



HAL
open science

Estimation de mouvement de civelles par méthodes différentielles

Franck Luthon, Nawal Eldrogi, Benoît Larroque, Valérie Bolliet

► **To cite this version:**

Franck Luthon, Nawal Eldrogi, Benoît Larroque, Valérie Bolliet. Estimation de mouvement de civelles par méthodes différentielles. 2019. hal-02196461v1

HAL Id: hal-02196461

<https://hal.science/hal-02196461v1>

Preprint submitted on 28 Jul 2019 (v1), last revised 17 Feb 2023 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Estimation de mouvement de civelles par méthodes différentielles

Franck LUTHON^{1,4} Nawal ELDRGI¹ Benoît LARROQUE^{2,4} Valérie BOLLIET^{3,4}

¹LIUPPA Laboratoire d'informatique, Université de Pau & Pays de l'Adour UPPA, Anglet, France

²SIAME Laboratoire des sciences de l'ingénieur appliquées, UPPA, Anglet, France

³UMR ECOBIOP Ecologie comportementale et biologie des populations de poissons, INRA/UPPA

⁴MIRA Fédération de recherche sur les milieux et ressources aquatiques (FED 4155)

Prenom.Nom@univ-pau.fr

Résumé – Le suivi de déplacement d'animaux pose parfois des problèmes techniques liés à l'espèce, son stade de développement ou son milieu de vie. Pour étudier la migration de civelles d'anguille, les biologistes reproduisent les inversions de courant de marées en laboratoire et font un marquage individuel à l'aide d'élastomère coloré. En travaillant manuellement sur des enregistrements vidéo, ils identifient chaque individu et s'intéressent à leur sens et vitesse de déplacement. Dans ce travail préliminaire, le mouvement des civelles est estimé par les méthodes de flux optique grâce aux approches différentielles. L'algorithme de Lucas et Kanade permet de déterminer le sens et la vitesse de déplacement, tandis que celui de Horn et Schunck précise le mouvement ondulatoire des civelles. Ces informations pourraient aider les biologistes à estimer la dépense énergétique liée à la nage, l'objectif à terme étant d'automatiser les mesures.

Abstract – Motion analysis of living animals might help to understand the dangers that threaten the species, but it is sometimes technically challenging. This is particularly true for the study of migrating fishes. Here, we investigate the use of computer vision for automatic tracking and acquisition of knowledge about the migratory behavior of glass eels. For that purpose, some eels are color-marked, then introduced into an experimental medium reproducing tidal conditions. Observations are collected in video sequences. To get information about fish behavior, one can track their motion by optical flow methods. This article addresses the task of estimating the motion of eels by two differential methods: algorithms of Horn & Schunck and Lucas & Kanade. Preliminary results show that one can estimate the speed but also the swimming behavior, hence eventually leading to energetic information about the animals.

1 Introduction

En biologie, le suivi du déplacement d'animaux pose parfois des problèmes techniques, liés aux caractéristiques des espèces et des stades de développement. L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) présente par exemple un cycle de vie complexe, avec une reproduction en mer des Sargasses, une phase larvaire qui traverse l'océan atlantique et un stade juvénile, la civelle, qui remonte les estuaires pour effectuer sa croissance en rivière. Pour cette remontée, les civelles nagent en suivant les courants de marée montante, et redescendent vers le substrat à marée descendante. Il a néanmoins été démontré que cette migration estuarienne est facultative, certains individus renonçant à rejoindre les rivières et s'installant en estuaire, voire en mer. Une meilleure compréhension du déterminisme de la migration estuarienne des civelles est d'un intérêt crucial pour cette espèce menacée, car les individus se sédentarisant à l'aval donnent plutôt des mâles, alors que ceux colonisant l'amont, surtout des femelles. Pour étudier cette migration, il est possible de reproduire les courants de marée en laboratoire et d'observer le comportement de nage des individus. Les difficultés majeures concernent l'animal lui-même, qui est transparent et se déplace principalement de nuit ou à très faible

