

DETECTION DE FAILLES GEOLOGIQUES PAR TRAITEMENT MORPHOLOGIQUE MULTI-SPECTRAL

Jocelyn Chanussot¹, Patrick Lambert¹, Gérard Vidal², Emmanuel Trouvé¹

¹ Laboratoire d'Automatique et de MicroInformatique Industrielle
LAMII / CESALP - Université de Savoie - BP 806 -74016 Annecy Cedex (CNRS-GdR G1047 - Information Signal Image)

² Laboratoire des Sciences de la Terre de l'ENS-Lyon - UMR CNRS 5570 - 69364 Lyon Cedex 07

{chanussot, lambert, trouve}@esia.univ-savoie.fr, Gerard.Vidal@ens-lyon.fr

Résumé - Ce travail présente une méthode de détection automatique de failles dans des images SPOT multi-spectrales, dans le rift Est-Africain du Kenya. Le principe de détection consiste dans la définition et l'utilisation d'opérateurs morphologiques adaptés à la détection automatique de failles. Ces opérateurs sont appliqués séparément sur chaque composante de l'image multispectrale et les résultats sont ensuite agrégés pour prendre la décision finale.

Abstract - The paper presents a method for automatic fault detection on multi-spectral SPOT images, in the east-african rift in Kenya. The principle of this work lies in the definition and the use of adequate morphological operators for the automatic faults detection. These operators are separately applied to each component of multi-spectral SPOT data and the results are aggregated to take the final decision.

1. Introduction

Cet article présente une méthode automatique de détection de failles dans des images multi-spectrales SPOT. Ces images proviennent du bassin de Bogoria, dans le rift Est-Africain du Kenya. Le paragraphe 2 donne le contexte géologique de l'étude, et justifie la nécessité d'une aide informatique auprès des photo-interprètes. Le paragraphe 3 détaille la technique envisagée, composée de deux étapes: un traitement morphologique marginal (§ 3.1), et une étape de fusion des résultats obtenus à plusieurs échelles sur chaque composante (§ 3.2). Le paragraphe 4 illustre cette approche et l'on donne quelques conclusions et perspectives (§ 5).

2. Contexte géologique [1], [2], [4]

Centrée sur le point de coordonnées (0.25 degrés Nord, 36.5 degrés Est), la zone d'étude se situe au Kenya et couvre environ 400 km². Elle appartient à la branche Est du rift Est-Africain, et constitue la partie nord du rift "Gregory". Dans l'est Africain, la croûte terrestre subit des contraintes tectoniques importantes provoquant l'extension et l'amincissement de l'enveloppe externe qui est affectée sur une profondeur de 35 km. Des phénomènes similaires se produisent également plus en profondeur et touchent le manteau supérieur de la croûte. Néanmoins les effets correspondants ne sont pas directement liés aux structures observées à la surface et ils ne seront pas traités ici. Les conditions de température et de pression, la nature des roches et les mouvements engendrés conduisent, dans cet environnement géologique, à la formation de failles dites «normales» ou «perpendiculaires», selon que les mouvements sont verticaux ou horizontaux. Malgré l'érosion, les escarpements correspondant aux failles «normales» peuvent communément atteindre plusieurs centaines de mètres. Dans la journée, l'ombre portée par chaque escarpement est alors clairement visible sur des images aéroportées ou satellitales.

Cartographier le réseau de ces failles est d'une grande importance pour comprendre la structure de la terre et son évolution. Des études et des mesures faites sur le terrain ont permis une bonne compréhension de la géométrie et du mécanisme du rift à une grande échelle (1/ 5000), mais l'extrapolation à de plus petites échelles est généralement influencée et biaisée par la perception subjective du géologue et ses connaissances a priori. L'analyse par photo-interprétation, notamment sur des images satellitales, est alors la meilleure solution pour avoir une mesure à de petites échelles (1/100000- 1/250000). Cette photo-interprétation est généralement réalisée manuellement. Nous proposons ici une méthode destinée à automatiser cette étape. Cela présente l'avantage de conduire à des mesures objectives, reproductibles et homogènes sur toute l'image ; cela rend également aisée l'extraction de paramètres quantitatifs qui peuvent aider l'interprète dans son expertise ou être intégrés dans un système d'informations géographiques (SIG).

