



**Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique**

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie

Département de GENIE CIVIL



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Géotechnique

Par : MEDJIR Salah & METERFI Hichem

THEME

**APPORT DU SIG ET DE LA TELEDETECTION DANS LA
MODELISATION SPATIALE DU RISQUE NATUREL**

(Application à la wilaya de Msila)

Soutenu devant le jury composé de Messieurs :

BEAGRAA Larbi, M.C.A, Université Med Boudiaf - M'sila, Président

MENASRI Youcef, M.C.B, Université Med Boudiaf - M'sila, Examineur

KHEMISSA Mohamed, Prof., Université Med Boudiaf - M'sila, Encadreur

SEDDIKI Ahmed, M.C.B, Université Med Boudiaf - M'sila, Co- Encadreur

Promotion : 2020/2021

Remerciements

Nous remercions ALLAH Tout Puissant de nous avoir donné la patience et la force pour terminer ce travail.

Nos vifs remerciements vont particulièrement à nos enseignants Professeur Mohamed Khemissa et Ahmed Seddiki pour leurs soutiens et de nous avoir orienté et encouragé en cours de la réalisation de cette étude

Nous adressons aussi nos remerciements à tous les enseignants du département de génie civil et l'ensemble des membres du jury qui ont bien voulu analyser et évaluer ce travail

Nous remercions, également, tous les enseignants et Responsables du Faculté de technologie

*Ainsi que nous camarades de la **promotion de l'an 2020/2021***

Et enfin, on remercie tout qui nous a aidés pour rendre ce travail effectif.

Résumé

Le processus général de conduite de nos recherches peut être résumé en prenant et en cartographiant toutes les données dont nous disposons sur les différents risques liés au sol pour toutes les régions de Msila, Ces données sont extraites de rapports d'études géotechniques établies par des laboratoires techniques accrédités dans divers sites à travers territoire de la wilaya de Msila et obtenu auprès de l'Organisme Nationale de Contrôle Technique de constructions (CTC agence Msila).

a l'aide de le programme Système d'information géographique (SIG) ArcGIS, pour créer, traiter et cartographier l'information géographique, en représentant les données disponibles sur une carte montrant les risques liés au sol pour toutes les communes de la Wilayat de Msila, et l'accent a été mis sur les trois communes de Msila Sidi Aissa et Boussaâda, compte tenu de la disponibilité d'informations suffisantes sur la teneur en ions sulfate. SO_4^{2-} dans le sol, le phénomène de retrait-gonflement du sol et danger d'inondation.

De plus, les zones de ces communes font également partie des zones les plus exposées à ces risques et sont une extension d'autres zones à risques, avec une représentation cartographique de tous les séismes survenus dans l'état de 1925 à 2010 selon les informations obtenues auprès du CRAAG et du CGS.

La force motrice derrière la sélection était que les zones étudiées s'inscrivent dans la continuité d'autres zones de danger car le tissu urbain de Msila connaît actuellement un développement étonnant dans les différentes municipalités de la wilaya en raison de la démographie continue, et donc de l'expansion vers d'autres terres est inévitable, ces risques causent souvent de graves dommages aux infrastructures routières, aux réseaux divers et aux constructions civiles et industrielles.

Les cartes qui ont été produites grâce au système d'information géographique au niveau des zones étudiées ont permis de donner un aperçu du degré de risques et de leur localisation, afin de mettre les précautions nécessaires et de prendre les mesures nécessaires, ainsi que de créer un plan de travail avec une vision d'avenir pour éviter ces risques pour la sécurité de toutes les constructions civiles ou industrielles, routes et réseaux différents, à créer dans ces zones.

ملخص

يمكن تلخيص العملية العامة لإجراء بحثنا هذا من خلال أخذ ورسم خرائط لجميع البيانات التي لدينا حول المخاطر المختلفة المتعلقة بالتربة لجميع مناطق ولاية المسيلة، هذه البيانات مستخرجة من تقارير الدراسات الجيوتقنية التي أنشأتها المخابر التقنية المعتمدة في المواقع المختلفة عبر تراب إقليم ولاية المسيلة و المتحصل عليه من طرف الهيئة الوطنية للرقابة التقنية للبناء (CTC agence Msila) باستخدام برنامج نظام المعلومات الجغرافية (SIG) ArcGIS ، لإنشاء ومعالجة ورسم خرائط للمعلومات الجغرافية، من خلال تمثيل البيانات المتاحة على خريطة توضح المخاطر المرتبطة بالتربة لجميع بلديات ولاية المسيلة، كما تم التركيز على البلديات الثلاث المسيلة سيدي عيسى وبوسعادة، بالنظر إلى توافر المعلومات الكافية عن محتوى أيونات الكبريتات-SO₄2 في التربة، ظاهرة الانكماش وانتفاخ التربة وخطر الفيضانات.

إضافتا إلى ذلك فان مناطق هذه البلديات هي أيضاً جزء من المناطق الأكثر تعرضاً لهذه المخاطر وهي امتداد لمناطق الخطر الأخرى، مع تمثيل خريطة لجميع الزلازل التي حدثت في الولاية من عام 1925 إلى عام 2010 وفقاً للمعلومات التي تم الحصول عليها من CRAAG و CGS.

كانت القوة الدافعة وراء الاختيار هي أن المناطق المدروسة هي جزء من استمرارية مناطق الخطر الأخرى لأن النسيج العمراني للمسيلة يشهد حالياً تطوراً مذهلاً في مختلف بلديات الولاية بسبب التركيبة السكانية المستمرة، وبالتالي التوسع إلى أراض أخرى أمر لا مفر منه.

غالباً ما تسبب هذه المخاطر أضراراً جسيمة للبنية التحتية للطرق والشبكات المختلفة والمنشآت المدنية والصناعية. مكنت الخرائط التي تم إنتاجها من خلال نظام المعلومات الجغرافية على مستوى المناطق المدروسة من إعطاء لمحة عامة عن درجة المخاطر وموقعها، من أجل وضع الاحتياطات اللازمة واتخاذ الإجراءات الضرورية وكذا إنشاء مخطط عمل مع نضرة مستقبلية لتفادي هذه الأخطار من اجل سلامة جميع الإنشاءات المدنية أو الصناعية والطرق والشبكات المختلفة. التي سيتم إنشاؤها في هذه المناطق.

Summary

The general process of conducting our research can be summarized by taking and mapping all the data we have on the various soil-related risks for all regions of Msila, These data are taken from geotechnical study reports established by laboratories techniques accredited in various sites across the territory of the wilaya of Msila and obtained from the National Body for Technical Control of constructions (CTC Msila).

using the ArcGIS Geographic Information System (GIS) program, to create, process and map geographic information, by representing the available data on a map showing the risks related to the soil for all the municipalities of the wilaya de Msila, and the emphasis was placed on the three communes of Msila Sidi Aissa and Boussaâda, given the availability of sufficient information on the sulfate ion content. SO₄²⁻ - On the ground, shrinkage phenomenon, soil swelling and danger of flooding.

In addition, the areas of these municipalities are also among the areas most exposed to these risks and are an extension of other risk areas, with a cartographic representation of all earthquakes that occurred in the state from 1925 to 2010 according to the information, obtained from CRAAG and CGS.

The driving force behind the selection was that the studied areas are a continuation of other danger zones as the urban fabric of Msila is currently experiencing an astonishing development in the various municipalities of the state due to the continuous demography, and therefore expansion to other lands is inevitable, These risks often cause serious damage to road infrastructure, various networks and civil and industrial installations.

The maps that were produced thanks to the geographic information system at the level of the areas studied made it possible to give an overview of the degree of risks and their location, in order to put the necessary precautions and take the necessary measures, as well as to create a work plan with a vision for the future to avoid these risks for the safety of all civil or industrial constructions, roads and different networks, to be created in these areas.

SOMMAIRE

Liste des tableaux
Liste des figures
INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE PREMIER

GENERALITE SUR SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

I.1. Historique..... 4
 I.1.1. Définition 7
 I.1.2. Avantages d'un SIG 7
I.2. Les composants du SIG..... 8
 I.2.1. Les logiciels 8
 I.2.2. Les données..... 8
 I.2.2.1. Mode vecteur : 8
 I.2.2.2. Mode raster : 9
 I.2.3. Les matériels informatiques 10
 I.2.4. Les savoir-faire 10
 I.2.5. Les utilisateurs 10
I.3. Logiciels SIG : 11
 I.3.1. Logiciels libres : 11
 I.3.1.1. Liste des Logiciels libres : 11
 I.3.2. Logiciels propriétaires..... 12
 I.3.2.1. Gratuits 12
 I.3.2.2. Commerciaux : 12

CHAPITRE DEUXIEME

OUTILS NUMERIQUES UTILISES

II.1. Présentation D'ArcGIS 14
II.2. L'objectif d'ArcGIS..... 16
 II.2.1. Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes 16
 II.2.2. Rassembler les informations géographiques..... 16

Sommaire

II.2.3. Créer et gérer des bases de données géographiques :	17
II.2.4. Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale :	18
II.2.5. Créer des applications basées sur la carte :	19
II.2.6. Partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation :	20
II.3. Les modules du logiciel ArcGIS.....	21
II.3.1. Arc Globe :	21
II.3.2. ArcScene :	21
II.3.3. ArcMap :	21
II.4. ArcMap :	22
II.4.1. Tâches courantes effectuées dans ArcMap :	22
II.4.2. Présentation d 'ArcMap.....	23
II.4.2.1. Documents ArcMap	24
II.4.2.2. Modes d'affichage dans ArcMap	24
II.4.2.3. Couches cartographiques	25

CHAPITRE TROISIEME

ALEAS LIES AUX SOLS

III.1. Reconnaissance des sols	28
III.2. Risques naturels.....	28
III.2.1. Les mouvements de terrains	28
III.2.2. Risques lies aux calcaires	31
III.2.3. Dolines	31
III.2.3. Risques lies aux marnes	33
III.2.4. Présence de cavités :	33
III.2.5. Sols gypseux :	34
III.2.6. Retrait-gonflement :	34
III.2.7. Sols mous très compressibles :	37
III.2.8. Inondations	37
III.2.9. Agressivité chimique :	37
III.2.10. Risque sismique.....	39

CHAPITRE QUATRIEME

**VALIDATION A L'ETABLISSEMENT DES CARTES NUMERIQUE D'ALEAS ET DE
RISQUES DE LA REGION DE MSILA**

IV.2. Présentation de la zone du Hodna	43
IV.2.1. Analyse de l'Aléas de la wilaya de Msila	43
IV.2.1.1. Situation géographique de Msila :	43
IV.2.1.2. Contexte géologie.....	44
IV.2.1.3. Cadre climatologique	45
IV.2.1.4. Hydrologie de Boussaâda.....	45
IV.2.1.5. Données géotechniques	45
IV.2.1.6. Donnée sismique	47
IV.2.1.7. Historique de la sismicité de la région de Msila :	47
IV.3. Analyse de l'Aléas de la commune de Msila	48
IV.3.1. Localisation géographique de la ville de Msila.....	48
IV.3.1.1. Géologie	49
IV.3.1.2. Le Climat.....	49
IV.3.2. Données Teneur en ions de sulfates SO ₄ ²⁻ dans le sol.....	49
IV.4. Analyse des Aléas de la commune de Sidi Aïssa.....	51
IV.4.1. Localisation géographique de la commune de Sidi Aïssa.....	51
IV.4.2. Géologie	51
IV.4.3. Le Climat.....	52
IV.4.4. Données géotechniques.....	52
IV.5. Analyse des Aléas de la commune de Boussaâda	55
IV.5.1. Localisation géographique de la commune de Boussaâda	55
IV.5.2. Géologie	55
CONCLUSION GENERALE	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	61

Liste des tableaux

Tableau III.1 Classification de l'agressivité des sulfates dans le sol, [NA 16002, 2007]	38
Tableau III.2 Classification de l'agressivité des sulfates dans le sol, [NF P 18-011 1992]	38
Tableau IV.1 Extrait de la base de données les aléas liés aux sols.....	46
Tableau IV.2 Extrait de la base de données sismicité de la région	47
Tableau IV.3 Extrait de la base de données Teneur en ions de sulfates SO ₄ ²⁻ -% dans le sol sec.....	50
Tableau IV.4 Extrait de la base de données Teneur en ions de sulfates SO ₄ ²⁻ en mg/kg sol sec.....	52
Tableau IV.5 Retrait, gonflement (Pression de gonflement en bars)	54

Liste des figures

Figure I.1 Modes de données dans les SIG	9
Figure I.2 Composants d'un SIG.....	11
Figure II.1 Les utiles ou les moyens de SIG.	14
Figure II.2 Arborescence du logiciel ArcGIS 10.3.....	21
Figure II.3 Modes d'affichage dans ArcMap.....	25
Figure III.1 Terminologie des éléments d'un glissement	30
Figure III.2 Cas pathologique dus au glissement (Ouanougha 2020)	30
Figure III.3 Classification des mouvements de terrains	31
Figure. III.4 Types de processus de formation d'une doline	32
Figure III.5 Glissements en surface au sein du massif	33
Figure III.6 Cas pathologique sol argile sablo-gypseuse (150 Logts Msila 2017).....	34
Figure III.7 Le Risque lié au retrait-gonflement des sols argileux	35
Figure III.8 Cas pathologique phénomènes retrait / gonflement (530 Logts Sidi Aissa 2020).....	36
Figure III.9 Le Inondations à M'sila le 14/05/2021	37
Figure III.10 Agressivité chimique (20 Logts El Hamel 2019).....	39
Figure III.11 Schéma de la liquéfaction d'un sol	40
Figure III.12 Séisme de Beni Ilmane du 14 / 05 / 2010 wilaya de Msila	41
Figure IV.1 Localisation géographique de la région d'étude	43
Figure IV.2 Géologie de la région du Hodna	44
Figure IV.3 Carte des aléas et résèques géotechnique.....	46
Figure IV.4 Carte de sismicité de la région de Msila	48
Figure IV.5 Localisation géographique de la commune de Msila.....	49
Figure IV.6 Carte de Teneur en ions de sulfates SO_4^{2-} ville de Msila	50
Figure IV.7 Localisation géographique de la ville de Sidi Aissa	51
Figure IV.8 Carte de Teneur en ions de sulfates SO_4^{2-} ville de Sidi Aissa.....	53
Figure IV.9 Carte de retrait, gonflement ville de Sidi Aissa	54
Figure IV.10 Localisation géographique de la ville de Boussaâda	55
Figure IV.11 Carte d'Inondation Boussaâda	56
Figure IV.12 Le Inondations à M'sila le 14/05/2021	57

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La wilaya de Msila est sujette à de nombreux aléas naturels en raison de sa situation géographique de multiples aléas tels que: les tremblements de terre (le cas du tremblement de terre de Béni Ilmen en 2010), et les inondations provoquées par le ruissellement urbain et nous rapprochent de la plupart des régions de la wilaya, notamment les zones du sud qui sont plus sujettes aux inondations (Boussaâda, Ain El Melh, station balnéaire...etc.), alors que les inondations de 2021 ont fait quatre (04) morts en plus des importantes pertes matérielles, De plus, la sécheresse et la désertification entraînent des dégradations des sols dans les zones à risque, ce qui provoque une modification du comportement physico-mécanique du sol, avec le phénomène de retrait et gonflement des sols argileux, ainsi que la proportion de salinité élevée dans les sols ,dans les différentes régions de la wilaya, Il en résulte des perturbations majeures apparaissant fréquemment dans les infrastructures des routes, réseaux divers et dans les constructions civiles et industrielles légères.

D'où la nécessité d'une stratégie de protection stricte, compte tenu de la grande diversité de la région et des défis auxquels elle est confrontée, depuis la promulgation de la loi sur la prévention des catastrophes et la gestion des risques naturels dans le cadre du développement durable (loi 20 04 du 25 décembre 2004), les différents thèmes de recherche sur ces questions se sont multipliés, dont les objectifs sont de connaître et de gérer les risques naturels et leur intégration dans différents projets de développement régional, au niveau national et régional, la région de Msila fait partie des wilayas exposées à divers dangers naturels.

En prenant toutes les données dont nous disposons pour les différents dangers liés au sol pour toutes les zones de la wilaya de Msila et en réalisant des cartes pour ces risques en utilisant l'outil « ArcGIS » pour la gestion des cartes géographiques et les différentes interfaces, ceci en représentant les données disponibles sur une carte illustrative des dangers liés au sol pour toutes les communes de la wilaya, avec une carte de tous les tremblements de terre (séisme) survenus dans la wilaya de 1925 à 2010 selon les informations obtenues auprès de CRAAG et CGS

Compte tenu de la disponibilité d'informations suffisantes pour les communes de Msila et Sidi Aissa et Boussaâda ces trois communes sont considérées parmi les plus affectées par le rétrécissement et le gonflement du sol argileux, ainsi que par le niveau élevé de salinité du sol. nous créé des cartes détaillées pour ces trois communes.

De plus, La présentation des résultats sous forme de carte est considérée comme l'un des moyens les plus efficaces pour soutenir une prise de décision rationnelle, pour éviter les impacts sociaux et économiques extrêmes de ces risques et phénomènes naturels.

En perspective, nous pensons pouvoir améliorer la modélisation de notre système et étendre ses fonctionnalités pour mieux faire face aux risques naturels et aux phénomènes sismiques.

Chapitre Premier

GENERALITE SUR SYSTEMES D'INFORMATION

GEOGRAPHIQUE

I.1. Historique

La première utilisation du terme « Système d'Information Géographique » a émergé grâce à Roger Tomlinson en 1968 dans son essai : « Un système d'information géographique pour l'aménagement du territoire »¹. Roger Tomlinson est connu comme le père du Système d'Information Géographique².

Auparavant, l'une des premières applications connues de l'analyse spatiale concernait le domaine de l'épidémiologie, en 1832, avec la publication du « Rapport sur la marche et les effets du choléra dans Paris et le département de la Seine », rédigé par le géographe français Charles Picquet³. Ce dernier a représenté les 48 districts de la ville de Paris. Il a utilisé un système de coloris dégradé en fonction du pourcentage de décès par le choléra pour 1000 habitants.

