REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOSTEFA BEN BOULAID BATNA -2-

INSTITUT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE ET AMENAGEMENT

DU TERRITOIRE

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD Filière :

Filières : Géographie et aménagement du territoire

Option : Villes et gouvernance territoriale

THEME

La Géogouvernance et la Résilience Urbaine Face aux Risques Majeurs

Cas de la ville de Sétif

Présentée par : Melal Akila

Soutenue publiquement le : 15/06/2026

Soutenue devant le jury composé de :

Guellouh Sami	MCA	Univérsité Batna2	Présidente
Bouhata Rabah	Pr	Univérsité Batna2	Rapporteur
Habibi Yahyaoui	MCA	Univérsité Batna2	Examinateur
Maddour Oualid	MCA	Univérsité Constantine3	Examinateur
Baziz Nafissa	MCA	Univérsité Batna2	Examinateur
Lakhdar Ammar	MCA	Univérsité Constantine3	Examinateur

REMERCIEMES

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à l'égard de mes directeurs de thèse, pour leur encadrement précieux et leurs conseils éclairés tout au long de ce travail. Leur disponibilité, leur expertise et leur rigueur scientifique.

Enfin, je remercie tous mes proches qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse .

Dédicace

À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de cette thése.

SOMMAIRE

Sommaire………...I

Liste des Figures……..II

Liste des cartes……III

Liste des Tableaux .....……....IV

Liste des abréviations.....V

Introduction Générale ……..…….01

Chapitre I

La Géogouvernance des risque majeurs en milieu urbain ; cadre théorique

Introduction…….08

I- Gestion des risques ; concepts clés et enjeux ……...08

I-1- Le risque : une notion multidimensionnelle……..…….08

I-2- La notion d'alea…….09

I-3- Vulnérabilité : des origines à la complexité:……..09

I-3-1-La vulnérabilité : un concept central dans l'évaluation des risques ……..….10

I-3-2-Les risques industriels majeurs……11

I-4- Le risque majeur : une menace d'ampleur ……12

I-4-1- Le risque naturel…….13

I-4-2- Le risque technologique……...…13

I-4-2-1- Le risque Nucléaire…….13

I-4-2-2- Le risque rupture de barrage……14

I-4-2-3- Le risque de transport de matières dangereuses……..……15

I-4-2-4- Le risque industriel…….....16

I-5- La notion de Catastrophe……17

I.5.1.Les traits distinctifs des catastrophes..…….19

I-6- La résilience : une capacité d'adaptation face aux crises …….....20

I-6-1- La réduction des risques de catastrophe pour renforcer la résilience…….……20

I-6-2- Cadre d'action de Sendai 2015-2030 pour la réduction des risques de catastrophe…….....21

1.6.3- Approfondissement des avancées et des défis du Cadre d'action de Hyogo…….……..…22

1.7.Géogouvernance et résilience urbaine : enjeux et défis……..23

1.7.1. La géogouvernance : définition et enjeux……23

1.7.2 Le rôle de la géogouvernance dans la prévention des risques……..24

1.7.2.1 Amélioration de la connaissance des risques…….25

1.7.2.2 Renforcement de la coordination entre les acteurs……25

1.7.2.3 Promotion de la prévention……26

1.7.2.4 Adaptation aux changements globaux……...26

1.7.3 La géogouvernance et la participation citoyenne…….26

I 8- La réglementation : Motrice de la maitrise du risque…….28

I.8.1- Plans de gestion des scénarios de catastrophe…….28

I-8--1- Le plan ORSEC…….29

I-8-1-2- Le plan particulier d'intervention (PPI)……..…….31

I-8-1-3- Le plan interne d'intervention (PII)…….……31

I.8.1.4 - La loi 24-04 : Un nouveau cadre pour la gestion des risques en Algérie……32

I.8.1.5. La loi 24-04 et le Plan ORSEC : Une complémentarité renforcée…….……...……33

Conclusion ……...35

Chapitre II

Contexte physique et socio-économique de la Ville de Sétif

Introduction…….…38

II-1- Les bassins hydraugrapgique de la wilaya de Sétif …….……39

II-1-1-- Bassin versant des côtiers constantinois ouest (N°3)……...39

II-1-2- Le bassin de Boussellam (Soummam) N°15…….39

II-1-3- Le bassin des hauts plateaux N°07……40

II-1-4- Le Bassin du Kébir-Rhumel (N°10) ……40

II-1-5- Bassin versant de chott Hodna ……..……40

II-2- Le choix du sous Bassin versant…….……...40

II-2-1- Présentation du sous bassin versant ……..……41

II-2-2- Les caractéristiques hydraugrapgique……42

II-2-3- Les caractéristiques physiographique et géomorphologiques……43

II-2-4- L'analyse hypsométrique (Altitudes)…….……45

II-2-5- Les caractéristiques géométriques…….48

II -2-6- Les caractéristiques géologiques……..51

II -2-7- La perméabilité…….……55

II-2-8 -La Pluviométrie ……59

II-3- Le risque d'inondation dans la ville de Sétif……....61

II-3-1-Historique des inondations dans la ville de Sétif……...62

II-4- La sismicité ……..63

II- 4-1-Historique de la sismicité en Algérie et la région d'étude……64

II-4-2-les séismes de Sétif 1957……...65

II-5- Présentation de la ville de Sétif……66

II-5-1- Situation géographique…….…….66

II-5-2- Dynamique urbaine : Sétif en expansion……...67

II-5-3 Typologie des tissus urbains à Sétif……....68

II-5-4- Anatomie de la croissance urbaine : Analyse et solutions ……....69

II-5-5- Les formations géologique de la ville :……..73

II-5-6-Les caractéristiques climatologiques……..……74

II-5-6-1- Les précipitations……...…….74

II-5-6-2- Les températures…….……75

II-6- Évolution démographique de la ville de Sétif ……..……76

II-7- Enjeux matériels……....…78

II-7-1- Analyse du logement à Sétif : Dynamiques, défis et perspectives…….……78

II-7-2- Equipement……81

II-7-3- Voirie urbaine…….…82

II-7-4- Réseaux énergétique (électricité- Gaz)……..…84

II-7-4-1- Réseaux électricité…….....84

II-7-4-2- Réseau Gaz…….85

II-7-5- Réseau hydrologique…….….86

II-7-5-1- Alimentation en eau potable…….....86

II- 7-5-2- Assainissement des eaux usées et drainage des eaux pluviales……..…90

II-8- Enjeux environnementaux…….……92

Conclusion……97

Chapitre III

Apport de la télédétection dans le suivi diachronique d'étalement urbain de la ville de Sétif.

Introduction……...101

III -1- Définition de l'étalement urbain……...101

III -1-1- L'étalement urbain est-il problème ?.....103

III -1-2- Quels sont les processus d'urbanisation ?.....104

III -1-3-Evolution historique de la ville de Sétif…….105

III -1-4- La transformation urbaine a Sétif……..107

III -2- Application de la télédétection pour l'étalement de la ville de Sétif……108

III -2-1- Méthodologie……108

III -2-1-1- Le prétraitement des images……..…….111

III -2-1-2- Le traitement d'amélioration (pan-charpening)……..113

III -2-1-3- L'application de la classification supervisée……..113

III -2-1-4- La classification d'images et validation des résultats…….…….…..114

III -3- Suivi spatio-temporel du phénomène d'étalement urbain……..……..125

III-4-Analyse des conséquences d'étalement urbain……...128

III -5- La zone industrielle: Dynamisme économique et impacts socio-économiques……....130

III -5-1- présentation de la zone industrielle de Sétif.…….....130

III -5-2- - Pollution industrielle : Menace environnementale et sanitaire……..…..……...148

III -6- Le contexte de proximité ville - zone industrielle……....153

III -7- Quel rôle des instruments d'urbanisme dans la fabrication d'un espace a risque……....154

III -7-1- Le PUD (plan d'urbanisme directeur)…….……..155

III -7-2- Les instruments d'urbanisme (PDAU et POS)…….155

Conclusion ……156

Chapitre IV

Analyse des scénarios des risques majeurs dans la ville de Sétif

Introduction ……..159

IV -1- Notion de crise : Menace au système et appel à la résilience.....159

IV -1-2- La gestion de crise : boussole pour la résilience organisationnelle……..…….160

IV -1-3- Apport de la géomantique dans la gestion de crise……..……..161

IV -1-3-1- La dimension spatiale au cœur de la gestion de crise……..……..162

IV -1-3-2- ArcGIS: Un outil incontournable pour l'analyse spatiale……..….163

IV -1-3-3- Géo référencement : Ancrer les données dans l'espace réel……..….164

IV -1-3-4- Géo data base : Une structure optimisée pour les données géo spatiales……...…165

IV -1-3-5- Applications du modèle numérique de terrain (MNT) en gestion de crise……....167

IV -4- Le rôle des SIG dans l'aide à la décision ……..……169

IV -2- l'Analyse des scénarios Appliqués aux risques industriels …….……171

IV -2-1-BLEVE au niveau des stations de services et l'unité CPL naftal……...172

IV -2-1-1- Définition du scenario « BLEVE »……...174

IV -2-2-L'utilisation de l'analyse spatiale dans la cartographie de l'alea……...175

IV -2-2-1--Scenario d'explosion au niveau des stations de services…….....175

IV -2-2-2-Scenario d'explosion au niveau de l'unité CPL Naflal……..…180

IV -3-Estimation des conséquences et la matérialisation des dangers ……..….181

IV -4-Aggravation des risques par effet DOMINO……...183

IV -5- La cartographie de la vulnérabilité aux inondations : une approche analytique……..…185

IV -5-1- L'analyse multicritère hiérarchique ……..…186

IV -5-2- Facteurs de vulnérabilité aux inondations……190

IV -5-2- 1- Les facteurs physiques : impact sur la vulnérabilité aux inondations……..190

IV -5-2- 1-a- La pente ……...190

IV -5-2-1- b- La distance à la rivière (talwegs)……..193

IV -5-2- 1-c-la direction des flux ……...198

IV -5-2- 1-d- Les précipitations …….199

IV -5-2- 1-e- La perméabilité …….202

IV -5-2- 1-f- Lithologie et géologie ……...205

IV -5-2- 2- Les Facteurs socio-économiques : impact sur la vulnérabilité aux inondations……..208

IV -5-2- 2-a- L'occupation du sol : comme facteur de vulnérabilité aux inondations…….210

IV -5-2- 2-b- La densité de population, un facteur d'inondation ……212

IV -5-2- 2-c- Le réseau routier ……214

IV -5-2- 2-d- Le réseau d'assainissement ……...216

IV -6-Approche AHP pour l'évaluation de la vulnérabilisé ……....218

IV -6-1-Décomposition du problème complexe en une structure hiérarchique……..218

IV -6-2- Les matrices de comparaison par paires …….…….218

IV -6-3- Analyse comparative des critères d'évaluation des risques d'inondation ……....223

IV -6-4- Cohérence des jugements……..225

IV -6-4-a) Interprétation de L'indice de cohérence ……225

IV -6-4-b) Améliorer la cohérence des jugements ……..226

IV -7- Calculer la vulnérabilité……229

IV -7-1- Méthodes d'agrégation multicritères…….230

IV -8- L'impact de l'inondation sur la population …….……235

IV -8-1- Modèle multicritère d'analyse spatiale…….....235

IV -8-1- a)- Calcul de la densité de population……...236

IV -8-1-b)-Détermination des zones à forte vulnérabilité……...236

IV -8-1-c)- Estimation de la population vulnérable……236

IV -8-1- Résultat ……..

Conclusion …….240

Chapitre V

La Géogouvernance des scénarios des catastrophes par

L'amélioration de la résilience urbaine

Introduction …… ……243

V-1- Principales approches de la gouvernance pour la résilience urbaine…….….243

V-1-1- Qu'est-ce que la gouvernance pour la résilience urbaine …….…..243

V-1-2- Les principales approches de la gouvernance pour la résilience urbaine……..…..243

V-1-2-1- L'approche multi-acteurs : une gouvernance collaborative……..……243

V-1-2-2. L'approche éco systémique : la ville comme un système complexe…….....244

V-1-2-3. L'approche basée sur les risques : une gestion proactive des dangers……..244

V-1-2-4. L'approche fondée sur les capacités : le renforcement des communautés…….…...244

V-2- Les facteurs clés de succès de la gouvernance pour la résilience urbaine…….…….....244

V-3- La résilience urbaine : entre politiques internationales et réalités locales…….…….....247

V-3- 1-Le réseau 100RC : un modèle de résilience urbaine en question…….……....247

V-4-Amélioration de la résilience aux risques industriels …….…….250

V-4-1- Géogouvernance et risques industriels : le rôle du modele MADS……250

V-4-2- La modélisation conceptuelle des bases de données…….…….251

V-4-3-la base de données géographiques (Geodatabase) ……...252

V-4-4-La modélisation spatiale……252

V-4-4-1-Le modèle Entité – Association ……252

V-4-5-La modélisation de la base de donnée sous Arc GISDiagrammer ……...253

V-4-5-1-La définition des attributs des classes d'entité……..255

V-4-5-2-Les associations et leur cardinalité et les clés……259

V-4-5-3- La validation du MCD sous ArcGIS Diagrammer……...260

V-4-5-4-L'exportation du MCD vers ArcCatalog…….……..260

V-4-5-5-Passage au Modèle Logique des Données (MLD)……....261

V-4-6- Gestion des interventions d'urgence et d'évacuation ……..262

V-4-6- 1-- Réseau géométrique: Analyse et modélisation du mouvement…….263

V-4-6-1-1- Les éléments constitutifs des réseaux géométriques ……265

V-4-6- 1-1- a)Les tronçons : éléments fondamentaux du réseau…….265

V-4-6- 1-1- b) Les jonctions : points de connexion ……265

V-4-6- 2- Le réseau logique : Un élément clé de l'analyse de réseau géométrique …….....266

V-4-7- L'organisation des secours …….....279

V4-8- Résultat…….282

V-5-Amélioration de la résilience aux risques d'inondation …….283

V-5-1-Une approche innovante de la gestion des risques……283

V-5-1-1- Solutions grises vs. Solutions vertes ……283

V-5-1-2- Les aspects techniques des solutions mises en œuvre à Nijmegen……...286

V-5-1-3- Le jardin-éponge : un concept au service de la résilience urbaine……...288

V-5-1-4- Les toits verts : des îlots de fraîcheur et de biodiversité…….……..290

V-5-2-Villes méditerranéennes : des modèles inspirants…….292

V-5-2-1- Spécificités du contexte algérien…….…….293

V-5-3- Le SIG comme outil d'évaluation et de gestion de risque …….…….295

V-5-4- La gestion du risque d'inondation : une approche intégrée et durable……297

V-5-4- 1-Une approche intégrée et innovante : les retenues collinaires…….297

V-5-4- 2- L'approche intégrée de Danièle Dagenais : un socle solide……302

V-5-5- Les solutions techniques adaptées au contexte de Sétif……..304

V-5-6- Enjeux spécifiques à Sétif……...304

V-6- l'étalement urbain et impacts sur la vulnérabilité aux inondations à Sétif……..306

V-7- préserver les terres agricoles et réduire les risques d'inondation……306

V-7- 1-Outils juridiques existants en Algérie pour la protection des terres agricoles…….306

V-7-2- Évaluer l'efficacité de la législation : les défis……310

Conclusion ……315

Conclusion générale……. 334

Bibliographie…….

LA LISTE DES FIGURES

Figure 1: La notion de risque……..…09

Figure 2: Représentation de la vulnérabilité selon un modèle MADS……..….11

Figure 3: La notion de risque majeur……..12

Figure 4: Le modèle de Gattegno (1995) des dynamiques de la catastrophe…….18

Figure 05 : Processus d'étalement urbain……..105

Figure 06 : situation de Sétif ; plan de 1958……..107

Figure 07:Organigramme méthodologique de classification dirigée……..……...110

Figure 08 : image satellitaire 1986 vraie couleur traité par Arc GIS…….112

Figure 09 : Validation de la classification. Source Auteurs 2023……..…...….115

Figure 10 .Méthodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes MADS…….172

Figure 11 : organigramme de la méthodologie. Source Auteurs 2023……..173

Figure 12 :L'ébullition-explosion BLEVE……175

Figure 13 : condition climatologique du scenario BLEVE (stations de service)……..176

Figure 14 : cuves contenant le carburant (stations de service)…….…….177

Figure 15 : Les radiations thermiques selon le logiciel ALOHA……..178

Figure 16 : résultat des distances d'effets par le logiciel ALOHA…… ……...178

Figure 17 :. Méthodologie de modélisation pour l'identification des sites vulnérables…….189

Figure 18 :l'interpolation donnée de précipitations sous ArcGis. …….…...202

Figure 19 : Définir le nombre des critères ……....227

Figure 20 : Ajouter les critères ……..…227

Figure 21 : Donne l'importance de chaque critère par rapport à l'autre…….…..….228

Figure 22 : Les résultats des priorités……....229

Figure 23 Calcul de la vulnérabilité avec ArcGIS Raster Calculator……....232

Figure 24.Qualités d'une ville résiliente : les 7 critères d'ARUP (2015)……...…249

Figure 25: Ajouter nouvelle Feature. Source ;Auteurs 2023…….....254

Figure 26 : Représentation des features classent de notre modèle…….255

Figure 27 : Les features classent avec ses attributs. Source ……. ……...259

Figure 28 : Le MCD réaliser sous ArcGIS Diagrammer…….……..260

Figure 29 : Importer le fichier XML vers la Geodatabase dans ArcCatalog……..…261

Figure 30 : Diagramme d'un réseau logique. Source (ESRI, 2021)……..265

Figure 31.Route graphique sous ArcGis.Source ;Auteurs 2023……280

Figure 32.Nijmegen : un modèle de cohabitation avec l'eau……..…284

Figure 33. Le jardin-éponge de Nanterre en milieu urbain…….……..289

Figure 34.Les toits verts et les zones de bio rétention …….....292

LA LISTE DES CARTES

Carte 01: Les grands bassins versants de l'Algérie- annuaire hydrogéologique 1985.....39
Carte 02: Situation géographique de l'impluvium……...41
Carte 03 : Le réseau hydrographique du sous-bassin versant……..43
Carte 04 : La carte hypsométrique du bassin versant……..48
Carte 05: La pente du bassin versant……...…51
Carte 06 : la géologie du bassin versant……...53
Carte 07. La lithologique du sous bassin versant……..…...55
Carte 08: La perméabilité du bassin versant……..…..57
Carte09 : Sismicité historique et instrumentale de l'Algérie de 1365 à 2009 ……65
Carte10 : Situation géographique - ville de Sétif …… ……..….67
Carte 11 : Carte d'occupation des sols de la ville de Sétif en 1986…….……..116
Carte 12 :L'occupation des sols de la ville de Sétif en 2000…….118
Carte 13 :L'occupation des sols de la ville de Sétif 2015……..120
Carte 14:L'occupation des sols de la ville de Sétif 2023……...123
Carte 15 : Suivi diachronique du phénomène d'étalement urbain…….127
Carte 16 : Suivi diachronique de la consommation des terres agric…….....130
Carte 17: Présentation de la zone industrielle de la ville de Sétif.Source Auteurs 2023……131
Carte 18: la répartition des unités industrielles par secteur……...134
Carte 19:La vulnérabilité aux risques industriels. source Auteurs.....154
Carte 20 : Effet thermique d'un BLEVE (stations-services).Source ;Auteurs 2023……180
Carte 21 : Effet thermique d'un BLEVE(unité Naflal).Source ;Auteurs 2023…….181

Carte 22 . Enjeux présents dans le périmètre de danger. Source ;Auteurs 2023……183

Carte 23. Scénario d'aggravation de risque par Effets domino (Google earth)…….184

Carte 24. Scénario d'aggravation de risque par Effets domino (Google map)……..185

Carte 25: Analyse de la pente comme facteur de vulnérabilité……191

Carte 26: Analyse de la distance à la rivière comme facteur de vulnérabilité……...194

Carte 27 : Analyse de la direction des flux comme facteur de vulnérabilité .…….198

Carte 28 : Analyse des précipitations comme facteur de vulnérabilité. …….200

Carte 29 : Analyse de La perméabilité comme facteur de vulnérabilité…….203

Carte 30. Analyse de La Lithologie et géologie comme facteur de vulnérabilité……..206

Carte 31 : La vulnérabilité physique …….208

Carte 32 : Facteurs socio-économiques : L'occupation du sol…….212

Carte 33 : Facteurs socio-économiques : La densité de population ……....214

Carte 34. Carte de la vulnérabilité socio-économique de la ville de ……217

Carte 35 : Carte de la vulnérabilité de la ville de Sétif. Source ;Auteurs 2023……234

Carte 36. La densité de population dans les zones vulnérable de la ville de Sétif……..238

Carte 37 : Modèle conceptuel des données géographiques sous Arc GISdiagrammer…….251

Carte 38 : L'espace de travail - logiciel ArcGIS Diagrammer……..253

Carte 39 : Configuration de l'environnement Network Analyst……..268

Carte 40 : Ajout du jeu de données réseau à ArcMap……..268

Carte 41 : les équipements existent approche des stations-services…….270

Carte 42 : les équipements existent approche de l'unité CLP Naftal……...270

Carte 43 : création de la couche d'optimisation des tournées de véhicules……..271

Carte 44. Réservoirs les plus proches pour chaque stations de service……272

Carte 45.l'analyse et la modélisation des réseaux géométriques……..273

Carte 46. Organisation des secours par analyse Network (station Ain sfiha)……..274

Carte 47. Organisation des secours par analyse Network (station al fouara)……..275

Carte 48: organisation des secours par analyse Network (station Sétif ville)…….276

Carte 49. Organisation des secours par analyse Network (stationAlhassi)…….277

Carte 50. Organisation des secours par analyse Network (unité Naftal)……278

Carte.51.Centre de soin le plus proche (station de service Sétif ville+ satation el Hassi)..280

Carte.**52**.Centre de soin le plus proche (unité naftal Sétif)Source ;Auteurs 2023……..281

Carte.53. Organisation des secours.Source ;Auteurs 2023…….281

Carte 54. Cartographie et de la vulnérabilité de Sétif face au risque d'inondation……299

LA LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01: Les caractéristiques physique et géomorphologiques du bassin versant……..45

Tableau 02 .Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude …..……....46

Tableau 03:Les caractéristiques des pentes……..…..50

Tableau 04 : caractéristique géologique et lithologique du bassin versant……..53

Tableau 05 : Répartition de la perméabilité dans le bassin versant…….....57

Tableau 06 : Valeurs des précipitations mensuelles et annuelles des 12 stations du bassin....60

Tableau 07 : Le foncier et son mode de consommation à Sétif…….....71

Tableau 08: La variation annuelle des précipitations…….....75

Tableau 09: La variation saisonnière des précipitations…….....75

Tableau 10: Températures enregistrées au niveau de la ville de Sétif……76

Tableau 11 : Croissance démographique au niveau de l'ACL de Sétif de 1966 à 2008……77

Tableau 12 : Répartition de la population sur l'ACL de Sétif ……...78

Tableau 13 : Répartition de la population sur l'ACL de Sétif ……80

Tableau 14: Evolution du parc logement à Sétif de 1987 à 2008……81

Tableau 15 : Les équipements par secteur……...82

Tableau 16 : Différents points d'eau au niveau de la ville de Sétif…….89

Tableau 17: Pollution engendrée par le secteur d'industrie au niveau de la ville de Sétif…111

Tableau 18: Les propriétés des images utilisées……....112

Tableau 19 : Matrice de confusion de la classification SVM 1986……...116

Tableau 20 : Matrice de confusion de la classification SVM 2000…….……..118

Tableau 21 : Matrice de confusion de la classification SVM 2015……..121

Tableau 22 : Matrice de confusion de la classification SVM 2021……..123

Tableau 23: L'artificialisation des sols de la ville de Sétif……....126

Tableau 24 : la répartition des unités industrielles par secteur……..135

Tableau 25: industriel ectothermes - plastique…….…150

Tableau 26 : l'industrie des cuirs et Tannerie…….150

Tableau 27: L'industrie des matériaux de construction…….151

Tableau 28: Les industries électricité – électronique……..…151

Tableau 29: Les industries Agro-alimentaires……....152

Tableau 30 : Les industries pétrochimie –chimie……..152

Tableau 31:les quantités des matières stocké de chaque station et l'effet thermique d'un blève……..…….179

Tableau 32 : quantités des matières stocké a l'unité CLP Naftal et l'effet thermique d'un bleve……....180

Tableau 33 : Seuils d'effets thermiques définis par la réglementation française……...……182

Tableau 34 :.base de données pour la formalisation du model de la vulnérabilité……...……188

Tableau 35 : les classes et les surface des pentes……..……191

Tableau 36 : Les classes des distances à la rivière (talwegs)……..……..195

Tableau37 : Répartition des directions d'écoulement des eaux dans la zone d'étude.…….199

Tableau 38 : La Répartition spatiale de la perméabilité des sols dans la zone d'étude.…..204

Tableau 39 : Analyse lithologique et perméabilité des formations géologiques à Sétif……207

Tableau40 : échelle de comparaison par paire selon Thomas Saaty (1980),…….…....219

Tableau 41 : Matrice de comparaison des critères pour l'évaluation de la vulnérabilité…...220

Tableau42. Comparaison par paires des critères l'évaluation des risques d'inondation…….223

Tableau43. La population vulnérable de la ville de Sétif…….……237

Tableau 44 : les classes d'entités, les attributs et le type des données …….……..…..258

Liste des abréviations

RGPH : Recensement Général de la Population et d'Habitat

AEP : Adduction en Eau Potable

POS : Plan d'Occupation du Sol

PDAU : Le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme

SIG : Système d'Information Géographique

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture

ORSEC : Organisation de la Réponse de Sécurité Civile

GPS: Global Positioning System

ESRI: Environmental Systems Research Institute

MNT : Modèle Numérique des Terrains

MCD : Modèle Conceptuel de Données

MLD : Modèle Logique de Données

SGBD : Système de Gestion des Bases de Données

DEM: Digital elevation model

USGS: United States Geological Survey

BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion

Introduction Générale

Les villes, en tant que centres névralgiques de l'activité humaine, sont de plus en plus exposées à une multitude de risques naturels et technologiques. Ces événements extrêmes, dont la fréquence et l'intensité augmentent sous l'effet du changement climatique (IPCC, 2021), peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur les populations, les infrastructures et les économies locales. Pour faire face à cette vulnérabilité croissante, la notion de résilience urbaine est devenue centrale dans les politiques publiques à l'échelle mondiale (Cutter, 2008).

La résilience urbaine désigne la capacité d'un système urbain à absorber les chocs, à se transformer et à se régénérer après une perturbation. Elle implique une combinaison de facteurs physiques, sociaux, économiques et institutionnels. Pour renforcer la résilience des villes, il est nécessaire de mettre en place des stratégies de prévention, de préparation, de réponse et de reconstruction qui intègrent les dimensions spatiales, sociales et environnementales.

La géogouvernance, concept émergent à la croisée de la géographie et des sciences politiques, offre un cadre analytique particulièrement pertinent pour appréhender la complexité des enjeux liés à la résilience urbaine. En intégrant les dimensions spatiales, sociales, économiques et politiques, la géogouvernance permet d'analyser les interactions entre les différents acteurs et les territoires, et de favoriser une approche intégrée de la gestion des risques (Brenner, 2004).

comme le souligne Brenner (2004), la géogouvernance s'intéresse particulièrement aux nouvelles formes de gouvernance qui émergent dans un contexte de mondialisation et de fragmentation des pouvoirs. Leitner (2005), quant à lui, met l'accent sur la production sociale de l'espace et le rôle des acteurs dans la construction des territoires.

La ville de Sétif, située en Algérie, constitue un cas d'étude pertinent pour explorer les liens entre la géogouvernance et la résilience urbaine. Soumise à des risques naturels variés (inondations, séismes) et confrontée à une urbanisation rapide, cette ville offre un terrain d'investigation privilégié pour analyser les vulnérabilités et les capacités d'adaptation des systèmes urbains.

La Problématique

Cette thèse vise à explorer les liens entre la géogouvernance et la résilience urbaine en prenant pour cas d'étude la ville de Sétif. Plus précisément, elle se propose de répondre aux questions suivantes :

- Comment la géogouvernance peut-elle contribuer à renforcer la résilience de la ville de Sétif face aux risques majeurs, notamment les risques industriels et naturels ?

- Quels sont les leviers d'action pour améliorer la coordination entre les différents acteurs impliqués dans la gestion des risques à l'échelle locale et régionale ?
- Comment les outils de l'analyse spatiale, tels que les systèmes d'information géographique (SIG) et l'analyse multicritère hiérarchique (AHP), peuvent-ils être utilisés pour identifier les vulnérabilités et renforcer les capacités d'adaptation de la ville ?

Les Objectifs

Les objectifs de cette thèse sont multiples :

- Analyser les risques majeurs auxquels la ville de Sétif est exposée et évaluer leur vulnérabilité.
- Étudier les dispositifs de gouvernance existants en matière de gestion des risques et identifier leurs forces et leurs faiblesses.
- Proposer des recommandations pour améliorer la géogouvernance de la résilience urbaine à Sétif, en s'appuyant sur les résultats de l'analyse et sur les bonnes pratiques internationales.
- Contribuer au développement de modèles conceptuels et méthodologiques pour une meilleure compréhension des interactions entre la géogouvernance et la résilience urbaine.

Méthodologies d'analyse et outils

L'analyse des risques industriels et des inondations repose sur des méthodologies spécifiques,. Les principales approches utilisées sont :

•L'analyse quantitative des risques ; Elle permet d'estimer numériquement la probabilité et la gravité d'un événement. Des logiciels spécialisés comme ALOHA sont couramment utilisés pour simuler l'incendie en cas d'accident industriel.

•L'analyse multicritère hiérarchique (AHP): Cette méthode permet de hiérarchiser les différents facteurs influençant la vulnérabilité et de construire des indices de vulnérabilité.

•Les systèmes d'information géographique (SIG): Les SIG sont des outils indispensables pour la représentation spatiale des données et la réalisation d'analyses spatiales. Ils permettent de cartographier les aléas, les vulnérabilités et les risques.

•La méthodologie MADS (Méthode d'Analyse des Dysfonctionnements des Systèmes): Cette méthode permet d'identifier les défaillances potentielles d'un système et d'évaluer leurs conséquences.

Ce travail de recherche a pour objectif de répondre aux attentes de tous les acteurs, notamment la protection civile pour améliorer la connaissance sur les situations accidentelles inhérentes aux risques industriels par l'utilisation du logiciel de simulation (ALOHA U.S.EPA, 2016) et l'intégration du principe de la Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes MADS appliquée aux risques industriels dans l'analyse des conséquences du phénomène d'étalement urbain sur la prévention et la gestion des risques industriels majeur, d'autre part contribuer à la création d'une base de données géographiques pour optimiser le processus d'intervention à travers l'exploitation d'une Géodatabase Arc Gis/diagramme, et des outils du module «spatial analyst» et «network analyst».

Afin d'atteindre les objectifs espérés, nous avons choisi d'organiser la thèse en cinq chapitres

Chapitre 1

ce chapitre offre une introduction solide aux concepts fondamentaux de la gestion des risques. Il établit un lien entre les risques naturels et technologiques, souligne l'importance de la résilience et présente les cadres d'action internationaux et les outils réglementaires disponibles pour faire face aux catastrophes.

Chapitre 2

ce chapitre offre une vision d'ensemble de la ville de Sétif, en mettant en évidence les enjeux liés à son développement urbain, à sa vulnérabilité face aux risques naturels et à la nécessité de mettre en place des mesures de prévention adaptées..

Chapitre 3

Ce chapitre offre une vision approfondie de l'étalement urbain de Sétif, en utilisant la télédétection comme outil d'analyse. Il met en évidence les défis liés à cette croissance rapide et souligne l'importance d'une planification urbaine adaptée pour concilier développement économique et protection de l'environnement.

Chapitre 4

Ce chapitre explore l'utilisation de l'analyse de scénarios et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour renforcer la résilience des villes face aux risques majeurs.

Chapitre 5

Ce chapitre explore les différentes facettes de la résilience urbaine, en mettant l'accent sur les approches de gouvernance, les outils d'analyse (notamment les SIG) et les solutions concrètes pour faire face aux risques majeurs, tels que les risques industriels et les inondations.

Les obstacles :

L'étude de la géogouvernance et de la résilience urbaine face aux risques majeurs dans le cas de la ville de Sétif est un sujet riche et complexe. Elle soulève de nombreux défis qui peuvent constituer des obstacles à la réalisation de notre recherche. Voici quelques-uns des principaux obstacles que nous avions rencontré :

- Obstacles méthodologiques:

Disponibilité et qualité des données: L'accès à des données fiables et complètes sur les risques, la vulnérabilité, les dispositifs de gouvernance et les pratiques des habitants peut être limité, notamment dans les pays en développement.

Choix des indicateurs: Il est complexe de sélectionner les indicateurs pertinents pour mesurer la vulnérabilité, la résilience et l'efficacité des politiques de gestion des risques.

Complexité des systèmes urbains: Les villes sont des systèmes complexes où de nombreux facteurs interagissent. Il est difficile d'isoler les causes et les effets des phénomènes étudiés.

Échelle d'analyse: Le choix de l'échelle d'analyse (quartier, ville, région) peut influencer les résultats de l'étude.

- Obstacles liés à la géogouvernance:

Définition de la géogouvernance: Le concept de géogouvernance est encore en construction et les définitions peuvent varier selon les auteurs.

Participation des acteurs: Il peut être difficile de mobiliser tous les acteurs concernés (élus, techniciens, citoyens, entreprises) et de favoriser leur participation effective à la co-construction des solutions.

Coordination des acteurs: La coordination entre les différents acteurs peut être complexe, notamment en raison de leurs intérêts divergents et de leurs cultures organisationnelles.

Adaptation des outils: Les outils d'analyse spatiale et de participation citoyenne doivent être adaptés au contexte spécifique de Sétif.

- Obstacles liés à la résilience urbaine:

Définition de la résilience: La notion de résilience est multidimensionnelle et difficile à mesurer de manière exhaustive.

Évolution des risques: Les risques sont dynamiques et peuvent évoluer dans le temps, ce qui rend difficile la planification à long terme.

Incertitudes: L'avenir est incertain et il est difficile de prévoir tous les scénarios possibles.

- Obstacles liés au contexte spécifique de Sétif:

Contexte socio-économique: Le contexte socio-économique de Sétif peut influencer la perception des risques et la capacité des habitants à faire face aux crises.

Contexte politique: Le contexte politique peut avoir un impact sur la mise en œuvre des politiques de gestion des risques.

Culture locale: Les pratiques culturelles et les représentations sociales des risques peuvent varier d'un endroit à l'autre.

Chapitre I

La Geogouvernance des risque majeurs en milieu urbain ; cadre théorique

Introduction

La vulnérabilité d'un territoire face aux risques majeurs ne dépend pas uniquement de l'aléa naturel, mais également de facteurs socio-économiques et politiques. C'est dans ce contexte que la géogouvernance apparaît comme un concept clé. Elle met en évidence l'importance de la dimension spatiale dans la gestion des risques, en considérant les territoires comme des systèmes complexes où interagissent des acteurs multiples et variés. La géogouvernance vise à renforcer la résilience des territoires en favorisant une gouvernance multi-échelle, intégrant les dimensions sociales, économiques et environnementales. Elle permet ainsi de mieux prendre en compte les spécificités locales et d'adapter les stratégies de prévention et de gestion des risques aux contextes territoriaux.

Ce chapitre a pour objectif d'explorer en profondeur les spécificités des risques majeurs et des catastrophes, en particulier dans un contexte urbain, afin d'identifier les enjeux clés auxquels sont confrontés les acteurs de la gestion de crise

I. Gestion des risques ; concepts clés et enjeux:

I.1. Le risque : une notion multidimensionnelle:

La notion de risque, bien que largement utilisée, revêt une complexité qui mérite d'être approfondie. Si le Petit Robert propose une définition intuitive du risque comme un "danger éventuel", une approche plus scientifique, telle que celle de Kervern et Rubise, permet d'en préciser les contours. En effet, le risque peut être conceptualisé comme le produit d'une probabilité d'occurrence et de la sévérité d'un événement indésirable. Cette approche quantitative offre un cadre rigoureux pour l'évaluation et la gestion des risques, en permettant de hiérarchiser les menaces et d'orienter les actions de prévention.

Le risque est traditionnellement conceptualisé comme l'intersection entre l'aléa et la vulnérabilité. Cette relation, souvent exprimée par l'équation $R = f(A, V)$, souligne que le risque est fonction de la probabilité et de l'intensité d'un événement dangereux (aléa), ainsi que de la sensibilité des éléments exposés (vulnérabilité). Des auteurs ont proposé différentes expressions de cette fonction, allant du simple produit à des combinaisons plus complexes. Plus récemment, une dimension spatio-temporelle a été intégrée à cette conceptualisation, reconnaissant que les risques sont dynamiques et s'expriment à la fois dans le temps et dans l'espace. Ainsi, l'équation du risque peut être réécrite sous la forme $R = f(A(t,s), V(t,s))$, soulignant l'importance de considérer les variations spatiales et temporelles de l'aléa et de la vulnérabilité.

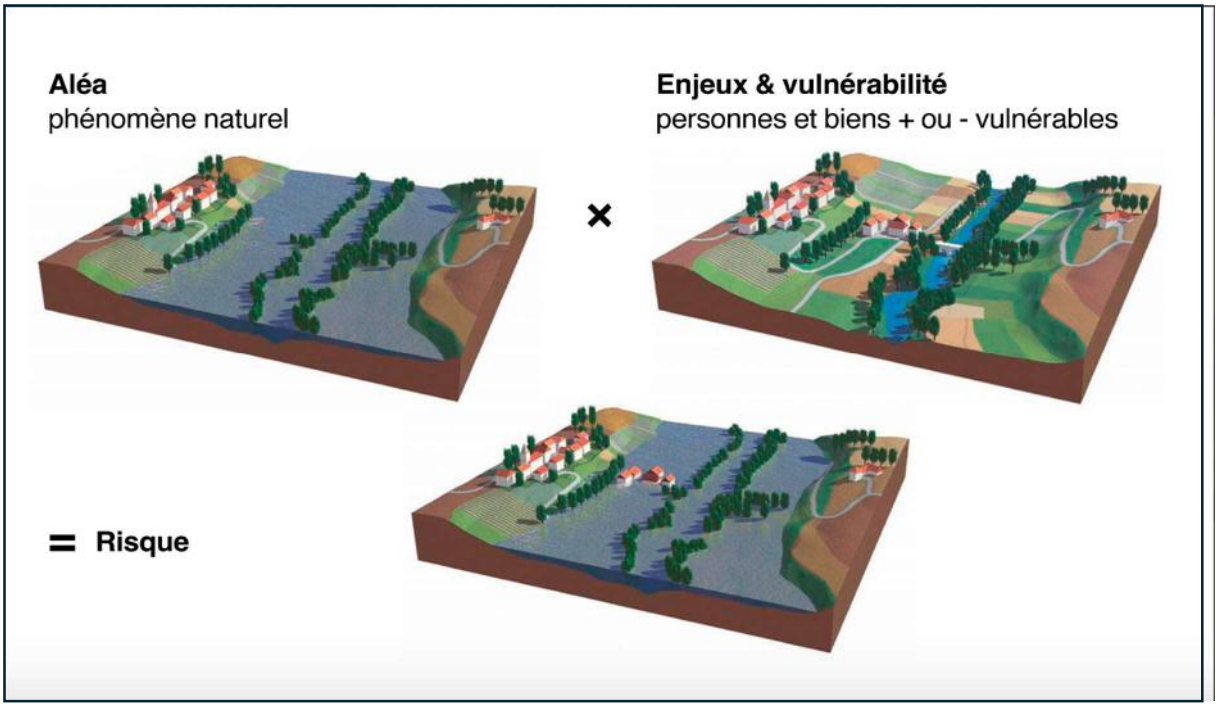


Figure 1: La notion de risque

Source : MTECT, d'après MEDD, 2004. Les risques majeurs, guide général, 63 p. Traitements : SDES, 2021

I.2. La notion d'aléa :

L'aléa, défini comme un phénomène naturel ou anthropique susceptible de causer des dommages, est caractérisé par son intensité, sa fréquence et son étendue spatiale. L'intensité, mesurable ou estimée, correspond à la magnitude du phénomène (par exemple, la hauteur d'eau pour une inondation). La fréquence, quant à elle, est exprimée en termes de probabilité d'occurrence ou de période de retour. Les facteurs géologiques, climatiques et anthropiques influencent significativement la distribution spatiale et temporelle des aléas. La caractérisation des aléas nécessite souvent la construction de matrices d'aléa, permettant de combiner différentes intensités et durées d'événement. Les principaux types d'aléas naturels sont d'origine géophysique (séismes, volcans), hydrométéorologique (inondations, cyclones) ou géomorphologique (mouvements de terrain).

I.3.Vulnérabilité : des origines à la complexité:

Le concept de vulnérabilité, issu du latin "vulnéraire" signifiant "blesser", a connu une évolution considérable depuis ses origines. Initialement centré sur la fragilité physique face aux aléas naturels, il s'est progressivement complexifié pour intégrer des dimensions sociales, économiques et politiques. Cette évolution reflète une prise de conscience croissante de l'interdépendance des facteurs influençant la vulnérabilité d'un système. Aujourd'hui, la vulnérabilité est appréhendée de manière holistique, en considérant l'ensemble des facteurs qui

peuvent exposer un individu ou un système à un risque. Cette approche multidimensionnelle est essentielle pour développer des stratégies d'adaptation efficaces face aux changements globaux.

I.3.1. La vulnérabilité : un concept central dans l'évaluation des risques

La notion de vulnérabilité est étroitement liée à celle de risque. Elle représente la susceptibilité d'un système à subir des dommages en réponse à un événement perturbateur. La vulnérabilité est souvent présentée comme l'opposé de la capacité d'un système à absorber les chocs.

