

COMPTAGE DU ZOOPLANKTON PAR ANALYSE D'IMAGE-AUTOMATISATION DE  
L'EXTRACTION DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES DU ZOOPLANKTON  
Zooplankton count using image analysis-Automation of the extraction  
of zooplankton morphometric parameters

Slaheddine LATROUS - J. BOUCHER

LABORATOIRE DE TRAITEMENT DU SIGNAL  
Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne - BP 856 - 29279 BREST CEDEX

## RESUME

Le but de cette étude est de définir une méthode d'analyse d'image permettant d'identifier automatiquement les individus du zooplancton et d'accélérer l'obtention des résultats du dépouillement des pêches.

Le principe d'analyse fait appel aux caractéristiques morphométriques des individus de ce groupe d'espèces.

Différentes techniques d'extraction de contour sont testées et comparées (opérateurs différentiels, méthodes de seuillage). Un algorithme de suivi de contour utilisant le code de Freeman est développé.

Puis à partir des informations données par analyse spatiale de leur profil centroïde, différents descripteurs sont extraits automatiquement afin de classifier les individus.

### I-INTRODUCTION

Le zooplancton est abondant et présent dans toutes les mers du globe. Du fait de son importance et de son rôle, les études d'océanographie biologiques, prennent en compte cet ensemble, que ce soit dans un but écologique très fondamental d'analyse des relations entre le milieu environnant marin et son peuplement, ou qu'elles soient orientées vers la gestion des ressources vivantes et la protection de l'environnement.

Mesurer, identifier et compter des organismes marins couvrant un spectre de tailles de quelques dizaines de microns à quelques millimètres, à l'aide d'un microscope est la méthode conventionnelle qui fournit les paramètres de base. Cette tâche est fastidieuse, de sorte que peu de biologistes peuvent la réaliser de manière continue. Renouvellement de personnel et temps de formation augmentent encore les délais d'obtention des résultats des dépouillements des pêches.

Pour répondre à ces problèmes, une recherche de nouvelles méthodologies d'analyses automatiques a été entreprise par le Centre Océanologique de Bretagne. Elle met en évidence des techniques de traitement d'images, de reconnaissance des formes et de classifications automatiques.

### II- PRESENTATION DU SYSTEME AUTOMATISE DE COMPTAGE

Le travail présenté ici a été réalisé en trois parties :

- La 1ère partie de l'étude a été consacrée à la segmentation des images analysées. Elle a pour but de localiser et d'isoler les formes à reconnaître du reste de la scène. Elle permet à partir d'une image brute codée sur 256 niveaux de gris (8 eb/point) de se ramener à une image de contours facies à visualiser par

## SUMMARY

-ZOOPLANKTON COUNTING BY PICTURE ANALYSIS-  
AUTOMATIC EXTRACTION OF THE MORPHOMETRIC PARAMETRIC  
OF ZOOPLANKTON

The aim of this study is to specify a method of image processing in order to automatically characterize zooplankton and to accelerate the results of sample counting.

The principal of the analysis is based upon the organisms morphometric characteristics within the given group of species.

A variety of edge detection methods have been tested and compared (i.e. differential operators and automatic thresholding). An algorithm for contour following, using the Freeman Code, was also developed.

Various descriptors were then automatically extracted from information given by spatial analysis of their centroid profil, in order to classify the marine organisms.



COMPTAGE DU ZOOPLANKTON PAR ANALYSE D'IMAGE-AUTOMATISATION DE  
L'EXTRACTION DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES DU ZOOPLANKTON  
Zooplankton count using image analysis-Automation of the extraction  
of zooplankton morphometric parameters  
S. Latrous J. Boucher

tout système graphique. Deux opérations en cascade sont nécessaires pour aboutir à une telle représentation. La première seuille l'image originale en la codant globalement sur un seul élément binaire. La suivante suit le contour des objets et ne conserve en mémoire que la ligne frontière entre le fond de l'image et les objets détectés.

- le 2ème partie a été consacrée à l'extraction des caractéristiques morphométriques des formes à identifier. La sélection de cet ensemble de paramètres descriptifs, conduit à réduire la quantité d'informations présentes et à caractériser ainsi les objets détectés sous forme vectorielle simple et facile à interpréter.  
- la 3ème partie non développée ici a été consacrée à la classification de ces objets en fonction de leurs mensurations et des paramètres déterminés après apprentissage sur un nombre important d'échantillons pré-classés (apprentissage supervisé).

Le matériel utilisé pour mettre au point ces algorithmes comporte :

- un système de traitement d'images "COMTAL",
- un calculateur HP 1000 (21 MX/F),
- une caméra vidéo à tube "Plumbicon",
- plusieurs préparations de zooplancton.

Le schéma synoptique de la figure II.1 illustre la chaîne de traitement utilisée.