3. Détection automatique des failles

Les images utilisées dans cette étude sont des images multi-spectrales SPOT. Les radiométries sont mesurées dans trois bandes du spectre électromagnétique (0.50-0.59 mm ; 0.61-0.68 mm ; 0.79-0.89 mm) dans le visible et proche infra-rouge où les observations sont peu influencées par la température. La résolution est de 20 m. La figure 3-a- présente une de ces images et le schéma général de traitement est résumé en figure 1.

3.1. Extraction marginale

Pour l'extraction, chaque composante est traitée séparément (approche marginale). Les failles recherchées présentent les caractéristiques suivantes:

✓ localement rectilignes: la longueur minimum d'une faille est de 41 pixels (800 mètres).

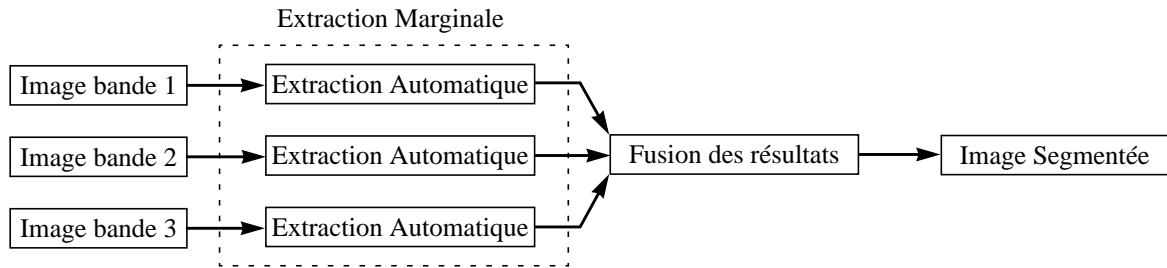


Fig. 1 : Schéma général de traitement

✓ étroites: on rencontre deux types de failles, selon que leur largeur maximale soit au plus de 11 pixels (200 m - type I) ou 21 pixels (400 m - type II).

✓ contrastées: les failles sont plus sombres que leur voisinage.

Le modèle envisagé étant essentiellement géométrique, une approche morphologique a été retenue [5]. Dans [9], l'utilisation d'opérateurs morphologiques pour une application similaire a également été proposée, en les couplant avec des gradients directionnels. Ici, le critère directionnel est directement intégré au niveau du traitement morphologique *via* l'utilisation d'éléments structurants anisotropes (segments rectilignes). Ainsi, la méthode proposée [7] est composée des opérateurs successifs suivants:

□ Pour élargir les failles et permettre la détection de failles d'un pixel de largeur, nous appliquons une simple érosion (qui dilate les zones sombres) sur chaque image originale I_0 . L'élément structurant utilisé est plan et de taille 3. Nous obtenons l'image I_1 :

$$I_1 = \varepsilon_3 (I_0)$$

□ L'élimination des structures claires est obtenue par une ouverture par reconstruction [6], avec un élément structurant plan de taille 21.

$$I_2 = \bar{\gamma}_{21} (I_1)$$

□ Nous éliminons ensuite les structures non rectilignes ou trop courtes pour ne garder que les failles dans lesquelles on peut aligner 41 pixels dans au moins une direction. Nous utilisons pour cela la fermeture obtenue en prenant le minimum (noté " \wedge ") de toutes les fermetures directionnelles (il y en a 80) construites avec un élément structurant linéaire de taille 41.

L'image I_3 est définie par:

$$I_3 = \wedge_{di} \{ \varphi_{di} (I_2) \}, \text{ avec } i \in \{1, \dots, 80\}$$

□ Enfin, nous éliminons les structures sombres trop larges en appliquant un chapeau haut de forme (élément structurant de taille p):

$$I_4 = \varphi_p (I_3) - I_3$$

Deux valeurs différentes de p sont utilisées (11 et 21) pour extraire respectivement les failles des deux types.

La décision finale est prise après seuillage par zéro, ce qui assure une indépendance des résultats vis-à-vis de l'importance du contraste.

