

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

ÉVALUATION DES DIMENSIONS DE PARTICULES
SPHÉRIQUES ET CYLINDRIQUES PAR MÉTHODE
PHOTOSÉDIMENTOMÉTRIQUE

PAR

J. CLAUDE MORISSETTE

B. Sc. (PHYSIQUE)

MÉMOIRE PRÉSENTE À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCE (PHYSIQUE)

AVRIL 1986

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

à ma famille

RÉSUMÉ

La connaissance de la distribution des dimensions de particules composant un produit industriel est d'une grande utilité pour l'évaluation de sa qualité. Cette distribution revêt un caractère particulièrement important dans la fabrication du papier, la longueur des fibres de cellulose étant en rapport avec la solidité du papier. L'analyse électro-optique utilisée ici donne un nouvel essor à l'évaluation de la distribution des dimensions des fibres de cellulose ou d'autres particules assimilables à des cylindres ou des sphères. Cette méthode est basée sur le temps de sédimentation d'une suspension volumique de particules dans une cellule. Un réseau de photodétecteurs capte l'intensité de la lumière traversant la cellule au cours du temps. Un système d'ordinateur enregistre et traite les résultats pour donner en quelques minutes (approximativement 5 min.) une distribution des dimensions des particules. Les résultats présentés dans ce mémoire ont été obtenus à l'aide de microsphères de polystyrène, de fibres synthétiques (de rayonne) et de fibres de cellulose pour différents types de pâtes. Une analyse des résultats démontre une bonne similitude entre les dimensions obtenues par cette technique et par analyse microscopique. Une discussion sur les différents facteurs affectant la mesure fait aussi l'objet de ce travail.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été effectué dans les laboratoires d'acousto-optique de l'Université du Québec à Trois-Rivières sous la direction du Dr Jean-Luc Dion, professeur au département d'ingénierie.

Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude pour ses efforts et ses conseils judicieux à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens également à remercier le Centre de Recherche en Pâtes et Papiers de l'Université du Québec à Trois-Rivières, en particulier aux Drs K.N. Law et M. Lapointe pour leurs conseils, pour certains appareils utilisés dans ce travail, ainsi que pour la préparation de différents types de pâtes utilisées dans la fabrication du papier.

Je remercie également M. Louis Sabourin et M. Robert Paquin de la compagnie KRUGER INC. pour l'utilisation de leur analyseur de fibres de cellulose et l'obtention d'échantillons de pâte fabriquée en usine.

Je remercie toutes les personnes qui ont contribuées de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, en particulier M.

Normand Turcotte pour le côté ingénierie et M. Jean Huard pour la réalisation des parties mécaniques.

Mes remerciements s'adressent également au département de Physique de l'Université du Québec à Trois-Rivières pour les connaissances acquises au cours des années passées dans cette institution.

Je remercie finalement le fond F.C.A.R. pour le soutien monétaire fourni pendant la réalisation de ce projet.

TABLE DES MATIÈRES

| | page |
|--|------|
| RÉSUMÉ | III |
| REMERCIEMENTS | IV |
| TABLE DES MATIÈRES | VI |
| LISTE DES TABLEAUX | IX |
| LISTE DES FIGURES | XI |
| INTRODUCTION | 1 |
| CHAPITRES | |
| I. <u>THEORIE</u> | 11 |
| 1.1 Introduction | 11 |
| 1.2 Étude sédimetométrique des particules sphériques | 12 |
| 1.3 Étude photosédimentométrique des particules | |
| sphériques | 16 |
| 1.4 Étude sédimetométrique des particules | |
| cylindriques | 20 |
| 1.5 Étude photosédimentométrique des particules | |
| cylindriques | 24 |
| 1.6 Étude sommaire de la diffusion | 27 |
| 1.7 Traitement statistique des dimensions des | |
| particules | 29 |
| II. <u>ÉTUDE EXPERIMENTALE</u> | 31 |
| 2.1 Montage expérimental | 32 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 2.1.1 | Description générale du montage | 32 |
| 2.1.2 | La source lumineuse | 32 |
| 2.1.3 | La cellule de mesure | 36 |
| 2.1.4 | Détection et circuit d'amplification . | 38 |
| 2.1.5 | Système d'acquisition et de traitement des données | 39 |
| 2.2 | Préparations des échantillons | 41 |
| 2.2.1 | Préparation des microsphères | 41 |
| 2.2.2 | Préparation des fibres synthétiques . . . | 43 |
| 2.2.3 | Préparations des fibres naturelles . . . | 43 |
| 2.3 | Méthode de mesure | 45 |
| 2.3.1 | Nettoyage de la cellule et du système optique | 45 |
| 2.3.2 | Etalonnage du circuit d'amplification . | 46 |
| 2.3.3 | La mesure | 47 |
| 2.4 | Acquisition et traitement des données . . . | 47 |
| III. | <u>RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX</u> | 49 |
| Section A | : microsphères de polystirène | 52 |
| Section B | : Fibres synthétiques (de rayonne) . . . | 58 |
| Section C | : Fibres de cellulose (pâte kraft) . . . | 62 |
| | : Fibres de cellulose (pâte sulfite) . . . | 68 |
| | : Fibres de cellulose (pâte mécanique) . | 71 |
| | : Fibres de cellulose (pâte thermomécanique) | 75 |
| Section D | : Étude en température | 77 |
| Section E | : Étude de la transmission en fonction de la concentration pour différentes fibres . . . | 79 |
| IV. | <u>DISCUSSION</u> | 82 |
| 4.1 | Précision des résultats | 82 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 4.2 | Graphiques de transmission et diffusion | 84 |
| 4.3 | Analyse des tableaux de résultats | 87 |
| 4.4 | Effet de la température | 91 |
| 4.5 | Analyse de la transmission lumineuse | 92 |
| V. | <u>CONCLUSION</u> | 94 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 97 |
| | ANNEXES | |
| A. | CARACTÉRISTIQUES DES PHOTODIODES | 103 |
| B. | PROGRAMME D'ACQUISITION DES DONNÉES | 106 |
| C. | PROGRAMME DE TRAITEMENT DES DONNÉES | 112 |

L I S T E D E S T A B L E A U X

| tableau | page |
|--|------|
| 3.1 Analyse statistique des dimension en μm de microsphères en polystyrène (tamis 90 à 125 μm) | 55 |
| 3.2 Analyse statistique des dimensions en μm de microsphères en polystyrène (tamis 125 à 150 μm) | 56 |
| 3.3 Analyse statistique des dimensions en μm de microsphères en polystyrène (tamis 150 à 180 μm) | 57 |
| 3.4 Analyse statistique des dimensions en μm de fibres synthétiques (fibres de rayonne) . . . | 61 |
| 3.5 Analyse statistique des dimensions en μm de fibres de cellulose (pâte kragt, tamis #28) . | 65 |
| 3.6 Analyse statistique des dimensions en μm de fibres de cellulose (pâte kraft, tamis #48) . | 66 |
| 3.7 Analyse statistique des dimensions en μm de fibres de cellulose (pâte kraft, tamis #100) . | 67 |
| 3.8 Analyse statistique des dimensions en μm de fibres de cellulose (pâte sulfite, tamis #28) . | 69 |
| 3.9 Analyse statistique des dimensions en μm de fibres de cellulose (pâte sulfite, tamis #48) . | 70 |
| 3.10 Analyse statistique des dimensions en μm de fibres de cellulose (pâte mécanique, tamis #28) | 72 |
| 3.11 Analyse statistique des dimensions en μm de | |

| | | |
|------|---|----|
| 3.12 | Analyse statistique des dimensions en μm de fibres de cellulose (pâte mécanique, tamis #48) | 73 |
| 3.13 | Analyse statistique des dimensions en μm de fibres de cellulose (pâte mécanique, tamis #100) | 74 |
| 3.14 | Effet de la température sur la distribution des diamètres en μm dans le cas de particules sphériques et cylindriques | 78 |
| 3.15 | Transmission lumineuse en fonction de la concentration pour divers types de fibres (tamis #48) | 80 |

LISTE DES FIGURES

| figure | | page |
|--------|--|------|
| 1 | Principe du système photosédimentométrique | 4 |
| 1.1 | Viscosité de l'eau en fonction de la température | 15 |
| 1.2 | Temps de chute dans l'eau en fonction du rayon des sphères à des températures de 0°C à 100°C par intervalle de 10°C (densité des sphères : 1.06, Hauteur de chute : 6.3 cm) | 17 |
| 1.2a | Cellule de mesure où $J(a(t))$ dépend de la profondeur "h" | 18a |
| 1.3 | Temps de chute dans l'eau en fonction du rayon des cylindres à des températures de 0°C à 100°C par intervalle de 10 °C (densité des particules : 1.37 hauteur de chute : 6.3 cm) | 23 |
| 1.4 | Longueur projetée des fibres | 24 |
| 1.5 | Mesure de la lumière diffusée | 27a |
| 2.1 | Schéma bloc du dispositif expérimental | 33 |
| 2.2 | Vue en perspective du système photosédimentométrique | 34 |
| 2.3 | La source lumineuse et le système de mesure | 35 |
| 2.4 | La cellule de mesure | 37 |
| 2.5 | Principe du système de détection | 38 |
| 2.6 | Système d'amplification du signal | 40 |

| | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | Exemple de résultats sous forme graphique de la transmission lumineuse dans le cas de microsphères (90 à 125 µm) | 53 |
| 3.2 | Exemple de résultats sous forme graphique de la diffusion de la lumière dans le cas de microsphères (90 à 125 µm) | 54 |
| 3.3 | Exemple de résultats sous forme graphique de la transmission lumineuse dans le cas de fibres synthétiques | 59 |
| 3.4 | Exemple de résultats sous forme graphique de la diffusion de la lumière dans le cas de fibres synthétiques | 60 |
| 3.5 | Exemple de résultats sous forme graphique de la transmission lumineuse dans le cas de fibres de cellulose (tamis #48) | 63 |
| 3.6 | Exemple de résultats sous forme graphique de la diffusion de la lumière dans le cas de fibres de cellulose (tamis #48) | 64 |
| 3.7 | Transmission lumineuse en fonction de la concentration pour différents types de fibres (tamis #48) | 81 |
| 4.1 | Lumière diffusée en fonction de la concentration | 84 |

INTRODUCTION

Depuis toujours, l'homme cherche à maîtriser et à modifier les différents éléments de la nature pour l'élaboration de produits utilisés à son développement personnel et technologique. Cela impose fréquemment des méthodes de séparations physiques ou chimiques des constituants naturels.

La grosseur de ces derniers joue un rôle particulièrement important dans les caractéristiques physiques du produit final. L'évaluation des dimensions des particules devient donc un des tests les plus importants pour la qualité du traitement ou la solidité du produit.

Dans un autre domaine, celui de l'hygiène industrielle, l'analyse des grossesurs des particules en suspension dans l'air est un facteur primordial pour la salubrité du milieu de travail. Dans le domaine minier, textile ou papetier, ce contrôle donne une idée de l'efficacité du broyeur ou du défibreur.

Revue des principales méthodes de contrôle

Actuellement, il existe plusieurs méthodes et différents types d'appareils pour l'évaluation des dimensions de particules ou de

fibres. Allen (1) et Clark (2) en font une étude assez détaillée. On peut classer ces méthodes en trois catégories :

- 1) Optiques
- 2) De tamisage
- 3) Gravitationnelles

Dans chacune de ces divisions, on retrouve plusieurs sous-catégories.

Dans le domaine optique, plusieurs auteurs (3 - 19) ont fait l'étude des dimensions de particules et fibres par analyse de la diffusion de la lumière. Le désavantage de cette méthode est le temps pris (environ 1 heure) pour donner un résultat valable. Une méthode par traitement d'image (20) a été mise au point mais a besoin d'un équipement assez élaboré. Récemment (21) on a mis au point une méthode de mesure individuelle des particules circulant dans un tube capillaire. Le désavantage de cette méthode est le blocage fréquent du tube.

La classification est la méthode qui actuellement est la plus employée en industrie. Son gros désavantage est aussi le temps requis (entre 20 et 40 min.) pour avoir un résultat satisfaisant.

La méthode gravitationnelle ou sédimetométrique, basée sur le temps de chute des particules dans un fluide, a fait l'objet de

recherches industrielles (3, 4, 22, 23, 24, 25, 26). Cette méthode est intéressante puisqu'elle réunit rapidité (entre 5 et 10 min.) et précision des résultats.

La plupart de ces méthodes ont été vérifiées avec des particules sphériques. Dans plusieurs domaines, comme c'est le cas dans l'industrie textile et papetière, la théorie des particules sphériques ne s'applique plus puisque la forme des particules en cause est plutôt cylindrique. Pour ces dernières, seules les méthodes de tamisage, de capillarité et de diffusion de la lumière sont utilisées. Après plusieurs recherches bibliographiques, il ne semble pas exister d'études théoriques sur la photosédimentométrie de particules cylindriques. Il devient donc très intéressant d'élaborer une méthode simple et surtout rapide pour évaluer les dimensions de particules sphériques ou cylindriques.

But et principe de la méthode

Le but poursuivi dans ce travail est la réalisation et l'analyse théorique d'un système électro-optique permettant d'évaluer la fonction de distribution et les dimensions de particules sphériques et cylindriques en suspension aqueuse en cours de sémentation. Les relations mathématiques décrivant le phénomène se veulent aussi simples que possible et permettant des évaluations rapides par traitement informatique. L'avantage de cette méthode est le temps requis (environ 5 min.) pour

obtenir des résultats précis.

Le principe du système photosédimentométrique est illustré à la figure 1

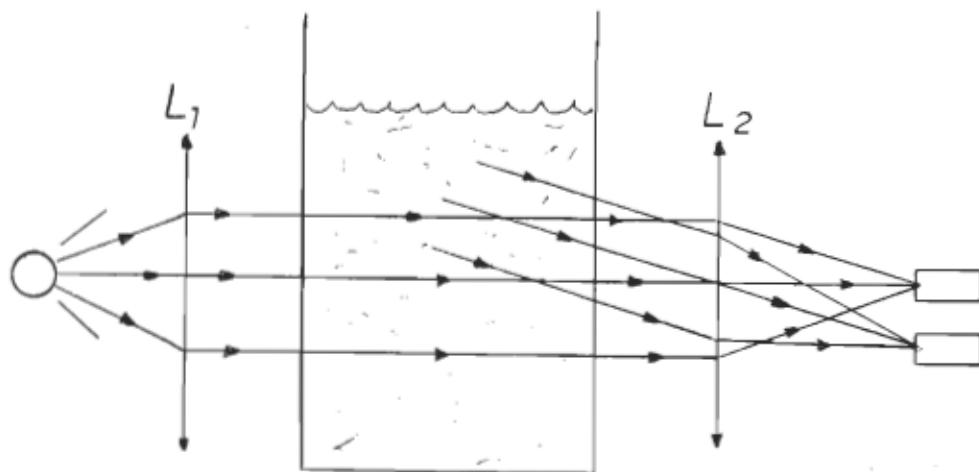


Figure 1 : Principe du système photosédimentométrique

Un faisceau de lumière cylindrique traverse une cellule contenant une suspension initialement homogène d'une distribution de particules en cours de sédimentation. Par les lois de l'hydrodynamique, on peut vérifier facilement que les grosses particules tomberont plus rapidement que les petites. Au cours du temps, l'intensité lumineuse transmise ou diffusée par la cellule augmentera ou diminuera respectivement selon une fonction du temps de chute des particules. L'analyse de ce taux de variation au cours du temps nous donnera donc une mesure des dimensions des particules contenues dans la cellule.

Si, à la limite, toutes les particules possèdent la même

dimension, la vitesse de chute sera la même et à un instant donné il y aura augmentation subite de l'intensité lumineuse reçue au détecteur. Si par ailleurs, nous avons une distribution de particules, la vitesse de chute variera selon le diamètre, et l'intensité lumineuse reçue au détecteur augmentera progressivement au cours du temps.

En général, on peut voir que plus la distribution des dimensions des particules est étroite, plus le taux de variation de l'intensité lumineuse reçue sera élevé à un instant donné. Inversement, plus la distribution sera étalée, plus le taux de variation de la lumière reçue sera faible.

Hypothèses

L'Etude photosédimentométrique des dimensions des particules sphériques ou cylindriques est basée sur certaines hypothèses fondamentales. Ces hypothèses sont à la base du développement théorique qui sera fait au premier chapitre de ce travail.

Toutes les hypothèses qui seront avancées ici sont importantes, mais la principale est la suivante:

- (a) Etant donné que les diamètres des particules sont très supérieurs à la longueur d'onde du faisceau de lumière dans le milieu de propagation (ici de l'eau), on peut employer la théorie de l'optique géométrique.

Cette hypothèse simplifie énormément le problème car l'intensité lumineuse transmise ou diffusée par les particules ne dépend pas de la longueur d'onde comme c'est le cas dans la théorie développée par Van De Hulst (27). De plus, tous les effets de la distribution de l'intensité lumineuse (en lobes) produits par la diffraction sont ici négligeables.

A celle-ci s'ajoutent les suivantes:

- (b) Toutes les particules sont considérées comme opaques et homogènes.
- (c) La concentration des particules est telle que la superposition des surfaces projetées est négligeable.
- (d) Il n'y a aucune interaction entre elles.

Ces énoncés sont valables pour les particules sphériques et cylindriques. Dans le cas des cylindres, deux hypothèses s'ajoutent et se décrivent comme suit:

- (e) Les particules ont un diamètre "a" et une longueur "L". Le rapport "L/a" est considéré comme constant.
- (f) Les particules tombent dans un fluide en maintenant une position horizontale.

La relation entre le diamètre et la longueur est valable dans certaines applications, en particulier dans le domaine des pâtes et papiers comme nous le verrons dans la prochaine section. Dans le cas du textile et du domaine minier, ce rapport peut devenir valable à condition qu'on ait des fibres de même longueur et ayant une distribution des diamètres assez étroite, ce qui est assez fréquent dans ce type de mesure.

Mesures et applications industrielles

La vérification des hypothèses et théories qui fait l'objet de ce travail a été faite à l'aide de trois types de particules réparties en deux groupes;

(1) Particules sphériques:

Microsphères de polystyrène

(2) Particules cylindriques:

Fibres de rayonne

Fibres de cellulose :

- Pâte Kraft
- Pâte sulfite
- Pâte mécanique
- Pâte thermo-mécanique

Les particules sphériques ont été utilisées principalement pour vérifier la méthode et étalonner l'appareil. Trois distributions

ont été évaluées par l'utilisation de tamis et par analyse microscopique. Ces distributions ont par la suite été déterminées par la méthode photosédimentométrique. Les résultats seront discutés au chapitre 4.

Les fibres de rayonne (hydrate de cellulose) sont des fibres synthétiques tirées du coton. L'avantage d'utiliser ce type de fibres est leur forme parfaitement cylindrique. Les spécimens utilisés proviennent d'un échantillon servant à l'étalonnage d'un analyseur de fibres de cellulose par procédé capillaire fabriqué par la compagnie KAJAANI (28). Ces fibres sont de même longueur, d'où l'intérêt de leur utilisation pour vérifier la nouvelle méthode de mesure.

Le choix des fibres de cellulose comme seconde catégorie a deux raisons principales. La première est que dans l'industrie des pâtes et papiers, il n'existe que très peu d'appareils pouvant analyser d'une façon rapide le diamètre des fibres. Etant donné que cette mesure donne une idée de la résistance au déchirement du papier (2,29), il devient intéressant d'utiliser la méthode photosédimentométrique comme application directe à l'analyse de ces fibres. La seconde raison est surtout économique. De fait, selon une analyse effectuée par l'association des industries forestières du Québec (30) l'industrie papetière canadienne produit environ 11% de la production mondiale de pâtes et papiers dont 34% pour le papier journal. Le Québec pour sa part fournit tout près de 34% de la production canadienne, dont 25%

vient de la région de Trois-Rivières. On peut donc voir l'importance économique du développement et de la mise en marché de ce type d'appareil pour l'industrie papetière québécoise.

Il existe plusieurs classes de pâtes produites dans l'industrie. Chacune de celles-ci est utilisée à des fins spécifiques. La pâte kraft est une pâte chimique surtout utilisée dans la production de boîtes, de sacs ou autres objets demandant une grande résistance.

La pâte sulfite est aussi produite par traitement chimique. Elle est surtout employée dans la production de papier fins, hygiénique et autres papiers de bonne souplesse et absorbance.

Les pâtes mécanique et thermomécanique sont produites par procédés de défibrages mécaniques. Ces pâtes sont utilisées dans la production de papier journal principalement.

Dans le cas des pâtes kraft et sulfite, les fibres sont à leur état naturel, c'est-à-dire qu'il y a correspondance entre la longueur de la fibre et son diamètre (2,31,32). Les pâtes mécaniques, pour leur part, ont différentes longueurs à cause du bris de la fibre par le traitement mécanique.

Les résultats obtenus par méthode photosédimentométrique concordent bien avec ceux de l'analyse microscopique, ils feront l'objet du chapitre 3 de cette recherche. Une conclusion

générale sur la méthode de mesure et les améliorations à apporter au système terminera ce travail.

CHAPITRE I

THEORIE

1.1 Introduction

L'étude d'un procédé photosédimentométrique pour l'évaluation des dimensions de particules sphériques fut déjà l'objet de recherches et de publications scientifiques (22,24,25,26). Cependant, dans tous ces travaux, la température du milieu de sédimentation n'a pas été prise en considération. Or, la viscosité d'un fluide augmente avec une diminution de la température, entraînant ainsi un plus grand frottement entre la particule et le liquide, d'où une diminution de la vitesse de chute des particules. Celles-ci semblent donc posséder un diamètre plus petit qu'en réalité, ce qui cause une erreur dans l'évaluation du diamètre moyen des particules contenue dans la cellule.

Dans le cas des particules cylindriques, aucune analyse mathématique n'a été publiée . De plus, lorsqu'on étudiait ce type de particules par méthode photosédimentométrique (3), la théorie des particules sphériques était utilisée, ce qui est complètement différent comme nous le verrons.

Les sections qui suivent sont donc consacrées à l'étude théorique du procédé photosédimentométrique dans le cas de particules sphériques et cylindriques. La théorie pour les sphères est ici reprise en détail pour introduire la méthodologie utilisée dans le cas des cylindres. Dans ces deux théories, la température du milieu sera prise en considération. Une courte section sur l'analyse en lumière diffusée sera introduite. Les programmes d'acquisition des données et du traitement de celles-ci sont mis en annexe.

1.2 Etude sédimentométrique des particules sphériques

Soit une particule sphérique de masse volumique ρ et de rayon "a" en chute libre dans un fluide statique de masse volumique ρ_0 .

Selon les lois de l'hydrodynamique, la force résultante exercée sur cette particule est donnée par la relation

$$F = F_g - F_f - F_A \quad (1.1)$$

où F_f est la force de frottement (exercée dans le sens contraire au déplacement de la particule), F_g la force gravitationnelle et F_A la poussée d'Archimède. Mathématiquement, on définit ces forces comme étant (33,34) :

$$F_f = (1/2) \rho v^2 C_D \pi a^2 \quad (1.2)$$

$$F_a = mg = (4/3) \pi a^3 \rho g \quad (1.3)$$

$$F_a = mg(\rho / \rho_0) = (4/3) \pi a^3 \rho g \quad (1.4)$$

où a = rayon de la sphère [cm]

v = vitesse de sédimentation [cm/s]

C_T = coefficient de traînée [sans dimension]

g = accélération de la pesanteur [9800 cm/s²]

m = masse de la particule [g]

Dans le cas d'une particule sphérique et pour de faibles nombres de Reynolds, Stokes a démontré que la force de frottement se réduit à

$$F_T = 6 \pi \mu av \quad (1.5)$$

où μ = viscosité du fluide [cP]

A l'équilibre, quand la particule atteint une vitesse de chute constante, $F = 0$ et (1.1) devient :

$$F_a = F_T - F_g \quad (1.6)$$

D'où par substitution des équations (1.3), (1.4) et (1.5)

$$6 \pi uav = (4/3) \pi a^3 g (\rho - \rho_0) \quad (1.7)$$

Isolant la vitesse de sédimentation

$$v = \frac{2a^2g(\rho - \rho_0)}{9\mu} \quad (1.8)$$

Puisque "v" est la vitesse de chute dans un intervalle de temps "t", le rayon "a" de l'équation (1.8) se réduit finalement à :

$$a = \sqrt{\frac{9\mu h}{2gt(\rho - \rho_0)}} \quad (1.9)$$

où "h" est la hauteur de chute des particules dans le fluide. Cette équation est utilisée par la plupart des auteurs travaillant dans le domaine de la sédimentométrie.

La viscosité μ d'un fluide est fonction de la température (T) de ce dernier. Pour l'eau, cette relation fut développée empiriquement par Harby, Cottingham et Swindells (35) et est donnée par :

de 0° à 20°C

$$\log_{10} \mu = \frac{1301}{998.333 + 8.1855(T-20) + 0.00585(T-20)^2} - 3.3023 \quad (1.10)$$

entre 20° et 100°C

$$\log_{10} \frac{\mu}{\mu_{20^\circ C}} = \frac{1.3272(20-T) - 0.001053(T-20)^2}{T + 105} \quad (1.10a)$$

Cette dernière relation est représentée au graphique 1.1 .

