la forme :

$$|H(f)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2d}} \quad (5.10)$$

avec d : ordre du filtre

f_c : fréquence de coupure

Le cas le plus défavorable est celui où le spectre du signal d'entrée s'assimile à $H(f)$. On peut définir alors le taux d'autodistorsion μ comme le rapport entre l'énergie totale du signal transmis à l'énergie comprise au delà de $f_e/2$:

$$\mu = \sqrt{\frac{W \text{ au delà de } f_e/2}{W \text{ signal}}} \quad (5.11)$$

$$\text{Soit } \mu = \sqrt{\frac{\int_{f_e/2}^{\infty} |H(f)|^2 df}{\int_0^{\infty} |H(f)|^2 df}} \quad (5.12)$$

$$\text{d'où on déduit } \mu = 2^d \sqrt{\frac{d}{\pi(2d-1)} \left(\frac{f_c}{f_e}\right)^{2d-1} \sin \frac{\pi}{2d}} \quad (5.13)$$

Si on s'impose un filtre d'ordre trois, aisément réalisé en pratique car les éléments sont dans un rapport simple, et un taux d'autodistorsion maximum de 1 %, on obtient alors $f_e/f_c = 10$. Dans ces conditions il apparaît nécessaire de disposer d'une mémoire d'au moins 25 positions.

V.2.2.3 - Mode de stockage de l'information

L'information peut être stockée de deux manières différentes sous forme analogique ou sous forme numérique.

. Stockage sous forme analogique

On utilise des capacités à très faibles pertes, l'écriture de la mémoire étant assurée par des transistors MOS associés à des amplificateurs opérationnels (figure 5.5).

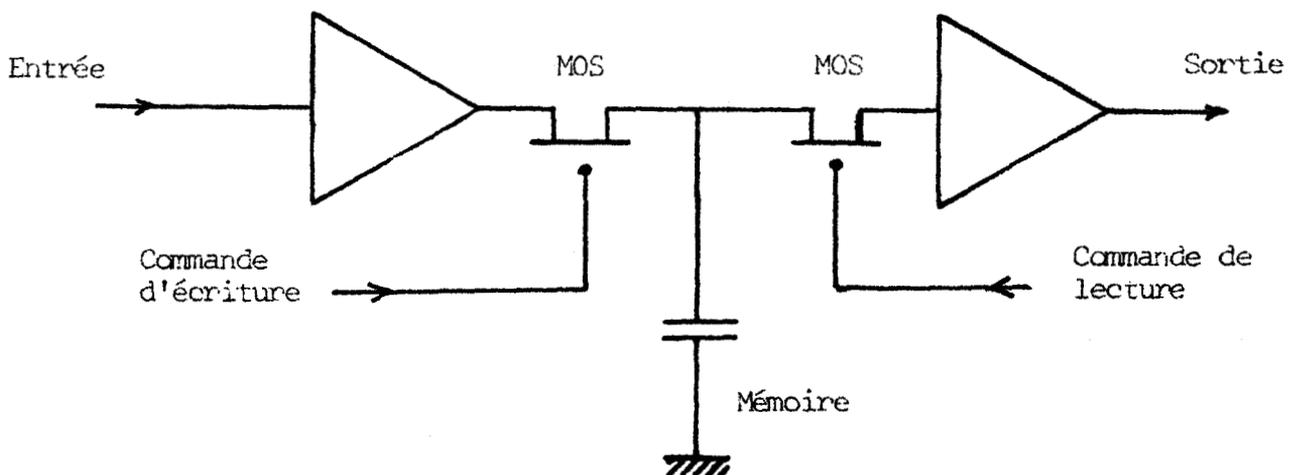


Figure 5.5 : Schéma d'une cellule de mémoire analogique

Pour que l'information ne soit pas dégradée dans une telle mémoire, il est nécessaire d'employer des composants de bonne qualité. De ce fait, l'association d'un nombre important de cellules devient extrêmement onéreuse.

. Stockage sous forme numérique

Pour utiliser ce type de mémoire il est nécessaire de procéder à une conversion du signal d'entrée en mots binaires. Mais cette légère complication est largement compensée par les avantages offerts par les circuits numériques. Il est possible de disposer actuellement de registres et de mémoire à grande capacité à l'aide de circuits intégrés pour un prix de revient très faible. De plus, un tel système peut permettre, grâce à l'utilisation de circuits de multiplexage, d'utiliser la même mémoire pour plusieurs régulateurs fonctionnant en parallèle.

C'est pourquoi, nous avons choisi de retenir cette solution. La conversion du signal est effectuée sur huit bits, donnant une précision de 0,5 % largement suffisante pour l'utilisation envisagée. La mémoire est constituée d'un registre à décalage MOS de 256 bits permettant de stocker 32 échantillons du signal. Celui-ci est enfin reconstitué grâce à un convertisseur numérique-analogique très classique (Figure 5.6).

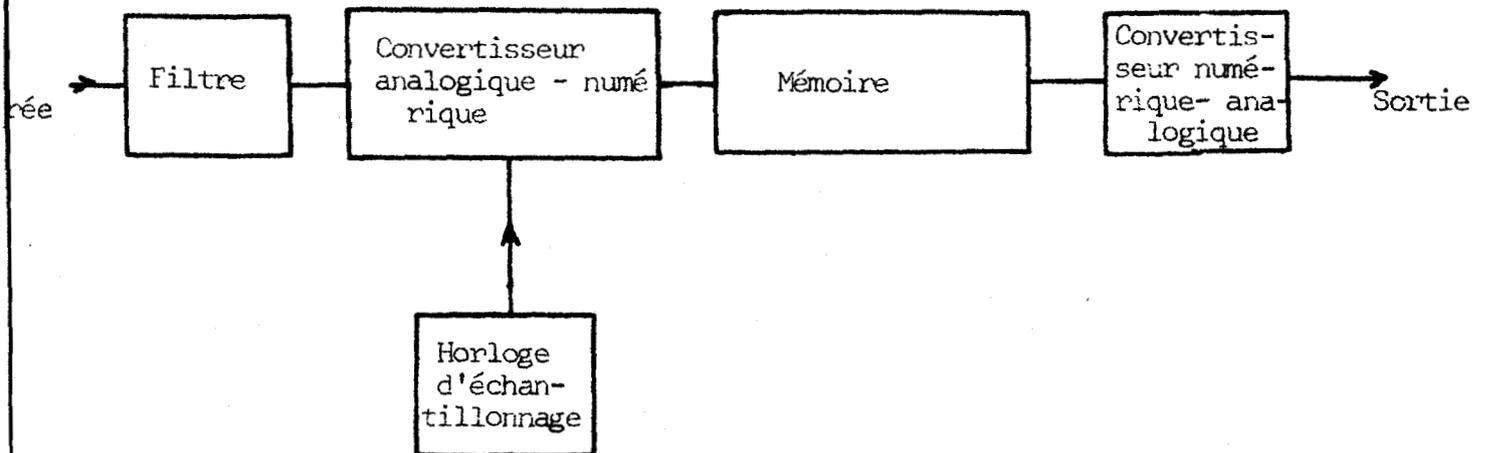


Figure 5.6 : Schéma de fonctionnement de la ligne de retard

Etant donné la capacité de la mémoire, la fréquence de l'horloge d'échantillonnage pourra varier de 300 Hz à 1,5 k Hz pour obtenir les retards désirés.

La fréquence de coupure du filtre ne peut être ajustée simplement, aussi l'avons nous laissée constante et égale à 80 Hz de manière à laisser passer les fluctuations les plus rapides. Ceci se traduira par une augmentation de l'autodistorsion du signal quand le retard sera maximum.

V.2.3 - Description des circuits

. Horloge d'échantillonnage

L'horloge d'échantillonnage est réalisée au moyen d'un générateur d'impulsions à transistor unijonction (fig. 5.7). La fréquence en est ajustée à l'aide d'un potentiomètre multitours.

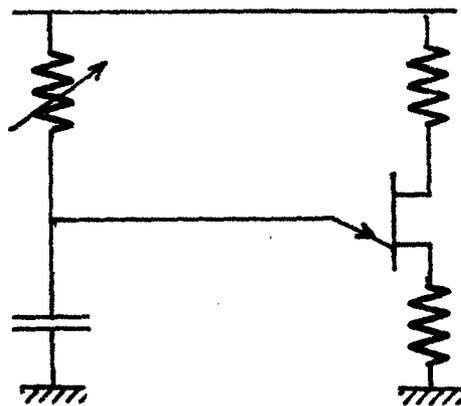


Figure 5.7 : Horloge d'échantillonnage

Ce montage permettrait éventuellement d'asservir le retard à un signal extérieur en modifiant la tension de charge du condensateur.

Nous avons tracé la courbe donnant la valeur du retard en fonction de l'affichage du potentiomètre.

Il a été tenu compte dans ce tracé de tous les retards supplémentaires introduits par les différents filtres et circuits (figure 5.8)..(page 75).

. Filtre

Le filtre de Butterworth est composé de deux amplificateurs bouclés placés en cascade (figure 5.9). Sa courbe de réponse montre qu'il est capable de transmettre toutes les fréquences utiles avec un retard pratiquement constant (figure 5.10, page 76).

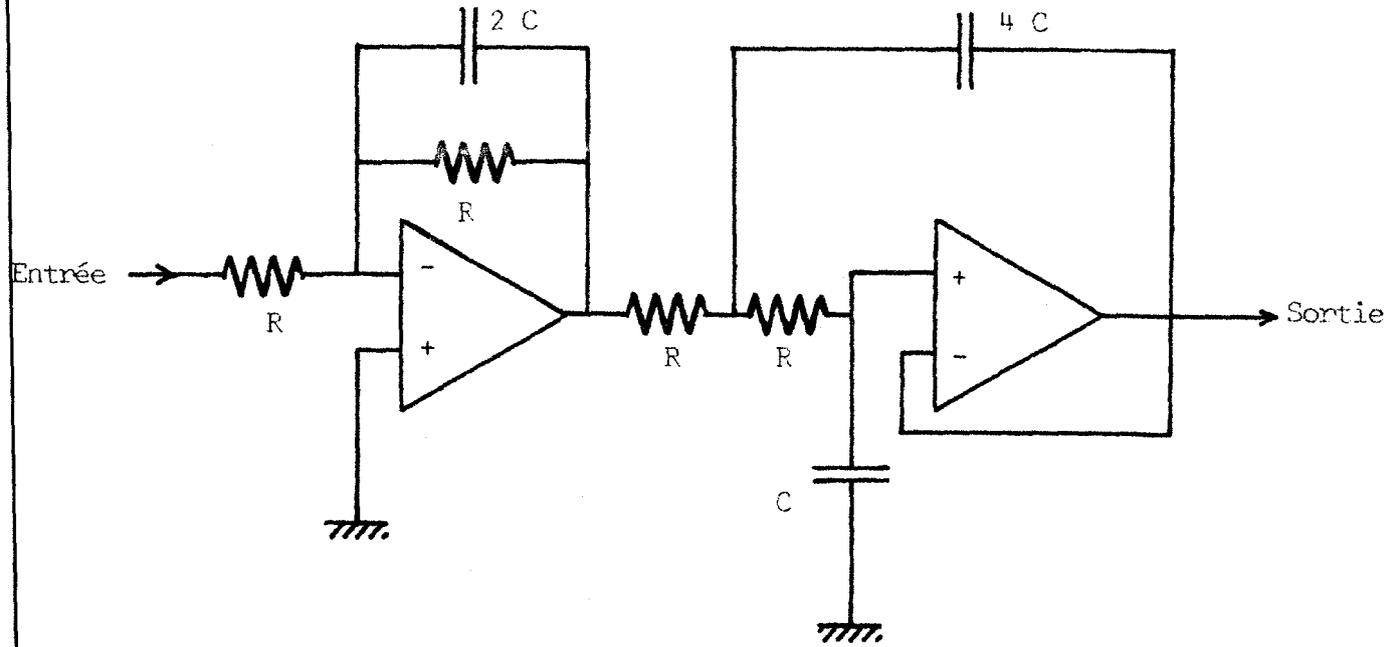


Figure 5.9 : Schéma du filtre

. Convertisseur analogique numérique

Le convertisseur analogique-numérique utilise la méthode des pesées successives /11/. Les bits du mot mémoire sont obtenus sous forme série et entrés dans le registre de stockage à chaque impulsion d'horloge. Le temps de conversion est de 80 μsec , ce qui est suffisamment faible vis à vis de la période du signal pour pouvoir être négligé. Le schéma de principe du convertisseur est donné figure 5.11.

La translation de niveau du signal à convertir pour l'adapter à la tension de référence est réalisée par des circuits analogiques. Une conversion nécessite un train d'impulsions H.F qui est produit à partir d'un multivibrateur et d'un ensemble de portes. Des monostables permettent en outre de retarder convenablement ces impulsions de manière à les utiliser pour la commande des registres du convertisseur numérique-analogique. Tous les schémas détaillés de cet ensemble ont été reportés en Annexe H.

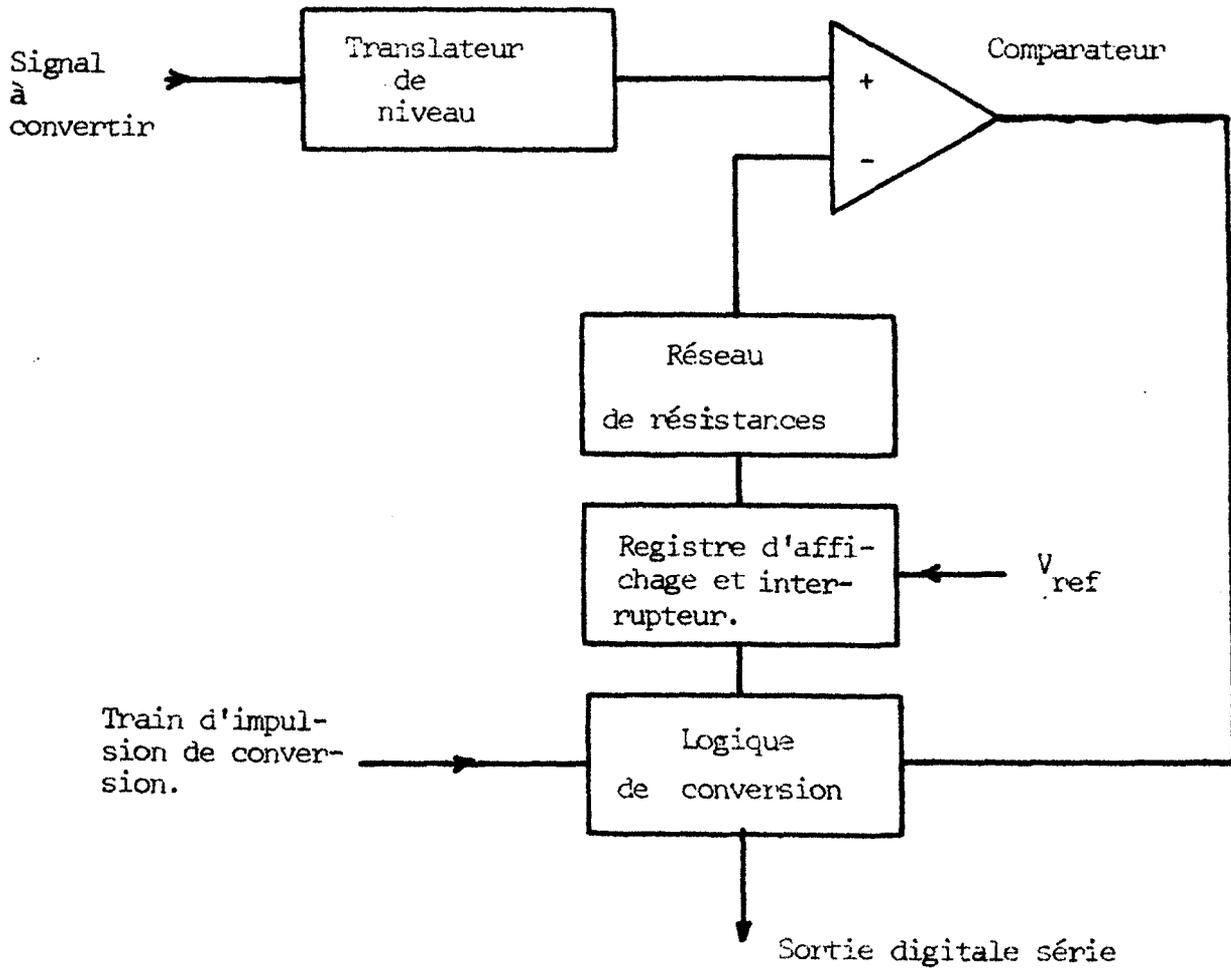


Figure 5.11 : Convertisseur analogique-numérique

. Convertisseur numérique-analogique

Le convertisseur est réalisé très simplement au moyen d'un registre à décalage et d'une échelle de résistances (figure 5.12). Il réalise la fonction d'un bloqueur d'ordre zéro et introduit un retard pur qui est voisin de la moitié de la période d'échantillonnage.

