

# Algorithme de contour actif appliqué à la poursuite d'avalanche

Bertrand Latombe, Patricia Planet-Ladret, Francesc Granada, Pierre Villemain

Université Joseph Fourier Grenoble  
 Laboratoire d'Instrumentation de Micro- informatique et Electronique  
 BP 53 38041 Grenoble Cedex 9  
 e-mail : pladret@lime.ujf-grenoble.fr

## RÉSUMÉ

Le traitement d'image est un outil de plus en plus utilisé dans l'étude des avalanches de neige, ceci dans le but de les prévenir. On présente ici un algorithme de contour actif spécifique à notre application : l'analyse du front des avalanches. Le but de cette étude consiste en l'extraction de paramètres dynamiques de l'avalanche à partir d'un simple film vidéo. La principale difficulté réside dans le manque évident de contraste de nos images, puisque nous avons à poursuivre un objet blanc sur un fond blanc. L'algorithme présenté repose sur le principe des contours actifs, où on recherche à minimiser une forme énergétique modélisant le contour de l'avalanche. Le résultat obtenu est une séquence de contour d'avalanche.

## ABSTRACT

Image processing is a tool increasingly used to study the dynamics of snow avalanches in order to prevent them. We here present a new algorithm for active contours in order to analyze the front motion of snow avalanches. The goal of this study is to extract the parameters of avalanche dynamics from a VHS video. The main difficulties lie in the nature of these images and particularly in the lack of contrast: we have to track a white deformable object on a white background in a sequence of images taken in often poor conditions. The result of the treatment is a sequence of contours linearly spaced in time. The algorithm uses an energy-minimizing curve.

## 1 Introduction

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet européen : SAME et est également financé par un Contrat Plan Etat Région et par le Pôle Grenoblois. Le projet SAME regroupe les différentes équipes de recherche européennes travaillant sur la compréhension, la modélisation et la prévention des avalanches. Les objectifs de ce projet sont d'une part de cartographier l'ensemble des zones à risque et d'autre part de comparer et de mettre en commun les différents systèmes de prévention des avalanches. Evidemment un travail amont sur la compréhension des phénomènes physiques des avalanches est nécessaire. Ce type d'étude est réalisé, en France, par le CEMAGREF, notre partenaire direct dans ce programme. L'étude de la dynamique des avalanches a produit de nombreux modèles. Mais la validation de ces modèles passe par la comparaison avec les phénomènes réels et donc par la comparaison de différents paramètres physiques. Le traitement d'image est utilisé ici pour apporter quelques données physiques du phénomène réel et en particulier vitesse et trajectoire de l'avalanche. Le traitement d'image est de plus en plus utilisé pour étudier la dynamique des avalanches. Un premier travail utilisant les techniques d'imageries a déjà été réalisé [8] où l'objectif consistait à estimer la vitesse en surface d'un écoulement avalancheux dense. Il s'agissait là d'une étude locale de la vitesse. Notre

travail a un but plus global que l'étude de la vitesse de l'avalanche puisque cette fois on va filmer l'avalanche dans sa totalité et étudier les modifications de son enveloppe.

L'avalanche est typiquement un objet déformable en mouvement. Naturellement, l'utilisation de modèles de contours déformables s'est imposé. L'utilisation de ces modèles pour extraire des caractéristiques pertinentes d'une image n'est pas récente et on la doit à Kass et son équipe [1]. Cet algorithme tient compte à la fois de l'intensité des pixels mais aussi d'un modèle de déformation. De nombreux travaux ont été menés pour réaliser la poursuite d'un objet déformable dans une séquence d'images. Tous ces travaux diffèrent par l'expression du modèle de déformation [2] [6] [3], ou par la formulation du modèle qui est soit discret soit continu [4] [5] [7]. L'algorithme que nous avons développé est un modèle discret et se rapproche plus du type de modèle d'Elomary.

