

Cartographie de l'aléa géologique au 1/50.000 à partir des images satellitaires à haute résolution (ALSAT-2A) et des systèmes d'information géographique (SIG): cas de la zone pilote de Béjaïa

Ahmed Bennis¹, Ahmed zine eddine Saad², Chafik Mesbah³

Centre des techniques spatiales 01, Avenue de la Palestine, BP1, Arzew, Oran 31200,

Email: redabennia@gmail.com, a_z_saad@yahoo.fr, meschaf2001@yahoo.fr

ملخص: الإنزلاقات الأرضية هي المخاطر الطبيعية الرئيسية التي تؤدي ليس فقط إلى خسائر في الأرواح، ولكن أيضا تعتبر عبئا اقتصاديا ثقيلًا على المجتمع. تم إجراء دراسة للإنزلاق في منطقة بجاية من أجل الحد من الآثار السلبية (الاجتماعية والاقتصادية والبيئية) التي لحقت بالمنطقة. عرفت المنطقة عدة إنزلاقات في الجانب الشمالي لجبل تاكوش (1896متر)، منافذ الإنزلاقات القديمة هي دائما موجودة حسب شهود عيان من المنطقة، هدمت منازل و انزلقت ممتلكات لعدة أمتار. صنف هذا الجانب من الجبل سنة 1949 كمنطقة خطر غير صالحة للبناء و ذلك من طرف السلطات المعنية.

تم تطبيق منهجية رسم الخرائط الرقمية بـ 1/50000 بغرض دراسة الإنزلاقات الأرضية للجزء الشمالي للبلاد و تحديدا ولاية بجاية.

الهدف من هذا المقال العلمي هو تحديد مناطق الخطر و تصنيفها وفقا لدرجة المخاطر المحتملة، تعريف سياقها الهيكلي و دورها في عملية الإنهيار.

الكلمات الأساسية: الخصائص الصخرية، متعدد الأطياف، الأقمار الصناعية، الهيكلية.

Résumé : Les glissements de terrain sont des risques naturels majeurs qui non seulement conduisent à la perte de vie humaine, mais aussi une lourde charge économique sur la société. L'étude du glissement de terrain dans la région de Bejaïa a été effectuée dans le but de réduire les effets négatifs (socioéconomiques, environnemental) sentis dans la région. La zone a connu des mouvements de terrain, sur le flanc Nord de Djebel Takoucht (1896 m), des anciennes niches d'arrachements sont encore apparentes et d'après le témoignage de la population locale, des habitations ont été détruites et des propriétés ont été déplacées sur plusieurs mètres. Ce flanc a été décrété, en 1949 'zone rouge' donc inconstructible, par les autorités. Enfin, l'application d'une méthodologie de cartographie numérique au 1/50 000 de l'aléa glissement de terrain est exposée sur la partie nord du pays dans la wilaya de Bejaïa.

L'objectif du présent article est l'identification des zones à risque et leur hiérarchisation en fonction du degré de risque potentiel, la définition du contexte structural et son rôle dans le fonctionnement du glissement de terrain.

Mots clés : Lithologie, multi-spectral, satellite, structural.

Abstract : Landslides are major natural hazards which not only lead to loss of human life, but also a heavy economic burden on society. The study of the landslide in the region of Bejaïa was performed in order to reduce the negative effects (socioeconomic, environmental) felt in the region. The area has experienced landslides, on the northern flank of Djebel Takoucht (1896 m), old cutaway niches are still visible and according to the testimony of local people, homes were destroyed and properties have displaced several meters. This side was ordained in 1949 'red zone' so inconstructible by the authorities. Finally, the application of a methodology of digital cartography at 1:50 000 of the landslide hazard is exposed on the northern part of the country in the wilaya of Bejaïa.

The objective of this article is the identification of risk areas and their ranking according to the degree of potential risk, the definition of the structural context and its role in the operation of the landslide.

Key words : Lithology, multi-spectral, Satellite, structural.

1. Introduction

Les glissements de terrains sont des risques naturels très répandus en Algérie, en particulier dans la Wilaya de Bejaïa. Ils sont très souvent peu spectaculaires comparés à d'autres catastrophes naturelles comme les séismes, les éruptions volcaniques ou les inondations. Cependant, ils endommagent les ouvrages et les constructions, et occasionnent de fortes dépenses. En Algérie, les zones soumises aux mouvements de terrain sont surtout le Nord Est et de façon moindre le Sud, en raison de l'existence de reliefs très contrastés, de terrains géologiques friables (argiles, flyschs, marnes, etc.) et du climat subhumide. Si les conditions géologiques et climatiques sont réunies, on peut observer dans certaines régions des glissements

sur les pentes, l'effondrement de carrières, de cavités naturelles mais aussi du sous-sol de certaines villes comme Bejaia, Alger, Tizi Ouzou...