luminosité. Pour suivre les civelles, chaque individu est marqué par VIE Tag (*Visible Implant Elastomer*) [1]. Ce marquage consiste à implanter sous la peau une pointe d'élastomère de couleur, visible sous UV. Le suivi des individus se fait sur enregistrements vidéo mais il représente un travail fastidieux, actuellement non automatisé. Les paramètres qui intéressent les biologistes sont principalement le sens de déplacement des civelles (avec ou contre le courant) et leur vitesse. Toute mesure permettant d'évaluer la dépense énergétique est également recherchée, car les civelles jeûnent durant la migration, et leur statut énergétique pourrait jouer un rôle important dans le potentiel migratoire.

En vision par ordinateur, l'estimation de mouvement est intéressante pour de nombreuses applications : poursuite d'objets (militaire, vidéo-surveillance, robotique), analyse de comportement complexe (mouvement du corps humain, météorologie), analyse médicale (suivi de contractions cardiaques, détection d'infarctus). L'estimation de mouvement consiste à calculer le déplacement de chaque pixel d'une image ou région en mouvement pour obtenir des vecteurs représentant la vitesse, en faisant l'hypothèse que l'intensité lumineuse est conservée au cours du déplacement. Le mouvement apparent à partir des changements de la distribution spatiale d'intensité est appelé

flux optique. Il existe diverses méthodes d'estimation du flux optique que l'on peut classer en quatre catégories : méthodes différentielles, méthodes fréquentielles, méthodes de mise en correspondance de blocs et méthodes basées sur des modèles paramétriques de mouvement [2, 3]. Ici, nous utilisons les méthodes différentielles qui ont l'avantage d'être précises et faciles à mettre en œuvre. Du fait de sa nature différentielle, l'équation du flux optique permet une estimation sous-pixelique du mouvement. Enfin, la mesure du mouvement ne nécessite qu'un calcul local des dérivées spatio-temporelles de la séquence. La principale limitation des méthodes différentielles est leur fondement basé sur les hypothèses d'intensité lumineuse invariante dans le mouvement, et de déplacements faibles. Pour des déplacements plus importants, il est néanmoins possible de résoudre le problème par des approches multirésolution (construction d'une pyramide de séquences d'images successivement filtrées et sous-échantillonnées).

L'objectif de ce travail préliminaire est d'utiliser les méthodes différentielles pour estimer le mouvement des civelles d'anguille, déterminer le sens de leur déplacement et évaluer leur vitesse. L'article est structuré comme suit : la section 2 présente le contexte expérimental. Ensuite on rappelle les principes d'estimation de mouvement pour calculer un champ de vecteurs-vitesses. La section 4 décrit l'approche de traitement proposée. Enfin nous présentons les résultats, avant de conclure.

2 Contexte expérimental

Pour réaliser cette étude, un aquarium en forme d'ovale, de longueur 1,50m et de largeur 0,50m, est séparé par une paroi rigide en son centre [1] (Fig. 1).

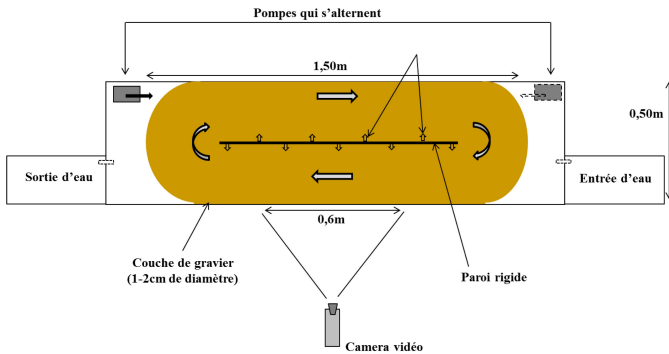


FIGURE 1 – Schéma de l'aquarium (vue de dessus).