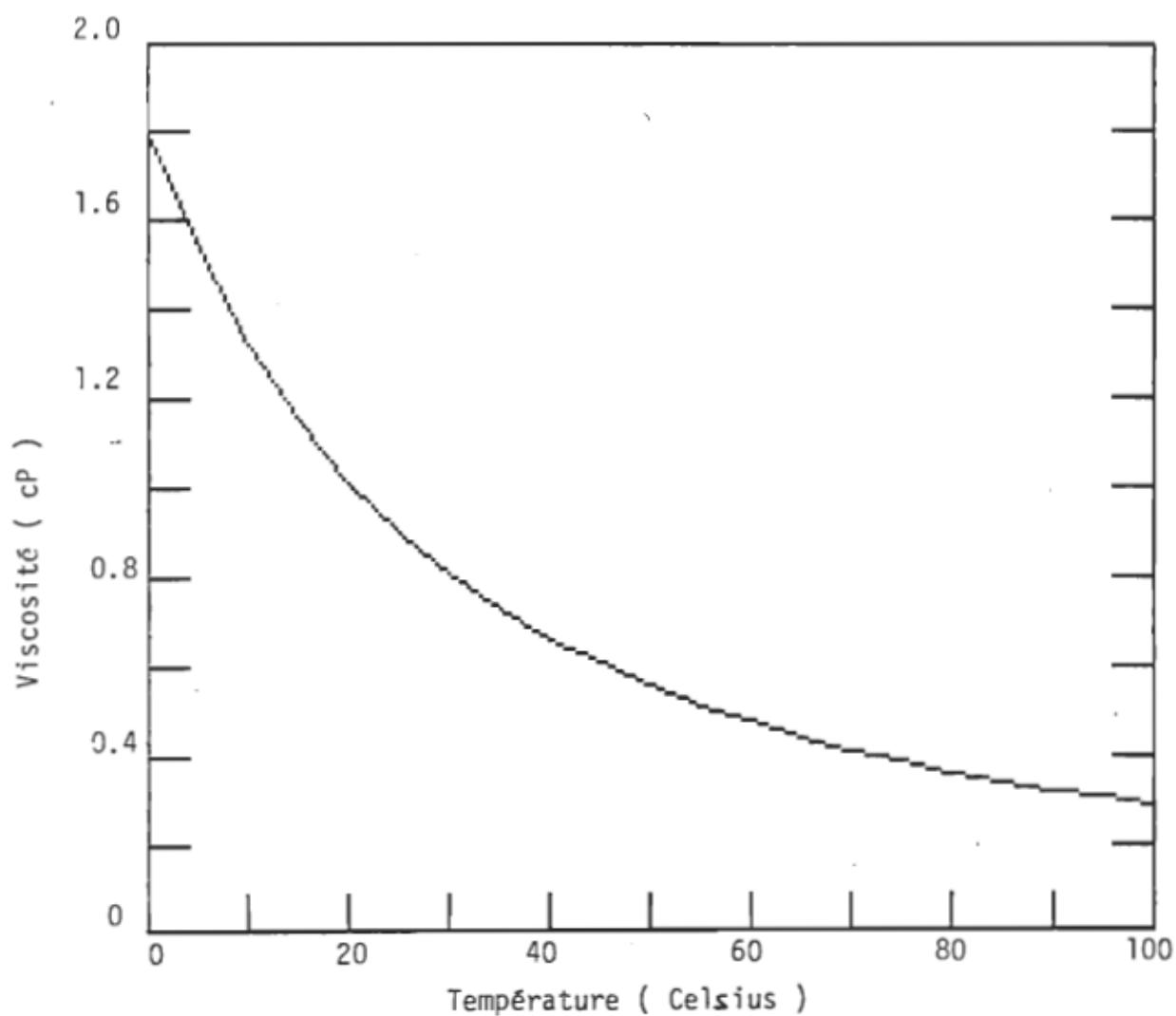


Figure 1.1 : Viscosité de l'eau en fonction de la température

Le graphique 1.2 donne le rayon des sphères en fonction du temps de chute dans l'eau à des températures de 0° à 100°C par intervalle de 10°C.

La relation (1.9) n'est valable que dans la région de Stokes. Le rayon maximal des microsphères permis pour demeurer dans cette région, sans dépasser le nombre de Reynolds, est obtenu en égalant la vitesse de chute des particules dans cette région (équation 1.8) et la vitesse de Stokes de l'équation reliant le nombre de Reynolds à cette dernière (33), c'est-à dire :

$$N_R = \frac{2a \rho_e v}{\mu} \quad (1.11)$$

D'où, par substitution dans (1.9) on obtient :

$$a_m = \sqrt[3]{\frac{9 \mu^2 N_R}{4g \rho_e (\rho - \rho_e)}} \quad (1.12)$$

1.3 Etude photosédimentométrique des particules sphériques

Tel que mentionné plus haut, l'analyse optique de la sédimentation est basée sur l'hypothèse de l'optique géométrique. On démontre dans cette théorie qu'un faisceau de lumière traversant un milieu homogène d'épaisseur "X" ° cm § est atténué par rapport au faisceau incident selon la relation :

$$I = I_0 \exp (-\alpha X) \quad (1.13)$$

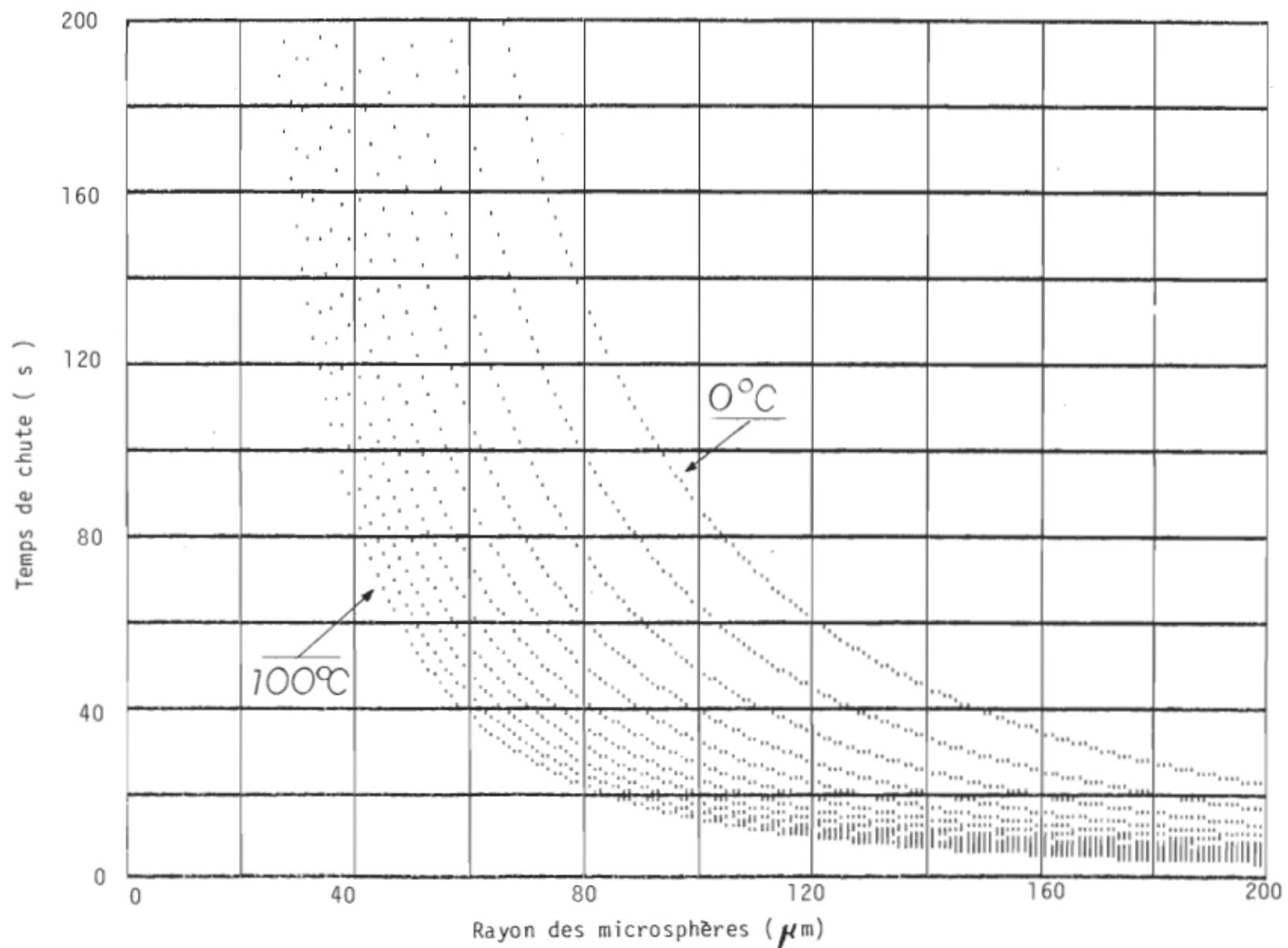


Figure 1.2 : Temps de chute dans l'eau en fonction du rayon des sphères à des températures de 0°C à 100°C par intervalle de 10°C (densité des sphères : 1.06 , Hauteur de chute : 6.3 cm).

où I = intensité du faisceau transmis
 I_0 = intensité du faisceau incident
 α = coefficient d'atténuation [cm⁻¹]
 x = épaisseur du milieu de propagation [cm]

Le coefficient d'atténuation α de la suspension est relié à la section efficace de capture " σ " et à la concentration " n_0 " des particules en suspension :

$$\alpha = \sigma n_0 = \int_0^{\infty} \sigma J(a) da \quad (1.14)$$

où $\sigma = \pi a^2$ [cm²]
 n_0 = # particules/cm³ initialement
 $J(a)$ = Distribution de particules

Au cours du temps, pour une auteur de chute "h" et dans un pinceau d'épaisseur dx le nombre de particules par centimètre cube compris entre les rayons $a_1(t)$ et $a_2(t)$ traversant le faisceau de lumière devient (graphique 1.2a) :

$$n(t) = \int_{a_1(t)}^{a_2(t)} J(a(t)) da \quad (1.15)$$

Par substitution dans (1.14) et (1.13), on obtient :

$$I = I_0 \exp (-\pi x \int_{a_1(t)}^{a_2(t)} J(a(t)) a(t)^2 da) \quad (1.16)$$

Le taux de variation de la transmission lumineuse dans le cas de particules sphériques donne, suivant la règle de Leibniz (39) :

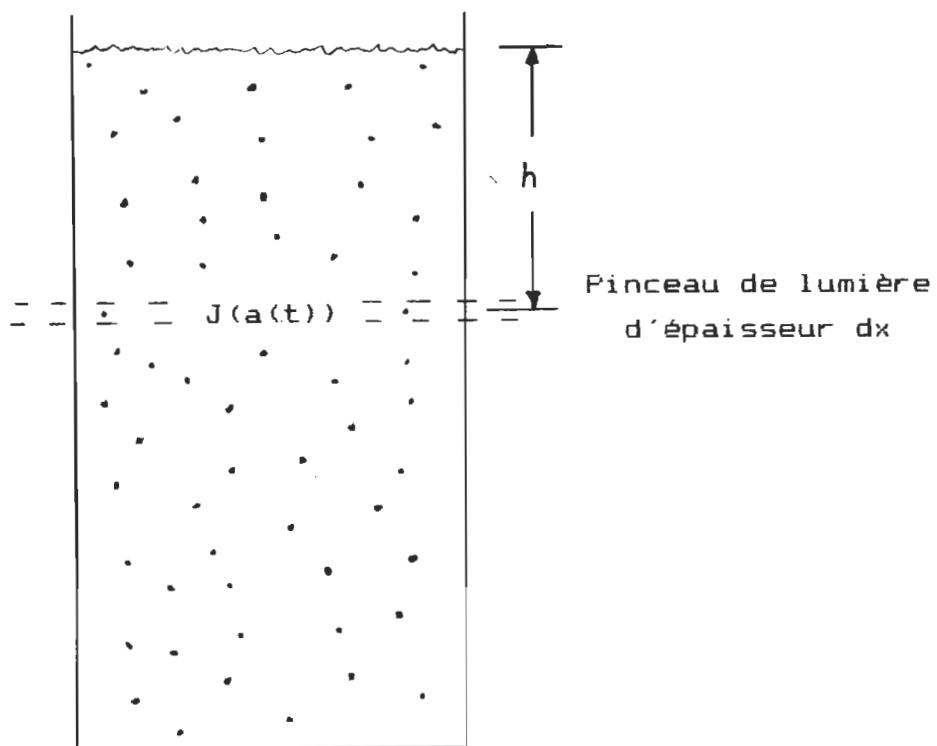
Cellule de mesure

Figure 1.2a : Cellule de mesure où $J(a(t))$ dépend de la profondeur "h"

$$\begin{aligned} d/dt (\ln I/I_0) &= -\pi X (d/dt \int_{a_1(t)}^{a_2(t)} J(a(t)) a(t)^2 da) \\ -1/\pi X d/dt (\ln I/I_0) &= \int_{a_1(t)}^{a_2(t)} \frac{\partial}{\partial t} (J(a(t)) a(t)^2) da \\ &+ J(a_2(t)) a_2^2(t) da_2(t)/dt - J(a_1(t)) a_1^2(t) da_1(t)/dt \end{aligned}$$

où $a_1(t)=0$ et $a_2(t)$ dépend du temps d'acquisition. A un instant donné t , la dérivée partielle est égale à 0 et la relation devient en substituant $a_2(t)$ par $a(t)$:

$$-d/dt (\ln (I/I_0)) = \pi X J(a(t)) a(t)^2 da(t)/dt \quad (1.17)$$

La distribution des rayons des particules sera donc

$$J(a(t)) = \frac{-1}{\pi X} \frac{d/dt (\ln (I/I_0))}{a^2(t) da(t)/dt} \quad (1.18)$$

Par substitution de (1.9) dans (1.18) on obtient finalement

$$J(t) = \frac{2t^{5/2}}{X K^3} \frac{d}{dt} \ln (I/I_0) \quad (1.19)$$

où

$$K = \frac{9 \mu h}{2g(\rho - \rho_e)}$$

Cette dernière relation donne la fonction de distribution des rayons des particules en fonction du taux de variation de la transmission lumineuse à un instant donné.

1.4 Etude sédimentométrique des particules cylindriques

Soit un cylindre de longueur "L", de rayon "a" et de masse volumique ρ en chute libre à l'horizontale dans un fluide de masse volumique ρ_0 . Comme dans le cas des sphères, les cylindres sont soumis à l'action de trois forces; la force gravitationnelle, la force de traînée et la poussée d'Archimède. Les expressions de ces forces sont

$$F_g = mg = \pi a^2 L \rho g \quad (1.20)$$

$$F_A = mg(\rho_0 / \rho) = \pi a^2 L g \rho_0 \quad (1.21)$$

$$F_F = a L C_T \rho_0 v^2 \quad (1.22)$$

Le coefficient de traînée ne peut dans ce cas être réduite à une relation simple car C_T varie d'une façon complexe avec le nombre de Reynolds.

A l'équilibre, la résultante des forces sera nulle, d'où

$$C_T a L \rho_0 v^2 = \pi a^2 L g (\rho - \rho_0) \quad (1.23)$$

La vitesse de chute des cylindres peut donc s'écrire

$$v = \sqrt{\frac{\pi a g (\rho - \rho_0)}{C_T \rho_0}} \quad (1.24)$$

Isolant pour le rayon "a"

$$a = \frac{h^2 \rho_0 C_T}{\pi g (\rho - \rho_0) t^2} \quad (1.25)$$

L'expression du coefficient de traînée C_T utilisant le nombre de Reynolds (1.11) fut développée empiriquement par Lamb (33) et peut s'exprimer comme suit :

$$C_T = \frac{8 \pi}{N_R (2.002 - \ln N_R)} \quad (1.26)$$

Cette relation est valide uniquement pour un nombre de Reynolds inférieur à 0.5. Substituant (1.26) et (1.11), l'expression (1.25) devient

$$a^2 = \frac{4 \mu h}{\pi g (\rho - \rho_0) (2.002 - \ln N_R)} \quad (1.27)$$

Par développement en série de Taylor et pour un faible nombre de Reynolds, le " $\ln N_R$ " se réduit à

$$\ln N_R = 2 \frac{N_R - 1}{N_R + 1} \quad (1.28)$$

Par substitution dans (1.27)

$$a^2 = \frac{A}{2.002 - 2 ((N_R - 1) / (N_R + 1))} \quad (1.29)$$

où

$$A = \frac{4 \mu h}{\operatorname{tg}(\rho - \rho_0)}$$

Après manipulation mathématique, (1.29) se réduit à

$$a^2 = \frac{2a \rho_0 h^2}{t^2 g(\rho - \rho_0)} + \frac{\mu h}{\operatorname{tg}(\rho - \rho_0)} \quad (1.30)$$

qui est une équation quadratique en "a". La solution donne

$$a \approx \frac{\rho_0 h B}{t^2} + \sqrt{\left(\frac{\rho_0 h B}{t^2}\right)^2 + \frac{\mu B}{t}} \quad (1.31)$$

où

$$B = \frac{h}{g(\rho - \rho_0)}$$

Le graphique 1.3 représente le rayon de particules cylindriques en fonction du temps de chute dans l'eau et de la température. De la même manière que pour les sphères, l'expression (1.31) n'est valide que pour des nombres de Reynolds inférieurs à 0.5. Cette condition est satisfaite pour les fibres utilisées dans ce travail. Le rayon maximal pour ne pas dépasser ces derniers, c'est-à-dire pour demeurer dans la région de Stokes est obtenu en égalant les expressions des vitesses de (1.11) et (1.24) d'où

$$a_m = \sqrt[3]{\frac{\mu^2 N_R C_T}{4 \pi g(\rho - \rho_0)}} \quad (1.32)$$

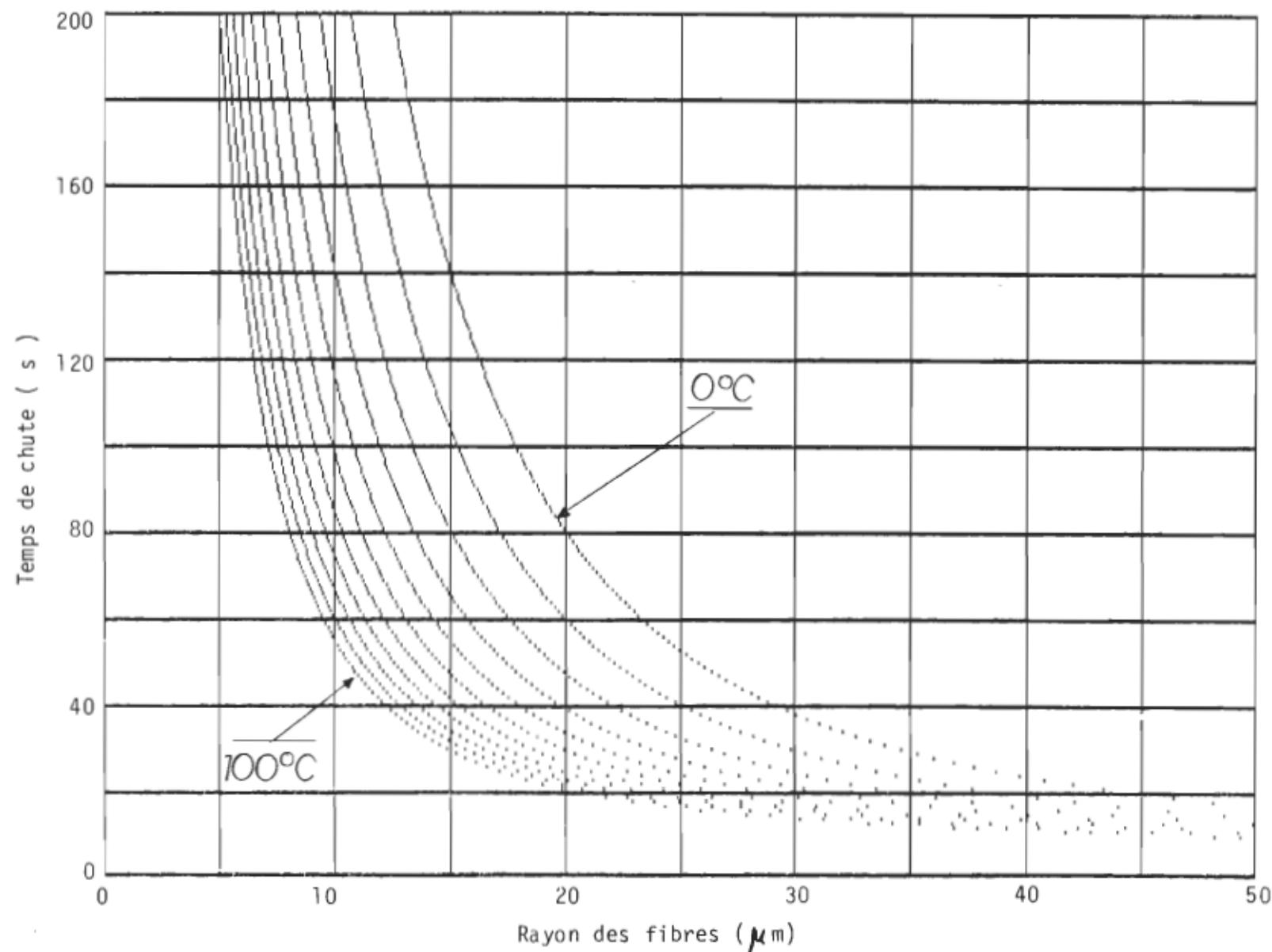


Figure 1.3 : Temps de chute dans l'eau en fonction du rayon des particules cylindriques à des températures de 0°C à 100°C par intervalle de 10°C (densité des particules : 1.37, hauteur de chute : 6.3 cm).

Par substitution de l'équation (1.26), le rayon maximal se réduit à

$$a_m = \sqrt[3]{\frac{2 \mu^2 N_R}{g (\rho - \rho_0) (2.002 - \ln N_R)}} \quad (1.33)$$

En négligeant les termes d'ordre supérieur du " $\ln N_R$ ", l'équation peut finalement se réduire à

$$a_m = \sqrt[3]{\frac{\mu^2 N_R (N_R + 1)}{2g (\rho - \rho_0)}} \quad (1.34)$$

1.5 Etude photosédimentométrique des particules cylindriques

Soit un ensemble de fibres orienté aléatoirement dans un fluide. Par hypothèse d'une descente à l'horizontale, la longueur projetée (figure 1.4) des fibres dans le plan horizontal définit par les coordonnées X et Y sera :

$$L_p = L \cos \theta \quad (1.35)$$

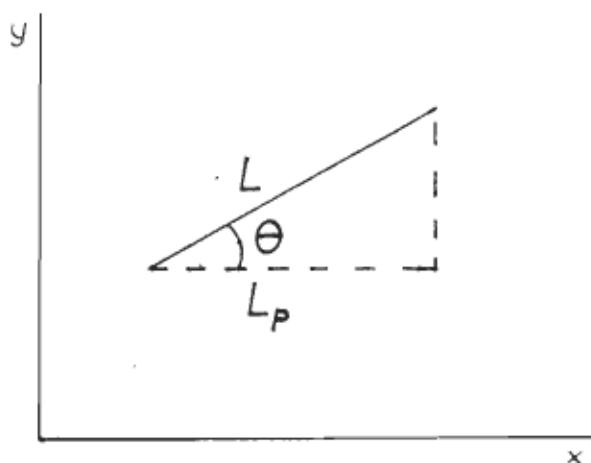


figure 1.4 : Longueur projetée des fibres

La longueur moyenne projetée sera donc

$$\bar{L}_P = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} P(\theta) L \cos \theta d\theta \quad (1.36)$$

où $P(\theta)$ est la distribution angulaire des fibres dans le fluide.

De la statistique, on sait que

$$\int_{-\pi/2}^{\pi/2} P(\theta) d\theta = 1 \quad (1.37)$$

Puisqu'il n'y a pas d'orientation privilégiée, la probabilité de trouver une fibre à un angle donné sera la même pour tous angles, d'où

$$P(\theta) = \text{Cte} \quad (1.38)$$

Substituant dans l'équation précédente, on obtient

$$\text{Cte} = 1/\pi \quad (1.39)$$

La longueur moyenne projetée peut donc s'écrire

$$\begin{aligned} \bar{L}_P &= (L/\pi) \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos \theta d\theta \\ &= 2L/\pi \end{aligned} \quad (1.40)$$

Le coefficient d'atténuation étant donné par

$$\alpha = \sigma n_0 = \int_{\alpha_1(x)}^{\alpha_2(x)} 2a \bar{L}_P J(a) da \quad (1.41)$$

Par substitution de (1.40) dans cette relation, on obtient

$$\alpha = \int_{a_1(x)}^{a_2(x)} (4C/\pi) a L J(a) da \quad (1.42)$$

Si, par hypothèse, le rapport "L/a" d'une fibre est constant, (1.42) peut s'écrire

$$\alpha = (4C/\pi) \int_{a_1(x)}^{a_2(x)} a^2 J(a) da \quad (1.43)$$

Par substitution dans (1.13), en se basant sur l'équation (1.15)

$$I = I_0 \exp ((-4C/\pi) \int_{a_1(x)}^{a_2(x)} J(a(t)) a(t)^2 da) \quad (1.44)$$

Par la même méthode que pour passer de l'équation (1.16) à (1.17) le taux de variation de l'intensité lumineuse reçue au détecteur pour des cylindres de rayons $a_1(t)$ à $a_2(t)$ donne

$$-d/dt \ln (I/I_0) = (4CX/\pi) J(a(t)) a(t)^2 da(t)/dt \quad (1.45)$$

d'où

$$J(a(t)) = -\frac{\pi}{4CX} \frac{d/dt (\ln (I/I_0))}{a(t)^2 da(t)/dt} \quad (1.46)$$

où, par l'utilisation de l'équation (1.31)

$$a(t)^2 = \left[\frac{\rho_0 h B}{t^2} + \sqrt{\frac{\rho_0 h B}{t^2} + \frac{\mu B}{t}} \right]^2 \quad (1.47)$$

et

$$\frac{da(t)}{dt} = -\frac{2 \rho_0 h B}{t^3} + \frac{\frac{1}{2} \left[-\frac{4(\rho_0 h B)^2}{t^5} - \frac{u h}{t^2} \right]}{\left(\frac{\rho_0 h B}{t^2} \right)^2 + \frac{u B}{t}} \quad (1.48)$$

L'expression (1.46) utilisant (1.47) et (1.48) représente la fonction de distribution des rayons des particules cylindriques en fonction du taux de variation de la transmission lumineuse à un instant donné.