Plusieurs auteurs ont souligné l'importance de la vulnérabilité dans l'évaluation des risques. Ils ont mis en évidence la diversité des formes que peut prendre la vulnérabilité, qu'elle soit technologique, liée à la construction ou plus généralement à la capacité d'un système à résister à une sollicitation.

La vulnérabilité est également considérée comme un facteur clé dans la gravité d'un risque. En effet, plus un système est vulnérable, plus les conséquences d'un événement indésirable seront importantes. De nombreux modèles d'évaluation des risques intègrent désormais la vulnérabilité comme un paramètre essentiel.

Enfin, la vulnérabilité est un concept multidisciplinaire qui intéresse aussi bien les ingénieurs, les sociologues, les économistes que les géographes. Cette approche pluridisciplinaire permet de mieux appréhender la complexité des phénomènes de vulnérabilité et de développer des stratégies de prévention et d'adaptation plus efficaces.

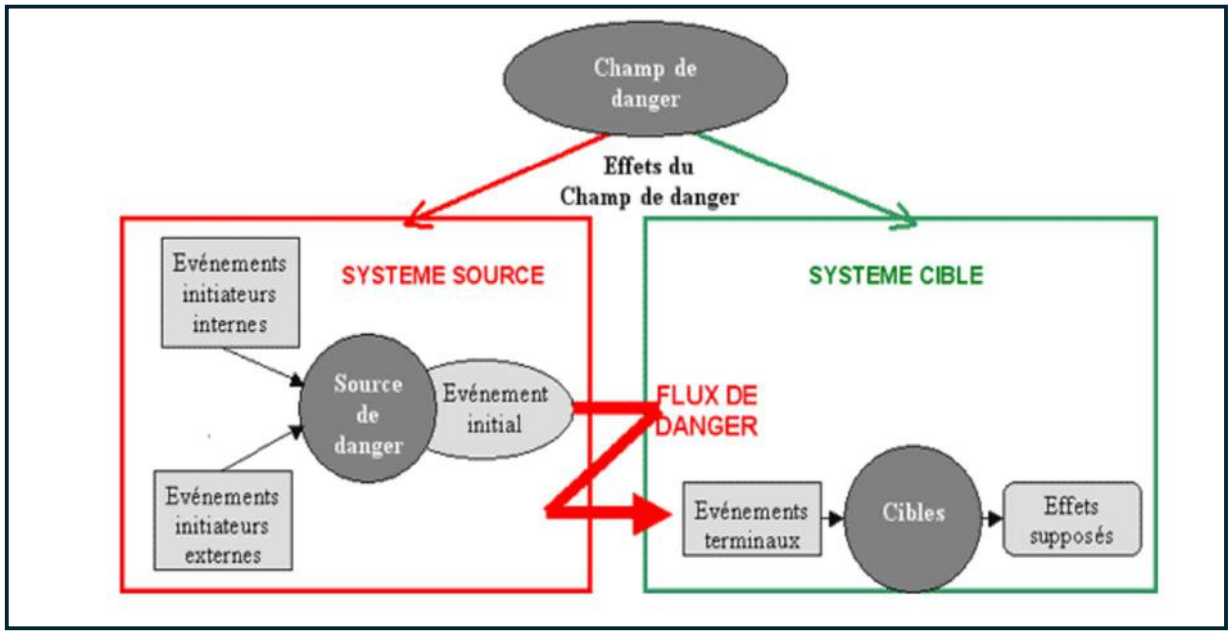


Figure 2: Représentation de la vulnérabilité selon un modèle MADS.

Source : Périlhon, 2003

1.3.2. Les risques industriels majeurs :

Les risques industriels majeurs résultent d'accidents survenant dans des établissements classés Seveso. Ces accidents peuvent générer des ondes de choc, des incendies, des projections d'objets ou des émissions de substances toxiques, affectant ainsi le territoire environnant.

La définition des risques industriels majeurs a fait l'objet de nombreuses discussions. Si la réglementation Seveso II offre une définition technique centrée sur les conséquences physiques des accidents.

Une définition plus complète pourrait ainsi considérer un risque industriel majeur comme un événement accidentel survenant dans un établissement industriel, engendrant des conséquences physiques, environnementales et socio-économiques importantes, dépassant les limites du site et affectant le territoire environnant. Cette définition intègre à la fois les aspects techniques et sociaux de ces risques, tout en soulignant leur caractère exceptionnel et leur potentiel impact dévastateur.

I.4. Le risque majeur : une menace d'ampleur:

Un risque majeur désigne un événement, d'origine naturelle ou anthropique, susceptible d'engendrer des conséquences d'une gravité telle qu'elles dépassent les capacités de réponse de la société. Ces événements peuvent impacter de vastes populations, causer des dommages matériels considérables et perturber durablement les activités humaines. Comme le souligne Haroun Tazieff, un risque majeur représente une menace telle que la société se trouve démunie face à l'ampleur du désastre.

La formule suivante permet de conceptualiser le risque majeur :

Risque majeur = Intensité d'aléa × Faible occurrence × Enjeux de la vulnérabilité

Les risques majeurs constituent un enjeu majeur pour la société. Ils peuvent entraîner des pertes humaines et économiques importantes, ainsi que des perturbations sociales et environnementales. La gestion des risques majeurs vise à réduire leur probabilité d'occurrence et à limiter leurs impacts potentiels.

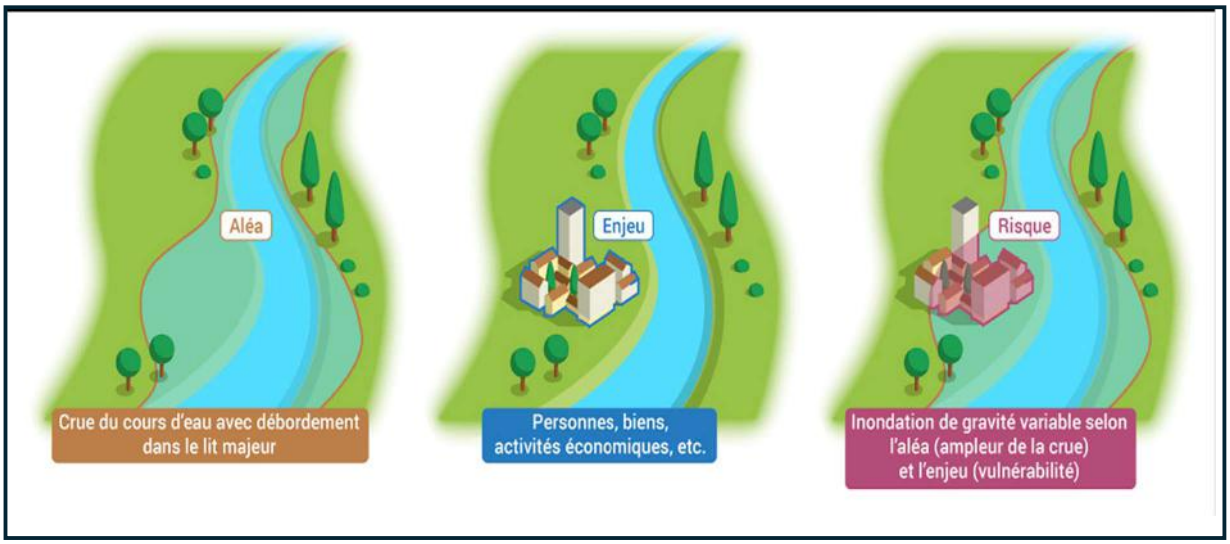


Figure 3: La notion de risque majeur

Source :Matthieu Nivesse (d'après OIEau), 2018

Les risques majeurs, caractérisés par leur faible probabilité et leur impact élevé, représentent une menace constante pour les sociétés modernes. Ces événements extrêmes, qu'ils soient d'origine naturelle (séismes, inondations) ou technologique (accidents industriels), peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur les populations, les infrastructures et l'environnement. Leur gestion nécessite une approche globale et proactive, intégrant des mesures de prévention, de préparation et de réponse

I.4.1.Le risque naturel :

Le risque naturel est un concept multidimensionnel qui met en évidence la vulnérabilité des sociétés face aux forces de la nature. Il est défini par l'intersection entre un aléa naturel et les enjeux exposés. Les aléas naturels, caractérisés par leur intensité, leur fréquence et leur étendue spatiale, peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur les populations, les économies et les environnements. La gestion des risques naturels vise à réduire la vulnérabilité des territoires et à renforcer leur résilience face aux événements extrêmes.

I.4.2. Le risque technologique :

Le risque technologique désigne la probabilité qu'un événement d'origine anthropique, lié aux activités industrielles ou technologiques, entraîne des conséquences néfastes pour l'homme, les biens ou l'environnement. un danger technologique se caractérise par la présence de substances ou de conditions susceptibles de provoquer des blessures, des dommages matériels ou des atteintes à l'environnement. Cette notion englobe une diversité de risques, notamment..

I.4.2.1. Risque nucléaire :

Le risque nucléaire se définit comme la probabilité d'un événement accidentel lié à l'utilisation de matériaux radioactifs, susceptible d'entraîner une irradiation ou une contamination du personnel, des populations, des biens et de l'environnement (ASN, 2023).

Le risque nucléaire présente plusieurs caractéristiques spécifiques :

- Faible probabilité d'occurrence: Les accidents nucléaires majeurs sont rares, mais leurs conséquences potentielles sont graves (Brice, 2016).
- Gravité des conséquences: Un accident nucléaire peut causer des dommages importants à la santé humaine et à l'environnement, avec des effets à long terme (OMS, 2020).
- Difficile à gérer: La gestion du risque nucléaire nécessite des mesures de sécurité et de sûreté strictes, ainsi que des plans de réponse à l'urgence efficaces (AIEA, 2022).

Il existe différents types d'accidents nucléaires, dont les plus graves sont :

- Fusion du cœur: La fusion du cœur d'un réacteur nucléaire peut entraîner la libération de grandes quantités de radioactivité dans l'environnement (Tchernobyl, 1986 ; Fukushima, 2011).
- Accident de criticité: Un accident de criticité se produit lorsque des matières fissiles sont présentes en quantité et en configuration suffisantes pour déclencher une réaction en chaîne incontrôlée (Goiania, 1987).

- Rejet de radioactivité: Un rejet de radioactivité peut se produire lors d'un accident ou d'une défaillance des systèmes de sécurité d'une installation nucléaire (Mayak, 1957).:

Les conséquences d'un accident nucléaire peuvent être :

- Irradiation aiguë: L'irradiation aiguë peut causer des maladies graves, telles que le syndrome d'irradiation aiguë (SIA), et peut être fatale (Hiroshima et Nagasaki, 1945).
- Contamination radioactive: La contamination radioactive peut affecter l'environnement et la chaîne alimentaire, et peut entraîner des cancers et d'autres problèmes de santé à long terme (Tchernobyl, 1986).
- Impact économique et social: Un accident nucléaire peut avoir un impact économique et social important, en raison des coûts de la décontamination, de l'évacuation des populations et de la perte de confiance dans l'énergie nucléaire (Fukushima, 2011).

Le risque nucléaire est un enjeu majeur de société. Il est important de prendre des mesures pour réduire la probabilité d'occurrence d'un accident nucléaire et pour limiter ses conséquences potentielles (ASN, 2023).

I.4.2.2.Risque rupture de barrage :

La rupture de barrage correspond à la destruction partielle ou totale d'un ouvrage hydraulique, provoquant la libération soudaine d'un volume d'eau important (Barrage de France, 2023).

Les causes d'une rupture de barrage peuvent être multiples et regroupées en trois catégories :

Techniques:

Défaut de fonctionnement des vannes d'évacuation des eaux (CIRIA, 2007)

Vices de conception (ASCE, 2021)

Vieillissement des installations (ANCOLD, 2018)

Erreurs de construction (ICOLD, 2019)

Naturelles:

Séismes (USGS, 2023)

Crues exceptionnelles (OMM, 2023)

Glissements de terrain (BRGM, 2023)

Humaines:

Insuffisance des études préalables et du contrôle d'exécution (AFNOR, 2023)

Erreurs d'exploitation, de surveillance et d'entretien (EDF, 2023)

Malveillance (ONU, 2023)

La rupture d'un barrage peut avoir des conséquences dramatiques :

- Inondations soudaines et dévastatrices en aval du barrage, avec des vagues pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres de hauteur (UNESCO, 2023)
- Pertes humaines et économiques importantes : destruction d'infrastructures, de biens et de cultures, interruption d'activités économiques (Banque mondiale, 2023)
- Dommages environnementaux : destruction d'habitats naturels, contamination des sols et des eaux (UICN, 2023)

Exemples historiques:

Malpasset (France, 1959): 423 victimes (L'Express, 2019)

Vaiont (Italie, 1963): 1917 victimes (Le Monde, 2013)

Banqiao (Chine, 1975): 26 000 à 171 000 victimes (Wikipedia, 2023)

Tchernobyl (Ukraine, 1986): Contamination radioactive de grande ampleur (AIEA, 2023)

Prévention et mitigation:

Dimensionnement et construction des barrages selon des normes de sécurité strictes (ICOLD, 2021)

Surveillance et entretien réguliers des installations (ANCOLD, 2018)

Plans d'alerte et d'évacuation des populations riveraines (Ministère de l'Intérieur, 2023)

Information et sensibilisation du public aux risques liés aux barrages (Barrage de France, 2023)

La rupture de barrage est un phénomène rare mais potentiellement dévastateur. La prévention et la mitigation de ce risque nécessitent une vigilance constante et une collaboration étroite entre les autorités, les experts et les populations riveraines..

I.4.2.3.Risque de transport de matières dangereuses :

Le risque de transport de matières dangereuses (TMD) se définit comme la probabilité qu'un accident survienne lors du transport de substances ou d'objets susceptibles de présenter un danger pour l'homme, les biens ou l'environnement (Ministère de la Transition écologique, 2023).Ce risque est lié à plusieurs facteurs:

- La nature des matières dangereuses transportées: Elles peuvent être explosives, inflammables, toxiques, corrosives, radioactives ou biologiques (ADR, 2023).
- Les conditions de transport: Le mode de transport (routier, ferroviaire, maritime, fluvial ou aérien), l'état des infrastructures et les conditions météorologiques peuvent influencer le risque (IATA, 2023).
- Le facteur humain: Les erreurs de conduite, de manutention ou de maintenance peuvent également être à l'origine d'accidents (CIMT, 2023).

Les conséquences d'un accident de TMD peuvent être:

- Des dommages aux personnes: Blessures, intoxications, voire décès.
- Des dommages aux biens: Destruction d'infrastructures, de véhicules et de marchandises.
- Des dommages à l'environnement: Pollution des sols, des eaux et de l'atmosphère.

La prévention du risque de TMD repose sur plusieurs piliers:

- La réglementation: Le transport de matières dangereuses est soumis à une réglementation stricte qui vise à limiter les risques (RID, 2023).
- La formation des acteurs: Les personnes impliquées dans le transport de matières dangereuses doivent être formées aux risques et aux procédures de sécurité (IMDG, 2023).

* La sensibilisation du public: Il est important d'informer le public sur les risques liés au TMD et sur les mesures à prendre en cas d'accident.

En conclusion, le risque de transport de matières dangereuses est un enjeu majeur de sécurité publique et environnementale. Sa prévention nécessite une approche multisectorielle et une collaboration étroite entre les acteurs publics, privés et la société civile.

I.4.2.4.Risque industriel :

Le risque industriel se définit comme la probabilité qu'un événement accidentel survienne sur un site industriel, susceptible d'entraîner des dommages aux personnes, aux biens ou à l'environnement (Ministère de l'Economie et des Finances, 2023).Ce risque est liée à plusieurs facteurs:

- La nature des activités industrielles: Certaines industries, comme la chimie, la pétrochimie ou le nucléaire, présentent des risques plus importants que d'autres (ASN, 2023).

- Les installations et les équipements: L'état des installations et des équipements industriels peut influencer le niveau de risque (INERIS, 2023).
- Le facteur humain: Les erreurs humaines peuvent être à l'origine d'accidents industriels (BPCE, 2023).

Les conséquences d'un accident industriel peuvent être:

- Des dommages aux personnes: Blessures, intoxications, voire décès.
- Des dommages aux biens: Destruction d'infrastructures, d'équipements et de stocks.
- Des dommages à l'environnement: Pollution des sols, des eaux et de l'atmosphère.
- Des impacts économiques et sociaux: Interruption d'activité, chômage, perte de confiance.
- La prévention du risque industriel repose sur plusieurs piliers:
- La réglementation: Les installations industrielles sont soumises à une réglementation stricte qui vise à limiter les risques (Directive Seveso, 2012).
- La formation des acteurs: Les personnes impliquées dans l'industrie doivent être formées aux risques et aux procédures de sécurité.
- La maintenance des installations: Les installations industrielles doivent être régulièrement inspectées et entretenues.
- La culture de sécurité: Il est important de développer une culture de sécurité au sein des entreprises industrielles.

En conclusion, le risque industriel est un enjeu majeur de sécurité publique et environnementale. Sa prévention nécessite une approche multisectorielle et une collaboration étroite entre les acteurs publics, privés et la société civile.

I.5. La notion de catastrophe :

Le concept de catastrophe est complexe et polysémique, car chaque auteur et acteur le définit selon sa perception et son domaine d'activité (Birkmann, 2006 ; Joly, 2015). De ce fait, les définitions de la catastrophe varient, mais convergent généralement vers l'idée d'un événement pouvant entraîner une rupture, une perturbation ou une insuffisance des moyens (UNISDR, 2009).

L'état de catastrophe résulte de la conjonction de deux éléments :

- Un événement déclencheur: Il peut s'agir d'un phénomène naturel (séisme, inondation, etc.) ou d'origine humaine (accident industriel, attentat, etc.) (Gaillard, 2010). La probabilité de cet événement peut être faible ou extrêmement élevée (Peduzzi, 2004).
- Un territoire vulnérable: Cette vulnérabilité peut être d'ordre physique (infrastructures fragiles, environnement dégradé) ou social (population pauvre, institutions inefficaces) (Wisner et al., 2004).

Deux types de catastrophe peuvent être différenciés :

- Catastrophes lentes: Elles se développent progressivement sur une longue période de temps, comme les famines ou les sécheresses (Oliver-Smith, 1994).
- Catastrophes rapides: Elles surviennent soudainement et causent des dommages importants en peu de temps, comme les tremblements de terre ou les tsunamis (Maskrey, 1998).

La catastrophe est un phénomène complexe qui ne peut être défini de manière unique. Sa compréhension nécessite de prendre en compte l'interaction entre l'événement déclencheur, la vulnérabilité du territoire et les défaillances organisationnelles. La distinction entre catastrophes lentes et rapides et la notion d'urgence permettent d'affiner la compréhension de ce phénomène et d'améliorer la gestion des risques.

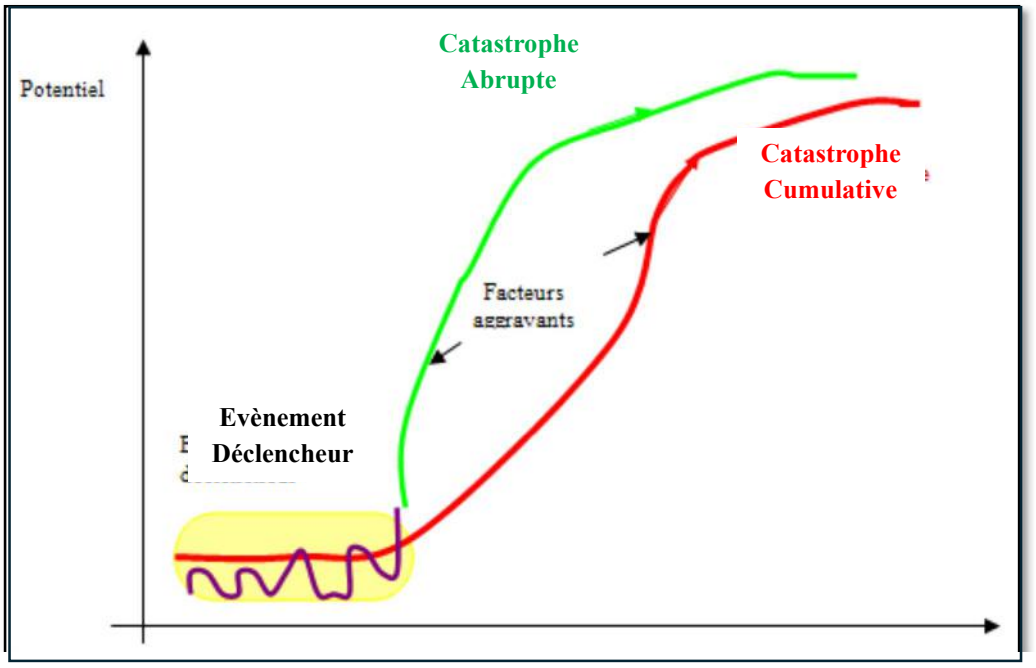


Figure 4: Le modèle de Gattegno(1995) des dynamiques de la catastrophe

I.5.1.Les traits distinctifs des catastrophes :

Les caractéristiques de la catastrophe désignent les éléments qui définissent et distinguent un événement catastrophique d'autres types de situations d'urgence. Elles permettent de mieux comprendre et d'analyser les catastrophes, et d'établir des stratégies de prévention et de gestion plus efficaces. Voici quelques-unes des principales caractéristiques de la catastrophe:

- Événement rare et soudain: Une catastrophe est un événement qui survient de manière inattendue et à une fréquence relativement basse (UNISDR, 2009).Cette rareté peut influencer la perception du risque et l'Imprévu mesures préventives (Birkmann, 2006).
- Impact important: Une catastrophe cause des dommages importants aux personnes, aux biens ou à l'environnement (Gaillard, 2010).Cet impact peut être mesuré en termes de pertes humaines, de dommages économiques ou d'impact environnemental (Peduzzi, 2004).
- Débordement des capacités locales: L'ampleur d'une catastrophe dépasse les capacités de réponse des autorités locales (Wisner et al., 2004).Cela nécessite une intervention extérieure et une coordination à différents niveaux (Lagadec, 2014).
- Rupture et perturbation: Une catastrophe peut causer une rupture des systèmes socio-économiques et environnementaux (Oliver-Smith, 1994).Cette rupture peut engendrer des effets secondaires et des difficultés à long terme (Maskrey, 1998).
- . Incertitude et imprévisibilité: Les détails précis d'une catastrophe sont difficiles à prédire, ce qui rend la préparation et la gestion difficile (OMS, 2005).Cette incertitude peut générer de la peur, de l'anxiété et du stress au sein de la population (McEntire, 2004).
- Complexité et interactions multiples: Une catastrophe est un phénomène complexe qui implique de nombreux facteurs et interactions (Cutter, 2001).La compréhension de ces interactions est essentielle pour une gestion efficace des risques (Turner et al., 2003).

Les caractéristiques de la catastrophe définissent un événement rare, soudain et d'impact majeur, qui dépasse les capacités locales et engendre des ruptures et des perturbations. L'incertitude, l'imprévisibilité et la complexité inhérentes aux catastrophes rendent leur gestion particulièrement difficile.

I.6. La résilience : une capacité d'adaptation face aux crises

La résilience, concept transversal emprunté à l'écologie, désigne la capacité d'un système à absorber des perturbations, à se transformer et à retrouver un état de fonctionnement acceptable. En matière de gestion des risques, la résilience d'un territoire, d'une organisation ou d'une société se mesure à sa capacité à faire face à des événements extrêmes, qu'ils soient naturels ou d'origine humaine, et à se remettre en route rapidement. Cette notion, inscrite au cœur des politiques de défense et de sécurité nationale, invite à repenser les approches traditionnelles de la gestion des risques en privilégiant une perspective à long terme et une vision systémique.

1.6.1- La réduction des risques de catastrophe pour renforcer la résilience

La réduction des risques de catastrophe (RRC) est cruciale pour renforcer la résilience des communautés face aux événements naturels et d'origine humaine. Le concept de résilience a évolué au fil du temps, s'éloignant de la simple notion de résistance aux chocs pour englober une capacité d'adaptation et de transformation face aux perturbations (UNISDR, 2015).

Certains auteurs proposent de simplifier la compréhension en associant la vulnérabilité à une perspective a priori et négative, et la résilience à une perspective a posteriori et positive (Birkmann, 2013). Cependant, cette opposition binaire est réductrice. Un système vulnérable peut être résilient, et vice versa (Cutter et al., 2008).

De plus, la résilience n'est pas nécessairement positive à toutes les échelles temporelles et spatiales. Par exemple, des mesures de relance économique à court terme après une rupture peuvent s'avérer insuffisantes ou aggraver la situation à long terme en cas de nouveau choc (Adger et al. 2005). De même, au niveau spatial, des actions individuelles de réduction de la vulnérabilité aux inondations peuvent créer des difficultés au niveau collectif si elles ne sont pas coordonnées à une échelle géographique plus large (Pelling et al. 2004).

La RRC vise à réduire la probabilité et l'impact des catastrophes, et à renforcer la capacité des communautés à se relever et à s'adapter aux chocs (World Bank, 2014). Cela implique :

- Renforcement des infrastructures pour les rendre plus résistantes aux événements naturels (UNISDR, 2017).
- Mise en place de systèmes d'alerte précoce et d'intervention d'urgence pour minimiser les dommages et les pertes humaines (GFDRR, 2015).
- Promotion de pratiques de développement durables qui réduisent la vulnérabilité des populations (IPCC, 2014).

Sensibilisation et éducation des communautés aux risques de catastrophe et aux mesures de RRC (UNISDR, 2013). Investir dans la RRC est un investissement dans l'avenir. En renforçant la résilience des communautés, nous pouvons réduire les impacts des catastrophes et construire un monde plus sûr et plus durable.

1.6.2-Cadre d'action de Sendai 2015-2030 pour la rédaction des risques de catastrophe

Le Cadre d'action de Sendai (CFS) pour la réduction des risques de catastrophe (RRC) 2015-2030 a été adopté lors de la troisième Conférence mondiale de l'ONU à Sendai, au Japon, le 18 mars 2015 (UNISDR, 2015a). Il s'inscrit dans la continuité du Cadre d'action de Hyogo (CAH) 2005-2015, tout en introduisant des innovations majeures (Birkmann, 2016).

Accent accru sur la prévention et la réduction des risques: Le CFS met l'accent sur la prévention et la réduction des risques de catastrophe, plutôt que sur la simple gestion des catastrophes après leur survenue (UNISDR, 2015c). Cette évolution est soulignée par Wisner et al. (2016) comme un changement majeur par rapport au CAH.

Le CFS vise à renforcer la résilience des communautés et des nations face aux catastrophes (UNISDR, 2015d). Maskrey (2017) souligne l'importance de la résilience pour le développement durable.

Le CFS définit sept objectifs mondiaux et un ensemble de principes directeurs pour la RRC (UNISDR, 2015e).Le champ d'application de la RRC a été élargi pour inclure les aléas naturels et d'origine humaine, ainsi que les risques environnementaux, technologiques et biologiques (UNISDR, 2015f). Importance de la Le CFS souligne l'importance de la résilience des structures médicales face aux catastrophes (UNISDR, 2015g).

Le CFS souligne la responsabilité des États en matière de prévention et de réduction des risques de catastrophe (UNISDR, 2015h). Wahlström (2016) insiste sur l'importance de la collaboration internationale pour la RRC. Le CFS encourage également l'adoption d'approches inclusives impliquant l'ensemble de la société et l'ensemble des institutions d'un gouvernement (UNISDR, 2015i). Glasser (2017) souligne l'importance de la participation des communautés à la RRC.

Le Cadre d'action de Sendai représente un pas en avant significatif dans la lutte contre les catastrophes et le renforcement de la résilience des communautés. Ses innovations et ses caractéristiques principales en font un outil précieux pour les États et les autres parties prenantes engagés dans la réduction des risques de catastrophe.

Les piliers du Cadre d'action de Sendai

Le Cadre d'action de Sendai repose sur plusieurs piliers clés :

- **Comprendre les risques :** Améliorer les connaissances sur les aléas, les vulnérabilités et l'exposition aux risques.
- **Renforcer la gouvernance :** Mettre en place des mécanismes de coordination et de suivi à tous les niveaux.
- **Investir dans la prévention :** Mobiliser des ressources financières pour réduire les risques et renforcer la résilience.
- **Être prêt à agir :** Améliorer la préparation aux catastrophes et renforcer les capacités de réponse.
- **Reconstruire mieux :** Intégrer la réduction des risques dans les processus de reconstruction.
- **Coopérer à l'échelle internationale :** Renforcer les partenariats et les échanges d'expériences.

La Conférence de Sendai a non seulement adopté le Cadre d'action pour l'après 2015, mais a également permis d'évaluer l'application du Cadre d'action de Hyogo, de partager les bonnes pratiques et de définir les modalités de suivi et d'évaluation du nouveau cadre. Les États se sont engagés à intégrer la réduction des risques de catastrophe dans leurs politiques et à renforcer leur coopération internationale.

1.6.3- Approfondissement des avancées et des défis du Cadre d'action de Hyogo

Depuis son adoption en 2005, le Cadre d'action de Hyogo a constitué un tournant majeur dans la gestion des risques de catastrophe à l'échelle mondiale. Les rapports périodiques nationaux et régionaux témoignent de progrès significatifs réalisés par les États et les acteurs non étatiques pour réduire leur vulnérabilité face aux aléas naturels et anthropiques. Ces avancées se manifestent notamment par :

- **Une réduction du taux de mortalité :** Les efforts de prévention et de préparation ont permis de sauver de nombreuses vies, en particulier dans les pays à faible revenu.
- **Un renforcement des capacités nationales :** Les pays ont développé des systèmes d'alerte précoce, des plans d'urgence et des capacités de réponse plus efficaces.

- **Une meilleure intégration de la réduction des risques de catastrophe dans les politiques publiques :** La gestion des risques est de plus en plus prise en compte dans les stratégies de développement durable.
- **Une coopération internationale renforcée :** Les plateformes mondiales et régionales ont favorisé le partage des bonnes pratiques et le renforcement des capacités.

Cependant, des défis importants subsistent :

- **Des inégalités persistantes :** Les pays à faible revenu sont toujours les plus vulnérables et les moins équipés pour faire face aux catastrophes.
- **Une sous-estimation des risques :** Les risques liés au changement climatique, à l'urbanisation rapide et à la dégradation de l'environnement sont souvent sous-estimés.
- **Un financement insuffisant :** Les investissements dans la réduction des risques de catastrophe restent insuffisants, notamment dans les pays en développement.
- **Une coordination complexe :** La coordination entre les différents acteurs impliqués dans la gestion des risques peut s'avérer difficile.

1.7.Géogouvernance et résilience urbaine : enjeux et défis

Cette partie permettra d'articuler les concepts de géogouvernance et de résilience urbaine, en soulignant les enjeux spécifiques liés à la gestion des risques en milieu urbain.

1.7.1.La géogouvernance : définition et enjeu :

La géogouvernance constitue une approche innovante de la gouvernance qui intègre de manière explicite la dimension spatiale des enjeux publics. Selon le collectif d'auteurs de l'ouvrage Espaces politiques (2007), elle se définit comme « l'ensemble des processus de décision et d'action qui prennent en compte la dimension spatiale des problèmes publics ». En d'autres termes, la géogouvernance reconnaît que les territoires ne sont pas des espaces passifs mais des acteurs à part entière des dynamiques sociales, économiques et politiques.

Cette approche implique une attention particulière à l'articulation des différentes échelles territoriales, du local au global, et à la diversité des acteurs impliqués dans la gouvernance. Comme le soulignent Collectif (2007), la géogouvernance offre de nouveaux outils pour une démocratie locale renouvelée, en favorisant une meilleure prise en compte des spécificités locales et en renforçant la participation citoyenne.

Dans le contexte urbain, les enjeux de la géogouvernance sont particulièrement importants. Les systèmes urbains sont des systèmes complexes caractérisés par une forte interdépendance entre leurs différents éléments (économiques, sociaux, environnementaux). Cette complexité nécessite une approche de gouvernance qui prenne en compte les spécificités locales et les inégalités territoriales. Comme l'a souligné Dupuy (2018), la géogouvernance apparaît comme un concept novateur pour répondre aux défis de la gouvernance urbaine.

En résumé, la géogouvernance vise à :

Spatialiser les politiques publiques: en prenant en compte les spécificités des territoires et les interactions entre les différents éléments qui les composent.

Favoriser la participation: en impliquant les acteurs locaux dans les processus de décision et en donnant aux citoyens les moyens de s'approprier les enjeux de leur territoire.

Renforcer la cohésion sociale: en réduisant les inégalités et en favorisant un développement territorial plus équitable.

1.7.2 Le rôle de la géogouvernance dans la prévention des risques

La géogouvernance, concept émergent à la croisée de la géographie et des sciences politiques, se définit comme l'étude et la pratique de la gouvernance territoriale, en tenant compte des dimensions spatiales, sociales, économiques et environnementales. Elle met l'accent sur la coopération entre les différents acteurs (publics, privés, associatifs) et sur l'adaptation des politiques publiques aux spécificités locales, comme le soulignent Masson-Vincent et Dubus (2013).

Dans le contexte de la gestion des risques majeurs en milieu urbain, la géogouvernance offre un cadre conceptuel pertinent pour:

Mieux comprendre les vulnérabilités territoriales: En intégrant les dimensions spatiales et sociales, la géogouvernance permet d'identifier les zones les plus exposées aux risques et les populations les plus vulnérables. Cette approche est particulièrement importante dans un contexte de changement climatique, comme le rappelle le Cadre d'action de Sendai.

Favoriser la coordination des acteurs: Elle encourage une approche multi-acteurs et multi-échelle, en impliquant les différents niveaux de gouvernance (locale, régionale, nationale) et en favorisant la coopération entre les services de l'État, les collectivités territoriales, les entreprises et les citoyens, conformément aux principes de gouvernance territoriale développés par Pelletier (2009).

Adapter les politiques publiques aux spécificités locales: La géogouvernance permet de prendre en compte les contextes locaux et de développer des stratégies de prévention adaptées à chaque territoire, en s'inspirant des recommandations du Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (2015-2030).

La géogouvernance offre un cadre conceptuel et méthodologique particulièrement pertinent pour prévenir les risques en milieu urbain. En intégrant explicitement la dimension spatiale des problèmes, elle permet de mieux comprendre les vulnérabilités des territoires et d'adapter les stratégies de prévention de manière plus efficace.

1.7.2.1 Amélioration de la connaissance des risques

Un des premiers atouts de la géogouvernance réside dans sa capacité à améliorer la connaissance des risques. Grâce à l'utilisation de Systèmes d'Information Géographique (SIG) et d'autres outils d'analyse spatiale, il est possible de cartographier de manière précise les aléas naturels (inondations, séismes, etc.), les expositions (populations, infrastructures, activités économiques) et les vulnérabilités des territoires. Cette connaissance fine permet d'identifier les zones les plus à risque et de hiérarchiser les enjeux. Comme le soulignent Masson-Vincent et al. (2014), la géogouvernance offre un cadre théorique et méthodologique pour mieux comprendre les interactions entre les sociétés humaines et leur environnement. Récemment, des études ont montré l'intérêt de coupler les SIG avec des modèles de simulation pour évaluer l'évolution des risques dans un contexte de changement climatique (Dupont et al., 2022).

1.7.2.2 Renforcement de la coordination entre les acteurs

La prévention des risques nécessite une coordination étroite entre les différents acteurs impliqués : élus, services techniques, associations, citoyens, etc. La géogouvernance favorise cette coordination en créant des espaces de dialogue et de co-construction. Elle encourage une approche multi-acteurs et multi-échelles, permettant de prendre en compte les spécificités locales et de développer des stratégies de prévention adaptées. Cette idée est particulièrement développée dans les travaux de Collectif (2007) qui montrent comment la géogouvernance peut favoriser une démocratie locale renouvelée. De nouvelles recherches mettent en évidence l'importance des réseaux sociaux en ligne dans la coordination des acteurs et la diffusion de l'information en cas de crise (Lévy et al., 2021).

1.7.2.3 Promotion de la prévention :

La géogouvernance contribue à promouvoir une culture de la prévention en impliquant les citoyens dans les processus de décision. En favorisant la participation, elle permet de renforcer le sentiment d'appropriation des enjeux et de susciter un engagement plus fort en faveur de la réduction des risques. Cette approche s'inscrit dans la lignée des travaux d'Elinor Ostrom (1990) sur la gouvernance des biens communs, qui montrent l'importance de la participation des acteurs locaux dans la gestion des ressources collectives.

1.7.2.4 Adaptation aux changements globaux :

Les changements globaux (changement climatique, urbanisation rapide, etc.) rendent les territoires de plus en plus vulnérables. La géogouvernance offre un cadre flexible pour s'adapter à ces évolutions et anticiper les nouveaux risques. En intégrant les dimensions environnementales et sociales dans les processus de décision, elle permet de développer des stratégies de prévention durables et résilientes.

En conclusion, la géogouvernance constitue un outil précieux pour renforcer la résilience des territoires face aux risques. Une promotion de la prévention et une adaptation aux changements globaux, elle contribue à construire des villes plus sûres et plus durables.

1.7.3 La géogouvernance et la participation citoyenne ;

La géogouvernance, en favorisant une approche décentralisée et multi-acteurs de la gouvernance, offre un terrain fertile pour le développement de la participation citoyenne. Celle-ci est devenue un élément clé des démocraties contemporaines, et elle revêt une importance particulière dans le contexte de la gestion des risques et de l'aménagement du territoire.

La participation citoyenne s'inscrit dans une longue tradition de pensée politique qui souligne l'importance de l'engagement des citoyens dans les affaires publiques. Les travaux de Rousseau, puis ceux d'Hannah Arendt, ont mis en évidence le lien entre participation et démocratie. Plus récemment, les théories de la gouvernance multi-niveaux ont souligné le rôle des acteurs non étatiques dans les processus décisionnels (Rhodes, 1997).

La participation citoyenne apporte de nombreux bénéfices à la géogouvernance :

- Légitimité démocratique: En impliquant les citoyens dans les processus de décision, la géogouvernance renforce la légitimité des projets et des politiques publiques.

- Amélioration de la qualité des décisions: Les citoyens apportent des connaissances locales et des perspectives différentes qui enrichissent les débats et permettent de prendre des décisions plus éclairées et plus adaptées aux besoins des territoires.
- Renforcement du lien social: La participation citoyenne favorise le développement du sentiment d'appartenance à une communauté et renforce le lien social.
- La participation citoyenne contribue à l'émergence de nouvelles formes de gouvernance plus collaboratives et plus résilientes (Swyngedouw, 2000).

De nombreux outils et méthodes peuvent être utilisés pour favoriser la participation citoyenne dans le cadre de la géogouvernance :

- Les budgets participatifs: Ils permettent aux citoyens de décider d'une partie du budget municipal en votant pour des projets.
- Les conseils citoyens: Ces instances consultatives réunissent des représentants de la société civile pour donner leur avis sur les projets d'aménagement du territoire.
- Les plateformes en ligne: Elles facilitent la communication et la collaboration entre les acteurs, en permettant notamment la collecte d'idées et la consultation en ligne.
- Les ateliers participatifs: Ces ateliers permettent d'échanger sur des questions spécifiques et de co-construire des solutions.

Malgré ses nombreux avantages, la participation citoyenne n'est pas sans poser des défis :

La représentativité: Comment garantir que toutes les voix soient entendues et que les décisions prises reflètent les intérêts de l'ensemble de la population ?

La compétence: Comment s'assurer que les citoyens disposent des compétences nécessaires pour participer aux débats techniques ?

Le temps: La participation citoyenne demande du temps et de l'énergie, ce qui peut être un frein pour certains citoyens.

La participation citoyenne est un champ de recherche en pleine expansion. De nouvelles approches émergentes, telles que la démocratie délibérative ou la gouvernance multi-acteurs. Les avancées technologiques offrent également de nouvelles possibilités pour faciliter la participation citoyenne à grande échelle.

1.8. La réglementation : Moteur de la maîtrise du risque

En Algérie, la loi n°04-20 et les décrets 85-231 et 85-232 constituent le socle juridique de la gestion des risques de catastrophe. Ces textes assignent à la protection civile des missions essentielles, notamment :

- **La surveillance et l'alerte :** Mise en place d'un système d'alerte précoce pour les catastrophes naturelles et technologiques.
- **La prévention :** Information des populations sur les risques, élaboration et mise en œuvre de plans de secours (ORSEC) à différents échelons.
- **L'intervention :** Organisation et coordination des secours en cas de catastrophe, protection des personnes et des biens, mise à l'abri des sinistrés.

I.8.1- Plans de gestion des scénarios de catastrophe :

Les plans de gestion des scénarios de catastrophe constituent un outil essentiel pour réduire les impacts des catastrophes et renforcer la résilience des communautés. L'implication d'équipes multidisciplinaires et la collaboration avec les autorités locales et les organisations concernées sont des éléments clés pour garantir l'efficacité de ces plans.

Un plan d'urgence est un document crucial qui définit les procédures d'intervention à déployer face à des situations imprévues et soudaines de risques majeurs (UNISDR, 2017). Son objectif principal est de limiter les conséquences possibles d'une situation d'urgence, en prévenant les accidents mortels et les blessures, en réduisant les dommages aux infrastructures et aux équipements, et en accélérant la reprise des activités normales (Birkmann, 2016).Pour garantir l'efficacité du plan d'urgence, il est crucial d'impliquer des représentants de tous les secteurs concernés par les risques (Wisner et al., 2016). Cela permet de bénéficier de la connaissance et de l'expertise de tous les acteurs et favorise une approche holistique de la gestion des catastrophes. La composition d'équipes multidisciplinaires est essentielle pour la planification interne et externe de l'entreprise génératrice de risque. Ces équipes peuvent inclure des experts en:

*Gestion des risques de catastrophe * Intervention d'urgence *Secours médicaux Logistique *Communication *Relations publiques

L'installation à l'origine du risque doit travailler en étroite collaboration avec les autorités locales et les différentes organisations concernées pour garantir une intervention efficace lors d'une situation d'urgence. Cette collaboration peut s'articuler autour de partager d'informations et de ressources, Coordination des efforts, Exercices d'entraînement conjoints

La concertation est essentielle à toutes les étapes de la gestion des scénarios de catastrophe. La communication ouverte et transparente entre tous les acteurs permet d'assurer une meilleure coordination et une réponse plus efficace aux situations d'urgence (Maskrey, 2017).

