Bulletin du Service Géologique de l'Algérie
Vol. **32**, n° **1**, pp. **19-32**, **9** fig., **1** tabl., **2023**

LES COULÉES DE DÉBRIS D'AÏT OUABANE (WILAYA DE TIZI-OUZOU) DU 29 AVRIL 2022 : CAUSES ET SOLUTIONS

Djamel Eddine ABBAS* et Youcef BOUHADAD**

RÉSUMÉ

Les régions montagneuses souffrent souvent des effets de mouvements de terrain déclenchés suite aux orages violents et/ou précipitations qui durent dans le temps ainsi que lors des sollicitations sismiques. Plusieurs régions montagneuses de l'Algérie du Nord, notamment la chaîne de l'Atlas, sont confrontées à ce phénomène dommageable. Les coulées de débris du 29 avril 2022 survenues à 15h00 (heure locale, GMT+1) ont causé des dégâts aux réseaux routiers et aux conduites de gaz naturel du village d'Aït Ouabane (W. de Tizi Ouzou). L'objectif du présent travail est d'évaluer l'étendue de ces glissements de terrain, d'identifier les différents facteurs (facteurs de prédisposition et facteur déclenchant) et de proposer des solutions de prévention telles que celles adoptées à travers le monde. Les résultats montrent que les mouvements gravitaires observés relèvent de deux facteurs interactifs: (i) les facteurs de prédisposition liés à la pente, la morphologie, la géologie (lithologie, fracturation) et à l'absence du couvert végétal ; (ii) le facteur déclenchant lié aux précipitations (intensité et saturation). Ce travail permet de mieux contrôler les effets des mouvements gravitaires dans la région d'étude.

Mots-clés - Précipitations - Coulées de débris - Facteur de prédisposition - Mesures de prévention.

THE AÏT OUABANE (WILAYA OF TIZI-OUZOU) DEBRIS FLOWS OF APRIL 29th, 2022: CAUSES AND SOLUTIONS

ABSTRACT

Mountainous regions often suffer from the effects of land movements, triggered by violent storms, long precipitation, and seismic waves shaking. Many mountainous regions of northern Algeria, mainly in the Atlas chain, are facing this damaging problem. The debris flows event, which occurred on April 29th, 2022 at 15h00 (local time, GMT+1), caused damage to road and gas supply networks in the Aït Ouabane village (Tizi Ouzou prefecture). We aim in this work to evaluate the extent of such land instabilities, identify the predisposing and triggering factors, and propose mitigating solutions as adopted throughout the world. The obtained results show that these landslides are due to two interactive factors: (i) the predisposing factors related to slope, morphology, geology (lithology, fracturation) and the absence of vegetal

*Agence du Service Géologique de l'Algérie (ASGA). E-mail : djameleddineabbas@gmail.com

**Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS), Alger.
E-mail : bouhadad-y@yahoo.com

- Manuscrit déposé sur l'ASJP le 30 novembre 2022, accepté après révision le 25 mai 2023.*
**ASJP : Algerian Scientific Journal Platform.*

cover ; (ii) the triggering factor related to precipitations (intensity and saturation). This work may allow for better control of the effects of landslides in the study region.

Keywords - Precipitation - Debris flows - Predisposing factors - Preventive measures.

I- INTRODUCTION

Les glissements de terrain constituent un aléa géologique omniprésent dans les régions montagneuses dans le monde. Ils sont à l'origine d'importantes pertes en termes d'économie et de vies humaines (Keefer, 1984 ; Guzzetti *et al.,* 2004 ; Van Westen *et al.,* 2006). En Algérie, plusieurs régions sont affectées par des glissements de terrain d'origine sismique ou climatique (Gabert, 1984 ; Bougdal, 2007 ; Machane *et al.,* 2008 ; Bouhadad *et al.,* 2010 ; Bougdal *et al.,* 2013 ; Hadji *et al.,* 2013 ; Bourenane *et al.,* 2014 ; Achour *et al.,* 2017 ; Manchar *et al.,* 2019 ; Benfedda *et al.,* 2021 ; Tebbouche *et al.,* 2022).

La région d'Aït Ouabane, dépendant de la Daïra d'Aïn El Hammam, située à environ 56 km du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou, a enregistré des glissements de terrain en date du 29 avril 2022 à 15h00 (GMT+1), dont l'amoncellement de débris a causé la fermeture de la route reliant le village d'Aït Ouabane à Akbil (chef-lieu de la commune) ainsi que la suspension de l'alimentation en gaz naturel suite à l'endommagement de la conduite principale de gaz. Par conséquent, il suscite auprès des autorités locales des questions sur la nature du phénomène, son ampleur et les mesures à prendre afin d'assurer la sécurité des infrastructures, des citoyens et usagers de la route affectée.

Il est proposé dans ce travail, d'étudier ces coulées de débris en décrivant les conditions géologiques et géomorphologiques de la zone d'étude, en cartographiant leurs extensions et en proposant les mesures de prévention et de protection disponibles à la lumière de l'étude de cas similaires à travers le monde.

II- CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES, GÉOLOGIQUES, GÉOMORPHOLOGIQUES ET CLIMATIQUES DE LA RÉGION D'ÉTUDE

II.1- Cadre géographique

Akbil est une commune de la wilaya de Tizi-Ouzou, dépendant de la Daïra d'Aïn El Hammam (fig. 1). Elle s'étend sur une superficie de 37,04 km^2. La commune d'Akbil est située au nord de la chaîne du Djurdjura. Le site étudié depend du village d'Aït Ouabane (commune d'Akbil) et est localisé au cœur de la montagne du Djurdjura, à 1000 m d'altitude. Il est, par ailleurs, entouré de la forêt d'Aït Ouabane, la forêt la plus diversifiée du massif montagneux qui s'étend sur 1100 ha. Le site étudié est défini par les coordonnées géographiques suivantes (WGS_1984_UTM_Zone_31N) : longitude : 36°29'28,01''N ; latitude : 4°17'30,11''E.

II.2- Cadre géologique

Le site d'Aït Ouabane est situé dans la dorsale calcaire du Djurdjura, dont la géologie du site, selon la carte géologique au 1/50 000 (feuille de Tazmalt) (Ficheur, 1889) (fig. 2), est composée de calcaires du Lias et de grès rouges du Permo-Trias. Le produit de l'érosion de ces formations géologiques s'accumule dans les vallées, formant des colluvions et des alluvions ayant servi de source du matériel des coulées de débris.