□ Un post-traitement (filtre d'aire [8]) élimine les structures connexes qui ont une surface trop petite (moins de 300 pixels pour les failles du type I, moins de 10000 pixels pour les failles du type II).

3.2. Fusion des résultats

Il faut ensuite effectuer une double fusion des résultats: une première fusion des résultats obtenus dans chaque bande spectrale, puis une seconde des résultats obtenus aux deux échelles envisagées. La figure 2 présente le schéma de fusion utilisé. Entre les différentes bandes spectrales, nous avons choisi l'opérateur min (équivalent ici à une intersection). Opérateur conjonctif à comportement sévère, il limite les fausses alarmes. Ensuite nous fusionnons les deux échelles avec l'opérateur max (équivalent ici à une union).

Cela rejoint également le choix d'un opérateur conjonctif pour la fusion inter-composante : il vaut mieux fournir une sous-détection, mais avec un degré de confiance élevé, plutôt qu'une sur-détection, qui serait certes plus exhaustive, mais qui

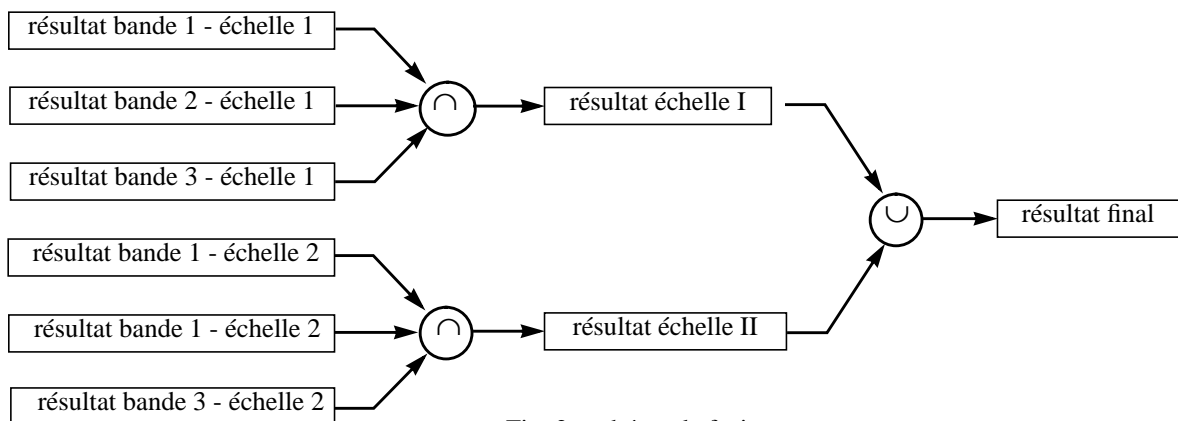


Fig. 2 : schéma de fusion

obligerait l'utilisateur à vérifier la pertinence de chaque proposition lors de son interprétation. Il vaut mieux laisser la possibilité d'ajouter manuellement les failles non détectées.

4. Résultats

Les résultats obtenus - après amincissement - (figure 3) sont qualitativement très satisfaisants: quelques petites failles n'ont pas été détectées, mais il y a globalement très peu de fausses alarmes, grâce à la fusion conjonctive entre composantes. Ce résultat est d'ailleurs confirmé par l'observation des résultats des détections fournies dans une seule bande - avant amincissement - (figure 4). Quelques structures linéaires, comme les rivières, sont considérées comme des failles, ce qui peut être une source d'erreur. Ce problème peut être résolu en prenant en compte des informations complémentaires sur la localisation du réseau fluvial. Quelques portions de failles non détectées par la méthode automatique et détectées par l'opérateur humain correspondent à des situations de faible rapport signal à bruit où la faille a été tracée manuellement en tenant du contexte géologique. Cette interprétation pourrait très bien être effectuée sur la détection automatique.

L'histogramme des directions (figure 5-a et 5-b) est obtenu avec une précision de 2,5 degrés (ceci correspond aux 80 directions envisagées). La figure 5-a fait clairement apparaître les deux directions principales du réseau de failles (repères 1 et 2). La figure 5-b, qui est un zoom du centre de la figure 5-a fait apparaître une troisième direction (repère 3) qui est beaucoup moins présente. On y retrouve, avec des importances très différentes, les trois principales directions connues des géologues [3].