Par la suite, en 1854, John Snow a dépeint une épidémie de choléra à Londres en utilisant des points pour représenter les emplacements de certains cas individuels. Ceci était l'une des premières réussites de l'utilisation d'un système d'information géographique. Bien que les éléments basiques de topographie aient existé avant la cartographie, la carte dépeinte par John Snow était unique, utilisant des méthodes novatrices de cartographie, non seulement pour décrire une situation, mais surtout pour analyser des groupes de phénomènes géolocalisés et interdépendants.

Le début du XXe siècle voit le développement de la « Photozincographie », qui permet la séparation de certaines cartes en couches (par exemple : une couche pour la végétation et une pour l'eau). Cette technique a été particulièrement utilisée pour les contours des dessins. C'était un dur labeur pour les dessinateurs de l'époque, mais le fait d'avoir des couches indépendantes permettait de travailler de manière plus efficace.

Ce travail a d'abord été réalisé sur des plaques de verre, puis plus tard, un film plastique a été introduit dans le processus avec l'avantage d'être plus léger, d'utiliser moins d'espace de stockage et d'être moins fragile. Lorsque toutes les couches étaient terminées, elles étaient combinées en une seule image. Au fil du temps, quand l'impression couleur est apparue, l'idée de créer et de travailler chacune des plaques de couleur séparément s'est avérée pertinente.

Bien que l'utilisation des couches soit devenue par la suite l'une des caractéristiques fortes du SIG contemporain, le procédé photographique qui vient d'être décrit n'est pas à considérer comme un SIG à proprement parler, car les cartes étaient juste des images superposées sans aucune donnée commune qui permettait de les lier.

À partir du milieu du XXe siècle, le développement du matériel informatique, stimulé par la recherche de l'arme nucléaire, a conduit à développer des applications cartographiques sur ordinateur⁴.

L'année 1960 a vu l'émergence du premier véritable SIG opérationnel dans le monde, à Ottawa, au Canada [réf. nécessaire]. Ce SIG a été réalisé par le Ministère des Forêts et du Développement rural. Développé par le Dr Roger Tomlinson, il a été appelé le Système d'Information Géographique du Canada (SIGC) et a permis de stocker, analyser et manipuler les données recueillies pour l'inventaire des terres du Canada afin d'obtenir des informations sur les sols, l'agriculture, la faune, la flore, et la sylviculture. Un facteur de classification a également été ajouté à ce premier SIG pour permettre une analyse plus approfondie.

Le SIG canadien était une avancée réelle par rapport à la simple cartographie par ordinateur proposée auparavant. Le SIG canadien apportait des améliorations en termes de moyens fournis comme la superposition, ou les mesures numériques. Ce qui a permis de lancer un réel système de coordonnées géographiques national avec un système de topographie intégré, un stockage de l'information de localisation dans des fichiers séparés. À la suite de cela, Roger Tomlinson est devenu le véritable « père du SIG », en particulier pour son utilisation dans la promotion de l'analyse spatiale et des données croisées géographiques⁵.

Le SIG canadien a été une base de travail fondamentale jusque dans les années 1990, et a été à l'origine de la réalisation d'une très large base de données géographiques du Canada. Il a été développé comme un système accessible à toutes les entités administratives du pays pour la planification et la gestion des ressources fédérales et provinciales. Sa grande force a été l'analyse de données géographiques et topologiques complexes, propre au relief canadien. Le SIG canadien n'a jamais été disponible pour le grand public.

En 1964, Howard T. Fisher, formé au LCGSA (Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis – Harvard – USA) a théorisé un grand nombre de concepts sur la manipulation de données géolocalisées, concepts ensuite appliqués dans les années 1970. Ses travaux ont permis de faire émerger les systèmes tels que SYMAP, GRID, et ODYSSEY, qui ont été utilisés par la suite dans le développement commercial des universités, des centres de recherche et des entreprises à travers le monde⁶.

En France, dans les années 1975, la ville de Marseille a été la première collectivité à se doter d'un système d'information géographique, conçu par la société ICOREM (informatique communale région méditerranée) filiale de la Caisse des Dépôts.

Cette société s'est également chargée de constituer une base de données géographique des 23000 ha de la commune et en même temps, a développé l'application CARINE (cartographie informatisée de l'espace).

La base de données fut constituée de multiples strates : topographie au 1/1000 ième, cadastre, POS, réseaux et données alphanumériques.

Cette base de données est maintenue à jour, et encore utilisée aujourd'hui par les services de la communauté urbaine de Marseille (2020).

La société ICOREM pionnière en France dans ce domaine a joué un rôle de conseil et de mise en œuvre de SIG : Ville d'Antibes, Juan les pins, Toulouse, Communauté urbaine de Lyon, Département de Vaucluse. À l'étranger : Palma de Majorque, Valencia, Caracas, Quito, Guatemala City, Ryad.

L'accès aux données par les différents utilisateurs a considérablement évolué au fur et à mesure des évolutions de l'informatique.

Au début des années 1980, M&S Computing (qui deviendra plus tard Intergraph) avec « Bentley Systems Incorporated » pour la plateforme CAD, « Environmental Systems Research Institute (ESRI) », CARIS (Computer Aided Resource InformationSystem), MapInfo Corporation et ERDAS (Earth Resource Data Analysis System), deviennent des logiciels commerciaux, intégrant un nombre important de fonctionnalités, combinant la première approche de la « séparation spatiale », avec la deuxième approche consistant à l'organisation d'attribut dans les structures de base de données. En parallèle, on observe le développement de deux systèmes publics (MOSS et GRASS GIS) entre la fin des années 1970 et le début des années 1987.

En 1986, le système MIDAS (Mapping Display and Analysis System), le premier logiciel S.I.G pour ordinateur personnel a été développé sous DOS. MIDAS a été rebaptisé MapInfo au début des années 1990 lors de son portage sous Windows. C'est à partir de ce moment-là que le du S.I.G passe du monde de la recherche pour devenir une industrie à part entière.

À la fin du XXe siècle, la croissance exponentielle des différents systèmes d'information a permis au S.I.G de se démocratiser et de devenir accessible à tous les utilisateurs disposant d'un ordinateur et d'un accès à Internet. Plus récemment, l'avènement de solutions Open Source fonctionnant sous différents systèmes d'exploitation a permis de voir émerger un nombre croissant de solutions. De plus en plus de données localisées et d'applications de cartographie sont désormais disponible sur le web⁸. Les logiciels gratuits et de qualité sont désormais nombreux.

I.1.1. Définition

Un **système d'information géographique** ou **SIG** (en anglais, geographic information system ou GIS) est un **système d'information** conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques. L'acronyme SIG est parfois utilisé pour définir les « sciences de l'information géographiques » ou « études sur l'information géospatiale ». Cela se réfère aux carrières ou aux métiers qui impliquent l'usage de systèmes d'information géographique et, dans une plus large mesure, qui concernent les disciplines de la géo-informatique (ou géomatique). Ce que l'on peut observer au-delà du simple concept de SIG a trait aux données de l'infrastructure spatiale.

Dans un sens plus général, le terme de SIG décrit un système d'information qui intègre, stocke, analyse et affiche l'information géographique. Les applications liées aux SIG sont des outils qui permettent aux utilisateurs de créer des requêtes interactives, d'analyser l'information spatiale, de modifier et d'éditer des données par l'entremise de cartes et d'y répondre cartographiquement. La science de l'information géographique est la science qui sous-tend les applications, les concepts et les systèmes géographiques.

Le SIG est un terme général qui se réfère à un certain nombre de technologies, de processus et de méthodes. Celles-ci sont étroitement liées à l'aménagement du territoire, la gestion des infrastructures et réseaux, le transport et la logistique, l'assurance, les télécommunications, l'ingénierie, la planification, l'éducation et la recherche, etc. C'est pour cette raison que les SIG sont à l'origine de nombreux services de géolocalisation basés sur l'analyse des données et leur visualisation.

Les SIG permettent également une mise en relation de données qui peuvent, sur le papier, sembler très éloignées. Quelle que soit la façon d'identifier et de représenter les objets et événements qui illustrent notre environnement (coordonnées, latitude & longitude, adresse, altitude, temps, médias sociaux, etc.), les SIG permettent de réunir toutes ces dimensions autour d'un même référentiel, véritable colonne vertébrale du système d'information.

Cette caractéristique clé du SIG permet d'imaginer de nouvelles applications et de nouveaux débouchés en matière de recherche scientifique.

I.1.2. Avantages d'un SIG

- Capacité et fiabilité de stockage
- Rapidité de restitution des données (gain de temps)
- Intégration et combinaison de données de sources différentes

- Précision des processus cartographiques
- Facilité de mise à jour
- Analyse des relations spatiales (Intégration, requête spatiale, Combinaison et superposition de cartes)
- Production de cartes (bon rapport qualité / prix)
- facilité de prendre des décisions

I.2. Les composants du SIG

Un système d'information géographique est constitué de cinq(05) composantes majeures.

I.2.1. Les logiciels

Ils assurent les six fonctions suivantes (parfois regroupées sous le terme des « 6A ») :

- saisie des informations géographiques sous forme numérique (Acquisition)
- gestion de base de données (Archivage)
- manipulation et interrogation des données géographiques (Analyse)
- mise en forme et visualisation (Affichage)
- représentation du monde réel (Abstraction)
- la prospective (Anticipation).

Une liste des logiciels SIG, libres et propriétaires, est disponible.

I.2.2. Les données

Les données géographiques sont importées à partir de fichiers ou saisies par un opérateur. Une donnée est dite « géographique » lorsqu'elle fait référence à un (ou plusieurs) objet(s) localisé(s) à la surface de la Terre. Ses coordonnées sont définies par un système géodésique (ou système de référence spatiale).

Modes de données dans les SIG : on peut distinguer deux modes

I.2.2.1. Mode vecteur :

Ce mode répond au souci de représenter un objet de manière aussi exacte que possible. Pour transformer un objet réel en une donnée à référence spatiale, on décompose le territoire en couches thématiques (relief, routes, bâtiments...) structurées dans des bases de données numériques.

Les avantages du mode vecteur :

- Une meilleure adaptation à la description des entités ponctuelles et linéaires.
- Une facilité d'extraction de détails.
- Une simplicité dans la transformation de coordonnées.
- Les inconvénients du mode vecteur sont :
- Les croisements de couches d'information sont délicats et nécessitent une topologie parfaite

I.2.2.2. Mode raster :

Le mode trame ou raster est également appelé modèle matriciel. Contrairement au Mode vecteur qui ne décrit que les contours, le mode raster décrit la totalité de la surface Cartographique point par point. Il est utilisé principalement dans les systèmes

Les avantages du mode raster :

- Meilleure adaptation à la représentation des détails surfaciques.
- Acquisition des données à partir d'un scanner à balayage.
- Meilleure adaptation à certains types de traitements numériques: filtres, classifications

Les inconvénients du mode raster sont:

- Mauvaise adaptation à la représentation des détails linéaires.
- Obligation de parcourir toute la surface pour extraire un détail
- Impossibilité de réaliser certaines opérations topologiques, la recherche du plus court chemin dans un réseau par exemple

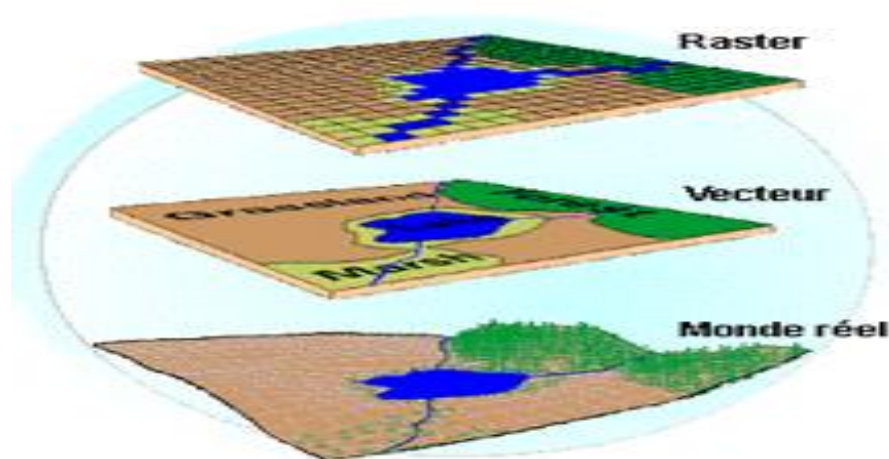


Figure I.1 Modes de données dans les SIG

I.2.3. Les matériels informatiques

Le traitement des données se fait à l'aide des logiciels sur un ordinateur de bureau ou sur un ordinateur durci directement sur le terrain. L'ordinateur de terrain avec GPS et laser télémètre permet la cartographie et la collecte des données. La construction de la carte en temps réel et la visualisation de la carte sur le terrain augmente la productivité et la qualité du résultat. La tendance depuis les années 2000 est à une cartographie précise et interactive, où l'analyse des données se fait de plus en plus in situ, sur le terrain, de même que la validation. Des systèmes client-serveur en intranet, extranet voire via Internet facilitent ensuite, et de plus en plus, la diffusion des résultats.

I.2.4. Les savoir-faire

Un système d'information géographique fait appel à une connaissance technique et à divers savoir-faire, et donc divers métiers, qui peuvent être effectués par une ou plusieurs personnes. Le spécialiste doit mobiliser des compétences en géodésie (connaissance des concepts de système de référence et de système de projection), en analyse des données, des processus et de modélisation (analyse Merise, langage UML par exemple), en traitement statistique, en sémiologie graphique et cartographique, en traitement graphique.

Il doit savoir traduire en requêtes informatiques les questions qu'on lui pose. Toutes les compétences techniques se retrouvent dans le métier de géomaticien, compétences auxquelles viennent se greffer des compétences "métiers" thématiques.

I.2.5. Les utilisateurs

Comme tous les utilisateurs de systèmes d'information géographique ne sont pas forcément des spécialistes, un tel système propose une série de boîtes à outils que l'utilisateur assemble pour réaliser son projet. N'importe qui peut, un jour ou l'autre, être amené à utiliser un SIG. Le niveau de compétences requis pour la conduite des opérations les plus basiques (voir géomatique), est généralement celui de technicien supérieur. Mais afin d'assurer une bonne qualité d'interprétation des résultats de l'analyse des données et des opérations avancées, celles-ci sont généralement confiées à un ingénieur disposant d'une bonne connaissance des données manipulées et de la nature des traitements effectués par les logiciels. Enfin, des spécialistes sont parfois amenés à intervenir sur des aspects techniques précis.

Composantes d'un SIG



Figure I.2 Composants d'un SIG

I.3. Logiciels SIG :

Ceci est une liste non exhaustive de logiciels utilisables dans le domaine des systèmes d'information géographique.

I.3.1. Logiciels libres :

Un logiciel libre est un logiciel dont l'utilisation, l'étude, la modification et la duplication par autrui en vue de sa diffusion sont permises, techniquement et légalement, ceci afin de garantir certaines libertés induites, dont le contrôle du programme par l'utilisateur et la possibilité de partage entre individus.

Le logiciel libre est souvent confondu :

- **Les gratuits (freewares) :** un gratuit est un logiciel gratuit propriétaire, alors qu'un logiciel libre se définit par les libertés accordées à l'utilisateur.

- **l'open source :** le logiciel libre, selon son initiateur, est un mouvement social qui repose sur les principes de Liberté, Égalité, Fraternité ; l'open source quant à lui, décrit pour la première fois dans La Cathédrale et le Bazar, s'attache aux avantages d'une méthode de développement au travers de la réutilisation du code source.

I.3.1.1. Listes des Logiciels libres :

- **GeoServer :** GeoServer est un serveur open source écrit en Java qui permet aux utilisateurs de partager et modifier des données géospatiales
- **JOSM :** est un logiciel permettant de consulter et de modifier les données cartographiques de la base de données libre OpenStreetMap
- **MapServer :** logiciel de publication de carte sur Internet. Il peut être utilisé pour réaliser des applications Web, mais également pour publier des services Web conformes aux recommandations de l'Open Geospatial Consortium (WMS, WFS, WCS)

- **PostGIS** : extension pour la base de données PostgreSQL qui permet de faire des requêtes spatiales
- **QGIS** : logiciel de cartographie basé sur la bibliothèque Qt. Il est disponible sous Windows. Il permet notamment la visualisation "à la volée" des couches de données comme des shapefiles ainsi que leur modification.
- **SAGA GIS** : logiciel SIG sous GPL pour Windows et Linux ;
- **Webmap SIG Libre !** : Il s'agit d'une application Web permettant de situer des centres d'intérêt.

I.3.2. Logiciels propriétaires

I.3.2.1. Gratuits

- **3DEM** : éditeur de modèles numériques de terrains (MNT) bitmap pour Windows 32 bits très simple d'emploi
- **DIVA-GIS** : logiciel capable d'éditer les fichiers shapefiles qui offre aussi des outils d'analyses statistiques et géospatiales pour la caractérisation des attributs numériques de la base de données associée aux objets contenus dans les shapefiles. Windows
- **Google Earth** : version gratuite à installer sur un PC ou un MAC. En 2016, Google annonce que Google Earth a été installé plus de 2 milliards de fois ;
- **SavGIS** : logiciel SIG complet, émanant de la recherche, avec de nombreuses fonctions d'analyse pour l'épidémiologie et la géographie de la santé.

I.3.2.2. Commerciaux :

- **ArcGIS** (Arc Info, ArcView, ...) d'Esri
- Surfer de Golden Software
- Global Mapper
- **Google Earth Enterprise** : version professionnelle de Google Earth à installer sur un serveur de données interne d'une entreprise
- **Google Earth Engine**
- **Google Earth Pro** : version professionnelle (gratuite depuis janvier 2015) de Google Earth à installer sur un PC. En 2011, Google annonce que Google Earth a été installé plus de 2 milliards de fois ;
- **MapInfo Professional**
- **OziExplorer** : logiciel de cartographie GPS (shareware)

Chapitre deuxième

OUTILS NUMERIQUES UTILISES

II.1. Présentation D'ArcGIS :

Arc GIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des smartphones et d'ordinateurs de bureau.



Figure II.1 Les utiles ou les moyens de SIG.

