

# Evaluation de la vulnérabilité liée aux mouvements de terrain (Application à la commune de Bensekrane)

F. Benzenine, M. A. Allal, C. Abdelbaki

*Université Aboubekr Belkaïd Tlemcen, Algérie*

## RÉSUMÉ :

L'objectif de notre travail est de proposer une approche pour l'évaluation de la vulnérabilité liée aux mouvements de terrain.

Pour atteindre cet objectif, nous avons entamé notre étude par le recensement des différents types de mouvements de terrain. Nous nous sommes intéressés par la suite à la vulnérabilité.

Afin d'évaluer la vulnérabilité liée aux mouvements de terrain, il fallait recenser et classer les enjeux présents sur notre zone d'étude. Malheureusement, l'état des habitations et des équipements n'existent pas, l'indice d'endommagement qui est communément utilisé dans l'évaluation de la vulnérabilité n'est pas disponible. Par conséquent, nous avons proposé une approche qui tient compte de l'aléa et des enjeux présents sur notre zone d'étude. Nous avons attribué un coefficient de pondération aux enjeux et à l'intensité de l'aléa. Les résultats obtenus seront sous forme de cartes.

Mots clés : Aléa, Cartographie, Risque, Mouvements de terrain, Vulnérabilité.

## 1 INTRODUCTION

La cartographie de l'aléa fut la première étape dans la prévention des risques naturels en général. Longtemps, le risque et l'aléa étaient confondus, mais avec le temps, les chercheurs tentent de donner à chaque terme sa signification, son but. Ainsi, d'autres terminologies sont introduites dans le vocabulaire de la gestion des catastrophes, tels que le risque (qui ne veut plus dire aléa), la vulnérabilité et plus récemment la résilience. (Kumar et al, 2015).

Sans négliger l'aléa, l'élément clé de l'analyse du risque est la vulnérabilité qui peut être humaine, socioéconomique, institutionnelle etc. Elle inclut l'existence ou l'absence des mesures de protection que certains pays prennent en considération et que d'autres ignorent. Depuis quelques années, face à la fréquence des sinistres et soucieuses de l'aspect sécuritaire de la population, les autorités ont eu recours aux cartes d'aléa comme outil de prévention. Cette dernière était basée sur la connaissance et la maîtrise de l'aléa. Actuellement, la prévention s'oriente de plus en plus vers l'occupation des sols, la mise en garde de la population, la réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes. L'enjeu majeur est la réduction de la vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux catastrophes naturelles.

## 2 LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Les mouvements de terrain sont des événements qui peuvent être très lents ou extrêmement rapides, plus ou moins spectaculaires, souvent dommageables et parfois dangereux, généralement

regardés comme exceptionnels et isolés ; presque tous ne sont en réalité que des épisodes normaux de la phase externe d'un cycle géologique ou d'un défaut de construction.

Ils sont déterminés par certaines actions mécaniques, naturelles ou artificielles que subissent les sites dans lesquels ils se produisent ; on les caractérise par leurs formes, leurs évolutions et leurs produits ; on établit leurs causes et leurs probabilités de réalisation spécifiques en étudiant ce qui les détermine ; on peut ainsi définir les risques dont ils sont les facteurs et essayer de s'en prémunir. (Benzenine et al, 2012).

### 3 LES VARIETES DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Il existe une grande variété des mouvements de terrain et une grande ressemblance entre quelques-uns ; certains peuvent évoluer et donner naissance à un autre type de mouvement (la reptation, qui, en évolution se transforme en un glissement de terrain, le fauchage, qui lui se transforme en un glissement rocheux). (Çellek, 2020). Nous pouvons citer (Assiou et al, 2011) :

- Les déformations lentes ;
- Les glissements ;
- Les écoulements ;
- Les glissements-écoulements ;
- Les éboulements ;
- Les chutes de blocs ;
- Les fontis ;
- Les affaissements ;
- Le retrait – gonflement ;
- Les effondrements généralisés.

### 4 EVALUATION DE LA VULNERABILITE

Les travaux sur le risque environnemental nous ont naturellement conduits à un concept très utilisé dans ce champ d'étude : la vulnérabilité. Ce concept, déjà très étudié dans les années 80, est depuis une vingtaine d'années au cœur de nombreuses analyses sur les risques liés aux grandes catastrophes, ou à la pauvreté et à la malnutrition (Abdelbaki et al, 2019).

La vulnérabilité liée aux mouvements de terrain fait référence à la susceptibilité d'une région ou d'une zone à subir des dommages ou des pertes en raison de certains phénomènes tels que les glissements de terrain, les éboulements ou l'affaissement du sol. (Maquaire, 2002).

