



Université Larbi Tébessi. Tébessa

Faculté des Sciences Exactes, des Sciences
de la Nature et de la Vie



Département des Sciences de la Terre et de l'Univers
Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master

Filière : Géologie

Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème:

**Élaboration des cartes géotechniques
"Etude bibliographique"**

Présenté par :

BEKHOUCHE Younes

HAFNAOUI Sami

Devant le jury

Pr. ATHMANIA Djamel	Professeur	U.L.T Tébessa	Président
Dr. AOUN Mounira	MC « B »	U.L.T Tébessa	Examineur
Dr. MOUICI Ridha	M.C « B »	U.L.T Tébessa	Rapporteur

Session Juin 2022

Remerciements

A l'issue du cycle de ma formation je tiens à remercier ALLAH le tout puissant.

Mes remerciements les plus sincères vont à:

Dr. Rida MOUICI pour ses conseils précieux et ses suivis qu'il m'a prodigué durant tout notre travail.

Mes vifs remerciements vont aux membres de jury pour avoir accepté de juger mon présent travail.

En fin toute personne qui a participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire soit sincèrement remerciée, les enseignants qui ont participé à ma formation sincèrement remerciés

Younes

Remerciements

Au terme de ce travail, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage, la patience et la santé afin d'achever ce modeste travail dans les meilleures conditions.

A mon encadreur Dr. MOUICI Ridha, qui m'a accordé un grand honneur en me confiant la réalisation de ce travail, et qui, grâce à son esprit didactique, et ses conseils précieux, ce mémoire a pu être mené à bien.

Je tiens à remercier sincèrement les membres du jury qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail.

Mes sincères remerciements à tous les enseignants de la Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique à l'Université de Tébessa.

Mes remerciements s'adressent, également, à tous ceux qui à titre divers m'ont aidé par leurs paroles et leurs critiques à réaliser ce modeste travail.

Qu'ils puissent trouver dans ce travail le témoignage de ma sincère gratitude et de mon profond respect.

Sami HAFNAOUI

DEDICACE

Je dédie cet événement marquant de ma vie à la mémoire de mes parents, puisse ALLAH, le tout puissant les avoir en sa sainte miséricorde.

A ma femme

Qui a toujours été à mes cotes pour me soutenir et m'encourager.

A mes filles Razan, Rinad, Sidra et mon fils Sanad.

A mes amis Rachid, Mohammed, Jemai, Hakim, Onalla, hamad ,nouiri, et a tout qui m'ont encourager de près ou de loin

Sans oublier tous les professeurs de sciences de la terre.

Younes

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes parents pour leur amour inestimable, leur confiance, leur soutien, leur sacrifice et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

« Ils m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance, je suis redevable d'une éducation dont je suis fière ».

A ma femme pour son soutien, encouragement et amour inconditionnel.

A Mes frères et sœurs qui sont toujours là pour moi.

A ma petite adorable fille Racha.

A tous mes amis.

Sami HAFNAOUI

الأشغال الكبرى للتهيئة العمرانية تتطلب تدخل العديد من الفاعلين و التقنيين بتكوين قاعدي متنوع؛ هذا التدخل المتنوع يتطلب لغة مشتركة للتواصل. الخرائط الجيوتقنية تمثل هذه اللغة المشتركة و التي هي في الأساس خريطة جيولوجية.

هذا العمل البسيط يتمثل في محاولة لتوضيح، تعريف، تصنيف و تعداد النماذج الكبرى للخرائط المستمدة من هذا التصنيف مع أمثلة بسيطة للمساعدة على فهم هذا التصنيف.

الكلمات المفتاحية:

الخرائط الجيوتقنية، خرائط تلخيصية، خرائط تحليلية، خرائط للاستعمال محدد، خرائط متعددة الاستعمالات.

Abstract Geotechnical maps realization "bibliographic study"

Major development work involving multiple stakeholders from multiple core training; this multitude of interventions requires the use of a common language of communication. Geotechnical maps represent this common language which is at the base a geological map.

This modest work consists of an attempt to clarify, define, classify and enumerate the major types of maps from this classification with simple examples to simplify the understanding of this classification.

Key words:

Geotechnical map, analytic map, synthetic map, map for specific use, map for multiple uses.

Résumé: Réalisation des cartes géotechnique "étude bibliographique"

Les grandes travaux d'aménagement qui nécessitent l'intervention de plusieurs intervenants issus de multiples formations de base; cette multitude d'intervention nécessitent l'utilisation d'une langue commune de communication. Les cartes géotechniques représentent cette langue commune qui est à la base une carte géologique.

Ce modeste travail consiste à un essai d'éclaircissement, de définition, de classification et d'énumération des grands types de cartes issus de cette classification avec des exemples simples pour simplifier la compréhension de cette classification.

Mots clés:

Carte géotechnique, carte de facteur, carte d'aptitude, carte à usage particulier, carte à usage multiple.

Table de matières

Remerciement.....	I
Dédicace.....	III
ملخص.....	V
Abstract.....	V
Résumé.....	V
Table de matières.....	VI
Liste des figures.....	VII
Introduction	01
Chapitre 01: principes des cartes géotechniques.....	03
1.1. Introduction.....	04
1.2. Définition d'une carte géotechnique.....	04
1.3. Classification des cartes géotechniques.....	05
1.4. Conclusion.....	06
Chapitre 02: Les cartes analytiques (cartes de facteurs).....	07
2.1. Lithologie et propriétés des terrains.....	08
2.2. Géomorphologie.....	09
2.3. Hydrogéologie.....	13
2.4. Géodynamique.....	16
Chapitre 03: Les cartes synthétiques (cartes d'aptitudes).....	17
3.1. Illustration et documents explicatifs.....	18
3.2. Les cartes de risques naturels.....	22
3.2.1. Principe de la cartographie des risques naturels.....	23
3.2.2. Définition des risques pris en compte.....	23
3.2.3. Le tracé des limites.....	24
3.3. Les cartes ZERMOS.....	42
3.3.1. Principes et modalités d'établissement.....	43
3.4. Conclusion.....	58
Conclusion générale.....	59
Bibliographie.....	61

Liste des figures

Figure 01: Carte lithologique du bassin versant.....	09
Figure 02: Carte des pentes de la commune de Texenna.....	11
Figure 03: Carte du réseau hydrographique du bassin de Sota.....	12
Figure 04: Carte des conditions aux limites.....	14
Figure 05: Carte piézométrique.....	15
Figure 06: Carte de linéaments de Nikaramandougou.....	16
Figure 07 : Carte géotechnique de Tlemcen-Mansourah-Chetouane.....	20
Figure 08 : Carte géotechnique de Souk Ouled Nedjaa.....	21
Figure 09: Carte de la friabilité des matériaux.....	22
Figure 10 : Carte du risque d'éboulement à Chanxhe.....	25
Figure 11 : Carte de susceptibilité aux 'mouvements De versants.....	26
Figure 12: Carte des dangers actuels et futurs liés à la Sionne.....	27
Figure 13: Carte de susceptibilité des différents aléas.....	28
Figure 14: Carte des zones vulnérables à l'érosion hydrique.....	29
Figure 15: Coulée de débris sur le littoral de GORO.....	30
Figure 16: Extrait de la carte d'aléa.....	31
Figure 17: Carte à risque d'inondation.....	32
Figure 18 : Carte thématique d'Aléa.....	33
Figure 19: Classification sismique des wilayas d'Algérie.....	34
Figure 20: Carte d'aléa des mouvements de pente de la commune de Bensekrane.....	35
Figure 21: Carte d'aléa des mouvements de pente de la commune de Bensekrane.....	35
Figure 22: Plan d'exposition aux risques naturels.....	36
Figure 23: Carte de susceptibilité aux glissements de terrain.....	37
Figure 24: Carte SMS.....	38
Figure 25: Carte des indices de susceptibilité globaux.....	39
Figure 26: Carte de susceptibilité du Mouvement de Sol.....	40
Figure 27: LSMs for a: IV, b: WoE, and c: FR. d: ROC curves of The three used models..	41
Figure 28: Superposition de l'occupation de sol De 2018 sur la carte d'aléa glissement de terrain.....	42
Figure 29: Carte de risque glissement de terrain de la ville de Tébessa.....	42
Figure 30: Cartographie des zones d'aléas d'effondrement dressée Pour les carrières souterraines de la Malogne.....	45
Figure 10: Carte du risque d'éboulement à Chanxhe.....	46
Figure 11: Carte de susceptibilité aux 'mouvements De versants'.....	47
Figure 12: Carte des dangers actuels et futurs liés à la Sionne.....	48
Figure 13: Carte de susceptibilité des différents aléas.....	48
Figure 31: Carte de l'aléa effondrement à court terme.....	50
Figure 32: Carte de l'aléa effondrement à long terme.....	50
Figure 14: Carte des zones vulnérables à l'érosion hydrique.....	51
Figure 18: Carte thématique d'Aléa.....	52
Figure 22: Plan d'exposition aux risques naturels.....	52
Figure 33: Carte de susceptibilité au retrait-gonflement.....	54
Figure 23: Carte de susceptibilité aux glissements de terrain.....	55
Figure 24: Carte SMS.....	56
Figure 25: Carte des indices de susceptibilité globaux.....	56
Figure 27: Carte de susceptibilité aux mouvements de terrain.....	57
Figure 28: Superposition de l'occupation de sol.....	58
Figure 29: Carte de risque glissement de terrain.....	58

Introduction

Dans le but de réaliser des ouvrages de génie civil, de travaux publics, de travaux miniers, de génie rural,...etc. La cartographie géotechnique a vu le jour après une coopération entre les géologues et les différents ingénieurs intervenants. Les premières cartes réalisées étaient proche des cartes litho-stratigraphiques et structurales actuelles. Lorsque les problèmes géologiques doivent être examinés dans un cadre plus vaste que celui d'un ouvrage considéré isolément, des besoins nouveaux se font sentir. C'est le cas pour tout ce qui touche aux opérations très complexes d'aménagement du territoire. Pour un aménagement donné, le choix du parti initial doit prendre en compte une très grande quantité de paramètres, au nombre des quels ceux qui relèvent de la géologie ne sont pas les moins important ni les plus commodes à appréhender et à introduire dans une planification.

Les conséquences peuvent pourtant engager l'avenir, et cela vient d'être constaté et reconnu par la puissance publique qui impose désormais, par voie légale, des études d'impact sur l'environnement pour tout aménagement d'une certaine importance. Si l'échelle est régionale, la masse des informations géologiques et géotechniques devient alors très considérable, leur répartition spatiale est plus délicate à approcher et les moyens d'expression vont devoir s'adapter. Au rapport géologique trop ponctuel, on s'efforce alors de substituer un mode particulier de représentation, essentiellement graphique : la cartographie géotechnique (Guide de l'élaboration des cartes géotechniques de l'UNESCO 1976).

Les cartes géotechniques sont l'une des contributions possibles des spécialistes des sciences de la terre aux opérations d'aménagement et cette intervention doit être située très en amont du processus afin que des décisions malencontreuses ne puissent être prises de façon irréversible dans l'ignorance des données naturelles.

Une carte géotechnique indique la répartition et les relations spatiales de ces composantes fondamentales; elle peut donc retracer le passé ainsi que la dynamique de l'évolution des conditions géologiques qui intéressent l'ingénieur. Dans le système d'informations géologiques à l'usage des ingénieurs, les cartes de ce genre occupent une place essentielle et leur importance est immense. Ces cartes ne peuvent évidemment remplacer une étude détaillée du site d'un ouvrage, mais elles permettront de conduire rationnellement cette étude et d'en interpréter les résultats.

Ce travail, on l'espère, sera une contribution à définir la méthodologie de réalisation de ces différentes cartes. Il est structuré en trois chapitres;

Le premier chapitre est consacré à la définition des principales cartes géotechniques ainsi que les différents types des cartes qui en ressortent.

Le deuxième chapitre est consacré à la caractérisation des différentes cartes analytiques; aux définitions et la présentation de quelques exemples en Algérie et dans le monde.

Le troisième chapitre est consacré à la caractérisation des différentes cartes synthétiques; aux définitions et la présentation de quelques exemples en Algérie et dans le monde.

Chapitre 01

Principes des cartes géotechniques

1.1.Introduction

La cartographie géotechnique consiste à une représentation normalisée des données dont l'auteur et les utilisateurs ne sont, dans la plus part des cas, du même profil; la carte géotechnique est une carte géologique, les utilisateurs peuvent être des urbanistes, des ingénieurs de génie civil, de travaux publics... etc.

Ainsi il est primordial de définir au préalable des documents qui sont utilisables par tous ces intervenants.

Dans ce chapitre on va essayer de présenter les types des différentes cartes utilisés en géotechnique.

1.2.Définition d'une carte géotechnique

Le terme géotechnique peut paraître assez vague mais, si l'on adopte une définition de K. Terzaghi, « la géotechnique est destinée à regrouper les données les plus significatives des domaines de la mécanique des sols et de la géologie de l'ingénieur. Ces deux domaines sont si étroitement liés qu'il serait vain de demander quel est le plus important ». Ce point de vue se trouve illustré par la parenté souvent étroite qui existe entre les cartes géologiques usuelles et les cartes géotechnique. Cela est bien normal puisqu'elles représentent, chacune de leurs façons, un même terrain.

La carte géotechnique peut donc se définir, comme une carte géologique fournissant des renseignements d'ordre générale sur toutes les composantes d'un environnement géologique ayant une importance pour l'aménagement du sol et pour le calcul, la construction et l'entretien des travaux de génie civil.

Le praticien non géologue est donc en droit d'y trouver les informations à caractère technique qu'il rencontrera rarement sous une forme qui lui convienne sur la carte géologique classique. Cette dernière en outre, par la richesse des informations qu'elle dispense, par sa symbolique particulière et son vocabulaire spécialisé, orienté vers la géologie fondamentale plutôt que vers les aspects techniques, peut rebuter les utilisateurs occasionnels que sont les techniciens du génie civil ou ne pas répondre à leurs besoins.

La carte géotechnique essaie de simplifier leur tâche et d'éviter les erreurs d'interprétation. Pour cela, elle commence par représenter isolément les facteurs géologiques jugés indispensables tels que :

- 1) Lithologie et structure
- 2) Hydrogéologie
- 3) Géomorphologie
- 4) Phénomènes géodynamiques

Ensuite, elle s'efforce de qualifier les constituants du sous-sol en terme géotechniques par la réalisation de mesures in situ et au laboratoire qui viennent en complément des descriptions géologique elles-mêmes simplifiées. Toutes ces informations sont rassemblées dans une notice explicative, illustrée de coupes et de schéma divers.

Les cartes géotechniques contiennent des caractères géologiques qui peuvent être:

1. Les données des roches et des sols: répartition, position stratigraphique et structurale, âge, genèse, lithologie, état physique, propriétés physiques et mécaniques.
2. Les conditions hydrogéologiques: répartition des sols et roches aquifères, zones fracturées perméables en grand, profondeur et variations du niveau du toit de la nappe, existence de nappes captives et surfaces piézométriques de celles-ci, coefficient d'emménagement, direction de l'écoulement; sources, rivières, lacs, périodicité et limite des inondations; pH, salinité, corrosivité.
3. Les conditions géomorphologiques: topographie superficielle et éléments importants du paysage.
4. Les phénomènes géodynamiques: érosion et sédimentation, phénomènes éoliens, pergélisol, mouvements de pente, formation de conditions karstiques, suffosion, subsidence, changement de volume des sols, données sur les phénomènes sismiques, et notamment failles actives, mouvements tectoniques régionaux actifs et activités volcaniques.

Les cartes géotechniques doivent comporter des coupes d'interprétation, un texte explicatif et une légende. Elles peuvent aussi comporter certaines données documentaires qui ont été réunies pour la préparation de la carte. Il faut parfois plus d'une feuille pour indiquer toutes ces informations. (Brahim farid, F B Houti; Chapitre 5 ELEMENTS DE CARTOGRAPHIE 5.1) (Guide de l'élaboration des cartes géotechniques de l'UNESCO 1976).

1.3. Classifications des cartes géotechniques

Les cartes géotechniques sont classées selon leur usage, leur contenu et leur échelle.

Selon l'usage : les cartes géotechniques peuvent être à :

Usage particulier : ce sont des cartes qui présentent un aspect spécifique de la géologie de l'ingénieur, soit pour une utilisation bien déterminée.

Usage multiples : elles sont des cartes plus polyvalentes (qui couvrent plusieurs aspects de la géologie de l'ingénieur).

Selon le contenu : les cartes géotechniques peuvent-être:

Les cartes analytiques ou cartes de facteurs : qui représentent la répartition d'un facteur bien précis (carte des pentes, carte du toit de la nappe, etc.).

Les cartes synthétiques peuvent revêtir trois aspects :

1. Regroupement et figuration, sous une forme compréhensible, de tous les éléments de la géologie et géotechniques utiles à l'ingénieur.
2. Zonage géotechnique, par regroupement des terrains présentant des propriétés géotechniques voisines.
3. Carte d'aptitude, qui s'efforce d'interpréter les effets de la superposition et de la juxtaposition d'un certain nombre de facteurs géologiques et géotechniques élémentaires en vue d'une application précise (Carte ZERMOS "Zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol")

Il existe aussi les cartes auxiliaires qui présentent des données indispensables à la compréhension de la carte géotechnique, telle que la carte de documentation (qui indique tous les emplacements de reconnaissance, mesures, prélèvement d'échantillons, etc...) (Guide de l'élaboration des cartes géotechniques de l'UNESCO 1976).

Selon leur échelle : les cartes géotechniques sont dites :

A grande échelle : $> 1/10000$.

A moyenne échelle : entre $1/10000$ et $1/100000$.

A petite échelle : $< 1/100000$.

(Guide de l'élaboration des cartes géotechniques de l'UNESCO 1976)

1.4. Conclusion

Il en ressort que les cartes géotechniques peuvent être des cartes analytiques ou synthétiques et chacune d'elle peuvent être à usage particulier ou à usage multiple.

Chapitre 02

Les cartes analytiques (cartes de facteurs)

Les cartes analytiques ou cartes de facteurs : qui représentent la répartition d'un facteur bien précis; ces cartes sont généralement obtenus par l'analyse d'autres cartes de base (carte topographique, carte géologique...) ainsi que l'introduction d'autres données, les précipitations, les vents...etc.

Les facteurs géologiques les plus représentés sont :

1. Lithologie et propriétés des terrains et sols.
2. Géomorphologie.
3. Hydrogéologie.
4. Géodynamique externe.

2.1. Lithologie et propriétés des terrains :

Les données sont nombreuses et divers aspects doivent être représentés. Il faut rendre compte, de la nature géologique, des propriétés mécaniques, la composition minéralogique, la texture et la granulométrie, la teneur en eau, la fissuration, de l'existence et de l'abondance des formations d'altération ainsi que, les épaisseurs des formations.

Exemple 01 :

Réalisé par : Mostafia Boughalem, M.Mazour Zaagane, Mansour. Dans une partie d'un article DOI: 10.13140/2.1.5103.1368 dans la page 04.

Résumé :

Situé au nord-ouest de l'Algérie, le bassin versant de l'Isser, espace fragilisé par les épisodes de sécheresse et caractérisé par des affleurements de marnes et d'argiles très fragiles, présente une forte sensibilité à l'érosion hydrique. En plus de la détérioration de la qualité de l'eau qu'il entraîne, le phénomène érosif dans cette zone, constitue l'accusé principal de la dégradation du patrimoine sol. Il résulte de la conjonction de plusieurs facteurs : agressivité des pluies, érodibilité des sols, dissection du relief, faiblesse du couvert végétal... .

La reconnaissance des zones ravinées et la précision des caractéristiques climatiques et hydriques de la zone d'étude, peuvent servir de base à l'élaboration d'un plan d'aménagement antiérosif adapté aux conditions du milieu.

Pour ce faire, une carte de localisation des zones à haut risque, au niveau du bassin versant, correspondant au croisement d'une série de cartes thématiques, a été établie.

Cette carte permet de mettre en évidence les zones nécessitant un aménagement prioritaire. La synthèse de l'ensemble des résultats sous un système d'information géographique (SIG), a encouragés à proposer des travaux d'aménagement antiérosifs techniques (correction torrentielle) et biologiques (reboisement), visant à atténuer les effets négatifs des pertes en terre aussi bien à l'amont qu'à l'aval.

Le choix des ouvrages et les décisions à prendre doivent être fondés sur l'action des facteurs biophysiques et anthropiques. Par ailleurs, ces travaux doivent s'intégrer dans une nouvelle stratégie visant une meilleure gestion de l'espace dans une optique de développement durable, en tenant compte des besoins et des perspectives de la population rurale.

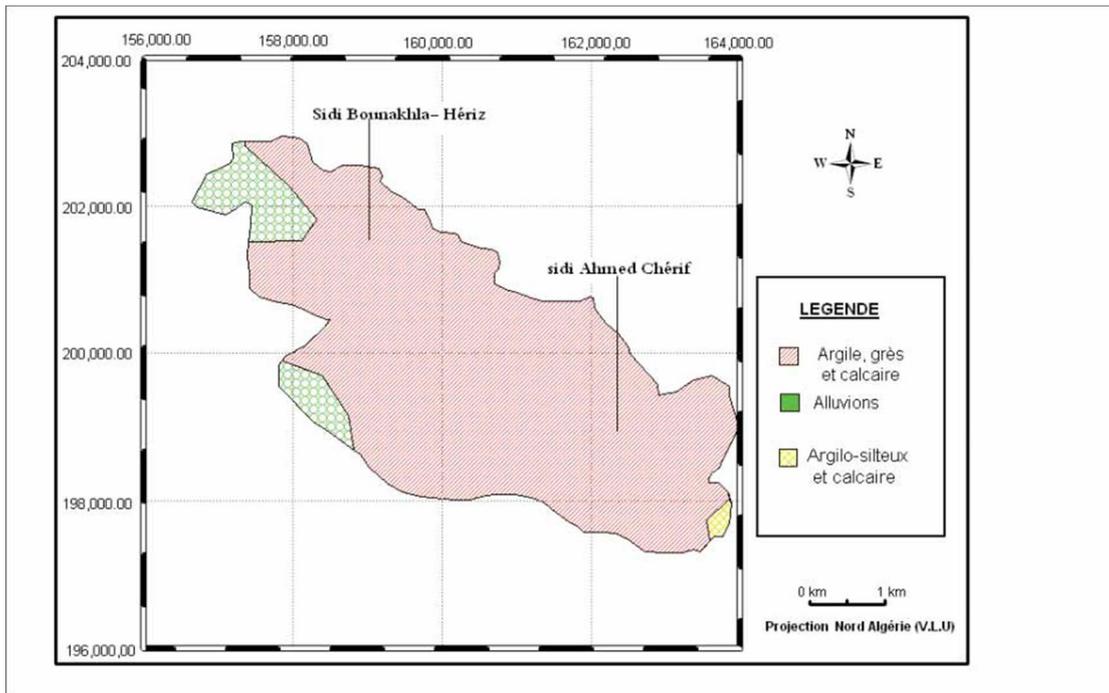


Figure 01: Carte lithologique du bassin versant (M.BOUGHALEM, 2013)

Cette carte a été extraite de la carte géologique de la région, Elle nous montre que la majeure partie des micros bassins est constituée de marnes, substrat très sensible à l'érosion, d'autant plus qu'il repose sur des bancs de grès. D'autre part, la dominance et l'importance des alternances de marnes et grès classées en formation meuble, en pente augmentent les potentialités érosives du bassin.

2.2. Géomorphologie :

L'analyse des formes de relief est d'un très grand intérêt pratique en matière de géologie de l'ingénieur. Une bonne carte géotechnique devrait s'appuyer systématiquement sur une étude géomorphologique approfondie.

Les cartes géomorphologiques sont utiles pour expliquer l'évolution récente du paysage: formation des vallées, des terrasses, configuration des pentes, et processus en action dans le paysage à l'époque actuelle. Il s'agit d'un élément qui peut être exécuté rapidement et à peu de frais et qui est souvent un facteur décisif dans les études précédant des recherches géotechniques. Dans bien des cas en effet, et notamment pour les formations superficielles, c'est la reconnaissance de leurs formes extérieures qui permet de remonter à leur genèse et donc à la prévision de leur nature et de certaines de leurs propriétés.

L'étude géomorphologique sera bien souvent la base de la distinction des ensembles lithologiques, de propriétés géotechniques assez fréquemment homogènes, représentés cartographiquement. Par ailleurs, les études de risques naturels font appel systématiquement à la géomorphologie pour l'analyse des conditions de stabilité des pentes et la recherche des indices de mouvement.

De ce point de vue, on utilise fréquemment, en géotechnique, la carte des pentes, qui consiste à délimiter, sur une carte topographique classique, les surfaces sur lesquelles la pente du terrain est sensiblement constante, selon une gamme choisie à l'avance telle que : 5%, 5 à 10%, 10 à 20%, 20 à 30%, > 30%.

Exemple 02 :

Réalisé par : BERDI Inés. Dans une partie d'un mémoire de master à l'Université de Jijel dans la page 37 .

Résumé :

Ce travail s'insère dans le cadre de l'étude des risques naturels notamment les glissements de terrain qui se sont produits dans la commune de Texenna à Jijel au Nord Est de l'Algérie.

La carte des pentes a été dérivée à partir du MNT. A partir des mesures et des observations sur le terrain quatre classes de pentes ont été représentées $<15^\circ$, $[5^\circ, 30^\circ [$, $[30^\circ, 45[$, $[45^\circ, 60[$, et $\geq 60^\circ$.