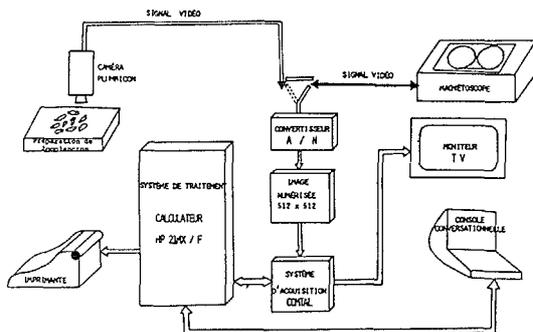


Fig. II.1 : Schéma de montage de la chaîne de traitement

Avant de développer ces différentes parties, un prétraitement a été appliqué à l'image que nous représenterons mathématiquement sous la forme d'une fonction de 2 variables  $I(x,y)$  donnant le niveau gris aux points de coordonnées spatiales  $(x,y)$ . Les variables  $x$  et  $y$  sont discrètes. Le domaine de cette fonction de départ est un tableau de  $512 \times 512$  points. Grâce à la très grande résolution du système optique, le contour des objets présents dans la scène a une très bonne définition. Ceci nous a conduit à permettre une légère dégradation de la qualité de l'image analysée pour faire d'une part, une économie de mémoire dans le stockage de l'image, et d'autre part, une accélération du processus de traitement. Ainsi, en sous-échantillonnant l'image spatialement, on ne conserve qu'une ligne sur deux et qu'un point sur deux. En procédant ainsi, la capacité de la mémoire a été réduite au quart et le temps de calcul est par conséquent, beaucoup plus court.

### III-SEGMENTATION DE L'IMAGE

La détection ou l'extraction de contours de micro-organismes marins dans les images océano-biologiques ou leur segmentation est un problème très délicat. Ces traits pertinents ont une importance fondamentale et toute la précision du système de reconnaissance sera fonction de la qualité du détecteur-extracteur envisagé. Ceci est dû au fait que le contour obtenu sera utilisé à des fins de mesure. Les erreurs éventuelles de segmentation peuvent se propager vers l'extracteur des caractéristiques et être prises en compte par le classificateur.

La plupart des techniques proposées sont spécifiques à un problème particulier et il n'existe pas de méthode idéale de détection de contour. Il y a simplement des méthodes qui répondent à certaines

exigences.

Pour segmenter nos images, on a procédé en deux temps :

- la première phase s'est limitée à l'application des opérateurs différentiels sur l'image "brute" (sans traitement préliminaire). On a testé et comparé subjectivement les résultats donnés par les masques suivants: opérateurs de Kirsh, Roberts et Sobel. On a pu constater que ces opérateurs sont très vulnérables au bruit sur l'image et consomment beaucoup de temps de calcul.
- dans une deuxième phase, on a filtré l'image spatialement, en ne traitant que les zones uniformes où les défauts les plus fins risquent d'apparaître. On a réduit ainsi le bruit sur l'image et les contours accentués par les opérateurs sont apparus plus nets. Malheureusement, on n'a pas réussi à "affiner" les contours dont l'épaisseur est due principalement aux grandes valeurs du gradient au voisinage du contour réel des individus. Cet inconvénient a une très grande influence sur les traitements qui vont suivre cette opération et peuvent "fausser" la procédure de reconnaissance.

Un autre inconvénient vient s'ajouter aux défauts de cette méthode de détection. Ceci est dû au fait que les contours détectés sont souvent ouverts, ce qui rend toute tentative de suivi de contours pratiquement impossible.

Par rapport à cette approche, basée sur les propriétés locales de l'image, on a expérimenté et comparé deux autres méthodes de détection de contours, basées sur les caractéristiques de l'histogramme des niveaux de gris.

#### III.1 Seuillage automatique

Dans cette approche, on assimile l'histogramme de l'image à deux pics représentant respectivement les objets et le fond, séparés par une vallée profonde, de telle sorte que le seuil puisse être choisi au fond de cette vallée. Une limitation de la méthode "vallée" apparaît quand les objets occupent une petite fraction de l'image. Dans ce cas, la taille des pics sera très différente et rend la localisation de la vallée très difficile. Ainsi, si on seuille très haut, beaucoup de points appartenant à l'individu seront classés comme fond et si on seuille très bas l'inverse se produira. On a rencontré ce type de problèmes dans la plupart des images, et il nous est souvent difficile de sélectionner un seuil adéquat, surtout quand la vallée est plate et accidentée. Des solutions ont été proposées pour surmonter ces difficultés. Elles consistent à lisser l'histogramme et de choisir le minimum correspondant au fond de la vallée. Ainsi, plusieurs méthodes de "lissage" ont été proposées. Weszka, Nagel et Rosenfeld [1] appliquent un opérateur différentiel (Laplacien) à l'image et sélectionnent le seuil facilement, non pas à partir de l'histogramme de l'image entière, mais à partir de l'histogramme des points qui se trouvent sur ou près des contours des objets. En procédant ainsi, on améliore non seulement la symétrie de l'histogramme mais cela permet aussi d'approfondir et de lisser la vallée qui sépare les pics. Chow et Kaneko [2] proposent une autre méthode paramétrique locale. Celle-ci ne traite que les régions de l'image qui présentent une grande variance (où l'on détecte un contour). Les autres régions sont segmentées par interpolation. Ces méthodes sont très efficaces, surtout pour des images de très mauvaise qualité. Cependant, les contraintes de temps de traitement, ne nous permettent pas de les retenir et une mise en oeuvre semble non justifiée dans notre cas.

##### III.1.1. Méthode paramétrique globale

Une autre approche beaucoup plus "élégante" est celle de l'ajustement de deux fonctions unimodales à l'histogramme, lorsque l'image se compose d'objets clairs sur un fond foncé, tel est le cas pour les images des individus du zooplancton. Les paramètres de cette fonction seront proportionnels aux aires occupées par chacune des régions de l'image. Si la forme de ces densités est connue, il est alors possible de déterminer un seuil optimum en minimisant l'erreur de la moyenne



COMPTAGE DU ZOOPLANKTON PAR ANALYSE D'IMAGE-AUTOMATISATION DE L'EXTRACTION DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES DU ZOOPLANKTON  
 Zooplankton count using image analysis-Automation of the extraction of zooplankton morphometric parameters  
 S. Latruus J. Boucher

ES

quadratique entre la densité du mélange et l'histogramme expérimental.