Si vous êtes un utilisateur de longue date d'Arc GIS, vous pouvez le considérer comme une série de programmes et d'outils logiciels que vous utilisez pour réaliser un travail SIG professionnel. A mesure que la technologie progresse, nous vous invitons à envisager une vision élargie de la façon dont le monde utilise les informations géographiques, basées autour d'Arc GIS comme système. Le système Arc GIS permet aux informations géographiques officielles créées par la communauté SIG d'être facilement et librement exploitées par tous ceux qui veulent les utiliser (et avec lesquels ils choisissent de les partager). Ce système comprend un logiciel, une infrastructure en ligne basée sur le Cloud, des outils professionnels, des ressources configurables telles que des modèles d'application, des fonds de cartes prêts à l'emploi et du contenu officiel partagé par la communauté des utilisateurs.

Vous pouvez considérer le système ArcGIS comme une infrastructure rendant les cartes et les informations géographiques disponibles dans une division, dans toute l'entreprise, entre-les plusieurs organisations et communautés d'utilisateurs et sur le web pour que tout le monde y accède. Par exemple, les travailleurs utilisant des dispositifs portables peuvent mettre à jour des mesures en temps réel sur le terrain tandis que des spécialistes analysent ces informations au même

moment sur des ordinateurs de bureau, et les planificateurs font des études d'impact sur les résultats de cette analyse au moyen des applications Web. Enfin, les cartes et les données résultant du projet peuvent être publiées sur le Web afin que tout le monde puisse y accéder via les navigateurs Web et les applications sur les smartphones et les tablettes. Cela permet aux gens de non seulement voir les résultats du projet, mais également de combiner ces données à d'autres données disponibles pour créer des cartes supplémentaires qui permettent d'utiliser vos informations géographiques de nouvelles façons.

Les professionnels dans de nombreux secteurs utilisent ArcGIS dans un large éventail d'applications, incluant la planification et l'analyse, la gestion d'actifs, la sensibilisation opérationnelle, les opérations sur le terrain telles que l'inspection mobile et le déploiement d'urgence, les études de marché, la gestion des ressources, la logistique, l'éducation et la sensibilisation. En général, ces professionnels utilisent ArcGIS, car il les aide à :

- 1 Résoudre des problèmes
- 2 Prendre de meilleures décisions
- 3 Planifier avec succès
- 4 Faire un meilleur usage des ressources
- 5 Anticiper et gérer le changement
- 6 Gérer et exécuter des opérations plus efficacement
- 7 Promouvoir la collaboration entre les équipes, les disciplines et les institutions
- 8 Accroître la compréhension et la connaissance
- 9 Communiquer plus efficacement
- 10 Éduquer et motiver les autres

II.2. L'objectif d'ArcGIS

ArcGIS vous permet de :

- 1. Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes
- 2. Rassembler les informations géographiques
- 3. Créer et gérer des bases de données géographiques
- 4. Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale
- 5. Créer des applications basées sur la carte
- 6. Communiquer et partager des informations grâce à la puissance de la géographie

et de la visualisation.

II.2.1. Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes

Les cartes fournissent un moyen efficace d'organiser, de comprendre et de transmettre de grandes quantités d'informations d'une manière universellement entendue. ArcGIS vous permet de créer une grande variété de cartes, y compris des cartes Web accessibles dans des navigateurs et sur des appareils mobiles, des cartes imprimées en grand format, des cartes incluses dans des rapports et des présentations, des recueils de cartes, des atlas, des cartes incrustées dans des applications et ainsi de suite. Indépendamment de la façon dont elle est publiée, une carte Arc GIS est une carte intelligente qui affiche, intègre et synthétise les couches riches d'informations géographiques et descriptives provenant de sources diverses.

II.2.2. Rassembler les informations géographiques

- Arc GIS vous permet de synthétiser les données provenant de sources multiples en une seule vue géographique cohérente. Ces sources de données comprennent des informations de bases de données géographiques, de données tabulaires provenant des systèmes de gestion de bases de données (SGBD) et d'autres systèmes d'entreprise, de fichiers, de feuilles de calcul, de photos et de vidéos géolocalisées, de KML, de données CAO, de fils de données de capteurs, d'imagerie aérienne et satellite et ainsi de suite. En fait, tout dossier d'informations avec une référence géographique, par exemple avec une adresse de rue, un nom de la ville, un identifiant de parcelle, des coordonnées GPS et ainsi de suite, peut être localisé et accessible sur une carte. Les données géographiques officielles et prêtes à l'emploi fournies par Esri, les fournisseurs de données et de milliers d'agences et d'organisations SIG du monde entier peuvent être incluses.

- Arc GIS permet également de créer facilement des données géographiques par le biais d'une numérisation intelligente permettant de tirer des fonctionnalités directement sur une carte et

de les stocker dans la base de données géographique du système. La collecte des données et les outils d'édition comprennent des palettes d'entités basées sur des modèles permettant le regroupement cohérent des données. Grâce à l'utilisation de la technologie mobile et Web, les applications de collecte de données peuvent être déployées pour que les travailleurs sur le terrain et aussi le grand public les utilisent (par exemple des applications qui permettent aux citoyens de signaler des graffitis à leurs collectivités locales). Ces entrées peuvent être immédiatement intégrées au SIG pour effectuer l'inspection, établir les rapports et traiter les ordres de travail. Ces types de cartes mobiles et d'externalisation ouverte augmentent de plus en plus la capacité des organisations à recueillir les données les plus récentes pour leur SIG et à répondre aux situations qui évoluent rapidement, comme les urgences.

II.2.3. Créer et gérer des bases de données géographiques :

- Les bases de données géographiques sont au cœur du travail SIG professionnel. Une base de données géographique permet de stocker les informations géographiques sous une forme structurée qui permet de gérer, d'actualiser, de réutiliser et de partager facilement. Arc GIS vous permet de concevoir, créer, maintenir et utiliser des bases de données géographiques, que vous travailliez seul ou dans une grande entreprise. Les bases de données géographiques sont généralement l'endroit où les principales couches fondamentales de données utilisées dans le SIG sont stockées et gérées, des couches comme des parcelles, des limites administratives, des réseaux de services publics, des installations, l'hydrographie, l'altitude, les sols et ainsi de suite. Ces données gérées de façon centralisée peuvent être symbolisées, présentées, traitées et publiées de façons infinies dans des cartes Arc GIS.

- Arc GIS prend en charge de très grandes bases de données multiutilisateurs dans lesquelles les données peuvent être utilisées et éditées simultanément par plusieurs utilisateurs. Différents utilisateurs de plusieurs groupes de travail et départements peuvent y accéder, les gérer et les mettre à jour. Par exemple, les mises à jour peuvent être réalisées par les utilisateurs du back-office et les travailleurs sur le terrain en même temps, et chaque groupe peut immédiatement voir les changements effectués par leurs collègues. Ces bases de données multi-utilisateurs sont mises en œuvre et prises en charge dans les systèmes de bases de données relationnelles d'entreprise standard telles qu'Oracle, SQL Server, PostgreSQL, Informix et DB2

- Arc GIS prend en charge un certain nombre de workflows qui facilitent la gestion de grandes bases de données géographiques. Par exemple, dans des situations mobiles où une connexion ne peut pas être maintenue avec la base de données parente, une zone peut être extraite de la base de données vers un appareil mobile, permettant ainsi de les modifier et de les renvoyer vers la base de données parente. Les données peuvent également être répliquées entre les réplicas

des différentes géodatabase, telles que les bases de données gérées dans différentes succursales, et les modifications apportées séparément dans chaque base de données peuvent être synchronisées sur tous les réplicas. Les archives peuvent aussi être créées afin que les modifications apportées aux données au fil du temps soient examinées et suivies. Ces workflows sont particulièrement importants dans des applications telles que la gestion d'actifs, les documents fonciers, l'exploitation des infrastructures et l'ingénierie des services publics.

II.2.4. Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale :

L'analyse spatiale est l'un des aspects les plus intéressants et remarquables du SIG. L'objectif de l'analyse spatiale est de tirer de nouvelles informations à partir de vos données afin de prendre de meilleures décisions. Bien que le fait de symboliser et d'afficher vos données sur une carte est en soi une forme d'analyse, les cartes invitent intrinsèquement à l'interprétation des modèles et des relations qu'elles représentent. L'analyse spatiale va un peu plus loin en appliquant les opérations géographiques, statistiques et mathématiques aux données cartographiques. ArcGIS possède des centaines d'outils et d'opérations d'analyse qui peuvent être appliqués pour résoudre un très large éventail de problèmes, allant de la recherche d'entités répondant à certains critères à la modélisation des processus naturels tels que le débit de l'eau sur un terrain ou à l'utilisation de statistiques spatiales pour déterminer ce qu'un ensemble de points échantillonné peut vous informer sur la répartition des phénomènes tels que la qualité de l'air ou les caractéristiques de la population.

Quel que soit le niveau de complexité, l'analyse spatiale vous permet de découvrir des modèles et des relations qui pourraient autrement rester cachés et de transformer de simples données en renseignements décisionnels. Vous pouvez combiner les entrées provenant de sources de données multiples et en tirer des ensembles d'informations entièrement nouveaux qui peuvent à leur tour être partagés avec des tiers pour les utiliser comme entrées dans une analyse plus approfondie. Les résultats de l'analyse spatiale peuvent être présentés dans des cartes et des rapports. ArcGIS dispose d'un ensemble très riche d'outils pour créer des visualisations de propriétés spatiales telles que la densité, la distribution, le regroupement, le débit, la proximité et la connectivité. En outre, des cartes et des applications peuvent être créées qui donnent accès à vos modèles et vos opérations d'analyse de sorte qu'ils puissent être utilisés par tout le monde.

Quelques-uns des principaux outils d'analyse dans ArcGIS comprennent la superposition pour combiner la géométrie et les attributs de différentes couches de données, la cartographie de la densité, l'analyse de cluster pour l'identification des quartiers, l'analyse de proximité, l'analyse de surface pour travailler avec les phénomènes qui varient en permanence dans l'espace et l'analyse temporelle telle que la détection des changements pour voir comment le phénomène change au fil

du temps. L'analyse 3D vous permet de travailler avec des données volumétriques du terrain et d'autres données volumétriques pour analyser la visibilité, la déclivité et ainsi de suite. L'analyse de réseau sur les réseaux de transport et l'infrastructure des services publics comprend une recherche d'itinéraire, le calcul des zones de service, la gestion de flotte, des schémas et ainsi de suite.

L'analyse d'ArcGIS implique généralement d'élaborer d'abord la problématique et les facteurs qui sont impliqués, puis d'assembler et de comprendre les données d'entrée et de choisir parmi l'ensemble des outils d'analyse disponibles. Les données peuvent être traitées en vue de les convertir en une forme appropriée pour les utiliser dans la procédure choisie. Par exemple, des données ponctuelles représentant des mesures d'échantillons peuvent être interpolées pour créer une surface continue de données qui peut ensuite être combinée aux données de surface. Les modèles et les scripts de géotraitement peuvent être créés pour automatiser les procédures en plusieurs étapes, et ces modèles et ces scripts peuvent à leur tour être publiés et partagés avec d'autres au sein de votre communauté SIG.

II.2.5. Créer des applications basées sur la carte :

La création d'applications vous permet de transformer vos cartes ArcGIS, vos données, vos outils et votre expertise en produits d'information que tout le monde peut utiliser. Cela vous permet de débloquent votre investissement dans les SIG et de mettre vos cartes et vos fonctionnalités au service des gens dans une grande variété de situations.

Les applications peuvent être déployées sur le Web, les ordinateurs de bureau, les smartphones, les tablettes et autres appareils portables. Les applications basées sur la carte sont utilisées par un large public allant de citoyens aux travailleurs de terrain, au personnel d'exploitation, aux travailleurs du savoir, aux gestionnaires et aux cadres. Les applications peuvent être à usage général, comme une application web destinée au grand public qui met en valeur les services offerts par votre organisme, ou conçues pour prendre en charge les tâches et les activités spécifiques, comme une application mobile pour les ingénieurs de terrain, ou un tableau de bord pour les gestionnaires des opérations.

Vous pouvez également utiliser ArcGIS pour ajouter des cartes et des fonctionnalités SIG aux applications existantes. Par exemple, une application interne de gestion des sinistres d'une compagnie d'assurance pourrait inclure un volet cartographique. Vous pouvez également utiliser ArcGIS pour intégrer des cartes dans les portails d'entreprise comme Microsoft SharePoint, COGNOS et Salesforce.

Une caractéristique clé d'ArcGIS est que vous n'avez pas besoin d'être un développeur pour créer des applications. Par exemple, si vous créez une carte Web avec Arc GIS Online, vous pouvez intégrer votre carte à une application Web en choisissant l'option Partager et en choisissant parmi un ensemble de modèles d'application. La configuration de ces applications est facile.

Vous pouvez rechercher des modèles d'applications de divers secteurs dans les Communautés d'utilisateur d'ArcGIS Online. Vous pouvez également rechercher des modèles d'applications génériques. Par exemple, le groupe Modèles d'applications Web dans Arc GIS Online contient des modèles configurables créés en langage JavaScript.

Pour les développeurs, un ensemble d'interfaces de programmation d'applications (API) et des kits de développement logiciel (SDK) sont également fournis, ainsi que des bibliothèques d'exemples de code et d'autres ressources pour la création d'applications personnalisées. Sur le web, vos applications peuvent utiliser les services ArcGIS tels que les services cartographiques et les services de géotraitement. Les API sont fournies pour JavaScript, Adobe Flex et Microsoft Silverlight. HTML5 est également pris en charge. Les kit SDK de développement Mobile sont disponibles pour Apple iOS, Android, Windows Phone et Windows Mobile. Pour les applications Desktop, Arc GIS Runtime fournit un ensemble de composants et d'API pour WPF et Java.

II.2.6. Partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation :

Communiquer et partager votre travail est peut-être la partie la plus gratifiante du SIG. Le monde veut voir vos cartes. Bien que les gens utilisent le SIG pour de nombreuses raisons, une façon utile de concevoir le SIG est de le considérer comme un outil de communication puissant. Que votre public soit le grand public, les planificateurs, les dirigeants d'entreprise, les responsables gouvernementaux élus, les clients, les étudiants, ou vos collègues de travail, vous voulez finalement utiliser le SIG afin qu'ils puissent voir et comprendre. Le système ArcGIS et la version 10.1 permettent de communiquer et de partager facilement votre travail et de mettre de puissantes cartes, visualisations et fonctionnalités à la portée des utilisateurs sans exiger qu'ils soient experts en SIG.

Vous pouvez publier des cartes ArcGIS sur l'Internet sous la forme de cartes Web de haute performance et conviviales qui peuvent également être consultées sur les smartphones et les tablettes comme l'iPad d'Apple. Les gens du monde entier se sont déjà familiarisés à l'utilisation de cartes sur le web et leurs appareils portables, et maintenant ils sont prêts pour les vôtres. Grâce à ArcGIS Explorer, vous pouvez créer des cartes de présentation qui contiennent des diapositives permettant aux gens de voir votre carte en ligne sous forme d'une présentation.

II.3. Les modules du logiciel ArcGIS

Le logiciel ArcGIS est un logiciel d'information géographique qui a été développé par la société américaine ESRI.

Composé de plusieurs modules, son utilisation touche tous les domaines scientifiques tel que Le bureautique, la cartographie, la topographie, le traitement professionnels et technique des images, les transformations mathématiques, les calculs d'intégrales et de surface, la résolution de tous genre d'équations, les statistiques, la géostatistique etc.

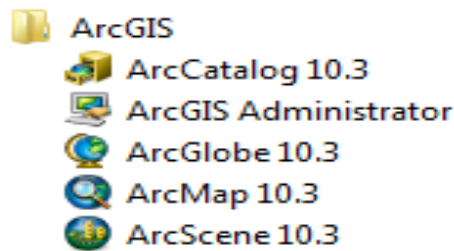


Figure II.2 Arborescence du logiciel ArcGIS 10.3

II.3.1. Arc Globe :

ArcGlobe fait partie de l'Extension ArcGIS 3D Analyst. Cette application est généralement conçue en vue d'une utilisation avec des jeux de données très volumineux et permet la visualisation uniforme de données d'entité et raster. Elle est basée sur un affichage global, toutes les données étant projetées dans une projection Cube globale et affichées à différents niveaux de détails, organisés en tuiles. Pour obtenir des performances maximales, mettez en cache vos données, ce qui permettra d'organiser et de copier les données source dans les niveaux de détails tuilés. Les entités vectorielles sont généralement rastérisées et affichées d'après le niveau de détail associé, ce qui permet une navigation et un affichage très rapides.

II.3.2. ArcScene :

ArcScene est une visionneuse 3D bien adaptée à la génération des scènes de perspective qui vous permettent de naviguer et d'interagir avec vos données vectorielles et raster 3D. Basé sur OpenGL, ArcScene prend en charge une cartographie de texture et une symbologie linéaire 3D complexes, ainsi que la création de surfaces et l'affichage de TIN. Toutes les données sont chargées en mémoire, ce qui permet des fonctionnalités de navigation, de déplacement et de zoom relativement rapides. Les entités vectorielles sont rendues comme vecteurs et les données raster sont affichés avec une résolution réduite ou configurées avec un nombre fixe de lignes/colonnes que vous définissez.

II.3.3. ArcMap :

ArcMap, application centrale utilisée dans ArcGIS. ArcMap est l'application où vous

affichez et explorez les jeux de données SIG pour votre zone d'étude, où vous attribuez des symboles et où vous créez des mises en page de carte en vue de l'impression ou de la publication. ArcMap est aussi l'application que vous utilisez pour créer et modifier des jeux de données.

ArcMap représente les informations géographiques sous forme d'un ensemble de couches et autres éléments dans une carte. Les éléments cartographiques communs d'une carte incluent le bloc de données contenant les couches de carte pour une étendue donnée, une barre d'échelle, une flèche nord, un titre, un texte descriptif, une légende des symboles, pour ne citer que quelques exemples.