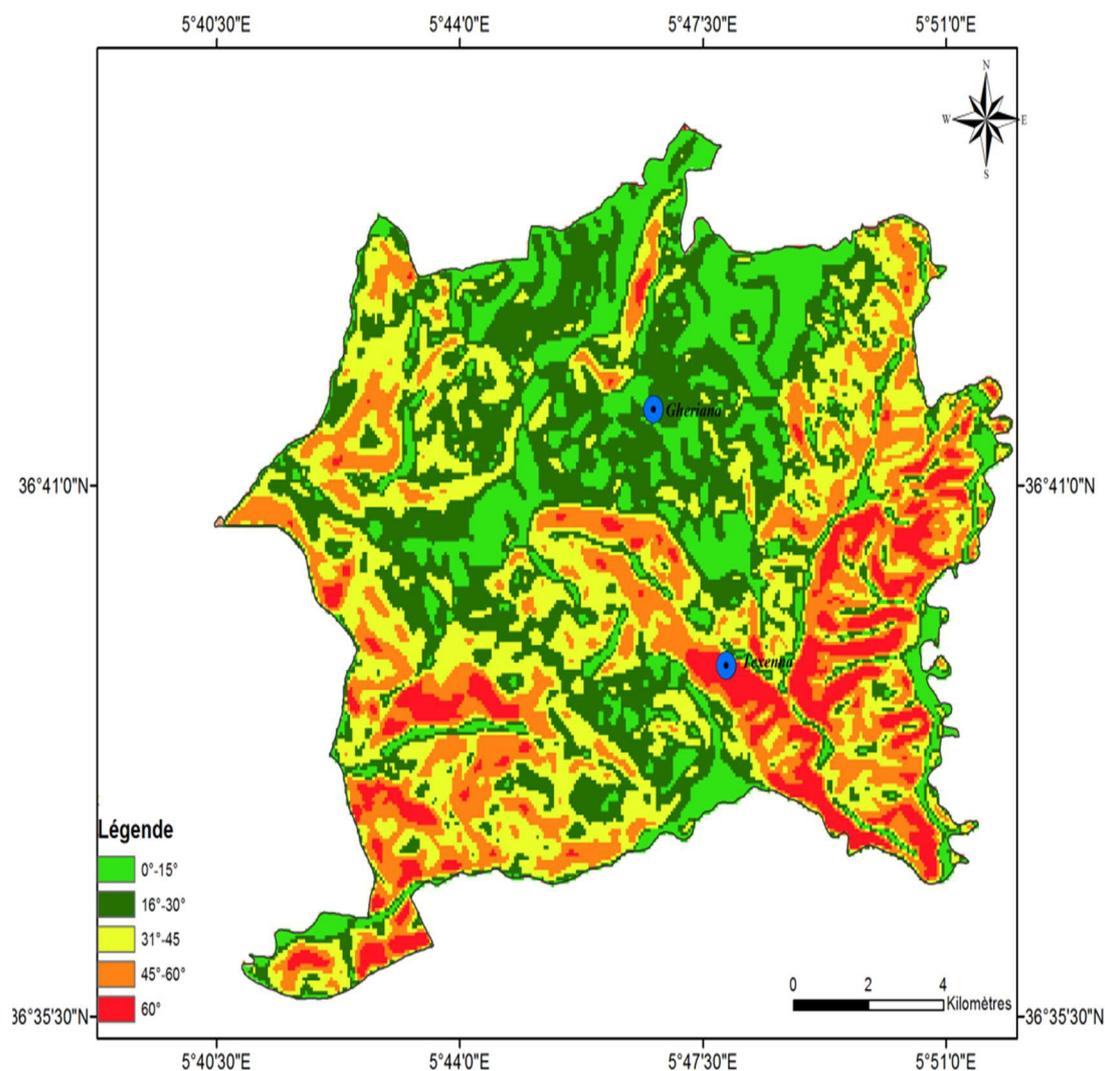


Figure 02: Carte des pentes de la commune de Texenna (I.BERDI, 2017)

Exemple 03 :

Réalisée par : Dègla Herve KOUMASSI, A. Eric TCHIBOZO, Expedit Wilfrid VISSIN et Christophe S. HOUSSOU. Dans une partie d'un article ISSN 1813-3290 dans la page 141.

Résumé :

Cette étude se propose de cartographier les zones à risque d'inondation dans le bassin de la Sota, au Bénin. L'approche méthodologique utilisée consiste à collecter des données hydro-climatiques, d'occupation du sol et produits dérivés des modèles numériques de terrain.

Le traitement des données est fondé sur l'intégration dans un système d'information géographique (SIG), des données interprétées à partir des images TM de Landsat, des données hydro-climatiques et des produits dérivés d'un modèle numérique de terrain (MNT). L'analyse spatiale multicritère, réalisée a permis d'élaborer les cartes des aléas climatiques et de la vulnérabilité des populations à l'inondation. La combinaison de ces deux cartes a permis la cartographie des zones à risque d'inondation du bassin de la Sota (Bénin).

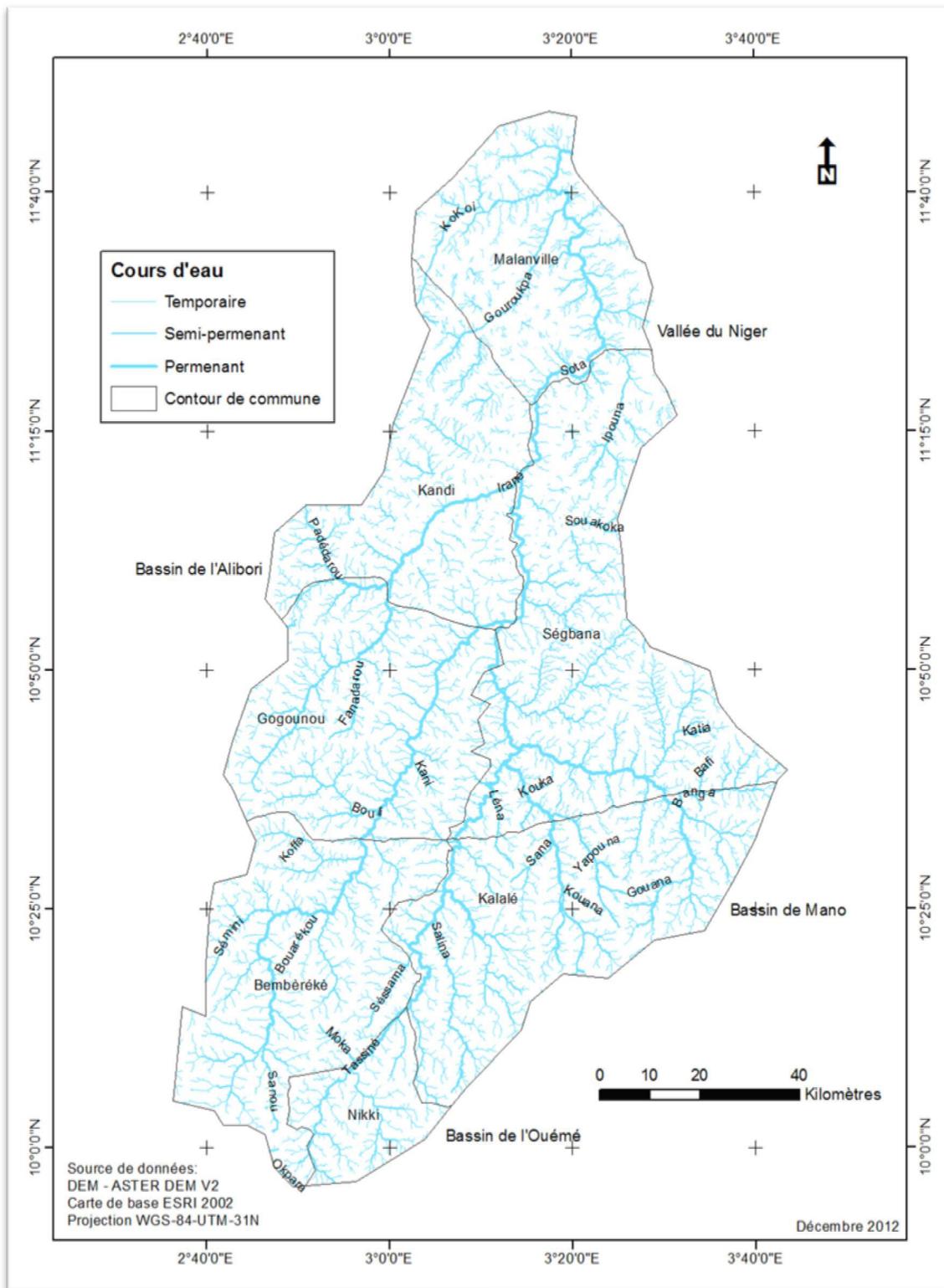


Figure 03: Carte du réseau hydrographique du bassin de Sota au Bénin (D.KOUMASSI, TCHIBOZO et al, 2014)

2.3. Hydrogéologie :

Les eaux de surface et les eaux souterraines jouent un rôle déterminant en matière d'aménagement des sols et la cartographie géotechnique ne peut les ignorer. Du point de vue de l'hydrogéologie classique, un très grand nombre d'information pourrait être représenté et des simplifications sont nécessaires.

Un choix s'impose donc pour éviter l'encombrement des cartes géotechniques par la représentation des facteurs hydrogéologiques, et les spécialistes paraissent d'accord pour s'en tenir aux données suivantes :

1. Hydrologie de surface et souterraine.
2. Répartition des perméabilités superficielles.
3. Figuration des diverses nappes (iso pièzes, direction d'écoulement, éventuellement vitesse, degré de minéralisation...)
4. La représentation graphique sera différente selon l'échelle et le degré de précision de la carte.
5. A petite échelle, on optera souvent pour des chiffres et des symboles en surcharge.
6. A moyenne échelle, outre les données fixes correspondant aux eaux de surface, il faudra indiquer la forme du toit de la nappe pour les eaux souterraines.
7. A grande échelle, on pourra fournir graphiquement des informations précieuses pour l'aménagement telles que cartes en isobathes, isohypses et de battement de nappe. La carte en isobathes, qui traduit la profondeur de la nappe sous la surface du sol, est de première importance en génie civil, pour tous problèmes de fondations et de terrassement.

Exemple 04:

Carte des conditions aux limites d'après J.GAUD 1978 modifiée (In BAALI.2007)

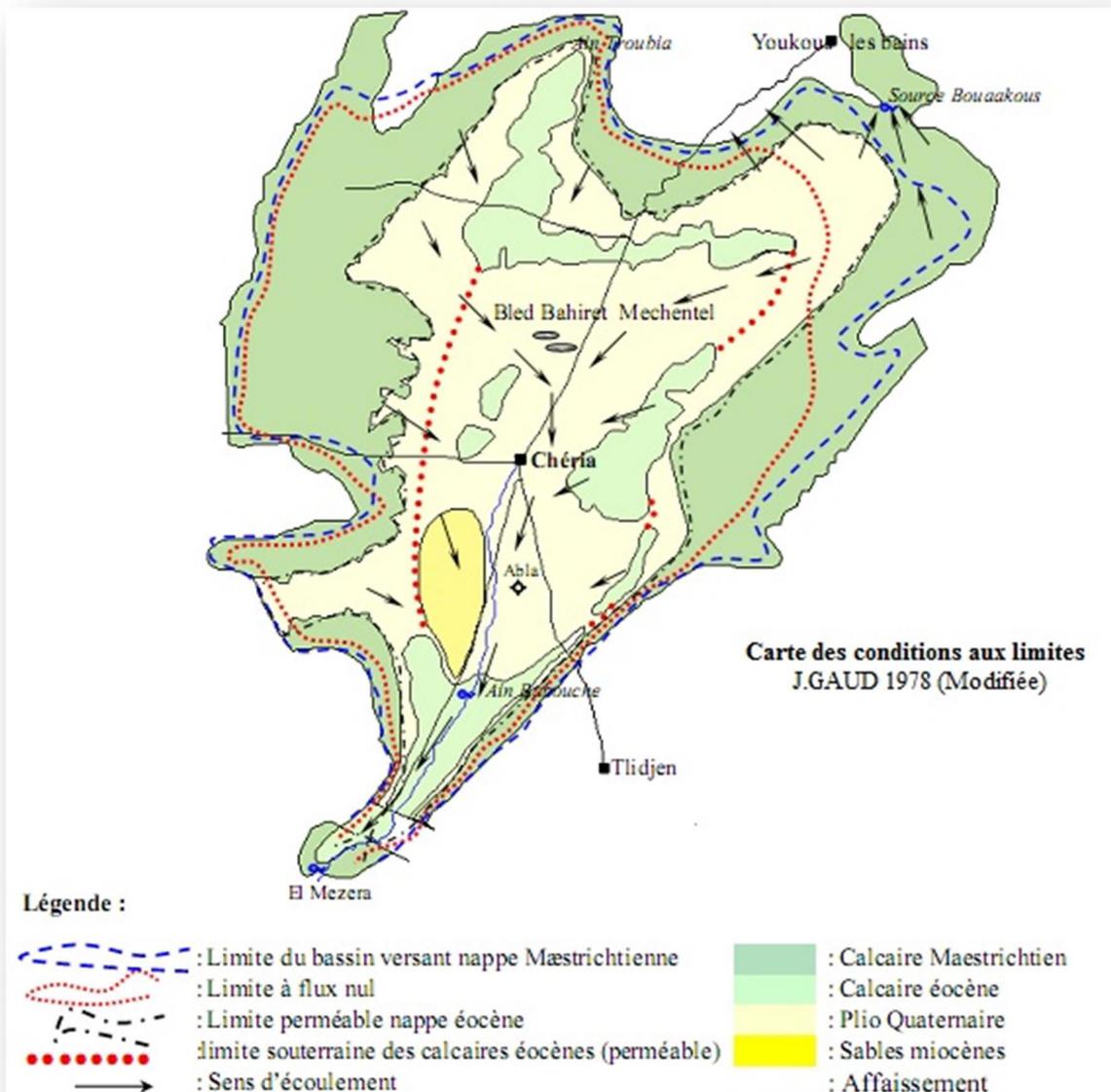


Figure 04: Carte des conditions aux limites (F. BAALI, 2007).

Exemple 05:

Carte piézométrique. Septembre 2003 (in F.BAALI. 2007)

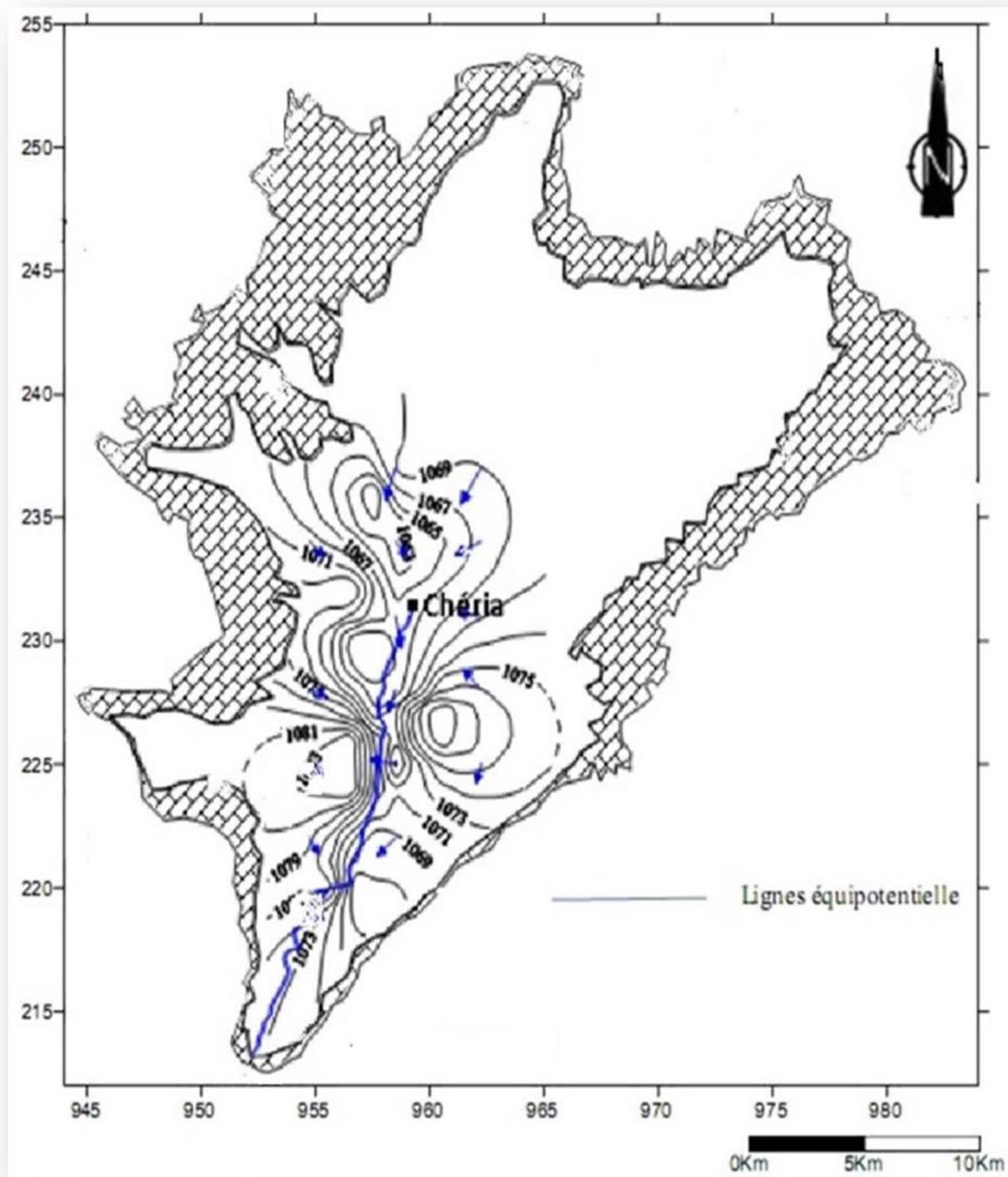


Figure 05: Carte piézométrique (F. BAALI, 2007).

2.4. Géodynamique :

Sous cette rubrique les mouvements des sols, l'érosion ainsi que les activités sismiques et volcaniques. Toutes ces manifestations interviennent du point de vue géotechnique aussi bien que socio-économique, comme des facteurs de risque vis-à-vis des activités et réalisations humaines.

Exemple 06:

Carte de linéaments de Nikaramandougou

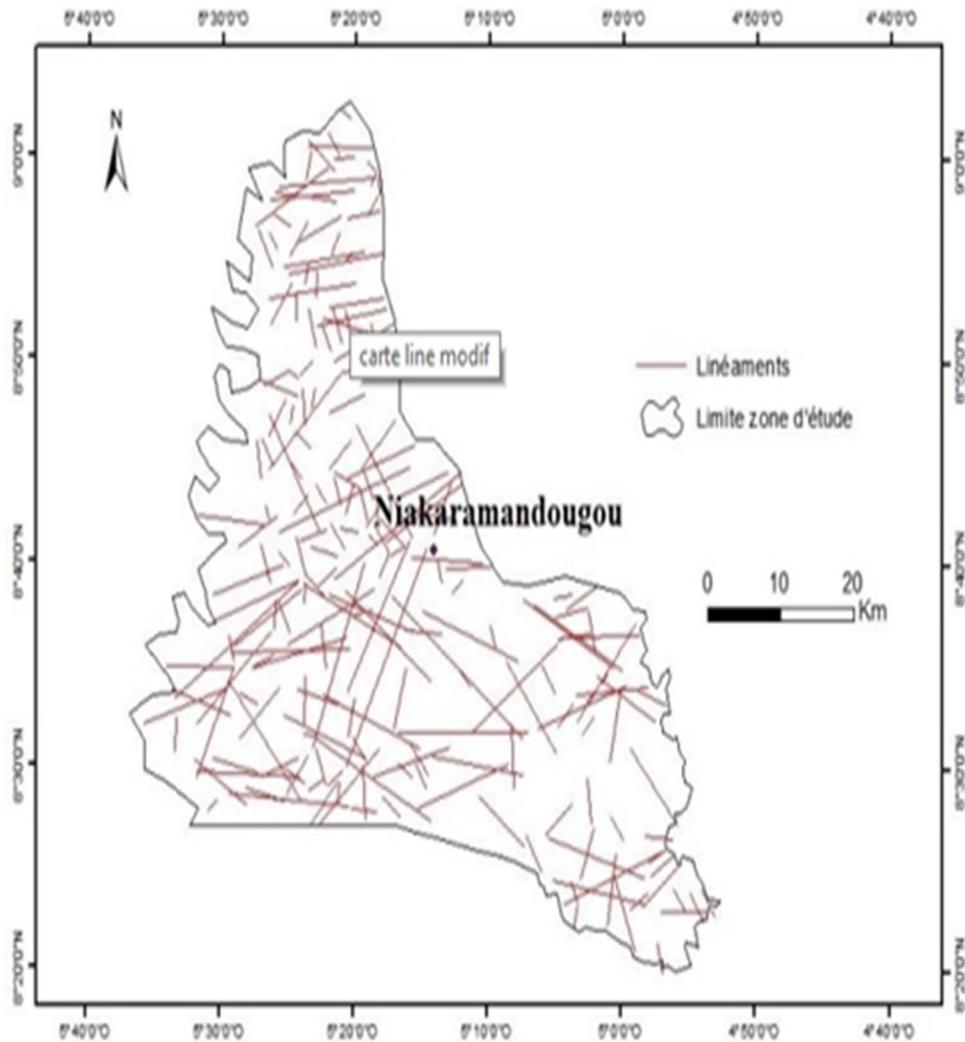


Figure 06: Carte de linéaments de Nikaramandougou (S.Avy, Koffi 1 et al, 2021)

Chapitre 03

Les cartes synthétiques (cartes d'aptitudes)

Ce sont des documents qui réalisent la synthèse de plusieurs facteurs en vue d'une utilisation donnée. La carte d'aptitude ne peut procéder que par zonage géotechnique à une certaine échelle, ce qui conduit à deux méthodes de cartographies distinctes :

1. Classement qualitatifs de chacun des ensembles lithologiques reconnus (bon, moyen ou mauvais par la qualité) en fonction d'une application donnée (terrassement, fondation, stabilité, etc.).
2. Regroupement, sans distinction, des divers ensembles lithologiques d'une région donnée ayant en commun des caractéristiques géotechniques suffisamment proches (même facteur de portance, même perméabilité, etc.)

Les détails et le degré d'homogénéité de chaque unité de zonage dépendront de l'échelle et de l'usage qu'on veut faire de la carte. Par exemple sur les cartes à petite échelle, le critère de zonage sera l'uniformité générale des principaux éléments qui définissent l'environnement géologique, tels que la structure géotectonique ou les phénomènes géomorphologiques régionaux.

Sur les cartes à plus grande échelle, les zones sont basées sur une évaluation de l'uniformité de l'arrangement structural et de la composition des unités lithologiques et pédologiques, sur les conditions hydrogéologiques, et sur les phénomènes géodynamiques.

3.1. Illustration et documents explicatifs

Les divers types de cartes évoquées constituent les documents essentiels du dossier. Leur présentation n'est pas normalisée et chaque auteur doit s'efforcer de trouver celle qui lui paraît la mieux adaptée à chaque cas particulier. Pour expliquer les cartes géotechniques, il est souhaitable que quelques documents complémentaires soient mis à la disposition de l'utilisateur :

1. Les coupes géotechniques, destinés à une échelle suffisante, soulignent ce qui information objective (résultat de forage par exemple) et hypothèses interprétative. Utilisant une figuration analogue à celle de la carte, elles permettent à l'utilisateur l'accès à la troisième dimension.
2. La carte de documentation est indispensable pour situer les forages, tranchées, excavations diverses, puits, etc. elle peut en indiquer également les coupes sommaires par une symbolique appropriée, ainsi que la profondeur maximale atteinte, les prélèvements d'échantillons, les points de mesure hydrogéologiques.
3. La notice explicative et la légende permettent, d'une part, de récapituler et d'explicitier les symboles et figures cartographiques, d'autre part, de donner sous la forme d'un texte toutes les informations complémentaires indispensables à la présentation complète de la région et des propriétés des constituants de son sous-sol.

A la fin il faut signaler que les cartes géotechniques de tous types et de toutes échelles sont faites avec les mêmes principes et méthodologie.

Mais il sera possible de comparer entre les cartes à différentes échelles. La seule différence sera uniquement sur la quantité des informations présentées et sur la manière dont ces informations sont présentées.

Par exemple, l'échelle d'une carte déterminera si un glissement de terrain sera représenté par un symbole ponctuel (approprié aux cartes à petite échelle) ou par un symbole général représentant le type de glissement et occupant la superficie correspondante (utilisé sur les cartes à moyenne échelle), tandis que sur les cartes à grande échelle tous les détails existant à l'intérieur de la zone de glissement auront été cartographiés à l'échelle.

Sur les cartes géotechniques, quels qu'en soient le type et l'échelle, l'information communiquée doit être présentée de telle sorte que non seulement la vraie nature mais aussi la signification technique des données puissent être comprises et entièrement évaluée.

Il est bien de noter que l'évolution technologique des logiciels spécialisés a eu un impact très positif sur la réalisation et les modes de présentation de ces phénomènes et de ces cartes soit en synthèse de données, en présentation même tridimensionnel des phénomènes et de prévision ultérieure des risques.

Exemple 07 :

Sols gonflants : Identification, Mesures, estimation et Stabilisation réalisé par Bekkouche Abdelmalek dans un article page 15.

Résumé :

Dans une étude des gonflements des marnes de Tlemcen. Cette carte géotechnique de la région de Tlemcen Peut servir à extraire énorme informations.