Une commande permet de bloquer les conversions au démarrage et à l'arrêt du régulateur. Elle est destinée à supprimer le signal de correction afin de permettre l'arrêt du moteur d'étrépage simultanément à l'arrêt du moteur entraînant les cylindres d'entrée. En effet, la présence du filtre passe-haut dans le circuit de calcul du signal de correction aurait pour effet de maintenir le moteur d'étrépage en rotation pendant quelques secondes après l'arrêt du régula

teur ce qui provoquerait à chaque fois une casse de la mèche.

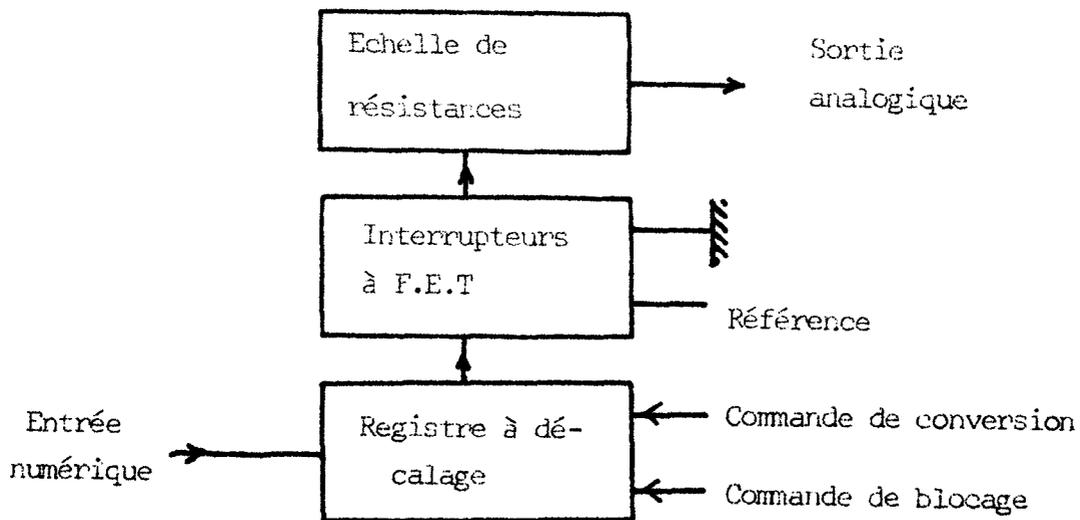


Figure 5.12 : Schéma du convertisseur numérique-analogique

V.3 - Conclusion

Nous venons de montrer qu'il était possible de faire une régulation par rapport au titre moyen de la mèche et que cette régulation allait pouvoir être améliorée grâce à l'introduction d'un retard pur réalisé électroniquement.

Ce module de retard pur possède une excellente linéarité afin de ne pas introduire de distorsion et modifier la régularité à long terme de la mèche (figure 5.13). Sa bande passante est suffisante pour transmettre les corrections les plus rapides (figure 5.14).

Il convient maintenant de déterminer le réglage de ce retard en fonction des résultats obtenus dans la pratique et examiner si celui-ci est conforme à ce qui a été calculé à l'aide du modèle mathématique du système.

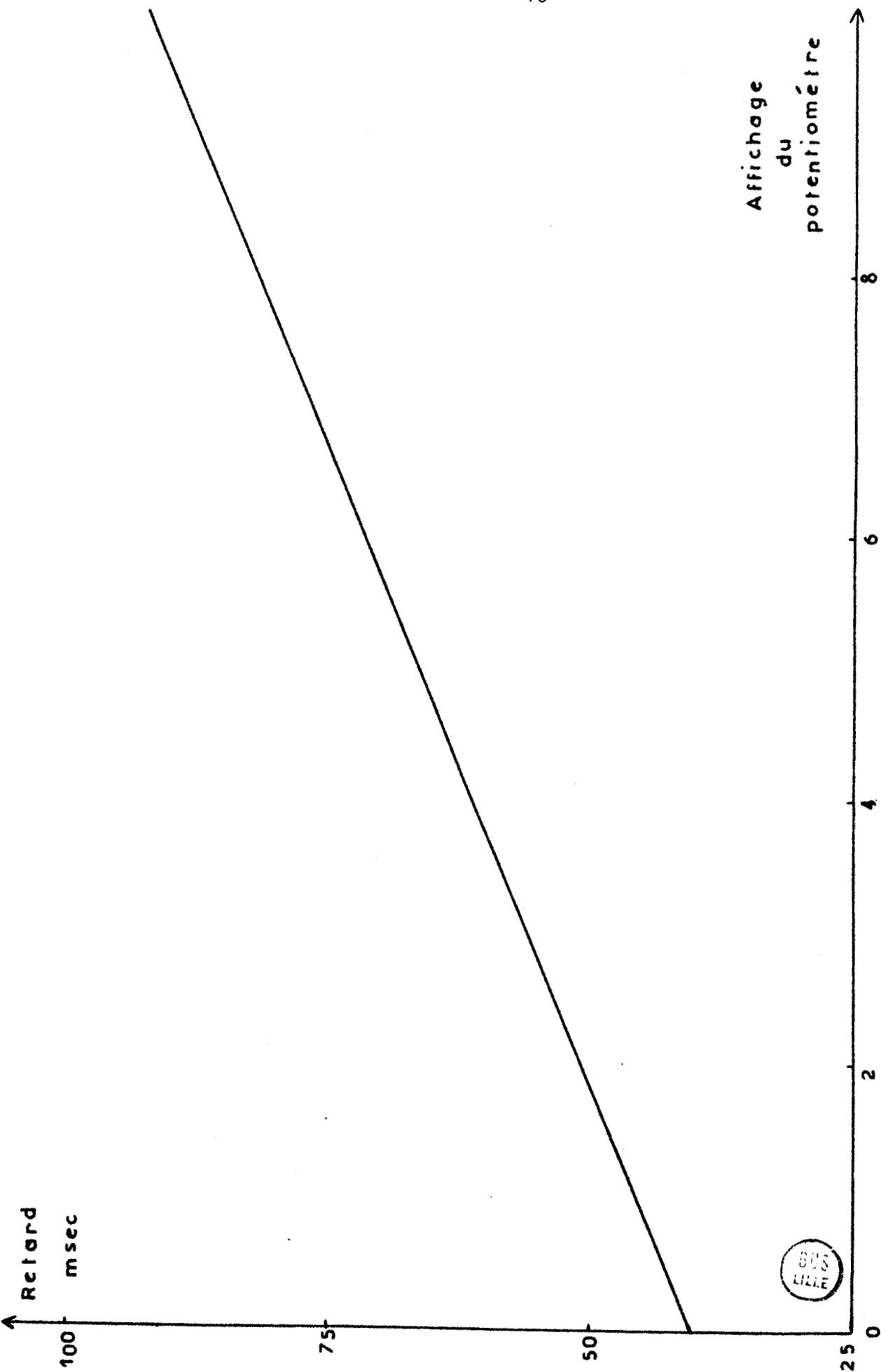


Figure 5.8 : Courbe d'étalonnage de la ligne de retard

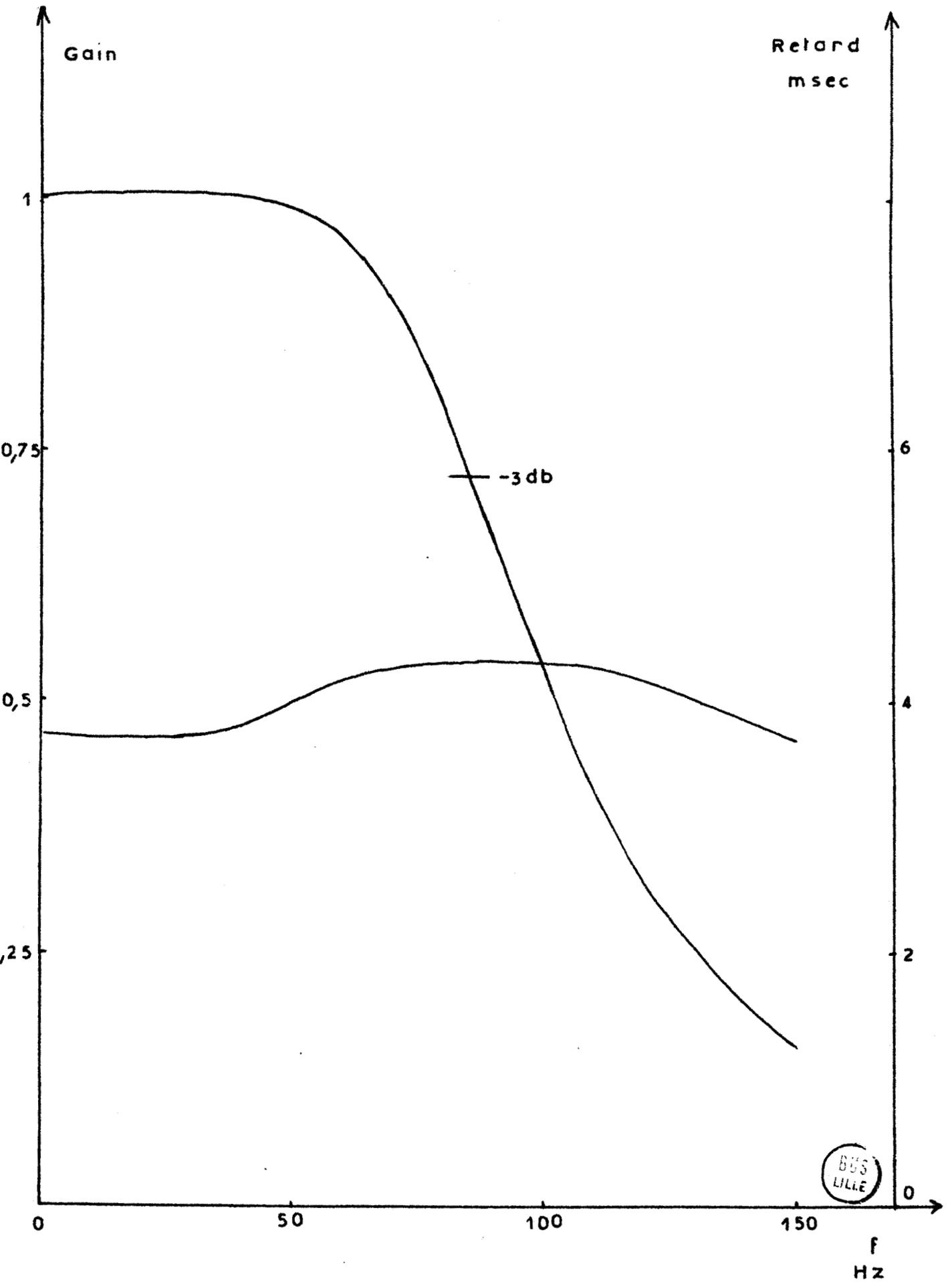


Figure 5.10 : Fonction de transfert du filtre

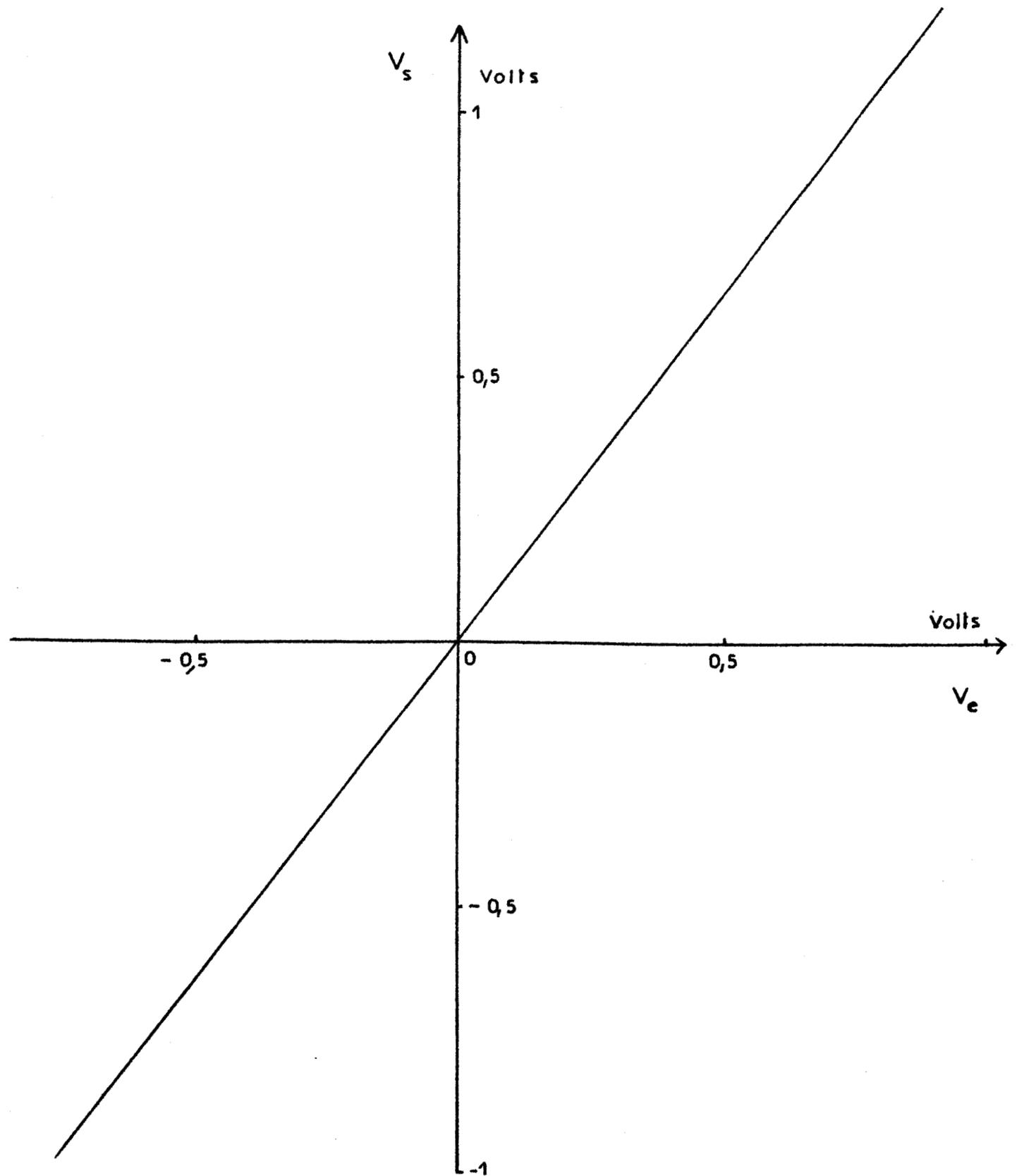


Figure 5.13 : Linéarité de la ligne de retard



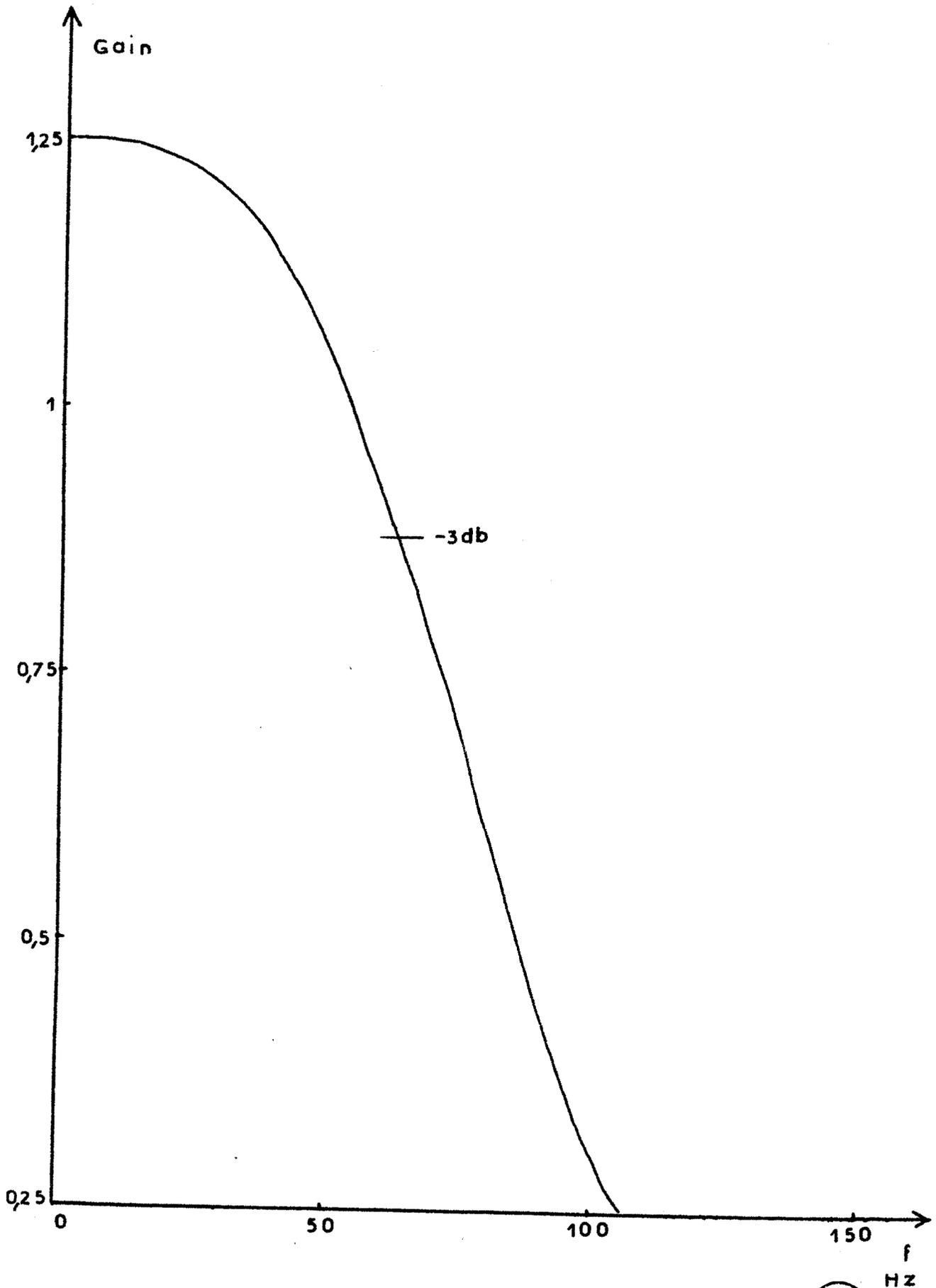


Figure 5.14 : Fonction de transfert de la ligne de retard.