II.3- Aspect climatique

La région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen qui compte généralement une saison d'été sèche et une saison d'hiver

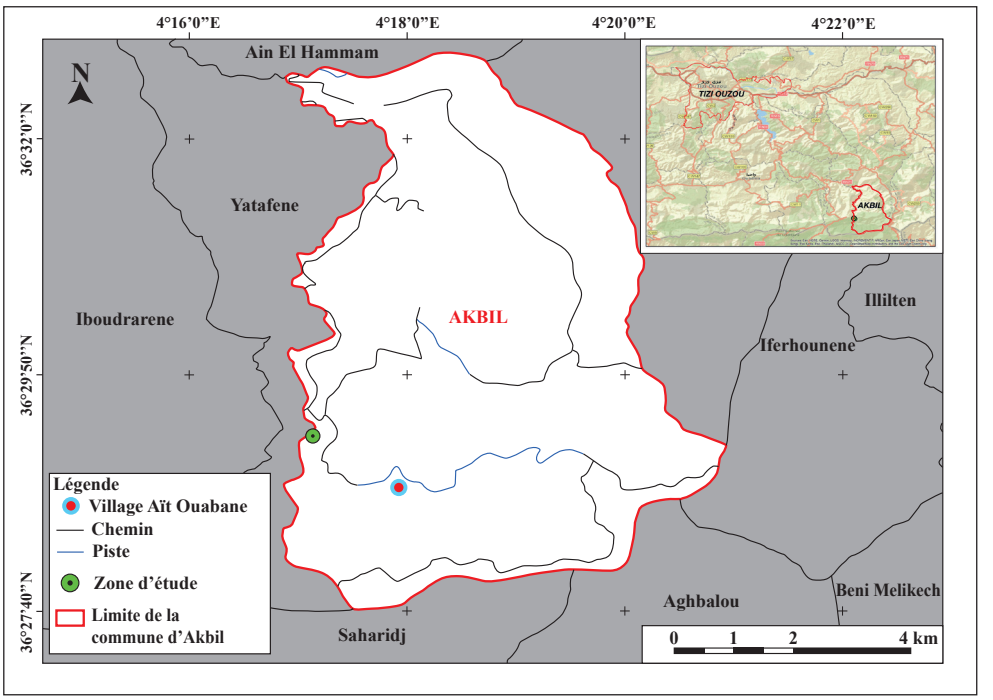


Fig. 1- Situation géographique de la région d'étude (les limites de la wilaya et les routes sont tracées, respectivement, à partir de la carte administrative et celle du réseau routier).

Geographic location of the study region (the borders of the wilaya and the roads are drawn, respectively, relying on the administrative map and the road network one).

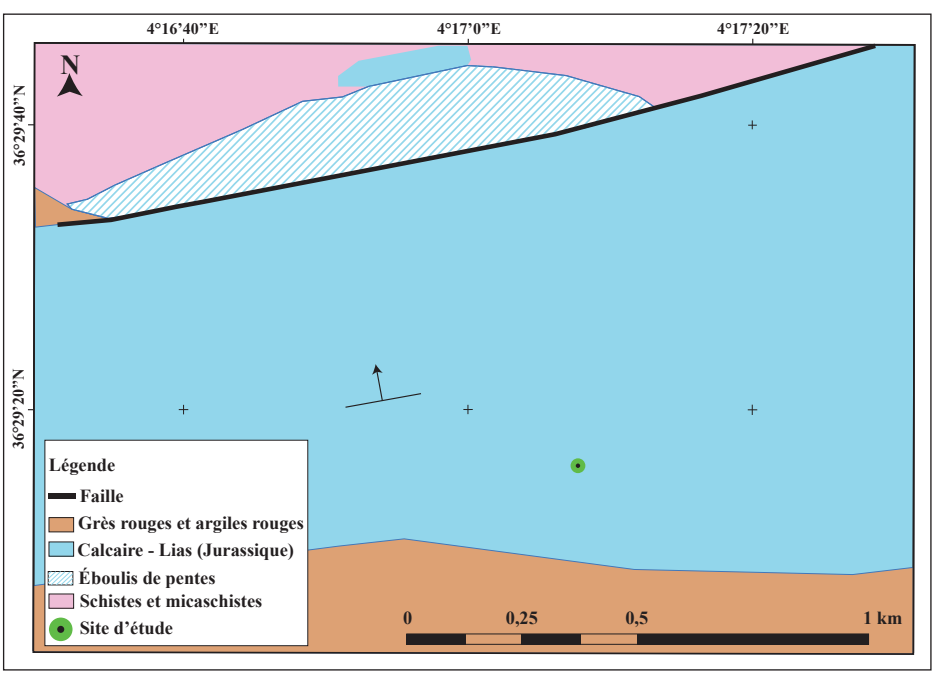


Fig. 2- Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de la région d'étude (Ficheur, 1889).

Extract from the geological map of the study region at a scale of 1/50 000 (Ficheur, 1889).

pluvieuse et humide. Cette dernière s'étend souvent du mois d'octobre au mois d'avril, mais qui, toutefois, varie selon les saisons. Les précipitations sont parfois torrentielles causant des inondations et des glissements de terrain (Bourenane *et al.,* 2019). L'observation des données pluviométriques de la station d'Ait Djemaa qui se trouve à 3 km du site d'Aït Ouabane, pour une période de 5 ans (2016-2020), montre les pics de précipitations suivants : 2016 : 246,8 mm ; 2017: 168,4 mm ; 2018 : 220,5 mm ; 2019: 218,2 mm ; 2020 : 168,2 mm (fig. 3, ANRH).

La pluviométrie de la région d'étude pour cette période (2016-2020) (les seules données disponibles sur la station concernée) indique les résultats suivants: (i) les moyennes mensuelles des cinq années sont de 47,88 mm ; 76,24 mm ; 157,38 mm ; 108,7 mm ; 122,94 mm 47,4 mm ; 99,78 mm ; 107,76 mm ; 44,46 mm ; 28,92 mm ; 2,88 mm ; 6,24 mm pour, respectivement les mois de septembre jusqu'en août. On remarque que les mois les plus secs sont juillet et août alors que les mois les plus pluvieux sont novembre, janvier et décembre ; (ii) les moyennes des cinq années sont de 59,58 mm ; 83,77 mm ; 89,58 mm ; 56,11 mm ; 65,37 mm, respectivement de 2016 à 2020. On remarque que l'année la plus pluvieuse correspond à 2018 avec 89,58 mm alors que l'année la moins pluvieuse correspond à 2019 avec 56,11 mm.

Bien entendu, ces données sont à titre indicatif car pour une analyse plus fine de la pluviométrie, il est nécessaire d'avoir des données qui couvrent une période beaucoup plus longue.

III- DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE

La cartographie à différentes échelles de la susceptibilité ou d'aléa des glissements de terrain nécessite certaines étapes méthodologiques bien décrites dans de nombreuses études (Guzzetti *et al.,* 2012 ; Pradhan *et al.,* 2011).

Elle comprend la collecte de données, la cartographie d'inventaire, la cartographie des facteurs de susceptibilité et la présentation des facteurs de déclenchement. Dans le présent travail,

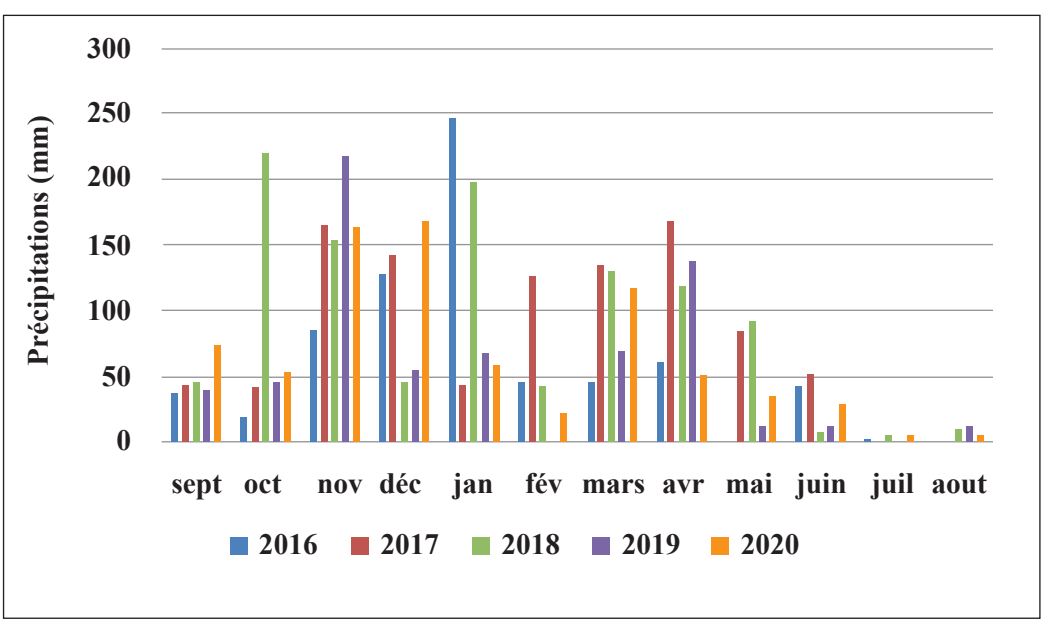


Fig. 3- Histogramme des précipitations durant la période de 2016 à 2020 (station d'Ait Djemaa). (données de l'ANRH, Tizi-Ouzou).

Histogram of precipitation during the period of 2016 from 2020 (Ait Djemaa station). (data provided by ANRH, Tizi-Ouzou).

l'objectif n'est pas de réaliser une cartographie de la susceptibilité de la région, mais la cartographie de l'extension des coulées survenues le 29 avril 2022 et la description des facteurs de prédisposition à partir des observations sur site. L'approche utilisée comprend les étapes suivantes :

- la récolte de données disponibles sur la région (géologie, topographie, géomorphologie, hydrogéologie, etc.) ;
- la cartographie (inventaire) des coulées survenues le 29 avril 2022 à partir d'une combinaison entre les observations de terrain et les images satellitaires Google Earth ;
- l'identification des facteurs de prédisposition à partir du constat fait sur le site et en ayant à l'esprit les facteurs de susceptibilité tel qu'ils ont été décrits dans la littérature ;
- l'analyse des facteurs de déclenchement (précipitations) à l'origine des coulées du 29 avril 2022 ;
- la proposition de solutions de prévention à partir de cas similaires adoptés à travers le monde.

IV- RÉSULTATS

IV.1- Constat sur site et inventaire des coulées de débris du 29 avril 2022

Les coulées de débris survenues le 29 avril 2022 sont cartographiées à partir des observations de terrain et complétées par des observations sur l'image satellitaire Google Earth (fig. 4). Selon le constat fait sur le site, les glissements de terrain survenus sont de type «coulées de débris» selon la classification de Varnes (1978). Ces glissements sont apparus sur un massif dénudé, dépourvu de sa végétation par les incendies de forêts de l'été 2021, tel que le montre l'image satellitaire Google Earth (fig. 4). En tout, cinq coulées de débris ont eu lieu, dont quatre ont atteint la route. L'une d'entre elles (n°1 sur la fig. 4) a été la cause des dommages occasionnés à la conduite de gaz et à la chaussée.

Du point de vue géologique, les formations suivantes affleurent au niveau du site (fig. 5) : i) grès et argiles rouges du Permo-Trias avec un pendage fort (70°NO) ; ii) calcaires massifs de couleur grise, très fracturés du Jurassique supérieur (Lias), faisant partie de la chaîne calcaire du Djurdjura (fig. 6). On note que les coulées de débris ont pris naissance au sommet du massif des calcaires du Lias (fig. 4A). Ces calcaires montrent des pendages forts (>60°NO), favorisant des pentes fortes. En outre, ce massif est traversé par des failles dont les tracés ont évolué avec le temps en talwegs qui ont servi de drain pour les coulées de débris ; iii) éboulis anciens (Quaternaire ancien) qui correspondent à des brèches cimentées par des argiles qui se forment sur les piémonts et dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs mètres ; iv) dépôts actuels ou colluvions dans les vallées actives issues de l'érosion et des glissements de terrain récents.

Le matériel géologique charrié lors des coulées de 2022 correspond, essentiellement, aux colluvions, composées de débris de taille décimétrique à pluri-décimétrique et parfois de blocs de calcaires dans une matrice limoneuse et argileuse (fig. 4). Ces débris sont arrachés par l'érosion active dans les massifs fracturés des calcaires du Jurassique qui forment le massif du Djurdjura, et qui sont déposés sur des talus abrupts ou bien dans les vallées traversant les massifs (figs. 4 et 6).

Les caractéristiques morphologiques et géométriques des coulées sont indiquées dans le tableau I.