L'algorithme utilisé, basé sur la méthode du "Gradient conjugué" nécessite la définition d'un critère d'arrêt. En effet, à cause des erreurs d'arrondi on ne parvient jamais à annuler complètement les composantes du gradient. Il peut arriver aussi, si les tests d'arrêt sont trop sévères, qu'à partir d'une certaine itération, la fonction ne diminue plus car les erreurs d'arrondi sur la direction du gradient sont telles que la direction calculée n'a plus de signification.

III.1.2. Méthode non paramétrique et non supervisée

Dans la méthode précédente, on a fait des hypothèses sur la loi de répartition des niveaux de gris. Malheureusement, ils ne sont plus valables dans le cas d'images peu contrastées et très bruitées. On propose ici, une autre méthode très originale [3] qui a l'avantage d'être non paramétrique, non supervisée et n'exige que l'histogramme des niveaux de gris pour sélectionner automatiquement le seuil optimum. Celle-ci introduit une mesure de séparabilité des classes, utilisée en analyse discriminante [4]

$$\beta = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_T^2} \quad \text{où } \sigma_b^2 \text{ et } \sigma_T^2 \text{ sont respectivement les}$$

variances inter-classes et totales données par les relations :

$$\sigma_b^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^L (i - \sum_{i=1}^L ip_i)^2 p_i$$

L représente le niveau de gris maximum et  $p_i$  la fréquence des points de niveau  $i$

$$\omega_0 = \sum_{i=1}^k p_i \quad \omega_1 = \sum_{i=k+1}^L p_i$$

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^k (i - g_0)^2 \frac{p_i}{\omega_0} \quad \text{avec } g_0 = \frac{\sum_{i=1}^k ip_i}{\omega_0}$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=k+1}^L (i - g_1)^2 \frac{p_i}{\omega_1} \quad \text{avec } g_1 = \frac{\sum_{i=k+1}^L ip_i}{\omega_1}$$

Le seuil optimum  $k^*$  qui maximise  $\beta$  est sélectionné suivant une recherche séquentielle donnée par :

$$\sigma_b^2(k^*) = \max_{1 \leq k \leq L} \sigma_b^2(k)$$

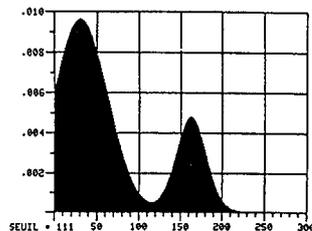
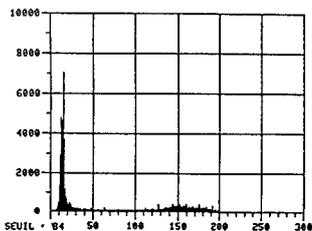


Fig. III.1b : histogramme à modes très différents

Fig. III.1d : méthode paramétrique sur figure 1b



Fig. III.1e : Image seuillée correctement par la méthode non paramétrique

Fig. III.1f : image mal seuillée par la méthode paramétrique

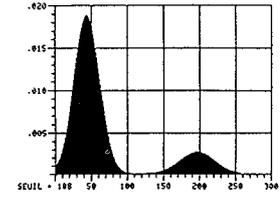
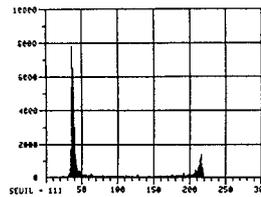


Fig. III.1a : histogramme à creux plat

Fig. III.1c = méthode paramétrique sur figure 1a

III.1.3 Résultats du seuillage

On a représenté sur les figures III.1a et 1b deux cas critiques où seule la dernière méthode a donné les résultats escomptés. Pour chacun des cas, on donne la valeur du seuil optimal sélectionné par l'approche paramétrique (fig. III.1c et 1d) et celui obtenu par la méthode non paramétrique (fig. III.1a et 1b). Comme on peut le constater, les résultats illustrés sur les figures III.1e et 1f, indiquent que la méthode fondée essentiellement sur des critères statistiques est d'un usage pratique satisfaisant. Elle se caractérise par ailleurs par son type non supervisé et non hypothétique et surtout, sa simplicité et sa rapidité (temps de traitement équivalent au temps de calcul de l'histogramme de l'image).

III.2 Suivi de contours

L'étude menée jusqu'ici nous a permis de passer d'une image numérisée en 256 niveaux de gris à une image binaire. Vu le nombre important d'images à traiter lors du dépouillement des pêches (plusieurs centaines voir plusieurs milliers), il est important d'avoir une représentation très concise de chaque contour pour des raisons évidentes d'encombrement mémoire. De plus, cette représentation doit être facilement accessible aux mesures que l'on entend y faire.

Afin que ces exigences soient satisfaites on a relié la procédure de seuillage à un algorithme de suivi de contours. Cette approche permet de mieux localiser le contour des individus en fonction de leurs coordonnées cartésiennes dans le plan discret. Cette représentation doit réaliser un compromis délicat. D'une part, on souhaite une excellente approximation de la frontière des individus avec le fond de l'image, d'autre part, on doit réaliser une très grande compression d'informations et donc une bonne paramétrisation. La stratégie que nous avons définie pour suivre les frontières des individus est directement liée aux choix antérieurs de discrétisation et de topologie réalisés. Ainsi, pour une image numérisée, existe-t-il trois structures d'échantillonnage qui définissent la position relative des pels dans l'espace et dans le temps [5] :

- structure orthogonale,
- structure en quinconce ligne,
- structure en quinconce trame.