Chapitre VI

ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS

VI.1 - Réglage du banc d'étirage

De nombreuses difficultés sont apparues lors de la mise au point du régulateur en ce qui concerne le réglage du banc d'étirage. La présence des peignes généralement utilisés pour le contrôle des fibres s'est révélée inutile et même préjudiciable à la qualité de la régulation.

Ceci peut s'expliquer par le fait que l'introduction des peignes oblige à augmenter l'écartement des rouleaux étireurs plus qu'il n'est nécessaire, écartement imposé par l'encombrement de la mécanique d'entraînement. Il en résulte un accroissement du nombre des fibres flottantes dont l'influence sur la qualité de l'étirage est plus importante que celle de l'effet de retenue exercé par les peignes. L'utilisation d'un taux d'étirage très faible, il ne dépasse jamais 1,5, vient aussi justifier l'absence de ce système classique de contrôle des fibres.

Nous avons donc employé lors des essais un banc d'étirage simplifié où il est possible de modifier à volonté l'écartement entre les cylindres alimentaires et délivreurs de manière à l'adapter au mieux à la matière travaillée. Le contrôle de fibres y est simplement assuré grâce à la retenue qui s'exerce sur celles-ci au niveau des cylindres alimentaires du fait de la compression de la mèche dans la gorge de mesure.

Il est possible de représenter graphiquement l'évolution du nombre de fibres en section de la mèche au cours de son passage dans le banc d'étirage. On peut y distinguer les fibres tenues par les cylindres d'entrée et celles tenues par les cylindres de sortie. Le nombre des premières diminue au fur et à mesure que l'on s'approche des cylindres délivreurs, alors qu'au contraire celui des secondes augmente, les deux courbes étant à peu près homothétiques l'une de l'autre dans le rapport $1/E$. (Figure 6.1). En retranchant la somme des fibres tenues du nombre total de fibres en section, on obtient le nombre de fibres flottantes. Celui-ci est représenté sur la figure par la zone hachurée.

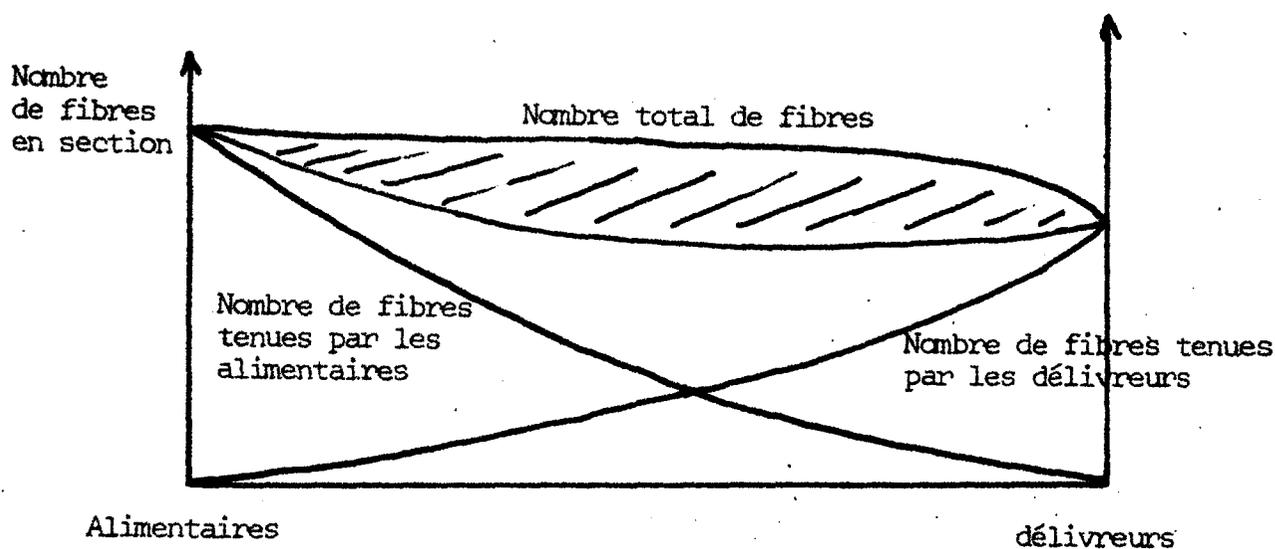


Figure 6.1 : Evolution du nombre de fibres en section de la mèche dans le banc d'étirage.

On peut considérer que l'étirage commence à se produire par entraînement des fibres flottantes au voisinage du point où le nombre des fibres en section ayant la vitesse des cylindres délivreurs devient supérieur à celui des fibres ayant la vitesse des alimentaires. De toute façon, les fibres flottantes étant accélérées progressivement, l'étirage ne sera jamais ponctuel. Il aura lieu dans un domaine qui s'étend depuis le milieu de la distance qui sépare les rouleaux étireurs jusqu'aux cylindres de sortie.

L'entraînement des fibres flottantes dépend de leur diagramme de longueur et de leur nature et il est évident qu'une qualité de matière où le nombre de fibres longues est réduit donnera un étirage moins bon qu'une qualité où la dispersion des longueurs de fibres est faible.

Pour pouvoir définir le modèle mathématique du système de régulation nous avons supposé que l'étirage était ponctuel et se situait au niveau des cylindres délivreurs (cf Chapitre II). Ceci ne pouvant être réalisé en pratique, (impossibilité d'exercer un contrôle rigoureux du mouvement des fibres) il va en résulter une diminution des performances du régulateur vers les faibles longueurs d'onde par rapport à celles qui ont été calculées. En outre il est évident que le réglage du retard donnant les résultats les meilleurs sera plus faible que prévu, l'étirage ayant lieu plus rapidement.

VI.2 - Réglage du retard

VI.2.1 - Méthode d'analyse

Les essais ont portés sur trois mèches de qualités différentes. Pour chacune d'elles, il a d'abord été fait une mesure du diagramme de longueur des fibres. Cette mesure permet de déterminer la longueur moyenne des fibres ainsi que leur longueur maximale de façon à régler correctement l'écartement des cylindres étireurs.

Les mèches ont ensuite été étirées en donnant à chaque fois un réglage différent au retard. La mesure de la régularité à très court terme après étirage permet de définir le retard donnant les performances les meilleures.

Cette régularité est mesurée au moyen d'un appareil enregistrant graphiquement la section de la mèche du type "Sliver Tester". Le principe de la mesure est le suivant :

- Pour une longueur de un mètre de mèche on calcule l'écart maximum qui existe entre une surépaisseur et une finesse et on fait la moyenne des résultats ainsi obtenus sur dix mètres. Il reste alors à diviser cette valeur par la section moyenne de la mèche pour obtenir une évaluation de l'écart relatif maximum des variations de section.

Cette mesure de régularité est utilisée en fabrication pour surveiller la qualité de la production.

Une fois le réglage du retard optimum déterminé, nous avons mesuré le coefficient de variation global de section de la mèche avant et après régulation au moyen du régularimètre électronique Uster. Ce coefficient traduit l'influence de tous les défauts à court ou à long terme et se calcule au moyen de la relation :

$$U = \frac{\sigma_s}{\bar{S}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{u} \left\{ \int_0^u s^2(u) du - \left(\int_0^u s(u) du \right)^2 \right\}}}{\frac{1}{u} \int_0^u s(u) du} \quad (6.1)$$

où u représente la longueur de mèche analysée.

Les résultats des essais sont reportés dans les trois tableaux ci-dessous.

Mèche A

Longueur moyenne des fibres : 6,4 cm

Coefficient de dispersion en longueur : 68 %

Ecartement des rouleaux : 20 cm

Vitesse d'entrée de la mèche : 150 m/mn

Coefficient d'irrégularité à très-court terme avant régulation : 20,9 %

Coefficient de variation de section : 11 %

Réglage du retard électronique msec	Coefficient d'irrégularité à très court terme après régulation
41	17,8
46	16,3
51	19,5
61	27,4
71	41,0
82	45,5
92	48,0

Coefficient de variation de section après étirage avec un retard de 46 msec : 5,3 %

Mèche B

Longueur moyenne des fibres : 8,0 cm

Coefficient de dispersion des longueurs 65 %

Ecartement des rouleaux : 20 Cm

Vitesse d'entrée de la mèche 150 m/mn

Coefficient d'irrégularité à très court terme avant régulation : 15,8 %

Coefficient de variation de section : 3,3 %

Réglage du retard électronique msec	Coefficient d'irrégularité à très court terme
41	13,1 %
46	13,1 %
51	15,3 %
56	16,0 %
61	17,5 %
71	19,5 %
82	23,6 %

Coefficient de variation de section après étirage avec un retard de 46 msec : 2,8 %.

Mèche C

Longueur moyenne des fibres : 5,1 cm

Coefficient des dispersions des longueurs : 79 %

Ecartement des rouleaux : 19 cm

Vitesse d'entrée de la mèche : 150 m/mn

Coefficient d'irrégularité à très court terme avant régulation : 40,5 %

Coefficient de variation de section : 8,5 %

Il s'agit ici d'une mèche de mauvaise qualité contenant beaucoup d'impuretés :

Réglage du retard électronique msec	Coefficient d'irrégularité à très court terme
41	38,5
46	35,2
51	38,4
56	45,5
61	54

Coefficient de variation de section après étirage avec un retard de 46 msec : 7 %.

VI.2.2 - Interprétation des résultats

La connaissance de la valeur du retard donnant la meilleure régularité de la mèche permet de déterminer la zone où a lieu l'étirage. Il convient d'ajouter au retard électronique celui qui résulte de la mesure d'épaisseur. (Cf chap II et III).

Nous obtenons : avec la mèche A $\beta = 14$ cm
avec la mèche B $\beta = 14,8$ cm
avec la mèche C $\beta = 13,3$ cm

La comparaison de ces résultats avec l'écartement des rouleaux montre que l'étirage se produit dans une région dont la distance aux cylindres de sortie est de l'ordre de la longueur moyenne des fibres. Ceci s'interprète assez bien physiquement, car c'est au voisinage de ce point que le nombre de fibres tenues par les cylindres de sortie devient suffisamment important pour pouvoir entraîner les fibres flottantes, comme nous l'avons montré plus haut (cf VI.1)

Quand le réglage du retard est optimum, il apparaît que la diminution du coefficient d'irrégularité à très court terme de la mèche est relativement faible, ce qui s'explique facilement pour les raisons suivantes :

- ce coefficient dépend largement de la propreté de la mèche. Si celle-ci contient des boutons ou des pailles, comme c'est le cas par exemple pour la mèche C, ces impuretés ne pourront pas être éliminées par l'étirage.

- le régulateur ne peut avoir d'action sur les défauts dont la longueur d'onde est inférieure à la longueur moyenne des fibres. Ceci a été démontré grâce à l'étude de la fonction de transfert du système et il est évident que les performances obtenues ne peuvent atteindre cette limite qui constitue le cas idéal.

L'influence du régulateur sur la régularité à court terme de la mèche est cependant mise en évidence par le fait que l'utilisation d'un retard trop important ou trop faible conduit à une amplification des défauts.

L'examen des figures 6.2 et 6.3 permet d'observer ces résultats. Nous y avons représenté à chaque fois la section de la mèche A avant et après régulation. Dans le premier cas, où le réglage du retard est correct, l'atténuation et l'élimination des irrégularités dont la longueur d'onde atteint quelques dizaines de cm est évidente. Dans le second cas au contraire, où le retard est trop important il se produit une amplification des irrégularités et l'apparition d'ondes d'étirage. Pour chacune des deux mèches obtenues après régulation, la régularité à moyen terme est améliorée car les fluctuations de section restent bien centrées autour de la valeur moyenne.

Les améliorations résultant de l'action du régulateur sont également bien mises en évidence par la diminution du coefficient de variation global de section.

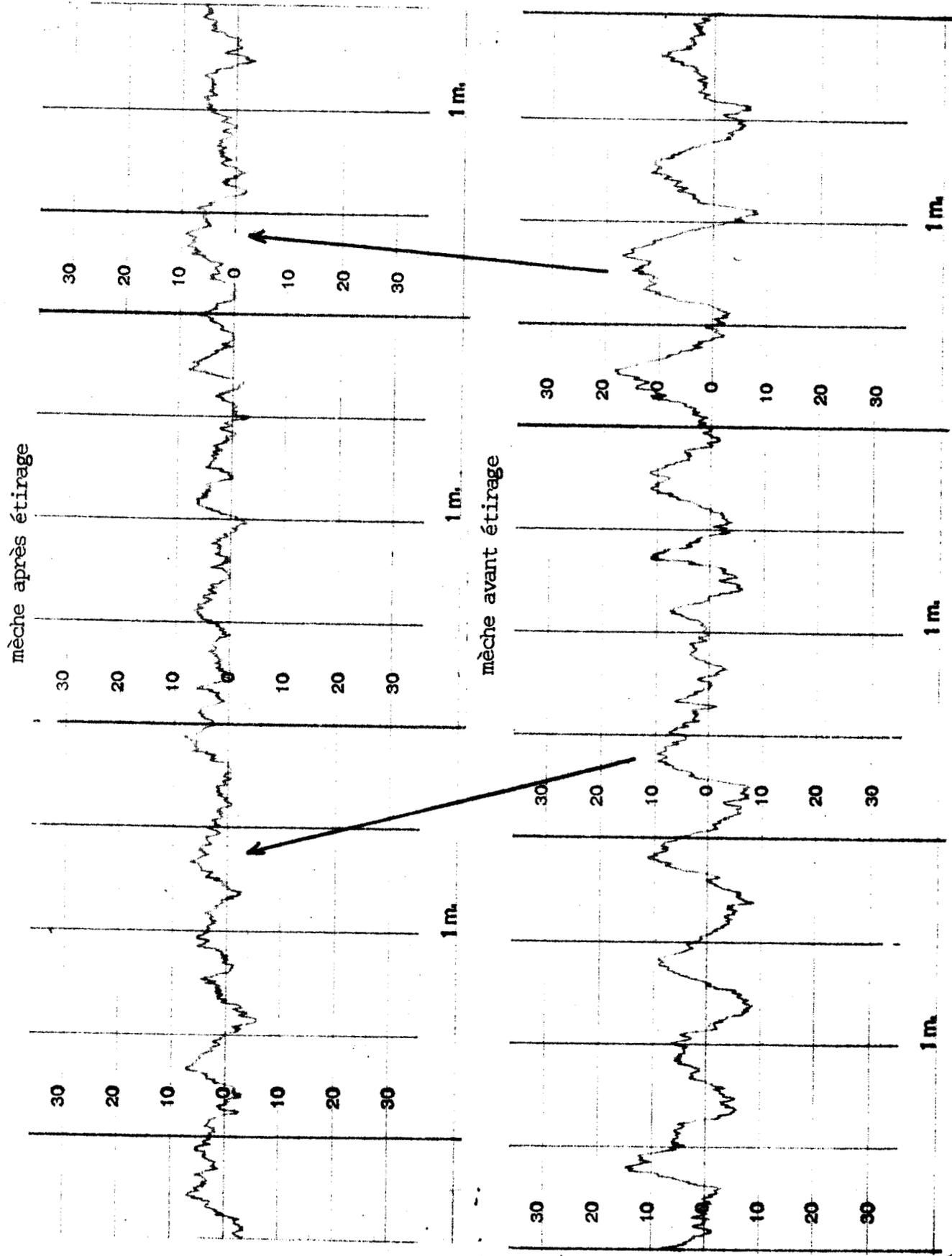


Figure 6.2 : Section de la mèche avant et après étirage avec un retard de 46 msec



