

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Frères Mentouri Constantine

Faculté des sciences de la terre, de la Géographie et

De l'Aménagement du territoire

Département des Sciences Géographiques et de la Topographie

جامعة الأخوة منتوري قسنطينة

كلية علوم الأرض، الجغرافيا

والتهيئة العمرانية

قسم العلوم الجغرافية الطوبوغرافية

Polycopié de Cours

Application de la géomatique aux risques naturels

*A l'usage des étudiants de la 2^{ème} année Master
Géomatique*

*Présenté par :
Mezhoud Samy*

-----Septembre 2020-----

SOMMAIRE

Partie A : Connaissance des risques naturels	3
1. Objectifs.....	3
2. Introduction.....	3
3. Clarifications sémantiques	4
4. Types des catastrophes	6
a. Les catastrophes naturelles.....	6
b. Les catastrophes causées par l'homme.....	11
6. Conséquences des catastrophes naturels sur le territoire.....	12
7. Evolution des dégâts causés par les catastrophes naturelles :	12
8. L'Algérie ne fait pas l'exception	14
9. Vers l'élaboration d'une stratégie intégrée	16
Partie B : L'information géographique en risque naturels.....	19
2. Introduction.....	20
3. Système d'information géographiques (SIG) et risques naturels.....	21
a. Définition	21
b. Applications du SIG dans les Géorisques.....	21
c. Etape d'implémentation d'un SIG en risques naturels.....	22
d. Avantages du SIG.....	24
e. Défis des SIG dans la Gestion des risques naturels	25
f. Qui peut utiliser le SIG ?	25
4. Système mondial de localisation (GPS) et Gestion des risques.....	25
a. Définition	25
b. Application du GPS à la Gestion des risques naturels	26
5. Télédétection et Gestion des risques naturels.....	26
a. Terminologie.....	26
b. La Télédétection dans la Gestion des risques naturels	27
c. Exemples d'emploi de la télédétection dans la gestion des risques ?	28
d. Avantages de la télédétection.....	30
e. Défis face l'utilisation de la télédétection.....	30
Partie C : mise en œuvre des SIG dans les risques naturels (Application dans le cas des glissements de terre et Aléas sismique).....	31

2.	Introduction.....	32
3.	Les glissements de terrain.....	32
a.	Définition.....	32
b.	Danger des glissements.....	34
c.	Caractéristiques d'un glissement de terrain :	35
d.	Cas des coulées boueuses :	36
e.	Classification des glissements de terrain :	37
f.	Les types des glissements de terrain.....	37
g.	Les indices d'un glissement de terrain	38
h.	Les causes d'un glissement de terrain.....	38
i.	Critères de rupture	38
j.	Coefficient de sécurité.....	39
k.	Les causes d'un glissement de terrain.....	40
a.	Démarche scientifique largement utilisés pour l'étude du risque glissement de terrain.....	40
b.	L'analyse spatiale du risque glissement terrain	42
c.	Exemple d'élaboration de carte de susceptibilité glissement.....	43
4.	L'Aléa sismique.....	49
a.	Définition.....	49
b.	Origine des séismes :.....	50
c.	La tectonique des plaques :.....	50
5.	Conclusion :	62
6.	Bibliographie et documentation utile :	63
7.	ANNEXE 1 Emploi de la logic flou en risque naturel :.....	65

Partie A : Connaissance des risques naturels

1. Objectifs

À l'issue de cette partie devisée en plusieurs séances, vous devez être capable :

- *Définir et décrire* la gestion des catastrophes, les dangers, les cas d'urgence, les catastrophes, la vulnérabilité et les risques ;
- *Identifier et décrire* les types de catastrophes naturelles et non naturelles et les conséquences des catastrophes sur votre région et environnement ;
- *Citer et décrire* les principaux dangers qui menacent ou peuvent menacer votre région
- *Définir* les diverses phases du cycle de gestion des catastrophes naturelles ;

2. Introduction

« Le droit et la loi, telles sont les deux forces : de leur accord naît l'ordre, de leur antagonisme naissent les catastrophes ». Victor Hugo, Œuvres complètes (édition 1894).

Le chemin sémantique est court pour aller de risques naturels à catastrophes naturelles et le trait de liaison représente toutes les conséquences que ces phénomènes provoquent sur les sociétés humaines. Ils sont réputés imprévisibles car c'est Dame Nature qui commande et pourtant, la science s'améliore chaque jour dans l'interprétation des signaux avant-coureurs. Leurs conséquences s'intensifient car l'homme ne se préoccupe pas vraiment des zones à risques lesquelles correspondent souvent à des zones de vie attrayantes.

De ce fait, la prévention des risques naturels occupe aujourd'hui une part prédominante dans les discours et les champs d'action des politiques publiques. La caractérisation et la gestion du croisement d'un aléa et d'enjeux socio-économiques à travers l'emploi de l'information géographique d'une part, et la prise en compte du devenir environnemental, économique et social d'un territoire et de sa population d'autre part, semblent constituer deux préoccupations contiguës. En ce sens, il apparaît opportun d'établir et de questionner la conjugaison possible entre prévention des risques naturels, devenir du Territoire et l'emploi des systèmes d'information géographiques.

3. Clarifications sémantiques

Aléa/ menace : Phénomène menaçant d'origine naturelle et/ou anthropique, susceptible d'affecter un espace donné. Il se caractérise par sa nature, son intensité, sa probabilité d'occurrence et sa fréquence (quand elle peut être estimée).

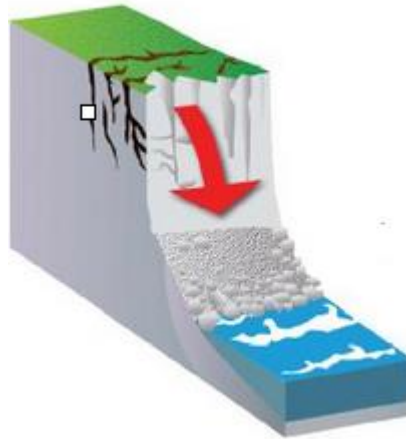


Fig. 1 : L'Aléas [ORRM, 2021]

Catastrophe ou Désastre : C'est une grave interruption de fonctionnement d'une société, causant des pertes humaines, matérielles ou environnementales que la société affectée ne peut surmonter uniquement avec ses propres ressources. Les catastrophes sont souvent classées en fonction de leur mode d'occurrence (brusque ou progressif) ou de leur origine (naturelle ou anthropique).



Fig. 2 : Le séisme de Tohoku et le tsunami qui a suivi ont entraîné la mort de plus de 15.000 personnes. [FUT, 2021]

Situation d'urgence : c'est une situation créée par l'apparition réelle ou imminente d'un événement qui impose une attention immédiate. Il faut se préoccuper immédiatement d'un événement ou d'une situation décrite ci-dessus car il/elle peut avoir des conséquences négatives et se transformer en une situation d'urgence. La planification a pour objet de minimiser ces conséquences.

Enjeux : Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, systèmes... susceptibles d'être affectés par un aléa naturel ou anthropique et de subir des préjudices ou des dommages. Plus un enjeu est vulnérable à un aléa donné, plus le risque engendré par l'exposition de l'enjeu à l'aléa est grand. A l'opposé, plus un enjeu est résilient, plus le risque est faible.

Vulnérabilité : Ensemble de conditions et de processus résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques et environnementaux, qui augmentent la sensibilité des enjeux d'une communauté, d'une région, d'une nation aux effets des aléas. La vulnérabilité est un ensemble de pré-conditions qui se révèlent au moment de la catastrophe.

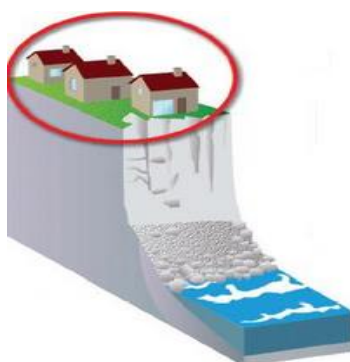


Fig. 3 : Enjeux et vulnérabilité [ORRM, 2021]

Risque : C'est le croisement d'aléas et de vulnérabilité des enjeux. Le concept de risque est un concept anthropique ; l'occurrence d'un aléa seule sans enjeux ne constituant pas un risque.

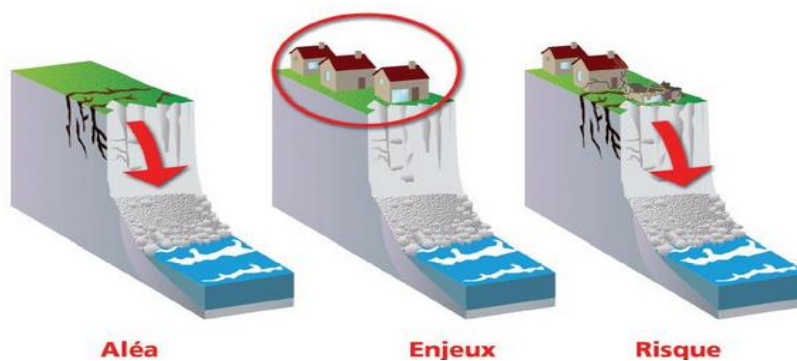


Fig. 4 : La notion ris [ORRM, 2021]

Prévention : Dans la définition « originale » de Frederick Cuny, la prévention est l'ensemble des activités et mesures mises en place pour éliminer, contrôler ou réduire l'impact des aléas / menaces.

Gestion des catastrophes : C'est plus que le simple fait d'intervenir et soulager (c.-à. d. qu'elle assume une approche plus proactive). C'est un processus systématique (c.-à-d. fondé sur les principes essentiels de gestion de la planification, l'organisation qui couvre la coordination et le contrôle. Elle vise à réduire l'effet négatif ou les conséquences d'événements indésirables (c.-à-d. qu'on ne peut toujours rien face aux catastrophes, mais on peut minimiser les effets défavorables) C'est un système ayant beaucoup d'éléments.

Atténuation / Mitigation : des termes proches à la gestion des catastrophes. Il s'agit de l'ensemble des actions et des mesures visant à réduire et/ou à contrôler les risques existants. Dans la définition « originale » de Frederick Cuny, la mitigation est l'ensemble des activités et mesures mises en place pour éliminer, contrôler ou réduire les vulnérabilités.

Préparation : Ensemble des dispositions garantissant que les systèmes, les procédures et les ressources nécessaires pour faire face à une catastrophe sont en place pour venir rapidement en aide aux personnes touchées, en utilisant dans toute la mesure du possible des mécanismes existants (formation, sensibilisation, plans d'urgence, système d'alerte précoce...).

4. Types des catastrophes

Les catastrophes sont souvent classées selon :

- Leurs causes – naturelles *contre celles* causées par l'homme
- Vitesse de l'apparition – soudain *contre* lent

Un excellent résumé des questions souvent posées sur les catastrophes peut être trouvé dans l'article de Revet [REV,2015].

a. Les catastrophes naturelles

Ces types de catastrophe se produisent naturellement à proximité des lieux de concentration des populations, ils constituent une menace pour la population, les constructions ou les biens économiques. Ils sont causés par des conditions biologiques, géologiques, sismiques, hydrologiques ou météorologiques, ou des processus en milieu naturel (ex. : cyclones, tremblements de terre, tsunami, inondations, éboulements, et éruptions volcaniques). On distingue :

➤ **Les Cyclones, ouragans ou Typhons**

Les cyclones se développent lorsqu'un océan tiède fait naître de l'air chaud qui à son tour crée des courants d'air comprimé. Les cyclones se produisent lorsque ces courants d'air comprimé se déplacent. Le terme ouragan/typhon est un nom régional désignant un "cyclone tropical". En Asie on l'appelle 'typhon'. Dans les océans Indien et Pacifique on l'appelle 'cyclone'. Dans l'Atlantique Nord et dans le bassin des Caraïbes on l'appelle 'ouragan'.



Fig. 5 : Les ouragans [GOO, 2013]

La procédure d'alerte tropicale est constituée de :

- Suspendre la navigation pour les petits bateaux et bateaux de pêche si le vent dépasse environ 40-54km/h.
- Avis de cyclone diffusé au public : vents d'environ 40-54km/h.
- *Avis de bourrasque* : lorsqu'un véritable cyclone tropical a une forte probabilité de menacer une partie du pays dans les 48 heures.
- *Alerte aux rafales* : diffusée lorsque les vitesses du vent pourraient atteindre l'intensité des rafales (de 34-47noeuds) dans les prochaines 24 heures.
- *Avis de tempête* : si l'étendue des perturbations du cyclone tropical est assez importante pour menacer une région ou tout le pays dans les 24 à 48 heures, un avis de tempête accompagnera l'alerte de bourrasque.
- *Alerte à la tempête* : diffusée toutes les trois (3) heures lorsque les vitesses moyennes devraient atteindre l'intensité de tempête de 48-63 noeuds dans les prochaines 12 à 24 heures.
- *Avis de cyclone* : diffusé lorsque les vents du cyclone tropical devraient atteindre des vents de cyclones supérieurs à 63 noeuds (ou 112km/h) dans les 24 à 48 heures.
- *Alerte au cyclone* : diffusée toutes les trois (3) heures, lorsque les vitesses du vent devraient atteindre ou dépasser 63 noeuds dans les prochaines 12 à 24 heures.

➤ **Les tremblements de terre**

Un tremblement de terre est un mouvement vibrant et tremblant de la surface de la terre en conséquence des mouvements des plaques le long d'un plan de faille ou en conséquence d'activités volcaniques. Les tremblements de terre peuvent, à tout moment de la journée ou de la nuit, frapper de façon soudaine et sans alerte. Les terminologies suivantes sont associées aux tremblements de terre : *épicentre, faille, magnitude et ondes sismiques*.



Fig. 6 : Exemple de tremblement de terre de GOLCUK (Turquie) en 1999
[GOO, 2013]

- ✓ Pour des fins pratiques, un tremblement de terre est d'habitude défini par sa magnitude (ou énergie quantitative dégagée) qui est mesurée à l'aide de l'échelle logarithmique de 1 – 10. Cette échelle logarithmique s'appelle l'*échelle Richter*.
- ✓ La magnitude est calculée en analysant les données obtenues des sismomètres. L'intensité d'un tremblement de terre est mesurée à l'aide de l'échelle d'intensité de Mercalli modifiée (*IMM*) et est déterminée qualitativement par des observations physiques de l'impact du tremblement de terre.

➤ **Tsunami**

Un tsunami est une vague océanique provoquée par un tremblement de terre, volcan ou éboulement sous-marin. On l'appelle également une vague sismique marine, et à tort un mascaret. Les ondes de tempête sont des vagues provoquées par des forts vents.



Fig. 7 : Exemple de Tsunami de Tohoku (Japan) en 2011
[FUT, 2021]

➤ **Les inondations**

Ce phénomène se produit lorsque l'eau recouvrait les zones auparavant sèches, c.-à-d., lorsque de grandes quantités d'eau se déplacent d'une source comme une rivière ou d'un tuyau cassé vers une zone antérieurement sèche ou lorsque l'eau déborde les lits ou les obstacles.



Fig. 8 : Exemple d'inondation (Quebec,2019)

[SEC, 2021]

Les inondations peuvent être bénéfiques en matière d'environnement pour les écosystèmes locaux. Par exemple, des inondations par une rivière apportent des substances nutritives au sol comme c'est le cas en Egypte lorsque les inondations annuelles du fleuve Nile apportent des substances nutritives aux terres qui seraient autrement sèches. Les inondations peuvent également avoir des impacts économiques et émotionnels sur la population, en particulier lorsque les biens de ceux-ci sont directement touchés. Une meilleure compréhension des causes des inondations peut permettre à la population de mieux se préparer et peut-être minimiser ou empêcher les dommages causés par les inondations.

➤ **Les glissements et éboulement des terres**

Les termes glissement et éboulement désignent un mouvement vers le bas des masses de roches et de terre. Ils sont provoqués par un ou une combinaison des facteurs suivants : changement du degré de la pente, augmentant la charge que doit supporter le terrain, chocs et vibrations, changement dans la contenue en eau, mouvement de l'eau dans le terrain, action du gel, altération des chocs, enlèvement du ou changement du type de végétation couvrant les pentes.



Fig. 9 : Exemple de glissement de terrain (Rio de Janeiro, Brazil, 2013)

[PIN, 2021]

Les zones de danger des glissements et éboulements apparaissent lorsque les terrains présentent certaines caractéristiques qui contribuent au risque de mouvement vers le bas des roches. Ces caractéristiques couvrent :

- Une pente de plus de 15 pour cent.
- Le mouvement, des rivières ou vagues, qui a provoqué l'érosion taille un lit ou crée un lit pour rendre les terrains alentours instables.
- La survenance ou le potentiel d'avalanches de neige.
- Le dépôt d'alluvions ce qui indique la vulnérabilité face à l'afflux de débris ou sédiments.
- L'imperméabilité des sols, tels que le limon ou l'argile, qui se mélangent aux sols granuleux, tels que le sable et le gravier.

Les glissements et éboulements peuvent également être provoqués par d'autres risques naturels comme les pluies, inondations, tremblements de terre, ainsi que par l'homme, tels que le nivellement, le terrassement et le remplissage, développement excessif, etc.

Comme les facteurs touchant ces derniers peuvent être géophysiques ou provoqués par l'homme, ils peuvent se produire dans des zones mises en valeur, zones non mises en valeur, ou toute zone où le terrain a été modifié pour les routes, habitations, services, constructions, etc.

b. Les catastrophes causées par l'homme

Il y a des situations de catastrophe ou d'urgence dont les principales causes directes émanent clairement de l'action humaine, de façon délibérée ou autrement. À part les "catastrophes technologiques" ceci engage principalement des situations où les populations civiles sont victimes ou subissent des pertes de biens, de services élémentaires et moyens de subsistance en conséquence de la guerre, contestations civiles ou autres conflits, ou de la mise en œuvre d'une politique. Dans beaucoup de cas, la population est forcée de quitter ses maisons entraînant l'augmentation des regroupements des réfugiés ou des personnes déplacées de l'extérieur et/ou de l'intérieur en conséquence des contestations civiles, d'un crash d'avion, un grand incendie ou une marée noire, une épidémie, le terrorisme, etc.



Fig. 10 : Exemple de catastrophe causée par l'homme (marrée noire, de l'Exxon Valdez, en 1989)

[COU, 2021]

5. Classement des catastrophes en fonction de la vitesse

Les catastrophes sont classées suivant la vitesse comme ce qui suit :

- ✓ *Arrivée soudaine* : peu d'alerte ou sans alerte, temps minimal pour se préparer. Par exemple, un tremblement de terre, tsunami, cyclone, volcan, etc.
- ✓ *Arrivée lente* : événement défavorable lent à se développer ; avant tout la situation se développe ; le second niveau est la situation d'urgence ; le troisième niveau est une situation de catastrophe. Par exemple, la sécheresse, les contestations civiles, l'épidémie, etc.

6. Conséquences des catastrophes naturels sur le territoire

Les séismes, glissement et inondations constituent les fréquents facteurs de catastrophes en Algérie cette dernière décennie. Chaque passage est dévastateur. La liste suivante identifie certains des impacts indésirables :

- Pertes humaines ; Détérioration de l'infrastructure ;
- Perte des télécommunications ; Coupures d'électricité ;
- Problèmes d'eau ; Dégâts dans l'agriculture ;
- Perte d'habitation/habitation endommagée ;
- Dégâts à l'intérieur et sur l'environnement côtier du pays ;
- Perturbation du niveau et mode de vie, etc.

7. Evolution des dégâts causés par les catastrophes naturelles :

Voici quelque chiffre sur l'évolution des dégâts estimés (Milliards de dollars) des catastrophes naturelles 1975-2008

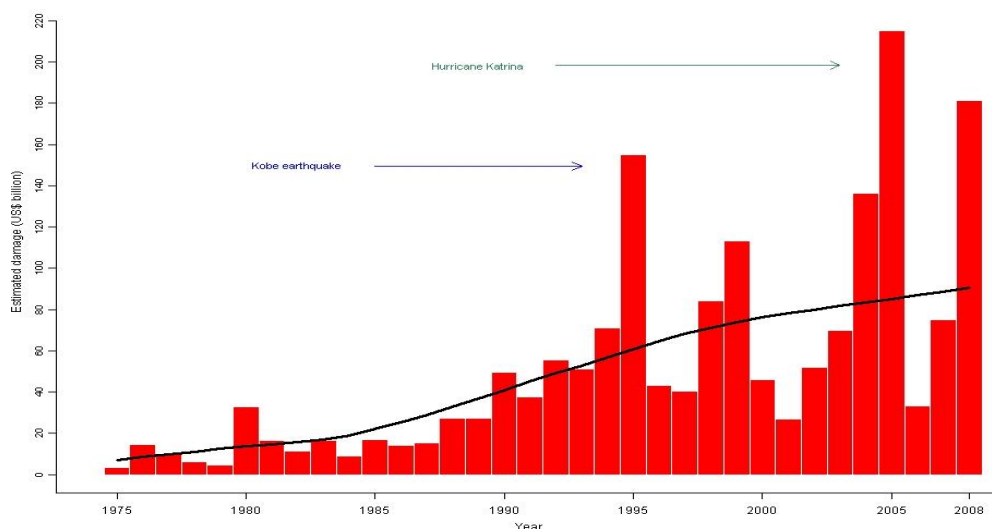


Fig. 11 : Estimation du cout des dégâts naturelles 1975-2008 [WAR,2005]

Le graphe suivant montre l'évolution du nombre de victimes des catastrophes naturelles 1975-2008

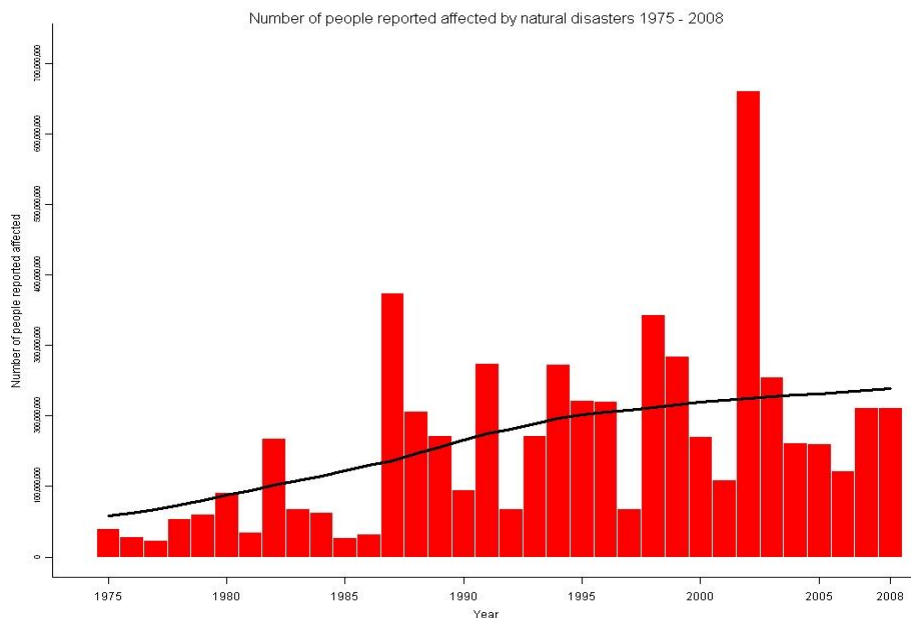


Fig. 12 : Estimation du cout des dégâts naturelles 1975-2008 [WAR,2005]

Conséquence : la gestion des risques s'est hissée d'une question technique à une considération stratégique. Cela veut dire que :

- Les organismes internationaux (BM, OCDE, FEM, G20) la considèrent comme une priorité clé, et ont développé des approches et des outils adéquats.
- L'élaboration de stratégies nationales appropriées de gestion de risques est en croissance continue.
- Les stratégies développées englobent plusieurs activités cohérentes et complémentaires (perception/évaluation, prévention/réduction, financement, ...).

8. L'Algérie ne fait pas l'exception

L'Algérie est potentiellement confronté à des événements extrêmes :

- Tremblements de terre (Boumerdes (2003), El Asnam (1980)) ;



Fig. 13 : Séisme de Boumerdes [Photo prise par nos soins, 2003]

- Inondations (Constantine, Tebessa, Oum El Bouaghi, Bab El Oued, ...)



Fig. 14 : Inondation de Constantine 2019

- Les glissements de Terrain : Bejaia, Constantine, Alger, Autoroute Est/Ouest



Fig. 15 : Glissement au niveau de la ville de Bejaia

- L'érosion, désertification



Fig. 16 : Exemple d'érosion

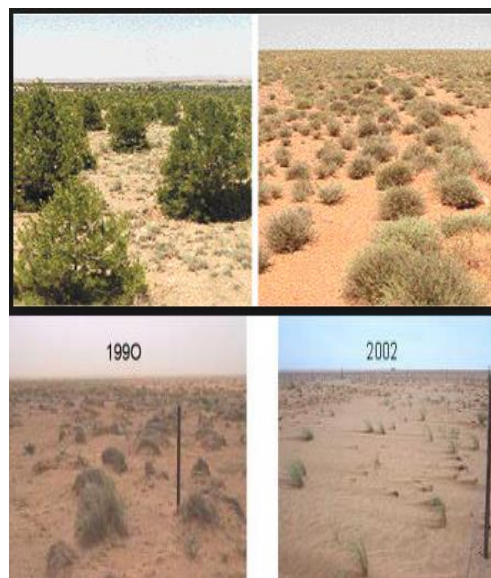


Fig. 17 : Désertification [NED, 2008]

Des efforts considérables ont été déployés par différents services :

- ▶ Ministère de l'intérieur :

- ▶ Ministère de l'Agriculture : stratégie de lutte contre la sécheresse et les inondations ;
- ▶ CRAAG : Centre de recherche en astronomie, astrophysique et géophysique : suivi des secousses telluriques, les failles tectoniques ;
- ▶ ONM : Prévisions des phénomènes météorologiques et alertes précoces ;
- ▶ MTP/DTP : l'intervention, la maintenance ;
- ▶ DGF : prévention et gestion des feux de forêts ;Etc.

... mais fragmentés

Effectivement il y a :

- ▶ Manque de coordination des politiques sectorielles
- ▶ Doubles emplois
- ▶ Manque de synergies (association, alliance)
- ▶ Sous-utilisation des programmes
- ▶ Manque de financement



Pour ces raisons il est nécessaire d'avoir une prise de conscience collective de la nécessité d'une approche intégrée de la gestion des risques.

9. Vers l'élaboration d'une stratégie intégrée

Une bonne gestion des risques nécessite la mise en place d'une stratégie globale et intégrée, ceci pour :

- ▶ Coordonner et mettre en cohérence l'action publique dans ce domaine ;
- ▶ Créer les synergies entre différents acteurs ;
- ▶ Optimiser les dépenses et éviter les doubles emplois ;
- ▶ Favoriser la prévention et la résilience en premier ;
- ▶ Identifier les instruments financiers adéquats pour répondre à temps aux besoins de prévention, de gestion de crises et de gestion de l'après crise.

L'approche adoptée est peut-être résumée dans la figure suivante :

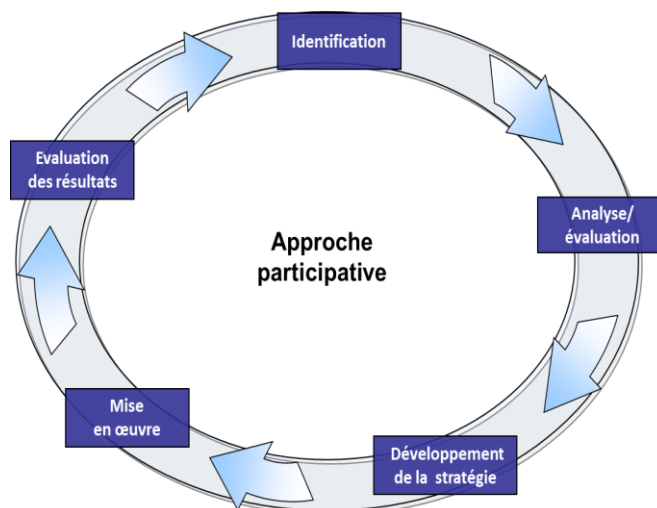


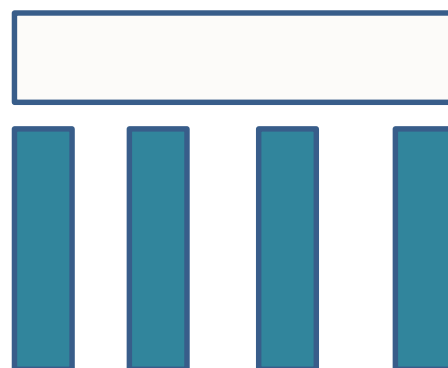
Fig. 18 : Exemple d’approche stratégie intégrée pour la gestion des risques

Les risques prioritaires :

- ▶ Les risques de catastrophes naturelles : Tremblements de terre ; Inondations ; Tsunamis ; Sécheresse ; Glissements de terrains
- ▶ Les risques associés à la volatilité des prix des matières premières,
- ▶ Les risques agricoles.

Dans le cas des risques de Catastrophes naturelles il y a lieu de mettre des actions spécifiques et d’autres transversales pour avoir une bonne gestion intégrée :

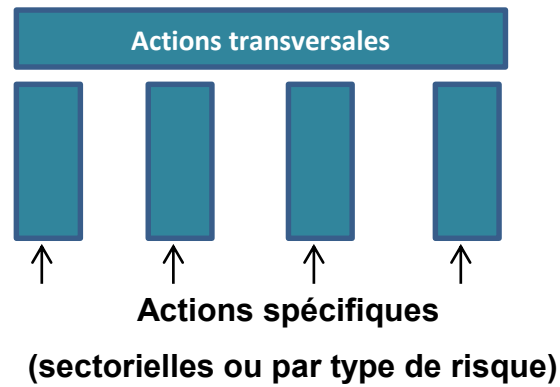
- Mettre au point des systèmes d’alerte rapides.
- Améliorer le respect du code de conformité des constructions pour atténuer l’impact des tremblements de terre potentiels.
- Inclure la GRC (gestion des risques de catastrophes) dans les PDAU, et POS;
- Améliorer les plans de sauvetage et de secours dans les communes à haut risque.



- Gouvernance : mettre en place un dispositif de coordination
- Plateforme de conseil et d'orientation
- Système d'information intégré
- Financements



L'étape suivante : le développement d'une stratégie intégrée



Partie B : L'information géographique en risque naturels

1. Objectifs

À l'issue de cette partie devisée en plusieurs séances, vous devez être capable :

- Définir Systèmes d'information géographiques (SIG), (GPS) et Télédétection (TLD) ;
- Préciser les avantages et défis de l'utilisation du SIG, GPS et TLD dans la gestion des catastrophes ;
- Expliquer comment le SIG, GPS et TLD sert dans toutes les phases du cycle de gestion des catastrophes ;

2. Introduction

« “Ce qui est ennuyeux, depuis qu'on a remplacé les noms des départements par des numéros, c'est qu'un élève qui avait déjà de mauvaises notes en arithmétique a, en plus, des zéros en géographie.” ». **De Benjamin Winston**

D'une manière générale, l'information géographique peut être définie comme un ensemble reliant : une information relative à un objet ou un phénomène du monde terrestre, décrit par sa nature, son aspect et ses attributs (par ex. un bâtiment, décrit par sa hauteur, son nombre d'étages, sa fonction, etc.) ; cette description peut inclure des relations avec d'autres objets ou phénomènes (par ex. ce bâtiment appartient à telle commune, etc.) ; et sa localisation sur la surface terrestre, décrite dans un système de référence explicite (par ex. un système de coordonnées ou une adresse postale). Le premier terme de la relation peut être qualifié, de façon abrégée, de sémantique : c'est-à-dire relatif à la description des objets, indépendamment de leur localisation. Le deuxième terme est de type géométrique (au sens étymologique du mot), c'est-à-dire relatif à la mesure de la position des objets sur la surface de la Terre, ainsi qu'à leurs formes et dimensions.

3. Système d'information géographiques (SIG) et risques naturels

a. Définition

Les systèmes de renseignements géographiques sont des systèmes de renseignements capables d'intégrer, stocker, mettre en formes, analyser, partager et exploser des renseignements par référence géographiques. Au sens plus général, le SIG est un outil qui permet aux utilisateurs de créer des demandes d'information interactives (recherches créées de l'utilisateur), d'analyser les renseignements spatiaux, de mettre en formes les données, cartographier et présenter les résultats de toutes ces opérations.

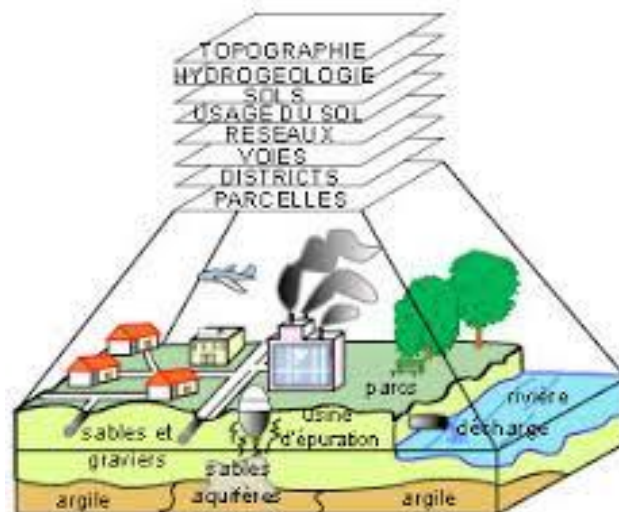


Fig. 19 : Principe des SIG [GOO,2013]

b. Applications du SIG dans les Géorisques

Les applications du SIG peuvent s'avérer utiles dans les activités suivantes :

- Dresser des cartes des risques de catastrophe : À ce niveau le SIG peut servir dans l'étude de faisabilité des projets de développement à tous les niveaux des municipalités et des circonscriptions.
- Localiser les installations indispensables : Le SIG est très utile dans la fourniture des renseignements sur la localisation des abris, drains et autres installations. L'adoption du SIG dans la gestion des catastrophes est prévue pour les planificateurs dans les phases préliminaires des projets régionaux de développement ou grands projets de génie

technique. Il sert à rechercher les lieux où les dangers peuvent constituer une contrainte au développement des projets ruraux, urbains ou d'infrastructure.

- Créer et gérer des bases de données communes : L'adoption du SIG à ce niveau devrait permettre aux planificateurs de formuler des projets quant à la faisabilité, mais il sert également à dresser des cartes des dangers et risques des lieux d'habitation et villes actuels et à prévoir la prévention des catastrophes et activités de secours en cas de catastrophe.
- Évaluation de la vulnérabilité : SIG peut fournir des renseignements utiles pour promouvoir la sensibilisation sur les catastrophes dans l'administration et auprès du public pour permettre la prise des décisions (au niveau national) pour établir ou agrandir les organisations de la gestion des catastrophes. À ce niveau général, l'objectif est d'offrir un inventaire des catastrophes tout en identifiant des zones à "haut-risque" ou vulnérables dans le pays.

c. Etape d'implémentation d'un SIG en risques naturels

➤ **Planification**

Le cours de gestion des risques le plus décisif est le fait de se rendre compte qu'il faut planifier selon le risque qui se présente.

Le niveau auquel les vies et les biens seront remplacés, les effets malheureux d'une catastrophe dépend du niveau de la planification en place et de l'étendu auquel la technologie entre dans les efforts de planification. Le SIG est utile car il permet de transmettre une planification bien pensée. Il offre aux planificateurs et gérants des catastrophes le cadre pour voir des données spatiales au moyen des cartes informatisées.