Remarque : nous allons faire notre travail à l'aide de ce module

II.4. ArcMap :

Cette section fournit une introduction et une vue d'ensemble d'ArcMap, application centrale utilisée dans ArcGIS. ArcMap est l'application où vous affichez et explorez les jeux de données SIG pour votre zone d'étude, où vous attribuez des symboles et où vous créez des mises en page de carte en vue de l'impression ou de la publication. ArcMap est aussi l'application que vous utilisez pour créer et modifier des jeux de données.

ArcMap représente les informations géographiques sous forme d'un ensemble de couches et autres éléments dans une carte. Les éléments cartographiques communs d'une carte incluent le bloc de données contenant les couches de carte pour une étendue donnée, une barre d'échelle, une flèche nord, un titre, un texte descriptif, une légende des symboles, pour ne citer que quelques exemples

II.4.1. Tâches courantes effectuées dans ArcMap :

ArcMap est la principale application d'ArcGIS. Elle permet d'effectuer un large éventail de tâches SIG courantes, ainsi que des tâches spécialisées spécifiques à l'utilisateur. Voici une liste de quelques workflows courants que vous pouvez effectuer :

- **Utiliser des cartes** - Vous pouvez ouvrir et utiliser des documents ArcMap pour en explorer les informations, parcourir vos cartes, activer et désactiver des couches, interroger des entités pour accéder aux données attributaires complexes en arrière-plan d'une carte et visualiser les informations géographiques.

- **Imprimer des cartes** - ArcMap vous permet d'imprimer des cartes, des plus simples aux plus élaborées.

- **Compiler et modifier des jeux de données SIG** - ArcMap permet aux utilisateurs d'automatiser les jeux de données de géodatabase. ArcMap prend en charge les mises à jour complètes. Vous sélectionnez des couches à modifier dans la carte. Les entités nouvelles et mises à jour sont enregistrées dans le jeu de données de la couche.

- **Utiliser le géotraitement pour automatiser le travail et effectuer des analyses –**

Le système SIG est visuel et analytique. ArcMap a la capacité d'exécuter un script ou un modèle de géotraitement, ainsi que d'afficher et d'utiliser les résultats au moyen de la visualisation de la carte. Le géotraitement peut être utilisé pour l'analyse ainsi que pour l'automatisation de nombreuses tâches mondaines (génération d'atlas, réparation des liaisons de données rompues dans un ensemble de cartes et exécution du traitement de données SIG, par exemple).

- **Classer et gérer les géodatabase et les documents ArcGIS -** La fenêtre Catalogue d'ArcMap vous permet de classer tous les jeux de données SIG et géodatabase, les cartes et autres fichiers ArcGIS, les outils de géotraitement, ainsi que nombre d'autres jeux d'informations SIG. Vous pouvez également configurer et gérer des structures de géodatabase dans la fenêtre Catalogue.

- **Publier des cartes en tant que services de carte à l'aide d'ArcGIS for Server -** Pour rendre disponible sur le Web le contenu d'ArcGIS, publiez les informations géographiques sous la forme d'une série de services de carte. ArcMap facilite la publication de cartes sous la forme de services de carte.

- **Partager des cartes, des couches, des modèles de géotraitement et des géodatabase avec d'autres utilisateurs -** Les outils d'ArcMap facilitent l'empaquetage et le partage des jeux de données SIG avec d'autres utilisateurs. Ces outils permettent notamment de partager vos cartes et données SIG à l'aide d'ArcGIS Online.

- **Documenter vos informations géographiques -** L'un des principaux objectifs des communautés SIG consiste à décrire vos jeux de données géographiques afin de vous aider à documenter vos projets et à optimiser les recherches et le partage de données. Utilisez la fenêtre Catalogue pour documenter toutes vos données SIG. Pour les organisations qui utilisent des métadonnées aux formats standard, vous pouvez également documenter vos jeux de données à l'aide de l'éditeur de métadonnées ArcGIS.

- **Personnaliser l'expérience utilisateur -** ArcMap comprend des outils de personnalisation, y compris la capacité de développer des compléments logiciels afin d'ajouter de nouvelles fonctionnalités, de simplifier l'interface utilisateur et d'utiliserle géo traitement pour l'automatisation de tâches.

II.4.2. Présentation d 'ArcMap

1. Documents ArcMap
2. Modes d'affichage dans ArcMap
3. Couches cartographiques

4. Table des matières
5. Mises en page
6. Enregistrement et ouverture d'une carte
7. Fenêtre Catalogue
8. Utilisation de la recherche dans ArcMap

II.4.2.1. Documents ArcMap

Quand vous enregistrez une carte que vous avez créée dans ArcMap, elle est enregistrée en tant qu'un fichier sur le disque. C'est un document ArcMap qui est désigné sous le nom de carte ou mxd puisque l'extension de nom de fichier (.mxd) est ajoutée automatiquement à votre nom de carte. Vous pouvez utiliser un fichier mxd existant en double-cliquant sur le document pour l'ouvrir. Ce faisant, vous lancez une session ArcMap pour ce fichier mxd.

Les documents ArcMap contiennent des propriétés d'affichage des informations géographiques gérées dans la carte, telles que les propriétés et définitions des couches de la carte, les blocs de données et la mise en page de carte pour l'impression, ainsi que toutes les éventuelles personnalisations et macros que vous ajoutez à votre carte

II.4.2.2. Modes d'affichage dans ArcMap

ArcMap affiche le contenu des cartes dans l'une des deux modes d'affichage disponibles :

- Mode Données
- Mode Mise en page

Chaque mode vous permet d'afficher une carte et d'interagir avec elle de manière spécifique.

En mode Données ArcMap, la carte correspond au bloc de données. Le bloc de données actif est présenté comme une fenêtre géographique dans laquelle les couches de la carte sont affichées et utilisées. Dans un bloc de données, vous travaillez avec les informations SIG présentées à travers les couches de la carte à l'aide de coordonnées géographiques (monde réel). Il s'agit généralement de mesures au sol, exprimées en unités, telles que les pieds ou les mètres, ou de mesures de longitude et de latitude (telles que les degrés décimaux).

Le mode Données masque tous les éléments cartographiques de mise en page (titres, flèches du Nord et barres d'échelle) et vous permet de vous concentrer sur le contenu d'un bloc de données distinct pour, notamment, modifier ou analyser ses informations.

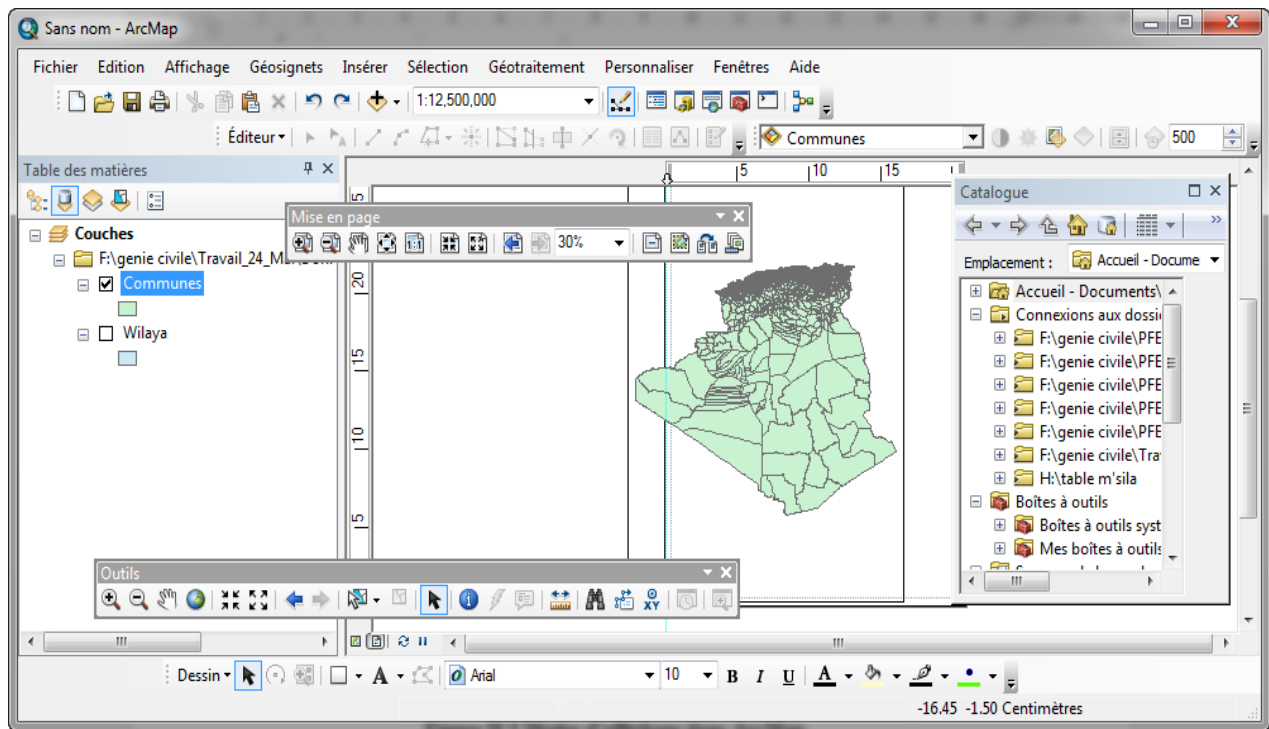


Figure II.3 Modes d'affichage dans ArcMap

Quand vous préparez la mise en page de votre carte, vous souhaitez pouvoir l'utiliser en mode Mise en page. Une mise en page est un ensemble d'éléments cartographiques (tels qu'un bloc de données, un titre de carte, une barre d'échelle, une flèche vers le nord et une légende de symbole) organisés sur une page. Les mises en page sont utilisées pour composer des cartes pour l'impression ou l'exportation aux formats tels qu'Adobe PDF

Le mode Mise en page permet de concevoir et de créer une carte en vue de son impression, son exportation ou sa publication. Vous pouvez gérer des éléments cartographiques dans l'espace de la page (en général, des pouces ou des centimètres), ajouter de nouveaux éléments cartographiques et afficher un aperçu de votre carte avant de l'exporter ou de l'imprimer. Les éléments cartographiques courants d'une carte incluent les blocs de données avec couches, les barres d'échelle, les flèches du Nord, les légendes de symboles, les titres de carte, le texte et les autres éléments graphiques.

II.4.2.3. Couches cartographiques

Dans le bloc de données, vous affichez des jeux de données géographiques en tant que couches, chaque couche représentant un jeu de données particulier superposé dans la carte. Ces couches communiquent les informations à l'aide des éléments suivants :

- Des classes d'entités discrètes, telles que des ensembles de points, lignes et polygones,

- Des surfaces continues, telles que l'altitude, qui peuvent être représentées de plusieurs manières (par exemple, sous la forme d'un ensemble d'isolignes et de points altimétriques ou d'un relief ombré),

- La photographie aérienne ou l'imagerie satellite couvrant l'étendue de la carte, Les ruisseaux et lacs, les MNT, les routes, les frontières politiques, les parcelles, les tracés de bâtiment, les lignes de distribution et l'imagerie orthomorphique constituent quelques exemples de couches de carte. En complément de la représentation des informations géographiques, les symboles, les couleurs et les étiquettes utilisés sur chaque couche facilitent la description des objets de la carte. Vous pouvez agir sur les couches affichées dans chaque bloc de données pour interroger chaque entité et consulter ses attributs, exécuter des opérations analytiques, et mettre à jour et ajouter de nouvelles entités à chaque jeu de données.

Une couche ne stocke pas les données géographiques réelles. En réalité, elle référence un jeu de données, tel qu'une classe d'entités, une image, une grille, etc. Le référencement de données permet ainsi aux couches de refléter automatiquement les informations les plus récentes contenues dans la base de données SIG.

Chapitre troisième
ALEAS LIES AUX SOLS

III.1. Reconnaissance des sols

Les reconnaissances géotechniques combinent des informations d'origines diverses. En fonction de l'ouvrage à étudier, du stade d'avancement du projet, des terrains rencontrés, on peut en effet faire appel à différents moyens :

- Analyse des documents existants (cartes topographiques, cartes et relevés géologiques et géotechniques, dossiers d'études antérieures, photographies aériennes, carte de sismicité régionale)
- Visite et observation du site et des ouvrages et excavations voisines (particularités morphologiques du site, écoulements d'eau, stratigraphie des terrains, état de fissuration ou de déformation des ouvrages.
- Relevés géologiques
- Etudes géophysiques (méthodes électriques, électromagnétiques et sismiques, etc.)
- Forages à la pelle et à la sondeuse
- Essais mécaniques en place (pénétrömètre statique, pénétrömètre dynamique, pressiomètre, scissomètre, essais de fracturation, mesure de contraintes,
- Essais d'eau et mesures de pressions interstitielles dans des forages
- Prélèvement d'échantillons pour essais de laboratoire

Comme on n'utilise pas les mêmes techniques de forage, de prélèvement d'échantillons et d'essais pour les sols et les roches, ni même pour les sols argileux et les sols grenus ou pour les sols mous et les sols raides, on ne peut, dans le cas où l'on doit organiser une reconnaissance sur un site inconnu, définir à priori tous les moyens à utiliser, que ce soit sur le terrain ou en laboratoire.

Le phasage de reconnaissance géotechnique permet heureusement de lever cette incertitude sur les moyens de reconnaissance, qui pourront être précisés après une première phase de reconnaissance préliminaire.

III.2. Risques naturels

Les risques considérés comme « graves » font progressivement l'objet de parades, leur impact et leur probabilité de survenance, tendent à devenir plus faibles, leur « intensité » diminue, ils sont moins « critiques ». On peut être tenté de ne plus les suivre avec la même vigilance.

III.2.1. Les mouvements de terrains

Les mouvements de terrain constituent l'un des phénomènes considérés souvent comme étant des risques naturels déclenchés et réactivés par la seule force de la nature. Cependant, l'action

humaine est souvent prépondérante dans ce type d'aléas et constitue l'un des facteurs déclenchant les plus répandus des instabilités.

Les mouvements gravitaires sont classés selon :

- Le mode de mouvement (chute, glissement, écoulement, transposition) .
- La nature du mouvement (solide, plastique, visqueux) ;
- L'humidité, la vitesse, la nature des matériaux impliqués (bedrock, sol, matériaux non consolidés...) ou encore la combinaison avec d'autres agents (vent, eau, neige...)

Figure.III.1.

Les données sur les mouvements de terrain observés proviennent de la base de données INFOTERRE du BRGM et d'observations de terrain.

- des glissements, observés exclusivement dans les marnes et argiles du Lias,
- des éboulements, situés principalement le long de la falaise des calcaires du dogger et de celle des calcaires du vomérien,
- des effondrements dans les calcaires.

Les glissements de terrains

Les glissements de terrain sont tout type de déplacement gravitaire (lent ou rapide) de terrain, que ce soit meuble ou rocheux (glissement - éboulement - coulée boueuse - fluage - fauchage...). Les facteurs de prédisposition sont la nature du terrain, la topographie, l'hydrologie et L'hydrogéologie.

Des glissements de terrain peuvent être à l'origine de catastrophes naturelles engendrant des morts, notamment suite à des fortes pluies. La déforestation peut être à l'origine de cette catastrophe naturelle.

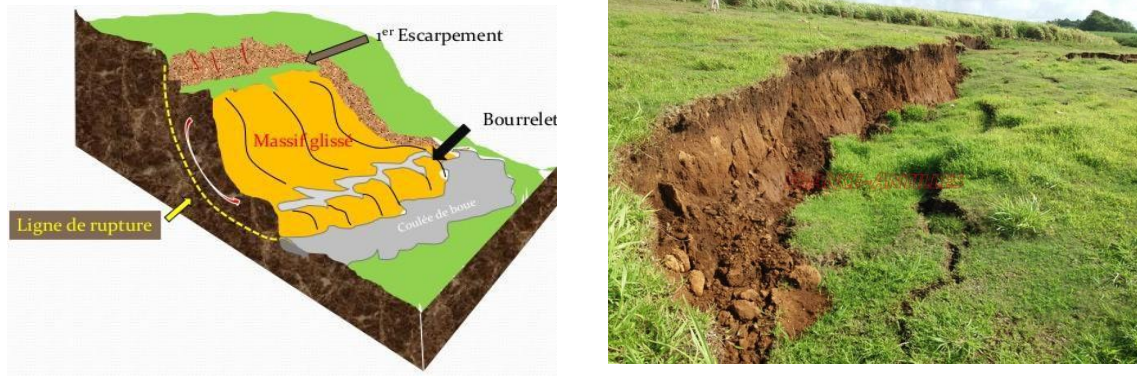


Figure III.1 Terminologie des éléments d'un glissement

Cas pathologique de glissement enregistré à la commune de Ouanougha wilaya de Msila
Figure.III.1

Les Coordonnées géographiques de site sont :

Latitude : 35.977617° N Longitude : 4.1977617°E Elévation : 985 M



Figure III.2 Cas pathologique dus au glissement (Ouanougha 2020)

III.2.2. Risques liés aux calcaires

Un autre type de mouvement de terrain, très visible sur le Causse est lié au relief karstique du plateau : il s'agit principalement des dolines et gouffres ou cavités. Le calcaire est une roche particulièrement sensible à l'érosion qui exploite les fissures et les zones d'altération.

L'eau s'infiltré alors dans le massif en entraînant la dissolution du calcaire. Figure III.3.