IV.2- Analyse des causes des coulées de débris

IV.2.1- Facteurs de susceptibilité

Selon la littérature scientifique, les facteurs de prédisposition aux coulées de débris sont nombreux, parmi lesquels des facteurs morphologiques, géologiques, géotechniques, hydro-

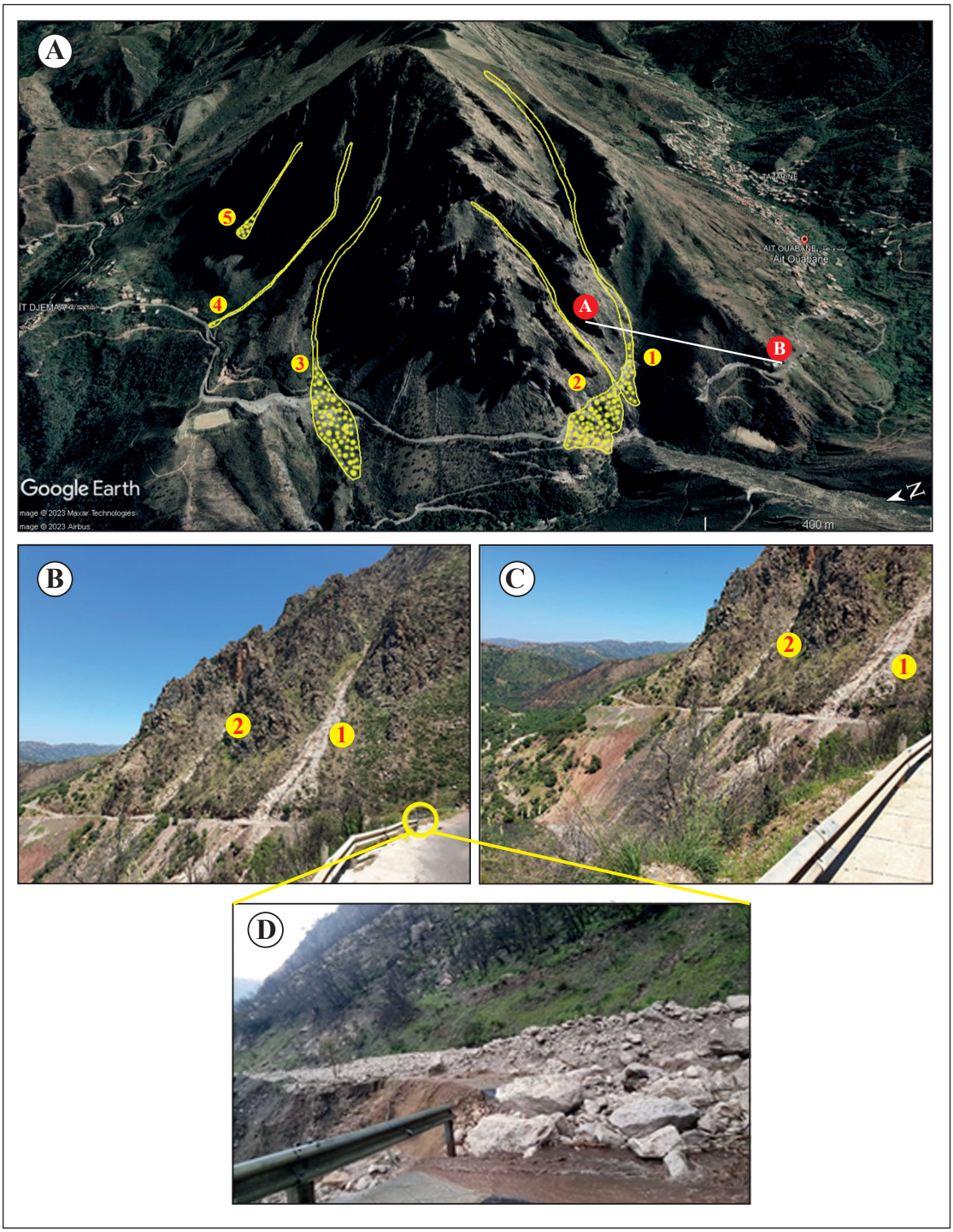


Fig. 4- A- Image satellitaire montrant le massif d'Aït Ouabane avec les traces des incendies de l'été 2021 (image extraite de Google Earth) ; **B** et **C-** Photographies de terrain des deux principales coulées de débris; **D-** Détail du matériel charrié par la coulée 1.

A- Satellite image showing the Aït Ouabane Mount with traces of the 2021 summer wild fire (Google Earth image) ; B and C- Field photographs showing the main debris flows ; D- Detail of the material carried by the flow 1.

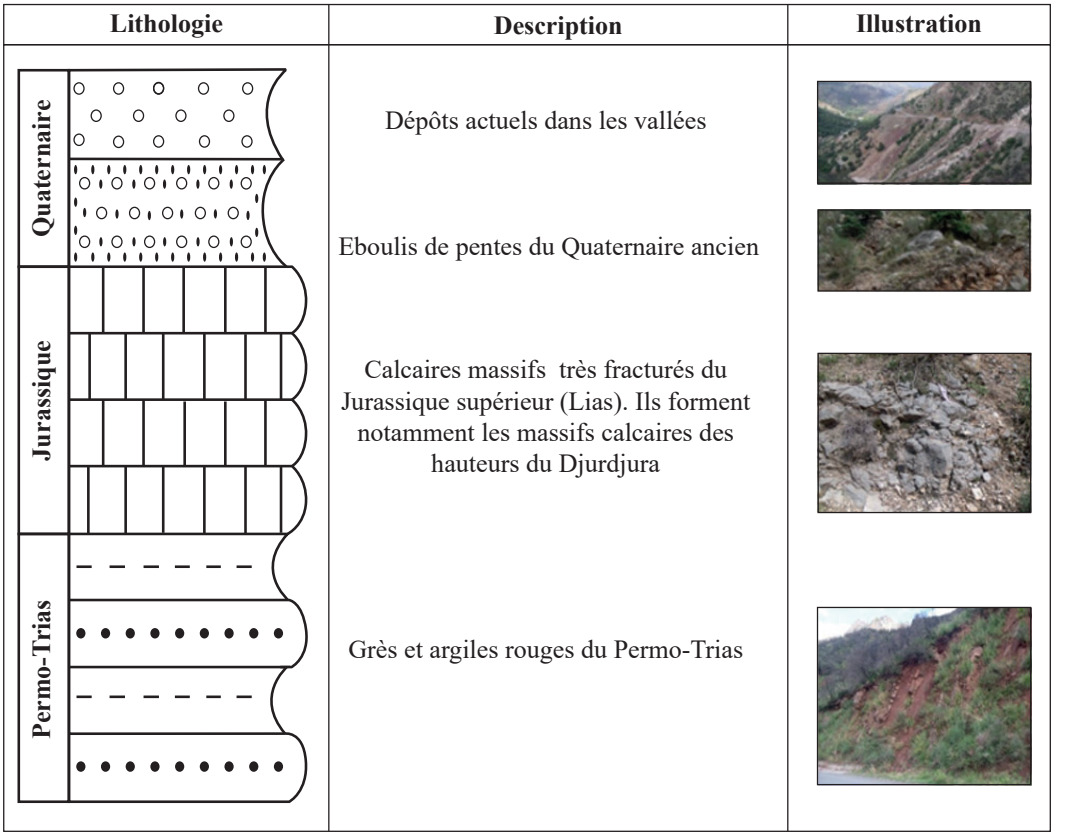


Fig. 5- Log lithostratigraphique illustratif de la zone d'étude (les coulées de débris ont pris naissance dans le massif calcaire du Lias).

