



Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS)



INTITULÉ DU PROJET DE RECHERCHE

Cartographie de l'aléa *stricto sensu* "mouvements de versants" par l'utilisation de la modélisation probabiliste à l'échelle large

Code du projet : CGS/DMS/EGP/2018/01

Sommaire

- ◉ Introduction - Problématique
- ◉ Objectif et Méthodologie
- ◉ Etat de l'art des méthodes de cartographie de la susceptibilité et de l'aléa de MVT
- ◉ Evaluation et cartographie de la susceptibilité aux MVT à l'échelle large (1/10 000^{ème})
- ◉ Evaluation et cartographie de l'aléa de MVT à l'échelle large (1/10 000^{ème})
- ◉ Conclusion générale

1. Introduction-Problématique

Durant les deux dernières décennies, on assiste à travers le monde à **l'augmentation des fréquences des aléas et des risques** naturels (Munich Re, 2015).

L'impact est aggravé par :

- **L'urbanisation rapide et incontrôlée dans les zones d'aléas naturels,**
- **Les fortes intensités des précipitations.**
- La non prise en considération de ces aléas dans les schémas d'aménagement et d'urbanisme
- L'absence d'une politique de réduction du risque

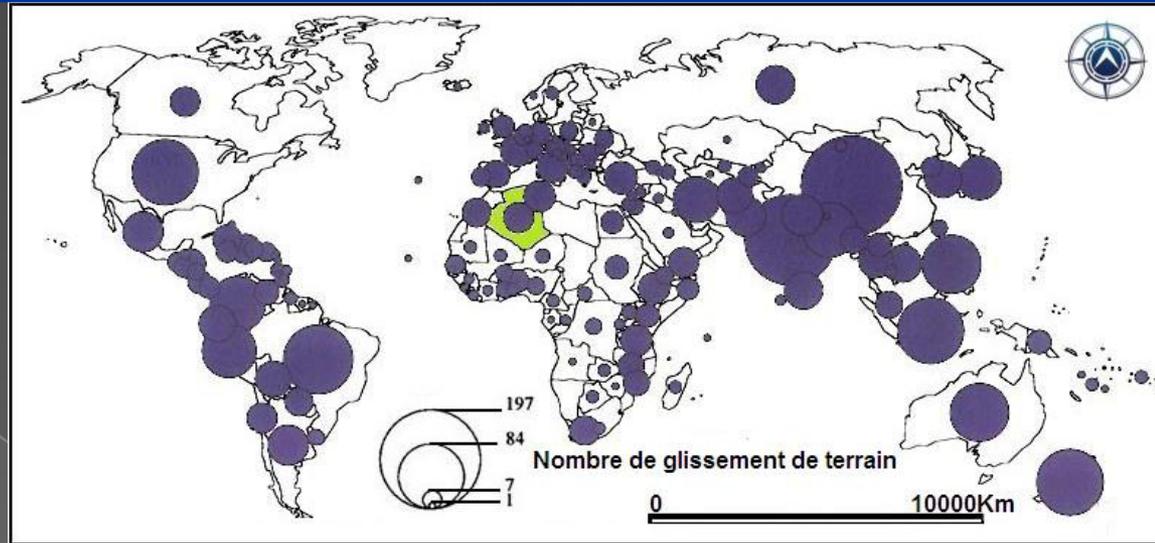


Figure 1: Répartition des glissements de terrain à travers le monde (période entre 1964-1998), (base de données mondiales sur les catastrophes EM DAT).

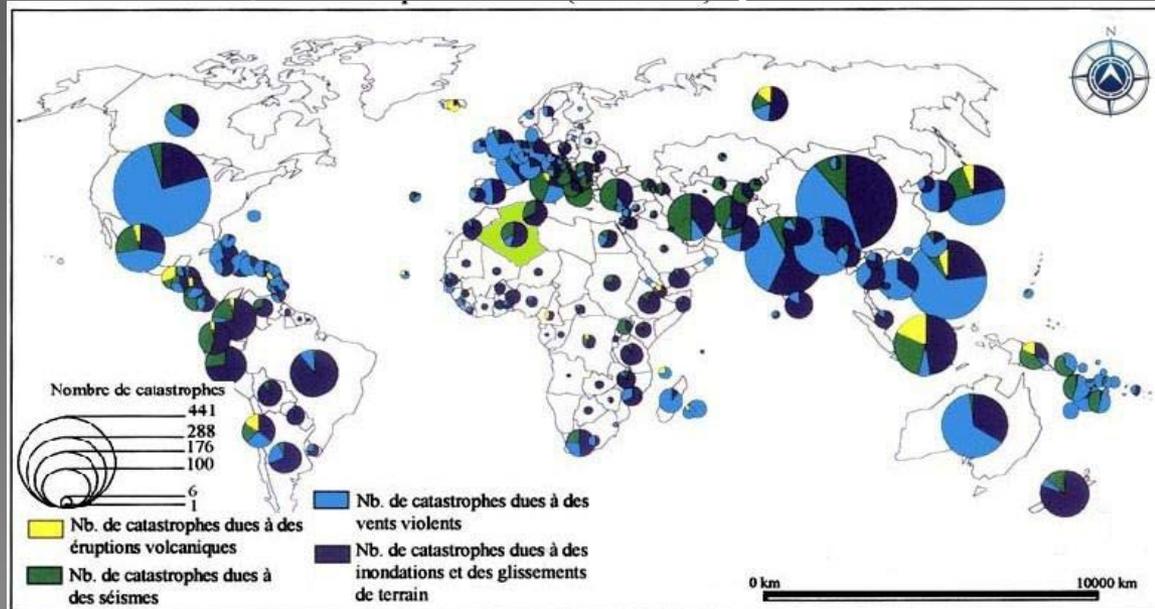


Figure 2 : La répartition des catastrophes liées aux glissements des terrains (1964-1998), (base de données mondiales sur les catastrophes EM-DAT)

‘Mouvements de versant’ : programmes de recherche internationaux

Ceci s’est traduite au niveau international par inscription de nombreux **programmes de recherche orientés** vers une politique de prévention des risques naturels visant à :

- (1) Développer et améliorer **les méthodes quantitatives de cartographie de l’aléa et du risque** ‘MVT’ à différentes échelles
 - (2) Proposer un soutien technique aux autorités locales en charge de la gestion et de **la réduction des risques naturels**.
- Actuellement, **l’approche qualitative** directe dite ‘*expert*’, jugée assez **subjective** (ou erreurs de l’expert, vision de l’expert),
 - **En Algérie**, la cartographie de l’aléa est basée sur l’approche ‘*expert*’
 - Des **méthodes quantitatives objectives** sont développées à l’échelle régionale (1/100 000-1/500 000^{ème}) et moyenne (1/50 000-1/25 000^{ème}), mais peu ou pas à **l’échelle large** du 1/10 000^{ème}, échelle de la cartographie **réglementaire des risques**.

Objectif

L'objectif général de ce travail est d'apporter un complément aux initiatives internationales prises en vue de **promouvoir la réduction des risques** à toutes les échelles, et plus particulièrement dans les zones urbaines

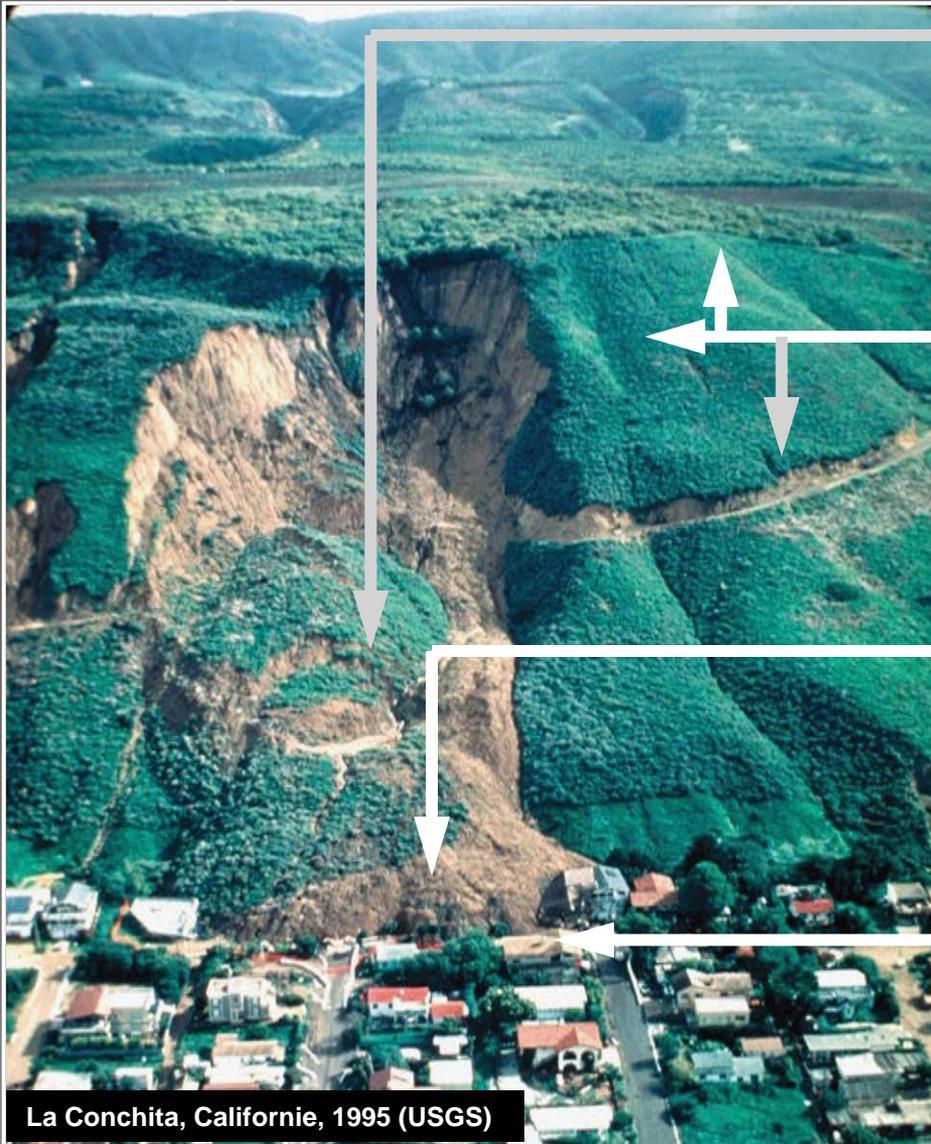


L'objectif **principal** est de proposer une **méthodologie** basées sur la **modélisations probabilistes** sous SIG pour **cartographier l'aléa *stricto sensu*** de '***mouvements de versant***' à l'échelle du **1/10 000ème**



Ces cartes servent à **orienter les projets d'aménagement** vers les zones les moins exposées à ces risques et de contribuer à la politique de prévention des risques visant à permettre le développement durable du territoire

Evaluation du risque mouvement de versant : contexte scientifique



La Conchita, Californie, 1995 (USGS)

1. Quoi? Quel type de phénomène?

Identifier les phénomènes
(Inventaire des phénomènes)

2. Où ?

Susceptibilité (probabilité
d'occurrence spatiale)

3. Quand & jusqu'où ?

Aléa (occurrence spatiale et
temporelle) = $P_s \times P_t$

4. Qui & quoi ?

Enjeux (vulnérabilités des
éléments exposés)

Risque

Méthodologie

La **démarche scientifique** comporte 5 étapes principales :

Etape 1: Sélectionner les méthodes de cartographie les plus adaptées à notre recherche à l'échelle du 1/10 000^{ème}



Etape 2: Réalisation d'une base de données sous SIG



Etape 3 : Cartographie d'inventaire et des facteurs d'aléa



Etape 4 : Cartographie de la susceptibilité et de l'aléa au 1/10 000^{ème}



Etape 5 : Validation de la carte de susceptibilité et de l'aléa



Carte de l'aléa de "mouvement de terrain"

Méthodes de cartographie de la susceptibilité et de l'aléa 'mouvements de versant'