1.6 Etude sommaire de la diffusion

Dans la théorie de l'optique géométrique introduite dans les sections 1.2 et 1.4, la transmission lumineuse est donnée par

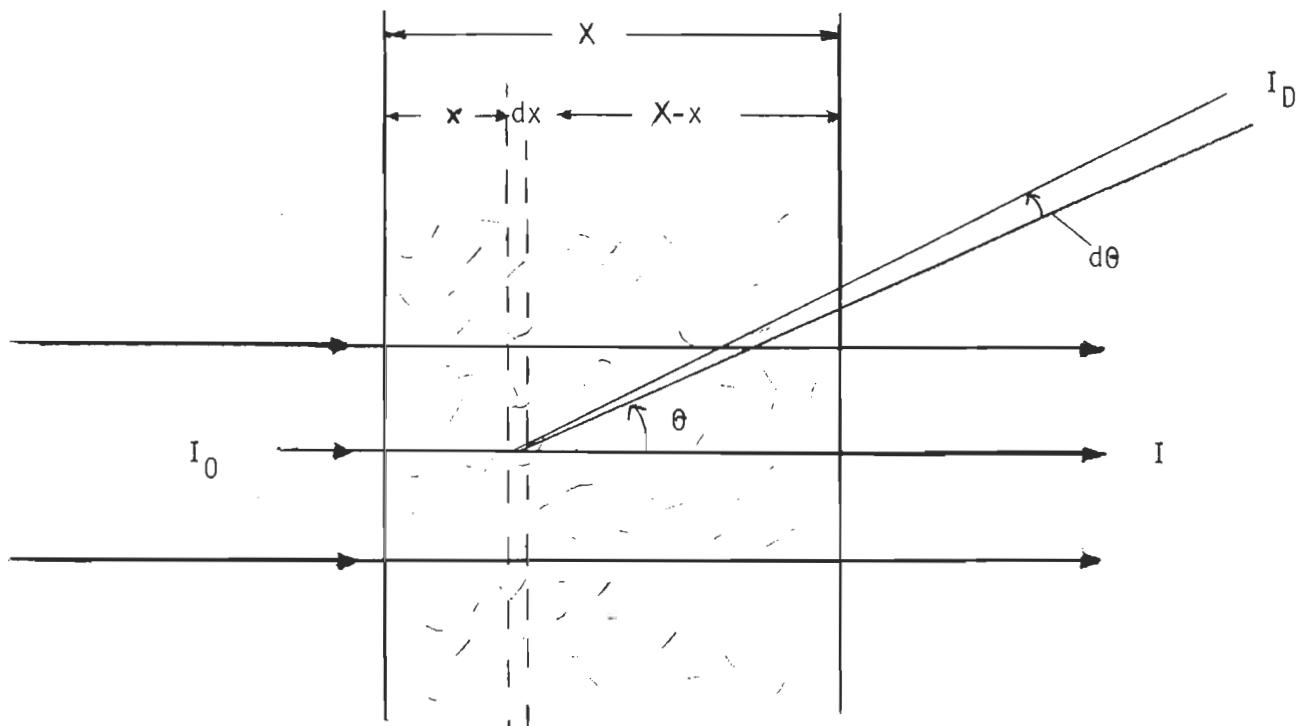
$$I = I_0 \exp(-\alpha x) \quad (1.49)$$

où

$$\alpha = \int_{a_1(x)}^{a_2(x)} S J(a) da$$

S étant la surface projetée de la particule. En supposant que la cellule n'influence pas la diffusion et qu'on néglige la diffusion multiple, c'est-à-dire celle provenant des autres fibres, le flux lumineux diffusé par l'élément de volume "dx dy dz" dans le pinceau d'ouverture θ et $\theta + d\theta$ (figure 1.2) s'écrit :

$$dF = k \alpha F(\theta) I d\theta dx dy dz \quad (1.50)$$



- I_0 : Lumière incidente
- I : Lumière transmise
- I_D : Lumière diffusée
- θ : Angle de diffusion
- X : Largeur de la cellule

Figure 1.5 : Mesure de la lumière diffusée

où $F(\theta)$ est la fonction de répartition angulaire, et k la fraction du flux qui est diffusée. Pour l'élément de surface unitaire et d'épaisseur dx , le flux se réduit à

$$d\phi = k \propto F(\theta) I d\theta dx \quad (1.51)$$

Par substitution de I (relation (1.13)), le flux diffusé par cet élément devient :

$$d\phi = K \propto F(\theta) I_0 \exp(-\propto x) d\theta dx \quad (1.52)$$

Le flux total $d\phi_m$ émergeant de la cellule dans le pinceau d'ouverture θ et $\theta+d\theta$ donne:

$$d\phi_m = d\phi \exp(-\propto (X-x)/\cos \theta)$$

Par substitution de $d\phi$ et par intégration, $d\phi_m$ devient égal à :

$$\begin{aligned} \phi_m &= k F(\theta) d\theta I_0 \propto \exp(-\propto X/\cos \theta) \int_0^X \exp(\propto ((1/\cos \theta)-1)x) dx \\ &= k F(\theta) d\theta I_0 (\cos \theta / (1 - \cos \theta)) (\exp(-\propto X) - \exp(-\propto X/\cos \theta)) \end{aligned} \quad (1.53)$$

On peut observer (Figure 4.1) qu'à faible concentration (\propto petit), la relation est linéaire mais décroît rapidement lorsque \propto devient grand.

1.7 Traitement statistique des dimensions des particules

L'analyse statistique de la distribution des dimensions donne un aperçu quantitatif des résultats obtenus de l'expérimentation. Les relations qu'on y retrouve sont utilisées couramment en statistique mathématique des mesures par échantillonnages (2,28,36,38). Elle peut-être définie de façon générale par la relation (38) :

$$(l_{qp})^{q-p} = \sqrt{\sum_i \frac{n_i l_i^q}{N} / \sum_i \frac{n_i l_i^p}{N}} \quad (1.54)$$

où p et q définissent la moyenne et N est le nombre total de particules . Chacune de ces moyennes est utilisée pour certains types de comparaison. Dans l'industrie papetière et d'après le "TAPPI 1969 reference" (2), trois types de moyennes sont utilisées pour caractériser une distribution, soit :

p=0 et q=1 : moyenne arithmétique (1)

p=1 et q=2 : moyenne linéique (surface par unité de longueur) (1_{PL})

p=2 et q=3 : moyenne surfacique (volume par unité de surface) (1_{PV})

En substituant les valeurs de p et q on obtient :

$$l = \sqrt{\frac{\sum_i n_i l_i}{\sum_i n_i}} \quad i=1,2,\dots,N \quad (1.55)$$

$$l_{\text{PS}} = \frac{\sum n_i l_i^2}{\sum n_i l_i} \quad i=1,2,\dots,N \quad (1.56)$$

Dans cette dernière relation, plus la distribution est asymétrique, plus les grosses particules auront de poids et plus la moyenne se ramènera au point qui sépare la distribution en parties égales. Cette relation est une autre manière d'exprimer la mesure de la section moyenne des particules.

$$l_{\text{PV}} = \frac{\sum n_i l_i^3}{\sum n_i l_i^2} \quad i=1,2,\dots,N \quad (1.57)$$

Dans le cas de particules sphériques, seules les deux premières équations sont utilisées. Dans le cas de particules cylindriques on utilise les trois relations. La distribution est caractérisée quantitativement par la recherche d'une dimension de particules telle qu'une fraction donnée de celles-ci aie des dimensions inférieures ou supérieures. Puisque ces fractions sont fixées à 10, 25, 50, 75 et 90 du nombre total de particules et qu'on connaît le nombre de particules de chaque dimension, la seule inconnue à évaluer est la dimension maximale pour égaler l'équation qui s'écrit comme suit :

$$\% = \frac{100 \sum n_k l_k}{\sum n_i l_i} \quad k=1,2,\dots,V \quad i=1,2,\dots,N \quad (1.58)$$

Par itération, on cherchera donc la valeur de l_k correspondant au pourcentage voulu.

CHAPITRE II

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

L'étude expérimentale est basée sur l'analyse de la lumière transmise ou diffusée par une suspension volumique de particules sphériques ou cylindriques en cours de sémination.

La connaissance du taux de variation de la lumière traversant cette suspension nous donne une mesure de la fonction de distribution des rayons des particules ou fibres contenues dans la cellule.

L'évaluation de la distribution des dimensions des particules ou fibres ainsi que les effets affectant la mesure font l'objet de cette recherche.

Dans ce qui suit, une présentation du montage expérimental, de la préparation des échantillons, de la méthode de mesure ainsi que de l'acquisition et du traitement des données feront l'objet d'une analyse détaillée.

2.1 Montage expérimental

2.1.1 Description générale du montage

Le système expérimental est constitué de 4 parties; la source lumineuse, la cellule de mesure, les détecteurs et le circuit d'amplification ainsi que le système d'acquisition et de traitement des données. La figure (2.1) représente le schéma bloc du dispositif expérimental. La source lumineuse ainsi que le système de détection sont installés dans un boîtier métallique pour mesurer uniquement la lumière transmise ou diffusée provenant de la cellule de mesure. Pour diminuer les risques de réflexions à l'intérieur du montage, toutes les pièces métalliques sont peintes en noir et toutes les lentilles possèdent une couche anti-reflet. La figure (2.2) donne une vue en perspective du système photosédimentométrique.

2.1.2 La source lumineuse

Son schéma est donné à la figure (2.3). Elle est constituée d'une lampe incandescente 12 V 65 W #12338 H3 fabriqué par la compagnie PHILIPS. La lampe est insérée dans un boîtier métallique B .

Sur la face arrière du boîtier, on place un miroir M de telle sorte qu'une fraction de la lumière émise initialement vers l'arrière soit récupérée, augmentant ainsi le flux lumineux du système optique.

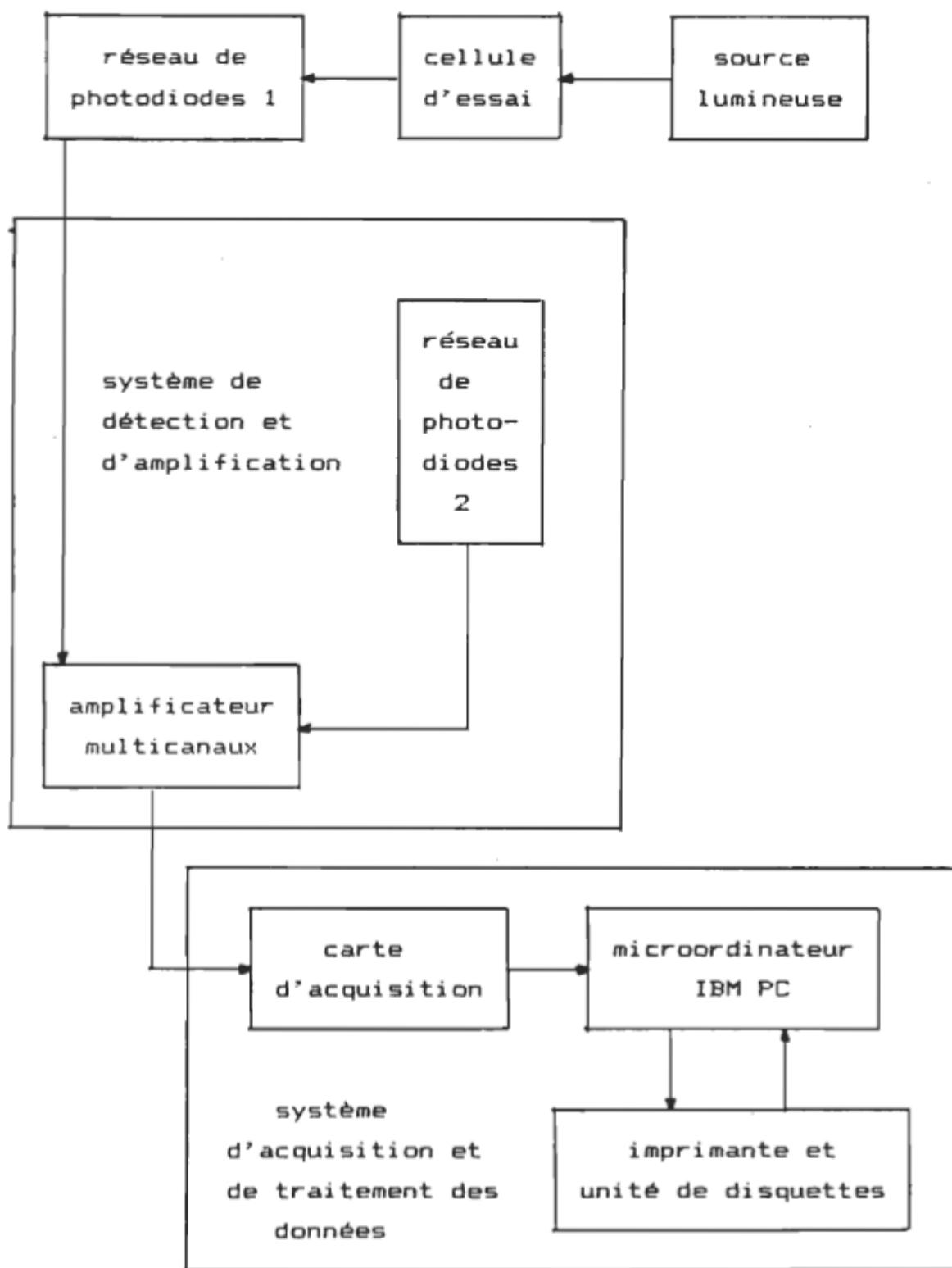
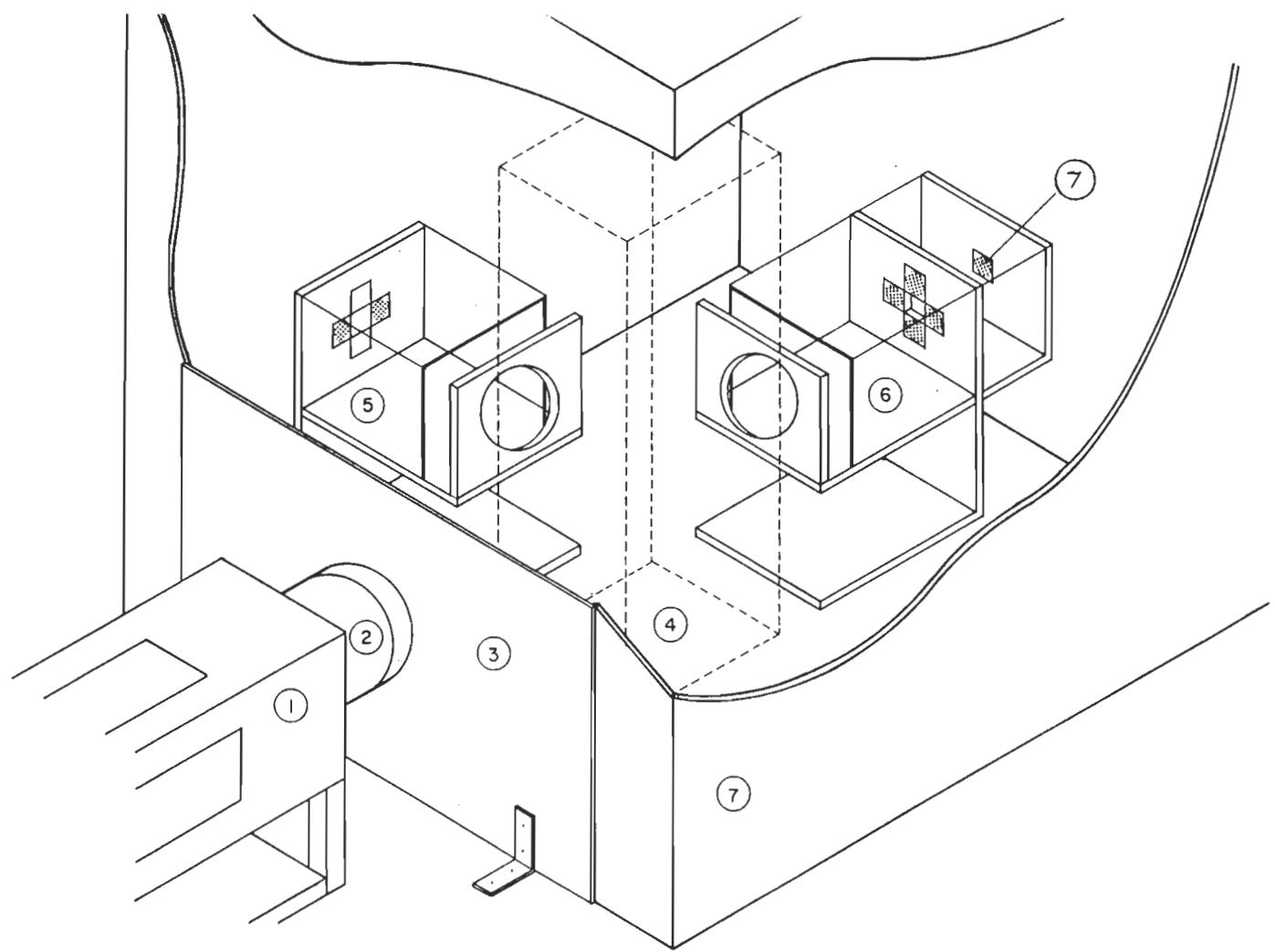


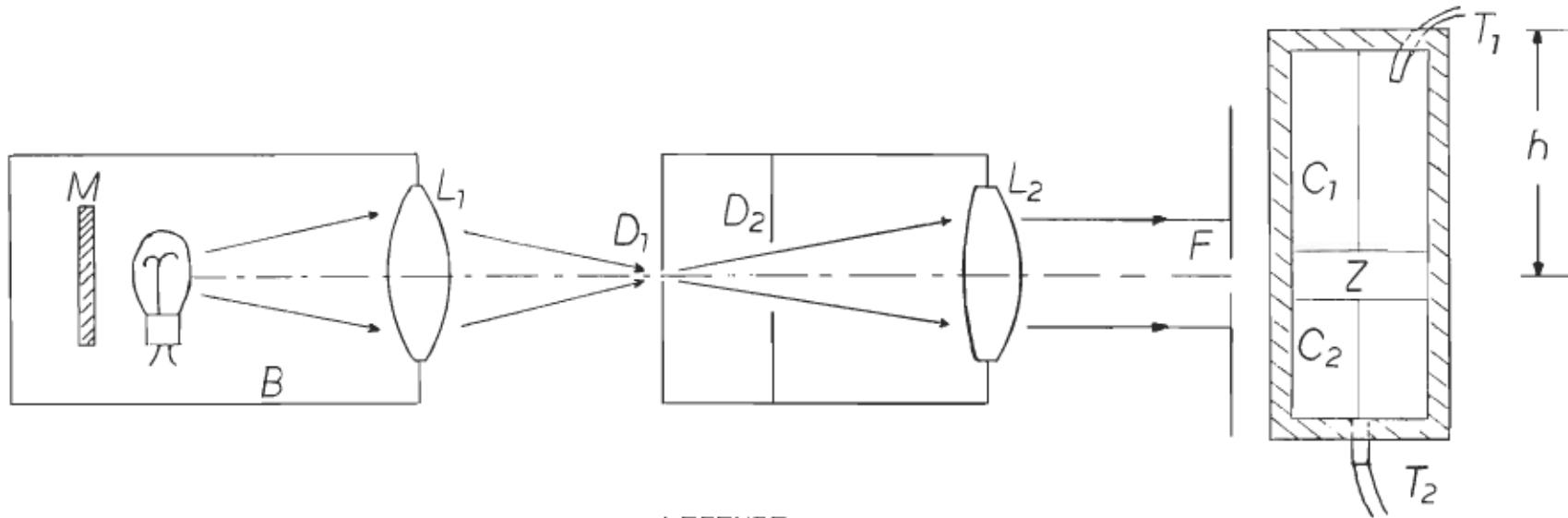
figure 2.1 : schéma bloc du dispositif expérimental



LEGENDE

- 1 Source lumineuse
- 2 Système optique de la source lumineuse
- 3 Plaque de soutien du système optique de la source lumineuse
- 4 Cellule de mesure
- 5 Système de détection en lumière diffusée (non utilisé)
- 6 Système de détection en lumière transmise
- 7 Photodiode

Figure 2.2 : Vue en perspective du système photosédimentométrique.



LEGENDE

- B : Boîtier métallique
- M : Miroir
- L_1 : Lentille convergente, focale de 60 mm
- D_1 : Diaphragme de 2 mm de diamètre
- D_2 : Diaphragme de 20 mm de diamètre
- L_2 : Doublet achromatique, focale : 50 mm
- F : Fenêtre de 6 mm d'ouverture
- Z : Zone d'observation de 8 mm d'ouverture
- C_1 et C_2 : Cloisons en plastique de 250 μm d'épaisseur montées en étoile
- T_1 : Tube de brassage
- T_2 : Tube de vidange
- h : Hauteur de chute (6.3 cm à partir du haut de la cellule)

Figure 2.3 : La source lumineuse et le système de mesure

Ce dernier est constitué d'une lentille L_1 biconvexe focalisant le faisceau lumineux sur un diaphragme D_1 . Un second diaphragme D_2 de plus grande surface limite l'ouverture du faisceau de lumière provenant de D_1 qui sert de source quasi-ponctuelle. Un doublet achromatique L_2 dont le foyer est en D_1 donne un faisceau de lumière cylindrique traversant une fenêtre rectangulaire F . Cette fenêtre délimite une zone d'observation Z de 6 mm d'ouverture à l'intérieur de la cellule. L'ouverture de la fenêtre permet de limiter l'intensité lumineuse arrivant aux détecteurs.

La lampe est alimentée par une source de 12 Vcc régularisée et filtrée. Cette dernière est elle même branchée sur un transformateur à tension constante #23-22-125 fabriqué par la compagnie SOLA. Cette double alimentation régularise le flux lumineux émis par la lampe au cours du temps.

2.1.3 La cellule de mesure

Elle est faite de verre mince (2 mm) collé sur une armature de plastique (figure 2.4). Ses dimensions extérieures sont 4.7 X 5.2 X 11 cm. Ces dimensions possèdent deux avantages. Premièrement, la cellule n'est pas trop petite pour permettre d'avoir une bonne surface lumineuse d'observation et en second, pas trop grande, ce qui réduit la turbulence du mélange particules-fluide après le brassage initial. Afin de réduire au minimum la turbulence dans la cellule, deux cloisons montées en

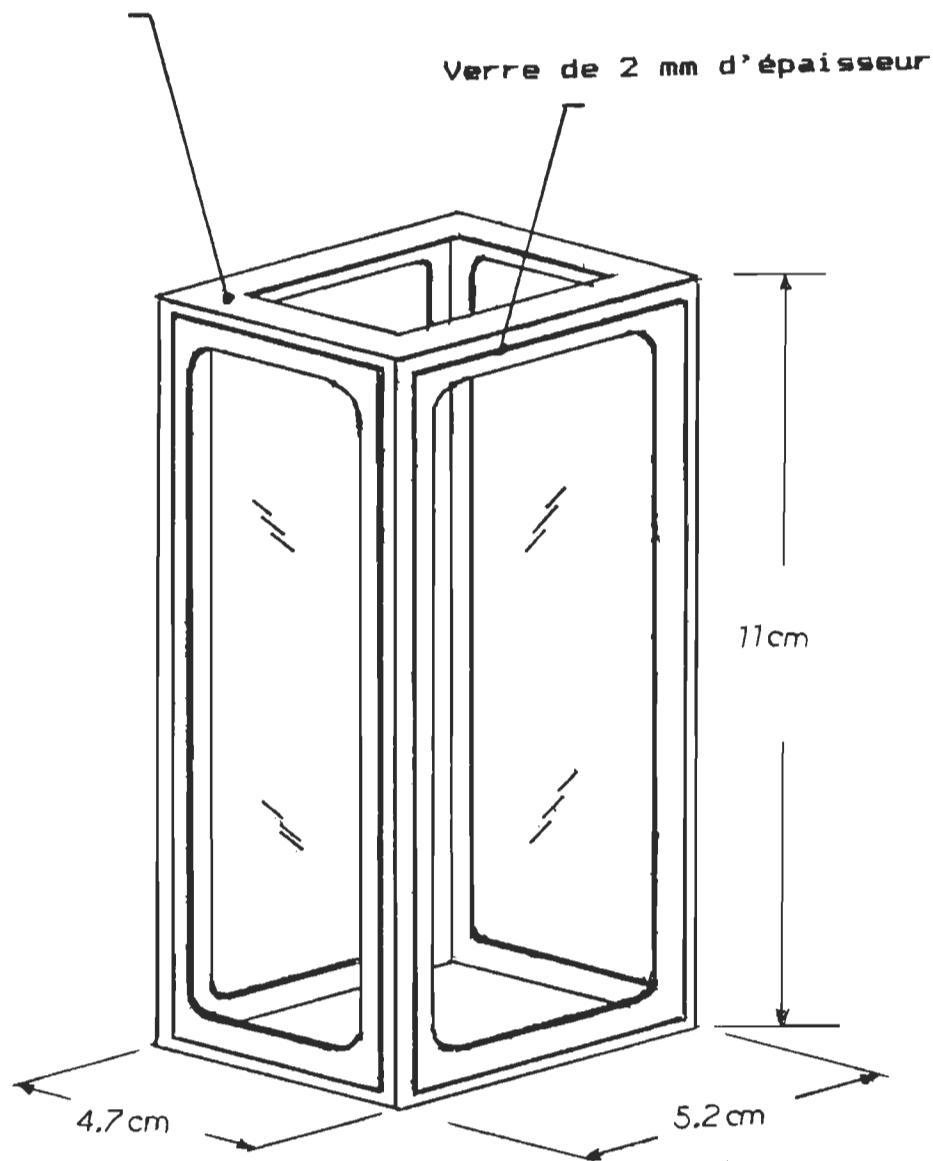
Armature de plastique

Figure 2.4 : La cellule de mesure

étoile sont disposées de part et d'autre du volume d'observation dans la cellule (Figure 2.3). Ces parois sont faites de <<mylar>> de 250 µm d'épaisseur. Le brassage se fait en insérant un petit tube flexible T_1 dans la cellule. Ce dernier est relié à une seringue qu'on actionne environ 15 à 20 fois pour obtenir un mélange homogène. La vidange de la cellule se fait par gravité au moyen d'un orifice T_2 à sa base.

Toute la cellule glisse dans une armature métallique. Le niveau d'observation peut donc devenir variable et ainsi faciliter des essais à différents endroits de la cellule. Il s'agit de changer la hauteur des parois disposées à l'intérieur de celle-ci. La hauteur de chute h a été fixée à 6.3 cm afin de permettre aux particules de dimensions voisines de se séparer.

2.1.4 Détection et circuit d'amplification

Le principe du système de détection est illustré à la figure 2.5.

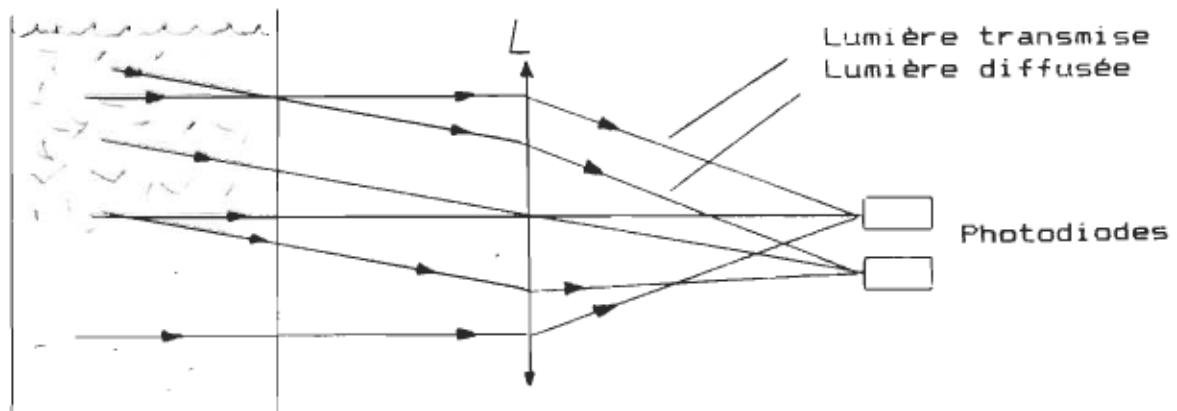


Figure 2.5 : Principe du système de détection

Il est composé de 7 photodiodes NSL-815 (diamètre : 2mm) dont les caractéristiques sont données dans l'annexe A et montées sur la face arrière de deux boîtiers métalliques (figure 2.2). Une lentille biconvexe L (focale : 90 mm) focalise les rayons parallèles à l'axe et dirige vers un détecteur situé à 10 degrés hors de l'axe, la lumière venant de cette direction. Le courant reçu des photodiodes est par la suite amplifié par le système d'amplification multicanaux de la figure 2.6 . Chaque canal est composé de trois amplificateurs opérationnels TL0071 montés en cascade et d'un filtre passe-bas pour éliminer les signaux parasites. Les potentiomètres P donnent un réglage du gain de l'amplificateur et P sert à régler le niveau de sortie des amplificateurs.