➤ **Atténuation**

L'adoption du SIG dans la gestion des catastrophes peut contribuer à l'atténuation structurelle et non structurelle. Le SIG nous permet de représenter dans l'espace des zones à risques et le niveau de risque associé à un risque donné, qui peut servir de guide dans la prise de décision. Il facilitera la mise en oeuvre des mécanismes nécessaires pour réduire l'impact d'une situation d'urgence potentielle. Avec le SIG, les gérants des catastrophes sont mieux placés pour déterminer le niveau des structures d'atténuation qu'il faudrait mettre en place compte tenu de la vulnérabilité d'une région ou d'une population.

➤ **Préparation**

Comme outil, le SIG peut permettre d'identifier et localiser les ressources et les zones "à risque". Il établit un lien entre les partenaires et les organismes décisifs, qui permet aux gérants des catastrophes de connaître où se trouvent les bons organismes partenaires. Dans le cadre de la gestion des catastrophes, les cartes du SIG peuvent fournir des renseignements aussi bien sur les ressources humaines en place dans un Centre d'opération d'urgence que sur le personnel sur le terrain, comme les agents de sécurité, de la santé et autres intervenants indispensables. Cela est particulièrement utile car la technologie peut permettre le placement stratégique du personnel d'urgence là où il le faut. Le SIG permet de savoir qui doit être basé où et quand en cas d'urgence. Il permet de décider si les réseaux routiers et de communication peuvent suffire pour traiter les conséquences d'une catastrophe et, le cas échéant, guider la répartition des ressources.

➤ **Intervention**

La technologie du SIG peut fournir à son utilisateur des renseignements sur la position exacte d'une situation d'urgence. Cela s'avère utile car on passe beaucoup de temps à chercher à déterminer les lieux où se produisent des catastrophes. Dans l'idéal, la technologie du SIG peut permettre d'intervenir rapidement dans un lieu touché une fois que les questions (telles que les routes qui y mènent) sont résolues. Dans le cas d'une inondation, par exemple, le SIG peut indiquer aussi bien la zone non sûre qu'orienter les sauveteurs les ressources les plus proches des zones touchées. Le SIG peut servir de coulisseau de plancher pour une intervention d'urgence pour montrer les voies d'évacuation, des points de rassemblement et autres questions d'évacuation.

➤ **Restauration**

La cartographie et les données géo-spatiales offrira un affichage global du niveau des dommages ou perturbations émanant de la situation d'urgence. Le SIG peut exposer une situation générale de ce qui a été endommagé, du lieu et du nombre de personnes ou d'institutions qui sont touchées. Ce genre de renseignements est très utile dans le processus de restauration.

➤ **Le SIG et les abris d'urgence**

Ceux qui s'occupent des abris peuvent adopter la technologie du SIG pour recueillir des renseignements personnels particuliers de ceux qui sont logés dans un abri. Cela faciliterait le processus des demandes et distributions du ravitaillement. La technologie recueillera des

renseignements sur la composition générale des occupants de l'abri, c'est à dire, le nombre d'enfants, d'adultes, d'handicapés ou d'autres occupants particuliers.

➤ **Le SIG et distribution des aides**

Les "largages de la nourriture" dans des zones touchées par une catastrophe sont toujours probables. Le SIG peut servir de soutien précieux dans le processus, car on peut dresser des cartes qui identifient des zones précises où sont regroupés des victimes et les besoins particuliers de ceux qui se trouvent dans ces regroupements.

➤ **Le SIG et le recueil des données**

Le SIG fournit aux gérants des catastrophes des exposés sous forme de diagramme de la localisation précise des handicaps et des vieux (par exemple) qui vivent dans une société. Il leur permettra d'organiser de façon plus efficace et de gagner du temps. Les cartes produites vont pouvoir préciser les zones à "haut risques", en particulier, plus exposées aux catastrophes. Ces renseignements permettent aussi bien de prévoir que faciliter la coordination des efforts durant et après une catastrophe.

d. Avantages du SIG

Le SIG en tant qu'outil technologique innovant et interactif a plus d'avantages que des défis.

- Le SIG est capable de représenter des renseignements spatiaux sur une vaste zone géographique. Le SIG peut produire des graphiques en 3D qui offrent une visualisation plus détaillée de ses contenus.
- La technologie du SIG facilite l'intégration des divers renseignements géo-spatiaux qui peuvent inclure des représentations, cartes et autres formes graphiques.
- Le SIG analyse efficacement, recueille, gère et distribue des renseignements mis à jour.
- Le SIG est polyvalent et facile à utiliser – il demande peu de formation pour faire participer des gens au processus.
- Le tableau d'attributs qui forme une base de données - comme les renseignements provenant du SIG peuvent facilement être mis en tableaux, il offre un aperçu pictural global de ce qui se passe dans le pays. Par exemple, le SIG peut préciser la localisation des abris dans tout le pays ou les lieux où ont eu lieu les opérations des recherches et sauvetages.

e. Défis des SIG dans la Gestion des risques naturels

1. Grands impacts sur la vie des gens, l'économie et l'environnement. Dans le cadre de la gestion des mesures d'urgence, le SIG peut avoir beaucoup de répercussions sur la vie des gens car il révèle parfois des renseignements personnels ou particuliers des gens.
 2. Décisions cruciales - Les renseignements obtenus de la cartographie du SIG peuvent imposer des décisions cruciales (parfois difficiles) dans le meilleur intérêt de la zone touchée.
 3. Comme outil technologique, le SIG peut s'avérer complexe et un peu difficile à utiliser au début.
 4. Il faut habituellement un très grand nombre de renseignements pour tirer des bons résultats du système.
 5. Le temps est crucial durant une situation d'urgence – Le processus de prise de décision peut patiner dans une situation d'urgence à cause : du grand volume de renseignements qu'il faut rentrer dans le système du SIG ; et de la grande somme de temps qu'il faut pour analyser les renseignements avant de prendre en définitif une décision.

f. Qui peut utiliser le SIG ?

Le SIG peut servir dans beaucoup de domaines de gestion des catastrophes. Parmi les professionnels de ces domaines qui trouveraient le SIG utile, il y a :

- Des planificateurs des mesures d'urgence ; des météorologues ; des géologues ; des techniciens en télécommunications ; des agents de sécurité ; des auxiliaires de santé

4. Système mondial de localisation (GPS) et Gestion des risques

a. Définition

Le Système mondial de localisation (GPS) sert à consulter le Système mondial de navigation par satellite (GNSS) mis au point par le Département de la Défense des États-Unis. Le véritable nom est le système mondial de détermination des positions et Système mondial de localisation (NAVSTAR GPS) cependant l'abréviation GPS est couramment utilisée. S'il a été conçu au

début uniquement à des fins militaires le GPS est entré dans l'usage civil dans les années 1980. Les applications populaires couvrent l'automobile et la navigation maritime, le suivi, le pistage et les recherches.

Le GPS est produit par 24 satellites positionnés à intervalles réguliers sur un orbite, qui tournent autour de la terre et permettent aux personnes au sol dotés de récepteurs de pointer leur localisation géographique exacte de façon très précise. Le GPS sert à travers le monde et a un prix suffisamment abordable pour permettre à quiconque d'avoir son propre récepteur GPS.

b. Application du GPS à la Gestion des risques naturels

Le GPS est très utile en cas des catastrophes car il fonctionne en tout état du ciel, partout et à tout moment. S'il fonctionne juste pour donner la position du récepteur, le niveau de précision du GPS le rend très utile dans la gestion des catastrophes. Dans beaucoup de cas, les données du GPS sont insérées au SIG pour reporter des activités en temps réel en cas d'urgence. Le GPS trouve sa plus grande utilité durant les phases 'intervention et de restauration.

Cependant, il peut également servir durant les phases de prévention et d'atténuation.

Une application importante du GPS est le suivi des véhicules ou des ravitaillements. Dans cette application, le récepteur du GPS installé sur le véhicule et la position sont reportés sur une carte. D'autres applications couvrent la surveillance des hauteurs des vagues. Les unités du GPS sont fixées aux bouées et la hauteur des unités peut être déterminée en centimètres tout changement important dans la hauteur des vagues et la vitesse peut déclencher une alerte au tsunami ou à une montée des eaux. On peut également surveiller les volcans à l'aide du GPS. En mesurant la déformation du sol, on peut émettre des conclusions quant à l'activité.

5. Télédétection et Gestion des risques naturels

a. Terminologie

La télédétection est l'utilisation du rayonnement de la fréquence électromagnétique (EM) pour obtenir des renseignements sur un objet ou un phénomène, à l'aide d'un dispositif d'enregistrement qui n'a aucun contact physique ou intime avec l'objet. Cela veut dire que la télédétection est l'obtention des renseignements sur un objet par un dispositif d'enregistrement qui n'a aucun contact physique avec l'objet.

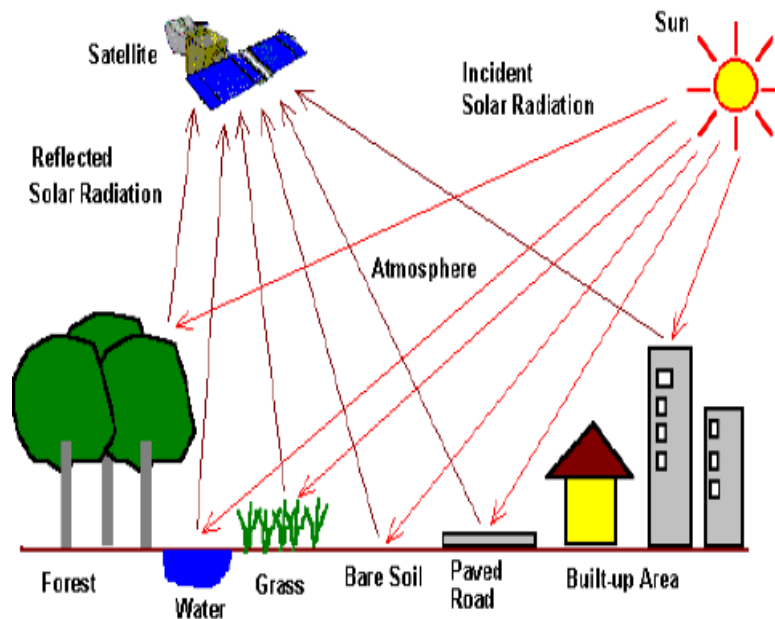


Fig. 20 : Schéma de fonctionnement de la télédétection [GOO,2013]

La télédétection dans le cadre de la gestion des catastrophes désigne d'habitude la technologie qui couvre des détecteurs artificiels installés dans des avions ou satellites. Au lieu d'observer une planète lointaine à partir de la terre, l'appareil de détection est placé dans l'espace pour observer au loin notre planète Terre. Loin dans ce contexte peut vouloir dire juste quelques dizaines de mètres ou des centaines de kilomètres au-dessus de la surface de la terre.

b. La Télédétection dans la Gestion des risques naturels

Les données recueillies par la télédétection peuvent servir de beaucoup de façons pour réaliser plusieurs objectifs. Elles sont d'habitude ajoutées aux renseignements provenant d'autres sources de données et aux renseignements des observations à partir du sol, pour obtenir une visualisation entière de l'eau, des terrains ou activités au sol. Les données de la télédétection sont souvent rentrées au SIG. Il existe une grande diversité de logiciels commerciaux ou gratuits qui permettent de visualiser des données recueillies des observations des divers satellites cités ci-dessus.

Avec l'arrivée des nouvelles technologies, et de plus en plus de catastrophes naturelles ou causées par l'homme, il est donc nécessaire de recourir le plus possible de ces technologies de pointe pour réduire les effets des catastrophes.

c. Exemples d'emploi de la télédétection dans la gestion des risques ?

➤ Télédétection et Inondations

Les inondations constituent l'un des dangers qui se produisent le plus souvent. Les inondations entraînent les risques de dommages et de perturbations de la vie normale, y compris la communication, les transports, l'environnement et l'infrastructure. Selon l'ampleur des perturbations qui peuvent survenir, il peut être difficile pour les gérants des catastrophes d'avoir accès aux régions éloignées ou aux régions qui sont coupées suite à la catastrophe. Comme outil technologique, la télédétection sera indispensable dans ce processus car il donnerait à ses utilisateurs la possibilité de visualiser ce qui se passe dans une zone touchée, sans compromettre inutilement la sécurité des utilisateurs, vu qu'ils ne seront pas réellement sur le lieu. Ça va toujours être difficile, pour ne pas dire impossible, pour le planificateur d'identifier toutes les zones qui vont probablement subir des inondations en un endroit. Cependant, le recours à la technologie, pour déterminer l'éventualité d'une inondation peut mettre en lumière les caractéristiques de la géographie qui pourraient rendre la localité exposée aux risques de catastrophe.

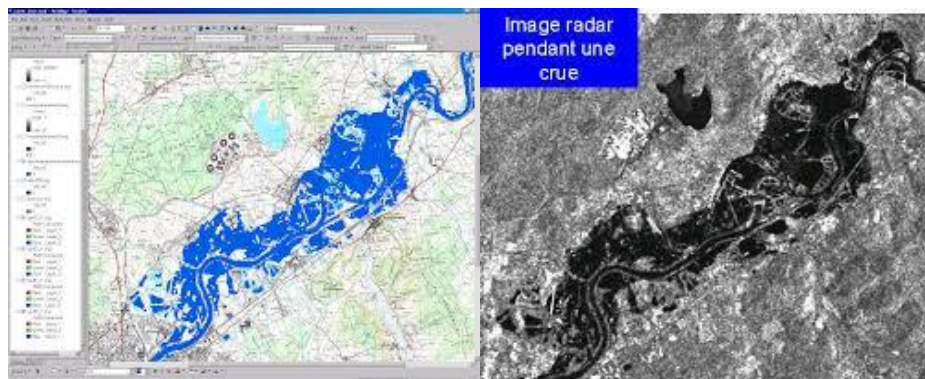


Fig. 21 : Image Radar pendant une crue [GEO, 2013]

La cartographie des plaines inondables est une indication utile des possibilités d'inondation dans une région et la télédétection peut aider le processus d'identification des plaines inondables. La technologie produirait une image satellite de la région en question, ce qui permettrait une meilleure planification et des efforts opportuns de secours en cas d'augmentation des besoins. La photographie détaillée produite à partir de la télédétection donne des renseignements exacts et peut limiter les efforts à la région.

➤ Télédétection et Tremblements de terre

Le développement dans une région soumise à une forte sismicité est toujours problématique. Vu le nombre élevé des lignes de failles qui traversent sur des étendues géographiques, il est inévitable pour les hommes d'y habiter. En tenant compte du fait qu'il n'y a sur place aucun système d'avertissement contre les tremblements de terre, il faut mettre l'accent sur la réduction des risques afin de réduire l'impact probable des tremblements de terre sur la vie et les biens. Il faut recourir de façon extensive à la télédétection (et en particulier aux images par satellite) dans le processus de planification de la prévention des tremblements de terre. Cette technologie permettra d'identifier les éventuels dangers structurels et non structurels des tremblements de terre et de recourir au meilleur outil pour minimiser ces risques. L'imagerie de Landsat est un outil efficace à cette fin vu la disponibilité et le coût.

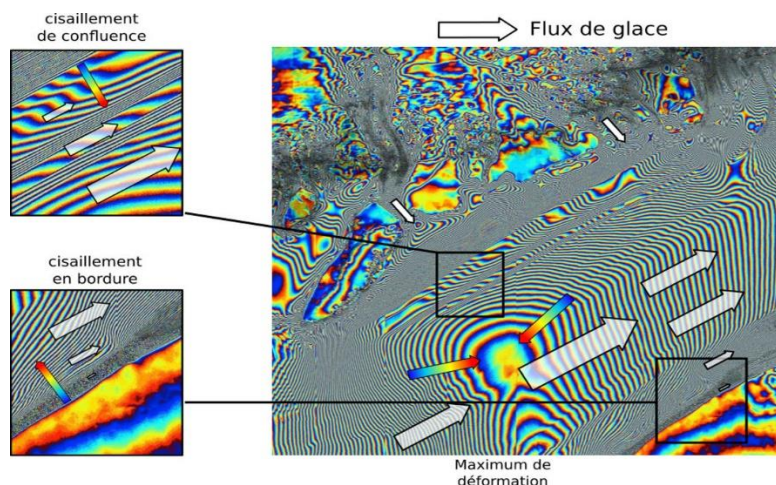


Fig. 22 : **Indentification des tremblements de terre par imagerie Landsat** [GEO, 2013]

Après un tremblement de terre, aussi bien la visibilité à l'oeil nu que l'accès aux zones les plus touchées peuvent s'avérer limités. Face à ces difficultés, il devient difficile aux agents d'intervention d'urgence d'accéder rapidement aux survivants. Cependant, la technologie de télédétection améliorerait énormément la vitesse et la qualité de l'aide possible à apporter. Les activités, comme les recherches et le sauvetage sont plus efficaces avec la télédétection après des grands tremblements de terre. Comme il y aura d'énormes volumes de débris ou gravats des constructions effondrées, il serait avantageux de recourir au service de la télédétection pour les recherches en profondeur.

➤ Télédétection et glissements des terrains

Les glissements accompagnent habituellement d'autres dangers, comme l'inondation, les ouragans et les tremblements de terre, mais peuvent également se produire seuls. Lorsqu'un

grand volume de terre se déplace, l'accès à et la visibilité générale de la zone touchée est d'habitude gravement limité. Les images obtenues à distance dans ces conditions servent d'outils utiles pour les planificateurs. Elles présentent une image de ce qui se passe et servent dans le processus de prise de décision quant à l'avenir de la zone touchée.

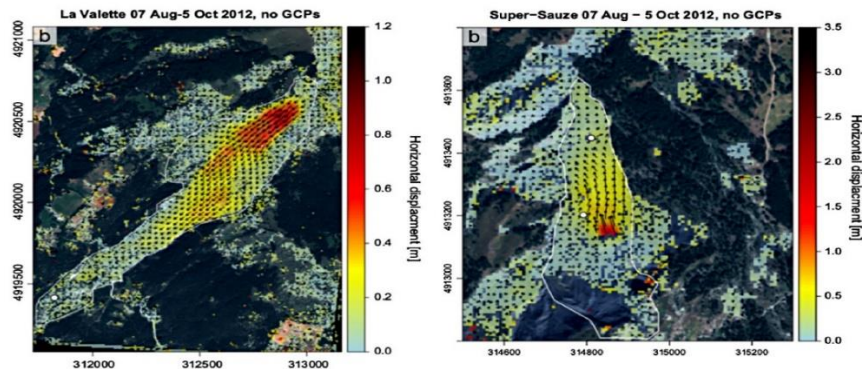


Fig. 23 : Identification des glissements de terrain par imagerie Satellite [GEO, 2013]

Lorsqu'il est difficile d'évaluer une zone à cause des débris, amas, coulées de boue suite à un éboulement, la télédétection peut pénétrer des zones denses pour rapporter des renseignements indispensables.

d. Avantages de la télédétection

- Les utilisateurs de la technologie n'ont pas besoin d'aller physiquement sur place.
- Visualise une grande zone et surface.
- Les données peuvent être obtenues et archivées de façon régulière et habituelle.
- L'ensemble de données le plus rentable pour observer des changements sur des grandes surfaces.
- Peut servir dans l'observation de l'évaluation des dommages.
- L'imagerie obtenue, par télédétection, peut servir à mieux planifier et reconstruire une zone touchée.
- Permet de prévenir la même catastrophe à l'avenir.

e. Défis face l'utilisation de la télédétection

- Il peut s'avérer coûteux de construire et opérer un système de télédétection
- Les activités de petite taille ne peuvent pas être délimitées à l'imagerie par télédétection ou par des prises aériennes
- L'interprétation des données peut être difficile et demander des qualifications élevées.
- La résolution est parfois grossière.

**Partie C : mise en œuvre des SIG dans les risques naturels
(Application dans le cas des glissements de terre et Aléas
sismique)**

1. Objectifs

À l'issue de cette partie divisée en plusieurs séances, vous devez être capable :

- *Décrire/étudier* la mise en œuvre des SIG dans les risques naturels, dans le cas des glissements des terre et Aléas sismique

2. Introduction

« Ce n'est qu'à Lisbonne que l'on s'émeut des tremblements de terre, alors que l'on ne peut douter qu'il ne s'en forme aussi dans les déserts. Convenez que si la nature n'avait point rassemblé là vingt mille maisons de six à sept étages et que, si les habitants de cette grande ville eussent été dispersés plus également et plus légèrement logés, le dégât eut beaucoup moins et peut-être nul »

J.J. Rousseau, lettre à Voltaire après le tremblement de Terre de 1755.

S'il est actuellement difficilement concevable de mettre en œuvre un système d'information intégré sur les risques naturels en raison de la diversité des SIG, de la multiplicité des acteurs institutionnels les utilisant, plusieurs pistes pourraient être envisagées en termes d'interopérabilité, de mise en commun ou à disposition des bases de données. L'interopérabilité des systèmes d'informations géographiques pourrait se faire par l'échange des différentes sources d'informations acquises par les différents acteurs institutionnels et privés : données brutes, bases géographiques et spatiales, cartes, analyses, modèles de simulations. La mise en commun des données et rapports ne pourrait qu'enrichir les études, traitements et analyses des autres acteurs impliqués dans la prévention et la gestion des risques naturels. Elle permettrait, également, une meilleure coordination et gestion des ressources informationnelles tout autant qu'une rationalisation des besoins et une identification des manques.

3. Les glissements de terrain

a. Définition

Un glissement de terrain est un phénomène géologique désignant le déplacement, vers le bas et l'extérieur, d'une masse de sol.



Fig. 24 : Quelques images sur les glissements de terrain [Divers site internet]



Fig. 25 : Glissement du quartier de Boudraa Constantine [BOU, 2007]

b. Danger des glissements

- Le phénomène de glissement de terrain est considéré comme dangers naturels permanents rencontrés dans tous les pays du monde car l'importance des effets de glissement pouvant engendrer des dégâts humains.
- Ces phénomènes et leurs dangers nécessitent de prendre les précautions particulières pour détecter les zones instables afin de trouver les meilleures solutions de protections ou de traitements.

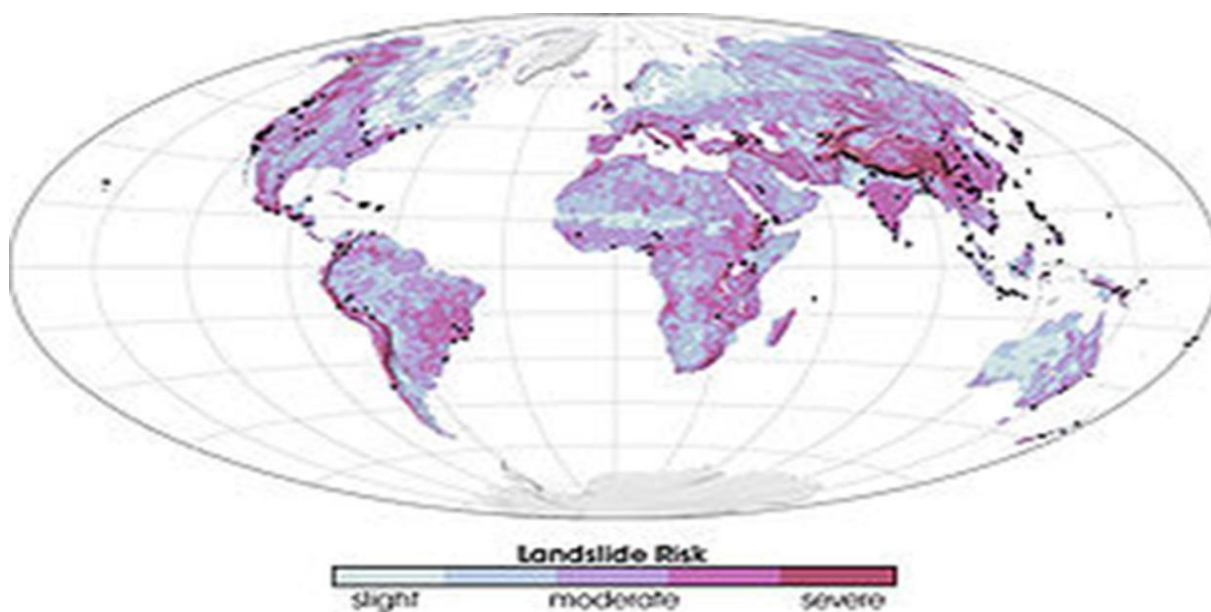


Fig. 26 : Le risque glissement de terrain à travers le monde [NAS, 2021]

c. Caractéristiques d'un glissement de terrain :

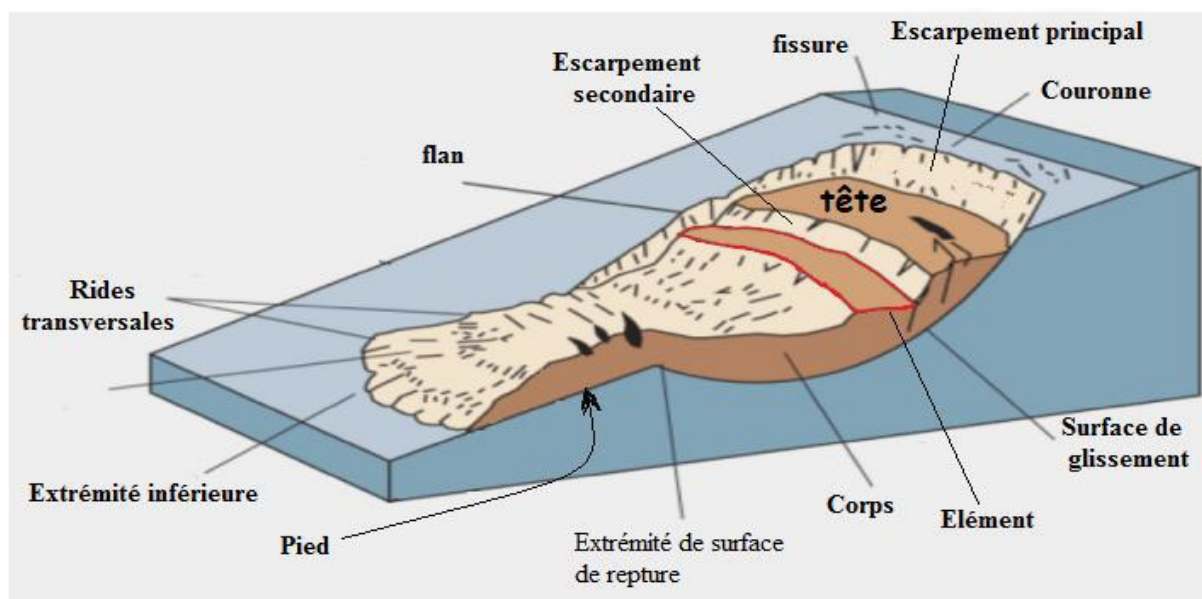


Fig. 27 : Caractéristique d'un glissement de terrain [BAN, 2013]

Nom	Définition
Un escarpement principal	Surface inclinée ou verticale, souvent concave limitant le glissement à son extrémité supérieure et prolongée en profondeur par la surface de glissement.
La couronne	Zone située au-dessus de l'escarpement principal souvent peu affectée par le désordre. Seules quelques fissures ou crevasses témoignant de la mise en traction des terrains dans ces zones.
La tête	C'est la limite amont du glissement et plus précisément partie où le matériau glissé se trouve en contact avec l'escarpement principal.
Un escarpement secondaire	Circulaire semblable à l'escarpement principal, mais visible dans la masse remaniée. Ces escarpements confèrent à la masse en mouvement une structure en escalier.

L'élément	Fraction de la masse glissée entre deux escarpements.
Le flanc	Limite latérale du glissement prolongeant l'escarpement principal
Le pied	Correspond à l'intersection aval de la surface topographique initiale. Le pied est souvent masqué par le bourrelet.
Rides transversales	Elles se forment dans le bourrelet du mouvement du terrain, témoins d'effort de compression pouvant aboutir à des chevauchements dans le matériau
La surface de glissement ou de rupture	C'est une surface qui sépare la masse glissée des terrains en place
Le corps	Partie centrale du glissement recouvrant la surface de rupture.

d. Cas des coulées boueuses :

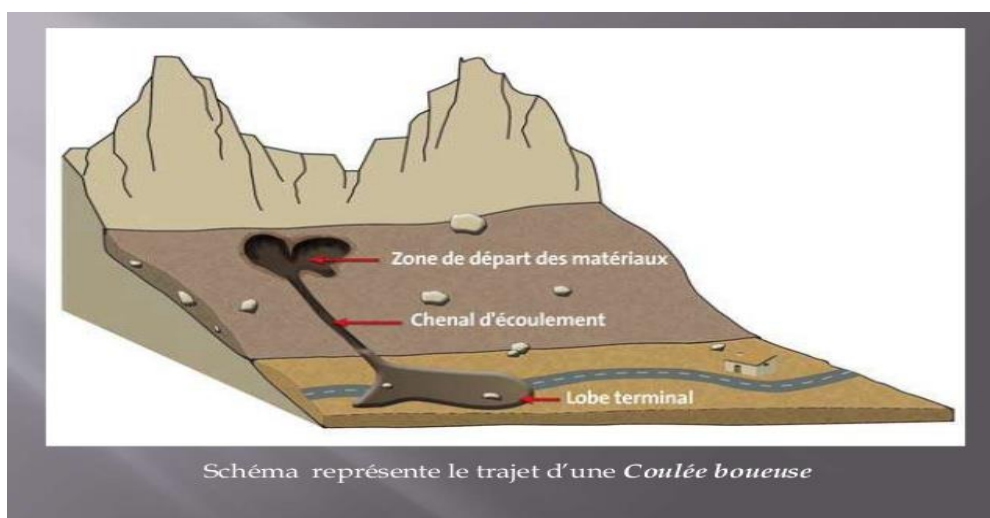


Fig. 26 : Les coulées boueuses [BAN, 2013]

e. Classification des glissements de terrain :

- Selon la profondeur de la surface de glissement sous la surface du sol :

Glissement	superficiel	semi profond	profond
Surface de glissement	0 – 2 m	2 – 10 m	>10 m

- Selon leurs vitesses de déplacement :

Vitesse de déplacement du glissement	Classification
1 mm/an à 12 mm/an	Très lent
1 mm/mois à 50 mm/mois	Lent
1,5 mm/j à 100 mm/j	Moyen
4 mm/h à 10 m/h	Rapide
2,5 m/sec à 10 m/sec	Très rapide

f. Les types des glissements de terrain

Glissements rotationnels : la masse se déplace vers l’aval le long d’une surface de rupture circulaire. Ce type de glissements sont de faible volume et le déplacement des matériaux est limité. Ils se produisent principalement dans des terrains meubles homogènes surtout argileux.

Glissements translationnels : quelques horizons de terrain ou un ensemble des couches se déplacent selon une surface de glissement plus ou moins plane. Les glissements translationnels s’étendent sur des surfaces de taille très variable.

Coulées de boue : Les coulées de boue sont constituées d’un mélange de terrain meuble, de sol et d’eau, qui se déplace vers l’aval sous forme de masse généralement peu épaisse.

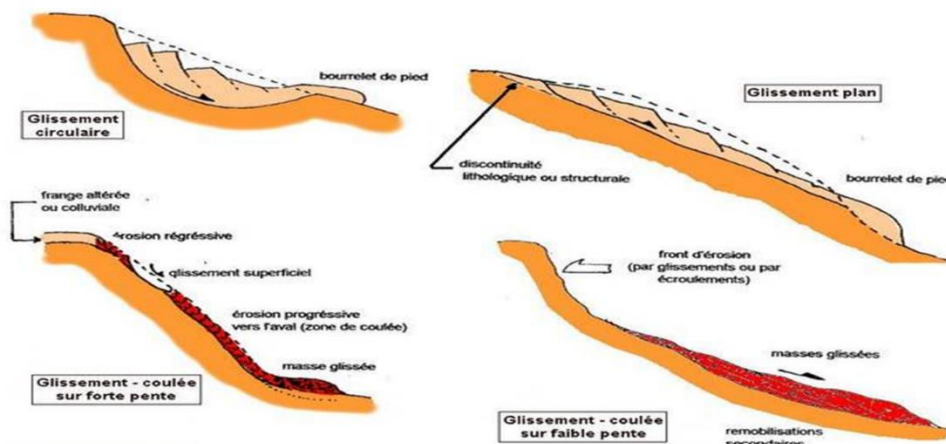


Fig. 27 : Les types de glissements de terrain [BAN, 2013]

g. Les indices d'un glissement de terrain

- niche d'arrachement
- fissures, bourrelets
- arbres basculés
- zone de rétention d'eau
- fissuration des bâtiments
- déformation des routes, etc.



h. Les causes d'un glissement de terrain

- Une augmentation de la contrainte de cisaillement est due à :
 - Érosion ou excavation au pied de la pente. (Figure).
 - Augmentation de l'angle de talus.
 - Une augmentation de la pression de l'eau dans les fissures de traction.
- Une diminution de la résistance au cisaillement est due à :
 - Une augmentation des pressions interstitielles.
 - Un gonflement, altération.
 - Une rupture progressive.
 - Le phénomène de gel et dégel.
 - Les séismes.