Deux pompes, situées aux extrémités opposées de l'aquarium, permettent d'alternier les courants d'eau toutes les 6,2 heures reproduisant le rythme des marées. La température de l'eau est maintenue à $11 \pm 0.5^\circ C$. Une couche de gravier couvre le fond de l'aquarium. La vitesse du courant d'eau est en moyenne de 11 cm/sec. Une moitié des civelles est marquée avec des combinaisons de couleurs (système de marqueur VIE, rouge, orange, vert, bleu) visibles sous UV quelles que soient les conditions lumineuses [4]. La taille moyenne d'une civelle est

de 7cm. La zone filmée concerne toute la colonne d'eau, sur une largeur de 60 cm. Des enregistrements vidéo de 15sec sont réalisés toutes les 40 min. La cadence vidéo est de 15 trames/s. La base de données contient plusieurs centaines de vidéos.

3 Estimation de mouvement

Les techniques d'estimation de mouvement consistent à mesurer le flux optique représentant les variations de la luminance entre deux images successives. Le principe repose sur l'hypothèse de conservation de l'intensité lumineuse d'un pixel le long de la trajectoire du mouvement. Dans une séquence vidéo, on le représente par sa fonction de luminance $I(x, y, t)$ où l'intensité I est invariante au mouvement entre deux instants t et $t + dt$. Si l'on note $I_x = \frac{\partial I}{\partial x}$, $I_y = \frac{\partial I}{\partial y}$ et $I_t = \frac{\partial I}{\partial t}$, les 3 composantes du gradient, et $u = \frac{dx}{dt}$, $v = \frac{dy}{dt}$, les 2 composantes de vitesse selon les directions (x, y) , l'équation du flux optique (appelée équation de contrainte du mouvement) se résume à :

$$I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (1)$$

Afin de trouver une solution unique pour les 2 composantes de la vitesse $V = (u, v)$, on a besoin de deux équations indépendantes, d'où la nécessité d'ajouter une contrainte supplémentaire pour résoudre ce problème mal posé. Selon le type de contrainte choisie, on obtient différentes méthodes dont les deux principales sont décrites ci-après.

3.1 Algorithme de Horn et Schunck

Cette méthode initiale de calcul du flux optique [5] combine l'équation de contrainte du mouvement avec une régularisation globale, grâce à un terme de lissage portant sur la somme des carrés des modules des gradients des composantes de vitesse en minimisant l'équation suivante :

$$\int \int_D (\nabla I \cdot V + I_t)^2 + \alpha^2 (\|\nabla u\|^2 + \|\nabla v\|^2) dx dy \quad (2)$$

où le scalaire α est un coefficient de pondération qui permet de régler l'influence du terme de lissage (régularisation). Un algorithme itératif permet de minimiser l'intégrale sur un petit domaine D . Les équations itératives sont :

$$u^{k+1} = \bar{u}^k - \frac{I_x [I_x \bar{u}^k + I_y \bar{v}^k + I_t]}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (3)$$

$$v^{k+1} = \bar{v}^k - \frac{I_y [I_x \bar{u}^k + I_y \bar{v}^k + I_t]}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (4)$$

où k représente l'indice d'itération (conditions initiales u^0 et v^0 nulles), et (\bar{u}, \bar{v}) sont les valeurs moyennes calculées sur un voisinage pondéré.

3.2 Algorithme de Lucas et Kanade

Cette méthode repose sur une régularisation locale du champ de vitesses [6]. On suppose un mouvement local constant (translation) dans de petites régions Ω de l'image. Ceci s'exprime

par :

$$\min_{u,v} \sum_{p \in \Omega} W^2(p) [I_x(p)u + I_y(p)v + I_t(p)]^2 \quad (5)$$

où $W(p)$ correspond à une fonction de fenêtrage (pondération) permettant de donner plus d'influence aux pixels p au centre du voisinage plutôt qu'à sa périphérie. En appliquant la méthode d'estimation des moindres carrés pondérés, on trouve :

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum W^2 I_x^2 & \sum W^2 I_x I_y \\ \sum W^2 I_x I_y & \sum W^2 I_y^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sum W^2 I_x I_t \\ -\sum W^2 I_y I_t \end{bmatrix} \quad (6)$$

Cette méthode différentielle locale est intéressante car chaque calcul sur une petite fenêtre est indépendant des autres. Les résultats sont par ailleurs peu sensibles au bruit.