Le système détection-amplification est monté de façon générale, c'est-à-dire qu'on peut se servir de un ou plusieurs canaux suivant l'analyse désirée. Les canaux choisis sont contrôlés par un programme informatique.

2.1.5 système d'acquisition et de traitement des données

Le système est composé d'un ordinateur IBM PC, d'une imprimante EPSON MX80, d'une carte d'acquisition DT2801 de la compagnie DATA TRANSLATION et du programme PCLAB. Ce programme est un logiciel en temps réel qui contrôle toutes les entrées-sorties entre la mémoire de l'ordinateur et la carte d'acquisition. Il est composé d'un certain nombres d'instructions en langage

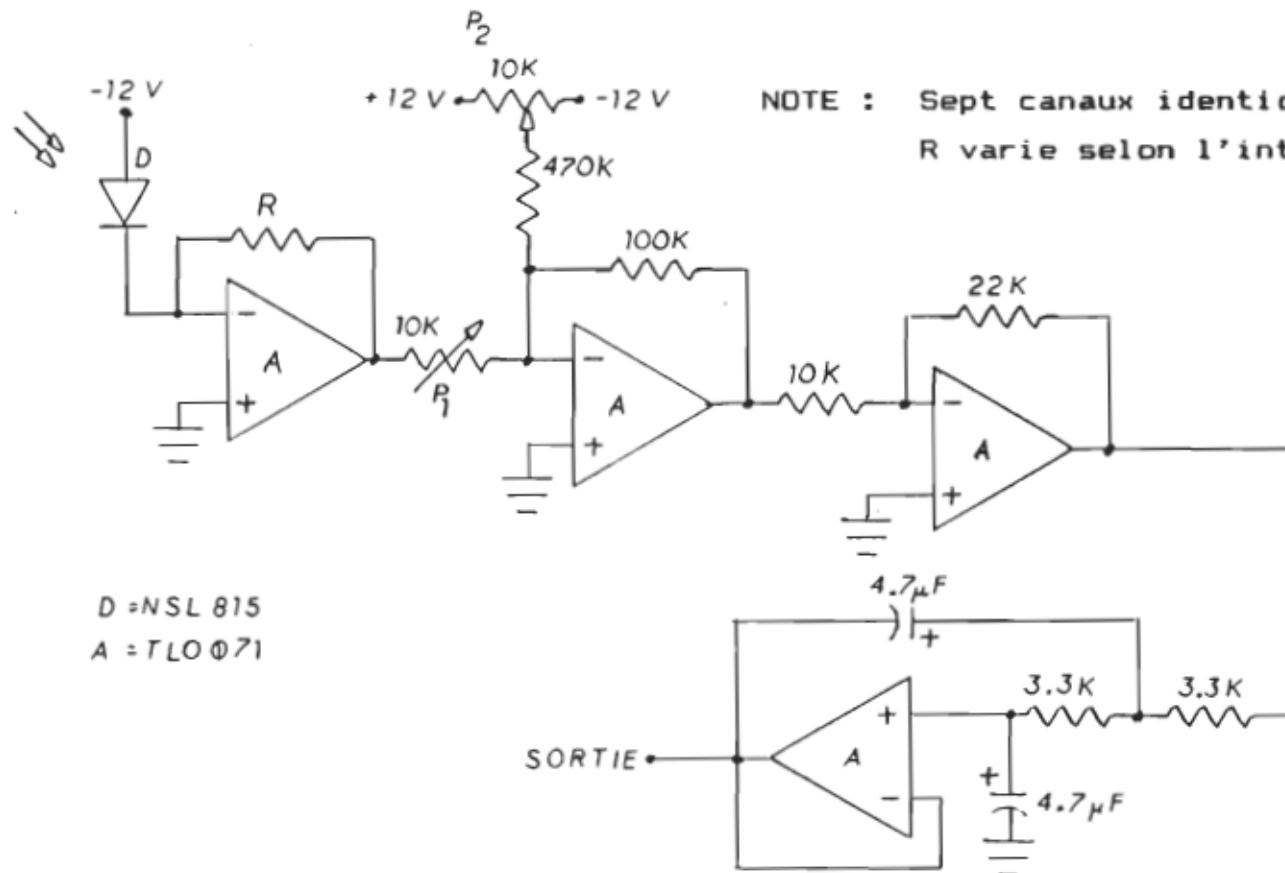


Figure 2.6 : Système d'amplification du signal

machine appelées par un programme en langage BASIC. Un compilateur BASIC augmente la rapidité d'exécution des programmes.

2.2 Préparations des échantillons

Plusieurs types d'échantillons ont fait l'objet d'analyses pour la vérification de la théorie et de la méthode de mesure. Selon le type d'échantillon, la préparation en solution aqueuse demande une manipulation particulière. Dans cette section, une description détaillée du mode de préparation des échantillons sera faite.

2.2.1 Préparation des microsphères

Les microsphères utilisées sont en polystyrène. Elles proviennent de chez POLYSCIENCE INC.. Leur densité est de 1.06 (35) comparativement à 1.00 pour l'eau. Ce produit a été choisi à cause de la forme particulièrement sphérique des grains. Trois distributions ont été obtenues par l'utilisation de quatres tamis (#170, #115, #100, #80) et d'un brasseur automatique. Les distributions correspondantes sont 90-125 um, 125-150 um et 150-180 um.

Etant donnée la faible différence entre la densité du polystyrène et celle de l'eau et la présence d'une fine pellicule de poudre adhérant aux microsphères, ces dernières ont

tendance à demeurer à la surface de l'eau. L'utilisation d'un agent mouillant (savon liquide) élimine le problème. Le mode de préparation se résume comme suit:

- (a) on ajoute quelques gouttes d'agent mouillant (savon liquide) à l'eau.
- (b) on introduit les microsphères en agitant pour obtenir la plus grande sédimentation possible pour un temps de chute donné dépendant de la distribution.
- (c) on rince plusieurs fois les microsphères qui se sont sédimentées.

Le temps de chute pour une hauteur de 4 cm varie d'une distribution à l'autre selon le diamètre des particules. Pour une distribution comprise entre 90 et 125 μm , ce temps est d'environ 100 s. Pour une distribution de 125 à 150 μm , le temps de chute est d'environ 65 s et pour celle entre 150 et 180 μm , le temps de chute donne environ 35 s. Ces temps ont été évalués théoriquement en utilisant l'équation 1.8. Environ six rinçages successifs sont requis afin d'obtenir une solution claire. Une concentration d'environ 15 mg par 250 ml d'eau est ainsi préparée. Cette concentration diminue la superposition des particules. Les distributions obtenues après rinçages ne correspondent pas exactement à celles des tamis puisque la

préparation des échantillons par cette méthode donne une distribution moins étendue des diamètres. La distribution réelle (après rinçage) des microsphères a été déterminée par examen microscopique.

2.2.2 Préparation des fibres synthétiques

Les fibres utilisées sont des fibres de rayonne (Hydrate de cellulose) dont la densité est de 1.37 (37). Contrairement aux microsphères de polystyrène, la préparation de l'échantillon n'a pas besoin de manipulation spéciale. Etant donné la densité de ces fibres, la sédimentation se fait graduellement sans l'utilisation d'agent mouillant. Une concentration de 15 mg par 250 ml d'eau a été préparée. Cette concentration diminue la superposition et l'agglomération des fibres.

Comme il a été discuté dans l'introduction, les fibres possèdent une longueur moyenne que l'on peut supposer constante et égale à 0.89 mm. La distribution des diamètres a été évaluée par analyse microscopique.

2.2.3 Préparations des fibres naturelles

Les échantillons témoins utilisés sont des fibres d'épinette à l'état sec, c'est à dire déshydratée et préparée selon trois procédés différents: kraft, sulfite et mécanique. Les essais de ces trois pâtes ont pour but de vérifier si la méthode de

préparation des fibres pouvait influencer la mesure des diamètres.

On prépare des échantillons en ajoutant les fibres séchées à de l'eau bouillante afin qu'elles reprennent leur état initial, c'est-à-dire de particules de forme cylindrique.

Pour chacun des procédés de préparation, trois grosseurs ont été utilisées; soit #28, #48 et #100 (standard TYLER). Dans le cas de la pâte sulfite les fibres #100 n'ont pu être utilisées à cause de la flocculation des fibres. Le tableau ci-dessous donne un résumé des pâtes et grosseurs des fibres analysées.

| <u>Pâte</u> | <u>Grosseur</u> |
|-------------|-------------------|
| kraft | # 28, # 48, # 100 |
| sulfite | # 28, # 48 |
| mécanique | # 28, # 48, # 100 |

L'évaluation des distributions réelles pour chacune des grosseurs et des types de pâtes a été effectuée par analyse microscopique.

La densité des fibres en suspension a été évaluée par méthode itérative en utilisant l'équation (1.31). De fait, en connaissant le diamètre moyen d'une distribution arbitraire de fibres par analyse microscopique ainsi que le temps de chute de celles-ci dans l'eau pour une hauteur donnée (6.3 cm), la

densité des fibres peut être variée jusqu'à concordance du diamètre moyen et du temps de chute. Après itération, il s'est avéré que la meilleure concordance s'obtenait pour une densité de 1.29. Pour le même échantillon, le temps de chute des fibres peut varier d'environ dix secondes d'un essai à l'autre, ce qui entraîne une variation de 0.04 sur la densité. La densité des fibres a donc été fixées à 1.29 0.04.

Un quatrième type de pâte (thermomécanique) a été utilisé comme échantillon inconnu. Cet échantillon réaliste a été fourni par la compagnie KRUGER INC. et sert directement à la fabrication du papier.

Cette pâte est déjà en suspension aqueuse mais a besoin d'être fortement diluée. Une partie de l'eau blanche résiduelle fut décantée pour clarifier la solution. La concentration de la suspension étant inconnue, à cause de l'impossibilité d'obtenir des fibres déshydratées, celle-ci fut mesurée en utilisant la courbe d'étalonnage (figure 3.7) de la transmission lumineuse en fonction de la concentration obtenue avec les échantillons témoins. A l'aide de cette courbe, une concentration de 15 mg/ml fut obtenue.

2.3 Méthode de mesure

2.3.1 Nettoyage de la cellule et du système optique

Avant chaque séries de mesures, la cellule et le système

optique sont nettoyés pour éviter des reflets parasites qui peuvent nuire à la mesure.

La cellule est nettoyée à l'aide d'un produit à base d'ammoniaque, puis rincée et séchée pour éviter le moindre dépôt de poussières.

Les lentilles sont tout simplement frottées à l'aide de papiers à lentilles pour éviter la détérioration de leur couche anti-reflet .

2.3.2 Etalonnage du circuit d'amplification

Le circuit d'amplification s'étalonnera à l'aide de deux séries de potentiomètres, une pour l'ajustement du zéro, c'est-à-dire lorsque la source lumineuse est hors circuit et l'autre pour l'ajustement du gain des amplificateurs lorsque la source est en fonction. Pour compenser les effets de diffusion de la lumière et de l'atténuation due au liquide, la calibration est faite en présence d'eau dans la cellule.

On ajuste premièrement les potentiomètres P (figure 2.6) du décalage pour obtenir 0 V à la sortie du circuit d'amplification quand la source lumineuse n'est pas en fonction.

En variant le gain des amplificateurs, on ajuste le niveau de sortie à environ 10 V quand la source lumineuse est en fonction.

Ce réglage simule la situation après sémination des particules ou fibres.

2.3.3 La mesure

La méthode est très simple. On introduit les particules ou fibres en suspension aqueuse dans la cellule de mesure, on agite environ 15 à 20 fois le mélange à l'aide de la seringue pour obtenir un mélange le plus homogène possible, on commence immédiatement l'acquisition et on laisse sédimenter. On mesure la lumière transmise et diffusée (si nécessaire) au cours de la sémination. Les programmes informatiques donnent les instructions pour acquisitionner et traiter les données recueillies.

2.4 Acquisition et traitement des données

L'acquisition se fait automatiquement à l'aide d'un programme informatique donné en annexe B.

Ce programme acquisitionne pendant 300 s par interval de 1 s les signaux provenant des 7 canaux d'amplifications. Les données de trois de ces canaux sont cependant conservées sur disquette dont uniquement deux servent aux traitements des données. De fait, le système photosédimentométrique a été conçu de façon générale pour permettre des études ultérieures sur les phénomènes de diffusion de la lumière par des particules sphériques ou

cylindriques. Dans cette étude, seuls deux canaux, l'un en lumière transmise et l'autre en lumière diffusée, situé à côté du détecteur central, étaient utilisés. Les cinqs autres étaient en surplus.

Le programme de traitement des données est décrit dans l'annexe C. Deux options sont disponibles; l'un pour le traitement des particules sphériques et l'autre pour les cylindres. Pour chacune de ces options, le programme peut faire le traitement en lumière transmise ou diffusée. Ces deux programmes sont compilés pour permettre un traitement rapide des données.

CHAPITRE III

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Ce chapitre présente les résultats des différentes analyses faites sur des particules sphériques et cylindriques. Il est divisé en cinq sections. Les trois premières donnent les résultats se rapportant aux microsphères de polystyrène, aux fibres de rayonne et de cellulose. La quatrième section présente l'effet de la température sur les résultats. La cinquième fait l'étude de la transmission lumineuse en fonction de la concentration pour différentes catégories de fibres.

Les quatre premières sections présentent les résultats sous forme de graphiques et tableaux détaillés. Les graphiques 3.1 à 3.6 donnent la courbe de transmission ou de diffusion 1 en fonction du temps 1 et la distribution des diamètres des particules 2 . L'échelle du temps est non linéaire puisque la relation entre les rayons des particules et le temps de chute est non linéaire comme développé dans la théorie. Les courbes de transmission et de diffusion doivent être lues comme suit : une augmentation du temps implique une augmentation de la transmission mais une diminution de la lumière diffusée. Sur

les graphiques, les courbes sont inversée à cause de la méthode d'impression graphique utilisée par l'ordinateur.

La distribution 2 est représentée directement avec une échelle linéaire. Chaque section de la distribution correspond à un diamètre de 2 microns.

Deux types de tableaux sont disponibles selon le genre de particules. Dans le cas de particules sphériques, sept classes de calculs sont présentées et définies comme suit :

| Classe | Signification |
|--------|--|
| 10 % | 10 % des particules ont moins de X microns de diamètres. |
| 25 % | 25 % des particules ont moins de X microns de diamètres. |
| 50 % | 50 % des particules ont moins de X microns de diamètres. |
| 75 % | 75 % des particules ont moins de X microns de diamètres. |
| 90 % | 90 % des particules ont moins de X microns de diamètres. |
| MOY A | Moyenne arithmétique (équation 1.54). |
| MOY P | Moyenne pondérée (équation 1.55). |

Pour chacune de ces classes, 6 essais sont spécifiés en lumière

transmise (T) et diffusée (D). La moyenne de ces essais ainsi que l'analyse microscopique (MIC.) pour chacune des classes sont données afin de vérifier l'efficacité des mesures. Ainsi, dans le tableau (3.1) la moyenne des résultats après six essais consécutifs démontre que 10 % des particules ont un diamètre inférieur à 88 μm en lumière transmise comparativement à 94 μm par analyse microscopique, 25 % de ces particules ont un diamètre inférieur à 93 μm et ainsi de suite. L'analyse statistique des résultats donne une moyenne globale de 104 μm de diamètre en lumière transmise comparativement à 111 μm par analyse microscopique. Tous les tableaux qui sont présentés dans les sections A, B et C s'interprètent de façon semblable.

Dans le cas des particules cylindriques (fibres), les mêmes classes et essais sont analysées; cependant, on y ajoute une moyenne pondérée (MOY P1) en faisant l'hypothèse du rapport L/a constant. De plus, une évaluation des longueurs des fibres (L) données par l'analyseur FS 100 de la compagnie KAJAANI ainsi que le rapport L/a sont ajoutés pour vérifier les hypothèses. Les conditions expérimentales pour le traitement des résultats sur ordinateur sont spécifiées dans chaque tableau.

SECTION A

MICROSPHÈRES DE POLYSTYRÈNE

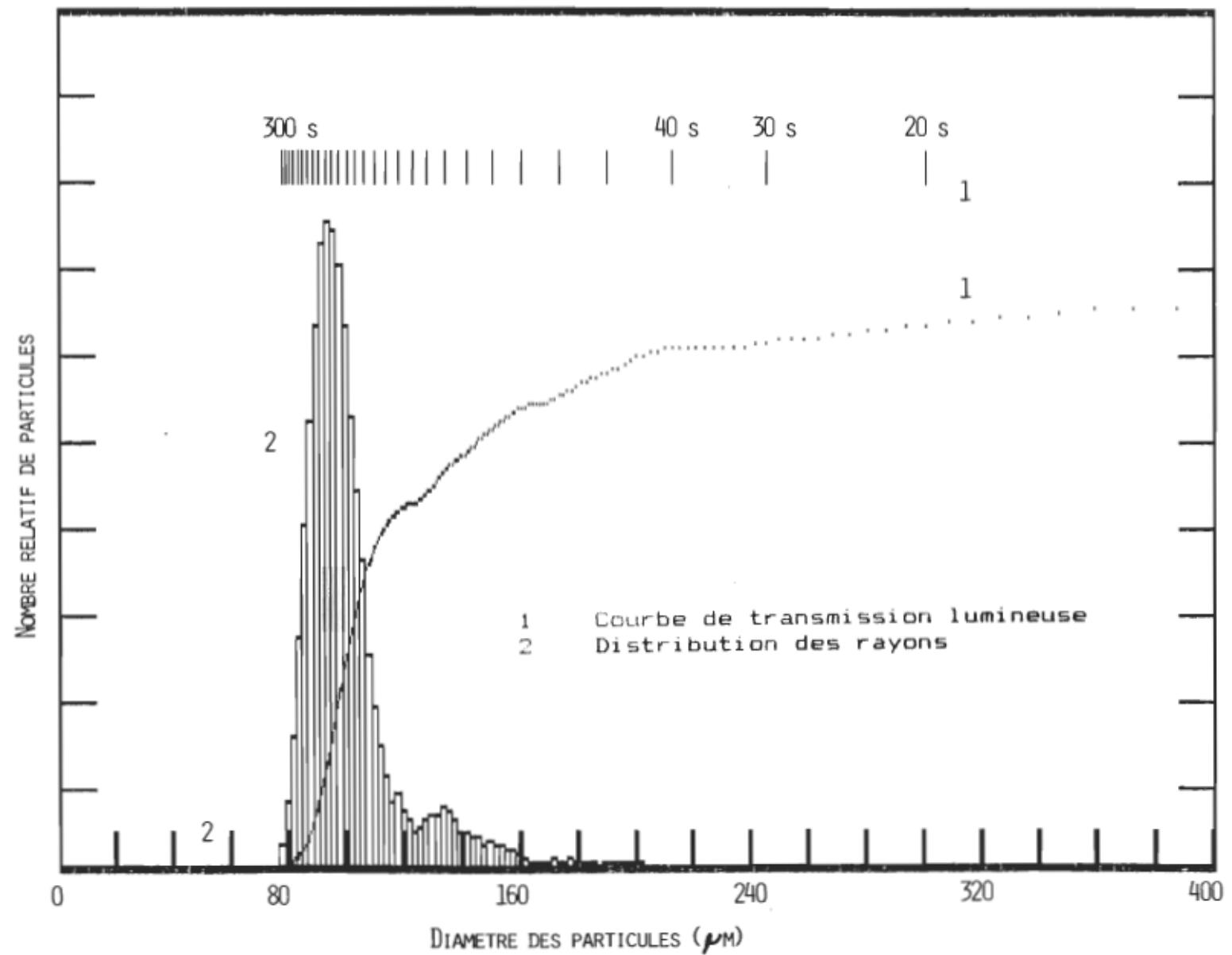


Figure 3.1 : Exemple de résultats sous forme graphique de la transmission lumineuse dans le cas des microsphères (90 à 125 µm).

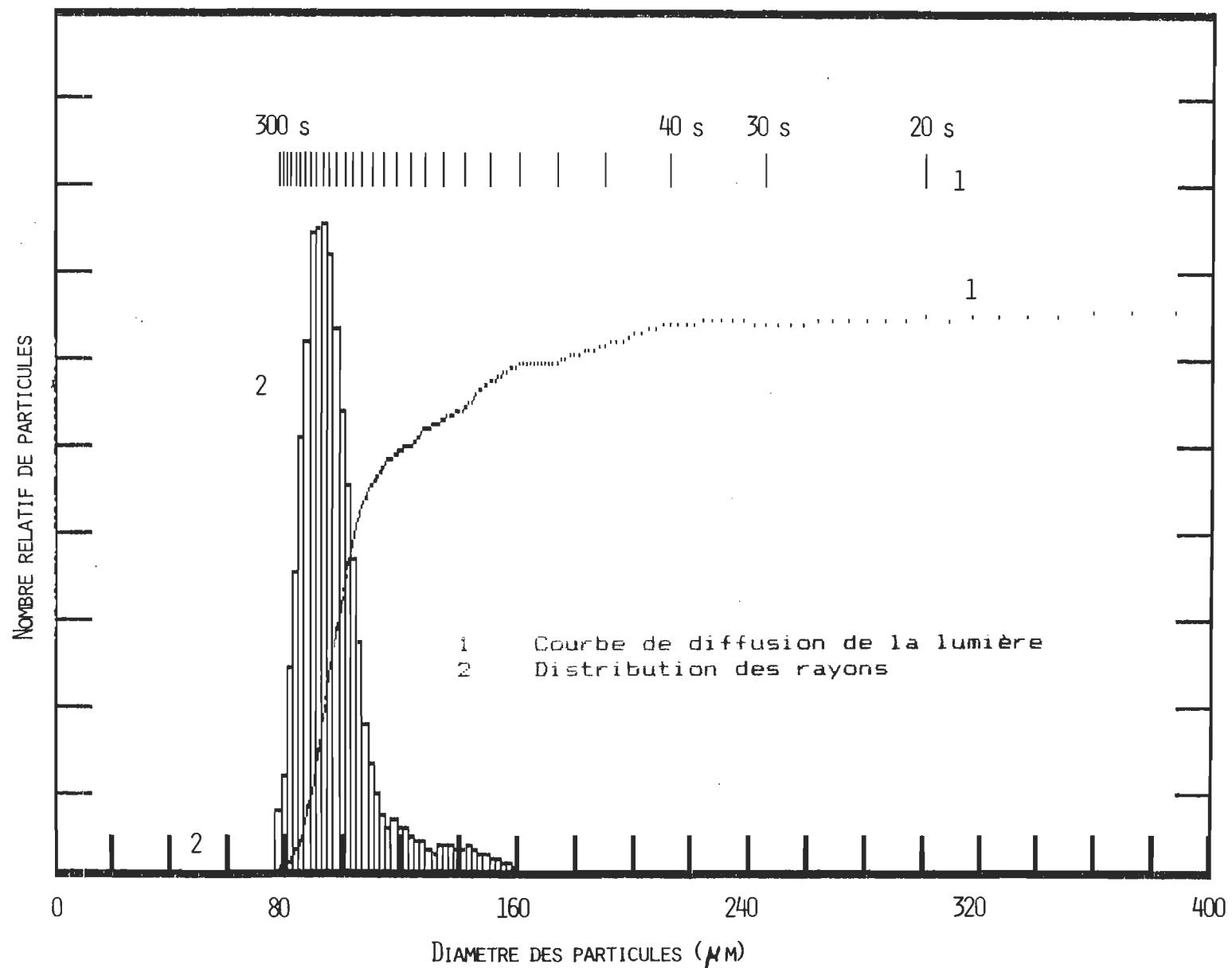


Figure 3.2 : Exemple de résultats sous forme graphique de la diffusion de la lumière dans le cas des microsphères (90 à 125 μm).

| | essai | | | | | | | |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------|
| | 1 T D | 2 T D | 3 T D | 4 T D | 5 T D | 6 T D | MOY T D | MIC. |
| 10 % | 90 90 | 90 88 | 92 90 | 86 88 | 86 84 | 86 84 | 88 87 | 94 |
| 25 % | 96 94 | 94 92 | 96 94 | 92 92 | 90 88 | 93 91 | 93 91 | 100 |
| 50 % | 102 98 | 102 100 | 104 100 | 98 98 | 96 94 | 96 94 | 100 97 | 105 |
| 75 % | 112 100 | 112 100 | 114 110 | 106 106 | 106 106 | 100 100 | 109 105 | 120 |
| 90 % | 124 110 | 130 120 | 126 122 | 120 120 | 124 120 | 124 114 | 125 118 | 137 |
| MOY A | 106 102 | 106 103 | 107 104 | 102 102 | 101 100 | 102 97 | 104 101 | 111 |
| MOY P | 109 104 | 109 105 | 109 107 | 105 105 | 105 103 | 106 100 | 107 104 | 113 |

Lissage primaire : 100 s

Traitement sur : 300 s

Densité des microsphères : 1.06

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.1 : Analyse statistique des dimensions en μ de
microsphères en polystyrène (tamis 90 à 125 μ m)

essai

| | 1 T D | 2 T D | 3 T D | 4 T D | 5 T D | 6 T D | MOY T D | MIC. |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------|
| 12 % | 120 110 | 114 110 | 114 112 | 116 114 | 116 114 | 116 114 | 116 112 | 118 |
| 25 % | 124 114 | 122 118 | 122 118 | 122 120 | 122 120 | 122 120 | 122 118 | 126 |
| c l a s s E | 132 124 | 130 126 | 130 126 | 132 128 | 132 130 | 130 128 | 131 127 | 133 |
| 58 % | 140 136 | 140 136 | 138 136 | 140 138 | 142 138 | 140 136 | 140 136 | 142 |
| 75 % | 140 136 | 140 136 | 138 136 | 140 138 | 142 138 | 140 136 | 140 136 | 142 |
| 98 % | 152 140 | 150 148 | 148 144 | 154 150 | 150 146 | 150 146 | 151 146 | 148 |
| MOY A | 134 127 | 132 128 | 131 128 | 133 131 | 133 130 | 132 130 | 133 129 | 135 |
| MOY P | 135 129 | 134 129 | 133 130 | 135 132 | 135 132 | 134 131 | 134 131 | 137 |

Lissage primaire : 90 s

Traitement sur : 170 s

Densité des microsphères : 1.06

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.2 : Analyse statistique des dimensions en μm demicrosphères en polystyrène (tamis 125 à 150 μm)

| | essai | | | | | | MOY | MIC. |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|------|
| | 1 T D | 2 T D | 3 T D | 4 T D | 5 T D | 6 T D | T D | |
| 10 % | 134 142 | 138 132 | 132 132 | 136 138 | 134 129 | 136 132 | 135 134 | 157 |
| 25 % | 150 156 | 149 146 | 146 142 | 148 144 | 149 146 | 148 142 | 148 143 | 163 |
| 50 % | 160 160 | 158 154 | 156 152 | 160 156 | 160 154 | 160 156 | 159 155 | 168 |
| 75 % | 170 168 | 170 164 | 166 162 | 170 166 | 170 164 | 170 166 | 169 165 | 175 |
| 90 % | 182 178 | 182 174 | 180 174 | 182 176 | 182 176 | 182 176 | 182 176 | 182 |
| MOY A | 160 160 | 159 153 | 157 152 | 159 155 | 159 153 | 159 155 | 159 155 | 168 |
| MOY P | 162 161 | 161 155 | 159 154 | 161 157 | 161 155 | 161 157 | 161 157 | 170 |