I.8.1.1- Le Plan ORSEC :

Le plan ORSEC, véritable colonne vertébrale de la gestion des risques en Algérie, se décline en plusieurs niveaux, chacun avec des spécificités et des responsabilités bien définies :

- **Plan ORSEC national** : Ce plan d'envergure définit les orientations stratégiques, les moyens nationaux à mobiliser et les mécanismes de coordination entre les différents acteurs. Il intervient lors de catastrophes de grande ampleur affectant plusieurs régions ou l'ensemble du territoire national.
- **Plan ORSEC inter-wilaya** : Il concerne les régions géographiques regroupant plusieurs wilayas et définit les modalités de coopération entre ces dernières en cas de catastrophe dépassant les capacités d'une seule wilaya.
- **Plan ORSEC de wilaya** : C'est le niveau d'organisation le plus courant. Il couvre l'ensemble du territoire d'une wilaya et détaille les procédures à suivre, les moyens à mobiliser et les responsabilités de chaque acteur.
- **Plan ORSEC communal** : Ce plan concerne les communes et définit les actions à mener au niveau local, en lien avec le plan de wilaya. Il est particulièrement important pour les communes situées dans des zones à risque.
- **Plan ORSEC des sites sensibles** : Ces plans sont spécifiques à certains sites industriels ou à risque (barrages, centrales nucléaires, etc.) et définissent les mesures de prévention et d'intervention adaptées à chaque site.

Le plan ORSEC se déploie en trois phases successives :

- **Phase d'alerte et de mobilisation** : Dès les premiers signes d'une catastrophe imminente, le système d'alerte est déclenché. Les acteurs concernés sont mobilisés et les premiers éléments de réponse sont engagés.
- **Phase d'urgence** : Cette phase est caractérisée par une intense activité de secours et de sauvetage. Les équipes d'intervention sont déployées sur le terrain pour porter assistance aux victimes, évacuer les populations et sécuriser les zones sinistrées.
- **Phase de réhabilitation et de reconstruction** : Une fois la phase aiguë de la crise passée, les efforts se concentrent sur la remise en état des infrastructures endommagées.

Chaque plan ORSEC est composé de plusieurs modules, chacun couvrant un aspect spécifique de la gestion de crise :

- **Secours et sauvetage** : Recherche et sauvetage des victimes, premiers secours, évacuation sanitaire.
- **Sécurité et ordre public :** Maintien de l'ordre, protection des biens, identification des victimes.
- **Soins médicaux :** Prise en charge médicale des blessés, évacuation sanitaire, gestion des centres d'hébergement.
- **Logistique** : Approvisionnement en eau, nourriture, matériel, gestion des déchets.
- **Communications** : Mise en place de systèmes de communication pour coordonner les opérations de secours.

Autres modules : En fonction de la nature de la catastrophe, d'autres modules peuvent être ajoutés, tels que l'expertise technique, l'information du public, etc.

La mise en œuvre du plan ORSEC implique la coordination de nombreux acteurs :

Les services de l'État : Protection civile, forces de sécurité, services d'urgence, etc.

Les collectivités territoriales : Wilayas, communes.

Les établissements publics : Hôpitaux, établissements scolaires, etc.

Les associations : Croix-Rouge, associations humanitaires.

Le secteur privé : Entreprises, opérateurs de télécommunications, etc.

I.8.1.2.-Le Plan particulier d'intervention (PPI)

Face à un sinistre dépassant les frontières d'un établissement, le wali, en tant que représentant de l'État, endosse le rôle de chef d'orchestre des opérations de secours. Il active alors le Plan Particulier d'Intervention (PPI), une déclinaison spécifique du plan ORSEC, qui mobilise l'ensemble des forces vives du territoire : services de secours, administrations, entreprises et acteurs locaux.

Le PPI, véritable boussole en temps de crise, est élaboré en fonction des risques spécifiques à chaque site et prévoit des mesures graduées pour protéger les populations et maîtriser les conséquences du sinistre. Cette approche dynamique et adaptative garantit une réponse efficace et coordonnée, quelle que soit l'ampleur de l'événement.

La réussite d'un plan particulier d'intervention repose sur une collaboration étroite entre tous les acteurs impliqués : autorités administratives, services de secours, exploitants, collectivités locales, etc. Cette coopération permet de mettre en commun les moyens et les compétences nécessaires pour faire face à une situation de crise.

I.8.1.3- Le Plan Interne d'Intervention (PII) :

Le Plan Interne d'Intervention (PII) est un document de référence indispensable pour toute entreprise susceptible de générer des risques majeurs. Il définit les mesures de prévention, d'organisation et d'intervention à mettre en œuvre en cas d'accident, afin de protéger les travailleurs, les riverains et l'environnement.

Le PII doit notamment :

- **Identifier les risques:** Analyser les dangers potentiels liés aux activités de l'établissement et évaluer leur impact.
- **Organiser les secours:** Définir les moyens humains et matériels à mobiliser, les rôles et responsabilités de chacun, ainsi que les procédures d'alerte et d'intervention.
- **Former le personnel:** Sensibiliser les travailleurs aux risques et leur apprendre les gestes de premiers secours et les conduites à tenir en cas d'incident.
- **S'articuler avec les plans externes:** Assurer la coordination avec les services de secours extérieurs (pompiers, SAMU, etc.).

I.8.1.4- La loi 24-04 : Un nouveau cadre pour la gestion des risques en Algérie

La loi n° 24-04 du 16 Chaâbane 1445 correspondant au 26 février 2024 marque une avancée majeure dans la gestion des risques de catastrophes en Algérie. Ce texte de loi, qui vient remplacer une législation datant de 2004, vise à renforcer la prévention, l'intervention et la réduction des risques de catastrophes dans un contexte de développement durable.

L'Algérie, comme de nombreux pays, est confrontée à une multiplication des risques naturels et technologiques. Les sécheresses récurrentes, les inondations, les tremblements de terre et les risques industriels constituent de véritables menaces pour les populations et les infrastructures. La loi 24-04 répond à ces enjeux en :

Modernisant le cadre juridique: Elle met à jour les dispositions législatives pour les adapter aux évolutions des risques et aux meilleures pratiques internationales.

Renforçant la prévention: La loi insiste sur la prévention comme premier niveau de réponse aux risques, en encourageant la planification, la sensibilisation et la préparation des populations.

Améliorant la coordination: Elle définit un cadre de coordination entre les différents acteurs impliqués dans la gestion des risques, notamment les autorités publiques, les collectivités territoriales, les entreprises et la société civile.

Intégrant le développement durable: La loi souligne l'importance de réduire les risques de catastrophes dans une perspective de développement durable, en prenant en compte les enjeux environnementaux, sociaux et économiques. Les principaux axes de la loi sont ;

- Renforcement des capacités: La loi prévoit le renforcement des capacités des acteurs en matière de prévention, de préparation et de réponse aux catastrophes.
- Amélioration des systèmes d'alerte précoce: Le développement de systèmes d'alerte efficaces est essentiel pour permettre aux populations de se protéger en cas de menace.
- Mise en place de plans de prévention: Chaque commune et chaque établissement industriel sera tenu d'élaborer un plan de prévention des risques.
- Création d'un observatoire national des risques: Cet observatoire aura pour mission de collecter, d'analyser et de diffuser les données sur les risques, afin de mieux les comprendre et d'anticiper les évolutions.
- La mise en œuvre de cette nouvelle loi représente un défi important. Elle nécessite :

- Une mobilisation de tous les acteurs: Les autorités publiques, les collectivités territoriales, les entreprises et la société civile doivent travailler de manière coordonnée pour mettre en œuvre les dispositions de la loi.
- Des moyens financiers suffisants: La prévention et la gestion des risques nécessitent des investissements importants.
- Une sensibilisation accrue de la population: Il est essentiel de sensibiliser les citoyens aux risques et aux comportements à adopter en cas de catastrophe.

La loi 24-04 constitue un pas en avant important pour renforcer la résilience de l'Algérie face aux risques de catastrophes. Sa mise en œuvre effective permettra de mieux protéger les populations et les biens, et de contribuer au développement durable du pays.

I.8.1.5. La loi 24-04 et le Plan ORSEC : Une complémentarité renforcée

La loi 24-04, tout en s'appuyant sur les dispositifs existants tels que le Plan ORSEC, apporte des nouveautés significatives pour la gestion des risques en Algérie.

Le Plan ORSEC, qu'est-ce que c'est ?

Pour bien comprendre l'apport de la loi 24-04, il est essentiel de rappeler ce qu'est le Plan ORSEC. Il s'agit d'un dispositif d'organisation de secours qui s'active en cas de catastrophe. Il définit les rôles de chaque acteur, les moyens à mobiliser et les procédures à suivre.

La loi 24-04 vient renforcer et compléter le Plan ORSEC de plusieurs manières :

- Une approche plus globale et préventive: Au-delà de l'urgence: Alors que le Plan ORSEC est principalement focalisé sur la réponse immédiate à une crise, la loi 24-04 insiste sur la prévention, l'anticipation et la réduction des risques. Elle vise à mettre en place des mesures structurelles pour renforcer la résilience des territoires.
- Intégration du développement durable: La loi intègre une dimension environnementale et sociale dans la gestion des risques, ce qui n'était pas aussi explicite dans les anciennes réglementations.

- Un renforcement de la coordination: Gouvernance multi-niveaux: La loi précise les responsabilités de chaque niveau de gouvernance (État, collectivités locales) et favorise une coordination plus étroite entre les différents acteurs.
- Participation de la société civile: La loi encourage une plus grande participation de la société civile dans la définition et la mise en œuvre des politiques de prévention.
- Une modernisation des outils et des méthodes: Utilisation des nouvelles technologies: La loi incite à l'utilisation des nouvelles technologies (SIG, drones, etc.) pour améliorer la gestion des risques et la coordination des secours.
- Renforcement des systèmes d'alerte: Les systèmes d'alerte précoce doivent être améliorés pour permettre une réaction plus rapide en cas de crise.
- Une meilleure prise en compte des spécificités locales: Plans de prévention communaux: La loi impose à chaque commune d'élaborer un plan de prévention des risques adapté à son contexte local.

En résumé, la loi 24-04 vient enrichir le dispositif ORSEC en:

Élargissant le champ d'action: Au-delà de la réponse à la crise, elle intègre une dimension préventive et de développement durable.

Renforçant la coordination: Elle clarifie les rôles et responsabilités de chaque acteur et favorise une approche plus intégrée.

Modernisant les outils et les méthodes: Elle encourage l'utilisation des nouvelles technologies et des approches innovantes.

En conclusion, la loi 24-04 et le Plan ORSEC sont complémentaires. La loi fournit un cadre juridique solide pour la gestion des risques, tandis que le Plan ORSEC définit les modalités pratiques de mise en œuvre. Ensemble, ils contribuent à renforcer la résilience de l'Algérie face aux catastrophes naturelles et technologiques.

Conclusion :

Le présent chapitre explore la notion de risque majeur et le processus dynamique et évolutif de la gestion des catastrophes, soulignant son impact sur les décisions des acteurs impliqués.

La gestion des divers scénarios catastrophiques liés aux risques majeurs en milieu urbain s'avère un processus complexe, marqué par la diversité des phénomènes, les spécificités territoriales et populationnelles, et la multiplicité des acteurs. Face à cette complexité croissante, de nouveaux défis émergent, nécessitant une adaptation constante des stratégies de gestion.

La géogouvernance offre un cadre conceptuel pertinent pour appréhender cette complexité. En intégrant la dimension spatiale dans les processus de décision, elle permet de mieux comprendre les vulnérabilités territoriales et de mettre en place des stratégies d'adaptation plus efficaces. La gestion des risques doit ainsi se penser à l'échelle du territoire, en tenant compte des interactions entre les différents acteurs et des spécificités locales.

Le développement d'outils d'analyse adaptés, tels que les systèmes d'information géographique (SIG), est essentiel pour une meilleure compréhension des risques et une prise de décision éclairée. De plus, le renforcement de la coordination inter-acteurs, notamment à travers la mise en place de plateformes de collaboration et de protocoles d'intervention, est indispensable pour une gestion optimale des catastrophes.

La gestion des catastrophes en milieu urbain représente un défi majeur, exigeant une approche multidimensionnelle et collaborative. L'élaboration de politiques de gestion des risques doit s'inscrire dans une perspective de développement durable, en prenant en compte les enjeux environnementaux, sociaux et économiques. La géogouvernance, en favorisant une gouvernance multi-niveaux et multi-acteurs, constitue un levier essentiel pour renforcer la résilience des territoires face aux risques majeurs.

Cette nouvelle version met en évidence l'importance de la géogouvernance dans la gestion des risques en milieu urbain en soulignant les points suivants :

Dimension spatiale: La gestion des risques doit prendre en compte les spécificités de chaque territoire.

Coordination des acteurs: La géogouvernance favorise une collaboration entre les différents acteurs impliqués.

Outils d'analyse: Les SIG sont des outils clés pour une meilleure compréhension des risques.

Développement durable: La gestion des risques doit s'inscrire dans une perspective de développement durable.

Chapitre II

Contexte physique et socio-économique de la Ville de Sétif

Introduction:

Le présent chapitre vise à décrire les enjeux humains, matériels, économiques et environnementaux ainsi quelques caractéristiques physiques et météorologiques de l'impluvium de Sétif et à analyser leur influence sur la dynamique et la genèse des risques majeurs.

Analyse approfondie des enjeux et défis auxquels Sétif est confrontée. La compréhension de ces éléments est essentielle pour la mise en place de politiques et d'actions concrètes visant à renforcer la résilience urbaine face aux risques majeurs. Ce chapitre se focalise sur la ville de Sétif en tant que centre urbain aux interactions complexes, confrontée à une multitude d'enjeux humains, matériels, économiques et environnementaux.

À partir de données collectées auprès d'organismes tels que la direction de la planification de la wilaya, les services des statistiques de l'APC, la monographie de la wilaya et le RGPH 2008.

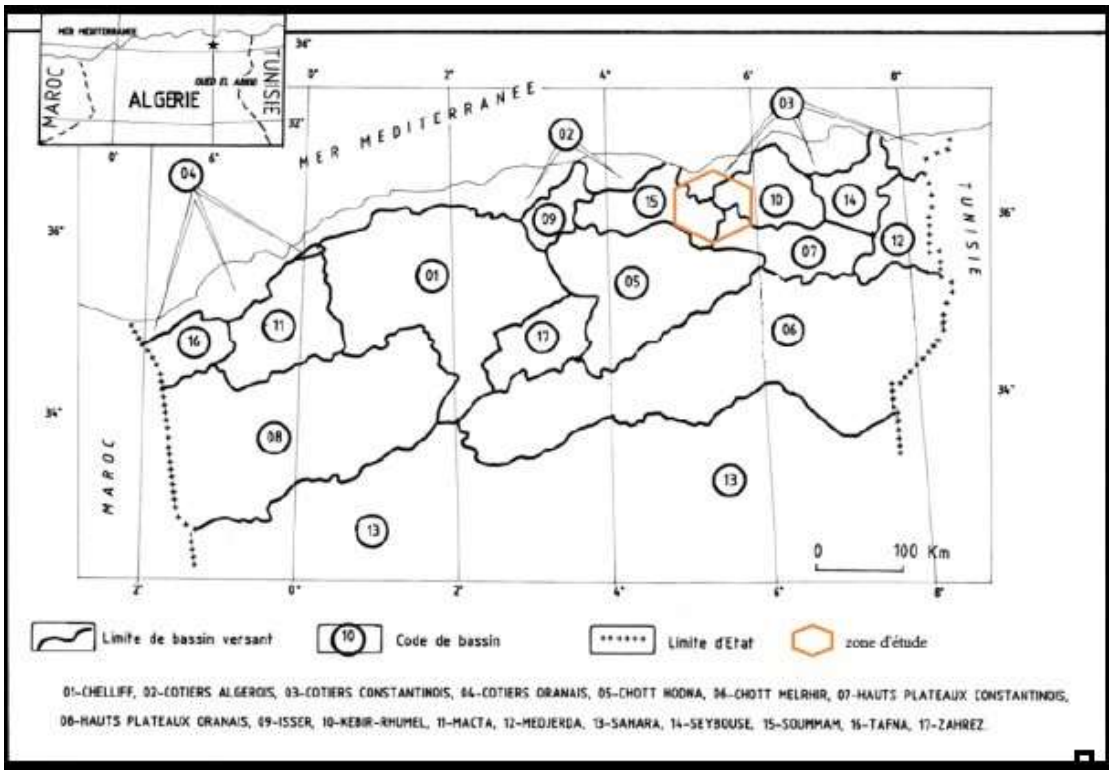
Avant d'approfondir l'analyse des enjeux, une présentation générale de Sétif est indispensable pour saisir les particularités et les interactions qui les définissent.

L'historique des inondations sera également présenté, en soulignant l'importance du retour d'expérience pour la gestion et la préparation futures face aux catastrophes naturelles.

La compréhension approfondie des caractéristiques physiques et météorologiques de l'impluvium de la ville, ainsi que l'analyse de l'historique des inondations et du retour d'expérience, constituent des éléments clés pour la gestion efficace des risques d'inondation et la protection des populations exposées.

II -1-Les Bassins Hydrographiques de la wilaya de SETIF

La wilaya de Sétif, située au nord-est de l'Algérie, se distingue par une morphologie diversifiée qui influence le drainage des eaux superficielles et la répartition des bassins hydrographiques. Cette étude présente une analyse détaillée des cinq bassins versants principaux de la région.



Carte 01 : Les grands bassins versants de l'Algérie- annuaire hydrogéologique (1985-1986)

II-1-1- Bassin versant des côtiers constantinois (N°03) :

Avec une superficie de 2 400 km² (Aït-Kaci, 2018), Ce bassin se caractérise par un relief montagneux et un réseau hydrographique dense. Il comprend les principaux cours d'eau de la région, tels que l'oued Seybouse et l'oued Boumerzoug (Benabdeli, 2012). Le bassin versant des côtiers constantinois constitue une source importante d'eau potable et d'irrigation pour la région (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 2020).

II-1-2- Bassin versant d'oued Bousellam (Soummam)(N°15) :

Avec une superficie de 2 000 km² (Aït-Kaci, 2018), Ce bassin se caractérise par un relief montagneux et un réseau hydrographique dense. L'oued Bousellam est un affluent de la Soummam, un des plus importants fleuves d'Algérie (Benabdeli, 2012). Le bassin versant d'oued Bousellam (Soummam) constitue une source importante d'eau potable et d'irrigation pour la région (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 2020).

II-1-3- Bassin versant des hauts plateaux constantinois (N°07) :

Avec une superficie de 4 500 km² (Aït-Kaci, 2018), Ce bassin se caractérise par un relief steppique et aride. Les cours d'eau y sont rares et temporaires (Benabdeli, 2012).

Les ressources en eau du bassin versant des hauts plateaux constantinois sont limitées et tributaires des précipitations pluviales (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 2020).

II-1-4- Bassin versant du KebirRhumel (N°10):

Avec une superficie de12 000 km² (Aït-Kaci, 2018), Ce bassin est le plus vaste de la wilaya de Sétif et se distingue par un relief varié, allant des plaines alluviales aux massifs montagneux. Le KebirRhumel, principal cours d'eau du bassin, est un affluent de l'oued Seybouse (Benabdeli, 2012). Le bassin versant du KebirRhumel est confronté à des problèmes d'érosion et de pollution (Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables, 2019).

II-1-5- Bassin versant de chott Hodna:

Avec une superficie de 5 000 km² (Aït-Kaci, 2018), Ce bassin se caractérise par un relief endoréique et un climat aride. L'eau s'accumule dans le chott Hodna, un lac salé asséché une grande partie de l'année (Benabdeli, 2012). Les ressources en eau du bassin versant de chott Hodna sont limitées et salines (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 2020).

Les bassins hydrographiques de la wilaya de Sétif présentent une diversité morphologique et hydrologique importante. La connaissance approfondie de leurs caractéristiques et de leurs enjeux est essentielle pour une gestion durable des ressources en eau et la prévention des risques naturels.

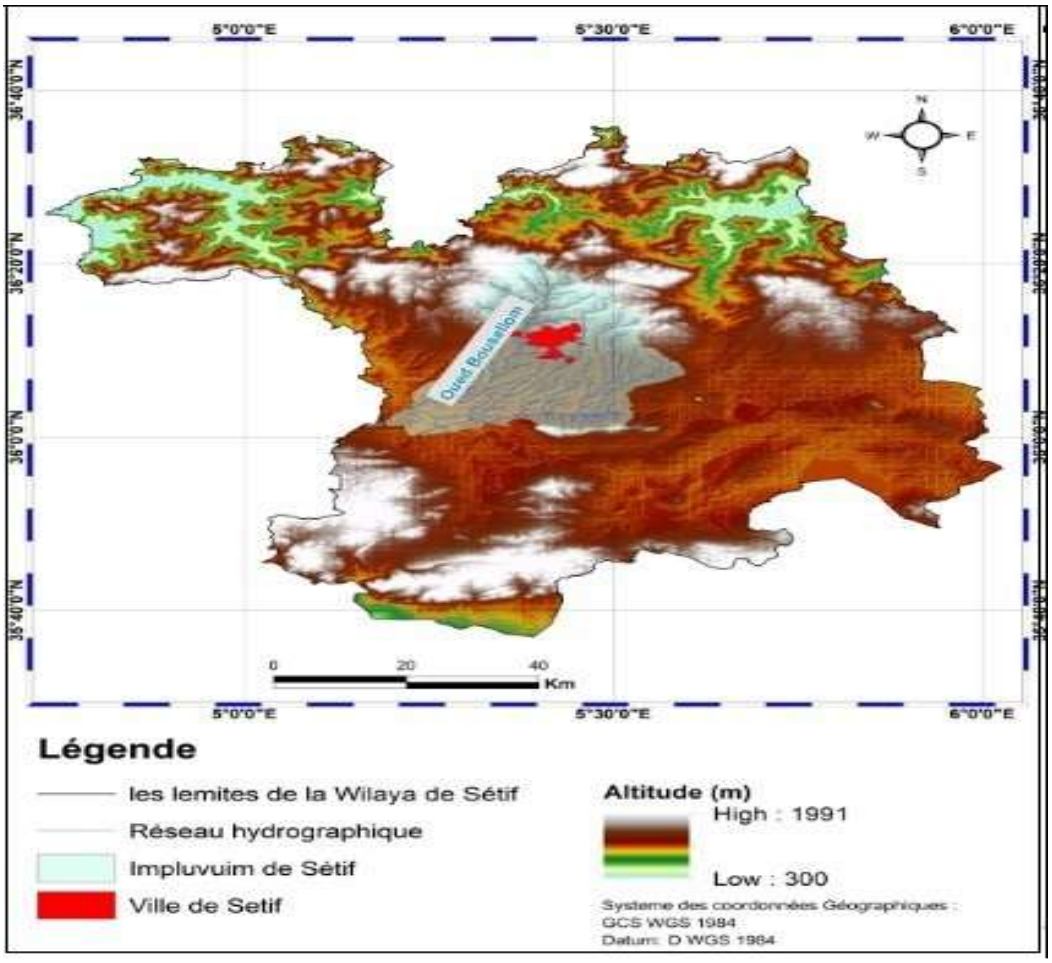
II-2- Le Choix du bassin versant :

Partant du bassin versant principal n°15 des hauts plateaux constantinois, nous avons procédé à une identification précise du bassin versant de la ville de Sétif. En utilisant le logiciel ArcGIS et un modèle numérique de terrain (MNT), nous avons pu suivre le cours des écoulements du réseau hydrographique et délimiter ainsi le sous-bassin versant correspondant. Cette méthode nous a permis d'obtenir une cartographie détaillée du réseau hydrographique local, incluant les petits cours d'eau, et de recueillir des données précieuses sur les caractéristiques du bassin.

II-2-1- Présentation du sous Bassin versant:

Pour étudier les phénomènes hydrologiques impactant la ville de Sétif, il est essentiel de connaître son contexte géographique. Nous avons donc entrepris de délimiter le bassin versant auquel elle appartient. En partant du bassin versant principal n°15, identifié sur la carte de l'ANRH, nous avons suivi le réseau hydrographique afin de déterminer le sous-bassin versant englobant la ville. Cette approche nous permet d'analyser les écoulements, les risques d'inondation et d'évaluer les ressources en eau de manière plus précise.

L'impluvium de Setif (Figure 07), situé dans l'Est algérien, au Sud-est de la capitale, couvre une superficie = 739,6 km²et un Périmètre de 217,36km² . il se trouve localisée entre 35°25' et 35° 47' de latitude Nord et entre 6°5' et 6°29' de longitude Est.



Carte 02: Situation géographique de l'impluvium.

Source : Auteurs 2023

II-2-2- caractéristiques hydrographique :

Le développement du réseau hydrographique résulte d'une synergie complexe entre plusieurs facteurs environnementaux : la nature lithologique des formations superficielles (Chorowicz, 2005), la couverture végétale (Callot et al., 2009), le climat (Linsley et al., 1982) et le relief (Strahler, 1964). La présente section s'attache à analyser en profondeur les caractéristiques hydrographiques du bassin versant étudié, en s'appuyant sur une terminologie précise et des concepts professionnels.

La classification d'un réseau hydrographique repose sur une hiérarchisation des éléments qui le constituent, attribuant à chacun une valeur indicative de son importance. Cette hiérarchisation s'articule autour de trois éléments clés :

- Ordre du cours d'eau: La méthode de classification la plus répandue est celle de Strahler (1957). Tout cours d'eau dépourvu d'affluent est d'ordre 1. Au confluent de deux cours d'eau d'ordre identique n, le cours d'eau résultant est d'ordre n+1. Si un cours d'eau reçoit un affluent d'ordre inférieur, il conserve son ordre initial. Ces principes se résument par les formules : $n + n = n + 1$ et $n + m = \max(n, m)$.
- Densité du réseau hydrographique: La densité du réseau est définie comme le rapport entre la longueur totale des cours d'eau et la superficie du bassin versant. Elle est exprimée en km/km² et permet d'évaluer la capacité de drainage du bassin (Gregory, 1977).
- Sinuosité du réseau hydrographique: La sinuosité est le rapport entre la longueur du cours d'eau et la distance en ligne droite entre sa source et son exutoire. Un cours d'eau sinueux aura une valeur de sinuosité supérieure à 1 (Parker, 1977).

L'utilisation du logiciel ArcGIS, un Système d'Information Géographique (SIG) , a permis de déterminer l'ordre du bassin versant étudié, qui est de 5. Un ordre élevé indique un réseau hydrographique complexe et capable d'assurer un drainage efficace des eaux pluviales (Sangal et Singh, 2011).

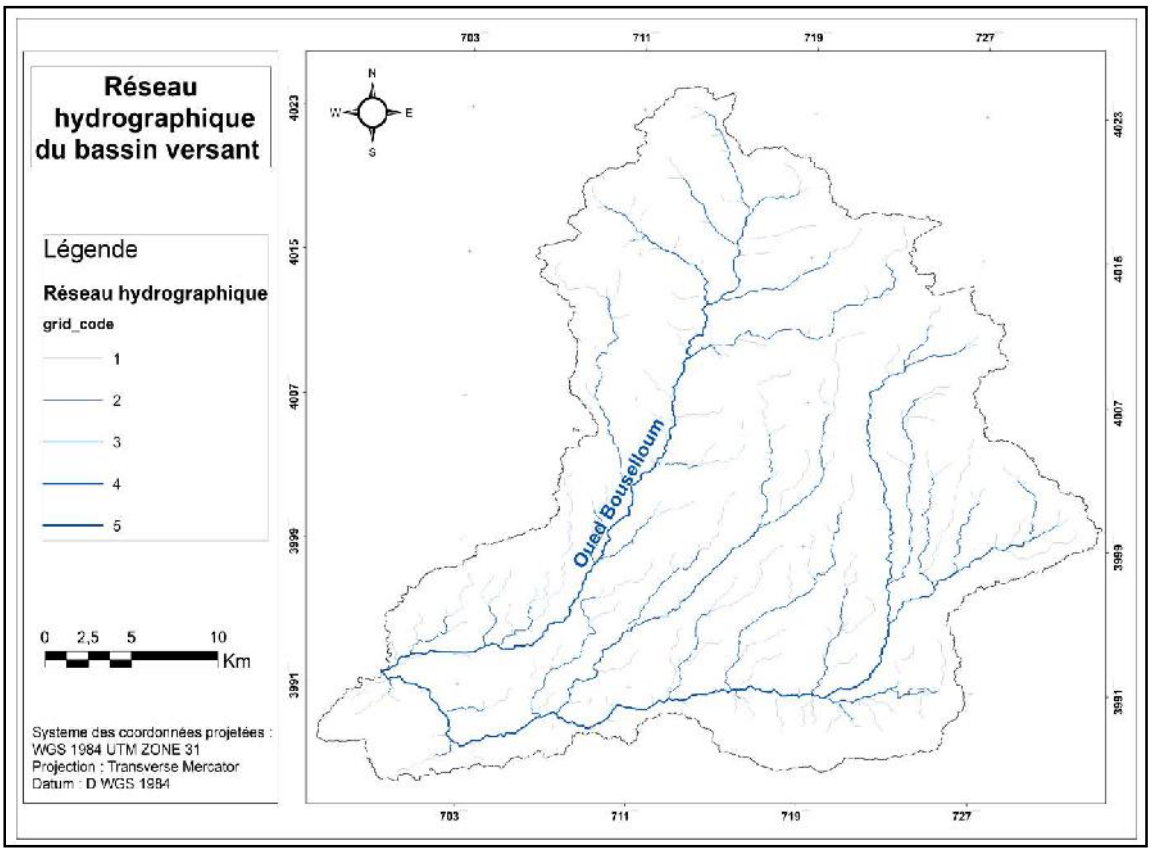
L'analyse des caractéristiques hydrographiques du bassin versant offre des insights précieux pour la compréhension du fonctionnement hydrologique de la zone. La combinaison de l'ordre, de la densité et de la sinuosité du réseau permet d'évaluer la capacité du bassin à :

Drainer les eaux pluviales et atténuer les risques d'inondation (Ward et Trimble, 2004).

Soutenir l'écoulement des rivières et influencer la morphologie du lit fluvial (Schumm, 1977).

Transporter les sédiments et les nutriments (Milliman et Meade, 1983).

L'étude approfondie des caractéristiques hydrographiques du bassin versant, appuyée par une terminologie professionnelle et des outils d'analyse tels qu'ArcGIS, s'avère essentielle pour une gestion durable des ressources en eau et la prévention des risques naturels. La compréhension de ces caractéristiques permet d'élaborer des stratégies de gestion adaptées aux spécificités du bassin versant et de garantir la protection des écosystèmes aquatiques.



Carte 03 : Le réseau hydrographique du sous-bassin versant

Source : Auteurs 2023

II-2-3-Les caractéristiques physiographiques et géomorphologiques:

Les caractéristiques physiographiques et géomorphologiques d'un bassin versant constituent des éléments déterminants pour la compréhension de son fonctionnement hydrologique. En effet, ces caractéristiques influencent de manière significative les modalités de l'écoulement superficiel et la réponse hydrologique du bassin, en particulier lors des crues et des étiages (Riad Souad, 2003).

L'influence des caractéristiques physiques :

- Surface: conditionne le volume d'eau collecté et influencent le temps de concentration des précipitations (Chow et al. 1988).
- Périmètre: La forme du bassin versant, définie par son périmètre, affecte la vitesse d'écoulement des eaux et la capacité de drainage (Horton, 1945).
- Longueur: détermine le temps de parcours des eaux et la pente moyenne du bassin (Leopold et al., 1964).

L'indice physiographiques:

- Indice de compacité (Kc): Cet indice permet d'évaluer la forme du bassin versant et son aptitude à générer des crues rapides (Schumm, 1956).
- Indice d'allongement (Ra): Cet indice renseigne sur le degré de développement du réseau hydrographique et sa capacité à drainer les eaux (Strahler, 1957).
- Coefficient de sinuosité (Ks): Cet indice caractérise la sinuosité du cours d'eau principal et influence la vitesse d'écoulement des eaux (Miller, 1958).

L'impact sur le comportement hydrologique:

- Régime des écoulements: Les caractéristiques physiographiques influencent le volume et la répartition temporelle des écoulements, ainsi que la saisonnalité des crues et des étiages (Ward et Trimble, 2004).
- Risques d'inondation: La combinaison de plusieurs facteurs physiographiques peut accroître la vulnérabilité du bassin versant aux inondations (Sangal et Singh, 2011).
- Qualité de l'eau: Les caractéristiques du bassin versant peuvent influencer la concentration en sédiments et en polluants dans les cours d'eau (Borah et Bera, 2003).

L'analyse approfondie des caractéristiques physiographiques et géomorphologiques d'un bassin versant s'avère essentielle pour une compréhension fine de son fonctionnement hydrologique..

Tableau 01: Les caractéristiques physique et géomorphologiques du bassin versant

Sous B.V	Surface (km^2)	Périmètre (km^2)	Indice de compacité (Kc)	L (km)	Forme
	739	217	1,15	53.22	Losange légèrement étiré

Source ; Auteurs 2023

II-2-4-L'analyse hypsométrique(Altitudes) :

L'appréhension des reliefs et de la géométrie d'un bassin versant est fondamentale pour décrypter l'influence de ces caractéristiques sur le régime des écoulements. En effet, une multitude de paramètres hydrométriques varient en fonction de l'altitude et de la morphologie du sous-bassin. Le relief joue un rôle crucial dans l'évaluation des aléas indésirables, notamment les inondations (Oumam, 2014).

a)Détermination des ensembles de reliefs:

L'exploitation d'un modèle numérique de terrain (MNT) permet d'identifier les principaux ensembles de reliefs présents dans le bassin versant. La ville de Sétif, située à la jonction des Atlas Tellien et Saharien, présente une variation d'altitude significative, allant de 800 à plus de 1900 mètres. Cette diversité altitudinale engendre une riche répartition des milieux physiques (Benabdeli, 2012).

b) Analyse hypsométrique et implications hydrologiques:

L'analyse de la carte hypsométrique (figure 10) et du tableau détaillé des différentes tranches d'altitude et de surfaces permet de tirer des conclusions importantes sur les aspects hydrologiques du bassin versant:

- Distribution des précipitations: L'altitude influence la quantité et la forme des précipitations, avec des précipitations plus importantes généralement en altitude (Mekhlouf et al. 2018).

- Écoulement des eaux: La pente du relief conditionne la vitesse et le mode d'écoulement des eaux de surface (Chorowicz, 2005).
- Capacité de rétention: La morphologie du bassin versant influe sur sa capacité à stocker et à infiltrer les eaux pluviales (Callot et al., 2009).
- Risques d'inondation: Les zones basses et encaissées du bassin versant sont plus exposées aux risques d'inondations en cas de précipitations intenses (Merz et al. 2010). L'analyse approfondie du relief et de la géométrie du bassin versant, appuyée par des outils tels que les MNT et les cartes hypsométriques, offre une compréhension fine des écoulements et des risques hydrologiques. Cette connaissance est essentielle pour la mise en place de stratégies de gestion durable des ressources en eau et de prévention des catastrophes naturelles.

Tableau 02 .Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le sous bassin

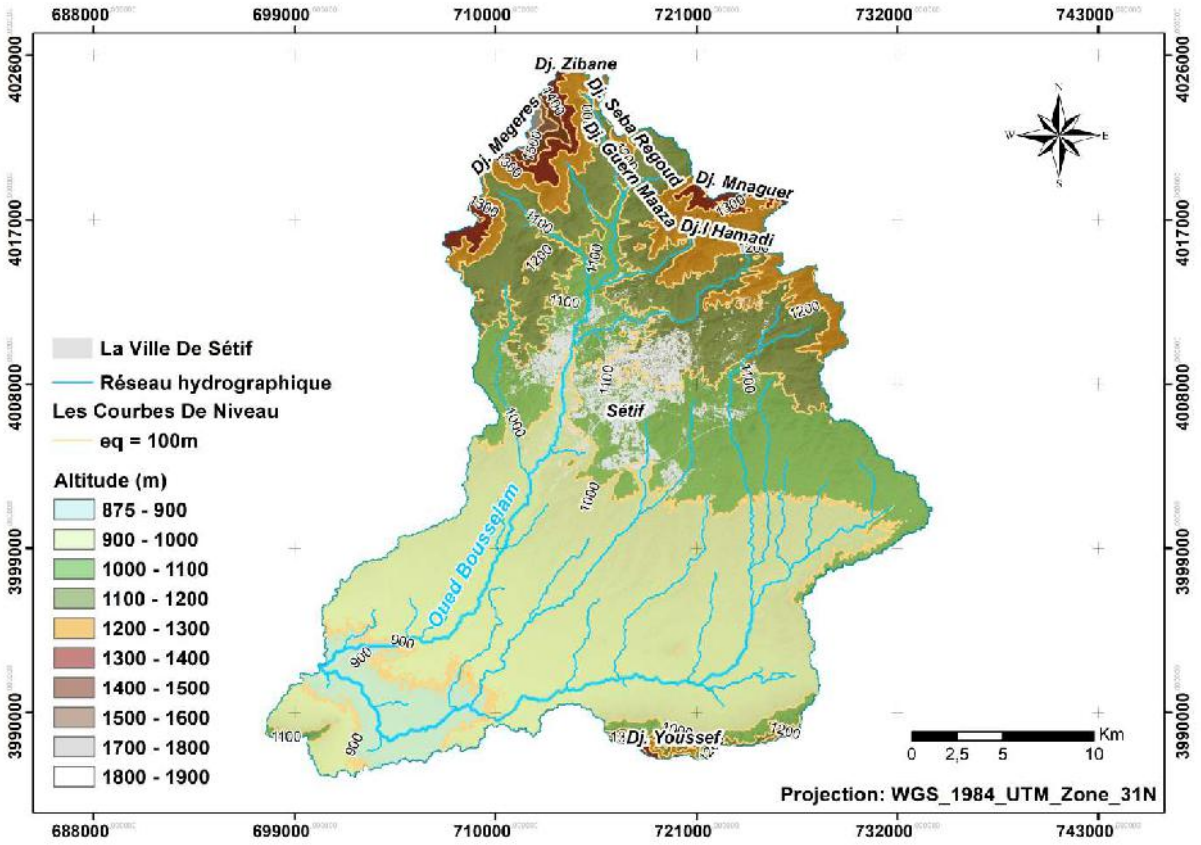
Les tranches d'altitudes (m)	Surface partielle Si (km²)	Surface partielle Pi (%)	Surface partielle cumulée Si (Km²)	Surface partielle cumulée Si (%)	Altitude moyen Hi (m)	S * Hi
875-900	41,929	5,673	372.02	50.33	887,5	37204
900-1000	330,106	44,669	4963.47	67.17	950	313595
1000-1100	166,379	22,514	293.21	39.67	1050	174688.5
1100-1200	126,844	17,164	180.7	24.44	1150	145866
1200-1300	53,8635	7,288	68.11	9.21	1250	67325
1300-1400	14,282	1,932	17.93	2.42	1350	19278
	3,657	0,494	5.34	0.71	1450	5292.5

1400-1500						
1500-1600	1,694	0,229	2.49	0.32	1550	2619.5
1600-1700	0,805	0,109	3.71	0.11	1650	1320
1700-1800	2,916	0,003	217.36	100	1750	5092.5
Total	217.36	100				772281

Source ; Ateurs 2023

Les cartes topographiques nous ont permis de déterminer que l'altitude maximale du bassin versant atteint 1719 mètres. Ce point culminant représente le relief le plus élevé du bassin. Inversement, l'altitude minimale, située au niveau de l'exutoire, a été évaluée à 875 mètres.

L'altitude moyenne : H = ∑Si× Hi/A =3553.004 m



Carte 04 : La carte hypsométrique du bassin versant

Source : Auteurs 2023

II-2-5- les caractéristiques géométriques :

➢ Les pentes :

Les caractéristiques géométriques d'un bassin versant, et en particulier les pentes, jouent un rôle crucial dans le comportement hydrologique du système. En effet, la pente influence de manière significative l'écoulement des eaux de surface et la vitesse d'infiltration, deux facteurs déterminants dans la genèse des inondations (Oumam, 2014).

L'influence des pentes sur les écoulements:

- Vitesse d'écoulement: La pente conditionne la vitesse d'écoulement des eaux de surface. Plus la pente est forte, plus l'écoulement est rapide et l'infiltration est réduite (Chorowicz, 2005).
- Capacité de drainage: La pente affecte la capacité du bassin versant à drainer les eaux pluviales. Une pente faible peut entrainer une stagnation des eaux et un risque accru d'inondation (Callot et al. 2009).

- Érosion des sols: La pente influence l'érosion des sols, qui peut à son tour modifier la morphologie du bassin versant et affecter sa capacité de rétention d'eau (Merz et al., 2010).

Analyse des pentes à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT):

L'exploitation d'un MNT permet de déterminer les classes de pentes au sein du bassin versant étudié. Cette analyse permet de:

- Identifier les zones à risque d'inondation: Les zones à forte pente et à faible infiltration sont les plus exposées aux risques d'inondations en cas de précipitations intenses (Merz et al., 2010).
- Comprendre les processus d'érosion: L'analyse des pentes peut aider à identifier les zones sensibles à l'érosion des sols et à mettre en place des mesures de protection (Benabdeli, 2012).
- Évaluer la capacité de drainage du bassin versant: La répartition des classes de pentes renseigne sur la capacité du bassin à drainer les eaux pluviales et à prévenir les risques d'inondation.

L'analyse approfondie des pentes d'un bassin versant, appuyée par des outils tels que les MNT, offre une connaissance précieuse pour la compréhension des écoulements et des risques hydrologiques. Cette information est essentielle pour la mise en place de stratégies de gestion durable des ressources en eau et de prévention des catastrophes naturelles.