De nombreuses recherches ont été menées sur l'évaluation des risques de glissement de terrain, en Algérie, mais ces données sont sur des documents (rapport, cartes, etc.) mais pas en format numériques. L'évaluation des risques de glissement de terrain a reçu toute l'attention de la communauté scientifique internationale durant la dernière décennie (Van Westen et al, 2004).

Le présent travail s'inscrit dans un projet de cartographie utilisant les nouvelles techniques de cartographie, notamment l'imagerie satellitaire à haute résolution (ALSAT2) et SIG (système d'information géographique). Vue les limites des différentes méthodes proposés actuellement, nous proposons une méthode d'évaluation

des risques de glissement de terrain qui se fera sur une zone montagneuse.

D'une manière générale, un projet d'aléa géologique, a pour objectifs de mettre en évidence les caractéristiques suivantes :

- Identifier les zones à risque, en définissant la nature des formations géologiques.
- Définir le contexte structural, et comprendre son rôle dans le fonctionnement du glissement de terrain.
- Identifier et délimiter les zones sensibles au glissement.

2. Description de la zone d'étude

La zone d'étude fait partie de l'Algérie du Nord, elle est limitée au Nord et au Sud respectivement par les Latitudes 36°29'N et 36°33'N, quant à l'Est et à l'Ouest par les Longitudes 5°10'E et 5°18'E. Elle forme une région élevée dont l'altitude dépasse souvent 1300 m.

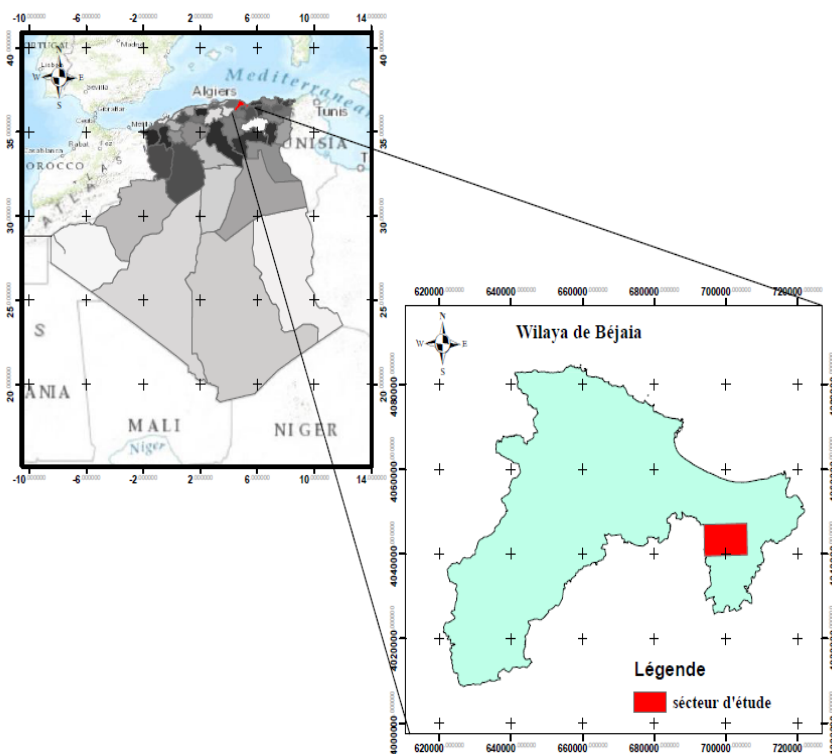


Fig. 1 Situation géographique de la zone d'étude.

De point de vue géologique, le secteur d'étude fait partie du domaine tellien, il occupe une position géologique spécifique entre les massifs de grande Kabylie et de petite Kabylie constitués de socles métamorphiques avec leur

couverture paléozoïque et mésozoïque. Les dépôts sédimentaires mésozoïques et cénozoïques telliens des Monts des Babors constituent l'essentiel de la construction géologique de la région.