Suivant la structure d'échantillonnage, on utilisera une règle de suivi adaptée à l'image fournie par le numériseur intégré dans la chaîne de traitement. De ce fait, les règles définies dans les figures III.2a et III.2b ont été retenues pour représenter respectivement la frontière des objets par une 6-topologie et 8-topologie :

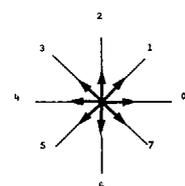
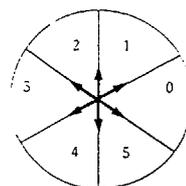


figure III.2a

figure III.2b

III.2.1. Algorithme de suivi

La procédure de suivi de contours est appliquée à une image seuillée. Celle-ci présente alors des régions sombres et claires codées respectivement au niveau le plus bas (noir) et au niveau le plus haut

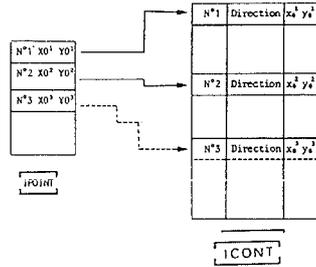


COMPTAGE DU ZOOPLANKTON PAR ANALYSE D'IMAGE-AUTOMATISATION DE L'EXTRACTION DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES DU ZOOPLANKTON  
 Zooplankton count using image analysis-Automation of the extraction of zooplankton morphometric parameters  
 S. Latruus J. Boucher

(blanc) ou inversement. On explore l'image de haut en bas et de gauche à droite. Si on détecte un point appartenant à la frontière d'un objet, on mémorise dans un pointeur les coordonnées spatiales de ce point initial (fig. III.2c). On applique ensuite la règle définie précédemment. Le sens de suivi retenu est le sens des aiguilles d'une montre. Pour chaque élément nouveau détecté appartenant à la même frontière, on mémorise dans un "buffer" (ICONT), ses coordonnées spatiales et sa direction sélectionnée parmi les six ou huit des grilles données dans les figures III.2a et III.2b.

Figure III.2c :

Stockage des coordonnées spatiales des éléments de contour des individus et de leur direction respective



Si en cours de suivi, on rencontre un contour ouvert, la fermeture de celui-ci est impossible. La solution consiste à effacer ces faux échantillons et à retrouver le chemin qui nous ramène soit au point de départ (fig. III.2d), soit de poursuivre le suivi à partir du point anguleux A sur la figure III.2e.

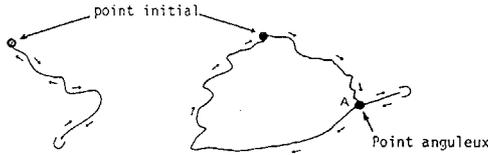


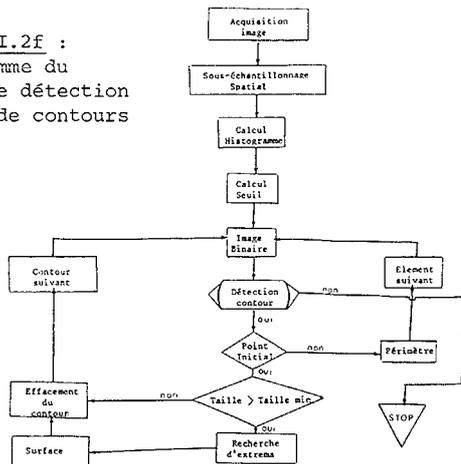
Figure III.2d

Figure III.2e

La longueur du contour est mise à jour en cours de suivi. Ce paramètre est utilisé dans un premier temps pour éliminer les faux contours (taches, poussières qui se présentent dans le champ de la caméra lors de la préparation), et dans un deuxième temps, pour calculer le périmètre de chaque objet retenu, tout en tenant compte de l'orientation de chaque élément détecté. Dès que l'on retrouve le point initial du contour analysé, on efface physiquement tous les points situés à l'intérieur de sa frontière. La solution adoptée consiste à chercher les abscisses extrêmes de chacune des lignes appartenant à l'objet, et de la coder au même niveau que le fond de l'image. L'ensemble de ces points représente effectivement l'aire de la surface de l'objet traité et permet le calcul du centre de gravité. On évite ainsi un deuxième passage qui ralentirait l'algorithme de traitement (fig. III.2f).

Figure III.2f :

Organigramme du système de détection et suivi de contours

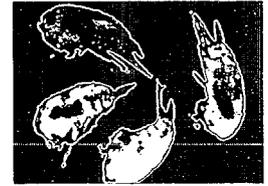


III.2.2 Résultats de segmentation

La stratégie que nous avons utilisée pour représenter le contour des individus, extraits des images par une procédure de seuillage entièrement automatique, constitue une très bonne approximation de la frontière des individus et se prête bien aux mensurations sur les formes détectées (fig. III.2g). L'économie d'un deuxième passage sur l'image pour calculer la surface, le périmètre et le centre de gravité est un des points caractéristiques de notre approche. Ces paramètres fondamentaux permettent d'une part d'éliminer les faux contours et d'autre part, d'exprimer la forme compliquée de l'individu par son profil centroïde.