## 2. Algorithme

Dans ce papier nous présentons un algorithme original de contour actif appliqué aux avalanches. Le modèle développé prend en compte les caractéristiques de l'avalanche. On introduit également un terme de continuité temporelle dans ce modèle. Les étapes principales de cet algorithme se décomposent en un prétraitement §2.1 puis en une étape

d'extraction de contour §2.2 et enfin du suivi de contour §2.3.

## 2.1 Prétraitement

Cette étape est très importante, car les avalanches sont filmées dans des conditions réelles à partir d'un simple caméscope posé sur un pied dans un environnement naturel où la caméra est souvent à la limite de la saturation (soleil sur la neige). On obtient alors une séquence d'image de qualité à peine moyenne comportant un niveau de bruit conséquent et surtout des variations de niveau de gris moyen entre deux images importantes induisant un "bougé" sensible dans l'image. La nature de ce bruit dû à l'acquisition semble venir de plusieurs sources :

- d'un bruit de convection thermique
- d'un bruit dû au capteur lui-même, celui-ci, étant toujours à la limite de la saturation.

Pour parer à ces inconvénients de prise de vue on a développé un algorithme de pré-traitement qui homogénéise tout au long de la séquence le niveau de gris moyen et corrige donc ce léger "bougé".

Les étapes de ce prétraitement sont :

- correction du mouvement apparent

Un simple bloc-matching est réalisé dans un fenêtre où aucun mouvement n'existe, cette fenêtre est choisie par l'utilisateur. La vitesse moyenne de cette scène normalement statique est calculée puis utilisée pour corriger le mouvement apparent sur toute la séquence. On fait l'hypothèse parfois pas toujours vraie que ce mouvement apparent est présent et similaire sur toute la séquence.

Cette correction apportée, l'algorithme va se reposer sur une séquence d'image «différence»

- calcul de l'image différence.

On choisit une fenêtre de référence [n x m], où n et m représentent la taille de cette fenêtre. On s'assure que dans cette fenêtre aucun mouvement n'existe et que l'avalanche de toute façon ne passera jamais dans cette fenêtre. On

calcul le niveau de gris moyen de cette fenêtre  $\bar{I}_{fixe}$ .

Soit  $I_t(i,j)$  l'intensité du pixel (i,j) à l'instant t.

$\forall (i,j) \in [n,m]$  :

$$\bar{I}_{fixe} = \frac{1}{mn} \sum_{i,j \in n \times m} (I_t(i,j) - I_0(i,j)) \quad (2.1)$$

On calcule ensuite l'image différence corrigée :

$\forall (i,j) \in [n,m]$  :

$$D_t(i,j) = |I_t(i,j) - I_0(i,j) - \bar{I}_{fixe}| \quad (2.2)$$

On obtient une séquence où chaque image représente l'avalanche au temps t et où deux images successives sont centrées autour du même niveau de gris moyen. C'est cette nouvelle séquence qui est par la suite

## 2.2 Extraction du contour

### 2.2.1 Expression du modèle

Le modèle développé est un modèle discret. Récemment de nombreux modèles [10] [11] ont été développés, ils sont bien adaptés aux images numériques. Chaque pixel est un site auquel on assigne un potentiel et des contraintes a priori définissent les relations entre ses sites. Dans un modèle continu, la contrainte de continuité est assurée par un terme énergétique. Ici dans notre modèle on introduit une contrainte entre les sites : le pas entre deux sites est fixe. Un contour actif (ou snake) est une courbe  $C(s)$  où s est la coordonnée curviligne. Le modèle est basé sur l'équation suivante :

$$E = \alpha E_{image} + E_{curv} \quad (2.3)$$

où E représente l'énergie globale,  $E_{image}$  le terme énergétique représentant l'information image et  $E_{curv}$  le terme énergétique traduisant l'hypothèse a priori faite sur le modèle : une contrainte de lissage spatial.

Cette énergie E est définie localement, l'énergie totale résultant ensuite de la somme des énergies locales.