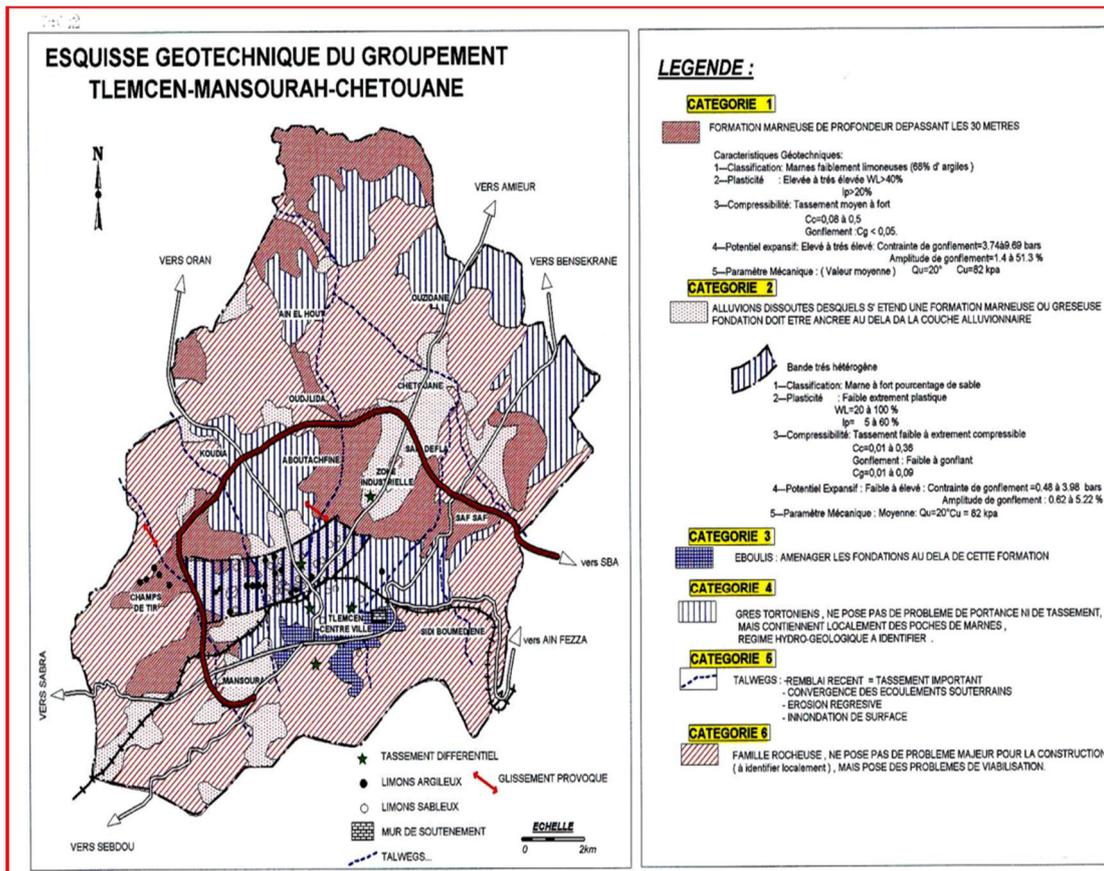


Figure 07 : Carte géotechnique de Tlemcen-Mansourah-Chetouane (A.Bekkouche; Tlemcen; 2001).

Exemple 08 :

L'utilisation des SIG sur les données d'infrastructure et de fondations : Application dans la zone d'Alger réalisé par BENBOURAS Mohammed Amin dans une thèse de doctorat à l'université d'Abbes Laghrour Khenchela page 92.

Résumé :

Guettouche 2015, a proposé une nouvelle méthodologie permettant de réfléchir sur la manière de produire des cartes géotechniques de vastes régions. Il considère la carte géotechnique comme étant le résultat d'une interaction de plusieurs facteurs du milieu (matériau, relief, climat, etc.) et dont la distribution spatiale est le fruit d'une organisation dans l'espace et le temps.

Cette méthode est basée sur le principe des sommes pondérées et un procédé de généralisation cartographique permettant d'éliminer le maximum de bruit qui gêne la détectabilité cartographique, tout en conservant l'essentiel de l'information.

D'après cette approche, il est possible d'établir une cartographie géotechnique autrement que par les méthodes classiques longues et coûteuses, en exploitant au mieux les facteurs de différenciation des sols. Cette démarche a été appliquée à la zone de Souk Ouled Nedjaa, M'sila. Une base de données spatialisée a été mise en place pour servir de référence d'informations à la construction multicritère d'une carte de zonage géotechnique.

La carte géotechnique obtenue indique les zones d'études qui contiennent de bons sols pour la construction. L'interprétation des résultats permet de situer les apports et limites des résultats, de la méthodologie mise en œuvre, ainsi que son application sur d'autres sites à problématique et contexte similaires.

La carte obtenue présentée en figure 08 est destinée à éclairer les décideurs et les aménageurs sur les zones devant recevoir de l'urbanisation.

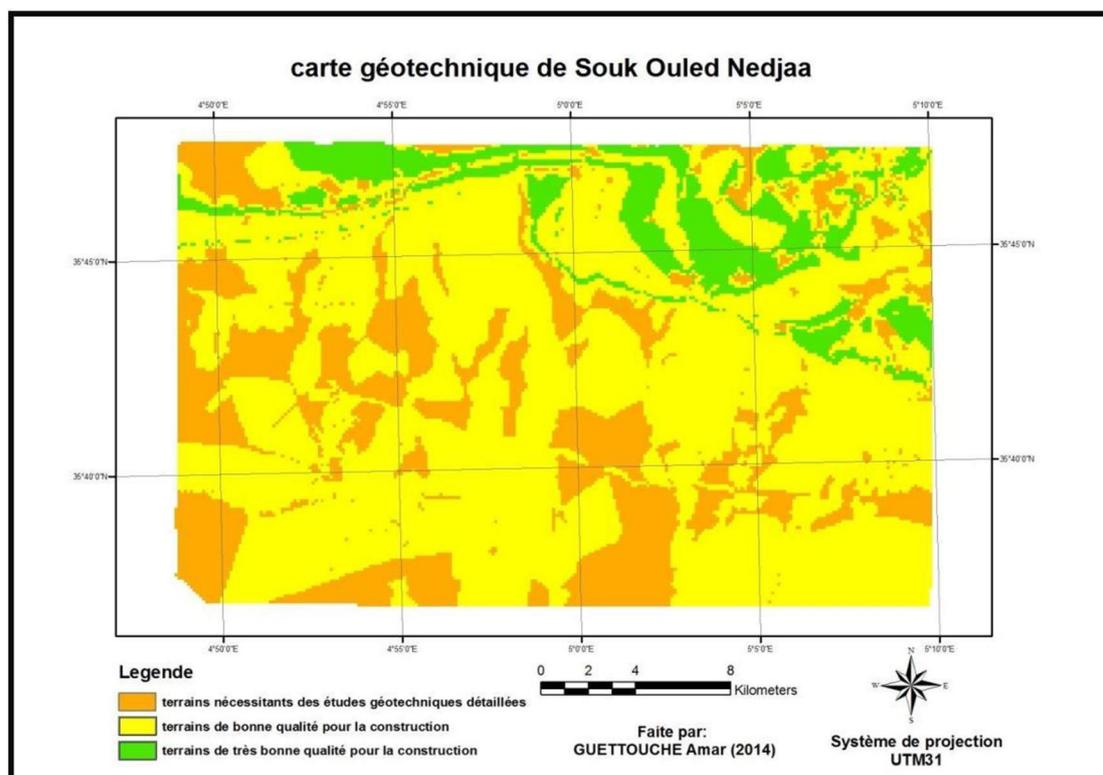


Figure 08 : Carte géotechnique de Souk Ouled Nedjaa (M.BENBOURAS; 2018).

Exemple 09:

Réalisé par : Abdenbi Elaloui, Soufiane Maimouni, Ahmed Fekri, Mohamed Aradi. Dans une partie d'un article ISSN: 1857-7881 dans la page 113.

Résumé:

L'objectif de la présente étude est de développer une méthodologie utilisant la télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) pour cartographier les zones à risque d'érosion hydrique dans le bassin versant de la Tessaoute amont (Haut Atlas du Maroc) et de produire une carte de risque potentiel d'érosion qui peut être utilisée en tant qu'outil de décision auprès des institutions chargées de l'aménagement du territoire.

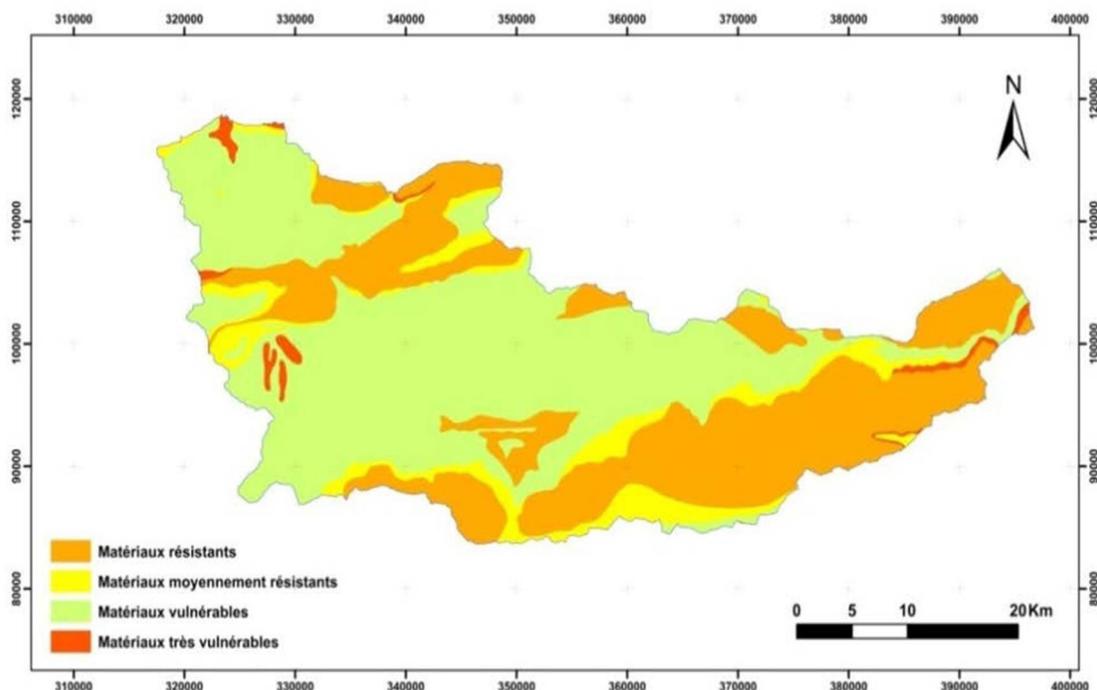


Figure 09: Carte de la friabilité des matériaux (A.Elaloui et al, 2015).

Afin de déterminer la friabilité des matériaux affleurant, une étude lithologique a été réalisée grâce à l'exploitation des cartes géologiques au 1/100.000, 1/200.000, 1/500.000 et des visites de terrain.

Cette étude met en évidence la dominance des faciès qui seront départagées en quatre classes suivant la dureté des roches, et leur contribution à l'envasement du barrage Moulay Youssef par les éléments qu'elles libèrent après altération: résistants, moyennement résistants, vulnérables et très vulnérables.

3.2. LES CARTES DE RISQUES NATURELS

La plus part des processus géodynamiques externes peuvent constituer une source de danger pour les établissements et activités humaines, au même titre que certaines des manifestations de l'activité géodynamique interne (sismicité, volcanisme).

Ils introduisent donc un risque plus en moins prévisible et comme, dans la plus part des cas, la sécurité publique se trouve mise en jeu, il est du devoir de l'administration de prendre un certain nombre de mesures et d'adopter des dispositions réglementaires.

Encore faut-il qu'elles reposent sur des bases sûres (texte précis) et qu'elles ne contreviennent point à quelques grands principes du droit.

3.2.1. Principe de la cartographie des risques naturels

Au sens le plus large, les risques naturels englobent les effets d'agents géodynamiques tels que les précipitations (érosion, inondations, avalanches, etc.), les mouvements du sol (glissement, éboulement, affaissement), les séismes et le volcanisme.

Le principe général de la cartographie des risques naturels est simple. Il s'agit d'une région donnée, de définir les divers types de risques naturels susceptibles d'y développer leurs effets et de délimiter, sur un fond topographique convenable, les surfaces qui peuvent en subir les conséquences.

A l'intérieur des contours ainsi tracés, on pourra s'efforcer de graduer l'importance du risque par l'analyse des facteurs qui concourent à son existence. En fait, la réalisation pratique n'est pas simple pour quatre raisons essentielles :

1. Le terme risque peut s'entendre de diverses façons.
2. Il existe des risques « déclarés » (glissement de terrains actif par exemple) et des risques potentiels (pente de stabilité douteuse).
3. Le tracé des limites ne peut résulter d'un processus scientifique rigoureux.
4. Chaque catégorie de risque obéit à un déterminisme, propre, dont les composantes sont inégalement connues et surtout déterminables.

3.2.2. Définition des risques pris en compte

La définition courante du terme de risque associe l'idée de péril à l'effet du hasard. Elle paraît donc bien adapter aux buts poursuivis ici car elle implique :

1. La réalisation d'un événement lié à une « force majeure » (d'origine géodynamique pour les risques naturels).
2. La définition du risque par rapport à l'homme menacé dans ses biens ou sa personne.

On entend couramment par risque déclaré toute manifestation géodynamique en cours d'évolution (glissement actif) ou dont la périodicité de reproduction est avérée (chute de blocs, avalanche...) et qui affecte une zone donnée, aisément reconnaissable. Il est bien évident que toute cartographie de risques naturels commencera par la recherche de telles zones et par leur délimitation.

A l'inverse, la notion de risque potentiel s'applique à toute situation statique présentant les caractères apparents d'un équilibre ou d'une absence de danger, mais dont l'analyse conduit à penser qu'elle peut n'être que transitoire.

Ainsi une forte pente conforme à la schistosité ne présente souvent aucun indice de mouvement actuel ou ancien, mais l'expérience courante montre qu'il suffit parfois d'une modification dans le réseau d'écoulement interne du massif ou d'un changement des conditions aux limites (excavation, surcharge ...) pour d'enclencher un mouvement de grande envergure.

3.2.3. Le tracé des limites :

Toute cartographie nécessite le tracé des limites. En topographie, en géologie et dans tous les domaines où l'on d'écrit par cette méthode des objets concrets, ce problème est résolu sans trop de difficultés.

Il en va bien différemment en matière de risques, ou cette opération échappe encore à une méthode scientifique éprouvée. Le meilleur exemple est fourni par le cas, très fréquent, de la délimitation des zones soumises à des chutes de blocs, la technique habituelle consiste à

rechercher, sur des photographies aériennes et les terrains, la cote minimale atteinte par les blocs éboulés dans le passé.

Cela donne théoriquement la limite la plus sûre; en pratique, on se contente souvent d'une limite plus subjective, correspondant par exemple aux cotes au-dessus desquelles se rencontrent la majorité de blocs mais, ce faisant, on ne peut se prémunir contre les conditions exceptionnelles difficilement prévisible par ailleurs.

Enfin, et c'est peut-être là que sur le plan pratique réside la plus grande difficulté, il faut bien se rendre compte que la création d'une limite cartographique peut devenir administrativement contraignante, surtout si la carte sert de base à la confection d'un plan réglementaire opposable aux tiers. Il y'a la évidemment une source de conflit entre l'administration et les particuliers, ce qui requiert, pour ne pas rendre les situations trop difficiles, le plus grand sérieux dans le travail cartographique.

Exemple 10:

Les Risques Naturels en Région Wallonne réalisé par R. Michel et F. Van Dick. Dans une partie d'un article BSGLG, 54,2010, dans les pages 157-176.

Résumé:

En Région wallonne, il existe quatre principaux types de risques naturels ayant un impact sur la politique de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme.

Entre 1994 et 2008, les aléas naturels ont été évalués et cartographiés sur base des contraintes géo techniques qu'ils peuvent engendrer.

L'objectif de cet article est de faire une synthèse du travail déjà accompli grâce à l'étroite collaboration entre notre administration (DGATLPE) et les universités (principalement l'Université de Liège et la Faculté polytechnique de Mons), mais aussi avec une asbl (CWEPPS) défendant la protection du patrimoine naturel souterrain.

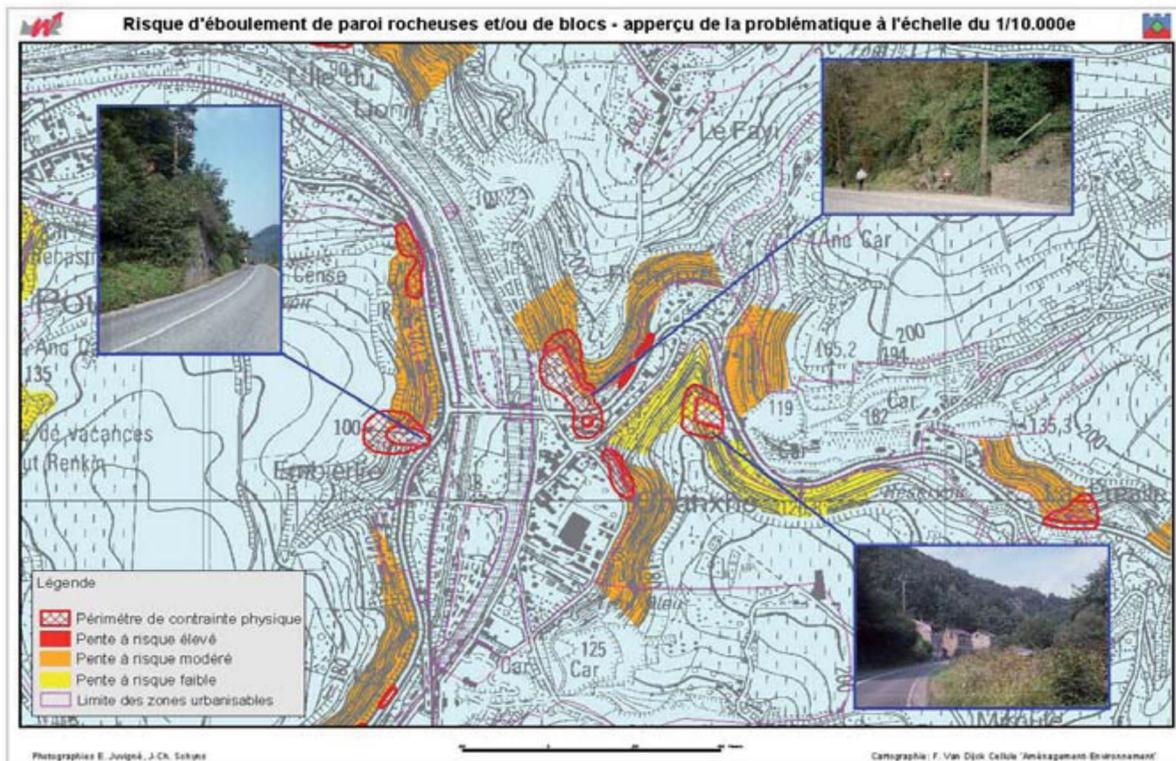


Figure 10 : Carte du risque d'éboulement à Chanxhe (R. Michel et F. Van Dick, BSGLG, 2010)

Cette carte ce révèle des périmètres présentant un risque pour les constructions ou les activités humaines localisées à proximité, afin de délimiter un périmètre de contrainte majeure qui peut englober aussi bien le sommet que le pied de la paroi. (Figure 08)

Exemple 11:

Cartographie d'inventaire et morpho dynamique des mouvements de versant dans le bassin du Riou-Bourdoux (Alpes de Haute-Provence) réalisé par Jean-Philippe Malet. Dans le cadre d'un rapport de stage de master 1 en la spécialité Risques technologiques et naturels. Université Strasbourg – Septembre 2009.

Résumé :

C'est dans ce contexte qu'il est apparu intéressant de poursuivre sur le Riou-Bourdoux les travaux de cartographie initiés par Thierry sous le projet ALARM (Assessment of Landslide Risk and Mitigation in Mountain Areas).

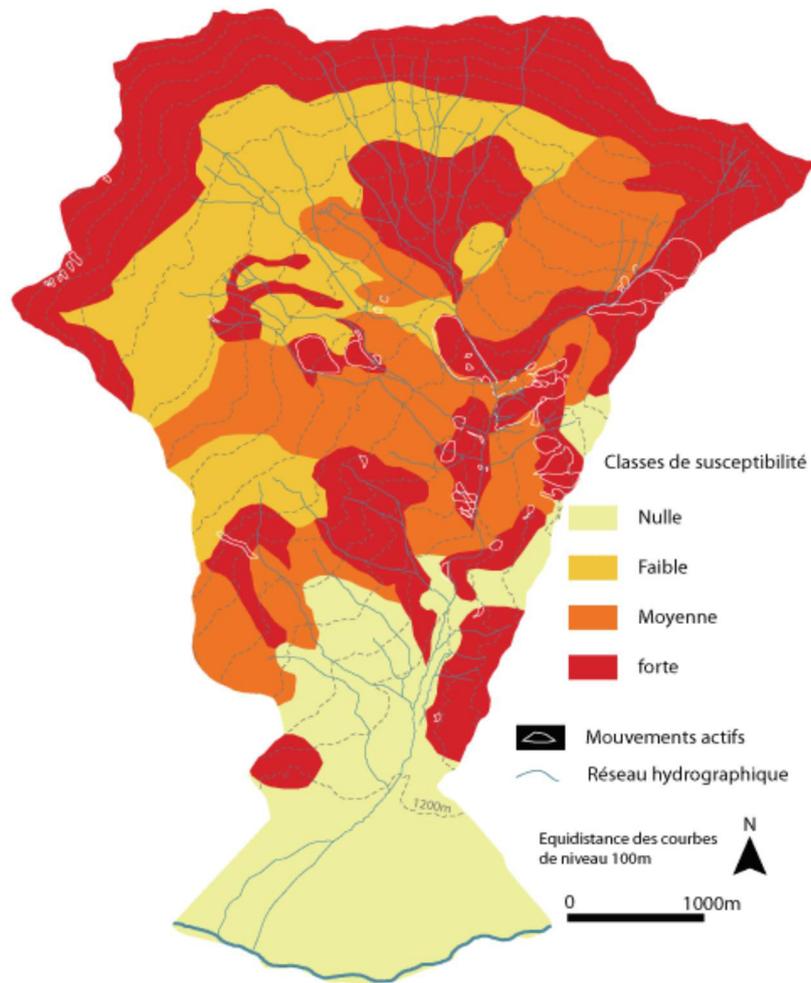


Figure 11 : Carte de susceptibilité aux ‘mouvements De versants’ (Riou-Bourdoux) (In J.PHILIPPE MALET, Strasbourg, 2009)

Cette carte de susceptibilité du Riou-Bourdoux a été réalisée selon cette méthode. Les informations utilisées sont :

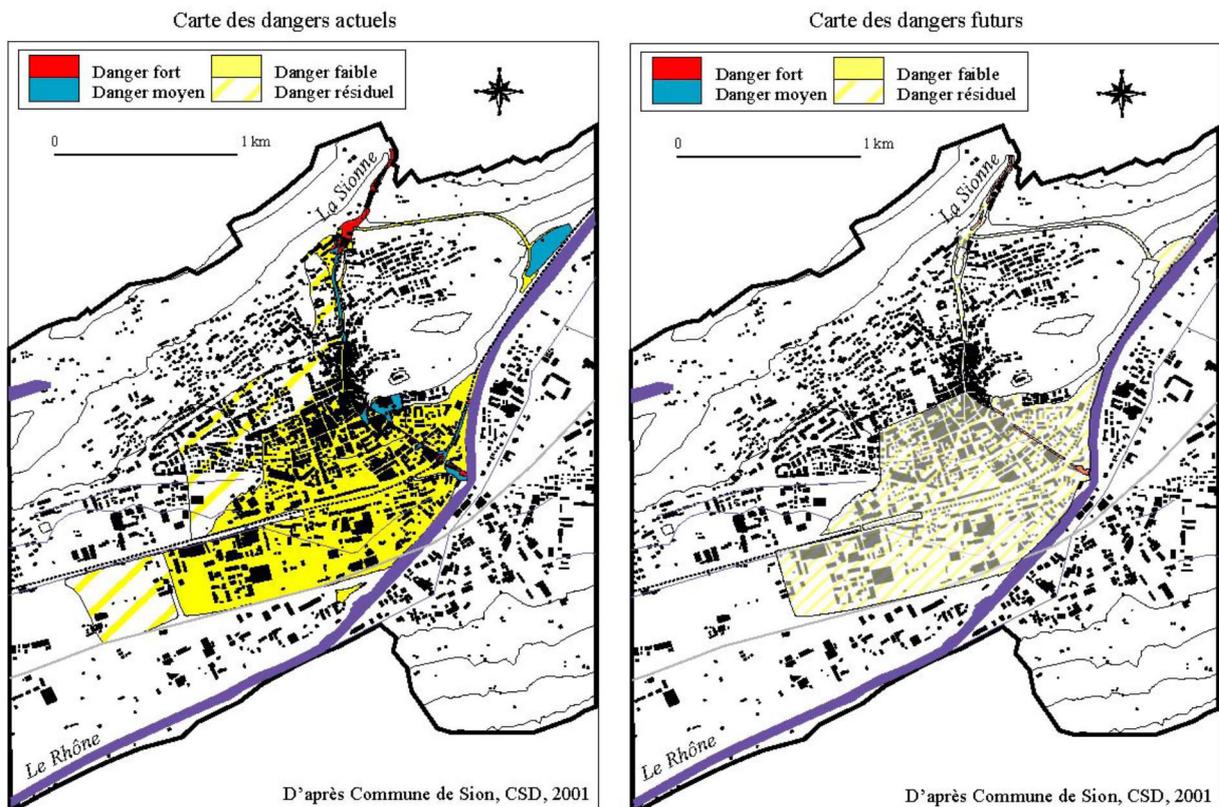
1. La répartition des mouvements actifs (intermittents et continus) à partir de la carte morfo dynamique ;
2. Une carte des pentes dérivée d’un MNT (modèle numérique du terrain)
3. La base de données *ALARM* sur l’occupation du sol ;
4. Une carte simplifiée de la géologie.

Exemple 12:

La Cartographie Réglementaire des Risques Naturels En Suisse, en Italie et en France réalisé par Peltier. A. 2008, dans le cadre de la mise en carte des risques naturels, Diversité des approches, Montpellier : Presses Universitaires de la Méditerranée, coll. Géo risques, n°2, pp. 61-67.

Résumé:

Le zonage réglementaire constitue l'une des méthodes privilégiées dans certains pays d'Europe de l'Ouest pour la réduction des risques naturels.



La figure précédente (figure 12) présente les cartes des dangers actuels et futurs de Sion. La ville de Sion en Suisse, principale ville du Valais, est située sur le cône de déjection de la Sionne, dont elle a subi à plusieurs reprises les crues torrentielles dévastatrices.

La carte des dangers actuels reproduite ici classe une bonne partie de l'agglomération en zone jaune d'aléa faible, avec des zones bleues et rouges au niveau des points de débordement. En l'état actuel, les contraintes à l'aménagement sont donc déjà faibles.

Exemple 13:

Cartographie des aléas naturels dans le territoire de Nouvelle Calédonie (Zone POUEMBOUT) réalisée Maurizot.P; Lafsy.Y; dans le cadre d'un rapport d'une étude préalable à l'élaboration d'un plan de prévention des risques" fait l'objet d'une convention pluriannuelle entre le Territoire de Nouvelle-Calédonie et le BRGM sous le revu N° : R40404.