Il convient de noter que, pour cette application, l'ajout éventuel d'une étape de reconnexion des résultats est à manier avec précaution. En effet, l'utilisation de ce post-traitement repose basiquement sur une hypothèse de connexité globale du réseau recherché : les routes, comme les fleuves et les rivières, sont généralement continues, il est donc légitime de connecter deux segments relativement proches et alignés. Par contre, dans le cas des failles, cette hypothèse n'est plus valide : une faille peut s'arrêter subitement, puis reprendre quelques mètres plus loin. L'espace intermédiaire ne doit cependant pas être comblé a priori.

5. Conclusion

En conclusion, les résultats préliminaires obtenus pour cette application sont encourageants. Le détecteur de lignes fournit simplement et rapidement une carte du réseau de failles qui est directement interprétable par le thématicien. Celui-ci peut disposer de quelques paramètres, simples à régler, afin d'orienter la détection de telle ou telle manière :

- ✓ l'augmentation de la taille du filtre d'aire conduit à supprimer des fausses alarmes, mais également les failles de petite taille,
- ✓ l'augmentation du seuil lors de la prise de décision réduit également le nombre de fausses alarmes, mais supprime les failles qui sont faiblement contrastées,
- ✓ la réduction de la taille du chapeau haut-de-forme permet de ne sélectionner que les failles les plus étroites,
- ✓ enfin, en raccourcissant la longueur des éléments structu-

rants linéaires utilisés, la détection sera plus complète, mais le nombre de fausses alarmes plus élevé.

De plus, au delà de la simple cartographie, l'analyse automatique de la détection effectuée peut fournir une aide à l'interprétation pour l'utilisateur.

Les perspectives de ces travaux s'inscrivent à deux niveaux:
✓ l'amélioration de la détection : afin d'obtenir une cartographie exhaustive des réseaux de failles, des études complémentaires peuvent être menées au niveau du détecteur de lignes (modèle plus réaliste de faille, utilisation conjointe d'autres détecteurs), ainsi qu'au niveau de la fusion multi-spectrale des résultats (opérateur peut être un peu moins sévère que l'intersection

✓ le développement de l'aide à l'interprétation par une étude plus approfondie de la carte des failles obtenue (distribution spatiale des détections, distribution spatiale de leur orientation).

Bibliographie

- [1] P. Davy, A. Sornette & D. Sornette - "Some consequences of a proposed fractal nature of continental faulting - Nature", vol. 21 - december 1993 - pp1107-1110
- [2] J.J. Walsh & Watterson - "Distribution of cumulative displacement and seismic slip on a single normal fault surface" - J.Struct. Geol., Vol. 9 n. 8 - 1987 - pp 1039-1046
- [3] G. Vidal - "Characteristics of the Gregory Rift (Kenya) dynamics, ground structural analysis and remote sensing" - Acta Astronautica - Congress vol. 15 n. 6/7 - 1987
- [4] J. Chorowicz, J. LeFournier & G. Vidal - "A model for Rift development in Eastern Africa" - Geol. Journal vol. 22 - 1987 - pp 495-513
- [5] J. Serra - "Morphological Filtering : an Overview" - Signal Processing - vol. 38 - 1994 - pp 3-11
- [6] J. Crespo, J. Serra & R.W. Schafer - "Theoretical aspects of morphological filters by reconstruction" - Signal processing 47 - 1995 - pp 201-225.
- [7] J. Chanussot "Approches vectorielles ou marginales pour le traitement d'images multi-composantes", Thèse de Doctorat, Université de Savoie, Novembre 1998.
- [8] L. Vincent - Grayscale area openings and closings, their efficient implementation and applications - "Mathematical Morphology and its Applications to Signal Processing" - Serra & Salembier Ed. - Barcelona, Spain - May 1993 - pp 22-27.
- [9] A. Legeley-Padovani & C. Mering - "Apport des opérateurs de morphologie mathématique à l'extraction des failles à partir d'images SPOT panchromatiques, exemple de la faille de Hualca-Hualca (Pérou)" - Photo Interpretation - n° 1997/3-4 - 1997 - pp 209-223