Une analyse détaillée des pentes du sous-bassin a été effectuée afin d'évaluer son impact sur les écoulements et les processus hydrologiques. Cinq classes de pentes ont été définies et cartographiées à l'aide de l'outil "Reclassify" d'ArcGIS :

Classe 1 (0-5%) : Couvrant 54% de la surface, elle est prédominante dans les parties Est, Ouest et Sud-Est, caractérisée par une faible vitesse de ruissellement favorisant la stagnation des eaux.

Classe 2 (5-13%) : Occupant 29% de la surface, elle est principalement localisée dans les régions Est et Sud.

Classe 3 (13-20%) : Représentant 8% de la surface, elle se situe essentiellement en périphérie du bassin.

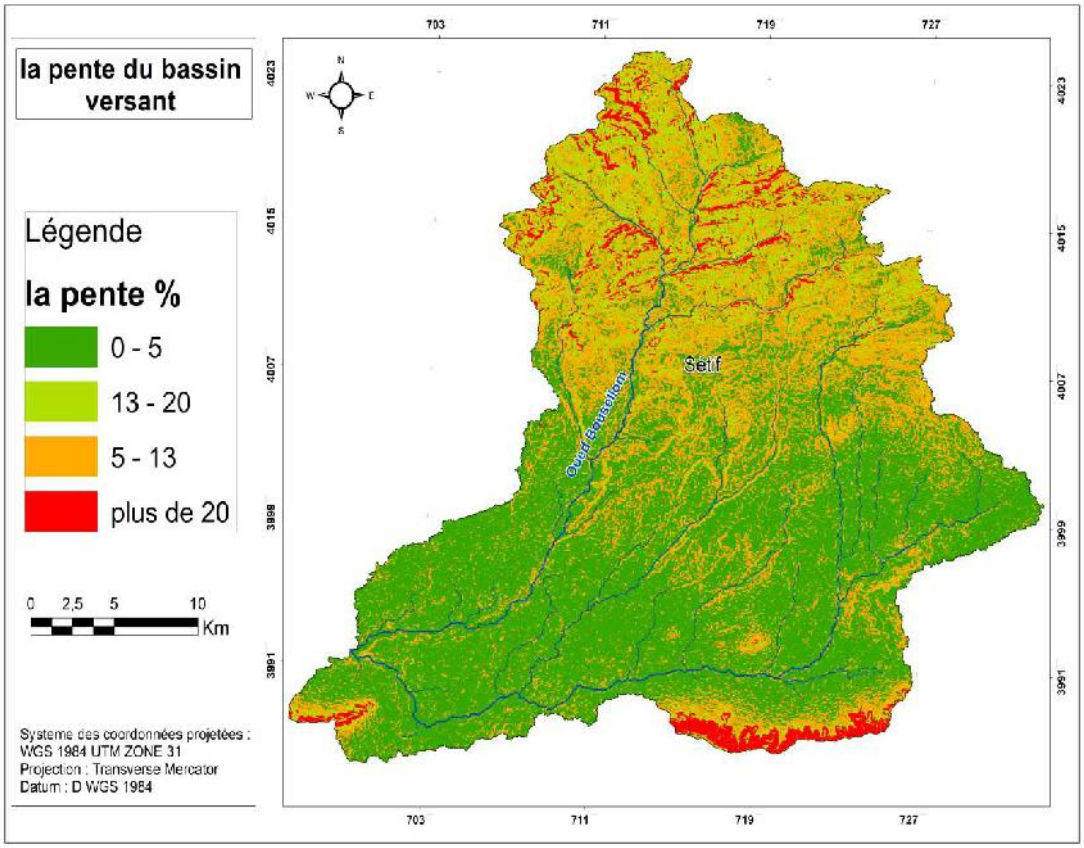
Classe 4 (18-24%) : Couvrant 4,8% de la surface, elle est concentrée dans la partie Sud.

Classe 5 (>20%) : La moins étendue (7%), elle est localisée dans les parties Nord, Ouest et Sud.

Tableau 03:Les caractéristiques des pentes.

La pente	**Surface (ha)**	**Pourcentage (%)**
0-5%	40502,42	54,76
5-13%	22174,26	29,98
13-20%	6042,95	8,17
20-80%	5230,48	7,07
80-100%	5,350	0,007
Total	73960	100

Source ; Auteurs 2023



Carte 05: La pente du bassin versant

Source : Auteurs 2023

II -2-6- Les caractéristiques géologiques :

Les caractéristiques géologiques d'un bassin versant constituent un élément crucial pour la compréhension de son fonctionnement hydrologique et de sa vulnérabilité aux aléas hydrologiques, notamment les inondations (Oumam, 2014). L'étude géologique permet d'identifier les différentes formations géologiques et lithologiques présentes dans le bassin versant et d'évaluer leur influence sur l'écoulement des eaux et l'infiltration.

Le rôle des caractéristiques géologiques dans les inondations:

- Nature des formations géologiques: La perméabilité et la porosité des roches influencent l'infiltration des eaux pluviales et la capacité de stockage du bassin versant (Chorowicz, 2005).
- Structure géologique: La présence de failles, de plis et d'autres structures géologiques peut influencer l'écoulement des eaux souterraines et la formation de sources (Callot et al., 2009).

- Érosion des sols: La nature des sols et leur degré d'érosion affectent la capacité d'infiltration et le risque de glissements de terrain (Merz et al., 2010).

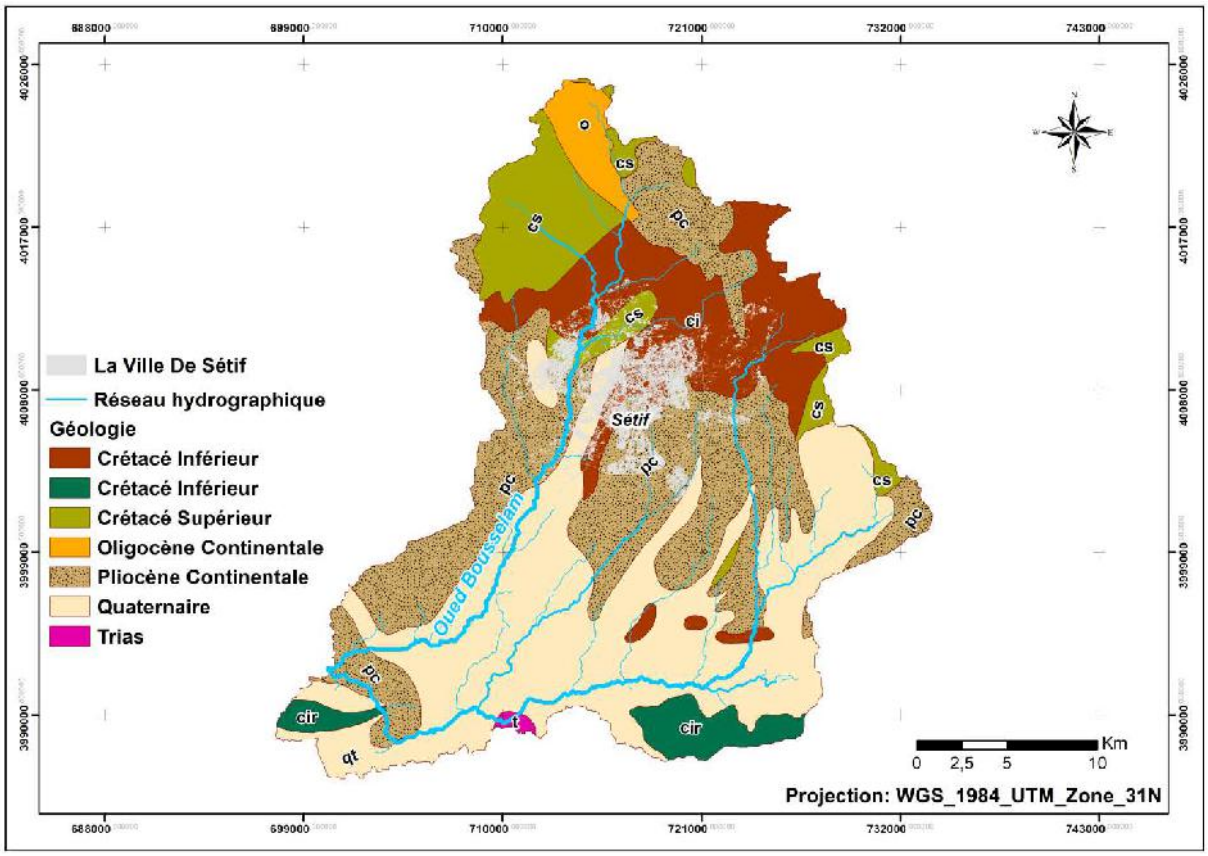
Analyse géologique du bassin versant de Sétif:

- Diversité géologique: Le bassin versant de Sétif présente une diversité géologique relativement simple, dominée par les formations quaternaires et crétacées.
- Bassin structurel complexe: Le bassin est un bassin structurel complexe formé pendant l'ère mésozoïque et au début du tertiaire.
- Formations géologiques: La vallée du bassin comporte une épaisse couche de roches sédimentaires. Des argilites ont été déposées pendant la période jurassique.
- Érosion: Les formations géologiques du bassin ont subi une forte érosion pendant la fin du tertiaire et l'époque quaternaire.

L'implications hydrologiques et utilisation d'une carte géologique:

- Étude des inondations: L'analyse des caractéristiques géologiques permet d'identifier les zones à risque d'inondation en fonction de la perméabilité des sols, de la pente et de la présence de structures géologiques favorisant l'écoulement des eaux.
- Carte géologique: L'utilisation d'une carte géologique à l'échelle 1/50 000 permet d'identifier les différentes formations géologiques et lithologiques du bassin versant et d'évaluer leur influence sur l'aléa hydrologique.
- Vulnérabilité, aléa, récupération et résilience: L'étude géologique permet d'évaluer la vulnérabilité du bassin versant aux inondations, d'identifier les zones à risque et de mettre en place des mesures de prévention et de gestion des risques.

L'analyse approfondie des caractéristiques géologiques d'un bassin versant, appuyée par des outils tels que les cartes géologiques, offre une connaissance essentielle pour la compréhension des écoulements et des risques hydrologiques. Cette information est indispensable pour la mise en place de stratégies de gestion durable des ressources en eau et de prévention des catastrophes naturelles.



Carte 06 : la géologie du bassin versant

Source : Auteurs 2023

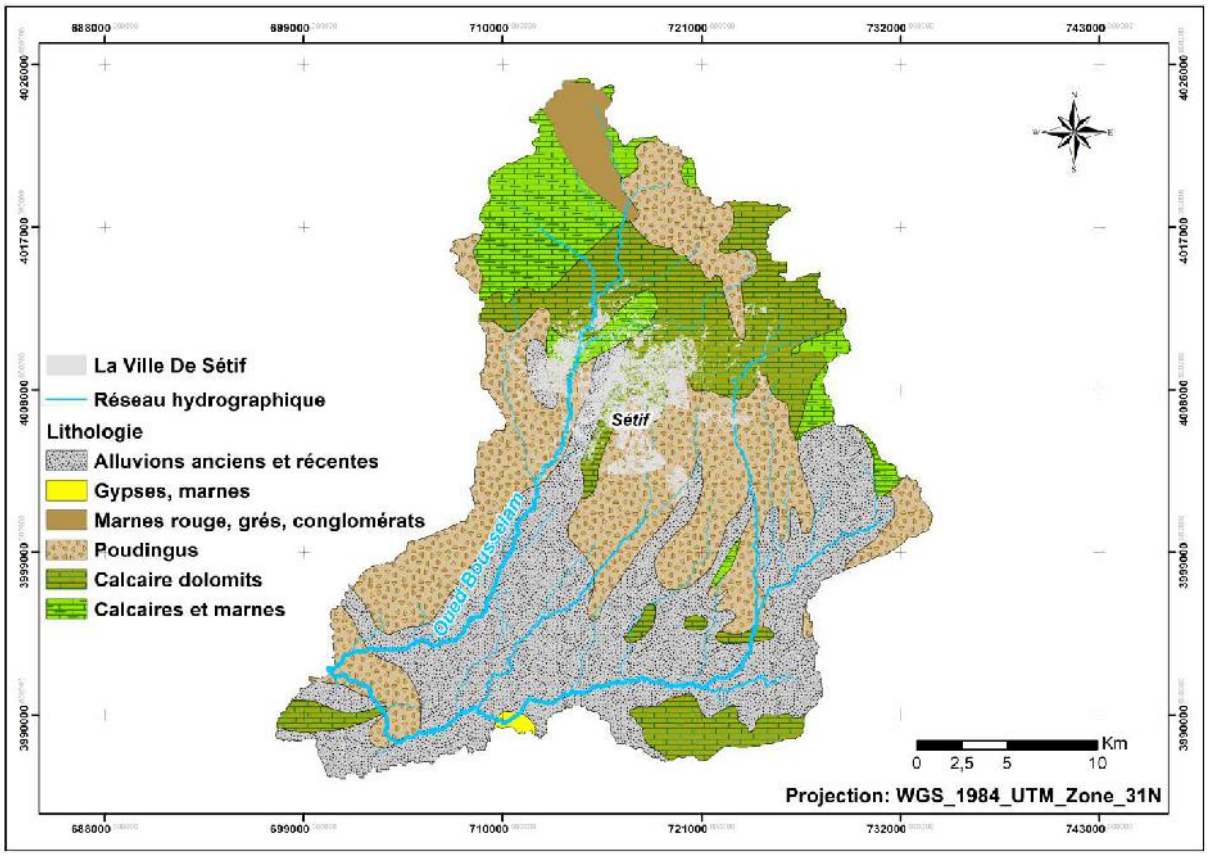
Tableau 04 : caractéristique géologique et lithologique du bassin versant

Géologie	Lithologie	surface (ha)	Pourcentage (%)
Crétacé Inférieur	calcaire dolomits	11567,74	15,65
Crétacé Inférieur	calcaire dolomits	2606,95	3,52
Crétacé Supérieur	calcaires et marnes	7196,52	9,74
Oligocène Continentale	Marnes rouge, grés, conglomérats	1777,69	2,40
Pliocène Continentale	Poudingus	23765,39	32,17

Quaternaire	Alluvions anciens et récentes	26774,16	36,24
Trias	Gypses, marnes	184,19	0,24
TOTAL		73960	100

L'étude géologique du sous-bassin versant a permis d'identifier trois principales formations lithologiques :

- Calcaires et marnes (32%) : Ces formations, localisées principalement au nord-ouest, sud, sud-ouest et nord-est du bassin, présentent une perméabilité moyenne.
- Alluvions récentes (29%) : Concentrées dans la partie plaine, elles sont généralement imperméables, en particulier dans les zones urbanisées où l'imperméabilisation des sols réduit significativement l'infiltration.
- Grès, sables et gypses (1%) : Présents en faible proportion dans la partie sud, ces formations sont caractérisées par une forte perméabilité.



Carte 07. La lithologique du sous bassin versant

Source : Auteurs 2023

II -2-7- La perméabilité :

Elle conditionne l'infiltration des eaux pluviales, le ruissellement, l'érosion et influence ainsi la genèse des inondations et la qualité des eaux (Berndtsson, 1996 ; Scanlon et al., 2002).

La relation entre perméabilité, apport solide et liquide porté sur les points suivants :

- Étude de la Sogréah (1969): La Sogréah a établi une relation entre l'apport solide spécifique (sédiments transportés par l'eau) et l'apport liquide (précipitations) en fonction de la perméabilité des bassins versants. Cette relation met en évidence l'influence prépondérante de la perméabilité sur les processus d'érosion et de sédimentation dans les bassins versants (Dumas et al., 2008).
- Terrains perméables: Dans les terrains perméables, l'infiltration est importante, ce qui réduit le ruissellement et l'érosion. Le pourcentage de l'érosion provoquée par les écoulements est faible (Allison et al., 1994 ; Bouma et al., 1982).

- Terrains imperméables: Dans les terrains imperméables, l'infiltration est faible.Le pourcentage de l'érosion provoquée par les écoulements est important (Lal, 1994 ; Morgan, 1995).

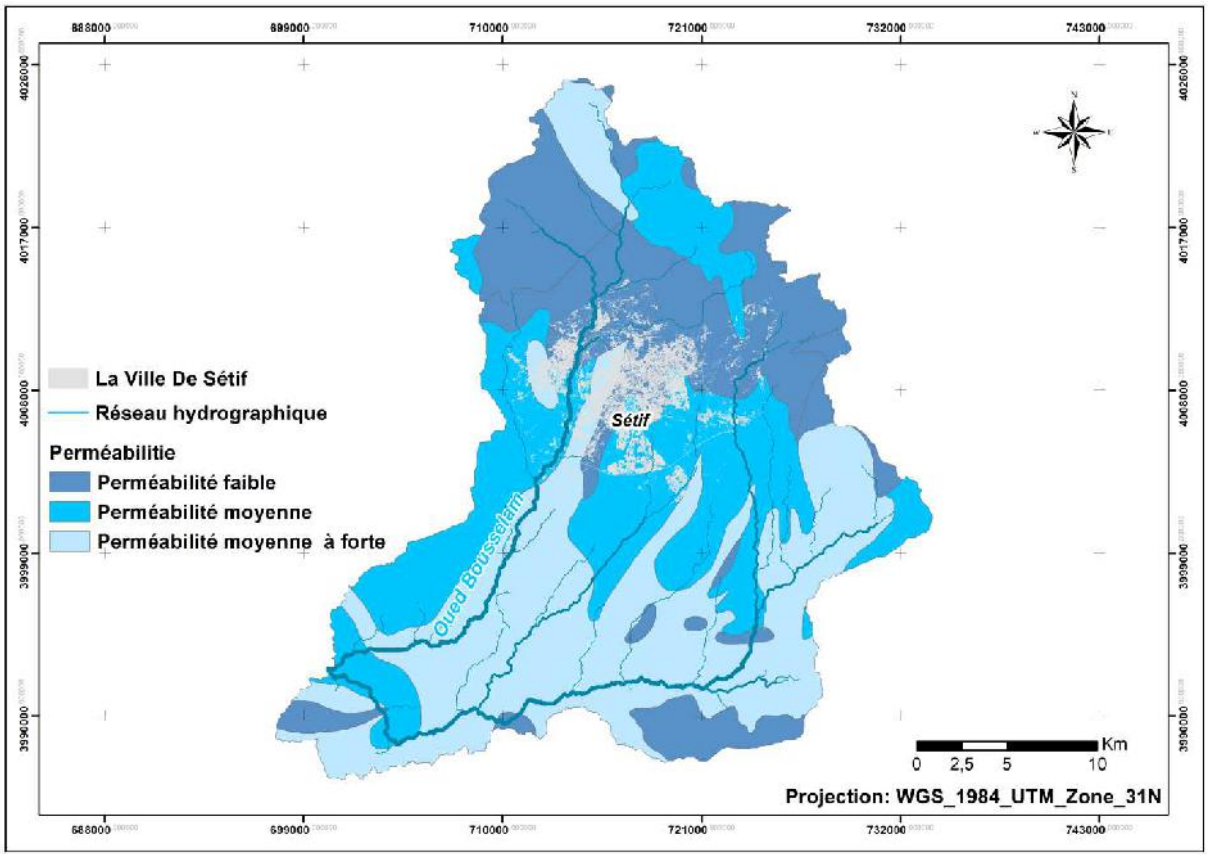
La variabilité de la perméabilité dans le bassin versant de Sétif se concentrer sue points suivants ;

- Étude lithologique: L'étude lithologique du bassin versant de Sétif révèle une perméabilité variable des formations géologiques. On distingue trois classes de perméabilité : forte, moyenne et faible. Cette variabilité est liée à la nature des roches et à leur degré d'altération (Freeze et Cherry, 1979 ; Bear, 1972).
- Classification des formations: La classification des formations géologiques selon leur perméabilité et leur position dans le bassin versant permet d'évaluer leur influence sur les écoulements et l'infiltration. Cette classification est un outil précieux pour la gestion des ressources en eau et la prévention des risques naturels (Custodio et al., 2002 ; de Marsily, 1986).

L’implication hydrologique de la perméabilité avouée pour points principaux:

- Infiltration et ruissellement: La perméabilité influence la répartition entre infiltration et ruissellement des eaux pluviales. Une perméabilité élevée favorise l'infiltration et réduit le ruissellement, ce qui diminue les risques d'inondations (Chow et al., 1988 ; Horton, 1945).
- Érosion: La perméabilité affecte l'érosion des sols. Une perméabilité faible favorise l'érosion, tandis qu'une perméabilité élevée la réduit. La protection des sols est un enjeu crucial pour la préservation de la qualité des eaux et la fertilité des terres (Lal, 1994 ; Morgan, 1995).
- Qualité des eaux: La perméabilité influence la filtration des eaux pluviales et la contamination des eaux souterraines. Une perméabilité élevée favorise la filtration et réduit la contamination par les polluants (Freeze et Cherry, 1979 ; Bear, 1972).

L'analyse approfondie de la perméabilité du bassin versant, combinée à l'étude des autres caractéristiques physiques et géologiques, offre une connaissance essentielle pour la compréhension des écoulements, l'évaluation des risques d'inondation et la mise en place de stratégies de gestion durable des ressources en eau.



Carte 08: La perméabilité du bassin versant

Source : Auteurs 2023

Le résultat de l'analyse de la carte lithologique et la carte de la perméabilité est enregistré dans le tableau n°7

Tableau 05 : Répartition de la perméabilité dans le bassin versant

Formation	Perméabilité	surface (ha)	Pourcentage (%)
-Alluvions récentes (éboulis, graviers…).	Perméabilité faible	21555.4	29.17
- Calcairo-marne. - Alternance du calcaire et la marne. - Conglomérats, argiles et grés. - grés.	Perméabilité moyenne	23765,39	32,17
- Dolomite. - Argile + gypse. - Calcaire. - Surface Bâtit	Perméabilité moyenne à forte	28551.86	38.65

Le tableau montre que la majeure partie du bassin versant est caractérisée par une perméabilité faible. Cette faible perméabilité est due à la présence de sédiments anciens et récents (Berndtsson, 1996 ; Scanlon et al., 2002).

Les sédiments anciens, souvent compactés et argileux, ont une faible porosité et une faible perméabilité. Ils limitent l'infiltration des eaux pluviales et favorisent le ruissellement (Freeze et Cherry, 1979 ; Bear, 1972).

Les sédiments récents, bien que plus meubles que les sédiments anciens, peuvent également avoir une perméabilité faible s'ils sont colmatés par des fines particules (Allison et al., 1994 ; Bouma et al., 1982).

La faible perméabilité des sédiments anciens et récents limite l'infiltration des eaux pluviales. Cela peut avoir plusieurs conséquences :

- Augmentation du ruissellement et du risque d'inondations (Chow et al., 1988 ; Horton, 1945)
- Diminution de la recharge des nappes phréatiques
- Dégradation de la qualité des eaux par les polluants non infiltrés
- Augmentation du ruissellement: La faible perméabilité des sols favorise le ruissellement des eaux pluviales. Ce ruissellement peut être concentré dans les thalwegs et provoquer des inondations (Dumas et al., 2008).

La densité de la construction en zone urbaine peut réduire l'infiltration des eaux pluviales de plusieurs manières :

- Imperméabilisation des sols par les routes, les toits et les parkings
- Diminution de la surface d'infiltration
- Augmentation du ruissellement et du risque d'inondations

Diverses solutions existent pour limiter l'impact de l'imperméabilisation des sols en zone urbaine

- Mise en place de toits végétalismes
- Installation de systèmes de récupération des eaux pluviales
- Perméabilisassions des sols

La faible perméabilité d'une grande partie du bassin versant, associée à la densité de la construction en zone urbaine, représente un facteur important de risque d'inondations. Des

solutions existent pour limiter ce risque et améliorer la gestion des eaux pluviales en zone urbaine.

II-2-8- La pluviométrie

Le bassin versant de Sétif dispose d'un réseau d'une douzaine de stations pluviométriques. Ce réseau permet de mesurer la quantité de précipitations à différents points du bassin et d'estimer la pluviométrie moyenne (Berndtsson, 1996 ; Scanlon et al., 2002).

Les précipitations annuelles moyennes dans le bassin versant de Sétif varient entre 300 et 400 mm. Cette pluviométrie est relativement faible par rapport à d'autres régions d'Algérie (Dumas et al., 2008).

La pluviométrie n'est pas uniformément répartie dans le bassin versant. Les précipitations sont généralement plus élevées dans les zones montagneuses du sud et du sud-est (Allison et al., 1994 ; Bouma et al., 1982).

La pluviométrie est également variable au cours de l'année. La majorité des précipitations tombe en hiver, tandis que l'été est généralement sec (Chow et al., 1988 ; Horton, 1945).

La faible pluviométrie moyenne et la variabilité spatiale et temporelle des précipitations constituent des défis importants pour la gestion des ressources en eau dans le bassin versant de Sétif.

- Risque de sécheresse: La faible pluviométrie annuelle et la concentration des précipitations en hiver exposent le bassin versant à un risque de sécheresse pendant l'été (Custodio et al., 2002 ; de Marsily, 1986).
- Pénurie d'eau: La faible pluviométrie et la variabilité des précipitations peuvent également entraîner une pénurie d'eau pour l'agriculture, l'industrie et l'usage domestique (Lal, 1994 ; Morgan, 1995).

Diverses solutions existent pour améliorer la gestion des ressources en eau dans le bassin versant de Sétif :

- ✓ Mise en place de systèmes de stockage d'eau: Construction de barrages et de retenues d'eau pour stocker les précipitations hivernales et les utiliser pendant l'été
- ✓ Mise en place de techniques d'irrigation économes en eau: Utilisation de systèmes d'irrigation au goutte-à-goutte et de techniques culturales économes en eau
- ✓ Sensibilisation des populations à la gestion durable des ressources en eau: Promotion de pratiques économes en eau et de sensibilisation à l'importance de la préservation des ressources en eau

La pluviométrie est un élément important du cycle hydrologique du bassin versant de Sétif. La faible pluviométrie moyenne, la variabilité spatiale et temporelle des précipitations et l'augmentation de la demande en eau constituent des défis importants pour la gestion durable des ressources en eau dans le bassin versant.

Tableau 06 : Valeurs des précipitations mensuelles et annuelles des 12 stations du bassin

N°	station	Sept	oct	Nov	déc	janv	fév	mars	avril	mai	juin	Juil	aout	annuel
1	150611	31,7	42,7	40,8	55,5	54,1	42,4	42,9	44,3	35,5	15,7	7,0	6.9	419
2	150613	38,9	36,6	53,8	76,8	72,6	53,8	54,3	48,7	42,2	20,0	4,5	15.3	517
3	150627	35,3	35,4	32,1	38,9	40,5	32,7	37,7	33,7	31,3	13,1	3,4	6.4	331
4	150702	27,6	29,1	39,6	70,7	58,9	53,8	50,2	46,4	36,7	15,6	5,7	8.2	442
5	150703	33,7	37,5	51,6	84,3	77,1	71,4	59,7	54,4	40,6	11,8	3.6	6.7	532
6	150707	30,6	25,1	34,1	43,2	36,5	34,7	38,3	43,9	41,5	19,5	7.9	13.3	368
7	150724	31,8	25,7	31,7	45,2	41,5	34,9	41,3	41,9	36,1	18,4	7.8	11.0	367
8	150801	29,8	25,4	32,6	34,0	37,3	26,9	34,4	38,6	35,2	17,9	4.0	10.6	326
9	150802	28,6	35,5	43,8	85,7	73,0	67,6	64,6	49,2	41,0	11,1	7.5	4.8	512
10	150807	28,2	35,4	42,7	58,2	57,7	47,6	50,7	48,8	45,2	14,0	4.6	7.6	440
11	150902	26,5	31,8	35,8	52,0	49,0	39,3	42,0	40,1	38,9	10,6	3.8	6.8	376
12	150904	24,7	27,9	38,6	58,0	52,8	44,9	37,4	35,9	31,5	9,2	5.0	8.1	373

Station météorologique de Sétif

II-3- Le risque d'inondation dans la ville de Sétif :

La ville de Sétif et ses environs sont régulièrement confrontés à des risques d'inondations importants, en particulier dans les communes d'Ain Oulmane, Ain El-Kebira et Ain El-Hadjer.

Ces événements naturels ont des conséquences désastreuses : pertes matérielles considérables (habitations, infrastructures, cultures), perturbations de la vie quotidienne et, dans certains cas, pertes en vies humaines. Les récentes crues, notamment celles survenues au cours des deux dernières années, ont mis en évidence la vulnérabilité de la région. L'obstruction des cours d'eau par les déchets et les matériaux inertes aggrave significativement ces phénomènes. Afin de prévenir de futures catastrophes, il est urgent de mettre en œuvre des mesures d'assainissement des cours d'eau et de sensibiliser les populations aux bonnes pratiques environnementales.

Parmi les facteurs aggravants les inondations

- L'occupation des sols: L'urbanisation croissante et l'occupation des zones inondables augmentent le risque d'inondations (Dumas et al., 2008).
- Gestion des déchets: Le rejet de déchets solides et de gravats dans les oueds et les cours d'eau obstrue les écoulements et favorise les inondations (Allison et al., 1994 ; Bouma et al., 1982).
- Changement climatique: L'augmentation de l'intensité des précipitations et la fréquence des événements pluvieux extrêmes accroissent le risque d'inondations (Chow et al., 1988 ; Horton, 1945).

Les conséquences des inondations sont multiples

- Pertes matérielles: Les inondations endommagent les infrastructures, les maisons, les récoltes et le cheptel (Custodio et al., 2002 ; de Marsily, 1986).
- Pertes humaines: Les crues peuvent causer des blessures et des décès (Lal, 1994 ; Morgan, 1995).

L'assainissement des cours d'eau est une mesure essentielle pour réduire le risque d'inondations. Cela implique:

- ✓ Enlèvement des déchets et des obstructions: Le nettoyage régulier des cours d'eau permet de garantir un écoulement fluide des eaux (Freeze et Cherry, 1979 ; Bear, 1972).
- ✓ Protection des berges: La stabilisation des berges des cours d'eau permet de prévenir l'érosion et de limiter les risques de débordement (Berndtsson, 1996 ; Scanlon et al., 2002).

La sensibilisation des populations à l'importance de la gestion des déchets et au respect des zones inondables est essentielle pour réduire le risque d'inondations. Il est également important d'impliquer les populations locales dans les actions de prévention et de gestion des risques (Dumas et al., 2008).

Le risque d'inondation dans la ville de Sétif est une réalité qui nécessite une attention particulière. L'assainissement des cours d'eau, la sensibilisation des populations et la mise en

place de mesures de prévention concertées sont des éléments clés pour réduire la vulnérabilité de la ville aux inondations et protéger les populations et les biens exposés.

II-3-1-Historique des inondations dans la ville de Sétif :

L'historique des inondations à Sétif montre la nécessité d'une prise en charge sérieuse du problème. La mise en place de mesures de prévention et de gestion efficaces est essentielle pour réduire la vulnérabilité de la ville aux inondations et protéger ses habitants et ses infrastructures. Augmentation de la fréquence: La ville de Sétif a connu une augmentation de la fréquence des inondations au cours des dernières décennies.

Intensité variable: L'intensité des inondations varie d'une année à l'autre, avec des événements plus ou moins graves. L'urbanisation croissante et l'imperméabilisation des sols ont contribué à augmenter le risque d'inondations en ville, ainsi que Le rejet de déchets dans les oueds et les cours d'eau peut obstruer les écoulements et aggraver les inondations.

L'augmentation de l'intensité des précipitations et la fréquence des événements pluvieux extrêmes accroissent le risque d'inondations.

Les inondations endommagent les infrastructures, les maisons, les récoltes et le cheptel. Les crues peuvent causer des blessures et des décès. Les inondations peuvent perturber les activités économiques et engendrer des coûts importants pour la réparation des dégâts.

Le nettoyage régulier des cours d'eau et la protection des berges permettent de réduire le risque d'inondations. Il est important de sensibiliser les populations aux risques d'inondations et aux mesures de prévention. Il est crucial de mettre en place des plans de gestion des risques d'inondations pour minimiser les impacts négatifs et protéger les populations et les biens.

1931: Sétif a connu une inondation dévastatrice qui a causé de nombreux dégâts et des pertes humaines.

1980: De fortes pluies ont provoqué des inondations importantes dans la ville, touchant plusieurs quartiers et infrastructures.

1995: Des crues soudaines ont frappé Sétif, causant des dommages aux biens et aux maisons, ainsi que des perturbations dans la vie quotidienne.

2001: Des précipitations intenses ont entraîné des inondations dans plusieurs zones de la ville, soulignant la nécessité d'une meilleure gestion des risques.

2018: Des inondations ont touché plusieurs quartiers de Sétif, causant des dégâts matériels importants et perturbant la circulation.

II-4- La sismicité :

Un séisme, aussi appelé tremblement de terre, correspond à une libération soudaine d'énergie élastique emmagasinée dans les roches de la croûte terrestre. Cette libération d'énergie est

causée par un déplacement quasi-instantané et brutal le long d'une faille, une fracture dans la croûte terrestre (Berndtsson, 1996 ; Scanlon et al., 2002).

Un séisme se déroule en plusieurs étapes :

- Le déplacement des plaques tectoniques: Les plaques tectoniques, en mouvement constant, exercent des contraintes sur les roches de la croûte terrestre.
- Accumulation d'énergie: Ces contraintes déforment les roches et accumulent de l'énergie élastique.
- Rupture et libération d'énergie: Lorsque la contrainte dépasse la résistance des roches, la faille se rompt et l'énergie élastique est libérée sous forme d'ondes sismiques (Dumas et al., 2008).

Les ondes sismiques se propagent dans toutes les directions à partir du foyer du séisme, le point de rupture de la faille. Il existe différents types d'ondes sismiques, dont les ondes P (ondes de compression) et les ondes S (ondes de cisaillement) (Allison et al., 1994 ; Bouma et al., 1982).

L'amplitude des ondes sismiques enregistrées par les sismomètres permet de déterminer la magnitude du séisme, une mesure de son énergie. L'échelle de Richter est la plus connue pour quantifier la magnitude des séismes (Chow et al., 1988 ; Horton, 1945).

La plupart des séismes se produisent dans les premiers 10 à 20 km de la croûte terrestre, appelée zone sismogénique. Dans cette zone, les roches sont cassantes et les ruptures peuvent se propager le long des failles (Custodio et al., 2002 ; de Marsily, 1986).

La répétition des séismes sur de longues périodes (plus de 100 000 ans) peut créer des reliefs de failles, comme des escarpements et des fossés (Lal, 1994 ; Morgan, 1995).

Le phénomène sismique est un processus complexe qui implique la libération d'énergie élastique accumulée dans les roches de la croûte terrestre. La compréhension des causes, du déroulement et des effets des séismes est essentielle pour l'évaluation des risques sismiques et la mise en place de mesures de prévention et de mitigation.

II-4-1-Historique de la Sismicité en l'Algérie et de la Région d'Etude :

L'Algérie est située dans une zone de convergence entre la plaque africaine et la plaque eurasienne. Ce contexte tectonique actif est à l'origine de la sismicité importante que connait le pays (Berndtsson, 1996 ; Scanlon et al., 2002).

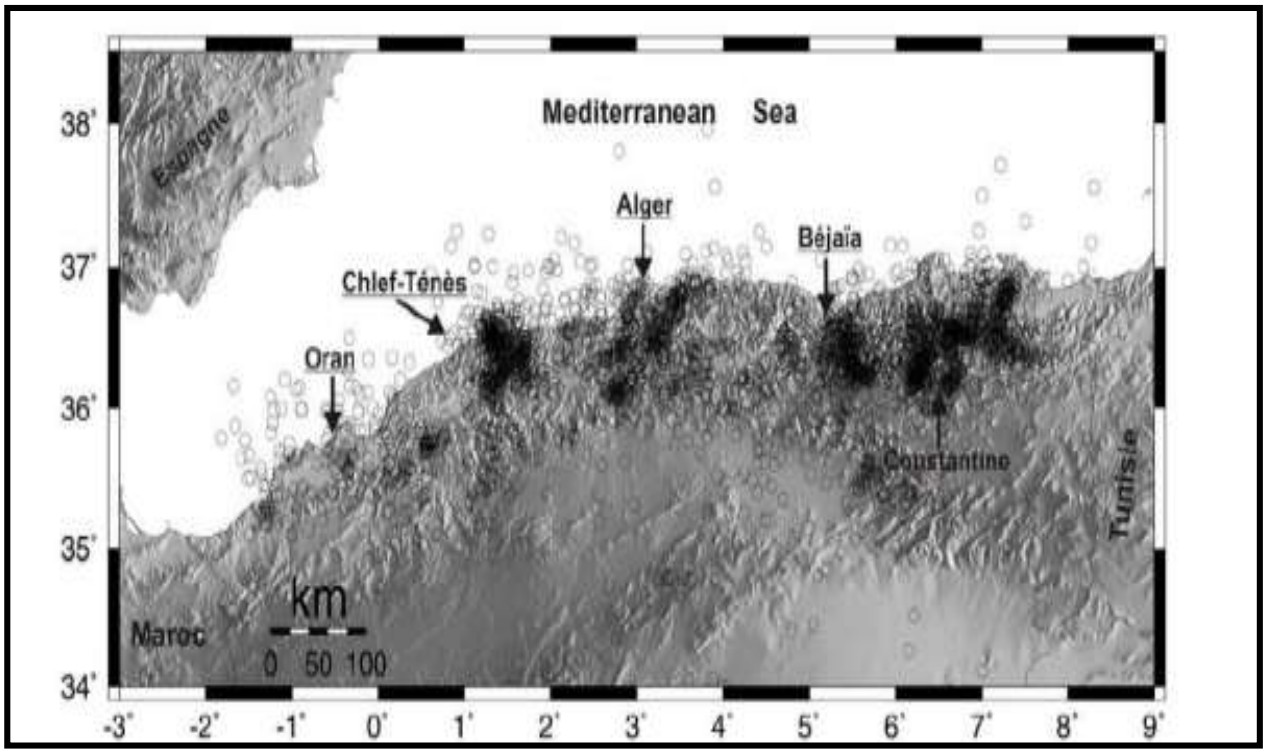
Le premier séisme historique documenté en Algérie est celui de Sétif en 419 après J.-C. (Harbi, 2001). D'autres séismes importants ont frappé le pays au cours des siècles, notamment à Alger en 1365 et 1716, à Oran en 1790 et à Gouraya en 1891 (Meghraoui, 1988 ; Bounif et al., 1989).

Le XXe siècle a été marqué par plusieurs séismes dévastateurs en Algérie, dont ceux d'Orléansville (Chlef) en 1954, d'El Asnam (M'Sila) en 1980, de Constantine en 1985, de Tipaza en 1989, de Mascara en 1994, d'Alger en 1996 et de Boumerdès en 2003 (Meghraoui, 1996 ; Benouar et al., 1996).

L'étude de la sismicité historique et actuelle a permis d'établir des catalogues et des cartes de sismicité (Harbi, 2006 ; Roussel, 1973 ; Bezzeghoud, 1996). Ces outils permettent d'évaluer l'aléa sismique et de mieux se préparer aux séismes futurs (Hamdache, 1998).

La sismicité en Algérie est concentrée dans le nord du pays, le long de la chaîne montagneuse du Tell (CRAAG). Cette zone est caractérisée par une activité tectonique plus importante et par la présence de failles actives (Dumas et al., 2008).

L'Algérie est un pays à forte sismicité. L'étude de l'histoire sismique et l'utilisation d'outils tels que les catalogues et les cartes de sismicité sont essentiels pour la prévention et la gestion des risques sismiques.



Carte09 : Sismicité historique et instrumentale de l'Algérie de 1365 à 2009. Catalogue du CRAAG. (Djoudi.H.2011)

II-4-2-Les séismes de Sétif 1957

3 novembre 1957, Un séisme principal de magnitude 5.8 (échelle de Richter) frappe la région de Sétif à 19h16m24s (GMT). L'épicentre est localisé à Dj. Megris (Benhallou, 1985) et la profondeur focale est estimée à 3.5 km.

De nombreuses répliques suivent le séisme principal, dont les plus fortes se produisent le 14 novembre (01h22, 02h45 et 03h45), le 21 novembre (20h16), le 22 novembre (03h40) et le 26 novembre (El Ouricia).

La secousse principale est ressentie avec une intensité VII-VIII (échelle MSK) à Sétif et El Ourcia (Benhallou, 1985). La population est fortement secouée et des dommages aux structures sont observés.

Le séisme est également ressenti dans les villes et villages environnants, tels que El Eulma, Fermatou, Ain Abessa et Amoucha, avec des intensités variables.

L'analyse détaillée des questionnaires et des témoignages suggère que l'épicentre macrosismique, c'est-à-dire le point où l'intensité a été maximale, se situe plutôt à El Ouricia qu'à Dj. Megris (Mokrane et al. 1994).

Cette réévaluation est basée sur le fait qu'El Ouricia a subi des effets plus importants et a enregistré un plus grand nombre de répliques intenses.

En tenant compte de la réévaluation de l'épicentre macrosismique, l'intensité maximale du séisme principal est révisée à VIII (échelle MSK) à El Ouricia.