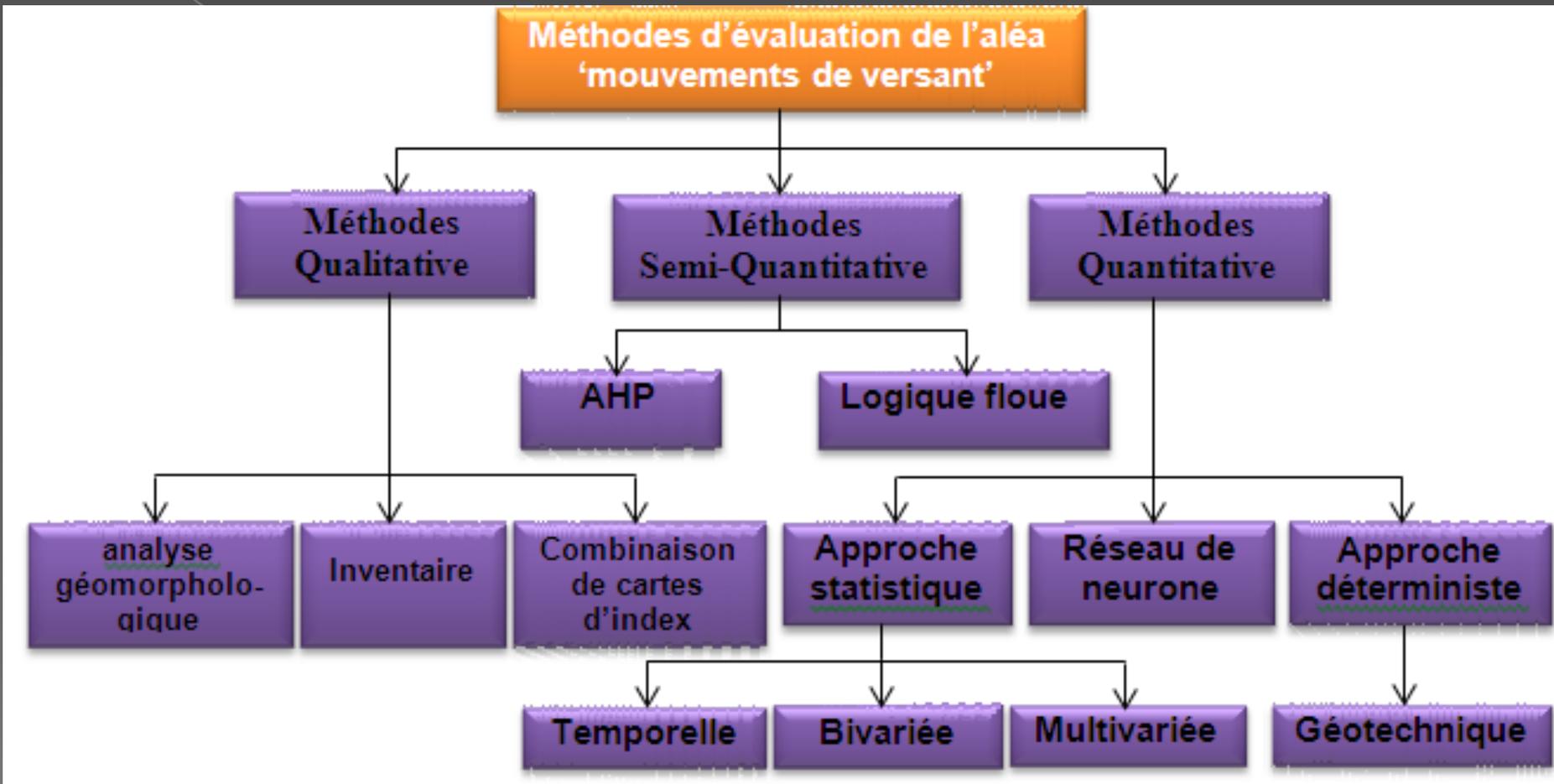


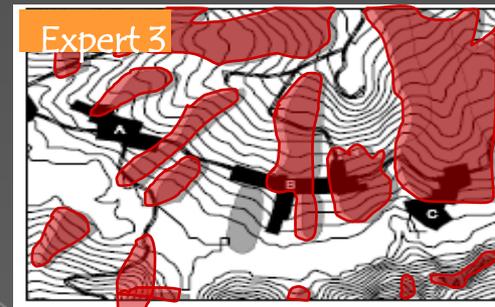
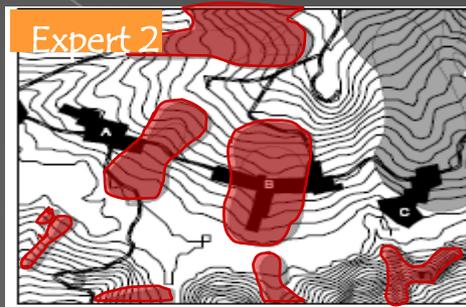
Figure : Les méthodes de cartographie de la susceptibilité et de l'aléa de MVT'

⇒ L'approche directe (ou qualitative) : méthodes

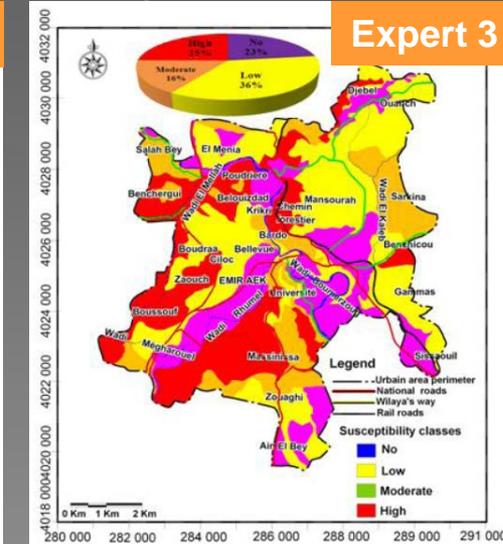
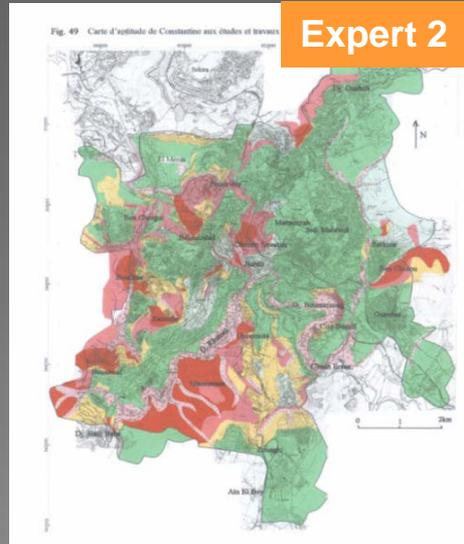
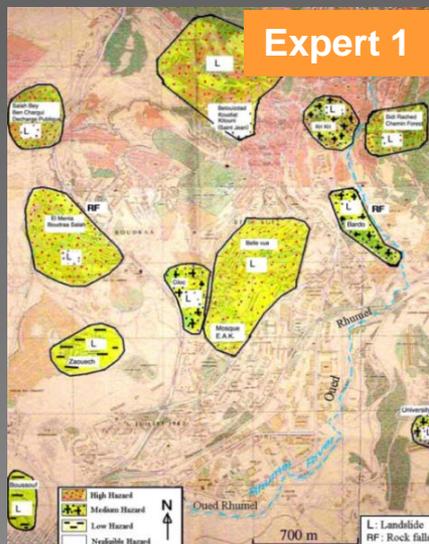
- Qualifiée de assez subjective en raison des erreurs d'appréciation de l'expert.
- Fondée sur une **vision experte**; a. Subjectivité de l'expertise



Ardizzone et al., 2002



Ce type d'analyse peut donner des résultats différents selon la personne qui cartographie



MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT / MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT

Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR)

guides

En France: (PPR) GUIDE GÉNÉRAL

En Suisse: Des cartes de danger

documentation Française

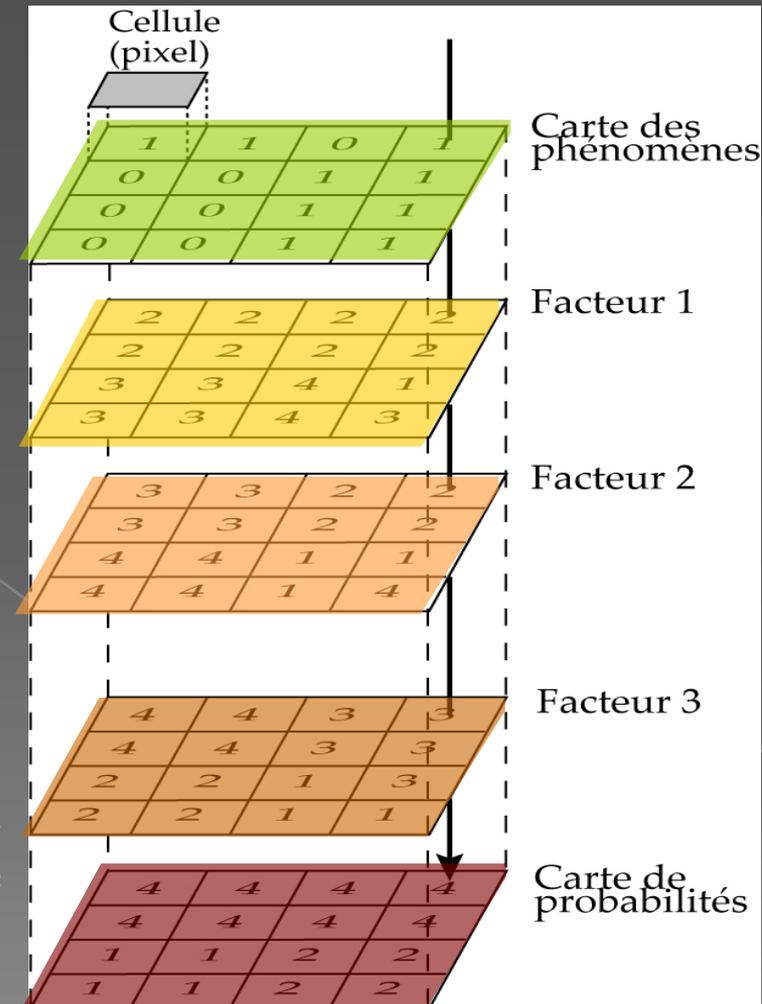
⇒ L'approche indirecte (ou quantitative) : méthodes

- Méthodes quantitatives (probabilistes) : bivariées, multivariées

⇒ Méthodes **objectives** permettent de **réduire** le problème de la **subjectivité de l'expert**.

⇒ Probabilités d'occurrence spatiale pour les zones non affectées par MVT

⇒ fondées **sur** l'analyse de la relation mathématiques entre les **facteurs de prédisposition** et les **MVT observés** :



La cartographie de la susceptibilité

Concept de base

La cartographie de la susceptibilité aux MVT met en évidence la **distribution spatiale des versants potentiellement instables**, fondée sur **l'analyse spatiale des facteurs** qui ont **généralisé** de tels **processus dans le passé** (Guzzetti *et al.*, 1999). Cela suppose que *“le passé et le présent représentent la clé de l'avenir”*:

- ❖ La distribution actuelle des glissements reflète les conditions géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques, climatiques, occupation du sol, l'impact des activités humaines ;
- ⊙ Tous les phénomènes se reproduiront selon les mêmes conditions géologiques, géomorphologiques, hydrologiques et climatiques que les phénomènes connus;
- ⊙ Les futurs glissements de terrain vont apparaître dans les mêmes conditions.

La cartographie de la susceptibilité

Concept de base

La **démarche scientifique** s'effectue en **4 étapes** : (Varnes, 1984; Carrara et al., 1995; Soeters et Van Westen, 1996; Leroi, 1996; Van Westen 2001, 2003; 2006)