Progressivement, se crée à l'intérieur du massif calcaire des cavités souvent interconnectées,

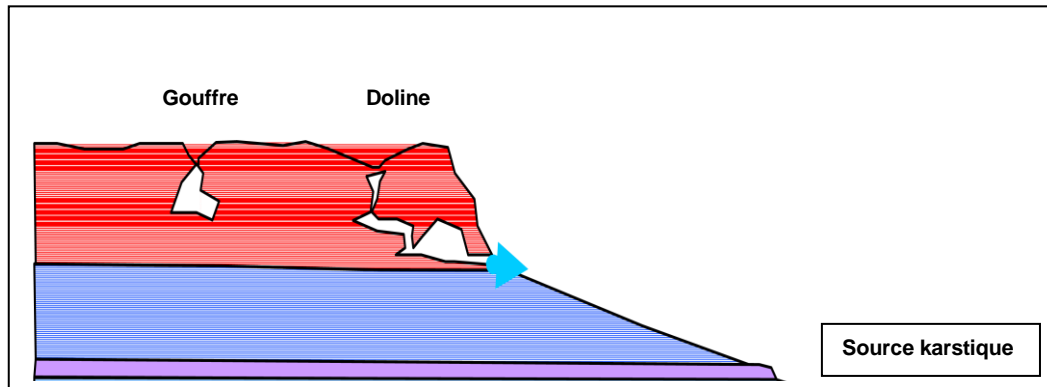


Figure III.3 Classification des mouvements de terrains

III.2.3. Dolines

Une doline est une dépression dans le paysage, formée de manière naturelle par l'érosion chimique (dissolution) ou mécanique de la roche. L'accumulation d'argile peut parfois rendre complètement étanche le fond d'une doline et permettre l'apparition d'une zone humide. Au contraire, une érosion intense peut mener à l'effondrement progressif ou soudain d'une doline et laisser place à un gouffre. Même si on comble celle-ci, l'érosion et la corrosion de la roche vont se poursuivre et, à terme, déstabiliser le terrain ... Les dépressions visibles sur Modèle Numérique de Terrain réalisé à partir de photogrammétrie ont été répertoriées et figurent sur la carte « aléas dans le calcaire ». Figure. IV.4.

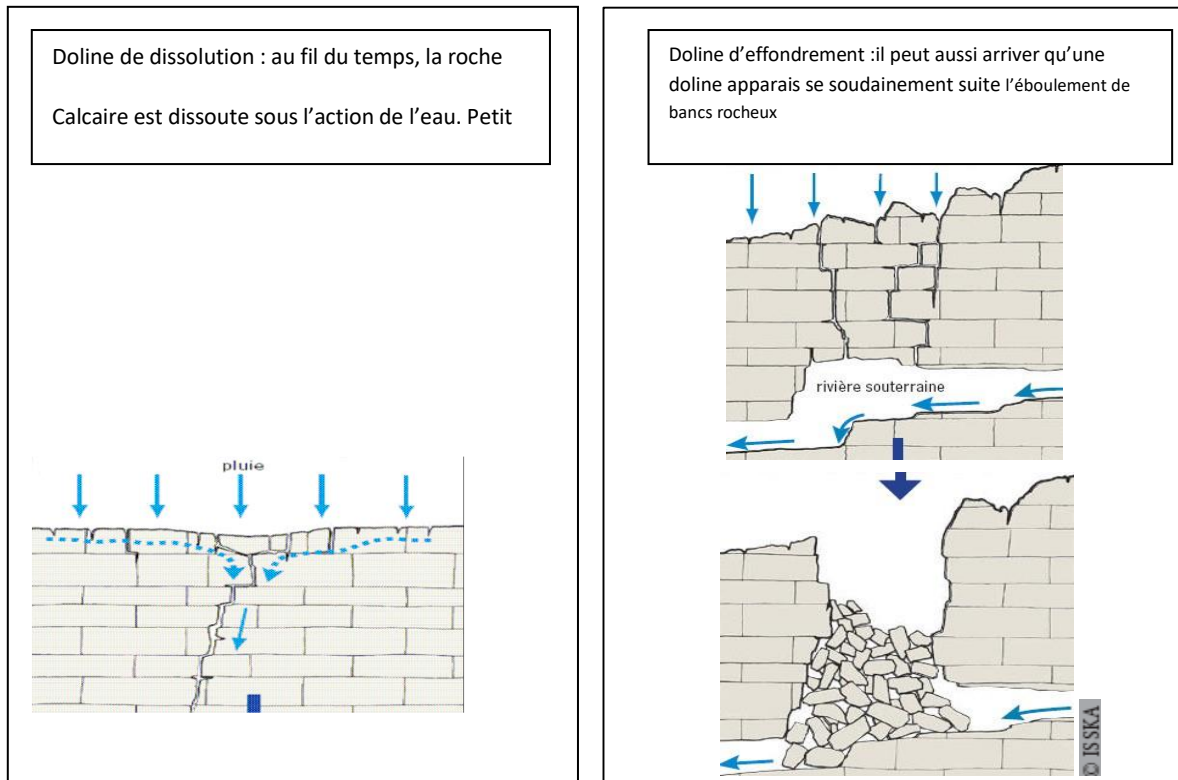


Figure. III.4 Types de processus de formation d'une doline

Les risques liés à la traversée de dolines par le tracé sont les suivants :

Risque de tassements : Les matériaux de remplissage des dolines sont de nature argileuse et sont généralement des terrains « récents » ce qui leur confère une nature compressible dont il faut tenir compte pour la construction de remblais sur ces matériaux.

Risque de soutirage : L'érosion étant un phénomène naturel et plutôt imprévisible, toute doline est susceptible de s'effondrer tôt ou tard. Ce phénomène peut avoir des effets catastrophiques si la doline a été comblée ou si un ouvrage a été construit dessus (tassements, effondrement).

Risque de pollution des eaux souterraines : Les eaux de ruissellement s'infiltrent en surface et peuvent emprunter les réseaux karstiques pour atteindre très rapidement les sources présentes en contrebas du plateau. Compte-tenu de la rapidité de transition, sans effet de « filtre » du terrain, les pollutions du ruissellement amont peuvent être graves pour les ressources eaux souterraines parfois à usage d'eau potable.

III.2.3. Risques lies aux marnes

Les affleurements marneux présentent des pentes douces pouvant être localement plus abruptes (de l'ordre de 10 à 12 %). De nombreux signes d'instabilité sont visibles dans les pentes enherbées : les ondulations et « moutonnements » sont signes de glissements en surface.

Au sein du massif, ces marnes sont des roches tendres. En surface ces roches, très sensibles à l'eau et à l'air, s'altèrent et deviennent des sols argileux qui présentent un angle de stabilité (frottement interne) très faible. Figure III.5.

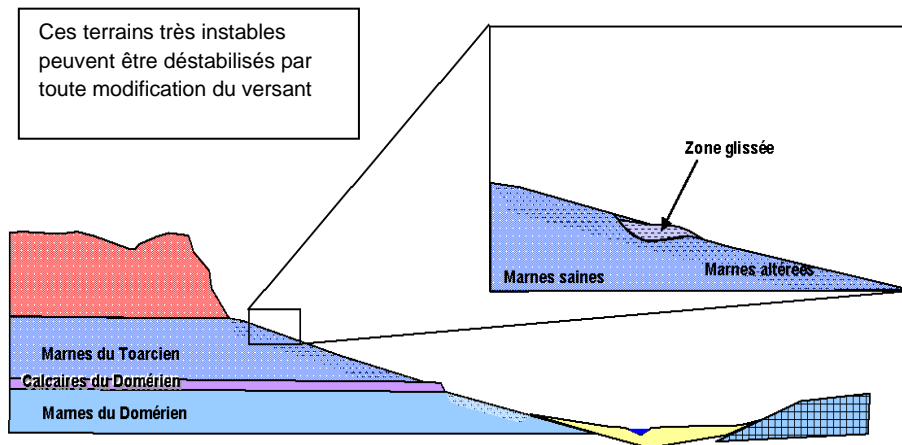


Figure III.5 Glissements en surface au sein du massif

III.2.4. Présence de cavités :

Présence de vides issus, soit d'un processus de dissolution naturel de roches d'origine évaporitique ou physico- chimique (calcaires, gypses, sels,...) par une circulation d'eau sous-saturée, soit d'une activité anthropique (carrières, mines, travaux souterrains,...). Un phénomène de suffusion peut générer aussi des vides dans des dépôts de sols fins d'érosion hydraulique), notamment lors d'une rupture d'une canalisation enterrée. Figure III.6 , et Figure III.7.

Les risques liés à la rencontre de cavités par le tracé sont les suivants :

Risque de pollution des eaux souterraines : identique au risque lié aux dolines.

Risque de rencontre d'un karst : sous l'arase de terrassement, qui peut nécessiter le remplissage du karst dont les volumes peuvent être très importants avec un risque financier conséquent, voire un risque d'effondrement imprévisible, lorsque ce karst n'a pas été reconnu.

III.2.5. Sols gypseux :

Certains sols qui contiennent des éléments solubles de gypse sous forme de grains, de graves ou de nodules, suite à des

Circulations d'eau sous-saturée, connaître une augmentation de leur indice des vides, par dissolution de ces particules gypseuses, et engendrer par

Conséquence des tassements différentiels excessifs qui peuvent causer des désordres sur les structures qu'ils portent. Figure IV.6



Figure III.6 Cas pathologique sol argile sablo-gypseuse (150 Logts Msila 2017)

III.2.6. Retrait-gonflement :

Désigne des mouvements alternatifs et souvent répétés dans le temps observés essentiellement dans certains sols argileux, suite à une variation de leur teneur en eau, ils gonflent avec l'humidité et se rétractent avec la sécheresse. Ces variations de volume, liés à la structure interne des minéraux argileux en feuillets, à la surface desquels les molécules d'eau peuvent être adsorbées, induisant un tassement ou un gonflement plus ou moins uniformes et dont l'amplitude varie suivant la configuration et l'ampleur du phénomène, causant ainsi des désordres sur les structures qu'ils portent. Les sols susceptibles au retrait-gonflement présentent un indice de gonflement $C_g > 0,04$. ($C_s \geq 0,04$)

Identification des sols gonflants : Les sols argileux gonflants se caractérisent par deux paramètres la pression de gonflement σ_g et l'amplitude du gonflement ϵ_g . La littérature mentionne que ces paramètres ne sont pas considérés comme des caractéristiques intrinsèques du sol gonflant (Serratrice et Soyez, 1996 ; Seed et al, 1962 ; Holtz et Gibbs, 1956), car ils dépendent de l'état initial du matériau et des conditions dans lesquelles se déroulent le gonflement et le retrait. Ils sont néanmoins très largement utilisés pour caractériser l'aptitude d'un sol au gonflement et ont largement influencés les procédures d'essais en laboratoire :

- **La pression de gonflement σ_g** : définie par la contrainte à exercer sur le sol pour maintenir son volume constant pendant l'imbibition sans distorsion. Cette définition de la pression de gonflement est la plus utilisée, mais elle n'est pas la seule ;

- **L'amplitude du gonflement ϵ_g (ou le taux de gonflement)** : défini par la déformation maximale que provoque l'imbibition du sol soumis à un état de contrainte nulle ou quasi-nulle jusqu'à sa saturation complète.

Les phénomènes retrait / gonflement

Le retrait et de gonflement des sols, surtout les argiles et les marnes, peuvent être soumis à des mouvements de retrait-gonflement et avoir tendance à gonfler lors des périodes pluvieuses, et se rétracter lors des périodes de sécheresse. Figure 1.7

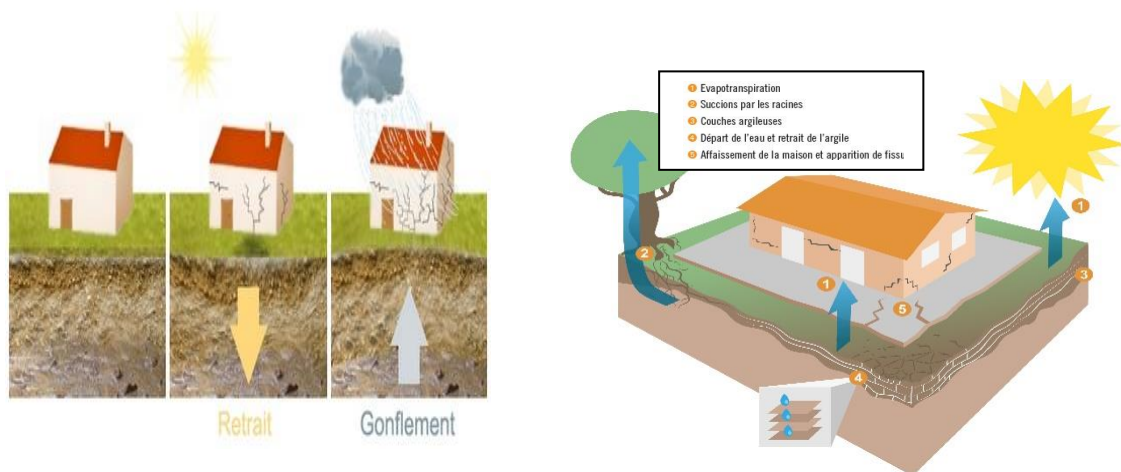


Figure III.7 Le Risque lié au retrait-gonflement des sols argileux

Quand ces mouvements du sol ont lieu sous les fondations de structures légères, ils sont à l'origine de tassements différentiels qui peuvent provoquer des désordres plus ou moins importants sur celle-ci. Ces désordres se traduisent en général par des fissures, qui peuvent nécessiter la mise au point de solutions de traitement ou de réparation, en fonction de leur évolution dans le temps, de leur importance et de la zone de la maison affectée. Figure 1.8

Toutefois, toutes les fissures dans une structure ne sont pas dues à des phénomènes de retrait-gonflement. Par ailleurs, les causes du retrait-gonflement des sols ne sont pas uniquement liées à des périodes trop sèches ou trop pluvieuses et d'autres facteurs, comme la végétation ou des défauts d'exécution, interviennent très largement dans les désordres constatés.

La mise au point de solutions de réparation doit alors s'appuyer sur une démarche qui vise notamment à identifier les causes et les évolutions des désordres observés sur la construction.

Le phénomène de retrait/gonflement de certaine formation géologique argileuses, ayant de forts indices de plasticité, pose de sérieux problème dans plusieurs pays du monde notamment ceux situés en zones arides et semi arides, il occasionne des désordres importants aux ouvrages qu'ils supportent lors d'un apport d'eau extérieur important.

Dans la région de Msila, ces sols argileux gonflant sont très répandus et plusieurs communes : Msila, Sidi Aissa, Sidi Hadjres ;Ain elhdjel sont touchées ce phénomène raison de leurs fondations superficielles



Figure III.8 Cas pathologique phénomènes retrait / gonflement (530 Logts Sidi Aissa 2020)

III.2.7. Sols mous très compressibles :

Il s'agit de dépôts récents de faibles caractéristiques géotechniques et très déformables. (Argiles molle, vase, tourbe,), qui peuvent induire des tassements importants. Dans le RPA 99/Version 2003, l'argile molle est définie par un indice de plasticité $I_p = 20$, une teneur en eau naturelle $W_n = 40\%$, une résistance au cisaillement non drainée $C_u = 25\text{KPa}$ et une vitesse d'onde de cisaillement $V_s = 150\text{ m/s}$. Le sol est considéré très compressible si son indice de compressibilité (C_c) déterminé à partir d'un essai de compressibilité à l'odomètre, est supérieur à 0,30.

La construction des remblais sur sols compressibles pose souvent des problèmes difficiles. Il faut d'abord éviter de provoquer la rupture du sol porteur qui peut compromettre la suite de la construction et créer des dommages importants sur les structures avoisinantes. Il se pose ensuite le problème de tassements, aux effets plus lents mais tout aussi néfastes. Lorsque ces tassements sont importants et qu'ils n'ont pas été pris en considération dès le début de la construction, ils peuvent :

- Entraîner une déformation du remblai le rendant inapte à son usage initial
- Provoquer des poussées parasites sur des structures enterrées proches (pieux, palplanches, etc.) jusqu'à leur rupture

III.2.8. Inondations

C'est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors de l'eau, qui peut avoir plusieurs origines (débordements de cours d'eau, submersions marines, remontées de nappes, crues torrentielles, ruptures ou défaillances d'ouvrages hydrauliques, tsunamis, cyclones...). Les facteurs de prédisposition sont la topographie et l'hydrologie. Figure 1.7



Figure III.9 Le Inondations à M'sila le 14/05/2021

III.2.9. Agressivité chimique :

Certains sols ou eaux de surface et souterraine, de par leurs constituants chimiques, peuvent constituer un environnement chimiquement agressif vis-à-vis du béton de la partie d'ouvrage en

contact avec ces milieux. Le DTR BC2.32 et la norme algérien NA778 et la norme française P 18-011 Juin 1992 définissent ces éléments agressifs comme suit : cas de l'eau (CO₂ agressif, SO₄²⁻, Mg²⁺, NH₄⁺, l'acidité PH), cas du sol (SO₄²⁻) (tableaux 1 et tableaux 2)

Tableau III.1 Classification de l'agressivité des sulfates dans le sol, [NA 16002, 2007]

Classe d'agressivité chimique	Concentration en sulfates exprimée en SO ₄ ²⁻ (mg/l)
Environnement à faible agressivité chimique (XA1)	> 2000 et ≤ 3000
Environnement d'agressivité chimique modérée (XA2)	> 3000 et ≤ 12000
Environnement à forte agressivité chimique (XA3)	> 12000 et ≤ 24000

Tableau III.2 Classification de l'agressivité des sulfates dans le sol, [NF P 18-011 1992]

Classe d'agressivité chimique	Agressivité des sols en fonction de la teneur en SO ₄ ²⁻	
	SO ₄ ²⁻ en mg/l extrait du sol	% en SO ₄ ²⁻ dans le sol sec
Faiblement agressif (A1)	1200 à 2300	0.24 – 0.60
Moyennement agressif (A2)	2300 à 3700	0.60 – 1.20
Fortement agressif (A3)	3700 à 6700	1.20 – 2.40
Très Fortement agressif (A4)	>6700	>2.40

L'agressivité chimique dans les sols dépend de l'eau qu'ils contiennent et surtout de sa circulation et de sa pression. Cette agressivité est due essentiellement à une concentration élevée de sulfates dans certaines régions où le sol contient du gypse. Les sols marécageux peuvent contenir de l'acide carbonique et des acides organiques (acides humiques). Figure 4.8

Les sulfates peuvent gravement nuire aux infrastructures des ouvrages en béton armé. En effet, les sulfates en contact du béton génèrent la formation de composés chimiques entraînant à terme la détérioration du matériau. Pour parer à cette menace, la meilleure voie demeure la prévention, et cet identifiant le potentiel agressif de ces sels présents dans les eaux des sols de fondations.