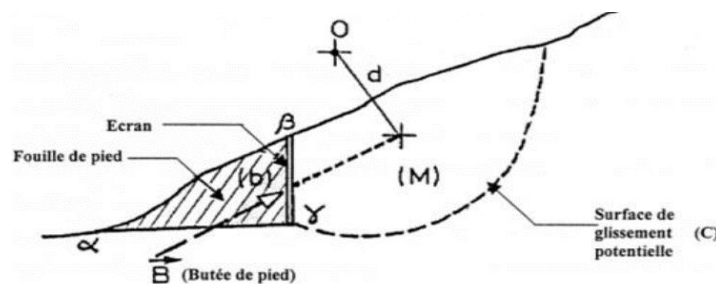


Fig. 28 : Exemple de résolution d'un glissement plan

i. Critères de rupture

Le critère de rupture utilisé est le critère de COULOMB:

$$\tau = \sigma' \tan \phi' + c$$

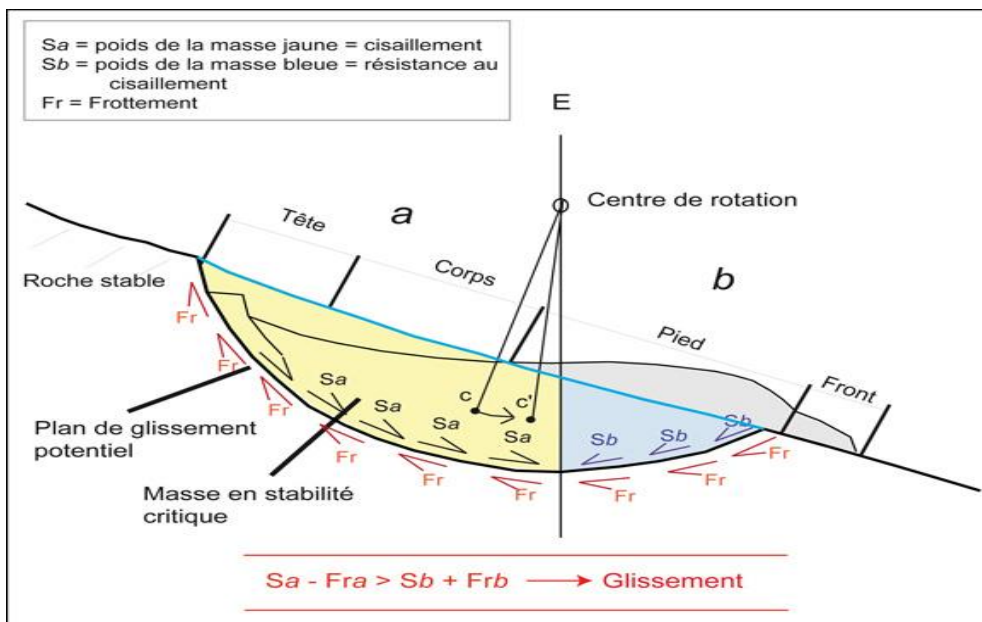


Fig. 29 : Critères de rupture analytique d'un glissement

j. Coefficient de sécurité

Le principe de calcul de stabilité des talus consiste à déterminer le facteur de sécurité F_s :

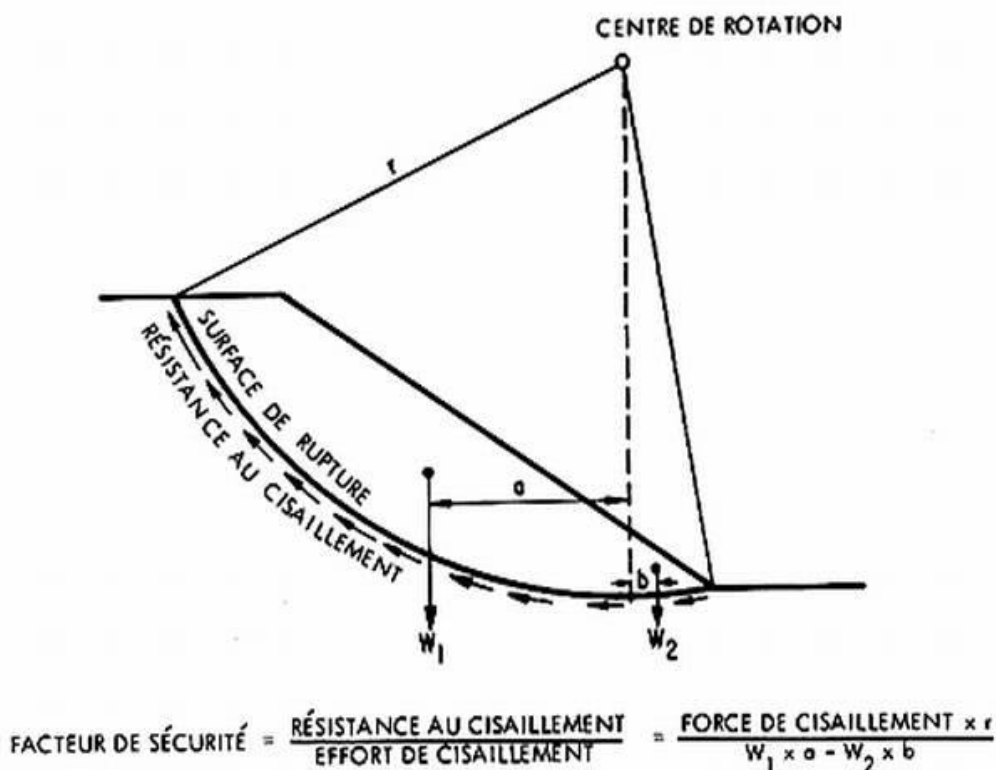
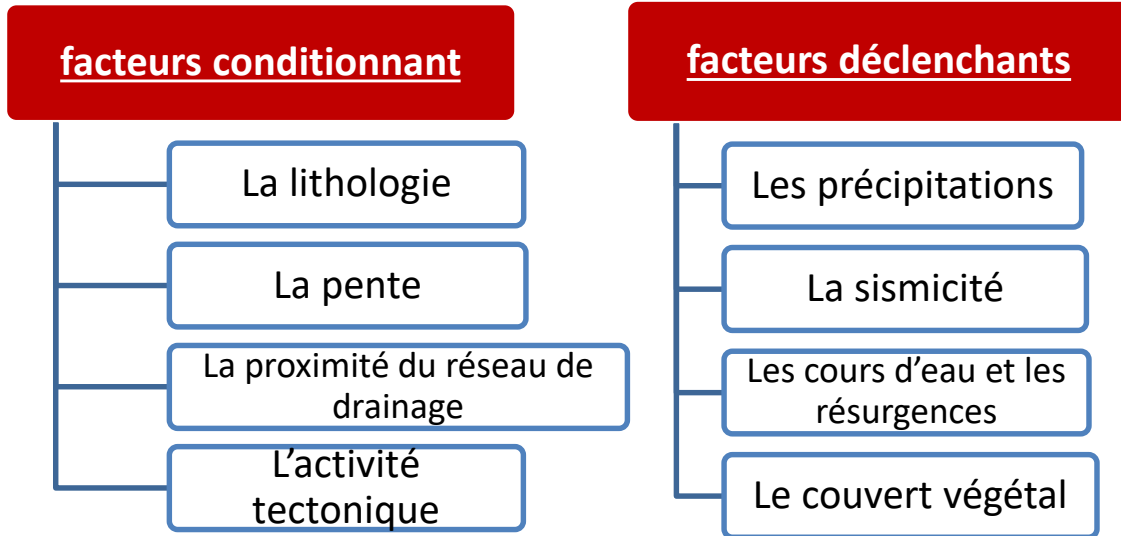


Fig. 30 : Le facteur de sécurité d'un glissement

k. Les causes d'un glissement de terrain

Il existe deux genres de facteurs qui causent un glissement de terrain :



a. Démarche scientifique largement utilisés pour l'étude du risque glissement de terrain

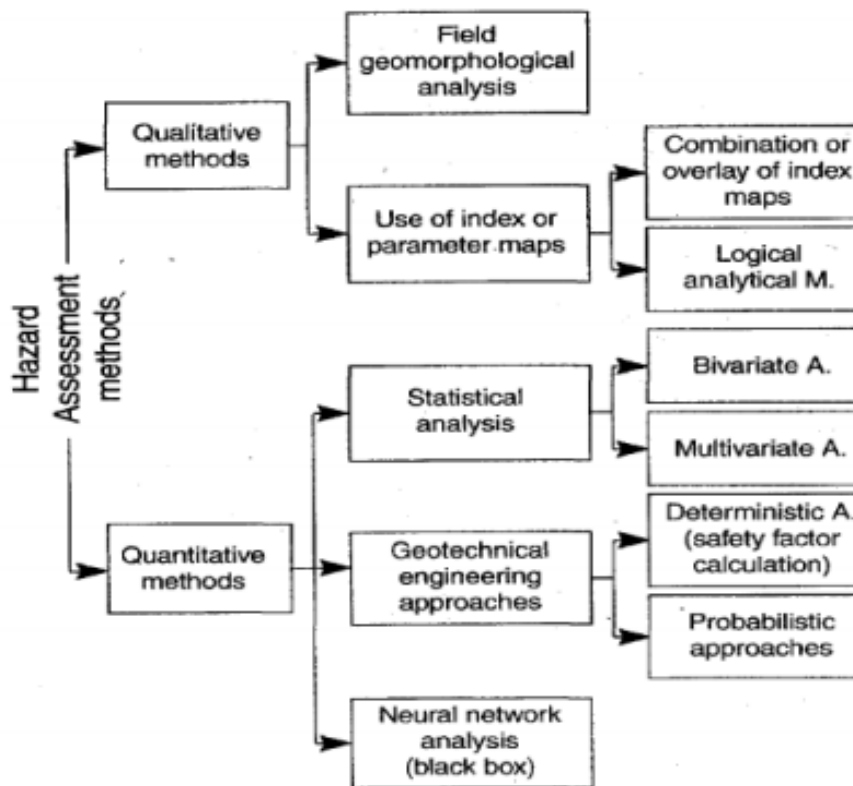


Fig.31 : Les principales approches d'évaluation de l'aléa « glissement de terrain » [ALE,1999]



Figure 32 : L'analyse et le zonage du risque « glissement de terrain » [MAL,2003]

b. L'analyse spatiale du risque glissement terrain

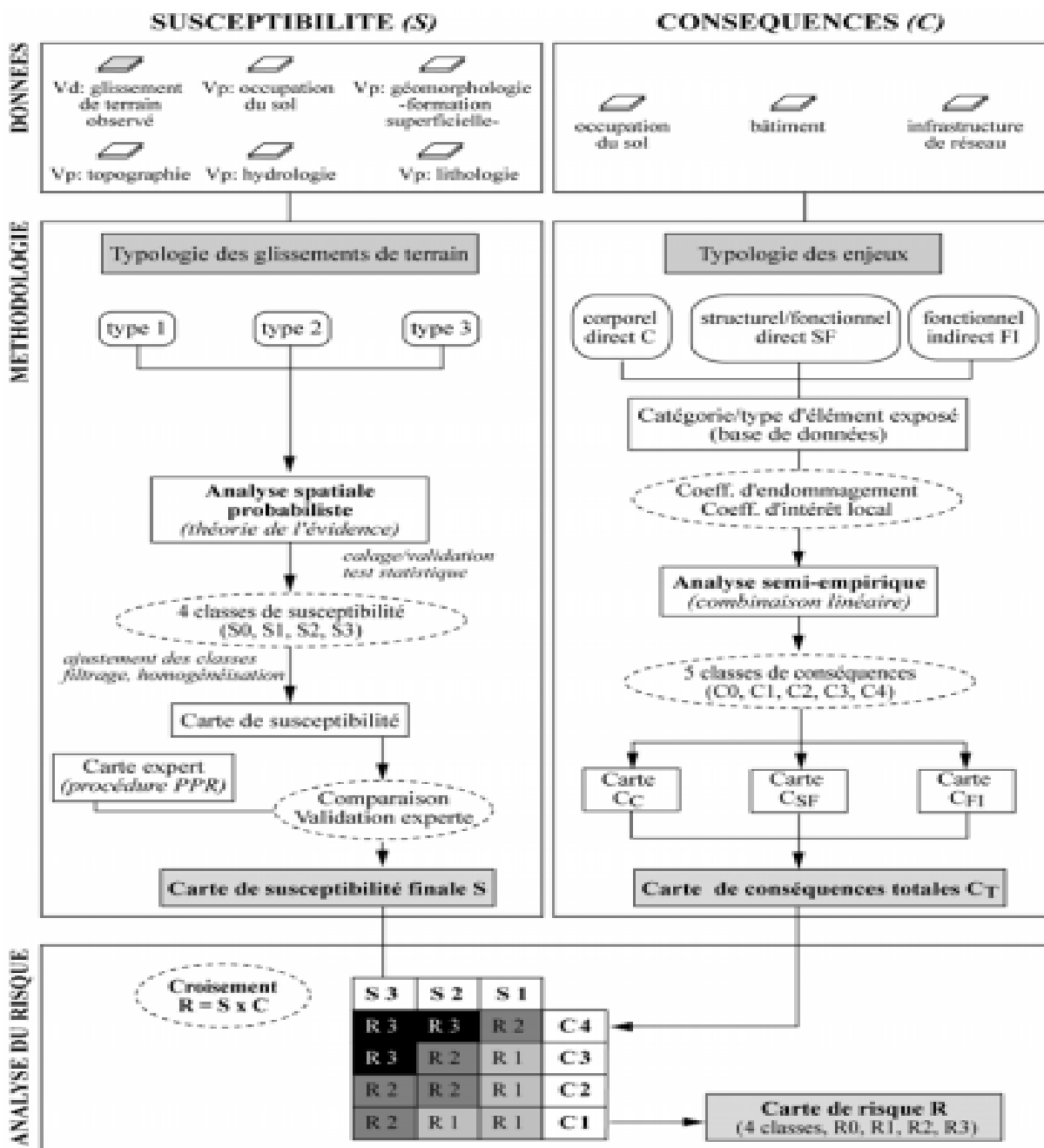
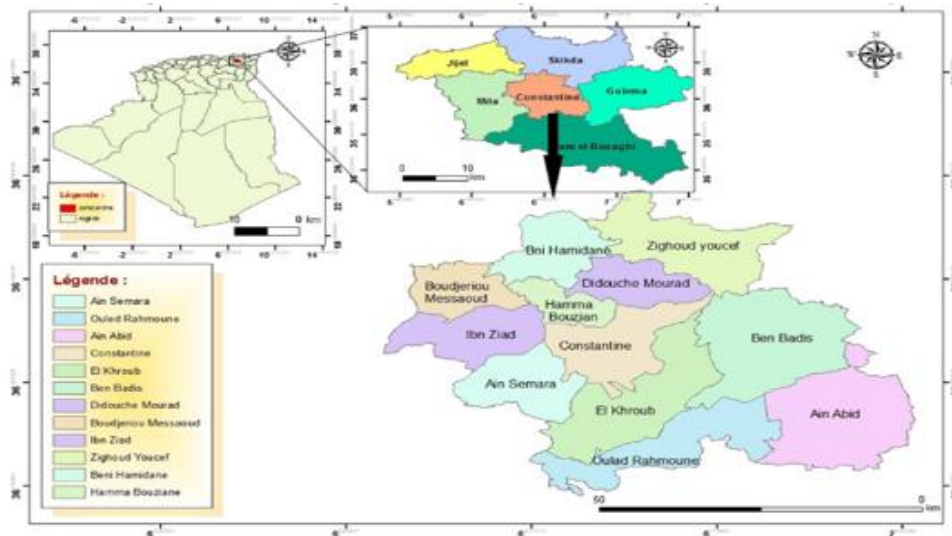


Figure 33 : Méthodologie pour l'analyse spatiale du risque glissement de terrain

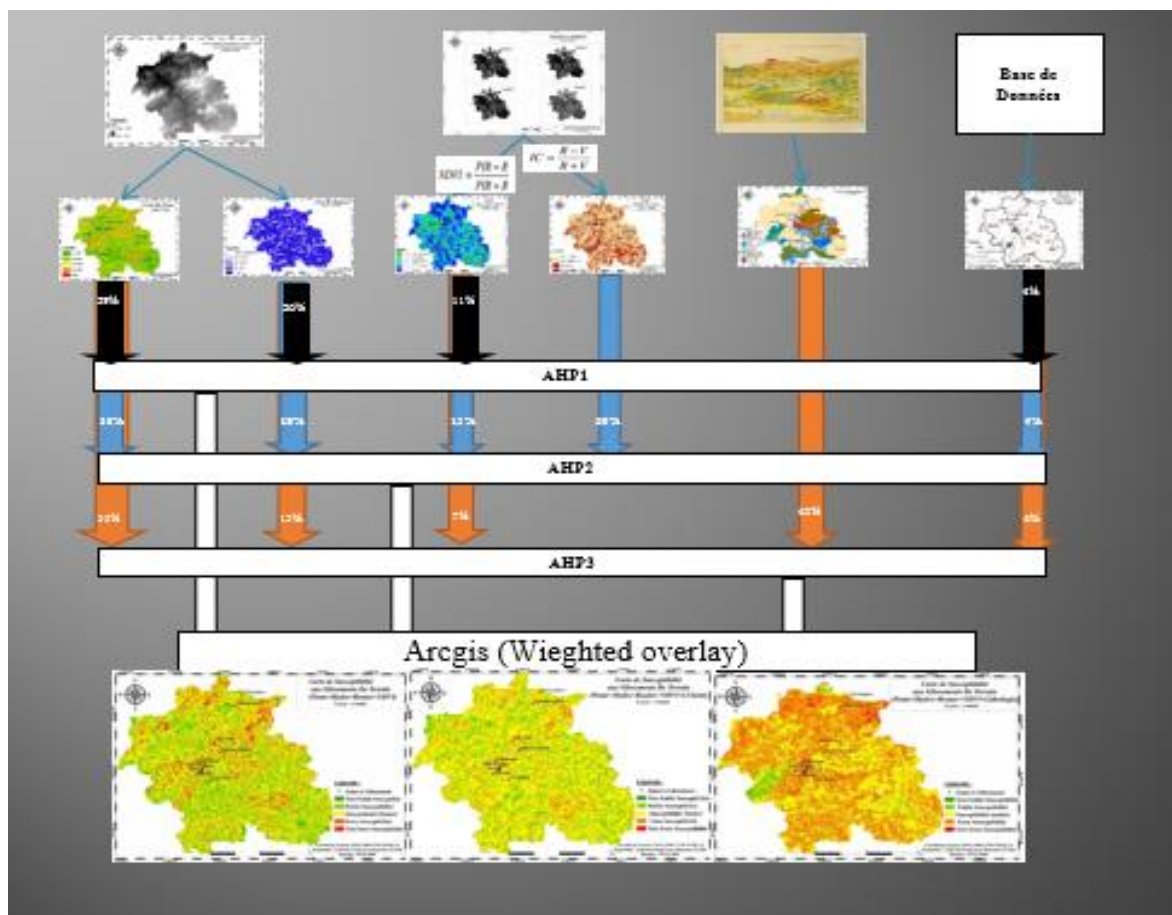
[MAL,2003]

c. Exemple d'élaboration de carte de susceptibilité glissement

- La zone d'étude c'est la Wilaya de Constantine :



- La méthodologie d'analyse : consiste à faire plusieurs classifications des données obtenues depuis le modèle numérique du terrain, les images satellitaires, les cartes géologiques et les diverses bases de données :



- Les critères de bases :

➤ La Pente:

facteur principale qui déclenche le glissement de terrain lorsque la pente augmente.

➤ réseau de drainage:

l'existence d'un réseau de drainage (les ruisseaux, les rivières) près d'une pente peut engendrer un glissement de terrain soit par l'érosion d'un bas de pente soit par l'augmentation de la pression de l'eau interstitielle du sol qui conduisant à une diminution de la cohésion entre les particules de sol et une déstabilisation générale de la pente.

➤ La couverture végétale:

joue un rôle dans la stabilité des glissements de terrain très superficiels, cette couverture végétale peut avoir un effet bénéfique ou néfaste selon les cas. Ainsi, les racines des végétaux renforcent la cohésion des sols mais, en cas de vent, l'effet de levier peut déraciner les arbres, ouvrant ainsi des brèches dans le sol et favorisant les infiltrations d'eau.

➤ Lithologie (géologie):

les sols marneux et argileux sont plus susceptibles au phénomène du glissement, les sols calcaires sont plus résistants au glissement, car ils sont insensibles à l'eau.

➤ Classification des sols (Indice de clarté):

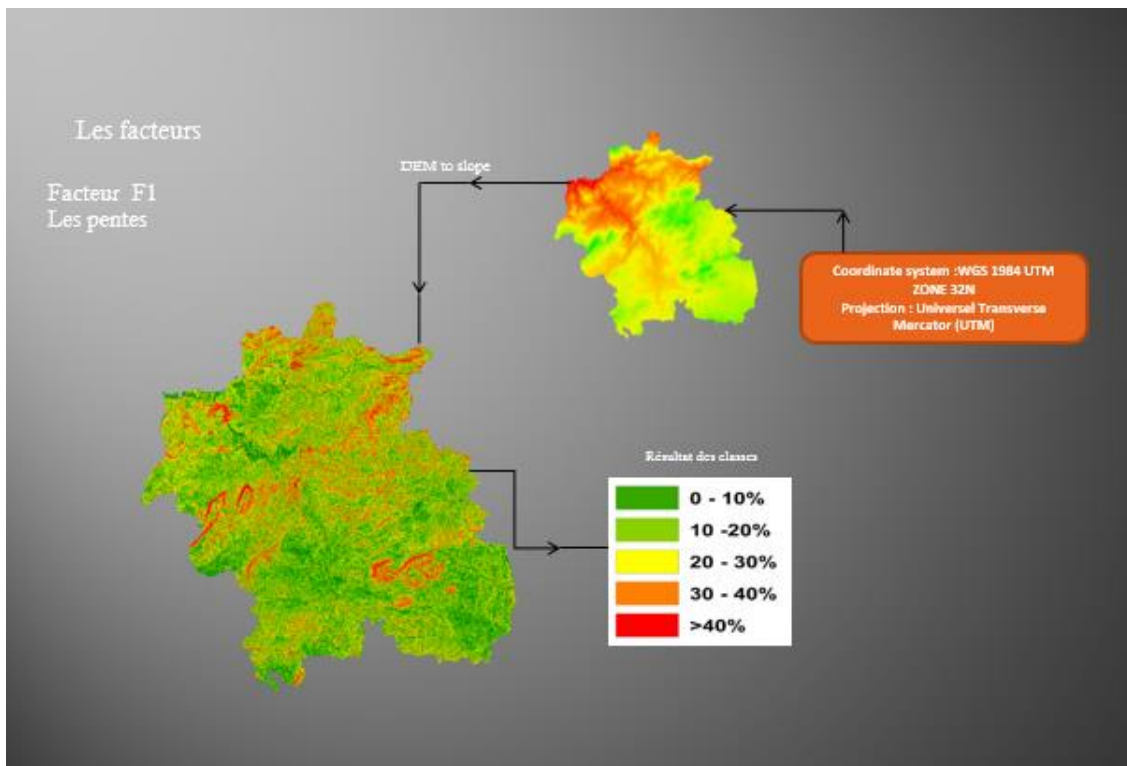
Les sols avec la végétation sont les principaux composants des surfaces terrestres observées par les satellites de télédétection. Ils sont même le composant principal lorsque la végétation est peu abondante pour des raisons climatiques ou culturelles. Leurs propriétés spectrales sont mesurées de façon précise au laboratoire. Elles dépendent principalement de la teneur, en argiles, en carbonates, en matières organiques, et en eau.

➤ Distance par rapport aux routes :

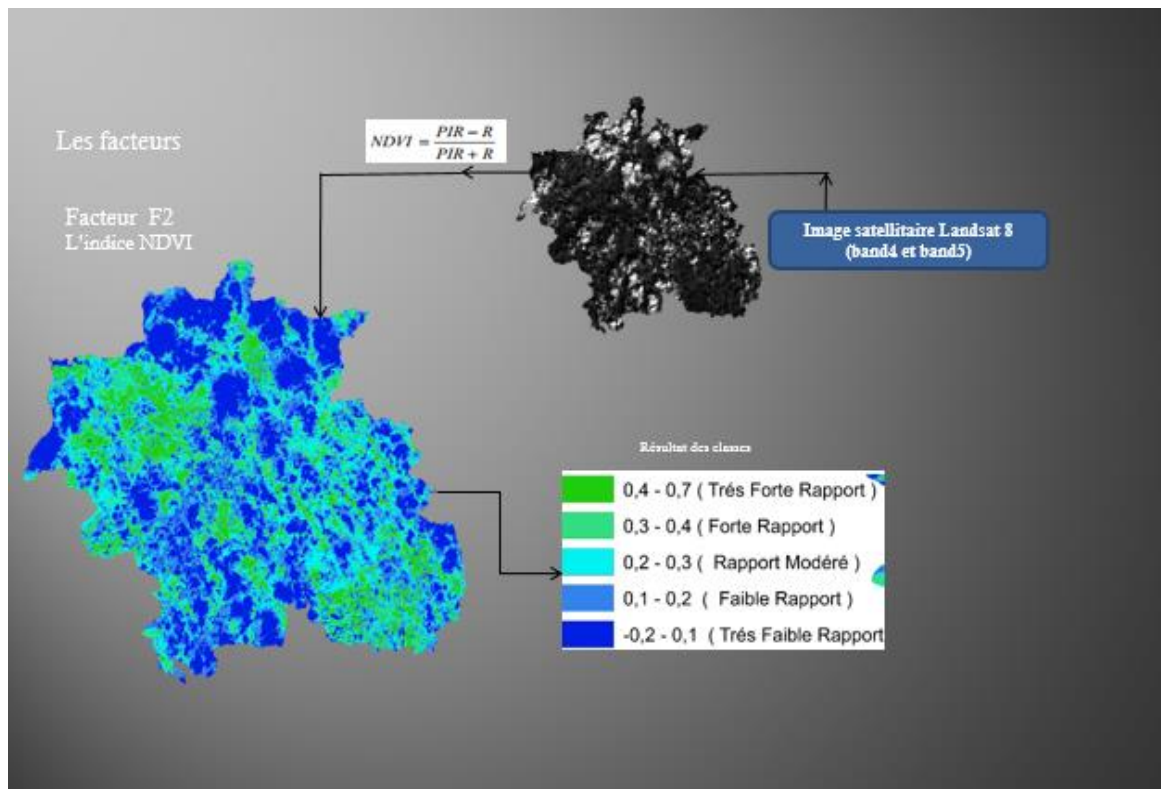
la construction des routes qui traversent les pentes peut déstabiliser une zone de deux façons soit par la coupe d'une pente qui peut augmenter ce dernier, ou par l'érosion de la zone de frein d'une pente ce qui augmente la probabilité de glissements de terrain.

• Les cartes des facteurs :

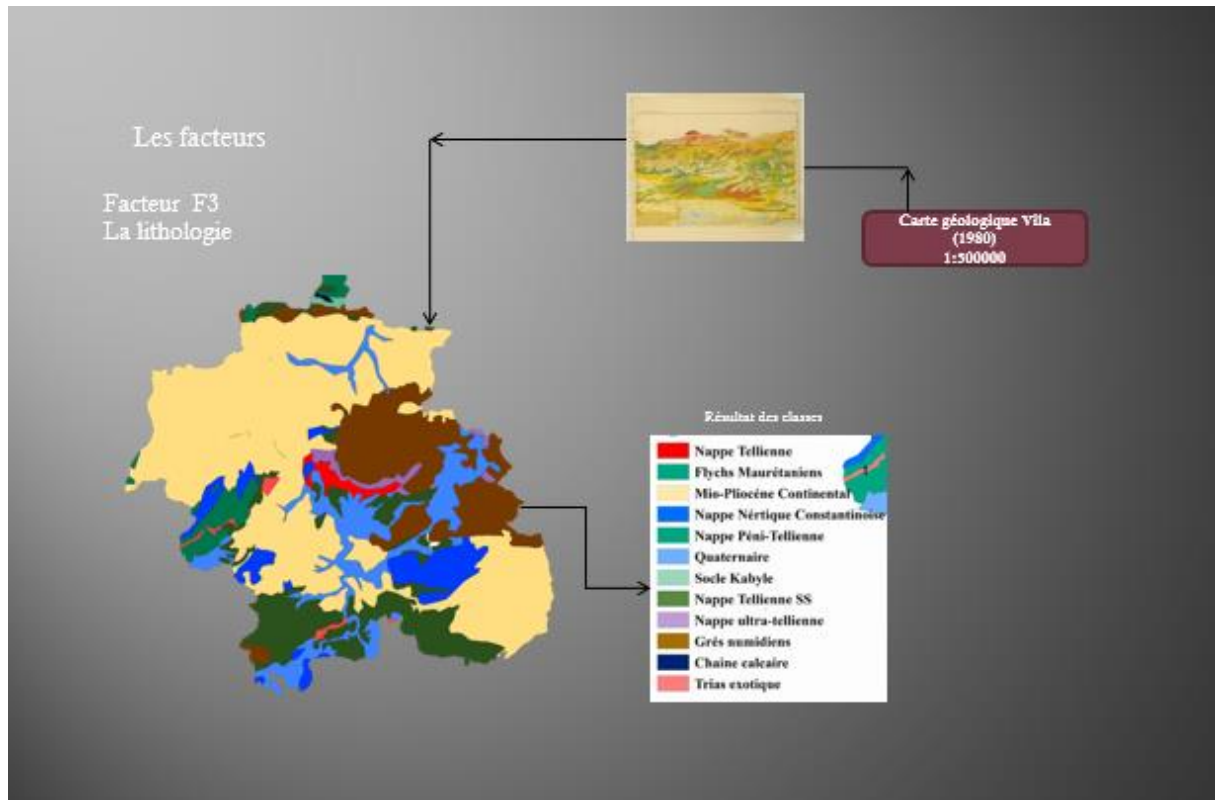
1. La pente :



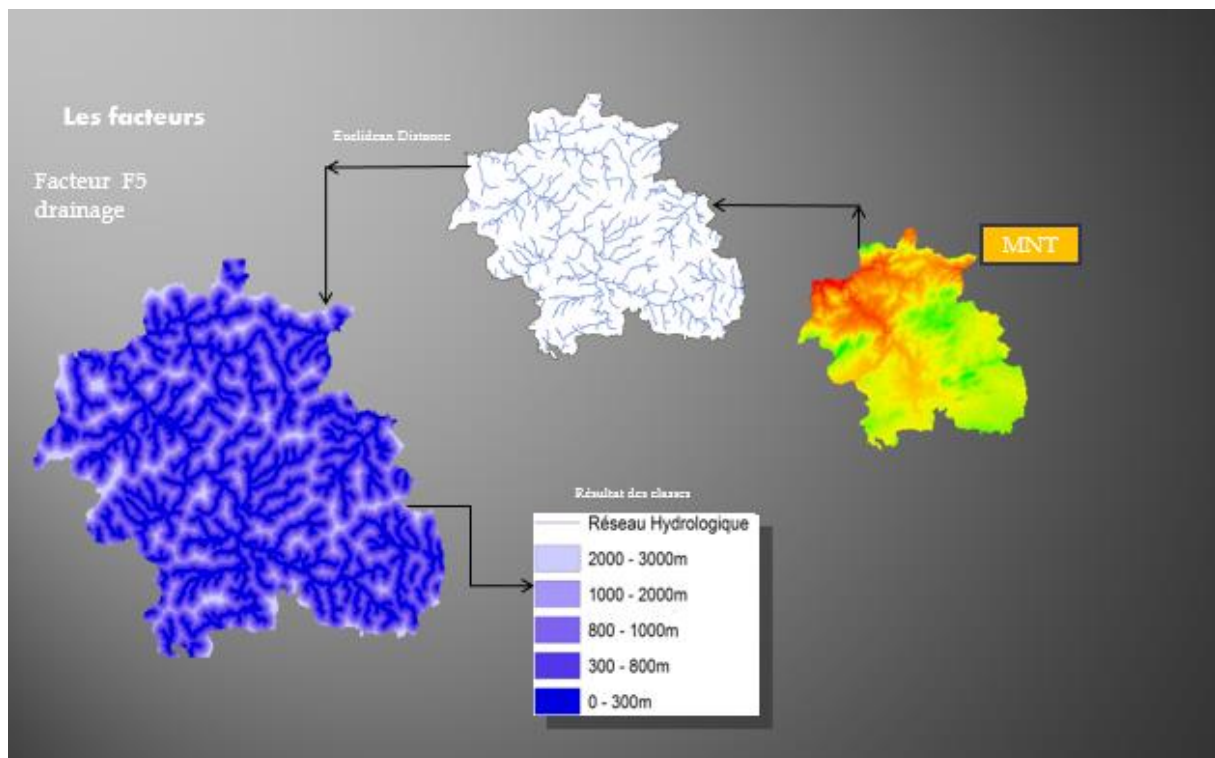
2. La végétation:



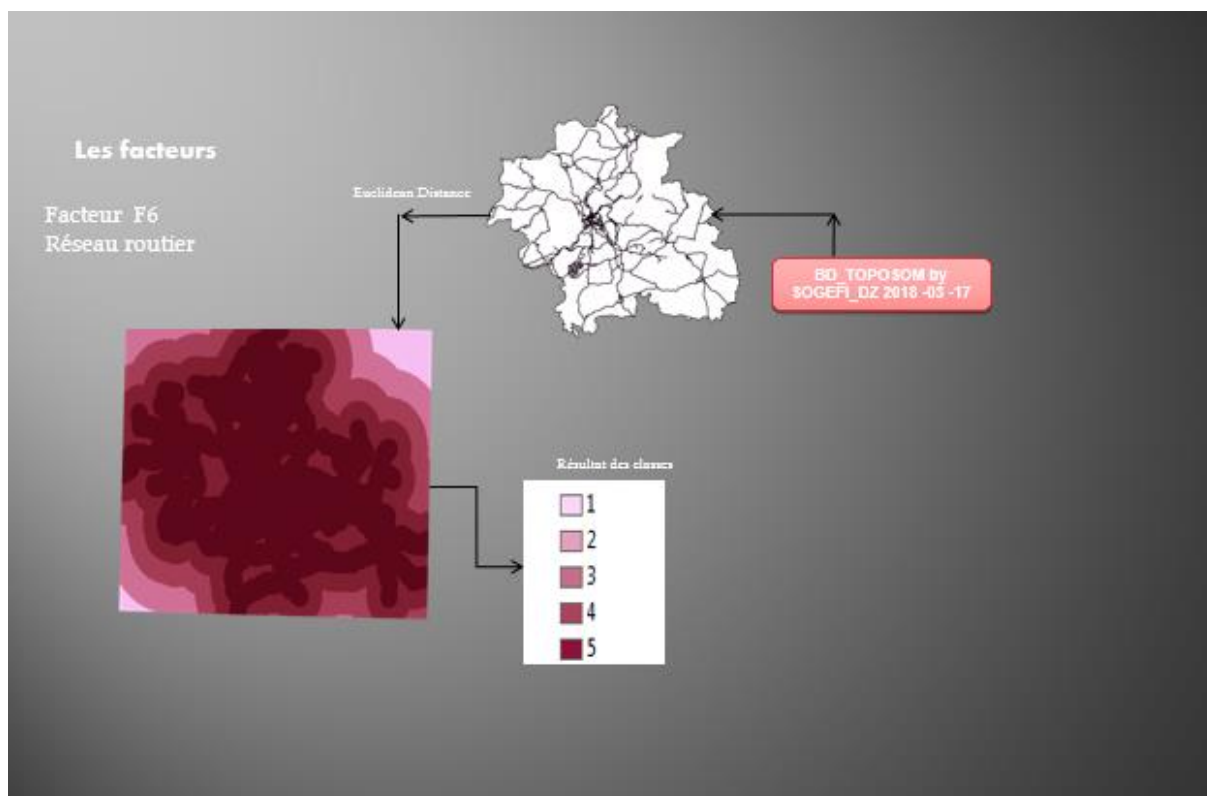
3. La lithologie :



4. Le réseau hydrographique :



5. Le réseau routier :



6. L'analyse A.H.P pour la pondération des facteurs :

AHP Analytic Hierarchy Process (EVM multiple inputs)
K. D. Goepel Version 11.10.2017 Free web based AHP software on: <http://ahpmap.com>

Only input data is the light green fields and worksheets!

n= 5 Number of criteria (2 to 10) Scale 1 AHP 1-9

N= 1 Number of Participants (1 to 20) α: 0.1 Consensus: n/a

p= 0 selected Participant (if consens.) 2: 7 Consolidated

Objective: []

Author: []

Date: []