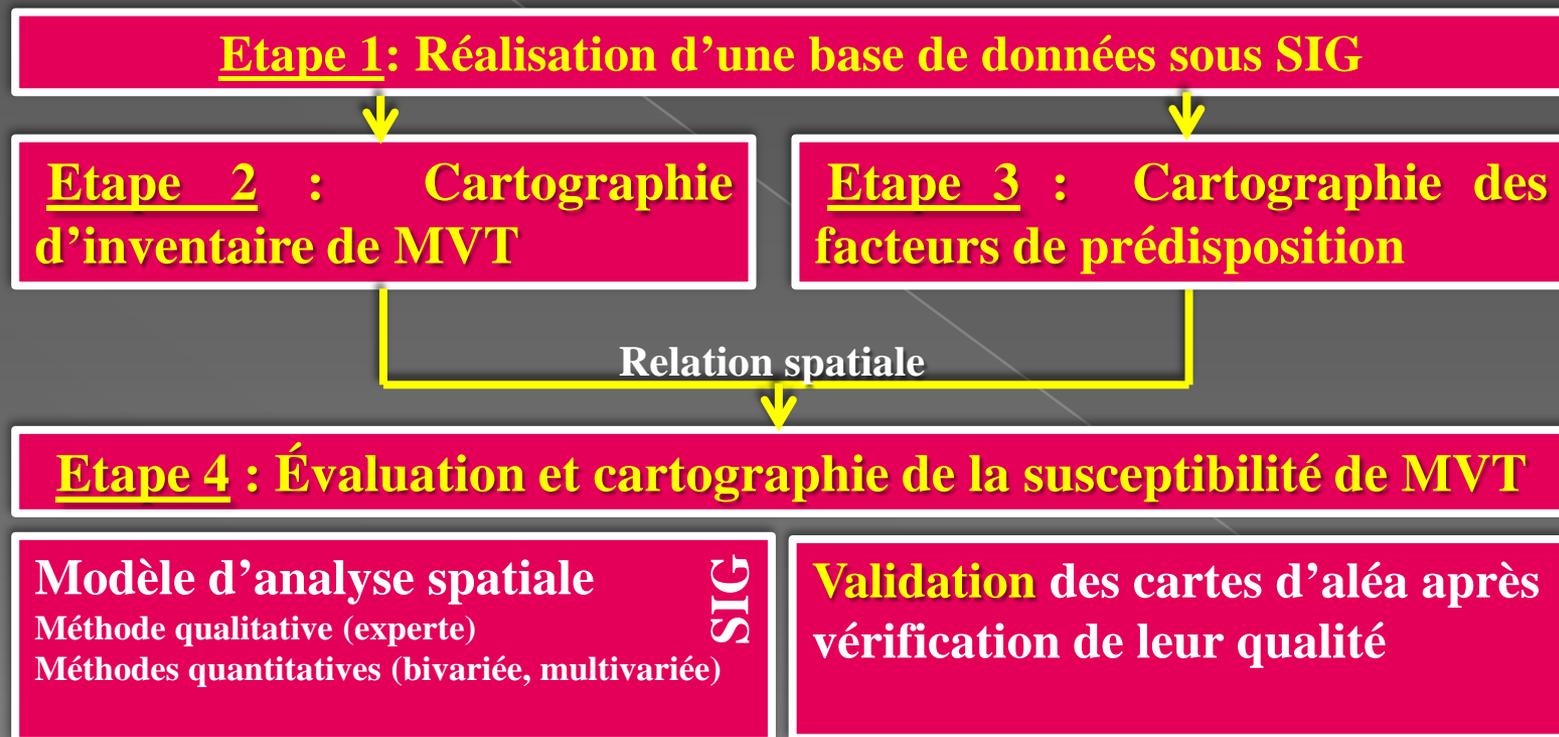
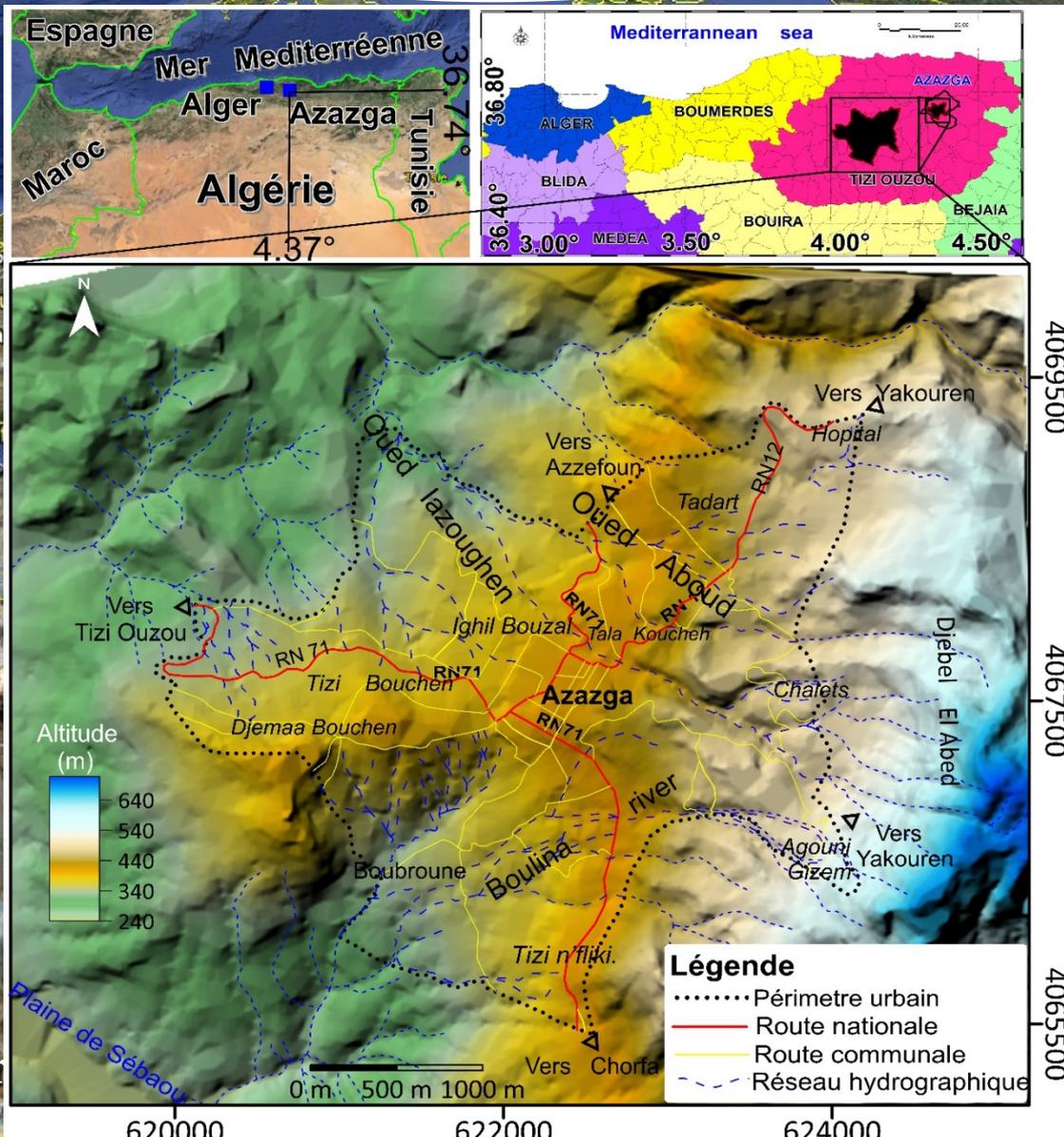


Figure 1 : Méthodologie de la cartographie de **la susceptibilité** aux MVT

Applications au cas de la ville de Azazga (Nord Algérien)

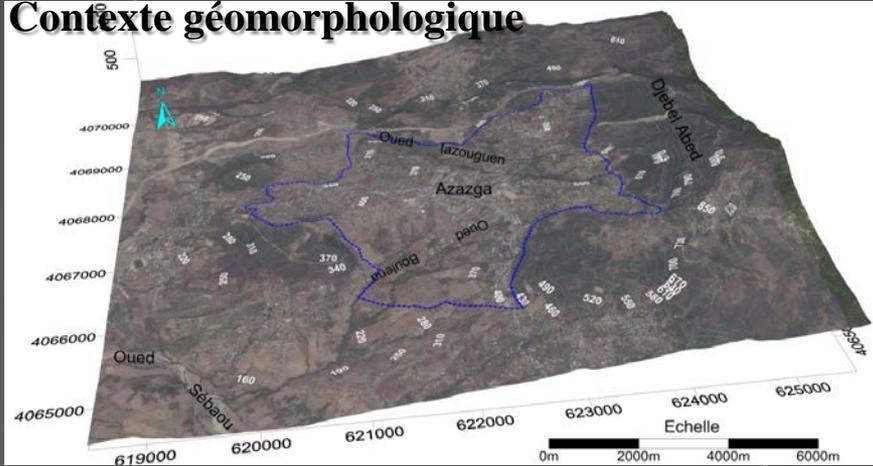
Situation géographique



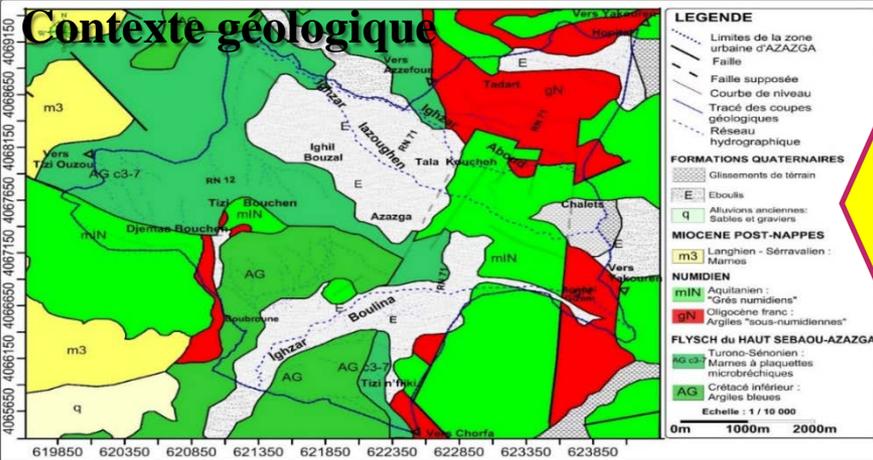
Figure

2. La zone d'étude

Contexte géomorphologique



Contexte géologique



Contexte climatique



Les précipitations sont fortes et prolongées

La plus exposée depuis des décennies à des MVT progressifs



ils causent des dégâts importants aux constructions



Ils constituent une contrainte majeure pour le développement urbain.



Les autorités sont alertées sur l'urgence de leur prévision spatiale et temporelle ainsi pour une prévention



Etape 1: Réalisation d'une base de données (Azazga_Data_Base et Géo_Map)

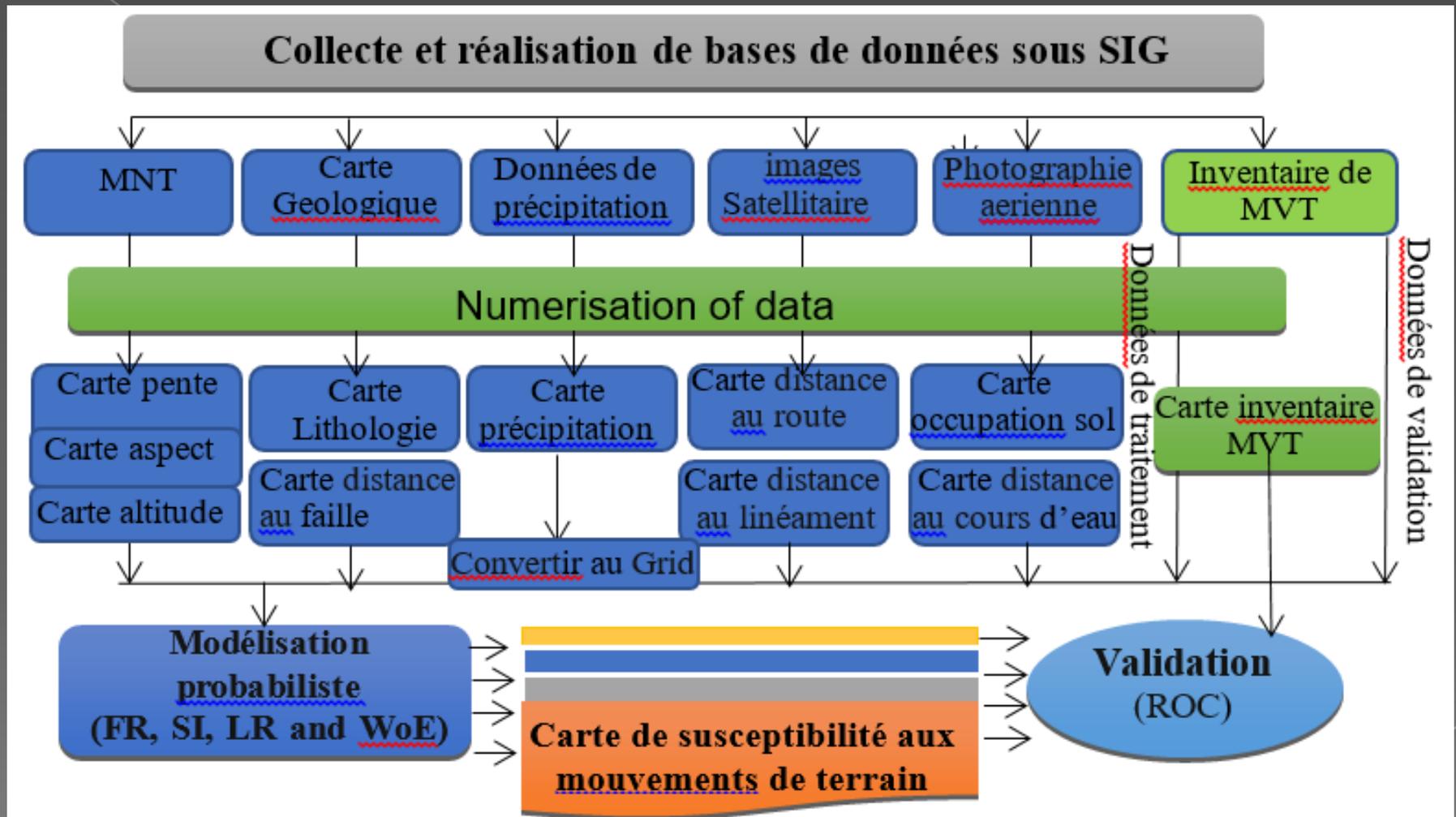


Figure : Type et la base de données nécessaire pour la cartographie de la susceptibilité aux MVT

Etape 1: Réalisation d'une base de données (Azazga_Data_Base et Géo_Map)

Tableau 1: Base de données pour l'analyse de la susceptibilité et sources d'information.

Catégories	Variables	Source
Géomorphologie	Inventaire mouvements de terrain	Analyse des documents disponibles, des images satellites Alsat 2A au 1/10 000 ^{ème} (2.5 m de résolution), des images satellitaires de Google Earth, Interprétation des photos aériennes au 1/10 000 ^{ème} et au 1/4 000 ^{ème} des cartes topographique au 1/25 000 ^{ème} , des campagnes de reconnaissances géotechniques (par sondages carottés, piézomètres, inclinomètres, inventaire des points d'eau comme sources captées, puits et forages paysans, des essais de laboratoire et des observations de terrain.
Relief	Gradient de pente Exposition (EXP)	MNT avec une résolution de 10 m (données ASTER GMED Worldwide Elevation de la NASA).
	Aspect (ASP)	
Géologie	Lithologie	Analyse des cartes géologiques au 1/50 000 ^{ème} et des sondages carottés, analyse des photos aériennes au 1/10 000 ^{ème} et au 1/4 000 ^{ème} et observations de terrain.
	Distance aux failles	
Hydrologie	Precipitation	Données de précipitation pour une période de 64 années des 05 stations météorologiques de l'Agence National des Ressources Hydriques (ANRH).
	Distance au réseau hydrographique	Analyse des documents disponibles, des images satellites Alsat 2A au 1/10 000 ^{ème} (2.5 m résolutions), des images satellitaires de Google Earth, interprétation des photos aériennes au 1/10 000 ^{ème} , des cartes topographique au 1/25 000 ^{ème} et des observations de terrain.
Occupation du sol	Occupation du sol	Analyse des documents disponibles, des images satellites Alsat 2A au 1/10 000 ^{ème} (2.5 m résolutions), des images satellitaires de Google Earth, interprétation des photos aériennes au 1/10 000 ^{ème} et au 1/4 000 ^{ème} , des cartes topographique au 1/25 000 ^{ème} et des observations de terrain.
Anthropie	Distance au réseau routier	Analyse des documents disponibles, des images satellites Alsat 2A au 1/10 000 ^{ème} (2.5 m résolutions), des images satellitaires de Google Earth, interprétation des photos aériennes au 1/10 000 ^{ème} et au 1/4 000 ^{ème} , des cartes topographique au 1/25 000 ^{ème} et des observations de terrain.