Résumé:

Une opération est réalisée par le Service Géologique National en collaboration étroite avec le Service des Mines et de l'énergie du Territoire. elle consiste à dresser un inventaire des zones d'aléas du point de vue de l'instabilité et de l'érosion des sols en vue de fournir les documents nécessaires à l'élaboration ultérieure d'un Plan de Préventions des Risques (PPR) en Nouvelle-Calédonie.

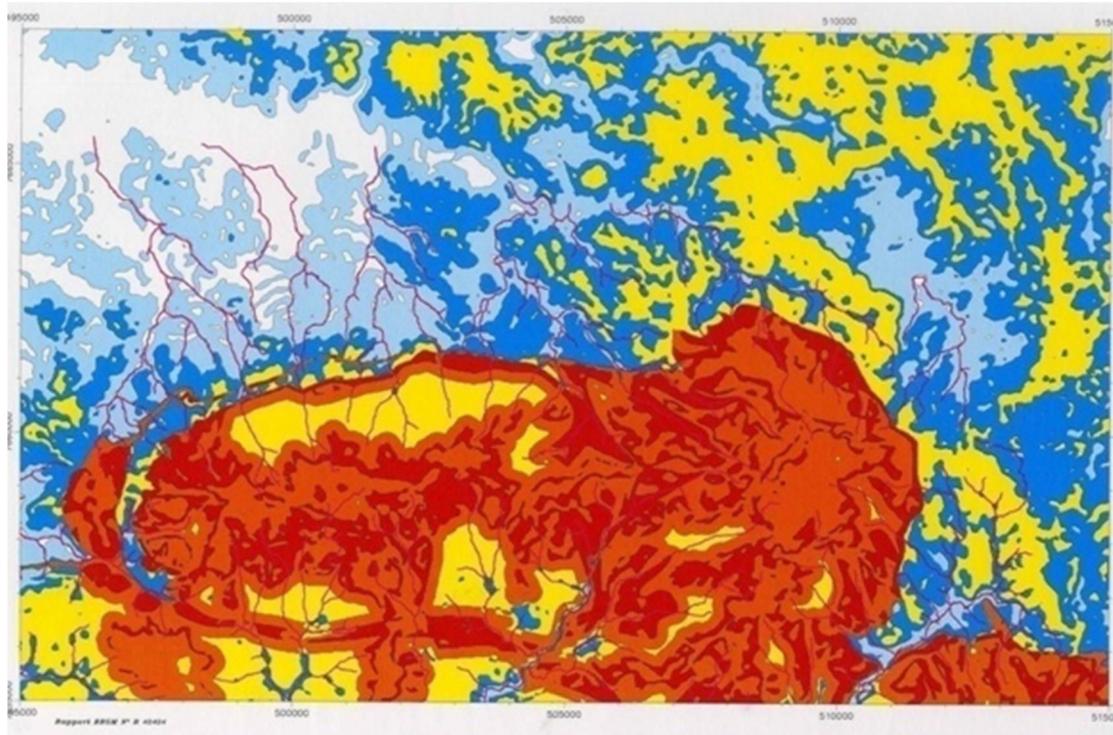


Figure 13: Carte de susceptibilité des différents aléas (P. Maurizot, Y. Lafsy, BRGM sous la revue N° : R40404).



1. Niveau 1 : La probabilité d'apparition de mouvements de terrain est faible à nulle. Ces zones correspondent à de faibles pentes en milieu de substrat volcano-sédimentaire.
2. Niveau 2 : La probabilité d'apparition de mouvements de terrain superficiels de faible ampleur est faible à moyenne. Ces zones correspondent à des pentes moyennes en milieu de substrat volcano-sédimentaire.
3. Niveau 3 : La probabilité d'apparition de mouvements de terrain de faible ampleur est moyenne à forte. Ces zones correspondent à des pentes moyennes à fortes en contexte presque exclusivement volcano-sédimentaire comme dans les deux niveaux précédents.
4. Niveau 4 : La probabilité d'apparition de mouvements de terrain caractéristiques aux massifs de péridotites est moyenne à forte. Ces zones correspondent uniquement au domaine des péridotites pas à peu altérées et à des pentes moyennes à fortes.
5. Niveau 5 : Dans ce niveau qui représente le degré d'aléa maximum la probabilité d'apparition de mouvements de terrain caractéristiques aux massifs de péridotites est forte.

Exemple 14:

Modélisation et cartographie du risque de l'érosion hydrique par l'application des SIG et des directives PAP/CAR. Cas du bassin versant de l'Oued Zgane (Moyen Atlas tabulaire, Maroc) réalisée par Habiba OUSMANA, Abdellah EL HMAIDI, Ali ESSAHLAOUI, Hachem BEKRI Et Abdelhadi EL OUALI. Un Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, 2017, n° 39, 103-119. e-ISSN : 2458-7184.

Résumé:

La présente étude tente de cartographier les zones vulnérables à l'érosion hydrique en se basant sur la méthode PAP/CAR (Programme d'Activité Prioritaire/ Centre d'Activités Régionales) et les Systèmes d'Information Géographique (SIG) au niveau du bassin versant de l'Oued Zgane.

Ce dernier, abritant les lacs Ifrah, Iffer et Afourgagh, est localisé au Nord du Moyen Atlas central marocain dans le causse tabulaire.

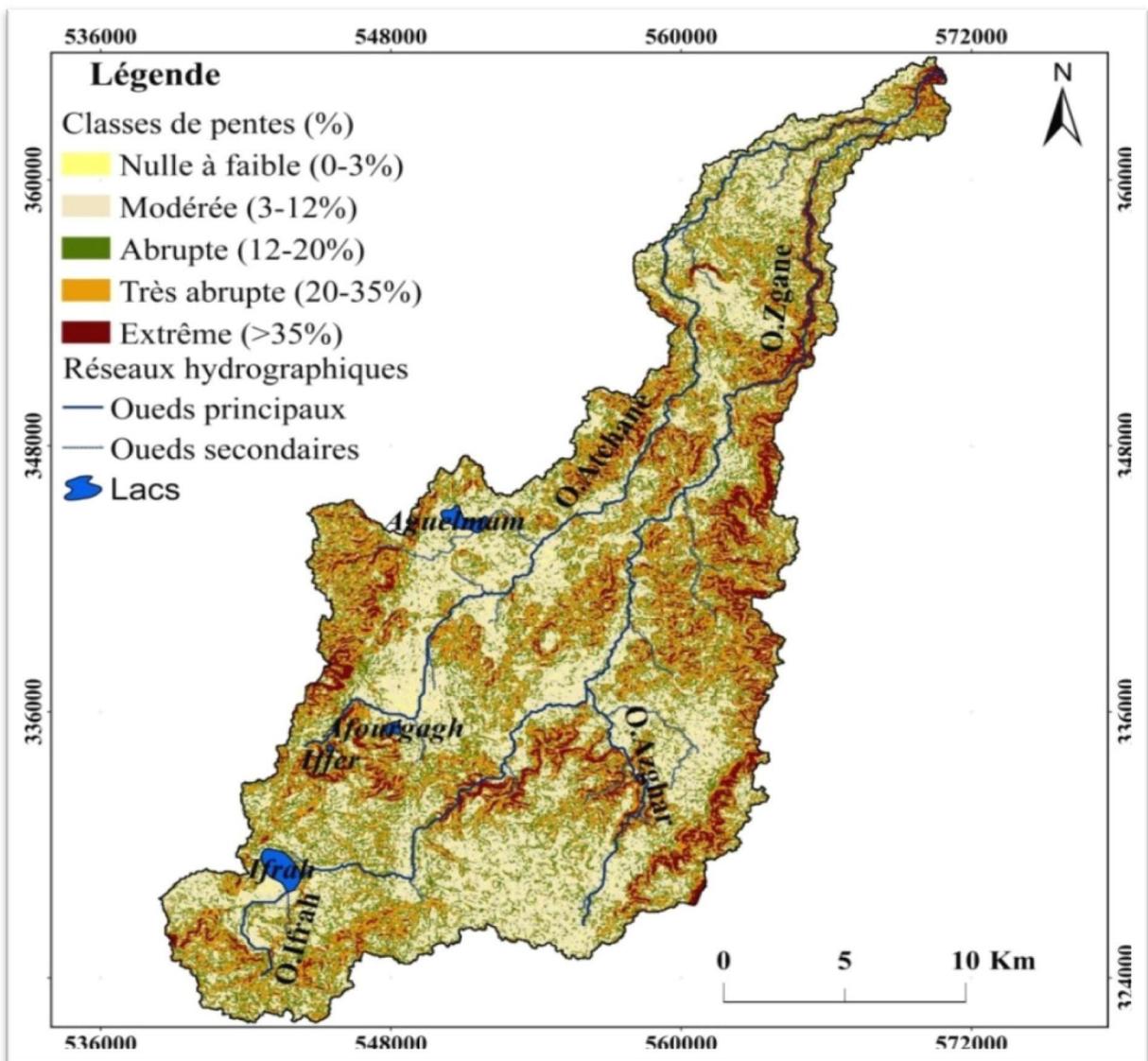


Figure 14: Carte des zones vulnérables à l'érosion hydrique (H.OUSMANA et al, 2017)

La pente est un facteur principal pour l'évaluation de la sensibilité des terres à l'érosion. Le degré de pentes est généralement faible au Nord et dans la partie médiane du bassin versant de l'Oued Zgane et devient de plus en plus élevé vers l'Est et l'Ouest de la zone d'étude.

Exemple 15:

Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain en NOUVELLE – CALEDONIE - Zone de Goro réalisé par Maurizot P. Lafoy Y. Poupée M. dans le cadre des actions de service public du BRGM /R-51 623 FR. en 2002.

Résumé:

L'opération intitulée "Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie" fait l'objet d'une convention pluriannuelle entre la Nouvelle-Calédonie et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

L'opération est réalisée par le Service Géologique National en collaboration étroite avec le Service des Mines et de l'Energie de Nouvelle-Calédonie.

Elle consiste à compléter la cartographie géologique existante, en particulier par un levé des formations superficielles et d'altération et à dresser un inventaire des zones d'aléas du point de vue de l'instabilité et de l'érosion des sols.

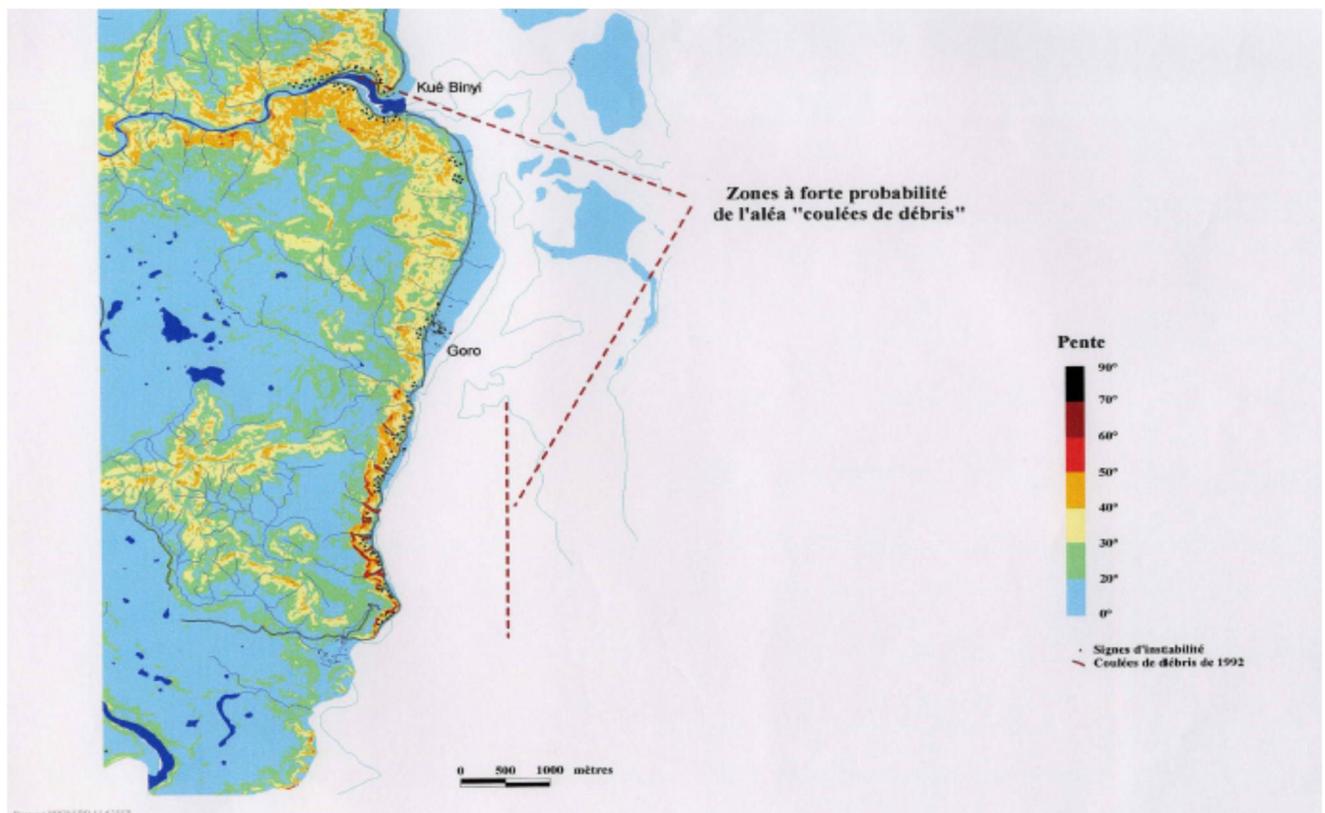


Figure 15: Coulée de débris sur le littorale de GORO (in P. Maurizot, et al, BRGM, 2002).

Sur la figure précédente (figure 15) l'ensemble des éléments en notre possession pour délimiter la zone de probabilité maximum d'occurrence de ce type d'aléas le long du littoral. Cette carte prend en compte :

- La pente ;
- Les signes d'instabilité visibles depuis la route dans le talus du pied de l'escarpement ;
- Les phénomènes connus.

Exemple 16:

Cartographie de l'aléa <<mouvement de terrain>> dans le bassin versant de l'Hérault réalisé par ZORNETTE. N; NEDELLEC.J.L.et VINCENT. M. dans le cadre d'un programme de recherche en partenariat industriel BRGM 2002 - RPI - 102. Démonstrateur du projet PACTS

Résumé:

Les aléas à traiter dans le cadre du projet PACTES, dans le bassin versant de l'Hérault sont des aléas à occurrence rapide : crue éclair et mouvement de terrain associés.

Dans ce module, le BRGM a orienté sa contribution essentiellement sur les termes de prévention par le biais d'une amélioration de la connaissance des aléas de mouvements de terrain.

Il s'agit de la prédétermination des terrains, dont la tenue serait rendue précaire en cas d'imbibition soudaine (dans les pores ou dans les discontinuités) ou en cas de crue (érosion de berges) et pourraient causer des instabilités de terrain ...

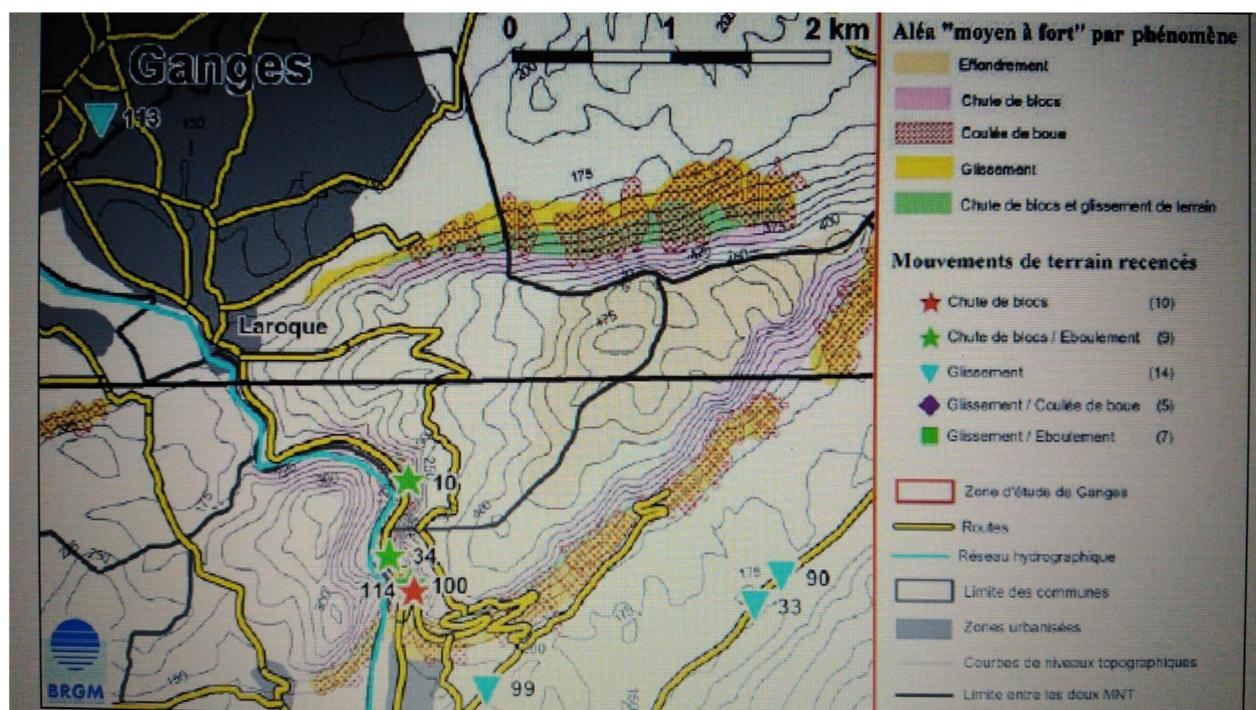


Figure 16: Extrait de la carte d'aléa (In N.ZORNETTE, et al, BRGM, 2002)

Exemple 17:

Cartographie du risque d'inondation dans la région D'OULED BEN ABDELKADER dans La wilaya de CHLEF réalisé par Zairi Y, Ham S. Nabad A. Dans le cadre d'un mémoire fin d'étude de master en Géotechnique. Université Hassiba Ben Bouali Chlef.

Résumé:

Cette étude a été menée afin d'établir la carte à risque d'inondation dans la région de Ouled Ben Abdelkader.

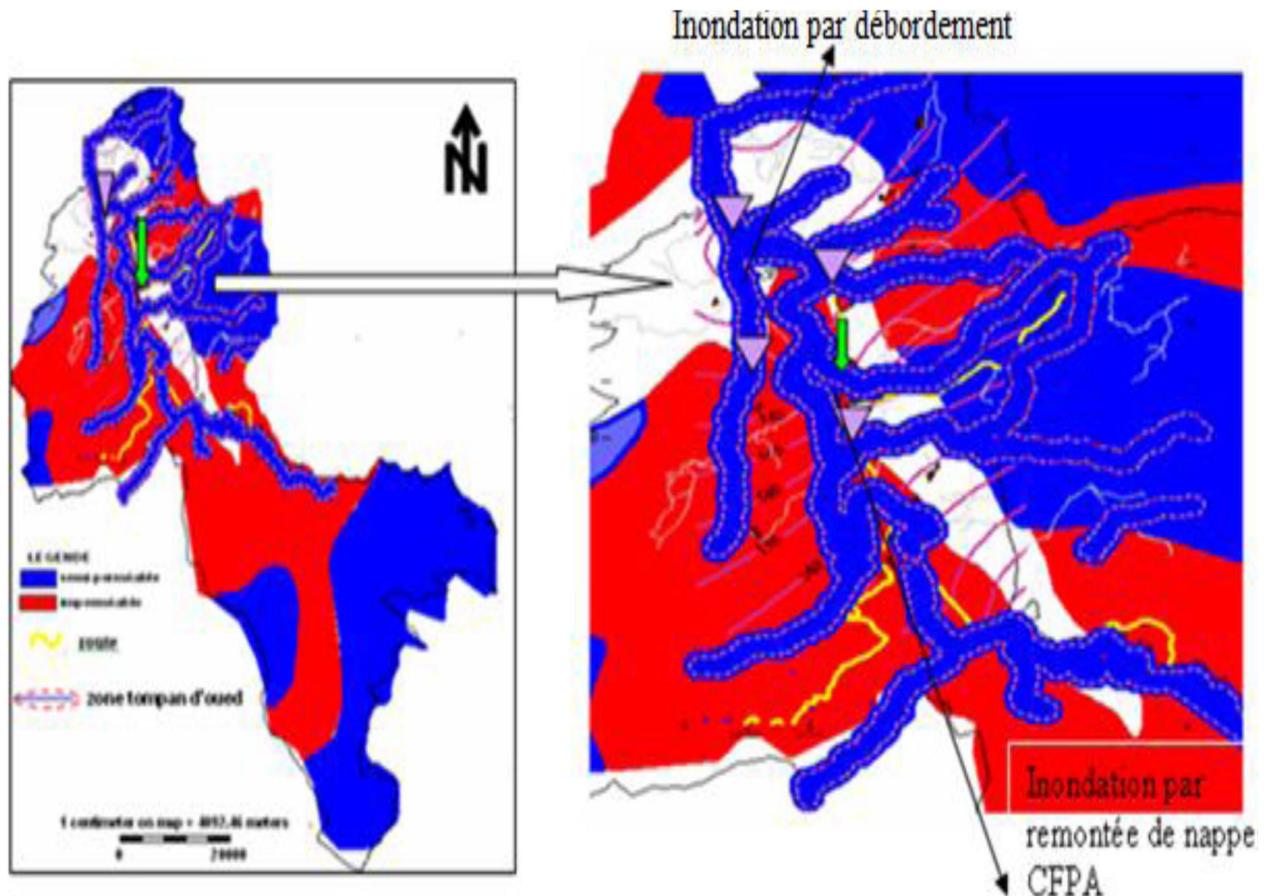


Figure 17: Carte à risque d'inondation (Zairi Y, Ham S. Nabad A, Master, 2008)

La carte à risque est issue de la superposition (croisement), de toutes les couches d'information nécessaires générées au cours de cette étude à savoir :

- La couche de perméabilité du réseau hydrographique ;
- niveau piézométrique ;
- la pente d'occupation du sol.

Il existe deux types de risque d'inondation dans la région d'étude, inondation par débordement des oueds par exemple au centre de la ville par les eaux de l'oued Ben Allous qui est un Oued temporaire et une inondation par remontée de nappe au niveau du centre où les dégâts des eaux sont très importants d'après les responsables de cette région.

Exemple 18:

Cartographie Géotechnique, des Risques de Glissements de terrain de la ville de Bejaia réalisé par AGGAZ Hanane ; BALI Mokrane, dans le cadre d'un mémoire fin d'étude de Master en Génie civil - Géotechnique - 2016/2017.

Résumé:

Le but de ce mémoire est la cartographie des différentes instabilités et leur hiérarchisation en fonction du degré de risque potentiel. Ce travail a été entrepris par la définition des principales causes de ces instabilités : les facteurs géologiques, hydrogéologiques et géotechniques, et ensuite la mise au point d'une méthodologie de zonage et d'évaluation des potentialités d'instabilités.

L'étude a montré que la plupart des zones à risque potentiel ou déclaré sont liées, essentiellement, à la présence de niveaux tendres (argile) intercalés dans des formations en général plus résistantes, ainsi qu'aux pentes des talus, très raides, à une intense fracturation et à la présence d'une eau séléniteuse.

Aussi les différents types de mouvements de terrains qui existent dans la nature, Et les différentes méthodes de calcul.

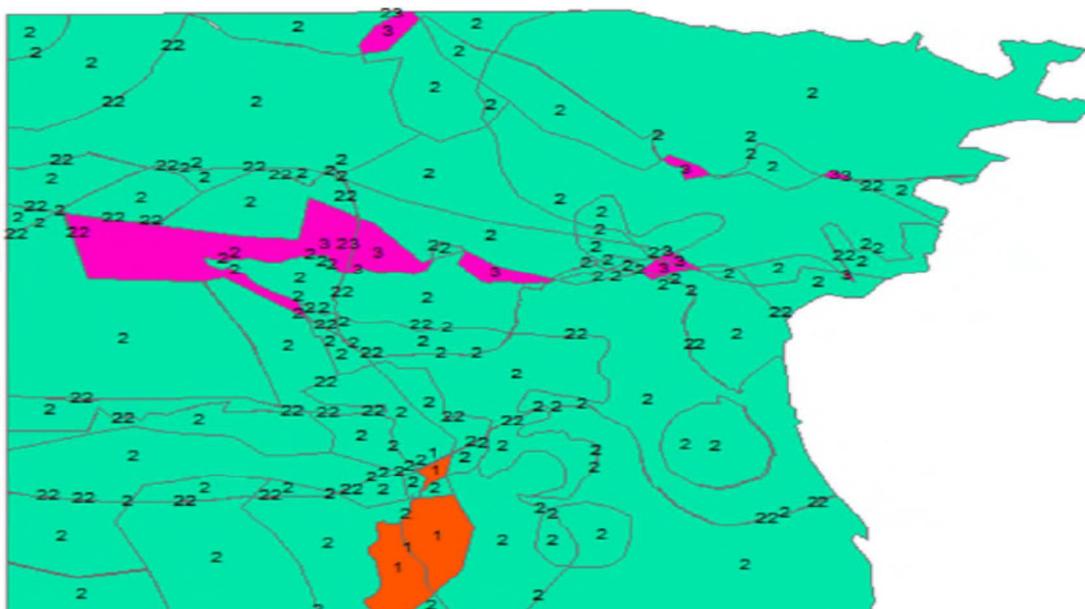


Figure 18 : Carte thématique d'Aléa (In H.AGGAZ, M.BALI, Master 2017)

Légende Carte thématique d'Aléa

 3-8 Aléa fort

 8-13 Aléa moyen

 13-18 Aléa faible

Il a été déduit qu'il existe des différents facteurs d'instabilité, nous avons fait sortir trois zones d'instabilités (faible, moyen ; fort) la première catégorie concerne les zones à risque faibles à nul, la deuxième concerne les zones à Aléa moyen, la troisième concerne les zones à Aléa fort bien sûr ces zones sont caractérisées en fonction la pente, l'Angle de frottement et la géologie.

Exemple 19:

Cartographie de l'aléa sismique application a la commune de BENSEKRANE (W. TLEMCCEN) réalisé par Abderrahim LASSOUANI. Dans le cadre d'un mémoire fin d'étude Pour l'obtention du Diplôme de Magister en Géologie ; en juin 2007.