D'une manière simple, la vulnérabilité est engendrée par l'aléa dû à un risque naturel ou industriel et par les enjeux présents. Les enjeux et la vulnérabilité sont liés par la présence humaine, habitations, activités économiques, infrastructure etc., et sont difficiles à définir. Il n'existe pas de vulnérabilité intrinsèque mais une vulnérabilité pour chacun des aléas concernés. La vulnérabilité dépend des éléments exposés et de leurs résistances, comportements, etc. Elle est caractéristique d'un site à un moment donné. Elle est modulable et évolutive en fonction de l'activité humaine.

La vulnérabilité est difficile à mesurer car elle est en fonction de l'intensité des sinistres. Dès lors, la vulnérabilité devient une fonctionnelle et non une simple valeur. (Leone, 1996).

L'évaluation de la vulnérabilité n'est pas une chose facile car elle dépend, plus ou moins, de l'ampleur du mouvement de terrain considéré. La vulnérabilité peut en effet être considérée comme une grandeur caractérisant le niveau potentiel d'endommagement des éléments exposés à l'action d'un phénomène exposé comme les mouvements de terrain. (Maquaire et al, 2006).

### 5 EVALUATION DE LA VULNERABILITE LIEE AUX MOUVEMENTS DE PENTE DE LA COMMUNE DE BENSEKRANE

La méthode prépondérante pour l'évaluation de la vulnérabilité est celle qui détermine l'indice d'endommagement. Dans notre cas, nous avons établi une approche qui s'appuie sur la définition

de la vulnérabilité qui dépend des enjeux et de l'aléa. Nous avons recensé les enjeux, il faut à présent leur attribuer un facteur de pondération. (Benzenine et al. 2023).

Tableau 1 Pondération des enjeux de la commune de Bensekrane.

Enjeux	Coefficient de pondération
La population	5
Les habitations	3
Les équipements	4
Les réseaux routiers	5
Les réseaux électriques et de télécommunication	5
Le patrimoine bâti	1
Le patrimoine environnemental	1
Terrain agricole	1

L'aléa se qualifie par son intensité, son agressivité, et par sa gravité. Pour déterminer la vulnérabilité, nous nous sommes basés sur les cartes d'aléa déjà établies. L'aléa varie selon son intensité, il peut être soit faible, moyen, fort ou très fort. Par conséquent, nous avons pondéré l'intensité de l'aléa afin d'évaluer la vulnérabilité (cf. tableau 2.) (Benzenine et al. 2023).

Tableau 2. Pondération de l'aléa de la commune de Bensekrane.

Aléa	coefficient de pondération
Faible	1
Moyen	2
Fort	3
Très fort	4

En considérant le cas le plus défavorable où l'aléa est très fort et tous les enjeux sont présents dans la zone d'étude, nous avons établi le tableau suivant qui détermine l'indice de vulnérabilité.

Tableau 3. L'évaluation de l'indice de vulnérabilité liée aux mouvements de pente.

Aléa	Coefficient pondération	Enjeux	Coefficient pondération	Vulnérabilité
Très fort	4	Population	5	20
Très fort	4	Habitations	3	12
Très fort	4	Equipements	4	16
Très fort	4	Réseaux routiers	5	20
Très fort	4	Réseaux Electrique+ Télécommunication	5	20
Très fort	4	Patrimoine bâtis	1	4
Très fort	4	Patrimoine environnemental	1	4
Très fort	4	Terrains agricoles	1	4
			TOTAL	100

Nous avons obtenu quatre intervalles pour établir les degrés de vulnérabilité qui seront tels que :

- [0-25%] vulnérabilité faible ;
- [25-50%] vulnérabilité moyenne ;
- [50-75%] vulnérabilité forte ;
- [75-100%] vulnérabilité très forte ;

Pour une meilleur compréhension et lisibilité, ces intervalles seront traduits par des couleurs sur les cartes de vulnérabilité.  
 La matrice de vulnérabilité va nous permettre de déterminer l'indice de vulnérabilité et de le définir dans un intervalle (Figure1).

Enjeux \ Aléa	1	2	3	4
5	5	10	15	20
3	3	6	9	12
4	4	8	12	16
5	5	10	15	20
5	5	10	15	20
1	1	2	3	4
1	1	2	3	4
1	1	2	3	4

Figure 1 Matrice de vulnérabilité globale liée aux mouvements de pente.