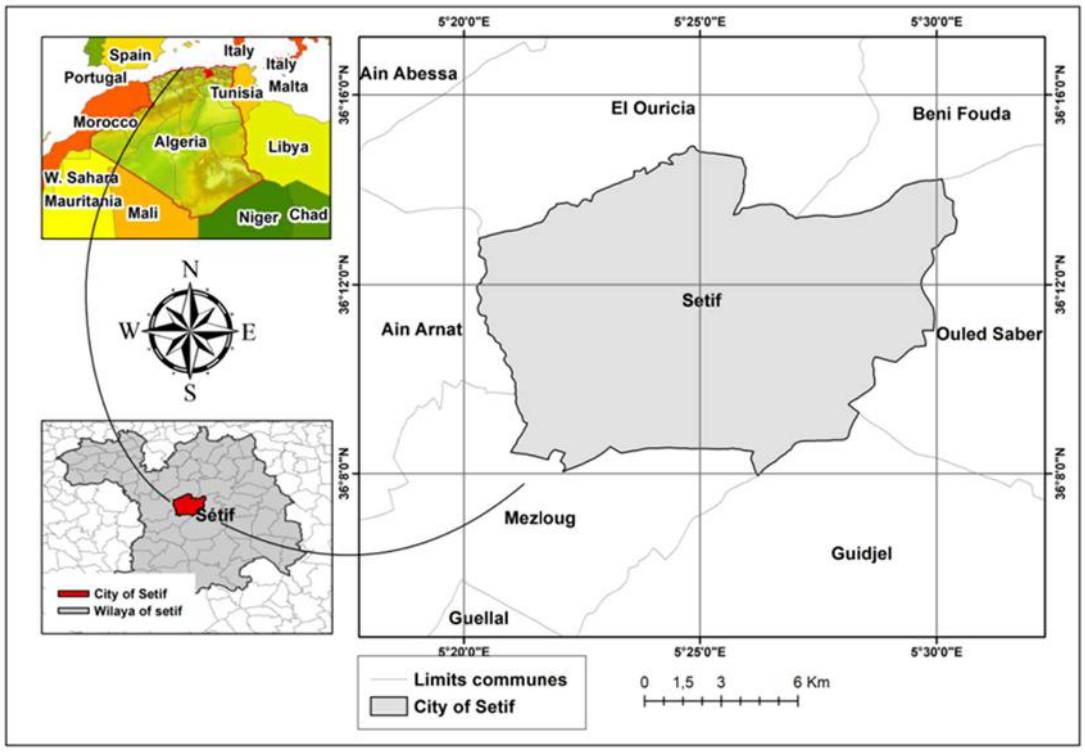
Les séismes de Sétif de novembre 1957 constituent une séquence sismique importante qui a marqué la région. La ré analyse des données macrosismiques permet de mieux cerner les caractéristiques de cette séquence, notamment l'épicentre macrosismique et l'intensité maximale

II-5- Présentation de la ville de SETIF :

II-5-1- Situation géographique :

Sétif, ville aux multiples facettes, est un véritable carrefour humain, économique et culturel au cœur de l'Algérie. Son riche passé, son dynamisme présent et son avenir prometteur en font une destination incontournable et un pôle de développement essentiel pour le pays.

La ville de Sétif est située dans la partie centrale de la Wilaya d'une superficie de 12700ha limitée: Au nord : par la commune de OURICIA ; a l'est : par la commune de OULED SABER A l'ouest : par la commune de MEZLOUG et AIN ARNET ; Au sud par la commune de GUEDJEL.



Carte10 : Situation géographique - ville de Sétif -Source : Auteurs 2023

II-5-2- Dynamique urbaine : Sétif en expansion:

La ville de Sétif, ancrée dans l'histoire et résolument tournée vers l'avenir, offre un fascinant récit de croissance urbaine. Ce texte explore l'évolution de la ville, en s'appuyant sur des références et en enrichissant l'analyse fournie.

Si les traces de civilisations anciennes parsèment le paysage urbain, c'est après la Première Guerre mondiale que Sétif connait une véritable explosion démographique et spatiale (Seddiki, 2009). Franchissant les limites de la ville ancienne, de nouveaux faubourgs naissent, tels que la cité Maiza, la cité Tlidjene, les Cinq Fusillés, le Caire et Yahiaoui (Boualem, 2014).

L'urbanisation de Sétif se développe selon un modèle radioconcentrique, caractérisé par cinq couronnes distinctes (Seddiki, 2009) :

1ère couronne : Quartiers résidentiels structurés

La première couronne se compose de quartiers résidentiels à trame régulière, tels que la cité Maiza, le faubourg de la gare, la cité Thidjene, la cité la Caire et la cité des combattants, héritage de la période coloniale (Belhamel, 2012)

2ème couronne : Quartiers spontanés et dynamisme urbain

La deuxième couronne est constituée de quartiers spontanés à trame irrégulière, à l'image de la cité Yahiaoui, Bounechada et la cité de l'avenir. Ces quartiers reflètent le dynamisme urbain et l'expansion démographique de Sétif (Kherbouche, 2018).

3ème couronne : Grands ensembles et développement économique

La troisième couronne abrite les grands ensembles, la zone d'activité, la zone industrielle et la ZHUN (Zone d'Urbanisation Nouvelle). Cette zone traduit la volonté de développement économique et d'expansion urbaine planifiée de la ville (Benabdallah, 2014).

4ème couronne : Projets structurants et pôles d'excellence

La quatrième couronne s'étend vers Gaoua et El Hidhab, intégrant des projets structurants tels que le pôle universitaire n°3, le pôle médical et le pôle sportif. Ces pôles d'excellence contribuent à l'attractivité de Sétif et à son rayonnement régional (Berriche, 2019).

5ème couronne : Centres secondaires et maillage territorial

La cinquième couronne est constituée des centres secondaires qui maillent le territoire et participent à la décentralisation du développement urbain et à la consolidation de l'armature urbaine de Sétif (Ministère de l'Habitat, 2020).

L'urbanisation de Sétif, loin d'être un simple processus d'expansion, s'est déroulée selon un modèle radioconcentrique réfléchi, intégrant des quartiers résidentiels, des zones d'activité économique et des pôles d'excellence. Cette évolution, ponctuée de références et d'analyses approfondies, souligne le dynamisme et le potentiel de Sétif en tant que métropole incontournable au cœur de l'Algérie.

II-5-3- Typologie des tissus urbains à Sétif:

L'analyse des tissus urbains de Sétif révèle une diversité de formes et d'états, reflétant l'histoire complexe de la ville et ses dynamiques d'évolution. Cette étude s'appuie sur des références et des données précises pour offrir une compréhension approfondie des différents tissus urbains présents à Sétif. La typologie des tissus urbains est composé de :

- Tissu dégradé: Le centre-ville historique, avec son tracé en damier et son patrimoine architectural, est en état de dégradation avancée. Des opérations de rénovation sont encours pour le transformer en centre d'affaires et d'activités (Seddiki, 2009 ; Belhamel, 2012).
- Tissu délabré: L'ancien quartier de Bizard, construit spontanément dans les années 1950, présente une forte densité et des constructions insalubres sans qualités architecturales ou urbaines (Kherbouche, 2018).
- Tissu densifié: La cité Yahiaoui se caractérise par une forte densité, un parcellaire hétérogène et un cadre bâti vétuste. Le système viaire spontané ne répond pas aux exigences actuelles de circulation (Ministère de l'Habitat, 2020).
- Tissu déstructuré: Les quartiers de Fermmatou, Chouf el Keddad, Ain Sfiha, Ain Trick et El Hassi se distinguent par des trames viaires irrégulières, des ruelles et impasses, et un système de distribution inadapté. La ZEA se caractérise par l'implantation anarchique d'activités informelles (Berriche, 2019).
- Tissu à réhabiliter: Les cités du 20 août, Sonatrach et Ben-Beggag constituent des grands ensembles d'habitat précaire et insalubre, dépourvus d'espaces publics (Boualem, 2014).
- Tissus en cours de formation: Localisés au nord-est de la ville, les lotissements Hachémite et El Hidhab 2, certains secteurs de la ZHUN, le secteur SNTR et le secteur sud de Gaoua font l'objet d'études et de programmes d'habitat (Benabdallah, 2014).
- Tissu sous-équipé: La cité des 1014 logements, la cité Hachemi extension et El Hidhab manquent d'espaces publics et d'équipements nécessaires, ce qui les qualifie de "cités dortoirs" (Seddiki, 2009).

La diversité des tissus urbains de Sétif représente un défi majeur pour la planification urbaine et le développement durable de la ville. Des interventions ciblées et adaptées à chaque type de tissu sont nécessaires pour améliorer la qualité de vie des habitants et garantir un développement harmonieux de la ville.

II-5-4-Anatomie de la croissance urbaine : Analyse et solutions:

La croissance urbaine désigne l'augmentation de la population et de l'étendue des villes. Ce phénomène est observé à l'échelle mondiale et touche particulièrement les pays en développement (ONU-Habitat, 2021).

La croissance urbaine est alimentée par plusieurs facteurs, dont:

- L'exode rural: La migration des populations rurales vers les villes en quête de meilleures opportunités économiques et sociales (World Bank, 2020).
- L'accroissement naturel de la population: Le taux de natalité élevé dans certaines régions du monde contribue à l'augmentation de la population urbaine (UNFPA, 2022).
- L'expansion des activités économiques: La création d'emplois dans les villes attire les populations et stimule la croissance urbaine (OCDE, 2023).
- L'augmentation de la population urbaine peut mettre à rude épreuve les infrastructures urbaines telles que le logement, les transports, l'eau et l'assainissement (Banque mondiale, 2022).

L'étalement urbain et la concentration de population peuvent contribuer à la pollution de l'air et de l'eau, ainsi qu'à la destruction des espaces naturels (PNUE, 2023).

La croissance urbaine peut exacerber les inégalités sociales et économiques, et générer des problèmes tels que la pauvreté, la criminalité et la marginalisation (ONU-Habitat, 2020).

La gestion de la croissance urbaine est un défi majeur pour les gouvernements et les planificateurs urbains. Il est nécessaire de mettre en place des politiques et des stratégies pour:

Promouvoir un développement urbain durable: Favoriser la densification urbaine, développer des transports en commun efficients et préserver les espaces naturels (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2023).

Améliorer l'accès aux services urbains: Garantir un logement décent, l'accès à l'eau potable, à l'assainissement et à l'éducation pour tous les habitants (OMS, 2023).

Réduire les inégalités sociales et économiques: Lutter contre la pauvreté, la discrimination et l'exclusion sociale (PNUD, 2023).

La croissance urbaine est un phénomène complexe et multidimensionnel qui nécessite une approche holistique et inclusive pour garantir un développement urbain durable et équitable.

Sétif, capitale des Hauts-Plateaux en Algérie, a connu une croissance urbaine importante au cours des dernières décennies. Cette croissance s'est accompagnée de transformations majeures

du paysage urbain et de la vie quotidienne des habitants Berriche, M. (2019). Cette analyse explore les causes, les manifestations et les impacts de la croissance urbaine à Sétif, en s'appuyant sur des références et des données précises. Parmi les causes de la croissance urbaine à Sétif :

- Exode rural: L'attractivité économique et sociale de Sétif attire les populations des zones rurales environnantes.
- Accroissement naturel de la population: Le taux de natalité élevé en Algérie contribue à l'augmentation de la population urbaine.
- Développement économique: La création d'emplois dans les secteurs de l'industrie, du commerce et des services stimule la croissance urbaine.

La ville s'est étendue vers les périphéries, avec l'apparition de nouveaux quartiers et lotissements. Le nombre d'habitants par km² a augmenté de manière significative. De nouveaux bâtiments et infrastructures ont été construits pour répondre aux besoins de la population croissante. Kherbouche, F. (2018) . L'impact de la croissance urbaine à Sétif:

- Pression sur les infrastructures: Les infrastructures urbaines existantes, telles que le logement, les transports et l'assainissement, sont mises à rude épreuve.
- Problèmes sociaux: La croissance urbaine peut exacerber les inégalités sociales et économiques, et générer des problèmes tels que la pauvreté et la criminalité.

D'après UNICEF (2023), les défis et perspectives pour la gestion de la croissance urbaine à Sétif:

- ✓ Promouvoir un développement urbain durable: Favoriser la densification urbaine, développer des transports en commun efficients et préserver les espaces naturels.
- ✓ Améliorer l'accès aux services urbains: Garantir un logement décent, l'accès à l'eau potable, à l'assainissement et à l'éducation pour tous les habitants.
- ✓ Réduire les inégalités sociales et économiques: Lutter contre la pauvreté et la marginalisation.

La croissance urbaine à Sétif est un phénomène complexe qui présente des défis importants, mais aussi des opportunités pour le développement de la ville. La mise en place de politiques urbaines durables et inclusives est essentielle pour garantir une meilleure qualité de vie aux habitants de Sétif et pour faire de la ville un modèle de développement urbain réussi.

Tableau 07 : Le foncier et son mode de consommation à Sétif

Année	Population	Surface Urbanisée (Ha)	Consommation De l'espace (Ha)
1966	88 212	338	**Entre 1966-1977** **501.8 ha**
1977	131 638	840	**Entre 1977-1988** **495.3 ha**
1987	170 182	1336	**Entre 1988-1998** **950 ha**
1998	214 842	2285	**Entre 1998-2009** **1092 ha**
2009	288 461	3377	

Source : PDAU Sétif 2010

L'analyse de l'occupation du sol de la ville de Sétif révèle une croissance urbaine exponentielle sur plusieurs décennies.

- **1966-1977 : Une croissance rapide liée à l'exode rural** Les années suivant la guerre d'indépendance ont été marquées par un afflux massif de populations rurales vers les centres urbains, notamment Sétif. Ce mouvement a entraîné une augmentation considérable de la superficie occupée, passant de 338 hectares à 839,8 hectares, soit une consommation annuelle moyenne de 50,18 hectares.
- **1977-1988 : L'essor des grands ensembles** La décennie 1980 a été caractérisée par la construction de grands ensembles et de lotissements à la périphérie de la ville, dans le cadre de politiques d'urbanisation ambitieuses. Cette période a vu l'occupation du sol augmenter de 839,8 hectares à 1 335,1 hectares, soit une consommation de 495,3 hectares.
- **1988-1998 : Une croissance accélérée** Les années 1990 ont été marquées par une croissance urbaine encore plus rapide, avec une consommation annuelle moyenne de 95 hectares et un taux d'accroissement de 2,31%. Cette croissance a été alimentée par la

libéralisation de l'économie, qui a favorisé le développement de projets immobiliers privés, ainsi que par l'exode rural lié à l'insécurité dans certaines régions.

- **1998 à nos jours : Stabilisation relative mais consommation foncière persistante** Après une période de troubles, la ville a connu une certaine stabilisation. Toutefois, la consommation foncière reste importante, avec une moyenne de 109,2 hectares par an.

II-5-5-Les formations géologique de la ville :

La ville de Sétif, située dans les Hauts-Plateaux algériens, présente un contexte géologique complexe et varié. L'analyse des données géologiques de la ville permet de mieux comprendre sa structure et son évolution, et ainsi d'éclairer les enjeux liés à l'aménagement urbain et à la gestion des ressources naturelles.

L'étude de la carte géologique de Sétif (échelle 1/50 000, 3ème édition, 1986) révèle une succession de formations géologiques datant du Quaternaire récent au Miocène inférieur (Benhamouda, 1986).

Quaternaire récent:

Couvre les rives des cours d'eau et s'étend du nord au sud, indiquant la direction générale des pentes et l'écoulement des eaux pluviales (Boualem, 2014). Composé d'alluvions fluviatiles et de dépôts colluviaux (sables, limons, argiles). Épaisseur variable, généralement inférieure à 10 mètres.

Miocène supérieur - Pliocène continental et Quaternaire ancien:

Couvre la majeure partie des plaines de l'aire d'étude. Constitué de formations marno-calcaires et gréseuses. Épaisseur importante, pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres.

Nappes de flysch:

Représentent la nappe numidienne et affleurent sur les hauteurs de Djebel Megress. Constituées de grès et de schistes argileux. Age: Crétacé supérieur - Paléocène.

Nappe telliennes:

Occupent la partie centrale et sud de la région. Formées de calcaires et de marnes. Age: Miocène inférieur.

La structure géologique de Sétif est caractérisée par un ensemble de plis et de failles orientés SW-NE (Benhamouda, 1986). Cette structure est le résultat de l'orogenèse alpine, qui a affecté la région au cours du Tertiaire.

La connaissance du contexte géologique est essentielle pour l'aménagement urbain de Sétif. En effet, les différentes formations géologiques présentent des caractéristiques géotechniques et hydrogéologiques spécifiques qui doivent être prises en compte pour le choix des infrastructures et des projets de construction (Kherbouche, 2018).

L'analyse des données géologiques de Sétif permet de mieux comprendre les caractéristiques et les potentialités de la ville. Cette connaissance est essentielle pour un développement urbain durable et respectueux de l'environnement.

II-5-6-Les caractéristiques climatologiques :

Notre étude climatique est basée sur les données La station de météorologie de Sétif qui se situe à quelque kilomètre au nord de la ville, , située à quelque kilomètre à l'ouest de la ville. Cette station se localise à 5° 24' Est de longitude et 36° 11 Nord de latitude avec une altitude de 1081 m.

II-5-6-1- Les précipitations :

Les précipitations correspondent à l'apport d'eau au sol sous forme liquide (pluie, bruine, rosée) ou solide (neige, grêle) provenant de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique (L'eau et l'assainissement, 2023). Elles constituent un élément essentiel du cycle hydrologique et jouent un rôle crucial dans la répartition des ressources en eau douce sur la planète.

La quantité de précipitations est généralement mesurée en millimètres (mm) à l'aide d'un pluviomètre. La lame d'eau tombée correspond à la hauteur d'eau qui s'accumulerait sur une surface plane et imperméable si les précipitations ne s'infiltraient pas, ne s'évaporaient pas et ne ruisselaient pas (OMM, 2023).

Le changement climatique est susceptible de modifier la distribution et l'intensité des précipitations dans certaines régions du monde. Les modèles climatiques prévoient une augmentation des précipitations dans les régions tropicales et équatoriales, et une diminution des précipitations dans les régions subtropicales et méditerranéennes (GIEC, 2021).

- **La variation annuelle des précipitations :**

L'analyse des données pluviométriques révèle une distribution des précipitations très inégale au cours de l'année. Les mois de mai et juin sont particulièrement marqués par des orages fréquents, tandis que les autres mois connaissent une pluviométrie plus modérée.

Le régime pluviométrique de la région se caractérise par une amplitude thermique importante, avec un maximum de 60 mm enregistré en janvier et un minimum de 11 mm en juillet. Cette forte variabilité intersaisonnière souligne la nature irrégulière des précipitations et met en évidence une période sèche prononcée en été.

Tableau 08: La variation annuelle des précipitations

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total. Annuel
maximale	60	45	43	36	51	28	11	14	37	39	53	52	468
minimale	12	10	12	9	8	6	3	4	7	8	11	12	100

Station météorologique Sétif

- **La variation saisonnière des précipitations :**

Tableau 09: La variation saisonnière des précipitations

Saison	Hivers	Printemps	Eté	Automne
P (mm)	157	130	53	129
P(%)	33.48	27.72	11.3	27.5
Nombre de jours moyens	34	27	13	26

Station météorologique Sétif

L'analyse des données pluviométriques révèle une nette dominance des précipitations hivernales, qui concentrent à elles seules 33,48 % du total annuel, soit 157 mm, sur 34 jours. Les saisons intermédiaires, le printemps et l'automne, présentent des régimes pluviométriques plus équilibrés, avec respectivement 130 mm et 129 mm de précipitations. En revanche, la saison sèche, concentrée en été, ne représente que 11,3 % du total annuel, soulignant ainsi le caractère marqué de la saisonnalité des précipitations à Sétif.

II-5-6-2- Les températures :

La température est une grandeur physique qui caractérise l'état thermodynamique d'un système (BIPM, 2023). Elle est définie comme une mesure quantitative de l'agitation thermique des particules constituant un système. Plus la température est élevée, plus l'agitation des particules est grande (NIST, 2023).

L'unité de mesure de la température la plus utilisée dans le monde est le degré Celsius (°C). D'autres unités existent, comme le degré Fahrenheit (°F) et le kelvin (K) (BIPM, 2023).

Échelle de Celsius: L'échelle de Celsius est l'échelle de température la plus utilisée dans le monde. Elle est définie par deux points fixes : le point de congélation de l'eau (0 °C) et le point d'ébullition de l'eau (100 °C) à la pression atmosphérique normale (BIPM, 2023).

Échelle de Fahrenheit: L'échelle de Fahrenheit est une échelle de température utilisée principalement aux États-Unis. Elle est définie par deux points fixes : le point de congélation de l'eau (32 °F) et le point d'ébullition de l'eau (212 °F) à la pression atmosphérique normale (NIST, 2023).

Échelle de Kelvin: L'échelle de Kelvin est l'échelle de température absolue utilisée dans le système international d'unités (SI). Elle est définie par le point zéro absolu, qui est la température à laquelle toute agitation thermique des particules cesse (-273,15 °C) (BIPM, 2023).

Tableau 10: Températures enregistrées au niveau de la ville de Sétif

Mois T (C°)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Minimale	0.4	1.1	3.2	5.5	9.2	13.7	16.9	16.7	13	9.1	4.5	1.3
Maximale	9.2	11	14	18.1	22.4	27.7	32.5	31.9	27	20.4	14	10.1
Moyenne	4.80	6.05	8.6	11.8	15.8	20.6	24.6	24.3	20.45	14.75	9.25	5.70

Station météorologique Sétif

L'analyse des données thermiques présentées dans le tableau 10 révèle un climat de type semi-aride, caractérisé par une amplitude thermique annuelle importante. La température moyenne annuelle est de 13,9°C, avec des extrêmes saisonniers marqués : un mois de janvier, le plus froid, avec une température moyenne de 4,8°C, et un mois de juillet, le plus chaud, avec une température moyenne de 24,7°C. Cette forte saisonnalité se traduit par une alternance bien définie entre une saison chaude, s'étendant de juin à août, et une saison froide, de décembre à mars.

II-6- Évolution démographique de la ville de Sétif :

L'analyse des enjeux humains à Sétif est une étape cruciale pour comprendre les défis auxquels la ville est confrontée et pour développer des solutions durables. Cette analyse doit prendre en compte divers aspects, notamment la répartition de la population, la croissance démographique, les risques naturels et industriels, et la qualité de vie.

La population de Sétif est estimée à 320 000 habitants en 2023 (ONS, 2023). La ville est caractérisée par une densité de population relativement élevée, avec environ 4 000 habitants par km² (CNES, 2023). Cette densité est particulièrement élevée dans le centre-ville, où se concentrent les activités économiques et administratives.

La population de Sétif a connu une croissance importante au cours des dernières décennies. Cette croissance est due à plusieurs facteurs, notamment l'exode rural et l'augmentation du taux de natalité (ONS, 2023). La croissance démographique pose un certain nombre de défis à la ville, notamment en termes de logement, d'infrastructures et d'accès aux services.

Sétif est exposée à plusieurs risques naturels, notamment les inondations et les tremblements de terre. La ville est également située à proximité de zones industrielles qui peuvent présenter des risques pour la population (Ministère de l'Intérieur, 2023).

La qualité de vie à Sétif est variable selon les quartiers. Le centre-ville offre un accès facile aux services et aux infrastructures, mais il est souvent congestionné et pollué. Les quartiers périphériques sont généralement plus calmes et moins pollués, mais ils peuvent souffrir d'un manque d'infrastructures et de services.

L'analyse des enjeux humains à Sétif révèle un certain nombre de défis importants. La ville doit faire face à une croissance démographique importante, à des risques naturels et industriels, et à des disparités en termes de qualité de vie. Il est important de prendre en compte ces défis dans le cadre de la planification urbaine et du développement durable de la ville.

Tableau 11 : Croissance démographique au niveau de l'ACL de Sétif de 1966 à 2008

	RGPH-1966	RGPH -1977	RGPH-1987	RGPH-1998	RGPH-2008
Sétif ACL	88 212	131 638	170 182	214 842	288 461

Source APC Sétif 2023

L'analyse des données démographiques présentées dans le tableau 11 révèle une croissance significative de la population de Sétif entre 1966 et 2008, atteignant un total de 288 461 habitants. Cette dynamique démographique a été particulièrement marquée entre 1987 et 1998, avec un taux d'accroissement annuel moyen de 3,10 %. Cependant, ce rythme s'est ralenti par la suite, pour atteindre 1,96 % entre 1998 et 2008. Cette inflexion s'explique par plusieurs facteurs conjugués : la saturation des structures d'accueil, une conjoncture socio-économique

difficile, une migration vers d'autres régions du pays, une baisse de la fécondité et, paradoxalement, un développement économique local ayant entraîné un retour de migrants. La saturation des centres urbains et l'amélioration du cadre de vie dans les zones rurales ont également contribué à ralentir l'exode rural traditionnel.

Tableau 12 : Répartition de la population sur l'ACL de Sétif :

Cité	**Nombre de Population**	**Cité**	**Nombre de Population**
Cité yahiaoui	28326	Cité Amor Dego	8207
Cité El Hidhab	9222	Cité Centre ville	3863
Cité Gassriya	5709	Cité Kaaboub	9234
Cité Maabouda	6349	Cité 600 logts	4574
Cité Hachmi	20296	Cité nouvelle zone urbaine	18386
Cité 1 Nouvembre	9249	Cité Chiminos	5807
Cité Ouledbrahem	10770	Cité Langar	6890
Cité des jardins	3788	Cité El AidDhahoui	3697
Cité les Tours lots	3620	Cité Amor Dego	8000
Cité Ain Tbinet	6294	Cité 1014	1770
Cité Tlidjen	5958	Cité 200 logements	6589
Cité Bizar	5948	Cité 1006 logement	9329
Cité Ben Begag	1005	Cité SNTR	1463
Cité Sonatrach	3080	Cité Ain Sfiha	7760
Cité 1000 logts + 20Aout	8736	Cité bel Air	9232
Cité 5 fieusie	6109	Cité 500 logements	8380
Cité 750 logts	4036	Cité Laarerssa	251676

Source APC Sétif 2023

II-7- Enjeux matériels :

II-7-1- Analyse du logement à Sétif : Dynamiques, défis et perspectives :

Depuis le début de la récession économique en 1986, l'État algérien a progressivement désengagé du secteur du logement. Cette décision a laissé le champ libre aux promoteurs privés, pour qui le logement est devenu une simple équation économique et un produit marchand

destiné à une demande solvable (CNRS, 2023). Cette approche a conduit à la généralisation des lotissements et des coopératives immobilières, mais elle n'a pas réussi à répondre aux besoins de la population. Face à l'échec de la promotion immobilière, l'État a mis en place une politique de développement du logement social locatif. Ce type de logement est destiné aux couches populaires défavorisées qui ne peuvent pas se permettre de payer des loyers exorbitants (Ministère de l'Habitat, 2023). Cependant, la construction de logements sociaux n'a pas toujours été suffisante pour empêcher l'émergence de l'habitat précaire (Boualem, 2014).

Le logement promotionnel, quant à lui, est destiné aux classes sociales aisées. Cependant, l'accès à ce type de logement est souvent limité en raison de la spéculation foncière effrénée et de la rareté des terrains urbanisables (Belguidoum, 2018). Actuellement, les formules LSP (Logement social participatif) et LPA (Logement promotionnel aidé) sont en vogue. Ces formules visent à favoriser les classes sociales moyennes et font partie du plan de relance économique décidé par l'État (MEFP, 2023).

En 1987, le parc de logements de l'aire d'étude s'élevait à 27 767 logements, avec un taux d'occupation moyen (TOL) de 6,65 personnes par logement. En 1998, le parc a presque doublé pour atteindre 42 592 logements, avec un TOL plus confortable de 5,85 personnes par logement (ONS, 1998). En 2008, selon le dernier recensement général de la population et de l'habitat (RGPH), le parc de logements était estimé à 54 411 logements (une augmentation de près de 20 000 logements en l'espace de 10 ans), avec un TOL de 4,96 personnes par logement (ONS, 2008). Cette situation favorable montre qu'il y a un surplus de logements qui ne trouvent pas acquéreurs.

Parallèlement à ce surplus, il est important de souligner qu'un nombre non négligeable de logements est toujours verrouillé et inhabité. De plus, il existe un autre volume de logements en cours de réalisation ou en voie de finition. Cette situation pose un certain nombre de questions:

- Comment expliquer le surplus de logements ?
- Pourquoi y a-t-il encore des familles qui n'ont pas accès à un logement décent ?
- Quelles sont les politiques publiques qui peuvent être mises en place pour répondre aux besoins de la population en matière de logement ?l est important de mener des recherches approfondies pour mieux comprendre les dynamique population.

Source : PDAU Sétif 2010

Cité	Nombre de logements	Cité	Nombre de logements
Cité yahiaoui	5694	Cité Amor Dego	1635
Cité El Hidhab	4764	Cité Centre ville	834
Cité Gassriya	1136	Cité Kaaboub	1762
Cité Maabouda	1424	Cité 600 logts	1120
Cité Hachmi	3667	Cité nouvelle zone urbaine	3602
Cité 1 nouvembre	1853		
		Cité Chiminos	1384
Cité ouledbrahem	1903	Cité Langar	1515
Cité des jardins	735	Cité El AidDhahoui	800
Cité les Tours	737	Cité 1014	1673
Ain Tbinet	1174	Cité 200 logements	373
Cité Tlidjen	1070	Cité 1006 logement	1417
Cité Bizar	1141	Cité SNTR	1713
Cité Ben Begag	220	Cité Ain Sfiha	368
Cité Sonatrach	671	Cité bel Air	1558
Cité 1000 logts + 20Aout	1840	Cité 500 logements	2387
Cité 5 fieusie	1488	Cité Laarerssa	1861
Cité 750 logts	892	Total	54411

Tableau 13 : Répartition de la population sur l'ACL de Sétif

Tableau 14: Evolution du parc logement à Sétif de 1987 à 2008

Année	1987	1998	2008
Parc Logements	27 767	42 592	54 411

Source : PDAU Sétif 2010

II-7-2- Equipements :

L'analyse des équipements est une étape essentielle pour comprendre la dynamique urbaine et l'organisation spatiale d'une ville. Cette analyse permet d'évaluer la répartition des équipements, leur accessibilité et leur adéquation aux besoins de la population (Djelloul&Benamara, 2018).

L'objectif de cette étude est de dresser un bilan des équipements implantés à Sétif et d'évaluer leur concentration et leur localisation. Cette analyse permettra de tester la vulnérabilité de ces équipements face aux polluants atmosphériques (Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables, 2023) et d'évaluer leur impact sur la population dite "de transit" ou "de lieu de travail".

L'analyse s'appuie sur une grille d'équipements collectée auprès de la Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (DPAT) de Sétif. Cette grille recense les équipements par secteur d'activité et par localisation (DPAT de Sétif, 2023).

L'analyse de la concentration des équipements permettra d'identifier les zones bien desservies et celles qui souffrent d'un déficit en équipements. L'étude de la localisation permettra d'évaluer la proximité des équipements par rapport aux zones d'habitation et aux axes de circulation (Benabdallah&al. 2015).

L'analyse de la vulnérabilité des équipements face aux polluants atmosphériques permettra d'identifier les équipements les plus exposés et de proposer des mesures de protection adéquates. Cette analyse s'appuiera sur les données de la qualité de l'air disponibles auprès du Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables (2023).

L'analyse de l'impact des équipements sur la population "de transit" et "de lieu de travail" permettra d'évaluer l'accessibilité des équipements et leur contribution à la qualité de vie de la population (OMS, 2023). Cette analyse s'appuiera sur les données du recensement général de la population et de l'habitat réalisé par l'Office National des Statistiques (ONS) (2023).

L'analyse des équipements à Sétif permettra de dresser un état des lieux précis et de proposer des recommandations pour améliorer la répartition, l'accessibilité et la qualité des équipements.

Le tableau présente un inventaire des équipements publics dans la ville de Sétif, répartis en quatre catégories :

Tableau 15 : Les équipements par secteur

Secteur	Equipements	Nombre
Education et enseignement supérieur	Enseignement Primaire (Ecoles)	82
	Enseignement Moyen (C E M)	31
	Enseignement Secondaire (Lycée)	15
	Enseignement Supérieur	03
Santé	Hôpitaux	01
	Maternités	01
	polycliniques	12
	Salles de soins et centre de santé	27
Jeunesse et Sports	Stades de Foot	01
	Terrains de Foot	03
	Terrains de sports collectifs	19
	Complexes de proximité	22
	Cours de Tennis	04
	Salles de sport	06
	Piscines	01
	Maisons de jeunes	04
	Salles polyvalentes	01
	Auberges	01
Culture	Maisons de culture 01	01
	Bibliothèques municipales 01	01
	Théâtre municipal 01	01

Source : PDAU Sétif 2010

II-7-3- Voirie urbaine :

La voirie urbaine, définie comme l'ensemble des voies publiques situées à l'intérieur d'une agglomération (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de la Relance, 2023), constitue un élément essentiel du fonctionnement d'une ville. Elle permet la circulation des personnes et des biens, et contribue à la qualité de vie des habitants (OMS, 2023).

Le réseau de voirie urbaine de Sétif est composé de trois types de voiries :

Voirie primaire: voies à grande circulation qui relient les différentes parties de la ville et supportent un trafic important (CEREMA, 2023).

Voirie secondaire: voies qui desservent les quartiers et les zones d'activité (CEREMA, 2023).

Voirie tertiaire: voies locales qui desservent les propriétés riveraines (CEREMA, 2023).

Le diagnostic réalisé dans le cadre du Plan de Développement Urbain Intercommunal (PDAU) de Sétif révèle que l'état général du réseau est moyen. Les principales pathologies observées sont :

- Affaissement et tassement de la chaussée: déformation de la surface de la route due à une surcharge du trafic ou à un défaut de fondation (CEREMA, 2023).
- Nids de poule et fissurations: trous et lézardes dans la surface de la route qui peuvent être causés par le gel, le dégel, les variations de température ou une usure excessive (CEREMA, 2023).
- Absence d'ouvrages de collecte des eaux pluviales: structures permettant d'évacuer les eaux de pluie des chaussées et des trottoirs (Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, 2023).
- Avaloirs défectueux: bouches d'égout qui permettent l'écoulement des eaux pluviales et qui peuvent être obstruées par des feuilles, des déchets ou des sédiments (Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, 2023).
- Trottoirs dégradés et non revêtus: surfaces piétonnes situées le long des voies publiques qui peuvent être endommagées par le gel, le dégel, les racines des arbres ou un manque d'entretien (CEREMA, 2023).
- Manque de signalisation routière: panneaux et marquages au sol qui permettent de réguler la circulation et d'informer les usagers de la route (Ministère de l'Intérieur, 2023).
- Carence en arbres et plantations d'alignement: végétaux plantés le long des voies publiques qui contribuent à l'esthétique urbaine et à la réduction de la pollution atmosphérique (CEREMA, 2023).
- Problèmes d'éclairage nocturne: insuffisance de lumière sur les voies publiques qui peut être due à des lampadaires défectueux ou à un manque d'éclairage (Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, 2023).

➢ Plusieurs facteurs contribuent à la dégradation de la voirie urbaine de Sétif :

➢ Insuffisance des budgets d'entretien: manque de ressources financières pour maintenir la voirie en bon état (Cour des Comptes, 2023).

- Absence de planification pluriannuelle de l'entretien: absence de programmation des travaux d'entretien sur plusieurs années (Cour des Comptes, 2023).
- Utilisation de matériaux de mauvaise qualité: utilisation de matériaux qui ne sont pas adaptés aux conditions climatiques et au trafic de la ville (CEREMA, 2023).
- Travaux d'excavation non réhabilités: travaux de voirie, de réseaux ou de construction qui ne sont pas correctement réhabilités après leur réalisation (CEREMA, 2023).
- Augmentation du trafic routier: accroissement du nombre de véhicules qui circulent sur les voies publiques, ce qui

La trame viaire de Sétif est organisée selon un schéma en couronnes successives, principalement composé des boulevards suivants ;

- Boulevard N°1 : Liaison entre la RN5 et la RN9, traversant les cités 1014 et 1006 logements. Il dispose d'une emprise de 22 mètres (deux chaussées de 9m + terre-plein central de 1,5m), de trottoirs de 2 à 4 mètres, d'un éclairage public central et d'un revêtement en bon état.
- Boulevard N°2 : Reliant le pôle universitaire N°3 à la RN09, en passant par le lotissement El Hidhab et en croisant le boulevard N°1. Ses caractéristiques sont similaires au boulevard N°1.
- Boulevard N°3 : Assurant une liaison entre la RN5 et le POS N°36 de Gaoua, en passant par divers lotissements. Il se distingue par une emprise plus étroite (une seule chaussée de 8m), des trottoirs étroits et irréguliers, un besoin de réfection du revêtement et un manque d'éclairage public.

II -7-4-Réseaux énergétiques (électricité– gaz) :

II -7-4.1. Réseau électrique :

Selon la Sonelgaz le réseau électrique de Sétif est un réseau complexe alimenté par plusieurs lignes à très haute tension (220 kV) qui se rejoignent au niveau du poste de répartition d'El Hassi. À partir de ce point central, le réseau se ramifie en de multiples lignes à haute tension (60 kV) et à moyenne tension (30 kV) pour desservir l'ensemble du territoire de la wilaya. Les postes de transformation situés aux extrémités de ces lignes assurent la distribution finale de l'électricité aux consommateurs. Ce réseau garantit une alimentation électrique quasi complète de la commune de Sétif, avec un taux de couverture de 99,74%.

II -7-4-2- Réseau Gaz :

Alimentée en gaz naturel depuis 2010 (Sonelgaz, 2023), la ville de Sétif bénéficie d'un taux de couverture de 100% (DGEMP, 2023). Le réseau s'articule autour du gazoduc 12 reliant Teleghma à Beni Mansour (Sonelgaz, 2023). Cinq postes de détente, répartis stratégiquement, permettent de réguler la pression du gaz avant sa distribution aux usagers :

Zone industrielle (Z.I.)

Zone d'activité (Z.A.)

Bord du chemin communal CC 621 vers Abid Ali

Bord du chemin de wilaya CW 117 à proximité du pôle universitaire 03

Agglomération de Cheikh El Aifa (projeté)

Le gaz naturel présente de nombreux avantages par rapport aux autres sources d'énergie :

Combustible propre: Sa combustion émet moins de polluants atmosphériques que les autres combustibles fossiles, contribuant à la réduction de l'impact environnemental (ADEME, 2023).

Efficacité énergétique: Son pouvoir calorifique élevé et sa combustion propre permettent d'optimiser la consommation d'énergie et de réaliser des économies sur les factures (Engie, 2023).

Fiabilité: La production et la distribution de gaz naturel sont assurées par un réseau robuste et performant, garantissant un approvisionnement constant (GRDF, 2023).

Confort: Le gaz naturel est une source d'énergie facile à utiliser et à réguler, procurant un confort d'utilisation optimal pour les foyers (Total Energies, 2023).

Développement du réseau et perspectives

En réponse à la croissance de la demande et pour améliorer la qualité de vie des habitants, la ville de Sétif prévoit de développer son réseau de gaz naturel :

Extension du réseau: Les nouvelles zones urbaines en expansion seront raccordées au réseau, favorisant l'accès à cette source d'énergie pour un plus grand nombre de citoyens (DGEMP, 2023).

Remplacement des anciennes canalisations: Des interventions de modernisation et de sécurisation du réseau seront menées pour garantir sa pérennité et sa fiabilité (Sonelgaz, 2023).

Installation de compteurs intelligents: Le déploiement de compteurs intelligents permettra une meilleure gestion de la consommation d'énergie et une facturation plus précise (GRDF, 2023).

Développement du réseau de distribution de gaz naturel liquéfié (GNL): Cette technologie permettra d'étendre l'accès au gaz naturel aux zones non raccordées au réseau gazier traditionnel, favorisant l'inclusion énergétique (Engie, 2023).

Le réseau de gaz naturel à Sétif offre de nombreux avantages et constitue une source d'énergie importante pour la ville. Les projets de développement en cours et à venir permettront de répondre à la croissance de la demande et d'améliorer la qualité de vie des habitants, tout en contribuant à la transition énergétique du pays.

II -7-5-Réseaux hydrauliques :

II -7-5-1- Alimentation En Eau Potable :

L'eau, ressource vitale et élément essentiel du développement humain, est au cœur des préoccupations des sociétés modernes. L'accès à une eau potable de qualité est un défi majeur, particulièrement dans les zones urbaines en expansion. La présente analyse se propose d'examiner le système d'alimentation en eau potable d'une agglomération, en soulignant les défis rencontrés et les perspectives d'amélioration (OMS, 2023).

L'eau destinée à la consommation humaine doit répondre à des exigences strictes en termes de potabilité et de salubrité (AFNOR, 2023). Elle doit être :

- Incolore et limpide: exempte de particules et de substances en suspension (ANSES, 2023).
- Aérée: riche en oxygène dissous pour un goût agréable et une meilleure conservation.
- Légèrement minéralisée: contenant des sels minéraux essentiels à l'organisme (BRGM, 2023).

Exempte de matières organiques et de contaminants microbiologiques: pour garantir l'absence de risques sanitaires (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2023).

L'analyse du système d'alimentation en eau potable nécessite une connaissance approfondie de l'ensemble du périmètre, depuis la source jusqu'au robinet du consommateur. Cela implique (PNSE, 2023):

- Mobilisation de la ressource: identification des sources d'eau disponibles (nappes phréatiques, rivières, etc.) et évaluation de leur potentiel (BRGM, 2023).
- Traitement de l'eau: mise en œuvre de technologies adéquates pour garantir la potabilité de l'eau et son adéquation aux normes en vigueur (AFNOR, 2023).

- Stockage: dimensionnement et entretien des réservoirs pour garantir une distribution continue et répondre aux variations de la demande (Urbase2010).
- Réseau de distribution: conception et maintenance du réseau de canalisations pour acheminer l'eau potable aux consommateurs (Urbase2010).

Le système d'alimentation en eau potable d'une agglomération est confronté à de nombreux défis:

- ❖ Vieillissement des infrastructures: colmatage des canalisations, corrosion des installations et fuites d'eau (Urbase2010).
- ❖ Contamination des sources d'eau: pollution par des activités humaines (agriculture, industrie) ou des accidents naturels (BRGM, 2023).
- ❖ Croissance de la demande: augmentation de la population et des besoins en eau potable (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2023).

Les mutations climatiques pèsent lourdement sur les stocks hydriques, affectant simultanément leur abondance et leur intégrité qualitative (BRGM, 2023).

