

DFO - Library / MPO - Bibliothèque



14006648

RAPPORT TECHNIQUE ELC-86-038

MIREUSE/FILETS DE POISSON

DOSSIER NO 634-0437

F.C. # 4629

SH
335.5
.Q354
C465

CRIQ
CENTRE DE RECHERCHE
INDUSTRIELLE DU QUÉBEC

197066

RAPPORT TECHNIQUE ELC-86-038

MIREUSE/FILETS DE POISSON

DOSSIER NO 634-0437


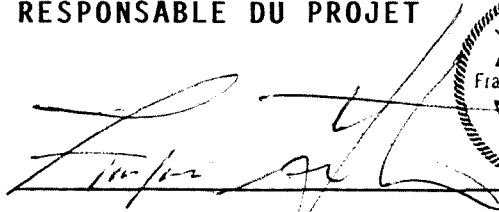
F.C. # 4629

C.D. : Claude Bolduc

Client: PECHES ET OCÉANS CANADA
Gare Maritime Champlain
901 Cap Diamant
Québec (Québec)
G1K 7Y7

No matricule: 3432

RESPONSABLE DU PROJET



François Gauthier, ing.
Ingénierie agricole et pêches
Secteur Électronique

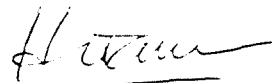
C.G. LDCT
D.S. [Signature]

SH
335.9
.0354
C465

Montréal, le 04 décembre 1986

ELC-86-038

Les personnes suivantes ont collaboré à la rédaction de ce rapport:



HUYNH CONG TAM, ing.
Systèmes et technologies électroniques



LE DINH CHON TAM, ing.
Systèmes et technologies électroniques



RAYMOND PAQUIN, ing.
Systèmes et technologies électroniques

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
1.0 INTRODUCTION.....	1
1.1 Point de la situation.....	1
1.2 Le parasite P. Décipiens.....	1
1.3 Techniques de prise d'images.....	2
1.4 Appareillage utilisé et méthode de travail.....	3
2.0 DÉTECTION AUTOMATIQUE DES PARASITES.....	5
2.1 Prise d'images.....	5
2.2 Traitements préliminaires.....	6
2.3 Décisions préliminaires.....	7
2.4 Décisions au niveau des taches.....	9
2.5 Tests structurels.....	10
2.6 Test des paramètres.....	13
2.7 Résultats et conclusion.....	14
3.0 VISIBILITÉ DES PARASITES.....	15
4.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	25
ANNEXE I - Bibliographie	
ANNEXE II - Photographies des résultats	
ANNEXE III- Rapport FAB-86-039 "Utilisation de la lumière infrarouge pour la détection de parasites"	

LISTE DES FIGURES

- FIGURE 2.1: Structure d'un filet (sans le volet)
- FIGURE 3.1: Degré de visibilité du parasite en fonction de sa profondeur
- FIGURE 3.2: Degré de visibilité du parasite en fonction de l'épaisseur totale du filet
- FIGURE 3.3: Distribution moyenne des épaisseurs des filets
- FIGURE 3.4: Degré de visibilité des parasites en fonction de la longueur du filet
- FIGURE 4.1: Taux de détection de tous les parasites en fonction de la longueur du filet

1.0 INTRODUCTION

1.1 Point de la situation

Le présent rapport résume les résultats d'une étude conduite pour Pêches et Océans Canada dans le cadre du contrat #OSD85-00216.

Cette étude a pour but de contribuer à résoudre le problème du contrôle de la qualité de certains types de filets de poisson. Notre mandat consiste à vérifier la faisabilité d'automatiser l'inspection de ces filets. Le lecteur qui n'est pas familier avec le sujet traité est invité à consulter les rapports d'études déjà produits par le CRIQ [1], [2]. Ces rapports contiennent, entre autres, une explication détaillée des concepts et techniques utilisés lors de nos travaux; explication que nous ne reproduirons pas ici par souci d'économie.

Cette fois-ci, notre étude s'est limitée à la détection du parasite *Phocanema decipiens* dans la morue. Une première équipe avait comme mandat d'explorer une technique de prise d'images potentiellement plus efficace que le mirage avec la lumière visible, dans le but d'augmenter le nombre de parasites visibles. Cette technique, qui fait appel à une source laser, a déjà été discutée dans notre rapport final de l'année passée [2]. Cette année nous produisons une conception préliminaire d'un appareil permettant d'obtenir une image à l'aide de ce concept (voir rapport FAB-86-039 à l'annexe II).

Une seconde équipe a poursuivi les travaux de reconnaissance des formes dans le but de détecter, de façon automatique, les parasites. Les images de filets utilisés sont obtenues par mirage avec la lumière visible. Par les années passées, nous avons utilisés des photographies de filets prises en usine alors que cette fois-ci il s'agissait de filets réels. Le présent rapport a pour but de résumer les résultats obtenus par ces deux équipes. Il contient également des recommandations quant à la poursuite des travaux.

1.2 Le parasite *P. Décipiens*

Comme mentionné précédemment, notre mandat cette année, consiste à détecter le parasite *P. decipiens* dans la morue. Il s'agit d'un des parasites les plus communs des filets de morue. La détection d'un autre parasite fréquemment rencontré dans la morue, soit l'*Anisakis simplex* ne fait pas partie du présent mandat. Ce dernier parasite est beaucoup moins visible que le *P. decipiens*. Par contre, il se trouve presque uniquement dans les volets de la morue. A cause de ces particularités, la détection du

A. simplex devra faire appel à des techniques suffisamment différentes du P. décipiens pour que nous jugions plus utile de concentrer nos efforts dans un premier temps uniquement sur le P. décipiens.

P. décipiens et A. simplex sont des vers minuscules qui se nichent dans la chair du poisson lorsqu'il est dans son milieu naturel [3], [4] et [5]. En usine, ils sont parfois partiellement amputés par le procédé de découpage des filets. Leur détection se fait par mirage visuel. Leur apparence visuelle est sombre et peut aller du très visible en surface du filet à l'invisible lorsqu'ils se trouvent profondément dans la chair.

Leur forme apparente varie considérablement. Ils se trouvent généralement sous forme de spirale annulaire serrée lorsqu'ils sont dans la chair. Toutefois, l'orientation spatiale de cette spirale étant quelconque, son aspect visuel varie d'un anneau circulaire à bord mince à un ellipsoïde à surface uniforme. Lorsqu'ils sont en surface, ils ont la forme d'un serpent. Lorsqu'ils ont été endommagés, leur forme est imprévisible.

L'effet diffusant pour la lumière, de la chair de poisson, masque les vers qui se trouvent en profondeur. Le résultat est une diminution du contraste et de la définition spatiale. En d'autres mots, l'image du ver est plus floue et tend à se confondre avec la chair avoisinante, dans plusieurs cas.

Le travail de détection consiste à compter le nombre de parasites présents.

1.3 Techniques de prise d'images

1.3.1 Mirage à l'aide de lumière visible

Cette technique consiste à placer le filet sur une plaque de verre diffusante en dessous de laquelle se trouve une source lumineuse (généralement des fluorescents). Il est alors possible de détecter plusieurs défauts des filets grâce aux propriétés optiques spécifiques à chaque vice. Normalement, cette technique est utilisée en usine pour l'inspection visuelle des filets.

Notre approche est de placer une caméra électronique verticalement au-dessus de la table de mirage avec l'objectif fixé sur l'échantillon.

1.4 Appareillage utilisé et méthode de travail

Au cours de nos travaux de développement d'algorithmes, nous avons surtout utilisé trois (3) appareils:

- . le système COMTAL ONE/10,
- . l'ensemble de prise d'images MATROX/ZENDEX,
- . l'ordinateur VAX 750.

1.4.1 Le système COMTAL ONE/10

L'appareil de COMTAL est un système spécialement adapté au traitement d'images. Sa fonction principale est le visionnement d'images noir et blanc ou d'images couleur. La mémoire du système permet de storer jusqu'à trois (3) images de 512 X 512 pixels qui peuvent être agencées pour former une image couleur. Chaque pixel est représenté soit par 256 niveaux de gris (8 bits) ou par 16,8 millions de couleurs (24 bits). Des graphiques en couleur peuvent également être superposés sur ces images pour souligner certaines informations intéressantes.

1.4.2 L'ordinateur VAX 750

Le VAX 750 est un mini-ordinateur 32 bits de Digital Equipment. Il peut, comme tout ordinateur évolué, exécuter les logiciels des usagers ainsi que storer différents types de données sur ses disques magnétiques.

Les logiciels utilisés dans cette application ont été écrits en langage évolué FORTRAN. Ils travaillent sur des images qui sont stockées sur les disques de l'ordinateur. Ces images sont créées par les logiciels ou obtenues du système d'acquisition d'images.

1.4.3 Le système d'acquisition d'images MATROX/ZENDEX

Le système MATROX/ZENDEX a pour fonction de numériser les images provenant de la caméra couleur. Il permet de stocker dans sa mémoire locale tour à tour les composantes rouge, verte et bleue formant une image couleur ou tout simplement une image noir et blanc. Là où les images ainsi obtenues sont ensuite transmises à l'ordinateur VAX 750.

1.4.4 Méthode de travail

L'objectif visé par l'utilisation de cet appareillage est de produire des logiciels qui simulent le fonctionnement des algorithmes de détection des défauts des filets. La simulation par logiciel permet d'effectuer des modifications rapides aux algorithmes et d'en vérifier les résultats.

Toutefois, cette approche est relativement lente du point de vue vitesse de traitement. La cause principale de ce phénomène est la nature séquentielle du traitement effectué par notre ordinateur. En d'autres mots, notre ordinateur ne peut effectuer qu'une seule opération à la fois. Egalement, il s'agit d'un appareil qui n'est pas conçu pour le traitement d'images mais plutôt pour la création de logiciels et le traitement de données.

Heureusement, la vitesse de traitement n'est pas importante pour le développement des algorithmes. La vitesse de traitement sur une machine spécialement conçue pour l'analyse d'images dépasse largement celle qui est obtenue sur un ordinateur conventionnel. Par contre, ce gain se fait aux dépens de la flexibilité et de la versatilité de la machine, et c'est pour cette raison qu'il est préférable de développer les algorithmes sur notre VAX 750.

2.0 DÉTECTION AUTOMATIQUE DES PARASITES

Le présent chapitre a pour but de décrire la détection automatique des parasites par lumière visible et de donner les résultats.

En général dans l'image, les parasites forment une courbe ou une tache sombre incohérente du filet. Pour détecter sa présence, il faut d'abord faire sortir de l'image les courbes, lignes ou taches sombres possibles. Nous vérifions ensuite si ces taches détectées relient d'une façon quelconque avec la structure du filet. Finalement, nous utilisons les paramètres de chaque tache pour séparer les parasites des fausses détections dues principalement aux transitions et aux autres défauts.

Pour alléger le texte, les algorithmes développés seront présentés en détails et d'une façon heuristique. Le chapitre comprendra les sections suivantes:

- . prise d'image,
- . traitements préliminaires,
- . décisions préliminaires,
- . décisions au niveau des taches,
- . tests structurels,
- . tests des paramètres,
- . résultats et conclusion.

2.1 Prise d'image

Pour obtenir les conditions similaires à l'usine de traitement, les images par transparence des filets frais sont prises la journée de la réception. La prise d'image s'effectue à l'aide d'une table lumineuse par lumière visible et d'une caméra en couleur de télévision. L'image enregistrée est obtenue seulement du composant "rouge" de la caméra, car la chair de poisson est plus transparente à cette fréquence. L'image est ensuite numérisée en huit (8) bits par pixel (picture element) et emmagasinée dans l'ordinateur central. Les images qui sont discutées dans ce rapport ont une résolution linéaire de 512 pixels pour 8½ pouces.

Après avoir pris l'image, on cherche minutieusement les parasites présents dans ce filet par un test quasi destructif. Les positions de ces parasites sont notées à part pour fins de comparaison des résultats.

Les images numérisées sont ensuite compensées pour uniformiser l'éclairage de la table lumineuse et normalisées pour avoir la même plage dynamique des intensités.

Nous avons ainsi constitué une banque de données de 34 images des filets de morue avec leurs parasites. La prochaine section sera réservée pour les traitements préliminaires des images emmagasinées.

2.2 Traitements préliminaires

Les traitements préliminaires consistent en 2 étapes: réduction de bruit et réduction de dimension.

Réduction de bruit

Comme la détection des parasites se base fondamentalement sur les opérateurs différentiels, il est préférable de n'avoir aucun bruit. Le bruit venant principalement de la caméra n'est pas tout à fait additif. Son amplitude varie selon l'intensité de l'image. Elle est plus prononcée pour les zones sombres.

Il faut donc le réduire sans perdre l'information. Nous utilisons un filtre non linéaire et adaptatif en deux dimensions (2D) tout en supposant que le bruit est additif. En appliquant ce filtre deux fois avec les paramètres appropriés à chaque fois, nous obtenons des résultats très satisfaisants.

Réduction de dimension

La réduction de dimension a pour un double but d'accélérer le temps de calcul et de réduire la dimension de l'image des parasites d'une façon plus appropriée pour les gabarits convolutionnels subséquents.

La réduction de dimension se fait en deux étapes, un filtrage 2D linéaire de phase pour diminuer l'aliasing et une réduction des 2 dimensions par sous-échantillonnage. Les images obtenues ont une dimension de 256 X 256 pixels². Cette résolution est jugée optimale, car une plus faible résolution fait perdre les détails désirables.

2.3 Décisions préliminaires

Dans l'image, le parasite est généralement en forme de courbe ou se concentre en une petite tache sombre dépendant de la profondeur à laquelle il se trouve. Pour réduire la visibilité de la chair de poisson et rehausser ces "courbes et taches", on devra utiliser les gabarits de type laplacien. Cependant, ces gabarits répondent aussi au contour du filet, aux transitions des régions de la chair et aux petits points isolés. Il faudra donc les atténuer et filtrer après. Les décisions préliminaires comprennent quatre (4) étapes:

- . laplacien,
- . relaxation,
- . décision adaptative,
- . filtrage binaire.

Laplacien

Le laplacien utilisé est un gabarit de 5 X 5, de forme:

$$\begin{bmatrix} +1 & 0 & +2 & 0 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ +2 & 0 & -12 & 0 & +2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ +1 & 0 & +2 & 0 & +1 \end{bmatrix}$$

Il constitue un filtre à "bande passante" 2D. Le suréchantillonnage de ce laplacien et la réduction de dimension mentionnés en rubrique ont pour but de mieux s'adapter aux gros parasites. En effet, la forme d'un parasite détecté est moins fragmentaire que les résultats de l'année passée. Il n'y a que 3 parasites sur 141 qui sont discontinus.