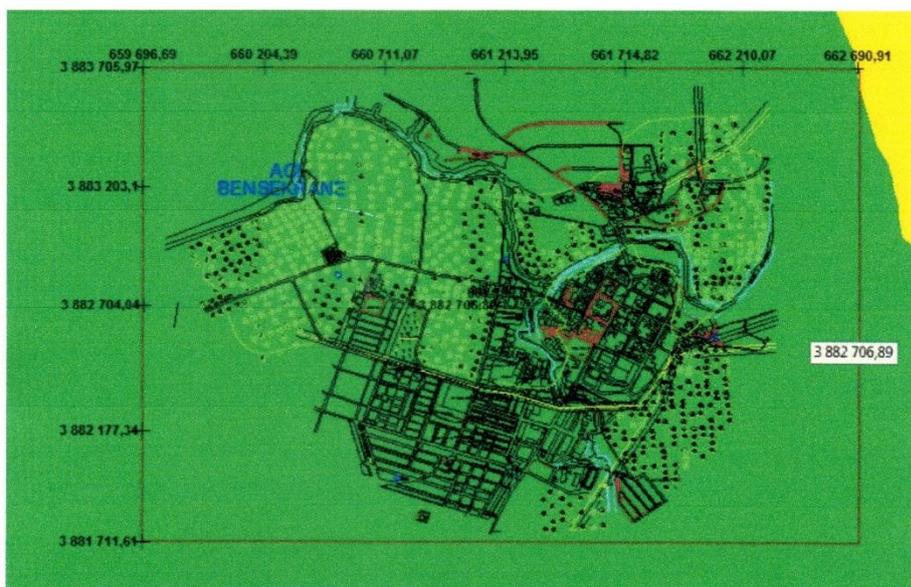


Figure 2 Superposition des enjeux avec la carte d'aléa dû aux mouvements de pente (ACL Bensekrane).

Cette superposition nous a permis de calculer l'indice de vulnérabilité qui sera déterminé par la matrice de vulnérabilité, c'est le croisement entre l'aléa et les enjeux présents dans l'ACL de Bensekrane.

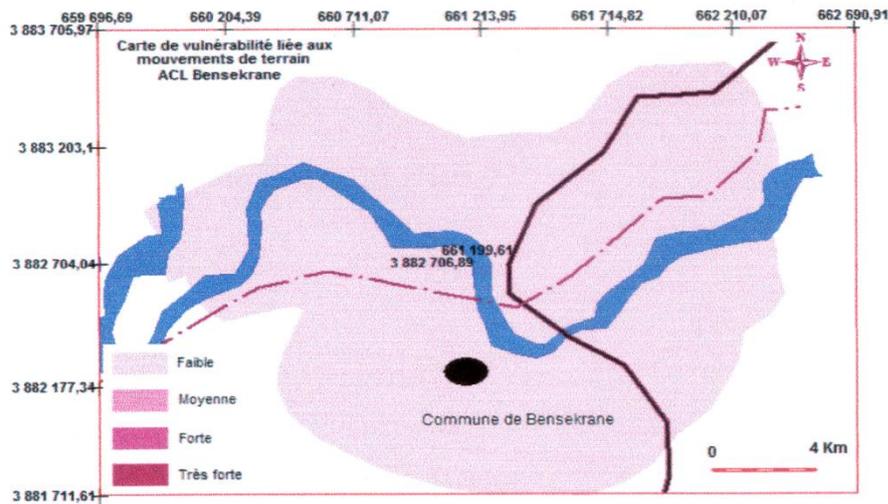


Figure 3. Carte de vulnérabilité due à d'aléa lié aux mouvements de pente (ACL Bensekrane).

La carte suivante représente la superposition entre la carte d'aléa due aux mouvements de pente et la carte qui représente les enjeux de l'A.S de Sidi Abderrahmane.

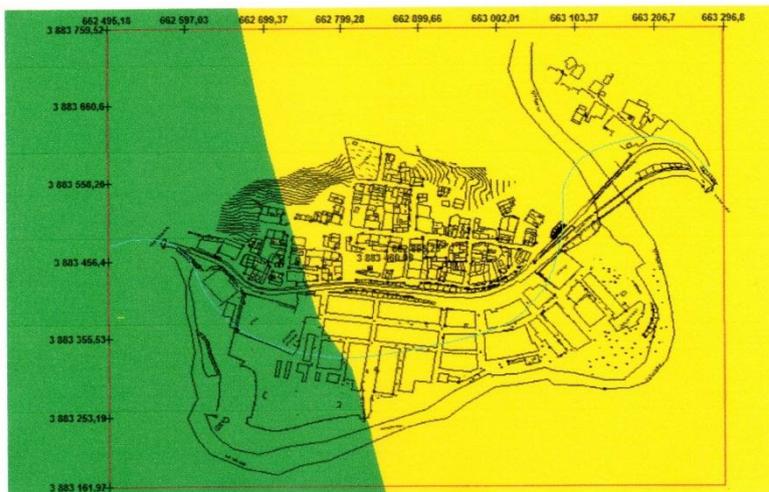


Figure 4. Superposition des enjeux avec la carte d'aléa dû aux mouvements de pente (AS Sidi Abderrahmane).

La figure suivante représente la carte de vulnérabilité liée aux mouvements de pente de l'AS de Sidi Abderrahmane.