Les couches thématiques ont été intégrées dans un SIG en vue de la gestion géoréférencée, par l'intermédiaire des logiciels *Map info 11* et *Surfer 11*. Le traitement statistique des données a été réalisé à l'aide des logiciels *Excel 2007* et *XLStat 2011*

Etapes 2: Cartographie d'inventaire des mouvements de terrain

- Photos-aériennes

1980 et 2002 à 1:40,000 et 1:10,000



- Images satellitaires

2007-2012 (Google earth)



- Images satellitaires

2011 (Alsat 2A)



- Observations de terrain



Etape 2: Inventaire des mouvements de terrain : typologie

3 types de 'mouvements de versant' sont définis:

Surface = 2,301 km²
= 25,26 % du PDAU

Écoulements



% = 0,08
Surface (Km²)=3,56

Glissement de terrain



% = 90
Surface (Km²)=2

Écroulements



% = 7
Surface (Km²)=0,16

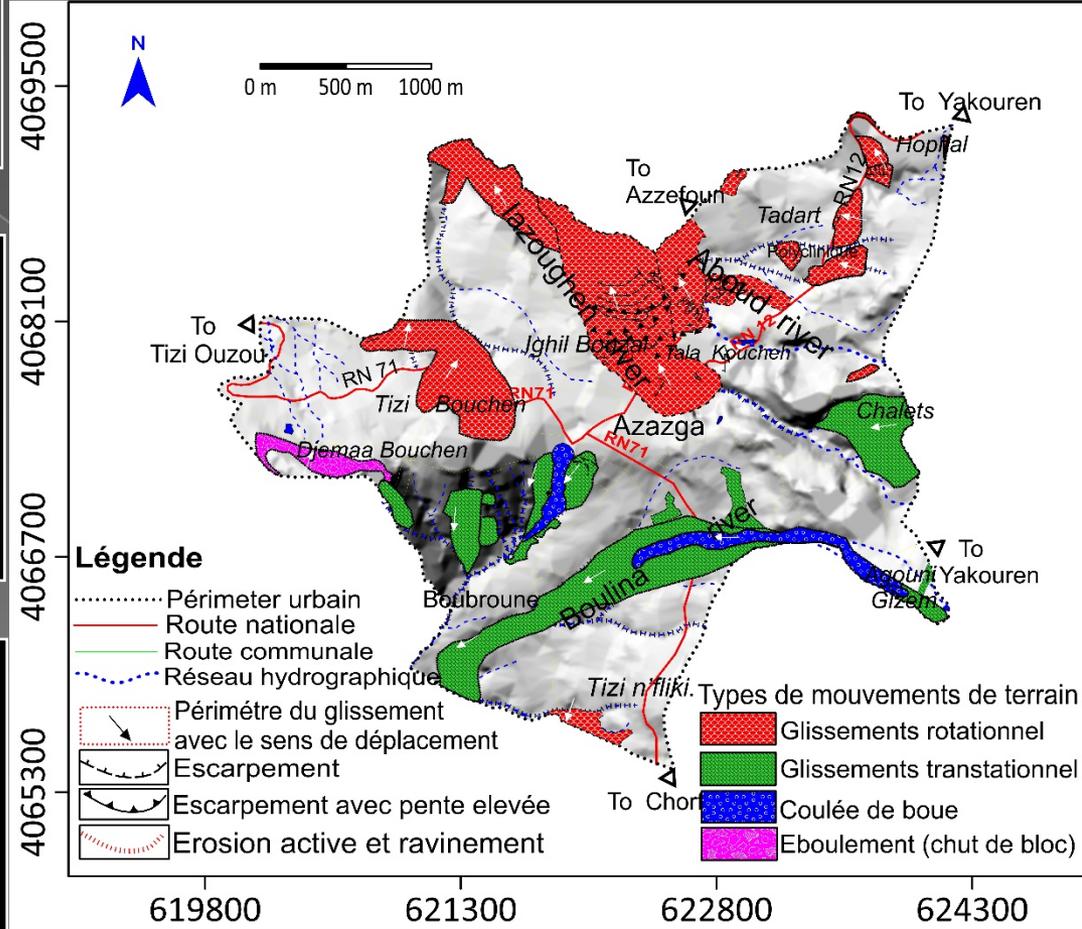


Figure 1: Carte d'inventaire des glissements de terrain

Etapes 3: Cartographie des facteurs de susceptibilité

- Photos-aériennes
- ↓
- Images satellitaires
- ↓
- Google earth
- ↓
- Images satellitaires (Alsat 2A)
- ↓
- MNT (10 m de résolution)
- ↓
- Données de précipitation (ANRH)
- ↓
- Cartes géologiques
- ↓
- Des observations de terrain

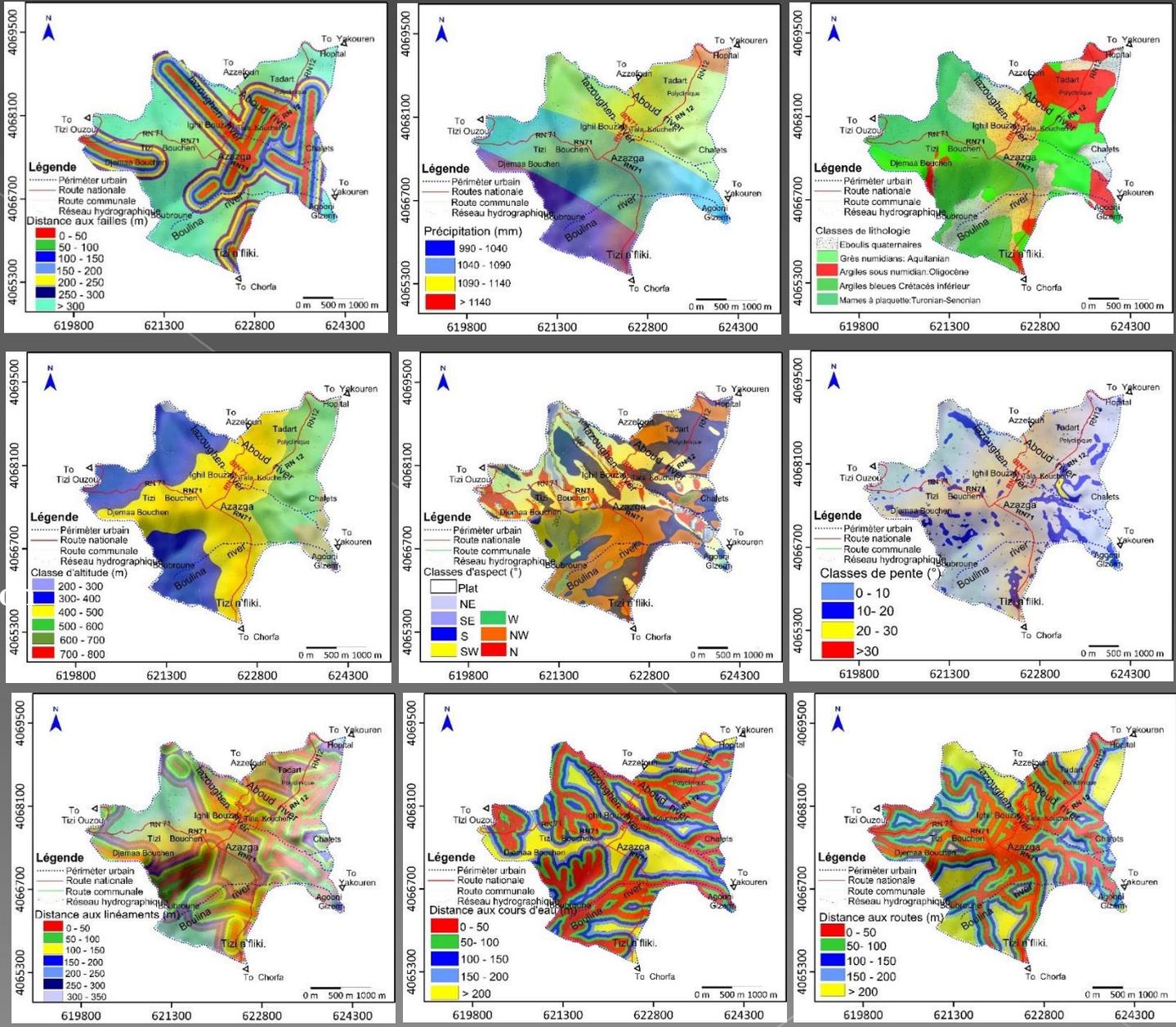
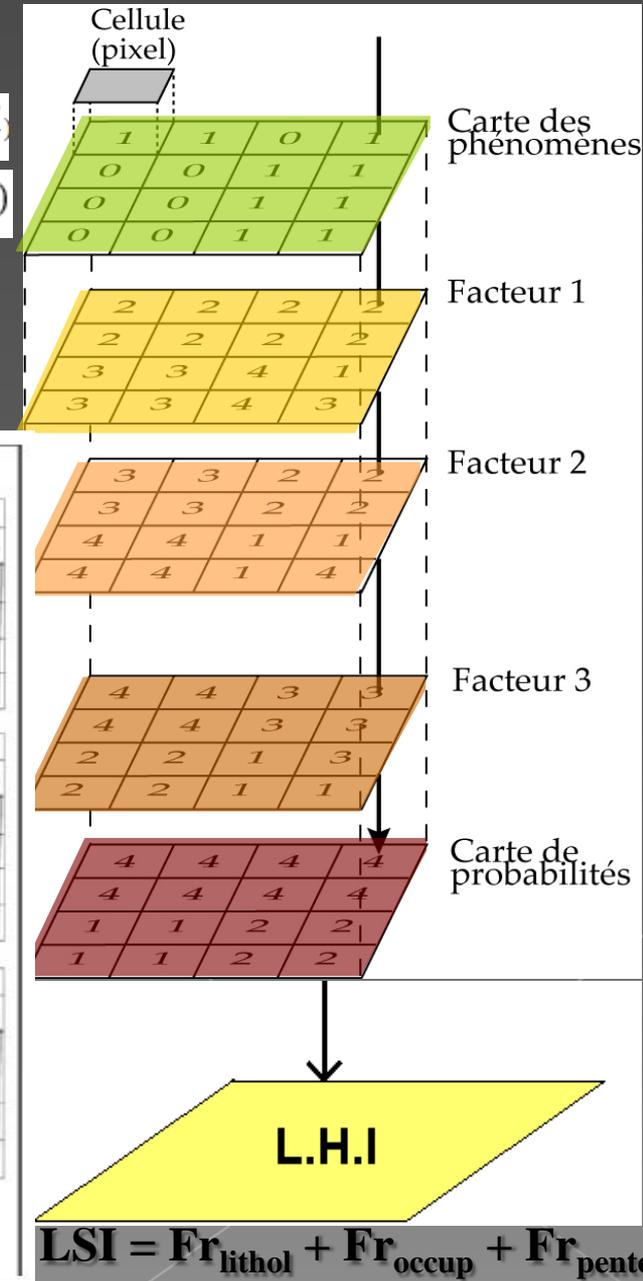


Fig. 3 : les cartes de facteurs de la susceptibilité

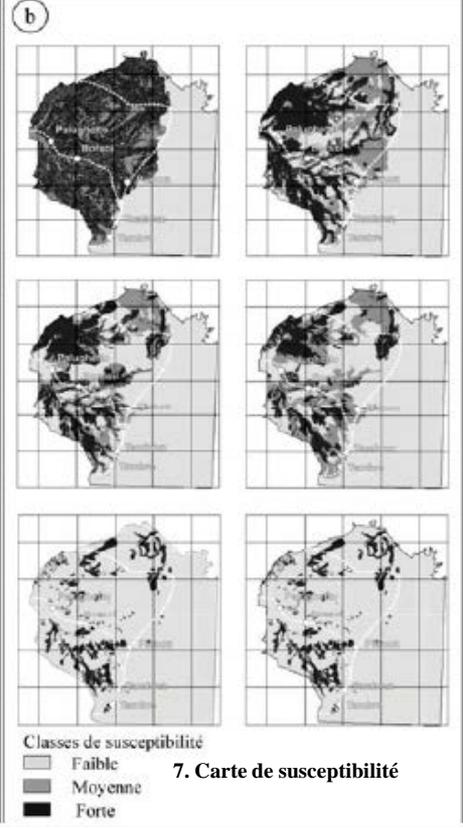
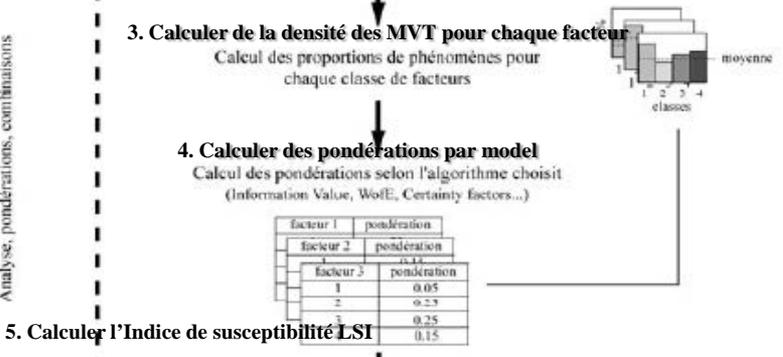
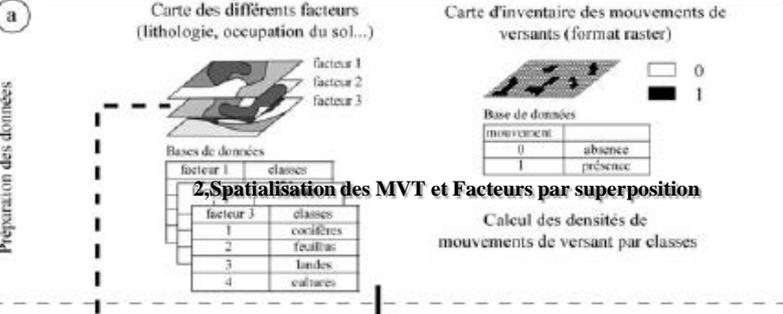
Etape 4 : Evaluation de la susceptibilité aux MVT