De plus, comme les parasites sont plus sombres que la chair, nous ne conservons que les réponses positives du gabarit. Ce fait évite la double (ou triple) détection usuelle des laplaciens.

Relaxation

La relaxation, ou l'amélioration itérative, de la réponse du laplacien a pour but de diminuer les contours externes du filet, les transitions de zones d'épaisseur de la chair et d'amincir les lignes ou taches détectées en se basant sur l'information des pixels environnants. Nous utilisons quatre itérations pour la relaxation.

Décision adaptative

A chaque point de l'image, nous devons juger s'il est "important ou non". Pour chercher le plus possible les parasites enfouis dans les zones sombres d'épaisseur du filet, nous utilisons un seuil adaptatif basé sur l'intensité moyenne de l'environnement de chaque point. Plus la zone est sombre, plus le seuil est faible. La relaxation précédente a permis une simple relation entre la réponse améliorée du laplacien et l'intensité locale du pixel: un pixel est considéré comme important si et seulement si le laplacien amélioré est supérieur à "a" fois l'intensité locale. Le facteur "a" est un compromis entre la détection des parasites enfouis et les fausses alarmes.

Filtrage binaire

La sortie de la décision adaptative forme une image binaire des points à considérer. Cette dernière image contient encore des petites taches isolées dues au bruit restant. Un filtrage binaire ou logique est conçu pour nettoyer ces petites taches.

Dans les décisions préliminaires, nous avons travaillé au niveau de chaque pixel dans le but de réduire l'information. En effet, à partir de 34 images analysées ou $34 \times 256 \times 256 = 2.2 \text{ M}$ pixels, on réduit aux environs de 3000 taches importantes à considérer. De plus, le pourcentage des parasites détectés (121) au nombre total (141) est d'environ 85% dans les décisions préliminaires. Nous pourrions obtenir un meilleur pourcentage si l'on optimisait les paramètres de la relaxation.

La prochaine section sera réservée aux décisions à une hiérarchie supérieure: décisions au niveau des taches.

2.4 Décisions au niveau des taches

Les décisions à ce niveau seront basées sur les informations que l'on peut obtenir autour d'une tache donnée. Il y a cinq opérations dans ces décisions:

- . appellation des taches,
- . test du minimum d'intensité local,
- . test de transition des zones 1,
- . retraçage des courbes,
- . test de transition des zones 2.

Appellation des taches

L'appellation des taches a pour un double but de relier les pixels détectés et adjacents en taches et de numéroter les taches dans une image.

Après ce regroupement, nous commençons la réduction des nombres de taches en leurs faisant subir les tests successifs.

Test du minimum d'intensité local

Ce test est basé sur l'observation que le parasite est plus sombre que la chair environnante. Il est donc nécessaire que le minimum d'intensité se trouve en général sur la tache, dans le cas d'un parasite. Quant à la peau ou les transitions des zones, cette condition n'est pas nécessairement vraie. Nous formons alors une image des minimum locaux filtrée par un filtre passe bas. Les taches qui ne contiennent pas un minimum local sur ou immédiatement adjacent à la tache sont rejetées.

Test de transition des zones 1

Ce test mathématique est basé sur les amplitudes des dérivées première et seconde dans le sens perpendiculaire à la tache évaluée à son point minimal d'intensité. En effet, pour les courbes ou les petites taches, c'est-à-dire parasites, la dérivée seconde normalement est plus grande que celle de la première.

Ces deux tests simples réduisent d'une façon substantielle les taches faussement détectées.

Retraçage des courbes

Afin de soumettre les taches restantes à des tests plus minutieux, il est bon que l'on "redessine" ces taches avec plus de précision. Pour le faire, nous formons l'image du "laplacien-(1/16) [Sobel]", car pour les taches ou les lignes (comme le cas des parasites), la réponse du détecteur de contour Sobel est quasiment nulle sur la tache et est très forte autour. Le facteur choisi (1/16) est simplement empirique. Ensuite, pour chaque tache, en partant du maximum de l'image précédemment obtenue, nous appliquons une croissance contrôlée (region growing) d'une façon appropriée. Finalement, sur l'image binaire ainsi formée, nous faisons une réappellation.

Test de transition des zones 2

Ce test est une variante de celui du minimum d'intensité locale expliqué en rubrique. Le minimum de la tache, élargie d'une façon circulaire de 5 X 5, doit se trouver sur la tache ou dans son environnement immédiat pour un parasite, ce qui n'est pas nécessairement vrai pour la peau ou les transitions des zones.

Nous avons discuté des décisions au niveau de la tache en utilisant les informations environnantes. Ces tests sont relativement simples et réduisent d'une façon substantielle les fausses alarmes. En effet, les 3 000 taches de départ se réduisent maintenant à 1 400 taches après les décisions au niveau des taches. Quant aux parasites détectés, nous obtenons 110 sur 121, c'est-à-dire 90%.

La prochaine section présentera les tests structurels, c'est-à-dire les décisions basées sur la structure d'un filet de poisson. Les relations possibles entre les taches sont décrites au niveau hiérarchique.

2.5 Tests structurels

Ces tests s'inspirent du fait que l'oeil humain détecte les parasites ou autres défauts en cherchant quelque chose hors du contexte. Comme un grand nombre des fausses détections proviennent de la structure d'un filet de poisson: les traces de la colonne vertébrale, les stries, les traces des lignes "quartiles" (voir figure

2.1), etc., nous pensons de réduire les fausses alarmes en détectant la structure du filet pour mettre en évidence les défauts hors du contexte.

Les tests structurels comprennent: médianes, quartiles, peau 1, stries, contour et finalement peau 2.

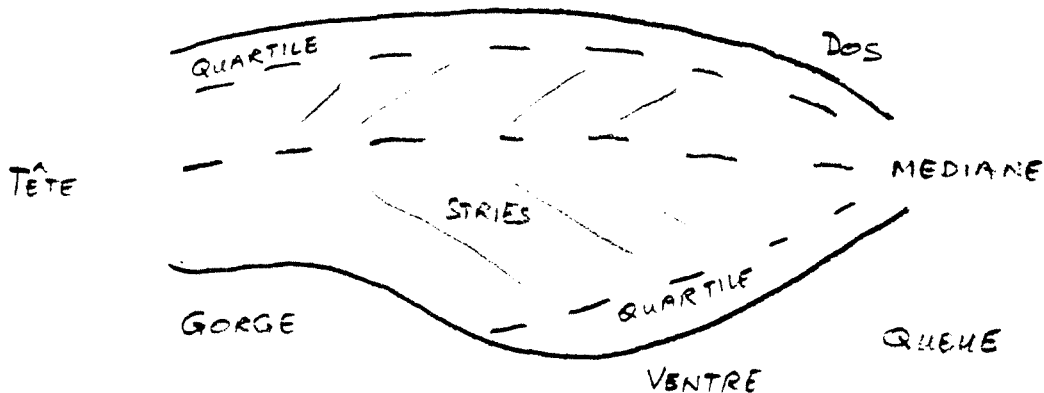


Figure 2.1: Structure d'un filet (sans le volet)

Médiane

La ligne, dite médiane, divise en deux parties sensiblement égales un filet de poisson le long de la colonne vertébrale. A l'intérieur, la médiane est visible à l'aide des traces de la colonne vertébrale. A l'extérieur (côté de la peau), la médiane est moins visible; cependant, avec le mirage par transparence, l'oeil humain peut encore la discerner car la médiane correspond généralement à la partie la plus sombre ou plus épaisse du filet de poisson. Nous notons aussi sur le côté de la peau, plusieurs morceaux de peau restants (fausses détections) sont à travers de la ligne médiane, du moins pour le nombre de filets examinés.

Ces remarques nous permettent d'élaborer la stratégie suivante: Nous détectons d'abord la ligne médiane. Pour le côté intérieur, nous enlevons ensuite les taches qui se placent parfaitement sur cette ligne. Ce test a fait manquer un seul parasite parmi une centaine au départ.

Pour le côté extérieur, le test intitulé "Peau 1" sera décrit un peu plus loin.

Quant à la détection propre de la ligne médiane, on ne décrira pas ici l'algorithme afin de ne pas alourdir le

texte. L'algorithme détecte bien la ligne médiane pour 32 des 34 filets examinés; pour un filet la détection est partielle, pour l'autre filet la détection est plus mauvaise à cause de la peau qui fausse la poursuite (tracking) de l'algorithme.

Quartiles

Les deux lignes dites "quartiles" forment aussi la structure d'un filet de poisson. Elles se composent de traits généralement parallèles du contour de poisson et divisent le filet dans une proportion de 18 à 30% le long d'une ligne perpendiculaire à la colonne vertébrale (Figure 2.1). Les lignes quartiles sont pourtant moins visibles que la médiane. Il n'y a pas de ligne quartile visible dans la région de la gorge du poisson.

Pour détecter ces lignes quartiles, il faut donc détecter les deux (2) contours externes du filet, et distinguer le dos et le ventre. Il faut aussi identifier la queue et la tête d'un filet de poisson. En somme, il faut bien comprendre la structure du filet. La détection "dos-ventre-tête-queue" est parfaite pour les 34 filets examinés.

Finalement, pour le côté intérieur, une ligne quartile est dite détectée si et seulement si le nombre des traits parallèles au dos ou au ventre dépasse un certain seuil. Cette partie de l'algorithme est en fait une sorte de transformée de Hough [6].

Pour le côté de la peau, il n'y a pas de trait parallèle; le test "peau 2", décrit plus bas, examinera ce cas particulier.

En somme, le test dit "quartiles" fonctionne d'une façon très satisfaisante en faisant manquer seulement deux (2) parasites.

Peau 1

Comme nous avons mentionné en rubrique, la ligne médiane permet d'effacer les traits (fausses détections) placés parfaitement sur cette ligne pour le côté intérieur du poisson. Quant au côté extérieur (de la peau), les morceaux de peau sont grands et se placent à travers la ligne médiane. Ce fait permet d'avoir une condition de détection du côté extérieur, seulement dans le but de

réduire les taches de la peau: si le nombre des taches restantes sur la médiane est grand le côté examiné est considéré comme le côté de la peau. Dans ce cas, les taches qui touchent la médiane sont rejetées.

Le test est efficace et un seul parasite relié avec un morceau de peau a été éliminé.

Stries

Dans certaines images, il y a plusieurs lignes parallèles provenant des stries du filet. Nous utilisons la transformée de Hough [6] pour les éliminer. Un seul parasite a été perdu.

Peau 2

Le test "Peau 2" est similaire à celui de "Peau 1" avec les lignes quartiles au lieu de la médiane. Lorsque le côté examiné est considéré comme celui de la peau, comme l'on a discuté précédemment, les lignes quartiles seront dessinées d'une façon systématique et les taches en contact avec ces lignes seront éliminées.

Dans la présente section, nous avons présenté les tests structurels. Ces tests sont puissants et très constructifs, car les paramètres des tests sont visibles et indépendants des conditions d'éclairage, d'une part, et d'autre part, ils apportent une meilleure compréhension informatique de la structure du filet. Très peu de parasites ont été éliminés par ces tests (un par test). Quatre-vingts pour cent des fausses détections ont été éliminées par les décisions au niveau des taches et les tests structurels.

La prochaine section sera consacrée au test des paramètres.

2.6 Test des paramètres

Les décisions citées ci-haut: préliminaires, au niveau des taches, au niveau de la structure du filet sont efficaces mais insuffisantes. Les fausses détections ne sont pas encore réduite à un niveau acceptable.

Il nous faut d'abord extraire des paramètres pour chaque tache restante et ensuite combiner les paramètres d'une façon appropriée pour former des tests.

Certains des paramètres utilisés sont les suivants:

a. Surface: Elle sert à éliminer les petites taches dues au bruit ou les très grandes taches dues à la bordure des zones de différentes épaisseurs.

b. Profondeurs: Elles sont calculées à partir de la différence des intensités à l'extérieur et à l'intérieur de la tache. Nous utilisons trois sortes de profondeurs.

c. Écart-type: de l'intensité à l'intérieur de la tache.

d. Intensités extérieures: Nous utilisons la moyenne et le minimum.

e. Variation d'intensité extérieure: Elle sert à diminuer les taches dues à la transition abrupte des zones de différentes épaisseurs.

Le paramètre "Surface" est une fonction de la résolution de l'image. Lorsque la résolution est bien déterminée (par exemple 512 pixels pour $8\frac{1}{2}$ po), ce paramètre devient une mesure valable.

Les paramètres "Intensité extérieure" sont aussi des mesures directes. Cependant, l'image traitée a déjà subi un processus de normalisation d'intensité comme on l'a mentionné à la section 2.1.

Les paramètres b,c et e étant formés par la différence des intensités sont ainsi immunisés en partie au changement de l'intensité dû à l'épaisseur variable de la chair dans un filet de poisson. Pour mieux adapter aux changements de l'intensité, nous combinons ces paramètres avec les intensités extérieures qui reflètent, en fait, l'épaisseur locale du filet de poisson. A partir de ces combinaisons de deux paramètres, nous formons des rassemblements ou "clusters". Les frontières de ces rassemblements constituent ainsi les seuils de décisions. Une tache est dite "parasite" lorsqu'elle satisfait tous les critères de décision.

Il est important de noter que ces rassemblements ~~p~~ proviennent d'un processus d'apprentissage. C'est-à-dire qu'on sait à priori si un tache est parasite ou non.

Faute de temps, les tests des paramètres développés ne sont pas appliqués aux images des filets inconnus. Cependant, comme le nombre des images traitées au cours de la présente étude est assez grand et que les images sont prises à partir de différents lots de poisson, nous croyons que les frontières de ces rassemblements sont plus stables, comparativement aux résultats de l'année précédente.

2.7 Résultats et conclusion

Nous avons utilisé 34 images de filets de poisson dont 8 contiennent beaucoup de morceaux de peau. Le nombre total des parasites est 141. Les résultats après chaque étapes de traitement sont résumés dans la table I.

On peut déduire de certaines conclusions que:

- La fausse détection, le plus grand problème du projet, peut se réduire à un niveau acceptable. En effet, plusieurs hiérarchies de décisions ont été efficacement introduites au cours de la présente étude: décisions au niveau des taches, au niveau de la structure et finalement au niveau des paramètres.
- Le pourcentage des parasites détectés est de 70% pour les lots de poissons utilisés. Ce résultat est plus faible que celui obtenu de l'année précédente. Ceci s'explique du fait que les filets expérimentés dans la présente étude sont relativement plus épais. Le lecteur est invité à consulter le chapitre intitulé "Conclusions et recommandations" pour une discussion plus approfondie sur ce sujet.