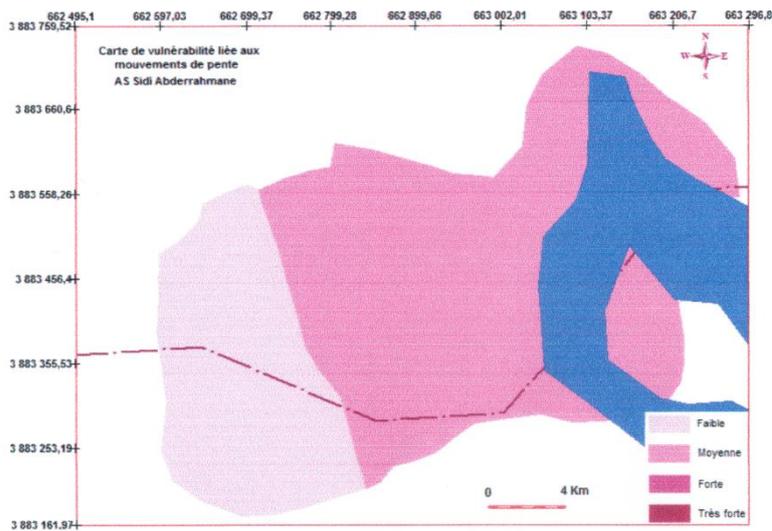


Figure 5. Carte de vulnérabilité due à d'aléa lié aux mouvements de pente (AS Sidi Abderrahmane).

La carte suivante représente la superposition entre la carte d'aléa due aux mouvements de pente et la carte qui représente les enjeux de l'A.S R'Kham.

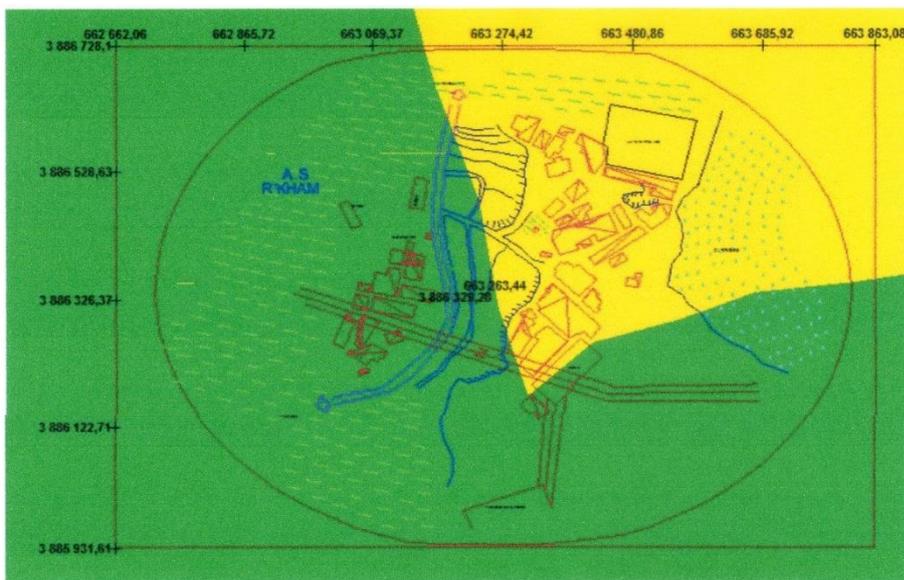


Figure 6. Superposition des enjeux avec la carte d'aléa dû aux mouvements de pente (AS R'Kham).

La figure suivante représente la carte de vulnérabilité liée aux mouvements de pente de l'AS R'Kham.

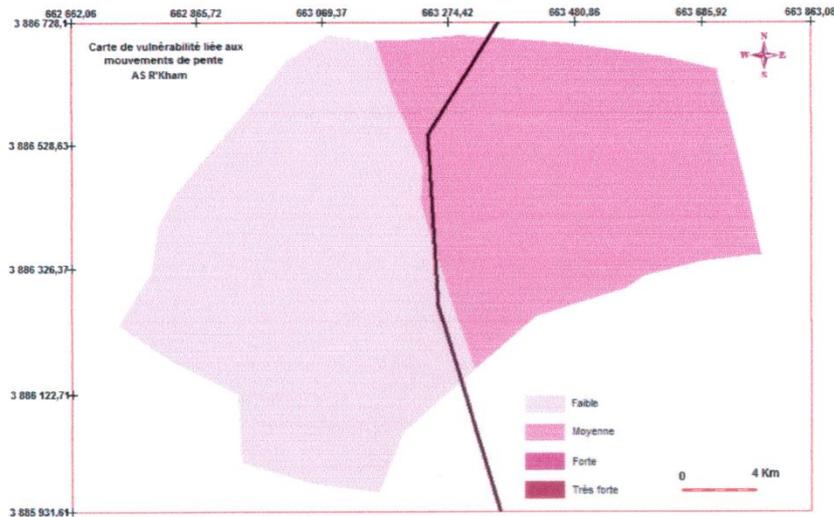


Figure 7. Carte de vulnérabilité due à d'aléa lié aux mouvements de pente (AS R'Kham).