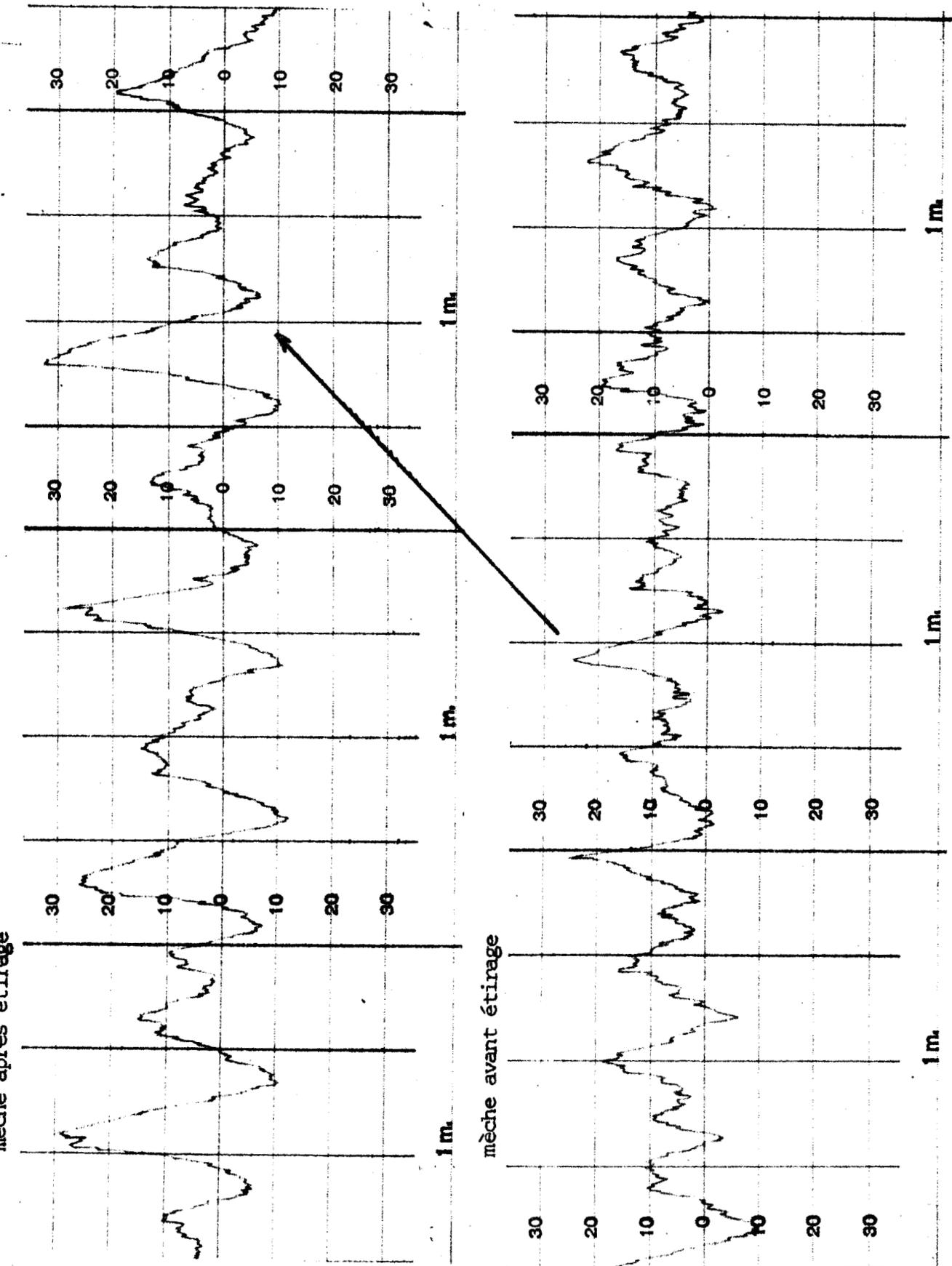


Figure 6.3 : Section de la mèche avant et après étirage avec un retard de 100 msec



Cette diminution est particulièrement importante pour la mèche A puisque l'on passe alors de 11 % à 5,3 %. Ceci signifie que cette mèche possédait une irrégularité importante à moyen et à court terme qui a été fortement réduite.

Dans le cas de la mèche B, déjà bien régulière au départ, l'amélioration apportée est beaucoup plus faible. L'irrégularité qui persiste résulte des défauts les plus courts qui ne peuvent être éliminés à cause de la nature même du système d'étirage.

La détermination des coefficients d'irrégularité ne permet pas de connaître exactement le domaine d'action du régulateur et celui-ci pourrait être défini plus précisément grâce à une analyse spectrale où au tracé de courbes variance-longueur.

Ces dernières sont obtenues en calculant le coefficient de variation de section moyenne entre des tronçons de mèche de même longueur. Ce coefficient décroît lorsque la longueur d'épreuve considérée augmente et tend vers zéro. Pour une longueur très faible, il est égal au coefficient d'irrégularité global.

La forme des courbes variance-longueur est liée à la longueur d'onde et à l'amplitude des défauts des mèches /3/, mais la relation qui exprime cette dépendance est fort complexe. Il est cependant évident que le coefficient de variation diminue alors que la longueur des échantillons croît, les mèches semblant de plus en plus régulières puisque l'on ne tient plus compte des irrégularités de faible longueur d'onde.

Une courbe variance-longueur est définie par la relation :

$$B(u) = \frac{1}{\bar{S}} \left\{ E_X \left\{ \frac{1}{u} \int_0^u S(u) du - \bar{S} \right\}^2 \right\}^{1/2} \quad (6.2)$$

où u est la longueur des échantillons.

Malheureusement, nous ne disposons pas de l'appareillage nécessaire pour pouvoir réaliser cette étude, mais celle-ci devrait pouvoir être envisagée avec les nouveaux régularimètres proposés actuellement par les constructeurs.

VI.3 - Conclusion

Les expérimentations effectuées ont permis de mettre en évidence le rôle très important joué par le retard introduit au signal de correction. De celui-ci dépend directement la régularité à court terme des mèches corrigées comme l'avait montré l'étude de la fonction de transfert du système.

L'étirage se produisant avant même que les fibres aient atteint les rouleaux de sortie, à cause de l'absence d'un système de contrôle efficace, il est apparu cependant que le retard à introduire à la commande de correction était plus faible que prévu. Les performances du régulateur sont aussi limitées vers les longueurs d'onde très courtes à des atténuations moins bonnes que celles données par le calcul de la fonction de transfert du système idéal.

Mais une amélioration sensible de la régularité à court terme est toujours constatée, ce qui permet d'envisager une réalisation industrielle du régulateur. Dans ce sens, l'étude que nous avons faite devrait être poursuivie par une analyse de la régularité des fils obtenus à partir des mèches corrigées. Ces essais pourraient conduire à une meilleure connaissance des performances du régulateur, les appareils de mesure pour faire l'analyse des mèches étant peu nombreux.

CONCLUSION GENERALE

L'étude mathématique du système d'étirage idéal nous a permis de définir un modèle du régulateur. Ce modèle a montré qu'il n'était pas possible d'éliminer les défauts dont la longueur d'onde était inférieure à la longueur moyenne des fibres, limitation qui résulte de la mesure d'épaisseur de la mèche au lieu de sa densité de têtes des fibres. Il a permis également de mettre en évidence l'importance du retard apporté au signal de correction sur la qualité de la régulation à court terme.

La réalisation d'un prototype a conduit à une vérification de ces résultats, les imperfections de l'étirage réalisé n'autorisant pas toutefois d'atteindre les performances données par le modèle. Il n'en reste pas moins que l'amélioration constatée de la régularité à court terme des mèches est excellente.

Ceci justifie la réalisation et l'utilisation d'un tel régulateur sur le plan industriel. Il permettrait tout d'abord d'accélérer la fabrication des mèches par élimination d'un passage de préparation. L'excellente régularité à moyen et à long terme des mèches obtenues autorise d'envisager une automatisation complète du bobinage des pelotes destinées à la mercerie. En effet, jusqu'à présent les fluctuations du titre des fils se traduisent par des variations du poids des pelotes bien que la longueur de matière utilisée soit toujours la même. Il faut alors exercer un contrôle manuel pour éliminer les pelotes qui ne correspondent pas à la norme, celles-ci ne pouvant être commercialisées. L'utilisation du régulateur permettrait d'éliminer ce contrôle.

De nouvelles méthodes de filature sont actuellement à l'étude, elles visent à remplacer le continu à filer par une turbine tournant à grande vitesse. Dans ce procédé de filature nommé "open end" l'utilisation du régulateur se justifierait particulièrement, la régularité des fils étant directement fonction de l'alimentation en fibres et donc de la qualité des mèches. Nous pensons que c'est dans ce sens que nos recherches devraient être poursuivies.

ANNEXES

Annexe A

DEFINITION DE QUELQUES TERMES TEXTILES

. Titre : le titre d'une matière textile s'exprime en tex et représente le poids en grammes d'une longueur de 1000 m.

Par exemple pour une mèche de 4 g au mètre le titre est de 4 kTex.

. Numéro métrique : plus utilisé pour les fils, c'est la longueur obtenue pour un poids de 1 gramme de matière.

Le titre est lié à la densité de têtes de fibres où à l'épaisseur moyenne de la mèche par la relation :

$$t = \mu \bar{S} 10^3 = \mu a \bar{L} \bar{D} 10^3 \quad (A.1)$$

avec μ : masse volumique g /m³.

De ce fait, par abus de langage on parlera indifféremment de régulation par rapport au titre moyen ou à l'épaisseur moyenne.

. Régularité : Les défauts sont classés par rapport à leur longueur d'onde, la distinction est à peu près la suivante :

- très court terme : longueurs d'onde voisines de la longueur moyenne des fibres
- court terme : longueurs d'onde inférieures au mètre
- moyen terme : longueurs d'onde de 1 à 10 mètres
- long terme : longueurs d'onde supérieures à 10 mètres

Annexe B

RELATION ENTRE LES DENSITES DE TETES
ET DE QUEUES DE FIBRES D'UNE MECHE

Le nombre de fibres ayant leur longueur comprise entre l et $l+dl$, et leurs queues entre les abscisses x et $x+dx$ est égal au nombre de fibres ayant leurs têtes comprises entre $x+l+dx$ et $x+l$ (figure B1) :

$$dN_q(x, l) = D_t(x+l) p(l) dx dl \quad (B.1)$$

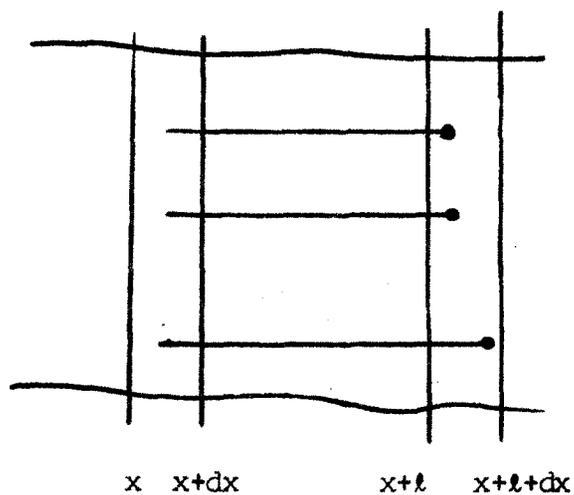


Figure B.1

La densité de queues de fibres à l'abscisse x est alors :

$$D_q(x) = \frac{1}{dx} \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} D_t(x+l) p(l) dl dx \quad (B.2)$$

Si la densité de têtes de fibres est constante :

$$D_q = D_t \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} p(\ell) d\ell = D_t \quad (\text{B.3})$$

Une densité de têtes de fibres constante assure une densité de queues de fibres constante.

Annexe C

CALCUL DE LA RELATION EPAISSEUR-DENSITE DE TETES DE FIBRES

C.1 - Cas de fibres d'égale longueur

L'expression générale de la relation s'écrit :

$$s(p) = \frac{1}{\tau p} \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} p(l) \{1 - e^{-\tau p l / \bar{L}}\} dl d_t(p) \quad (C.1)$$

Si toutes les fibres ont la même longueur L :

$$s(p) = \frac{1}{\tau p} \{1 - e^{-p\tau}\} d_t(p) \quad (C.2)$$

C.2 - Cas d'un diagramme rectangulaire

$$\text{Alors } p(l) = \frac{1}{l_{\max} - l_{\min}}$$

d'où

$$s(p) = \frac{1}{\tau p (l_{\max} - l_{\min})} \{ l_{\max} - l_{\min} - \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} e^{-\tau p l / \bar{L}} dl \} d_t(p) \quad (C.3)$$

$$\int_{l_{\min}}^{l_{\max}} e^{-\tau p l / \bar{L}} dl = \frac{\bar{L}}{\tau p} \{ e^{-\tau p (l_{\max} - \bar{L}) / \bar{L}} - e^{-\tau p (l_{\min} - \bar{L}) / \bar{L}} \} \quad (C.4)$$

Comme $\bar{L} = \frac{l_{\min} + l_{\max}}{2}$

$$s(p) = \frac{1}{\tau p} \left\{ 1 + \frac{\bar{L}}{\tau p} \frac{e^{-\tau p} (e^{-\tau p (\ell_{\max} - \ell_{\min}) / 2\bar{L}} - e^{-\tau p (\ell_{\min} - \ell_{\max}) / 2\bar{L}})}{\ell_{\max} - \ell_{\min}} d_t(p) \right\} \quad (C.5)$$

Posons $\frac{(\ell_{\max} - \ell_{\min})}{2 V_A} = \Delta\tau$. Cette quantité représente la différence du temps de passage sous les cylindres alimentaires entre les fibres les plus longues et les fibres les plus courtes par rapport à la valeur moyenne τ .

Il vient :

$$s(p) = \frac{1}{\tau p} \left\{ 1 - e^{-\tau p} \frac{\text{sh}(\Delta\tau p)}{\Delta\tau p} \right\} \quad (C.6)$$

C.3 - Cas d'un diagramme Gaussien

Ce cas ne peut être exactement réalisé en pratique puisque la longueur des fibres est finie. Nous pouvons cependant, avec une bonne approximation, négliger les branches infinies de la courbe et supposer que le résultat obtenu est valable.

$$\text{Nous avons : } p(\ell) = \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ell - \bar{L})^2}{2\delta^2}}$$

où représente l'écart type de la distribution :

Il vient :

$$s(p) = \frac{1}{\tau p} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} p(\ell) \{1 - e^{-\tau \ell p / \bar{L}}\} d\ell d_t(p) \quad (C.7)$$

$$= \frac{1}{\tau p} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} e^{-(\ell - \bar{L})^2 / 2\delta^2} \{1 - e^{-\tau \ell p / \bar{L}}\} d\ell d_t(p)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-(\ell - \bar{L})^2 / 2\delta^2} e^{-\tau \ell p / \bar{L}} d\ell = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left\{-\frac{\ell^2}{2\delta^2} - \frac{2\ell\bar{L}}{2\delta^2} + \frac{\tau\ell p}{\bar{L}} \dots \dots + \frac{\bar{L}^2}{2\delta^2}\right\} d\ell \quad (C.8)$$

En utilisant la formule classique :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \exp \{-(ax^2+2bx+c)\} dx = \sqrt{\frac{\pi}{a}} \exp \left\{ \frac{b^2-ac}{a} \right\}$$

On obtient alors :

$$\delta \sqrt{2\pi} \exp \left\{ -\tau p + \frac{\tau^2 p^2 \delta^2}{2 L^2} \right\} \quad (C.9)$$

d'où

$$s(p) = \frac{1}{\tau p} \left\{ 1 - e^{-\tau p \left(1 - \tau \delta^2 / 2 L^2 p \right)} \right\} \quad (C.10)$$

Annexe D

CALCULS DU MODULE DE LA FONCTION DE TRANSFERT DU REGULATEUR

Ces calculs ont été faits pour chacun des trois diagrammes considérés à partir de l'expression générale de la fonction de transfert. Il a été supposé que la boucle de correction comportait un moteur introduisant un terme de la forme $\frac{1}{1+\alpha p}$, et un retard pur $e^{-\beta p}$.