Lissage primaire : 60 s

Traitement sur : 150 s

Densité des microsphères : 1.06

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.3 : Analyse statistique des dimensions en μm de
microsphères en polystyrène (150 à 180 μm)

SECTION B

FIBRES SYNTHÉTIQUES(de rayonne)

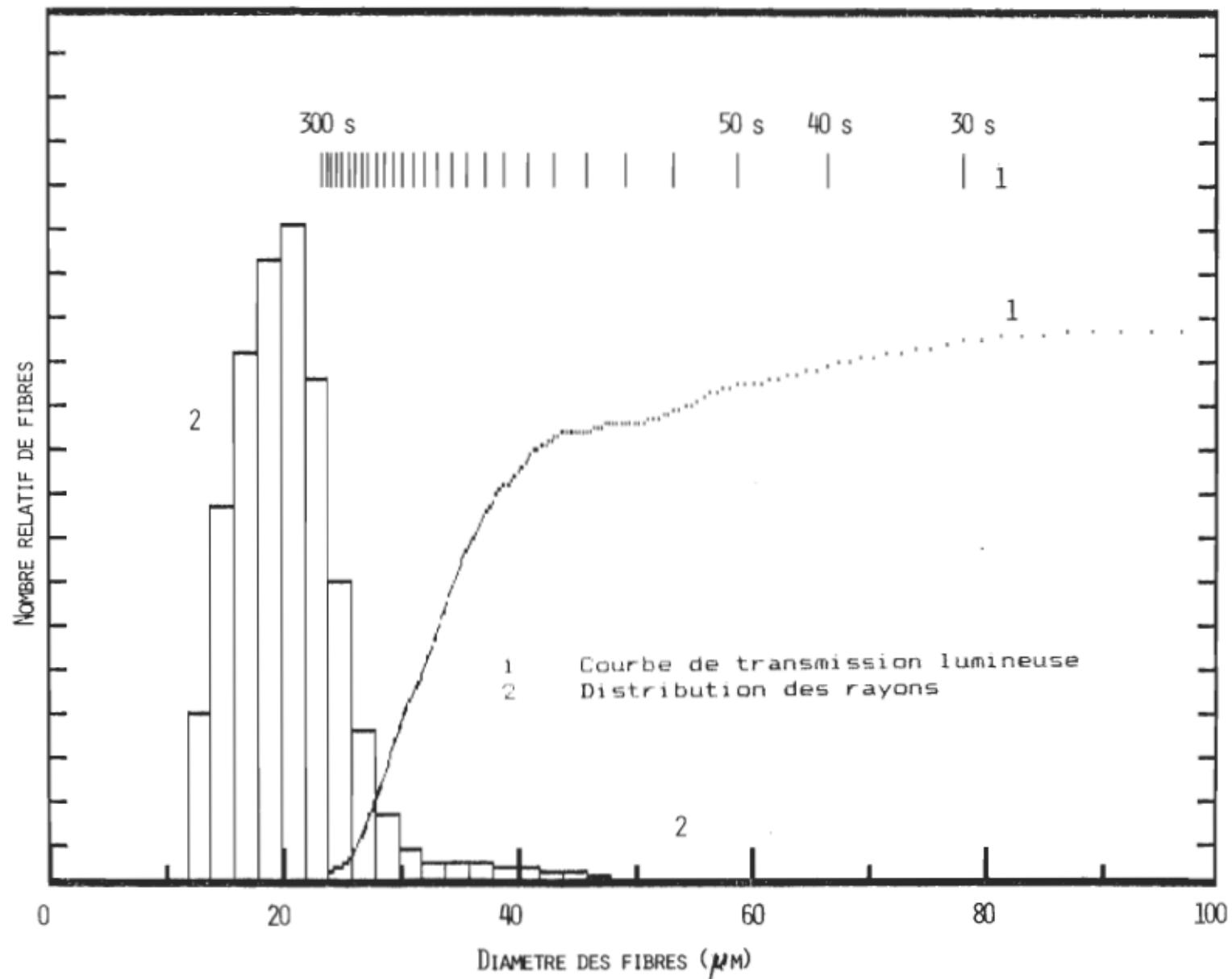


Figure 3.3 : Exemple de résultats sous forme graphique de la transmission lumineuse dans le cas de fibres synthétiques.

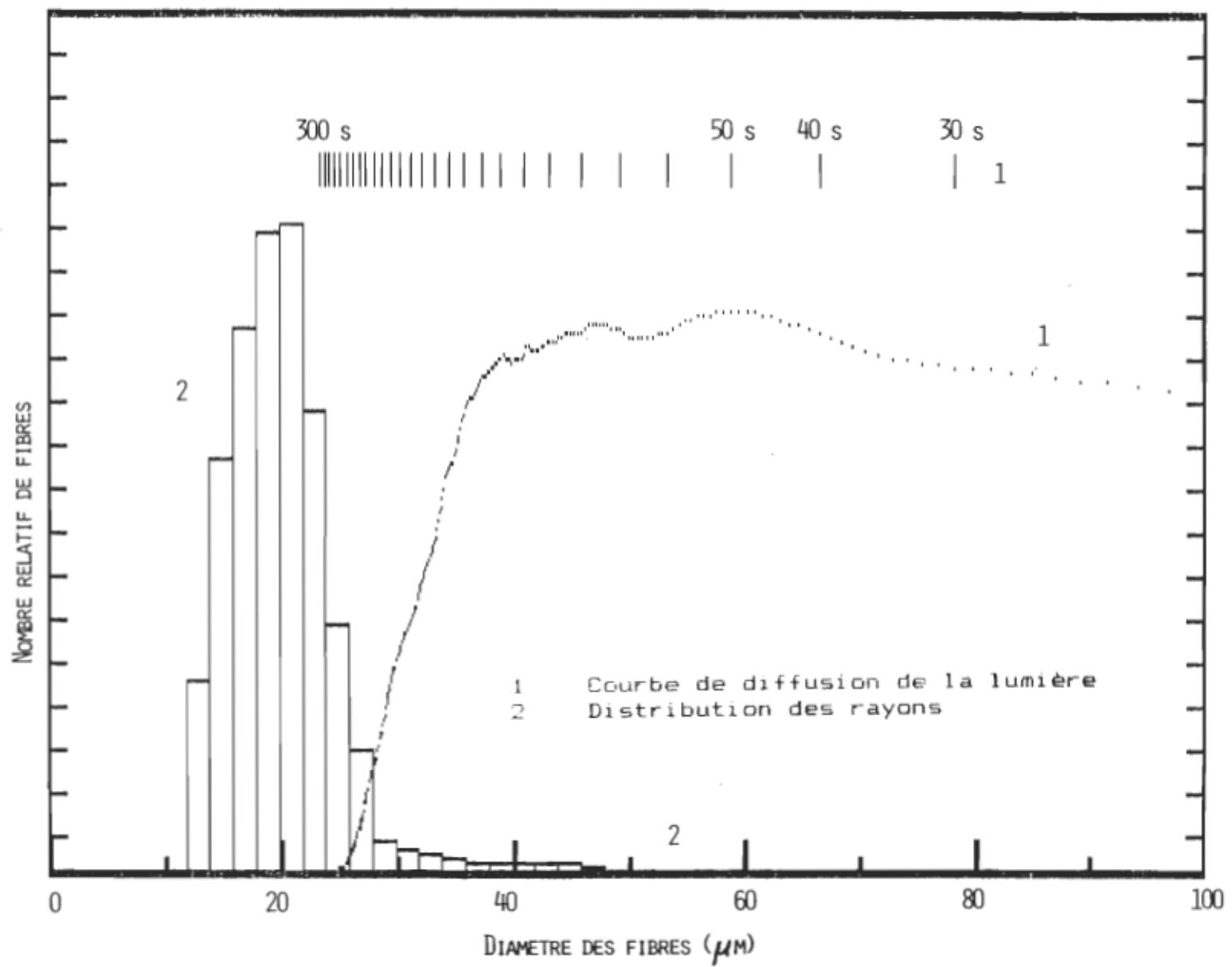


Figure 3.4 : Exemple de résultats sous forme graphique de la diffusion de la lumière dans le cas de fibres synthétiques.

| | essai | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------|-----|-----|--------|--|
| | 1 T D | 2 T D | 3 T D | 4 T D | 5 T D | 6 T D | MOY T D | MIC. | L | L/a | T D | |
| 10 % | 14 14 | 14 14 | 14 14 | 14 14 | 14 14 | 14 14 | 14 14 | 14 | - | - | - | |
| 25 % | 16 16 | 16 16 | 16 16 | 16 18 | 16 18 | 16 18 | 16 18 | 16 | - | - | - | |
| 50 % | 20 18 | 20 20 | 20 20 | 20 20 | 20 20 | 20 20 | 20 20 | 20 | - | - | - | |
| 75 % | 22 22 | 24 22 | 24 22 | 24 24 | 24 24 | 24 24 | 24 23 | 19 | - | - | - | |
| 90 % | 26 24 | 28 26 | 28 26 | 26 28 | 28 30 | 28 30 | 27 27 | 26 | - | - | - | |
| MOY A | 20 20 | 21 20 | 21 21 | 21 21 | 21 22 | 21 21 | 21 21 | 17 | 89% | 42 | 42 | |
| MOY P | 22 22 | 23 22 | 23 23 | 23 23 | 23 24 | 22 24 | 23 23 | 17 | - | - | - | |
| MOY Pa | 24 25 | 25 25 | 25 26 | 26 27 | 26 27 | 24 28 | 25 26 | 18 | - | - | - | |

Lissage primaire : 100 s

Traitement sur : 300 s

Densité des fibres : 1.37

Densité du liquide : 1.2

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.4 : Analyse statistique des dimensions en μm

de fibres synthétique (fibres de rayonne)

SECTION C

FIBRES DE CELLULOSE

(Pâte kraft)

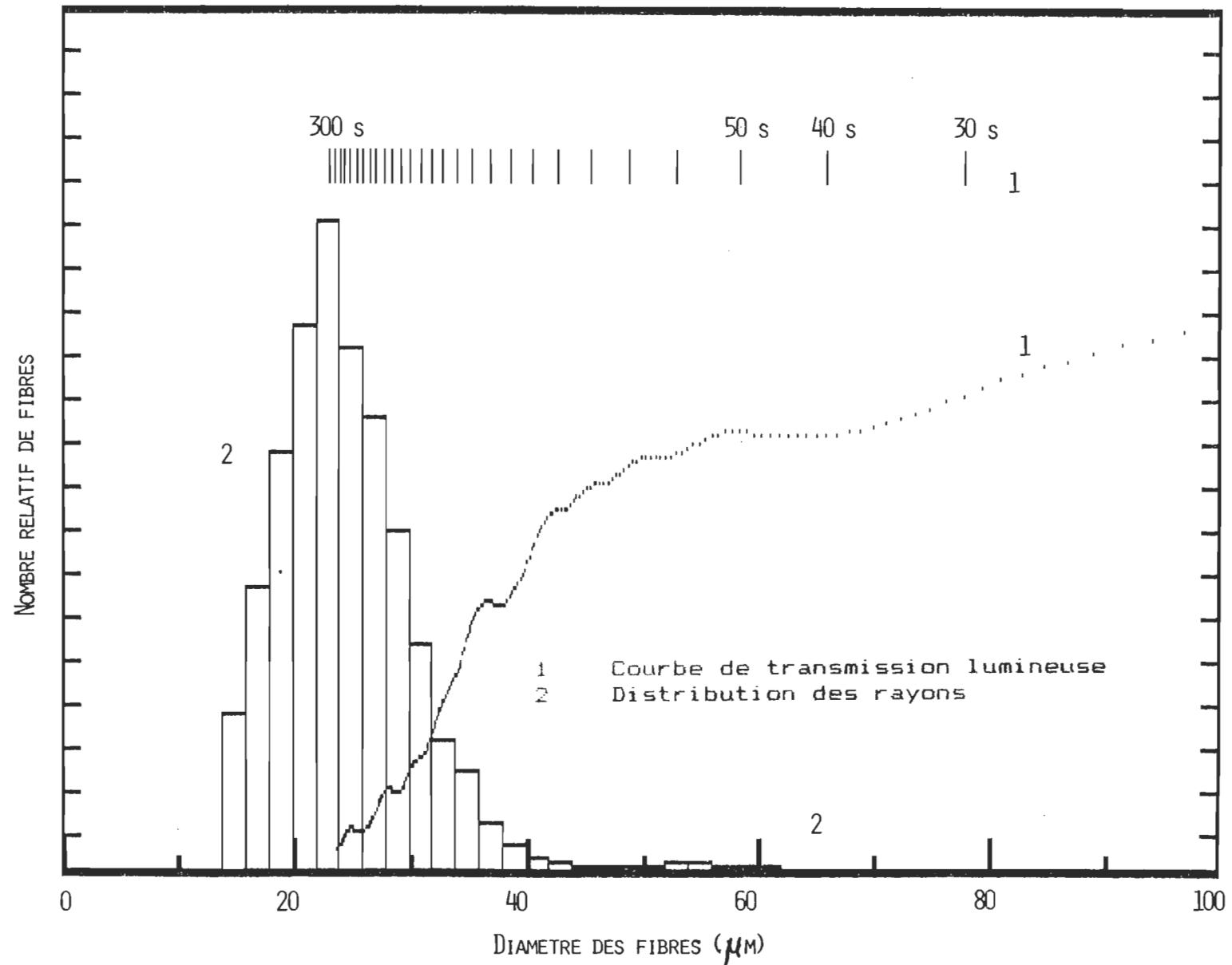


Figure 3.5 : Exemple de résultats sous forme graphique de la transmission lumineuse dans le cas de fibres de cellulose (pâte kraft, tamis #48).

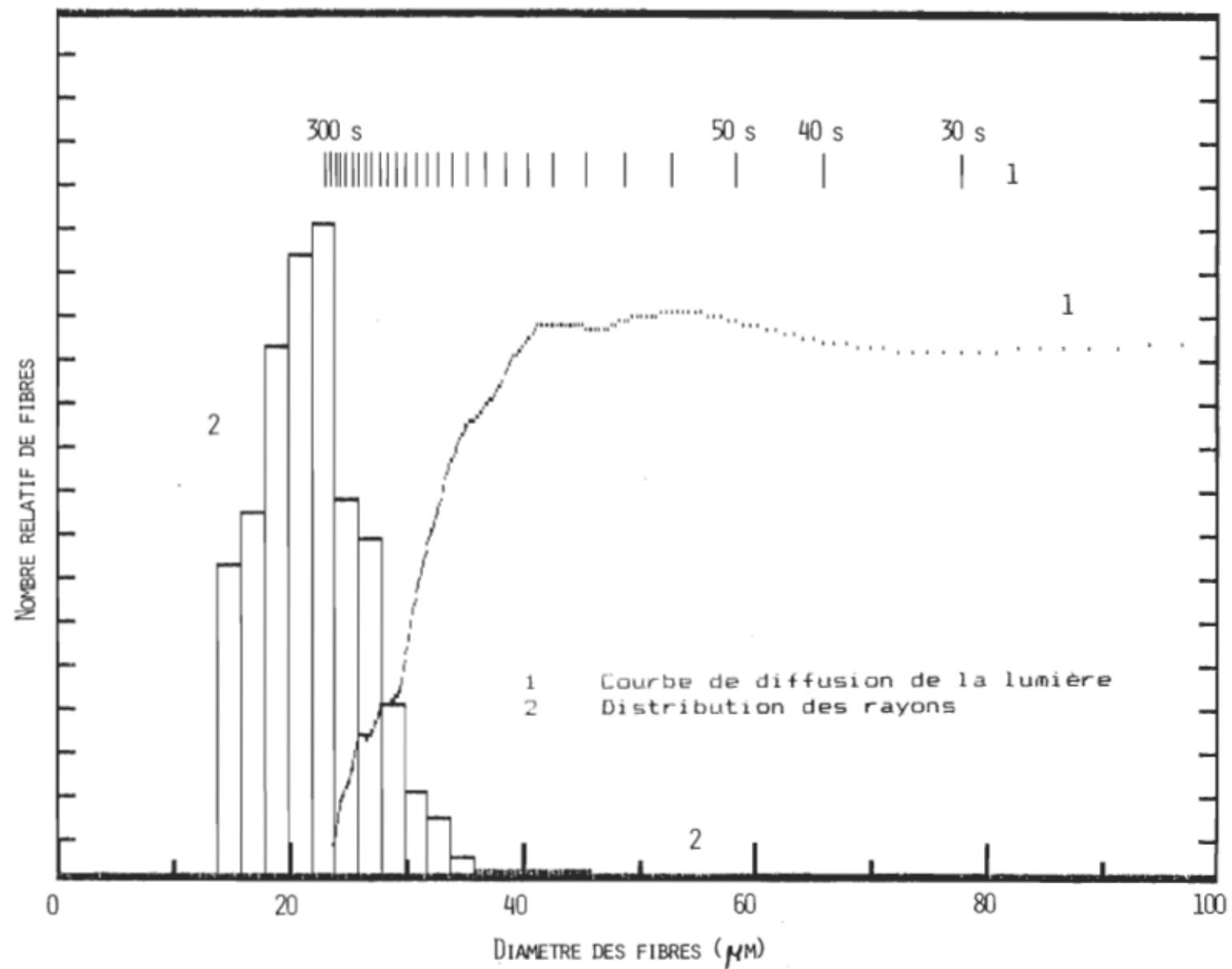


Figure 3.6 : Exemple de résultats sous forme graphique de la diffusion de la lumière dans le cas de fibres de cellulose (pâte kraft, tamis #48).

essai

| | 1 T D | 2 T D | 3 T D | 4 T D | 5 T D | 6 T D | MOY T D | MIC. | L T D | L/a T D |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------|-------------|---------------|
| 18 % | 18 18 | 18 18 | 18 18 | 20 18 | 20 20 | 16 18 | 18 18 | 24 | 1100 | 61 61 |
| 25 % | 22 20 | 22 20 | 22 20 | 22 22 | 22 22 | 18 22 | 21 21 | 26 | 1440 | 69 69 |
| 50 % | 26 22 | 26 24 | 24 24 | 26 24 | 26 24 | 22 24 | 25 24 | 30 | 1970 | 79 82 |
| 75 % | 28 26 | 30 26 | 30 26 | 30 28 | 28 28 | 26 26 | 29 27 | 35 | 2530 | 87 94 |
| 95 % | 34 28 | 36 30 | 34 30 | 36 32 | 34 30 | 30 30 | 34 30 | 39 | 3000 | 88 100 |
| MOY A | 27 23 | 27 24 | 26 24 | 27 25 | 26 25 | 23 24 | 26 24 | 31 | 2010 | 77 84 |
| MOY P | 29 24 | 29 25 | 28 25 | 29 26 | 28 27 | 25 26 | 28 26 | 31 | - | - - |
| MOY Pa | 34 26 | 32 27 | 30 26 | 31 28 | 31 29 | 27 28 | 31 27 | 33 | - | - - |

Lissage primaire : 100 s

Traitement sur : 300 s

Densité des fibres : 1.29

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

tableau 3.5 : Analyse statistique des dimension en µm de
fibres de cellulose (pâte kraft, tamis #28)

| | essai | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------|------|-----|--------|--|--|
| | 1 T D | 2 T D | 3 T D | 4 T D | 5 T D | 6 T D | MOY T D | MIC. | L | L/a | T D | | |
| 10 % | 18 18 | 18 18 | 18 18 | 19 16 | 18 18 | 18 16 | 18 18 | 17 | 728 | 40 | 40 | | |
| 25 % | 20 20 | 22 20 | 22 20 | 20 20 | 20 20 | 20 18 | 21 20 | 21 | 918 | 43 | 46 | | |
| 50 % | 24 24 | 24 24 | 24 24 | 24 24 | 24 24 | 24 22 | 24 24 | 23 | 1178 | 49 | 49 | | |
| 75 % | 28 28 | 28 26 | 28 28 | 28 26 | 28 28 | 28 26 | 28 27 | 27 | 1538 | 55 | 57 | | |
| 98 % | 34 32 | 34 30 | 32 32 | 32 30 | 34 32 | 30 30 | 33 31 | 29 | 2018 | 61 | 65 | | |
| MOY A | 25 24 | 26 24 | 26 24 | 25 24 | 25 25 | 25 23 | 25 24 | 23 | 1288 | 51 | 53 | | |
| MOY P | 27 26 | 29 25 | 28 26 | 27 25 | 27 26 | 26 25 | 27 26 | 24 | - | - | - | | |
| MOY Pa | 29 28 | 33 27 | 33 29 | 30 27 | 30 29 | 29 27 | 31 28 | 25 | - | - | - | | |

Lissage primaire : 100 s

Traitement sur : 300 s

Densité des fibres : 1.29

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.6 : Analyse statistique des dimensions en μm de fibres de cellulose (pâte kraft, tamis #48)

| | essai | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|------|-------------|---------------|--|--|
| | 1 T D | 2 T D | 3 T D | 4 T D | 5 T D | 6 T D | MOY. T D | MIC. | L T D | L/a T D | | |
| 18 % | 16 14 | 18 16 | 16 16 | 14 14 | 16 16 | 18 16 | 16 16 | 16 | 420 | 26 26 | | |
| 25 % | 18 16 | 20 18 | 20 18 | 18 16 | 18 18 | 20 18 | 19 18 | 18 | 570 | 30 32 | | |
| c l a s s e | 20 20 | 22 20 | 22 20 | 20 20 | 22 20 | 24 20 | 22 20 | 21 | 770 | 35 39 | | |
| 75 % | 24 22 | 26 24 | 26 24 | 24 22 | 24 22 | 26 24 | 25 23 | 24 | 1000 | 40 43 | | |
| 90 % | 28 26 | 28 26 | 28 26 | 28 26 | 30 26 | 32 26 | 29 26 | 26 | 1240 | 43 48 | | |
| MOY A | 21 21 | 23 21 | 23 21 | 21 20 | 22 20 | 24 21 | 22 21 | 21 | 810 | 37 39 | | |
| MOY P | 23 22 | 24 22 | 24 22 | 23 22 | 24 22 | 26 23 | 24 22 | 22 | - | - - | | |
| MOY Pa | 26 25 | 26 24 | 27 23 | 26 25 | 26 24 | 28 26 | 27 25 | 23 | - | - - | | |

Lissage primaire : 106 s

Traitement sur : 300 s

Densité des fibres : 1.29

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.7 : Analyse statistique des dimensions en µm de fibres de cellulose (pâte kraft, tamis #100)

FIBRES DE CELLULOSE(Pâte sulfite)

essai

| | 1 T D | 2 T D | 3 T D | 4 T D | 5 T D | 6 T D | MOY T D | MIC. | L | L/a T D |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------|------|---------------|
| 10 % | 20 18 | 18 18 | 20 20 | 18 20 | 18 18 | 20 18 | 19 19 | 24 | 1290 | 68 68 |
| 25 % | 24 20 | 22 22 | 24 22 | 22 22 | 22 20 | 22 20 | 23 21 | 26 | 1770 | 77 84 |
| 50 % | 26 24 | 26 26 | 28 26 | 24 26 | 26 24 | 26 24 | 26 25 | 31 | 2360 | 91 94 |
| 75 % | 30 28 | 32 30 | 34 30 | 30 30 | 30 28 | 30 28 | 31 29 | 37 | 2930 | 95 101 |
| 90 % | 34 34 | 36 32 | 42 34 | 34 36 | 36 34 | 34 34 | 36 34 | 43 | 3380 | 94 99 |
| MOY A | 27 25 | 27 26 | 30 27 | 26 27 | 27 26 | 27 26 | 27 26 | 31 | 2340 | 87 90 |
| MOY P | 29 27 | 29 27 | 33 30 | 28 29 | 29 28 | 29 29 | 30 28 | 33 | - | - - |
| MOY Pa | 31 30 | 32 29 | 36 33 | 30 32 | 32 31 | 32 32 | 32 31 | 35 | - | - - |

Lissage primaire : 100 s

Traitement sur : 300 s

Densité des fibres : 1.29

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.8 : Analyse statistique des dimension en μm de
fibres de cellulose (pâte sulfite, tamis #28)

| | essai | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------|-------------|---------------|--|--|
| | 1 T D | 2 T D | 3 T D | 4 T D | 5 T D | 6 T D | MOY T D | MIC. | L T D | L/a T D | | |
| 10 % | 18 18 | 20 18 | 18 18 | 20 18 | 18 18 | 18 18 | 19 18 | 14 | 730 | 38 41 | | |
| 25 % | 20 22 | 22 22 | 22 20 | 22 20 | 20 20 | 20 20 | 21 20 | 17 | 920 | 44 46 | | |
| 50 % | 24 24 | 26 24 | 24 24 | 24 24 | 24 22 | 24 24 | 24 24 | 20 | 1260 | 53 53 | | |
| 75 % | 28 28 | 30 28 | 28 26 | 28 26 | 28 26 | 28 26 | 28 27 | 24 | 1790 | 64 66 | | |
| 90 % | 32 32 | 32 32 | 32 30 | 32 30 | 32 32 | 32 32 | 32 31 | 28 | 2330 | 73 75 | | |
| MOY A | 25 24 | 27 25 | 25 24 | 25 24 | 25 24 | 25 24 | 25 24 | 20 | 1410 | 56 59 | | |
| MOY P | 27 26 | 29 27 | 27 26 | 27 25 | 27 26 | 27 26 | 27 26 | 22 | - | - - | | |
| MOY Pa | 29 27 | 30 29 | 28 28 | 28 27 | 30 29 | 29 28 | 29 28 | 23 | - | - - | | |

Lissage primaire : 100 s

Traitement sur : 300 s

Densité des fibres : 1.29

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.9 : Analyse statistique des dimensions en μm de
fibres de cellulose (pâte sulfite, tamis #48)

FIBRES DE CELLULOSE(Pâte mécanique)

| | essai | | | | | | | | | | | | L | L/a | | | | | | | | | | |
|--------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|------|----|------|------|------|----|------|---|-----|
| | 1 | T | D | 2 | T | D | 3 | T | D | 4 | T | D | 5 | T | D | 6 | T | D | MOY | T | D | MIC. | L | L/a |
| 10 % | 18 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 18 | 22 | 18 | 22 | 18 | 26 | 18 | 26 | 26 | 28 | 23 | 1220 | 62 | 62 | | |
| 25 % | 22 | 22 | 26 | 22 | 24 | 22 | 22 | 22 | 22 | 24 | 24 | 24 | 24 | 22 | 26 | 22 | 23 | 22 | 29 | 1540 | 67 | 70 | | |
| 50 % | 26 | 26 | 32 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 28 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 31 | 1950 | 75 | 75 | | |
| 75 % | 34 | 32 | 38 | 32 | 32 | 30 | 38 | 32 | 38 | 32 | 32 | 32 | 32 | 30 | 33 | 31 | 40 | 2470 | 75 | 80 | | | | |
| 90 % | 40 | 36 | 44 | 39 | 48 | 38 | 36 | 36 | 38 | 39 | 40 | 34 | 40 | 37 | 46 | 2950 | 74 | 80 | | | | | | |
| MOY A | 29 | 28 | 32 | 28 | 28 | 27 | 27 | 27 | 27 | 28 | 29 | 28 | 27 | 28 | 27 | 29 | 28 | 34 | 2020 | 70 | 72 | | | |
| MOY P | 31 | 30 | 35 | 31 | 30 | 30 | 29 | 30 | 30 | 31 | 31 | 32 | 29 | 31 | 30 | 34 | 30 | - | - | - | - | - | - | |
| MOY Pa | 35 | 32 | 39 | 33 | 33 | 32 | 31 | 33 | 32 | 34 | 37 | 31 | 35 | 33 | 37 | 35 | 33 | 37 | - | - | - | - | - | |