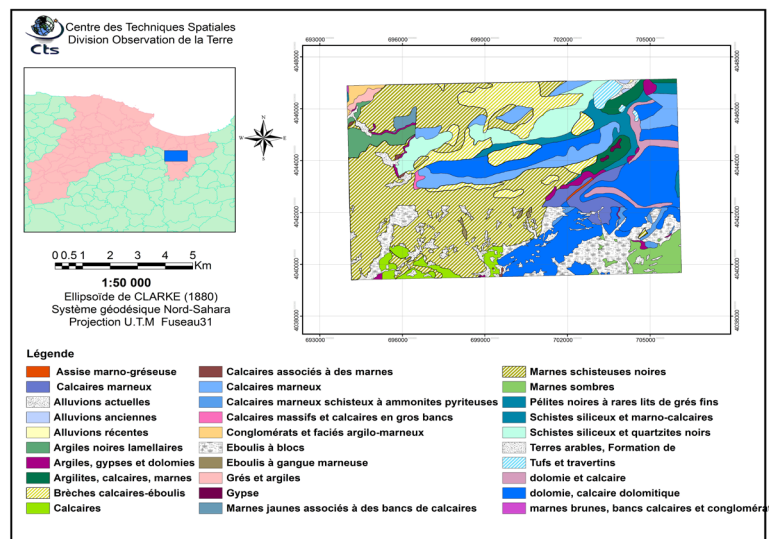


Fig. 2 Extrait de la carte géologique de Ziama au 1/50 000^e (feuille N°48).

L'activité tectonique peut conditionner ou déclencher un mouvement de masse au niveau de la zone de broyage des failles (cisaillements ou décrochements) formés de matériaux fragilisés. Ces zones discontinues considérées comme des zones à moindre résistance favorisent le détachement d'un volume rocheux et des éboulements. Notre zone d'étude se situe au cœur du massif des Babors central, elle est caractérisée par un relief montagneux accentué, où un ensemble d'anticlinaux des couches de calcaires du jurassique d'orientation O-SO, E-NE, chevauche des synclinaux de couches marneuses crétacés. Les plans de chevauchement vers le S-SE sont injectés d'argiles gypseuses du Trias en «failles diapirs» (LEIKINE, 1971). Ces accidents tectoniques sont souvent masqués par de vastes ébouils quaternaires au pied des parois calcaires qui se dressent d'un seul jet de 1 000 à 1 500 m au-dessus du fond du bassin, leur mise en place étant très probablement causée en partie par les séismes (P. GABERT 1984).

La région est caractérisée par un climat méditerranéen subhumide, sec et torride l'été, frais et pluvieux l'hiver. La pluviométrie varie de 600 mm à 1100 mm par an. Les zones montagneuses connaissent des gelées fréquentes avec des précipitations de neige sur les hauteurs. Une morphologie caractérisée par des crêtes étroites, des pentes ravinées et un relief accidenté ciselé par des vallées en forme V.

La zone d'étude comprend les principaux types morphologiques de relief suivants :

- Une plaine côtière.
- Une zone montagneuse constituée des massifs de l'Akfadou et Gouraya au Nord et aux monts des Bibans et Babors au Sud.
- La vallée de la Soummam, qui est une dépression intramontagneuse longue de 80 km de longueur et 4 km de largeur au maximum.

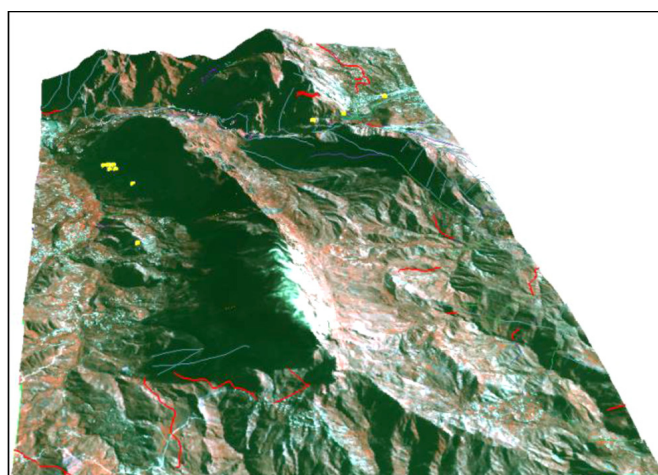


Fig. 3 Vue en 3D d'image Alsat-2 et projection spatiale des points GPS collectés sur le terrain.