D.1 - Cas des fibres d'égales longueurs

$$F(p) = e^{-Tp} - \frac{1}{\tau p(1+\alpha p)} (1 - e^{-\tau p}) e^{-\beta p} \quad (D.1)$$

En remplaçant p par $j\omega$ on obtient :

$$F(p) = e^{-j\omega T} \left\{ 1 - \frac{e^{-j\omega T}}{1+j\omega\alpha} e^{-j\omega\beta \frac{\sin(\omega\tau/2)}{(\omega\tau/2)}} e^{-j(\omega\tau/2)} \right\} \quad (D.2)$$

d'où

$$F(p) = e^{-j\omega T} \left\{ 1 - \frac{\sin(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2} \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2\alpha^2}} e^{j\{\omega(T-\beta-\frac{\tau}{2}) - \text{Atg } \omega\alpha\}} \right\} \quad (D.3)$$

Posons

$$A = \frac{\sin(\frac{\omega\tau}{2})}{(\frac{\omega\tau}{2})} \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2\alpha^2}}$$

il vient :

$$F(j\omega) = e^{-j\omega T} \left\{ 1 - A e^{j\{\omega(T-\beta-\tau/2) - \text{Artg } \omega\alpha\}} \right\} \quad (D.4)$$

d'où l'on tire :

$$|F(j\omega)| = \sqrt{1 + A \left[A - 2 \cos(\omega\{T - \beta - \tau/2\}) - A \operatorname{Artg} \omega\alpha \right]} \quad (D.5)$$

D.2 - Cas où les fibres ont un diagramme rectangulaire

Avec l'hypothèse $\Delta\tau = 0$, la fonction de transfert s'écrit :

$$F(p) = e^{-Tp} - \frac{1}{\tau p} \left\{ 1 - \frac{1}{2\tau p} (1 - e^{-2\tau p}) \right\} \frac{e^{-\beta p}}{1 + \alpha p} \quad (D.6)$$

En remplaçant p par $j\omega$ dans l'expression :

$$1 - \frac{1}{2\tau p} (1 - e^{-2\tau p}) \frac{e^{-\beta p}}{1 + \alpha p}$$

Nous obtenons :

$$-j \frac{1}{\omega \tau} \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \alpha^2}} \sqrt{1 + \frac{\sin \omega \tau}{\omega \tau} \left(\frac{\sin \omega \tau}{\omega \tau} - 2 \cos \omega \tau \right)} \quad (D.7)$$

$$e^{j \left\{ \operatorname{Artg} \frac{\sin^2 \omega \tau}{\omega \tau - \sin \omega \tau \cos \omega \tau} - \operatorname{Artg} \omega\alpha - \omega\beta \right\}}$$

d'où

$$F(j\omega) = e^{j\omega T} \left\{ 1 + \frac{1}{\omega \tau \sqrt{1 + \omega^2 \alpha^2}} \sqrt{1 + \frac{\sin(\omega \tau)}{\omega \tau} \left(\frac{\sin \omega \tau}{\omega \tau} - 2 \cos \omega \tau \right)} \right\} \quad (D.8)$$

$$e^{j \left\{ \frac{\pi}{2} + \operatorname{Artg} \frac{\sin^2 \omega \tau}{\omega \tau - \sin \omega \tau \cos \omega \tau} - \operatorname{Artg} \omega\alpha + \omega T - \omega\beta \right\}}$$

$$\text{Posant } A = \frac{1}{\omega \tau \sqrt{1 + \omega^2 \alpha^2}} \sqrt{1 + \frac{\sin \omega \tau}{\omega \tau} \left(\frac{\sin \omega \tau}{\omega \tau} - 2 \cos \omega \tau \right)}$$

nous obtenons alors :

$$|F(j\omega)| = \sqrt{1 + A \left\{ A - 2 \sin \left[\omega(T - \beta) - \operatorname{Artg} \omega\alpha + \operatorname{Artg} \frac{\sin^2 \omega \tau}{\omega \tau - \sin \omega \tau \cos \omega \tau} \right] \right\}} \quad (D.9)$$



D.3 - Cas où les fibres ont un diagramme Gaussien

$$F(p) = e^{-Tp} - \frac{e^{-\beta p}}{1+\alpha p} \frac{1}{\tau p} \{ 1 - e^{-\tau p(1-\tau p \delta^2/2\bar{L}^2)} \} \quad (D.10)$$

Le calcul de l'expression

$$1 - e^{-\tau p(1-\tau p \delta^2/2\bar{L}^2)}$$

nous donne :

$$\sqrt{1 + e^{-\frac{1}{2}(\frac{\omega \tau \delta}{\bar{L}})^2} \left[e^{-\frac{1}{2}(\frac{\omega \tau \delta}{\bar{L}})^2} - 2 \cos \omega \tau \right] e^{j \operatorname{Artg} \frac{\sin \omega \tau}{e^{1/2}(\frac{\omega \tau \delta}{\bar{L}})^2 - \cos \omega \tau}}} \quad (D.11)$$

soit

$$A' e^{j \operatorname{Artg} \left(\frac{\sin \omega \tau}{e^{1/2}(\frac{\omega \tau \delta}{\bar{L}})^2 - \cos \omega \tau} \right)}$$

Posant : $A = \frac{1}{\omega \tau \sqrt{1 + \omega^2 \alpha^2}}$ A', nous obtenons comme précédemment :

$$|F(j\omega)| = \sqrt{1 + A(A - 2 \sin(\omega(T-\beta) - \operatorname{Artg} \omega \alpha + \operatorname{Artg} \frac{\sin \omega \tau}{e^{1/2}(\frac{\omega \tau \delta}{\bar{L}})^2 - \cos \omega \tau}))} \quad (D.12)$$

Pour obtenir l'expression du module de la fonction de transfert en fonction du paramètre $\bar{\lambda}$, il suffit de remplacer ω par $2\pi/\tau\bar{\lambda}$ dans les formules qui ont été calculées (D.5, D.9 et D.12)

Annexe E

FONCTION DE TRANSFERT DU MOTEUR D'ETIRAGE

Le moteur choisi pour entraîner les cylindres délivreurs à vitesse variable est un moteur Servalco du type F 12 M4.

Il a l'avantage de posséder une inertie très faible et une inductance négligeable

Soient U la tension aux bornes du moteur

R la résistance de l'induit

E la force contre-électromotrice

L'équation électrique du moteur s'écrit simplement :

$$U = E + RI \quad (E.1)$$

Le couple qu'il fournit est proportionnel au courant I d'induit

$$C_m = k_T I \quad (E.2)$$

et la force contre électromotrice à la vitesse angulaire Ω

$$E = k_E \Omega$$

Si J est l'inertie globale du moteur et de sa charge, l'équation mécanique de fonctionnement s'écrit :

$$C_m - C_p + C_u = J \Omega' \quad (E.4)$$

Le couple de pertes étant $C_p = C_0 + k_v \Omega$ du fait des frottements solides et visqueux. Le couple demandé par l'étirage a été assimilé à un frottement de 15 Ncm.

On obtient donc :

$$U = \frac{RC_0}{k_T} + \left\{ k_E + \frac{R k_v}{k_T} \right\} \Omega + \frac{JR}{k_T} \Omega' \quad (E.5)$$

Posons

$$U_0 = U - \frac{RC_0}{k_T} \quad \text{si} \quad U - \frac{RC_0}{k_T} > 0$$

ce qui est toujours vérifié, le moteur ayant un seul sens de rotation dans l'application envisagée.

$$\text{Nous avons alors } \Omega = U_0 \frac{1}{k_E + \frac{R k_v}{k_T} + \frac{JR}{k_T} P} \quad (E.6)$$

car $k_E \approx k_T$.

La fonction de transfert liant les variations de vitesse du moteur aux variations de tension à ses bornes est du premier ordre :

$$\Omega = U_0 \frac{A}{1 + \alpha P} \quad (E.7)$$

avec

$$A = \frac{1}{k_E + R \frac{k_v}{k_T}} \quad \text{et} \quad \alpha = \frac{JR}{R k_v + k_E k_T}$$

Il existe un seuil $\frac{R C_0}{k_T}$ mais il ne sera pas nécessaire d'en tenir compte étant donné que les variations de vitesse se feront toujours dans la zone de fonctionnement linéaire.

L'application numérique au problème donné :

$$\begin{aligned} A &= 0,16 \text{ m/sec/volt} \\ \alpha &= 14 \text{ msec} \\ \text{et } \frac{R C_0}{k_T} &= 1,3 \text{ V} \end{aligned}$$

La tension moyenne de fonctionnement pour une vitesse de sortie de 180 m/minute sera de 22 V. Le courant consommé va dépendre de l'amplitude des variations de vitesse nécessaires et de leur fréquence. Si l'étrépage était constant il serait d'environ 2,5 A avec un couple utile de 20 N.cm .

Annexe F

**INFLUENCE DES LIMITATIONS DE COURANT
ET DE TENSION DE L'AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE**

L'amplificateur de puissance qui pilote le moteur d'étirage permet une excursion de tension limitée ainsi qu'un courant maximal dans le moteur. Du fait de la constante de temps de ce dernier, il est nécessaire d'avoir une amplitude des variations de tension croissante avec la fréquence pour obtenir les mêmes corrections de vitesse. D'autre part les transistors de sortie ne permettent pas de fournir des courants supérieurs à 15 A, ces courants pouvant être atteints lors du démarrage il a été nécessaire d'utiliser un limiteur d'intensité.

A cause de ces deux limitations, l'amplitude des variations de vitesse possibles va décroître avec la fréquence.

L'équation

$$\Omega = U_0 \frac{A}{1+\alpha p} \quad (\text{F.1})$$

nous donne :

$$\frac{\Delta \Omega}{\Omega_0} = \frac{\Delta U}{U_0} \frac{A}{\sqrt{1+\omega^2 \alpha^2}} \quad (\text{F.2})$$

U_0 étant de 22 V et ΔU_0 de 10 V pour un fonctionnement normal, nous pouvons tracer la courbe donnant l'amplitude des variations de vitesse possibles en fonction de la fréquence du fait de la limitation de tension (Figure F.1).

De même le courant dans le moteur étant :

$$I = \frac{C_0}{k_T} + \frac{k_V}{k_T} + \frac{J}{k_T} \frac{d\Omega}{dt} \quad (F.3)$$

Nous obtenons autour du point moyen de fonctionnement Ω_0

$$\frac{\Delta\Omega}{\Omega_0} = \frac{\Delta I}{\Omega_0} \frac{k_T}{k_V} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{J}{k_V \omega}\right)^2}} \quad (F.4)$$

Ce qui permet de tracer la courbe traduisant l'influence de la limitation de courant.

L'étude de la figure F.1 montre que les limitations de courant et de tension définissent une zone de fonctionnement linéaire de l'asservissement de vitesse. Cette zone est compatible avec l'amplitude et la fréquence des variations de vitesse demandées pour corriger les défauts de la mèche, étant donné que l'importance de ceux-ci décroît avec la longueur d'onde comme le montre le spectrogramme de la figure F.2.

De plus si on considère que les ondes d'étirage sont les défauts qui présentent le maximum d'amplitude ($\pm 20\%$) et que celles-ci se produisent pour des longueurs d'onde d'environ 2,5 fois la longueur moyenne des fibres, la longueur d'onde pour laquelle une régulation importante est souhaitable sera :

$$\lambda = 2,5 \times 5 = 12,5 \text{ cm}$$

dans le cas le plus défavorable (fibres courtes de 5 cm). Avec la vitesse de fonctionnement choisie ceci correspond à une fréquence de 20 Hz environ.

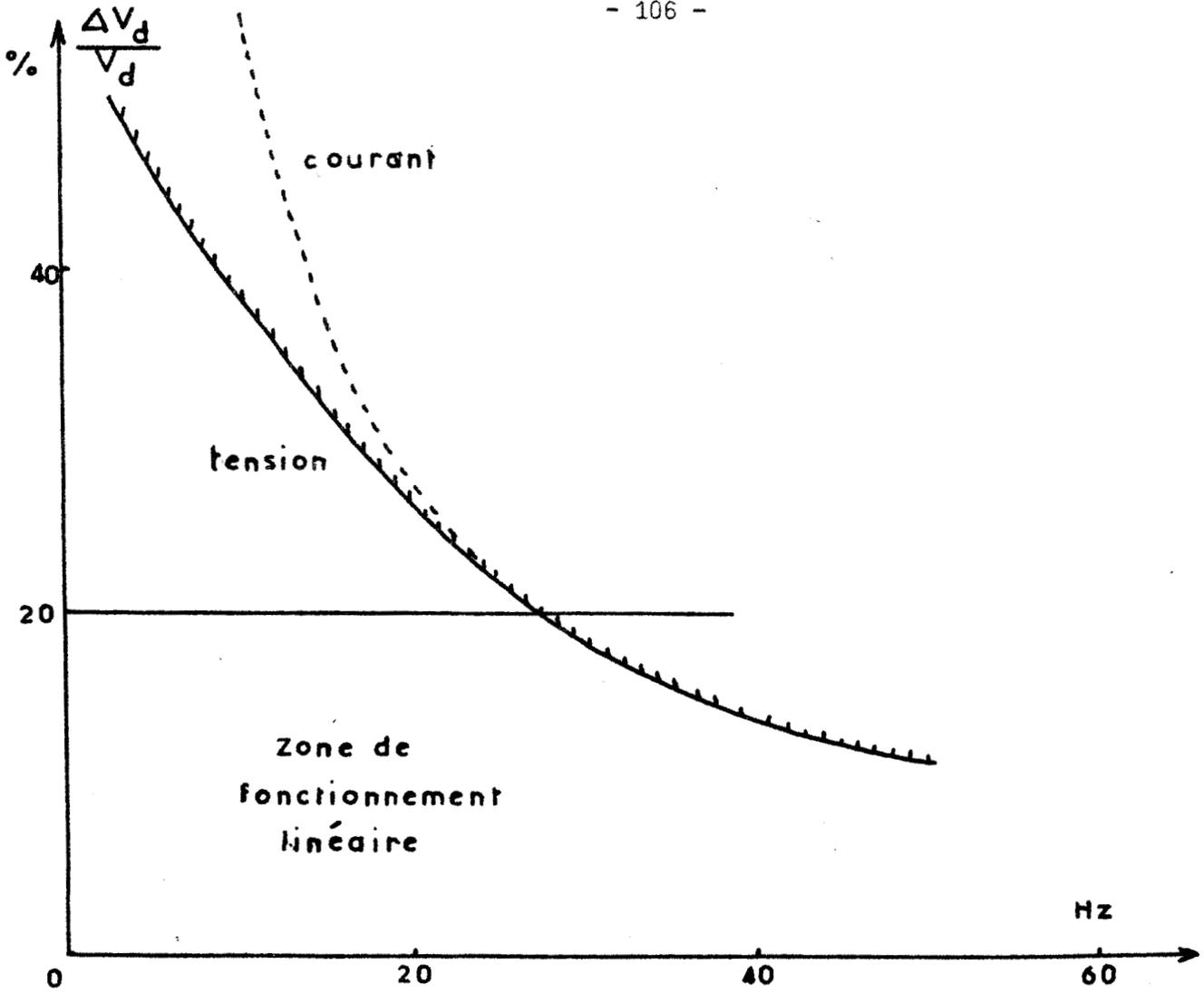


Figure F.1 : Influence des limitations de courant et de tension sur l'amplitude des variations de vitesse

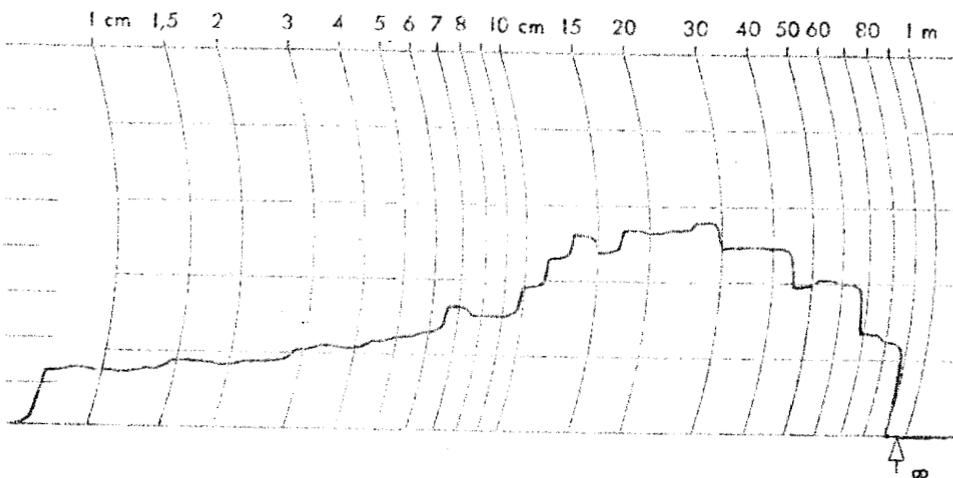


Figure F.2 : Spectre des défauts d'une mèche

Annexe G

MESURE DE L'AMPLITUDE D'UN SIGNAL ALTERNATIF SINUSOÏDAL

La mesure de l'amplitude d'un signal sinusoïdal peut-être obtenue en faisant un redressement deux-alternances de ce signal. La composante continue du signal redressé est en effet :

$$U = \frac{A}{T} \int_0^T |\sin \omega t| dt$$

Soit :

$$U = \frac{2A}{T} \int_0^{T/2} \sin \omega t dt = \frac{2A}{\pi} \quad (\text{figure G.1})$$