Table I

RÉSULTATS DES ALGORITHMES DE DÉTECTION DES PARASITES APPLIQUÉS AU LOT DE 34 FILETS

filet numéro	nombre para- sites	après pré-traitement		après détection taches		après détection structurelle		après détection paramètres	
		parasites détectés	taches détectées	parasites détectés	taches détectées	parasites détectés	taches détectées	parasites détectés	taches détectées
21	1	1	72	1	28	1	16	0	0
22	6	6	83	6	50	6	10	6	6
23	5	5	72	3	32	3	17	3	3
24	1	1	82	1	32	1	22	1	1
25	3	3	168	2	74	2	21	2	2
26	8	6	75	5	43	5	17	5	5
27	7	4	83	4	30	4	21	4	4
28	5	4	75	4	34	4	27	4	4
29	6	6	87	6	39	6	26	6	6
30	8	8	91	8	41	7	28	7	7
31	3	3	61	3	42	3	14	3	3
32	3	3	103	3	49	3	32	3	3
33	8	5	90	4	35	4	23	4	4
34	4	3	102	3	49	3	26	3	3
35	7	3	65	3	35	2	10	2	2
36	3	3	149	3	74	3	24	2	2
37	6	6	68	4	32	3	19	3	3
38	2	2	127	2	50	2	37	2	2
39	4	3	77	3	31	3	14	2	2
40	4	4	85	4	49	4	25	4	4
41	6	6	135	6	64	5	24	5	5
42	6	6	51	5	23	5	14	5	5
43	4	4	44	4	21	4	10	4	4
44	7	5	36	5	16	5	14	5	5
45	0	0	130	0	70	0	25	0	0
46	0	0	156	0	80	0	16	0	0
47	5	5	92	5	42	5	24	5	5
48	4	2	59	2	25	1	11	1	2
49	1	1	68	1	27	1	17	1	1
50	1	1	104	0	38	0	22	0	0
51	3	3	79	2	32	2	17	2	2
52	4	3	56	2	20	2	14	2	2
53	3	2	63	2	29	1	8	1	1
54	3	4	60	4	22	4	19	4	4
TOTAL	141	121	2948	110	1358	104	664	101	102
Fausse détec- tion			2827		1248		560		1

3.0 VISIBILITÉ DES PARASITES

Jusqu'à maintenant, tous nos résultats et conclusions, quant à la détection des parasites, ont été basés non pas sur le nombre total de parasites présents dans les filets, mais uniquement sur ceux qui sont visibles.

L'approche que nous avons suggérée dans notre plan de travail consistait à choisir un échantillon de filets représentatif de la population de filets normalement rencontrés dans les usines de traitement. Le taux de détection obtenu sur cet échantillon consisterait alors en une prédiction de l'efficacité moyenne d'un appareil qui implémenterait les techniques sur lesquelles nous avons travaillées. Naturellement, ce taux de détection serait basé sur la totalité des parasites présents dans les filets.

Le manque de temps nous a forcé à abandonner cette approche étant donné que nous ne pouvions garantir que l'échantillon serait suffisamment représentatif des filets normalement trouvés en usine. Nous nous sommes donc contentés de réunir autant de filets que nous le pouvions sans trop s'inquiéter de leur signification statistique. Par conséquent, nous n'avons pas pu tenir compte dans notre étude de plusieurs facteurs qui peuvent influencer le taux de détection des parasites, soient la taille du poisson, son âge, la région où il a vécu, etc.

Une étude détaillée basée sur ces facteurs aurait demandé des moyens que nous sommes loin de posséder. L'approche suggérée dans le plan de travail permettrait de contourner cette difficulté en fixant ces facteurs à leur valeur moyenne. Toutefois, cette méthode a le désavantage de ne pas permettre de distinguer l'influence de la taille du poisson par rapport à son taux d'infestation par exemple. Par conséquent, son utilité aurait été assez limitée.

Dans le but de contourner ces difficultés, nous avons utilisé le subterfuge suivant: nous avons étudié le problème de visibilité du parasite indépendamment du problème de détection de ces parasites. L'hypothèse utilisée est que la probabilité de détecter un parasite dépend uniquement de sa visibilité. Il devient alors possible d'étudier le problème de détection en isolation car avec une petite quantité de filets, nous obtenons un nombre de parasites statistiquement significatif.

La visibilité, par contre, est plus difficile à étudier. Idéalement, il faudrait procéder à une étude basée sur un grand nombre de filets parasités. Pour chacun de ces filets, tous les parasites présents seraient comptés de même que la proportion de ceux qui sont visibles. Cette étude devrait tenir compte des différents facteurs pouvant affecter la visibilité du parasite tel que mentionné précédemment.

Les résultats obtenus permettraient de caractériser la visibilité en fonction de la taille du poisson par exemple. Avec cette information, il serait alors possible de prédire la proportion des parasites visibles dans les filets traités par une usine et ce, en autant que nous connaissions la taille moyenne des poissons ayant servi à produire ces filets ainsi que la valeur moyenne des autres facteurs pouvant avoir une influence.

Une telle étude, étant hors de notre portée, voici ce que nous proposons à sa place: une étude théorique basée sur un modèle simplifié des filets de poisson. Le seul paramètre mesuré, servant de base à cette étude, est la profondeur à laquelle le parasite devient entièrement invisible. Ce paramètre est d'ailleurs facilement mesurable. Les résultats obtenus tiennent compte de la taille du filet uniquement. A notre avis, il s'agit du paramètre qui influence le plus la visibilité des parasites.

Les résultats d'une telle étude n'ont évidemment pas la même valeur pratique que ceux qui pourraient être obtenus par l'étude détaillée, mentionnée précédemment. Toutefois, l'étude théorique offre un avantage supplémentaire, soit celui de nous permettre de prédire quelle est l'influence de la profondeur à laquelle le parasite devient invisible sur la proportion des parasites visibles. Ce résultat peut alors être utilisé pour spécifier quelle profondeur de visibilité est nécessaire pour obtenir un certain taux de détection. Cette spécification peut alors servir à la conception d'une nouvelle technique de prise d'images.

Une fois la proportion des parasites visibles connue, il suffit alors de multiplier cette valeur par le taux de détection obtenu dans nos travaux de simulation pour avoir une prédiction du taux de détection de tous les parasites présents dans les filets.

Calculs de visibilité

Comme mentionné précédemment, nous allons attaquer le problème de la visibilité des parasites sous un angle théorique. Il s'agit de construire un modèle simplifié du filet de poisson et du parasite qui n'est pas trop différent de la réalité. Le but visé n'est pas de prédire avec une très grande précision la proportion des parasites visibles, mais plutôt d'évaluer le potentiel de détection de différentes méthodes de prise d'images.

Pour mener à bien cette étude, il faut de prime abord effectuer un certain nombre d'hypothèses de base, soit:

1. Le parasite est considéré visible, même si seulement une partie de sa forme l'est.
2. Le parasite existe sous une seule forme, soit une spirale dont le diamètre est connu.
3. L'orientation de cette spirale est totalement quelconque et toutes les orientations sont également probables.
4. A partir d'une certaine profondeur de chair du poisson, toute partie de parasite qui s'y trouve devient invisible. Au-dessus de cette profondeur la visibilité est totale. Cette profondeur délimite la zone de visibilité totale.
5. Le parasite est distribué de façon uniforme dans le filet.

Commençons par discuter de la validité de ces hypothèses. La première hypothèse est confirmée par notre méthode de détection qui peut détecter un parasite même si celui-ci n'est que partiellement visible. La seconde hypothèse ne correspond pas toujours à la réalité. Si un parasite ou une partie du parasite est en surface, alors la forme devient celle d'un serpent. Étant donné que dans ce cas le parasite est visible, nous pouvons considérer cette hypothèse comme conservatrice, dans le sens qu'elle sous-estime le nombre de parasites visibles.

L'observation des parasites présents dans les filets, obtenus jusqu'à maintenant, tend à confirmer la troisième hypothèse, malgré que nous n'ayons pas fait d'étude poussée sur ce point. La quatrième hypothèse consiste en une simplification du problème, dans le sens que la visibilité diminue de façon graduelle dans la réalité plutôt que de façon aussi radicale. Toutefois, le pourcentage de détection obtenu par les simulations tient compte de ce phénomène, étant donné que l'efficacité de l'algorithme

dépend directement du degré de visibilité. Nous ne recherchons donc pas à obtenir une notion de degré de visibilité, mais plutôt une proportion de parasites visibles.

Pour ce qui est de la dernière hypothèse, nos observations semblent plutôt démontrer que le parasite se trouve près d'une des deux (2) surfaces du filet en général. Toutefois, comme nous ne pouvons pas prouver ce point, nous nous rabattons sur l'hypothèse d'une distribution uniforme, car elle est plus conservatrice.

Étant donné ce qui précède, nous sommes confiants qu'un modèle du filet et des parasites basé sur les hypothèses précédentes est suffisamment exact pour obtenir des résultats permettant de connaître les limitations des différentes techniques de détection.

Pour obtenir les prédictions recherchées, nous allons procéder de la façon suivante. Premièrement, nous allons dériver une expression qui donne la proportion des parasites visibles uniquement en fonction de la profondeur du centre de la spirale du parasite. Ensuite, nous allons trouver l'expression qui donne le taux de visibilité en fonction de l'épaisseur du filet. Finalement, nous introduirons un modèle volumique du filet de poisson à partir duquel nous obtiendrons le taux de visibilité en fonction de la taille du filet.

Visibilité en fonction de la profondeur du parasite

Le premier résultat que nous allons dériver est une expression qui prédit quelle est la proportion des parasites visibles pour une profondeur donnée. Pour ce faire, nous utilisons les hypothèses mentionnées précédemment.

Étant donné que l'orientation du parasite est quelconque, le problème consiste à trouver, pour une profondeur du centre de la spirale donnée, quelles sont les orientations qui permettent à une partie du parasite de se trouver dans la zone de visibilité totale. Ceci nous assure qu'au moins une partie du parasite est visible.

Traduit en termes mathématiques, cette exigence se réduit à s'assurer que la partie la moins profonde de la spirale se trouve à une profondeur moindre que la profondeur qui délimite la zone de visibilité totale. Le point de référence utilisé pour évaluer la profondeur du parasite lui-même est le centre de la spirale. La position de ce point, étant indépendante de l'orientation du parasite,

il est alors possible d'éliminer la variable orientation des expressions. Les résultats obtenus ne dépendront que d'une seule variable, soit la profondeur du centre de la spirale du parasite.

La partie la moins profonde de la spirale se trouve nécessairement à la bordure de celle-ci. Etant donné que l'orientation est quelconque, pour une profondeur du centre de la spirale donnée, la position de la partie la moins profonde se trouve à la surface d'une demi-sphère, dont le centre correspond à celui de la spirale. La proportion des parasites visibles est alors donnée par la fraction de la surface de la sphère qui se trouve dans la zone de visibilité totale. La surface d'une demi-sphère est donnée par:

$$S(\varphi) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\varphi} P^2 \sin y \, dy \, d\theta \quad (1)$$

$$S(\varphi) = 2\pi P^2 [1 - \cos \varphi] \quad (2)$$

où:

S: surface partielle d'une sphère

φ : orientation maximale délimitant la portion de sphère

P: rayon de la sphère

Pour la demi-sphère complète, la surface est donnée par $\varphi = \pi/2$, soit:

$$S = 2\pi P^2 \quad (3)$$

Pour les parasites dont le centre de spirale est à l'extérieur de la zone de visibilité totale, la proportion des parasites visibles est alors donnée par:

$$v(\varphi) = \frac{2 P^2 [1 - \cos \varphi]}{2 P^2} = 1 - \cos \varphi \quad (4)$$

Si P entre P_0 et $P_0 + d/2$, alors:

$$\cos \varphi = \frac{2(p - p_0)}{d} \quad (5)$$

$$v(p) = 1 - \frac{2(p - p_0)}{d} \quad (6)$$

où:

v: proportion des parasites visibles

p: profondeur du centre de la spirale du parasite

p_0 : profondeur limite de visibilité totale

d: diamètre de la spirale

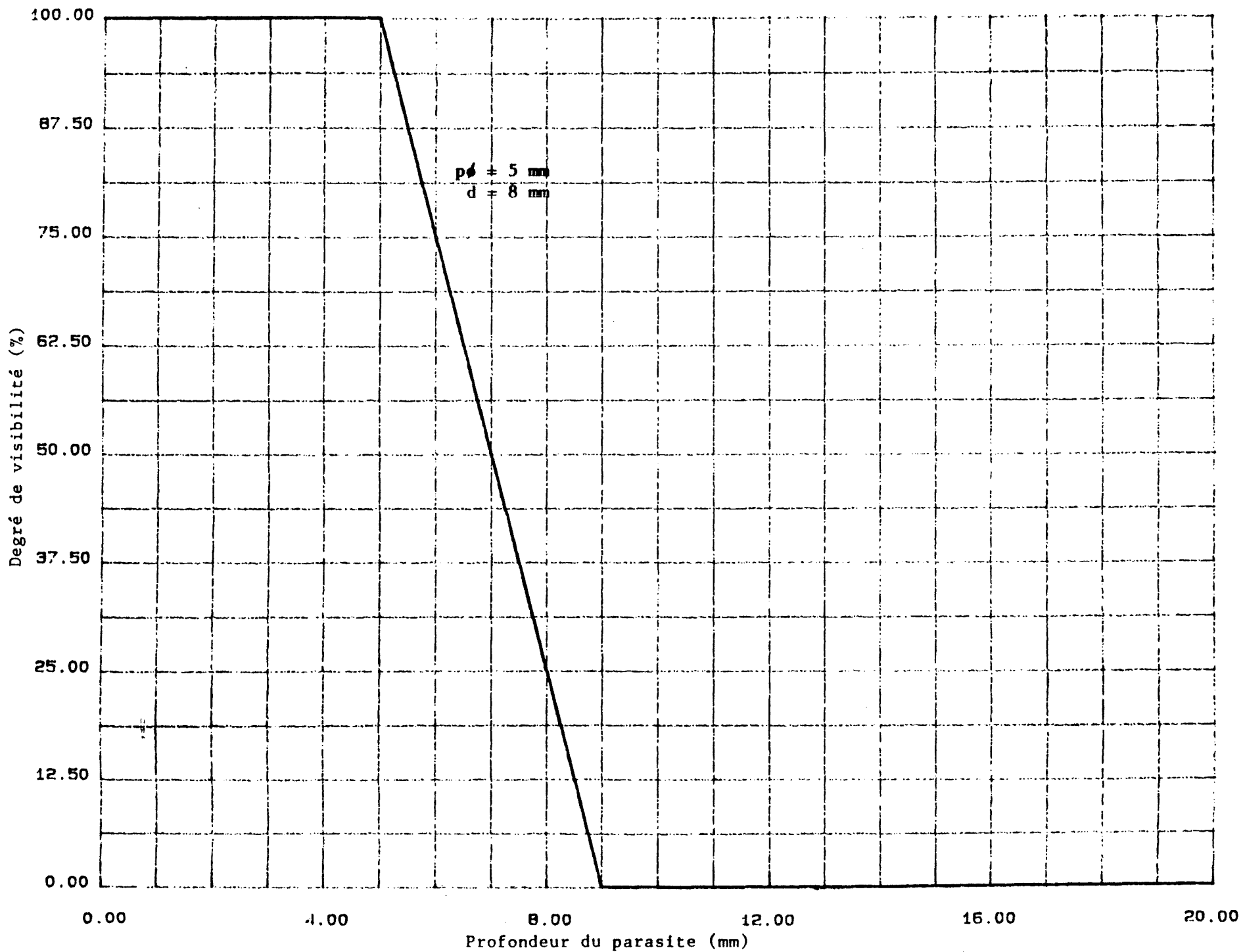


Fig. 3:1 Degré de visibilité du parasite en fonction de sa profondeur

Pour les parasites dont le centre de la spirale est dans la zone de visibilité totale, la proportion visible est de 1. Pour les parasites dont la profondeur dépasse $p_0 + d/2$, la proportion visible est nulle. Par conséquent:

$$V(p) = \begin{cases} 1 & \text{si } p \text{ plus petit que } p_0 \\ 1 - \frac{2(p-p_0)}{d} & \text{si } p \text{ entre } p_0 \text{ et } p_0+d/2 \\ 0 & \text{si } p \text{ plus grand que } p_0 \end{cases} \quad (7)$$