On rappelle que l'image est en fait  $D_t$ .  $E_{image}$  est définie par l'équation :

$$E_{image}(i,j) = -(g_H(i,j)^2 + g_V(i,j)^2) \quad (2.4)$$

$$\text{où } g_H(i,j) = \sum_{k=-1}^{+1} \sum_{l=-1}^{+1} SobelH(i,j) * D_t(i+k, j+l) \quad (2.5)$$

$$\text{et } g_V(i,j) = \sum_{k=-1}^{+1} \sum_{l=-1}^{+1} SobelV(i,j) * D_t(i+k, j+l) \quad (2.6)$$

SobelH et SobelV étant les masques dérivatifs bien connus.

Le second terme  $E_{curv}$  exprime la contrainte de lissage faite sur la courbe  $C(s)$ . On tente ainsi de réduire les angles trop aigus. L'expression de cette énergie suit l'équation suivante :

$$E_{curv} = (\text{angle}(v(s-1), v(s), v(s+1)))^2 \quad (2.7)$$

où  $v(s)$  est pixel de coordonnée s appartenant à  $C(s)$ .

### 2.2.2 Algorithme

Le premier contour est initialisé par l'utilisateur le plus proche possible du contour réel. Ensuite l'algorithme d'extraction de contour suit le principe suivant :

- Calcul des énergies en chaque site.
- Chaque point est traité en fonction de l'énergie croissante.

Le modèle tient compte des caractéristiques physiques évidentes d'une avalanche. En effet il s'agit d'un objet déformable se dilatant. Il est clair que la force de gravitation ne peut que dilater au cours du temps la forme de cette avalanche. Ainsi on peut écrire qu'un contour à l'instant t doit être entièrement inclus dans un contour à l'instant t+1. Ceci nous permet de choisir un voisinage de recherche pour chaque pixel le long d'une perpendiculaire rentrante du contour (figure 1). La nouvelle position

de  $v(s)$  au temps  $t+1$  est obtenue en respectant l'équation suivante :

$$v(s, t+1) = \min_k (E(v(s, t) + kn_s)) \quad k \in [1, dist] \quad (2.8)$$

où  $n_s$  est le vecteur normal au point  $v(s, t)$  et  $k$  est un entier.  $dist$  est le nombre maximal de pas de recherche que l'on s'impose le long de cette perpendiculaire. C'est un paramètre de l'algorithme.

• La courbe, enfin, est nettoyée de ses points doubles, des boucles naissantes et on réarrange les points de façon à ce qu'ils aient toujours la même distance (inter) entre eux.

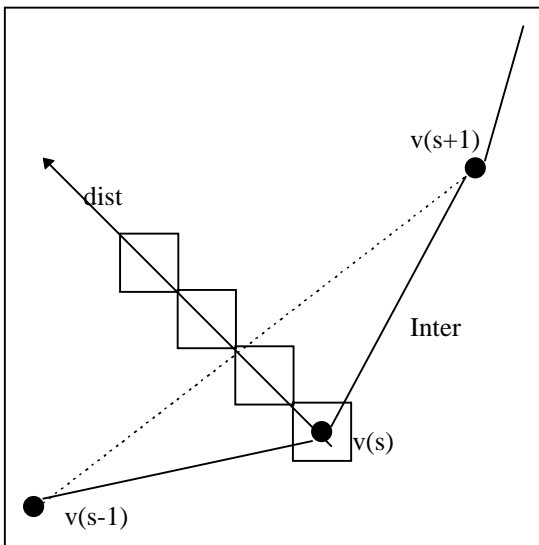


Figure 1 Recherche du contour

Le choix des paramètres de ce modèle  $\alpha$  et  $dist$  dépend beaucoup de la séquence. L'utilisateur doit avant de lancer l'algorithme rechercher les paramètres qui lui paraissent les meilleurs et il est vrai que cette phase là de l'algorithme reste à l'heure actuelle du domaine du « tâtonnement ». On a montré dans un précédent article [9] que ce choix pouvait être déterminant et qu'il était possible alors de converger vers un contour interne à l'avalanche. Cette phase est donc délicate, mais malgré tout le choix des coefficients n'est pas trop sensible et il suffit de trouver la plage de valeurs adéquate pour que quelque soit les coefficients appartenant à cette plage on obtienne de bons résultats.