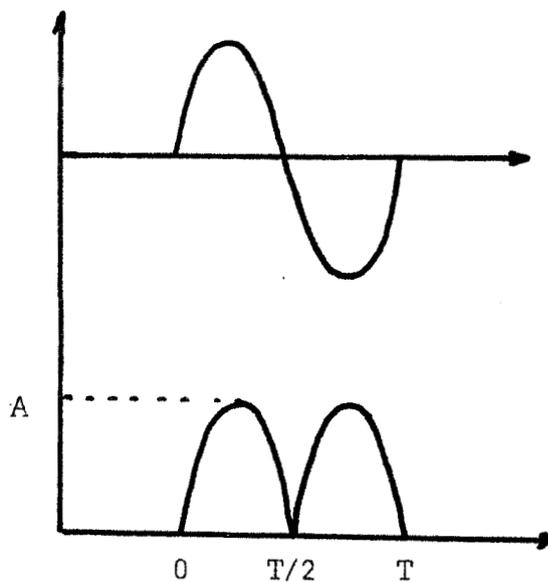


Figure G.1



Le redressement deux-alternances est effectué au moyen de deux amplificateurs opérationnels (figure G.2)

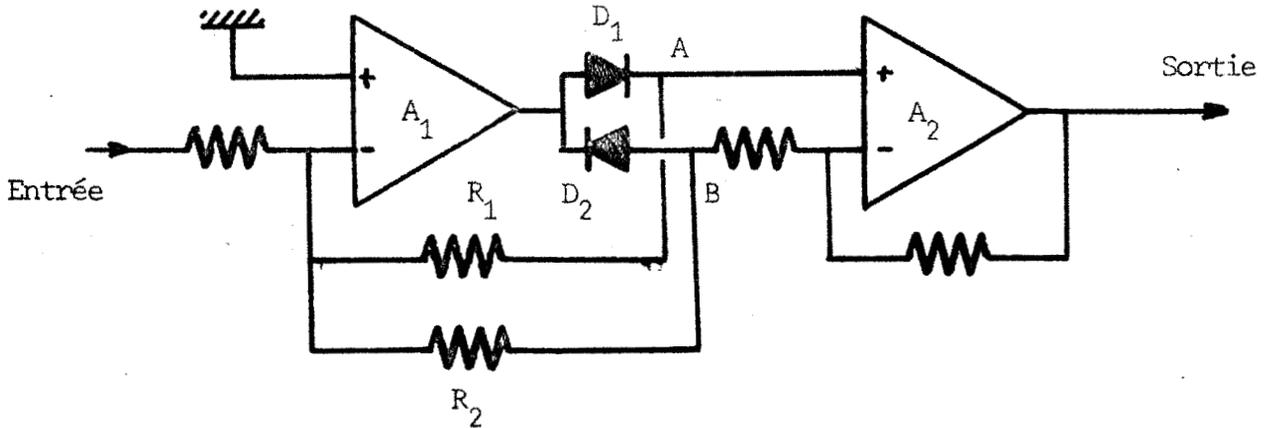


Figure G.2 : Schéma d'un redresseur double-alternance

Le premier amplificateur A₁ est monté avec une contre-réaction de courant, cette contre réaction passant par la diode D₁ et la résistance R₁ pour les alternances positives de la tension de sortie de l'amplificateur, par la diode D₂ et la résistance R₂ pour les alternances négatives.

Nous trouverons donc au point A des demies-sinusoïdes positives et au point B des demies-sinusoïdes négatives. Le rôle du second amplificateur A₂ est de réaliser la différence entre ces deux signaux.

Annexe H

DETAILS DE LA REALISATION DES CIRCUITS

- a) Nous avons représenté figure H.1 le schéma de l'oscillateur asservi réalisé suivant le principe développé au paragraphe V.1.2.
- b) La figure H.2 donne l'ensemble des circuits associés aux capteurs de déplacement et de vitesse (cf V.1.2 et IV.2.2).

. Le calcul du gain g de l'amplificateur fournissant le signal de correction de vitesse avant son entrée dans la ligne de retard s'effectue de la manière suivante :

La composante continue de la tension de sortie de cet amplificateur est :

$$g \frac{2}{\pi} \left(|V_B| - \frac{|V_{QSC}|}{2} \right)$$

(le facteur $\frac{2}{\pi}$ résulte des circuits de redressement deux-alternances dans la mesure d'amplitude des signaux).

Cette tension doit être égale au produit $\frac{\Delta d}{\bar{d}} V_A$

Du fait de l'asservissement de la tension de l'oscillateur

$$\left(|V_B| - \frac{|V_{QSC}|}{2} \right) = V_A k \Delta d$$

avec $k = 26 \text{ mV/Volt/mm}$,

d'où on déduit :

$$g = \frac{\pi}{2 k \bar{d}}$$

Pour une mèche de 4 g/m et avec une amplification mécanique des déplacements de 9, on peut admettre que $\bar{d} = 7,2$ mm. Ce qui nous donne finalement $g = 8,4$.

Il convient de noter que les composantes alternatives haute fréquence du signal qui subsistent encore à ce niveau seront éliminées par le filtre passe-bas associé au convertisseur analogique numérique.

. lors de l'examen des circuits de mesure des vitesses V_A et V_D on remarque qu'à chaque filtre est associé un réglage de tension de décalage permettant d'annuler la composante continue qui résulte des niveaux TTL du monostable.

Le réglage de la sensibilité des circuits de mesure à 2 V/m/sec s'effectue en agissant sur la période des monostables.

c) Dans les figures suivantes (Figures H.3 à H.5) sont représentés les schémas relatifs à la réalisation des différents circuits qui constituent la ligne de retard (cf. V.2).

. convertisseur analogique numérique (figure H.3)

La tension de référence du convertisseur étant de -5 V, le signal analogique subit tout d'abord une translation de niveau. Il est ensuite filtré avant d'être comparé à la tension fournie par le convertisseur. Celui-ci utilise la méthode des pesées successives et toute la logique en est rassemblée à l'intérieur d'un seul circuit intégré. L'utilisation de ce circuit du type MOS nécessite l'emploi de plusieurs changements de logique pour pouvoir l'associer au reste du montage réalisé en circuits TTL.

A la fin de chaque conversion une impulsion est émise qui, après un retard de 7 μ sec, viendra commander le convertisseur numérique analogique restituant le signal retardé. Les bits de chaque mot sont stockés sous forme série dans un registre à décalage.

. Horloges

Le schéma des différentes horloges utilisées dans ce système est représenté figure H.4. On y distingue tout d'abord l'horloge d'échantillonnage à basse fréquence et de période réglable. Cette horloge sert également à produire une impulsion de synchronisation destinée à réinitialiser le convertisseur avant chaque conversion. On y voit ensuite un multivibrateur à 100 kHz, lui-même synchronisé sur l'horloge d'échantillonnage et destiné à fournir le train d'impulsions nécessaires à une conversion. Les conversions s'opèrent sur huit

bits il faut disposer de huit impulsions à haute fréquence. Celles-ci sont obtenues grâce à une porte commandée par un monostable dont la période est de 76 μsec . Ces impulsions seront utilisées pour entrer les bits dans la mémoire, mais les conversions n'étant pas instantanées il est nécessaire de les retarder de 3 μsec . Ce retard utilise simplement deux portes Nand sous forme d'un mono-stable. Un dernier monostable permet de calibrer la largeur des impulsions à 1 μsec .

. Convertisseur numérique-analogique (figure H.5)

Ce convertisseur opère tout d'abord un passage du mode série au mode parallèle grâce à deux registres à décalage. Ensuite chaque bit commande l'ouverture ou la fermeture d'une porte analogique associée à une échelle de résistance lui donnant un poids convenable. Les portes analogiques utilisent des transistors à effet de champs de faible résistance de conduction.

Le signal issu de la ligne de retard est alors ajouté au signal de vitesse d'entrée pour obtenir la consigne de vitesse du moteur d'étirage. Un filtre permet enfin d'éliminer les composantes HF résultant du blocage du signal entre les conversions successives.

Quand la vitesse d'entrée du régulateur est inférieure à un certain seuil (1 m/sec environ) on impose la conversion 1 0000000, ce qui donne une correction de vitesse nulle. Ceci a pour but d'obtenir un arrêt immédiat du moteur d'étirage avec celui du moteur d'entraînement des cylindres alimentaires malgré la présence du filtre passe haut dans la chaîne de correction.

d) Asservissement de vitesse

L'alimentation utilisée pour l'amplificateur de puissance est représentée figure H.6. Elle est construite autour d'un régulateur à circuit intégré classique, mais peut être asservie à un signal extérieur grâce à un amplificateur supplémentaire.

En effet, le régulateur est monté de manière à maintenir constante la tension qui apparaît à la sortie de l'amplificateur sommateur. Celle-ci est égale à :

$$V_s = \text{Cst} = k_1 U - k_2 V_A \quad (\text{H.1})$$

d'où on déduit :

$$U = Cst + \frac{k_2}{k_1} V_A \quad (H.2)$$

Le réglage des coefficients k_1 et k_2 va permettre d'obtenir une tension d'alimentation U proportionnelle à la vitesse V_A . Ceci à l'avantage d'établir une meilleure répartition de la puissance dissipée dans le transistor ballast de l'alimentation et dans les transistors de l'amplificateur suivant la vitesse de rotation du moteur.

Le schéma de l'amplificateur lui-même, représenté figure H.7, est conforme aux principes qui ont été définis au paragraphe IV.3.2.

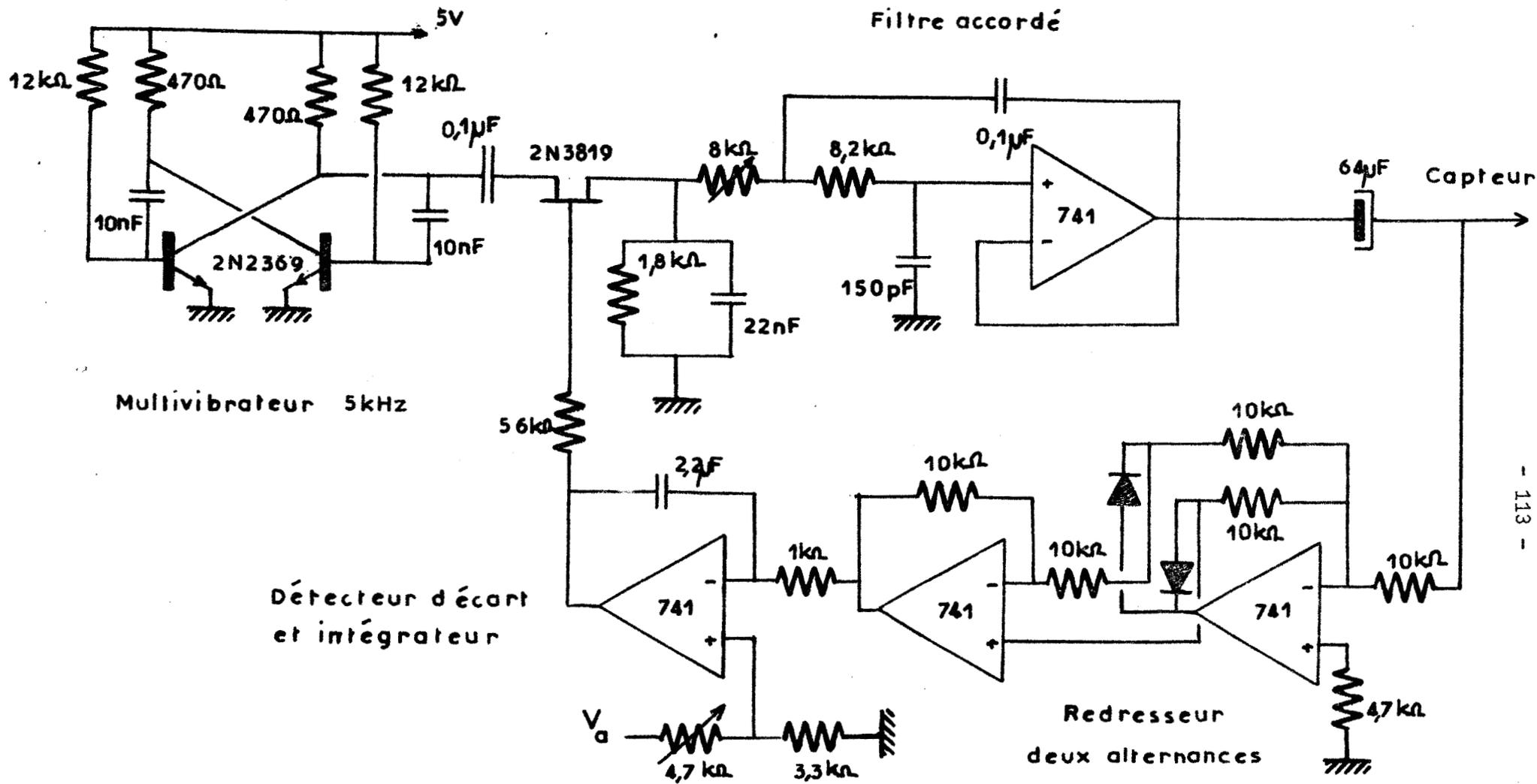
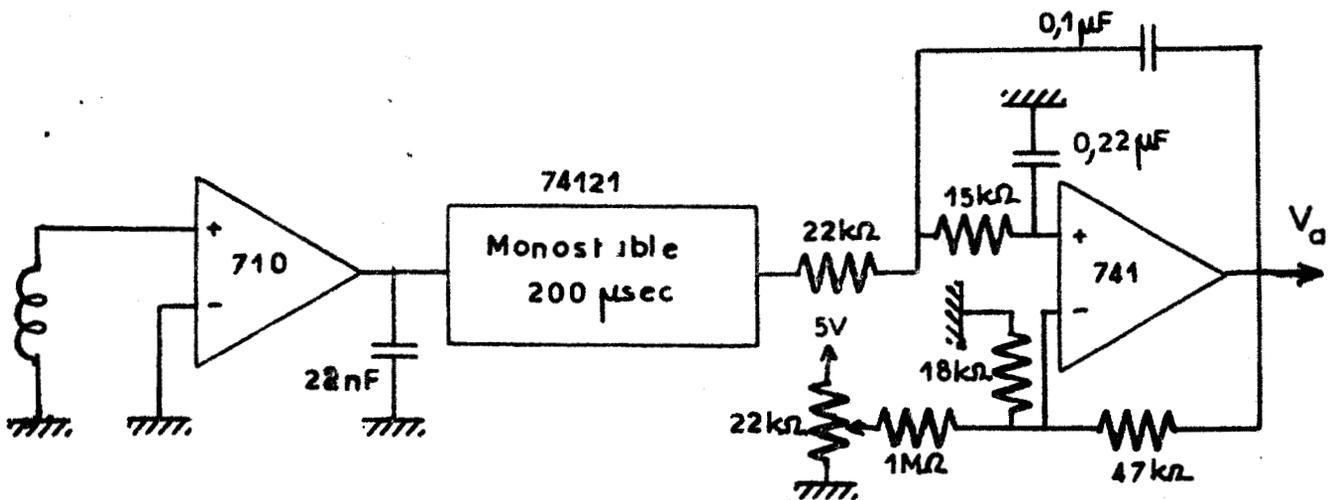
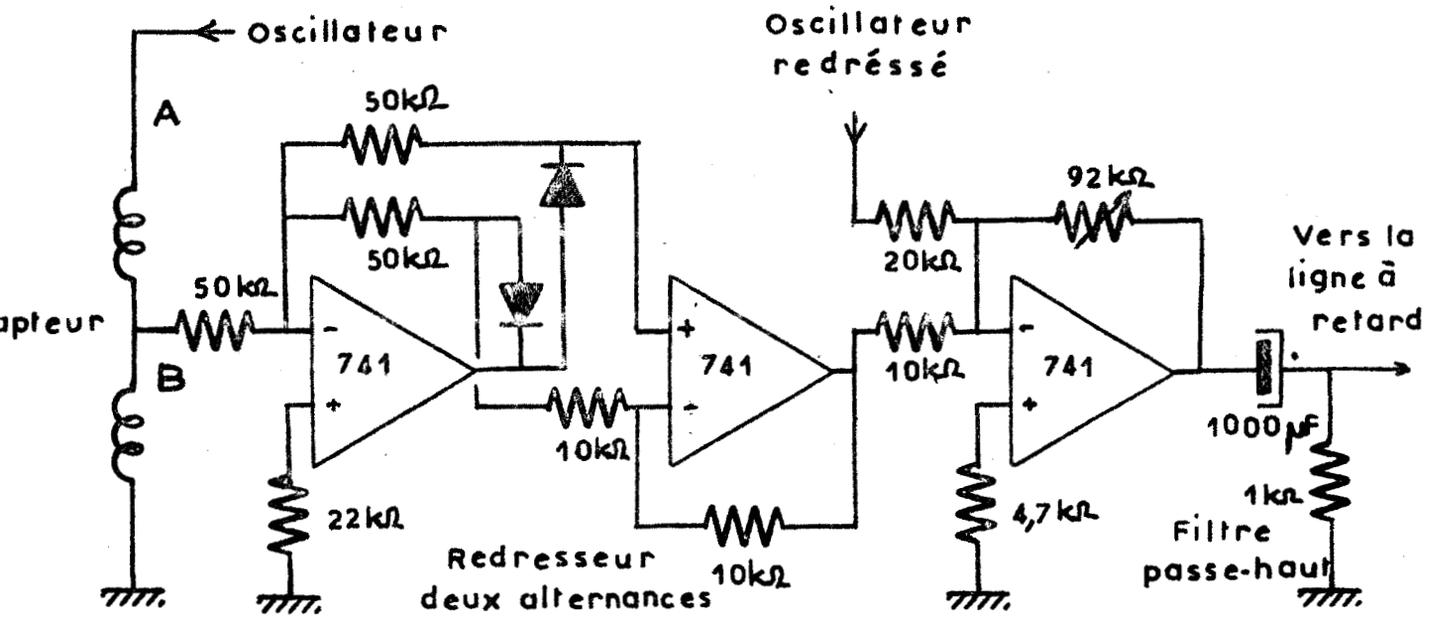