Le réseau hydrographique est constitué de cours d'eau temporaires, alimentés par des affluents de l'Oued Soummam qui sont les principaux collecteurs des eaux superficielles de la région. Il présente un écoulement permanent et se jette dans la baie de Bejaia. Certains mécanismes de glissements de terrain correspondent à l'action érosive des cours

d'eau. Ce phénomène se développe généralement dans les portions des cours d'eaux où la vitesse d'écoulement est très puissante pour éroder la partie basale d'un versant. Ce sont donc essentiellement les berges des cours d'eaux supérieurs allant du 3^e au 5^e ordre (selon l'hierarchisation de Strahler) qui sont les plus propices aux instabilités.

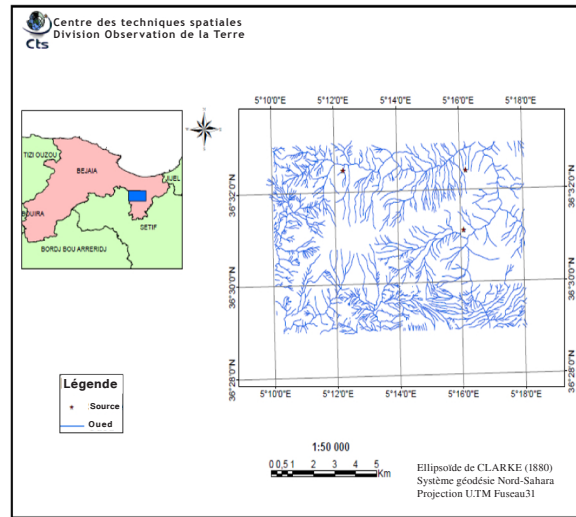


Fig. 4 Réseau hydrographique de la zone d'étude.

Les paramètres géométriques des versants sont dérivés d'un modèle numérique de terrain, ASTER, de 30 m de résolution. Deux paramètres géométriques sont utilisés dans le modèle: la pente et l'exposition des versants. La pente représente un des facteurs les plus déterminants,

dans la genèse des glissements de terrain. En effet, pour qu'une rupture puisse se produire sur un versant, il faut qu'il y ait l'intervention de la gravité accompagnée d'un appel au vide. Ce phénomène ne pouvant prendre naissance sur des terrains plats.

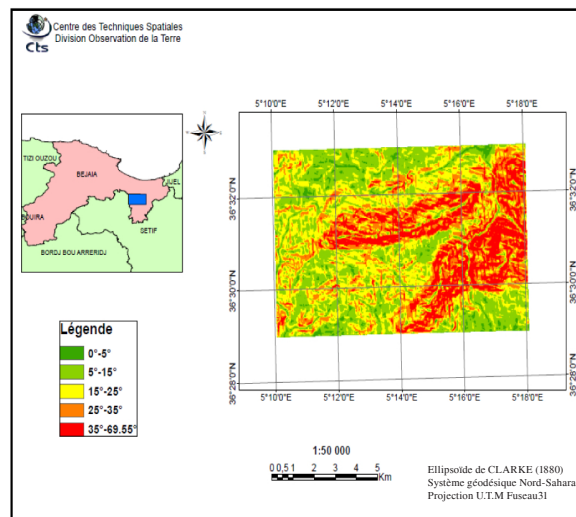


Fig. 5 Carte des classes des pentes.

3. Matériel et méthodes

Les images que nous avons utilisées dans ce projet pour atteindre les objectifs sont des images fournies par le satellite Algérien Alsat2, de 10 m de résolution en mode

multi-spectral, 2.5 m en mode panchromatique (images multi-résolution), et un modèle numérique de terrain (ASTER) de 30 m de résolution.

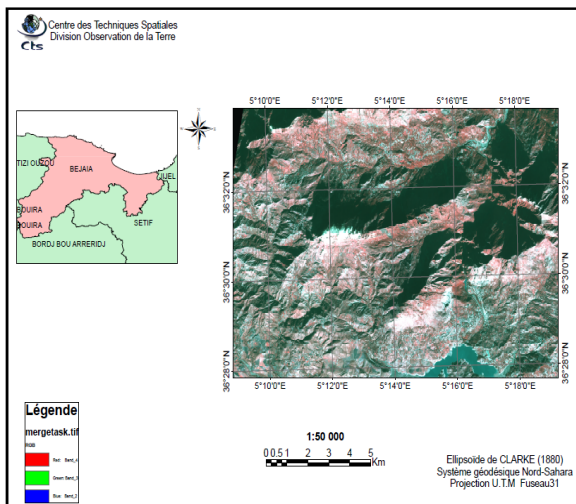


Fig. 6 Extrait de la fusion de la bande panchromatique et multispectrale d'image Alsat2.