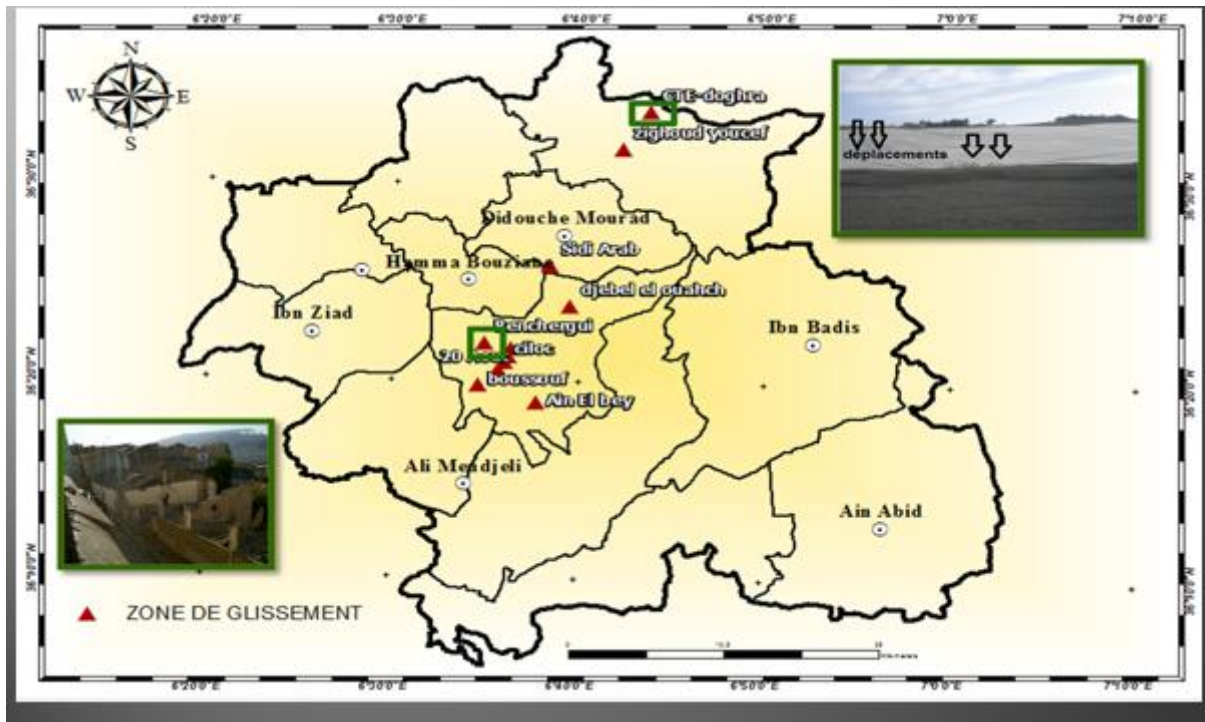
Thresh: 0.07 Iterations: 6 EVM check: 3.0009

n	Criteria	Comment	sgaur
1	Criterion 1	NDA	7%
2	Criterion 2	PEVTE	33%
3	Criterion 3	ROUTE	3%
4	Criterion 4	HYDROLOGIE	15%
5	Criterion 5	Dés	43%
6	Criterion 6		
7	Criterion 7		
8	Criterion 8		
9			
10			

		Criteria		more important ?	Scale
i	j	A	B	A or B	(1-9)
1	2		Criterion 2	B	7
1	3		Criterion 3	A	5
1	4		Criterion 4	B	3
1	5		Criterion 5	B	6
1	6		Criterion 6		
1	7		Criterion 7		
1	8		Criterion 8		
2	3	Criterion 2	Criterion 3	A	8
2	4		Criterion 4	A	3
2	5		Criterion 5	B	2
2	6		Criterion 6		
2	7		Criterion 7		
2	8		Criterion 8		
3	4	Criterion 3	Criterion 4	B	6
3	5		Criterion 5	B	7
3	6		Criterion 6		
3	7		Criterion 7		
3	8		Criterion 8		
4	5	Criterion 4	Criterion 5	B	4
4	6		Criterion 6		
4	7		Criterion 7		
4	8		Criterion 8		

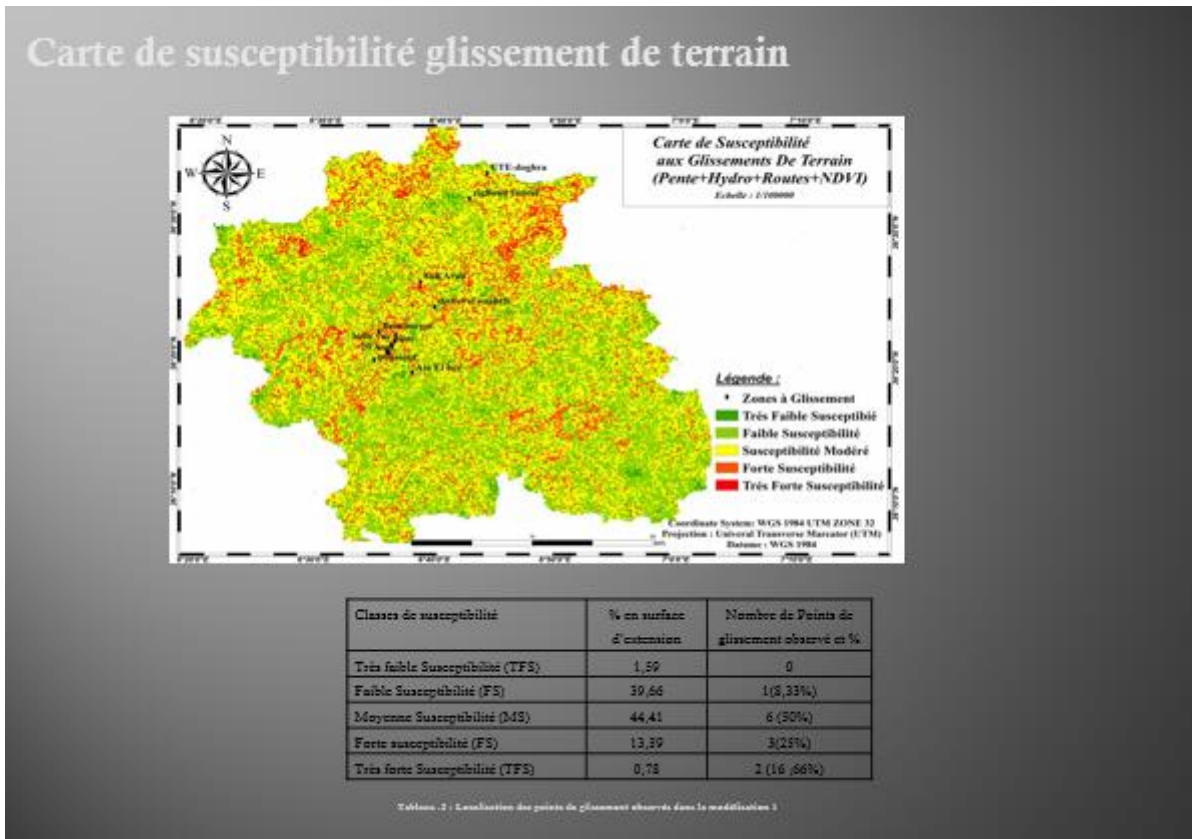
Description	Valeur numérique
Les deux éléments ont une importance égale	1
Critère 1 est un peu plus important que 2	3
Critère 1 est plus important que 2	5
Critère 1 est beaucoup plus important que 2	7
Critère 1 est absolument plus important que 2	9
Dans certain cas, si nous avons des difficultés pour évaluer, on affinera en rajoutant des valeurs intermédiaires.	2, 4, 6, 8

7. La carte de recensement des glissements : nécessaire pour la validation de l'analyse réalisé



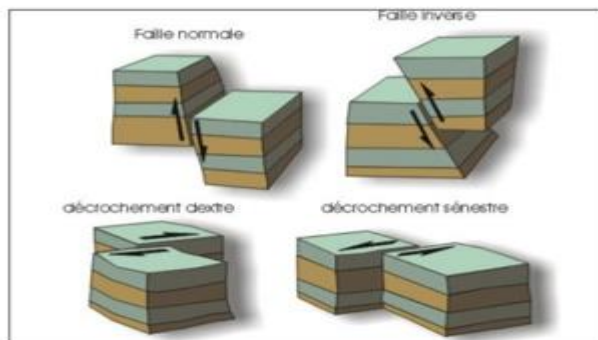
•

La carte de finale de susceptibilité est obtenue par le croisement des divers facteurs :



4. L'Aléa sismique

a. Définition



Un séisme est un mouvement naturel du sol qui débute brusquement (rupture brutale) et dure peu (quelques secondes à quelques minutes).

Les séismes tectoniques sont liés au rejeu d'une faille pré-existante ou à la création d'une nouvelle faille. Ils se produisent essentiellement aux frontières des plaques lithosphériques.

On distingue 3 mouvements de faille principaux : faille normale, faille inverse et faille de décrochement.

Un séisme est pratiquement toujours suivi d'une série de séismes moins forts que l'on appelle des **répliques**.

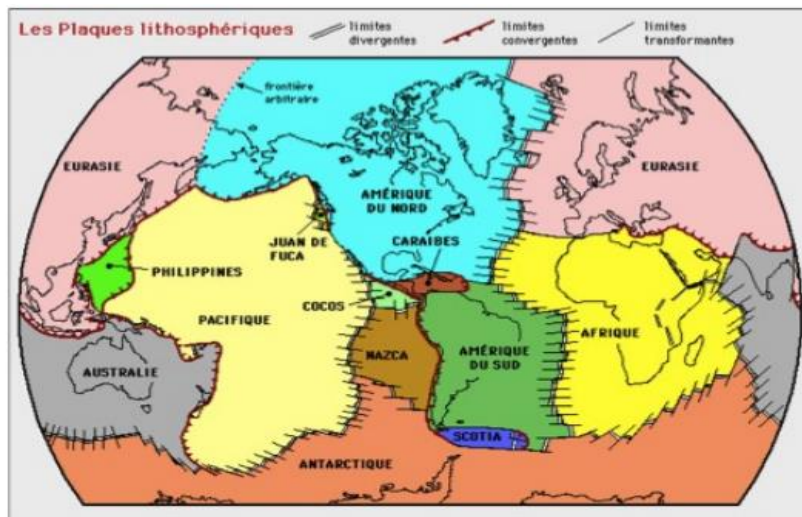
Parfois, un gros séisme peut être précédé par des séismes moins importants quelques heures voire quelques jours avant. On parle alors de **précurseur**.

b. Origine des séismes :

Un séisme est une vibration du sol, causée par une fracture brutale des roches en profondeur créant des failles dans le sol et parfois en surface. L'activité sismique est concentrée le long de failles, en général à proximité des frontières entre ces plaques. Lorsque les frottements au niveau d'une de ces failles sont importants, le mouvement entre les deux plaques est bloqué. De l'énergie est alors stockée le long de la faille. La libération brutale de cette énergie permet de rattraper le mouvement des plaques. Le déplacement instantané qui en résulte est la cause des séismes. Après la secousse principale, il y a des répliques parfois meurtrières qui correspondent à des petits réajustements des blocs au voisinage de la faille. [RIS]

c. La tectonique des plaques :

La lithosphère est découpée en 12 grandes plaques et d'autres plus petites, c'est le véritable moteur des séismes. En effet le glissement de ces plaques lithosphériques sur l'asthénosphère induit des mouvements de divergence, de convergence ou de coulissage horizontal entre les plaques.



La théorie de la tectonique des plaques décrit de façon cohérente les différentes zones sismiques observées

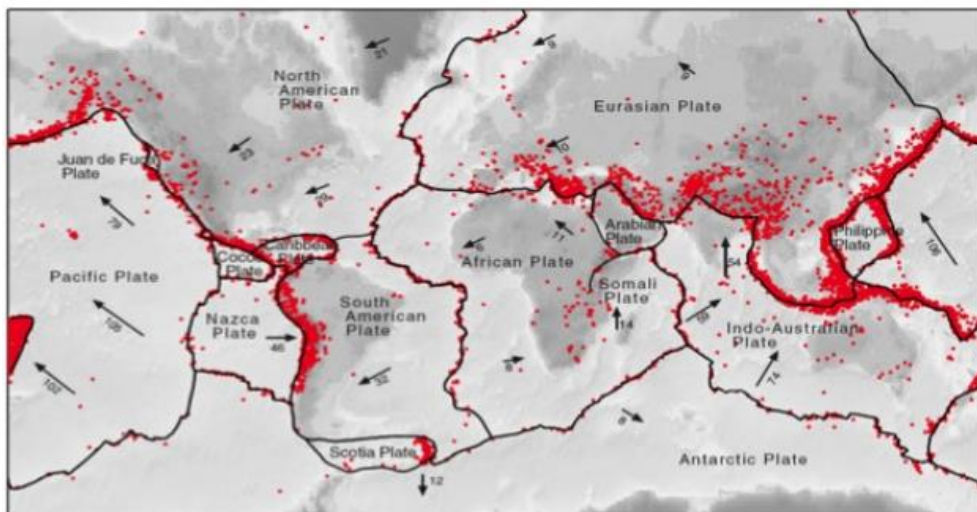
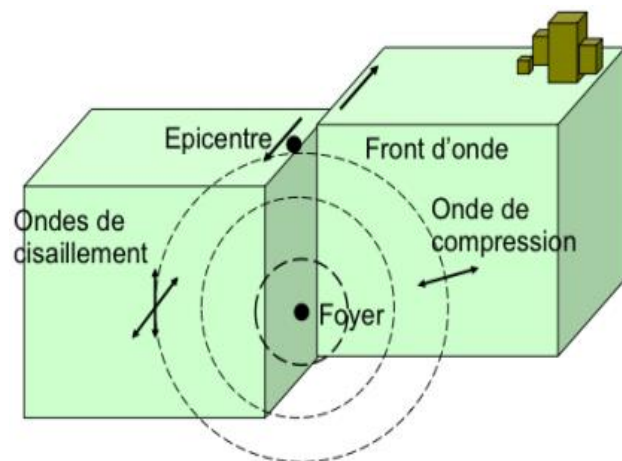


Figure 33 : La tectonique des plaques [ATS,2021]

Un séisme comprend donc :

- Une fracturation des roches en profondeur : quand les contraintes au sein des roches est supérieure à la résistance au cisaillement.
- Une libération soudaine d'énergie : Propagation d'ondes sismiques (ondes élastiques) et des vibrations en surface.



I.5. L'enregistrement des séismes

En surface, après un séisme, Les ondes sismiques se propagent dans toutes les directions de l'espace à partir du foyer du séisme. On détecte et on enregistre des vibrations ou ondes sismiques grâce à des sismomètres. On appelle ces enregistrements des sismogrammes.

En effet, les sismographes mesurent la magnitude plutôt que l'intensité. Les deux méthodes évaluent la force du séisme, mais la mesure de la magnitude est plus complexe.

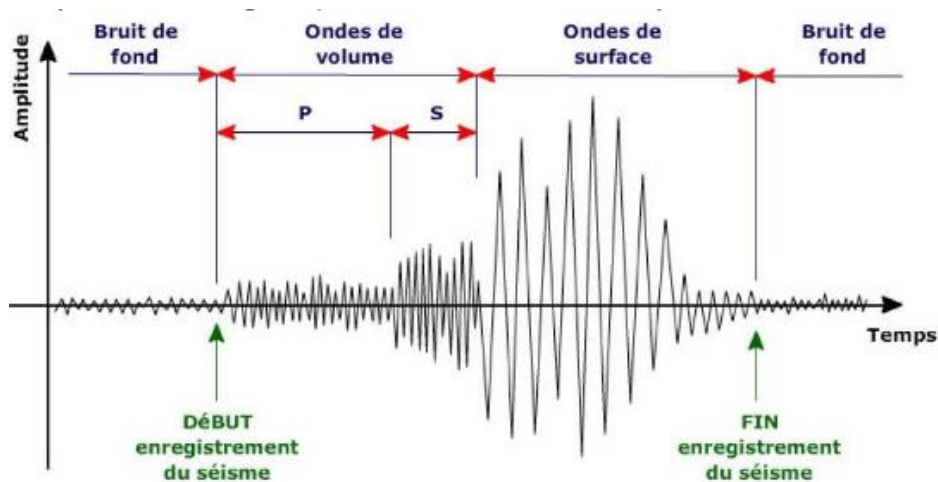


Figure 34 : Exemple de sismogramme [LAS,2007]

I.6. Les failles :

Une faille est une fracture de cisaillement macroscopique accompagnée d'un glissement des blocs de part et d'autre du plan de faille.

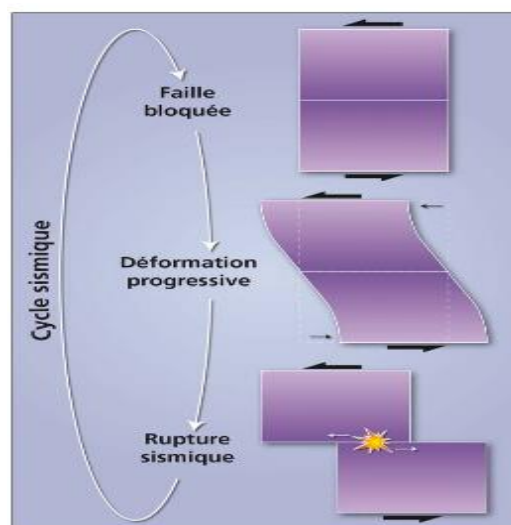


Figure 35 : Le cycle sismique à cause de mouvement des failles [LAS,2007]

Les failles s'observent à toutes les échelles, soit à l'échelle de la lame mince, de l'affleurement ou à l'échelle régionale. La faille sépare le volume rocheux en deux blocs : le **toit**, qui correspond au bloc situé au-dessus du plan de faille, et le **mur**, situé sous le plan de faille. Les surfaces du mur et du toit au contact avec le plan de faille sont parfois polies lors du glissement le long de la faille ; on appelle alors ces surfaces polies des miroirs de failles. Le vecteur-glissement, soit le rejet réel de la faille, correspond à la ligne de séparation entre deux points

situés sur le mur et le toit et qui étaient initialement contigus. Des stries ou rainures peuvent se développer parallèlement au vecteur-glissement sur la surface de faille.

I.9. Caractéristiques d'un séisme :

On sait maintenant que les séismes sont provoqués par une rupture dans la lithosphère, ce point de rupture est appelé foyer ou plus scientifiquement hypocentre.

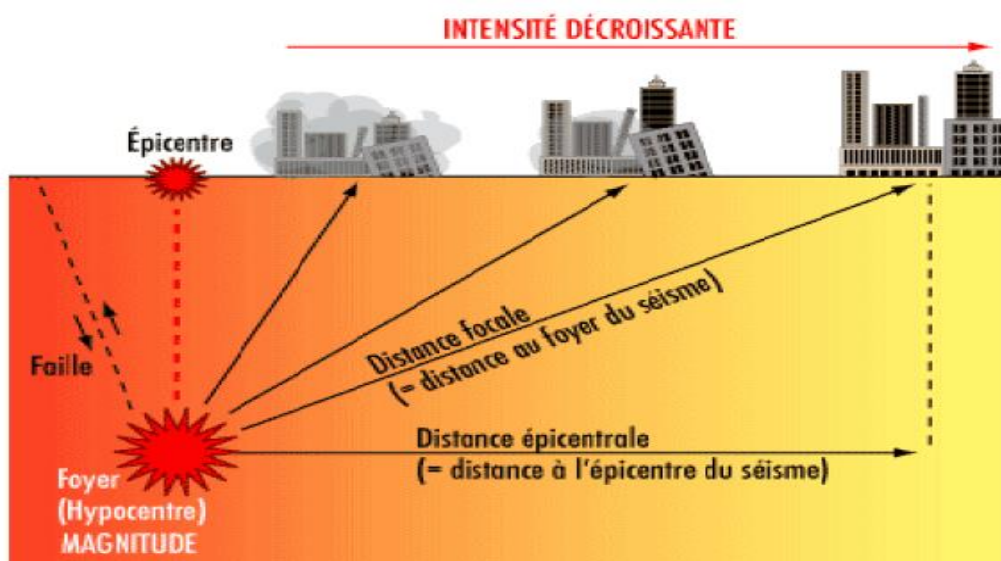


Figure 36 : Les Caractéristiques d'un séisme [BOU,2021]

Le point se situant à la verticale du foyer est appelé épicentre, c'est à ce niveau que les secousses les plus importantes seront ressenties.

Ces secousses sont dues à une libération d'énergie, sous forme de chaleur et d'émission d'ondes sismiques. Plus la surface de la rupture et le déplacement sont importants, plus la quantité d'énergie libérée l'est et plus les secousses sont violentes.

I.9.2. Magnitude et intensité d'un séisme :

I.9.2.1. Magnitude :

La magnitude est une notion instaurée en 1935 par le sismologue Charles Francis Richter. Elle représente la quantité d'énergie libérée par le séisme. Plus le séisme libère de l'énergie plus la magnitude sera élevée. Elle est calculée à partir de l'amplitude maximale des ondes sismiques enregistrée sur le sismogramme en tenant compte de la distance à l'épicentre, la profondeur de

l'hypocentre ou encore la fréquence du signal. Il n'y a qu'une seule valeur de magnitude pour un séisme donné. La magnitude n'est pas une échelle mais une fonction logarithmique. A ce jour le séisme le plus violent a été localisé au Chili, en 1960 atteignant une magnitude de 9.5 sur l'échelle de Richter.

Magnitude	Effets engendrés
9	Destruction totale à l'épicentre, et possible sur plusieurs milliers de km
8	Dégâts majeurs à l'épicentre, et sur plusieurs centaines de km
7	Importants dégâts à l'épicentre, secousse ressentie à plusieurs centaines de km
6	Dégâts à l'épicentre dont l'ampleur dépend de la qualité des constructions
5	Tremblement fortement ressenti, dommages mineurs près de l'épicentre
4	Secousse sensible, mais pas de dégâts
3	Seuil à partir duquel la secousse devient sensible pour la plupart des gens
2	Secousse ressentie uniquement par des gens au repos

Figure 37 : échelle de magnitude [BEA,2003]

I.9.2.2. L'intensité :

L'intensité caractérise le niveau de sévérité de la secousse au sol, elle témoigne du ressenti de la population, d'éventuels dommages associés sur l'environnement ou sur les constructions. Contrairement à la magnitude, cette évaluation ne nécessite aucune mesures instrumentales on pourra alors dire que cette évaluation se fait à l'échelle macroscopique et elle est toujours notée en chiffres romains allant de 1 à 12 (I à XII). L'intensité ne prend pas en compte, seulement le séisme mais aussi l'environnement où l'intensité a été prise. L'intensité qui est évaluée comme étant la plus forte du séisme se trouve au niveau de l'épicentre. L'échelle de référence de l'intensité est actuellement, en Europe, l'échelle EMS 98.

Echelle MSK	
I	Secousse non ressentie mais enregistrée par les instruments (valeur non utilisée).
II	Secousse partiellement ressentie notamment par des personnes au repos et aux étages.
III	Secousse faiblement ressentie balancement des objets suspendus.
IV	Secousse largement ressentie dans et hors les habitations tremblement des objets.
V	Secousse forte réveil des dormeurs, chutes d'objets, parfois légères fissures dans les plâtres.
VI	Domages légers parfois fissures dans les murs, frayeur de nombreuses personnes.
VII	Domages prononcés larges lézardes dans les murs de nombreuses habitations, chutes de cheminées.
VIII	Dégâts massifs les habitations les plus vulnérables sont détruites, presque toutes subissent des dégâts importants.
IX	Destructions de nombreuses constructions quelquefois de bonne qualité, chutes de monuments et de colonnes.
X	Destruction générale des constructions même les moins vulnérables (non parasismiques).
XI	Catastrophe toutes les constructions sont détruites (ponts, barrages, canalisations enterrées...).
XII	Changement de paysage énormes crevasses dans le sol, vallées barrées, rivières déplacées.

Figure 37 : Echelle MSK des intensités [BEA,2003]

II.2. Alea, Vulnérabilité Et Risque Sismique

Le risque se caractérise par deux composantes :

- 1- l'aléa, c'est-à-dire la probabilité pour un lieu géographique donné d'occurrence d'un événement sismique de caractéristiques données (intensité, magnitude,etc.) ;
- 2- les enjeux et leur vulnérabilité (ou fragilité) par rapport au phénomène sismique.

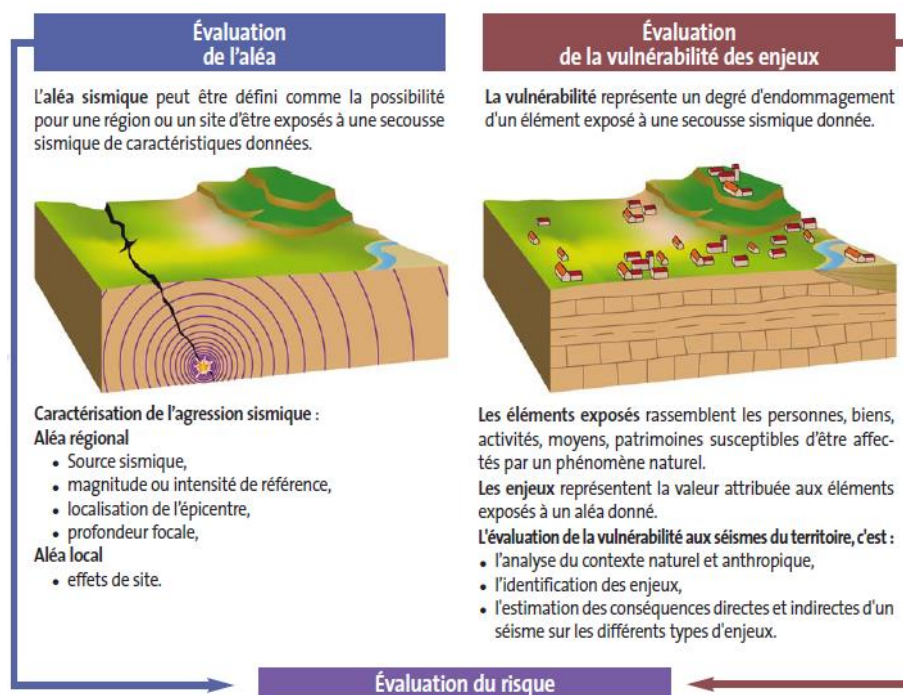


Figure 37 Evaluation de l'Aléa et la vulnérabilité sismique [LAS, 2007]

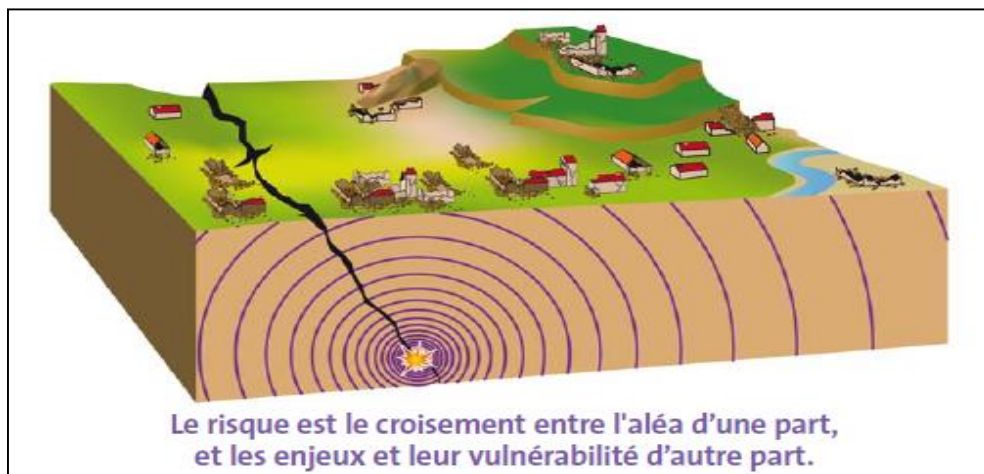


Figure 38 : Schéma de principe de l'évaluation du risque sismique [LAS, 2007]

Exemple d'application La wilaya de Constantine :

- L'exemple concerne la Wilaya de Constantine :

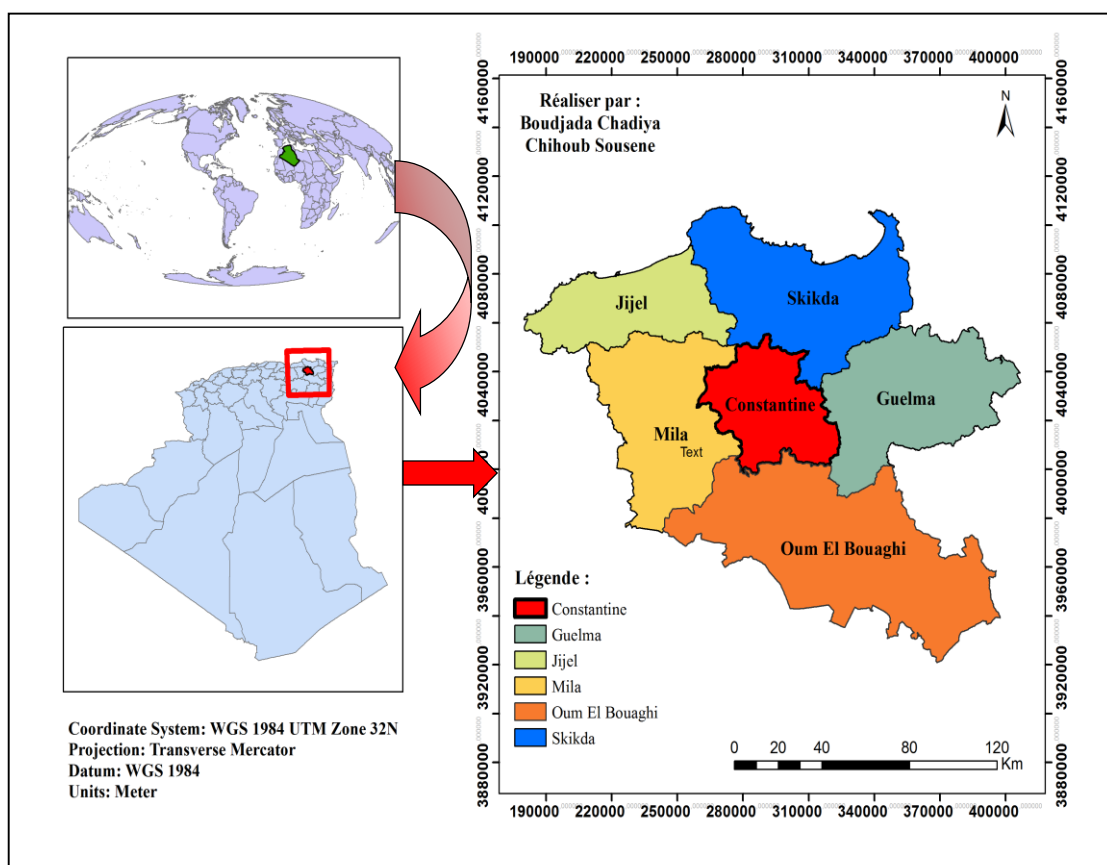


Figure 38 : La carte de situation de la willaya de Constantine

- Il est important de dresser la carte de sismicité de la Wilaya de Constantine : Les données sont obtenues depuis les services CRAAG.

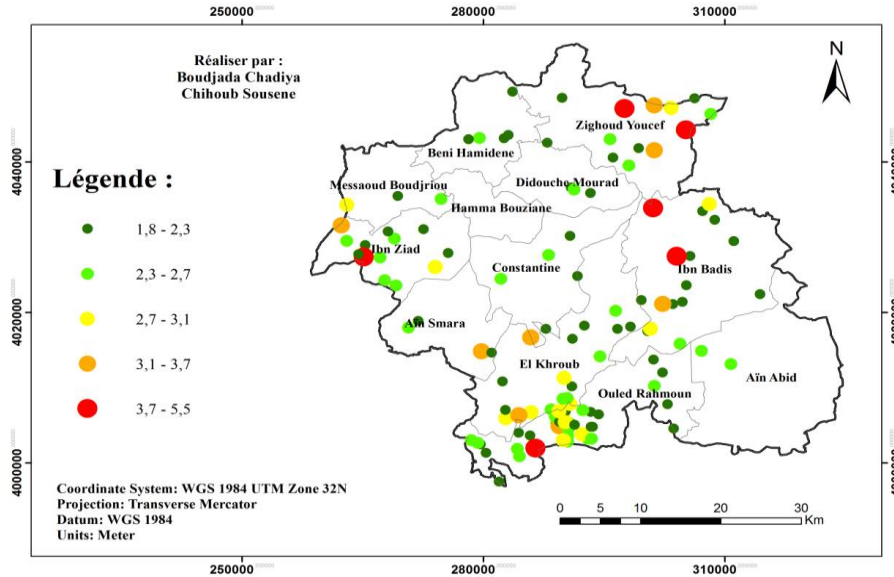


Figure 39 : La carte de la sismicité de la wilaya de Constantine

- Il est important de dresser la carte des failles sismique au niveau de la wilaya, les informations sont obtenues depuis les cartes géologiques et les bases de données des services CRAAG et CGS.

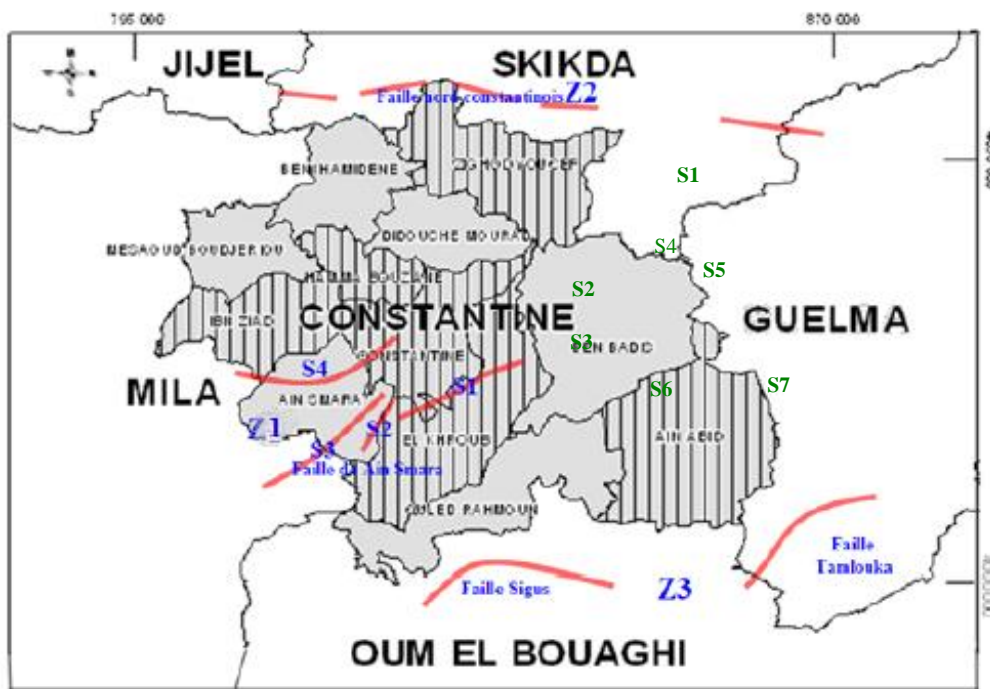


Figure 39 : Carte des failles sismique de la Wilaya de Constantine

- Dans cette étape, on doit localiser les zones d'influence des failles sismiques : cela est possible avec les données physiques de chaque faille.