4 modèles probabilistes simples sous SIG:

- Le rapport de fréquence (FR), $FR = \left(\frac{Lspix}{Apix} \right) = \left(\frac{Landslidepixelclass}{Areapixelclass} \right)$
- L'indice statistique (SI), $SI = \ln \left(\frac{Densclass}{Densmap} \right) = \ln \left(\frac{Npix(Si)/Npix(Ni)}{SNpix(Si)/SNpix(Ni)} \right)$
- La théorie de l'évidence (WoE)
 - $w^+ = \ln \frac{P(B/L)}{P(\bar{B}/L)}$
 - $w^- = \ln \frac{P(\bar{B}/L)}{P(B/L)}$
- La logistique régression (LR)
 - $(P = \frac{1}{1 + e^{-z}})$



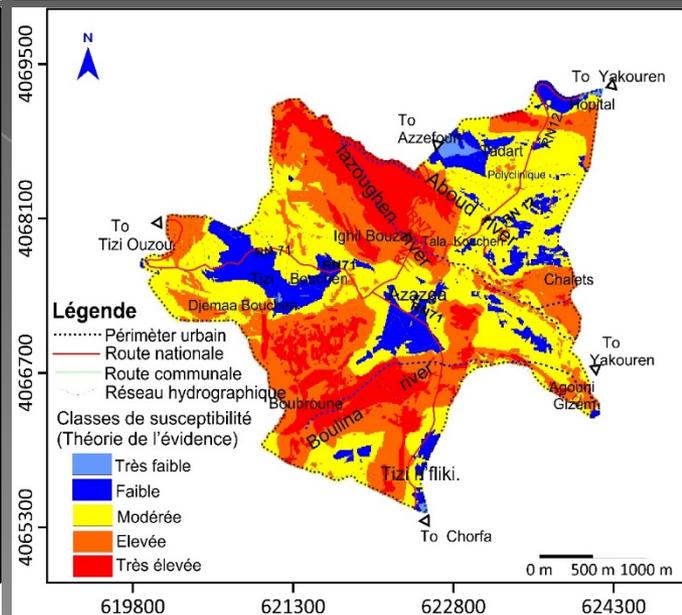
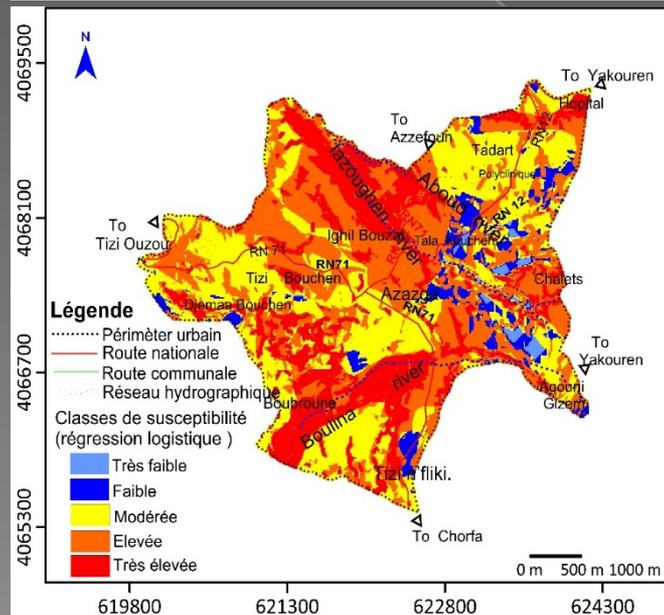
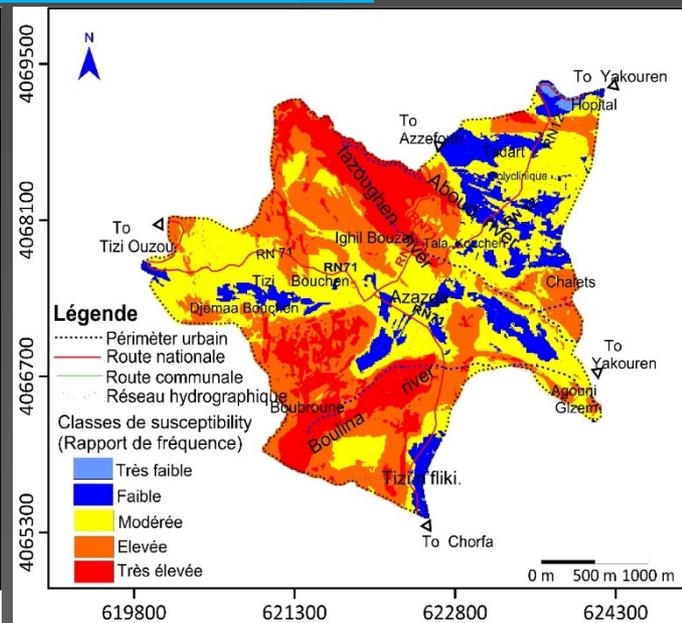
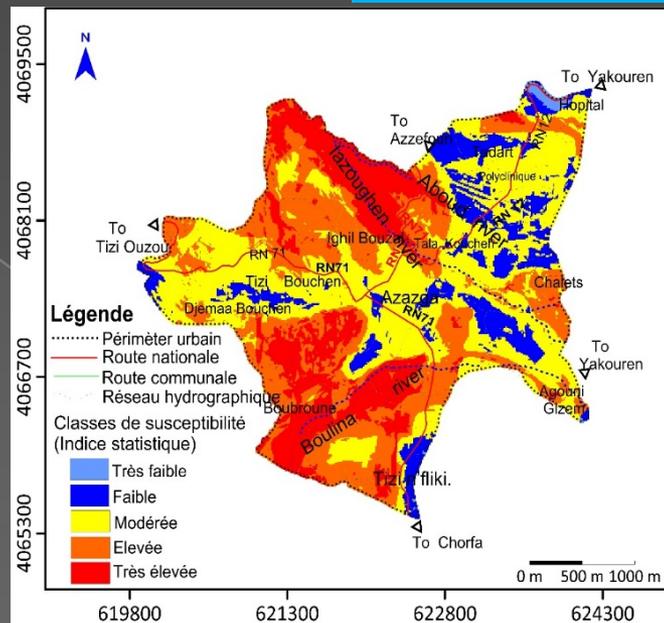
1. Création d'un maillage



Etape 5 : Cartographie de la susceptibilité aux MVT

Susceptibilité = Probabilité spatiale **PS**

Cartes de susceptibilité aux MVT obtenues par les 4 méthodes (FR, SI, WoE et LR).



Etape 6 : Verification et Validation des résultats

La qualité et la précision

1) La **courbe ROC** (*Receiver Operating Characteristic*)

Le processus de validation a été effectuée comparant les données de MVT et la carte de susceptibilité.

La qualité et la précision est donnée par AUC (Area Under the Curve) : (0,5-0,6) mauvaise; (0,6-0,7) moyenne; (0,7-0,8) bonne; (0,9-1) excellente et (0,8-0,9) très bonne

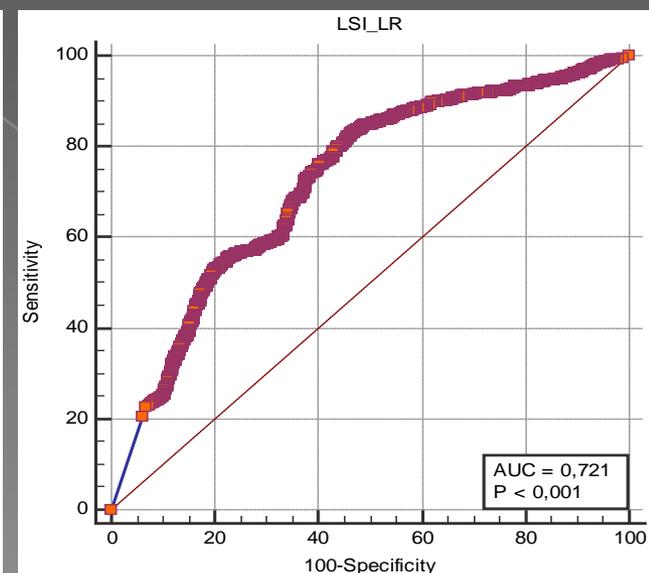
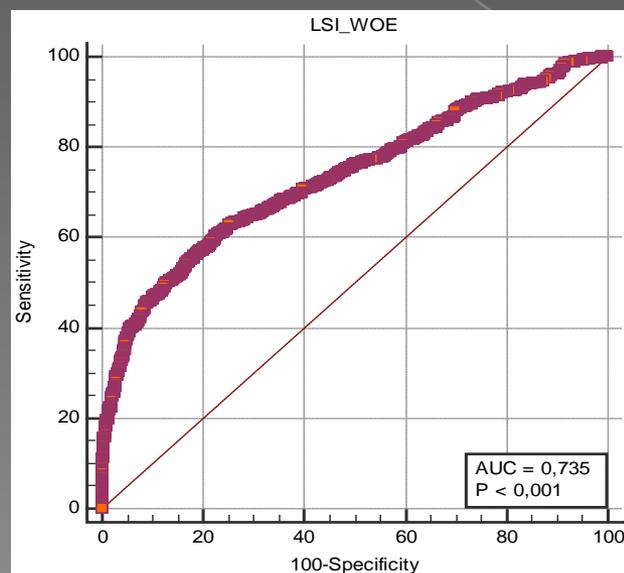
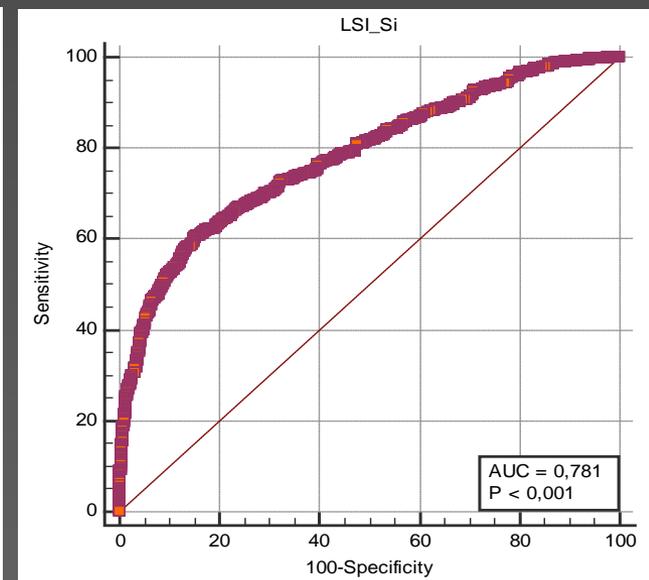
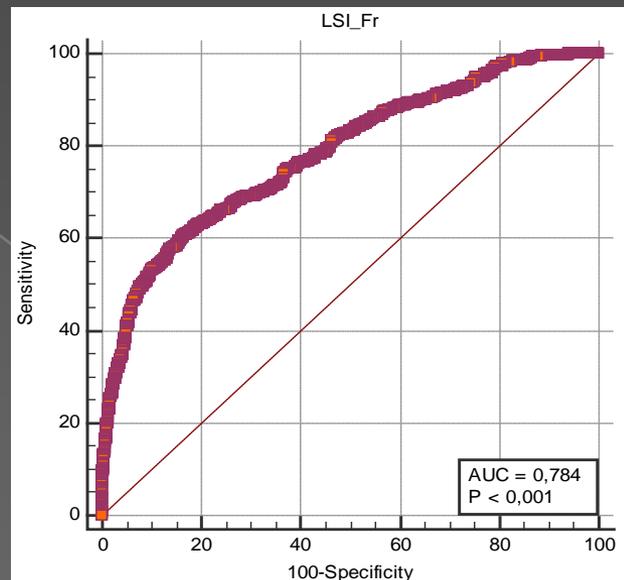


Figure 2.10: Courbes ROC représentant la qualité des quatre modèles utilisés (FR, SI, WoE et LR)

Etape 6 : Verification et Validation des résultats

La qualité et la précision

2) Les règles statistiques:

Vérifier les 2 **règles statistiques**:

* Les % de MVT augmente avec l'augmentation du degré de **susceptibilité** avec

* un grand % observé de MVT devrait appartenir à la classe **susceptibilité élevée**, et

* La classe **susceptibilité élevée** devraient couvrir seulement petite zone.