La figure 3.1 montre l'allure de la courbe définie par cette expression. Ce résultat démontre que tous les parasites, se trouvant dans la zone de visibilité totale, sont visibles. La proportion des parasites visibles diminue ensuite de façon linéaire à mesure que la profondeur augmente. Aucun des parasites, se trouvant à une profondeur supérieure à $p_0+d/2$, n'est visible. Cette profondeur constitue donc la limite absolue de visibilité des parasites.

Nos observations démontrent que la profondeur limite de visibilité totale est d'environ 5 mm pour la morue et que le diamètre moyen du parasite *P. decipiens* se situe autour de 8 mm. Par conséquent, la limite absolue de visibilité des parasites, pour ce qui est du mirage par lumière visible, se situerait à environ 9 mm. Ce résultat est reflété dans la figure 3.1.

Visibilité en fonction de l'épaisseur totale du filet

Maintenant que nous connaissons la visibilité en fonction de la profondeur du parasite, nous pouvons obtenir la proportion des parasites visibles à l'intérieur d'une épaisseur de filet donnée. Il s'agit, pour ce faire, de cumuler les résultats de visibilité pour toutes les profondeurs partant de 0 à la profondeur recherchée. Cette valeur est donnée par l'expression:

Si e est inférieur à $2p_0$, alors:

$$v'(e) = 1$$

Si e compris entre $2p_0$ et $2p_0+d$, alors: (8)

$$v'(e) = 1/e \int_0^e v(p) dp = 1/e * [p_0 + \int_0^e v(p) dp] \quad (9)$$

$$v'(e) = 1 - \frac{2(e-p_0)^2}{ed} \quad (10)$$

Si e est plus grand que $p_0+d/2$, alors:

$$v'(e) = \frac{2(p_0+d/4)}{e} \quad (11)$$

où:

v' : proportion des parasites visibles
 e : épaisseur de la chair au-dessus du filet
 p_0 : profondeur limite de visibilité totale
 d : diamètre de la spirale du parasite

$$v'(e) = \begin{cases} 1 & \text{si } e \text{ inférieur ou égal à } 2p_0 \\ 1 - \frac{2(e-p_0)}{ed} & \text{si } e \text{ compris entre } 2p_0 \text{ et } 2p_0+d \\ \frac{2(p_0+d/4)}{e} & \text{si } e \text{ plus grand que } 2p_0+d \end{cases} \quad (12)$$

La figure 3.2 donne l'allure de la courbe définie par cette expression. Comme il fallait s'y attendre, la visibilité est totale pour toute épaisseur de chair de poisson inférieure à la profondeur limite de visibilité totale. Par la suite, la visibilité diminue graduellement à mesure que l'épaisseur augmente. Les valeurs p_0 et d utilisées pour la courbe sont les mêmes qu'à la figure 3.2, soit celles que nous avons observées dans les filets obtenus jusqu'à maintenant ($p_0=4\text{mm}$ et $d=6\text{mm}$).

Une épaisseur pour laquelle il est intéressant de dériver la proportion de parasites visibles est $2p_0+d$. C'est à partir de cette épaisseur qu'aucun nouveau parasite ne peut être détecté. Ce résultat sera utilisé pour dériver la proportion des parasites visibles pour un filet donné.

La visibilité à $e = 2p_0+d$ est donnée par:

$$v'(2p_0+d) = \frac{(p_0+d/4)}{(p_0+d/2)} \quad (13)$$

Si nous utilisons les valeurs observées de p_0 et d en se référant à la figure 3.2, nous obtenons que dans les premiers 9mm, 77,8% des parasites sont visibles.

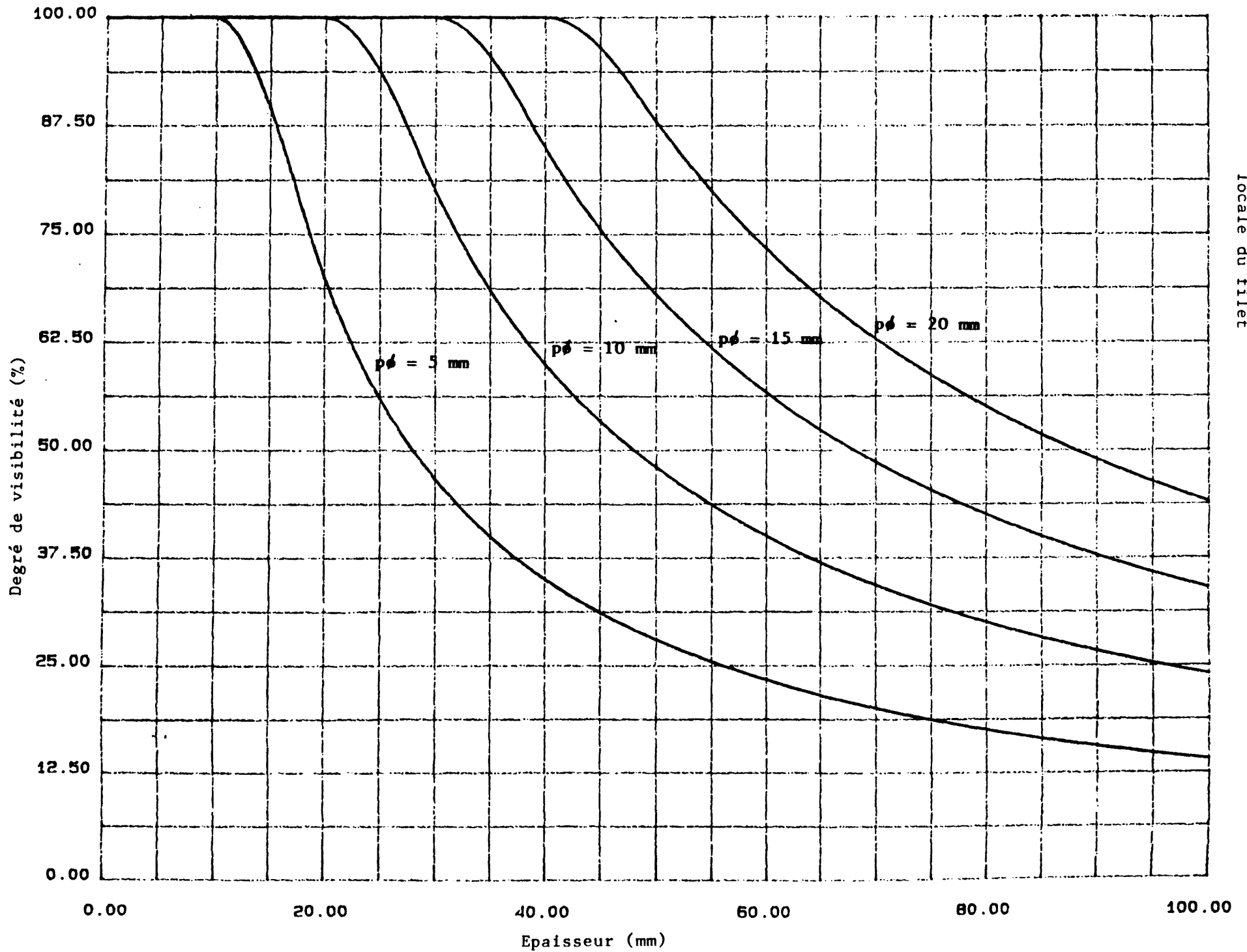


Fig. 3.2 Degré de visibilité du parasite en fonction de l'épaisseur locale du fillet

Visibilité des parasites en fonction de la taille du filet

Nous proposons maintenant d'évaluer la proportion des parasites visibles pour un filet de taille donnée. Pour arriver à ce résultat nous devons créer un modèle volumique du filet de morue typique. Le modèle que nous proposons est basé sur les images de filets obtenues dans le cadre du présent projet.

En utilisant l'information lumineuse se trouvant dans les images de filets, nous pouvons dériver une bonne approximation de l'épaisseur du filet en tout point [2]. La lumière étant atténuée de façon exponentielle en fonction de l'épaisseur du filet, l'épaisseur locale est par conséquent proportionnelle au logarithme de l'intensité lumineuse.

La figure 3.3 montre la distribution des différentes épaisseurs de filets que l'on retrouve dans notre groupe d'images. Ce résultat a été obtenu en transformant l'histogramme des intensités de chaque image à l'aide d'une fonction logarithmique. Par la suite, ces histogrammes logarithmiques sont combinés en un seul histogramme représentant la distribution moyenne des épaisseurs de filets pour notre groupe d'images. L'expression suivante formalise ces opérations:

$$D(e) = H(k \cdot \text{LOG}(I_{\text{max}} - I + 1)) \quad (13)$$

avec $k = I_{\text{max}} / \log(I_{\text{max}} + 1)$

$$D'(e) = 1/N * \sum_{i=0}^{N-1} D(e)$$

où

D: distribution des épaisseurs du filet
 D': distribution moyenne des épaisseurs de filets
 e: épaisseur locale du filet
 N: nombre d'images servant au calcul de la moyenne
 H: histogramme des intensités lumineuses
 I_{max}: intensité lumineuse de la table de mirage
 (épaisseur=0)
 I: intensité lumineuse :

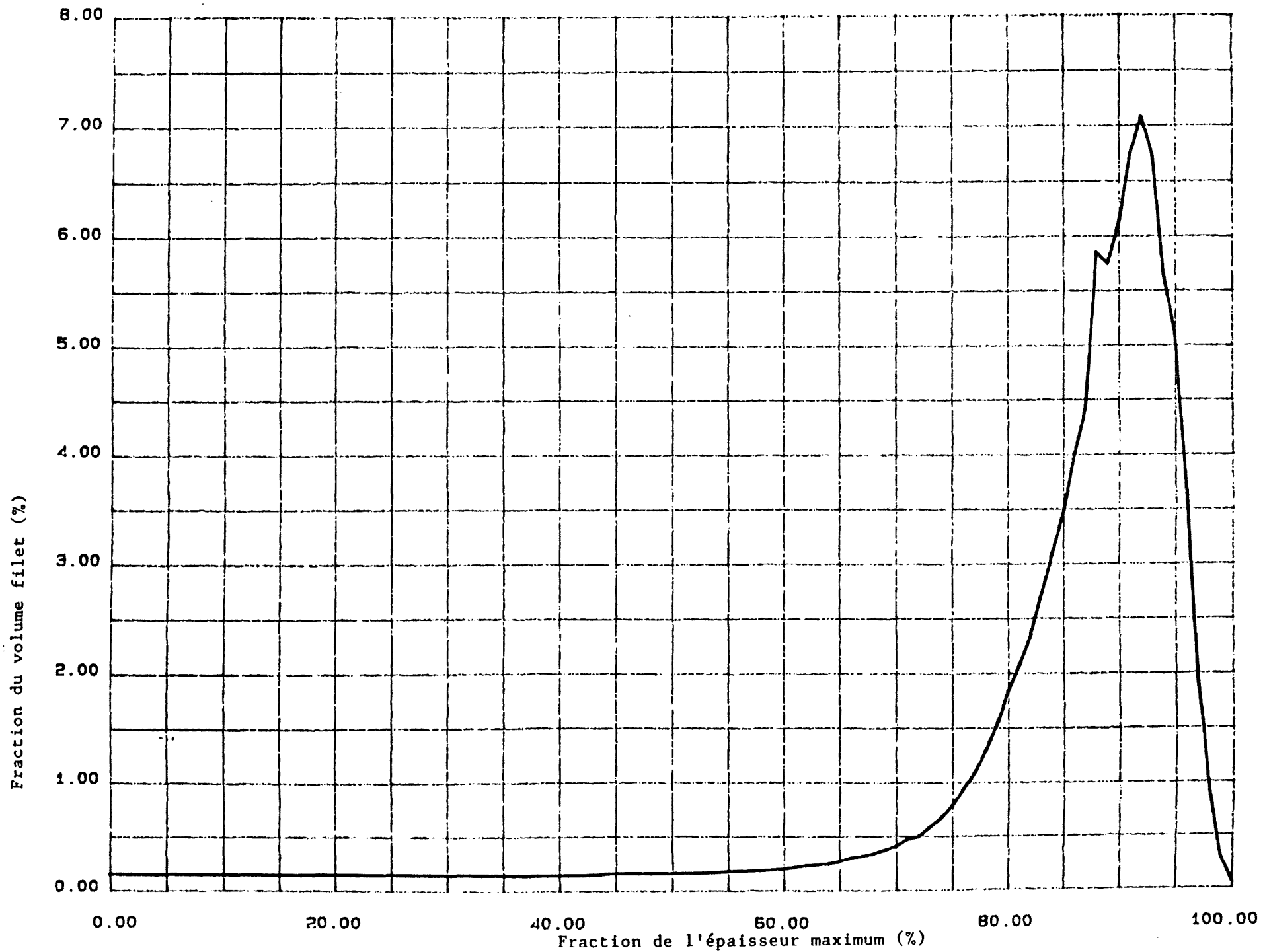


Fig. 3.3 Distribution moyenne des épaisseurs des filets

L'équation (12) prédit le degré de visibilité des parasites en fonction de l'épaisseur locale. Le résultat désiré peut donc être obtenu en effectuant une moyenne du degré de visibilité pondérée par la distribution des différentes épaisseurs. Cette opération est exprimée par l'équation suivante:

$$v''(e_0) = \int_0^{e_0} D'(e)v'(e)de \quad (15)$$

où:

- v'' : visibilité moyenne des parasites pour un filet donné
- e_0 : épaisseur maximal du filet
- D : distribution moyenne des épaisseurs des filets
- v' : visibilité moyenne des parasites pour une épaisseur donnée

La figure 3.4 montre le degré de visibilité moyen des parasites pour différentes tailles de filets. Comme les images contenues dans notre banque de données ont été obtenues à partir de filets de longueur variant entre 25 et 45 cm, le degré de visibilité pour les autres tailles de filet a dû être extrapolé. Pour ce faire, nous avons supposé que la morphologie du filet ne varie pas avec la taille du poisson, c'est-à-dire que nous avons obtenu les résultats tout simplement en changeant le facteur d'échelle reliant les dimensions de l'image avec celles du filet. Les courbes sont obtenues à partir de l'épaisseur maximale du filet. La longueur a été dérivée en multipliant par 10 cette dimension, ce qui correspond approximativement à nos observations.