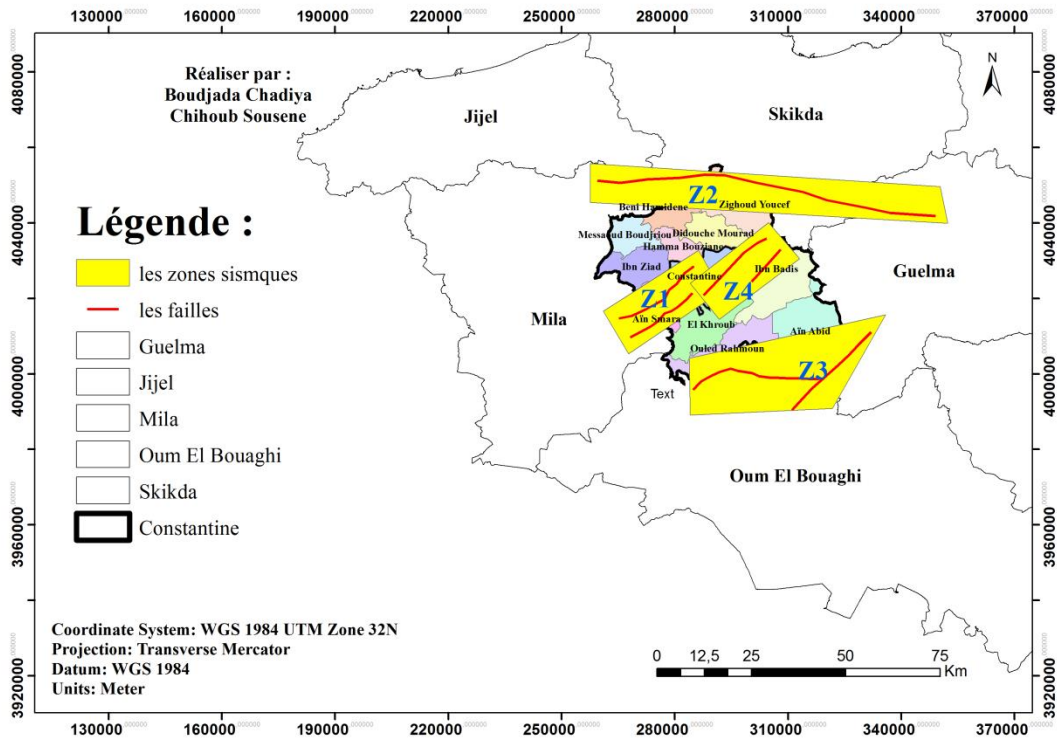


Figure IV.7: La carte des zones sismiques de la willaya de Constantine

- Pour l'élaboration de la carte d'Aléas, on a utilisé un logiciel de pointe appelé R-CRISIS.

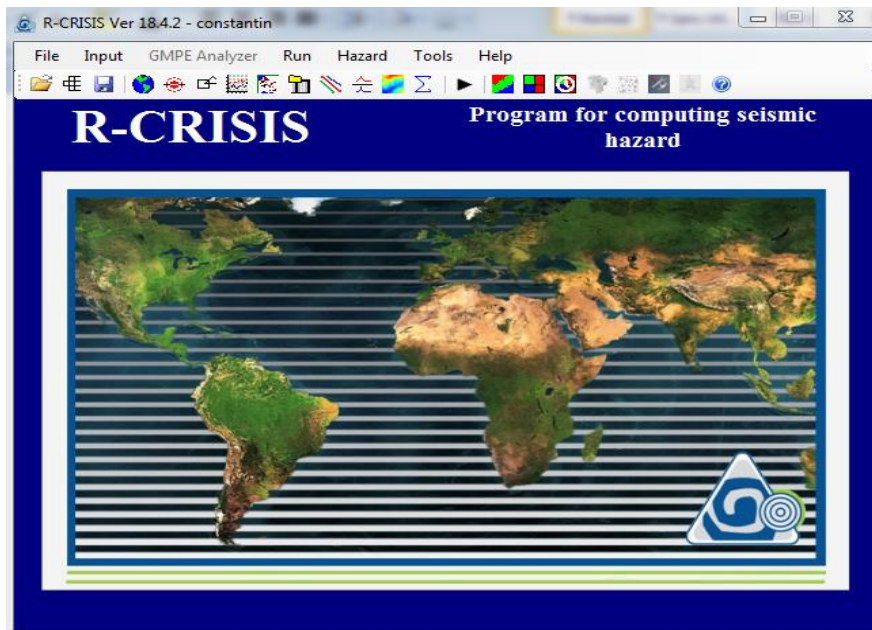


Figure V.1 : Écran principal de CRISIS2015

- Sous environnement R-CRISIS il faut suivre plusieurs étapes (8) qui sont :

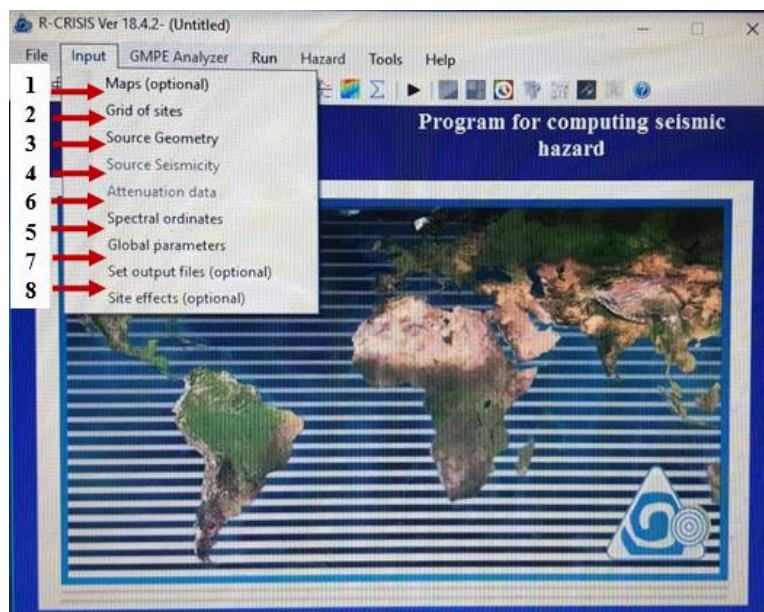


Figure V.1 : Etape à suivre sous CRISIS2015

- Une fois enter tous les paramètres on obtient la carte de l'Aléa sismique suivante.

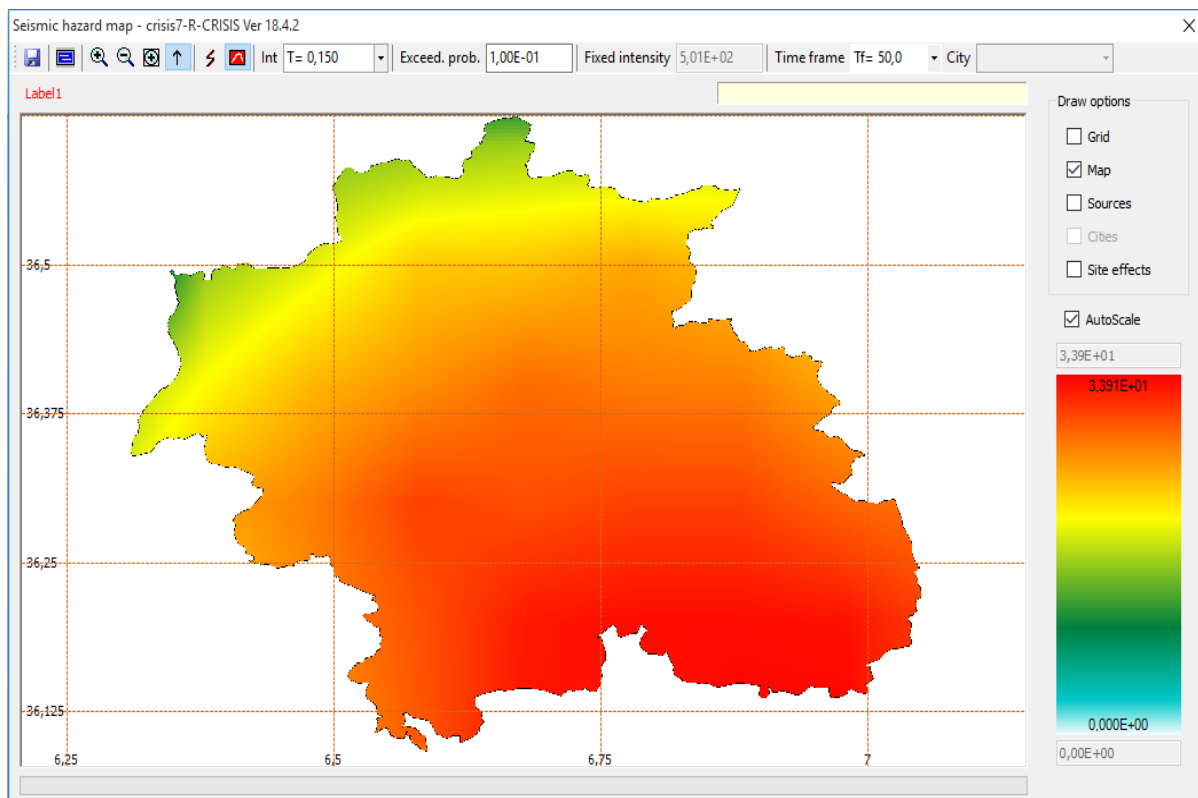


Figure V.12 : la carte Aléas sismique générée par CRISIS2015

- La carte est transférée sous environnement ArcGIS :

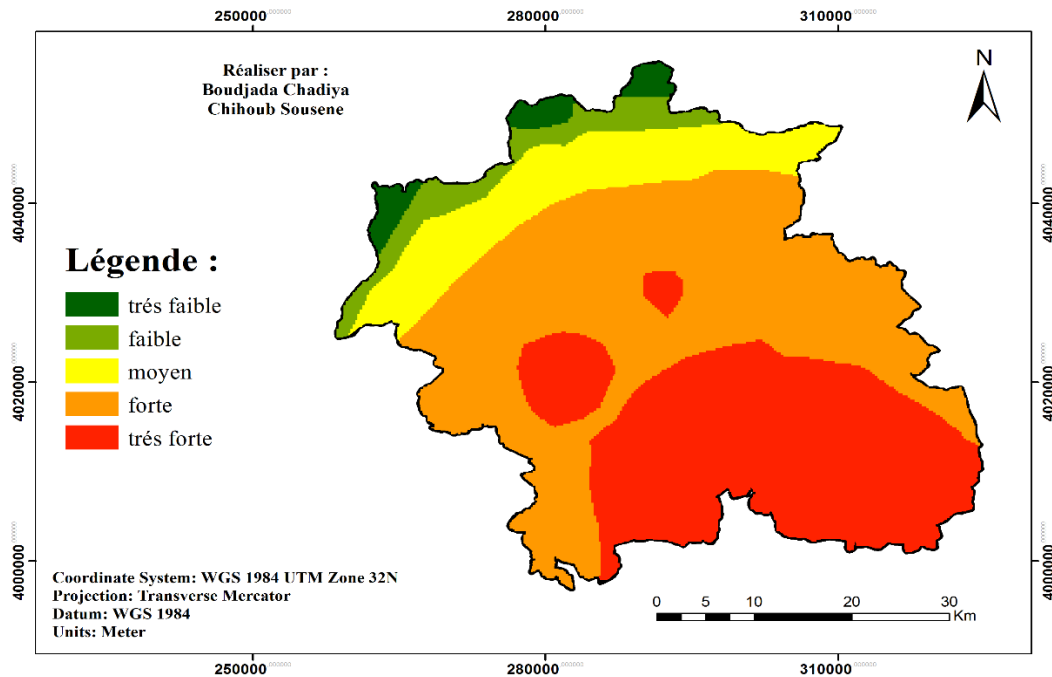


Figure V.12 : la carte Aléas sismique sous environnement ArcGIS

- La superposition avec la sismicité historique permet de faire un travail de validation :

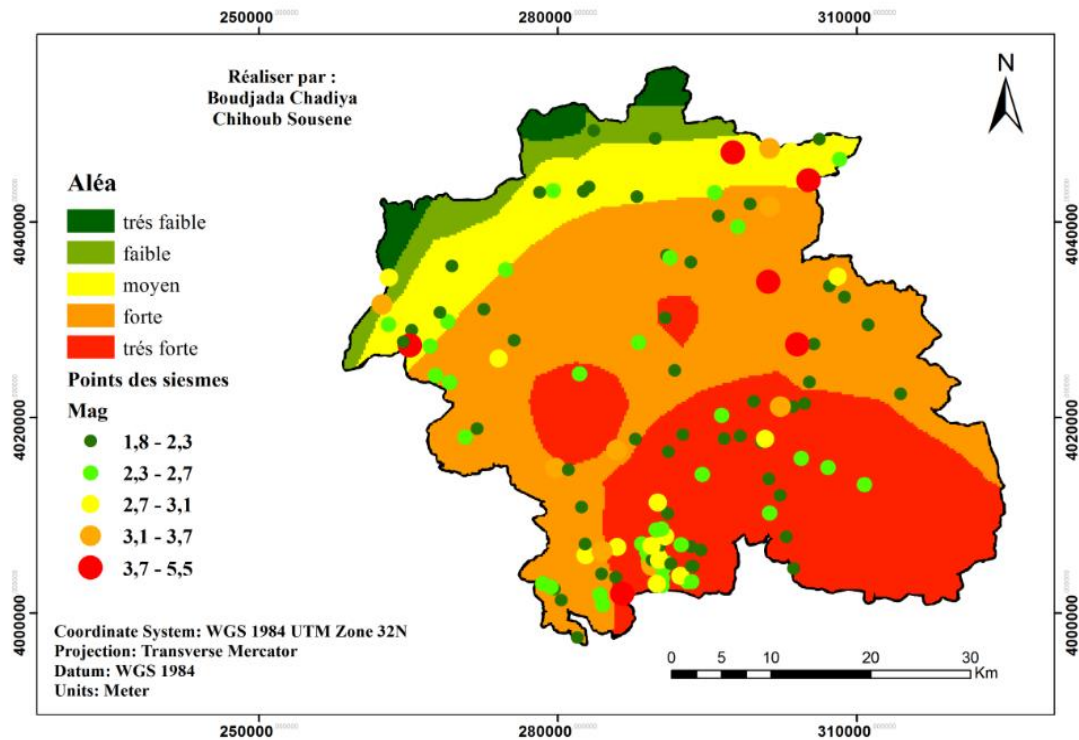


Figure V.21: La carte de validation

- Pour élaborer la carte du risque sismique il est important de dresser la carte de vulnérabilité sismique :

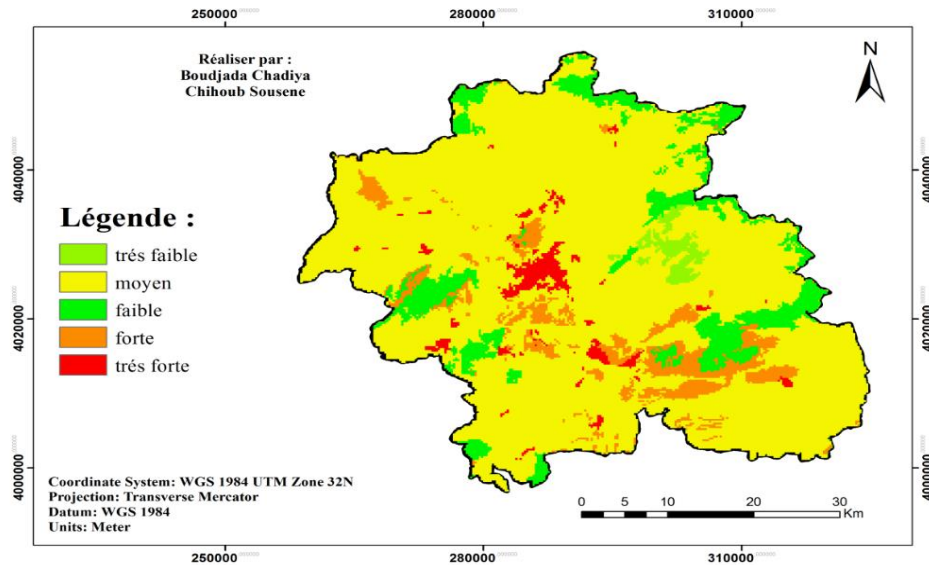


Figure V.16 : La carte d'occupation des sols

La carte de risque sismique :

Avec la combinaison de la carte d'aléa sismique et la carte de vulnérabilité (occupation des sols) on peut obtenir la carte finale de risque sismique de la wilaya de Constantine avec l'application de la formule suivant : $Risque\ sismique = Aléa\ sismique \times Vulnérabilité\ sismique$

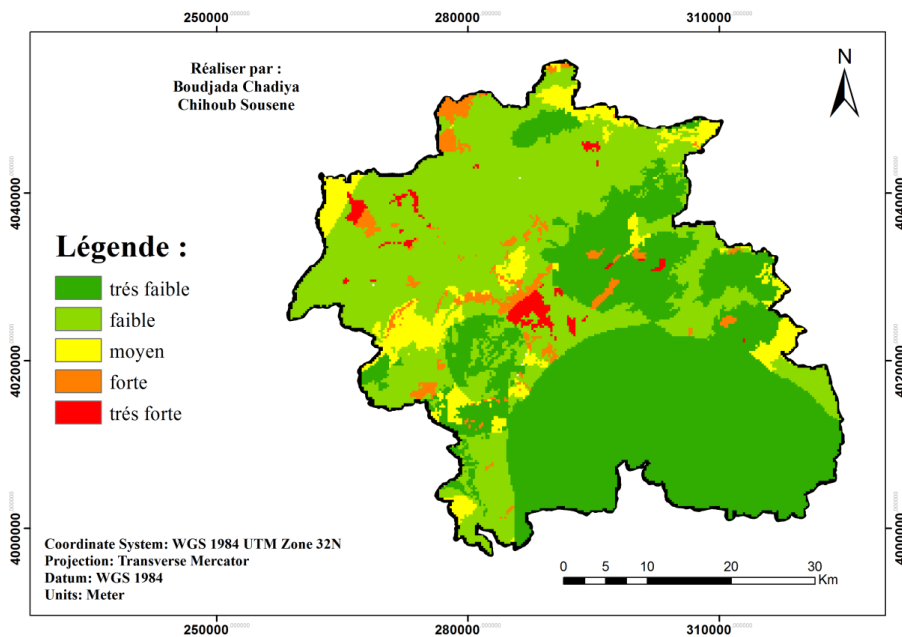


Figure V.23: la carte du risque sismique de la wilaya de Constantine

5. Conclusion :

La représentation cartographique des risques naturels à travers des applications géomatiques est une démarche dont la mise en œuvre est parfois difficile en raison de la grande variabilité des paramètres impliqués. Cette cartographie est un outil indispensable pour l'évaluation des risques. Elle revêt un grand intérêt notamment pour la réglementation de l'aménagement du territoire (Plan Prévention des Risques), l'application des normes de construction (zonage sismique, risque gravitaire) et la sensibilisation des populations.

6. Bibliographie et documentation utile :

- [ALE,1999] Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58(1), 21-44.
- [AST,2021] Compendium du système solaire - La Terre. *Site internet*. Consulté le 15 Janvier 2021. <http://www.astrosurf.com/luxorion/sysol-terre3.htm>
- [BAR,2017] BARKA, Mohamed Kamel. ELABORATION D'UN SIG POUR LA GESTION DE LA VULNERABILITE SISMIQUE DU BATI DU CENTRE-VILLE DE BLIDA. *Academic Journal of Civil Engineering*, 2017, vol. 35, no 1, p. 698-701.
- [BEA,2003] BEAUVAL, Céline. *Analyse des incertitudes dans une estimation probabiliste de l'aléa sismique, exemple de la France*. 2003. Thèse de doctorat. Université Joseph-Fourier-Grenoble I.
- [BOU,2021] Les caractéristiques d'un séisme. *Site internet*. Consulté le 15 Janvier 2021. <http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/les-caracteristiques-d-un-seisme-a1087.html>
- [COU,2021] : écologie. Un désastre difficile à mesurer. *Courrier International*. *Site internet*. Consulté le 15 Janvier 2021. <https://www.courrierinternational.com/article/2010/07/22/un-desastre-difficile-a-mesurer>.
- [ESC, 1995] ESCAP (1995). Rapport de l'Asie-Pacifique sur les risques de catastrophes naturelles et la Réduction des catastrophes naturelles.
- [FEM, 2005] FEMA gestion des mesures d'urgence, module 3. http://training.fema.gov/EMIWeb/downloads/is1_Unit3.pdf.
- [FUT, 2021] : Sous Fukushima, des tremblements de terre sont à prévoir. *Futura Planète, Site internet*. Consulté le 15 Janvier 2021. <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/geologie-sous-fukushima-tremblements-terre-sont-prevoir-36805/>
- [GOO, 2013] : GOOLAUP, Tsepang Maama Fatimah Mumthaz Premchand, MINOL, Edla Kaputu Eileen Turare Kipli, FAALAFI, Maria Kerslake Samuel Phineas Sameulu, et al. Introduction à la gestion des catastrophes. Université Virtuel des petits états du Commonwealth (VUSSC), 2013.

- [LAS, 2007]: Abderrahim Lassouani, cartographie de l'aléa sismique application a la commune de bensekrane (w. tlemcen), en juin 2007, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen.
- [NPI, 2021] : Tremblement de terre de GOLCUK. *NPI, Site internet*. Consulté le 15 Janvier 2021. <https://www.notre-planete.info/photos/404-golcuk>.
- [NED, 2021] **Nedjraoui Dalila et Bédrani Slimane**, « La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 8 Numéro 1 | avril 2008, mis en ligne le 01 avril 2008, consulté le 17 mai 2021. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/5375> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.5375>
- [QUA, 1997] Quarantelli, E.L. (1997) Critères selon les recherches pour évaluer la planification et la gestion des catastrophes. <http://www.udel.edu/DRC/preliminary/246.pdf>
- [LEO,2002] Leone, F. (2002, September). Implications territoriales et socio-économiques des menaces naturelles en Martinique (Antilles françaises): françaises une approche spatiale assistée par SIG/Socio-economic implications of natural hazards in the Martinique Island (French West Indies): a GIS spatial analysis. In *Annales de géographie* (pp. 549-573). Armand Colin.
- [MAL,2003] Malet, J. P. (2003). *Les 'glissements de type écoulement'dans les marnes noires des Alpes du Sud. Morphologie, fonctionnement et modélisation hydro-mécanique* (Doctoral dissertation, Université Louis Pasteur-Strasbourg I).
- [ORRM, 2021] : Principe d'évaluation du risque. *ORRM, Site internet*. Consulté le 15 Janvier 2021. <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/principe-devaluation-risquemonde.fr/news/australie-enfeu>
- [PIN, 2021] : Land slide in Brazil. *PINTEREST, Site internet*. Consulté le 15 Janvier 2021. <https://www.pinterest.com/pin/312085449148167824/>
- [REV, 2015] : REVET, Sandrine. Compter et raconter les catastrophes. *Communications*, 2015, no 1, p. 81-92.
- [SEC, 2021] : Des observations satellites pour lutter contre les inondations. *SEC, Site internet*. Consulté le 15 Janvier 2021. <http://www.scientifique-en-chef.gouv.qc.ca/impacts/observations-satellites-pour-lutter-contre-les-inondations/>
- [WAR, 2005] Warfield, C. (2005) Cycle de Gestion des Catastrophes http://www.gdrc.org/uem/disasters/1-dm_cycle.html

ANNEXE EXEMPLE
D'APPLICATION :

La Logique Flou en risque naturel

(Communication personnelle)
Séminaire sur les Géo risques Mila
2021



Application of fuzzy logic in the preparation of hazard maps of landslides induced by earthquakes at Mila basin (Algeria)

DR. MEZHOUD SAMY

DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOGRAPHIQUES ET
DE LA TOPOGRAPHIE, UNIVERSITE FRERES
MENTOURI CONSTANTINE 1



PLAN DE LA PRESENTATION

INTRODUCTION

LA LOGIQUE FLOUE

LA ZONE D'ETUDE

MÉTHODOLOGIE ADOPTÉE

RÉSULTATS ET PERFORMANCES

CONCLUSIONS ET
RECOMMANDATIONS



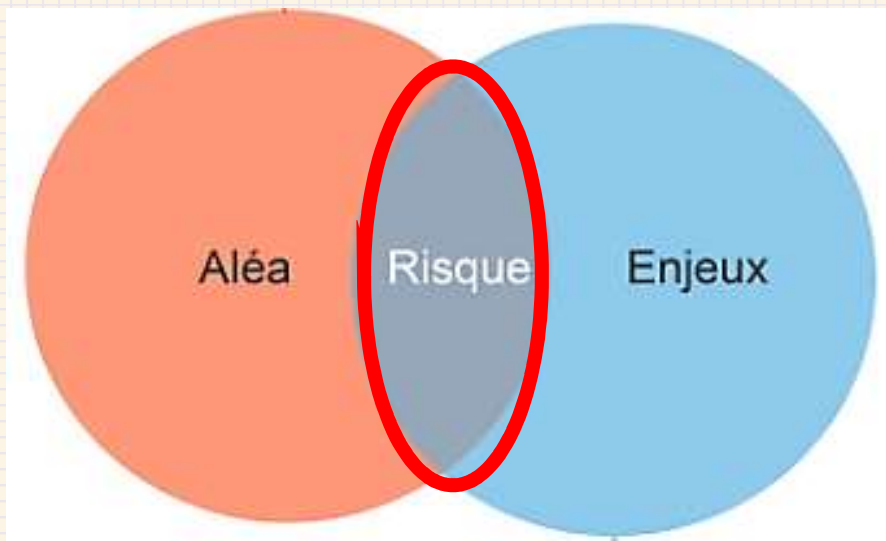
Les glissements: un phénomène global

- ❖ Selon la base de donnée mondiale des risques naturels (EM-DAT), il représente **5% des évènements enregistrés entre 1990 et 2015**.
- ❖ Chaque année plus de **4000 glissements de terrain** sont dénombrés provoquant le décès de plus de **5000 personnes**.
- ❖ L' USGS estime le coût annuel des glissements aux États-Unis équivalent au coût des séismes (**2 à 4 milliards de dollars**)



In this March 24, 2014, photo, the massive mudslide that killed 43 people in the community of Oso, Wash., is

L'évaluation du risque « glissement de terrain » une nécessité absolue



Le risque est défini par l'interaction entre facteurs d'endommagement (aléas) et facteurs de vulnérabilité (peuplement, répartition des biens).

« $\text{risque} = \text{aléa} \times \text{vulnérabilité}$ »
MALET (2006)



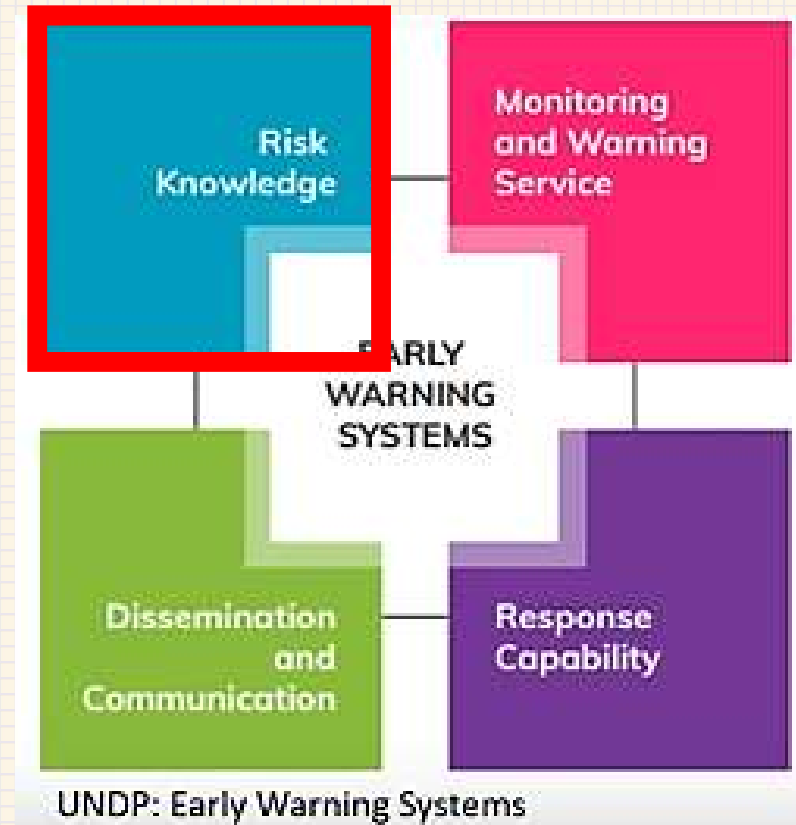
La cartographie spatiale du risque « glissement de terrain » nécessite la combinaison **des cartes de susceptibilité** et des cartes de conséquences

Les systèmes d'alerte précoces

Dans le cadre d'un **système d'alerte précoce**, les cartes de susceptibilité font partie du « **Risk Knowledge** » de la zone d'étude.

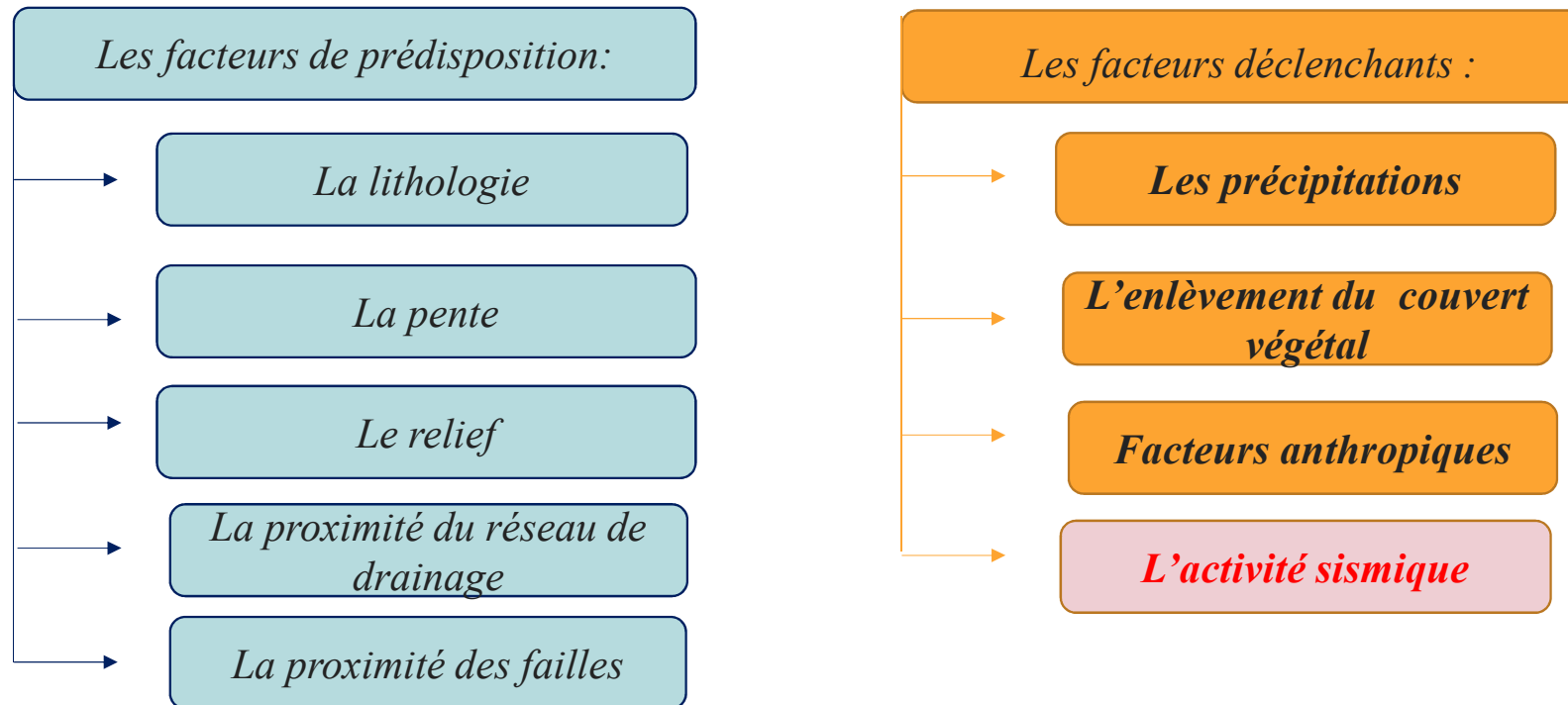
La susceptibilité représente la probabilité d'occurrence spatiale du phénomène pour plusieurs facteurs de prédisposition environnementaux.

Les cartes de susceptibilité ne donnent pas d'information sur la magnitude d'un événement, mais elles indiquent qualitativement son degré d'occurrence (fort, modéré, faible) ou quantitativement (densité /Km²).



Les facteurs influant un mouvement de terrain?

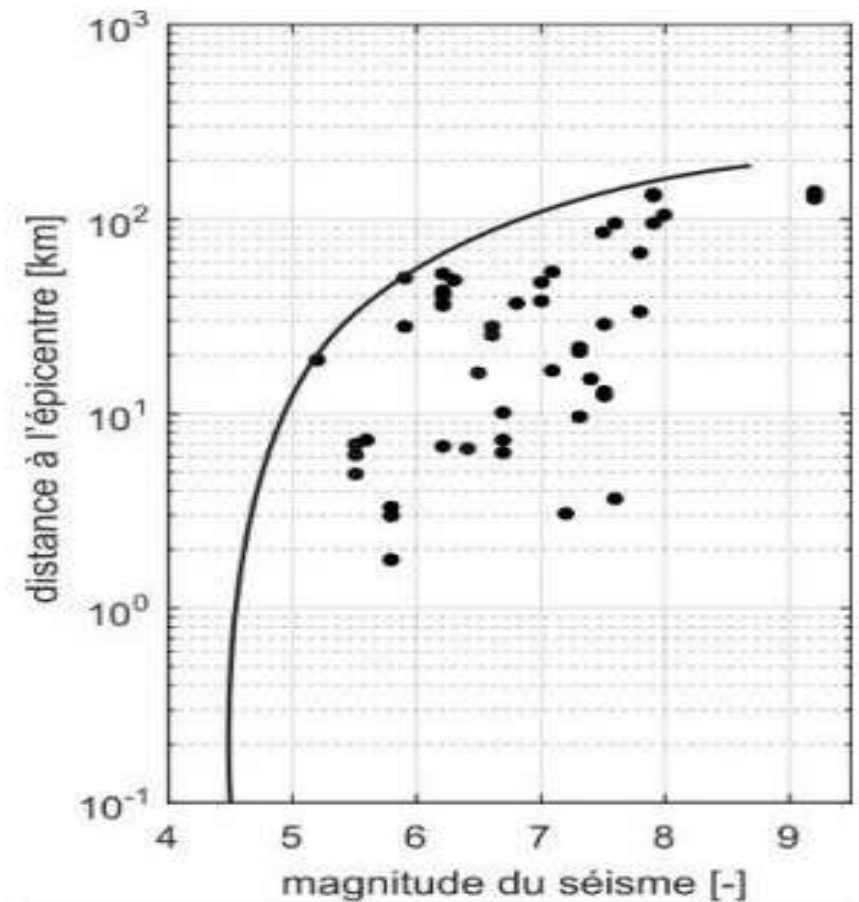
D'un points de vue général les facteurs qui influent les glissements de terrain sont :



Les séismes peuvent-ils déclencher des mouvements de terrain ?

La plupart des instabilités sont déclenchées par des séismes de magnitude modérée à élevée, typiquement supérieure à 5 [Gishig, 2016]

La plupart de ces mouvements de terrain ne se produisent pas au-delà d'une certaine distance à la source du séisme:



Quelles sont les caractéristiques et impacts de ces mouvements?

Les séismes déclenchent généralement des mouvements de terrain superficiels.

Toutefois, le volume des instabilités peut parfois atteindre plusieurs millions de m³ (séisme du 31 Mai 1970 au Pérou).