### 2.3 Suivi du contour

L'algorithme de suivi est bien sûr basé sur l'algorithme d'extraction de contour.

Il est certain qu'un nouveau contour doit inclure dans sa globalité le contour précédent. On ne fait là que réaffirmer la loi de gravitation. Cette remarque nous permet d'utiliser pour chaque recherche de contour le précédent comme valeur initiale. Pour ceci on prend le contour précédent, on le dilate d'un nombre de pas suffisamment grand puis l'algorithme de recherche de contour (décrit au §2.2) converge vers le contour de l'avalanche en se contractant petit à petit. Il pourrait paraître plus simple d'utiliser une force dilatante (comme dans le modèle du ballon) et de

partir ainsi contour réel précédent. Mais l'algorithme serait alors bloqué tout de suite par un contour interne à l'avalanche puisque l'objet présente une texture interne changeant au cours du temps.

Cette étape de suivi de contour nous permet d'introduire un nouveau terme dans l'expression du modèle. En effet, il semble a priori évident qu'il y ait une certaine continuité entre deux contours successifs. L'avalanche est un objet se dilatant et entre deux images successives cette dilatation reste modérée. Nous introduisons donc un troisième terme dans le modèle qui nous sert de contrainte temporelle. Cette contrainte nous interdit une trop forte variation entre deux contours successifs.

Le modèle répond maintenant à l'équation suivante :

$$E = \alpha E_{image} + E_{curv} + \beta E_{temporal} \quad (2.9)$$

$\alpha$  et  $\beta$  sont des coefficients de pondération et comme dans le cas où on ne tient pas compte du terme temporel ils sont déterminés de manière empirique.

Ce nouveau terme  $E_{temporal}$  est construit de la manière suivante :

cette énergie est comme une image. On calcule pour chaque pixel sa plus petite distance avec le contour précédent. On obtient une image où le niveau de gris de chaque pixel représente sa distance avec le contour précédent. Ainsi on obtient un terme qui encourage la similarité avec le contour précédent. C'est très proche d'un lissage temporel.

## 3. Résultats

On montre les résultats obtenus sur une séquence d'images obtenue lors d'une manipulation sur le site d'expérimentation du CEMAGREF au Col du Lautaret. L'algorithme a réalisé le suivi de l'avalanche sur plus de 300 images. On a également dégagé 3 résultats précis correspondant respectivement au premier contour (Image 1), au 100<sup>ème</sup> contour (Image 2) et au dernier contour, le 300<sup>ème</sup> (Image 3). L'algorithme s'effectue sur toutes les images de la séquence, mais on a représenté ici que les contours correspondant à toutes les secondes après le premier contour, c'est l'image 4.



Image 1 Contour initial

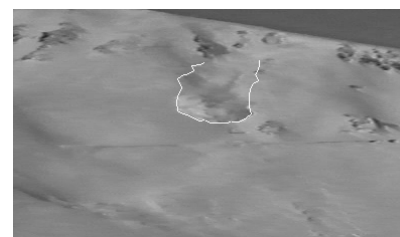


Image 2 100<sup>ème</sup> contour

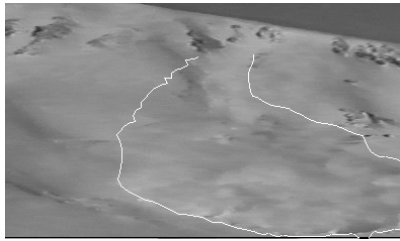
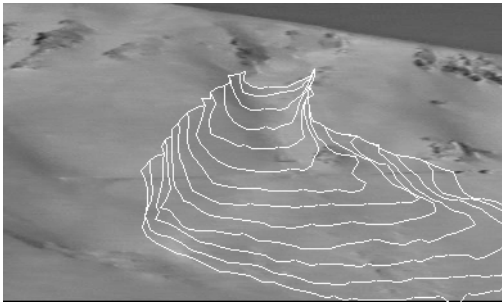
Image 3 300<sup>ème</sup> contour