Le résultat constitue, selon nous, une bonne estimation du degré de visibilité des parasites, fixant ainsi le taux maximal de détection que l'on peut espérer obtenir avec une méthode de visualisation donnée.

Les calculs ont été effectués pour différentes valeurs de p_0 dans le but de permettre de voir l'effet de ce paramètre sur le degré de visibilité des parasites. Il s'agit du principal paramètre permettant de juger de l'efficacité d'une méthode d'acquisition d'images. Par conséquent, ces courbes devraient permettre, pour la première

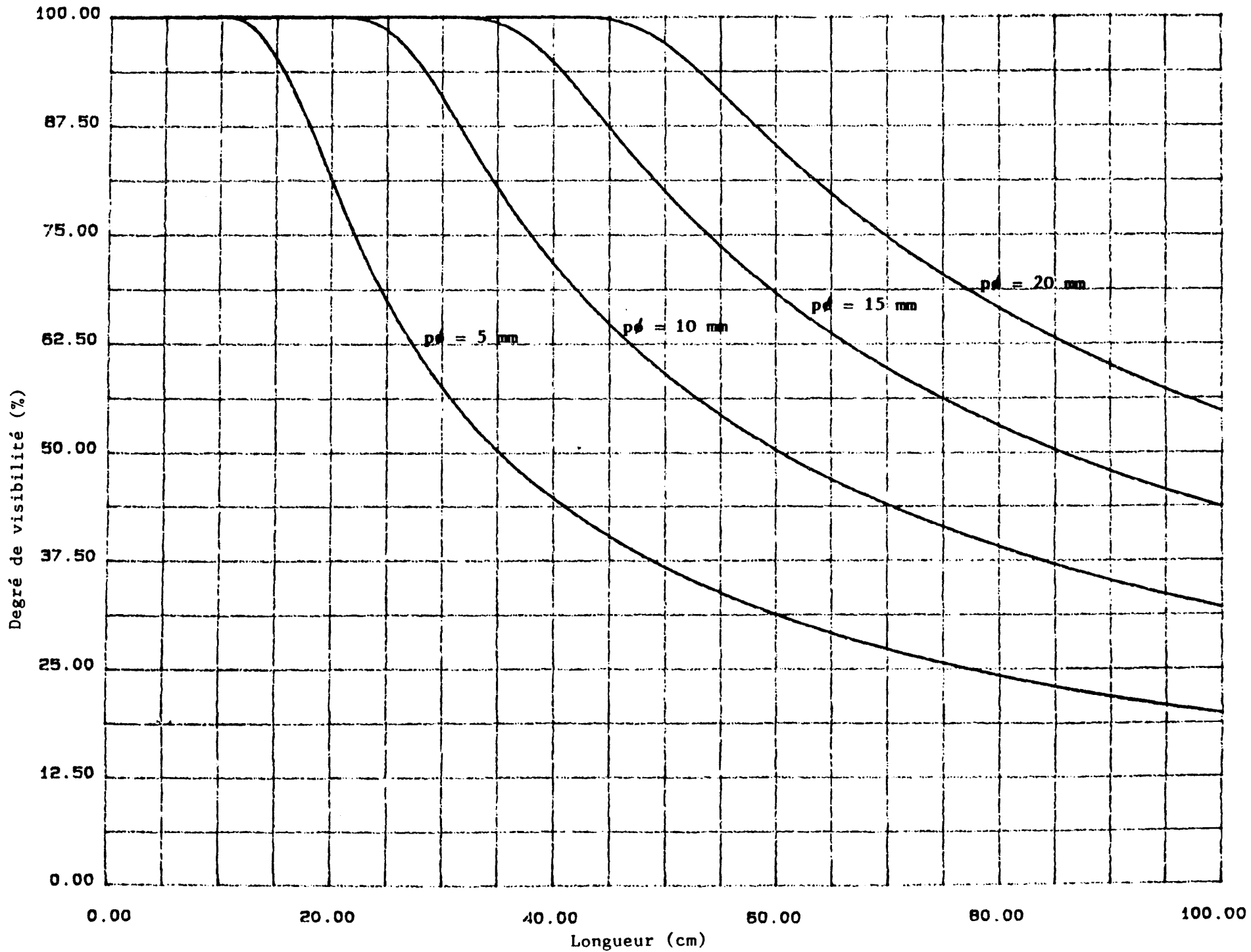


Fig. 3:4 Degré de visibilité des parasites en fonction de la longueur du filet

fois, de faire une prédiction de performance pour une hypothétique méthode de détection et ce, en terme de rentabilité.

Ce résultat devrait permettre de déterminer si le mirage par lumière visible peut être rentable ou s'il est absolument nécessaire de développer une méthode plus efficace de visualisation avant de poursuivre le développement des moyens de détection. Le lecteur est invité à consulter le chapitre intitulé "Conclusions et recommandations" pour une discussion plus approfondie sur ce point.

4.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Avant de conclure, résumons l'état actuel de nos résultats en ce qui a trait à la détection des parasites. Ces résultats sont:

1. L'algorithme détecte environ 72% de tous les parasites présents dans les filets (101 des 141 parasites).
2. Ceci représente 83% des parasites visibles dans l'échantillon de filets que nous avons utilisé. Nous avons estimé pour ce calcul que 85% des parasites étaient visibles (ou détectables) dans l'échantillon (121 parasites).
3. Dès 102 décisions rendues par l'algorithme, une seule était en erreur; ce qui représente un taux d'exactitude de 99%.
4. L'échantillon comprenait deux filets sans parasites choisis à cause de la présence d'un grand nombre de fragments de peau et de membrane. L'algorithme n'a effectué aucune fausse détection pour ces filets. Vu le nombre limité de filets, il nous est impossible de tirer une conclusion ferme de cet essai particulier.

Nous avons estimé qu'un parasite visible (ou détectable) est un parasite dont l'image a survécu à l'étape de pré-traitement de notre algorithme. Nous croyons que cet estimé est supérieur aux capacités humaines. Suite à ceci, 121 des 141 parasites demeurent pour les étapes subséquentes de l'algorithme. Les étapes intermédiaires au pré-traitement et à la décision finales éliminent incorrectement 17 parasites (14%), alors que 3 parasites (2%) sont rejetés par le processus de décision finale. Le nombre de fausses détections passe de 2 948 après le pré-traitement à une seule à la fin, soit un taux d'élimination de 99.97%.

Nous pouvons donc conclure que notre algorithme est efficace à 83% pour ce qui est de détecter les parasites, et efficace à 99.97% pour l'élimination des fausses détections.

:

Les travaux de cette année nous ont permis d'effectuer une révision complète de l'algorithme de détection des parasites. Cette opération a été rendue nécessaire par la nature même de l'échantillon de filets utilisé. En effet, la taille des filets obtenus cette fois-ci dépasse sensiblement celle des années passées. Par conséquent, le nombre de parasites invisibles ou quasi-invisibles dans l'échantillon est beaucoup plus grand que par le passé.

Pour maintenir notre performance de l'année dernière, nous avons dû augmenter sensiblement la complexité de l'algorithme dans le but d'en améliorer la capacité de détection des parasites peu visibles. La situation dans laquelle nous sommes maintenant se produit très fréquemment dans le domaine de la détection automatique. Pour arriver à raffiner nos techniques de détection de façon à détecter les parasites moins visibles, il est nécessaire d'augmenter graduellement la complexité de l'algorithme. Après un certain niveau de complexité, l'algorithme commence à se comporter de façon statistique. Cet état de choses implique qu'une limite supérieure sera atteinte quant à la performance de l'algorithme et ce peu importe l'effort qui sera dépensé pour l'améliorer.

Nous ignorons évidemment quelle est cette limite, mais nous pouvons affirmer sans crainte que les techniques qui permettent de s'approcher de ce but sont d'une difficulté et d'une complexité grandissante; c'est pour cette raison que nous croyons que le temps est venu de reconsidérer sérieusement la direction que prend nos travaux avant de poursuivre.

Présentement, nous avons une technique de prise d'images relativement simple, soit le mirage par lumière visible, alors que notre technique de détection est rendue très complexe. Du point de vue pratique, cette situation est loin d'être idéale. Il est en effet préférable de répartir la complexité de façon uniforme plutôt que de la concentrer dans un seul des éléments de la solution.

Les travaux passés sur des méthodes alternatives de prise d'images n'ont pas, à notre avis, démontré d'alternatives viables au mirage par lumière visible. Les trois méthodes les plus prometteuses sont l'échographie, la fluorescence induite par rayons ultraviolets et le mirage par lumière infrarouge.

Les images obtenues par échographie semblent très prometteuses, mais les considérations pratiques d'utilisation des ultrasons dans les usines ainsi que la quantité énorme d'information à traiter limitent sérieusement l'intérêt de cette méthode. La fluorescence induite par rayons ultraviolets permet vraisemblablement une détection comparable au mirage par lumière visible. Son attrait provient de la qualité supérieure des images obtenues, ce qui simplifie énormément l'algorithme de détection. Un problème majeur demeure toutefois; il est essentiel de congeler le filet pour observer le phénomène de fluorescence du parasite.

Finalement, le mirage par lumière infrarouge, une méthode qui n'a pas encore été exploitée mais qui, à notre avis, est très prometteuse. La raison en est la suivante: le phénomène optique qui limite la visibilité des parasites au mirage par lumière visible est la diffusion des rayons lumineux par la chair du poisson. Or, ce phénomène est très dépendant de la longueur d'onde lumineuse utilisée. Il s'avère que plus la longueur d'onde est longue, moins cet effet est observé. Puisque l'infrarouge est formé de longueurs d'ondes supérieures à celles du visible, nous devrions donc observer une diminution du phénomène de diffusion. Nous devrions par le fait même obtenir une plus grande visibilité des parasites.

Ces dernières années, nous avons acquis une expérience considérable dans la détection des parasites dans la morue. Notre effort dans ce domaine est de l'ordre de 3 hommes/années. Notre approche a toujours été de considérer ce problème comme un problème d'ingénierie. Notre but est de produire une machine capable de détecter les parasites de façon rentable pour un producteur. Jusqu'à maintenant notre mandat était de prouver la faisabilité d'une telle machine. Nous croyons que nos résultats en sont une preuve suffisante.

La question qu'il faut se poser maintenant est: pouvons-nous détecter les parasites de façon rentable? Avant de pouvoir répondre il faut en connaître davantage sur les points suivants, soit:

1. Est-ce que les résultats que nous avons obtenus à ce jour dans la détection automatique des parasites sont suffisants pour justifier l'utilisation du mirage par lumière visible?

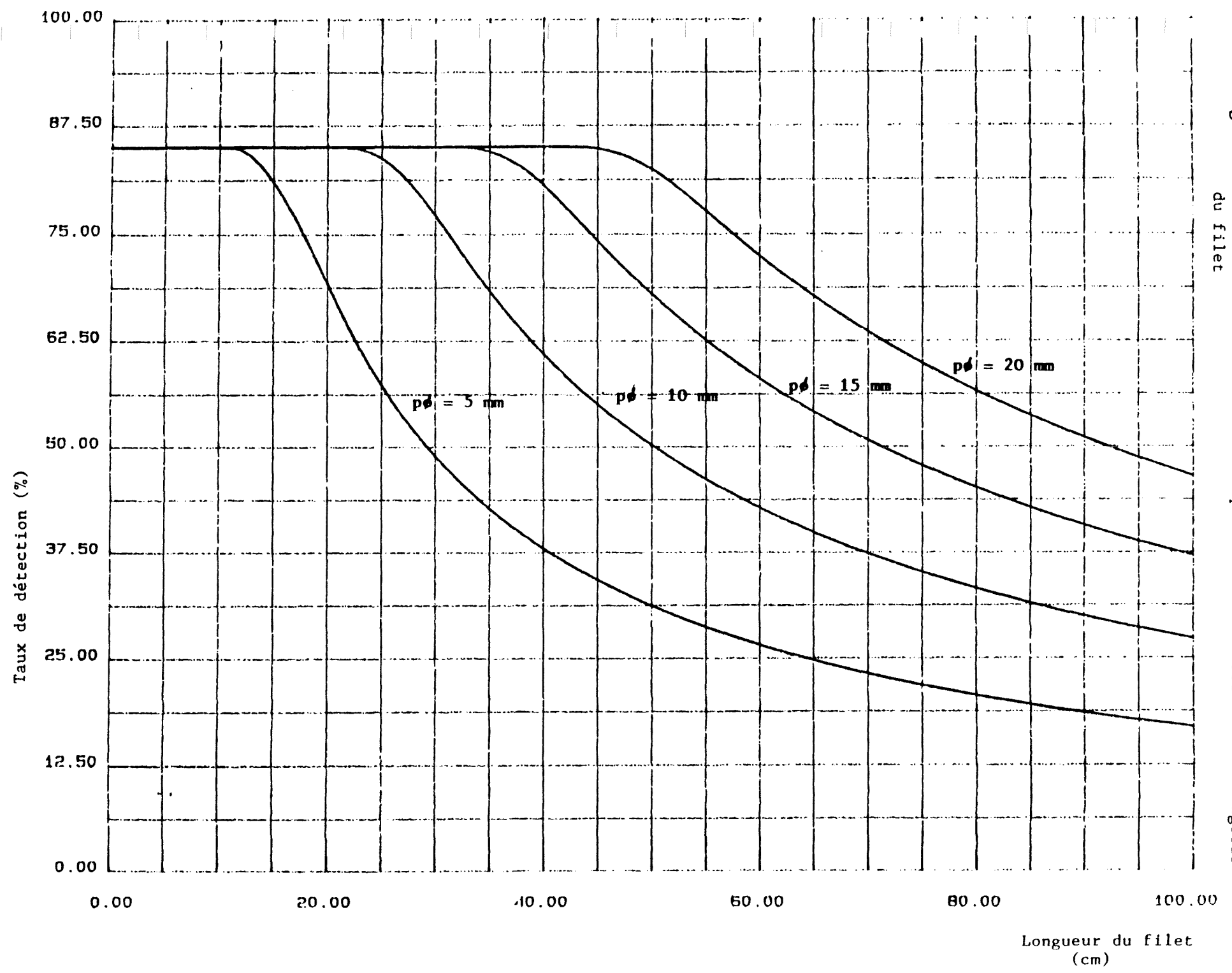
2. Quelle proportion de tous les parasites présents dans les filets devons-nous être capables de détecter avant d'atteindre le seuil de rentabilité?
3. Est-il préférable de chercher une meilleure solution que ce que nous avons maintenant, ou devrions-nous procéder à la réalisation immédiate d'une machine dans le but d'acquérir une expérience pratique?