Résumé:

La cartographie de l'aléa naturel est devenue une étape primordiale dans la prévention contre les différents risques.

Elle est indispensable pour l'urbanisme et l'aménagement du territoire. Dans ce cadre, l'objectif de cette étude consiste à réaliser la carte de l'aléa sismique de la commune de Bensekrane (w. de Tlemcen) après avoir passé en revue les différents aspects d'évaluation de cet aléa.

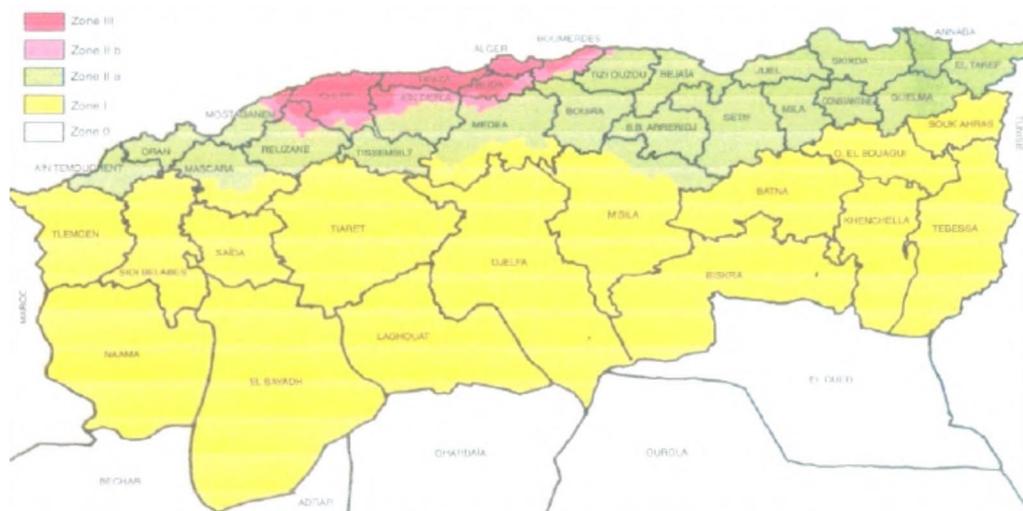


Figure 19: Classification sismique des wilayas d'Algérie (CGS, 2003)

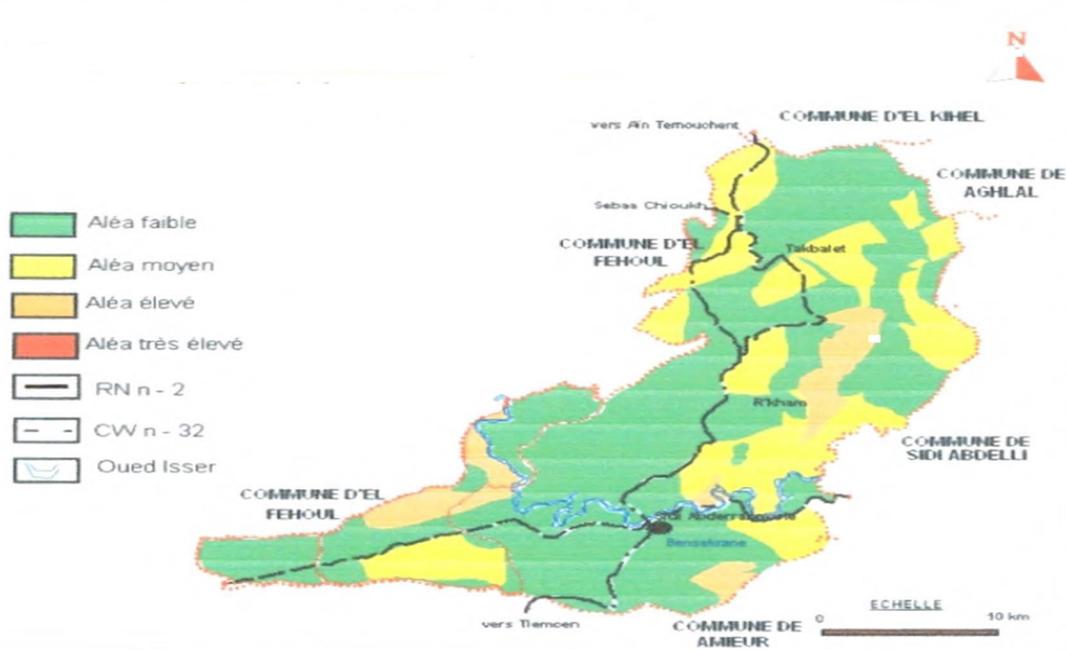


Figure 20: Carte d'aléa des mouvements de pente de la commune de Bensekrane — méthode proposée probabiliste (Allai et ai, 2005)

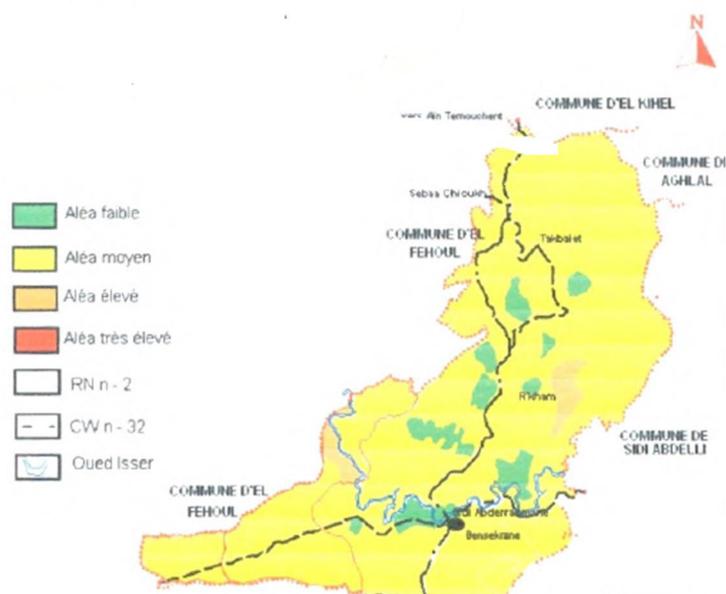


Figure 21: Carte d'aléa des mouvements de pente de la commune de Bensekrane - Méthode proposée arithmétique (Allai et ai, 2005)

Comparaison entre les deux méthodes

Si on compare les deux cartes d'aléa naturel en utilisant la méthode arithmétique, on constate que la carte réalisée avec la méthode proposée est plus pessimiste que celle réalisée avec la méthode de Farés.

L'ajout facteurs dynamiques a influencé sur la détermination de l'aléa; l'effet da la nappe n'avait pas une grande influence par contre le couvert végétal et la sismicité de la zone ont influencé sur le résultat. Ceci se voit très bien sur la carte; les zones en vert sont celles qui ont un couvert végétal (Allai et al, 2005).

L'évaluation probabiliste de l'aléa par les deux méthodes a abouti à des résultats presque similaires, la différence est due toujours aux facteurs ajoutés.

L'évaluation arithmétique conduit un cumul des intensités des facteurs, on aboutit donc à une appréciation pessimiste. Toutefois l'interaction entre les facteurs est possible dans l'évaluation probabiliste

Exemple 20 :

Etablissement d'une carte de risque géotechnique de la région de CONSTANTINE. Réalisé par OULD NAHI Mohamed lamine. Dans le cadre d'un mémoire fin d'étude de master en Géotechnique.

Résumé :

L'étude présentée dans ce travail vise à établir pour la région de Constantine une carte d'exposition aux risques naturels permettant leur meilleure gestion.

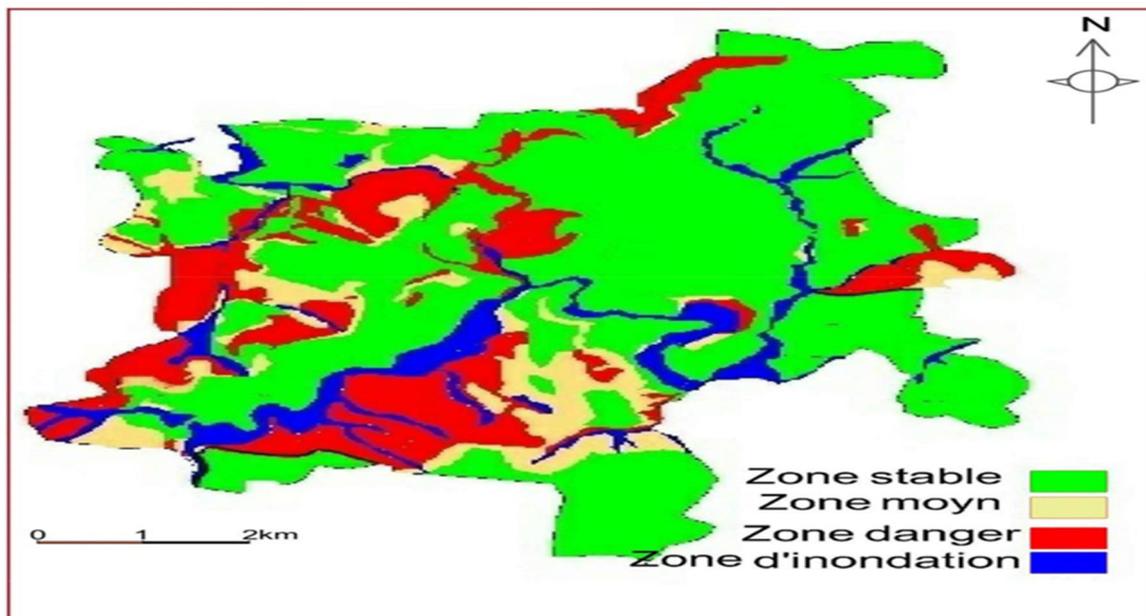


Figure 22: Plan d'exposition aux risques naturels (In M.OULD NAHI, Master. 2017)

Classé dans ce plan le territoire de la commune de Constantine en quatre catégories selon leur degré de risque :

1. **Catégorie I** : coloriée en vert reflète les terrains stables avec une superficie de la superficie totale de la commune.
2. **Catégorie II** : présentée en beige et reflète les terrains ou les zones potentiellement instables (moyennement dangereuses) avec une superficie faible par rapport à la superficie totale de la commune de Constantine.
3. **Catégorie III** : figurée en rouge qui reflète les zones instables ou à risque élevé, occupant une superficie importante de la superficie totale de la commune de Constantine.
4. **Catégorie VI** : figurée en bleu foncé présente les zones d'inondation avec une superficie non négligeable par rapport a la superficie totale de la commune de Constantine.

Exemple 21:

Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria réalisée par Yacine Achour; Abderrahmane Boumezbeur ; Riheb Hadji ; Abdelmadjid Chouabbi ; Victor Cavaleiro5 & El Amine Bendaoud.

Résumé

Cette carte de la susceptibilité des terrains en utilisant le processus de l'analyse hiérarchique (AHP) et de la valeur informatique le long de l'autoroute EW, du côté de la région de Constantine ou les données de base sont : historique des effondrements, glissements, photo interprétation détaillée, télédétection, et ce en utilisant la méthode GIS, pour la cartographie des éventuels zone à risque de glissement et effondrement.

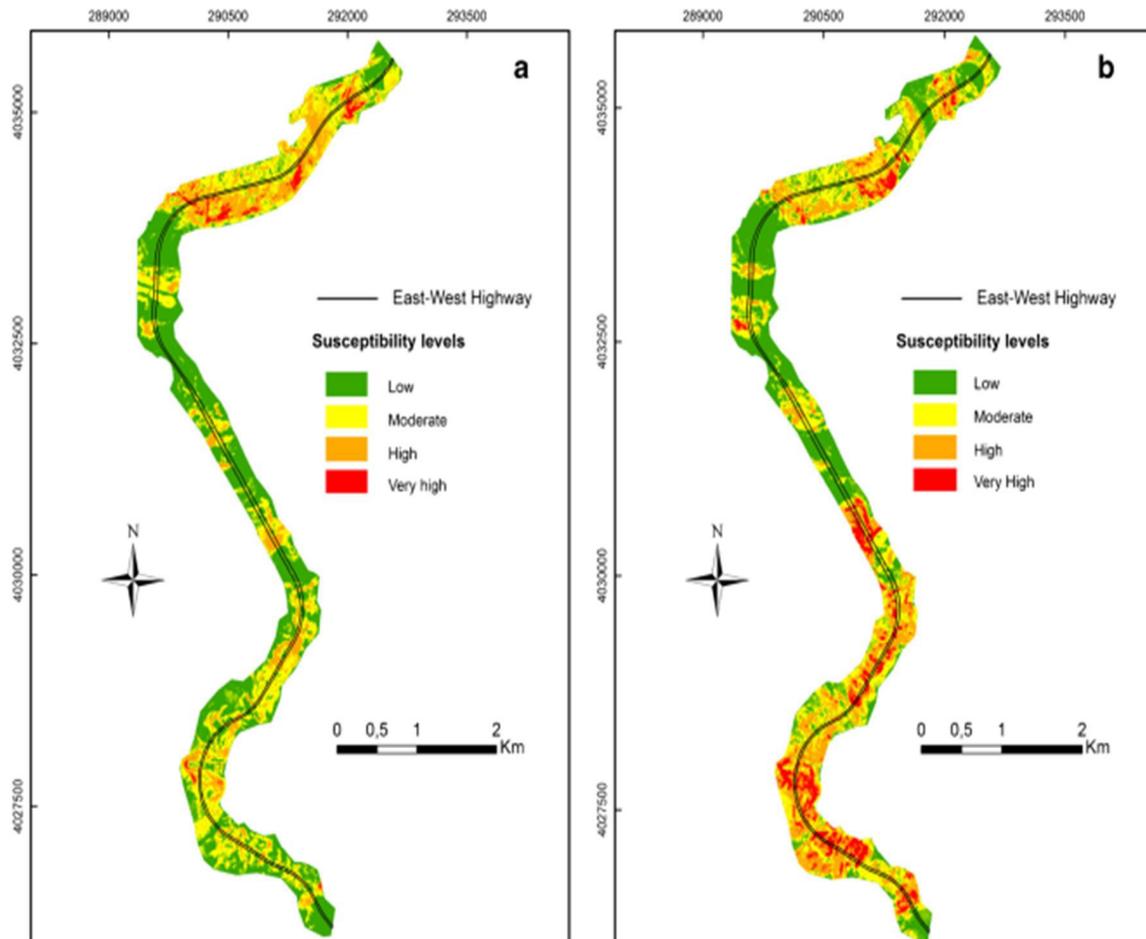


Figure 23: Carte de susceptibilité aux glissements de terrain générée à l'aide d'un processus de la hiérarchie analytique. (In ACHOUR.Y et al, Saudi Society for Geosciences, 2017)

Exemple 22:

Using GIS and RS for Slope Movement Susceptibility Mapping: comparing AHP, LI, and LR Methods for the Oued Mellah Basin, NE Algeria. Réalisé par Riheb Hadji ; Yacine Achour, and Younes Hamed

Résumé:

La carte des risques est réalisée en combinant l'approche des bases de données GIS, et les techniques de télédétection.

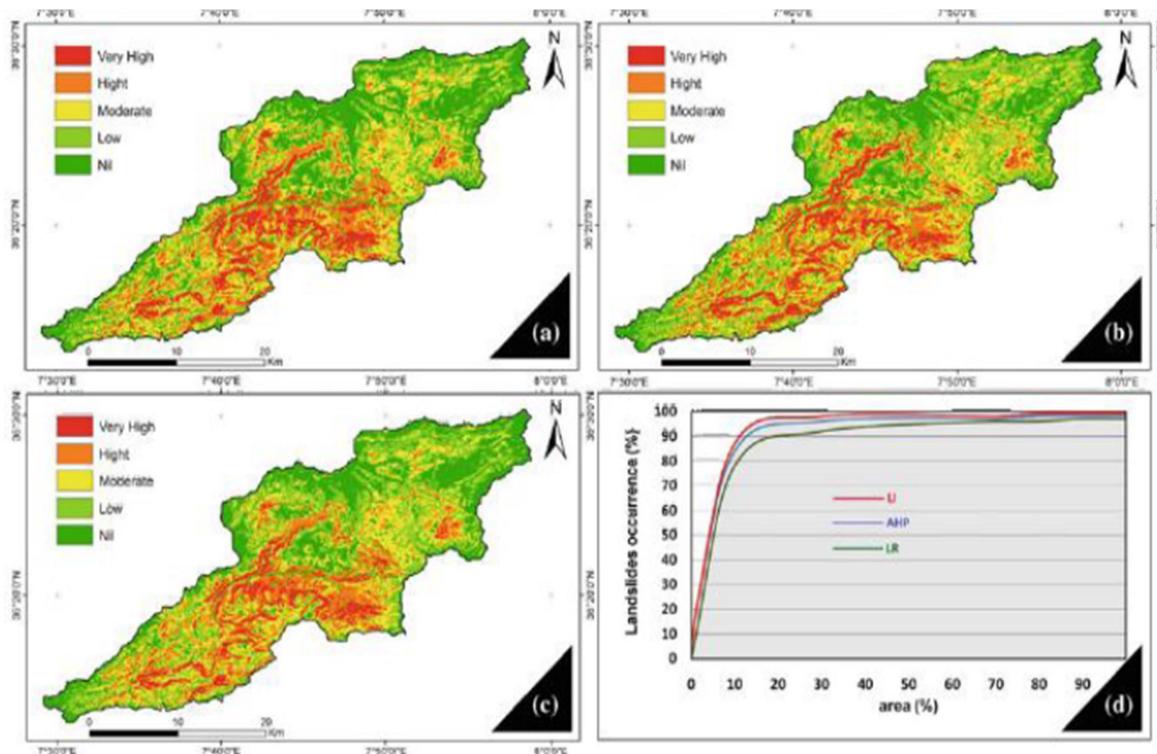


Figure 24: Carte SMS (R.HADJI et al, Springer, 2018)

Exemple 23:

Application of linear indexing model and GIS techniques for the slope movement susceptibility modeling in Bousselam upstream basin, North east Algeria réalisé par Riheb Hadji ; Abdelmadjid Chouabi ; Larbi Gadri ; Khaled Raïs ; Younes Hamed ; Abderrahmane Boumazbeur.

Résumé:

Carte de prédiction des mouvements de terrain en utilisant deux techniques, à savoir :

1. L'utilisation des méthodes géostatistiques (indexation linéaire)
2. Base de données GIS

La combinaison des deux techniques donne la carte suivante :

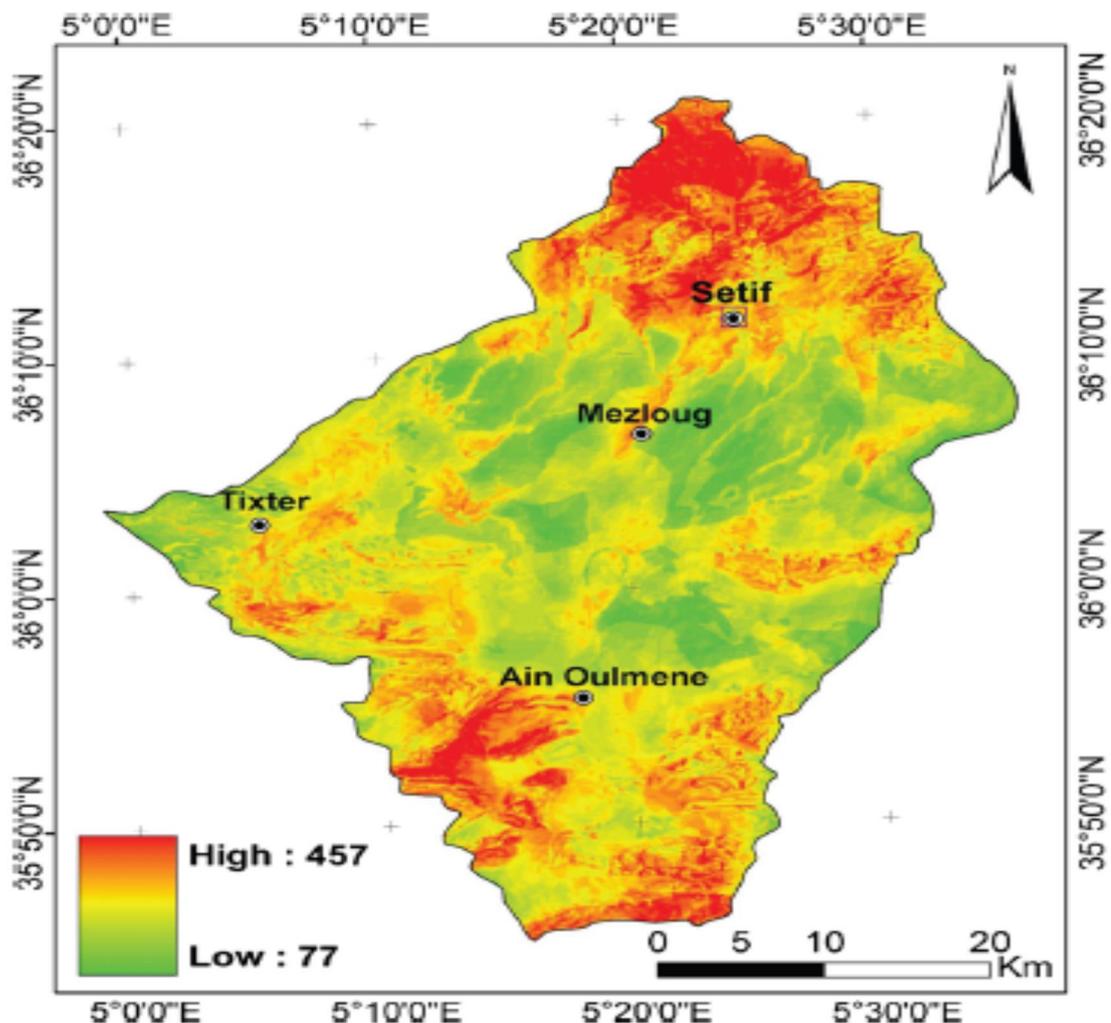


Figure 25: Carte des indices de susceptibilité globaux de la zone d'étude (In R.HADJI, et al, Arab J Geosci, 2016).

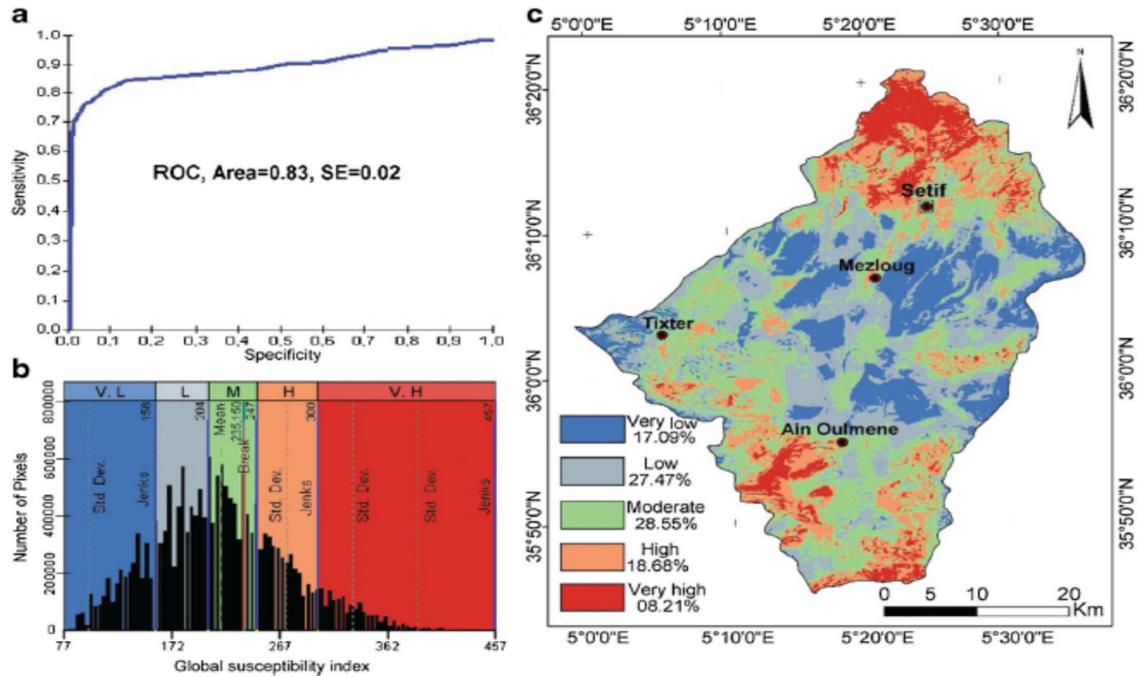


Figure 26: Carte de susceptibilité du Mouvement de Sol (In R.HADJI, et al, Arab J Geosci, 2016).

Légende

- a) La courbe ROK du modèle adopté ;
- b) La classification de l’histogramme SMS en classes
 - i. Qualitatives par la méthode de coupures naturelles ;
- c) Carte SMS du bassin en amont de BOUSLAM.

Exemple 24:

Landslide Susceptibility Assessment in Constantine region (NE Algeria) By Means of Statistical Models réalisé par Nabil Manchar, Chaouki Benabbas, Riheb Hadji, Foued Bouaicha, Florina Grecu

Résumé

Carte de susceptibilité aux mouvements de terrain, par la combinaison de plusieurs modèles statistiques, application à la région de Constantine.

Les LSM produit de trois méthodes ont été subdivisées en cinq classes hiérarchiques (très faible, faible, modérée, élevée et très élevée).

Les zones de très haute susceptibilité sont situées dans le NW et le SE de la zone d’étude ; la susceptibilité faible à très faible est répartie dans le NE et SW de cette zone.