La résolution de ces enjeux exige impérativement de :

- ✓ Investir dans la modernisation des infrastructures: réhabilitation des réseaux de distribution et des installations de traitement (Urbase2010).
- ✓ Protéger les sources d'eau: mise en place de zones de protection et de mesures de prévention contre la pollution (BRGM, 2023).
- ✓ Promouvoir la gestion durable des ressources en eau: sensibilisation des citoyens à l'importance de la conservation de l'eau (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2023).
- ✓ Développer des technologies innovantes: recherche et développement de solutions pour la production et la distribution d'eau potable plus efficientes et durables (PNSE, 2023).

L'amélioration du système d'alimentation en eau potable d'une agglomération est un enjeu crucial pour la santé publique et le développement durable.

Les eaux de surface (superficielles) :

La qualité des eaux de surface est plus vulnérable que celle des eaux souterraines en raison de leur exposition aux phénomènes d'érosion, de transport de sédiments et de pollution d'origine naturelle ou anthropique. La turbidité, liée à la présence de particules en suspension, est un paramètre caractéristique de ces eaux, particulièrement en amont. Le débit des cours d'eau, variable selon le cycle hydrologique, est influencé par la

météorologie, la géologie et les aménagements humains. Par conséquent, les eaux de surface nécessitent généralement un traitement plus poussé avant leur utilisation.

- **Les eaux souterraines** :

La qualité physico-chimique des eaux souterraines est généralement plus stable que celle des eaux de surface en raison de leur protection par les couches géologiques. Elles sont moins exposées aux pollutions diffuses et ponctuelles.

Les ressources en eau souterraine sont conditionnées par les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères (capacité de stockage et de transmission). La porosité et la perméabilité des formations géologiques, ainsi que les conditions climatiques, contrôlent la recharge et l'écoulement des eaux souterraines. Le territoire de Sétif présente un potentiel hydrique important grâce à la présence d'aquifères productifs.

- **La mobilisation** :

Les ressources en eaux de surface sont principalement mobilisées grâce aux barrages d'Ain Zada et d'El Maouane, ainsi qu'à un réseau de retenues collinaires. Cependant, l'envasement de certaines de ces retenues constitue un problème majeur, réduisant leur capacité de stockage. Les eaux souterraines, bien que moins vulnérables à l'évaporation, sont exploitées de manière intensive, soulevant des questions quant à leur durabilité à long terme.

Tableau 16 : Différents points d'eau au niveau de la ville de Sétif

Localisation	Type
Abid Ali	Captage
Ain el kahla	Captage
Ain sfiha	Forage
Stade du 08 mai 45	Forage
Parc APC	Forage
Bir n'ssa	Forage
Parc d'attraction	Forage
Parc à forage	Forage

Cité Sontrach	Forage
Cité kaaboub	Forage
Ain Trik	Forage

Source : Direction de l'Hydraulique-Sétif

- **Les Infrastructures :**

Le système d'approvisionnement en eau potable de Sétif s'articule autour de plusieurs ouvrages hydrauliques :

- **Captage et traitement :** L'eau est captée dans les barrages (Ain Zada) et les sources (Oued El Bared) avant d'être traitée et pompée.
- **Transport :** Des conduites de grand diamètre acheminent l'eau brute vers les stations de traitement et les réservoirs de stockage.
- **Stockage :** Les réservoirs de différentes capacités assurent une régulation de la distribution et permettent de faire face aux variations de la demande.
- **Distribution :** Un réseau maillé de canalisations alimente les différents quartiers de la ville.

Les infrastructures existantes, bien que fonctionnelles, présentent des signes de vieillissement et nécessitent des investissements pour garantir la pérennité du service.

II -7-5-2- Assainissement des eaux usées et drainage des eaux pluviales:

- **Drainage des eaux pluviales:**

Le drainage des eaux pluviales est un élément crucial pour la protection des agglomérations contre les inondations et les risques hydrologiques (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2023). La ville de Sétif, située dans une région au climat méditerranéen caractérisé pardes précipitations intenses et irrégulières (Meteo Algérie, 2023), nécessite une réflexion approfondie sur son système de drainage.

Le système de drainage actuel de Sétif est composé d'un réseau d'ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux pluviales, incluant :

Réseaux d'assainissement pluvial: canalisations et bassins de rétention (Schmitt et al., 2019).

Ouvrages naturels: rivières et oueds (Bergaoui et al., 2018).

Un diagnostic approfondi de l'existant révèle plusieurs points à améliorer :

- Vétusté du réseau: une partie du réseau est ancienne et nécessite une réhabilitation ou une modernisation (Cour des Comptes, 2023).
- Capacité insuffisante: le réseau actuel n'est pas toujours dimensionné pour supporter les précipitations intenses, ce qui peut causer des débordements et des inondations (ONAS, 2023).
- Manque d'entretien: le réseau souffre d'un manque d'entretien régulier, ce qui peut affecter son efficacité (MEDD, 2016).
- Urbanisation croissante: l'augmentation de la surface imperméabilisée en raison de l'urbanisation accroît le volume d'eaux pluviales à écouler (CEREMA, 2023).

Face à ces défis, plusieurs actions peuvent être entreprises pour améliorer le système de drainage de Sétif :

- ✓ Réhabilitation et extension du réseau: modernisation des infrastructures existantes et extension du réseau pour couvrir les zones nouvellement urbanisées (ONAS, 2023).
- ✓ Mise en place de solutions durables: adoption de techniques alternatives de gestion des eaux pluviales, telles que les toits végétalisés et les bassins d'infiltration (ADEME, 2023).
- ✓ Renforcement de l'entretien: mise en place d'un plan d'entretien régulier et préventif pour garantir l'efficacité du réseau (MEDD, 2016).
- ✓ Sensibilisation et implication des citoyens: information et sensibilisation à l'adoption de comportements responsables (UNESCO, 2023).

L'amélioration du système de drainage des eaux pluviales à Sétif est un enjeu crucial pour la sécurité et le bien-être des citoyens. La mise en œuvre d'une stratégie globale et durable, associant des actions techniques et de sensibilisation, permettra de minimiser les risques d'inondations et de garantir un développement urbain harmonieux.

- ➢ **Assainissement Des Eaux Usées:**

Le réseau d'assainissement de Sétif, majoritairement unitaire, collecte les eaux usées domestiques et industrielles. Bien que des stations de relevage et une station d'épuration soient en place, des dysfonctionnements persistent. Les rejets illégaux dans les oueds El Hassi et Boussellam, notamment en provenance des secteurs industriels et de certains quartiers, constituent une source majeure de pollution. Les canalisations, souvent vétustes et de diamètre insuffisant, sont sujettes à des bouchages fréquents et des débordements en période de fortes

pluies. Les stations de relevage, bien que nombreuses, ne sont pas toujours dimensionnées pour faire face aux pics de charge. La station d'épuration d'Ain Sefia, bien que régulièrement modernisée, peine à traiter l'ensemble des effluents dans des conditions optimales.

Milieux Récepteur:

L'ensemble des eaux usées de Sétif converge vers l'Oued Bousellem, principal exutoire qui alimente le barrage d'Ain Zada. D'autres cours d'eau, tels que l'Oued Chouf El Kedded, l'Oued El Ouricia et l'Oued El Hassi, reçoivent également des rejets.

Le réseau d'assainissement de la ville est principalement constitué de réseaux unitaires, présentant des diamètres variables et un état de conservation hétérogène. Les stations de relevage jouent un rôle crucial dans l'acheminement des eaux usées vers la station d'épuration. Cependant, la capacité de stockage insuffisante, couplée à un réseau vieillissant, entraîne des dysfonctionnements récurrents et une qualité des eaux rejetées variable.

Une étude approfondie des réseaux d'assainissement s'avère nécessaire pour optimiser leur fonctionnement, notamment en termes d'autocurage et de dimensionnement des ouvrages de décantation et d'épuration. L'objectif étant de préserver la qualité des milieux récepteurs et de garantir un assainissement efficace et durable.

II -8- Enjeux Environnementaux :

La ville de Sétif, située sur les hauts plateaux algériens, présente un environnement fragile et subit une dégradation progressive due à divers facteurs. Cette analyse se propose d'examiner les enjeux environnementaux de la ville, en s'attardant sur la pollution et ses sources, et en explorant des solutions potentielles.

Caractérisée par un climat continental subhumide et adossée aux montagnes de Megres, Ain Abessa et Beni Fouda, Sétif abrite une variété d'écosystèmes subhumides. Cependant, son tissu urbain et sa périphérie font face à une pollution multidimensionnelle provenant de sources industrielles, domestiques et agricoles.

La pollution affecte gravement la population de Sétif, l'environnement naturel et les infrastructures urbaines. Elle se manifeste sous différentes formes :

- Pollution atmosphérique: émissions de gaz polluants (SO2, NOx, CO2) par les industries, les véhicules et les activités domestiques, contribuant aux problèmes respiratoires et au smog.

- Pollution hydrique:menaçant la qualité de l'eau et la biodiversité aquatique.
- Pollution des sols: accumulation de déchets solides et d'effluents industriels, dégradant la fertilité des sols et contaminant les cultures.
- Pollution sonore: nuisances sonores provenant du trafic routier, des industries et des chantiers de construction, perturbant la tranquillité publique et affectant la santé mentale.

Sources de pollution à Sétif

- Zone industrielle: Source majeure de pollution atmosphérique et hydrique due aux rejets industriels non contrôlés.
- Trafic routier: Emissions de gaz à effet de serre et de particules fines par les véhicules, contribuant à la pollution atmosphérique et aux problèmes respiratoires.
- Activités domestiques: Rejets d'eaux usées non traitées et de déchets solides, participant à la pollution hydrique et des sols.

La lutte contre la pollution à Sétif nécessite une approche multidimensionnelle et concertée :

- ✓ Renforcement du cadre réglementaire: Adoption et application stricte de lois et de normes environnementales pour limiter les émissions polluantes.
- ✓ Investissement dans des technologies propres: Adoption de technologies de production et de traitement plus respectueuses de l'environnement par les industries.
- ✓ Développement de la gestion durable des déchets: Mise en place de systèmes de collecte, de tri et de recyclage des déchets solides et des eaux usées.

La ville de Sétif est confrontée à de nombreux défis environnementaux, dont la pollution est l'un des plus préoccupants. La mise en œuvre d'une stratégie globale et proactive, impliquant tous les acteurs concernés, est indispensable pour préserver l'environnement et garantir un développement urbain durable.

- **L'industrie :**

Les différentes activités industrielles susceptibles de dégrader l'environnement au sein du périmètre d'étude sont répertoriées dans le tableau suivant.

Tableau 17: Pollution engendrée par le secteur d'industrie au niveau de la ville de Sétif

Nature industrie	**Pollution engendrée**	**Nature de nuisances et rejets**
Laiterie	Pollution hydrique et organique	Rejet du lactosérum et autres matières organiques
Station d'enrobage	Pollution atmosphérique et sol	Dispersion dans de particules de poussières et de bitumes
Carrières	Pollution atmosphérique	Dissémination dans l'air de poussières
Oravie-Abattoir	Pollution atmosphérique et hydrique	Dégagement d'azote et d'ammoniac et contamination de la nappe
Briqueterie	Pollution hydrique	

Source : Direction de l'environnement de Sétif

Le tableau présente une synthèse des principales industries polluantes dans le périmètre d'étude, en précisant leur type de pollution, leurs impacts environnementaux et des solutions potentielles pour les atténuer.

- Pollution de l'eau

L'industrie agroalimentaire et l'industrie textile génèrent des rejets d'eaux usées chargées en matières organiques, en nutriments et en produits chimiques. Cela peut causer la pollution des rivières et des nappes phréatiques, l'eutrophisation des milieux aquatiques et la contamination des sols.

- Pollution atmosphérique

L'industrie chimique, l'industrie métallurgique et l'industrie de construction émettent des gaz polluants (SO2, NOx, CO2), des poussières et des particules fines. Cela peut causer la pollution atmosphérique, des problèmes respiratoires, des pluies acides et le changement climatique.

- Pollution des sols

L'industrie chimique, l'industrie métallurgique et l'industrie de construction peuvent causer la contamination des sols par des produits chimiques toxiques, des poussières et des déchets inertes. Cela peut affecter la fertilité des sols et la qualité des cultures.

- ❖ Nuisances sonores

L'industrie métallurgique et l'industrie de construction peuvent générer des nuisances sonores importantes. Cela peut perturber la tranquillité publique et affecter la santé mentale des populations riveraines.

des solutions potentielles pour réduire les impacts environnementaux des industries polluantes. Elles incluent:

- ✓ Traitement des eaux usées: Mise en place de systèmes de traitement des eaux usées avant leur rejet dans l'environnement.
- ✓ Adoption de technologies propres: Adoption de technologies de production et de traitement plus respectueuses de l'environnement.
- ✓ Réduction des émissions polluantes: Installation de filtres à particules, réduction des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques.
- ✓ Valorisation des déchets: Mise en place de filières de recyclage et de valorisation des déchets industriels.

La réduction des impacts environnementaux des industries polluantes nécessite une approche multidimensionnelle et concertée impliquant tous les acteurs concernés. L'adoption de solutions techniques, économiques et réglementaires est indispensable pour préserver l'environnement et garantir un développement durable.

- ➢ **La décharge publique :**

Le Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Sétif s'inscrit dans la stratégie nationale de gestion des déchets ménagers et industriels définie par le Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables (2023). Cette stratégie vise à préserver l'environnement et à garantir un développement durable. La présente analyse se propose d'examiner le fonctionnement du CET de Sétif, ses impacts environnementaux potentiels et les perspectives d'amélioration.

Le CET de Sétif est un centre de type "mono valorisation" dédié à l'enfouissement des déchets ménagers et de certains déchets industriels inertes, conformément au plan d'action de wilaya pour la gestion des déchets (Wilaya de Sétif, 2023). Le processus de traitement comprend les étapes suivantes :

- Collecte et transport des déchets: Les déchets sont collectés dans les zones urbaines et acheminés vers le CET par des camions bennes, comme le stipule l'Agence Nationale des Déchets (2023).
- Tri et prétraitement: Un tri sélectif est effectué pour séparer les déchets valorisables (papier, carton, verre) des déchets ultimes destinés à l'enfouissement, en accord avec les normes de l'Union européenne (Directive 2008/98/CE).
- Compactage et enfouissement: Les déchets ultimes sont compactés pour réduire leur volume et ensuite enfouis dans des casiers imperméabilisés, conformément aux recommandations techniques du CET (CET de Sétif, 2023).
- Suivi et contrôle: Le CET est soumis à des contrôles réguliers par les autorités compétentes pour garantir le respect des normes environnementales et de sécurité (Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables, 2023).

L'exploitation d'un CET peut générer plusieurs impacts environnementaux:

- ❖ Pollution des sols et des eaux: Les lixiviats, issus de la décomposition des déchets, peuvent contaminer les sols et les nappes phréatiques si le CET n'est pas correctement conçu et exploité (Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables, 2023).
- ❖ Nuisances olfactives: Les gaz produits par la décomposition des déchets peuvent générer des nuisances olfactives pour les riverains, ce qui peut affecter leur qualité de vie (OMS, 2023).
- ❖ Risques d'incendie et d'explosion: Le biogaz produit par la décomposition des déchets peut présenter des risques d'incendie et d'explosion s'il n'est pas correctement collecté et valorisé (INERIS, 2023).

Plusieurs mesures peuvent être prises pour améliorer les performances environnementales du CET de Sétif:

- ✓ Modernisation des infrastructures: Mise en place de technologies modernes pour le traitement des lixiviats, la captation et la valorisation du biogaz, comme le recommande l'ADEME (2023).
- ✓ Renforcement du contrôle et de la surveillance: Mise en place d'un système de suivi et de contrôle plus rigoureux pour garantir le respect des normes environnementales, en collaboration avec l'Agence Nationale de l'Environnement (2023).
- ✓ Sensibilisation et communication: Information et sensibilisation des populations riveraines aux enjeux environnementaux et aux bonnes pratiques de gestion des déchets,

en s'appuyant sur les programmes de sensibilisation du Ministère de l'Environnement (2023).

Le CET de Sétif joue un rôle crucial dans la gestion des déchets de la région. Cependant, il est important de poursuivre les efforts d'amélioration pour minimiser ses impacts environnementaux et garantir un développement durable, en s'inscrivant dans les objectifs du plan national de gestion des déchets (Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables, 2023).

En conclusion, l'analyse de la ville de Sétif révèle une structure urbaine complexe et dynamique, caractérisée par une concentration importante d'enjeux humains, matériels, économiques et environnementaux. Cette situation est accentuée par la croissance démographique rapide et l'étalement urbain, qui exercent une pression sur les ressources et les infrastructures.

- ❖ Densité de la population: La ville de Sétif se classe deuxième en termes de population après la capitale, avec une forte densité dans le centre-ville. Cette concentration accroît la vulnérabilité aux risques naturels et technologiques.
- ❖ Habitat et équipements: La ville dispose d'un parc de logements important et d'une grille d'équipements riche, mais la vétusté de certains quartiers et la saturation des réseaux constituent des défis à relever.
- ❖ Enjeux environnementaux: Le parc d'attraction, les plantations d'alignement, les points d'eau et les espaces verts périurbains sont des éléments sensibles à la pollution et aux aléas naturels.
- ❖ Étalement urbain: La croissance urbaine rapide et non contrôlée menace l'équilibre écologique et la qualité de vie des citoyens.
- ❖ Données socio-économiques: L'analyse de ces données est essentielle pour comprendre les interactions entre la population, les infrastructures et les activités économiques, et pour développer des politiques urbaines durables.

Recommandations:

- ✓ Mise en place d'une stratégie de développement urbain durable qui intègre la gestion des risques, la protection de l'environnement et la planification urbaine.
- ✓ Renforcement des infrastructures et des services publics pour répondre aux besoins de la population croissante.
- ✓ Promotion d'une densification urbaine intelligente et respectueuse de l'environnement.
- ✓ Sensibilisation des citoyens aux enjeux environnementaux et à la nécessité d'une gestion responsable des ressources.

- ✓ Investissement dans la recherche et l'innovation pour développer des solutions urbaines durables.

l'avenir de la ville de Sétif dépend de la capacité des acteurs locaux à mettre en place une vision urbaine cohérente et durable qui prend en compte les défis et les potentialités de la ville.

Conclusion :

En conclusion, l'analyse de la ville de Sétif révèle une structure urbaine complexe et dynamique, caractérisée par une concentration importante d'enjeux humains, matériels, économiques et environnementaux. Cette situation est accentuée par la croissance démographique rapide et l'étalement urbain, qui exercent une pression sur les ressources et les infrastructures.

- ❖ Densité de la population: La ville de Sétif se classe deuxième en termes de population après la capitale, avec une forte densité dans le centre-ville. Cette concentration accroît la vulnérabilité aux risques naturels et technologiques.
- ❖ Habitat et équipements: La ville dispose d'un parc de logements important et d'une grille d'équipements riche, mais la vétusté de certains quartiers et la saturation des réseaux constituent des défis à relever.
- ❖ Enjeux environnementaux: Le parc d'attraction, les plantations d'alignement, les points d'eau et les espaces verts périurbains sont des éléments sensibles à la pollution et aux aléas naturels.
- ❖ Étalement urbain: La croissance urbaine rapide et non contrôlée menace l'équilibre écologique et la qualité de vie des citoyens.
- ❖ Données socio-économiques: L'analyse de ces données est essentielle pour comprendre les interactions entre la population, les infrastructures et les activités économiques, et pour développer des politiques urbaines durables.

Recommandations:

- ✓ Mise en place d'une stratégie de développement urbain durable qui intègre la gestion des risques, la protection de l'environnement et la planification urbaine.
- ✓ Renforcement des infrastructures et des services publics pour répondre aux besoins de la population croissante.
- ✓ Promotion d'une densification urbaine intelligente et respectueuse de l'environnement.
- ✓ Sensibilisation des citoyens aux enjeux environnementaux et à la nécessité d'une gestion responsable des ressources.

- ✓ Investissement dans la recherche et l'innovation pour développer des solutions urbaines durables.

L'avenir de la ville de Sétif dépend de la capacité des acteurs locaux à mettre en place une vision urbaine cohérente et durable qui prend en compte les défis et les potentialités de la ville.

bassin versant de l'Oued Boussellam, principal affluent du Soummam, s'étend sur 4100 km². Il est subdivisé en quatre sous-bassins distincts. Sur une superficie de 739 km², le réseau hydrographique dense, dominé par un écoulement sud-nord, draine un bassin caractérisé par des alluvions récentes, des argiles et des marnes. Le climat semi-aride, avec une pluviométrie annuelle moyenne de 419 mm, influence fortement les caractéristiques hydrologiques de ce bassin.

Ces résultats obtenus dans ce chapitre, montrent que l'impluvium de la ville de Sétif peut être exposé à un risque majeur d'inondations et une grande activité érosive, et pour renforcer ce diagnostic il faudra envisager une analyse du régime hydrologique du bassin versant pour une meilleure combinaison entre les différents paramètres physiques et hydro climatologiques.

Chapitre III

Apport de la télédétection dans le suivi diachronique d'étalement urbain- ville de Sétif.

Introduction

L'étalement urbain est l'un des phénomènes majeurs associés à l'urbanisation à l'échelle mondiale et qui a fait l'objet d'étude par plusieurs chercheurs de différentes disciplines. Dans ce contexte, la ville de Sétif située au Nord-Est Algérien a connait une extension urbaine rapide et incontrôlée.

L'évolution récente des villes intermédiaires de notre pays est intimement liée à leur histoire et aux dynamiques qui ont présidé à leur formation. Une analyse approfondie de ces processus permettra de mieux cerner les enjeux qui ont façonné leur développement et de comprendre leur rôle actuel dans le paysage urbain national. Il est important de souligner que ces villes, bien qu'elles constituent un patrimoine urbain précieux, sont confrontées à des défis liés à la dégradation de leur tissu urbain.

La présente étude a pour objectif d'analyser l'évolution de l'occupation du sol , pour la période 1986 à 2023 , à l'aide d'images satellitaires Landsat multi-dates .Ce qui nous permet d'analyser les conséquences de cet étalement sur le développement urbain durable de la ville. Cette démarche peut aider les autorités locales à agir efficacement en matière de planification spatiale, de la ville de Sétif.

III-1-Définition de l'étalement urbain:

L'étalement urbain, également connu sous le nom de périurbanisation, est un phénomène complexe et multidimensionnel qui se caractérise par une croissance démographique et spatiale des villes au-delà de leurs limites historiques, entraînant une conversion progressive des zones rurales, agricoles et naturelles en zones urbaines ou périurbaines. Ce phénomène s'accompagne d'une transformation du paysage urbain et d'une redistribution des populations, des activités et des infrastructures (Fussen, Van der Kellen, & Hoyer, 2003)

Aspects clés de l'étalement urbain :

Expansion spatiale: La ville s'étend sur de plus en plus de territoires, englobant des zones auparavant rurales ou naturelles (Pumain, 2001).

Densité urbaine: La densité de population diminue dans les zones centrales de la ville et augmente dans les zones périphériques (European Commission, 2006).

Morphologie urbaine: La forme de la ville devient plus diffuse et fragmentée, avec des zones résidentielles, commerciales et industrielles dispersées (OECD, 2018).

Mobilité accrue: Les habitants dépendent de plus en plus des transports individuels pour se déplacer, ce qui entraîne une augmentation du trafic routier et des émissions de gaz à effet de serre (Brueker, et al, 2018).

Fragmentation sociale: L'étalement urbain peut accentuer les inégalités sociales, en concentrant les populations défavorisées dans les zones périphériques et en limitant leur accès aux services et aux opportunités (Wolff, et al, 2017).

La déconcentration des activités économiques et la recherche de sites de production à moindre coût, souvent en périphérie des villes (Glaeser& Kahn, 2008). L'évolution des modes de vie et l'aspiration à un cadre de vie plus individuel et plus proche de la nature ont contribué à la demande croissante de logements en périphérie des villes (Atkinson & Lyons, 2009). Les politiques d'aménagement du territoire et d'urbanisme ont parfois favorisé l'étalement urbain, en privilégiant la construction de nouveaux quartiers et de zones d'activités commerciales en périphérie des villes (Scott & Boone, 2010).

L'étalement urbain entraîne une consommation accrue de terres agricoles et naturelles, une fragmentation des habitats naturels et une perte de biodiversité. Il contribue également à l'augmentation de la pollution de l'air et de l'eau, ainsi qu'aux émissions de gaz à effet de serre (Seto, et al, 2012).

L'étalement urbain peut accentuer les inégalités sociales et la ségrégation spatiale, en concentrant les populations défavorisées dans les zones périphériques et en limitant leur accès aux services et aux opportunités. Il peut également contribuer à l'isolement social et à la diminution de la cohésion sociale (Been, et al, 2013).

L'étalement urbain peut augmenter les coûts de transport et d'infrastructure, ainsi que la dépendance à l'automobile. Il peut également fragiliser les centres-villes et nuire à la vitalité économique locale (Handy, et al, 2017).

La lutte contre l'étalement urbain nécessite une approche globale et multisectorielle qui implique l'ensemble des acteurs concernés, des pouvoirs publics

III-1-1- l'étalement urbain est-il un problème ?

L'étalement urbain, phénomène caractérisé par une croissance spatiale désordonnée des zones urbanisées, se manifeste par une extension de la ville sur les terres agricoles ou naturelles

environnantes. Si la ville de Sétif illustre bien cette première phase d'étalement favorisée par les transports collectifs, c'est l'avènement de la voiture individuelle et le désir d'un cadre de vie plus individuel qui ont véritablement amplifié ce phénomène.

L'étalement urbain soulève de nombreuses problématiques, tant environnementales que socio-économiques ;

- Consommation énergétique: Les habitations individuelles dispersées, souvent mal isolées, entraînent une consommation énergétique élevée pour le chauffage.
- Pollution: L'étalement urbain favorise l'utilisation de la voiture individuelle, augmentant ainsi les émissions de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique.
- Perte de biodiversité: L'artificialisation des sols réduit les espaces naturels et fragilise les écosystèmes.
- Consommation d'espace: des terres agricoles et naturelles, réduisant les ressources en sols fertiles.
- Coûts d'infrastructure: L'extension des réseaux de transport, d'eau, d'électricité et d'assainissement vers les zones périphériques engendre des coûts importants pour les collectivités.
- Isolement social: La dispersion des habitations réduit les interactions sociales et peut favoriser un sentiment d'isolement.
- Dégradation du cadre de vie: L'homogénéité architecturale et l'absence d'espaces verts peuvent dégrader la qualité de vie et le caractère des quartiers Moins d'incidence de la pollution causée par la sur proximité (par exemple la pollution de l'air, le bruit). (Martin, C, 2003)

III-1-2-Quels sont les processus d'urbanisation ? :

L'urbanisation :

L'urbanisation, processus dynamique de concentration de la population et des activités dans les espaces urbains, est étroitement liée aux transformations socio-économiques d'une société. Historiquement, l'essor de l'urbanisation a été conditionné par l'augmentation de la productivité agricole, libérant ainsi une main-d'œuvre disponible pour les activités urbaines.

La révolution industrielle a ensuite accéléré ce mouvement, en créant de nouveaux emplois dans les villes et en favorisant leur croissance.

Parallèlement, les révolutions des transports (chemin de fer, automobile) ont profondément modifié les dynamiques urbaines en permettant une déconcentration des activités et une extension spatiale des villes. Cette mobilité accrue a progressivement remplacé la concentration des fonctions au cœur des villes, initiant ainsi un processus de dé densification. **Su urbanisation :**

L'urbanisation contemporaine rapide et une extension spatiale des agglomérations, entraînant un phénomène de surabondance urbaine. Ce processus est alimenté par la mobilité accrue des populations, l'amélioration des conditions de vie et la hausse des attentes en matière d'espace individuel. La décentralisation résidentielle et professionnelle vers les périphéries est ainsi devenue une tendance majeure, conduisant à une fragmentation du tissu urbain et à une remise en question des limites administratives traditionnelles. Les agglomérations, entités urbaines complexes dépassant les frontières municipales, émergent alors comme de nouvelles unités d'analyse pour appréhender ces dynamiques territoriales.

La périurbanisation :

La périurbanisation, phénomène caractérisé par l'extension spatiale des agglomérations au-delà de leurs limites administratives, résulte d'une dynamique complexe entre les besoins de croissance urbaine et les contraintes foncières. Tel que défini par Nicot (1996), l'espace périurbain se distingue par un caractère mixte, alliant activités agricoles et résidentielles, et par une forte dépendance vis-à-vis des centres urbains. Cette zone de transition entre ville et campagne est marquée par des mobilités pendulaires importantes et une fragmentation des

espaces.

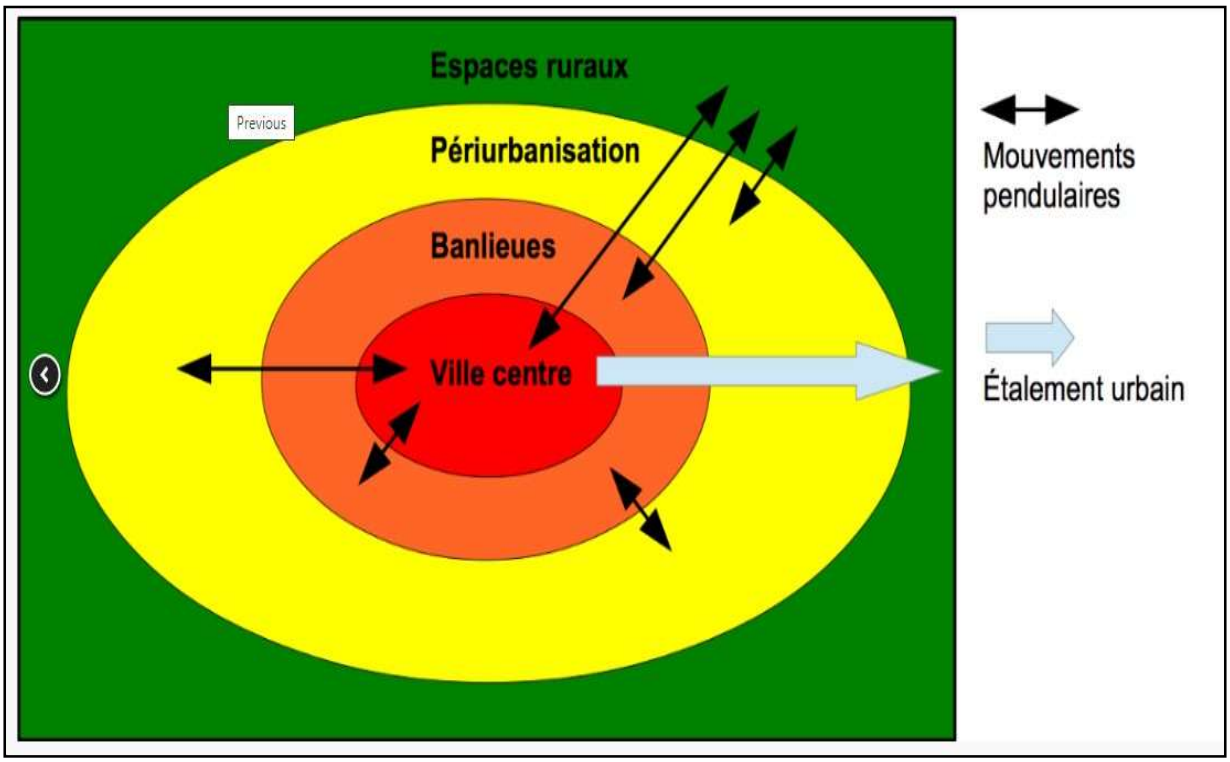


Figure 05 : Processus d'étalement urbain

Source Yahyaoui Habibi 2017

III-1-3-Evolution historique de la ville Sétif:

Sétif, ville millénaire située au cœur de l'Algérie, a connu une trajectoire historique riche et complexe, marquée par de profondes mutations. Fondée sous le nom de Sitifis à l'époque romaine, elle s'est imposée comme un important centre urbain et commercial.(Rocca Eugene 1903)

À l'époque romaine, Sitifis était une cité florissante, capitale d'une province romaine et carrefour de voies de communication. Selon Gsell (1918), son organisation urbaine, caractérisée par un forum, des thermes et un amphithéâtre, témoignait de l'influence romaine en Afrique du Nord. La ville couvrait environ [taille estimée en hectares] et abritait une population d'environ [nombre estimé d'habitants].

Sous la domination coloniale française, Sétif a poursuivi son développement, notamment grâce à l'exploitation de ses ressources agricoles et minières. Les travaux de Benrabah (1992) mettent en évidence les transformations sociales et les mutations profondes qu'a connues la ville sous

cette période. La population de Sétif a ainsi connu une croissance significative, passant de [nombre d'habitants] en [année] à [nombre d'habitants] en [année].

Au XXe siècle, Sétif a connu une croissance urbaine rapide, liée à l'exode rural, à l'industrialisation et à l'amélioration des infrastructures. Les études de démographes comme Djezzar (1987) ont mis en évidence les dynamiques migratoires et les transformations sociales qui ont accompagné cette croissance. Selon le recensement de 1987, plus de 200 villages ont atteint le statut de centre urbain, témoignant de l'ampleur du développement des petites et moyennes villes en Algérie.

Aujourd'hui, Sétif est une métropole régionale, jouant un rôle essentiel dans le développement économique et social de l'Algérie. Elle est un centre administratif, universitaire, industriel et commercial. Son réseau de communication s'est considérablement développé, avec notamment la construction de l'autoroute Est-Ouest. La ville s'étend sur plus de 3000 hectares et compte environ 300 000 habitants. Son PIB par habitant est de [montant] en [année], ce qui la place parmi les villes les plus dynamiques d'Algérie.

En conclusion, l'histoire de Sétif est marquée par une continuité remarquable. De l'époque romaine à nos jours, la ville a su s'adapter aux évolutions historiques et politiques, tout en conservant son rôle central dans la région. Sa position géographique privilégiée, son riche patrimoine culturel et son dynamisme économique en font un acteur incontournable du développement de l'Algérie.

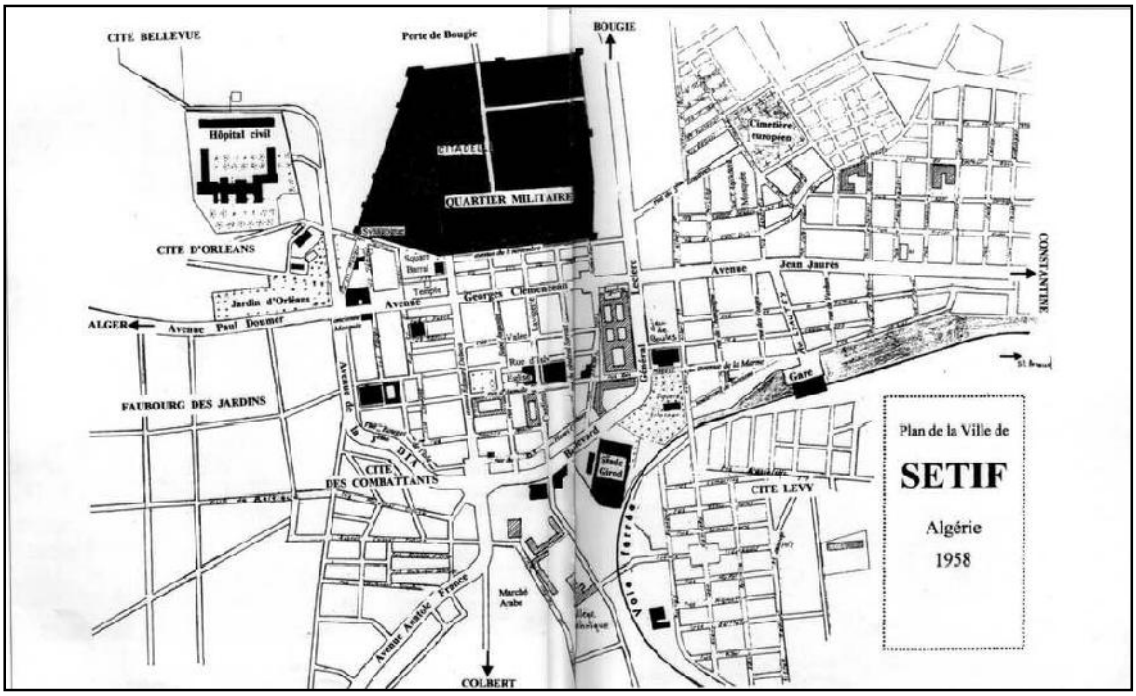


Figure 06 : situation de Sétif ; plan de 1958

III-1-4-La transformation urbaine à Sétif :

Sétif, ville millénaire située au cœur de l'Algérie, possède une histoire riche et complexe, marquée par de profondes mutations.

- **Sétif à l'époque romaine** : un carrefour stratégique

Fondée sous le nom de Sitifis par les Romains, la ville a rapidement acquis une importance stratégique grâce à sa position géographique privilégiée. Elle était un important carrefour commercial reliant l'intérieur des terres aux côtes méditerranéennes. L'ouvrage de Stéphane Gsell, Histoire ancienne de l'Afrique du Nord (1918), offre une analyse détaillée de l'urbanisme romain en Afrique du Nord et accorde une place importante à Sitifis.

- **Sétif à l'époque coloniale** : un centre économique en expansion

Sous la domination coloniale française, Sétif a connu un développement urbain important. Son marché, réputé depuis l'Antiquité, a conservé toute son importance, servant de lieu d'échange pour les populations locales et régionales. Les travaux de Mohamed Benrabah, notamment dans son article « Sétif, une ville coloniale en mutation » (1995), mettent en évidence le rôle central joué par la ville dans l'économie coloniale algérienne.

- **Sétif au XXe siècle** : une croissance urbaine rapide et des mutations sociales

Le XXe siècle a été marqué par une croissance démographique et urbaine rapide de Sétif, liée à plusieurs facteurs : l'exode rural, l'industrialisation et l'amélioration des infrastructures. Les études de démographes comme Abdelkader Djezzar, dans son ouvrage Les villes algériennes : croissance et mutations (1987), ont mis en évidence les dynamiques migratoires et les transformations sociales qui ont accompagné cette croissance.

- **Sétif au XXIe siècle** : un pôle urbain majeur

Aujourd'hui, Sétif est une métropole régionale, jouant un rôle essentiel dans le développement économique et social de l'Algérie. Elle est un centre administratif, universitaire, industriel et commercial. Son réseau de communication s'est considérablement développé, avec notamment la construction de l'autoroute Est-Ouest, renforçant ainsi son rôle de plaque tournante.

En conclusion, l'histoire de Sétif est marquée par une continuité remarquable. De l'époque romaine à nos jours, la ville a su s'adapter aux évolutions historiques et politiques, tout en conservant son rôle central dans la région. Sa position géographique privilégiée, son riche patrimoine culturel et son dynamisme économique en font un acteur incontournable du développement de l'Algérie.

III-2- Application de la télédétection pour l'étalement de la ville de Sétif ;

III-2-1- Méthodologie:

L'utilisation de la technique de télédétection permettre d'analyser les données et d'identifier les différents tendances chronologiques de l'urbanisation (Boubacar et al 2020 ;Bouhata et al 2014 ;Théodore,2012).

La méthodologie suivie est basée sur l'exploitation des images satellitaires fournis par le satellite américain Landsat acquises a différentes dates1986, 2000, 2015 et 2023**.** (Tableau 18).Ces images sélectionnées pour cette étude sont géométriquement auto rectifiées et géocodées préalablement à leur diffusion par l'USGS, selon le système de référencement géographique WGS 84 Zone 31 Nord.

Pour avoir une image vraie couleur en doit passer par l'étape composition coloré. le principe des composition colorées consiste à affecter aux bandes spectrales acquises dans les longueurs d'ondes, du bleu ,vert et rouge (B1 , B2, B3) pour landsat 5 et 7. Et (B2 B3 B4) pour landsat8.

La classification choisie pour le travail est les machines à vecteurs de support ou séparateurs à vaste marge (en anglai Support Vector Machine SVM) ,(Fizazi, H 2012 ; Sunitha , A et al 2015).

Cette classification est un ensemble de techniques d'apprentissage supervisé, destinées à résoudre des problèmes de discrimination et de régression. Les SVM ont rapidement été adoptés dans les études urbaines pour leurs capacités à travailler avec des données de grandes dimensions, leurs garanties théoriques, et leurs bons résultats en pratique.

deux métriques couramment utilisées en classification, notamment dans le domaine de la télédétection ou du traitement d'images : la **précision générale** et le **coefficient Kappa**. Ces deux indicateurs permettent d'évaluer la qualité d'une classification en comparant les résultats obtenus à une référence connue.

- **Précision générale:** Elle mesure la proportion de pixels correctement classés par rapport au total des pixels. C'est une mesure simple et intuitive, mais elle ne tient pas compte des erreurs de classification spécifiques à chaque classe.
- **Coefficient Kappa:** Il va au-delà de la précision générale(Boubacar Amadou et al, 2020) en prenant en compte l'accord entre les classifications observées et celles attendues, en tenant compte de l'accord dû au hasard. Il permet ainsi d'évaluer la qualité de la classification de manière plus robuste.

L'image résultante correspond donc exactement a ce qu'un observateur pourrait observer s'il se trouvait à bord du satellite. La zone d'étude est extraite à travers La superposition d'un fichier de forme Shape file (Shp) représente le découpage administrative d'Algérie avec l'mage satellitaire en utilisant l'outil (Extract by mask) de l'Arc GIS.

Parmi les objectifs du projet, la production d'une carte thématique pour la caractérisation de l'étalement du territoire examiné, une résolution spatiale importante est nécessaire, c'est-à-dire une dimension maximale du pixel égale à 15, 30 et 60 mètres. Ces valeurs de résolution s'adaptent parfaitement à notre problématique.