Image 4 contours toutes les secondes

On remarque sur les trois premières images, où les contours sont tracés par dessus l'image traitée, que les contours définissent précisément l'avalanche, en particulier sur le front. Le résultat du suivi sur 300 images est pour nous un résultat très satisfaisant, nous démontrant par ailleurs la robustesse de notre algorithme, surtout qu'il s'agit de séquence filmée dans un site naturel avec toutes les contraintes que cela comporte.

## 4. Conclusion

Les résultats obtenus par cet algorithme répondent parfaitement à nos objectifs et sont très encourageants pour la suite. Ils permettront à nos partenaires d'évaluer la vitesse du front de l'avalanche. Cet algorithme de contours actifs voit son originalité en particulier dans l'introduction d'un terme de lissage temporel.

L'objectif maintenant consiste à comparer les résultats que donnent les modèles numériques d'avalanche avec la réalité. Ce travail est en cours chez nos partenaires du CEMAGREF, cet algorithme leur apportant un outil d'évaluation de leurs modèles tout à fait intéressant. Ce travail pourrait être également intéressant pour nos collègues travaillant sur la détection sismique des avalanches, car il pourrait les aider dans l'interprétation du signal sismique, pourvu qu'on localise parfaitement le temps 0 sur les deux capteurs. Cette piste est également poursuivie.

## Références

[1] Michael Kass, Andrew Witkin, and Demetri Terzopoulos. Snakes : "Active contour models", Int. J. Comput. Vision 1, 1987, 321-331.

[2] Bénédicte Bascle et Rachid Deriche, "Region tracking through image sequences", Proc. Int. Conf. Computer Vision, pp. 302-307, Boston, USA, June 1995.

[3] M. Maurizot, P. Bouthémy, B. Deylon, A. Juditski, J.M. Odibez. "Determination of Singular Points in 2D Deformable Flow Fields", 2nd IEEE International Conference on Image Processing, Arlington, USA, October 1995.

[4] Laurent D. Cohen, "Note on Active Contour Models Balloons", CVGIP : Image Understanding, Vol. 53, No. 2, March 1991 pp 211-218.

[5] Cootes T., Taylor C.J., Cooper D.H., Graham J., "Active shape models, their training and applications". CVGIP : Image understanding, Vol. 61, No. 1, pp. 38-59, 1994.

[6] Jacques Fayolle, Christophe Ducottet, Jean Azema, Martine Moine, "Etude de différentes méthodes de traitement d'images pour la mesure de déformations d'un nuage de particules", 6<sup>ème</sup> colloque national de visualisation et de traitement d'images en mécanique des fluides. Saint-Etienne, Juin 1995.

[7] Youcef Elomary, "Modèles déformables et multirésolution pour la détection de contours en traitement d'images", Thèse d'Université, Mathématiques appliquées, Grenoble, 24 octobre 1994.

[8] Francesc Granada, Olivier Marco, Pierre Villemain, "Utilisation des techniques d'imagerie pour la cartographie des vitesses à la surface d'une avalanche dense", La houille blanche, Grenoble, N°5/6, 1995.

[9] Bertrand Latombe, Patricia Ladret, Francesc Granada, Pierre Villemain, "An original active contour algorithm applied to snow avalanches". Sixth International Conference on Image Processing and its applications, Trinity College, Dublin, Ireland 15-17 July 1997.

[10] Lai K.F., "Deformable contours: modelin, extraction, detection and classification", PhD thesis, University of Wisconsin-Madison. 1994.

[11] Perez P, Gidas B., "Motion detection and tracking using deformable templates", Proc. Int. Conf. Image Processing, pp. 272-276, Austin USA. 1994