Lissage primaire : 100 s

Traitement sur : 300 s

Densité des fibres : 1.29

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.10 : Analyse statistique des dimension en μm de
fibres de cellulose (pâte mécanique, tamis #28)

| | essai | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------|-------------|---------------|--|--|
| | 1 T D | 2 T D | 3 T D | 4 T D | 5 T D | 6 T D | MOY T D | MIC. | L T D | L/a T D | | |
| 10 % | 18 16 | 18 16 | 18 18 | 18 18 | 18 18 | 18 18 | 18 18 | 18 | 650 | 36 36 | | |
| 25 % | 22 20 | 22 20 | 22 20 | 22 20 | 22 20 | 22 20 | 22 20 | 20 | 870 | 40 44 | | |
| 50 % | 24 22 | 24 22 | 24 24 | 24 22 | 24 22 | 24 24 | 24 23 | 25 | 1160 | 48 50 | | |
| 75 % | 30 26 | 28 26 | 28 28 | 28 26 | 28 26 | 30 26 | 29 26 | 29 | 1570 | 54 60 | | |
| 90 % | 34 32 | 32 30 | 34 32 | 34 30 | 32 30 | 34 30 | 33 31 | 34 | 2070 | 63 67 | | |
| MOY A | 26 24 | 25 24 | 26 24 | 26 24 | 25 24 | 26 24 | 26 24 | 25 | 1280 | 49 53 | | |
| MOY P | 28 26 | 27 26 | 28 26 | 28 25 | 27 26 | 28 26 | 28 25 | 27 | - | - - | | |
| MOY Pa | 30 29 | 30 29 | 31 28 | 31 27 | 30 29 | 30 29 | 30 29 | 29 | - | - - | | |

Lissage primaire : 100 s

Traitement sur : 300 s

Densité des fibres : 1.29

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.11 : Analyse statistique des dimensions en μm de
fibres de cellulose (pâte mécanique, tamis #48)

| | essai | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------|----|-------------|----|-------------|----|-------------|----|-------------|----|-------------|----|---------------|------|-----|---------------|-------|
| | 1 T D | | 2 T D | | 3 T D | | 4 T D | | 5 T D | | 6 T D | | MOY T D | MID. | L | L/a T D | |
| 10 % | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 13 | 250 | 16 16 | |
| 25 % | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 20 | 18 | 20 | 18 | 20 | 18 | 19 | 18 | 16 | 370 | 19 21 |
| 50 % | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 18 | 550 | 25 25 | |
| 75 % | 24 | 24 | 24 | 24 | 26 | 24 | 26 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 | 24 | 22 | 760 | 30 32 |
| 90 % | 28 | 28 | 28 | 28 | 30 | 28 | 30 | 30 | 28 | 28 | 30 | 28 | 29 | 28 | 24 | 1030 | 36 37 |
| MOY A | 22 | 22 | 22 | 22 | 23 | 22 | 23 | 23 | 23 | 22 | 23 | 23 | 23 | 22 | 19 | 600 | 26 27 |
| MOY P | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 | 25 | 26 | 24 | 25 | 25 | 25 | 24 | 25 | 19 | - - - | - - - |
| MOY Pa | 24 | 29 | 26 | 28 | 26 | 28 | 27 | 31 | 25 | 28 | 27 | 30 | 26 | 29 | 20 | - - - | - - - |

Lissage primaire : 100 s

Traitement sur : 300 s

Densité des fibres : 1.29

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.12 : Analyse statistique des dimensions en μm de fibres de cellulose (pâte mécanique, tamis #100)

FIBRES DE CELLULOSE(Pâte thermomécanique)

essai

| | 1 T D | 2 T D | 3 T D | 4 T D | 5 T D | 6 T D | MOY T D | MIC. | L T D | L/a T D |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------|-------------|---------------|
| 10 % | 16 - | 18 - | 18 - | 16 - | 16 - | 18 - | 17 - | 17 | 488 | 24 - |
| 25 % | 28 - | 28 - | 28 - | 18 - | 28 - | 28 - | 28 - | 23 | 768 | 38 - |
| 50 % | 22 - | 24 - | 24 - | 22 - | 24 - | 24 - | 23 - | 29 | 1378 | 60 - |
| 75 % | 26 - | 28 - | 28 - | 28 - | 28 - | 28 - | 28 - | 34 | 2078 | 74 - |
| 90 % | 32 - | 32 - | 34 - | 34 - | 32 - | 34 - | 33 - | 43 | 2698 | 82 - |
| MOY A | 24 - | 25 - | 25 - | 24 - | 24 - | 25 - | 24 - | 29 | 1478 | 61 - |
| MOY P | 25 - | 26 - | 27 - | 26 - | 26 - | 27 - | 26 - | 31 | - | - - |
| MOY Pa | 28 - | 29 - | 29 - | 28 - | 29 - | 30 - | 29 - | 34 | - | - - |

Lissage primaire : 180 s

Traitement sur : 300 s

Densité des fibres : 1.29

Densité du liquide : 1.0

Température : 23 °C

Hauteur de chute : 6.3 cm

Tableau 3.13 : Analyse statistique des dimensions en μm de
fibres de cellulose (pâte thermomécanique)

SECTION D

ÉTUDE EN TEMPÉRATURE

Cette section démontre l'effet de la température sur la distribution des diamètres des particules sphériques et cylindriques. Le tableau 3.14 en donne les résultats pour des températures de 15, 20 et 25°C, avec et sans compensation. Avec compensation signifie que le traitement des données tient compte de la température du liquide. Dans le cas où il n'y a pas de compensation, on considère la température du liquide constante à 23°C. Ainsi, dans le cas des microsphères de polystyrène, à 15°C, 10 % des particules ont un diamètre inférieur à 138 µm si on compense en température et 126 µm si on considère la température à 23°C. L'analyse des autres classes s'effectue de la même manière que dans les tableaux précédents. Les échantillons qui ont été utilisés dans cette étude sont arbitraires, ils ne servent qu'à vérifier la théorie développée dans le chapitre 1 de ce travail.

| | Microsphères de polystyrène | | | | | | Fibres synthétique | | | | | |
|--------|-------------------------------------|-----|-----|--------------------------------------|-----|-----|-------------------------------------|----|----|--------------------------------------|----|----|
| | Avec compensation en température | | | Sans compensation en température* | | | Avec compensation en température | | | Sans compensation en température* | | |
| | 15 | 20 | 25 | 15 | 20 | 25 | 15 | 20 | 25 | 15 | 20 | 25 |
| 10 % | 138 | 132 | 126 | 126 | 130 | 130 | 18 | 16 | 16 | 14 | 14 | 14 |
| 25 % | 150 | 150 | 144 | 138 | 146 | 146 | 26 | 26 | 18 | 18 | 16 | 18 |
| 50 % | 162 | 162 | 162 | 148 | 158 | 164 | 22 | 22 | 22 | 26 | 26 | 26 |
| 75 % | 172 | 174 | 174 | 168 | 170 | 176 | 26 | 26 | 24 | 22 | 24 | 24 |
| 90 % | 184 | 186 | 188 | 178 | 184 | 186 | 30 | 28 | 28 | 26 | 26 | 28 |
| MOY A | 162 | 160 | 158 | 150 | 157 | 161 | 23 | 23 | 22 | 20 | 21 | 21 |
| MOY P | 163 | 163 | 162 | 152 | 159 | 164 | 25 | 25 | 24 | 22 | 23 | 23 |
| HOP PI | - | - | - | - | - | - | 27 | 27 | 27 | 24 | 25 | 25 |

* Sans compensation en température: on considère que la température est constante à 23°C

Tableau 3.14 : Effet de la température sur la distribution des diamètres en μm
dans le cas de particules sphériques et cylindriques.

SECTION E

ÉTUDE DE LA TRANSMISSION EN FONCTION DE LA
CONCENTRATION POUR DIFFÉRENTES FIBRES

Cette section fait l'étude de la transmission lumineuse en fonction de la concentration pour les fibres synthétiques et naturelles (cellulose). Quatre catégories de fibres ont été utilisées dans cette étude soit :

Fibres synthétiques (FIS)

Fibre Naturelle

Pâte kraft (K...)

Pâte sulfite (S...)

Pâte mécanique (M...)

MOY correspond à la moyenne arithmétique des différents essais.

Selon les résultats du tableau (3.15), pour une concentration de 75 mg/l, la transmission lumineuse sera de 0.63 pour des fibres de rayonne, 0.63 pour des fibres de cellulose (Pâte kraft, tamis #28) et ainsi de suite. La moyenne de ces essais pour cette concentration donne une transmission de 0.62. Le graphique 3.7 représente la transmission lumineuse en fonction de la concentration pour différents types de fibres (tamis #48).

type de fibres

| | F1S | K2B | K4B | K100 | S2B | S4B | M2B | M4B | M100 | MOY |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 300 | 0.17 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.19 | 0.15 | 0.14 | 0.11 | 0.20 | 0.15 |
| 225 | 0.29 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.24 | 0.24 | 0.25 | 0.18 | 0.29 | 0.24 |
| 150 | 0.39 | 0.35 | 0.35 | 0.34 | 0.39 | 0.38 | 0.35 | 0.34 | 0.40 | 0.37 |
| 120 | 0.48 | 0.48 | 0.45 | 0.42 | 0.46 | 0.45 | 0.45 | 0.47 | 0.51 | 0.46 |
| 100 | 0.56 | 0.53 | 0.51 | 0.49 | 0.53 | 0.49 | 0.53 | 0.52 | 0.58 | 0.53 |
| 75 | 0.63 | 0.63 | 0.62 | 0.57 | 0.62 | 0.60 | 0.64 | 0.58 | 0.67 | 0.62 |
| 60 | 0.68 | 0.69 | 0.67 | 0.64 | 0.69 | 0.66 | 0.70 | 0.60 | 0.71 | 0.67 |
| 50 | 0.74 | 0.73 | 0.71 | 0.69 | 0.73 | 0.72 | 0.73 | 0.70 | 0.77 | 0.72 |
| 37.6 | 0.79 | 0.79 | 0.76 | 0.75 | 0.78 | 0.79 | 0.79 | 0.75 | 0.80 | 0.78 |
| 30 | 0.82 | 0.82 | 0.82 | 0.80 | 0.82 | 0.84 | 0.84 | 0.80 | 0.84 | 0.82 |

Incertitude sur les mesures : 0.02

Incertitude sur la moyenne : 0.01

Incertitude sur la concentration : 1 %

[concentration] = mg/l

Tableau 3.15 : Transmission lumineuse en fonction de la Concentration pour

divers types de fibres (tamis #48).

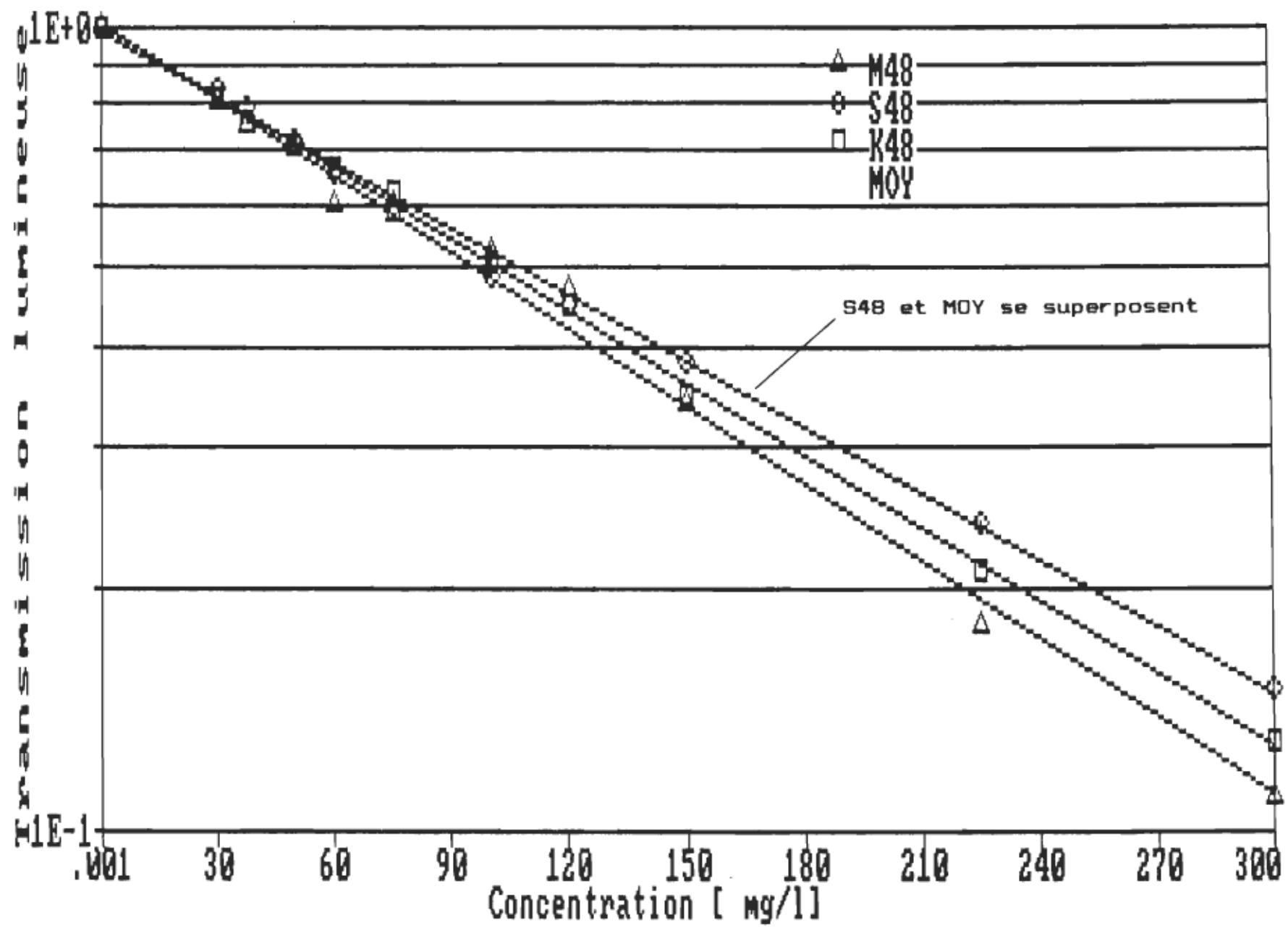


Figure 3.7 : Transmission lumineuse en fonction de la concentration pour différents types de fibres (tamis #48).

CHAPITRE IV

DISCUSSION

Les résultats décrits dans le chapitre précédent permettent de mettre en évidence la précision et l'efficacité du système photosédimentométrique. Ce présent chapitre contient une discussion des résultats. Une analyse de la précision des résultats et des différents effets pouvant affecter ceux-ci sont présentés pour une amélioration future du système.

4.1 Précision des résultats

Dans le cas des microsphères de polystyrène, la densité a été fixée à 1.06 ± 0.02 comparativement à 1.00 pour celle de l'eau (37). Dans cette référence, la densité du polystyrène varie de 1.04 à 1.09, d'où l'incertitude de ± 0.02 sur la valeur de la densité.

Les fibres de rayonne (nitrate de cellulose) ont une densité de 1.37 ± 0.03 . (37). Cette incertitude a été établie par la même méthode que pour les microsphères de polystyrènes, sauf qu'ici, la densité variait de 1.35 à 1.40.

La densité des fibres de cellulose a été évaluée empiriquement par la méthode décrite à la section 2.2.3 et est fixée à 1.29 ± 0.04 .

La température du liquide a été mesurée à l'aide d'un thermomètre au mercure dont la précision est le dixième de degré celsius.

La hauteur de chute est fixée à 6.3 cm. Cette mesure reste fixe puisque la position de la cellule, du système de détection et du liquide ne varient pas d'une mesure à l'autre.

La précision des résultats des essais présentés dans le chapitre III a été évaluée en tenant compte des erreurs des différentes variables énumérées ci-haut. L'évaluation de cette précision a été fixée en simulant par ordinateur l'incertitude du paramètre qui affecte le plus la dimension des particules. Par cette analyse, la densité des particules est le paramètre qui fait varier le plus le diamètre des particules. Tous les résultats des essais sont précis à $\pm 3 \mu\text{m}$, la moyenne à $\pm 1 \mu\text{m}$. L'analyse microscopique donne une précision à $\pm 3 \mu\text{m}$. Cette incertitude est la précision de l'échelle utilisée sur l'oculaire du microscope.

Dans le cas des fibres, la longueur mesurée par l'analyseur de fibres de cellulose KAJAANI est précise à $120 \mu\text{m}$ c'est-à-dire la résolution de l'échelle utilisée sur l'appareil. La précision sur la longueur des fibres et sur la moyenne des diamètres de

ces dernières amène une précision de ± 5 en général sur le rapport "L/a".

4.2 Graphiques de transmission et diffusion

Les graphiques 3.1 à 3.6 présentent des exemples des résultats sous formes graphiques de la courbe de transmission et de diffusion ainsi que la distribution des diamètres des particules sphériques et cylindriques.

On remarque sur le graphique 3.2, 3.4 et 3.6 une augmentation de la diffusion pour un temps de chute compris entre 40 et 100 s. Ce phénomène est explicable par la figure (4.1) représentant l'intensité de la lumière diffusée comme une fonction de la concentration. (équation 1.53)

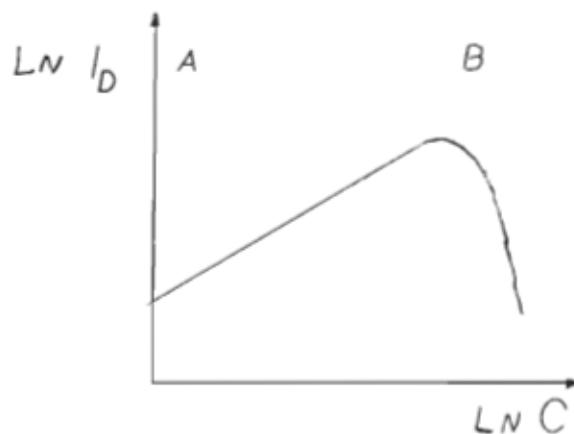


Figure 4.1 : Lumière diffusée en fonction de la concentration

Comme on peut le constater, la figure est divisée en deux régions distinctes. Dans la région A, une augmentation de la

concentration entraîne une augmentation de la lumière diffusée, ce qui est normal puisque chaque fibre diffuse une partie de la lumière incidente, donc une augmentation du nombre de particules amène une augmentation de l'intensité de la lumière diffusée. Lorsque la concentration devient importante, le phénomène d'atténuation prend une plus grande importance et la lumière diffusée diminue, ce qui est représentée dans la région B. Dans notre cas, à mesure que le temps augmente, la concentration diminue. Pendant cette période l'intensité de la lumière diffusée augmente légèrement à une certaine valeur et par la suite diminue. La concentration se situe donc au début de la région B et se dirige vers la région A.

En lumière transmise (graphique 3.1, 3.3 et 3.5), cette variation n'existe pas puisque la lumière transmise est inversement proportionnelle à la concentration. Pour ces mesures seule l'atténuation est à considérer.

L'analyse informatique de ces courbes donne des distributions en lumière transmise et diffusée qui se ressemblent presque parfaitement sauf dans le cas des grosses particules où les effets décrits plus haut prennent de l'importance, ce qui fausse sensiblement le nombre de particules dans cette région.

On remarque aussi sur les graphiques 3.5 et 3.6 un arrêt brusque des courbes pour un temps supérieur à 285 s. Ceci est dû à une sédimentation très lente des fibres comparativement à celles des

microsphères (graphiques 1.2, 1.3) et qui dépasse le temps d'acquisition des données (300 s). La méthode d'évaluation de la pente des courbes (voir annexe B) donne aussi une explication de l'arrêt des courbes vers 285 s. Cette arrêt explique à son tour la montée brusque du nombre de particules pour les diamètres de 14 um.

Le brassage initial est un autre facteur qui influence pendant les trente premières secondes la chute des particules. De fait, après l'agitation, les particules se déplacent aléatoirement dans la cellule et prennent tout près de 30 s avant de se stabiliser et de commencer à se sédimentter normalement.

Dans le cas des fibres naturelles, deux autres effets expliquent les variations des graphiques 3.5 et 3.6, soit: la rotation des fibres durant la sédimentation et l'agglomération de ces dernières. De fait, au cours de la sédimentation, les fibres se superposent en formant un voile qui adhère à la cloison de la cellule, créant ainsi un palier dans la courbe de transmission et de diffusion.

Lorsqu'il y a assez de fibres pour décrocher cet agglomération, la solution continue à se clarifier jusqu'à un nouvel accrochage des fibres. Cet effet est cependant très rapide dans le cas des grosses fibres, entraînant une vitesse de chute plus grande, ce qui a pour effet d'accroître le nombre de grosses particules et entraînant ainsi un élargissement de la courbe de distribution

des diamètres des particules. Dans le cas de petites fibres, l'effet influence moins le faisceau lumineux en donnant une distribution réaliste.

4.3 Analyse des tableaux de résultats

Les tableaux (3.1) à (3.13) présentent l'ensemble des résultats de particules sphériques et cylindriques utilisées dans ce travail.

Les résultats pour les particules sphériques sont donnés dans les tableaux (3.1) à (3.3). Après analyse de ces essais, on peut remarquer une très bonne répétabilité de ceux-ci. De fait, quel que soit le type d'échantillon, la classe observée ou le type de faisceau (transmis ou diffusé), l'analyse statistique des résultats démontre une stabilité dans l'évaluation des diamètres et des moyennes.

En comparant l'analyse microscopique à la moyenne des essais, on peut s'apercevoir qu'en général, l'écart entre les diamètres des particules est moins de 5 % en lumière transmise et de 10 % en lumière diffusée. Il semble assez évident que l'analyse en lumière transmise donne de meilleurs résultats. Ceci est explicable par le fait que le faisceau diffusé est beaucoup plus influencé par le déplacement des particules, leurs positions dans la cellule et de leurs formes. Cette dépendance est surtout causée par la faiblesse du faisceau diffusé. Il suffit d'une

faible variation de l'intensité diffusée pour introduire une erreur accrue.

On remarque aussi que la moyenne pondérée se rapproche le plus de celle obtenue par analyse microscopique, ce qui est réaliste puisque dans ce cas, le volume de la particule est pris en considération.

Le tableau (3.4) donne les résultats obtenus à partir des mesures faites sur des fibres synthétiques (rayonne). Comme introduit au début du chapitre 3, deux colonnes ont été ajoutées pour faire l'analyse du rapport "L/a" des fibres. Dans le cas des fibres synthétiques, seule la longueur moyenne était connue, d'où l'inexistence des résultats de l'analyse statistique des longueurs.

Comme dans le cas des microsphères, on peut constater la répétabilité des essais. On remarque cependant que la dimension des particules cylindriques évaluée en lumière diffusée donne les mêmes résultats qu'en lumière transmise. Ceci est explicable par le fait que les variations lumineuses dues à la grosseur des fibres sont aussi importantes en lumière transmise qu'en lumière diffusée.

On remarque aussi que les dimensions des particules obtenues par analyse microscopique concordent très bien avec celles utilisées par le système pour les faibles dimensions mais s'en écartent

pour les gros diamètres; la cause ayant déjà fait l'objet d'une discussion dans la section 4.2 .

Cet effet entraîne un écart entre l'analyse microscopique et l'expérimentation d'environ 20 % sur les moyennes. On constate ici l'importance d'une très faible concentration afin d'éviter l'agglomération des fibres ou l'addésion de ces dernières aux cloisons de la cellule.

Les tableaux (3.5) à (3.12) présentent les résultats pour les échantillons témoins de fibres naturelles (cellulose). On y retrouve en général les mêmes caractéristiques que dans le cas des fibres synthétiques. On constate cependant pour le tamis #28 que le diamètre des fibres évalué par la méthode photosédimentométrique est plus petit que celui mesuré par analyse microscopique. Ce déplacement vers les faibles dimensions de la distribution est causé par une ferme adhésion des fibres sur les cloisons internes de la cellule; empêchant ainsi la sédimentation normale des autres fibres de plus faibles dimensions, ce qui résulte en un retard dans la chute des fibres. Dans le cas des tamis #48 et #100, cet effet n'est pas apparent puisque les fibres sont beaucoup plus courtes, il y a donc similitude entre la distribution faite par analyse microscopique et celle obtenue expérimentalement.

Après analyse des différents tableaux, on peut constater qu'en général, la moyenne arithmétique des diamètres obtenus

expérimentalement correspond le mieux à la moyenne faite par analyse microscopique. cet effet est causé par l'élargissement de la distribution discutée antérieurement.

On peut constater par analyse des résultats que dans le cas du tamis #28, la moyenne arithmétique obtenue expérimentalement se situe toujours à 28 1 um de diamètre, pour le tamis #48 à 25 1 um et pour le tamis #100 à 22 1 um. Il devient donc simple d'évaluer le numéro du tamis correspondant au diamètre moyen des fibres. Cette correspondance est valide quelque soit le type d'échantillon utilisé.

Une analyse des longueurs des fibres démontrent que le rapport "L/a" des fibres n'est pas une constante absolue mais varie dans une zone donnée selon le tamis utilisé. De fait, on peut constater que ce rapport varie d'environ 60 à 80 pour le tamis #28, de 40 à 60 pour le tamis #48 et de 20 à 40 pour le tamis #100, correspondant à une moyenne arithmétique d'environ 30 pour le tamis #100, 50 pour le tamis #48 et de 70 pour le tamis #28. Connaissant la distribution des diamètres des fibres, il est donc possible d'évaluer la distribution des longueurs des fibres en multipliant les diamètres par le rapport correspondant.

Le tableau (3.13) donne les résultats des essais faits sur un échantillon réel utilisé pour la fabrication du papier. Cet échantillon possède une distribution plus large causée par le bris des fibres lors de la fabrication.

On remarquera dans ces mesures, l'inexistance des résultats en lumière diffusée. Ceci est causé par la présence d'eau blanche dans l'échantillon entraînant une trop grande atténuation du faisceau diffusé, d'où un rapport signal sur bruit très faible.