Figure III.2g

Suivi des contours



IV-AUTOMATISATION DE L'EXTRACTION DES PARAMETRES MORPHOMETRIQUES DU ZOOPLANKTON

IV.1 Position du problème

Le problème de la reconnaissance des formes suppose implicitement que l'on sache décrire les objets que l'on veut identifier. Mais on ne possède pas toujours une représentation analytique des objets à détecter. Parfois ce problème n'a pas de sens en raison de la complexité même des formes. Par exemple, pour reconnaître un plancton analysé à l'aide d'une caméra vidéo couplée à une loupe binoculaire, correspond non pas à vérifier que l'image a dans une certaine région un certain comportement analytique, mais que la forme de l'animal présente des traits particuliers : longueur du céphalothorax par rapport à l'abdomen, compacité, etc... La présence d'appendices (pattes, antennes,...) peut modifier cette apparence, mais le biologiste averti reconnaît immédiatement cet objet. Ce qui le guide, ce n'est donc pas l'ajustement des données par un modèle de plancton mais la reconnaissance des traits caractéristiques d'un tel objet. Ceci conduit naturellement à des méthodes non analytiques de reconnaissances, basées sur des caractères liés aux individus, ce qui implique l'extraction d'une suite de paramètres morphométriques concernant ces individus. Ces paramètres fondamentaux vont permettre de décrire l'individu analysé en fonction de ses caractéristiques essentielles. Le mot "caractéristique" est synonyme de paramètre pertinent. Pour notre problème on ne peut fixer a priori une limite supérieure au nombre de caractéristiques à utiliser. Cependant, on sait que la probabilité d'erreur de classification décroît lorsque le nombre de caractéristiques monte, mais ceci n'est vrai qu'asymptotiquement. Idéalement, on ne doit pas considérer comme indépendants les 2 problèmes :

- sélection et extraction des caractéristiques
- conception du classificateur.

En pratique, supposer une telle indépendance conduit souvent à une hypothèse très simplificatrice, car :  
 - un classificateur très sophistiqué ne peut compenser une perte d'information due à une mauvaise sélection et extraction des caractéristiques,  
 - dans le cas d'une modélisation simpliste, le gain (de mémoire, de complexité) obtenu par une forte réduction de l'information peut être annulé lors de la classification.

IV.2 Choix des descripteurs spatiaux

L'étude menée par Jeffries et al [6] sur les espèces zooplanktoniques utilise des paramètres morphologiques d'accès immédiat : surface, périmètre, longueur totale projetée, etc... Les résultats obtenus prouvent qu'il faut introduire d'autres paramètres indépendants, spécifiques des catégories à classer afin d'affiner ces discriminations pour les groupes les plus abondants. Une étude statistique par classification manuelle effectuée au Centre Océanologique de Bretagne a conduit à retenir de nouveaux paramètres (fig. IV.1) ayant a

COMPTAGE DU ZOOPLANKTON PAR ANALYSE D'IMAGE-AUTOMATISATION DE  
L'EXTRACTION DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES DU ZOOPLANKTON  
Zooplankton count using image analysis-Automation of the extraction  
of zooplankton morphometric parameters  
S. Latrous J. Boucher

priori une bonne valeur discriminante :

- longueur, largeur du céphalothorax
- longueur, largeur de l'abdomen.

Ces mensurations permettent d'obtenir une discrimination plus précise de certains groupes d'organismes marins (copépodes). Ces quatre paramètres sont à considérer de façon privilégiée. Ils seront utilisés sous forme normalisée indépendante du stade de croissance de l'individu :

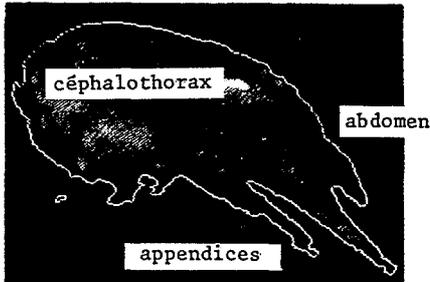


Figure IV.1

- $\frac{\text{longueur}}{\text{largeur}}$  : céphalothoracique
- $\frac{\text{longueur}}{\text{largeur}}$  : abdominale
- compacité :  $\frac{(\text{périmètre})^2}{\text{surface}}$
- longueur :  $\frac{\text{céphalothoracique}}{\text{abdominale}}$

Les dimensions du céphalothorax et de l'abdomen sont des grandeurs d'accès difficile car elles nécessitent l'extraction de sous-régions bien déterminées, ce qui constitue déjà un sous-problème de reconnaissance de formes.

#### IV.3 Séparation de l'abdomen et du céphalothorax

Nous avons envisagé deux procédures dont seule la deuxième a été retenue pour la mise en oeuvre. Avant de les exposer, notons les faits suivants (ceci est surtout valable pour les contours complexes des copépodes) :

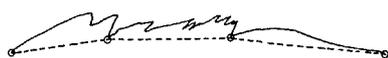
- l'exosquelette d'un zooplancton est décomposable en première approximation en sous-régions convexes. Le céphalothorax et l'abdomen qui sont des régions morphologiquement discriminantes et significatives et les appendices qui sont des régions peu discriminantes et non significatives,
- le céphalothorax peut être aisément extrait de la forme globale par filtrage des irrégularités que constituent sur le contour, abdomen et appendices,
- l'abdomen n'est pas distinct des appendices de part ses propriétés morphométriques. Il constitue un sous-ensemble convexe de la forme globale, issu d'un point concave du contour.