4 Méthode de traitement proposée

Notre algorithme se compose des étapes suivantes (Fig. 2) :

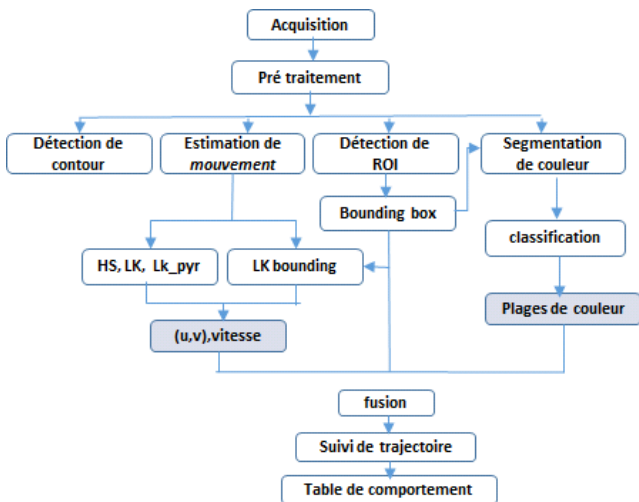


FIGURE 2 – Schéma de traitement.

- **acquisition** : la taille d'image est 1280×960 . On transforme les images RGB en HSV en raison de l'indépendance des composantes dans cet espace colorimétrique.
- **pré-traitement** : on applique des techniques classiques de filtrage aux données brutes, notamment le filtrage passe-bas (moyenneur) pour réduire le bruit.
- **traitements** : pour extraire les informations des civelles de la séquence vidéo (vitesse, sens, trajectoire, type de marquage couleur), on met en œuvre les quatre traitements ci-après :
- **détection de contours** : le principe repose sur le calcul des dérivées spatiales de l'intensité I dans l'image. Ici, on utilise un filtre basique de gradient morphologique.
- **détection de régions d'intérêt (ROI)** : consistant à :
 - transformer l'image en image binaire par un seuillage
 - appliquer une opération de lissage morphologique

- détecter les groupes de pixels connectés (objets) et déterminer les paramètres de chaque objet tels que : nombre de pixels, bord gauche, bord droit, bord haut, bord bas. On définit ainsi un rectangle (boîte englobante) pour chaque objet.
- calculer leur centre de gravité.
- **estimation de mouvement** : on met en œuvre les 2 méthodes différentielles décrites en section 3
- **segmentation couleur** : on utilise la méthode des K moyennes pour déterminer la classe d'appartenance de chacune des taches couleur (bleu, vert, rouge ou orange).
- **fusion** : après extraction des informations par les 4 phases principales (contour, mouvement, ROI, couleur), on les fusionne pour déterminer le sens de nage et la vitesse des poissons et faire le suivi de trajectoire. A ce stade de l'étude, on a juste fusionné les résultats de la segmentation couleur avec l'estimation de mouvement (déterminer la couleur de chaque marquage et calculer sa vitesse).
- **archivage** : on stocke les résultats de la fusion dans une table qui contient toutes les informations sur le comportement des civelles, utiles au biologiste.

5 Résultats

Dans l'objectif de fournir les informations fondamentales de comportement de nage des civelles (sens et vitesse) répondant au premier besoin des biologistes, on présente d'abord les résultats obtenus avec l'algorithme de Lucas & Kanade. Ensuite, on présente les résultats de l'algorithme de Horn & Schunck qui exhibe finement le mouvement d'ondulation des civelles. Les algorithmes s'appliquent sur deux images successives (illustré Fig. 3). L'image (a) comporte quatre civelles marquées : les deux premières se trouvent en bas à gauche dans l'image, l'une avec un marquage double orange-orange court (rapproché) codé OOC, et la deuxième, juste au dessus, avec un marquage double orange-rouge long (espacé) codé ORL ; la troisième se trouve au milieu de l'image avec un marquage double vert-vert long (code VVL), et la quatrième se situe à droite avec un marquage double bleu-vert court (code BVC). Le sens du courant dans cette séquence va de la droite vers la gauche de l'image. Les civelles OOC et ORL nagent avec le courant, tandis que VVL et BVC nagent à contre-courant.