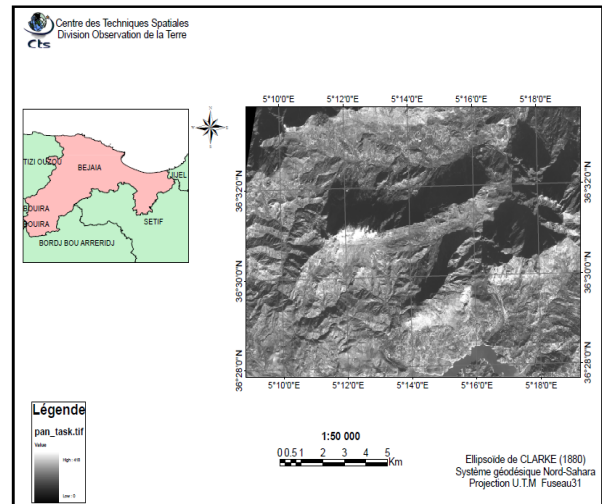


Fig. 7 Extrait de la bande panchromatique d'image d'image Alsat2.

Pour avoir une meilleure différenciation des caractéristiques de glissement de terrain, différents traitements ont été appliqués : des techniques d'amélioration numériques les plus couramment appliquées comprennent un rehaussement du contraste, amélioration de la fonction spatiale (filtrage spatial, l'intensité-teinte-saturation (IHS), analyse en composante principale.

La technique de la fusion d'images est basée sur la combinaison de la haute résolution spatiale d'une image avec la haute résolution spectrale d'une autre image, en gardant l'information radiométrique de base, elle offre plusieurs avantages, tels que la préservation de l'espace de stockage informatique, l'amélioration des qualités.

La discrimination des glissements est fondée sur la différence de tonalité due à l'exposition de la roche fraîche et débris. L'exposition de la roche fraîche et débris associés aux glissements de terrain actifs montre des valeurs légèrement plus élevées (compte numérique) ainsi que le rayonnement par rapport aux glissements de terrain anciens et inactifs.

Nos travaux sont également basés sur divers documents cartographiques : cartes topographiques à l'échelle 1/50 000°, cartes géologiques à l'échelle 1/50 000°, complétées par des mesures GPS et des observations sur le terrain. Le matériel utilisé est un instrument de positionnement GPS, qui permet la localisation des sites de mesures et d'observations. Les logiciels Erdas Imagine9.1, Arc Gis9.3 et Map Info ont été utilisés dans le cadre du traitement d'image et le géo-référencement des données.

La cartographie des aléas est réalisée à partir de documents d'archives, de témoignages et d'observations de terrain. Les informations recueillies ont été intégrées dans un système d'information géographique. L'évaluation spatiale des risques de glissement de terrain exige une cartographie systématique des facteurs de contrôle (facteurs influent sur l'instabilité des versants) ainsi que l'inventaire des glissements de terrain existants. Pour établir la carte de risque de glissement, il est nécessaire de modéliser chacun des éléments du risque. Cette étape consiste à sélectionner les paramètres propres à chaque élément (lithologie, structural, pente etc.) puis à utiliser un mode de représentation du risque afin de l'évaluer.