Comme on a pu le constater, la description de la région du contour correspondant à l'abdomen, est très délicate, par conséquent, son extraction constitue la difficulté majeure. Ainsi deux approches ont été envisagées :

##### IV.3.1 Approche syntaxique

Elle consiste à décomposer l'individu en sous-régions convexes. Cette méthode d'analyse structurale opère de façon hiérarchique sur la région initiale, puis sur ses régions filles. On aboutit ainsi à une structure de données arborescente (graphe). Les différentes régions canoniques peuvent être considérées comme les symboles d'une grammaire. On conçoit dès lors que l'analyse par décomposition en primitives débouche de façon naturelle sur une classification syntaxique. Un développement mathématique n'a pas sa place ici. Mentionnons simplement que la figure de départ doit être polygonale ce qui est le cas de nos contours (§ III). Le principe intuitif est de localiser les points convexes et de déterminer la plus grande projection convexe adjacente possible (fig. IV.2).

Figure IV.2



Ce processus appliqué à un contour de plancton (fig IV.3) permet d'une part, l'ajustement du céphalothorax par une ellipse, dont les paramètres nous informent sur l'élongation et la forme de l'individu et d'autre part, l'ajustement de l'abdomen par un triangle, dont la surface et la forme sont des facteurs caractéristiques de celui-ci.

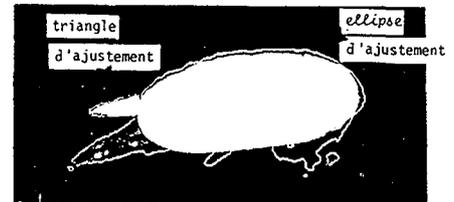


Figure IV.3

Cette méthode présente l'avantage de reproduire objectivement la taille et la forme des sous-régions, mais nécessite la mise en oeuvre d'un algorithme complexe dont on n'exploite que partiellement les résultats.

##### IV.3.2 Approche statistique

Pour surmonter les difficultés de discrimination déjà soulignées, on a réalisé une étude statistique sur les images à traiter afin de situer l'abdomen et faire par la suite des mensurations exactes sur l'individu. Les résultats de cette analyse effectuée sur un très grand nombre d'individus montrent que :

- la position du centre de gravité est invariante par rapport aux points extrêmes des deux axes principaux d'inertie,
- la longueur du rayon vecteur maximum issue du centre de gravité vers le contour nous permet de situer la zone postérieure de l'individu. On détecte toujours dans cette partie la présence de l'abdomen et une partie ventrale,
- la longueur du rayon vecteur minimum permet de situer les appendices présents sur le côté ventral de l'individu. Ces trois résultats fondamentaux ont été exploités pour séparer l'abdomen du céphalothorax

##### Localisation de l'abdomen

Le problème d'extraction de l'abdomen se ramène à un problème de détection d'un événement précis sur un signal. On conçoit que les méthodes employées seront spécifiques au type de signal, et au type d'événement : on cherche en effet, à réaliser un dispositif sensible à l'apparition de tel événement précis (présence ou absence de l'abdomen). Vu la diversité des problèmes rencontrés, une grande variété de techniques a été employée. On peut citer les méthodes de recherche directe d'un événement sur un signal numérique, l'intercorrélation du signal avec une forme d'événement théorique, le filtrage dans des bandes adaptées, etc... Parmi ces méthodes, la première nous intéresse particulièrement car d'une part, on ne dispose pas de modèle spécifique à chaque forme d'individu et d'autre part, il est très difficile de déterminer les bornes du filtre à introduire.

La première solution envisagée pour localiser l'abdomen traite directement à partir des coordonnées spatiales du contour bidimensionnel. L'algorithme consiste, moyennant les constatations faites auparavant, à constituer des zones caractéristiques des formes pour leur représentation. Pour cela, on a défini deux zones sur l'individu (figure IV.4) :

- une zone riche groupant la plupart des informations contenues dans la partie postérieure (abdomen, appendices, pattes, etc...)
  - une zone pauvre incluant la partie antérieure de l'individu. Celle-ci est symétrique à cette dernière par rapport au deuxième axe d'inertie.
- Pour situer la zone riche, il suffit de chercher dans un "Buffer" contenant les paramètres de position et d'orientation (§ III.2), mémorisés lors de la phase de segmentation, ceux qui localisent le rayon vecteur maximum et le rayon vecteur minimum. En effet, ces paramètres représentent respectivement, les parties postérieure



COMPTAGE DU ZOOPLANKTON PAR ANALYSE D'IMAGE-AUTOMATISATION DE L'EXTRACTION DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES DU ZOOPLANKTON  
 Zooplankton count using image analysis-Automation of the extraction of zooplankton morphometric parameters  
 S. Latrous J. Boucher

et ventrale de l'individu (points B1 et A1 sur la fig. IV.4).

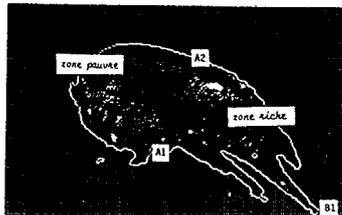


Figure IV.4

Afin de localiser l'abdomen on procède à une exploration de la zone riche, par détection des aspérités. Celles-ci seront ensuite distinguées les unes des autres puis restituées dans des intervalles correspondant soit à l'abdomen (entre A2 et B1) soit aux appendices (entre A1 et B1). L'inconvénient essentiel de cette procédure est qu'elle est liée étroitement à un repère et qu'il est très difficile d'apprécier l'allure générale du contour (problème d'annulation de la dérivée). Pour se libérer de cette contrainte, on considère la forme non plus par ses coordonnées spatiales mais par les caractéristiques intrinsèques, définies indépendamment de l'orientation et de la position, facilement reliées à l'échelle. Pour cela, on introduit une nouvelle représentation des contours dans un repère absolu. Celui-ci est obtenu en se ramenant à une distribution monodimensionnelle  $R(\theta)^*$ , appelée profil centroïde de la forme délimitée par la courbe. On a ainsi ramené une étude à deux dimensions à une étude à une dimension. Il est bien évident qu'un changement de point origine sur le contour entraîne une translation du profil centroïde. Pour comparer les individus, on a choisi comme origine commune le point A2, situé à l'opposé du rayon vecteur minimum (A1) par rapport à G. Alors il serait facile de mesurer leurs différences de formes soit à l'aide de l'écart quadratique, soit en se limitant à une détection des pics, qui constituent les événements les plus significatifs et caractéristiques de la forme de l'individu analysé.