La carte suivante représente la superposition entre la carte d'aléa due aux mouvements de pente par la méthode arithmétique et la carte qui représente les enjeux de l'A.S Takbalat.

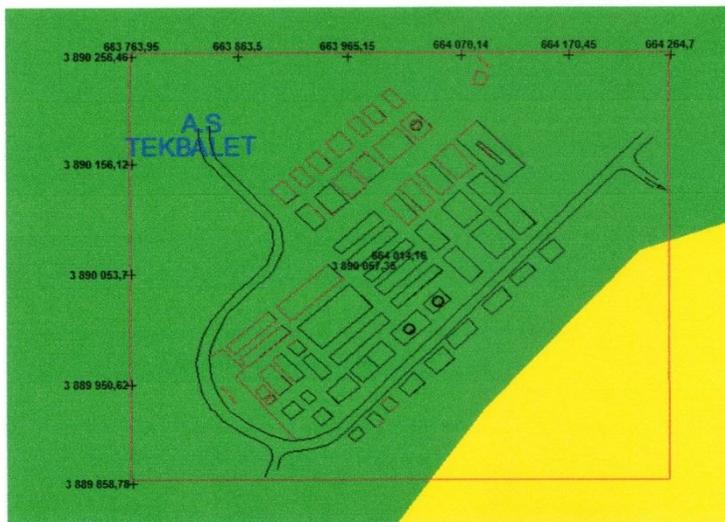


Figure 8. Superposition des enjeux avec la carte d'aléa dû aux mouvements de pente, (AS Takbalat).

Nous avons une faible vulnérabilité liée aux mouvements de pente qui est représentée dans la carte suivante :

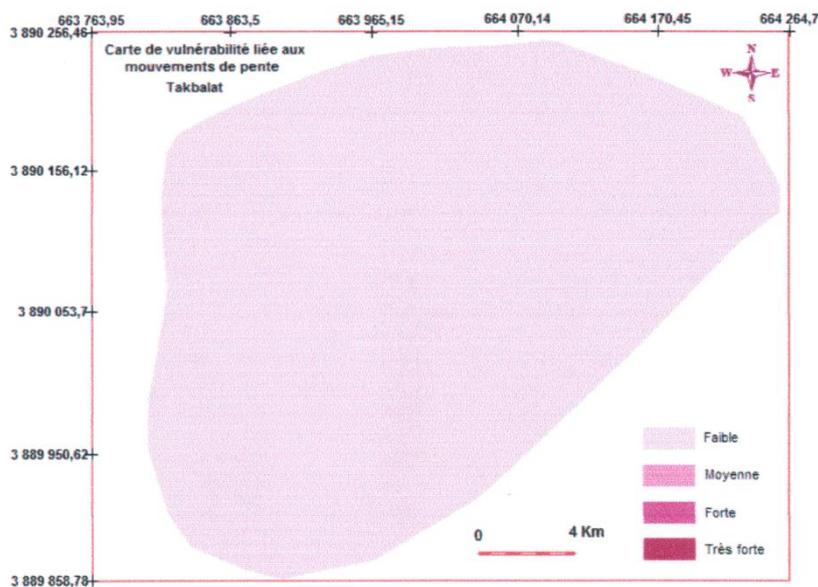


Figure 9. Carte de vulnérabilité due à d'aléa lié aux mouvements de pente (AS Takbalat).

## 6 EVALUATION DE LA VULNERABILITE LIEE AUX RETRAIT-GONFLEMENT DE LA COMMUNE DE BENSEKRANE

Nous allons adopter le même principe que pour l'évaluation de la vulnérabilité liée aux mouvements de pente. N'ayant pas de données sur l'endommagement des structures existantes, nous sommes contraint d'établir une approche qui s'appuie sur la définition de la vulnérabilité qui dépend des enjeux et de l'aléa. Cependant, les enjeux sont différents car les endommagements dus aux mouvements de pente et aux retrait-gonflement ne sont pas les mêmes.

Tableau 4. Pondération des enjeux liés au retrait-gonflement de la commune de Bensekrane.

Enjeux	Coefficient de pondération
Les habitations	5
Les équipements	6
Les ouvrages spéciaux	6
Les réseaux électriques	2
Les réseaux routiers	4
Le patrimoine bâti	2

Nous avons considéré que l'intensité de l'aléa dû au retrait-gonflement. L'aléa varie selon son intensité, il peut être soit faible, moyen, fort ou très fort. Par conséquent, nous avons pondéré l'intensité de l'aléa afin d'évaluer la vulnérabilité (cf. tableau 5).

Tableau 5. Pondération de l'aléa de la commune de Bensekrane.