Figure III.10 Agressivité chimique (20 Logts El Hamel 2019)

III.2.10. Risque sismique

Définition du sismique : Un tremblement de terre est un phénomène naturel qui présente une influence substantielle sur une large étendue. Ses impacts ne se limitent pas simplement aux aléas relevant du mouvement sismique et du potentiel de liquéfaction mais entraînent aussi des dommages physiques de bâtiments. Par conséquent, il provoque en générale la rupture des réseaux vitaux, des impacts sur la vie sociale et les activités économiques, et donne lieu à l'expansion rapide des douleurs à travers toute la communauté. Le niveau de dommage dépend non seulement des conditions naturelles, incluant des conditions de sols, états de bâtiments, route, et autres ouvrages artificiels, mais aussi des activités de réponse d'urgence aux catastrophes. Le micro zonage sismique analyse donc souvent la distribution physique du mouvement de sol, l'étendue de dommage, etc., en tant que base de développement d'un scénario du risque sismique à marche du temps se déployant sur les minutes, les heures, les jours et les semaines qui s'écoulent après le séisme. Dans ce cas, le microzonage sismique est une simulation compréhensive de dommages préalable à l'occurrence d'un séisme.

Liquéfaction : phénomène géologique soudain et temporaire en général, où le sol saturé perd une partie ou la totalité de sa capacité portante, ce qui permet aux bâtiments de couler et de s'effondrer.

Les tremblements de terre sont à l'origine de la plupart des perturbations associées, La liquéfaction du sol semble être induite en termes de risque sismique.

La liquéfaction doit être prise en compte pour les communes classées dans le deuxième et troisième zones sismiques, conformément aux règles algériennes contre le parasitisme (RPA 99 / VERSION 2003).

Le territoire national étant divisé en cinq (05) régions où les tremblements de terre se multiplient, La région de Msila est enregistrée dans deux régions :

IIa: groupe de communes A (nord de la wilaya) avec tremblements de terre modérés.

I: Groupe de communes «B» (sud de la wilaya) avec de faibles tremblements de terre.

Les sols susceptibles de se liquéfier sont en général des sables propres ou limoneux situés dans les vingt (20) premiers mètres de profondeur, saturés d'eau et présentant une granulométrie relativement uniforme correspondant à un coefficient d'uniformité C_u inférieur à 15 ($C_u = D_{60} / D_{10} < 15$) et un diamètre à 50% (D_{50}) compris entre 0.05 mm et 1.5 mm .Figure 1.8.

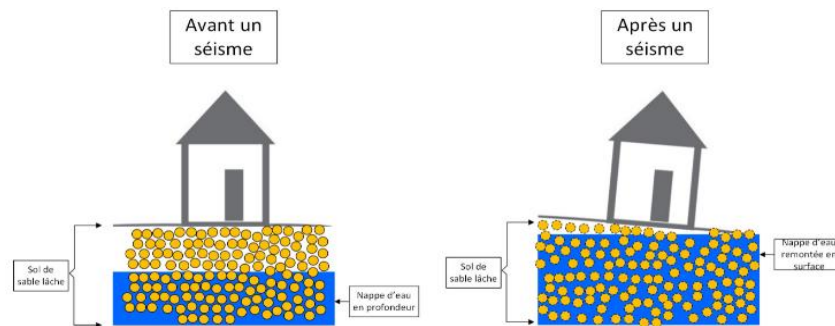


Figure III.11 Schéma de la liquéfaction d'un sol

Proximité d'une faille active : C'est la proximité d'une faille sur laquelle une rupture (ou un glissement) s'est produite à une période récente et dont on présume qu'elle pourrait engendrer un séisme au cours d'une rupture future. Une faille peut être considérée comme active si elle a subi au moins une réactivation sismique au cours du Quaternaire, ou si elle montre des évidences de déplacement actuel.

L'aléa Sismique :

Un tremblement de terre destructif, qui peut causer des pertes de vies humaines ou des blessures, des dégâts matériels, ruptures sociale et économique ou dégradation environnementale. L'aléa sismique est pris comme la "force de la nature" ou "des forces externes" produites par le tremblement de terre. Chaque aléa sismique est caractérisé par son endroit, intensité et probabilité (chance d'occurrence. Selon le degré de vulnérabilité de la construction, un tremblement de terre peut ou peut ne pas causer la perte de vies humaines et la destruction ou endommagement de la propriété.

Dans notre étude, tous les tremblements de terre qui ont frappé la région de 1925 au tremblement de terre de Beni Ilmane de 2010 ont été comptés et quelques photos résumant l'ampleur des dégâts infligés à la région à ce moment (Figure.III.9)



Figure III.12 Séisme de Beni Ilmane du 14 / 05 / 2010 wilaya de Msila

Chapitre Quatrième

VALIDATION A L'ETABLISSEMENT DES CARTES NUMERIQUE D'ALEAS ET DE RISQUES DE LA REGION DE MSILA

IV.2. Présentation de la zone du Hodna

Msila constitue la capitale de la région du Hodna, elle constitue la continuité saharienne c'est une wilaya de l'intérieur, dont la superficie est de dix-huit mille cent soixante-quinze kilomètres carrés (18175 km²), elle fait partie de la cuvette endoréique du Hodna caractérisée par quatre grands ensembles structuraux, zone de montagne, zone de piémont, zone de plaine et plaine inondée (Sebkha). Elle compte une population estimée à 1 210 952 habitants, d'habitants dont 65% résident en zone urbaine.

IV.2.1. Analyse de l'Aléas de la wilaya de Msila

IV.2.1.1. Situation géographique de Msila :

La municipalité mixte de Msila a été créée le 20 mai 1868. C'est l'un des états intérieurs, composé de 17 départements et 47 municipalités, elle est limitée par Bouira, Bordj Bou Arreridj au nord Batna, Sétif à l'est, Médéa et Djelfa à l'Ouest et Biskra au Sud. Figure IV.1

Coordonnées géographiques de Msila

La wilaya de Msila est située 471 mètres d'altitude la wilaya de Msila a pour coordonnées géographiques :

Latitude 35°42'7" Nord

Longitude 4°32'49" Est

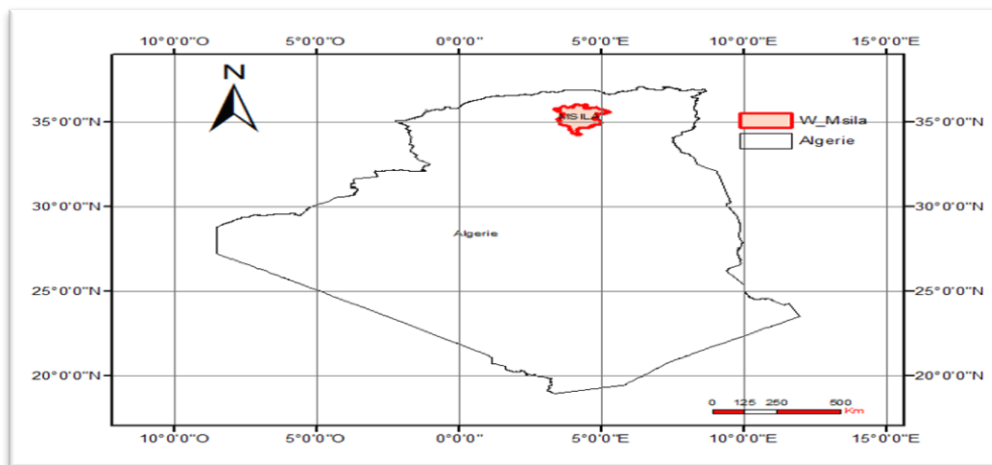


Figure IV.1 Localisation géographique de la région d'étude

IV.2.1.2. Contexte géologie

La ville de Msila est située dans un bassin miocène, bordée au Nord par les formations anticlinales des monts du Hodna, au Sud par les premiers chainons de l'Atlas saharien et à l'Est par les monts du Belezma. La région du Hodna est une zone où interfèrent les domaines telliens et sahariens, ce qui entraîne une très grande variation de faciès et une tectonique complexe. Les terrains qui forment la région sont essentiellement mésozoïques (secondaire). Le paléozoïques (primaire) est absent, le trias et le jurassique n'occupent que des surfaces réduites, le plus souvent le trias apparaît en diapypes et présente une épaisseur de l'ordre de deux cent mètres (200m), alors que le crétacé forme la majorité des affleurements en relief. Le quaternaire, quant à lui, recouvre toute la plaine du Hodna.

Le contexte géologique régional pour la région Msila selon la carte géologique d'Algérie au 1/500.000 1952 « MSILA GEO 168 » (figure.5.2), est représenté par :

a) **Des alluvions anciennes** : constituées de limons fins et de sable, avec quelques nappes de galets et de sable disposé en lentilles.

b) **Des alluvions récentes** : constituées de terrasses de cailloux dont les éléments sont moins volumineux que ceux du pliocène.

c) **Conglomérats**, principalement dans :

- **Précipitations de la troisième période continentale quaternaire** : ce sont des formations résultant principalement de formations continentales représentées dans des formations d'argile rouge, des formations de sable et de congloméra, où l'épaisseur de ces formations varie de 50 à 250 m

- **Dépôts de boue anciens et modernes nummulitique** : ce sont des dépôts de matériaux de faible épaisseur. Généralement, car il ne dépasse parfois pas 81 cm. C'est une argile brune souvent mélangée avec du sable.

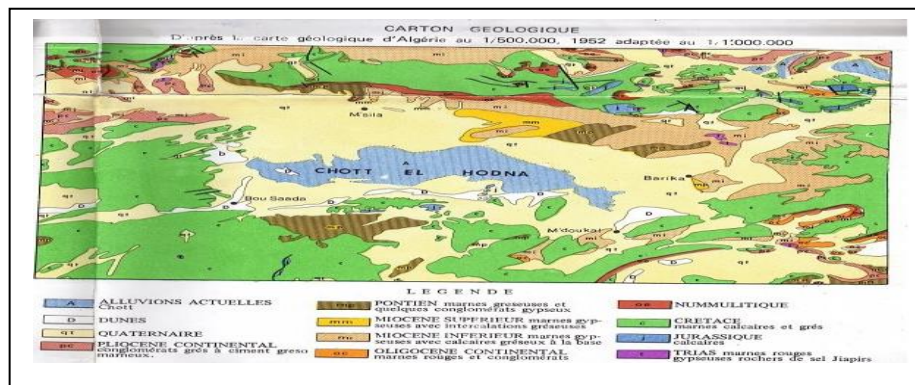


Figure IV.2 Géologie de la région du Hodna

IV.2.1.3. Cadre climatologique

Sur le plan climatologique, la région de Hodna doit à sa position et son relief affaissé des conditions climatique particulièrement sèches. Elles sont plus sèches et plus chaudes certaines années la région subit un régime franchement saharien avec des faibles chutes de pluie, de longues périodes chaudes et de fréquents siroccos qui. En quelques heures dessèchent la surface du sol. L'amplitude moyenne est de l'ordre de 36° entre les mois de janvier et juillet en hiver les gelées sont assez rares. Mais la température dépasse fréquemment 40° au cours de juillet et Aout.

Toutefois, Les aléas du climat, la désertification, une pluviométrie faible, irrégulière et inégalement répartie, auxquels il faut ajouter le rabattement des nappes phréatiques et la mauvaise qualité de l'eau. Les inondations auxquelles est exposée la wilaya car elle constitue un exutoire naturel aux oueds des wilayas limitrophes.

Le risque de pollution des nappes phréatiques en raison du rejet des eaux usées dans les oueds. La pauvreté des sols et la sécheresse facilitent l'avancée des dunes de sable, particulièrement dans la région du Sud. D'après la carte simplifiée des zones bioclimatique de l'est algérien (cote M.1998) peut dire la région de Msila est situé dans un domaine subaride.

IV.2.1.4. Hydrologie de Boussaâda

Le réseau hydrographique est très dense pour la majorité, ce sont des oueds à écoulement pérenne. Les oueds les plus importants sont : Oued K'sob, Oued Laham, Oued Bou Saada et Oued Msif. Au nord, les oueds prennent naissance au mont du Hodna et s'acheminent vers le chott, sur les formations lithologiques des plaines et hautes plaines, le réseau laisse très bien ses traces par l'effet de l'érosion hydrique car les pluies tombent souvent sous forme d'averses et les oueds charrient d'importantes quantités de particules solides. La période de sécheresses étant longue, ces oueds restent longtemps à sec

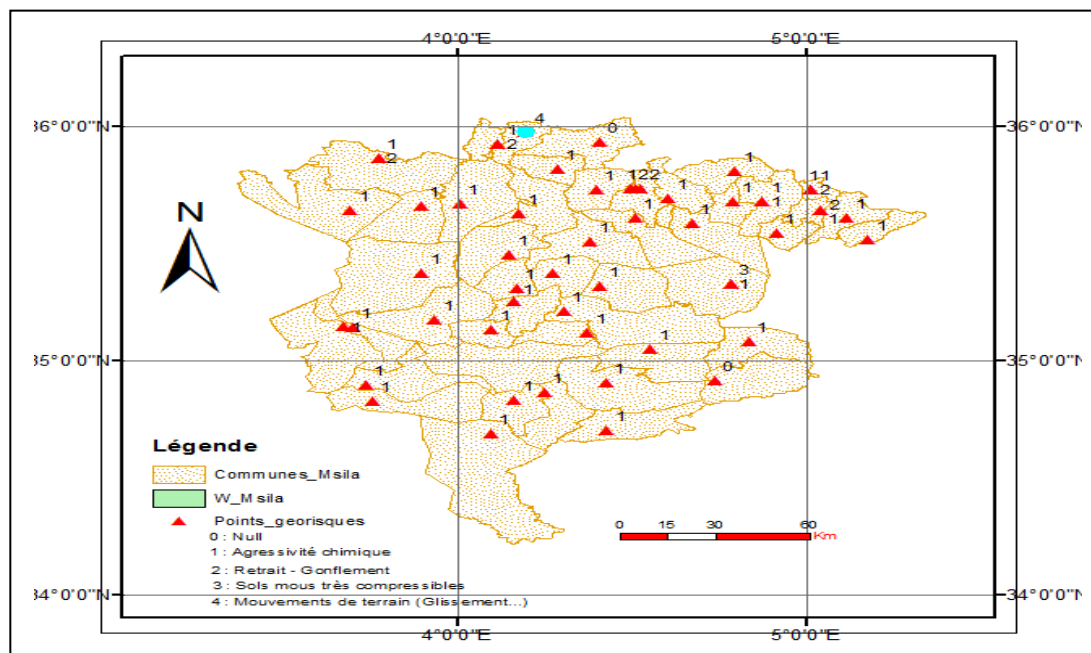
IV.2.1.5. Données géotechniques

À partir de l'inventaire CTC Msila qui recueille toutes les données sur les risques naturels des sols (retrait, gonflement, salinité du sol, glissement de terrain ... etc.) pour les sols de diverses régions de la wilaya. Les données collectées sont extraites des rapports géotechniques des projets achevés ou en cours au niveau du territoire de la wilaya, par des laboratoires accrédités, Les données effectives de l'inventaire sont saisies dans une feuille de calcul (Microsoft Excel), avec chaque point de mesure agrégé, les coordonnées latitude et longitude et les risques géographiques significatifs dans la zone. Elle a également été résumée dans un exemple qui en est tiré. La base de données se trouve dans le tableau IV.1

Tableau IV.1 Extrait de la base de données les aléas liés aux sols

N°	Latitude	Longitude	Commune	Aléas (géo-risques)
1	35,664055	3,897076	Ain EL HADJEL	Agressivité chimique
3	35,518479	5,174255	Belaiba	Agressivité chimique
4	35,928196	4,117521	Beni Ilmane	Agressivité ch. / Retrait - Gonflement
5	35,740474	4,510981	Msila	Agressivité ch. / Retrait - Gonflement
6	35,869539	3,774597	Sidi Aissa	Agressivité ch. / Retrait - Gonflement
7	35,673658	4,115803	Sidi Hadjrase	Agressivité ch. / Retrait - Gonflement
8	35,977809	4,195750	Ouanougha	Glissement de terrain
9	35,331546	4,783409	M'cif	Sol mou très compressible
10	35,736965	4,522915	Msila	Sol argile sablo-gypseux

Ensuite, la base de données prévue est introduite dans le programme SIG qui est le ArcGIS, afin de traiter et de cartographier les informations géographiques de ces phénomènes des aléas géotechnique. Dans le sol pour différentes régions. Figure. IV.3

**Figure IV.3 Carte des aléas et résèques géotechnique**

A l'aide du programme Système d'Information Géographique ArcGIS, nous avons représenté cette carte qui représente les aléas liés aux sols de la wilaya de Msila, en s'informant des rapports de l'étude géotechnique des sols à travers toutes les communes de la wilaya représenté dans (1) le pourcentage de présence de SO₄⁻⁻ dans le sol (2) le retrait - gonflement du sol (3) Sol mou très compressible (4) Sol argile sablo-gypseux, Ce qui représente des dangers.

Des mesures doivent être prises pour la sécurité des installations situées dans ces zones. En plus de cela, il y a deux dangers ensemble. Le pourcentage de salinité est élevé dans les sols avec gonflement des sols, comme la commune de Sidi Issa et la commune de M'sila, ce qui double le degré de dangerosité. Sismologues

IV.2.1.6. Donnée sismique

Selon les besoins des sismologues du CRAAG, le système devra leur permettre l'archiver l'historique des séismes, Cet archivage consiste à sauvegarder pour chaque séisme, un ensemble d'informations spécifiques, telles que :

La date, heure, magnitude, intensité, latitude, longitude et les cartes d'isoséistes, ainsi que les cartes sismiques.