Illustrative lithostratigraphic column of the study region (the debris flows originated in the calcareous massif of Lias).

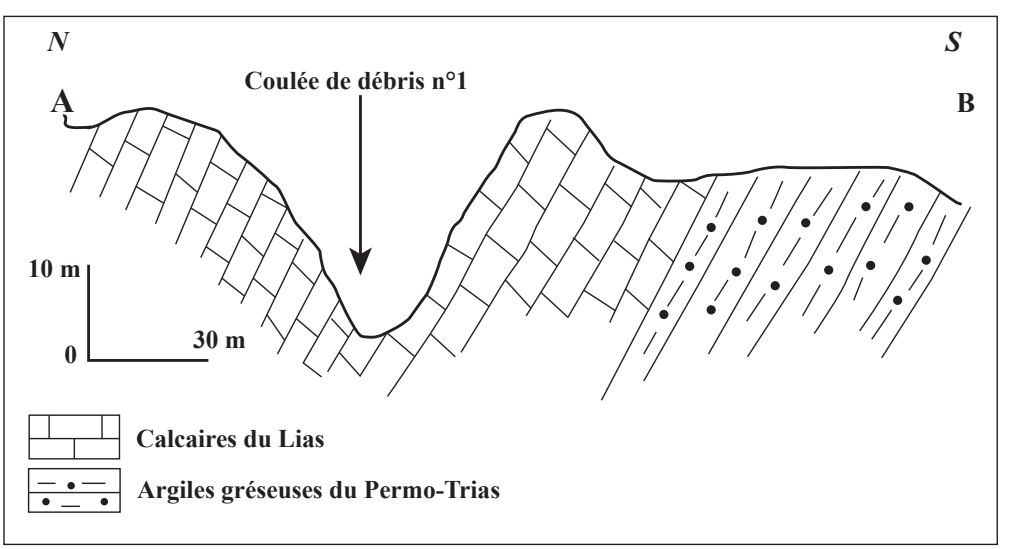


Fig. 6- Coupe géologique montrant le pendage des couches (voir la position de la coupe A-B sur la fig. 4).

Cross-section showing the dips of the layers (see the position of the section on fig. 4).

Tableau I- Coulées de débris survenues le 29 avril 2022 dans la région d'Aït Ouabane (les numéros des coulées sont indiqués sur la figure 4A).

Debris flows that occurred on April 29, 2022 in the Aït Ouabane region (the debris flows numbers are indicated in figure 4A).

Coulées	Longueur (m)	Pente moyenne (%)	Surface des dépôts (m^2)
Coulée 1	1400	44,9	4 039
Coulée 2	695	53,5	15 751
Coulée 3	677	46,8	16 287
Coulée 4	759	48,8	504
Coulée 5	413	52,6	2 558

logiques, hydrogéologiques et la végétation (Calligaris et Zini, 2012). Ci-après, nous discutons les principaux facteurs de prédisposition observés sur le site et qui auraient favorisé ces mouvements gravitaires :

- La pente : c'est un facteur morphologique de la susceptibilité aux coulées de débris. Elle détermine la vitesse de l'écoulement et augmente l'action érosive de l'eau sur le sol. Le site d'étude est caractérisé par des pentes fortes à raides tel que le montre la carte (fig. 7) réalisée par le traitement du modèle numérique de terrain (MNT, SRTM de 30 m de résolution). La carte des pentes montre que la zone d'étude est caractérisée par des pentes très raides (>25%) (facteur z adopté est égale à 1, fig. 7).

- La géologie: les dépôts géologiques superficiels non consolidés et qui résultent de l'altération forment la matière susceptible d'être charriée par le torrent (fig. 8). D'un autre côté, le substratum fracturé fournit, de la même manière, la quantité de débris à charrier. Les formations calcaires, d'où ont pris naissance les coulées sont très fracturées et ont contribué à la saturation des sols par infiltration. Elles ont fourni la quantité de débris, d'abord déposés dans les vallées raides, puis charriés brutalement lors des coulées de débris du 29 avril 2022 (fig. 8).

- Le couvert végétal: la dégradation du couvert végétal joue un rôle important dans l'occurrence des glissements de terrain ; avec le système racinaire, ils sont des facteurs importants de la stabilisation des sols. Par conséquent, tout changement dans la couverture végétale (déforestation, feux de forêt, etc.) augmente la probabilité d'occurrence des mouvements de terrain. Les coulées de débris se produisent souvent dans les régions montagneuses qui ont subi des feux de forêts (Wall *et al.,* 2020 ; Thomas *et al.,* 2021; Jin *et al.,* 2022). Dans le massif d'Ait Ouabane, la végétation a été complètement détruite par les incendies de l'été 2021 (fig. 4).

IV.2.2- Facteur déclenchant

Le déclenchement des coulées de débris est du à de nombreux facteurs météorologiques. Selon Malet *et al.*(2005) et Cannon *et al.* (2011), il s'agit :

- des pluies torrentielles donnant lieu à un ruissellement intense qui provoque une saturation d'une couche superficielle ;
- la fonte des neiges ;
- la sursaturation suite à des épisodes de pluies de plusieurs jours.