(a) instant t

(b) instant $t + dt$

FIGURE 3 – Deux images successives typiques en nocturne (sens du courant de marée vers la gauche : \leftarrow)

5.1 Résultats avec Lucas & Kanade

On prend des petites fenêtres Ω de taille 40×40 pixels (avec recouvrement). Sur la Fig. 4a, on voit dans chaque fenêtre que les flèches ont une orientation globale correspondant au sens de déplacement des civelles. La Fig. 4b montre un zoom du champ de vecteurs de la zone centrale (c) : les flèches ont une taille identique, avec 2 orientations distinctes, traduisant la présence d'une seule civelle (tête et queue) qui se déplace vers le côté inférieur droit de l'image. On peut donc distinguer le sens et la vitesse relative de civelles.

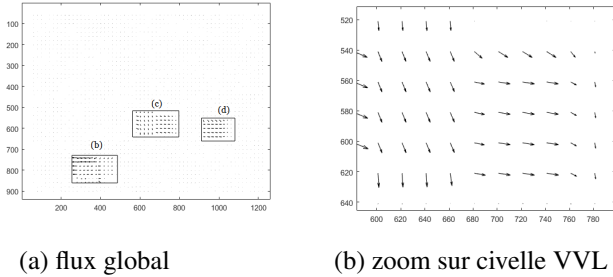


FIGURE 4 – Champ de vecteurs-vitesses avec Lucas & Kanade.

Pour quantifier la vitesse absolue des civelles, on traite la vidéo sous-échantillonnée à 1 img/s. D'abord on détecte les ROI des taches-couleurs comme décrit en section 4; puis on applique l'algorithme de Lucas & Kanade en chaque centre de gravité des ROI, pour estimer la vitesse de chaque tache en module et direction : $\|\vec{v}\| = \sqrt{u^2 + v^2}$ et $\theta = \arctan\left(\frac{v}{u}\right)$. Un exemple de résultat est montré sur la Fig. 5a. Ce traitement permet de distinguer deux allures différentes de vitesse entre les civelles dans le sens du courant, et celles nageant à contre-courant. Les valeurs de vitesse devront être comparées à la vérité terrain et aux résultats de [4]. Quant à l'ondulation de nage des civelles, elle peut s'observer avec les angles θ . Sur la Fig. 5b, on remarque deux types d'ondulation selon le sens de nage : si la nage est à contre-courant (CC), une variation importante existe entre les deux directions des deux taches de marquage couleur d'une civelle (tête et queue). Par contre, dans la nage avec le sens du courant (AC), les deux angles sont proches (ici $\approx -175^\circ$) traduisant un mouvement plutôt rectiligne.

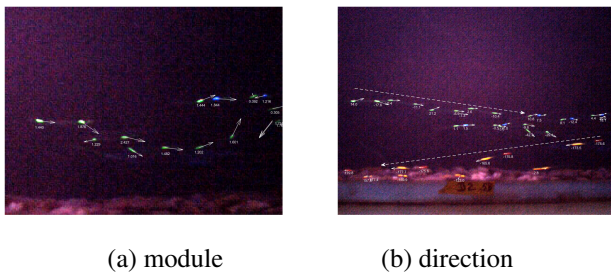


FIGURE 5 – Vecteurs-vitesses estimés des centres de gravité des ROI (sur une succession d'images) : (a) $\|\vec{v}\|$ en cm/s ; (b) θ en degrés : 2 sens de nage (AC \leftarrow et CC \rightarrow)

5.2 Résultats avec Horn & Schunck

On choisit ici le nombre d'itérations ($i = 11$) et le paramètre de lissage ($\alpha = 1$). La Fig. 6a montre un résultat typique du champ de vecteurs-vitesse sur l'image, avec un flux quasi nul dans les zones du fond (sans civelle mobile). La Fig. 6b est le zoom de la partie centrale : on voit le champ de vecteurs de la civelle VVL, qui donne 4 zones de champ avec deux orientations différentes des flèches : l'une vers l'intérieur de l'objet (convergence) et l'autre vers l'extérieur (divergence). La divergence et la convergence correspondent à la nage par ondulation d'une civelle. Le sens de nage peut être déterminé par cet indice (divergence, convergence). Par exemple ici, la civelle se déplace vers la droite. En conséquence, on peut déduire non seulement le sens de déplacement de la civelle, mais aussi son mouvement ondulateur.