Nous croyons que les travaux de développement de notre algorithme devraient être stoppés tant que la réponse à ces questions n'est pas connue. La raison principale pour cette pause est que si nous trouvons une technique alternative au mirage par lumière visible, il est fort probable qu'une bonne partie des travaux effectués à ce jour soient perdus. Nous sommes conscients qu'une telle décision peut difficilement être rendue à court terme étant donné ses implications, et que, de toute façon, certaines études économiques devront être réalisées au préalable. Entre-temps il serait sûrement souhaitable de pouvoir étudier plus à fond certaines techniques de prise d'images quant à leur potentiel.

Par conséquent, nous proposons que les travaux se poursuivent selon deux avenues qui sont:

1. Une étude économique devrait être effectuée de façon à tenter de déterminer autant que possible les performances que devrait avoir un détecteur de parasites, et quel devrait en être le coût maximum pour en assurer la rentabilité en usine.
2. Une étude approfondie de certaines alternatives au mirage par lumière visible devrait avoir lieu de manière à en déterminer le potentiel et les limitations.

Fig. 4.1 Taux de détection de tous les parasites en fonction de la longueur du filet



ELC-86-038

ANNEXE I
BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Rapport technique ELC-84-131, décembre 1984, "Mirage/Filets de poisson", dossier CRIQ 9-3783.
- [2] Rapport technique ELC-85-029, novembre 1985, "Mireuse/parasites", dossier CRIQ 4-3097.
- [3] McClelland, G. et al., "Variations in Abundance of Larval Anisakines, Sealworm (*Pseudoterranova decipiens*) and Related Species, in Eastern Canadian Cod and Flatfish", August 1985, Halifax Fisheries Research Laboratory.
- [4] McClelland, G. et al., "Variations in Abundance of Larval Anisakines, Sealworm (*Phocanema decipiens*) and Related Species in Scotian Shelf (4Vs and 4W) Cod and Flatfish", October 1983, Halifax Fisheries Research Laboratory.
- [5] McClelland, G. et al., "Variation de l'abondance d'anisaki-nés larvaires, du ver de phoque (*Phocanema decipiens*) et des espèces apparentées chez la morue et les poissons plats du sud du golfe du Saint-Laurent (4T) et de la plate-forme du Cap-Breton (4Vn)", septembre 1985, Laboratoire de la recherche sur les pêches de Halifax.

ELC-86-038

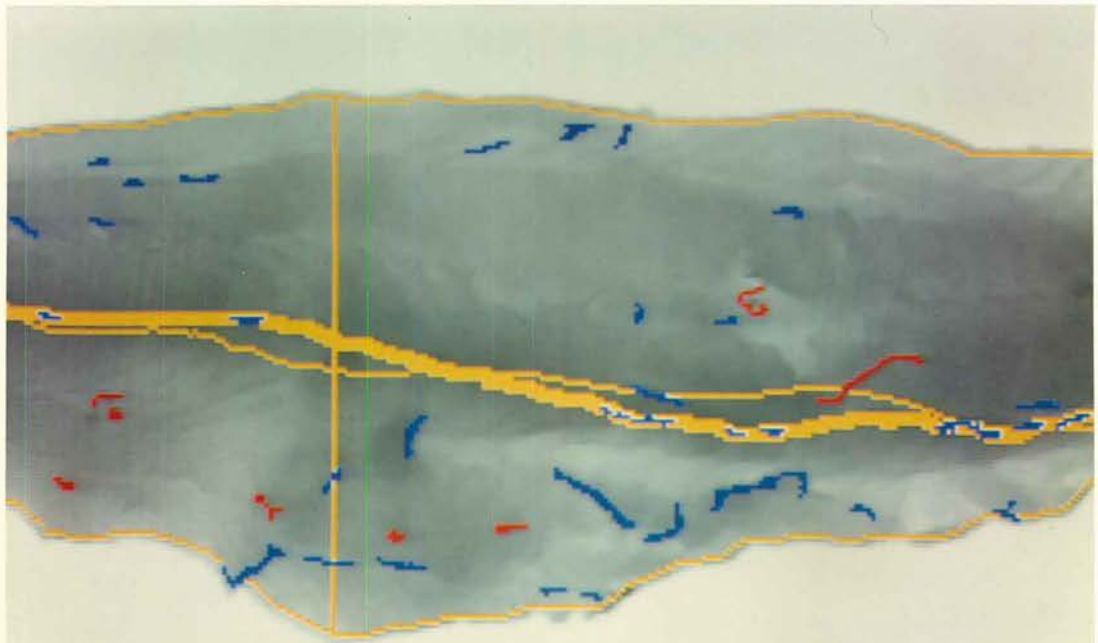
ANNEXE II

PHOTOGRAPHIES DES RÉSULTATS

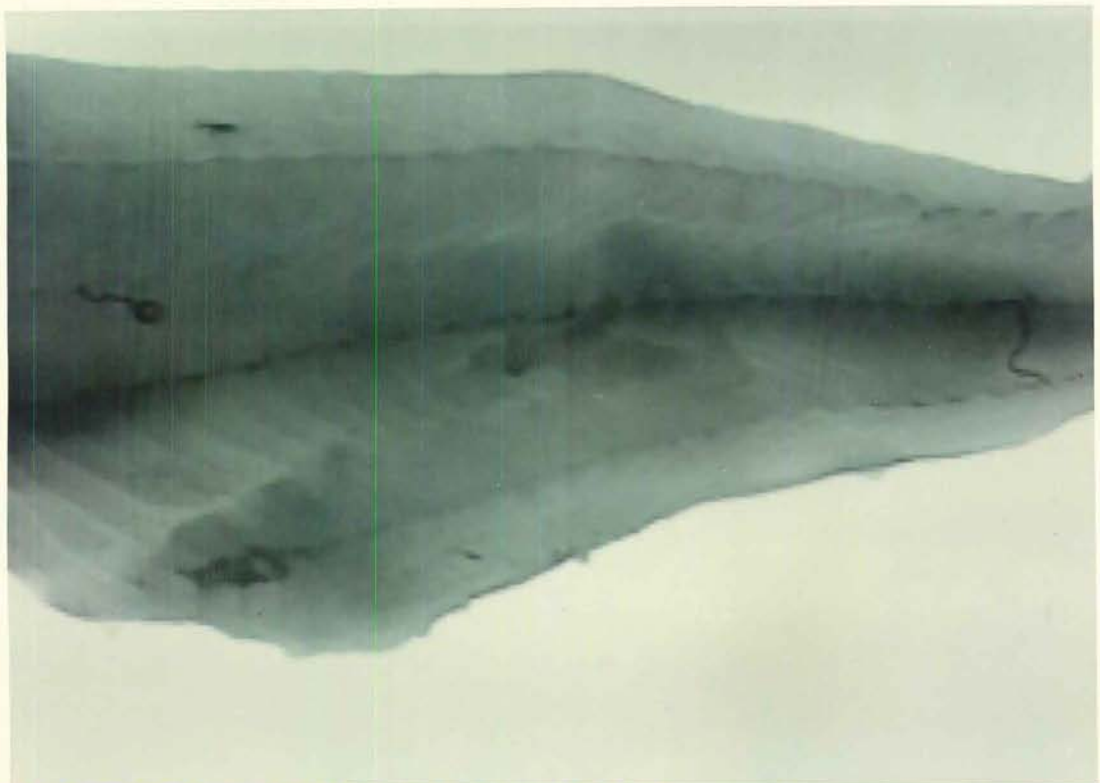
:



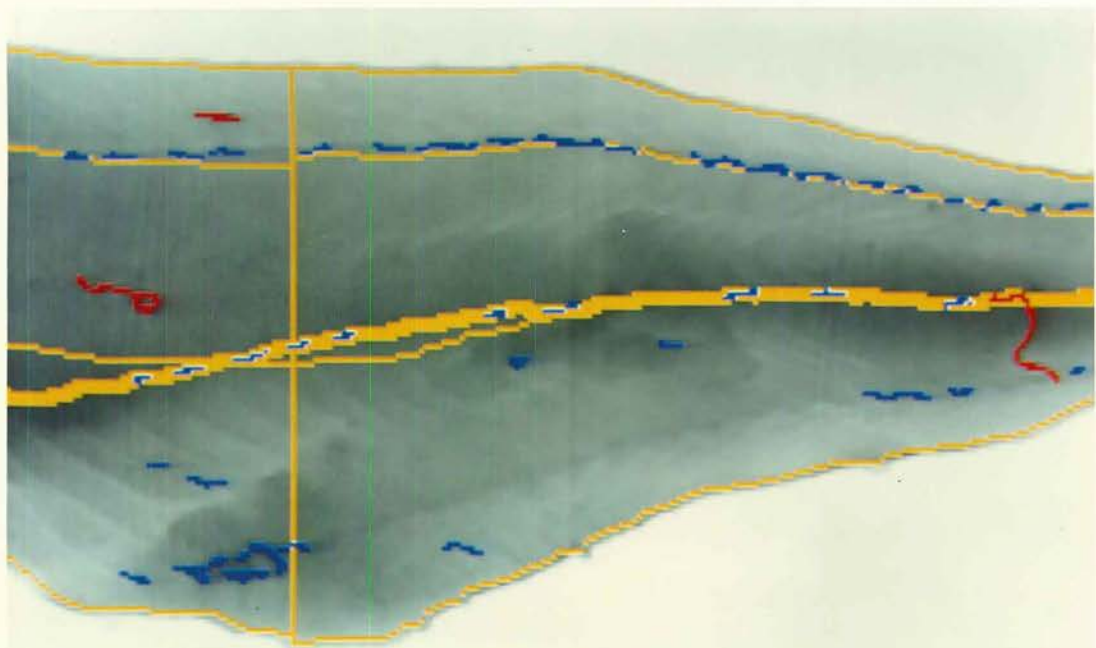
FILET030, IMAGE ORIGINALE



FILET030: BLEU, IMAGE DES TACHES
ORANGE, STRUCTURE DU FILET
ROUGE, PARASITES DETECTES



FILET031, IMAGE ORIGINALE



FILET031: BLEU, IMAGE DES TACHES
ORANGE, STRUCTURE DU FILET
ROUGE, PARASITES DETECTES

ELC-86-038

ANNEXE III

RAPPORT FAB-86-039 "Utilisation de la lumière
infrarouge pour la détection de parasites"

:

MIREUSE FILETS DE POISSONS

Dossier CRIQ no 522-0438

Rapport technique no FAB-86-039


Mai 1986

F.C. #5482


Client: PÊCHES ET OCÉANS CANADA
APPROVISIONNEMENT ET SERVICE CANADA

800, Chemin du Golf
Verdun, (Québec)
H3E 1G9

RESPONSABLE DU PROJET


YVON LÉGROS, ing.
Automatisation
Ingénierie de la fabrication

Sainte-Foy, le 14 mai 1986

C.G.: 

CRIQ
CENTRE DE RECHERCHE
INDUSTRIELLE DU QUÉBEC

TABLE DES MATIÈRES

	page
1.0 POINT DE LA SITUATION.....	1
2.0 MIRAGE DES POISSONS A L'INFRAROUGE.....	1
3.0 CHOIX D'UNE MÉTHODE DE MIRAGE PONCTUEL INFRAROUGE.....	2
3.1 Balayage mécanique.....	2
3.2 Rideau de lumière.....	3
3.3 Miroir oscillant et barrette de détecteurs.....	3
3.4 Miroirs paraboliques.....	4
3.5 Concept retenu.....	4
4.0 CONCEPTION INTÉGRÉ DU SYSTÈME.....	5
5.0 TEMPS D'ACQUISITION DES IMAGES.....	5
6.0 CONCLUSION.....	6
ANNEXE "A": CROQUIS DES CONCEPTS ÉTUDIÉS	
ANNEXE "B": CROQUIS DU CONCEPT RETENU	
ANNEXE "C": PRIX BUDGÉTAIRE POUR LE DÉVELOPPEMENT D'UNE MIREUSE PONCTUELLE A L'INFRAROUGE	
ANNEXE "D": PRIX BUDGÉTAIRE POUR UNE ANALYSE SUPPLÉMENTAI- RE DE L'ABSORPTION DE L'INFRAROUGE PAR LA CHAIR DE POISSON	

1.0 POINT DE LA SITUATION

Lors de travaux précédents, il a été mis en évidence que la bande de 1,0 à 1,3 microns dans l'infrarouge traverse mieux la chair de poisson que ne le fait la lumière visible. Puisque les parasites ne bénéficient pas d'une telle caractéristique, on peut utiliser cette propriété pour détecter ces derniers à une plus grande profondeur dans le filet de poisson.