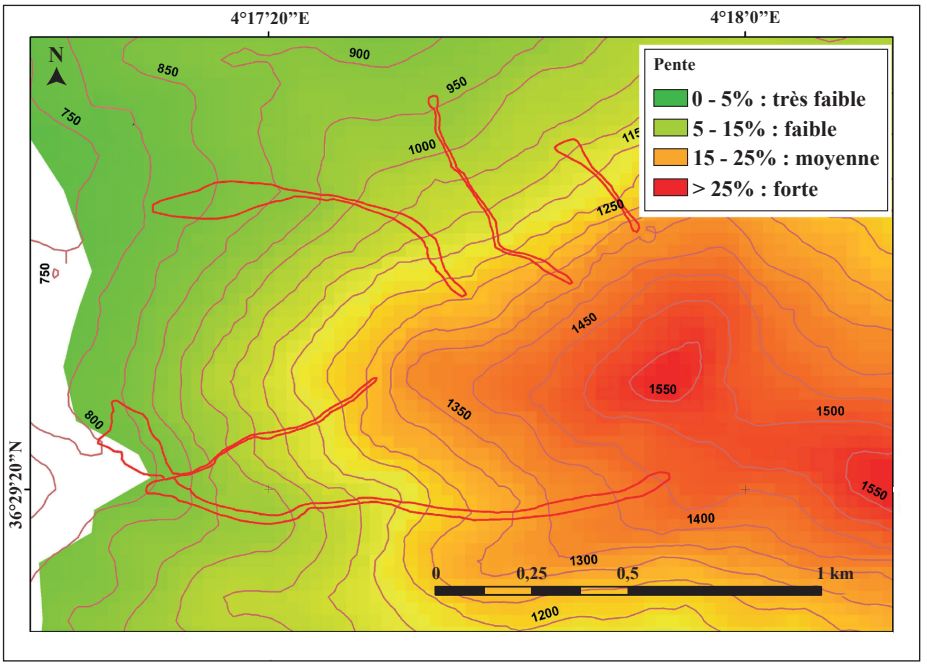


Fig. 7- Carte des pentes du site d'étude (à partir d'un SRTM, 30m, facteur z=1).

Slope map of the study site (SRTM, 30m, factor z=1).



Fig. 8- Photographie montrant les colluvions ayant servi de source au niveau de la coulée de débris 1 (épaisseur ne dépassant pas 50 cm). Remarquer le pendage fort des couches et la fracturation intense des calcaires du Jurassique (Lias).

Picture showing the colluviums that served as a source at the debris flow 1 (thickness is not exceeding 50 cm). Note the strong dip of the layers and the intense fracturing of the Jurassic limestones (Lias).

Afin de comprendre les causes du déclenchement des coulées de débris, des données disponibles sur les précipitations au niveau de la station d'Ait Djemaa, située à 3 km d'Aït Ouabane (la station d'Aït Ouabane étant hors service) ont été analysées. La figure 9 montre des précipitations qui varient entre 5,2 et 11 mm avec un cumul de 30,2 mm, pour une période de 5 jours (du 26 au 30 avril) (données fournies par l'ANRH).

En outre, le site d'étude est situé dans le Djurdjura, une des régions les plus pluvieuses d'Algérie, où les précipitations annuelles cumulées oscillent autour de 1050 mm avec un extrême de 1559 mm en 1974 (Bouaziz et Melbouci, 2017), dépassant parfois 1800-2000 mm (Bouaziz et Melbouci, 2017). La période pluviale s'étend de novembre à mars. La région d'étude est caractérisée aussi par des accumulations neigeuses considérables en hiver dont la fonte augmente la sursaturation des sols. Les données disponibles (fig. 9) montrent qu'il n'y a pas eu d'événement climatique exceptionnel durant la période de l'occurrence des coulées de débris de 2022 privilégiant plutôt le phénomène de saturation.

V- DISCUSSION

Les régions montagneuses à travers le monde souffrent énormément des dégâts et des désagréments causés par la survenue des glissements de terrain de différents types (Jakob *et al.,* 2021). Dans le Nord de l'Algérie, les glissements de terrain peuvent être déclenchés suite aux secousses sismiques (Bouhadad *et al.,* 2010) ou bien suite à des précipitations importantes et/ou continues dans le temps (Bougdal *et al.,* 2013 ; Guirous *et al.,* 2014 ; Bourenane *et al.,* 2021).

Les pluies torrentielles, la fonte des neiges et la sursaturation des sols par la remontée du niveau de la nappe suite à des épisodes de pluies sont des déclencheurs de glissements de terrain de façon générale, et des coulées de boue ou de débris en particulier sur les talus abrupts (Malet *et al.,* 2005 ; Cannon *et al.,* 2011 ; Vagnon, 2020).

Dans le cas des coulées de débris d'Aït Ouabane, la pente, la morphologie, la géologie (lithologie et pendage fort), la géotechnique (couche altérée), le couvert végétal (massif dépourvu de végétation suite aux incendies) sont les facteurs de susceptibilité prépondérants dans

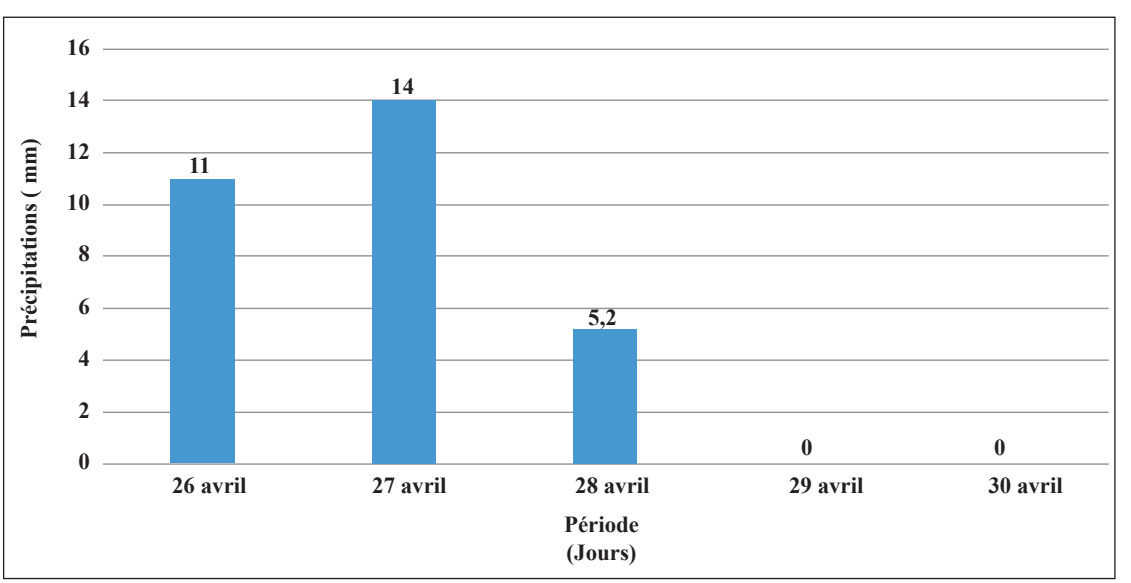


Fig. 9- Histogramme des précipitations du 26 au 30 avril 2022 (station Ait Djemaa, ANRH).

Histogram of precipitation from 26 to 30 April 2022 (Ait Djemaa station, ANRH).

la survenue de ces coulées. Tous ces facteurs sont également identifiés à travers le monde comme étant des facteurs de susceptibilité (Calligaris et Zini, 2012).