Détection des pics  
 Le problème de détection de l'abdomen se ramène donc à un problème de détection de pics sur une courbe (fig. IV.6). L'algorithme mis au point est valable quels que soient l'orientation, les translations et le point de départ sur le contour détecté. Il procède de la manière suivante :

1ère étape : on repère sur la courbe représentée par la figure IV.6 le maximum et le minimum absolu qui correspondent respectivement aux points B1 et A1 de la figure IV.5.

2ème étape : on recherche le deuxième minimum (point A2 sur la courbe). Ce dernier est opposé à A1 par rapport à G sur le contour. La solution adoptée consiste à calculer une fenêtre centrée sur le point A1 de largeur deux fois la valeur absolue du secteur formé par les rayons vecteurs  $r_{A1}$ ,  $r_{B1}$ . C'est en dehors de cette fenêtre que s'effectue la recherche du deuxième minimum.

3ème étape : on réorganise la table contenant les paramètres de position et d'orientation en prenant le point A2 comme référence (figure IV.7). La recherche du deuxième maximum sera ainsi très simplifiée. Mais, suivant le profil de l'individu et grâce à sa symétrie deux cas de figures peuvent se présenter (fig. IV.8 et IV.9)

Extraction de l'abdomen  
 A l'aide des points A1, B1 et A2, B2 et en suivant les cas cités précédemment, on transforme la courbe des rayons. On n'explore que la partie représentant la zone postérieure qui inclut l'abdomen et une partie ventrale. On repère sur la courbe les points C et D. Ces derniers caractérisent les pics de l'abdomen. Le point E est déterminé en se déplaçant sur la courbe d'une distance égale à CD à partir du point C (figure IV.10)

ton utilisent des paramètres facilement accessibles, mais qui ne permettent pas une discrimination fine des espèces. L'extraction automatique décrite ici permet l'obtention rapide de paramètres locaux mieux adaptés à la description des formes planctoniques. Ces descripteurs spatiaux caractérisent mieux les copépodes qui présentent la catégorie dominante des organismes zooplanktoniques rencontrée lors du dépouillement. Sur la figure IV.11, on a illustré le caractère discriminant de ces descripteurs en exprimant la forme compliquée des individus par une courbe monodimensionnelle simple, sur laquelle doivent d'effectuer les mensurations retenues. Ces paramètres constituent pour chaque organisme marin analysé un vecteur caractéristique représentatif de l'une des classes d'individu à identifier.

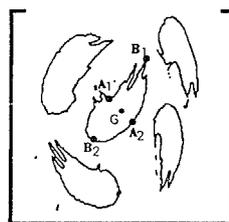


figure IV.5 Différents organismes marins (copépodes)

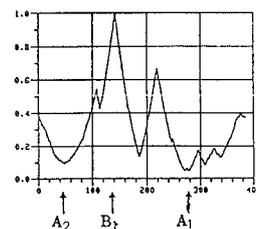


figure IV.6 Profil centroïde du contour central

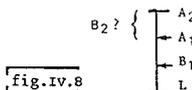


fig. IV.8

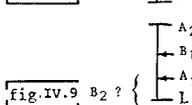


fig. IV.9

```
PARAMETRES SPATIAUX
*****
COMPACITE:PIXX2/S
P1 = 9.40545
LONG/LARG : CEPHALOTHORACIQUE
P2 = 2.43902
LONG/LARG : ABDOMINALE
P3 = 1.25000
LONG: ABDO/CEPHA
P4 = 5.00000E-02
```

figure IV.10

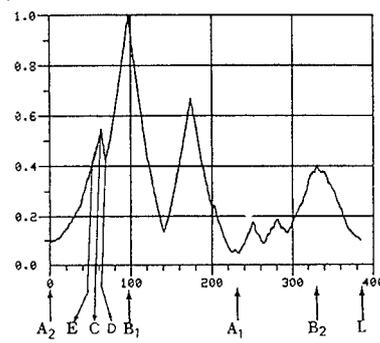


figure IV.7 Profil centroïde après transformation

BIBLIOGRAPHIE

[1] J.S.Weszka, R.N.Nagel and A.Rosenfeld, "A Threshold Selection Technique", IEEE Trans. on comp., 12(1974), pp. 1322-1926  
 [2] C.H.K.Chow and T.Kaneko, "Boundary detection of radiographic images by threshold method", Compt. biomed res. 5, (1972), pp. 388-410  
 [3] Nobuyuki OTSU, "A threshold selection method from gray level histograms", IEEE Trans. on Syst. man, and cybernetics, vol. SMC-9, n° 1, January 1979  
 [4] K.Fukunaga, "Introduction to statistical Pattern Recognition", New York : Academic Press, 1972, pp.260-267  
 [5] S.Latrous, "Codage des images de télévision sous-échantillonnées : restitution spatio-temporelle -DEA Traitement de l'information Univer. Rennes I - CCETT, juin 1981  
 [6] H.P. Jefferies, K. Sherman, R. Maurer and C.Katsinīs "Computer processing of zooplankton samples", In : V.C. Kennedy (Ed.), Estuarine Perspectives, Academic Press, New York, (1980), pp. 303-316.