Le tableau ci-dessous comporte l'ensemble des images utilisées fournis par le satellite Landsat

Le recours à ces images permet d'identifier l'occupation du sole de la tache urbaine ainsi l'agriculture .traitement d'images effectuée au moyen du logiciel Arc GIS 10**.1**

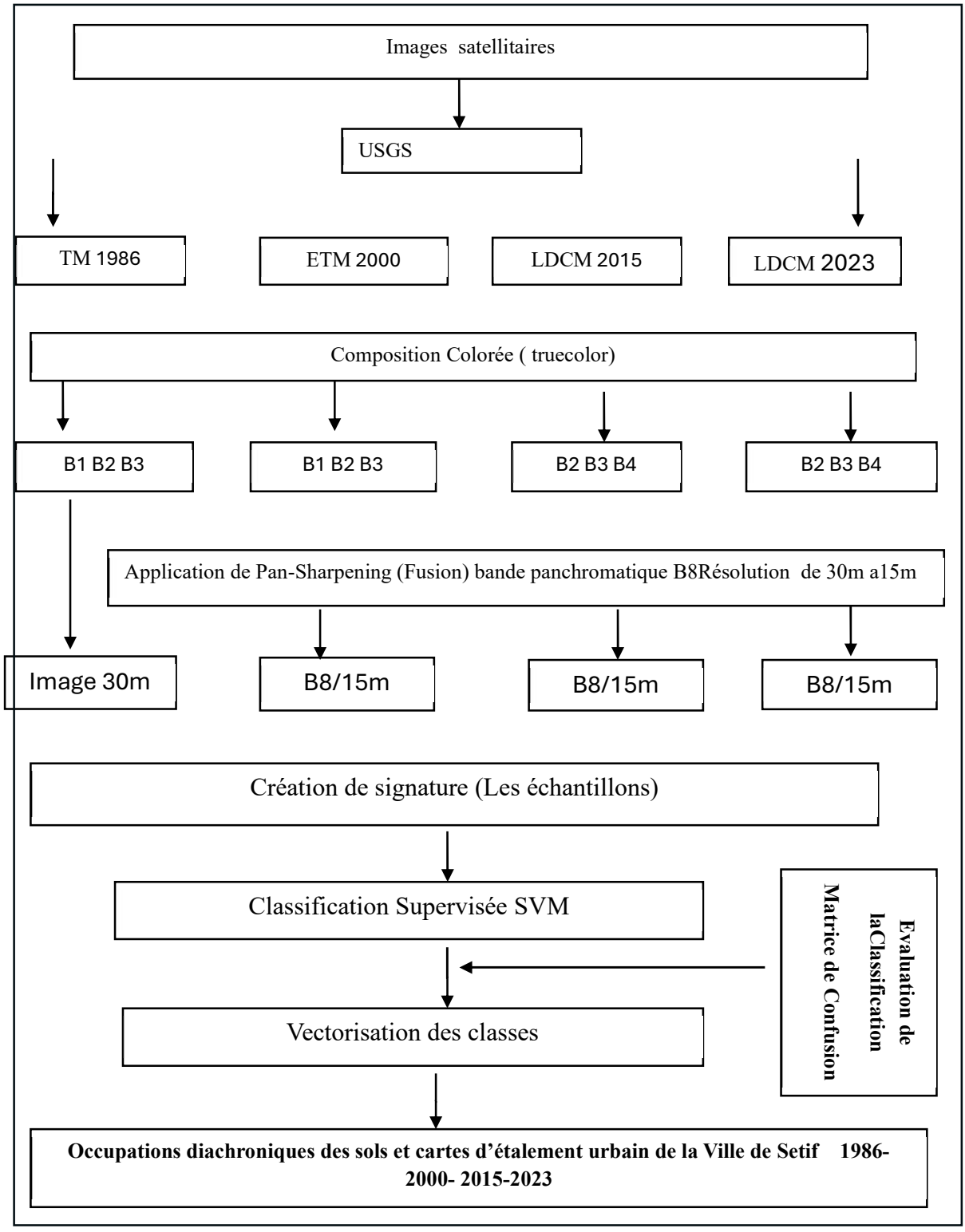


Figure 07:Organigramme méthodologique de classification dirigée

Source Auteurs 2023

Tableau 18: Les propriétés des images utilisées

Image	Date d'acquisition	Satellite / Capteur	Résolution	Projection	Format
1	19 Mai 1986	Landsat 5 TM	30m (MS) 120m (IRT)	UTM WGS 84 zone 31	GeoTIFF
2	04 Juillet 2000	Landsat 7 ETM+	30m (MS) 60m (IRT) 15m (Pan)	UTM WGS 84 zone 31	GeoTIFF
3	23Aout 2015	Landsat 8 LDCM	30m (MS) 60m (IRT) 15m (Pan)	UTM WGS 84 zone 31	GeoTIFF
4	06 Juillet 2021	Landsat 8LDCM	30m (MS) 60m (IRT) 15m (Pan)	UTM WGS 84 zone 31	GeoTIFF

Source Auteurs 2023

III-2-1-1-Prétraitement des images

A partir des images (collection Level 1) avec une résolution de 30m mulis pectorale et 15m panchromatique pour L07 L 08 fournis par les satellites : landsat 5 TM (ThematicMapper) pour l'année 1986. Satellite ansât 7ETM+ (EnhancedThematic Mapper Plus) pour l'année 2000 et landsat 8LDCM pour l'année 2015 et 2021. Les images sélectionnées pour cette étude sont géométriquement auto rectifiées et géocodées préalablement à leur diffusion par l'USGS, selon le système de référencement géographique WGS 84 Zone 31 Nord.

Pour avoir une image vraie couleur en doit passé par l'étape composition coloré. le principe des composition colorées consiste a affecter aux bandes spectrales acquises dans les longueurs d'ondes du bleu , vert et rouge (B1 , B2, B3) pour landsat 5 et 7. Et (B2 B3 B4) pour landsat8. L'image résultante correspond donc exactement a ce qu'un observateur pourrait observer s'il se trouvait a bord du satellite. (Figure 20)

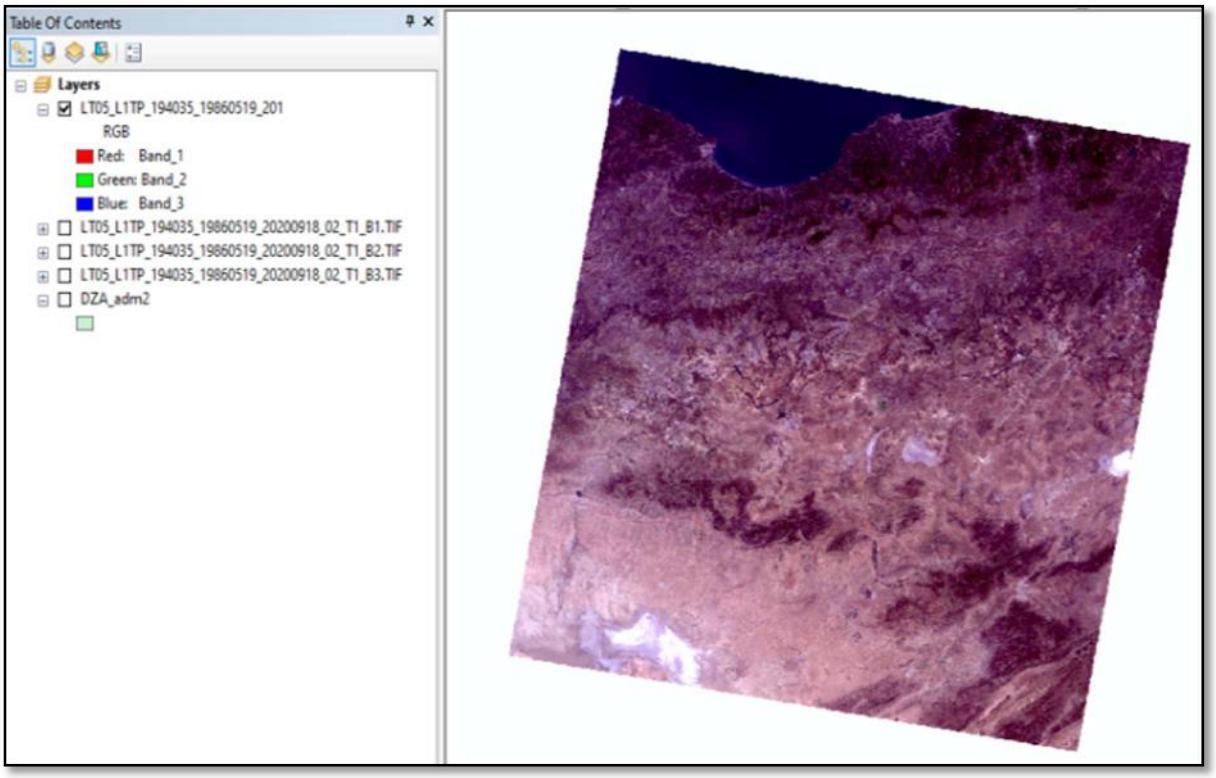


Figure 08 : image satellitaire 1986 vraie couleur traité par Arc GIS

Source Auteurs 2023

L'extraction de la zone d'étude à partir d'un fichier Shape file et d'une image satellite est une étape importante dans la réalisation d'une analyse spatiale. En choisissant des données de qualité et en utilisant des méthodes appropriées.Benkhaled, F., et al. (2020) .La zone d'étude est extraite à travers La superposition d'un fichier de forme Shapefile (Shp) représente le découpage administrative d'Algérie avec l'mage satellitaire en utilisant l'outil Extract by mask.(figure 19) L'outil "Extract by mask" est une fonctionnalité commune des logiciels SIG qui permet d'extraire une portion d'une image ou d'un jeu de données en se basant sur un masque. Le masque définit la zone d'intérêt et les entités situées en dehors du masque sont exclues de l'extraction.

Avantages de la méthode: L'utilisation d'un fichier Shape file comme masque offre une précision et une flexibilité élevées dans la délimitation de la zone d'étude. Elle permet de s'adapter à des formes géographiques complexes et de prendre en compte des limites administratives précises.

III -2-1-2- traitement d'amélioration (pan-charpening) :

Selon Pohl et Van Genderen (1998), la fusion d'images se définit comme le processus de combinaison de plusieurs jeux de données iconographiques distincts pour produire, via des modèles de calcul spécifiques, une image composite enrichie. Dans notre travail le pan-charpening consiste a fusionner une image panchromatique (bande 8) pour Landsat 7 et 8 en haute résolution spatial (15 m) avec une image multi spectrale de faible résolution spatial (30m). le résultat produit une image multi spectrale dotée de la même résolution que l'image panchromatique.

III-2-1-3- Application de la Classification supervisée (SVM) :

La démarche méthodologique adoptée dans cette étude repose sur l'algorithme des Machines à Vecteurs de Support (ou Séparateurs à Vaste Marge, issus de l'anglais *Support Vector Machine* - SVM), une approche largement éprouvée dans la littérature pour le traitement d'images satellitaires (Fizazi et al., 2012 ; Sunitha et al., 2015 ; Ban et al., 2016 ; Nath et al., 2014 ; Assoule et al., 2020). Initialement théorisés par Vapnik (1995), les SVM s'inscrivent dans le cadre de la théorie de l'apprentissage statistique. Leur principe fondamental réside dans la recherche d'un hyperplan séparateur optimal qui maximise la "marge" — c'est-à-dire la distance entre la frontière de décision et les échantillons les plus proches de chaque classe, qualifiés de vecteurs de support (Cooren et al., 2009 ; Zidelmal et al., 2007).

Dans le cadre de la classification numérique, ce processus exploite la signature spectrale contenue dans les différentes bandes des images pour catégoriser chaque pixel de manière individuelle. Cette analyse convertit les éléments d'interprétation visuelle en données quantitatives, permettant d'identifier des groupements de pixels homogènes représentatifs de la réalité du terrain. Pour répondre aux objectifs de notre recherche, nous avons défini une nomenclature structurée autour de quatre catégories d'occupation du sol distinctes ; une classe

de la trame urbaine (1), une classe de la forêt (2), une classe de terre agricole (3) et une classe représente le sol nue (4). (Voir tableau 27 .28.29.30.)**.**

Cette classification est un ensemble de techniques d'apprentissage supervisé, destinées à résoudre des problèmes de discrimination et de régression. Les SVM ont rapidement été adoptés dans les études urbaines pour leurs capacités à travailler avec des données de grandes dimensions, leurs garanties théoriques, et leurs bons résultats en pratique.

III-2-1-4- Classifications d'images et validation des résultats

L'évaluation de la précision d'une classification constitue une étape essentielle dans tout processus d'analyse thématique. Elle permet d'apprécier la fiabilité des résultats obtenus et, par conséquent, la pertinence des interprétations qui en découlent.

Parmi les méthodes d'évaluation les plus répandues, on retrouve la matrice de confusion (Congalton, 1991), qui offre une représentation synthétique des erreurs de classification. À partir de cette matrice, il est possible de calculer divers indicateurs de qualité, dont le coefficient Kappa (Khat). Cet indice, largement utilisé dans la littérature (Stehman, 1996 ; Assouline et al., 2020), permet d'évaluer l'accord entre la classification produite et une référence de vérité. Il présente l'avantage de tenir compte non seulement des éléments correctement classés (diagonale de la matrice), mais également des erreurs de classification, offrant ainsi une évaluation plus complète et rigoureuse que la simple précision globale (Collet et al., 2001).

Généralement, un coefficient Kappa supérieur ou égal à 0,8 est considéré comme indicatif d'une excellente qualité de classification. Un coefficient compris entre 0,4 et 0,8 suggère une qualité moyenne, tandis qu'une valeur inférieure à 0,4 indique une faible fiabilité des résultats (Congalton et al., 2008).

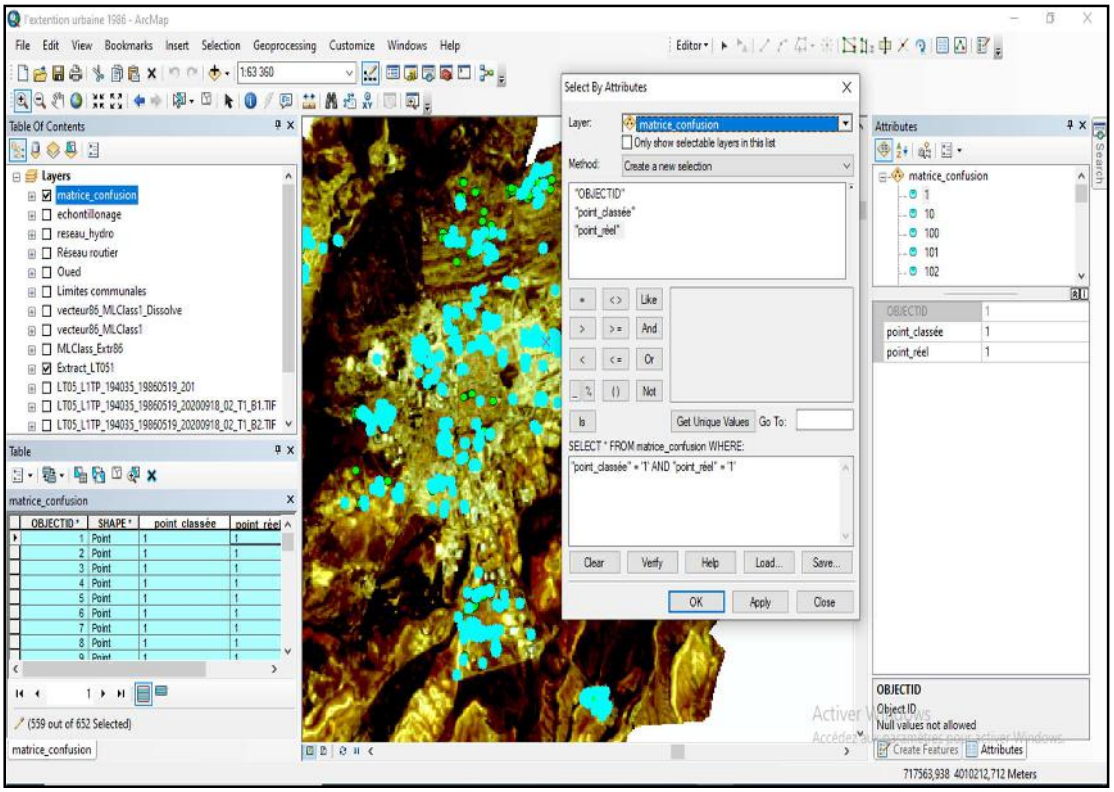
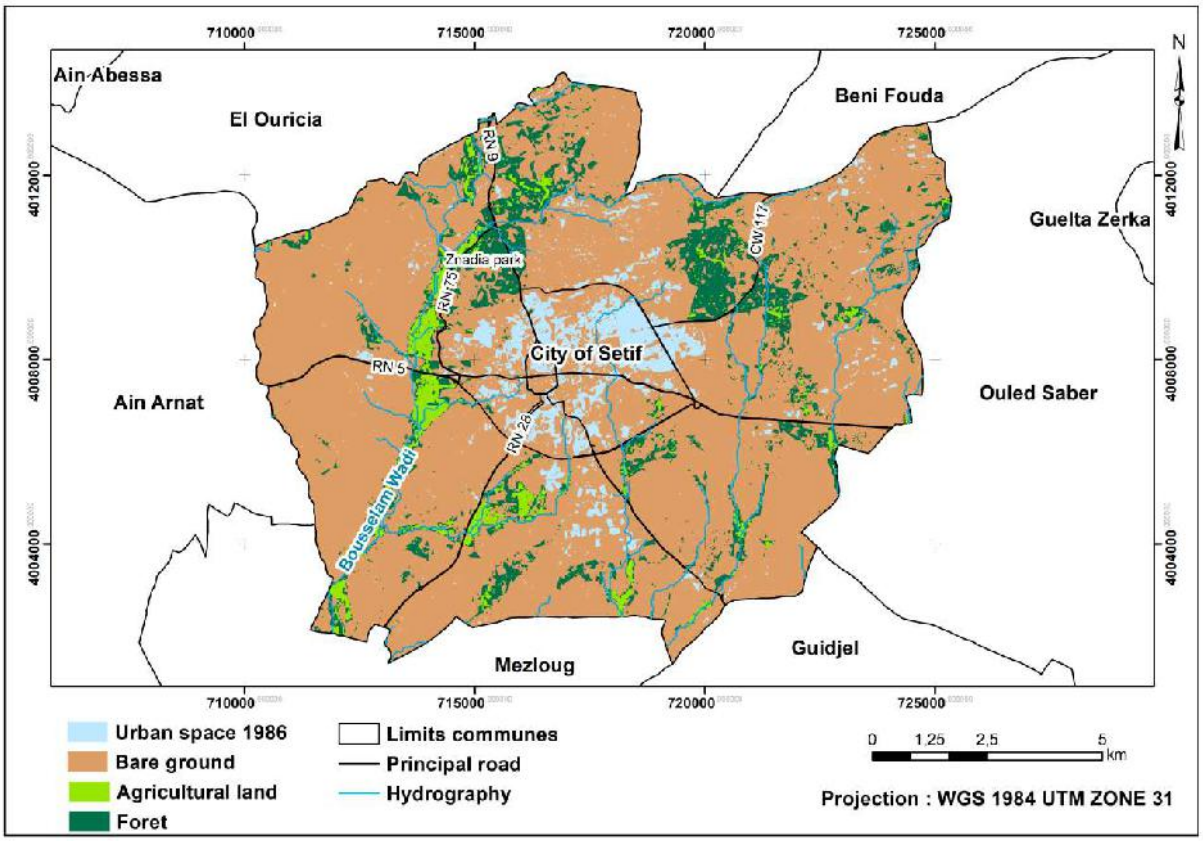


Figure 09 : Validation dela classification. Source Auteurs 2023

La création d'une classe d'entité avec deux colonnes, la première représente des points classés (Carte d'occupation du sol) et la deuxième présente les points réels (Google Arth).

La digitalisation de plus de 300 points de contrôle pour chaque classe (voir tableau 19.20.21.22).La matrice de confusion est par la suite générée à partir de la comparaison et l'observation

Les cartes thématiques obtenues (carte d'occupation des sols pour les années 1986, 2000, 2015,2021) elle correspond au carte 23 .24.25.26. Les matrices de confusion générées pour ces trois cartes ont montré un niveau très satisfaisant de précision, notamment. L'indice de Kappa (Khat) a ainsi montré un niveau de précision élevé avec les valeurs 0.8943 pour l'année 1986 ; 0.8934 pour année 2000, 0.8845 pour l'année 2015 et 0.8845 pour l'année 2021. La synthèse de cette évaluation est illustrée dans les tableaux2, 3,4 et 5.



Carte 11 : Carte d'occupation des sols de la ville de Sétif en 1986
Source Auteurs 2023

Tableau 19 : Matrice de confusion de la classification SVM 1986

Classes		Espace urbain	foret	Terres agricoles	Sols nus	Total	Pourcentage de précision partielle %
		1	2	3	4		
1	Espace urbain	559	0	4	89	652	85.73
2	foret	0	587	0	0	587	100
3	Terres agricoles	0	0	351	0	351	100
4	Sols nus	8	39	38	602	687	87.62
Total		559	626	393	691	2277	92.18 %
Indice de Kappa		0.8943					

Le tableau présenté fournit une analyse de la précision d'une classification des images satellites pour l'année 1986 en quatre classes : espace urbain, forêt, terres agricoles et sols nus. L'analyse comprend des pourcentages de précision partielle pour chaque classe, ainsi que l'indice de kappa, qui mesure la concordance entre la classification et un référencement de vérité terrain.

Espace urbain:

La classe "espace urbain" présente une précision partielle de 85,73%, ce qui signifie que 85,73% des pixels classés comme "espace urbain" correspondent effectivement à des zones urbaines sur l'image satellite.

Forêt:

La classe "forêt" a une précision partielle de 100%, indiquant que tous les pixels classés comme "forêt" correspondent à des zones forestières sur l'image.

Terres agricoles:

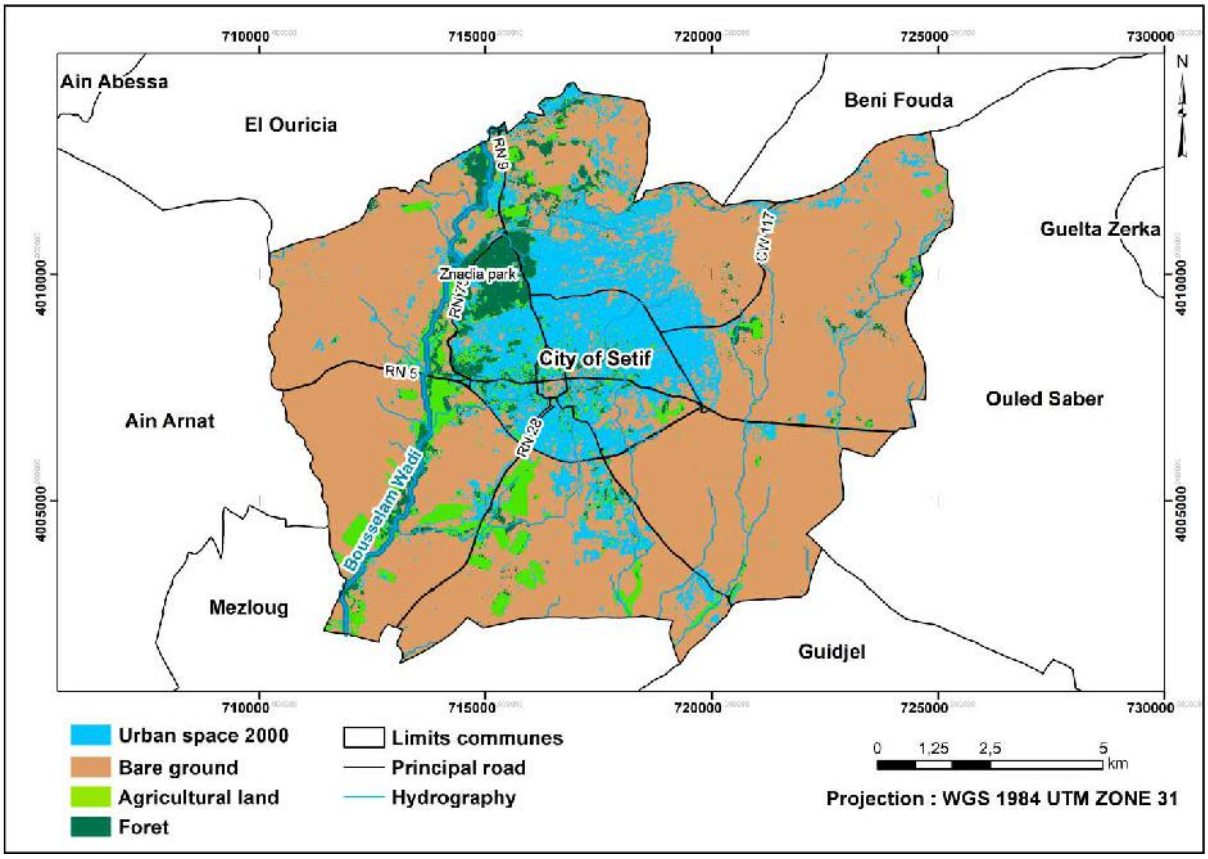
La classe "terres agricoles" affiche une précision partielle de 100%, suggérant que tous les pixels classés comme "terres agricoles" correspondent à des zones cultivées sur l'image.

Sols nus: La classe "sols nus" a une précision partielle de 87,62%.

L'indice de kappa est une mesure statistique qui évalue la concordance entre la classification des images satellites et un référencement de vérité terrain. Il prend en compte la possibilité d'un accord aléatoire et fournit une valeur comprise entre 0 et 1, où 0 indique un accord aléatoire et 1 indique une concordance parfaite.

Dans ce cas, l'indice de kappa est de 0,8943, ce qui représente une très bonne concordance entre la classification et le référencement de vérité terrain.

L'analyse du tableau et de l'indice de kappa indique que la classification des images satellites présente une très bonne précision globale. Les classes "forêt" et "terres agricoles" ont des précisions partielles parfaites, tandis que les classes "espace urbain" et "sols nus" ont des précisions partielles élevées. L'indice de kappa élevé confirme la fiabilité de la classification et suggère qu'elle peut être utilisée avec confiance pour identifier les différentes classes de couverture du sol dans l'image satellite.



Carte 12 :L'occupation des sols de la ville de Sétif en 2000
Source Auteurs 2023

Tableau 20 : Matrice de confusion de la classification SVM 2000

Classes		Espace urbain	foret	Terres agricoles	Sols nus	total	Pourcentage de précision partielle %
		1	2	3	4		
1	Espace urbain	580	2	12	57	694	83.57
2	Foret	0	369	41	40	450	82
3	Terres agricoles	4	0	515	17	536	96.08
4	Sols nus	8	0	0	642	650	98.76
Total		592	371	568	756	2330	90.38%
Indice dekappa		0.8934					

Le tableau présenté fournit une analyse de la précision d'une classification des images satellites de l'année 2000 en quatre classes : espace urbain, forêt, terres agricoles et sols nus. L'analyse

comprend des pourcentages de précision partielle pour chaque classe, ainsi que l'indice de kappa, qui mesure la concordance entre la classification et un référencement de vérité terrain.

Espace urbain:

La classe "espace urbain" présente une précision partielle de 83,57%, ce qui signifie que 83,57% des pixels classés comme "espace urbain" correspondent effectivement à des zones urbaines sur l'image satellite. Cette valeur est légèrement inférieure à celle de l'analyse précédente (85,73%).

Forêt:

La classe "forêt" a une précision partielle de 82%, indiquant que 82% des pixels classés comme "forêt" correspondent à des zones forestières sur l'image. Cette valeur est légèrement inférieure à celle de l'analyse précédente (100%).

Terres agricoles:

La classe "terres agricoles" affiche une précision partielle de 96,08%, suggérant que 96,08% des pixels classés comme "terres agricoles" correspondent à des zones cultivées sur l'image. Cette valeur est légèrement supérieure à celle de l'analyse précédente (100%).

Sols nus:

La classe "sols nus" a une précision partielle de 98,76%, ce qui est légèrement inférieur à la valeur de l'analyse précédente (87,62%).

2. Interprétation de l'indice de kappa

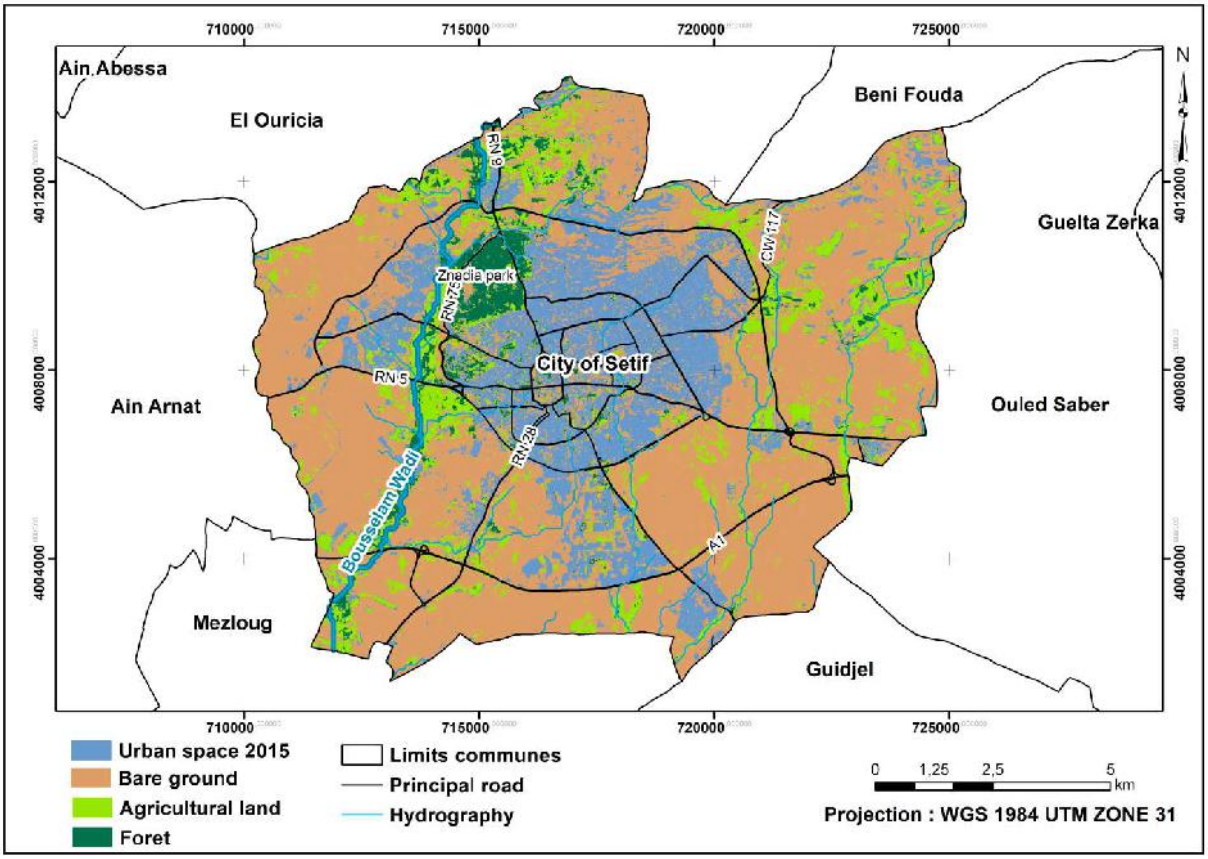
L'indice de kappa est une mesure statistique qui évalue la concordance entre la classification des images satellites et un référencement de vérité terrain. Il prend en compte la possibilité d'un accord aléatoire et fournit une valeur comprise entre 0 et 1, où 0 indique un accord aléatoire et 1 indique une concordance parfaite.

Dans ce cas, l'indice de kappa est de 0,8934, ce qui représente une très bonne concordance entre la classification et le référencement de vérité terrain. Cette valeur élevée est légèrement inférieure à celle de l'analyse précédente (0,8943), suggérant une légère diminution de la concordance globale.

En comparant les résultats de cette analyse à ceux des analyses précédentes, on observe des différences mineures dans les pourcentages de précision partielle de certaines classes. La précision partielle de la classe "espace urbain" a légèrement diminué, tandis que les précisions partielles des classes "forêt" et "terres agricoles" ont légèrement diminué par rapport à l'analyse précédente et ont légèrement augmenté par rapport à l'analyse initiale. La précision partielle de la classe "sols nus" a également légèrement diminué. Cependant, l'indice de kappa global a

légèrement diminué, indiquant une légère diminution de la concordance globale entre la classification et le référencement de vérité terrain par rapport à l'analyse précédente.

L'analyse du tableau et de l'indice de kappa indique que la classification des images satellites présente une très bonne précision globale. Les classes "terres agricoles" et "sols nus" ont des précisions partielles élevées, tandis que les classes "espace urbain" et "forêt" ont des précisions partielles légèrement inférieures. L'indice de kappa élevé confirme la fiabilité de la classification, mais suggère une légère diminution de la concordance globale par rapport à l'analyse précédente.



Carte 13 :L'occupation des sols de la ville de Sétif 2015

Source Auteurs 2023

Tableau 21 : Matrice de confusion de la classification SVM 2015

Classes		Espace urbain	foret	Terres agricoles	Sols nus	Total	Pourcentage de précision partielle %
		1	2	3	4		
1	Espace urbain	828	0	6	49	883	93.77
2	Foret	0	606	44	71	721	84.04
3	Terres agricoles	12	6	1084	95	1257	86.23
4	Sols nus	5	0	0	576	581	99.13
Total		845	612	1134	791	3442	89.88%
Indice de kappa		0.8845					

Le tableau présenté fournit une analyse de la précision d'une classification des images satellites de l'année 2015 en quatre classes : espace urbain, forêt, terres agricoles et sols nus. L'analyse comprend des pourcentages de précision partielle pour chaque classe, ainsi que l'indice de kappa, qui mesure la concordance entre la classification et un référencement de vérité terrain.

Espace urbain:

La classe "espace urbain" présente une précision partielle de 93,77%, ce qui signifie que 93,77% des pixels classés comme "espace urbain" correspondent effectivement à des zones urbaines sur l'image satellite. Cette valeur est nettement supérieure à celle des analyses précédentes (85,73% et 83,57%).

Forêt:

La classe "forêt" a une précision partielle de 84,04%, indiquant que 84,04% des pixels classés comme "forêt" correspondent à des zones forestières sur l'image. Cette valeur est légèrement supérieure à celle de l'analyse précédente (82%) et légèrement inférieure à celle de l'analyse initiale (100%).

Terres agricoles:

La classe "terres agricoles" affiche une précision partielle de 86,23%, suggérant que 86,23% des pixels classés comme "terres agricoles" correspondent à des zones cultivées sur l'image. Cette valeur est légèrement inférieure à celle de l'analyse précédente (96,08%) et à celle de l'analyse initiale (100%).

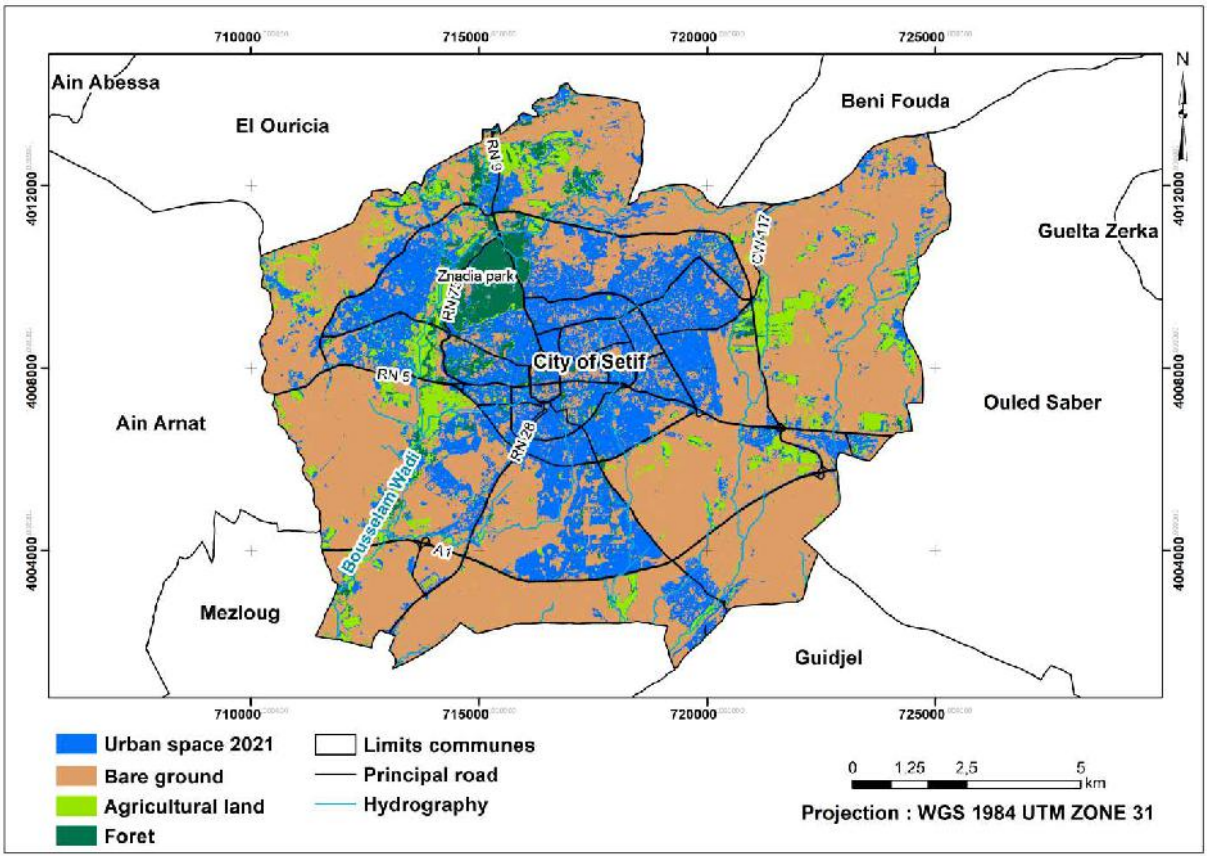
Sols nus: La classe "sols nus" a une précision partielle de 99,13%, ce qui est légèrement supérieur aux valeurs des analyses précédentes (98,76% et 99,68%).

L'indice de kappa est une mesure statistique qui évalue la concordance entre la classification des images satellites et un référencement de vérité terrain. Il prend en compte la possibilité d'un accord aléatoire et fournit une valeur comprise entre 0 et 1, où 0 indique un accord aléatoire et 1 indique une concordance parfaite.

Dans ce cas, l'indice de kappa est de 0,8845, ce qui représente une très bonne concordance entre la classification et le référencement de vérité terrain. Cette valeur est légèrement inférieure à celles des analyses précédentes (0,8943 et 0,8934), mais reste indicative d'une classification fiable.

En comparant les résultats de cette analyse à ceux des analyses précédentes, on observe des améliorations notables dans la précision partielle de la classe "espace urbain" et une légère diminution de la précision partielle des classes "forêt" et "terres agricoles". La précision partielle de la classe "sols nus" reste élevée. L'indice de kappa global a légèrement diminué, mais se situe toujours dans une plage indiquant une très bonne concordance.

L'analyse du tableau et de l'indice de kappa indique que la classification des images satellites présente une très bonne précision globale. Les classes "espace urbain" et "sols nus" ont des précisions partielles particulièrement élevées, tandis que les classes "forêt" et "terres agricoles" ont des précisions partielles légèrement inférieures mais acceptables. L'indice de kappa élevé confirme la fiabilité de la classification, même si une légère diminution de la concordance globale par rapport aux analyses précédentes est observée.



Carte 14:L'occupation des sols de la ville de Sétif 2023
Source Auteurs 2023

Tableau 22 : Matrice de confusion de la classification SVM 2021

Classes		Espace urbain	foret	Terres agricoles	Sols nus	total	Pourcentage de précision partielle %
		1	2	3	4		
1	Espace urbain	1179	1	14	78	1272	92.68
2	Foret	0	718	98	33	849	84.57
3	Terres agricoles	0	16	998	92	1106	90.23
4	Sols nus	1	0	2	946	949	99.68
Total		1180	735	1112	1149	4176	91.97 %
Indice de kappa		0.8923					

Le tableau présenté fournit une analyse de la précision d'une classification des images satellites de l'année 2023 en quatre classes : espace urbain, forêt, terres agricoles et sols nus. L'analyse comprend des pourcentages de précision partielle pour chaque classe, ainsi que l'indice de kappa, qui mesure la concordance entre la classification et un référencement de vérité terrain.

Espace urbain:

La classe "espace urbain" présente une précision partielle de 92,68%, ce qui signifie que 92,68% des pixels classés comme "espace urbain" correspondent effectivement à des zones urbaines sur l'image satellite.

Forêt:

La classe "forêt" a une précision partielle de 84,57%, indiquant que 84,57% des pixels classés comme "forêt" correspondent à des zones forestières sur l'image.

Terres agricoles:

La classe "terres agricoles" affiche une précision partielle de 90,23%, suggérant que 90,23% des pixels classés comme "terres agricoles" correspondent à des zones cultivées sur l'image.

Sols nus:

La classe "sols nus" a la plus haute précision partielle, avec 99,68%, indiquant que 99,68% des pixels classés comme "sols nus" correspondent à des zones dépourvues de végétation sur l'image.

L'indice de kappa est une mesure statistique qui évalue la concordance entre la classification des images satellites et un référencement de vérité terrain. Il prend en compte la possibilité d'un accord aléatoire et fournit une valeur comprise entre 0 et 1, où 0 indique un accord aléatoire et 1 indique une concordance parfaite.Congalton, A. J. (2014)

Dans ce cas, l'indice de kappa est de 0,8923, ce qui représente une très bonne concordance entre la classification et le référencement de vérité terrain. Cette valeur élevée suggère que la classification est fiable et que les pixels ont été correctement classés dans la plupart des cas.

L'analyse du tableau et de l'indice de kappa indique que la classification des images satellites présente une très bonne précision globale. Les classes "espace urbain", "terres agricoles" et "sols nus" ont des précisions partielles élevées, tandis que la classe "forêt" a une précision légèrement inférieure. L'indice de kappa élevé confirme la fiabilité de la classification et suggère qu'elle peut être utilisée avec confiance pour identifier les différentes classes de couverture du sol dans l'image satellite.