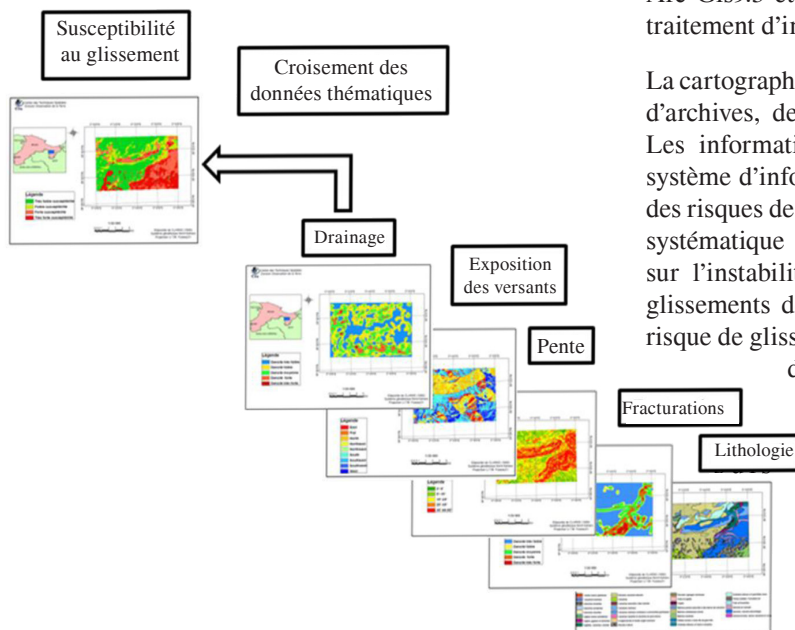


Fig. 8 Différentes couches des données dans le modèle d'évaluation de l'aléa.

La susceptibilité des terrains aux glissements peut être évaluée grâce à différentes méthodes les plus couramment employées étant les approches déterministes, heuristiques et statistiques (Van et al 1997).

La méthode de la valeur informative (Yin et Yan, 1988; Wu et al, 2000) implique la définition préalable des unités de terrain et la sélection d'un ensemble de facteurs d'instabilité. Elle consiste à définir une relation mathématique entre les facteurs de prédisposition et l'occurrence spatiale des glissements de terrain. La valeur d'information L_i de chaque variable X_i et donnée par (Yin et Yon, 1988), elle est calculée de la manière suivante :

$$L_i = \ln(S_j/N_j) / (S/N)$$

Où

S_j : nombre de pixels affectés par un mouvement dans chaque classe.

S : nombre de pixels affectés par un mouvement sur toute la zone d'étude.

N_j : nombre de pixels dans chaque classe.

N : nombre total de pixels dans la zone d'étude.

Une fois les glissements des zones étudiées est localisés, il faut relever les facteurs de prédispositions des terrains glissés. Ces derniers sont les variables utiles à l'établissement de la carte de susceptibilité. Au sein de chaque variable les valeurs ayant les mêmes caractéristiques sont regroupées pour former une classe, puis une valeur informative est attribuée à chacune des variables. Cette valeur sert à quantifier la susceptibilité de la classe.

4. Résultats et discussion

L'intégration et le croisement des principaux facteurs d'instabilité (lithologie, fracturation, pente, exposition des versants, réseau hydrographique) dans un SIG (système d'information géographique) nous ont permis de délimiter et d'établir une carte de risque d'aléa géologique (carte des zones susceptibles au glissement de terrain) qui montre des différentes zones à risque: zone à fort risque, zone à risque moyen, zone à faible risque, et une zone stable.

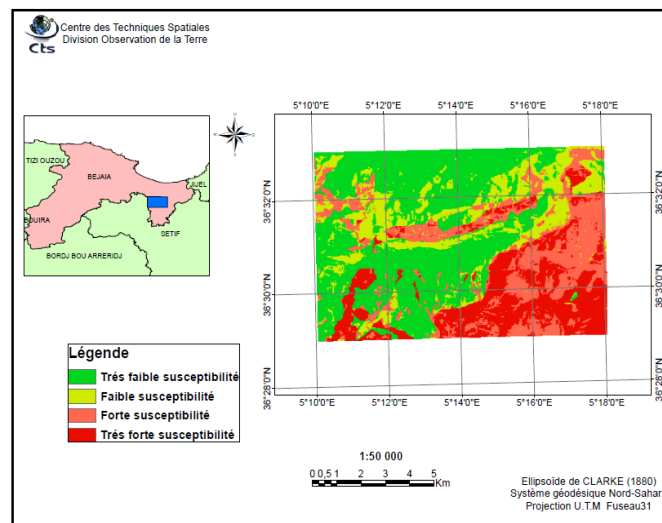


Fig. 9 cartes des zones susceptibles au glissement de terrain.

5. Conclusion

Les techniques de télédétection et SIG offrent un outil supplémentaire, à partir duquel nous pouvons extraire des informations sur les causes de glissement de terrain et ses occurrences. Dans cette étude, nous avons présenté la méthode utilisée pour établir une cartographie des zones instables en se basant sur l'étude scientifique en utilisant les nouvelles technologies. L'imagerie ALSAT 2 offre la possibilité d'identifier les zones de fortes concentrations d'habitation qui se localisent de part et d'autre du Djebel Takoucht.