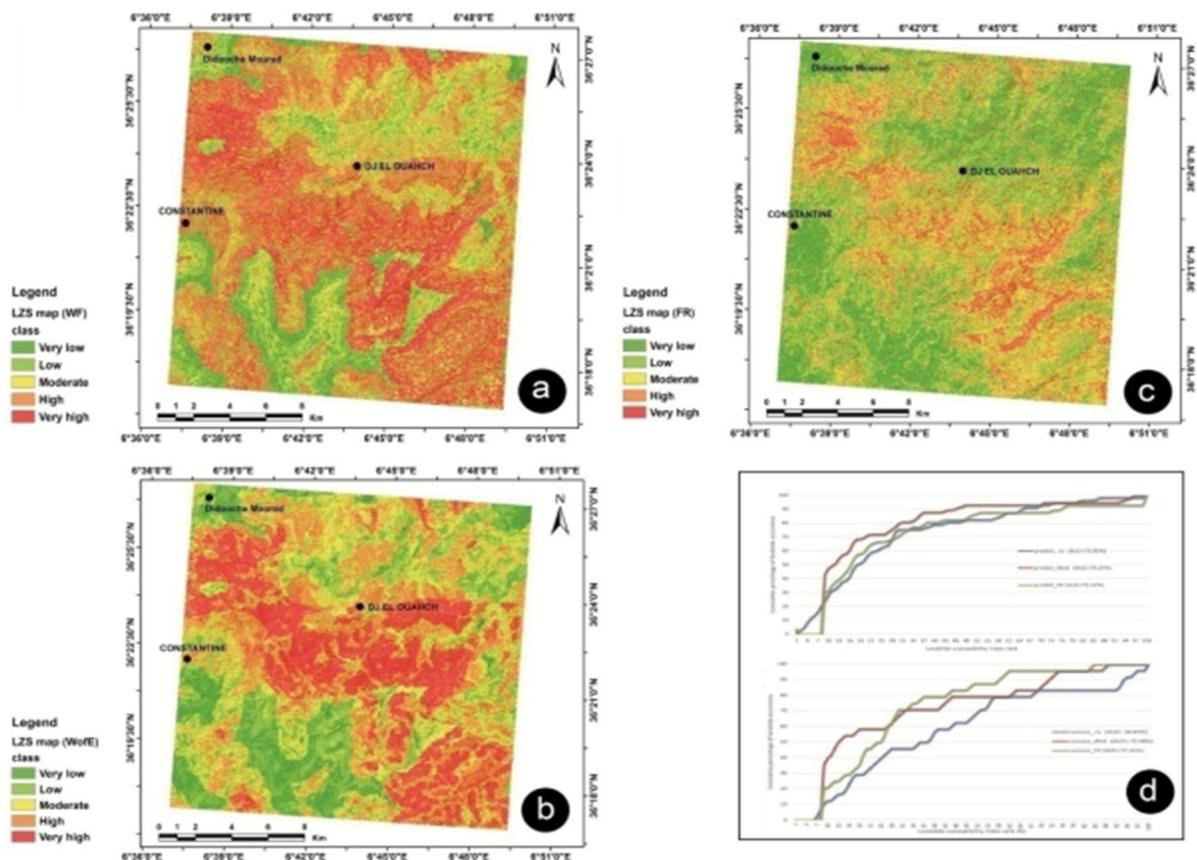


Figure 27: LSMs for a: IV, b: WoE, and c: FR. d: ROC curves of The three used models. (N.MANCHAR, et al, *Studia Geotechnica et Mechanica*, 2018).

Exemple 25:

Apport des méthodes automatiques à la détection des ZERMOS réalisé par HADJI salsabil ; Mellouk chaïma ; Dans le cadre d'un mémoire fin d'étude de Master en GIA en 2018.

Résumé:

Une étude de synthèse ayant pour objectif de réaliser une cartographie géotechnique ainsi qu'une base de données sous forme S.I.G. de l'aléa glissement de terrain ; savoir la carte d'aléa, de vulnérabilité et de risque glissement de terrain.

Ces cartes montrent que la ville de Tébessa est menacée par ce type de phénomène.

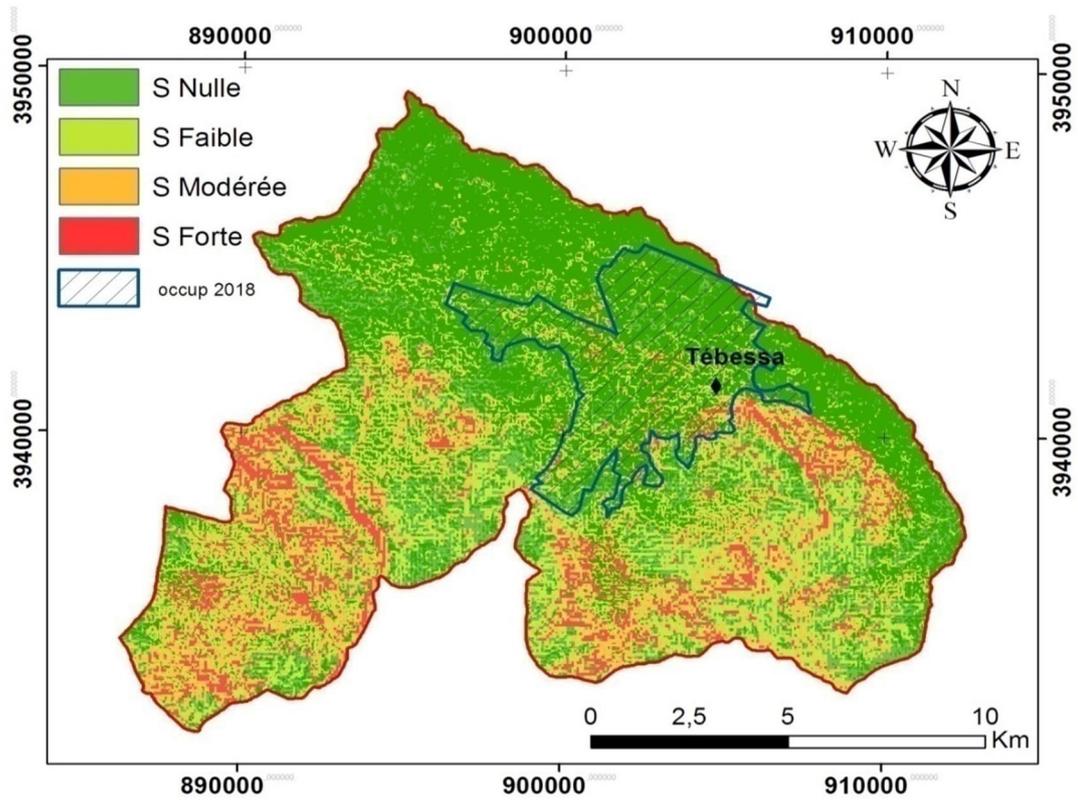


Figure 28: Superposition de l'occupation de sol De 2018 sur la carte d'aléa glissement de terrain (In S. HADJI et C. MELLOUK, Master GIG Tébessa, 2018).

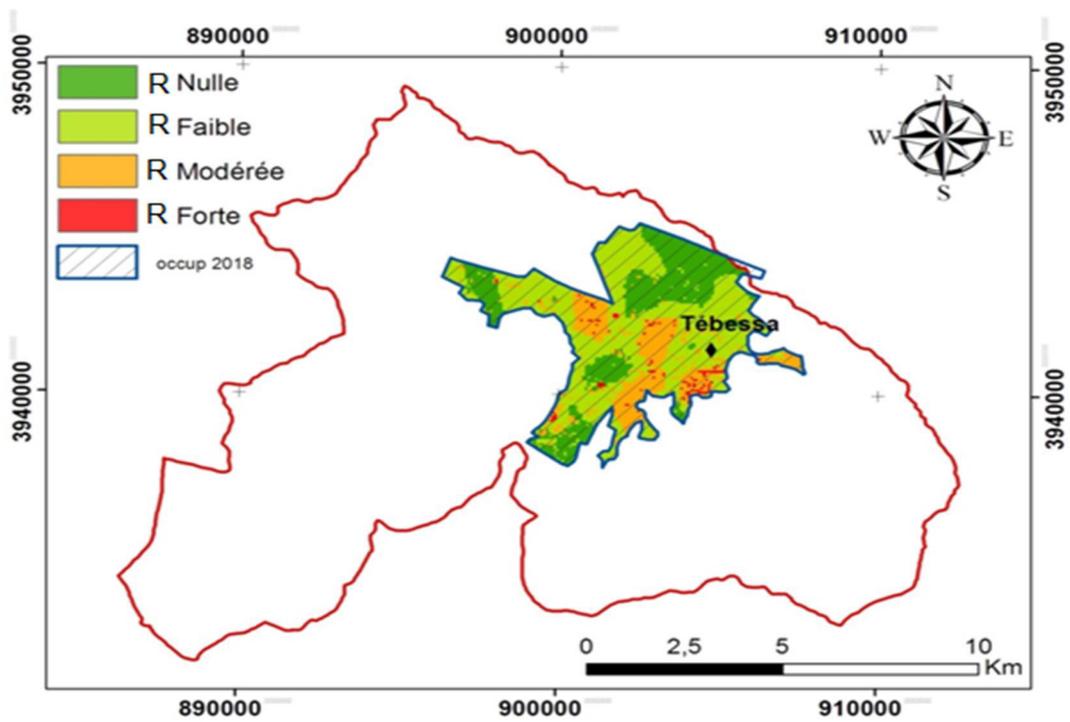


Figure 29: Carte de risque glissement de terrain de la ville de Tébessa (In S. HADJI et C. MELLOUK, Master GIG Tébessa, 2018).

Le risque total interprète l'espérance mathématique des dommages et des perturbations de l'activité économique et sociale due à un aléa naturel particulier au cours d'une période de référence et dans une zone donnée.

L'évaluation du risque pourrait être tirée directement à partir du risque spécifique et des valeurs de pertes. Elle peut être également obtenue en combinant la carte d'aléa à la carte de conséquences.

Le risque total = l'aléa naturel X la vulnérabilité.

3.3. Les cartes ZERMOS

La cartographie ZERMOS se propose d'étudier la distribution probable de ceux-ci dans l'espace. A partir d'informations objectives dont les plus significatives sont reportées sur les cartes (figurés noirs liés à la morphologie, à la dynamique des versants, au drainage...) son objet est d'indiquer par un zonage de couleur (du rouge vers le vert) les secteurs d'instabilité réelle ou potentielle et les dangers qui menacent ces terrains. S'inscrivant dans cadre d'intérêt national, visant à mieux se protéger contre les risques naturels.

La carte ZERMOS est une carte de synthèse (carte synthétique), indiquant non pas ponctuellement mais sur l'ensemble d'une région la distribution probable des mouvements de terrains.

Elle s'appuie sur l'analyse des mouvements anciens existants et des facteurs (nature des terrains, structure, conditions de drainage, ...) pouvant avoir, des effets sur la stabilité des terrains.

Regroupant plusieurs communes et couvrant un territoire étendu, de par son échelle cette carte est d'abord un document d'information et d'orientation mais aussi une carte d'alerte. Avec sa notice, elle constitue un dossier technique de travail à l'usage des services administratifs français tels que la Sécurité civile, l'Équipement, l'Agriculture, l'Environnement et des collectivités locales afin d'éclairer leur choix en matière de sécurité et d'urbanisme, mais aussi de conservation des sols et de protection des paysages. (S.SOUAIDI, étude bibliographique de la cartographie ZERMOS 2019).

3.3.1. PRINCIPES ET MODALITE D'ETABLISSEMENT

Le principe d'établissement de la carte ZERMOS répond donc à une démarche qui comporte deux phases significatives:

- La première étant l'analyse d'un certain nombre d'informations sélectionnées en fonction de leurs conséquences sur la stabilité des terrains ;
- La seconde étant l'extrapolation des informations précédentes ;
- Obligatoirement ponctuelles et localisées à l'ensemble d'un territoire afin d'obtenir une couverture continue du risque ;
- La phase analytique comporte l'examen des facteurs naturels permanents ayant des effets sur la stabilité des terrains et liés:

- a) A la topographique/pente, relief particulier...
- b) A la géologie/lithologie, structure, étude du Quaternaire...
- c) A la géomorphologie dynamique /évolution des versants, mouvements...

- d) A l'hydro géomorphologie /circulation des eaux souterraines, drainage superficielle...

Mais aussi l'examen des facteurs temporels présents ou passés tels que la climatologie, la végétation ou certains effets de l'activité humaine (routes, constructions ...).

A ce stade de la collecte des informations et de l'enquête sur le terrain, on attachera, parmi les facteurs cités précédemment, une grande importance à l'analyse des mouvements anciens que le géologue sait reconnaître aux traces qu'ils ont laissées dans la morphologie. La reconstitution des événements passés peut-être la clef des événements, à venir.

Ces facteurs sont reportés sur la carte sous forme de signes conventionnels en figurés noirs afin que cette information objective se distingue nettement du zonage qui est une extrapolation plus ou moins subjective.

Dans la phase de synthèse ou d'extrapolation, il s'agit donc à partir d'un certain nombre de facteurs naturels permanents (lithologie, Structure, drainage, pente, historique des mouvements du sol, propriétés physiques et mécaniques des terrains si elles sont connues) ou temporels /végétation, état d'une route, surcharge d'un versant par l'implantation d'immeuble, canalisation d'eau traversant un talus, d'estimer à un moment donné la stabilité des terrains étudiés.

Exemple 26 :

Cartographie des Aléas sous-sol, base d'une politique de prévention des risques En wallonie (belgique) réalisée par Ali_KHEFFI; Institut Scientifique de Service Public, Colfontaine, Belgique Daniel_PACYNA ; Service public de Wallonie, DGO3 - Service Géologique de Wallonie.

Résumé :

En Wallonie, de nombreux objets souterrains menacent la sécurité publique. Inspirée de l'expérience française, la cartographie des aléas de mouvement de terrain a été récemment proposée pour simplifier la gestion existante des risques du sous-sol. Cette méthodologie a été validée sur plusieurs zones test, dont les anciennes carrières souterraines de la Malogne (Mons).

Un effondrement y est survenu en 2015 dans une zone préalablement pointée par une première carte des aléas, élaborée 6 mois plus tôt.

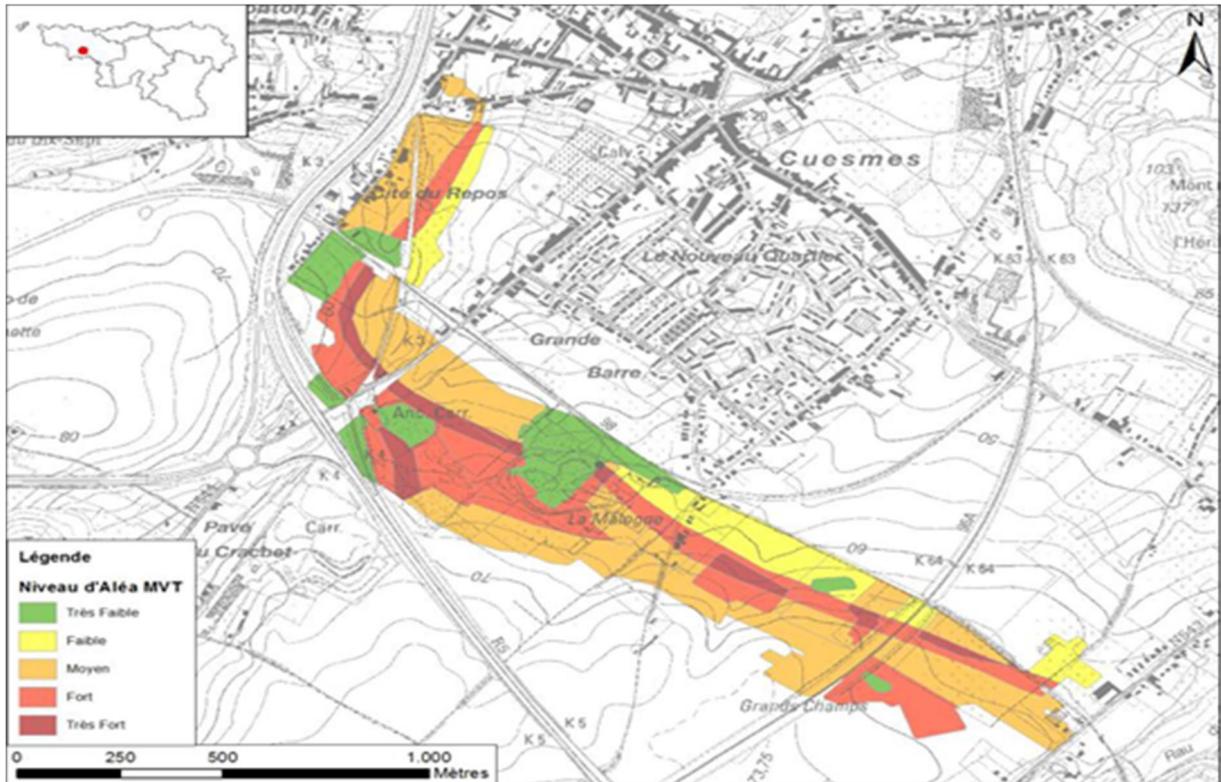


Figure 30: Cartographie des zones d'aléas d'effondrement dressée Pour les carrières souterraines de la Malogne. (In A.KHEFFI, D. PACYNA Service Géologique de Wallonie.2016)

La cartographie de la figure précédente représente le zonage des carrières souterraines établi en septembre 2014 selon la classe de l'aléa d'effondrement localisé. Elle se veut être une synthèse simple des quelques éléments disponibles.

Exemple 27 :

Carte qui illustre les risques naturels de la région de wallonne.

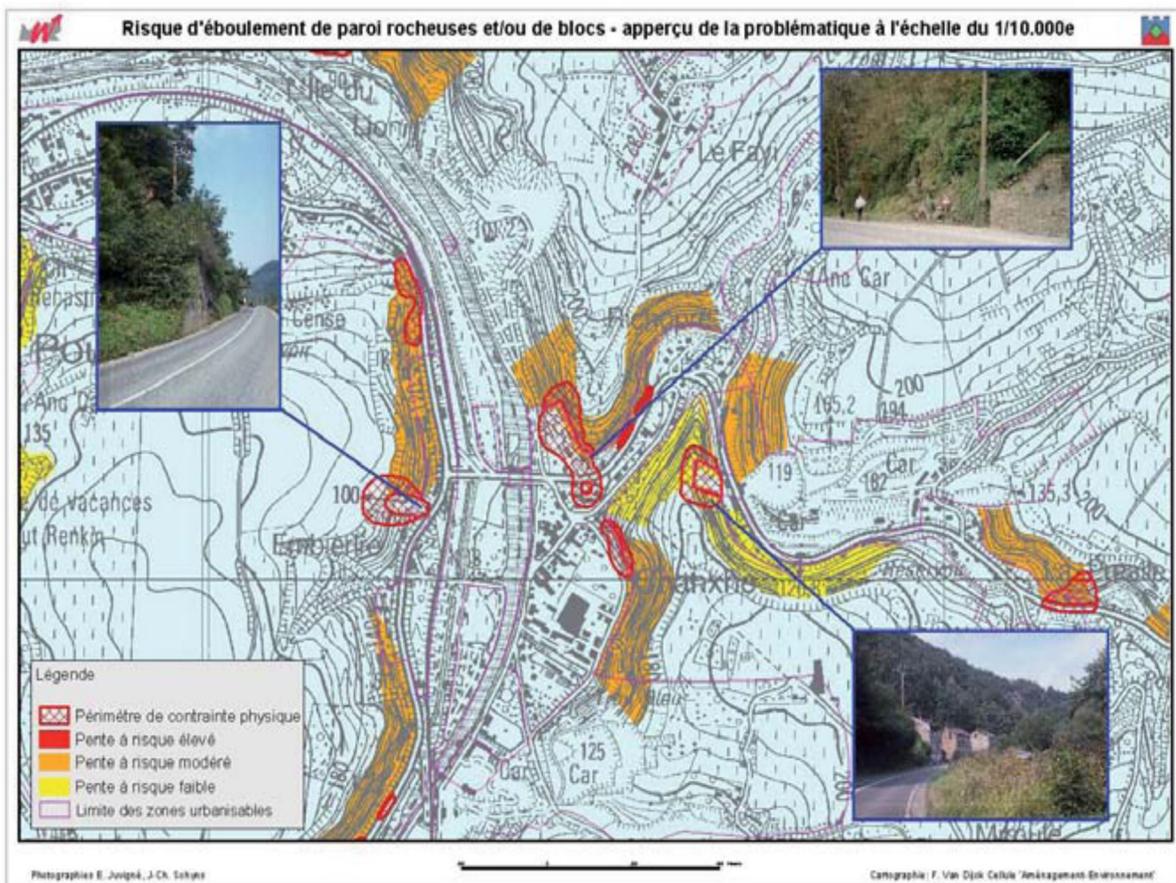


Figure 10: Carte du risque d'éboulement à Chanxhe (R. Michel et F. Van Dick, BSGLG, 2010)

Exemple 28 :

Carte morpho dynamique des mouvements de versant dans le bassin du Riou-Bourdoux.

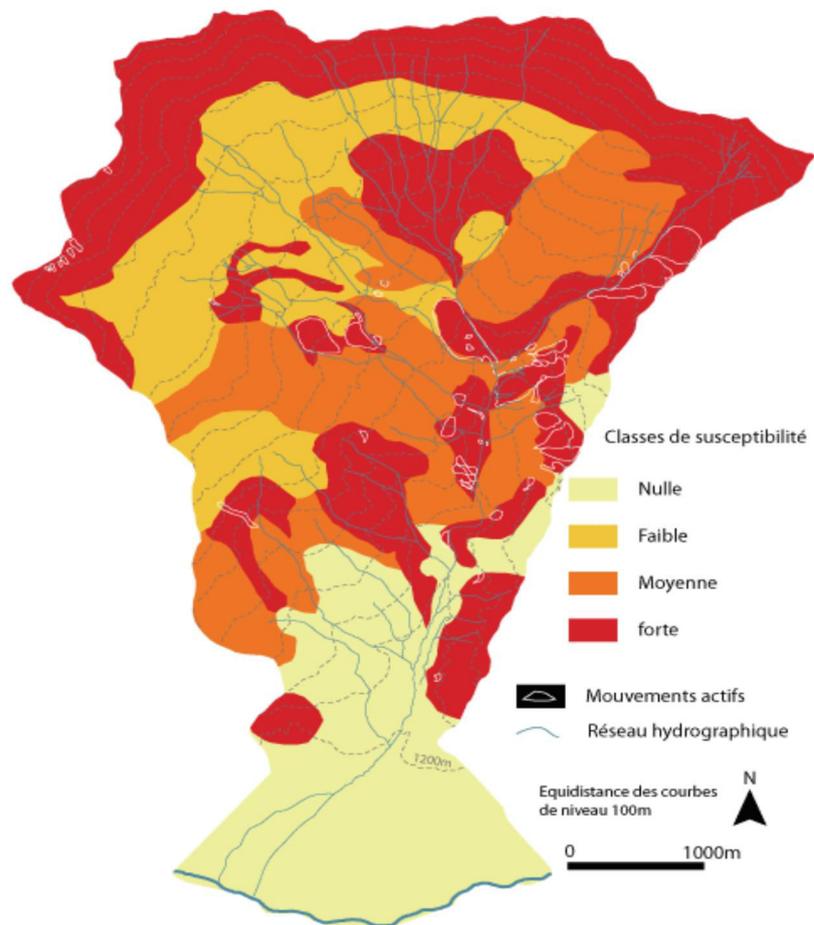


Figure 11: Carte de susceptibilité aux 'mouvements De versants' (Riou-Bourdoux) (In J.PHILIPPE MALET, Strasbourg, 2009)

Exemple 29 :

La Carte des Risques Naturels en Sionne dans la commune de Sion, Suisse.

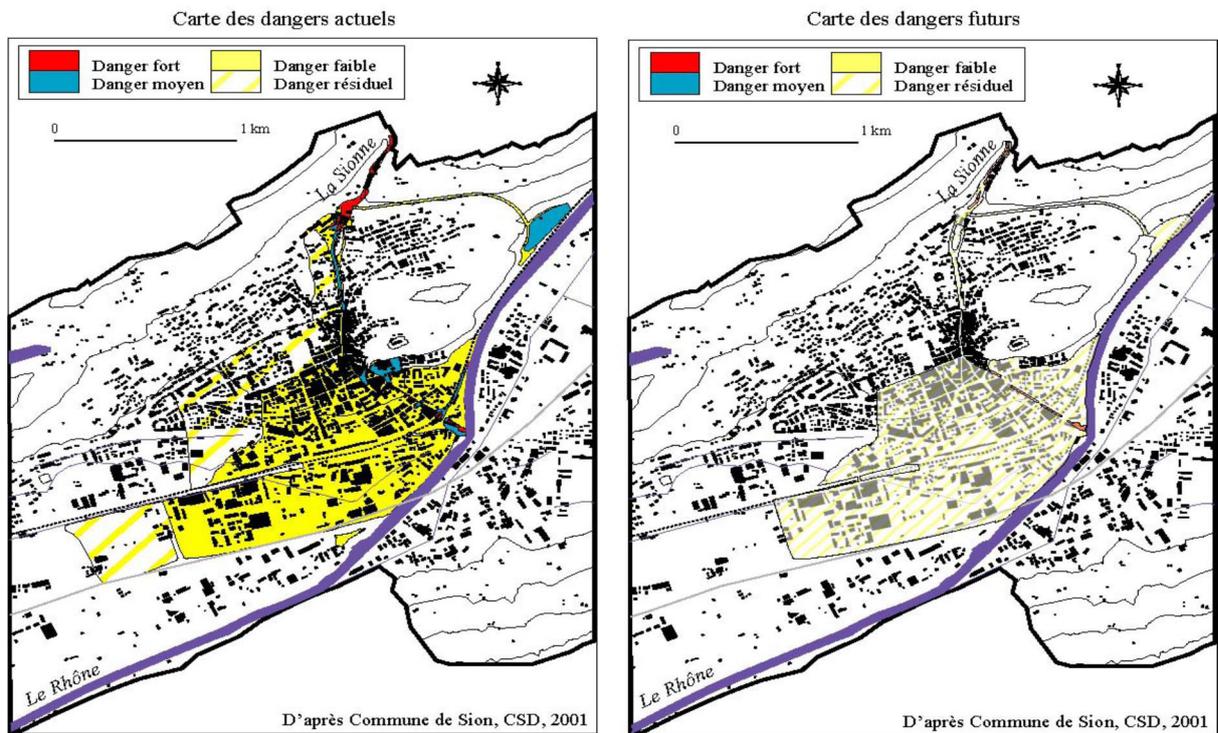


Figure 12 : Carte des dangers actuels et futurs liés à la Sionne dans la commune de Sion (In A. Peltier 2008)

Exemple 30:

Carte des aléas naturels dans le territoire de nouvelle Calédonie (Zone POUEMBOUT)

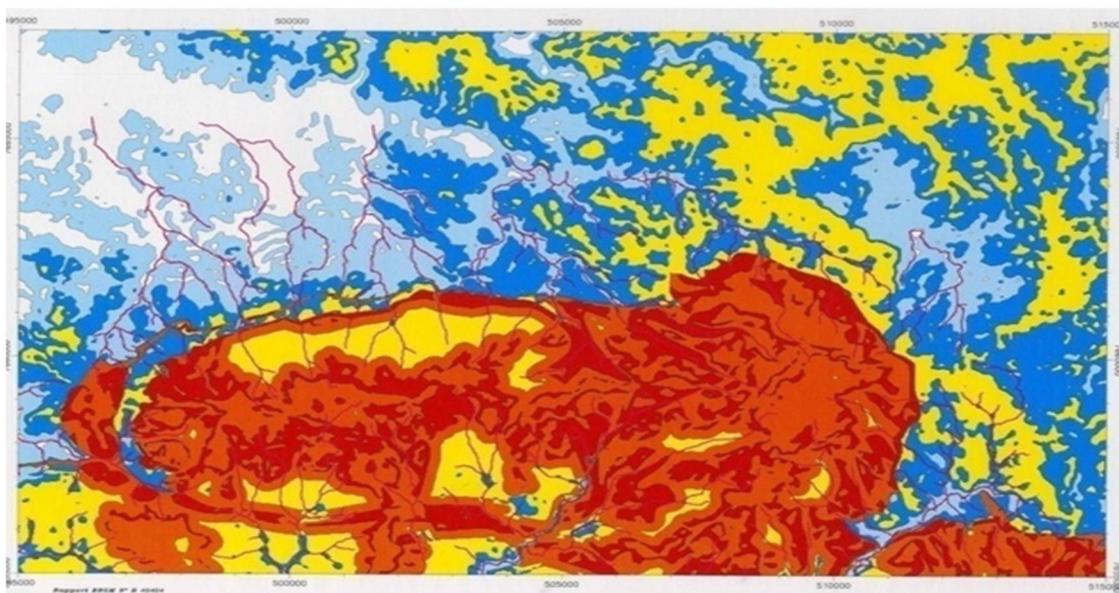


Figure 13: Carte de susceptibilité des différents aléas (P. Maurizot, Y. Lafsy, BRGM sous la revue N° : R40404).