Aléa	Coefficient de pondération
Faible	1
Moyen	2
Fort	3
Très fort	4

En considérant le cas le plus défavorable où l'aléa et très fort et tous les enjeux sont présents dans la zone d'étude, nous avons établi le tableau suivant qui détermine l'indice de vulnérabilité :

Tableau 4.10 L'évaluation de l'indice de vulnérabilité liée aux retrait-gonflement.

Aléa	Coefficient de pondération	Enjeux	Coefficient de pondération	vulnérabilité
Très fort	4	Les habitations	5	20
Très fort	4	Les équipements	6	24
Très fort	4	Les ouvrages spéciaux	6	24
Très fort	4	Les appuis de pylônes	2	8
Très fort	4	Les réseaux routiers	4	16
Très fort	4	Le patrimoine bâti	2	8
			TOTAL	100

Nous avons obtenu quatre intervalles pour établir les degrés de vulnérabilité qui seront tels que:

- [0-25%] vulnérabilité faible ;
- [25-50%] vulnérabilité moyenne ;
- [50-75%] vulnérabilité forte ;
- [75-100%] vulnérabilité très forte ;

Pour une meilleur compréhension et lisibilité, ces intervalles seront traduits par des couleurs sur les cartes de vulnérabilité.

La matrice de vulnérabilité va nous permettre de déterminer l'indice de vulnérabilité et de le définir dans un intervalle.

Aléa \ Enjeux	Aléa			
	1	2	3	4
5	5	10	15	20
6	6	12	18	24
6	6	12	18	24
2	2	4	6	8
4	4	8	12	16
2	2	4	6	8

Figure 10. Matrice de vulnérabilité globale liée au retrait-gonflement.

La carte suivante représente la superposition entre la carte d'aléa dû au retrait-gonflement et la carte qui représente les enjeux de la commune de Bensekrane.



Figure 11. Superposition des enjeux avec la carte dû au retrait-gonflement (ACL Bensekrane).

Cette superposition nous a permis d'avoir l'indice de vulnérabilité qui sera déterminé par la matrice de vulnérabilité, c'est le croisement entre l'aléa et les enjeux présents dans l'ACL Bensekrane.

Cet indice par la suite sera classé dans un des quatre intervalles pour que nous puissions définir la vulnérabilité.

La carte suivante représente la superposition entre la carte d'aléa dû au retrait-gonflement et la carte qui représente les enjeux de l'AS Sidi Abderrahmane.

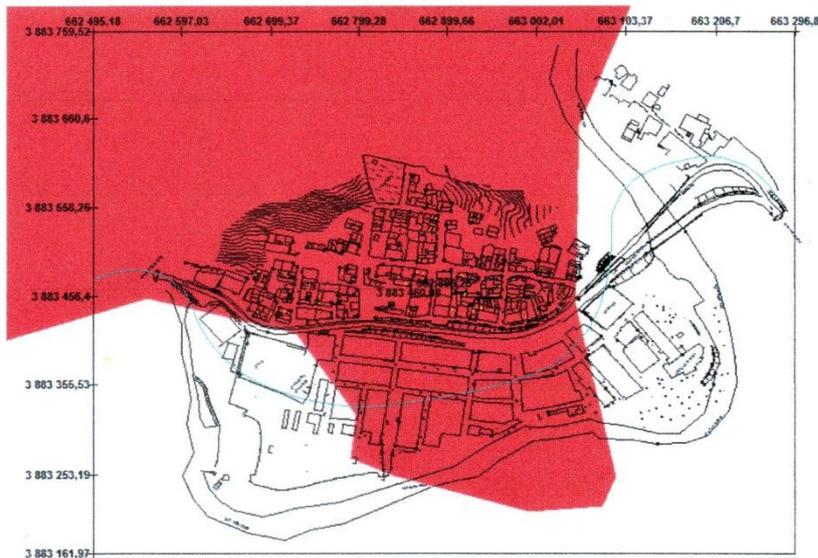


Figure 12. Superposition des enjeux avec la carte dû au retrait-gonflement, (AS Sidi Abderrahmane).

Cette superposition nous a permis d'avoir l'indice de vulnérabilité qui sera déterminé par la matrice de vulnérabilité, c'est le croisement entre l'aléa et les enjeux présents dans l'AS Sidi Abderrahmane.

Cet indice par la suite sera classé dans un des quatre intervalles pour que nous puissions définir la vulnérabilité. Nous avons une vulnérabilité élevée liée au retrait-gonflement qui est représentée dans la carte.

La carte suivante représente la superposition entre la carte d'aléa dû au retrait-gonflement et la carte qui représente les enjeux de l'AS R'Kham.