Ces premiers travaux ont été effectués à l'aide d'un détecteur ponctuel et d'un laser et ont principalement consisté à générer des courbes de transmission sur une seule ligne dans le filet. Comme nous n'avons jamais pris d'images avec cette technique, il n'a pas encore été possible de comparer le gain par rapport au mirage conventionnel. Pour parvenir à juger dans quelle mesure cette nouvelle méthode est vraiment efficace, il faut construire une machine pour mirer les filets à l'infrarouge.

En vue de développer cette machine pouvant former des images par balayage, il faut déterminer quel sera le meilleur concept d'éclairage et de prise d'images. Quelques concepts ont été examinés et nous en avons retenus un seul pour les raisons expliquées plus loin.

Ces travaux ont été faits avec la collaboration du Dr. Roger A. Lessard du Laboratoire de Recherche en Optique et Laser de l'université Laval.

2.0 MIRAGE DES POISSONS A L'INFRAROUGE

La solution la plus simple pour former une image de poisson à l'infrarouge consiste à utiliser une table lumineuse conventionnelle dont on remplace la source lumineuse par une source infrarouge. L'image est prise par une caméra sensible aux longueurs d'ondes utilisées et l'acquisition des images se fait de la même façon qu'avec le mirage à la lumière visible. Ceci permettra d'obtenir des images plus claires puisque la transparence du poisson est meilleure dans l'infrarouge que dans le visible.

Cet essai a l'avantage de pouvoir être fait facilement, pourvu qu'on ait la caméra, et demande peu de frais. Il serait donc important de procéder à de tels essais dans un avenir prochain. Il serait toutefois surprenant que la qualité des images obtenues soit très supérieure au mirage dans le visible puisqu'une bonne partie des problèmes de détection sont liés à la diffraction de la lumière dans le filet, ce qui diminue le contraste lorsqu'il y a un parasite. De plus, il ne sera pas possible de trouver une source diffuse n'émettant que dans la bande de 1,0 à 1,3 microns. Ceci empêchera d'utiliser pleinement la propriété de la chair de poisson à ces longueurs d'ondes.

De façon à obtenir les images les plus nettes des parasites, il sera nécessaire de combiner le mirage à l'infrarouge avec un balayage ponctuel des filets.

3.0 CHOIX D'UNE MÉTHODE DE MIRAGE PONCTUEL INFRAROUGE

Nous avons étudié quelques concepts de systèmes d'éclairage et de prise d'images. Le résumé des avantages et inconvénients de chacun est discuté dans les paragraphes qui suivent.

3.1 Balayage mécanique

La première méthode permettant de former une image dans l'infrarouge consiste à balayer mécaniquement le filet en déplaçant la source laser et le détecteur. Ceci amène au concept présenté par le croquis 1 de l'annexe "A".

Une table transparente qui supporte le filet se déplace longitudinalement. Une structure mécanique supporte le détecteur et un miroir. Cet assemblage se déplace perpendiculairement au déplacement de la table en prenant des mesures de transmission de lumière à travers le filet. On peut recréer une image avec ces données pour un traitement informatique ultérieur visant à déceler les parasites.

Les inconvénients de ce concept sont sa vitesse limitée par le déplacement du détecteur, les dangers de déformations dus au jeu des pièces mobiles et surtout aucun potentiel pour pouvoir éventuellement former une image en un temps raisonnable sur une ligne de production. En effet, une machine en temps réel devra nécessairement utiliser un autre concept.

3.2 Rideau de lumière

Le second concept consiste à mesurer la transmission de lumière sur une ligne à la fois, de façon à contourner le problème d'un déplacement mécanique rapide, tel que posé avec la première solution.

Tel que présenté au croquis 2 de l'annexe "A", on peut former un rideau lumineux en divergeant un faisceau laser et mesurer la lumière transmise à travers le poisson. Ceci élimine les problèmes de distortion géométrique et permet un gain de temps considérable par rapport à la première solution, pourvu qu'on utilise un laser suffisamment puissant.

Par contre, ce concept va détériorer la qualité de l'image puisque la diffraction de la lumière dans le filet se reflétera dans les détecteurs voisins. Ceci diminuera le contraste dû à l'atténuation par le parasite et ne donnera probablement pas des résultats meilleurs que ceux qu'aurait une mireuse conventionnelle à l'infrarouge. De plus, il sera difficile d'obtenir la barrette de détecteur d'environ 15 cm de long nécessaire à la mesure de transmission de lumière.

3.3 Miroir oscillant et barrette de détecteurs

Le troisième concept tel que présenté par le croquis 3 de l'annexe "A" est une modification de la solution précédente. Le rideau de lumière est remplacé par un faisceau lumineux dévié par un miroir oscillant. Ceci permet de revenir à un balayage ponctuel pourvu qu'on utilise une barrette de détecteurs où on peut lire directement le bon récepteur et que l'éclairage parasite dû à la diffraction ne soit pas intégré au moment de la lecture des points voisins.

Ces conditions rendront encore plus difficile l'obtention de la barrette de détecteurs et son interface avec le système d'acquisition des mesures. De plus, dans ces conditions, la synchronisation des lectures avec le miroir sera très difficile à réaliser.

Cette méthode a aussi l'inconvénient d'introduire une légère distortion due à la pénétration du faisceau lumineux à angle lorsqu'on s'approche des bords du filet.

3.4 Miroirs paraboliques

Le dernier concept, tel que présenté par le croquis 4 de l'annexe "A", utilise toujours un miroir oscillant, mais contourne les problèmes du système précédent en utilisant deux miroirs paraboliques et un seul détecteur.

Le faisceau lumineux émis par le laser est réfléchi sur un miroir oscillant placé au foyer d'une parabole désaxée. La lumière traverse le filet, se réfléchit sur un second miroir parabolique pour être captée à son foyer.

Avec cette méthode, les faisceaux lumineux traversent toujours le filet perpendiculairement à la table, la synchronisation du récepteur est moins critique qu'avec le concept précédent, le brouillage d'image est maintenu au minimum par l'utilisation d'un seul point lumineux et d'un seul détecteur. Comme au premier concept, la distortion géométrique est toujours possible. Enfin, cette méthode a le potentiel de permettre un temps d'acquisition relativement court, ce qui, bien qu'inutile pour les expérimentations actuelles, évitera de repartir avec une conception différente pour une machine de production.

3.5 Concept retenu

Le quatrième concept avec l'utilisation de miroirs paraboliques et d'un miroir oscillant est finalement la solution que nous suggérons, puisque c'est une solution qui offre potentiellement de bonnes performances et ne semble pas amener de problèmes de conception ou de fabrication insurmontables.

4.0 CONCEPTION INTÉGRÉ DU SYSTÈME

Cette section présente le système choisi d'une façon plus complète en y intégrant les contrôles électroniques. Se référer à l'annexe "B" pour le croquis descriptif du système complet.

On utilise un ordinateur pour synchroniser le miroir oscillant et le détecteur, pour lire l'intensité lumineuse, et pour former une image. Comme le temps d'acquisition de l'image n'est pas un point critique pour l'instant, on pourrait utiliser à peu près n'importe lequel ordinateur avec carte d'entrées et sorties analogiques.

Le miroir oscillant est alimenté par un système spécial permettant de contrôler sa position.

Pour les besoins actuels, la vitesse de déplacement de la table n'est pas synchronisée avec l'ordinateur, mais est ajustée manuellement pour donner une image aux bonnes proportions.

On trouvera en annexe "C" un estimé budgétaire des coûts de développement de cette mireuse expérimentale.

5.0 TEMPS D'ACQUISITION DES IMAGES

Le temps d'acquisition des images avec cette méthode n'a pas pu être évalué avec une précision raisonnable, dû au manque de données sur la transmission de la lumière dans le poisson. En effet, bien que l'on sache que la transmission de l'infrarouge soit meilleure que celle de la lumière visible, les expériences qui ont été faites n'ont porté que sur des échantillons minces. Les résultats obtenus ne permettent pas de déduire de façon fiable la valeur des paramètres décrivant la transmission de la lumière dans le poisson.

Les détecteurs disponibles commercialement peuvent être plusieurs fois plus sensibles que ceux utilisés lors des expériences (possiblement d'un facteur 1 000), et en utilisant un laser diode de l'ordre du

watt, on pourra ajuster la quantité de lumière nécessaire en modifiant le temps de lecture. Les résultats obtenus lors des essais avec ce prototype permettront de réviser la sensibilité du détecteur et la puissance du laser pour les machines subséquentes.

Il est également possible d'effectuer une étude plus poussée sur la transmission des infrarouges dans la chair de poisson avant de construire la machine.

Les coûts d'une telle étude sont fournis en annexe "D".

6.0 CONCLUSION

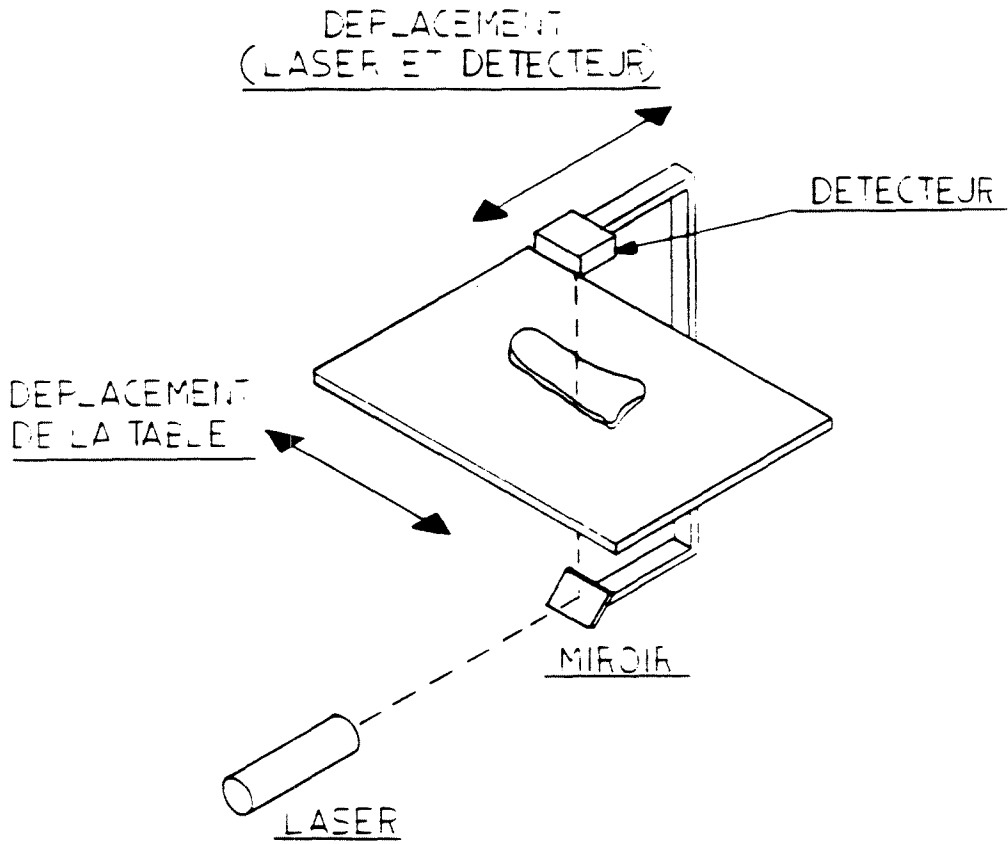
La construction d'un prototype de mireuse utilisant la bande de 1,0 à 1,3 microns à l'infrarouge permettrait de vérifier à quel point la détection des parasites peut être améliorée, particulièrement au niveau des plus grandes épaisseurs. Les images permettront de démontrer à quel point cette technique de mirage pourra faciliter la détection automatique des parasites et même l'inspection manuelle.

FAB-86-039

ANNEXE "A"