IV.2.1.7. Historique de la sismicité de la région de Msila :

Les informations sur les tremblements de terre dans la région de Msila ont été extraites de la base de données sur les tremblements de terre, établie par le CRAAG, CGS, Classés par date, Coordonnées géographiques. L'ampleur des dommages humains et matériels. Parmi les plus importants, il y a une liste de tremblements de terre, Cela a frappé la wilaya depuis 1925
Tableau.IV.2

Tableau IIV.2 Extrait de la base de données sismicité de la région

N°	Date	Heure	Latitude	Longitude	Magnitude	Localité
1	24/06/1925	01:37:09	35,2	4,2	4,1	Commune de Bou Saada
2	12/02/1946	02:43:24	35,8	4,9	6.0	Commune de Maadid
3	21/02/1960	08:13:32	36,0	4,1	5.8	Ouanougha (Melouza)
4	23/11/1971	06:23:54	35,8	4,5	4,6	Commune de Msila
5	05/05/1974	06:09:19	35	4,6	4,1	Commune de Ben srou
6	14/05/2010	12:29:20	36	4,1	5.2	Commune de Beni Ilmane

Ensuite, les données sont insérées dans le programme SIG qui est le ArcGIS, après géoréférencement, et geoprocessing à l'aide des outils « Analysis spatial Tools » une carte d'aléas sismique a été établie (Figure IV.4)

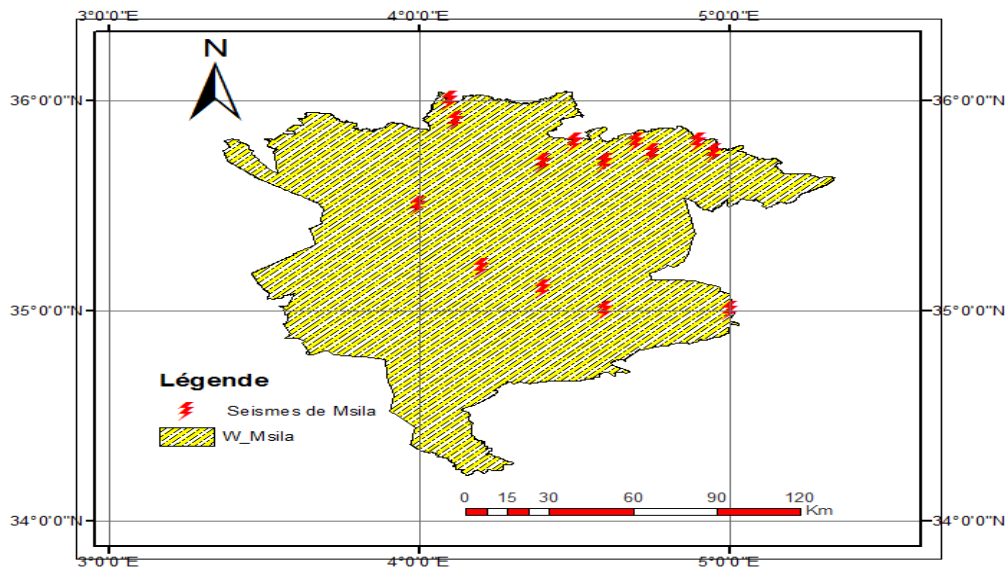


Figure IV.4 Carte de sismicité de la région de Msila

Avec l'aide de ArcGIS les zones sismiques de la Wilayat de Msila depuis 1925 jusqu'à 2010 ont été représentées sur cette carte à partir des données sur les tremblements de terre, établie par le CRAAG, CGS à notre objectif est de présenter notre système d'information géographique, qui est un système d'aide à la décision pour: donner l'alerte sismique, montrer en permanence les régions à risques sismiques et notre outil va permettre aux décideurs administratifs et politiques une meilleure prise de décisions, pour atténuer au maximum les impacts socio-économiques de ce phénomène naturel.

IV.3. Analyse de l'Aléas de la commune de Msila

IV.3.1. Localisation géographique de la ville de Msila

La ville de Msila est située sur le côté nord-ouest du bassin de Shot El-Hodna, Il est bordé au nord par la chaîne de montagnes Hodna et au sud par la montagne Shot al-Hodna. Elle est limitée au nord par la commune d'El Ach (wilaya de bordj Bou Arreridj), au sud par la commune d'Ouled Madhi et Souamaa à l'est par la commune d'El Mtarfa et Maadid, à l'ouest par la commune d'Ouled Mansour (Figure 1.4), ses coordonnées géographiques sont :

Latitude 35°42'7" Nord et Longitude 4°32'48" Est.

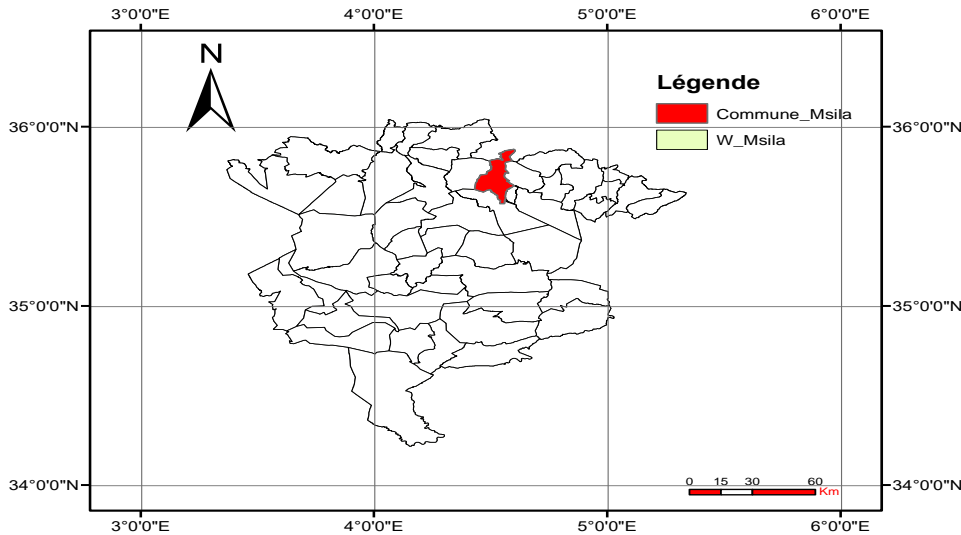


Figure IV.5 Localisation géographique de la commune de Msila

IV.3.1.1. Géologie

La morphologie de la surface terrestre de la ville de Msila est significativement affectée par les caractéristiques du site auquel elle appartient, car on remarque que la partie nord est les pieds des montagnes de la chaîne de montagnes Hodna, et au sud les plaines. De la plaine de Shatt al-Hodna. En conséquence, la zone de la ville de Messila est caractérisée par des hauteurs moyennes situées au nord allant de 600 à 800 m de hauteur et des zones basses au sud, allant de 400 à 600m.

IV.3.1.2. Le Climat

La station de Msila est caractérisée par un régime saisonnier de type APHE, ceci signifie que l'automne est la saison la plus pluvieuse, alors que l'été est la saison la plus sèche, Janvier est le mois le plus, Le plus froid, avec un minimum de 8,41 ° C, tandis que le mois le plus chaud est juillet, avec un maximum moyen de 31,11 ° C, la température maximale en juillet avec 44 ° C. en plus, la variation des précipitations moyennes mensuelles est irrégulière d'une façon générale. Le mois le plus pluvieux est septembre avec une moyenne de 25.6 mm, alors que le mois de juillet présente le mois le moins pluvieux avec une valeur de 3.75 mm.

IV.3.2. Données Teneur en ions de sulfates SO₄²⁻ dans le sol

Selon les données obtenues auprès de l'Agence CTC Msila et issues des études géotechniques des sols de la ville de Msila par des laboratoires géotechniques accrédités. Concernant les éléments chimiques, les teneurs en sulfate (degré de salinité) dans le sol sont extraites avec la détermination des coordonnées géographiques de la zone de prélèvement de l'échantillon, comme indiqué dans le tableau 3, teneur en ions de sulfates SO₄²⁻ dans le sol sec.

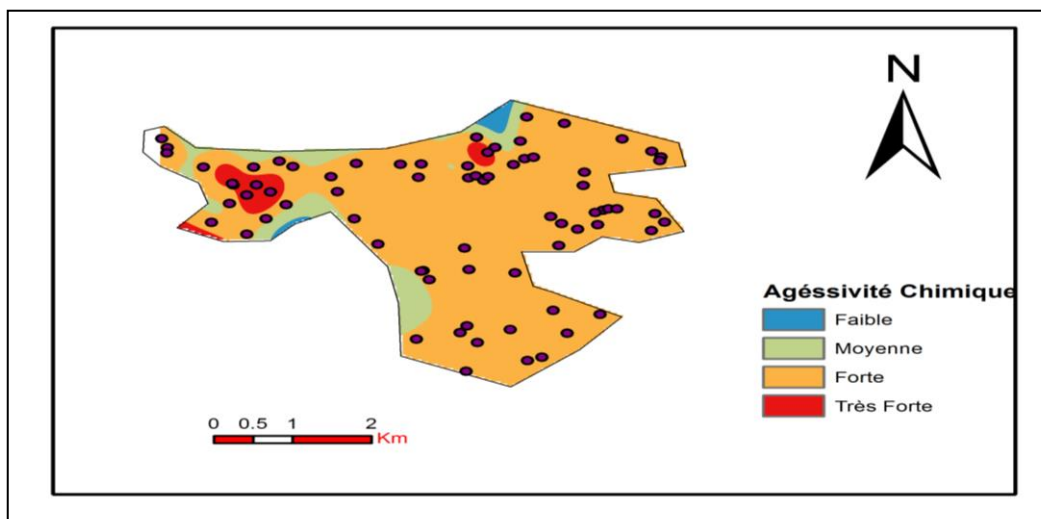
Tableau IV.3 Extrait de la base de données Teneur en ions de sulfates SO_4^{2-} dans le sol sec

N°	Latitude	Longitude	Agressivité chimique	Teneur en ions de sulfates SO_4^{2-} - % Dans le sol sec
1	35,736584	4,487871	Agressivité chimique fort	1,30
2	35,736645	4,520290	Très fortement Agressif	2,29
3	35,736688	4,522673	Très fortement Agressif	2,54
4	35,734418	4,528063	Agressivité chimique fort	1,24
5	35,712972	4,537685	Agressivité chimique fort	1,28
6	35,712320	4,543069	Moyennement Agressif	0,82

Ensuite, cette base de données tabulaire est entrée dans le programme Système d'information géographique (SIG) ArcGIS, pour générer, traiter et cartographier les informations géographiques (Figure 1.4) en créant une carte avec des axes horizontaux (coordonnées) représentant les coordonnées Lambert pour les cartes topographiques.

Pouvons déterminer l'emplacement du point d'agression sur Terre en connaissant ses coordonnées (X et Y). Chaque point est en corrélation avec la teneur en sulfate exprimée en SO_4^{2-} (%). Dans les zones d'agressivité liées aux attaques sur le béton en présence de sulfates dans le sol.

Après insertion des données dans le module ArcMap du programme ArcGIS, géoréférencement, et géoprocessing à l'aide des outils « Analysis spatial Tools » une carte d'aléas et risques géogénique a été établie (Figure IV.6).

**Figure IV.6 Carte de Teneur en ions de sulfates SO_4^{2-} ville de Msila**

Sur cette carte, qui représente la teneur en ions sulfate dans le sol d'une zone de la ville de Msila, où se situent des constructions civiles et industrielles et des réseaux de toutes sortes, c'est à dire la zone urbaine de la ville, nous notons qu'environ 90 % de la zone étudiée exprime la présence

d'ions sulfate à un pourcentage élevé et 6 % avec un degré moyen de salinité, où ils sont situés aux limites de la zone étudiée dans les côtés Sud-est et nord ,et environ 3 % est très élevé dans la partie orientale, qui définit la région sud-est de Mouilha et un petit pourcentage dans le sud-est du pôle universitaire, avec un faible pourcentage dans le nord, et environ 1 % est faiblement salon. Classification de l'agressivité des sulfates dans le sol, [NA 16002, 2007], puis la zone étudiée a été divisée en cinq zones selon le degré de salinité du sol, c'est-à-dire le pourcentage de présence d'ions sulfate : très élevé, élevé, moyen, faible et inexistant, Si l'on peut dire à travers Al-Mansour que le sol de la ville de Msila est majoritairement un sol à haute salinité, alors toutes les mesures et mesures préventives doivent être prises pour la sécurité afin d'éviter les effets sociaux et économiques extrêmes de ces phénomènes naturels.

IV.4. Analyse des Aléas de la commune de Sidi Aïssa

IV.4.1. Localisation géographique de la commune de Sidi Aïssa

La ville de Sidi Aïssa s'étale sur une superficie de 632.5km², située sur les Hauts Plateaux, au sud-est d'Alger, à 171 km de la capitale algérienne et à 30 km au sud de Sour El Ghazlane, Carrefour entre plusieurs wilayas, Msila , Bouira et Médéa, c'est une voie de communication importante entre le Nord et le Sud de l'Algérie et une plaque tournante du commerce de la région, ville historique de 120 mille habitants en 2008, et en 2016 elle dépassait les 185 mille habitants. Ses coordonnées géographiques sont :

Latitude 35°53'07" Nord et Longitude 3°46'26" Est (figure.5.6).

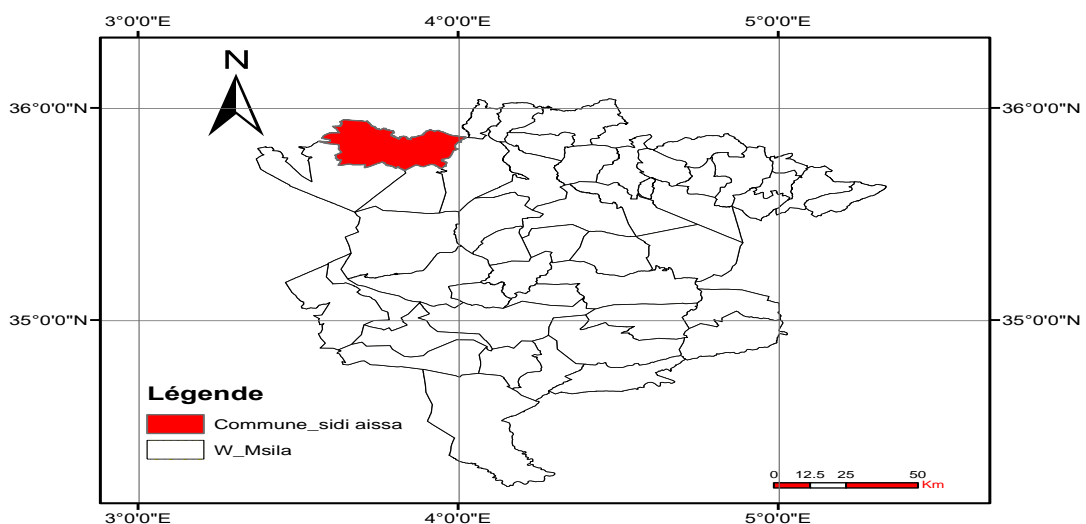


Figure IV.7 Localisation géographique de la ville de Sidi Aïssa

IV.4.2. Géologie

La géologie de cette zone comporte des formations argileuses caractérisées par une forte variation de volume lorsque les conditions de leur équilibre sont modifiées phénomènes

climatiques naturels dus à une sécheresse prolongée, activité humaine par modification du niveau des nappes phréatiques du fait de pompages excessifs, configuration des constructions dans leur environnement. Des désordres importants y apparaissent fréquemment dans les constructions légères dont bâtiments de faible hauteur et les routes.

IV.4.3. Le Climat

Sidi Aïssa possède un climat méditerranéen chaud avec été sec, sur l'année, la température moyenne à Sidi Aïssa est de 20.5°C et les précipitations sont en moyenne de 148.1 mm. Des précipitations moyennes de 4.3 mm font du mois de juillet le mois le plus sec. En octobre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 21.5 mm.

IV.4.4. Données géotechniques

a) Données Teneur en ions de sulfates SO_4^{2-} dans le sol

La même méthode utilisée dans la municipalité de M'sila pour modifier les données. Pour rappel, les données ont été obtenues au CTC, l'Agence de M'sila, qui a été extraites des rapports géotechniques établis par les laboratoires agréés pour les projets de la Région.

Cela se fait en entrant la base de données dans le programme du système d'information géographique (SIG), Arc GIS, pour créer une carte des informations géographiques liées au degré de salinité à chaque point afin de prendre les précautions nécessaires pour la sécurité du travail effectué. Ou l'intention de le louer dans ces domaines. Comme le montre le tableau 4, la teneur en ions sulfate SO_4^{2-} dans les sols secs.

Tableau IV.4 Extrait de la base de données Teneur en ions de sulfates SO_4^{2-} en mg/kg sol sec

N°	Commune	Latitude	Longitude	Agressivité chimique	Teneur en sulfates SO_4^{2-} mg/kg
1	SIDI AISSA	35,905706	3,763939	Très fortement Agressif	22140,69
2	SIDI AISSA	35,881677	3,761305	Très fortement Agressif	16370,97
3	SIDI AISSA	35,881456	3,767613	Agressivité chimique fort	9880
4	SIDI AISSA	35,882895	3,760766	Agressivité chimique fort	9766
5	SIDI AISSA	35,831267	3,813758	Très fortement Agressif	217748

Après insertion des données dans le module ArcMap du programme ArcGIS, géoréférencement, et geoprocessing à l'aide des outils « Analysis spatial Tools » une carte d'aléas et risques géogénique a été établie (Figure IV.8).