Par ailleurs, pour ce qui est des facteurs déclenchants, l'analyse des données météorologiques, relatives aux précipitations, montre que les coulées d'Aït Ouabane sont dues à la sursaturation des sols. En effet, la survenue de ces coulées a été précédée d'un épisode de pluie de trois jours avec une moyenne de 10 mm/jour.

Il a été constaté à travers le monde que les coulées de débris, et parfois de boue, selon la nature du matériel géologique charrié, se produisent souvent après les séismes, les volcans et les feux de forêts (Tillery *et al.,* 2011 ; Chen *et al.,* 2015).

Afin de prévenir les coulées de débris et contrôler le risque y afférent, plusieurs mesures sont préconisées et expérimentées à travers plusieurs régions du monde (Hungr *et al.,* 1984 ; Fonseca *et al.,* 2007 ; Rickenmann, 2016 ; Jakob, 2021). Celles-ci sont résumées ci-dessous :

- le renouvellement du couvert végétal par des actions de reboisement permet de réduire, voire tarir les sources de débris. Le reboisement des talus en amont contribue à renforcer la résistance des sols face à l'érosion, qui est à même de réduire le volume du matériel géologique érodé et charrié par les ruisseaux (Flageollet, 1989) ;

- la mise en place de systèmes de drainage des eaux pluviales pour empêcher la formation de torrents violents incontrôlables et destructeurs ;

- la mise en place de glissières de protection des cours d'eau pour orienter le flux ainsi que des bassins pour retenir le surplus de débris ;

- la mise en place de barrières, systèmes de grillage flexibles et glissières pour la protection des infrastructures (routes, ponts, etc). Les systèmes de barrières vont de simples actions artisanales (des troncs d'arbres disposés verticalement comme brise-torrents, des gabions) jusqu'aux techniques et travaux du génie civil modernes, dimensionnés et calculés selon les flux attendus et leurs fréquences ;

- dans le but d'éviter les pertes (vies humaines et biens), il est souvent préconisé une politique d'aménagement étudiée des zones amonts, préalablement identifiées par des études de susceptibilité et d'aléa, ainsi que par la mise en place des systèmes d'alerte au cas où ces coulées menaceraient des sites urbains ou des infrastructures.

VI- CONCLUSION

La région d'Aït Ouabane a été touchée par des glissements de terrain en date du 29 avril 2022 à 15h00 (heure locale, GMT+1). Les observations sur le site ont permis de constater que les glissements correspondent au type «coulées de débris» selon la classification de Varnes (1978). Une série de cinq (05) coulées de débris a été observée sur le massif surplombant le village d'Ait Ouabane vers le nord, dont trois ont atteint la route menant vers ce dernier. Une de ces coulées a particulièrement causé des dommages à la chaussée et à la conduite de gaz naturel alimentant le village d'Aït Ouabane.

Dans le cas des coulées de débris d'Aït Ouabane, les facteurs de prédisposition sont représentés par la pente, la morphologie, la géologie (massif fracturé) et le couvert végétal (massif dépourvu de la végétation suite aux incendies).

En outre, le facteur de déclenchement est représenté probablement par la sursaturation des sols car l'intensité des précipitations de la

semaine précédant ces coulées n'était pas importante. La moyenne des précipitations de ces trois derniers jours est de 10 mm/jour.

Diverses mesures, visant à réduire le risque potentiel sur la population et les infrastructures et à protéger les versants, sont prises en pareille situation à travers le monde. Le reboisement, l'entretien du couvert végétal des versants et les aménagements (barrières et grillages flexibles) permettent le contrôle des flux et la protection des infrastructures. Les études de susceptibilité contribuent à l'identification des zones à risque élevé.

Remerciemments

Les auteurs remercient les responsables de l'Agence du Service Géologique de l'Algérie (ASGA) pour la mise à disposition de tous les moyens nécessaires pour la réalisation de ce travail, ainsi que Monsieur BOUADJELA M'Hand (ANRH, Tizi-Ouzou) pour la fourniture de données relatives aux précipitations.

BIBLIOGRAPHIE

Achour, Y., Boumezbeur, A., Hadji, R., Chouabbi, A., Cavaleiro, V. and Bendaoud, E.-A. 2017. Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, *10*(8), pp. 1-16.

Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). 2022. Données pluviométriques de la station d'Ait Djemaa pour la période 2016-2022. Agence de Tizi Ouzou.

Benfedda, A., Serkhane, A., Bouhadad, Y., Slimani, A., Abbouda, M. and Bourenane, H. 2021. The main events of the July-August 2020 Mila (NE Algeria) seismic sequence and the triggered landslides. *Arabian Journal of Geosciences*, *14*(18). doi.org/10.1007/s12517-021-08301-x.

Bouaziz, N. and Melbouci, B. 2017. Characterization of the Illilten earth flow (Algeria). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, pp. 669-689. DOI:10.1007/s10064-017-1093-5.

Bouhadad, Y., Benhamouche, A., Bourenane, H., Ait Ouali, A., Chik, M. and Guessoum, N. 2010. The Laalam (Algeria) damaging landslide triggered by a moderate earthquake (Mw=5.2). *Journal of Natural Hazards*, *54*, pp. 261-272.

Bougdal, R. 2007. Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord. *Thèse de Doctorat d'état*, *USTHB*, 195 p.

Bougdal, R., Larriere, A., Pincent, B., Panet, M. et Bentabet, A. 2013. Les glissements de terrains du quartier Bélouizdad, Constantine, Algérie. *Bull. Eng. Geol. Env.*, pp. 189-202. https://doi.org/10.1007/s10064-013-0465-8.

Bourenane, H, Bouhadad, Y., Guettouche, M.-S. and Braham, M. 2014. GIS-based landslide susceptibility zonation using bivariate statistical and expert approaches in the city of Constantine (Northeast Algeria). *Bull. of Engineering Geology and Environment*, pp. 337-355. DOI: 10.1007/s10064-014-0616-6.

Bourenane, H., Bouhadad, Y. and Guttouche, Ms., 2019. Flood hazard mapping in urban area using the hydro-geomorphological approach: case study of the Boumer-zougand Rhumel alluvial plains (Constantine city, NE Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, *160*, doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103602.

Bourenane, H., Braham, M., Bouhadad, Y. and Meziani, A.-A. 2021. Spatial distribution, controlling factors and failure mechanisms of the large scale landslides

in the urban area of Azazga city (northern Algeria). *Environmental Earth Sciences*, *80,* pp. 7333-7359. https://doi.org/10.1007/s12665-021-09607-5.