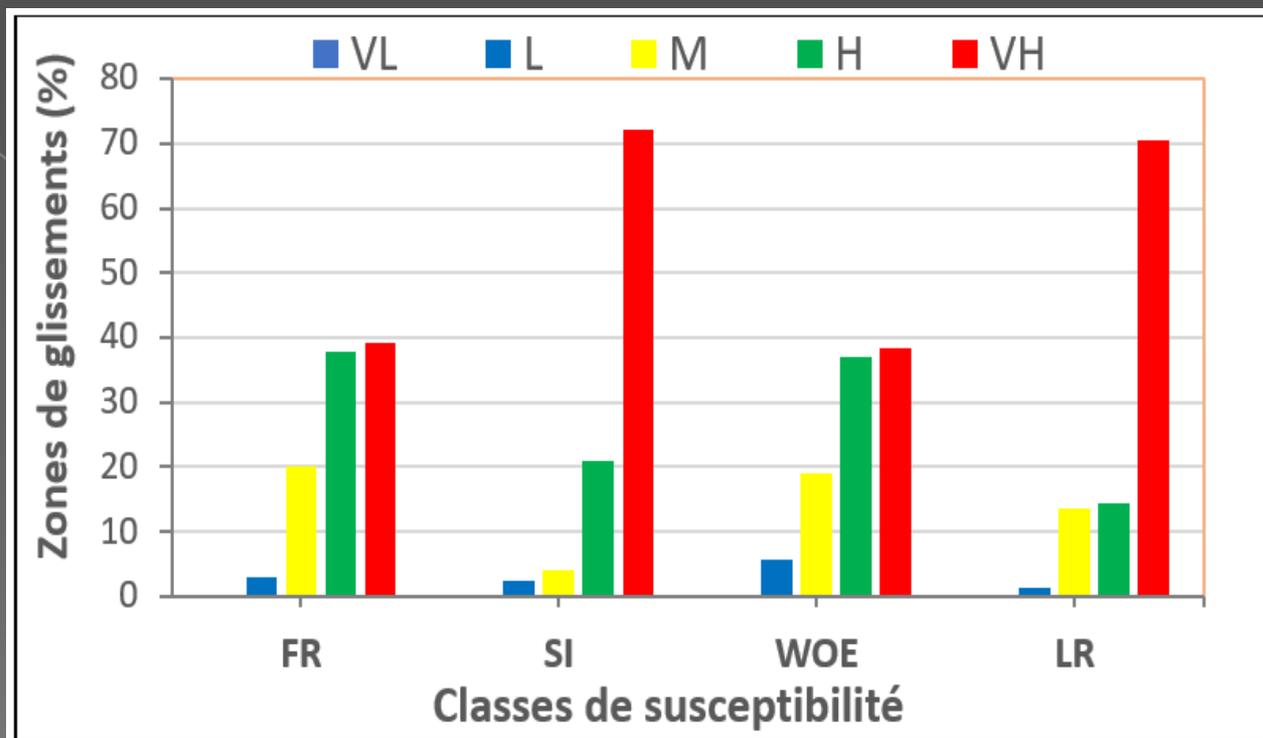


Figure 2.11: Zones de glissements de terrain actives appartenant aux différentes classes de susceptibilité aux glissements de terrain

Étape 5 : Evaluation et cartographie de l'aléa de MVT

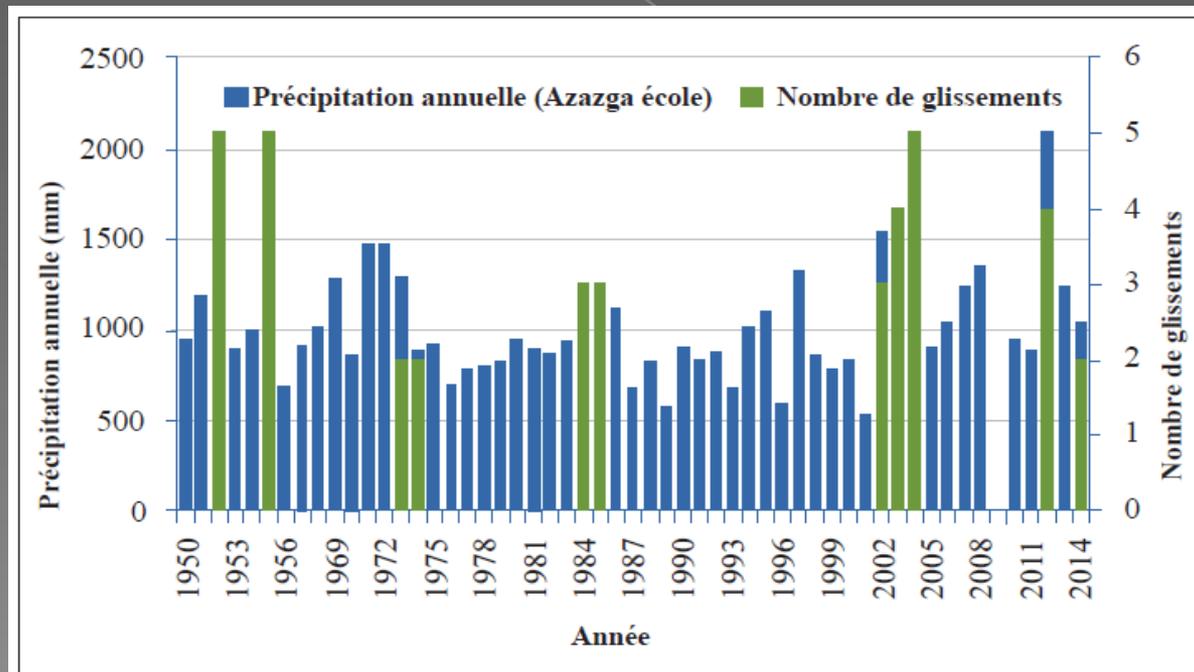
Évaluer l'aléa *stricto sensu* de MVT:

$$\text{Hazard} = P_s \times P_T$$

La probabilité temporelle

Détermination du seuil de précipitation:

Évaluer l'aléa consiste à évaluer les probabilités d'occurrences **temporelles** des **précipitations** (seuil de précipitation pour le déclenchement d'un MVT)



Etape 5 : Evaluation et cartographie de l'aléa de MVT

La probabilité temporelle

3.2.1 Détermination du seuil de précipitation

Le **seuil de précipitation** pour le déclenchement d'un MVT a été estimé sur la base de l'analyse de **relation entre**:

*Les précipitations et

*Inventaire historique des MVT

en utilisant les **modèles empiriques**

Conditions minimales de précipitation pour déclencher des MVT

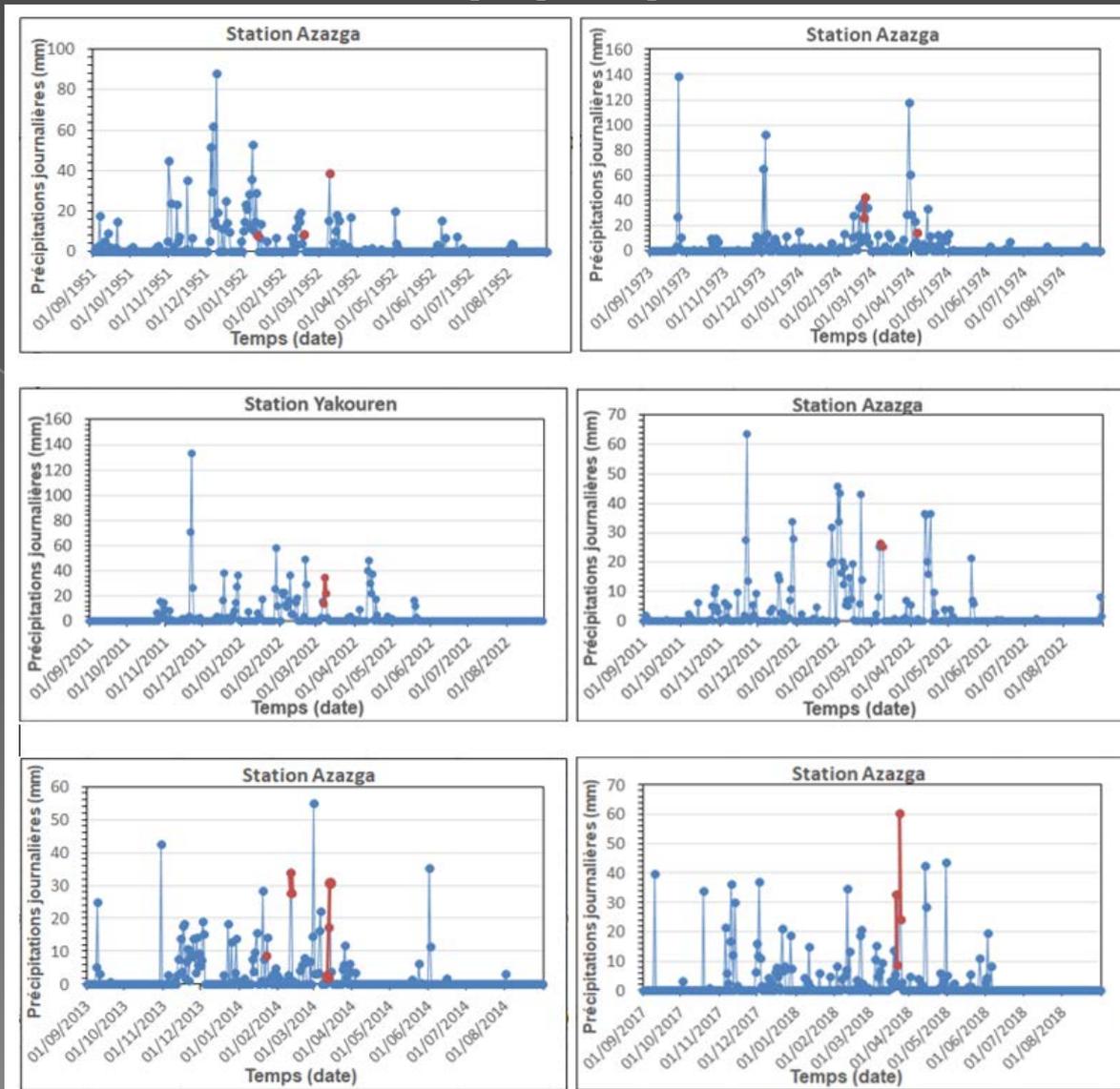


Figure 3.1 : Relation entre les précipitations journalières (barres bleues) enregistrées au niveau des stations météorologiques et les glissements de terrain (barres rouges) pour la période de 1952 - 2019.

Etape 5 : Evaluation et cartographie de l'aléa de MVT

3.2 Évaluation temporelle de l'aléa

3.2.1 Détermination du seuil de précipitation

la meilleure discrimination (entre les événements qui ont déclenché des MVT et ceux qui n'ont pas) apparait pour les événements correspondant aux précipitations antécédentes de 30 jours.

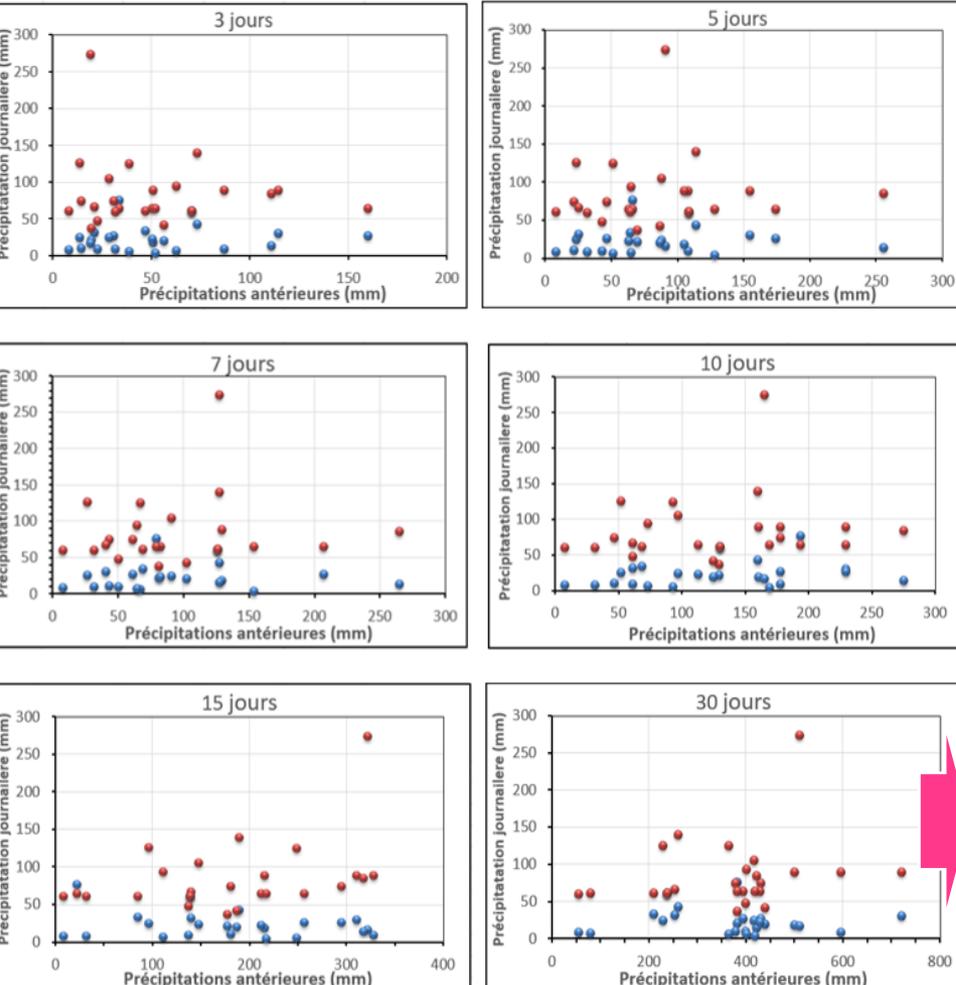
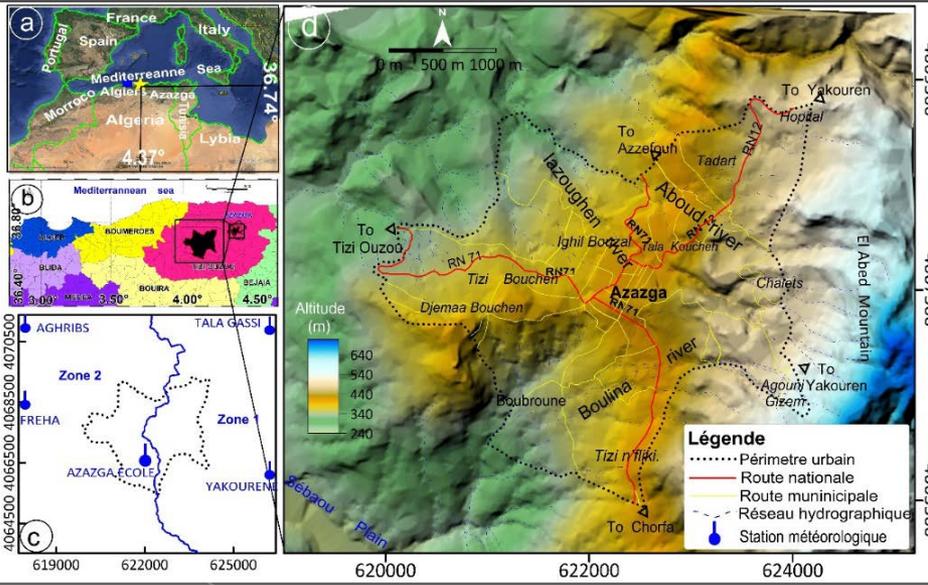


Figure 3.2 : Relation entre les précipitations journalières et les antécédentes précipitations pour la période 1952-2019. Les points rouges représentent les glissements de terrain et les points bleus indiquent les précipitations annuelles maximales en un jour sans glissement de terrain signalé.