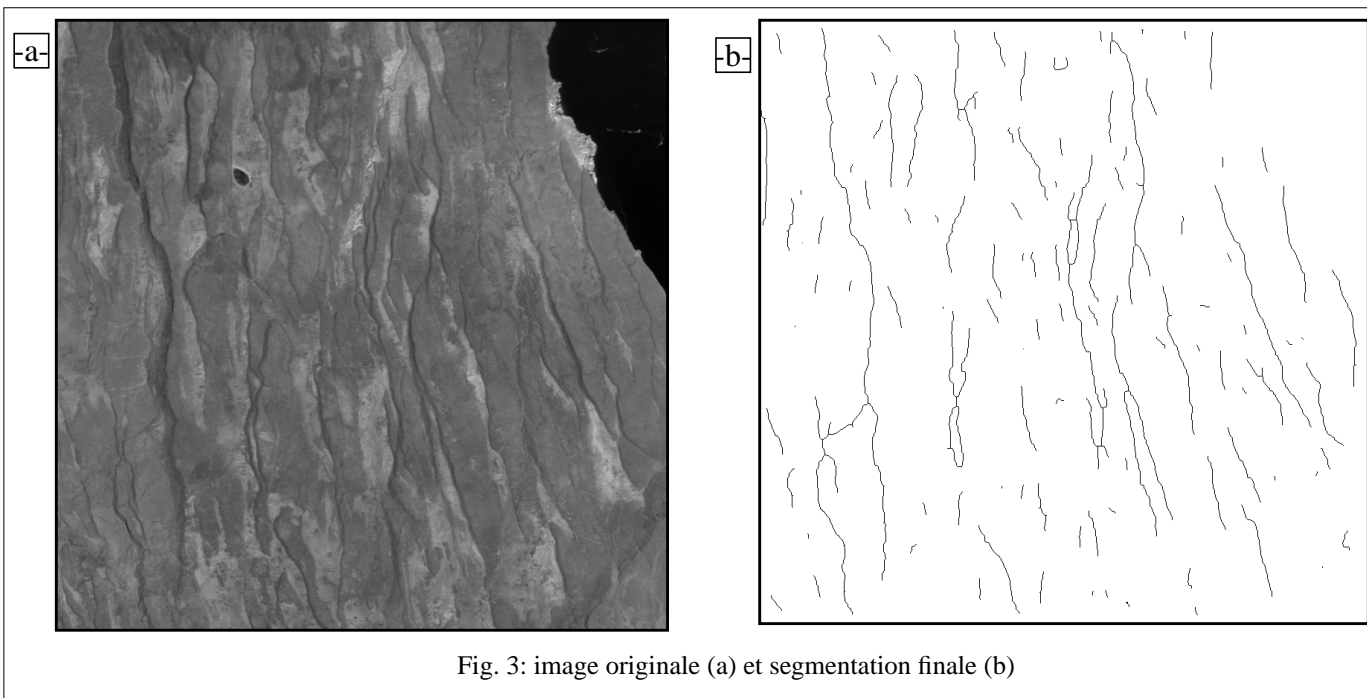


Fig. 3: image originale (a) et segmentation finale (b)