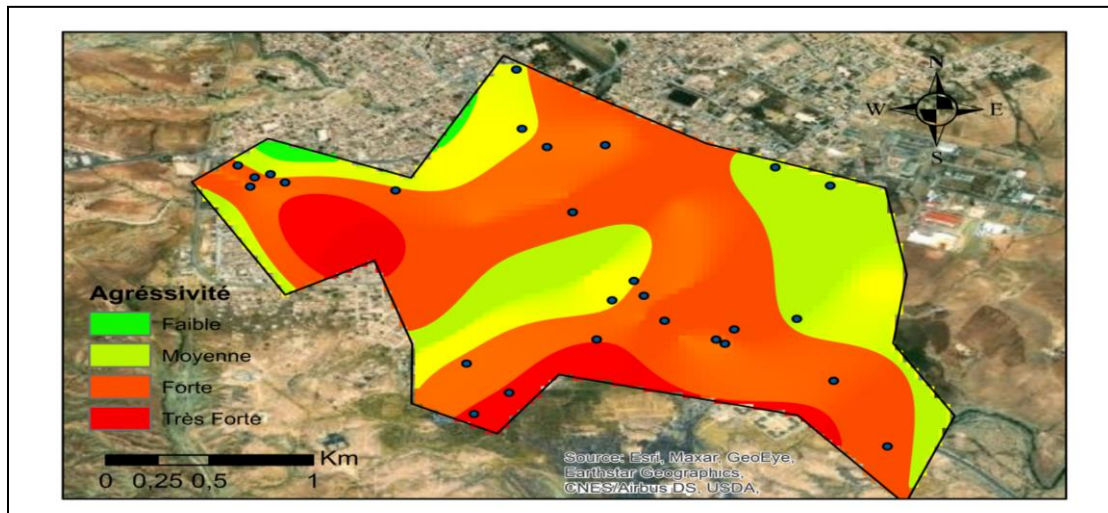


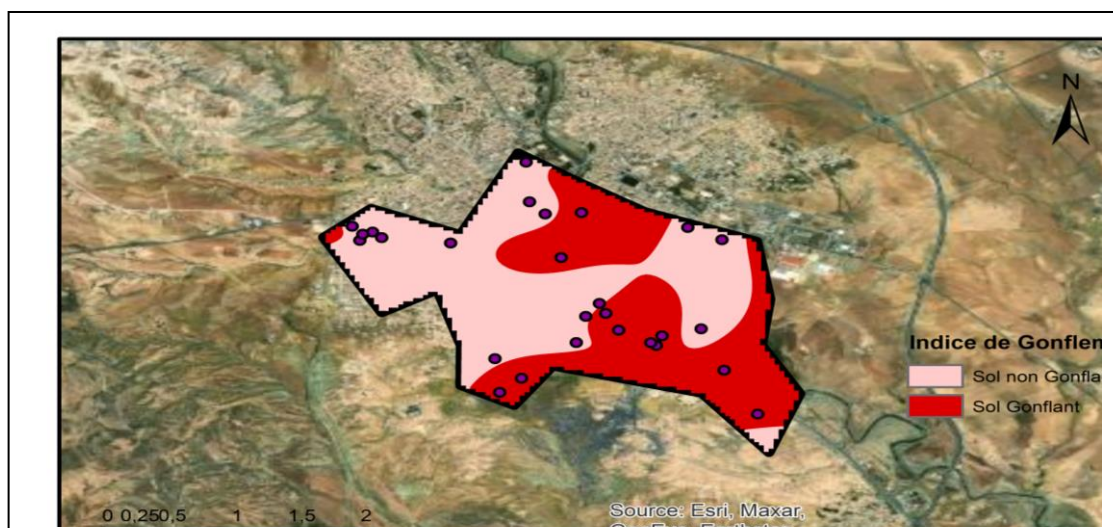
Figure IV.8 Carte de Teneur en ions de sulfates SO_4^{2-} ville de Sidi Aissa

D'après la carte qui représente la teneur en ions sulfate dans le sol d'une zone de la ville de Sidi Issa, et dans la zone urbaine de la ville, comme il ressort de la projection de la zone étudiée sur la carte Google Arth , La carte montre que le pourcentage de présence d'ions sulfate à un degré élevé est d'environ 60% de la superficie totale, qui est concentrée dans le sud et le sud-est de la ville, c'est-à-dire dans la zone d'expansion urbaine avec la présence d'une bande au milieu de la ville du sud au nord, et environ 35% de la superficie, le degré de présence d'ions carbonates est moyen dans le nord-est et le nord-ouest avec une bande en forme de coin au centre de la ville du sud, avec de moyenne agressivité et environ 5% de salinité très élevé dans la partie sud et sud-ouest avec un faible pourcentage d'environ 1% à l'ouest de la ville, Selon la classification de l'intensité de sulfate dans le sol, [NA 16002, 2007], la zone étudiée a été divisée en cinq régions selon le degré de salinité du sol, c'est-à-dire le rapport de la présence d'ions sulfate : très élevé, élevé, moyenne, faible et inexistant, Ainsi, de ce point de vue, le sol dans les zones d'expansion urbaine contient des ions sulfate à des degrés divers, et le pourcentage prédominant est le degré élevé de ces ions, qui constituent une menace pour les constructions de base de diverses structures, en particulier les installations en béton, car il entraîne des chocs thermiques et des raisons chimiques liées à la propagation de ces sels dans le béton, ce qui entraîne de graves dommages aux installations si ces sites dangereux doivent être connus grâce à ces cartes et éviter tout danger ,des mesures préventives doivent être prises en fonction de la classe d'agressivité des différentes présences de $-SO_4^{2-}$ étudiées. Ces mesures portent principalement sur la qualité de la composition du béton, que l'on doit rendre résistante à l'attaque par les sulfates dans le sol en plus de la composition du béton, le choix des inserts, notamment le type de ciment, est un facteur clé pour la résistance du béton par rapport au sulfate. Cependant, pour des précautions quelque chose de nécessaire et de défini.

Tableau IIV.5 Retrait, gonflement (Pression de gonflement en bars)

N°	Commune	Longitude	Latitude	Pression de gonflement en bars
1	SIDI AISSA	35,905706	3,763939	0,94
2	SIDI AISSA	35,881677	3,761305	0,26
3	SIDI AISSA	35,872911	3,776355	0,18
4	SIDI AISSA	35,875423	3,778408	1,82
5	SIDI AISSA	35,870542	3,786648	1,91
6	SIDI AISSA	35,873489	3,782329	1,30
7	SIDI AISSA	35,868640	3,771028	1,90

Les mêmes étapes utilisées dans le processus de création de la carte des risques Teneur en ions de sulfates SO_4^{2-} ville de Sidi Aissa ont été créées la carte de resèque de phénomène retrait-gonflement en utilise le programme SIG qui est le ArcGIS pour la ville de Sidi Aissa (Figure. IV.9)

**Figure IV.9 Carte de retrait, gonflement ville de Sidi Aissa**

La carte révèle que les résultats obtenus montrent que le phénomène de retrait et de gonflement des sols dans la ville de Sidi Issa représente une menace sérieuse, car les résultats montrent que le phénomène de retrait et de gonflement des sols se retrouve dans les zones d'expansion urbaine de la ville, où la proportion de la superficie totale étudiée est estimée à 50% de celle-ci 40 % dans ces zones, en particulier dans le sud-est et le nord de la ville, avec 50 % de sol non gonflant situé du côté sud-ouest, km au milieu de la ville au côté nord, et il est considéré comme les anciennes zones de la ville avec de l'espace dans les nouvelles zones urbaines du côté sud arabe, Car c'est un phénomène qui provoque des perturbations dans les structures qui le portent. Le sol exposé sous forme de retrait et de gonflement a un indice de gonflement $C_g > 0,04$. ($C_s \geq 0,04$). Permettant d'envisager les mesures préventives pour protéger les ouvrages en béton à

l'autre ouvrage à implanter dans ces zones.

IV.5. Analyse des Aléas de la commune de Boussaâda

IV.5.1. Localisation géographique de la commune de Boussaâda

La ville de Boussaâda est située au sud-ouest de la Wilayat de M'sila, au pied des monts Ouled Nael dans l'Atlas saharien. Elle est à 234 km de la capitale, Alger, et à 69 km du siège de l'état de M'sila. Elle s'appelle "Bab al-Sahara". C'est l'oasis la plus proche de la côte algérienne. C'est une ville touristique. Sa superficie est estimée à 249,34 km². La ville est considérée comme la deuxième plus grande ville en termes de population après la capitale de l'état de M'sila, avec une population d'environ 178 000 personnes. Il est bordé au nord par Ouled Sidi Brahim et El-Maarif, au sud par EL Hamel et Oultem, à l'Est par El Houamed et à l'Ouest par Tamsa.

Ses coordonnées géographiques sont :

Latitude 35°13'09" Nord et Longitude 4°10'54" Est (figure. IV.9).

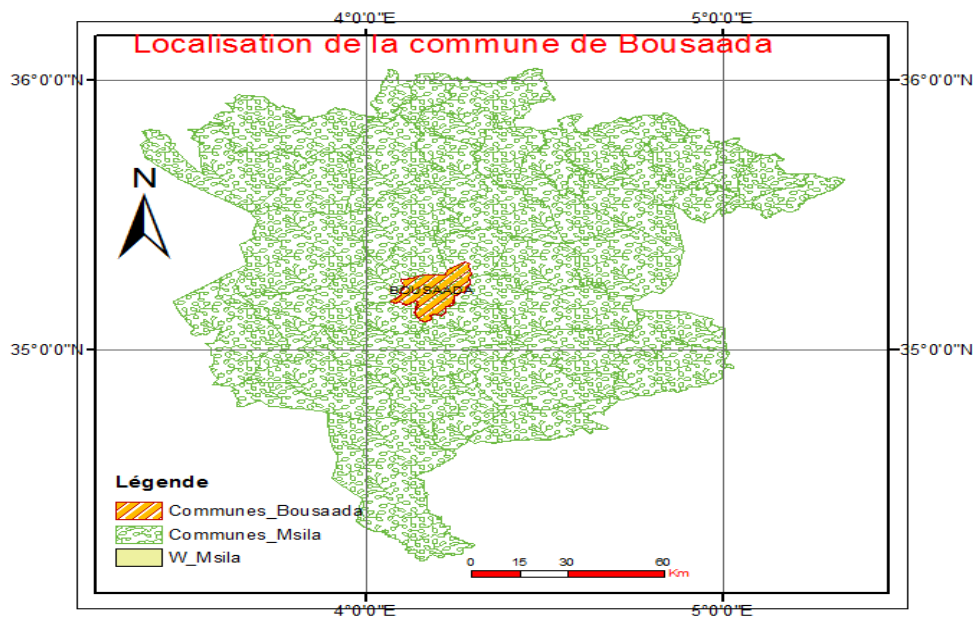


Figure IV.10 Localisation géographique de la ville de Boussaâda

IV.5.2. Géologie

Boussaâda se situe au nord des monts d'Oued Nail, entre l'Atlas saharien et le Pré-Atlas saharien, Le domaine atlasique fait partie de la chaîne alpine de l'Afrique du Nord (domaine septentrional), subis au cours des temps géologiques de modification avec la tectonique compressive résultant des plis et des failles. Des mouvements on causer des alternances de transgression et de régression durant le secondaire, la phase moyenne de plissement d'âge éocène a entamé l'érosion définitive de tous l'atlas saharien. Il est subdivisé en trois domaines différents par leurs lithologies et leurs tectoniques, du nord-est au sud-ouest se succèdent l'Atlas oriental,

l'Atlas central et l'Atlas occidental. La coupe nord-sud, depuis les zones internes jusqu'au domaine des nappes.

IV.5.3. Le Climat

Le Boussaâda se trouve à 591m d'altitude Boussaâda à un climat de steppe. Tout au long de l'année, il y a peu de précipitations à Boussaâda, le climat est de type BSk. La température moyenne annuelle à Boussaâda est de 17.5 °C. Sur l'année, la précipitation moyenne est de 278 mm, 9 mm font du mois de Juillet le plus sec de l'année. Les précipitations record sont enregistrées en Septembre. Elles sont de 36 mm en moyenne. 30.3 °C font du mois de Juillet le plus chaud de l'année. Le mois le plus froid de l'année est celui de Janvier avec une température moyenne de 6.7 °C.

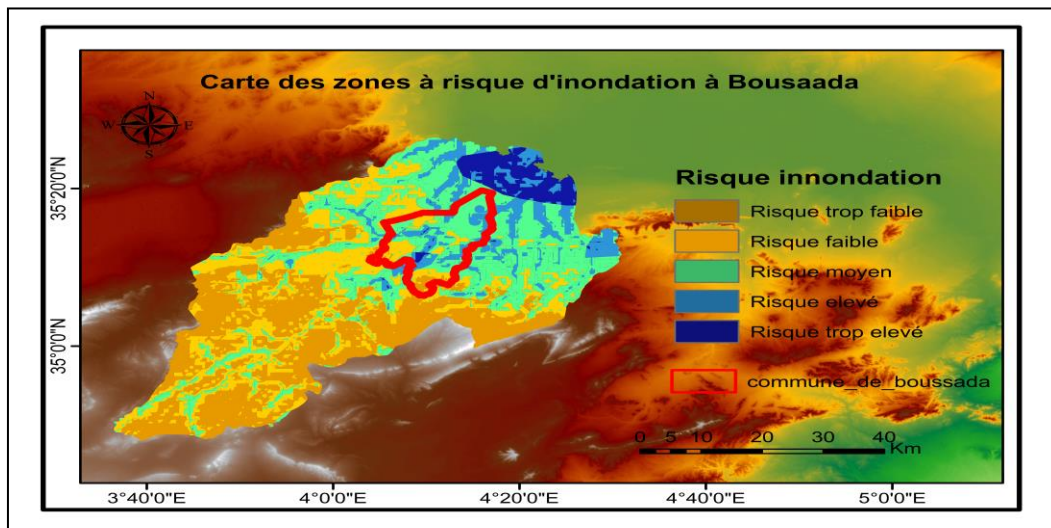


Figure IV.11 Carte d'Inondation Boussaâda

Le Bassin versant des eaux de couvain, d'une superficie de 26000 kilomètres carrés, est le cinquième plus grand bassin d'Algérie. L'emplacement du bassin de couvain entre deux chaînes de montagnes au nord et au sud organise le bassin autour d'un bassin qui reçoit les eaux de surface, flux de la région. Au centre de ce bassin, la superficie de Chat El-Hadna est de 1150 kilomètres carrés. Un réseau hydrographique intense et un couvert forestier très limité caractérisent les versants érodés formés par des zones inondables de différentes tailles et réparties sur la partie sud du bassin, , des formules à base de formules sont utilisées, en plus des paramètres morphométriques des bassins étudiés, les précipitations comme paramètre climatique principal dans la prédétermination des crues et à celles mises en œuvre par l'Agence nationale de météorologie des ressources en eau (ONM). Cette inondation a été déterminée, En utilisant des méthodes expérimentales basées sur les données de précipitations, ces dernières, Il est présenté dans le contexte algérien. Cette carte représente l'écoulement de l'eau à travers les vallées, à partir du bassin d'El-Hada et les cours d'eau de surface qui forment des crues dangereuses telles que celles

qui se sont produites récemment en date du 14/05/2021 (figure IV.10)



Figure IV.12 Le Inondations à M'sila le 14/05/2021

SYNTHESE

Les images satellitaires obtenues par télédétection, les paramètres géotechniques des sols de divers rapports sur les sols, l'aléa sismique dérivé des données CRAAG et CGS, les couches de forme des limites administratives des commune et wilaya de Msila constituent notre géodatabase sur les catastrophes géotechniques de la région de Msila.

Les systèmes d'information géographique SIG et l'outil numérique ArcGIS d'ESRI nous ont permis d'enrichir cette base de données avec des cartes thématiques sur les géorisques (aléas géotechniques, inondation et catastrophes sismiques).

Le SIG et les cartes qui en résultent deviendront des outils d'aide à la décision pour les autorités locales afin de gérer les futurs plans de développement, tout en garantissant la sécurité des biens et des résidents de la wilaya de Msila.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le Système d'information géographique (SIG) ArcGIS, c'est outil performant permet une intégration organisationnelle de travail avec matérialisation des aléas et les risques liés au géotechnique sur une cartographie bien définie de la région de Msila, notamment les risques liés au sol, dans L'objectif était de mettre à jour les registres des aléas et risques géotechniques dans la région de Msila.

L'introduction des données (aléas et risques liés au sol) sur le logiciel ArcGIS, permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Avec une fonctionnalité permettant d'appliquer l'analyse des données de localisation.

Par Obtention de meilleures informations en utilisant des outils contextuels pour visualiser et analyser les données. Ainsi que collaborez avec d'autres et partagez vos idées via des cartes, des applications et des rapports.

De plus, La présentation des résultats sous forme de carte est considérée comme l'un des moyens les plus efficaces pour soutenir une prise de décision rationnelle, pour éviter les impacts sociaux et économiques extrêmes de ces risques et phénomènes naturels.

Cela permet d'envisager des mesures préventives pour protéger le béton ou d'autres structures qui seront installées dans ces zones.

Cette étude constitue le début d'un cadre conceptuel de mesures préventives permettant aux planificateurs et aux constructeurs de connaître les zones potentiellement dangereuses. Ces cartes peuvent être progressivement mises à jour et étendues à d'autres régions de la wilaya.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. « The 50th Anniversary of GIS » [archive], *ESRI* (consulté le 18 avril 2013)
2. <http://ucgis.org/ucgis-fellow/roger-tomlinson> [archive]
3. « Rapport sur la marche et les effets du choléra dans Paris et le département de la Seine. Année 1832 » [archive], *Gallica* (consulté le 10 mai 2012)
4. Joseph H. Fitzgerald, « Map Printing Methods » [archive du 4 juin 2007](consulté le 9 juin 2007)
5. « GIS Hall of Fame – Roger Tomlinson »(Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), *URISA* (consulté le 9 juin 2007)
6. Lucia Lovison-Golob, « Howard T. Fisher »(Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Quefaire ?), Harvard University (consulté le 9 juin 2007)
7. « Open Source GIS History – OSGeo Wiki Editors » [archive] (consulté le 21 mars 2009)
8. Fu, P., and J. Sun. 2010. *Web GIS: Principles and Applications*. ESRI Press. Redlands, CA. (ISBN 1-58948-245-X).
9. « Le métier de Géomaticien » [archive]
10. www.esrifrance.fr/sig2006/EID.html [archive]
11. *Le Cahier des Techniques de l'INRA, GPS et SIG*, Paris, Institut National de la Recherche Agronomique, 2014, 181 p. (lire en ligne [archive])
12. *Systèmes d'information en santé environnement* [archive], enquête AFSSET/IFEN sur le croisement de données dans le champ santé environnement, juin 2008. Synthèse des résultats (= Action 35 du Plan national santé environnement).
13. Guy Lebègue, « Du spatial aux travaux publics : les maquettes virtuelles », avec la collaboration d'Éric Lebègue, CSTB et Laurent Lebègue, CNES, Lettre AAAF Cannes, spécial mars 2007, publiée sur archive-host.com [archive], reprise dans La Lettre AAAF no 6 de juin 2007 [archive], (ISSN 1767-0675).
14. Jean Denègre et François Salgé, « Les systèmes d'information géographique » 2e édition 2004 éditions PUF collection Que sais-je ? (ISBN 2130539238)
15. Livre : les séismes en Algérie de 1365-1992