L'équation mathématique de la courbe enveloppe pour MVT était obtenue en utilisant l'extrémité inférieure des points tracés dans le graphe

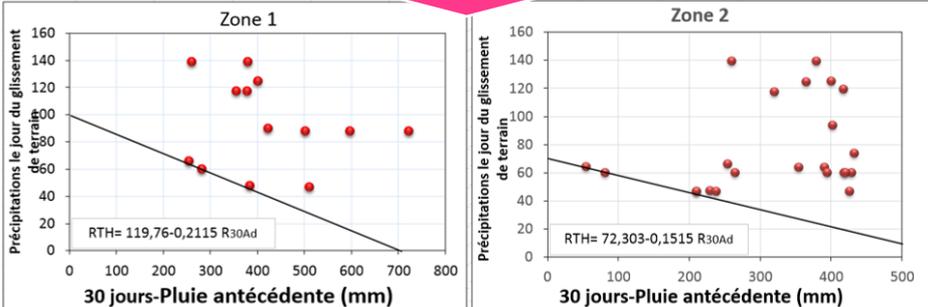


Figure 3.3 : Seuil des précipitations pour les deux zones de la ville d'Azazga, S_p est le seuil des précipitations, et P_{30J} est le seuil des 30 jours de précipitations antécédentes

Etape 5 : Evaluation et cartographie de l'aléa de MVT

3.2.3 Probabilité temporelle de déclenchement d'un glissement de terrain

Ensuite, la probabilité temporelle d'occurrence d'un MVT est estimée sur la base de la **probabilité de dépassement du seuil de précipitation** en utilisant le modèle de Poisson (Jaiswal et van Westen 2009)

Selon Crovelli (2000), la probabilité de n glissements de terrain pendant le temps t peut être estimé en utilisant la distribution de Poisson comme suit :

$$P(N(t) = n) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!}; n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Où $N(t)$ est le nombre de glissements de terrain survenus au cours du temps t , λ est le taux d'occurrence de des glissements de terrain.

La probabilité d'un ou plusieurs glissements de terrain s'est produite au cours du temps t , ce que l'on appelle le dépassement peut être estimé comme suit :

$$P(N(t) \geq 1) = 1 - \text{Exp}(-t/\mu) \quad (2)$$

Où μ est appelé l'intervalle de récurrence moyen futur et $\mu = t^{-1}$; t est une période de temps dans le futur pour laquelle la probabilité de dépassement est calculée. L'intervalle de récurrence moyen futur est estimé en utilisant l'intervalle de récurrence moyen historique avec l'hypothèse que l'occurrence future des glissements de terrain restera la même que dans le passé (Crovelli 2000).

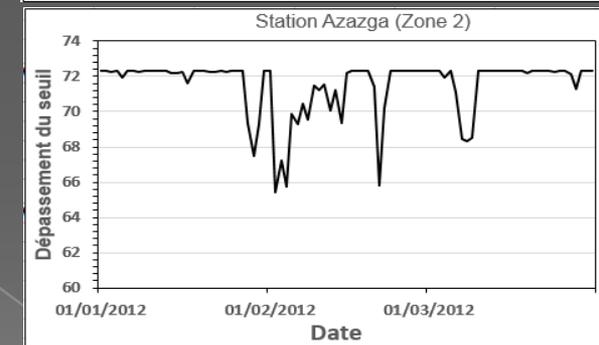
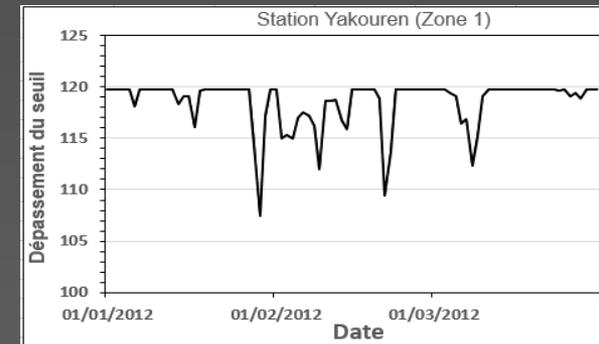


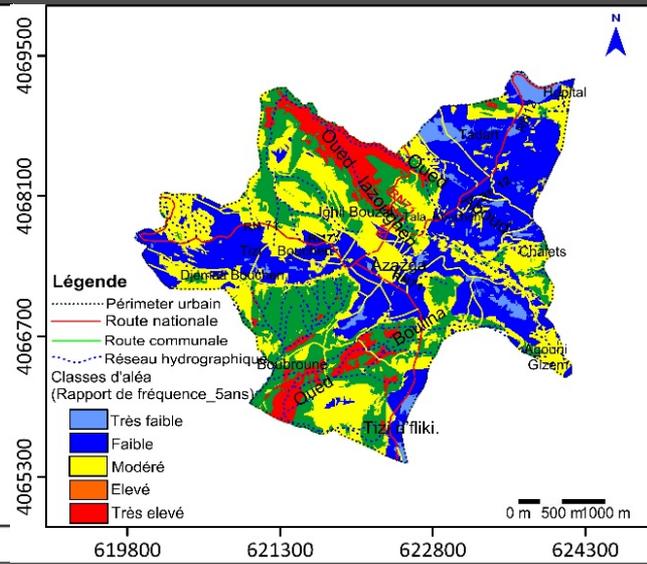
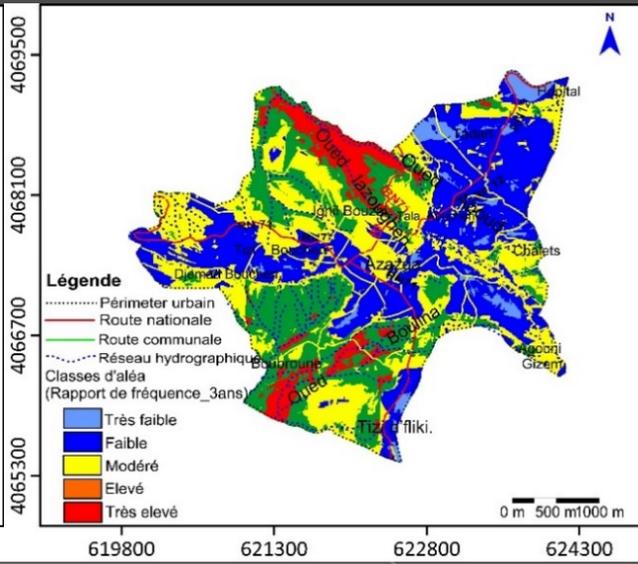
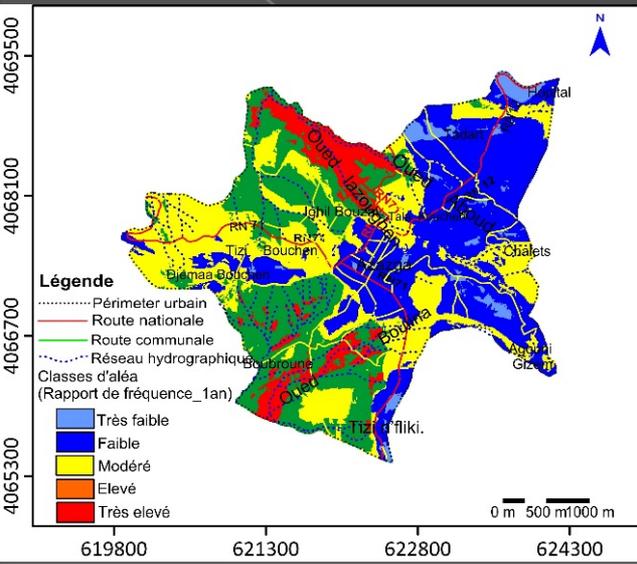
Tableau 3.2 : Probabilité temporelle de l'aléa de glissement de terrain pour la ville d'Azazga pour des périodes de retour de 1, 3 et 5 ans

Zones	Equation de seuil (RT)	Nombre de fois le seuil est dépassé	P(R > RT)	Frequence de glissements	P[L (R > RT)]	Probabilité temporelle pour des périodes de retour		
						(1 ans)	(3 ans)	(5 ans)
Zone 1 (Partie Est)	RTH = 19.76-0.2115 30Ad	11	0.84	10	0.90	0.999	1	1
Zone 2 (Partie centre Ouest)	RTH = 2.303-0.1515 R30Ad	23	0.99	14	0.60	0.811	0.993	0.999

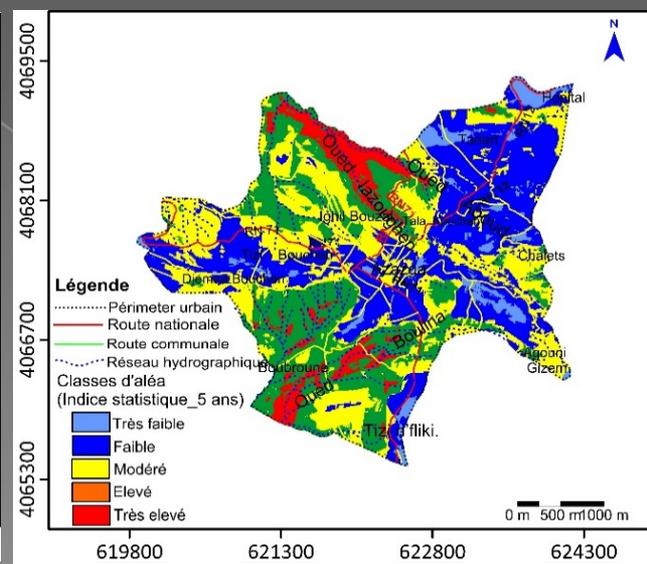
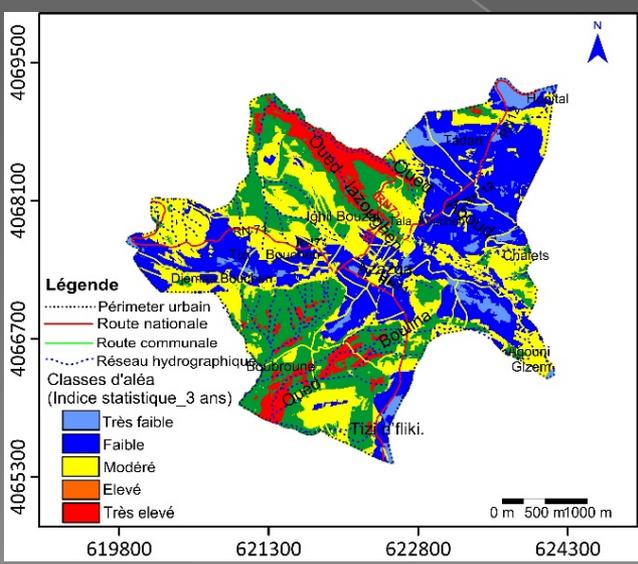
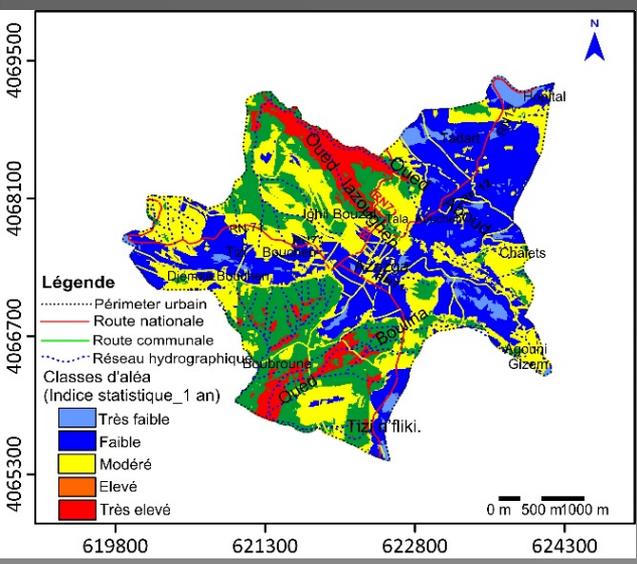
Validation de l'équation du seuil pour les deux zones. Les valeurs positives sur l'axe vertical indiquent un dépassement du seuil ($R[RTH]$).