CALLIGARIS, C. AND ZINI, L. 2012. Debris Flow Phenomena: A Short Overview? *Earth Sciences*, pp. 72-90. doi:10.5772/29786.

CANNON, S.-H., BOLDT, E.-M., LABER, J.-L., KEAN, J.-W. AND STALEY, D.-M. 2011. Rainfall intensity-duration thresholds for post fire debris-flow emergency-response planning. *Nat. Hazards, 59*, pp. 209-236, DOI 10.1007/s11069-011-9747-2

CHEN, X., HUI CHEN, YONG YOU, AND JINFENQ LIU. 2015. "Susceptibility Assessment of debris flows using the analytic hierarchy process method − A case study in Subao River Valley, China. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, *7*, no. 4, pp. 404-410. doi:10.1016/j.jrmge.2015.04.003.

FICHEUR, E. 1889. Carte géologique de l'Algérie au 1/50 000, feuille de Tazmalt.

FLAGEOLLET, J.-C. 1989. Les mouvements de terrain et leur prévention. *Edit. MASSON*, 224 p.

FONSECA, R.-L., QUINTANA, C.-R., MEGAL, L.-L. AND ROTH, A. 2007. Protection systems against debris flows. *WIT Transactions on the Built Environment II - Safety and Security Engineering, 94,* pp. 73-82. doi:10.2495/SAFE070081.

GABERT, P. 1984. Séismes, néotectoniques et effets induits sur les versants des massifs des Babors dans la région de Kherrata (Algérie). *Revue géographique des pays méditerra-néens, 1*, pp. 25-32.

GUIROUS, L., DUBOIS, L. ET MELBOUCI, B. 2014. Contribution à l'étude du mouvement de terrain de la ville de Tigzirt (Algérie). *Bull. Eng. Geol. Environ,* pp. 971-986. https://doi.org/10.1007/s10064-014-0624-6.

GUZZETTI, F., CARDINALI, M., REICHENBACH, P., CIPOLLA, F., SEBASTIANI, C., GALLI, M. AND SALVATI, P. 2004. Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy. *Eng. Geol. 73* (2), pp. 229-245. doi:10.1016/j.

GUZZETTI, F., MONDINI, A.-C., CARDINALI, M., FIORUCCI, F., SANTANGELO, M. AND CHANG, K.-T., 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews,* pp. 42-46. doi:10.1016/j.earscirev.2012.02.1.

HADJI, R., LIMANI, Y., BAGHEM, M. AND DEMDOUM, A. 2013. Geologic, topographic and climatic controls in landslide hazard assessment using GIS modeling: a case study of Souk Ahras region, NE Algeria. *Quaternary International*, *302*, pp. 224-237.

HUNGR, O., MORGAN, G. AND KELLERHALS, R. 1984. Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures. *Can. Geotech. J., 21*, pp. 663-677.

JAKOB, M. 2021. Debris-flow hazard assess-ments: A Practitioner's View. *Environmental & Engineering Geosciences*, *27* (2), pp. 153-166. https://doi.org/10.2113/EEG-D-20-00110.

JIN, T., HU, X., LIU, B., XI, C., HE, K., CAO, X., LUO, G., HAN, M., MA, G., YANG, Y. 2022. Susceptibility prediction of post-fire debris flows in Xichang, China, using a logistic regression model from a spatiotemporal perspective. *Remote Sens. 14* (6). https://doi.org/10.3390/rs14061306.

KEEFER, DK. 1984. Landslides caused by earth-quakes. *Bull. Geol. Soc. Am. 95*, pp. 406-421.

Machane, D., Bouhadad, Y., Cheikhlouniss, G, Chatelain J.-L., Oubaiche, E.-H., Abbes, K., Guillier, B. and Bensalem R. 2008. Examples of geological and geomorphological hazards in Algeria. *Journal of Natural Hazards, 45* (2), pp. 295-308.

Malet, J.-P., Laigle, D., Remaitre, and Maquaire, O. 2005. Triggering conditions and mobility of debris flows associated to complex earth flows. *Geomorphology, 66*, pp. 215-235.

Manchar, N., Benabbas, C., Hadji, R., Bouaicha, F. and Grecu, F. 2019. Landslide susceptibility assessment in Constantine region (NE Algeria) by means of statistical models. *Studia Geotechnica et Mechanica*, *40* (3), pp. 208-219.

Pradhan, B., Mansor, S., Pirasteh, S. and Buchroithner, M.-F. 2011. Landslide hazard and risk analyses at a landslide prone catchment area using statistical based geo-spatial model. *International Journal of Remote Sensing*, *32* (14), pp. 4075-4087.

Rickenmann, D. 2016. Debris-flow hazard assessment and methods applied in engineering practice. *International Journal of Erosion Control Engineering*, *9* (3), pp. 80-90.

Tebbouche, M.-Y., Ait Benamar, D., Hassan, H.-M., Singh, A.-P., Bencharif, R., Machane, D., Meziani, A.-A. and Nemer, Z. 2022. Characterization of El Kherba landslide triggered by the August 07, 2020, Mw=4.9 Mila earthquake (Algeria) based on post-event field observation and ambient noise analysis. *Environmental Earth Sciences, 81* (2). https://doi.org/10.1007/s12665-022-10172-8.

Tillery, A.-C., Darr, M.-J., Cannon, S.-H. and Michael, J.-A. 2011. Post-wildfire preliminary debris flow hazard assessment for the area burned by the 2011 Las Conchas Fire in north-central New Mexico, Open-File Report 2011-1308. *U.S. Geological Survey Edition.*

Thomas, M.-A., Rengers, F.-K., Kean, J.-W., Mcguire, L.-A. and Ebel, B.-A. 2021. Post-wildfire soil-hydraulic recovery and the persistence of debris flow hazards. *J. Geophys. Res. Earth Surf*, *126*.

Vagnon, F. 2020. Design of active debris flow mitigation measures: a comprehensive analysis of existing impact models. *Landslides*, *17* (2), pp. 313-333.

Van Westen, Cj., Van Asch, Twj. and Soeters, R. 2006. Landslide hazard and risk zonation, why is it still so difficult? *Bull. Eng. Geol. Environ*. *65*, pp. 167-184.

Varnes, Dj. 1978. Slope movement, types and processes. *In*: Schuster R.-L., Krizek R.-J. (Eds) Landslides, analyses and control. *National Academy of Science, Report 176, Washing-ton DC*, pp. 11-35.

Wall, S.-A., Roering, J.-J. and Rengers, F.-K. 2020. Runoff-initiated post-fire debris flow Western Cascades, Oregon. *Landslides*, 17, pp. 1649-1661.