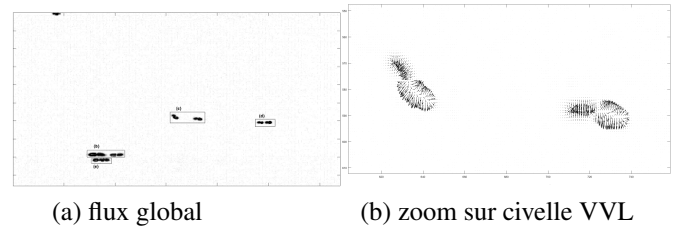


FIGURE 6 – Champ de vecteurs-vitesse avec Horn & Schunck : (a) champ global 1280×960 ; (b) champ zoomé 160×70 sur civelle VVL tête-queue (nage à contre-courant=CC)

6 Conclusion et perspective

Les méthodes différentielles sont appliquées ici au suivi de poissons. Le flux optique obtenu par la méthode de Lucas & Kanade permet de déterminer le sens de déplacement des civelles, suivant l'orientation moyenne des flèches du champ de vecteurs-vitesses dans les fenêtres considérées. L'application de l'algorithme au centre de gravité de chaque civelle permet également d'obtenir une estimée de la vitesse de déplacement.

La méthode de Horn & Schunck permet de préciser le mouvement ondulateur des civelles, ce qui pourrait être utilisé comme indicateur de la dépense énergétique liée à la nage. Les civelles adoptent différentes stratégies de nage (avec ou contre le courant), avec des vitesses plus ou moins grandes. Afin de mieux comprendre ces différentes tactiques de migration et leur coût énergétique, les biologistes espèrent pouvoir coupler ces mesures de vitesse et d'amplitude du mouvement à la perte de poids des civelles et à leur métabolisme.

Enfin, la perspective de cette étude est l'automatisation des mesures afin de réduire le temps de travail de l'observateur humain. En fusionnant les résultats des 4 phases de traitement de la section 4, l'objectif est de construire un outil permettant aux biologistes le suivi automatique des civelles intégrant sens de nage, vitesse et énergie d'ondulation. Le travail en cours porte donc sur l'usage du filtrage de Kalman pour assurer un suivi robuste en cas d'occultation ou discontinuité de mouvement.

Références

- [1] V. Bolliet and J. Labonne. Individual patterns of rhythmic swimming activity in *Anguilla Anguilla* glass eels synchronised to water current reversal. *J. Experimental Marine Biology Ecology*. 362 (2). pp.125-130, Août 2008.
- [2] A. Mitiche, and J.K. Aggarwal, Computer vision analysis of image motion by variational methods, *Springer Topics in Signal Processing*, Vol.10, 2014.
- [3] A. Bruhn, J. Weickert and C. Schnörr, Lucas/Kanade meets Horn/Schunck : combining local and global optic flow methods, *Int. J. of Computer Vision*, 61(3), pp.211-231, 2005.
- [4] J. Delcourt, M. Ylief, V. Bolliet, P. Poncin, and A. Bardonnet, Video tracking in the extreme : A new possibility for tracking nocturnal underwater transparent animals with fluorescent elastomer tags, *Behavior Research Methods*, Vol. 43(2), pp. 590-600, Mars 2011.
- [5] B.K.P. Horn and B.G Schunck, Determining optical flow, *Artificial intelligence*, Vol. 17, pp. 185-203, 1981.
- [6] B.D. Lucas, and T. Kanade, An iterative image registration technique with an application to stereo vision, *7th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 674-679, Vancouver 1981