Etape 5 : Cartographie de l'aléa de MVT

Hazard= $P_s \times P_T$



Carte d'aléa de MVT obtenue par la méthode de fréquence FR pour les trois scénarios de 1 à 5

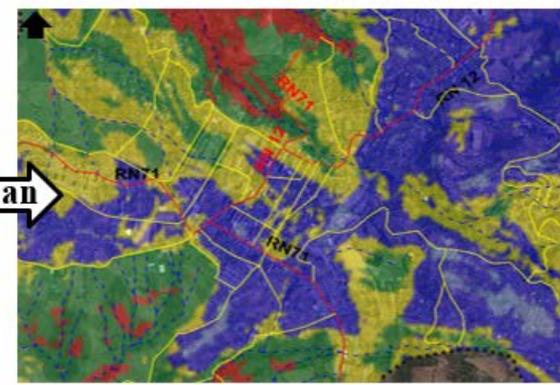
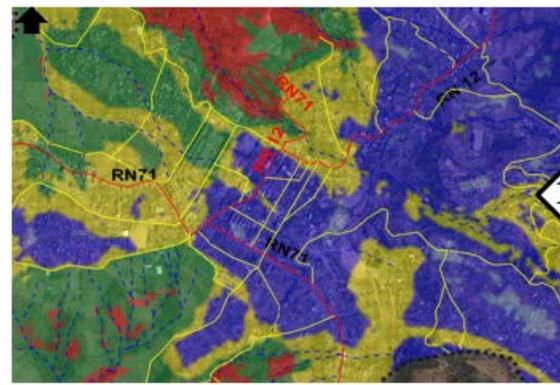


Carte d'aléa de MVT obtenue par la méthode de l'indice statistique SI pour les trois scénarios de 1 à 5

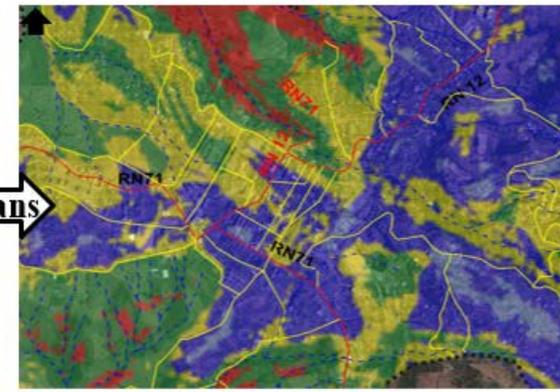
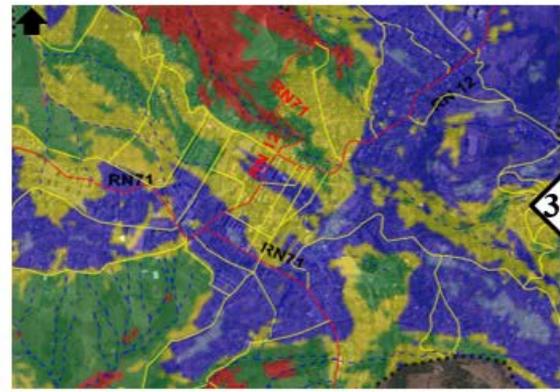
Etape 5 : Cartographie de l'aléa de MVT

Aléa de glissements de terrain basé sur le modèle de fréquence (Fr)

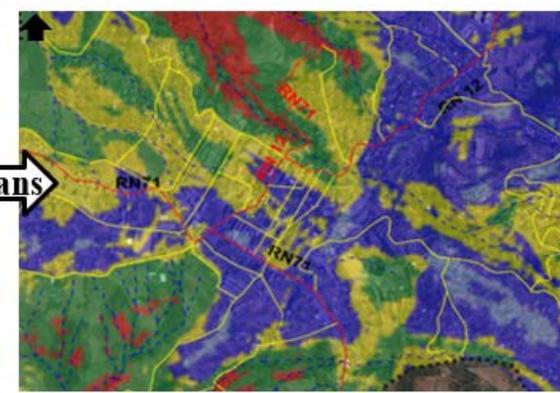
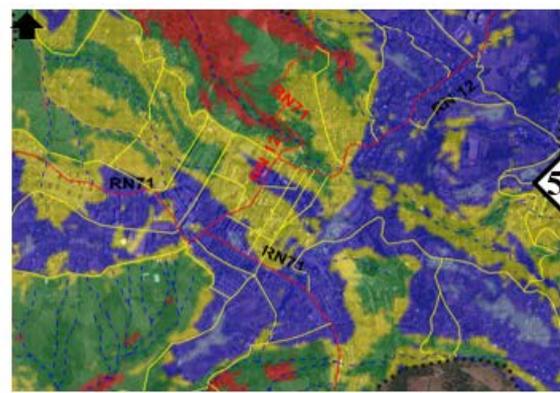
Aléa de glissements de terrain basé sur le modèle de l'indice statistique (SI)



1 an



3 ans



5 ans

Très faible Faible Modéré Elevé Très élevé



Cartes d'aléa de MVT
obtenues par les 2
modèles FR et SI

Conclusion

Les cartes d'aléa de glissements de terrain sont un outil précieux pour prendre des décisions et des mesures appropriées pour la prévention et la réduction de l'aléa des glissements de terrain.

Les cartes d'aléa proprement dit développées dans cette étude fournissent des informations quantitatives sur les zones sujettes aux aléas de glissements de terrain dans le future qui aideront les autorités locales, les planificateurs, les responsables politiques et les décideurs dans la planification et le développement des infrastructures visant à permettre le développement durable de la ville d'Azazga..





Application of GIS-based statistical modeling for landslide susceptibility mapping in the city of Azazga, Northern Algeria

Hamid Bourenane¹ · Aghiles Abdelghani Meziani¹ · Dalila Ait Benamar¹

Received: 1 February 2021 / Accepted: 25 July 2021
 © Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2021

Abstract

Landslide susceptibility mapping is a necessary tool in order to manage the land. In this research, we validate and compare the landslide susceptibility maps information system (GIS)-based statistical approaches including frequency density (WoE), and logistic regression (LR) for the urban area of Azazga. For was prepared from aerial photographs and high-resolution satellite imagery percent of the mapped landslides were selected for landslide susceptibility for model validation. Secondly, ten landslide factors including the slope, as distance to drainage, distance to faults, distance to lineaments, and distance Alsat 2A satellite images, aerial photographs, geological map, DEM, and by evaluating the relationships between the detected landslide locations and WoE models in GIS. Finally, the obtained LSMs of the four models have b asteristics curves (ROCs). The validation process indicated that the FR met in generating LSMs than the SI (78.1%),WoE (73.5%), and LR (72.1%) m statistical models provided good accuracy in landslide susceptibility mappi

Keywords Landslide susceptibility · Statistical methods · Validation · GIS ·

Spatial distribution, controlling factors and failure of the large-scale landslides in the urban area of Algeria)

Hamid Bourenane¹ · Massinissa Braham¹ · Youcef Bouhadad¹ · Aghiles Al

Received: 7 October 2020 / Accepted: 22 March 2021
 © The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Na

Abstract

The city of Azazga is facing extensive and damaging landslide hazard. The aim of this study was to investigate the inventory mapping, the deformation characteristics, the controlling factors and the failure mechanisms of the landslides in the urban area of Azazga based on field surveys, aerial photographs/satellite images interpretation and the exploitation of available data including rainfall database, boreholes, piezometers, inclinometers and laboratory tests. The prepared landslide inventory map indicates that the unstable urban perimeter covers an area of 281.6 ha which represents about 31% of the urban area. Analysis of the inventory data highlighted the action of two types of conditioning factors: (i) susceptibility factors represented by the presence of clay, marl deposits with low mechanical resistance characteristics, the presence of shallow aquifers, the morphology and steep slope, the tectonic features network and a dense hydrographic network; (ii) the triggering factors corresponds to the high intensity rainfall and the uncontrolled human activity. Statistical analysis of the relationship between the landslide occurrence and the landslide-conditioning factors shows that the highest density of landslides occur in quaternary scree and cretaceous clay flysch located on slopes ranging between 5° to 20°. The statistical results indicate that the highest concentration of landslides occurred in the highest rainfall classes ranging from 950 to 1050 mm. Additionally, the results showed the important role of the fluvial incision with more of the landslides occur at a distance of 50 m from the nearest rivers. These data also indicated that the high density of the landslides is concentrated in the farming and urban zones. The inclinometer measurement results reveal a deep rupture surfaces between 4 and 28 m located at the scree-flysch bedrock interface. According to the mechanism modes, landslides are controlled by the following: (i) the dip of the flysch formation layers, the schistosity planes and fractures downward slope direction; and (iii) the interface contact between the quaternary scree and flysch substratum. This work presents an exhaustive understanding of the causes, deformation characteristics and failure mechanisms of the large-scale landslides as a useful information for landslide hazard and risk mitigation.

Keywords Landslide area · Mechanism modes · Frequency-size · Landslide inventory · Susceptibility factors · Triggering factors · Field surveys · Inclinometers

International Journal of Environmental Science and Technology

Landslide hazard mapping using temporal probability analysis of intense rainfall in the city of Azazga, Northern Algeria

--Manuscript Draft--

ANALYSE BASÉE SUR SIG ET TÉLÉDÉTECTION DE L'INVENTAIRE, DES CAUSES ET MÉCANISMES DES MOUVEMENTS DES VERSANTS DANS LA VILLE D'AZAZGA (NORD ALGÉRIEN)

Hamid BOURENANE*

RÉSUMÉ

Le tissu urbain de la ville d'Azazga est menacé périodiquement par des mouvements de pentes de divers types, constituant un frein récurrent pour le développement de cette région. La présente recherche soutient l'identification, l'analyse et la cartographie de l'inventaire et des causes des mouvements de terrain ainsi que la compréhension de leurs mécanismes et leur évolution. L'étude est menée sur la base de : (i) l'analyse des photos aériennes et des images satellitaires à haute résolution Alsat 2A, complétée par des investigations de terrain et (ii) l'exploitation des campagnes de reconnaissances géologiques, géotechniques et hydrogéologiques réalisées dans le site de l'étude. La carte d'inventaire des mouvements de terrain établie, montre que leur périmètre couvre une superficie de 281,6 ha, constituant ainsi 31% de l'assiette urbaine. Ces mouvements gravitaires observés relèvent de trois types de facteurs interactifs: (i) les facteurs de prédisposition, liés à la prédominance des formations argilo-marneuses et sableuses, très plastiques, décomposées et altérées en surface, possédant de faibles caractéristiques de résistance mécanique sur une pente moyenne à raide de 10 à 20°, et la présence d'aquifères peu profonds dans les dépôts d'éboulis quaternaires avec un réseau hydrographique dense, à une tectonique traduisant des déformations avec un réseau de failles et fractures qui facilite les infiltrations d'eau et leur altération; (ii) le facteur de déclenchement lié aux précipitations hivernales concentrées, de forte intensité et (iii) le facteur d'aggravation liée à l'activité anthropique par accentuation des pentes de stabilité précaire et surcharge en ramblais. Ces mouvements sont contrôlés et favorisés par : (i) le pendage des flyschs conforme à la pente; (ii) le pendage des plans de schistosité conforme à la pente; (iii) le contact des éboulis avec le substratum flysch et (iv) la déstabilisation de la pente par le sapement basal des torrents des oueds Inazoughen, Boulina et Aboud. Les aboutissements de cette étude constituent un outil de décision pour les aménageurs du territoire, en prenant en compte cet aléa dans les plans directeurs d'aménagement.

Mots-clés - Mouvements de terrain - Causes - Mécanismes - Cartographie - SIG - Azazga-Algérie.

* Centre National de Recherche Appliquée en Genie Parasismique (CGS), 1 Rue Kaddour Rahim, Hussein Dey, Alger. E-mail: b.hamid725@gmail.com

- Manuscrit déposé le 31 mai 2021, accepté après révision le 09 janvier 2022.

JEST-D-22-00645

Landslide hazard mapping using temporal probability analysis of intense rainfall in the city of Azazga, Northern Algeria

Landslide hazard mapping in the city of Azazga, Northern Algeria

Original Paper

Landslide hazard _ Antecedent rainfall _ Rainfall threshold _ GIS _ Algeria

Hamid Bourenane
 Centre National de Recherche Appliquée en Genie Parasismique
 ALGERIA

Centre National de Recherche Appliquée en Genie Parasismique

Environmental Earth Sciences

ndslide induced by the March 12th, 2012 rainfall event in the Algeria: Deformation characteristics and failure mechanisms

--Manuscript Draft--

The large deep-seated landslide induced by the March 12th, 2012 rainfall event in the city of Azazga, northern Algeria: Deformation characteristics and failure mechanisms

Original Manuscript

hamid Bourenane
 CGS
 ALGIERS, ALGERIA

Corresponding Author Secondary Information:

Corresponding Author's Institution: CGS

Corresponding Author's Secondary Institution:

First Author: hamid Bourenane, Doctor

First Author Secondary Information:

Order of Authors:
 hamid Bourenane, Doctor
 Rabah Bensalem, Doctor
 El Hadi Oubaiche, Doctor
 Massinissa Braham, Master
 Aghiles Abdelghani Meziani, Master
 Youcef Bouhadad, Doctor
 Mohamed Yacine Tebbouche, Master

An aerial photograph showing a multi-lane highway interchange built on a steep, forested hillside. A large, chaotic pile of grey and brown rocks and debris has slid down from the upper part of the hill, completely blocking off a section of the highway. The surrounding landscape is lush green with dense trees. In the background, another highway interchange is visible, along with some buildings and a bridge spanning a valley.

Merci pour votre
attention

« ON NE COMMANDE A LA NATURE QU'EN LUI OBEISSANT »

Francis Bacon, Philosophe et scientifique anglais du 16 siècle