\* La courbe  $R(\theta)$  représente en coordonnées polaires le rayon vecteur issu du centre de gravité de la surface délimitée par le contour bidimensionnel défini dans § III.

V-CONCLUSION

Les systèmes existants de classification du zooplanc-

COMPTAGE DU ZOOPLANCTON PAR ANALYSE D'IMAGE-AUTOMATISATION DE  
 L'EXTRACTION DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES DU ZOOPLANCTON  
 Zooplankton count using image analysis-Automation of the extraction  
 of zooplankton morphometric parameters  
 S. Latruus J. Boucher

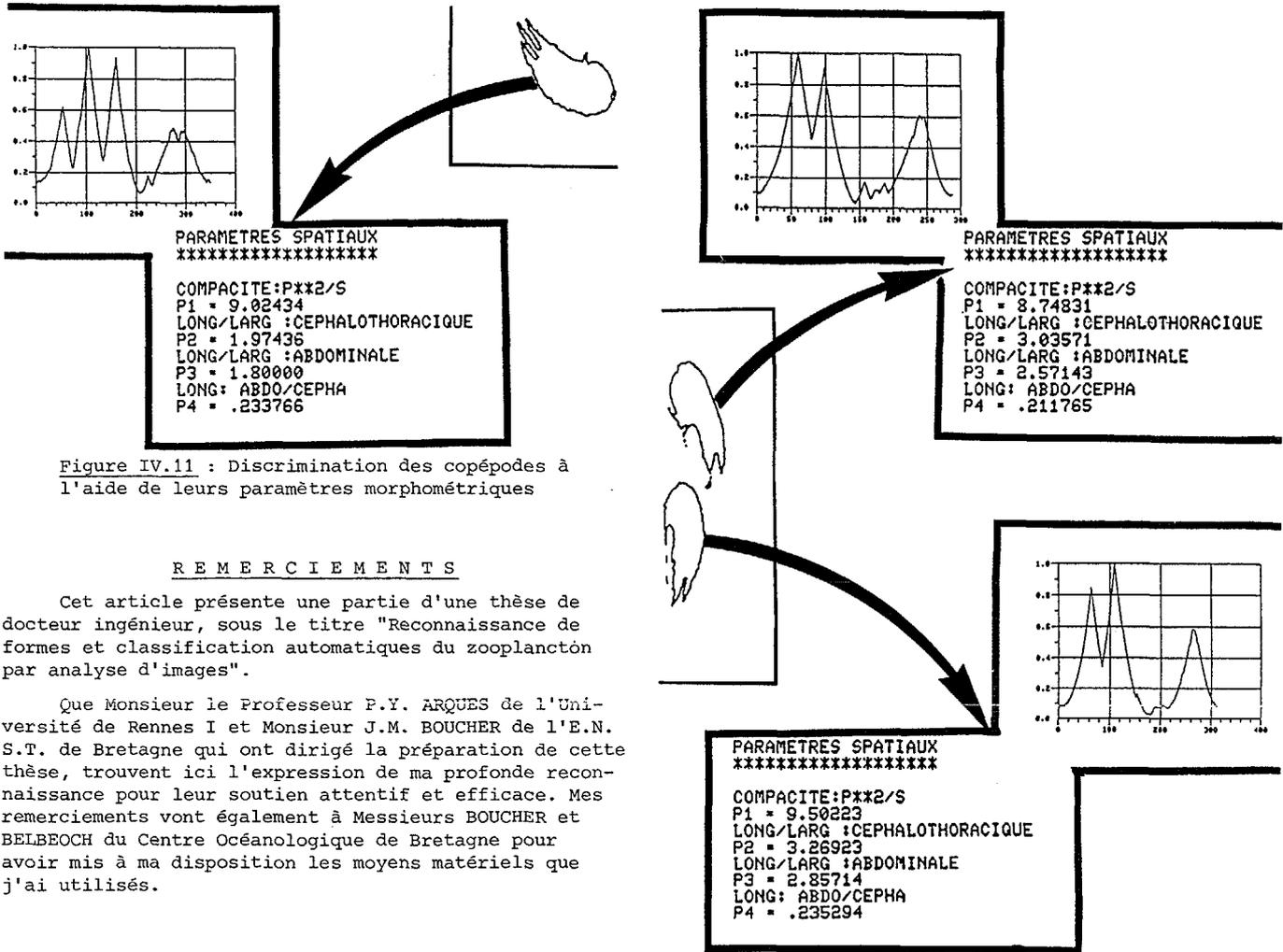


Figure IV.11 : Discrimination des copépodes à l'aide de leurs paramètres morphométriques

REMERCIEMENTS

Cet article présente une partie d'une thèse de docteur ingénieur, sous le titre "Reconnaissance de formes et classification automatiques du zooplancton par analyse d'images".

Que Monsieur le Professeur P.Y. ARQUES de l'Université de Rennes I et Monsieur J.M. BOUCHER de l'E.N. S.T. de Bretagne qui ont dirigé la préparation de cette thèse, trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour leur soutien attentif et efficace. Mes remerciements vont également à Messieurs BOUCHER et BELBEOCH du Centre Océanologique de Bretagne pour avoir mis à ma disposition les moyens matériels que j'ai utilisés.