Figure H.1 : Schéma de l'oscillateur asservi





Capteurs

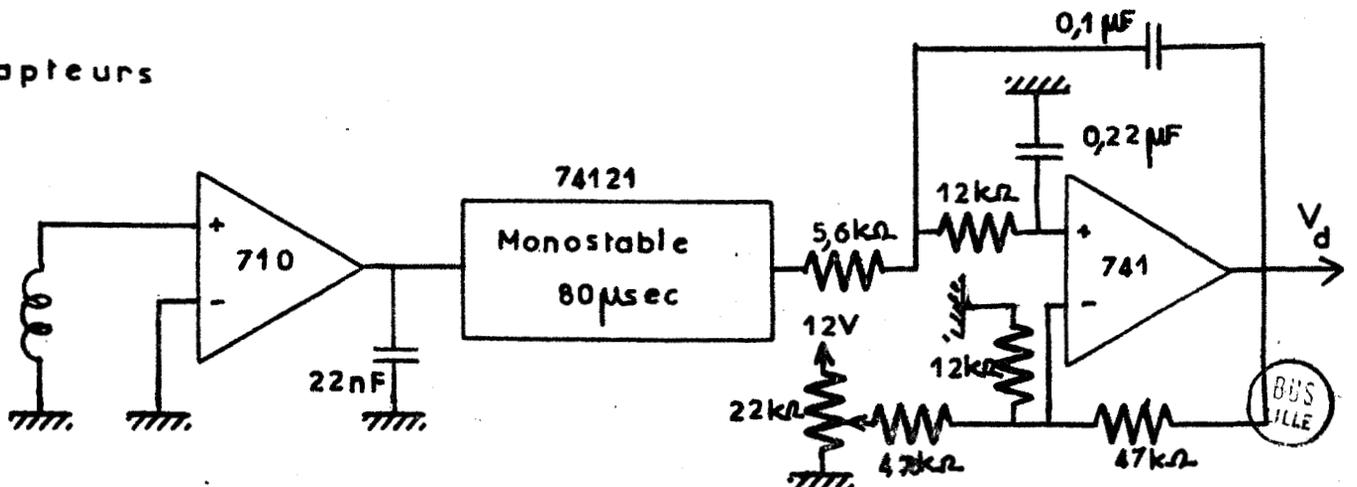


Figure H.2 : Circuits associés aux capteurs

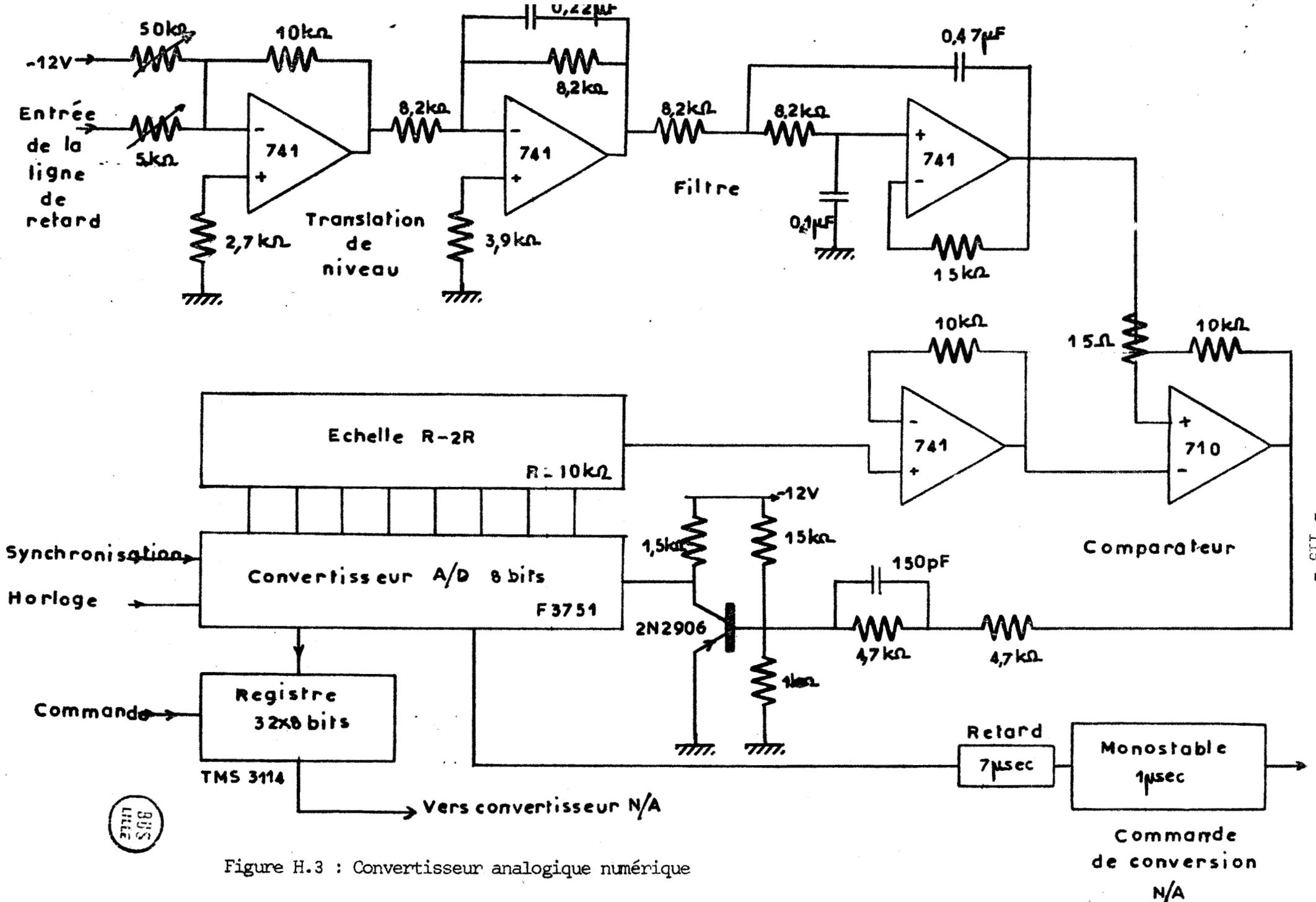


Figure H.3 : Convertisseur analogique numérique



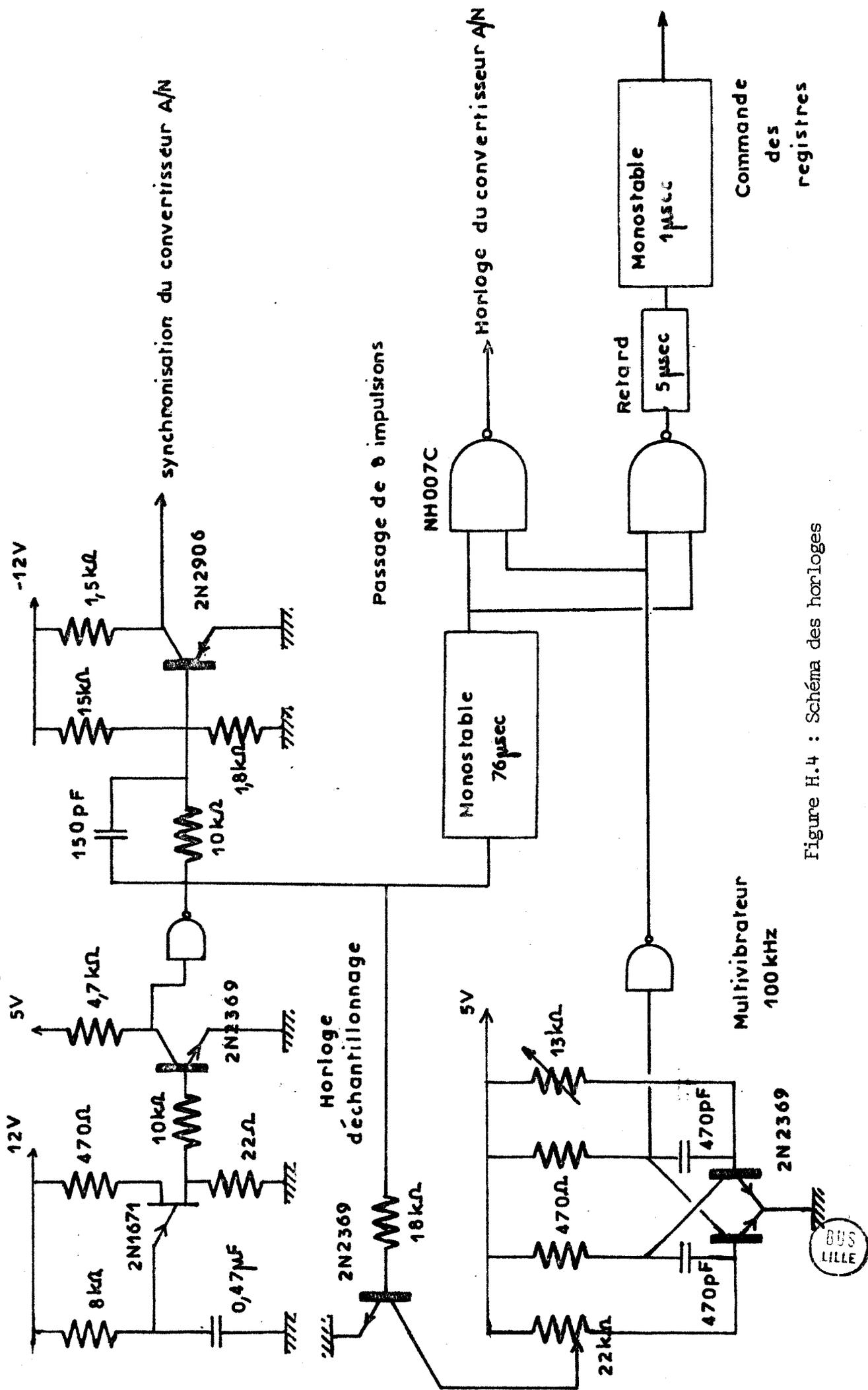


Figure H.4 : Schéma des horloges

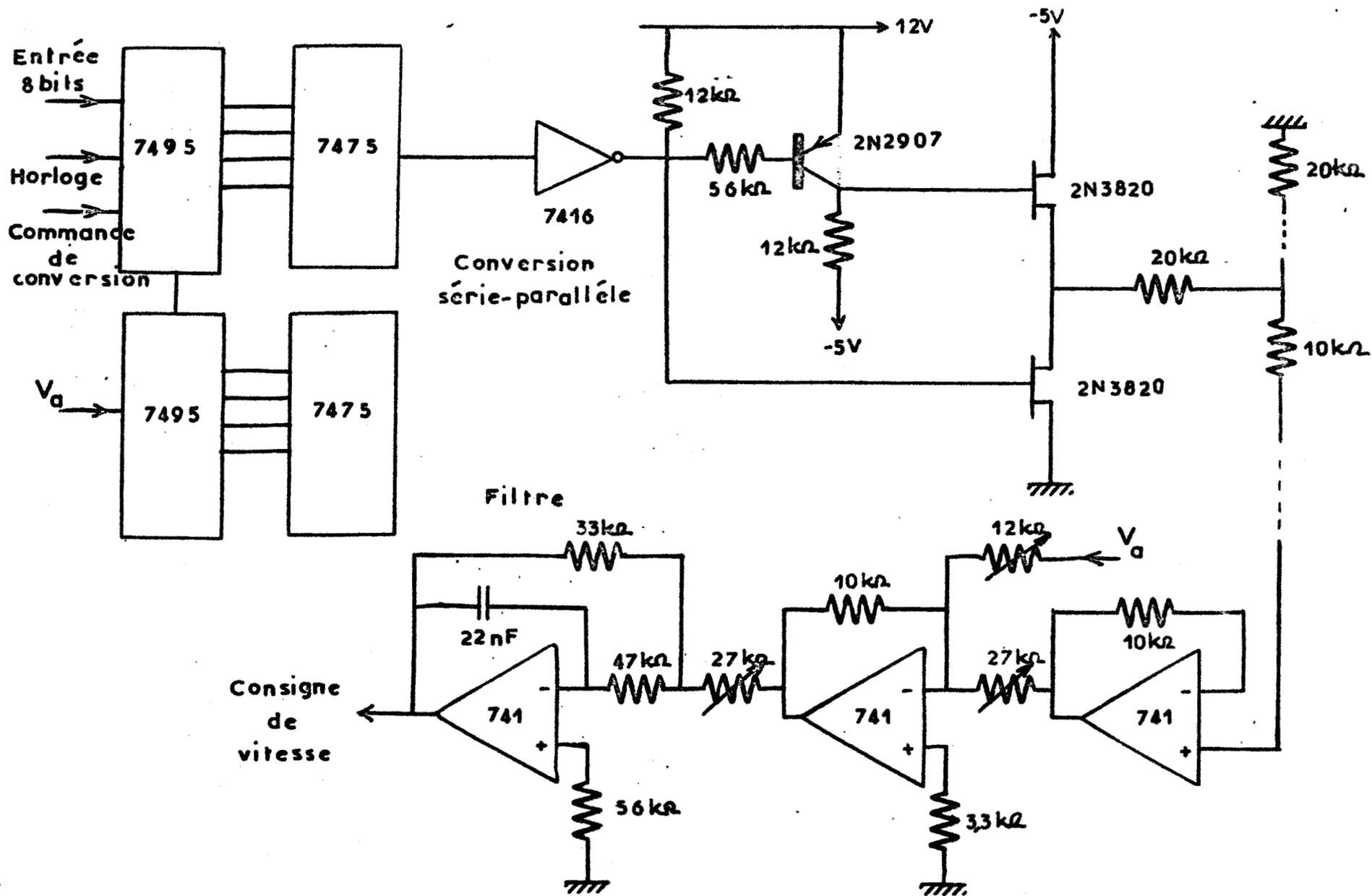


Figure H.5 : Schéma du convertisseur numérique analogique

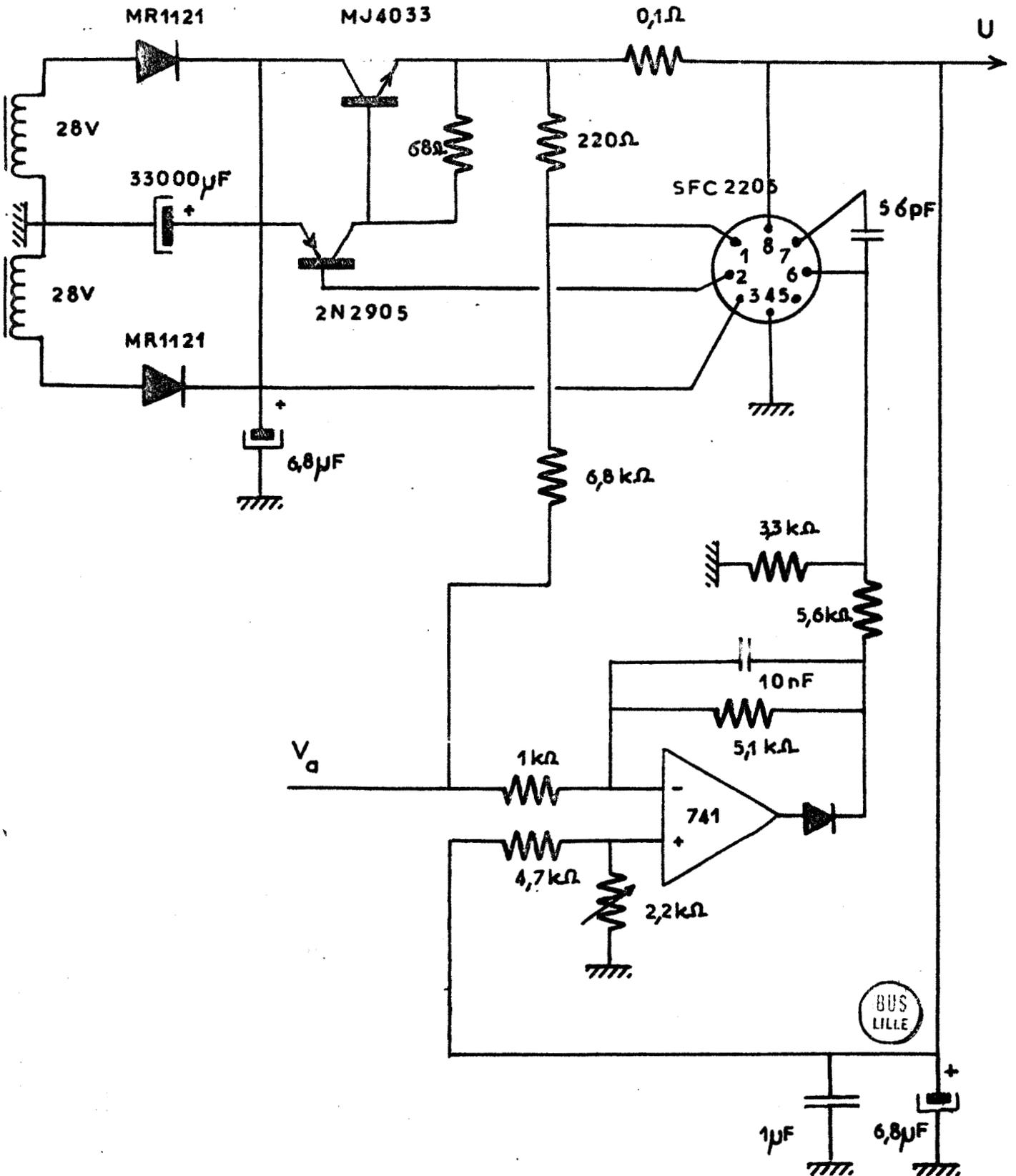


Figure H.6 : Alimentation asservie

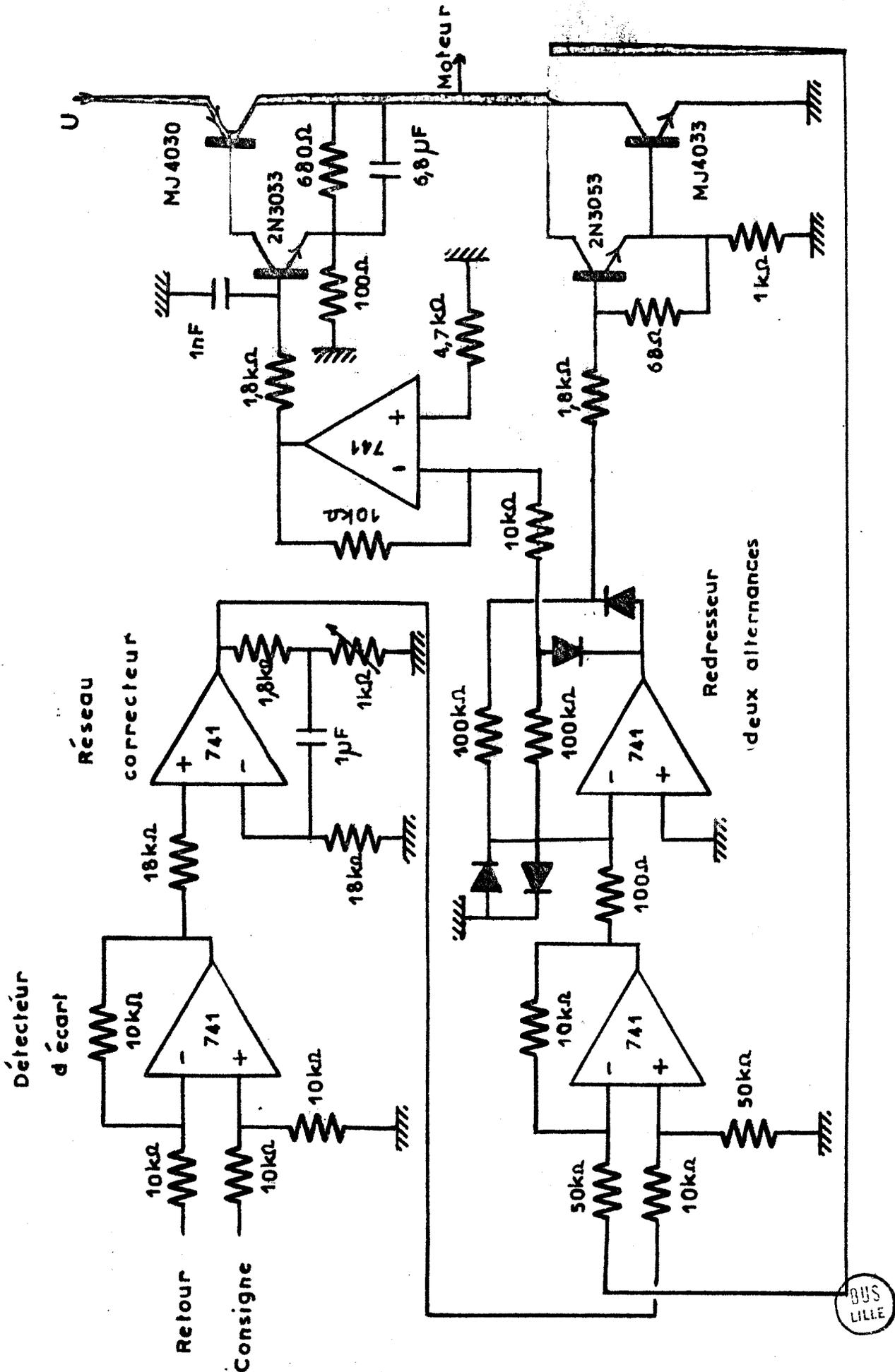


Figure H.7 : Schéma de l'asservissement de vitesse

Rappel des principales notations

E : taux d'étirage $E = \bar{E} (1+e(t))$

V_A : vitesse tangentielle des cylindres alimentaires

V_d : vitesse tangentielle des cylindres délivreurs

X : écartement entre les alimentaires et les délivreurs

T : temps de passage de la matière dans la banc d'étirage

τ : temps de passage moyen d'une fibre sous les alimentaires

ℓ : longueur d'une fibre ($\ell_{\min} \leq \ell \leq \ell_{\max}$)

$p(\ell)$: fonction de distribution de longueur des fibres

\bar{L} : longueur moyenne des fibres

a : section des fibres

D_S : densité de têtes de fibres de la mèche sortante au niveau des cylindres délivreurs $D_S = \bar{D}_S (1+d_s(t))$

D_e : densité de têtes de fibres de la mèche entrante au niveau des cylindres alimentaires $D_e = \bar{D}_e (1+d_e(t))$

F(p) : fonction de transfert globale du régulateur

$$F(p) = \frac{d_s(p)}{d_e(p)}$$

α : constante de temps du moteur d'étirage

β : retard pur de la chaîne d'action

ANNEXES

Annexe A : Définition de quelques termes textiles	92
Annexe B : Relation entre les densités de têtes et de queues de fibres d'une mèche	93
Annexe C : Calcul de la relation épaisseur-densité de têtes de fibres	95
Annexe D : Calcul de la fonction de transfert du régulateur	98
Annexe E : Fonction de transfert du moteur d'étirage	101
Annexe F : Influence des limitations de courant et de tension de l'amplificateur de puissance	104
Annexe G : Mesure de l'amplitude d'un signal alternatif sinusoïdal	107
Annexe H : Détails de la réalisation	109
Rappel des principales notations	120
Bibliographie	121
Table des matières	



BIBLIOGRAPHIE

- /1/ H.Catling et I.Davies : Conservation of mean level in autolevelling
Journal of the textile Institute - 1966 - T. 395-415
- /2/ Textile progress - Volume 1 N° 2
- /3/ F. Monfort : Aspects scientifiques de l'industrie lainière - DUNOD 1960
- /4/ I. Davies : Some theoretical limitations of sliver autolevelling systems
Journal of the textile Institute - 1968 - T. 11-38
- /5/ J. Henry - Baudot - Les machines électriques en automatique appliquée
DUNOD 1967
- /6/ P. Bildstin - Filtres actifs - Editions Radio 1972
- /7/ J.Ch. Gille, P.Decaulne, M. Pelegrin : Théorie et calcul de s asservisse-
ments linéaires - DUNOD 1967.
- /8/ C. Foulard : Amplificateur de puissance pour moteurs d'asservissements
Inter Electronique n° 6 - Juin 1968
- /9/ J. Stern, J. De Barbeyrac, R. Poggi
Méthodes pratiques d'étude des fonctions aléatoires - DUNOD 1969
- /10/ J. Max : Méthodes et techniques de traitement du signal - Tome 1 -
Masson 1972
- /11/ David. F . Hoeschele : Techniques de conversion analogique digitale et
digitale analogique - Masson 1971

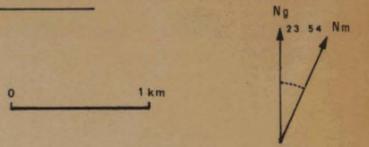
Table des matières

	Page