Lors du séisme du 13 Janvier 2001 au Salvador, le mouvement de terrain a coûté la vie à plus de 500 personnes soit près des 2/3 des victimes associées à ce séisme.

Le séisme du 08 Octobre 2005 au Pakistan, 30% du nombre total de victimes soit 26 500 personnes ont été tuées par le glissement.



Landslides Triggered by the October 8, 2005, Pakistan Earthquake and Associated Landslide-Dammed Reservoirs

By Edwin L. Harp and Anthony J. Crone



Open-File Report 2006-1052



Mouvement de terrain induit par séisme en Algérie Cas de la zone KHERBA Mila



Quelle méthode à utiliser pour l'étude des mouvements de terrain ?

L'ampleur de la zone d'étude

Quantitative

Déterministes

Modèles statistiques

Approches probabilistes

Type de glissement

Qualitative

Analyse géomorphologique

Heuristique (superposition de couche et d'indice)

L'emploi de la logique floue

Disponibilité des données

Complexité et variabilité de la zone d'étude

Objectifs de l'étude

Ressources

Présentation de la méthode logique floue:

Définition : La logique floue est une extension de la logique booléenne qui permet la modélisation des imperfections des données et qui se rapproche dans une certaine mesure de la flexibilité du raisonnement humain.

Créée par le Professeur Lotfi Zadeh en 1965 en se basant sur sa théorie mathématique des ensembles floue.

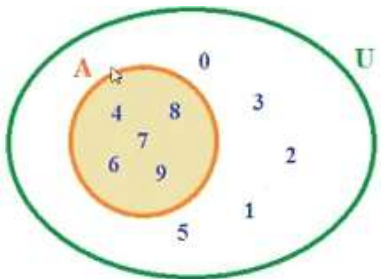
Champs d'application

- ✓ Aide à la décision, intelligence artificielle.
(domaine médicale, orientation professionnelle ...)
- ✓ Reconnaissance de forme.
- ✓ Commande floue de systèmes...
- ✓ Agrégation multicritère et optimisation.



Ensemble flou- Fonctions d'appartenance

Soient U l'univers du discours et A un sous ensemble de U :



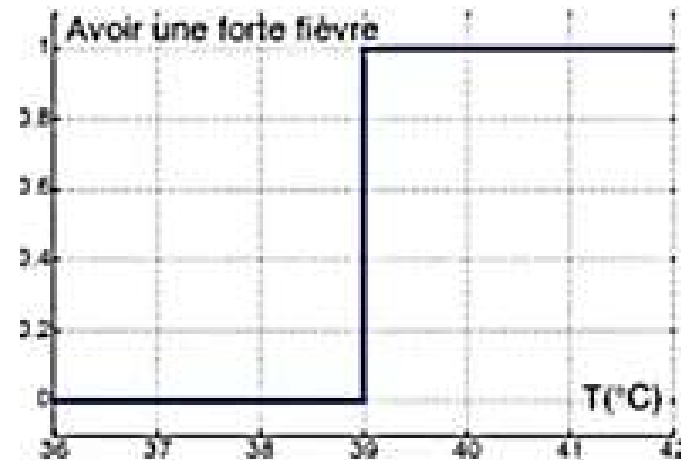
Théorie classique des ensembles

Si μ_A est la fonction d'appartenance
Caractéristique de l'ensemble A on a :

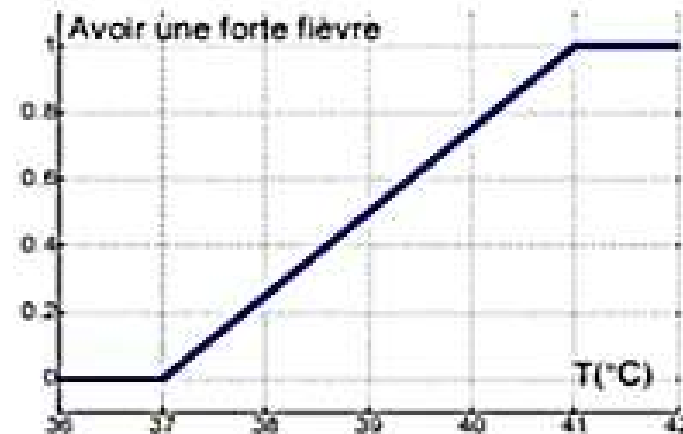
$$\forall x \in U \begin{cases} \mu_A(x) = 0 & \text{si } x \notin A \\ \mu_A(x) = 1 & \text{si } x \in A \end{cases}$$

Théorie des ensembles flous

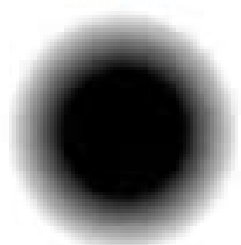
$$\forall x \in U \quad \mu_A(x) \in [0, 1]$$



Classique



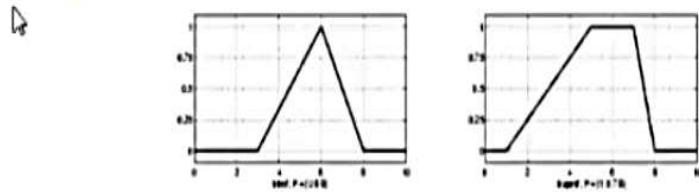
flou



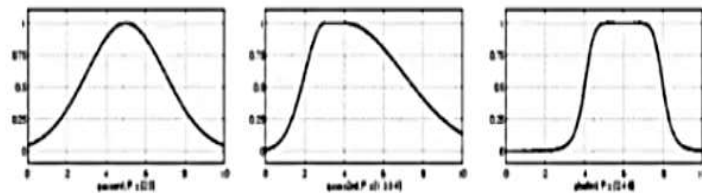
Fonctions d'appartenance et opérateurs flous:

Les fonctions d'appartenance peuvent avoir diverses :

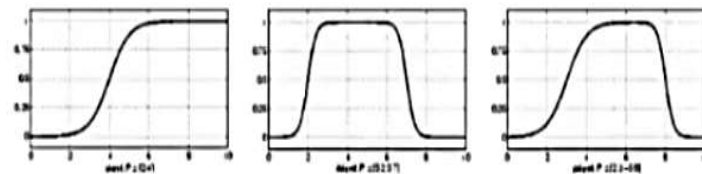
■ triangulaire, trapézoïdale,



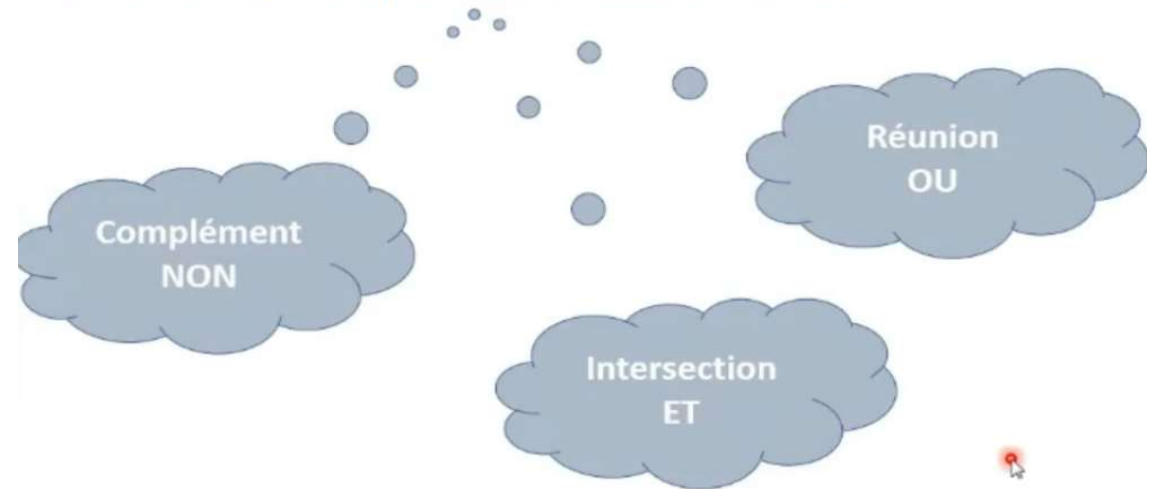
■ Gaussienne,



■ Sigmoides...

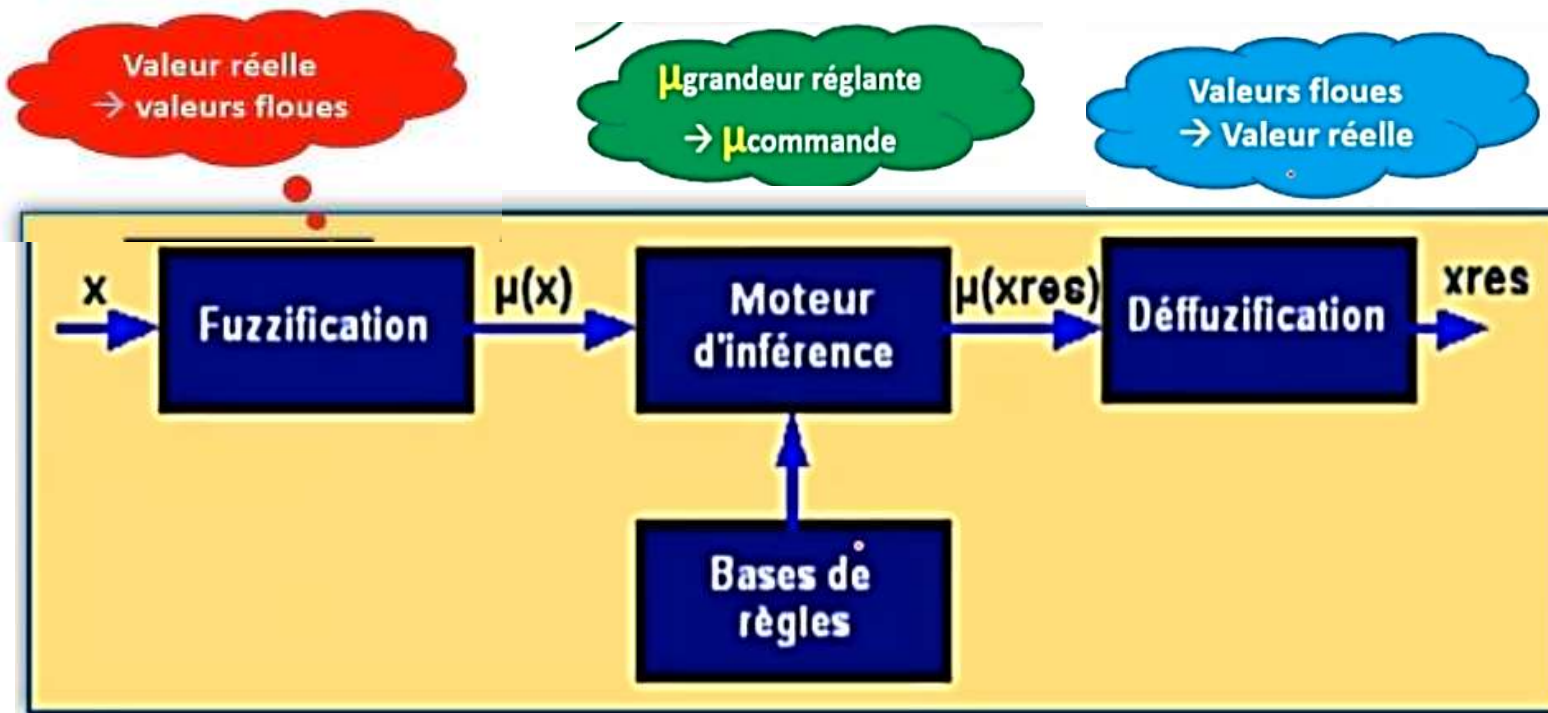


Comme pour la théorie classique des ensembles, on définit la réunion, l'intersection, le complément, ... d'ensembles flous,



Dénomination	Intersection ET (t-norme)	Réunion OU (t-conorme)	Complément NON
Opérateur de Zadeh MIN/MAX	$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
Probabiliste PROD/PROBOR	$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$

Structure de la commande floue

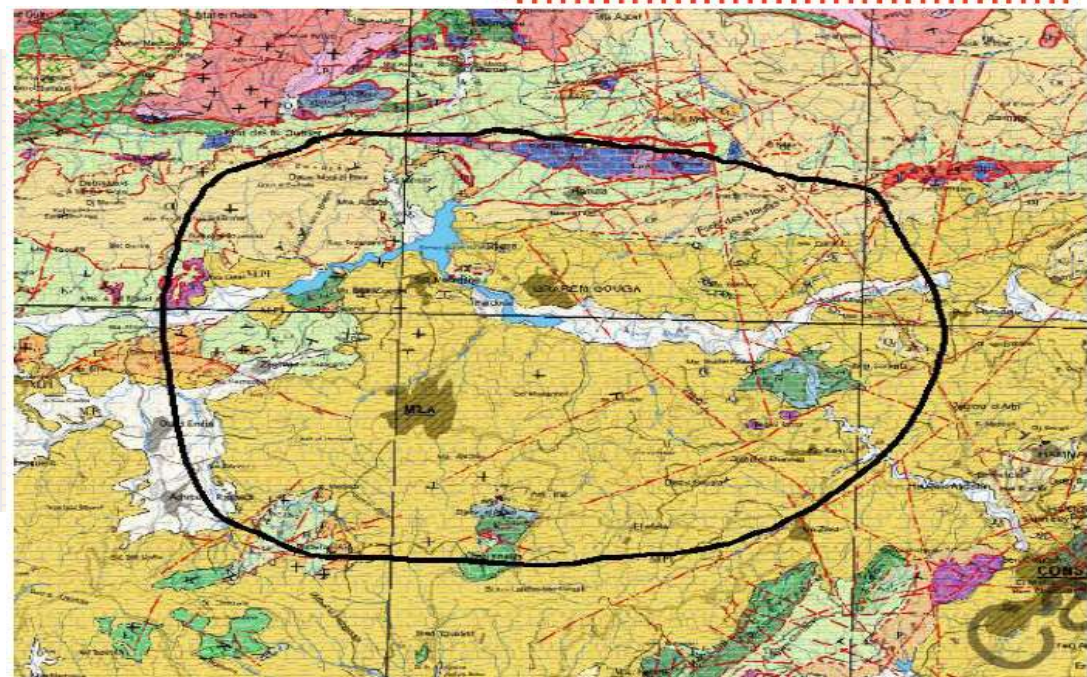
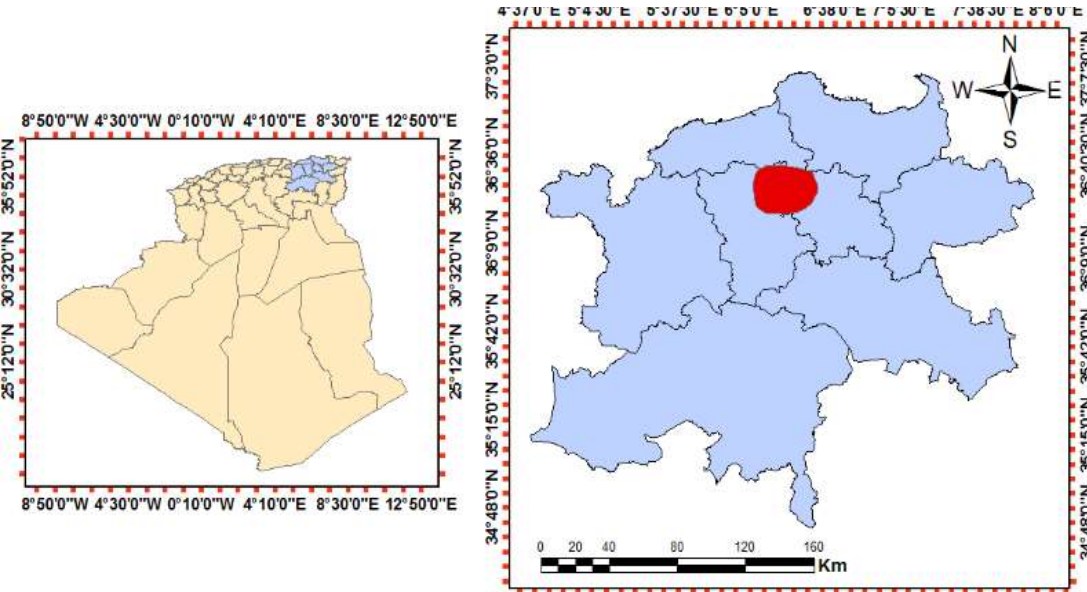


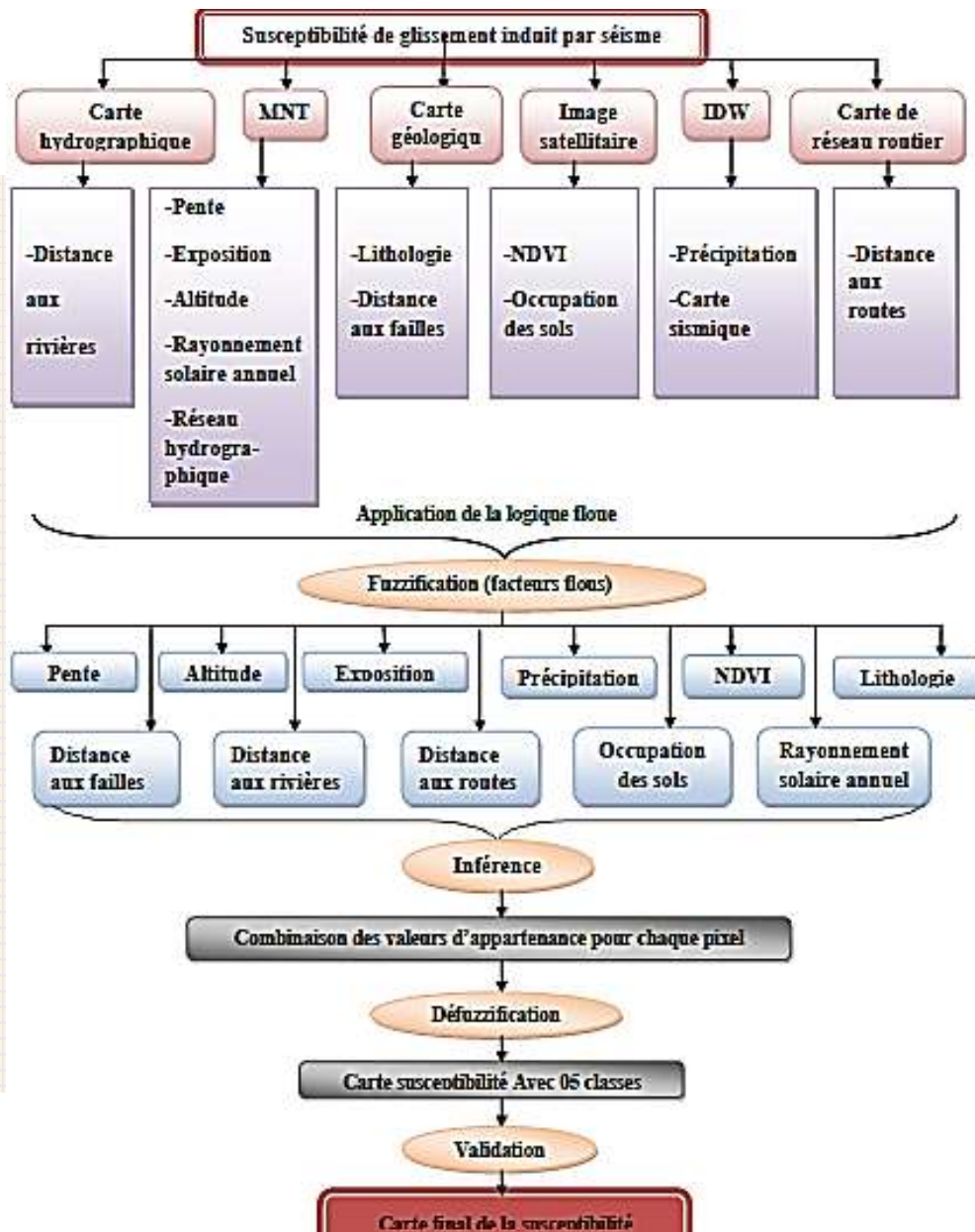
LE CAS D'ETUDE

LE BASSIN DE MILA

Le secteur étudié fait partie du bassin néogène de Mila, il est situé à 50 kilomètres au Nord-Ouest de Constantine, et il couvre la partie centrale de W. Mila

La région de Mila montre une complexité géologique et tectonique due à la conjugaison de plis et faille d'âge et style multiples.





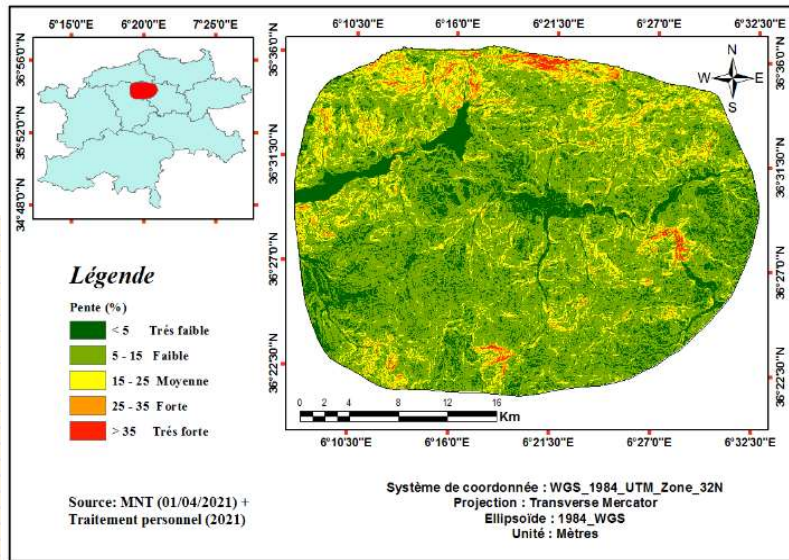
METHODOLOGIE ADOPTÉE

METHODE LOGIQUE FLOUE

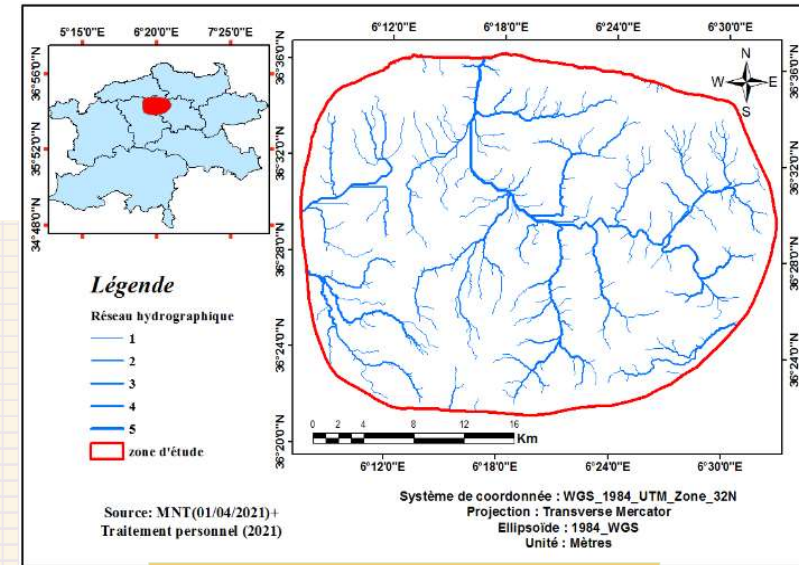
LES FACTEURS DE PRÉDISPOSITION



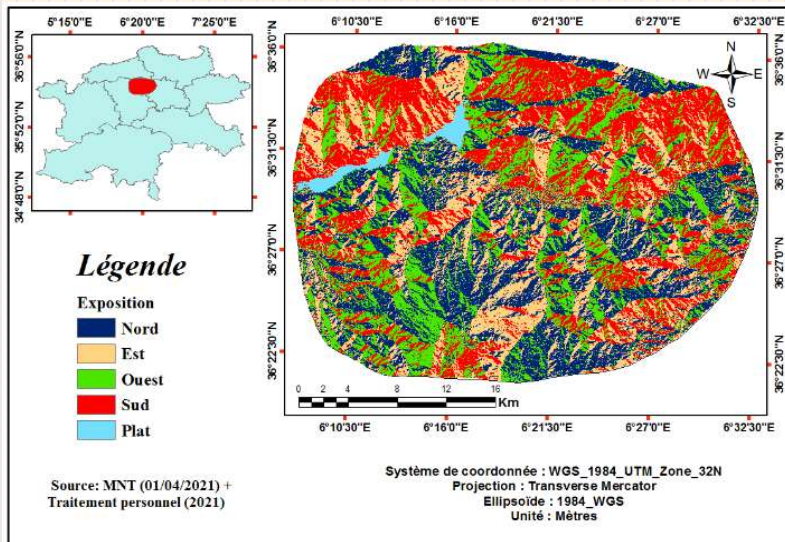
1- La pente :



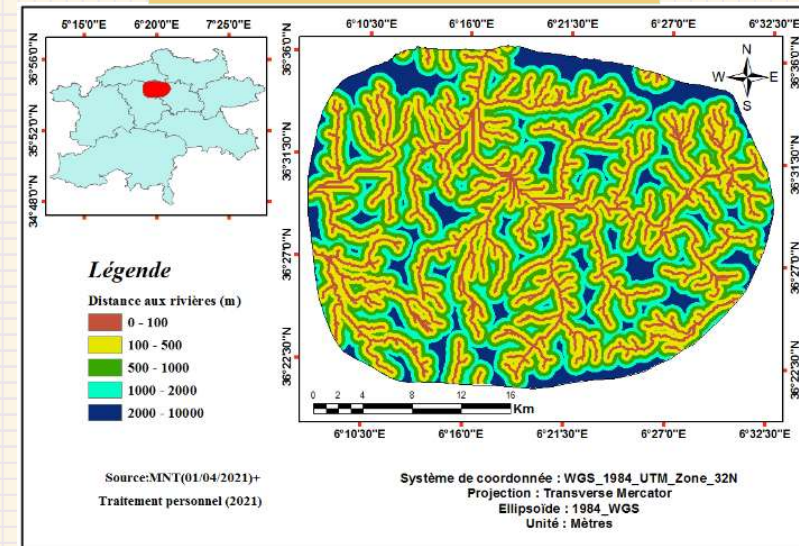
3- Le réseau hydrographique :



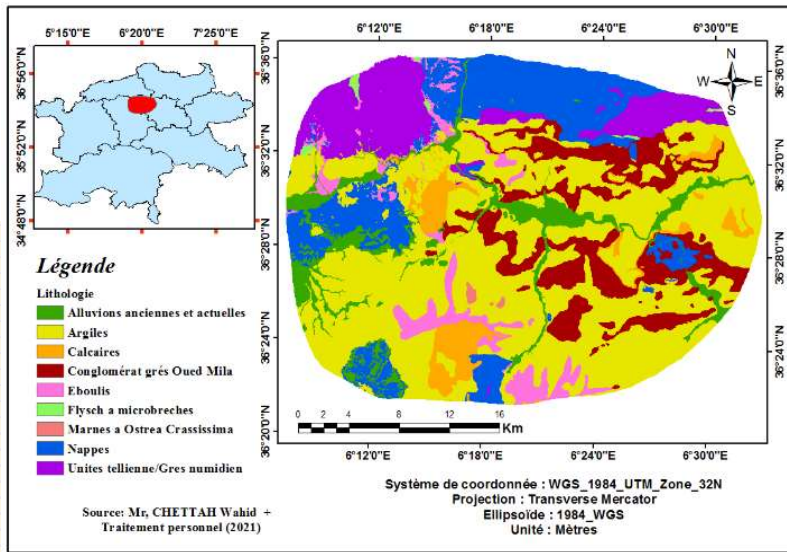
2- L'exposition :



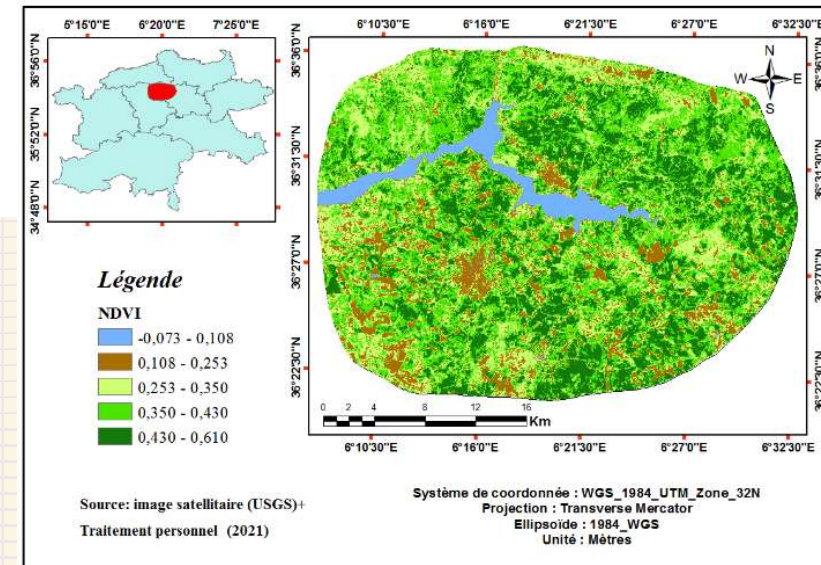
4- Distance aux rivières :



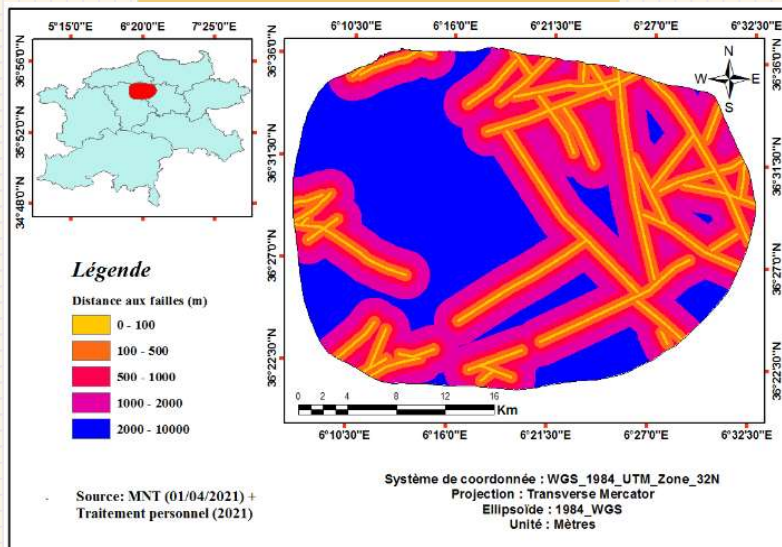
5- La lithologie :



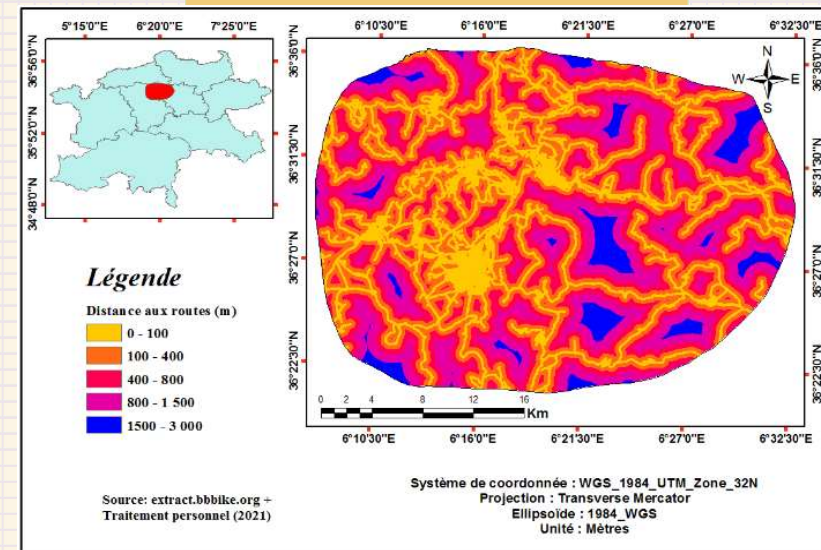
7- L'indice NDVI :



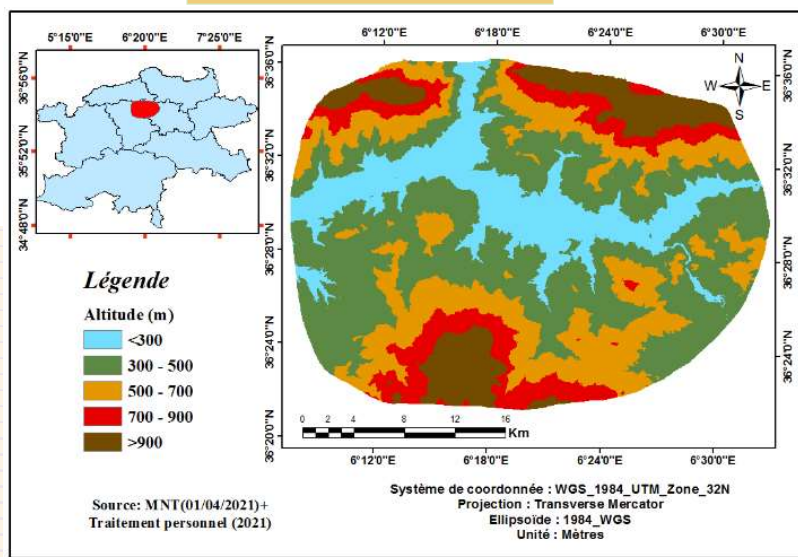
6- Distance aux failles :



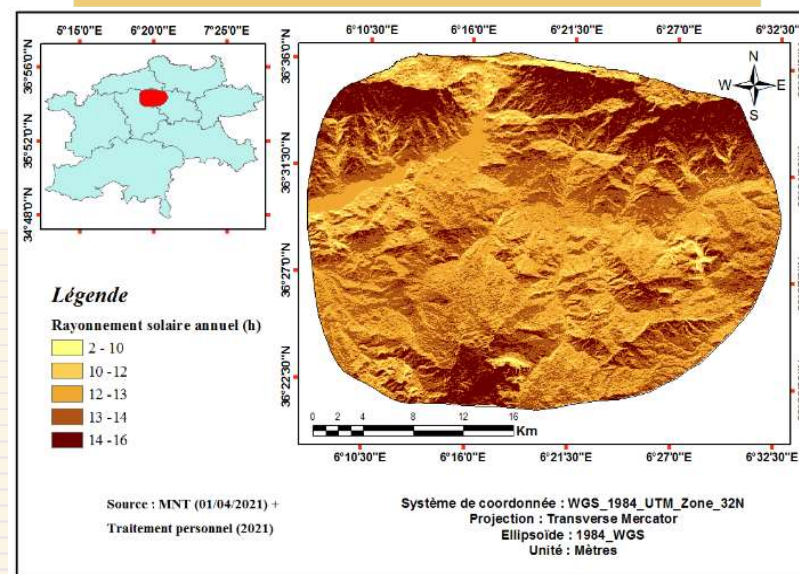
8- Distance aux routes :