Les résultats indiquent que la combinaison des différentes couches d'informations (Lithologie, fracturation, géo-

morphologie, réseau de drainage, aspect et exposition des versants) permet d'obtenir la meilleure simulation et la localisation spatiale en termes de susceptibilité des aires de glissements de terrain. Les mouvements de terrain survenus à Bejaïa ne se sont pas encore stabilisés. Des éboulements sont quotidiennement enregistrés sur les zones instables et les fissures s'agrandissent sur la plateforme. D'autres maisons situées autour de la zone de glissement sont menacées par effondrement. Il est donc recommandé aux habitants de la région d'abandonner provisoirement l'espace en danger en attendant la stabilisation des mouvements.

Références bibliographiques

- DORINE, E. (2007). Evaluation quantitative et cartographie du risque "glissement de terrain" Application au Bassin de Barcelonnette (Alpes de Haute Provence - France). Mémoire de master, Université Louis Pasteur - Strasbourg 01, 44p.
- EHRMANN F. (1926). Carte géologique de Ziama au 1/50.000.
- ENRIQUE ARMANDO CASTELLANOS ABELLA. Multi-scale landslide risk assessment in Cuba, ITC dissertation number 154, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands, ISBN 978-90-6164-268-8.
- KEN TSUTSUI, MEMBER, IEEE, SHUICHI ROKU GAWA, HIDEAKI NAKAGAWA, SANAE MIYAZAKI, CHIN-TUNG CHENG, TAKASHI SHIRAIISHI, AND SHIUN-DER YANG, IEEE. Detection and volume estimation of large-scale landslides based on elevation-change analysis using DEMs extracted from high-resolution satellite stereo imagery, Transactions on geosciences and remote sensing, VOL. 45, NO. 6, JUNE 2007.
- LEIKINE M. (1971). Etude géologique des Babors occidentaux. Thèse de Doctorat. Sciences. Université Paris. 530p.
- MAGALIEL. (2003). Contribution des systèmes d'information géographique à l'analyse quantitative de l'aléa « glissement de terrain » - Exemple d'application au secteur de Ville de LaBaie, Québec. (Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.), Université du Québec INRS-E.T.E).
- MARYAM ILANLOO. Mass movements hazard zonation with analyzing hierarchy process (AHP) method (Case Study: Varenge Roud basin), International Journal of Agriculture and Crop Sciences, ISSN 2227-670X ©2012 IJACS Journal.
- MIHAIL E. Landslide causal factors and landslide remedial options. Illinois Institute of Technology, Chicago, USA.
- MOUSSAOUI N. (2011). Etude de la microsismicité de la région de Kherrata (Thèse de magister, Ferhat Abbas, Sétif).
- PIERRE GABERT (1984). Séisme, néotectonique et effets induits sur les versants des massifs des Babors dans la région de Kherrata (Algérie).
- RICHARD G UILLANDE, PASCAL G ELUGNE, JACQUES-MARIBE ARQINTZEFF, ROBERT B ROUSSE, JEAN HOROWICZ, BENOFT DEFFONTAINES, et JEAN-FRANÇOIS PISA RROT, Cartographie automatique de zones à aléas de mouvements de terrain sur l'île de Tahiti à partir de données digitales, Bull. Soc. Géol. France, 1993, t. 164, no4, pp. 577-583.
- VAN WESTEN C.J. « The modelling of landslide hazard using GIS », Surveys in Geophysics, vol. 21, 2000, p. 241-255.
- VAN WESTEN C.J. Use of weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping. (International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation. ITC). 2002.
- VAN WESTEN, C.J. « Geo-Information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments », Proceedings 9th International Symposium on Landslides, Leiden, Balkema, 2004, p. 39-56.
- YIN, K.L. & YAN, T.Z. (1988). Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. In : C. Bonnard (Editor), Fifth International Symposium on Landslides. A.A. Balkema, Lausanne, pp. 1269-1272.
- WU, T.H. (2003). Assessment of landslide hazard under combined loading. Canadian Geotechnical Journal, 40(4): 821-829.
- YANNICK THIERY M. (2007). Susceptibilité du Bassin de Barcelonnette (Alpes du sud, France) aux mouvements de versant : cartographie morpho-dynamique, analyse spatiale et modélisation probabiliste. (Thèse de Doctorat, CAEN/Basse-Normandie).