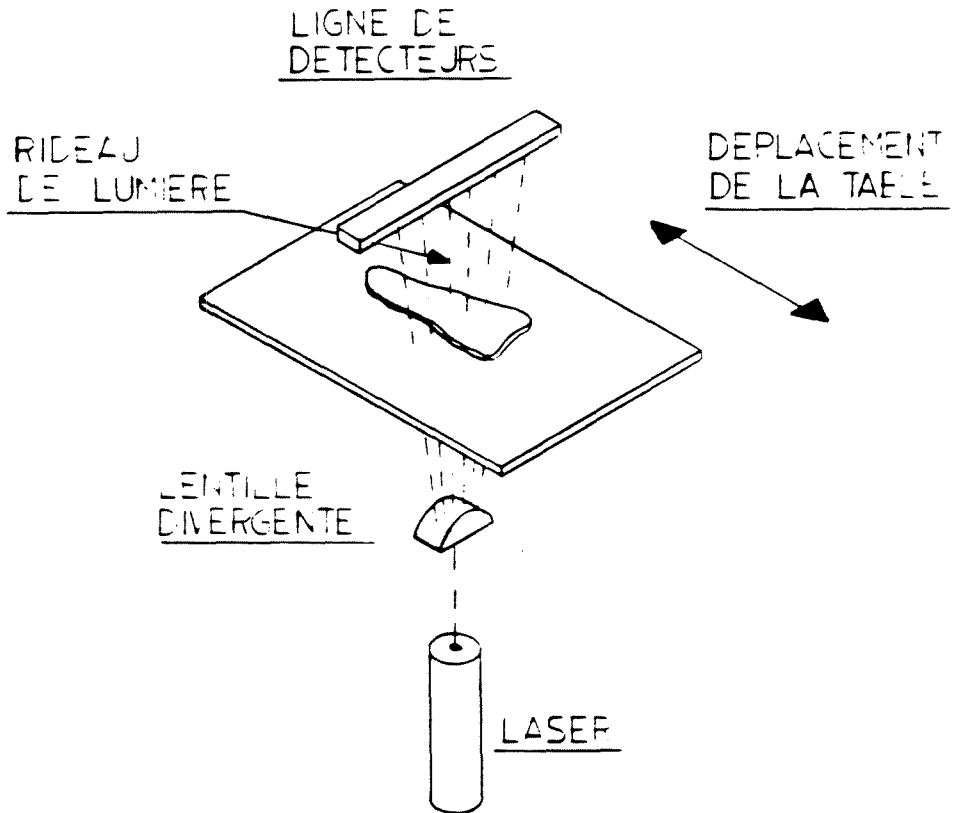
CROQUIS DES CONCEPTS ÉTUDIÉS

CROQUIS I



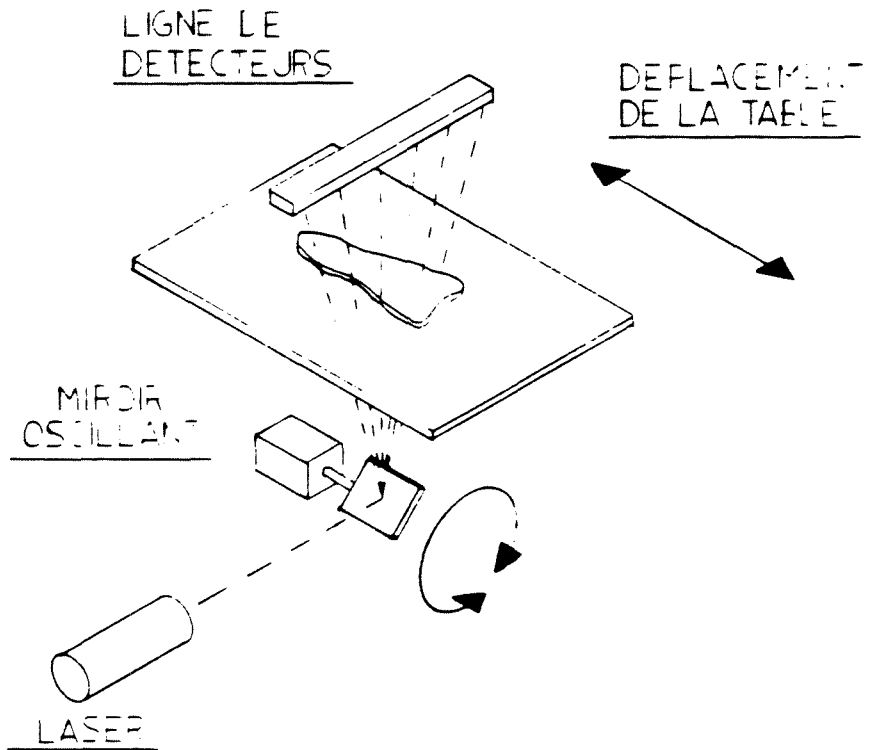
REV	ZONE	DESCRIPTION	No. ADC	DATE	APP
ENSEMBLE SUIVANT		PROJET		CRIQ CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC	
TOLERANCES NON SPEC		SIGNATURES	DATES	TITRE	
ANGLES	±	<i>M. Fontaine</i>	7/09/86	MIREUSE FILET POISSON.	
UNITES	±				
DECIMALES	±	VERIFIE	A4 NO. DESSIN SK-366		
	±	APPROUVE	ECHELLE	EDITION	FEUILLE DE
ECHELLE NON GARANTIE					4

CROQUIS 2



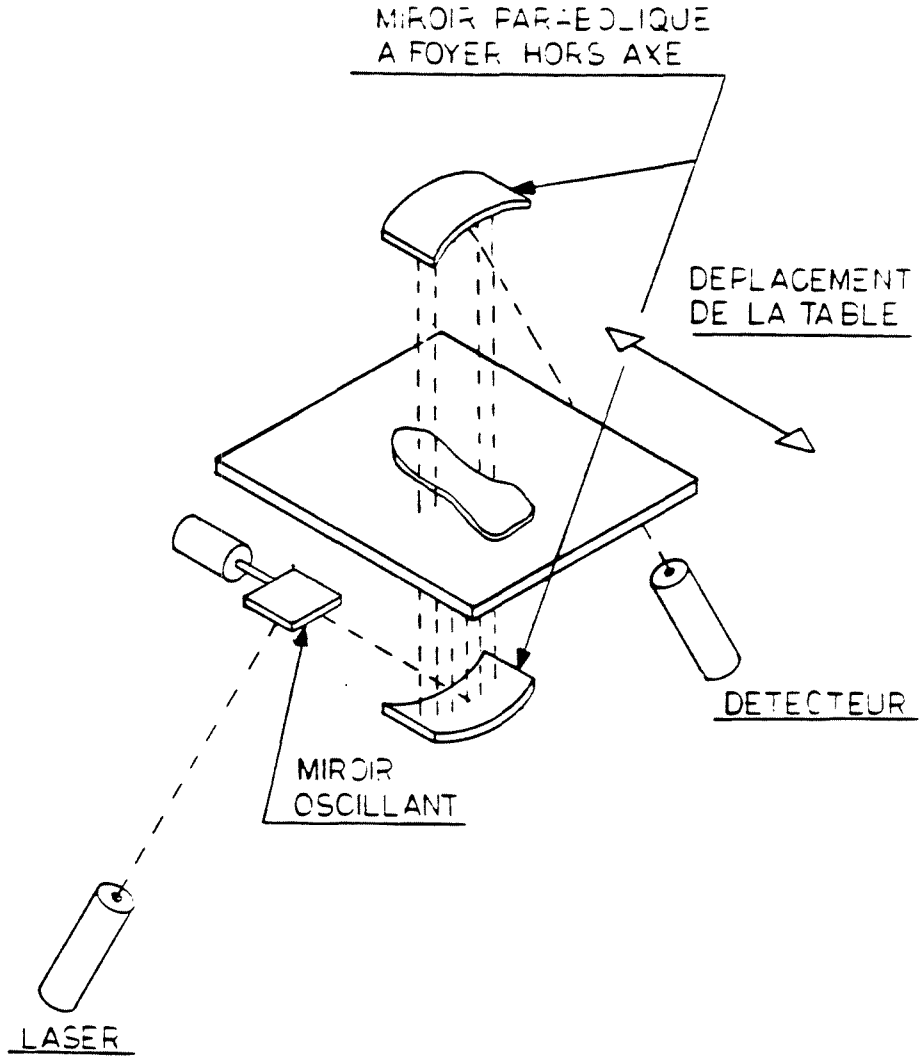
REV	ZONE	DESCRIPTION	No ADC	DATE	APP
ENSEMBLE SUIVANT		PROJET	CRIQ CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUEBEC		
TOLERANCES NON SPEC		SIGNATURES			
MMLES	±	<i>M. Fontaine</i> 7/04/66	TITRE		
UNITES	±		MIREUSE FILET POISSON		
DECIMALES	±	VERIFIE	A4	NO. DESSIN SK-366	
ECHELLE NON GARANTIE		APPROUVE	ECHELLE	EDITION	FEUILLE DE 2 / 4

CROQUIS 3



REV	ZONE	DESCRIPTION	No ADC	DATE	APP
ENSEMBLE SUIVANT		PROJET	CRIQ CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUEBEC		
TOLERANCES NON SPEC		SIGNATURES			
ANGLES ±		DESSINE		TITRE	
UNITES ±		VERIFIE		MIREUSE FILET POISSON	
DECIMALES X ± XX ±		APPROUVE		A4 NO DESSIN SK-306	
ECHELLE NON GARANTIE		ECHELLE	EDITION	FEUILLE DE	
		—		3	4

CROQUIS 4

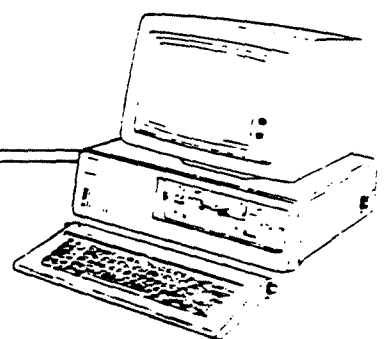
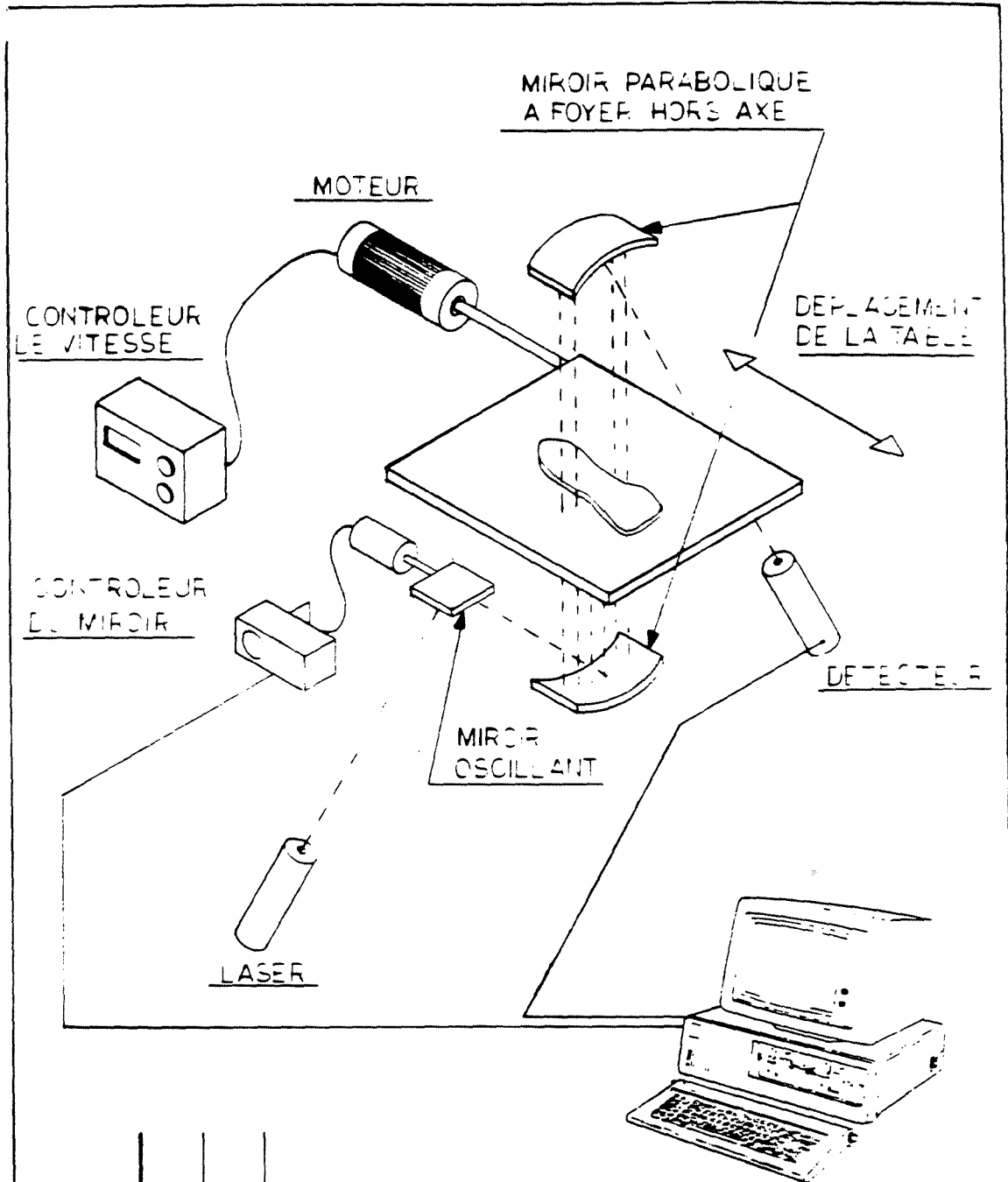


REV	ZONE	DESCRIPTION	No ADC	DATE	APP
ENSEMBLE SUIVANT		PROJET	CRIQ CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUEBEC		
TOLERANCES NON SPEC		SIGNATURES			
MMLES	±	<i>M. J. L...</i> 7/04/86	TITRE		
UNITES	±		MIREUSE FILET POISSON		
DECIMALES	±	VERIFIE	A4	NO DESSIN	SK-366
ECHELLE NON GARANTIE		APPROUVE	ECHELLE	EDITION	FEUILLE DE 4 4

FAB-86-039

ANNEXE "B"

CROQUIS DU CONCEPT RETENU



REV	ZONE	DESCRIPTION	No ADC	DATE	APP	
ENSEMBLE SUIVANT		PROJET	CRIQ CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUEBEC TITRE MIREUSE FILET POISSON NO DESSIN SK 366			
TOLERANCES NON SPEC		SIGNATURES				DATES
ANGLES		DESSINE				
UNITES		VERIFIE				
DECIMALES		APPROUVE				
ECHELLE NON GARANTIE		ECHELLE	EDITION	FEUILLE DE 1 1		

NU

FAB-86-039

ANNEXE "C"

PRIX BUDGÉTAIRE POUR LE DÉVELOPPEMENT
D'UNE MIREUSE PONCTUELLE A L'INFRAROUGE

ESTIMÉ DES COÛTS DE DÉVELOPPEMENT

Les coûts de développement d'un prototype expérimental de mireuse ponctuelle à l'infrarouge seront de l'ordre de grandeur suivante.

Matériel

- source laser	15 000 \$
- système de miroir oscillant	10 000 \$
- ordinateur	8 000 \$
- réflecteurs paraboliques et éléments optiques	12 000 \$
- détecteur infrarouge	5 000 \$
- système mécanique pour déplacer le filet	10 000 \$
- matériel divers	<u>5 000 \$</u>
Total	65 000 \$

Ingénierie

- Sélection finale du matériel.
- Conception du système optique.
- Conception du système électronique.
- Conception mécanique.
- Construction et assemblage des systèmes.
- Mise au point et test.

Total ingénierie et construction

Agent de recherche	750 h	42 000 \$
Consultant	100 h	7 500 \$
Technicien	400 h	20 400 \$
Technicien d'atelier	250 h	8 000 \$
Dessinateur	200 h	<u>10 200 \$</u>
Total		88 100 \$
GRAND TOTAL		153 100 \$

Réalisation: 12 mois.

Note: Les expérimentations sur le poisson ne sont pas incluses.

FAB-86-039

ANNEXE "D"

PRIX BUDGÉTAIRE POUR UNE ANALYSE SUPPLÉMENTAIRE
DE L'ABSORPTION DE L'INFRAROUGE PAR LA CHAIR DE POISSON

Si on désire déterminer à l'avance la vitesse d'acquisition des images par le prototype, il est nécessaire d'effectuer une analyse plus détaillée des caractéristiques de la transmission des infrarouges dans la chair de poisson. A moins que l'on puisse localiser de l'équipement disponible et approprié, les coûts prévus sont approximativement les suivants:

Matériel:

source laser	15 000 \$
détecteur	5 000 \$
divers	<u>2 000 \$</u>
	22 000 \$

Main-d'oeuvre:

Agent de recherche	150 h	8 400 \$
Technicien	200 h	10 200 \$
Atelier	100 h	3 200 \$
Consultant		<u>5 000 \$</u>
		26 800 \$

Les investissements en matériel seraient presque entièrement récupérables lors de la construction du prototype.