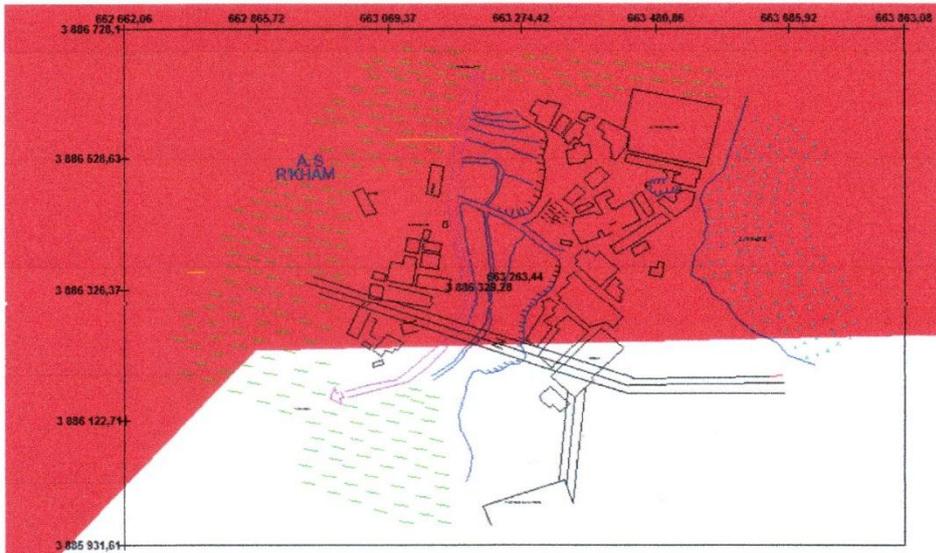


Figure 13. Superposition des enjeux avec la carte dû au retrait-gonflement, (AS R'Kham).

Cette superposition nous a permis d'avoir l'indice de vulnérabilité qui sera déterminé par la matrice de vulnérabilité, c'est le croisement entre l'aléa et les enjeux présents dans l'AS R'Kham.

Cet indice par la suite sera classé dans un des quatre intervalles pour que nous puissions définir la vulnérabilité. Nous avons une vulnérabilité élevée liée au retrait-gonflement qui est représentée dans la carte.

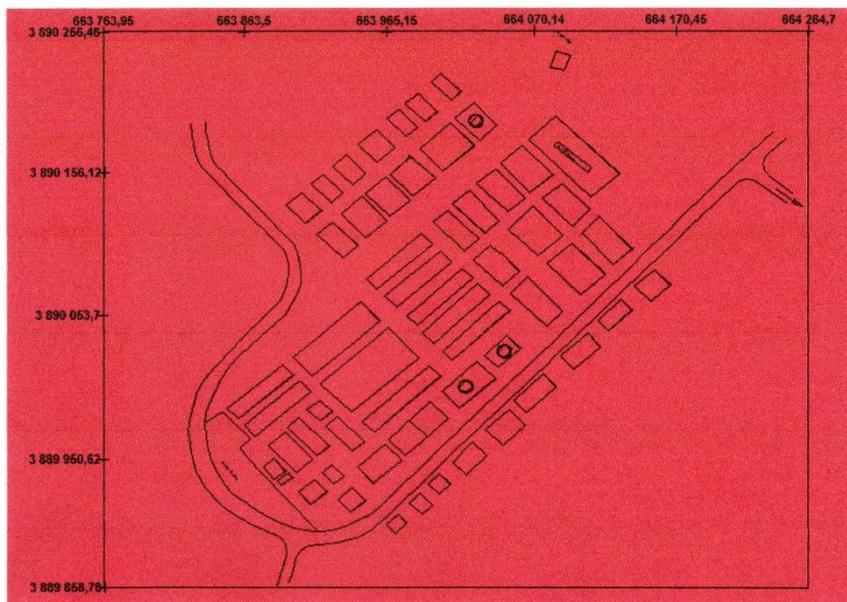


Figure 14. Superposition des enjeux avec la carte dû au retrait-gonflement,

Cette superposition nous a permis d'avoir l'indice de vulnérabilité qui sera déterminé par la matrice suivante, c'est le croisement entre l'aléa et les enjeux présents dans l'AS Takbalat. Cet indice par la suite sera classé dans un des quatre intervalles pour que nous puissions définir la

vulnérabilité (AS Takbalat). Nous avons une vulnérabilité élevée liée au retrait-gonflement qui est représentée dans la carte.