Niveau1

Niveau2

Niveau3

Niveau4

Niveau5

1. Niveau 1 : La probabilité d'apparition de mouvements de terrain est faible à nulle. Ces zones correspondent à de faibles pentes en milieu de substrat volcano-sédimentaire.
2. Niveau 2 : La probabilité d'apparition de mouvements de terrain superficiels de faible ampleur est faible à moyenne. Ces zones correspondent à des pentes moyennes en milieu de substrat volcano-sédimentaire.
3. Niveau 3 : La probabilité d'apparition de mouvements de terrain de faible ampleur est moyenne à forte. Ces zones correspondent à des pentes moyennes à fortes en contexte presque exclusivement volcano-sédimentaire comme dans les deux niveaux précédents.
4. Niveau 4 : La probabilité d'apparition de mouvements de terrain caractéristiques aux massifs de péridotites est moyenne à forte. Ces zones correspondent uniquement au domaine des péridotites pas à peu altérées et à des pentes moyennes à fortes.
5. Niveau 5 : Dans ce niveau qui représente le degré d'aléa maximum la probabilité d'apparition de mouvements de terrain caractéristiques aux massifs de péridotites est forte.

Exemple 31 :

Cartographie des aléas mouvements de terrain au droit de 11 secteurs des cavités souterraines de Savonnières-en-Perthois (Meuse) réalisé par CARTANNAZ C., MIDOT D, MATHON Ch. Dans le cadre d'un Rapport BRGM/RP-58818-FR, 95 p., 25 fig., 4 annexe.

Résumé :

L'étude de la stabilité de 11 zones couvrant une partie des carrières souterraines de Savonnières-en-Perthois a permis de retenir deux types de mouvements de terrain : l'effondrement localisé ou fontis (sur travaux souterrains et sur tête de puits) et l'effondrement généralisé.

Cette étude a permis de montrer les limites de la caractérisation de l'aléa (l'un des objectifs de cette étude) résultant des lacunes des plans disponibles, ainsi qu'une méconnaissance des caractéristiques géologiques du recouvrement.

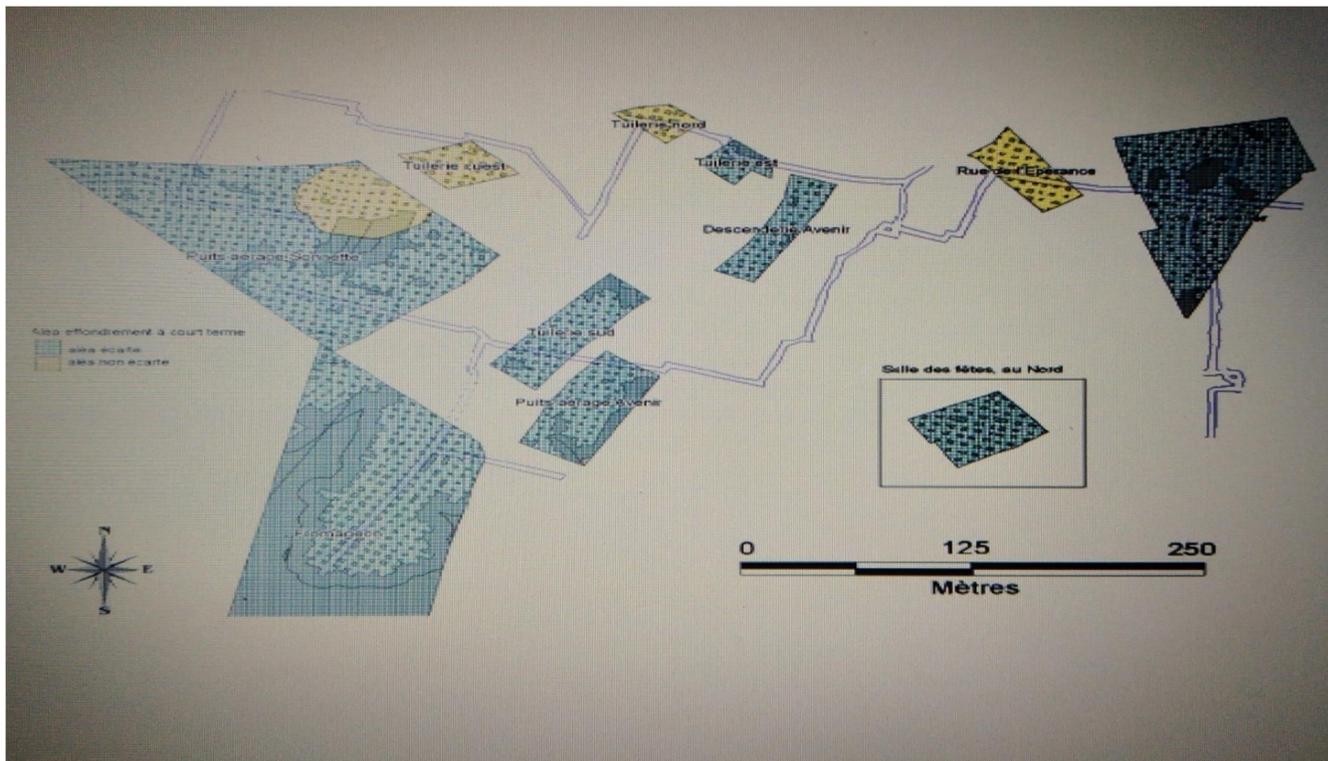


Figure 31: Carte de l'aléa effondrement à court terme (In C. CARTANNAZ, BRGM/RP-58818, 2010)


Aléa écarté


Aléa non écarté

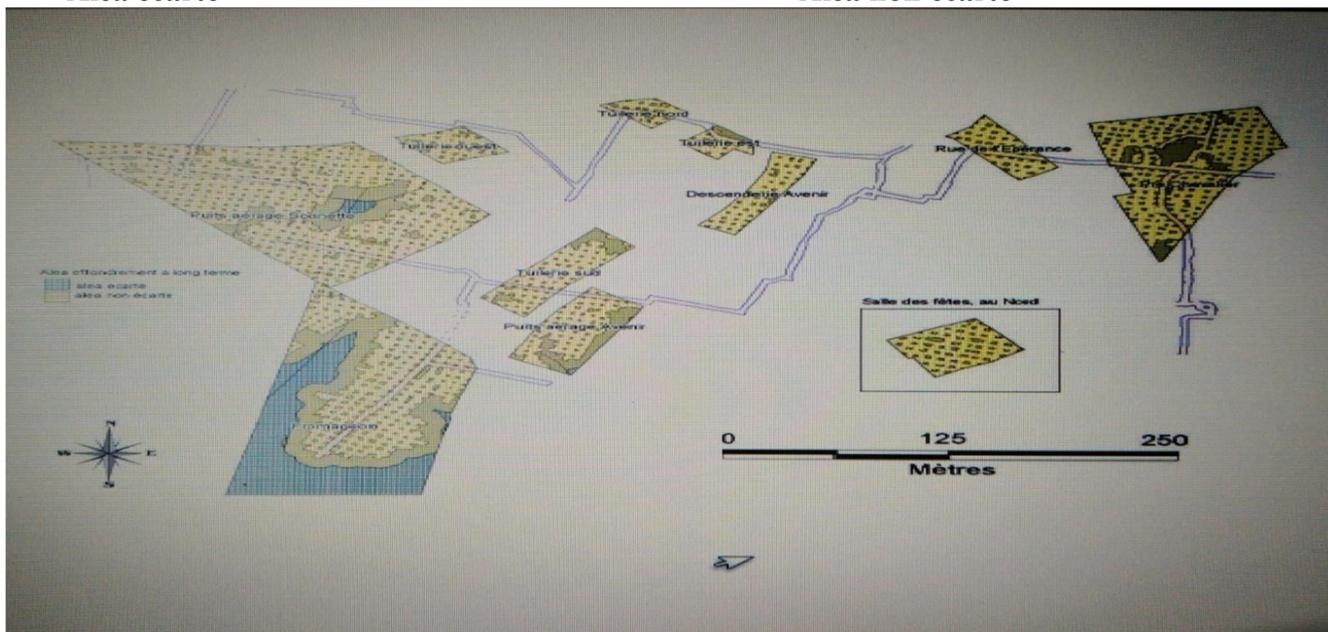


Figure 32: Carte de l'aléa effondrement à long terme (In C. CARTANNAZ, BRGM/RP-58818, 2010)


Aléa écarté


Aléa non écarté

Exemple 32:

Carte des zones vulnérables à l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Zgane (Moyen Atlas tabulaire, Maroc)

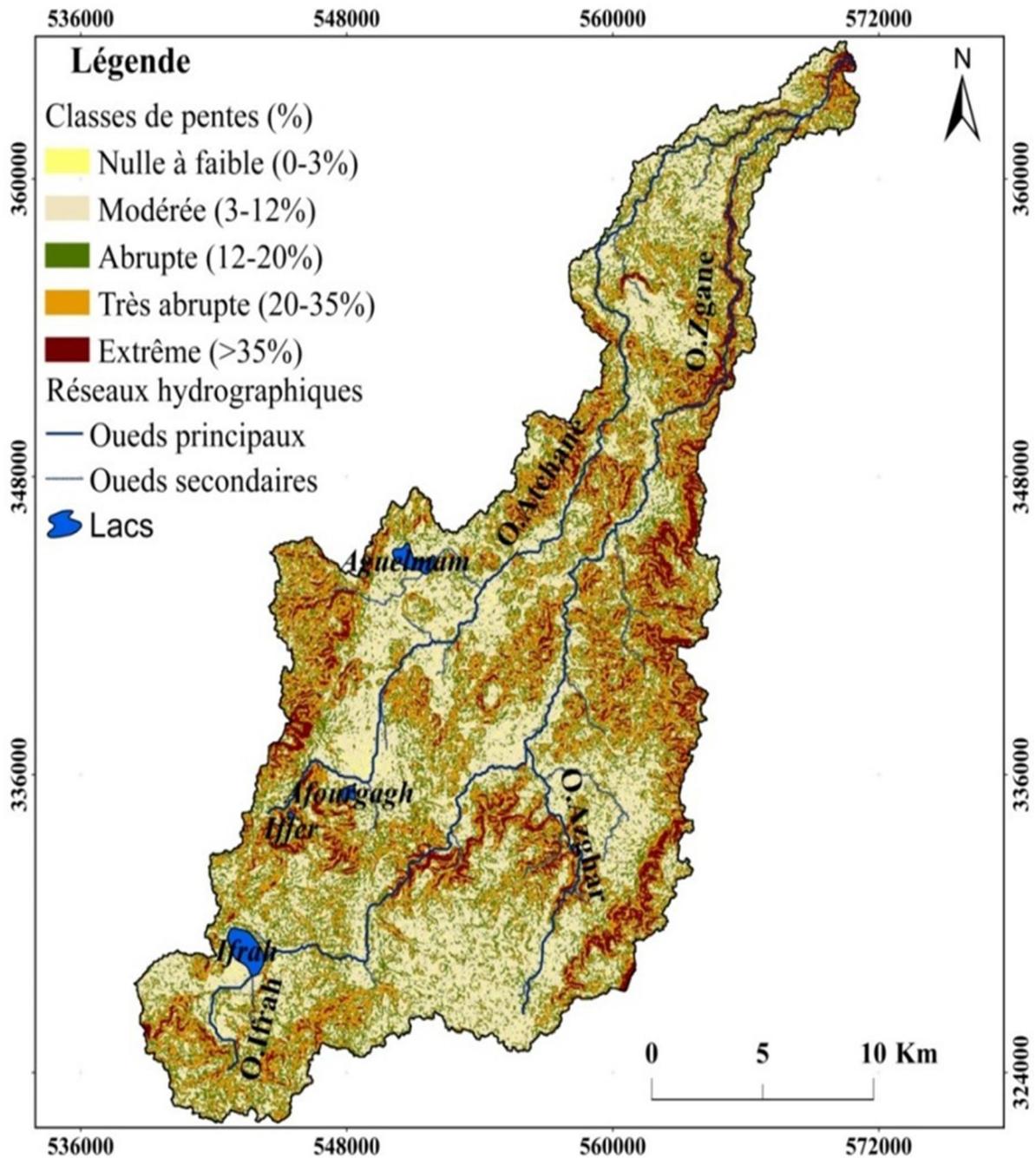


Figure 14: Carte des zones vulnérables à l'érosion hydrique (H.OUSMANA et al, 2017)

Exemple 33 :

Carte géotechnique, des Risques de Glissements de terrain de la ville de Bejaia.

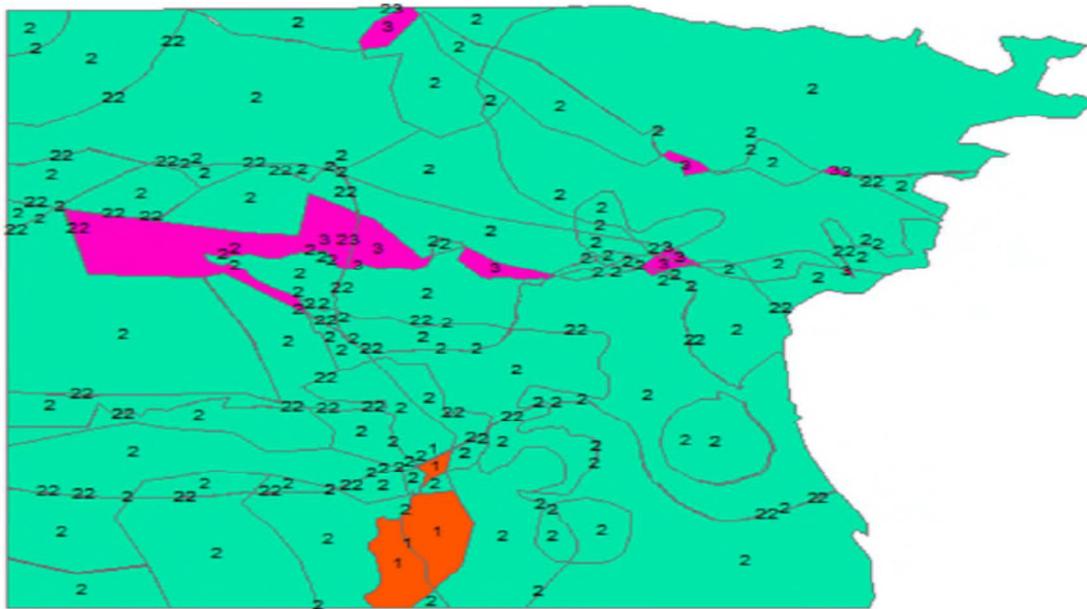


Figure 18: Carte thématique d'Aléa (In H.AGGAZ, M.BALI, Master 2017)
Légende Carte thématique d'Aléa



Exemple 34:

Carte de risque géotechnique de la région de CONSTANTINE

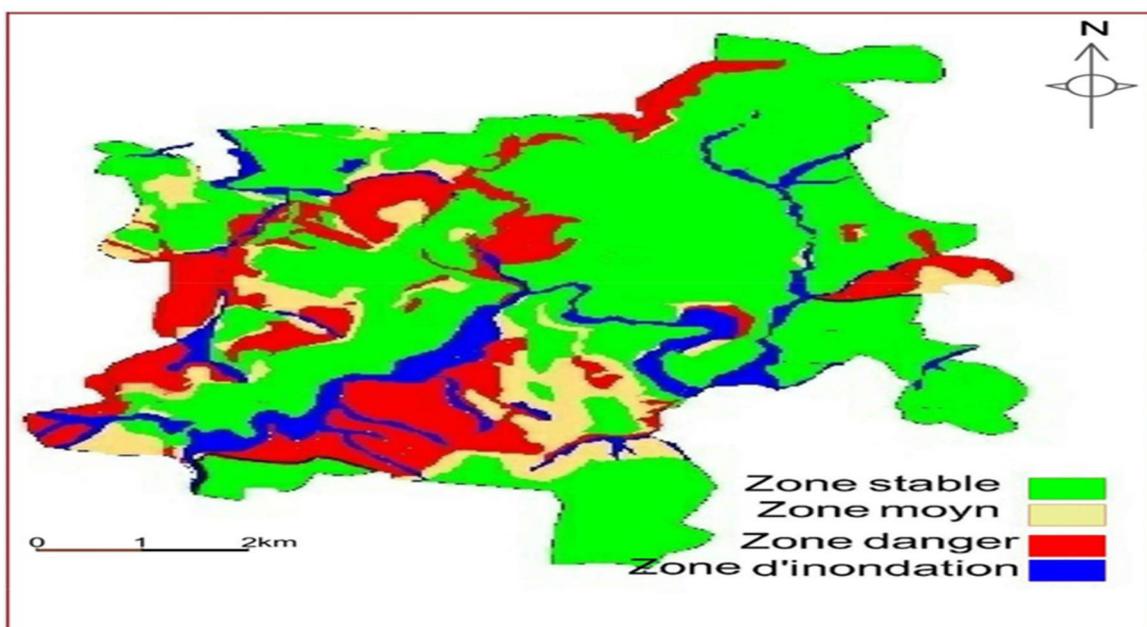


Figure 22: Plan d'exposition aux risques naturels (In M.OULD NAHI, Master. 2017)

Classé dans ce plan le territoire de la commune de Constantine en quatre catégories selon leur degré de risque :

1. **Catégorie I** : coloriée en vert reflète les terrains stables avec une superficie de la superficie totale de la commune.
2. **Catégorie II** : présentée en beige et reflète les terrains ou les zones potentiellement instables (moyennement dangereuses) avec une superficie faible par rapport à la superficie totale de la commune de Constantine.
3. **Catégorie III** : figurée en rouge qui reflète les zones instables ou à risque élevé, occupant une superficie importante de la superficie totale de la commune de Constantine.
4. **Catégorie VI** : figurée en bleu foncé présente les zones d'inondation avec une superficie non négligeable par rapport à la superficie totale de la commune de Constantine.

Exemple 35:

Cartographie numérique de l'aléa retrait-Gonflement des argiles dans le Nord EST de l'Algérie. Réalisé par Hadji .R ; Baghem.M ; Limany.Y ; Demdouma.a ; Boumazbeur.A.

Résumé :

Le phénomène de retrait gonflement provoque chez certaines formations argileuses une déclinaison irréversible de la qualité de ces sols. Elle se manifeste par des tassements différentiels, et des dommages affectant le bâti individuel, le réseau d'eau potable et d'assainissement, et la voirie... l'Algérie comme ces voisins maghrébins n'est pas épargné de ce sinistre, périodiquement amplifié par les déficits pluviométriques saisonniers principalement dus au changement climatiques, et qui atteignent ces dernières années des ampleurs maximales.

Chaque année les collectivités locales débourse des démesures couts de dégradation. Ces problèmes ont prescrit aux scientifiques l'exigence de mieux cerner le problème de toutes ses faces.

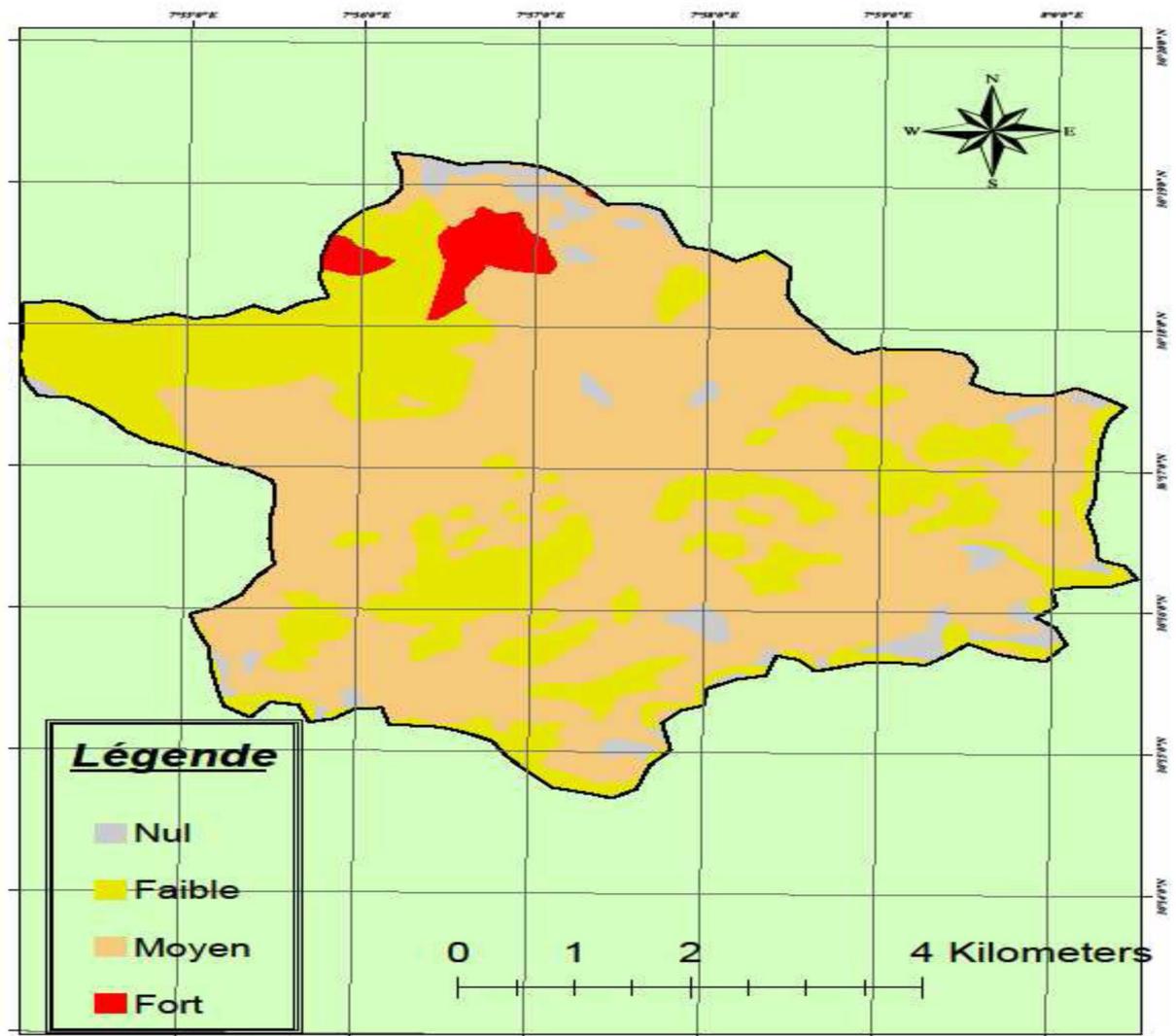


Figure 33: Carte de susceptibilité au retrait-gonflement de Souk Ahras (In HADJIL.R et al, colloque international des Utilisateurs de SIG, Taza GIS, 2012)

Cette carte d'alea retrait-gonflement des terrains argileux de la commune de Souk Ahras, dont l'échelle de validité est le 1/50.000^e, pourra servir de base à des actions d'information préventive.

Exemple 36:

Carte de susceptibilité aux glissements de terrain le long de l'autoroute EW, du côté de la région de Constantine.