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : Etude du modèle mathématique du régulateur	
Chapitre I : Généralités	3
I.1 - La filature	3
I.2 - Enoncé du problème	5
I.2.1 - Les autolevelleurs et leurs limitations	
I.2.2 - Introduction d'un régulateur de mèche	
I.3 - Principes généraux de la réalisation	6
I.3.1 - Mode d'action du régulateur	
I.3.2 - Réalisation d'un étirage variable	
I.4 - Conclusion	10
Chapitre II : Modèle du système d'étirage	13
II.1 - Généralités	13
II.1.1 - Hypothèses concernant les mèches et les fibres	
II.1.2 - Hypothèses concernant l'étirage	
II.2 - Structure d'une mèche idéale.....	16
II.3 - Mise en équations.....	17
II.3.1 - Calcul de la relation épaisseur-densité de têtes de fibres	
II.3.2 - Linéarisation de l'équation d'étirage	
II.4 - Calcul de la fonction de transfert du système	23
II.5 - Conclusion	25
Chapitre III - Etude des performances du régulateur	26
III.1 - Introduction	26
III.2 - Etude de l'influence du diagramme de longueur des fibres	27
III.2.1 - Cas où toutes les fibres ont la même longueur	
III.2.2 - Cas des diagrammes rectangulaire et Gaussien	

III.3 - Etude de l'influence de l'inertie du moteur.....	34
III.4 - Amélioration des performances au moyen d'un retard pur	39
III.5 - Conclusion	43
DEUXIEME PARTIE : Réalisation expérimentale	
Chapitre IV - Description générale du régulateur	46
IV.1 - Système d'étirage	46
IV.1.1 - Choix de l'étirage moyen	
IV.1.2 - Contrôle de l'étirage	
IV.1.3 - Performances du moteur d'étirage	
IV.2 - Description des capteurs utilisés	49
IV.2.1 - Capteur d'épaisseur	
IV.2.2 - Capteur de vitesse	
IV.3 - Asservissement du moteur d'étirage	54
IV.3.1 - Fonction de transfert	
IV.3.2 - Réalisation de l'amplificateur de puissance	
IV.4 - Conclusion	59
Chapitre V : Calcul du signal de correction	61
V.1 - Réalisation d'une correction par rapport au titre moyen	61
V.1.1 - Principe	
V.1.2 - Etude des circuits fournissant le signal de correction	
V.2 - Réalisation d'un retard pur	65
V.2.1 - Ligne à retard analogique	
V.2.2 - Ligne à retard à mémoire	
V.2.3 - Description des circuits	
V.3 - Conclusion	74
Chapitre VI : Analyse des résultats obtenus	79
VI.1 - Réglage du banc d'étirage	79
VI.2 - Réglage du retard	81
VI.2.1 - Méthode d'analyse	
VI.2.2 - Interprétation des résultats	
VI.3 - Conclusion	89
CONCLUSION GENERALE	90

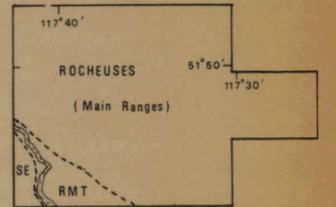
CARTE GEOLOGIQUE DU
 SECTEUR MERIDIONAL 50376
 DE SOLITUDE RANGE, 1973
 227
 ROCKY MOUNTAINS, B.C.

Echelle: 1:50 000

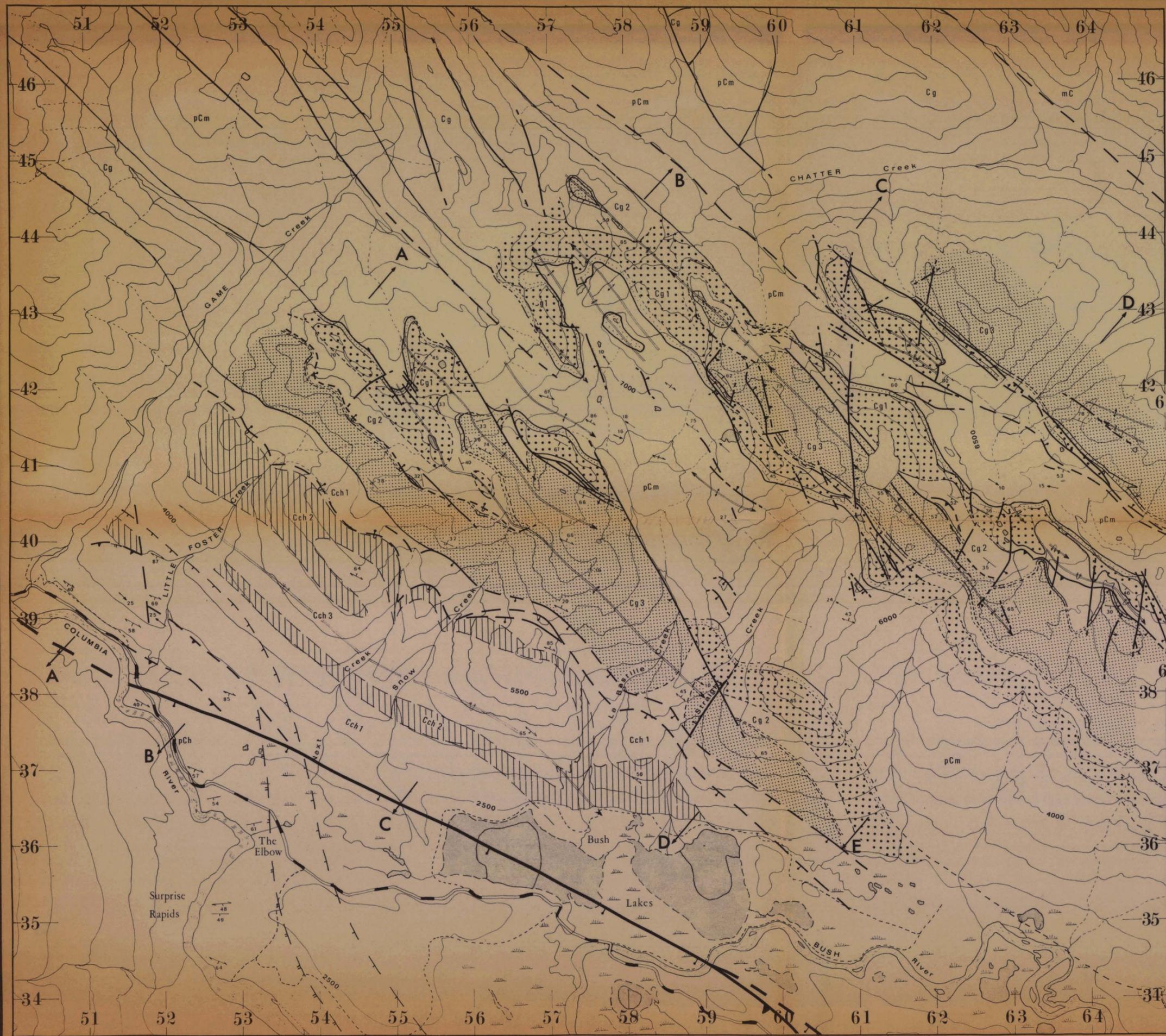


Altitudes en pieds: 30 0 50 metres
 Equidistance: 500 p. 100 0 100 pieds

— Big Bend Highway
 - - - - - Chemin forestier
 AA Coupe structurale



SE: SELKIRK M^{ts}
 RMT: FOSSE DES ROCHEUSES



LEGENDE

SELKIRK M ^{ts}		ROCHEUSES			
[Cch3]	Calcaire de	} Grp	CHANCELLOR	} moy.	C A M B R I E N
[Cch2]	Kinbasket				
[Cch1]	Argillite de Tsar Creek				
[Cg3]	Fm Mahto	} Grp	GOG	} inf.	C A M B R I E N
[Cg2]	Fm Mural				
[Cg1]	Fm Mc Naughton				
[pCh]	Grp HORSETHIEF CREEK	[pCm]	Grp MIETTE		H A D R Y N I E N
- - - - -	Faïlle normale	- - - - -	Stratification		
- - - - -	Chevauchement	- - - - -	Schistosité		
- - - - -	Trace du plan axial des plis majeurs	- - - - -	Biotite	} Isogrades	
- - - - -	Anticlinal (droit - déversé)	- - - - -	Grenat		
- - - - -	Synclinal (droit - déversé)				