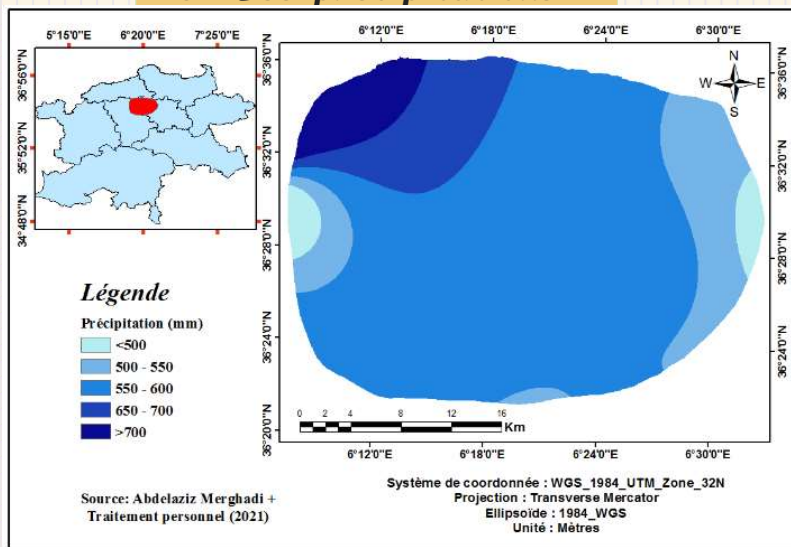
9- L'altitude :



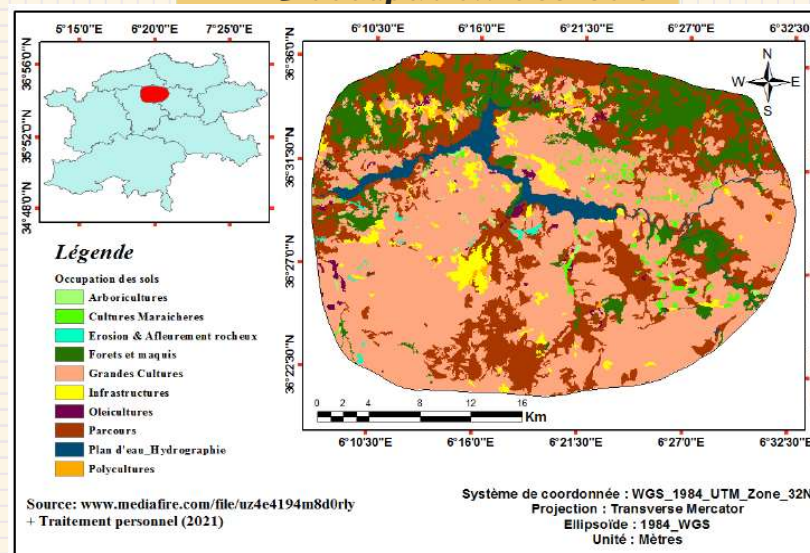
11- Le rayonnement solaire annuel



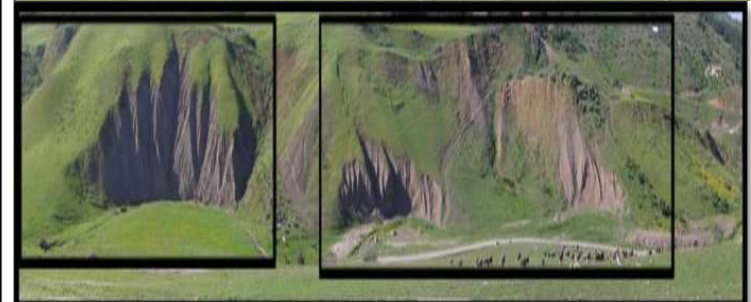
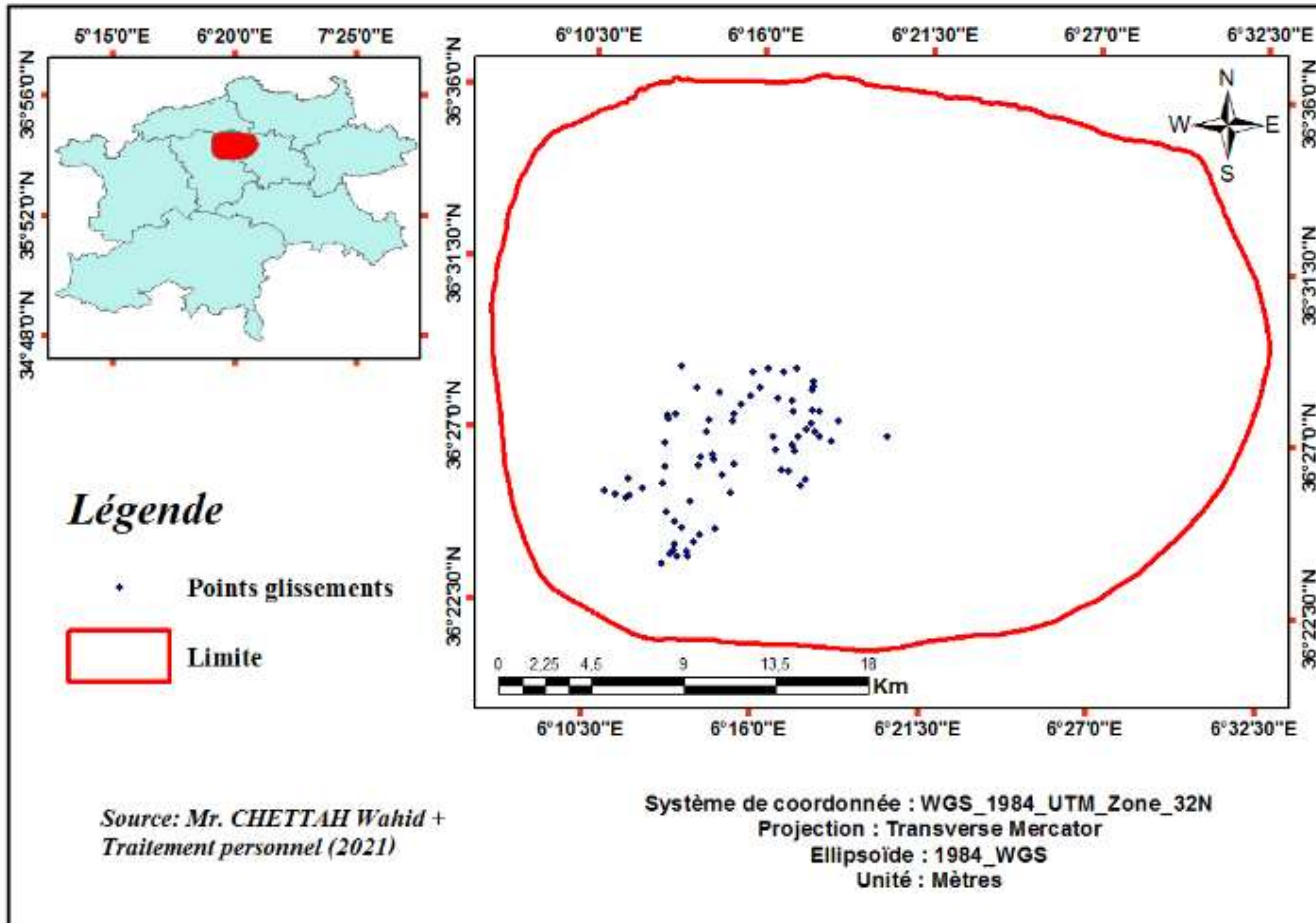
10- Les précipitations:



12- L'occupation des sols



13- La carte d'inventaire glissement:



LES FACTEURS DÉCLENCHANTS

■
■

L'ACTIVITÉ SISMIQUE



La carte seismotectonic du Nord-Est Algérien

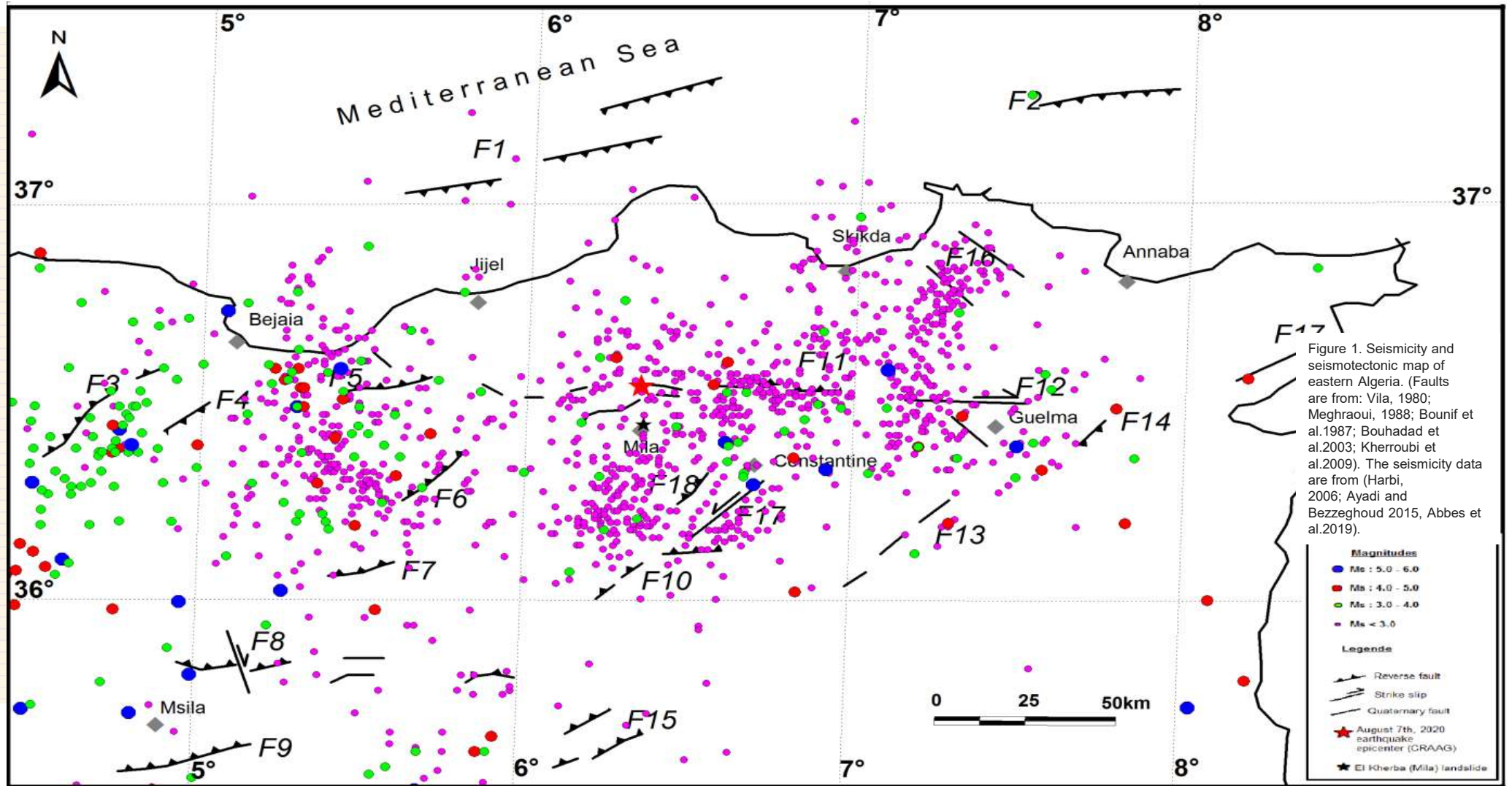
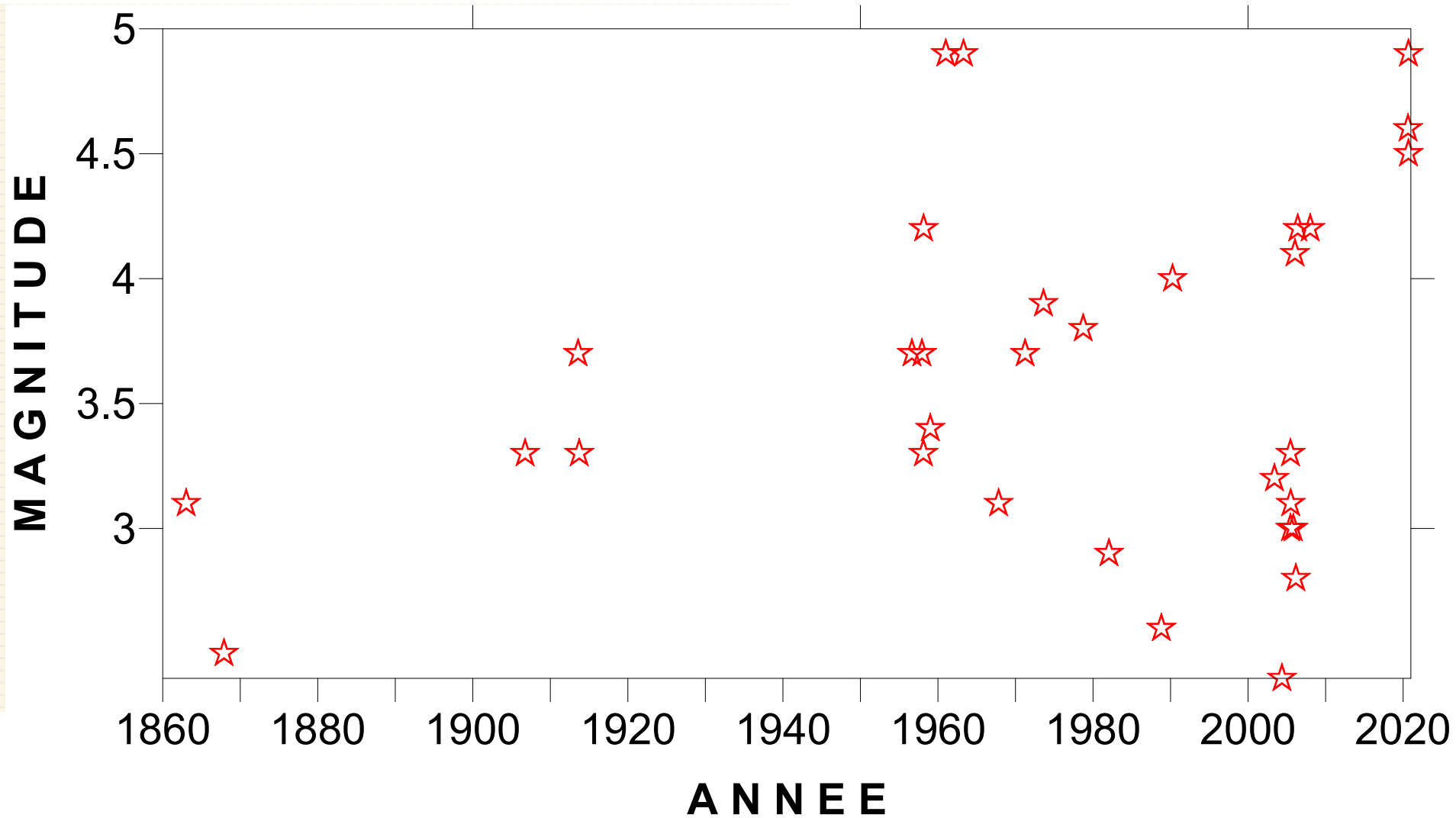
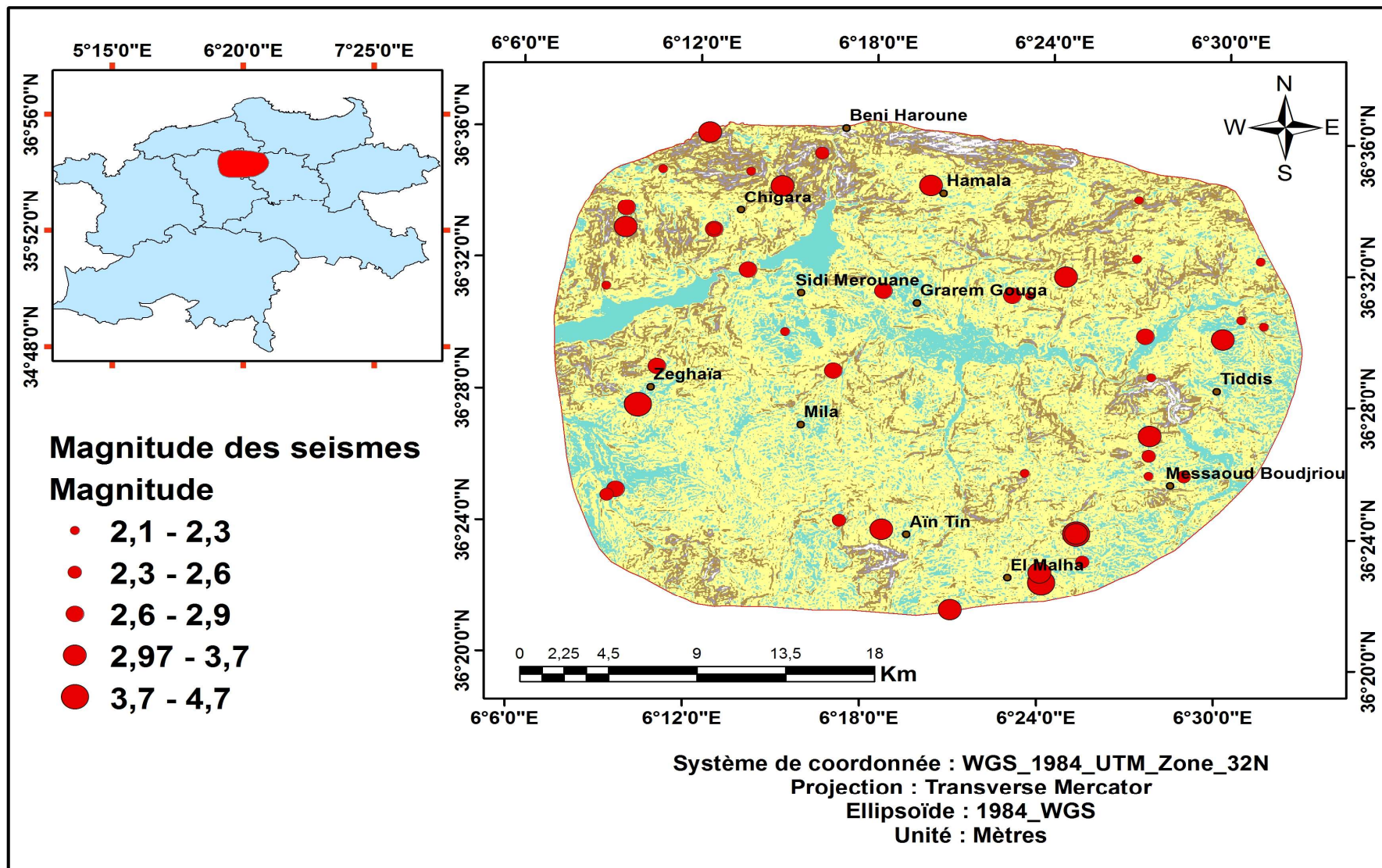


Figure 1. Seismicity and seismotectonic map of eastern Algeria. (Faults are from: Vila, 1980; Meghraoui, 1988; Bounif et al.1987; Bouhadad et al.2003; Kherroubi et al.2009). The seismicity data are from (Harbi, 2006; Ayadi and Bezzeghoud 2015, Abbes et al.2019).

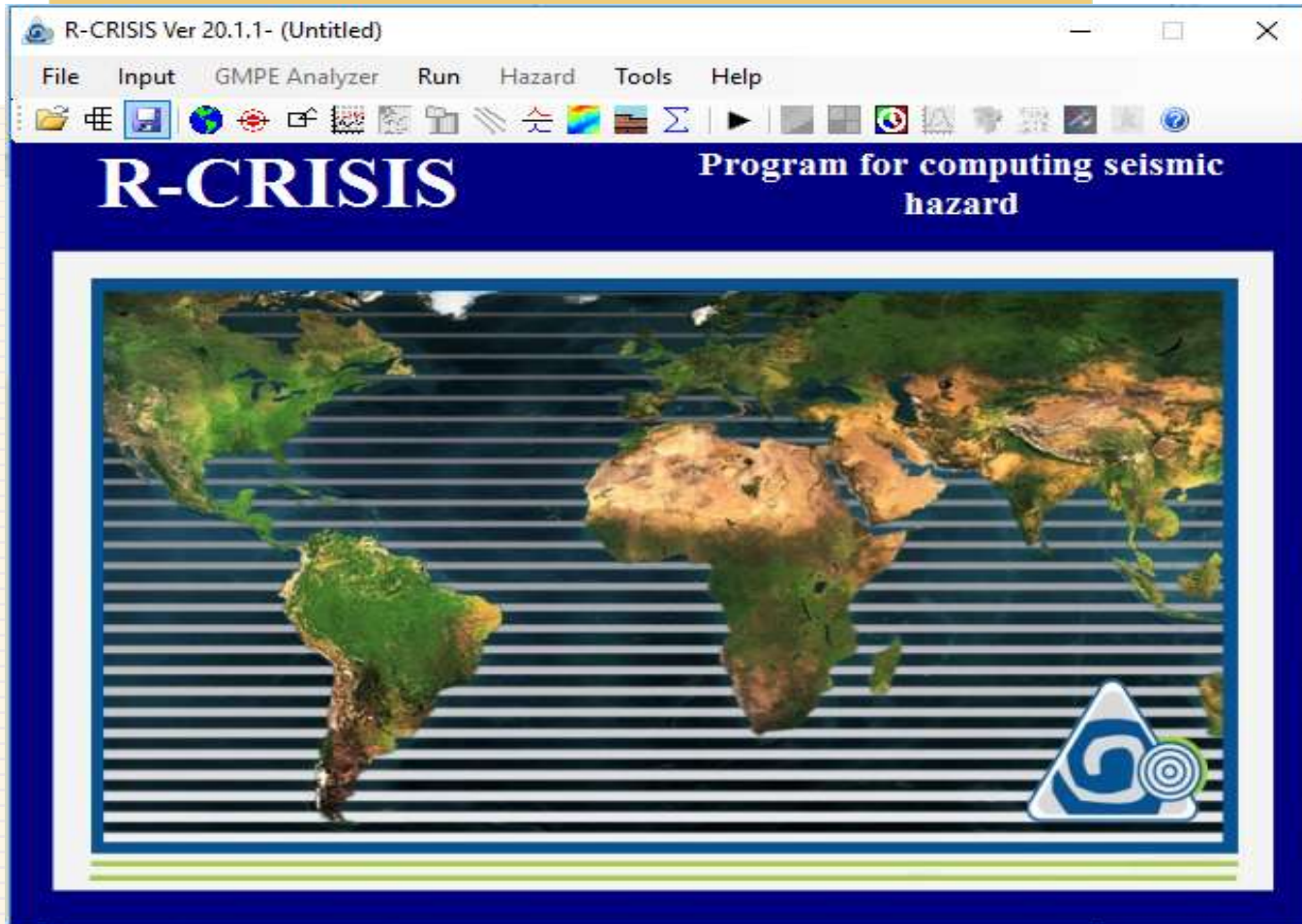
Distribution temporelle de la sismicité



Distribution spatiale de la sismicité



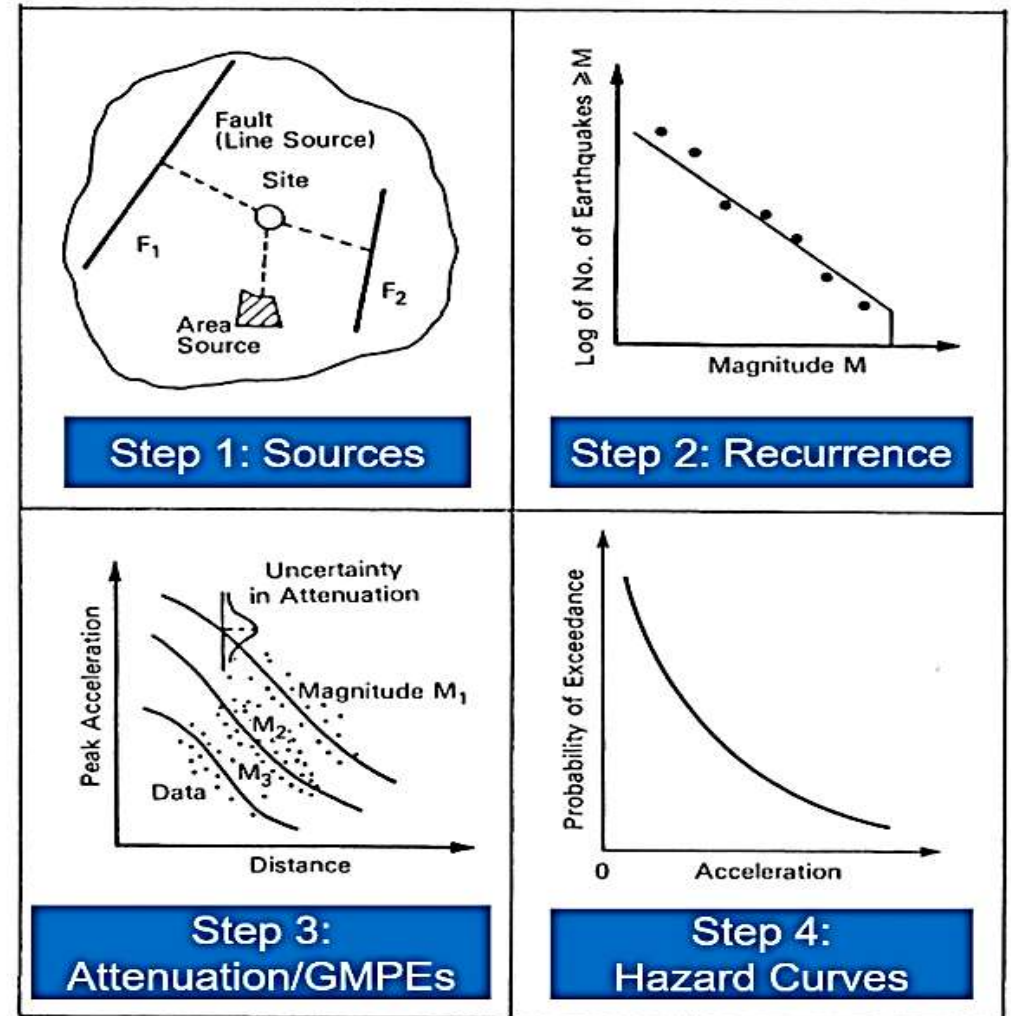
PRESENTATION DU LOGICIEL R-CRISIS



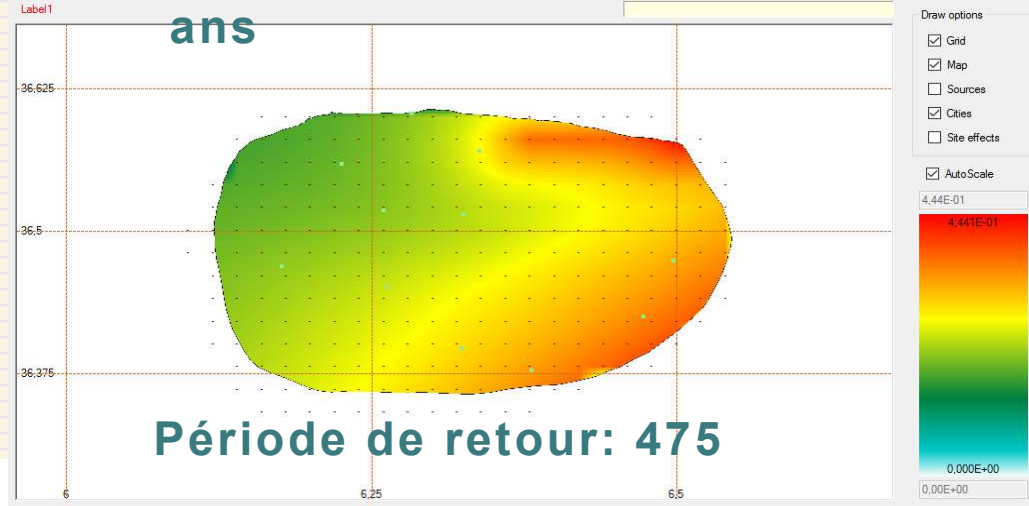
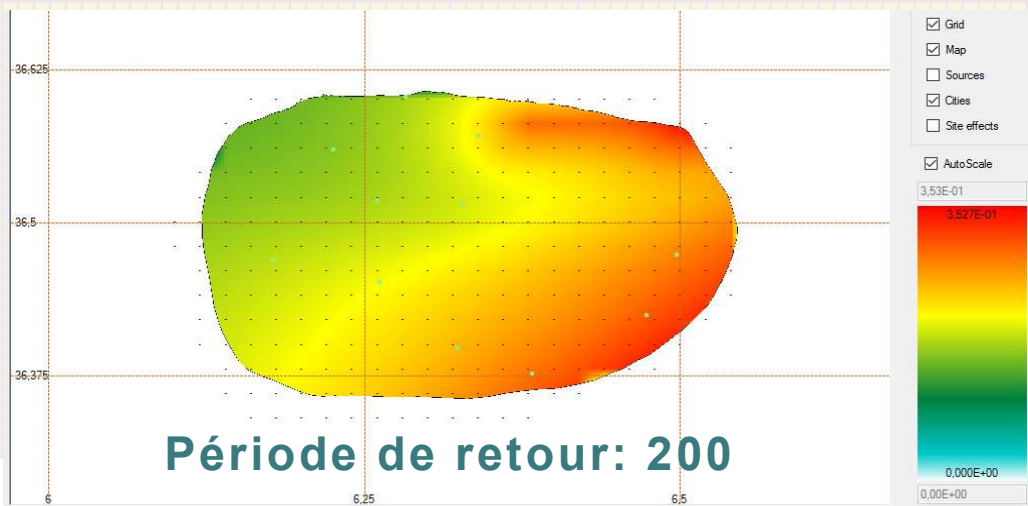
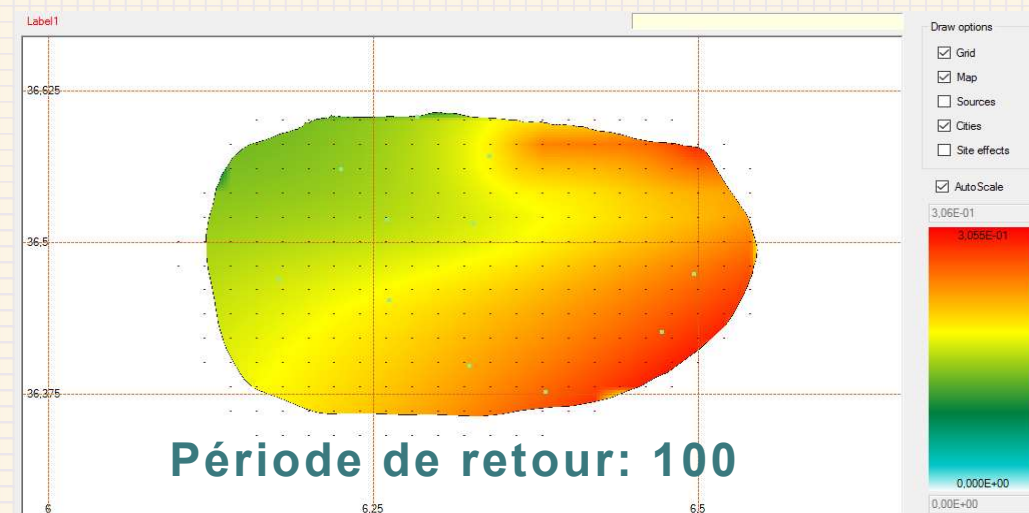
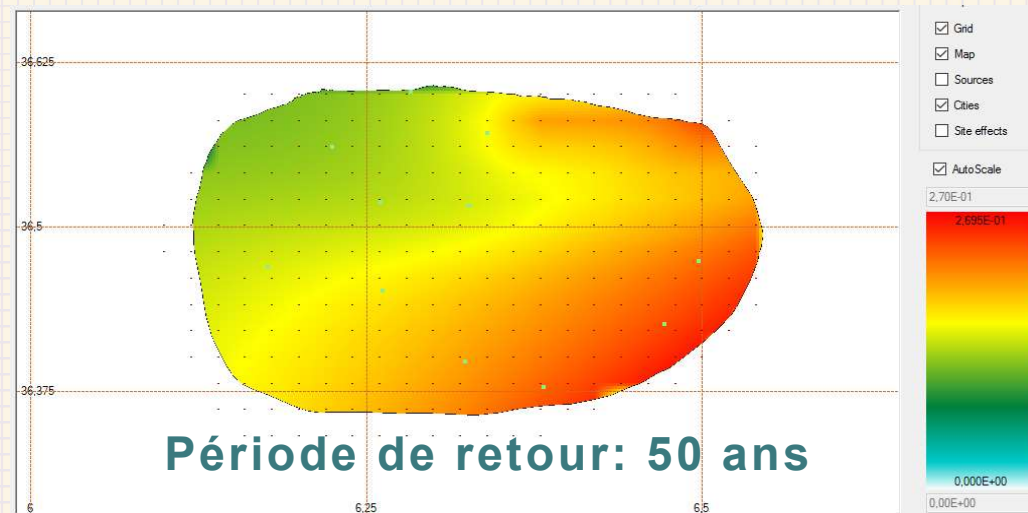
R-CRISIS est une solution mondialement connue pour effectuer des analyses probabilistes des risques sismiques (PSHA).