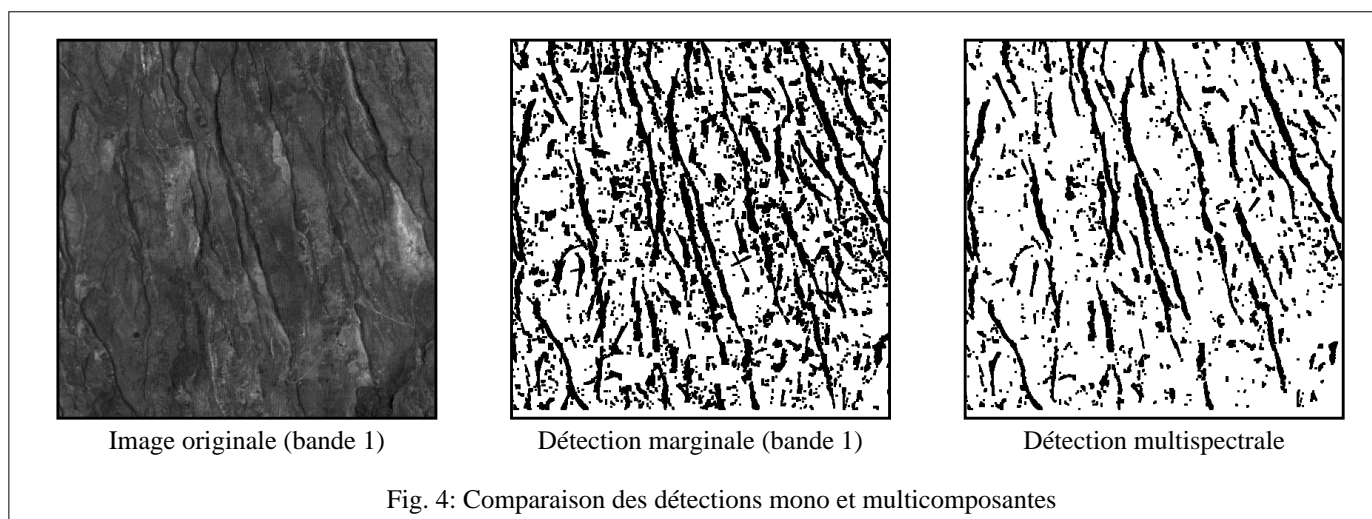


Image originale (bande 1)

Détection marginale (bande 1)

Détection multispectrale

Fig. 4: Comparaison des détections mono et multicomposantes

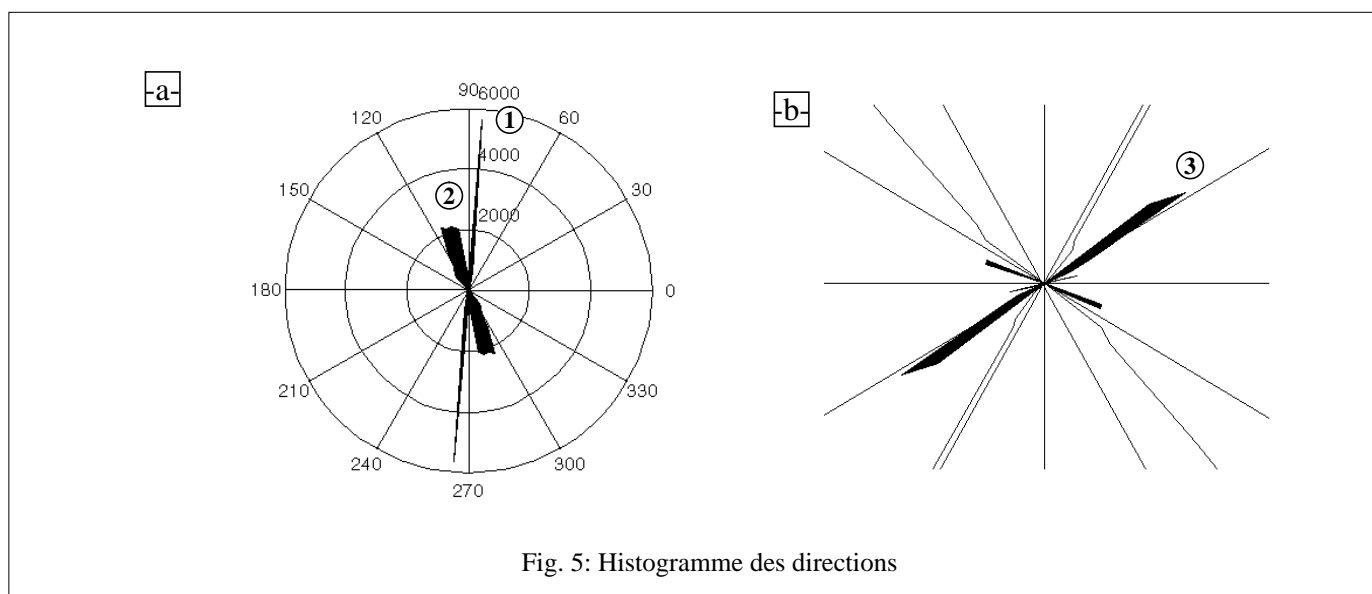


Fig. 5: Histogramme des directions