On peut observer un écart assez important entre la distribution expérimentale et celle obtenue par examen microscopique. Cette variation est causée principalement par l'adhésion des grosses particules sur les cloisons.

L'analyse des longueurs montre une distribution assez étendue amenant un rapport "L/a" qui varie considérablement. En comparant la distribution des longueurs et des diamètres des fibres avec celle des échantillons témoins, on peut cependant s'apercevoir que les résultats obtenus à l'aide du tamis #48 correspondent le mieux avec cette distribution.

4.4 effet de la température

Le tableau 3.14 présente les résultats de l'influence de la température sur la distribution des diamètres des microsphères et sur les fibres.

Dans le cas des microsphères, on constate que plus la température du liquide diminue et plus la distribution se déplace vers les grands diamètres, ce qui est en accord avec l'équation (1.9). De fait, plus la température diminue, plus la

viscosité augmente et plus le frottement particules-fluide devient élevé, d'où accroissement du diamètre des particules.

D'après l'analyse des résultats, on peut constater une stabilité dans la distribution lorsqu'on compense en température. De fait, une variation de 10°C n'amène qu'une variation de la moyenne des diamètres de 4 um avec compensation comparativement à 11 um sans compensation. De plus, les résultats obtenus avec compensation correspondent le mieux avec ceux obtenus dans le tableau 4.3.

Dans le cas des fibres, on remarque une bonne stabilité des résultats avec ou sans compensation. En fait, pour une variation de 10°C, la moyenne arithmétique des diamètres varie de 1 um avec ou sans compensation. En fait, si on compare le graphique (1.3) à (1.2), on peut constater que pour une variation de 10°C, la variation du temps de chute pour différencier deux particules est plus grande dans le cas des microsphères que pour les fibres. Or selon des résultats expérimentaux, cette variation du temps de chute pour une variation de température était faible, d'où stabilité dans l'évaluation des diamètres. Dans le cas des fibres, la compensation en température pour cette hauteur de chute n'est donc pas un paramètre critique.

4.5 Analyse de la transmission lumineuse

Le tableau 3.15 fait l'analyse de la transmission lumineuse en fonction de la concentration les différentes fibres témoins utilisées dans ce travail.

D'après les résultats et pour une concentration donnée, on peut remarquer que la transmission lumineuse demeure presque constante quelque soit l'échantillon. Une plus grande variation est cependant observée à mesure que la concentration augmente. Celle-ci est causée par la flocculation des fibres amenant une instabilité dans la transmission. Plus la concentration diminue et plus l'effet de flocculation diminue, d'où une plus grande stabilité dans les résultats. Par cette analyse, on peut voir l'importance d'une faible concentration dans l'étude de la transmission.

Le graphique 3.7 donne la transmission lumineuse en fonction de la concentration pour différents types de fibres (tamis #48). Comme on peut le constater, la relation est une fonction logarithmique, ce qui était à prévoir. Il est à remarquer que toutes les fibres ont un comportement similaire.

Compte tenu de la variation de la transmission lumineuse due à la flocculation, on peut considérer toutes les courbes du tableau (3.15) comme étant régies par une même relation, celle-ci étant représentée par la moyenne. Le coefficient d'atténuation devient donc indépendant de la concentration. L'analyse de la transmission rend ainsi possible la mesure de faible concentration de fibres en suspension.

CHAPITRE V

CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de ce travail ont permis de mettre en évidence la dépendance qui existe entre les dimensions des particules sphériques et cylindriques et leurs temps de chute dans un liquide, ce qui était une hypothèse fondamentale de ce travail. En fait, les observations faites en lumières transmise et diffusée démontrent une bonne similitude entre l'analyse microscopique et l'analyse photosédimentométrique.

Il semble assez évident, d'après les résultats, que les mesures en lumière diffusée n'apportent pas plus de renseignements sur la distribution des dimensions des particules que celle en lumière transmise, ce qui permet ultérieurement d'éliminer les mesures en lumière diffusée.

L'utilisation de la lumière transmise a l'avantage de diminuer les dimensions de la cellule et ainsi diminuer la turbulence. L'efficacité et la précision des distributions des dimensions des particules en serait accrues, en particulier dans l'évaluation des dimensions des grosses particules.

Une augmentation de la hauteur de chute augmenterait l'écart entre les temps de chute des particules de dimensions voisines, ce qui augmenterait le pouvoir de résolution de l'appareil. Le désavantage serait par contre une augmentation du temps de chute total de l'échantillon, ce qui entraînerait une acquisition des données plus longue.

Il existe donc un compromis entre la rapidité des mesures donnant une évaluation valable des distributions des dimensions des particules et l'augmentation du pouvoir de résolution, pour des diamètres voisins, de l'appareil. Ce choix est alors fixé selon l'utilisation qu'on veut en faire.

L'analyse de l'effet de la température démontre l'importance de celle-ci sur la distribution des dimensions, en particulier pour les particules sphériques. Dans le cas où on désirerait augmenter la précision des résultats en modifiant la hauteur de chute des particules, la température deviendrait un facteur important dans l'évaluation des distributions de particules cylindriques. Pour cette mesure, il deviendrait nécessaire d'en tenir compte.

L'évaluation de la concentration d'une suspension volumique de particules est un second avantage de la méthode électro-optique. De fait, d'après l'analyse de la transmission lumineuse en fonction de la concentration pour différents types de fibres, il existe une relation assez directe entre ces mesures.

L'hypothèse du rapport "L/a" constant dans le cas de particules cylindriques soit être avancée avec précaution. De fait, il ne semblerait pas y avoir de relation constante entre cette hypothèse et les résultats obtenus. Cependant, si on considère tous les phénomènes affectant les mesures, en particulier la turbulence, il devient subjectif de croire à la validité de cet hypothèse. En fait, on peut très bien constater que pour un tamis donné, ce rapport varie toujours entre des limites assez bien définies. Ces observations sont valables en particulier dans le cas des pâtes kraft et sulfite. Dans le cas des pâtes mécaniques et thermomécaniques, cette hypothèse ne s'applique pas car ces procédés de fabrication entraînent le bris des fibres.

En général, on peut donc conclure que l'analyse photosédimentométrique des dimensions de particules sphériques et cylindriques donne de bons résultats. Compte tenu des améliorations à apporter, ce montage est un bon prototype pour la fabrication d'un appareil à l'usage industriel dans le contrôle de la qualité.

BIBLIOGRAPHIE

1. Allen , T. Critical review of particle size analysis. Powder Metallurgy. 1983. 26, 95-100.
2. Clark , James d'A. Pulp Technology and treatment of Paper. San Francisco: Miller Freeman Publication. inc., 1979.
3. Onion , W.J. , Townhill , P.A. The measurement of fiber diameter by photo-extinction sedimentometry. J. Textile Instr.. 1970. 61, 472-484.
4. Kaye , B.H. , Allen , T. Optical scattering cross-section of small particles and the design of photosedimentometer. Analyst. 1965. 90, 147-154.
5. Muggli , R. , Sarko , A. , Marton , R. Small angle light scattering from single wood fibers. Wood Science and Technology. 1973. 7, 29-33.
6. Muggli , Reto. , Marton , R. , Sarko , A. Light Scattering by Cellulose V. Anisotropy Scattering by Wood Fibers. J. Polymer Sci. (C. Polymer Symp.). 1971. 36, 121-134

7. Muly , E. C. , Frock , H. N. Industrial particle size measurement using light scattering. Optical engineering. 1980. 19, 861-869
8. Bemer , G. G. Light Backscattering as On-Line method for determining high slurry concentrations and large particles sizes. Powder Technology. 1979. 22, 143-144.
9. Re Fiorentin, S. A new method for determination of particle-size distribution function from small angle scattering data. J. Appl. Phys. . 1982. 53, 245-249.
10. Powers , S. R. , Somerford , D. J. Some factors affecting the reliability with which fibre size and particle size distributions may be obtained from light scattering data. J. Phys. D: Appl. Phys. . 1980. 13, 2223-2231.
11. Sharma , S. K. , Somerford , D. J. Eikonal approximation to small angle light scattering from absorbing fibres. SPIE. 369, 532-537
12. Sharma , S. K. , Somerford , D. J. Approximation method for sizing transparent fibres using light scattering. J. Phys. D: Appl. Phys. . 1982. 15, 2149-2156.

13. Powers , S. R. , Somerford , D. J. Error contour charts relevant to fibre sizing using light scattering. J. Phys. D: Appl. Phys. . 1979. 12, 1809-1818.
14. Ho , C. W. , Tveten , A. B. , Chan , P. W. , She , C. Y. Particle size measuring device in real time for dense particulate systems. Applied Optics. 1978. 17, 631-634.
15. Jagoszewski , Eugeniusz. , Pawluk , Tadeusz. Diffraction analysis of the particle size distribution. Optica Applicata. 1980. X, 399-409.
16. Umhauer , H. Particle size distribution analysis by scattered light measurements using an optically defined measuring volume. J. Aerosol Sci. . 1983. 14, 765-770.
17. Nakadate , Suezou. , Saito , Hiroyoshi. Particle-size-distribution measurement using a Hankel transform of a Fraunhofer diffraction spectrum. Optics Letters. 1983. 8, 578-580.
18. Perrin , Jean-Marie. , Lamy , Philippe L. Light scattering by large rough particles. Optica Acta. 1983. 30, 1223-1244.
19. Zerull , R. H. , Giese , R. H. , Schwill , S. , Weiss , W. Scattering by particles of non-spherical shape. Proceedings of the international workshop. 1979. 273-282.

20. Sadowski , Janusz W. , Byckling , Eero. Apparatus for Real-Time Measurement of Particle size Distribution. Powder Technology. 1978. 20, 273-284.
21. Hill , Jan , Eriksson , Lennart Laser Unit measures fiber diameter and distributions. Pulp and Paper International. 1971. 13, 49-50.
22. Michael , Allan I. Turbidimetric Particle Size Distribution theory : Application to Refractory Metal and Oxide Powders. American society for testing material special technical publication. 1958. 234, 207-244
23. Kerker , Milton. The scattering of light and other electromagnetic radiation. New-York & London : Academic Press, 1969.
24. Shelvnutt , William. Particle size analysis by sedimentation. Aerospace research labs. Aug 71. ARL-71-0134, 114 p.
25. Klingler , G. A. Digital Computer Analysis of Particle size distribution in Dust. Aerospace research labs. Aug 72. ARL-72-0105, 104 p.
26. Fortuin , J. M. Determination of the particle size distribution of Powders. Aerospace Research Labs., Mar 75. FTD-HC-23-0637-75, 24 p.

27. van de Hulst, H.C. Light Scattering by Small Particles, New York : Dover Publications Inc., 1981.
28. KAJAANI FS-100 Analyser for the classification of cellulosic fibers. Reference Manual. KAJAANI Inc. Automation. Tucker (Atlanta), Georgia 30084
29. Smook , G. A. Handbook for Pulp & Paper Technologists. Montreal : Canadian Pulp and Paper Association, 1982.
30. Coup d'oeil 84 sur l'industrie des pâtes et papiers du Québec. L'Association des industries forestières du Québec.
31. Hillis , W. E. Wood Extractives and Their Significances to the Paul and Paper Industries. New-York & London : Academic Press, 1962.
32. Hill , Jan. , Eriksson , Lennart. Optical Analysis of fiber suspensions. Pulp and Paper Canada. 1976, 77, 61-68.
33. Knudsen , James g. , Katz , Donald L. Fluid Dynamics and Heat Transfer. New-York. Toronto. London : McGraw-Hill Book Company, 1958.

34. Streeter, Victor L. Fluid Mechanics. New-York. Toronto.
London : McGraw-Hill Book Company, 1958.
35. Weast , Robert C. (Eds.) Handbook of Chemistry and Physics. Cleveland : The Chemical Rubber Co. (CRC), 1970.
36. Silverman, Leslie , Billings , Charles e. , First ,
Melvin W. Particle Size Analysis in Industrial Hygiene
New-York and London : Academic Press, 1971
37. Charles, A.Hauper Handbook of Plastics and Elastomers.
New-York : McGraw-Hill Book Company, 1975.
38. Cadle, Richard D. The measurement of airborne particles
New-York : John Wiley & Sons, 1975.
39. Spiegel, Murray R. Formules et tables de Mathématiques
New-York : McGraw-Hill (série Schaum), 1974.

ANNEXE A

CARACTÉRISTIQUE DES PHOTODIODES

Cet annexe présente les caractéristiques des photodétecteurs utilisés pour la mesure de la lumière transmise et diffusée provenant de la cellule de mesure. Ces photodiodes ont été choisies à cause de leur réponse linéaire ainsi que de leur haute sensibilité pour une faible surface d'exposition dans un petit angle solide.

NSL-811/893

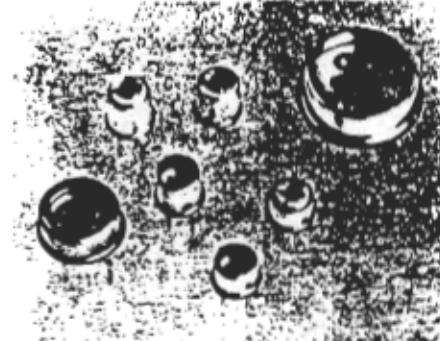
PHOTOCELL BULLETIN NO. 150311

800 SERIES SILICON PLANAR PHOTODETECTORS

GENERAL DESCRIPTION

This is a family of planar, passivated photodetectors designed for photovoltaic and photoconductive applications. The high sensitivity and low dark currents make these devices ideal for low light detection. As well, their low capacitance and high speed make them useful for fast rise time applications. These detectors are available in a number of packaging variants, including TO-18, TO-5 and TO-8 hermetically sealed packages. NSL-811 and NSL-893 are also available as duals and quads in TO-5 and TO-8 packages.

For further information on customized devices, arrays and packaging configurations contact Silonex Inc.



FEATURES

- Very low dark leakage current
- High sensitivity
- Low capacitance
- Hermetic packaging
- Linear response
- High reliability

| Silonex Part No. | Short Circuit Current (nA) @H=500 Fc* | | Open Circuit Voltage (V) @H=500 Fc* | Dark Current (nA) | | | Breakdown Voltage (V) | Capacitance (Zero Bias) Typ. (pF) | Active Area (cm²) | Description | |
|------------------|---------------------------------------|------|-------------------------------------|-------------------|------|------|-----------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------|---------------|
| | Min. | Typ. | | Max. | Typ. | Typ. | | | | | |
| NSL-811 | 100 | 120 | 0.41 | 5.0 | 0.3 | 300 | 40 | 50 | .031 | TO-18, Fig. 3 | |
| NSL-812 | 310 | 370 | 0.41 | 5.0 | 0.3 | 300 | 40 | 50 | .031 | TO-18, Fig. 3 | |
| NSL-813 | 220 | 280 | 0.41 | 5.0 | 0.3 | 300 | 40 | 50 | .031 | TO-18, Fig. 3 | |
| NSL-814 | 90 | 110 | 0.41 | 5.0 | 0.3 | 300 | 40 | 50 | .031 | TO-52, Fig. 4 | |
| — | NSL-815 | 240 | 280 | 0.41 | 5.0 | 0.3 | 300 | 40 | 50 | .031 | TO-52, Fig. 4 |
| — | NSL-883 | 360 | 420 | 0.41 | 10.0 | 1.0 | 500 | 20 | 180 | .101 | TO-5, Fig. 5 |
| — | NSL-893 | 800 | 980 | 0.41 | 20.0 | 5.0 | 800 | 10 | 380 | .221 | TO-8, Fig. 6 |

*The light source is Tungsten Lamp at a color temperature of 2870°K

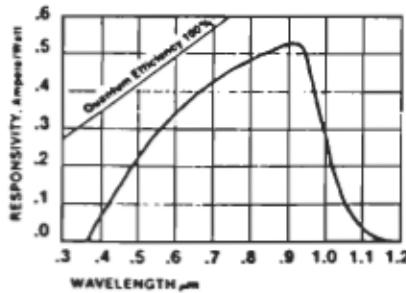


FIG 1 SPECTRAL RESPONSE

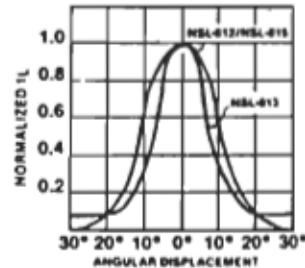


FIG 2
NORMALIZED ANGULAR RESPONSE

TWX 610-421-3362
SILONEX inc

2150 WARD STREET, MONTREAL, QUE. H4M 1T7 TEL. (514) 744-5507
331 CORNELIA ST., PLATTSBURGH, N.Y. 12901 TEL. (518) 561-3160
ALTRINCHAM, CHESHIRE, WA14 4NX. TELEX 51669 663 TEL. (061) 928-3417

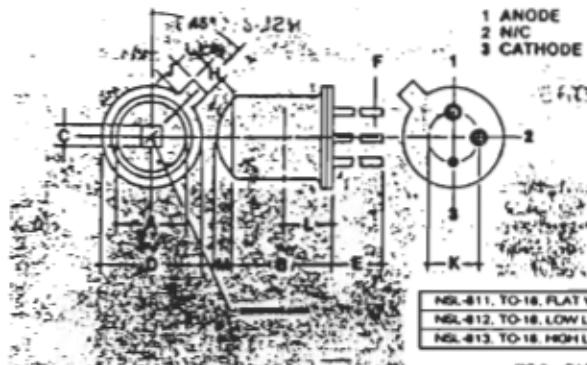


FIG 3: PACKAGE OUTLINE FOR NSL-611, NSL-612 AND NSL-613

| Ref | Inches | | Millimeters | |
|-----|------------|------|--------------|------|
| | Min. | Max. | Min. | Max. |
| A | .178 | .186 | 4.52 | 4.78 |
| B | .195 | .205 | 4.96 | 5.21 |
| C | .065 | .075 | 1.65 | 1.91 |
| D | .202 | .213 | 5.12 | 5.41 |
| E | .5 Nominal | | 12.8 Nominal | |
| F | .016 | .019 | .41 | .48 |
| H | .036 | .045 | .90 | 1.15 |
| J | .033 | .048 | .84 | 1.22 |
| K | .096 | .104 | 2.43 | 2.65 |
| L | .105 | .116 | 2.68 | 2.92 |
| M | - | | .25 | |
| M | .027 | .033 | .68 | .84 |
| M | .062 | .068 | 1.20 | 1.47 |

PHOTOCELL BULLETIN NO. 15031

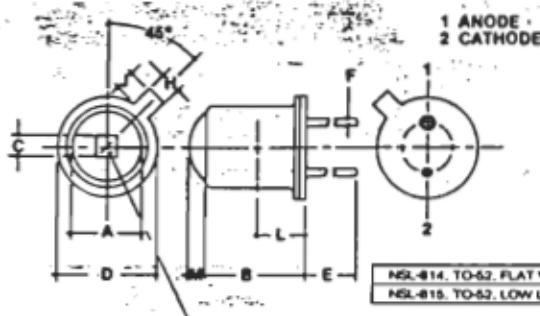
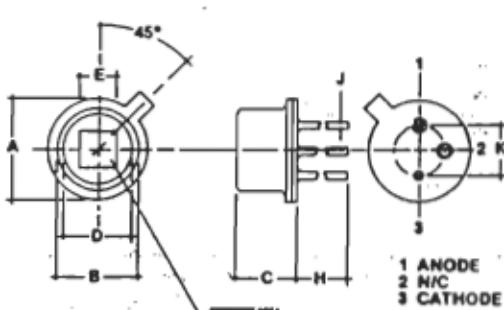


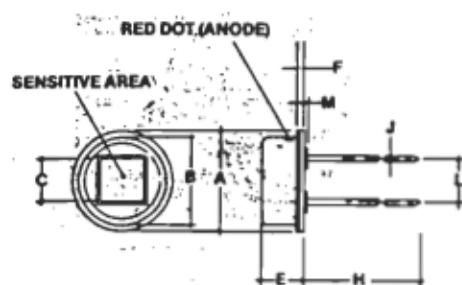
FIG 4: PACKAGE OUTLINE FOR NSL-614, AND NSL-615

| Ref | Inches | | Millimeters | |
|-----|------------|------|--------------|------|
| | Min. | Max. | Min. | Max. |
| A | .178 | .186 | 4.52 | 4.78 |
| B | .142 | .162 | 3.60 | 3.86 |
| C | .065 | .075 | 1.65 | 1.91 |
| D | .202 | .213 | 5.12 | 5.41 |
| E | .5 Nominal | | 12.8 Nominal | |
| F | .016 | .019 | .41 | .48 |
| H | .036 | .045 | .90 | 1.15 |
| J | .033 | .048 | .84 | 1.22 |
| L | .036 | .048 | .90 | 1.22 |
| M | - | | .25 | |
| M | .027 | .033 | .68 | .84 |



| Ref | Inches | | Millimeters | |
|-----|--------|------|-------------|------|
| | Min. | Max. | Min. | Max. |
| A | .325 | .335 | 8.20 | 8.45 |
| B | .320 | .330 | 8.13 | 8.36 |
| C | .270 | .280 | 6.87 | 7.10 |
| D | .245 | .255 | 6.25 | 6.45 |
| E | .120 | .130 | 3.04 | 3.30 |
| H | .150 | .160 | 38.0 | 40.8 |
| J | .016 | .019 | .41 | .48 |
| K | .235 | .245 | 5.98 | 6.22 |

FIG 5: NSL-663, TO-8, FLAT WINDOW



| Ref | Inches | | Millimeters | |
|-----|--------|------|-------------|-------|
| | Min. | Max. | Min. | Max. |
| A | .545 | .555 | 13.84 | 14.10 |
| B | .481 | .491 | 12.21 | 12.46 |
| C | .180 | .190 | 4.57 | 4.83 |
| E | .200 | .226 | 5.08 | 5.73 |
| F | .031 | .101 | 2.31 | 2.56 |
| H | .150 | .160 | 38.10 | 40.84 |
| J | .016 | .019 | .40 | .48 |
| L | .290 | .300 | 7.38 | 7.62 |
| M | .025 | .83 | | |

FIG 6: NSL-663, TO-8, FLAT WINDOW

TWX 610-421-3362
SILONEX Inc.
 2150 WARD STREET, MONTREAL, QUE. H4M 1T7
 331 CORNELIA ST., PLATTSBURGH, N.Y. 12901
 ALTRINCHAM, CHESHIRE, WA14 4NX. TELEX 51669 663

TEL. (514) 744-5507
 TEL. (518) 561-3160
 TEL. (061) 928-3417

ANNEXE B

PROGRAMME D'ACQUISITION DES DONNÉES

Ce programme fait l'acquisition du niveau de sortie du circuit d'amplification (figure 2.6) pendant une période de 300 s par intervalle de 1 s . Il est écrit en BASIC et fait appel à des sous-programmes machine du logiciel PCLAB.

Le programme est écrit de façon générale, c'est-à-dire qu'il fait les acquisition sur les 7 canaux disponibles mais conserve les résultats sur disquette des trois premiers canaux, un en lumière transmise et deux en lumière diffusée et disposés de part et d'autre du faisceau transmis.

Cette annexe donne une copie du programme. Les commentaires facilitent la lecture et les modifications possibles du programme.

Le sous-programme SETUP.ADC. définit les paramètres généraux de la conversion analogique-numérique. Cette instruction initialise le type d'horloge utilisé, les canaux à balayer et le facteur

par lequel les données doivent être multipliées avant conversion.

L'instruction SET.SLOW.CLOCK détermine l'intervalle d'acquisition de chaque canal.

ADC.SERIES fait la conversion analogique-numérique des données et transfère les résultats dans un vecteur tampon avant de les enregistrer en mémoire de l'ordinateur ou sur disquette.

```
10 '
20 '
30 '
40 '
50 '
60 '
70 '
80 '
90 '
100 '
110 '
120 '
130 '
140 CLS
150 KEY OFF
160 LOCATE 11,10:PRINT"Programme d'acquisition de données"
170 LOCATE 12,10:PRINT" "
180 LOCATE 13,10:PRINT"Lecture de 7 canaux; les 3 premiers sont conservés"
190 LOCATE 14,10:PRINT"Les acquisitions se font par intervalle de 1 seconde"
200 LOCATE 15,10:PRINT"Ce programme doit être compilé pour fonctionner"
210 BEEP
220 LOCATE 18,10:INPUT"Désirez-vous faire une acquisition ? (1-oui, 2-non)";M$
230 IF M$="2" THEN STOP
240 '
250 '
260 '
270 '
280 '
290 DEFINT V           ' Déclaration de V comme entier
300 DIM V1(300),V2(300),V3(300),V4(300) ,VARIABLE%(8)
310 DIM V5(300),V6(300),V7(300)
320 '
330 '
340 '
350 '
360 '
```

```

370 CLS
380 LOCATE 11,10: PRINT "Début des acquisitions"
390 LOCATE 13,10: PRINT "Les résultats seront conservés dans un fichier"
400 LOCATE 14,10: INPUT "Quel nom donnez-vous à ce fichier ?";M$
410 '
420 '
430 ' *** ouverture du fichier et initialisation des sous-programmes ***
440 ' *** d'acquisition de données                               ***
450 '
460 '
470 OPEN M$ AS #1 LEN=12           ' fichier à accès sélectif
480 FIELD #1, 4 AS V1$,4 AS V2$,4 AS V3$
490 '
500 TIMING.SOURCE% =0           ' Horloge interne
510 START.CHAN% =1             ' Débute l'acquisition sur ce canal
520 END.CHANNEL% =7            ' Termine l'acquisition sur ce canal
530 GAIN% =1                  ' Facteur d'échelle sur les données
540 NUMBER.OF.TICK% =11800      ' Pour l'acquisition à chaque 1 seconde
550 NOMBRE% =7                ' Prend 7 canaux par seconde
560 '
570 '
580 ' *** lecture de référence des 7 canaux - ***
590 '
600 '
610 CLS
620 LOCATE 11,10: PRINT "initialisation :lecture des valeurs sans particules"
630 LOCATE 13,10: PRINT "presso une clé pour faire la lecture"
640 A$=INKEY$
650 IF A$="" THEN 640
660 '
670 CALL SETUP.ADC(TIMING.SOURCE%,START.CHAN%,END.CHANNEL%,GAIN%)
680 CALL SET.SLOW.CLCK(NUMBER.OF.TICK%)
690 CALL ADC.SERIES(NOMBRE%,VARIABLE%(1))
700 LSET V1$=MKI$(VARIABLE%(1)) :LSET V2$=MKI$(VARIABLE%(2)) :LSET V3$=MKI$(VARIABLE%(3))
710 LSET V4$=MKI$(VARIABLE%(4)) :LSET V5$=MKI$(VARIABLE%(5)) :LSET V6$=MKI$(VARIABLE%(6))
720 LSET V7$=MKI$(VARIABLE%(7))

```

```
730 PUT #1,1
740 '
750 '
760 ' *** lecture des 7 canaux avec particules ***'
770 '
780 '
790 CLS
800 LOCATE 11,10:PRINT "Lecture du signal avec particules"
810 LOCATE 13,10:PRINT "presser une clé pour faire la lecture"
820 A$=INKEY$
830 IF A$="" THEN 820
840 T=0
850 CLS
860 '
870 CALL SETUP.ADC(TIMING.SOURCE%,START.CHAN%,END.CHANNEL%,GAIN%)
880 CALL SET.SLOW.CLOCK(NOMBRE.OF.TICK%)
890 CALL ADC.SERIES(NOMBRE%,VARIABLE%(1))
900 '
910 V1(T)=VARIABLE%(1)
920 V2(T)=VARIABLE%(2)
930 V3(T)=VARIABLE%(3)
940 V4(T)=VARIABLE%(4)
950 V5(T)=VARIABLE%(5)
960 V6(T)=VARIABLE%(6)
970 V7(T)=VARIABLE%(7)
980 '
990 T=T+1                      ' Incrémentation du temps
1000 LOCATE 12,40 :PRINT USING "###";T    ' Impression du temps en seconde
1010 IF TC301 THEN 890
1020 '
1030 '
1040 ' *** mise en fichier des données des trois premiers canaux ***
1050 '
1060 '
1070 FOR I%=2 TO 3#1
1080 LSET V1$=MKI$(V1(I%)) : LSET V2$=MKI$(V2(I%)) : LSET V3$=MKI$(V3(I%))
```

```
1090 PUT #1,IX
1100 NEXT I%
1110 CLS
1120 SCREEN 0,0,0
1130 LOCATE 12,12 :PRINT "fin de l'acquisition"
1140 CLOSE #1
```

ANNEXE C

PROGRAMME DE TRAITEMENT DES DONNÉES

Le programme est composé de 3 principales sections:

- a) Traitement primaire des données
- b) Evaluation de la distribution en diamètre des particules ou des fibres
- c) impressions et traitement statistique des résultats

L'analyse de ces sections donne une idée générale du fonctionnement du programme. Les nombreux commentaires sur la copie donne avec précision son déroulement exact.