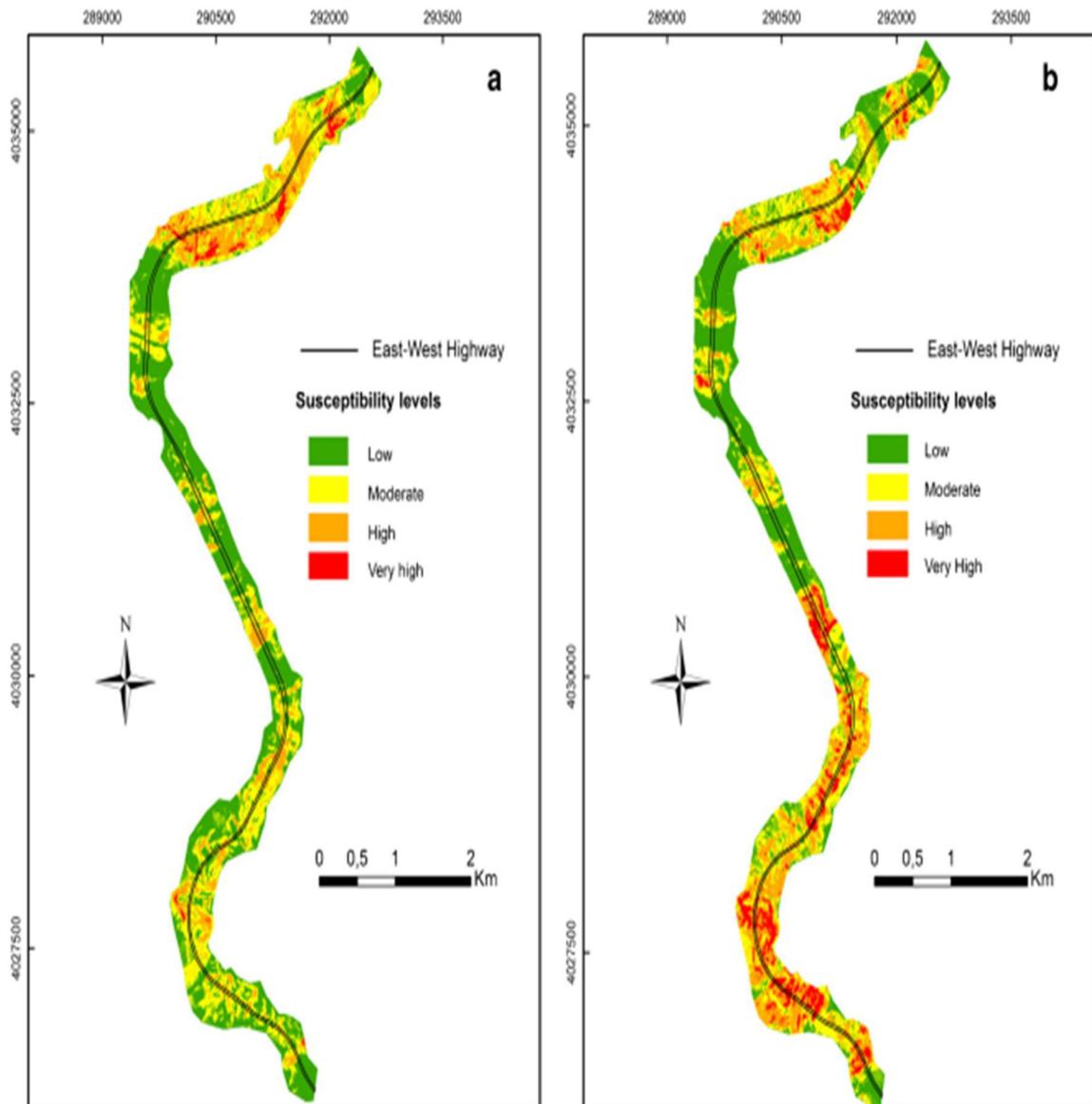


Figure 23: Carte de susceptibilité aux glissements de terrain générée à l'aide d'un processus de la hiérarchie analytique. (In ACHOUR.Y et al, Saudi Society for Geosciences, 2017)

Exemple 37:

La carte des risques Oued Mellah Basin, NE Algeria.

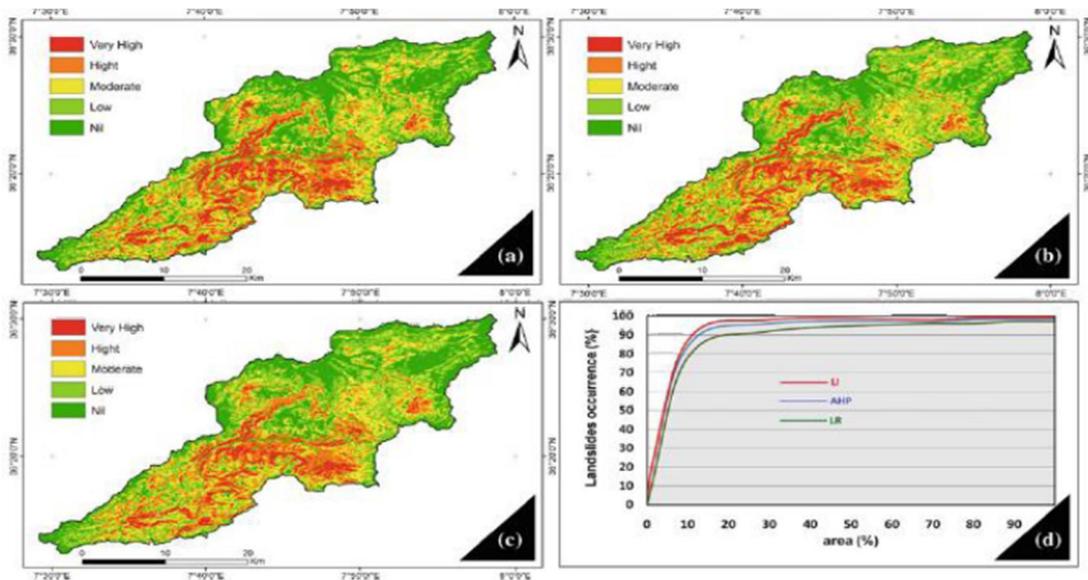


Figure 24: Carte SMS (R.HADJI et al, Springer, 2018)

Exemple 38:

Carte de prédiction des mouvements de terrain dans le bassin de Bousselam, Nord-est de l'Algeria

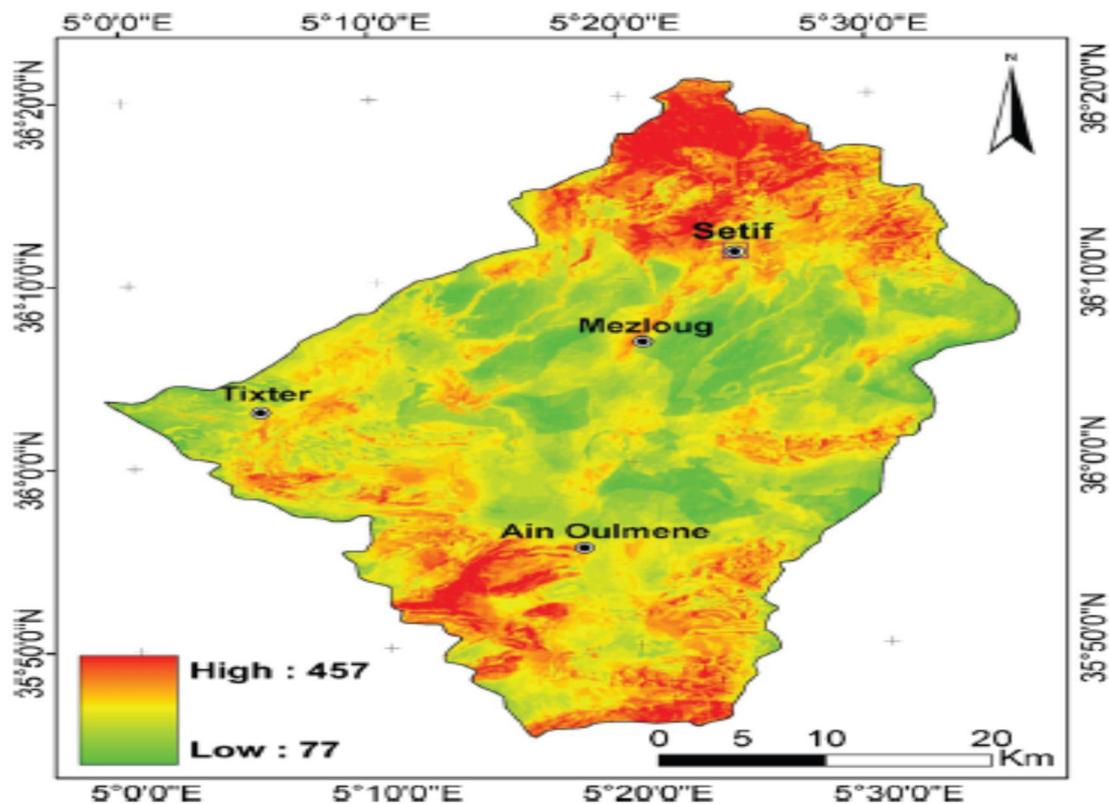


Figure 25: Carte des indices de susceptibilité globaux de la zone d'étude (In R.HADJI, et al, Arab J Geosci, 2016).

Exemple 39:

Carte de susceptibilité aux mouvements de terrain, par la combinaison de plusieurs modèles statistiques, application à la région de Constantine.

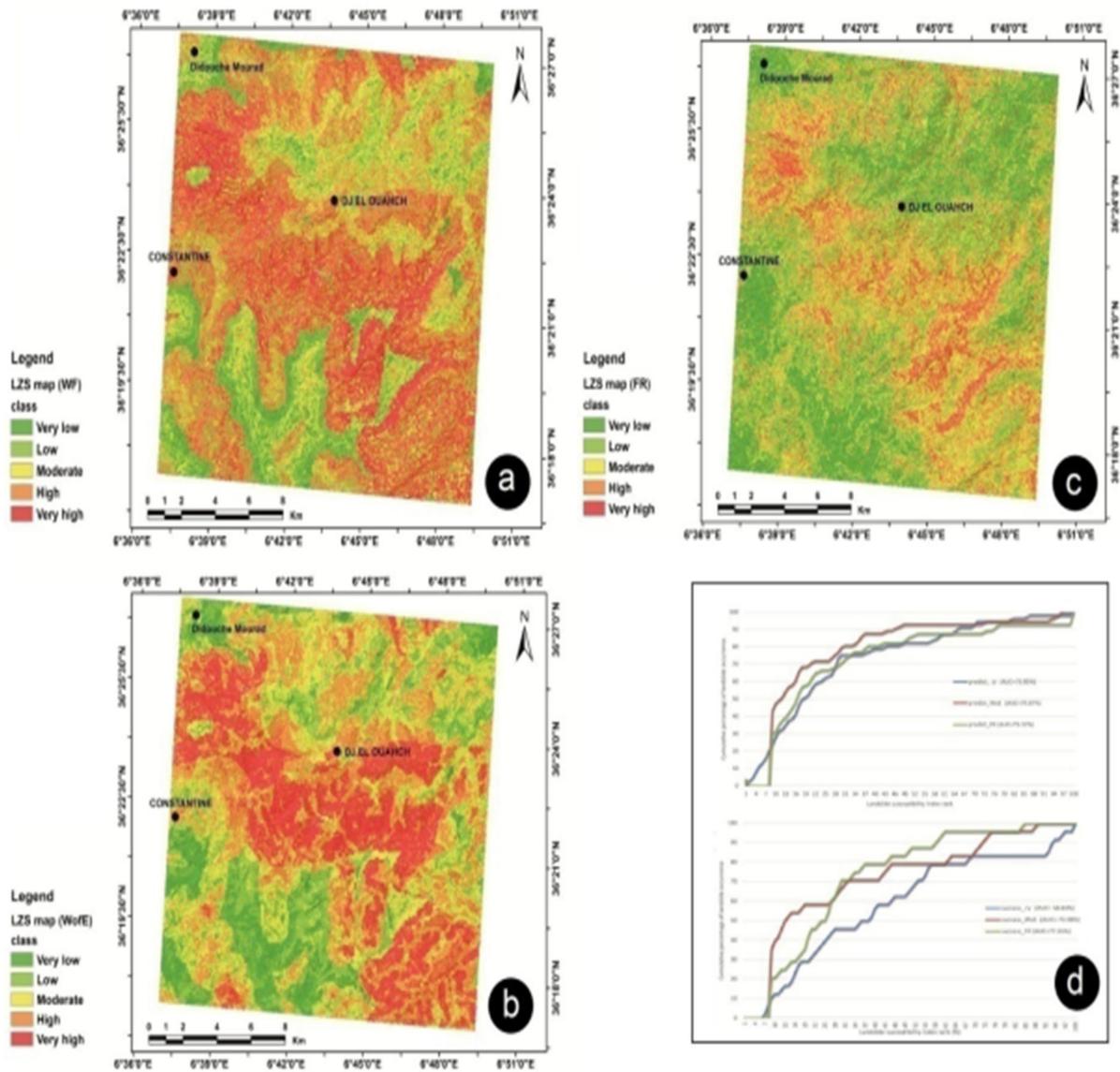


Figure 27: Carte de susceptibilité aux mouvements de terrain. (N.MANCHAR, et al, Studia Geotechnica et Mechanica, 2018).

Exemple 40:

Carte d'aléa glissement de terrain de la région de Tébessa.

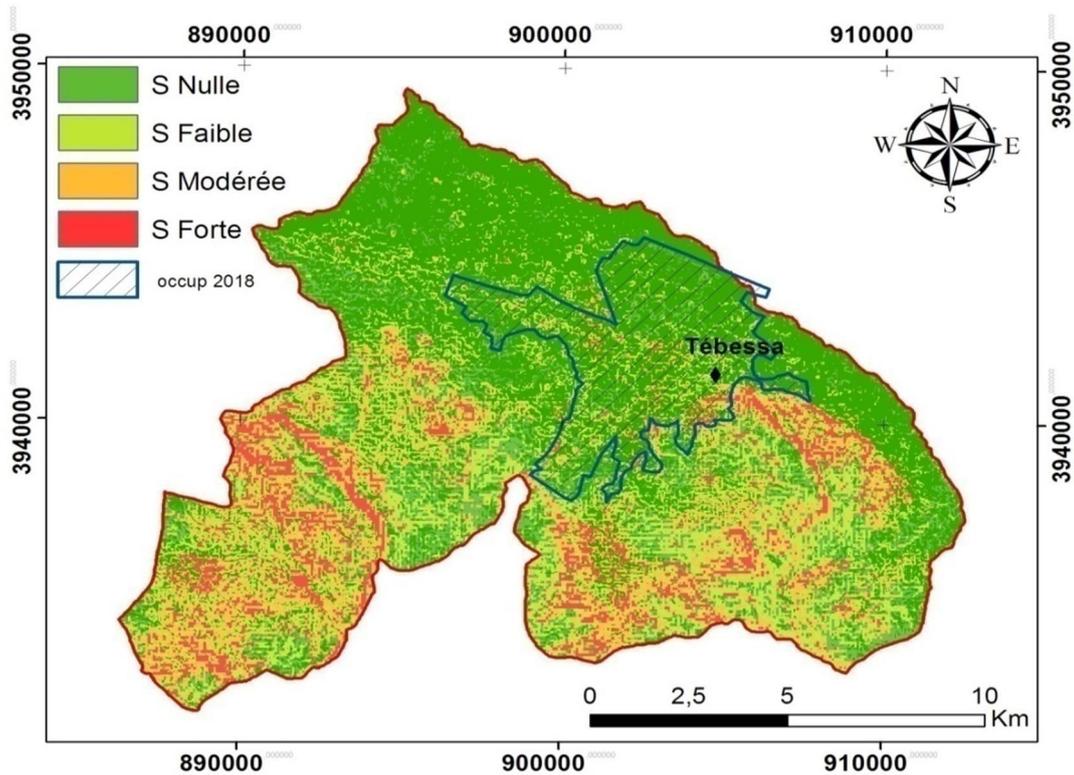


Figure 28: Superposition de l'occupation de sol De 2018 sur la carte d'aléa glissement de terrain (In S. HADJI et C. MELLOUK, Master GIG Tébessa, 2018).

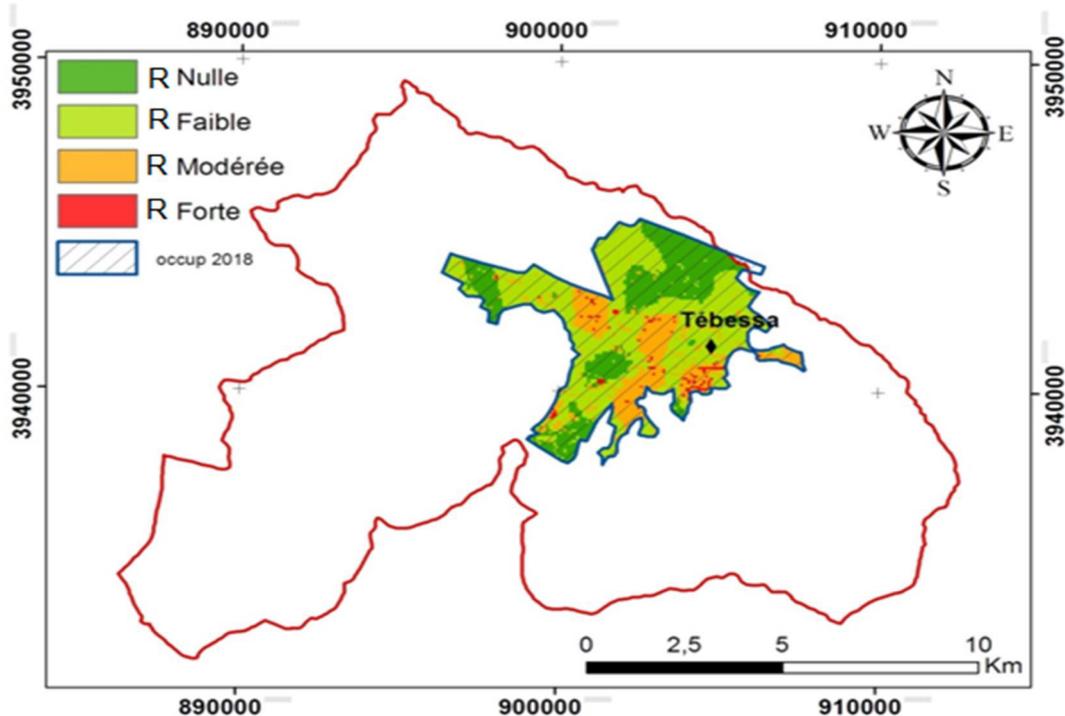


Figure 29: Carte de risque glissement de terrain de la ville de Tébessa (In S. HADJI et C. MELLOUK, Master GIG Tébessa, 2018).

3.4. Conclusion

A la fin il faut signaler que les cartes géotechniques de tous types et de toutes échelles sont faites avec les mêmes principes et méthodologie.

Mais il sera possible de comparer entre les cartes à différentes échelles. La seule différence sera uniquement sur la quantité des informations présentées et sur la manière dont ces informations sont présentées.

Par exemple, l'échelle d'une carte déterminera si un glissement de terrain sera représenté par un symbole ponctuel (approprié aux cartes à petite échelle) ou par un symbole général représentant le type de glissement et occupant la superficie correspondante (utilisé sur les cartes à moyenne échelle), tandis que sur les cartes à grande échelle tous les détails existant à l'intérieur de la zone de glissement auront été cartographiés à l'échelle.

Sur les cartes géotechniques, quels qu'en soient le type et l'échelle, l'information communiquée doit être présentée de telle sorte que non seulement la vraie nature mais aussi la signification technique des données puissent être comprises et entièrement évaluée.

Il est bien de noter que l'évolution technologique des logiciels spécialisés a eu un impact très positif sur la réalisation et les modes de présentation de ces phénomènes et de ces cartes soit en synthèse de données, en présentation même tridimensionnel des phénomènes et de prévision ultérieure des risques.

Conclusion générale

Les cartes géotechniques peuvent être des cartes analytiques (de facteurs) ou synthétiques (d'impact) et chacune d'elle peuvent être à usage particulier ou à usage multiple.

Les cartes géotechniques de tous types et de toutes échelles sont faites avec les mêmes principes et méthodologie.

Mais il sera possible de comparer entre les cartes à différentes échelles. La seule différence sera uniquement sur la quantité des informations présentées et sur la manière dont ces informations sont présentées.

Par exemple, l'échelle d'une carte déterminera si un glissement de terrain sera représenté par un symbole ponctuel (approprié aux cartes à petite échelle) ou par un symbole général représentant le type de glissement et occupant la superficie correspondante (utilisé sur les cartes à moyenne échelle), tandis que sur les cartes à grande échelle tous les détails existant à l'intérieur de la zone de glissement auront été cartographiés à l'échelle.

Sur les cartes géotechniques, quels qu'en soient le type et l'échelle, l'information communiquée doit être présentée de telle sorte que non seulement la vraie nature mais aussi la signification technique des données puissent être comprises et entièrement évaluée.

La notion d'échelle n'a pas été discuté car la présentation de chaque phénomène exige l'échelle de travail; on parle de carte régionale à échelle 1/1.000.000^e, 1/200.000^e, 1/50.000^e, 1/25.000^e,... 1/100^e, ou on parle d'un plan détaillé et non d'une carte.

Il est bien de noter que l'évolution technologique des logiciels spécialisés a eu un impact très positif sur la réalisation et les modes de présentation de ces phénomènes et de ces cartes soit en synthèse de données, en présentation même tridimensionnel des phénomènes et de prévision ultérieure des risques.

BIBLIOGRAPHIE

Références Bibliographiques

- [01] A.Bekkouche; Sols gonflants : Identification, Mesures, estimation et Stabilisation de la région de Tlemcen. Abou Bakr Belkaid University of Tlemcen, 2001.
- [02] A.Elaloui et al, mise en place d'un modèle qualitatif pour la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans la chaîne Atlasique: cas du bassin versant de la Tessaoute amont. (Haut Atlas central, Maroc), 2015. <https://www.researchgate.net/publication/303565881>
- [03] A.KHEFFI; Institut Scientifique de Service Public, Colfontaine, Belgique. Daniel PACYNA : Service public de Wallonie, DGO3 - Service Géologique de Wallonie.
- [04] A.LASSOUANI; Pour l'obtention du Diplôme de Magister en Géologie, UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID, TLEMCEN, 2007.
- [05] A.PELTIERE, « La cartographie réglementaire des risques naturels en Suisse, en Italie et en France », La mise en carte des risques naturels, Diversité des approches, Montpellier : Presses Universitaires de la Méditerranée, coll. Géo risques, n°2, pp. 61-67, 2008.
- [06] B.Houti; Chapitre 5 ELEMENTS DE CARTOGRAPHIE 5.1. INTRODUCTION. Université Aboubekr Belkaid-Tlemcen-Algerie.
- [07] C.CARTANNAZ ; D.MIDOT et al, Ch. ; (2010) Cartographie des aléas mouvement de terrain au droit de 11 secteurs des cavités souterraines de savonnières en Perthois (Meuse). Rapport BRGM/RP-58818-FR, 95 p., 25 fig., 4 annexe, 2010.
- [08] D.KOUMASSI, A.TCHIBOZO et al, SIG ET TÉLÉDÉTECTION POUR L'OPTIMISATION DE LA CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'INONDATION DANS LE BASSIN DE LA SOTA AU BÉNIN. Laboratoire Pierre Pagny "Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement", 2014.
- [09] F. BAALI, Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région karstique de Chéria W.Tébessa, Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 2007.
- [10] Guide pour la préparation des cartes géotechniques. Les presses de l'UNESCO, 1976.
- [11] H.AGGAZ; BALI Mokrane; Cartographie Géotechnique, des Risques de Glissements de terrain de la ville de Bejaia. Université A. MIRA-Bejaia.
- [12] H.OUSMANA et al, Modélisation et cartographie du risque de l'érosion hydrique par l'application des SIG et des directives PAP/CAR. Cas du bassin versant de l'Oued Zgane (Moyen Atlas tabulaire, Maroc) Université Moulay Ismaïl, Faculté des Sciences, Département de Géologie, Equipe Sciences de l'Eau et Ingénierie de l'Environnement, BP 11201, Zitoune, Meknès, Maroc, i (habiba.ousmana@gmail.com).
- [13] I.BERDI; Application d'un SIG à la cartographie de l'aléa glissements de terrain : Cas de la commune de Texenna (Nord-Est Algérien). Université Mohammed Seddik Benyahia Jijel, 2017.
- [14] J.Malet (chargé de recherches au CNRS, Institut de Physique du Globe de Strasbourg (UMR 7516), Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Université De Strasbourg).

- [15] M.BENBOURAS; L'utilisation des SIG sur les données d'infrastructure et de fondations : Application dans la zone d'Alger. L'université d'Abbes Laghrour Khenchela, 2018.
- [16] M.BOUGHALEM, M.MAZOUR et al; Evaluation par analyse multicritères de la vulnérabilité des sols a l'érosion: cas du bassin versant de l'Isser-Tlemcen-Algérie, 2013.
- [17] M.OULD NAHI; ETABLISSEMENT D'UNE CARTE DE RISQUE GEOTECHNIQUE DE LA REGION DE CONSTANTINE;UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA.
- [18] N.Manchar.N; C.Benabbas.C, Grecu.Studia Geotechnica et Mechanica, 2018; AoP Journal xyz 2017; 1 (2): 122–135.
- [19] N.ZORNETTE; J.L.Nédellec et al; Démonstrateur du projet PACTES Cartographie de l'aléa dans le bassin versant de l'Hérault. Rapport de synthèse. BRGM/RP-51697-FR. 10 p. 2 figures, 2002.
- [20] P.MAURIZOT, Y.Lafoy – cartographie des aléas naturels (mouvement de terrain, érosion) dans le territoire de Nouvelle-Calédonie – Zone de Pouembout. Rap. BRGM R40404, 31p, nombreuse fig, 1 annexe, 2 cartes hors texte, 1998.
- [21] P.MAURIZOT, Y.Lafoy et al, – Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie – Zone de Goro, Rap. BRGM /RP -51 623 FR, 2002.
- [22] R.Michel, Van F.Dijk, Direction générale opérationnelle de l'Aménagement du Territoire, du Logement, du Patrimoine et de l'Energie (DGO4) - Cellule «Aménagement-Environnement» BSGlg, 54, 2010, 157-176.
- [23] R.Hadji; A.Chouabi et al, Received: 16 May 2015 /Accepted: 18 September 2015; Saudi Society for Geosciences 2016
- [24] R.Hadji ; Achour.Y, and Hamed.Y. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/321778061>.
- [25] R.Hadji; M.Baghem.M et al; colloque international des Utilisateurs de SIG, Taza GIS, 2012.
- [26] S.Avy, Koffi 1 et al, Remote detection of the major fracture network for the prospecting of groundwater in the municipality of Niakaramandougou, *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. ISSN 2429-5396 I www.american-jiras.com, *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2021; 12(1): 1-12
- [27] S.HADJI ; C.Mellouk, master 2018. Université de Tébessa.
- [28] S.SOUAIDIA, I.Aoulmi, étude bilbliographique des cartes ZERMOS, Université de TEBESSA, 2019.
- [29] Y.Achour; A.Boumezbeur et al. Saudi Society for Geosciences 2017.
- [30] Y.ZAIRIE, S.Nabed, Université Hassiba Ben Bouali Chlef Email: youcef_2008@hotmail.fr.