Méthodologie pour la réalisation d'une carte d'Aléa sismique

- ❑ Identification des sources sismiques potentielles;
- ❑ Introduire les paramètres de sismicité (Modified Gutenberg-Richter model);
- ❑ Sélection des lois d'atténuation appropriées;
- ❑ Introduction du spectre de réponse



LES CARTES ALEA SISMIQUE

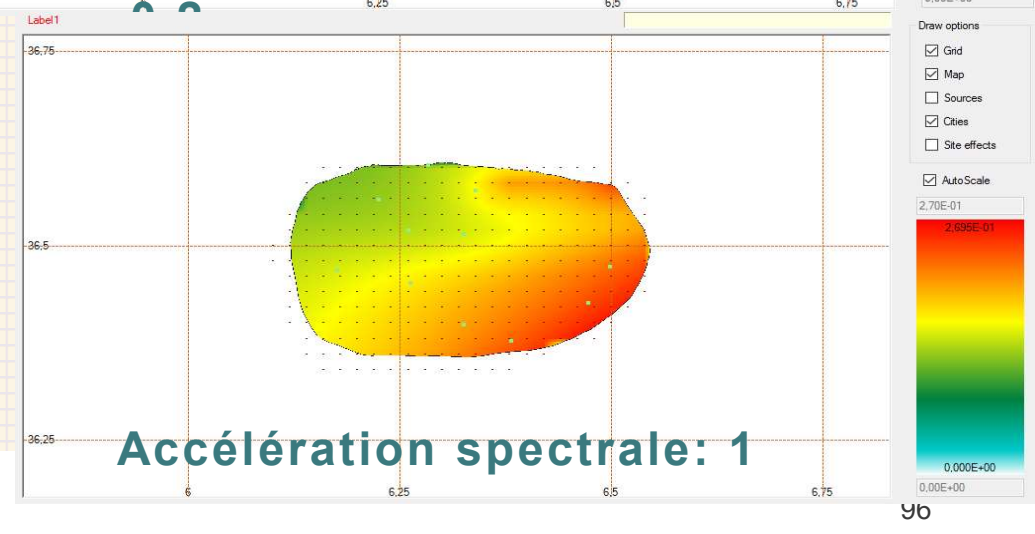
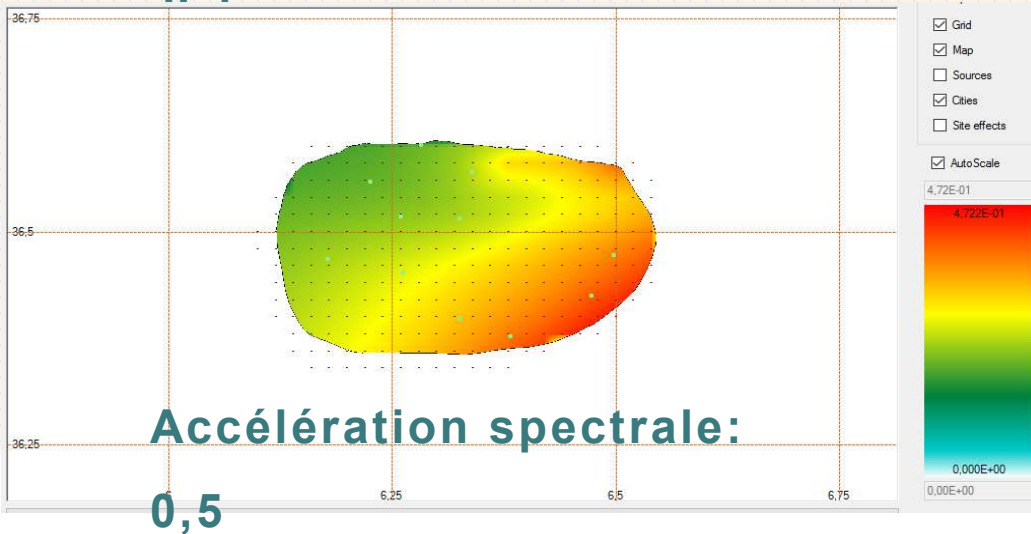
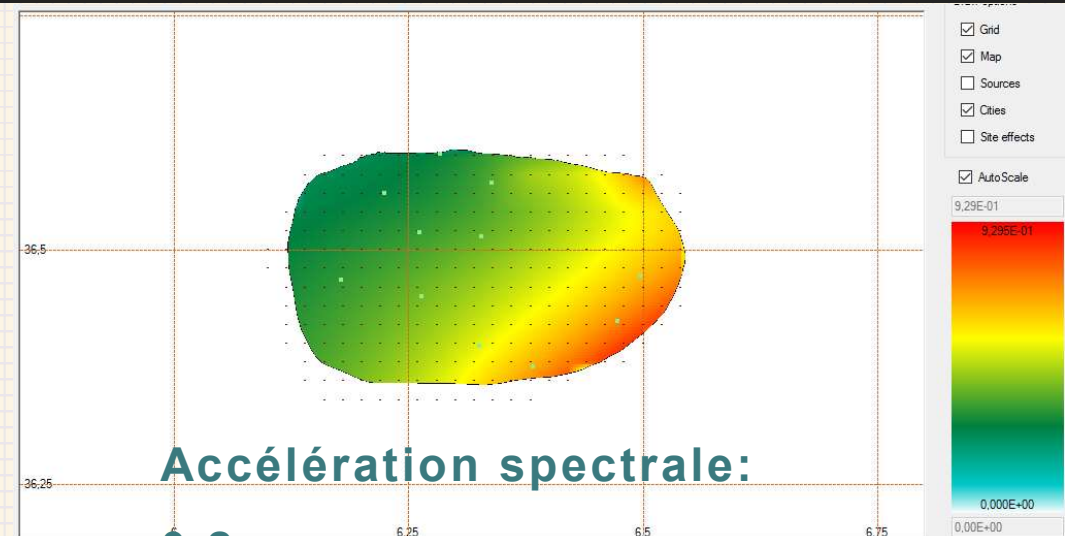
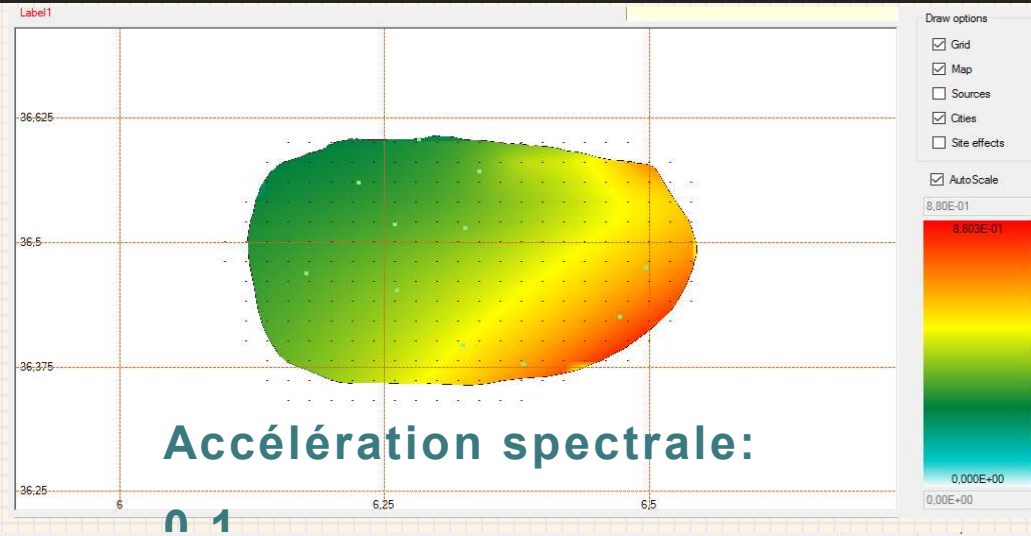


ans

ans

95

LES CARTES ALEA SISMIQUE

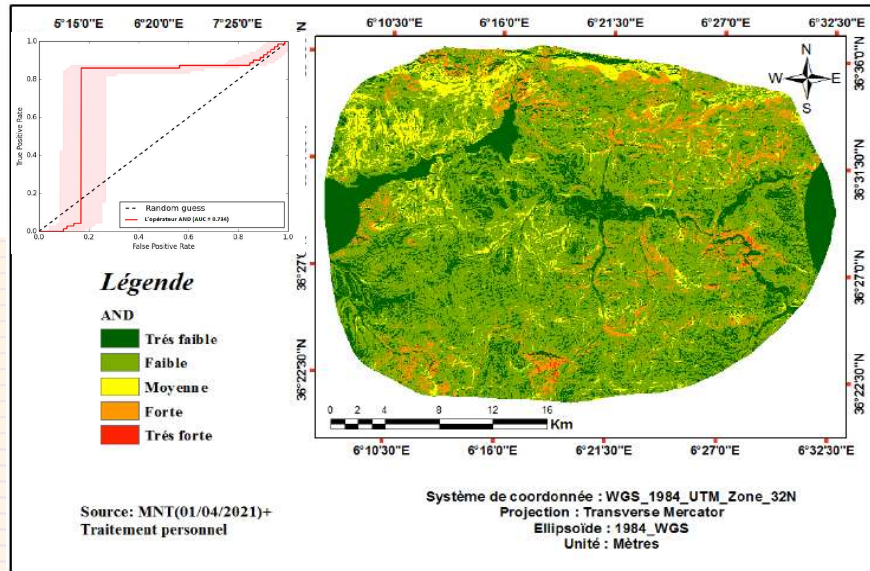


RESULTATS ET PERFORMANCES

LES CARTES DE SUSCEPTIBILITE

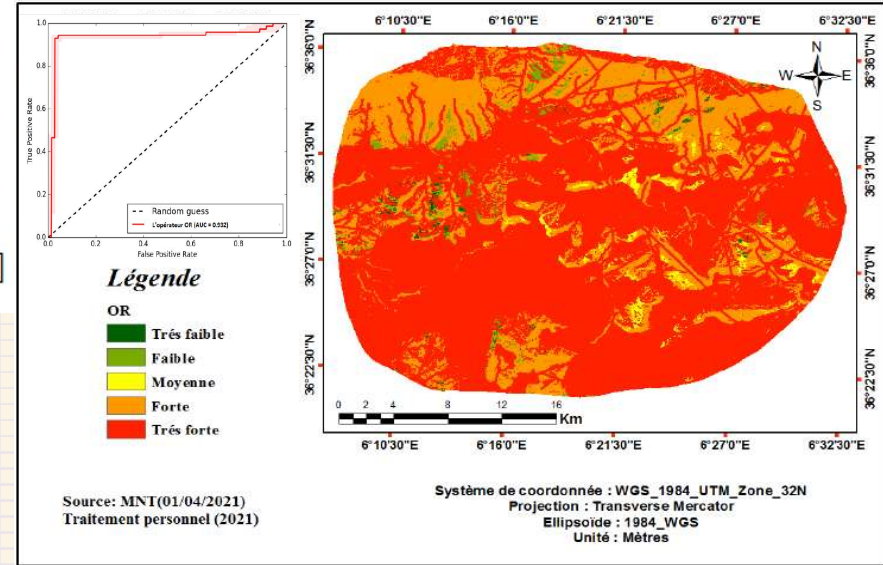


L'opérateur AND



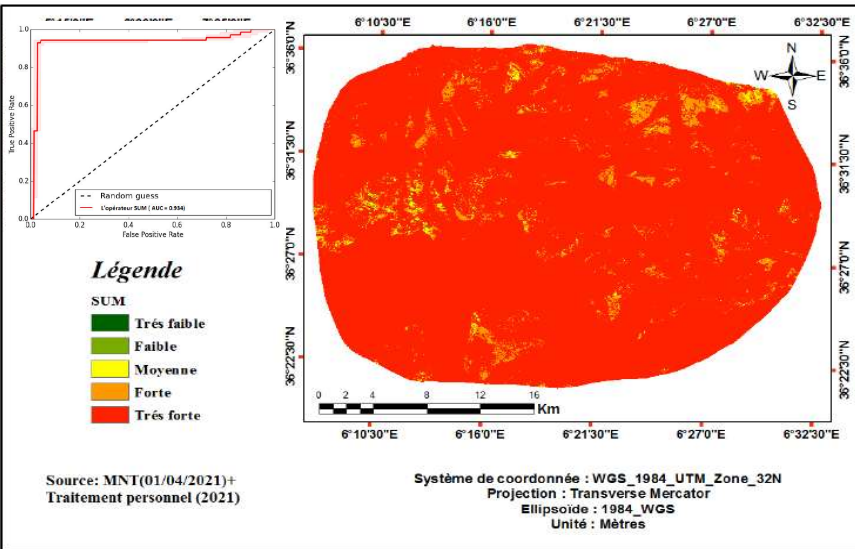
$$\mu_c(x) = \min[\mu_a(x), \mu_b(x)]$$

L'opérateur OR



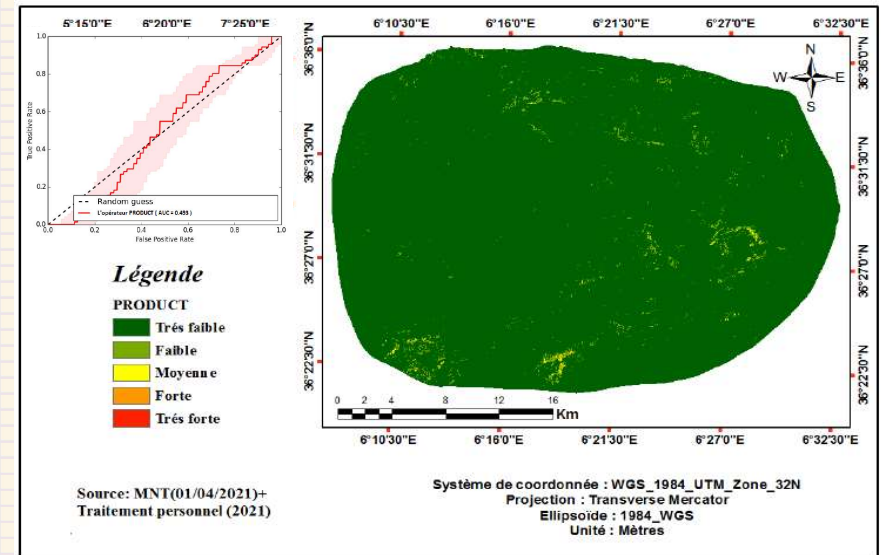
$$\mu_c(x) = \max[\mu_a(x), \mu_b(x)]$$

L'opérateur SUM



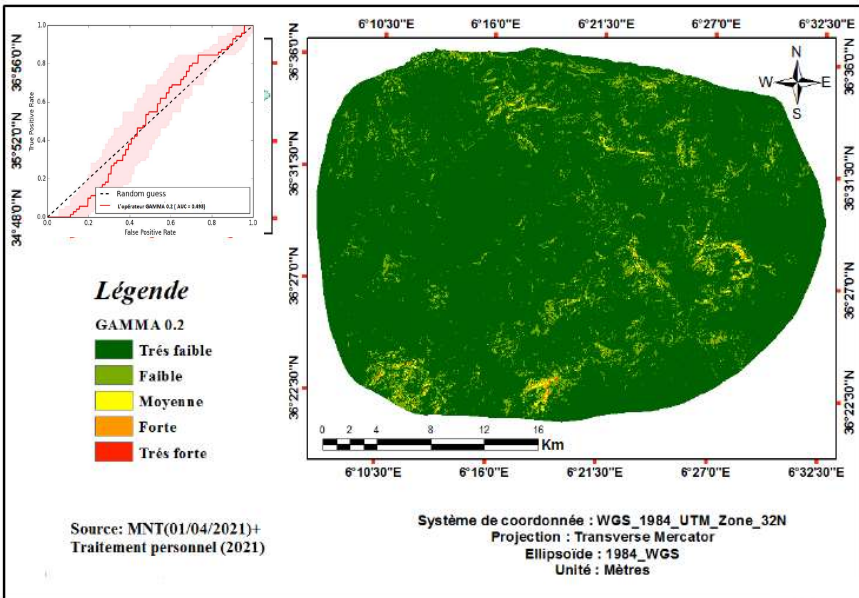
$$\mu_{SUM} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$$

L'opérateur PRODUCT

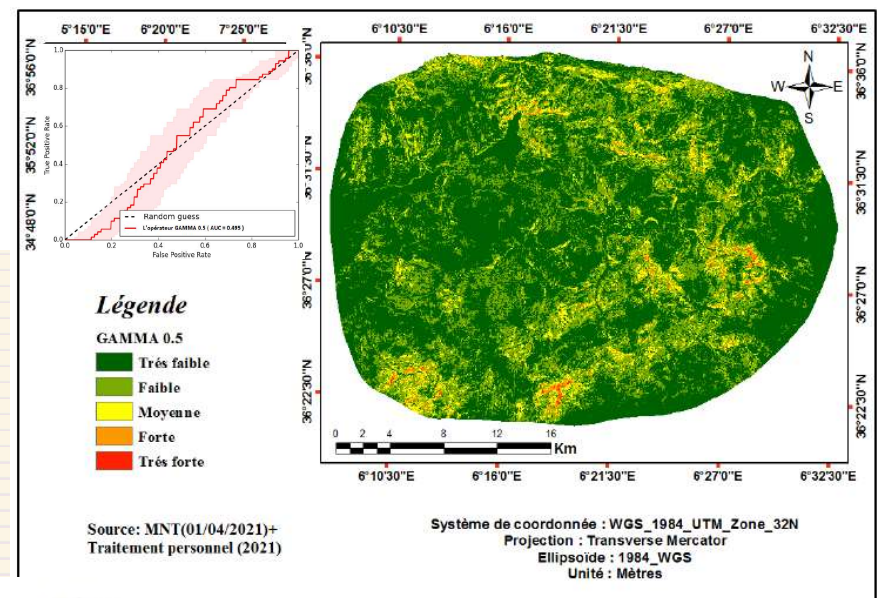


$$\mu_{PRODUCT} = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

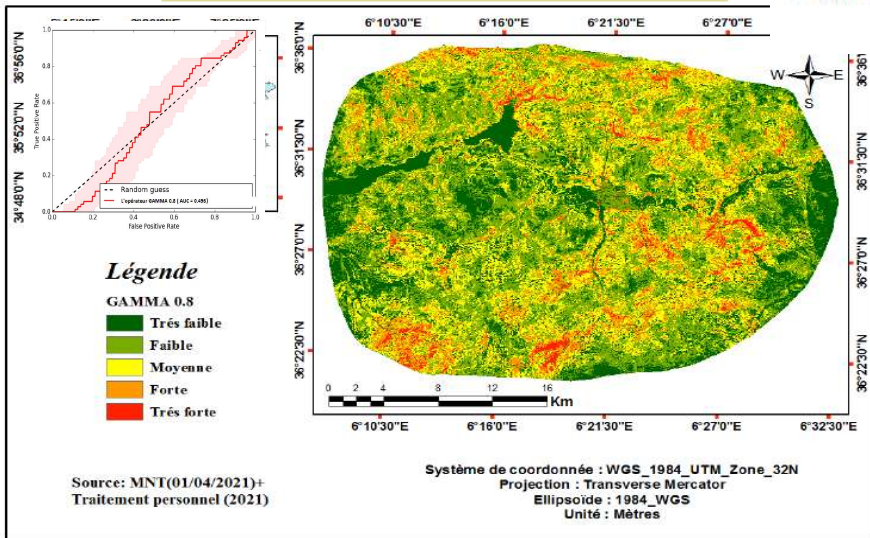
L'opérateur GAMMA = 0,2



L'opérateur GAMMA = 0,5

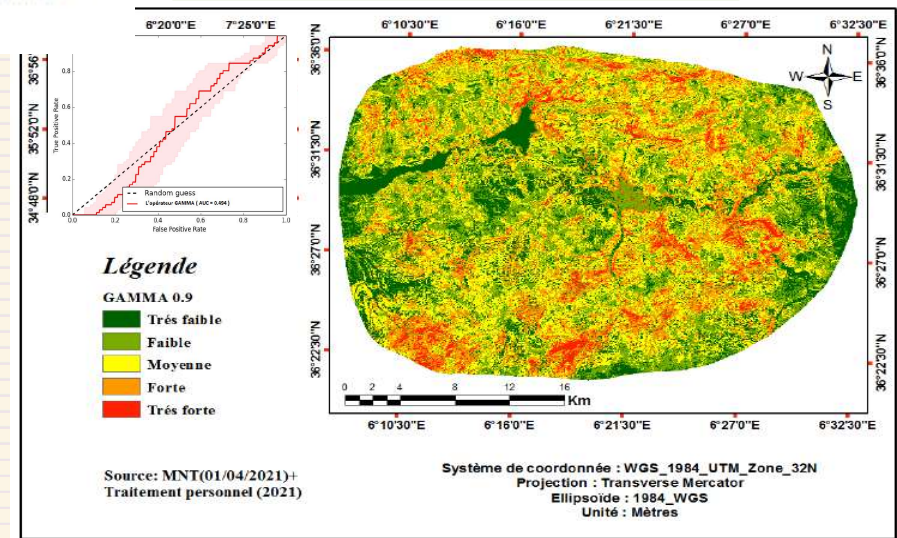


L'opérateur GAMMA = 0,8

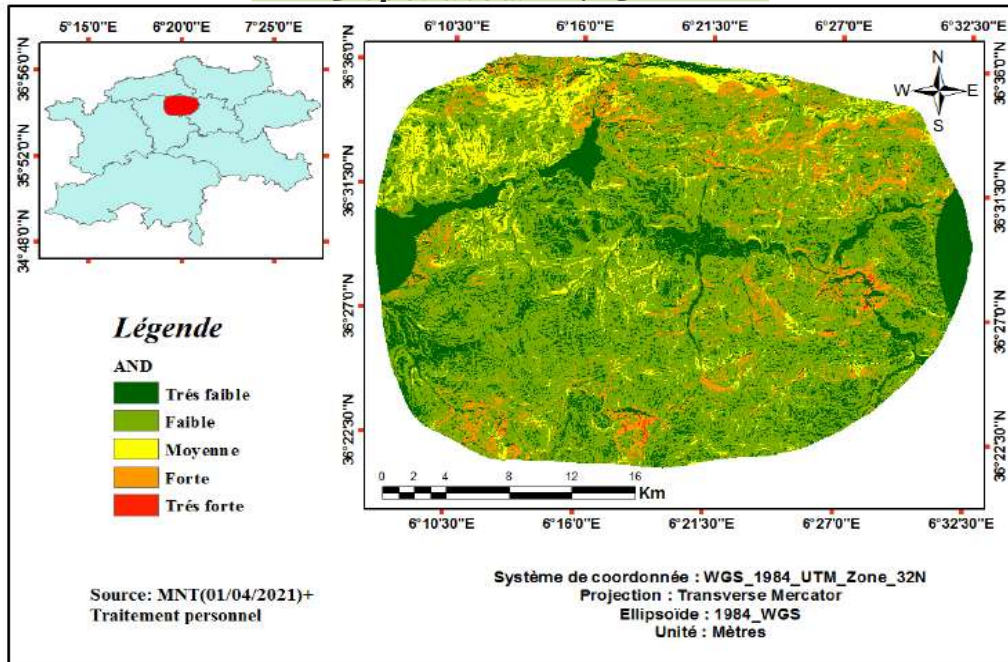


$$\mu_{\text{GAMMA}} = (\mu_{\text{SUM}})^{\gamma} \times (\mu_{\text{PRODUCT}})^{1-\gamma}$$

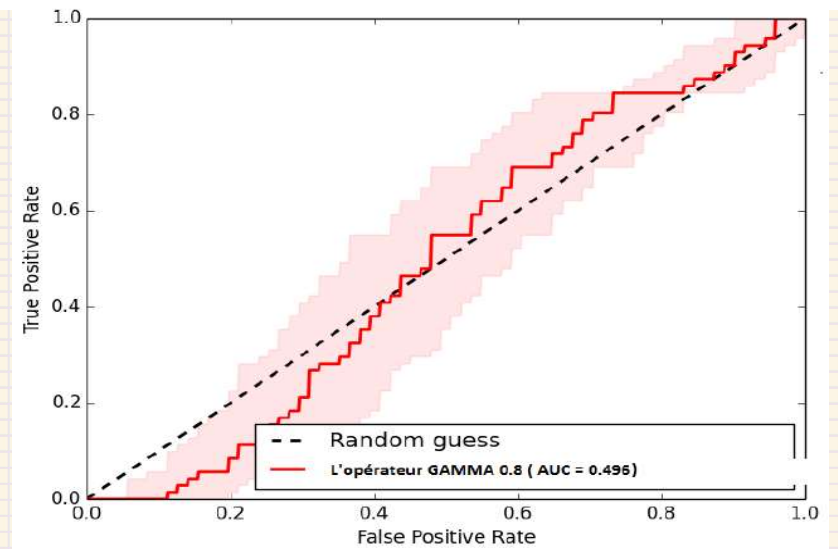
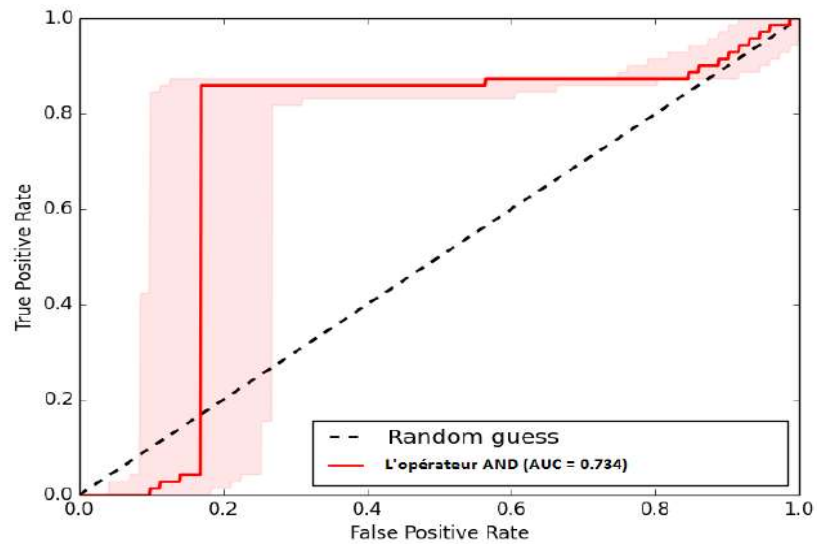
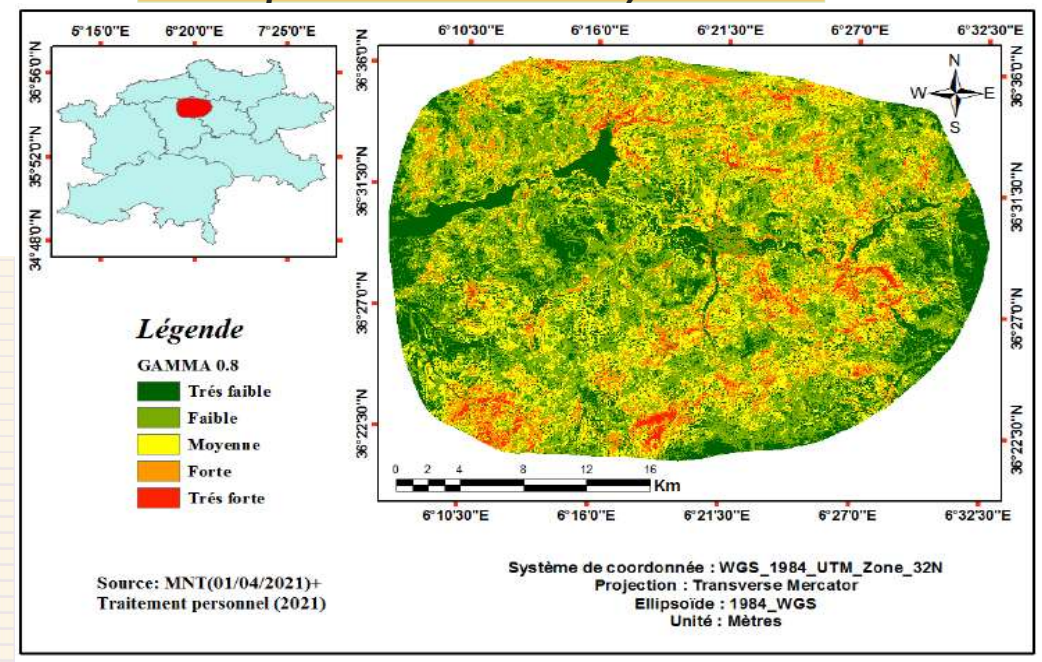
L'opérateur GAMMA = 0,9



1- L'opérateur AND



2- L'opérateur GAMMA 0,8

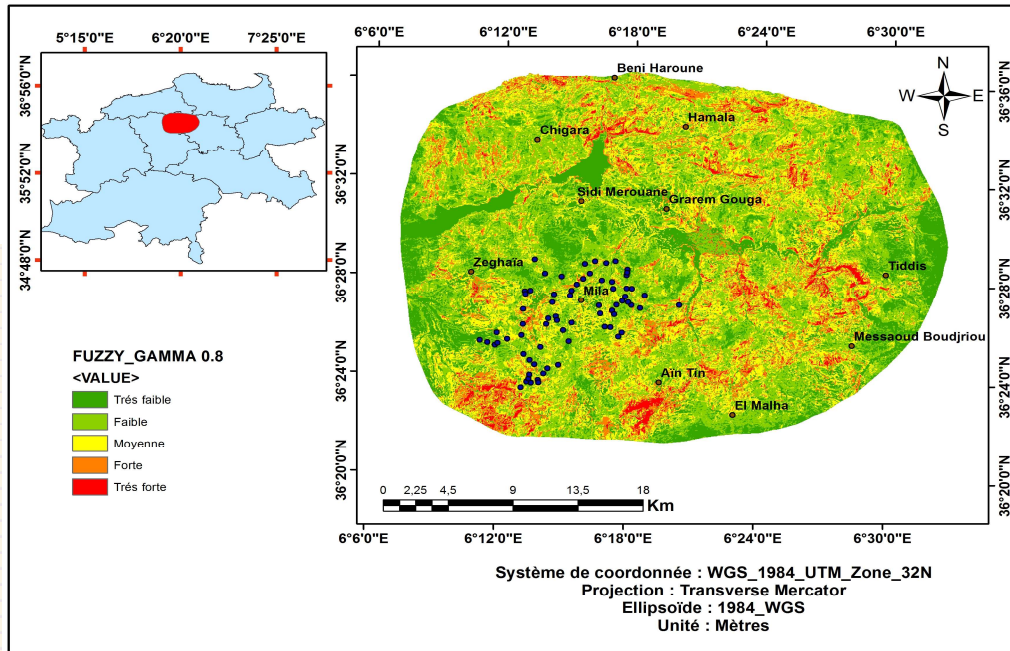


RESULTATS ET PERFORMANCES

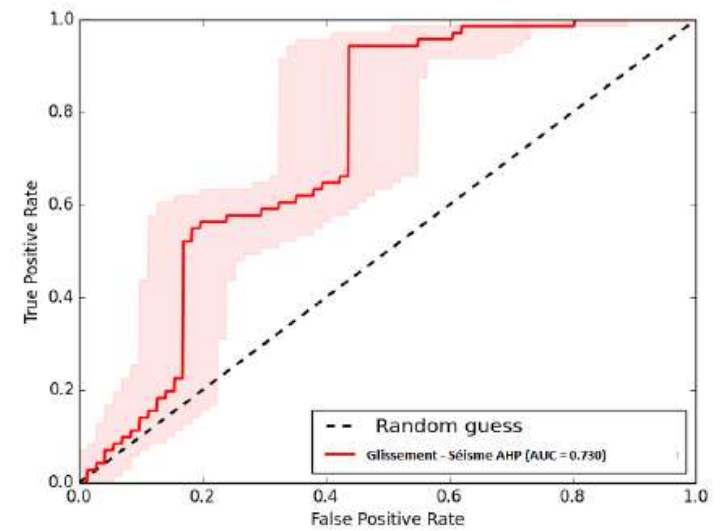
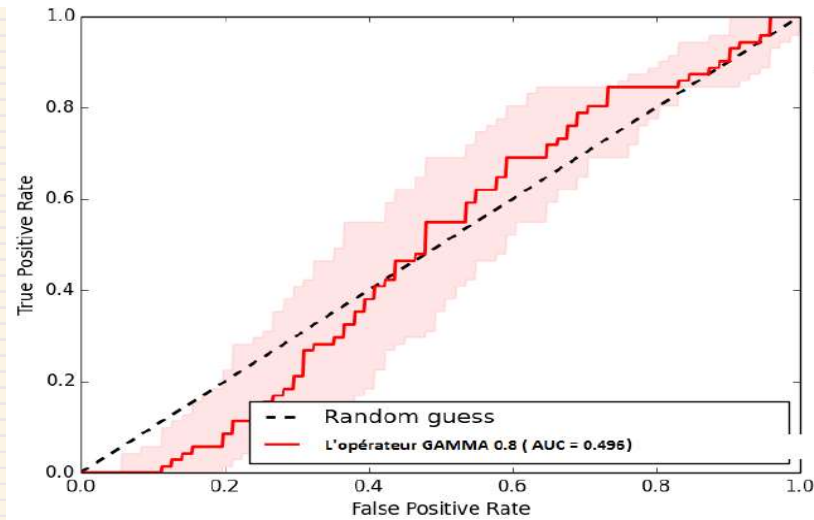
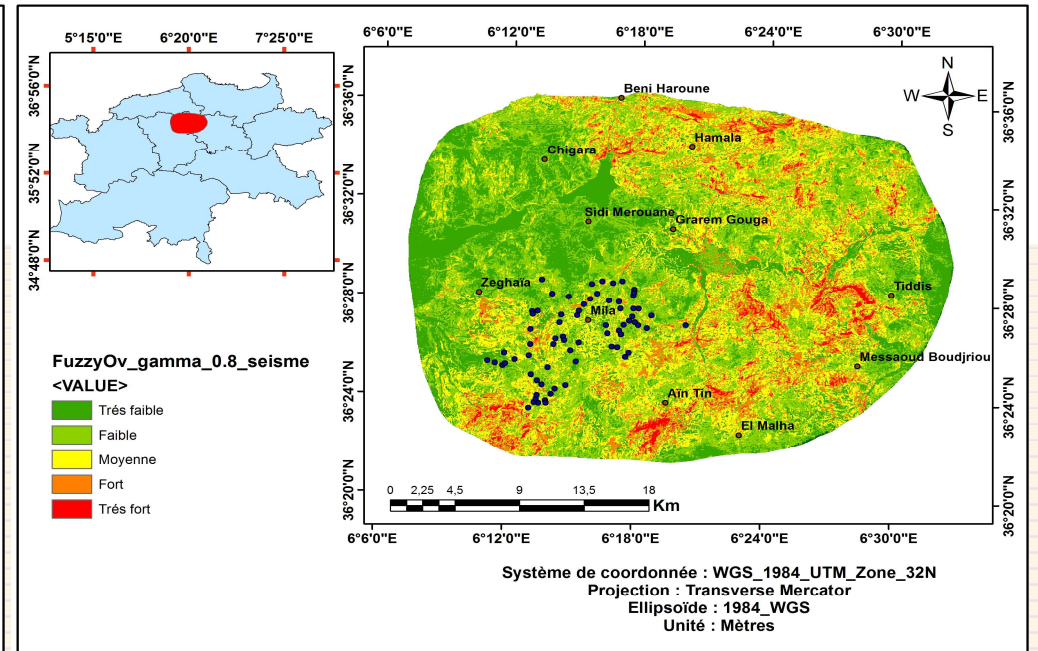
LA CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ AVEC SÉISME



1 - L'opérateur GAMMA 0,8 sans seisme



2 - L'opérateur GAMMA 0,8 avec seisme



Conclusion

L'analyse spatiale de l'Aléa Glissement de terrain constitue une approche d'aide à la décision pour les gestionnaires et les aménageurs de la zone

Une bonne gestion des risques glissement terrain nécessite:

- *- Une meilleure connaissance des facteurs conditionnant et déclenchant ce phénomène, surtout les séismes.

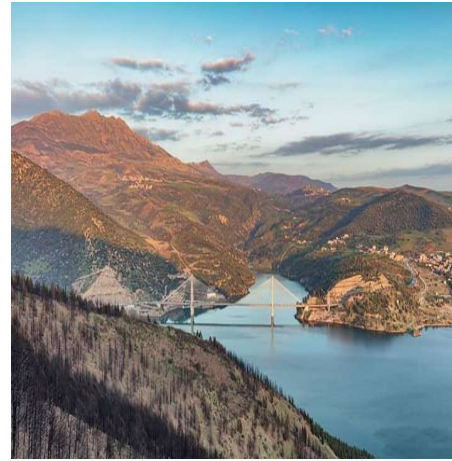
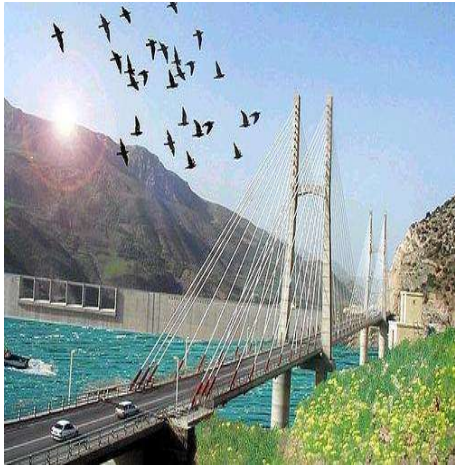
- *- L'emploi des méthodes novices à l'exemple de celle basée sur la théorie de la fusion par logique floue, et qui s'avère bien adaptée à cet usage.



REALISER PAR:



MEZHOUD SAMY
Maître de Conférences A



Merci

DR. SAMY MEZHOUD | E-MAIL: MEZHOUD.SAMI@UMC.EDU.DZ