La section "a" (lignes 420 à 1530) comprend l'accès au fichier des données recueillies par le programme d'acquisition donné dans l'annexe B, le lissage des données et la normalisation de la courbe.

Les données ont été enregistrées sur disquette en accès sélectif diminuant ainsi l'espace mémoire occupé.

La section du lissage divise les données en deux parties selon le choix de l'utilisateur. La première partie fait un lissage sur 19 points des données recueillies. Le but de ce traitement est la diminution des fluctuations causées par l'agitation du mélange. La seconde partie traite les données en fonction de la température et varie le nombre de points d'évolution de la moyenne en fixant un certain delta-rayon correspondant à un certain delta-temps.

La section normalisation de la courbe évalue le $\ln(I/I_0)$ où I_0 correspondant à un certain temps est donné par l'utilisateur. De fait, le programme peut traiter jusqu'à 300 points équivalent à 300 s. Si le temps de chute des particules se fait en moins de 100 s par exemple, il devient inutile de tenir compte de tous les points. On fera donc un traitement sur ces 100 premiers points. Le I_0 sera donc celui donné par le 100 ième point. L'avantage d'utiliser un I_0 variable est la diminution du temps de traitement car ce point maximum est conservé tout au long du programme et sert de limite au nombre de points à traiter.

La section "b" (lignes 1540 à 2040) comprend le calcul de la distribution du diamètre des particules ou fibres ainsi que son lissage. Le calcul de la distribution est basé sur les équations 1.18 et 1.46.

L'avantage d'utiliser ces équations au lieu des équation 1.19, 1.47 et 1.48 est double. Premièrement, les équations 1.18 et 1.46 sont les mêmes à une constante près, ce qui allège le programme par le nombre de calculs puisqu'on utilise la même équation sans se préoccuper de la constante. En second, étant donné qu'on utilise un nombre restreint de calculs, on augmente considérablement la vitesse d'exécution du programme, ce qui était dans les objectifs de cette recherche. De plus, lors du lissage en fonction de la température, les équations exactes de da/dt sont utilisées afin de compenser la dérive de la courbe de transmission ou de diffusion dans le temps. Il devient donc inutile de répéter une seconde fois les calculs. Le lissage de la distribution peut se faire sur 3, 5 ou 7 points au choix de l'utilisateur.

La section "c" (lignes 2050 à 4240) fait l'impression à l'écran ou sur imprimante de la courbe de transmission ou de diffusion ainsi que la distribution des dimensions des particules ou fibres. Plusieurs exemples d'impressions et d'interprétations de ceux-ci sont donnés dans le chapitre 3 .

L'option statistique évalue la moyenne arithmétique, la moyenne pondérée et dans le cas des fibres, une moyenne pondérée en admettant un rapport "L/a" constant. Cette section fait aussi l'analyse de la distribution par la recherche d'une dimension de particules telle qu'un certain nombre de celles-ci aient des dimensions inférieures. Ces fractions sont fixées à 10, 25, 50,

75 et 90 % du nombre total de particules. La plupart des résultats donnés dans le chapitre 3 sont sous cette forme puisqu'en industrie, on s'intéresse plus particulièrement à la forme générale de la distribution plutôt qu'à sa précision, d'où l'avantage de cette option statistique. L'utilisateur possède donc le choix entre la précision donnée par les graphiques ou la forme générale donnée par cette option.

```

10 CLS
20 '
30 '
40 ' * Programme pour l'évaluation de la fonction *
50 ' * de distribution des dimensions de particu- *
60 ' * les en suspension aqueuse en cours de sédi- *
70 ' * mentation *
80 '
90 ' * * * * * part: J. Claude Morissette * *
100 '
110 '
120 '
130 '*****'
140 ' renseignements généraux
150 '*****'
160 '
170 SCREEN 2
180 LOCATE 11,10:PRINT"Programme pour l'évaluation des dimensions de particules"
190 LOCATE 12,10:PRINT"en suspension aqueuse en cours de sédimentation"
200 '
210 '
220 ' NOTE: - Pour fonctionner avec les 7 canaux, modifier les lignes 360,480
230 ' 490,580 et 690 comme suit;
240 '
250 ' ligne 360 : ajouter V4(300) à V7(300)
260 ' 480 : changer LEN=12 par LEN=28
270 ' 490 : ajouter 4 AS V4$ à 4 AS v7$
280 ' 580 : ajouter les impressions des canaux supplémentaires
290 ' 690 : ajouter les lignes V4(I%)=CVI(V4$) à V7(I%)=CVI(V7$)
300 '
310 '*****'
320 ' initialisation générale
330 '*****'
340 '
350 CLEAR
360 DIM SS(800),P(600),V1(400),V2(400),V3(400),TR(400),SS1(800),SD(400)

```

```
370 DIM STAT(125,2)
380 KEY OFF
390 LOCATE 20,10 : INPUT "OPTION: fibres (0) ; microsphères (1) :" ; OPT$
400 '
410 '*****'
420 '    accès au fichier m$'
430 '*****'
440 '
450 '    'OPEN' Ouvre le fichier m$ avec 12 bits par ligne de données
460 '    'FIELD' Réserve 4 bits par donnée. (3 données par ligne)
470 '
480 LOCATE 20,10 : INPUT "Dans quel fichier se trouvent les données";M$
490 OPEN M$ AS #1 LEN=12
500 FIELD #1,4 AS V1$,4 AS V2$,4 AS V3$
510 CLS :PRINT "ACCES AU FICHIER ";M$
520 '
530 '
540 '    *** Lecture des valeurs initiales ( sans particules ) ***'
550 '
560 '
570 GET #1, 1                      ' lecture de la première ligne
580 PRINT "" : PRINT "Valeurs initiales sans particules"
590 PRINT "canal 1 : ";CVI(V1$) : PRINT "canal 2 : ";CVI(V2$) : PRINT "canal 3 : ";CVI(V3$)
600 '
610 '
620 '    *** Lecture des données ( avec particules ) ***'
630 '
640 '
650 FOR I%=1 TO 300                ' Lecture des lignes de données
660 IF EOF(I) THEN 720
670 GET #1,I%
680 V1(I%)=CVI(V1$)                 ' Transfert des données de chaque
690 V2(I%)=CVI(V2$)                 ' ligne dans les vecteurs corres-
700 V3(I%)=CVI(V3$)                 ' pondant aux canaux 1,2 et 3.
710 NEXT I%
720 NOMBRE= I%
```

```

730 CLOSE           ' Fermeture du fichier n#
740 '
750 *****
760 '      Lissage de la courbe
770 *****
780 '
790 CLS : GOSUB 3410
800 LOCATE 18,30 : PRINT " Traitement en lumière"
810 LOCATE 11,30 : INPUT "(0) transmise, (1) diffusée"; DIFF
820 IF DIFF=0 THEN GOTO 870
830 FOR IX=1 TO 300      ' Transfert de V2 ou V3 a V1 pour le calcul en
840     V1(IX)=V2(IX)      '         lumière diffusée.
850 NEXT IX            ' Cette boucle est inexistante en lumière transmise
860 '
870 CLS : PRINT "Lissage de la courbe"
880 GOSUB 3410
890 LOCATE 9,33 : PRINT "LISSAGE DES 'N' PREMIERS"
900 LOCATE 10,33 : PRINT "POINTS (sans compensation"
910 LOCATE 11,33 : INPUT "en température)"; LIS
920 '
930 '
940 ' ** Lissage des premières LIS secondes **'
950 '
960 ' Ce lissage diminue l'effet de la turbulence causé par le brassage.
970 ' La moyenne est évaluée sur 19 points; soit 9 points de chaque
980 '       côté du point à calculer.
990 '
1000 FOR I=9 TO LIS          ' calcul des points moyennés
1010     TR(I)=V1(I-9)+V1(I-8)+V1(I-7)+V1(I-6)+V1(I-5)+V1(I-4)+V1(I-3)+V1(I-2)+V1(I-1)+V1(I)
1020     TR(I)=TR(I)+V1(I+1)+V1(I+2)+V1(I+3)+V1(I+4)+V1(I+5)+V1(I+6)+V1(I+7)+V1(I+8)+V1(I+9)
1030     TR(I)=TR(I)/19
1040 NEXT I
1050 FOR I=9 TO LIS
1060     V1(I)=TR(I) 'Transfert des points moyennés dans le vecteur de travail
1070 NEXT I
1080 '

```

```

1090 '
1100 ' *** Lissage pour un temps supérieur à LIS en tenant    ***
1110 ' *** compte de la température.                            ***
1120 ' *** Ce lissage varie la période ou on évalue la moyenne. ***
1130 '
1140 '
1150 GOSUB 3430           'entrée des données de base
1160 IF OPT$="1" THEN GOSUB 4760      'calcul de la constante (microsphères)
1170 FOR I=LIS TO 299
1180     IF OPT$="0" THEN GOSUB 3950  'calcul de DELTA.TEMPS (fibres)
1190     IF OPT$="1" THEN GOSUB 4100  'calcul de DELTA>TEMPS (microsphères)
1200     LOCATE 11,30 :PRINT USING "delta.temps #####   temps= ##### ";DELTA.TEMPS,I
1210     TEMPS2=I+DELTA.TEMPS/2
1220     IF TEMPS2>299 THEN TEMPS2=299
1230     LOCATE 12,33 :PRINT USING "min =##### max=##### ";I-DELTA.TEMPS/2 ,TEMPS2
1240 '
1250 '
1260 ' *** Calcul de la moyenne  ***
1270 '
1280 '
1290     FOR TEMPS=(I-DELTA.TEMPS/2) TO TEMPS2
1300         SOMME=V1(TEMPS) + SOMME
1310         N=N+1
1320     NEXT TEMPS
1330     SO(I)=SOMME/N
1340     LOCATE 14,38 :PRINT "so(i) ":";SO(I)
1350     N=@ :SOMME=@
1360 NEXT I
1370 FOR I=LIS TO 299
1380     V1(I)=SO(I)  'transfert des points moyennés dans le vecteur de travail
1390 NEXT I
1400 '
1410 ****
1420 ' Normalisation de la courbe obtenue
1430 ****
1440 '

```

```

1450 CLS :PRINT " Normalisation de la courbe " ' V1(i)=-1* ... pour la
1460 FOR I=9 TO TRAIT-2                      ' normalisation en lu-
1470     V1(I)=-1*LOG(V1(I)/V1(TRAIT))        ' mière transmise.
1480     IF DIFF=1 THEN V1(I)=-V1(I)
1490 NEXT I                                     ' V1(i)=+1*... en lumiere
1500 CLS                                         ' diffusée
1510 TOTAL=0 :TOTALI=0
1520 '
1530 *****
1540 ' Calcul de la fonction de distribution
1550 *****
1560 CLS : PRINT * calcul de la distribution*
1570 I=15                                         ' positionne le premier point
1580 IF OPT$="0" THEN GOSUB 3740                 ' Calcul du rayon des fibres
1590 IF OPT$="1" THEN RAYON=KERKER*1000000/(I^.5) 'option microsphères
1600 POSITION2=RAYON                            ' positionne le point central
1610 I=I-5 : GOSUB 3740                         '
1620 POSITION1=RAYON                            ' recherche des points juxtaposés au point
1630 I=I+10 : GOSUB 3740                         ' central pour le calcul de la pente en ce
1640 POSITION3=RAYON                            ' point
1650 DELTAA=POSITION1-POSITION3 ' calcul du " da "
1660 I=I-5                                         ' positionne le pointeur au point central
1670 PENTE=ABS((V1(I-5)-V1(I+5))/11)   ' calcul de la pente au point central
1680 P=INT(POSITION2+.5)                         ' rayon correspondant à la distribution
1690 SS(P)=PENTE/(POSITION2^2*DELTAA/11) ' calcul de la distribution
1700 IF OPT$="0" THEN GOSUB 3740                 ' Calcul du rayon des fibres
1710 IF OPT$="1" THEN RAYON=KERKER*1000000/(I^.5) 'option microsphères
1720 POSITION4=RAYON                            ' recherche du nouveau point central
1730 DELTA=POSITION4-POSITION2    ' distant de 1 micron
1740 IF POSITION4>POSITION2-1 THEN I=I+1 :GOTO 1700
1750 IF I<TRAIT-15 THEN 1580
1760 '
1770 *****
1780 ' Lissage de la fonction de distribution
1790 *****
1800 '

```



```
2170 '
2180 ' *** correction de la courbe ( facultatif ) ***
2190 '
2200 '
2210 LOCATE 9,28 : PRINT "Courbe de transmission ou de"
2220 LOCATE 16,28 : PRINT "diffusion"
2230 LOCATE 11,28 : INPUT "AVEC(1) ou SANS(0) Corrections";N$
2240 LINE (0,0)-(639,199),,BF :LINE (2,2)-(637,197),0,BF
2250 IF N$="0" THEN GOTO 2310
2260 TAMPON = V1(10)
2270 FOR I=11 TO TRAIT-15
2280     IF V1(I)<=TAMPON AND V1(I)/V1(I+1)>=1 THEN TAMPON=V1(I+1) : V1(I+1)=V1(I)
2290     IF V1(I+1)>V1(I) AND V1(I)<=V1(I-1) THEN V1(I+1)=V1(I)
2300 NEXT I
2310 '
2320 '
2330 ' *** choix du sous programme de l'impression suivant l'option ***
2340 '
2350 '
2360 IF OPT$="0" THEN 2370 ELSE 2380
2370 GOSUB 2390 : GOTO 2740
2380 GOSUB 2640 : GOTO 2740
2390 '
2400 '
2410 ' *** impression : option fibres ***
2420 '
2430 '
2440 FOR I=20 TO TRAIT-15          ' Impression de la courbe
2450     GOSUB 3740           ' Calcul du rayon des fibres
2460     IF I=20 THEN ECH=639/RAYON  ' Facteur d'échelle pour l'impression
2470     PSET (RAYON*ECH,199-V1(I)/MAX*130)
2480 NEXT I
2490 '
2500 FOR I=20 TO 300 STEP 10      ' Impression de l'echelle des X
2510     GOSUB 3740           ' Calcul du rayon des fibres
2520     IF I=20 THEN ECH=639/RAYON  ' Facteur d'échelle pour l'impression
```

```
2530 LINE (RAYON*ECH,33)-(RAYON*ECH,48)
2540 NEXT I
2550 FOR I=10 TO 200 STEP 10      ' Impression de l'échelle des Y
2560 LINE (0,I)-(10,I) : LINE (639,I)-(629,I)
2570 NEXT I
2580 RETURN
2590 '
2600 '
2610 ' *** impression : option microsphères ***
2620 '
2630 '
2640 FOR I=11 TO TRAIT-3    ' Impression de la courbe
2650 PSET (3.195*KERKER*1000000!/(I^.5),199-V1(I)/MAX*138)
2660 NEXT I
2670 '
2680 FOR I=10 TO 300 STEP 10    ' Impression de l'échelle des X
2690 PX=KERKER*1000000!/(I^.5)
2700 LINE(3.195*PX,33)-(3.195*PX,48)
2710 NEXT I
2720 RETURN
2730 '
2740 BEEP
2750 A$=INKEY$
2760 IF A$="" THEN 2750
2770 *****
2780 ' Impression de la fonction de distribution
2790 *****
2800 '
2810 MAX=0
2820 FOR I=3 TO 298          ' Calcul du maximum de la distribution
2830 IF ABS(SS(I))>MAX THEN MAX=ABS(SS(I))  ' pour un facteur d'échelle
2840 NEXT I                  ' automatique
2850 '
2860 ' *** choix du sous programme suivant l'option ***
2870 '
2880 IF OPT$="@" THEN 2890 ELSE 2900
```

```

2890 GOSUB 2940 : GOTO 3220
2900 GOSUB 3070 : GOTO 3220
2910 '
2920 ' *** impression : option fibres ***
2930 '
2940 FOR P=1 TO 50           ' Impression de la distribution
2950   LINE (12.78*P,199)-(12.78*(P+1),199-SS(P)/MAX*150),,B
2960 NEXT P
2970 '
2980 FOR I=5 TO 50 STEP 10      ' petite échelle hori-
2990   LINE (12.78*I,195)-(12.78*I+2,199),,BF      ' zontale sur le cadre
3000 NEXT I
3010 FOR I=0 TO 50 STEP 10      ' grande échelle hori-
3020   LINE (12.78*I,191)-(12.78*I+2,199),,BF      ' zontale sur le cadre
3030 NEXT I
3040 LINE (2,2)-(200,30),B,BF:LINE (0,10)-(10,10):LINE(0,20)-(10,20)
3050 LINE (0,30)-(10,30)
3060 RETURN
3070 '
3080 ' *** impression : option microsphères ***
3090 '
3100 FOR P=1 TO 200           ' Impression de la distribution
3110   LINE(3.195*(P-1),199)-(3.195*P,199-SS(P)/MAX*150),,B
3120 NEXT P
3130 FOR I=0 TO 200 STEP 10    ' Impression de l'échelle des X
3140   LINE (3.195*I,190)-(3.195*I-2,199),,BF
3150 NEXT I
3160 FOR I=20 TO 200 STEP 20  ' Impression de l'échelle des Y
3170   LINE (0,I)-(20,I) : LINE (639,I)-(619,I)
3180 NEXT I
3190 LINE(2,2)-(200,30),B,BF : LINE(0,20)-(20,20)
3200 RETURN
3210 '
3220 A$=INKEY$           ' Attente pour permettre l'impression sur l'impri-
3230 IF A$="" THEN 3220  ' mante de la fonction de distribution.
3240 IF D$="1" THEN 3250 ELSE 3290

```

```
3250 GOSUB 3390
3260 LOCATE 2,3 : PRINT "Choix"
3270 LOCATE 3,3 : INPUT "1=stat. 0=non";ST$
3280 IF ST$="1" THEN GOSUB 4200
3290 GOSUB 3390
3300 LOCATE 2,3 :PRINT "Choix "
3310 LOCATE 3,3 :INPUT "1=autre 0=fin";N$
3320 IF N$="0" THEN STOP   ' pour terminer l'exécution du programme
3330 IF N$="1" THEN 350  ' Retour à un nouveau fichier
3340 '
3350 '*****+
3360 '    Impressions diverses
3370 '*****+
3380 '
3390 LINE (0,0)-(200,30),,BF :LINE(2,2)-(198,28),0,BF
3400 RETURN
3410 LINE (200,40)-(500,100),,BF :LINE (202,42)-(498,98),0,BF
3420 RETURN
3430 GOSUB 3410
3440 LOCATE 11,33 : INPUT "DENSITE DES PARTICULES ";RHO
3450 GOSUB 3410
3460 LOCATE 11,33 : INPUT "DENSITE DU LIQUIDE ";RHO1
3470 GOSUB 3410
3480 LOCATE 11,33 :INPUT "TEMPERATURE (celsius) ";TEMPERATURE
3490 GOSUB 3410
3500 LOCATE 11,33 :INPUT "HAUTEUR DE CHUTE( cm ) ";HAUTEUR
3510 GOSUB 3410
3520 LOCATE 10,33 : PRINT "TRAITEMENT SUR LES 'N'"
3530 LOCATE 11,33 : INPUT "PREMIERES SECONDES";TRAIT
3540 GOSUB 3410
3550 LINE (0,0)-(639,199),,BF :LINE (2,2)-(637,197),0,BF
3560 '
3570 '*****+
3580 '      Calcul de la viscosite du milieu vs température
3590 '*****+
3600 '
```

```
3610 ' *** Température supérieure ou égale à 20 celcius ***
3620 '
3630 IF TEMPERATURE < 20 THEN 3660
3640 VISCOSITE=.01*10^(((1.3272*(20-TEMPERATURE)-.001053*((TEMPERATURE-20)^2))/(TEMPERATURE+105))+.00086772168)
3650 GOTO 3710
3660 '
3670 ' *** Température inférieure à 20 celcius ***
3680 '
3690 VISCOSITE=10^(1301/(998.333+8.1855*(TEMPERATURE-20)+.00585*((TEMPERATURE -20)^2))-3.30233)
3700 '
3710 RETURN
3720 '
3730 '*****'
3740 ' Calcul du rayon des fibres
3750 '*****'
3760 '
3770 ' Nomenclature:
3780 ' HAUTEUR : Hauteur de chute en cm
3790 ' RHO et RHO1 : masse volumique des particules et du
3800 ' milieu de chute en g/cm³
3810 ' I : Temps de chute en s
3820 ' VISCOSITE : Viscosité du milieu en Poise ou g/cm-s
3830 ' RAYON : Rayon des particules en microns
3840 ' RAYON peut varier entre 0 et 639
3850 '
3860 BETA=HAUTEUR/(980*(RHO-RHO1))
3870 ALPHA=VISCOSITE*BETA/I
3880 AL=RHO1*HAUTEUR*BETA/(I*I)
3890 AL1=AL*AL+ALPHA
3900 RAYON=(AL+SDR(AL1))*10000!
3910 '
3920 RETURN
3930 '
3940 '*****'
3950 ' Calcul du 'DELTA.TEMPS'
3960 '*****'
```

```
3970 '
3980    Pour la nomenclature, se referer au 'Calcul du rayon des fibres'
3990 '
4000    *** pour l'option fibres ***
4010 '
4020 BETA=HAUTEUR/(98*(RH0-RH01))
4030 ALPHA=VISCOSITE*BETA/I
4040 AL=RHO1*HAUTEUR*BETA/(I*I)
4050 DENO=(1.5*(-4*AL-ALPHA)/(SOR(AL+AL+ALPHA)))-2*AL
4060 DELTA_TEMPS=I^15/ABS(DENO*100000)
4070 '
4080 RETURN
4090 '
4100 '
4110    *** pour l'option microsphères ***
4120 '
4130 DELTA_TEMPS=I^1.5/(KERKER*1000000)
4140 RETURN
4150 '
4160 *****
4170    option statistique
4180 *****
4190 '
4200 CLS
4210 SOM=0
4220 FOR I=1 TO 100      ' calcul du nombre total de fibres dans la
4230     SOM=SOM+SS(I)    ' fonction de distribution
4240 NEXT I
4250 '
4260 FOR I=1 TO 100      ' calcul du pourcentage équivalent pour chaque rayon
4270     STAT(I,2)=(SS(I)/SOM)*100
4280 NEXT I
4290 '
4300 FOR I=1 TO 100      ' statistique pour un nombre inférieur à 10 %
4310     GR=GR+STAT(I,2)
4320 IF GR>10 THEN 4340
```

```

4330 NEXT I
4340 LOCATE 6,2 : PRINT "Au moins 10 % des fibres ont un diamètre inférieur à : ";2*I;" microns"
4350 '
4360 FOR I=1 TO 100      ' statistique pour un nombre inférieur à 25 %
4370   GRA=GRA+STAT(I,2)
4380   IF GRA>25 THEN 4400
4390 NEXT I
4400 LOCATE 8,2 : PRINT "Au moins 25 % des fibres ont un diamètre inférieur à : ";2*I;" microns"
4410 '
4420 FOR J=1 TO 100      ' statistique pour un nombre inférieur à 50 %
4430   GRB=GRB+STAT(J,2)
4440   IF GRB>50 THEN 4460
4450 NEXT J
4460 LOCATE 10,2 : PRINT "Au moins 50 % des fibres ont un diamètre inférieur à : ";2*J;" microns"
4470 '
4480 FOR K=1 TO 100      ' statistique pour un nombre inférieur à 75 %
4490   GRC=GRC+STAT(K,2)
4500   IF GRC>75 THEN 4520
4510 NEXT K
4520 LOCATE 12,2 : PRINT "Au moins 75 % des fibres ont un diamètre inférieur à : ";2*K;" microns"
4530 '
4540 FOR I=1 TO 100      ' statistique pour un nombre inférieur à 90 %
4550   GRD=GRD+STAT(I,2)
4560   IF GRD>90 THEN 4580
4570 NEXT I
4580 LOCATE 14,2 : PRINT "Au moins 90 % des fibres ont un diamètre inférieur à : ";2*I;" microns"
4590 '
4600 TOT=0 : TOT1=0 : TOTA=0 : TOTAI=0
4610 TOTB=0
4620 FOR I=2 TO 100      ' calcul du diamètre moyen , moyenne pondérée
4630   TOT=TOT+I*SS(I) : TOT1=TOT1+SS(I)
4640   TOTA=TOTA+SS(I)*I*I : TOTAI=TOTAI+SS(I)*I
4650   TOTB=TOTB+SS(I)*I^3
4660 NEXT I
4670 MOY=TOT/TOT1
4680 MOY1=TOTA/TOTAI

```

```
4690 MOY2=TCTB/TOTA
4700 LOCATE 16,2 : PRINT "Le diamètre moyen est de : ";INT(2*MOY+.5);" microns"
4710 LOCATE 17,2 : PRINT "Le diamètre moyen pondéré est de : ";INT(2*MOY1+.5);" microns"
4720 IF OPT$="1" THEN GOTO 4740
4730 LOCATE 18,2 : PRINT "Le diamètre moyen pondéré avec L/D fixe est de : ";INT(2*MOY2+.5);" microns"
4740 RETURN
4750 '
4760 ' *** calcul de la constante : option microsphères *** 
4770 '
4780 KERKER=SQR((9*HAUTEUR*VISCOsite)/(2*9.8*(RHO-RHO1)*1000000!))
4790 RETURN
```