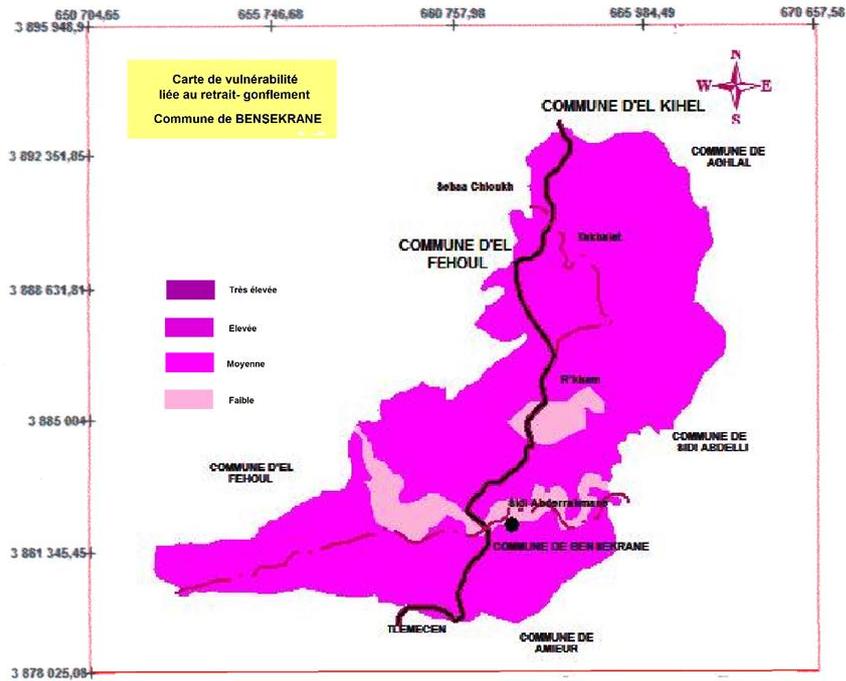


Figure 15. Carte de vulnérabilité due au retrait-gonflement, commune de Bensekrane.

## 7 CONCLUSION

L'évaluation de la vulnérabilité n'est pas une chose facile. L'équation de l'endommagement de Leone Frederic, est la plus utilisée dans ce domaine. Dans notre cas, les données concernant l'état des infrastructures et des habitations ne sont pas disponibles voire inexistantes. Nous avons considéré que la vulnérabilité dépend de l'aléa et des enjeux présents dans notre zone d'étude. Nous avons pondéré les enjeux et l'intensité de l'aléa pour aboutir à la matrice de vulnérabilité qui nous a permis d'obtenir l'indice de vulnérabilité. Celui-ci est classé dans quatre intervalles et chaque intervalle correspond à un degré de vulnérabilité. Heureusement que nous avons plusieurs cartes d'aléa pour la commune de Bensekrane, ceci nous a permis de valider la pondération des enjeux. Les résultats étaient cohérents avec les données.

Les résultats obtenus sont sous forme de cartes pour une meilleure lisibilité et pour une utilisation facile. Elles seront très utiles dans le domaine des assurances et dans la gestion des risques.

## 8 REFERENCES

Abdelbaki, C., Touaibia, B., Ammari, A., Mahmoudi, H., Goosen, M., 2019. Contribution of GIS and Hydraulic Modeling to the Management of Water Distribution Network. In: Koutsopoulos, Assiou F.-Z., Nechnach A., 2011, Retrait-gonflement des marnes argileuses d'Alger «étude d'un risque naturel» IN-VACO2 : séminaire international, Innovation et Valorisation en Génie Civil et Matériaux de Construction. Rabat, Maroc.

Benzenine F., Allal M. A., Abdelbaki C., 2012, Systémique et SIG : prévention contre l'aléa des mouvements de pente, cas de la commune de Bensekrane. Editions Universitaires Européennes.

Benzenine F., Allal M. A., Abdelbaki C., Kumar N., Goosem M., Mwangi Gatehnya J., 2023, Multi-Hazard Risk Assessment and Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study from Bensekrane in Algeria, Sustainability, volume 15 Issue 3, 2071-10502016.

Çellek, S., 2020, Effect of the Slope Angle and Its Classification on Landslide. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss. 87, 1–28. <https://doi.org/10.5194/nhess-2020-87>.

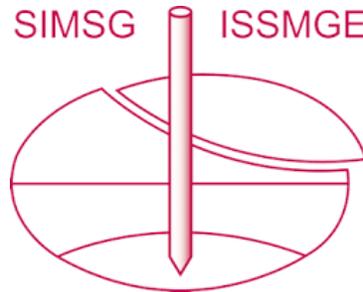
Kumar N., Yamaç SS., Velmurugan A., 2015. Applications of remote sensing and GIS in natural resource management Journal of the Andaman Science Association 20 (1), pp 1-6.

Leone F., Asté J.- P., Leroi E., 1996, L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrain : pour une meilleure quantification du risque. Revue géographique alpine, Volume 84 N°1 pp35-46.

Maquaire O., 2002, Aléas géomorphologiques : processus, fonctionnement, cartographie. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université Louis Pasteur, Strasbourg, 219 p.

Maquaire O., et al., 2006, Analyse spatiale, évaluation et cartographie du risque "glissement de terrain". Revue Internationale de Géomatique, Vol spécial, n°4/2006.

# INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



*This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:*

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

*This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.*

*The paper was published in the proceedings of the 18th African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering and was edited by Abdelmalek Bekkouche. The conference was held from October 6<sup>th</sup> to October 9<sup>th</sup> 2024 in Algiers, Algeria.*