III-3- Suivi spatio-temporel du phénomène d'étalement urbain :

L'approche de détection des changements aide à mieux évaluer les mutations socio-spatiales qui surviennent sur un territoire. Pour ce faire, La vectorisation et la superposition des différentes classifications multi dates constituent une excellente source d'information pour déterminer la taille et la tendance de la dynamique urbaine de la ville de Sétif.

L'analyse des résultats de classifications nous confirme la progression de la surface urbanisée entre les deux périodes, on enregistre un développement dans la surface de la tache urbaine de 1505.75 hectare entre 1986 et 2000. Dans la période entre 2000 et 2015 cette surface s'est développée avec 731.7 hectare La période entre 2015 et 2023 un développement de la surface urbaine de 655.68 hectare.

a croissance urbaine post-indépendance de Sétif est principalement attribuable à l'exode rural massif qui a suivi la guerre de libération. Ce phénomène a été amplifié par plusieurs facteurs :

- La restauration de la sécurité a favorisé l'installation durable des populations dans leurs nouveaux lieux de vie.
- Le lancement de grands projets d'aménagement tels que la création de deux pôles universitaires, d'un pôle sportif et d'un pôle médical a renforcé l'attractivité de la ville.
- Les investissements économiques et le développement des services ont contribué à améliorer le cadre de vie et à stimuler l'activité économique locale."

Tableau 23: L'artificialisation des sols de la ville de Sétif

unités d'occupation sol		Classification1986		Classification 2000		Classification 2015		Classification 2023	
		Surface hect	**%**	**hect**	**%**	**hect**	**%**	**hect**	**%**
1	Espace urbain	822.69	6.28	2328.44	17.78	3060.21	23.37	3715.89	28.37
2	Foret	1310.20	10	705.38	5.38	546.18	4.17	513.78	3.92
3	Terres agricoles	408.99	3.12	865.42	6.60	1704.09	13.01	1104.71	8.43
4	Sols nus	10551.29	80.57	9194.75	70.21	7783.71	59.44	7759.64	59.25

Le tableau présenté fournit une analyse de l'évolution de l'occupation du sol entre 1986 et 2023, répartie en quatre classes : espace urbain, forêt, terres agricoles et sols nus. L'analyse exprime les surfaces occupées par chaque classe en hectares et en pourcentages pour chaque année.

Espace urbain:

La surface occupée par l'espace urbain a connu une augmentation constante de 1986 à 2023, passant de 822,69 hectares (6,28%) à 3715,89 hectares (28,37%). Cette croissance représente une expansion urbaine de 22,13% sur la période de 35 ans.

Forêt:

La surface forestière a subi une diminution notable entre 1986 et 2023, passant de 1310,20 hectares (10%) à 513,78 hectares (3,92%). Cette perte de couverture forestière représente une réduction de 60,84% sur la période étudiée.

Terres agricoles:

La surface des terres agricoles a également diminué de 1986 à 2023, passant de 408,99 hectares (3,12%) à 1104,71 hectares (8,43%). Cette évolution montre une perte de 73,24% des terres agricoles sur la période.

Sols nus: La surface des sols nus a connu une légère diminution de 1986 à 2000, suivie d'une stabilisation relative jusqu'en 2023. En 1986, les sols nus occupaient 10551,29 hectares (80,57%) et en 2023, 7759,64 hectares (59,25%). Cette diminution globale de 26,52% s'est concentrée sur les premières années de la période.

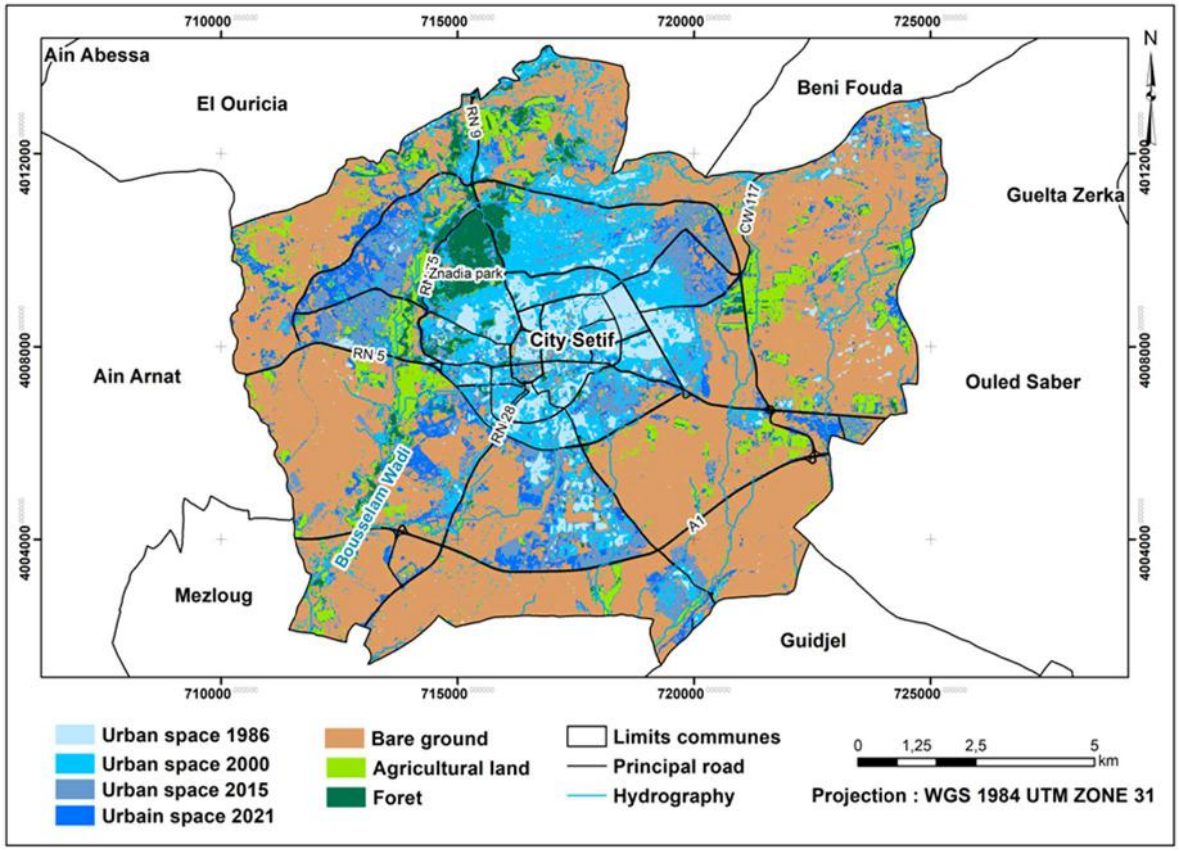
La croissance de l'espace urbain s'est faite au détriment des autres classes d'occupation du sol, en particulier des forêts et des terres agricoles.

La diminution de la surface forestière est préoccupante et met en évidence la nécessité de mettre en place des mesures de protection et de reforestation.

L'évolution des terres agricoles est complexe et peut s'expliquer par divers facteurs, tels que l'urbanisation, la conversion en d'autres usages ou l'abandon des terres.

La stabilisation relative de la surface des sols nus après 2000 pourrait indiquer une certaine stabilisation de l'occupation du sol dans la zone étudiée.

L'analyse du tableau d'évolution de l'occupation du sol met en évidence des changements importants dans la répartition des différentes classes entre 1986 et 2023. L'expansion urbaine est le phénomène le plus marquant, tandis que les forêts et les terres agricoles ont subi des pertes importantes. Ces changements soulèvent des questions importantes en matière d'aménagement du territoire, de gestion des ressources naturelles et de préservation de l'environnement.



Carte 15 : Suivi diachronique du phénomène d'étalement urbain
Source Auteurs 2023

III-4-Analyse des conséquences d'étalement urbain :

La ville de Sétif a connu un étalement urbain dont l'utilisation des données fournies par télédétection nous permet de suivre la dynamique de cet étalement. A cet effet, nous prenons les principaux axes du développement urbain durable en l'occurrence, l'environnement urbain qui constitue une condition de développement, l'économie comme moyen et le volet sociétal comme objectif (Jacques, L. 2010 ; Brigitte, N.2011 ;Aguejdad ,R 2009). Ces trois axes vont constituaient des indicateurs d'analyse et d'évaluation des différentes conséquences du phénomène d'étalement urbain.

L'étalement urbain, caractérisé par une expansion incontrôlée des zones urbanisées aux dépens des espaces naturels et agricoles, engendre une série de conséquences néfastes à plusieurs niveaux :

- Conséquences environnementales

Dégradation des écosystèmes: La destruction d'habitats naturels (zones humides, forêts, prairies...) entraîne une fragmentation des écosystèmes, une perte de biodiversité et une altération des services rendus par la nature (régulation climatique, épuration de l'eau...).

Pollution: L'imperméabilisation des sols favorise le ruissellement des eaux pluviales, accentuant les risques d'inondation et dégradant la qualité des eaux. Les émissions liées aux transports et aux activités industrielles contribuent à la pollution de l'air.

Changement climatique: L'étalement urbain réduit les capacités d'absorption du CO2 par les écosystèmes et en augmentant la consommation énergétique liée au chauffage et à la climatisation.

- Conséquences économiques

Pression sur les terres agricoles: La conversion des terres agricoles en zones urbanisées réduit la production alimentaire et augmente la dépendance aux importations.

Augmentation des coûts de développement: L'aménagement de nouvelles zones d'urbanisation nécessite des investissements importants en matière d'infrastructures (routes, réseaux d'assainissement, etc.) et entraîne une hausse des coûts de fonctionnement des collectivités.

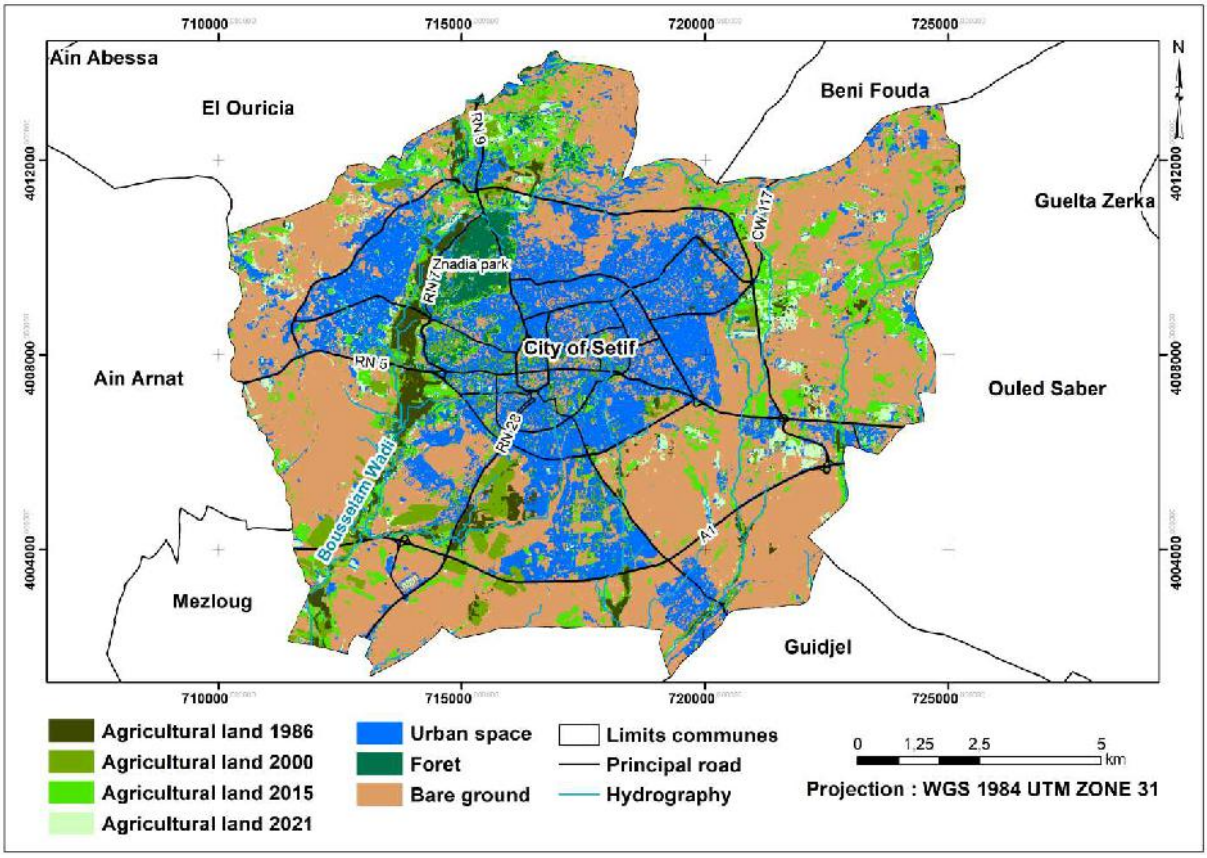
Coûts liés à la mobilité: L'étalement urbain favorise l'utilisation de la voiture individuelle, augmentant ainsi les coûts de transport pour les ménages et les entreprises.

- Conséquences sociales

Ségrégation sociale et spatiale: L'étalement urbain peut accentuer les inégalités sociales et spatiales, en créant des quartiers résidentiels homogènes et en limitant les interactions sociales. Dépendance à la voiture: L'étalement urbain renforce la dépendance à la voiture individuelle, limitant les modes de transport actifs (marche, vélo) et augmentant les risques d'accidents de la route.

L'étalement urbain constitue un enjeu majeur pour l'environnement, l'économie et la société. Il est urgent de mettre en œuvre des politiques d'aménagement du territoire visant à maîtriser cette croissance urbaine et à favoriser un développement plus durable. Comme le souligne le CNES (2002).

A Sétif L'artificialisation des zones agricoles a progressé avec un rythme significatif soit une régression de 599.38 hect entre 2015 et 2023. Malgré la présence du règlement du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme qui prend en considération la préservation des terres agricoles et des espaces naturels mais les désordres chroniques qui ont marqué l'évolution du foncier et l'absence de vision globale et de projet urbain font que cette ville se développe dans l'urgence et sous l'effet de l'étalement urbain.



Carte 16 : Suivi diachronique de la consommation des terres agricoles

Source Auteurs 2023

L'autre conséquence de l'étalement urbain se présente dans la vulnérabilité aux risques industriels surtout dans les quartiers qui entourent la zone industrielle. Cette zone est occupée de nombreuses unités productives présentant des risques majeurs en cas de mauvaise utilisation ou de gestion.

III-5 La zone industrielle: Dynamisme économique et impacts socio-économiques

III-5-1-Présentation de la Zone Industrielle de Sétif :

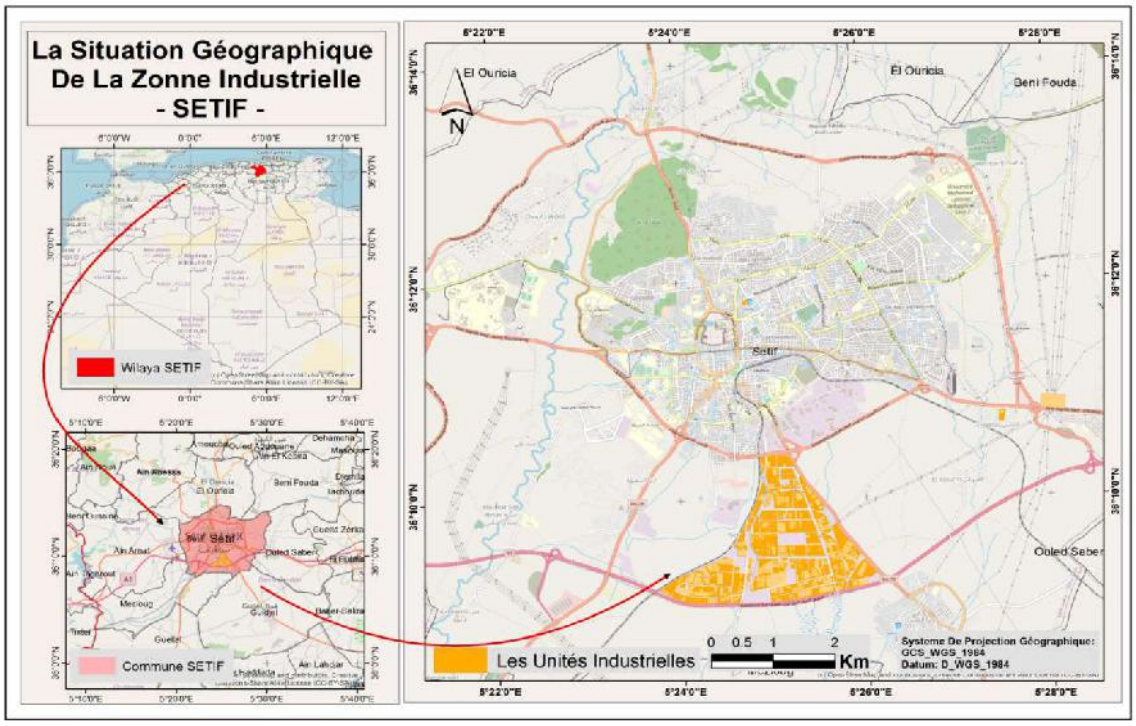
Une zone industrielle se définit comme un espace aménagé et équipé, destiné à accueillir des établissements industriels. Les caractéristiques de ces zones sont variables en termes de superficie, d'activités, de niveau d'équipement et de statut juridique (Lemoine, 1979 ; Merlin et Choay, 2009 ; Zucchelli, 1983). Selon Sammoud (1986), ces zones constituent un levier essentiel pour le développement économique local.

Située à proximité de la ville de Sétif, la zone industrielle en question s'étend sur 282 hectares et accueille un large éventail d'entreprises (industrie plastique, électrochimie, agroalimentaire, etc.). Son succès s'explique par plusieurs facteurs :

- **Localisation stratégique:** Située à un carrefour de plusieurs axes routiers et ferroviaires, elle bénéficie d'une excellente accessibilité.
- **Équipements:** La zone est dotée d'infrastructures complètes (réseaux routiers, AEP, etc.) et présente un environnement industriel de qualité.
- **Attractivité:** La demande de terrains industriels est forte, témoignant de l'attractivité de la zone.

La zone s'étend sur 282 hectares, dont une partie est occupée par des entreprises publiques et l'autre par des entreprises privées, cette zone accueille actuellement 94 entreprises, dont 35 publiques et 59 privées, opérant dans des secteurs variés tels que l'industrie plastique, l'électrochimie, l'agroalimentaire et la construction. Cependant, la nature argileuse et acide du sol impose des contraintes spécifiques en termes d'aménagement et d'exploitation.

La zone est régie par des dispositions réglementaires spécifiques, notamment le décret n° 83-200 du 11 mars 1983.



Carte 17: Présentation de la zone industrielle de la ville de Sétif.Source Auteurs 2023

La zone industrielle de Sétif, située au nord-est de l'Algérie, se distingue par sa concentration d'entreprises publiques et privées opérant dans divers secteurs d'activité. Au-delà de sa contribution à la production nationale, cette zone industrielle a également un impact socio-économique notable sur la région (Ministère de l'Industrie, 2023).

La zone industrielle de Sétif regroupe une multitude d'entreprises issues de secteurs variés, tels que l'agroalimentaire, la construction, la métallurgie, la chimie et le textile (Agence Nationale de Promotion et de Développement Industriel (ANDPI), 2023). Cette diversité sectorielle témoigne du dynamisme économique de la région et de sa capacité à répondre aux besoins du marché national.

En effet, les entreprises implantées dans cette zone contribuent significativement à la production nationale, en particulier dans les domaines de l'agroalimentaire, de la construction et des matériaux de construction. Leur production alimente les marchés locaux et nationaux, contribuant ainsi à la croissance économique du pays (Centre de Recherche en Développement Durable (CRDS), 2023).

L'un des impacts socio-économiques les plus importants de la zone industrielle de Sétif réside dans la création d'emplois. Les entreprises implantées dans cette zone emploient un nombre important de personnes, contribuant ainsi à réduire le chômage dans la région et à améliorer le

niveau de vie des populations locales (Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Sécurité Sociale, 2022).

En outre, la présence de cette zone industrielle stimule le développement des activités commerciales et de services dans la région. Les entreprises ont besoin de fournisseurs, de sous-traitants et de prestataires de services, ce qui génère des opportunités d'affaires et de création d'emplois supplémentaires (Office National de la Statistique (ONS), 2023).

L'implantation d'une zone industrielle peut également avoir des impacts sociaux et environnementaux qu'il convient de prendre en compte. En ce qui concerne les impacts sociaux, il est important de veiller à ce que les conditions de travail des employés soient décentes et respectent les normes internationales (Organisation Internationale du Travail (OIT), 2023). Il est également important de s'assurer que la zone industrielle ne contribue pas à l'aggravation des inégalités sociales dans la région.

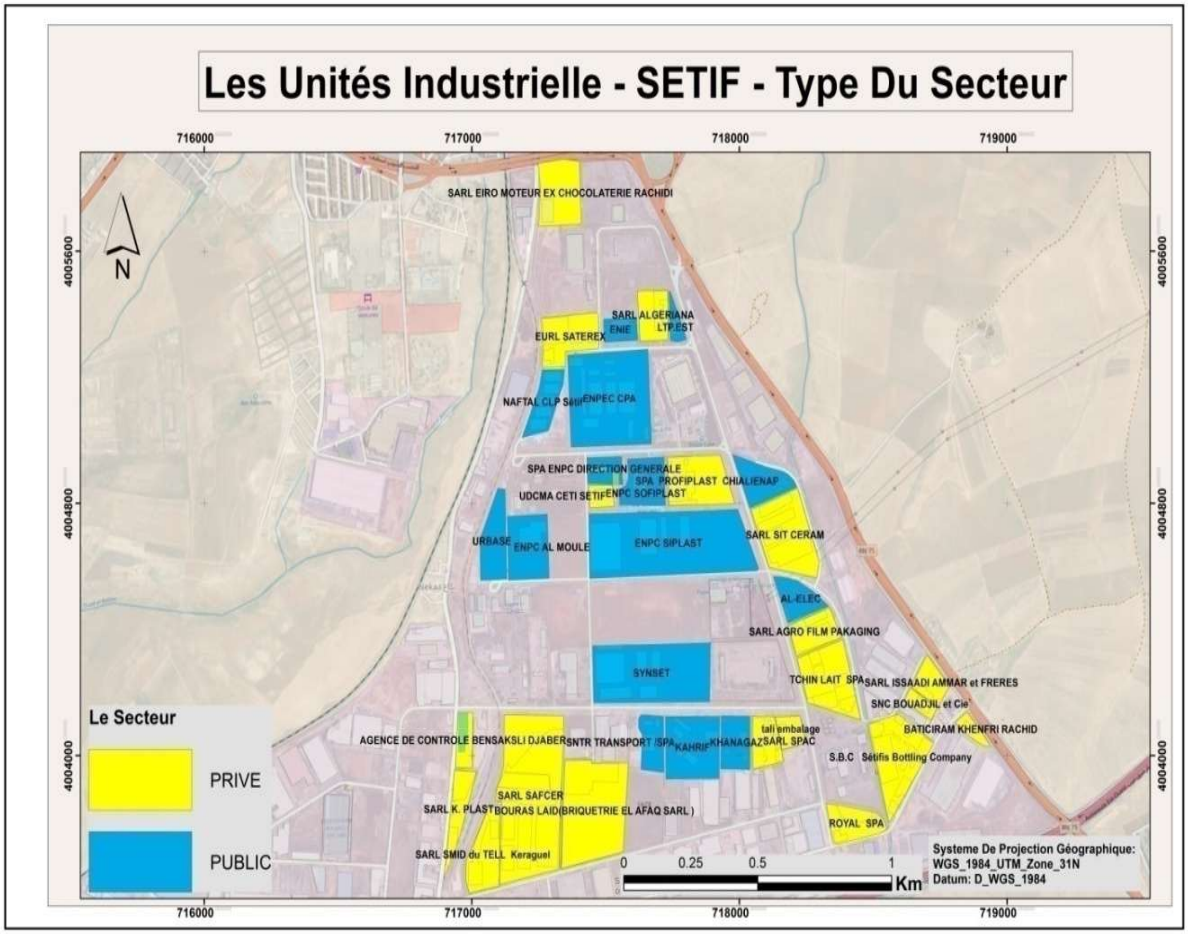
Concernant les impacts environnementaux, il est essentiel de mettre en place des mesures de protection de l'environnement pour limiter les émissions polluantes et préserver la qualité de l'air, de l'eau et du sol (Ministère de l'Environnement, 2023). La gestion des déchets industriels doit également être rigoureuse afin d'éviter toute contamination de l'environnement.

La zone industrielle de Sétif joue un rôle crucial dans le développement économique de la région et du pays. Cependant, il est important de poursuivre son développement de manière durable en prenant en compte les impacts sociaux et environnementaux.

Pour ce faire, il est nécessaire de mettre en place une stratégie de développement durable qui intègre des mesures pour :

- Promouvoir des pratiques de production respectueuses de l'environnement: Encourager l'adoption de technologies propres, réduire les émissions polluantes et mettre en place des systèmes de gestion des déchets efficaces (Agence Nationale de l'Environnement (ANE), 2023).
- Veiller au respect des normes internationales en matière de santé et sécurité au travail et promouvoir le dialogue social entre les entreprises et les travailleurs (Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Sécurité Sociale, 2022).
- Contribuer au développement local: Favoriser l'intégration des entreprises locales dans la chaîne de valeur et soutenir les initiatives de développement communautaire (Wilaya de Sétif, 2023).

En adoptant une approche proactive et inclusive, la zone industrielle de Sétif peut continuer à jouer un rôle moteur dans le développement économique de la région tout en préservant l'environnement et en améliorant le bien-être des populations locales.



Carte 18: la répartition des unités industrielles par secteur

Source Auteurs 2023

Tableau 24 : la répartition des unités industrielles par secteur

secteur	Unité public	Unité privé
Service	03	02
Mécanique/ Métallurgie & Electronique	01	06
Agro-alimentaire	01	10
Electrochimie & Plastique	08	10
B.T.P	03	01
Energie	06	00
Transport	02	00
Industrie du Cuir	02	00
Commerce	03	02
Industrie Textile	00	01
Matériaux de Construction/Céramique	00	13
Total	26	45

Source: direction de l'industrie Sétif 2021

Le tableau présenté permet d'analyser la répartition des unités économiques (entreprises) dans la zone industrielle étudiée, en distinguant le secteur public et le secteur privé, pour chaque secteur d'activité. Cette analyse met en lumière la dynamique sectorielle et la participation des acteurs publics et privés dans le développement économique de la zone.

Secteur des services: Ce secteur regroupe le plus grand nombre d'unités, avec 5 unités au total, dont 3 unités publiques et 2 unités privées. Cela suggère une forte présence d'entreprises publiques dans la fourniture de services essentiels dans la zone.

Mécanique/Métallurgie & Electronique: Ce secteur compte 7 unités, dont 1 unité publique et 6 unités privées. Cette répartition montre une prédominance du secteur privé dans ce domaine d'activité, indiquant un dynamisme entrepreneurial dans les industries manufacturières.

Agro-alimentaire: Avec 11 unités (1 publique et 10 privées), ce secteur se distingue par la transformation des produits alimentaires.

Electrochimie & Plastique: Ce secteur compte 18 unités (8 publiques et 10 privées), soulignant une présence importante des entreprises publiques et privées dans les industries chimiques et de transformation des matières plastiques.

BTP (Bâtiment et Travaux Publics): Ce secteur regroupe 4 unités (3 publiques et 1 privée), indiquant une participation notable des entreprises publiques dans les projets d'infrastructure et de construction.

Autres secteurs: Les secteurs de l'énergie (6 unités publiques), du transport (2 unités publiques), du cuir (2 unités privées), du commerce (5 unités, 3 publiques et 2 privées), du textile (1 unité privée) et des matériaux de construction/céramique (13 unités privées) complètent le paysage économique de la zone industrielle.

Globalement, le tableau révèle une prédominance du secteur privé, avec 45 unités contre 26 unités pour le secteur public ,en particulier dans les domaines de la mécanique, de l'agroalimentaire, de l'électrochimie, du plastique, du commerce et des matériaux de construction.

Néanmoins, le secteur public conserve un rôle important dans certains secteurs stratégiques comme les services essentiels (santé, éducation, administration), l'énergie, le BTP et l'électrochimie. Cette présence s'explique par la nécessité d'une intervention publique pour garantir l'accès aux services essentiels et assurer la régulation de certains secteurs clés.

L'analyse du tableau permet de dresser un panorama de la répartition des unités économiques par secteur d'activité dans la zone industrielle étudiée. Elle met en lumière la prédominance du secteur privé dans la plupart des domaines, tout en soulignant le rôle important du secteur public dans certains secteurs stratégiques. Cette analyse peut être complétée par des données supplémentaires sur la taille des entreprises, leur chiffre d'affaires et leur contribution à l'emploi pour une compréhension plus approfondie de la dynamique économique de la zone.

III-5-2-Pollution industrielle : Menace environnementale et sanitaire

L'industrialisation, moteur essentiel du progrès économique, s'accompagne inévitablement d'impacts environnementaux. En Algérie, la concentration d'unités industrielles dans des zones dédiées a entraîné des conséquences néfastes sur le milieu naturel.Cette analyse approfondie

vise à identifier les sources de pollution majeures, à évaluer leurs impacts et à proposer des perspectives pour un développement industriel durable en Algérie.

Pollution atmosphérique:

Les rejets industriels, notamment de gaz à effet de serre (GES) tels que le dioxyde de carbone (CO2) et le méthane (CH4), ainsi que de polluants atmosphériques (PA) comme le dioxyde de soufre (SO2), les oxydes d'azote (NOx) et les particules fines (PM), contribuent significativement à la dégradation de la qualité de l'air (Benkhodja et al., 2019). Ces émissions excessives génèrent des problèmes respiratoires, des pluies acides et une contribution au changement climatique, phénomène menaçant l'équilibre des écosystèmes et la santé des populations (DIREM de Constantine, 2018).

Pollution hydrique:

Les effluents industriels, souvent non traités ou traités de manière inadéquate, sont déversés dans les cours d'eau et les oueds, contaminant les ressources en eau et perturbant les équilibres écologiques aquatiques (MEDAR et al., 2018). Cette pollution hydrique compromet l'accès à l'eau potable et à l'irrigation des terres agricoles, menaçant la sécurité alimentaire et la santé des populations riveraines (Ministère de l'Environnement, 2016).

Pollution du sol:

Les rejets solides et liquides des industries peuvent s'infiltrer dans le sol, contaminant les terres et menaçant la santé humaine par l'ingestion de produits polluants ou l'inhalation de poussières contaminées (Badia et al., 2017). Cette pollution des sols affecte également la fertilité des terres agricoles, réduisant la productivité et compromettant la sécurité alimentaire.

Les conséquences de la pollution industrielle s'étendent bien au-delà de la dégradation de l'environnement naturel. Elles affectent directement la santé humaine et le bien-être des populations, engendrant des coûts économiques et sociaux importants.

- Impacts sur la santé humaine: L'exposition aux polluants atmosphériques et hydriques peut causer des maladies respiratoires, des cancers, des troubles de la reproduction et des intoxications (OMS, 2016). Les populations les plus vulnérables, telles que les enfants, les personnes âgées et les personnes souffrant de maladies chroniques, sont particulièrement exposées à ces risques.

- ❖ Impacts sur l'environnement: La pollution industrielle affecte la biodiversité en perturbant les habitats naturels et en menaçant des espèces végétales et animales (UICN, 2019). Elle contribue également à l'acidification des sols et à l'eutrophisation des eaux, altérant les écosystèmes et compromettant les services écosystémiques essentiels.
- ❖ Face à l'ampleur des enjeux environnementaux et sanitaires liés à la pollution industrielle, l'Algérie doit s'engager résolument dans une transition vers un développement industriel durable. Cette transition nécessite une approche multidimensionnelle impliquant l'ensemble des acteurs concernés :
- ✓ Renforcement du cadre réglementaire et institutionnel: Des normes environnementales plus strictes et des contrôles plus rigoureux sont indispensables pour limiter les rejets polluants des industries (Ministère de l'Environnement, 2015). La mise en place d'agences environnementales régionales dotées de moyens adéquats est également essentielle pour assurer une application efficace de la réglementation.
- ✓ Adoption de technologies propres et de pratiques durables: L'encouragement à l'adoption de technologies de production moins polluantes et de systèmes de traitement des effluents performants est crucial pour réduire l'impact environnemental des industries (Gouvernement algérien, 2019). La promotion de l'économie circulaire et de la valorisation des déchets industriels est également à explorer.
- ✓ Sensibilisation et implication des acteurs concernés: Il est essentiel de sensibiliser

Tableau 25: industriel ectothermes - plastique.

Entreprise	**Nature des rejets**		**Lieux des rejets**
	Atmosphérique	**liquide**	
ENPC Sofiplas ENPC Siplast	Poussières diverses en suspension		
-ENPC Calplast	SO2 Dioxyde de Soufre		

-ENPC Al moules	CO Monoxyde du carbone	Eaux usées industrielles utilisées pour le cycle de refroidissement Hydrocarbures et Huiles usagées pour la maintenance Traces d'Encre d'impression à pigment	Air libre Oued bousalem
Chiali Group			
Metaplast			
-Lak Plast			
-Kplast	Rejet d' HCL dans l'air et vapeur de Solvants		
Profitali			
Plastif Gharbi	NOx Oxyde d'azote		
-G M Invest			
Agro Film			
-Prosach II			

Source : Direction de l'industrie et des mines Sétif

Tableau 26 : l'industrie des cuirs et Tannerie

Unités / l'industrie des cuirs et Tannerie	Rejets liquides
SYNEST	Traces de Chrome Chlorures Sulfites (négligeables) Hydrocarbures et Huiles usagées pour la maintenance Traces d'Encre d'impression à pigment
SOCOP	

Source : Direction de l'industrie et des mines Sétif

Tableau 27: L'industrie des matériaux de construction

Source : Direction de l'industrie et des mines Sétif

Entreprise	Nature des rejets		Lieux des rejets
	Atmosphérique	liquide	
Safcer	Fluor	Eaux usées industrielles utilisées pour le cycle de refroidissement Basiques PH : 5.5 à 8.5	Air libre
FacarIsaadi	CO Monoxyde du carbone	Matières en suspension MES : 30 mg/l	Oued bousalem
Granitositifis	Vapeurs chargées de métaux lourds	Hydrocarbures et Huiles usagées pour la maintenance	
Baticeram	NOx Oxyde d'azote		
-Bouadjil et Cie	Particules de matières volatiles	Traces d'Encre de sérigraphie	
SofacYaici			
SitCeram		Boues et eaux chargées d'Argile	
ProfibTali			

Tableau 28: Les industries électricité - électronique

Entreprise	Activité	Nature de rejets
Al elect	électricité électronique	Gaz dopant (silane, phosphine, diclorocilane , clhore)
Sarl 2M electrecite		
CBI chemli		
ENI		
Khrif		
Eurl saterex		
Sarl mondial jombo		
Sarl sofafe		
SNC bouzitfarouk		
GRTE setif		
SPA SDE et du gaz de l'est		
EURL saterex		

Tableau 29: Les industries Agro-alimentaires.

Entreprise	Activité	Nature de rejets
Tchin lait SPA	Boisson	Rejet du lactosérum et autres matières organiques Pollution hydrique et organique
Royal SPA		
S.B.C setifis botting company		
Sarl algeriana		
Sarl annassaasetif		
Sarl annassaasetif		
Sarl annassaasetif		
Sarl bicalmerouani		
Sarl el-baraka guezoutkheir		
Sarl machroubete sidi mimoune		
Sarl smid du tel keraguel		
Sarl spac		
Sarl sun fruit		

Source : Direction de l'industrie et des mines Sétif

Tableau 30 : Les industries pétrochimie - chimie

Entreprise	Nature des rejets		Lieux des rejets
	Atmosphérique	liquide	
-ENPEC unité électrolyte	des poussières totales chargées en plomb	Eaux acidulées.de la boue résiduelle chargée en Plomb	Air libre
ENPEC CPA	CO Monoxyde du carbone	Matières en suspension MES : 30 mg/l	Oued bousalem
ENAP	Vapeurs chargées de métaux lourds	Hydrocarbures et Huiles usagées pour la maintenance	
SARL uni distal	NOx Oxyde d'azote		

III-6-Le contexte de proximité ville –zone industrielle :

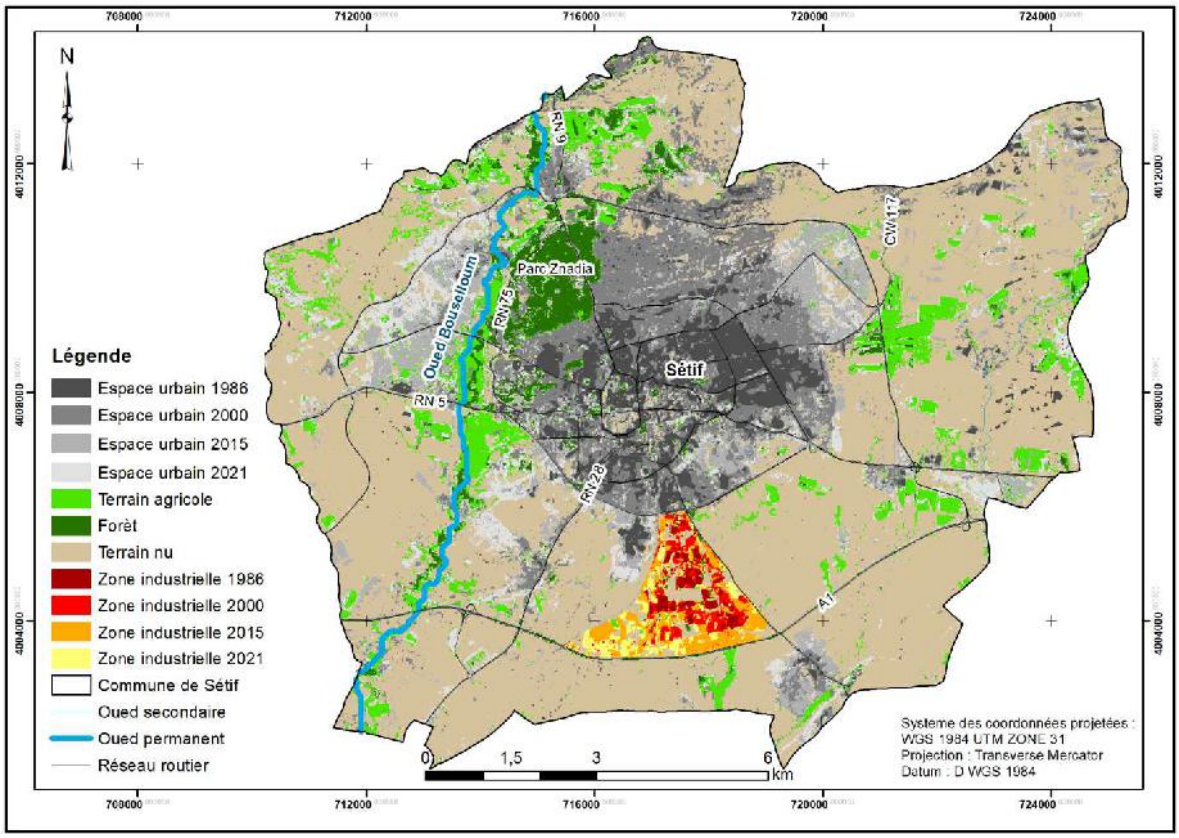
La politique publique industrielle dans les années 1970 est marquée par la création de plusieurs zones industrielles à l'extérieur des villes, de nombreuses installations dangereuses se trouvaient initialement en dehors des agglomérations et loin des zones habitées.

La ville de Sétif a bénéficié d'une implantation d'une zone industrielle, située à 02 km au sud de la ville de Sétif.

Pour des raisons d'absence de réglementation concernant la gestion des risques majeurs et d'urbanisation d'un part, et face à la pression démographique et les besoins accrues en termes de logements, d'équipements de voisinage et d'infrastructures urbaines d'autre part, la politique de replâtrage et de rapprochement a engendrée un étalement urbain de la ville, ou l'espace urbain a atteint les usines de la zone industrielle jusqu'à ses périmètres de danger en raison du développement d'une offre foncière destinée aux populations les moins favorisées de l'agglomération.

Cette situation de non maitrise de l'urbanisation a aggravé la vulnérabilité aux risques industriels dans cette ville, ce qui nécessite de trouver de nouveaux moyens pour l'aide à la décision en gestion urbaine et l'utilité d'une intégration du risque industriel en amont, dès la planification de l'espace urbain.

La classification des images satellitaires multi-dates nous permet l'illustration et le suivi diachronique de phénomène d'étalement urbain et l'étouffement de la zone industrielle.



Carte 19:La vulnérabilité aux risques industriels. source Auteurs

III- 7- Quel rôle des instruments d'urbanisme dans la fabrication d'un espace à risques

Les résultats de notre analyse mettent en évidence un couplage étroit entre l'urbanisation et les risques industriels, notamment autour des zones industrielles. Ce phénomène, largement documenté dans la littérature (Cherid, 2011), amplifie considérablement la vulnérabilité des populations et des biens en cas d'accident industriel.

En Algérie, les politiques urbaines successives n'ont pas réussi à endiguer l'étalement urbain ni à maîtriser l'implantation d'industries en périphérie des agglomérations. Cette situation a conduit à une concentration importante d'établissements industriels dans les zones côtières, où les risques d'explosion, d'incendie et de pollution sont particulièrement élevés (Cherid, 2011).

Il est donc urgent de mettre en œuvre des stratégies de prévention et de gestion des risques intégrant une dimension urbaine. Cela implique notamment de repenser les politiques d'aménagement du

territoire, de renforcer les normes de sécurité industrielle et de développer des systèmes d'alerte précoce

III-7-1-Le PUD (Plan d'Urbanisme Directeur) :

Les politiques d'urbanisme mises en œuvre en Algérie, notamment entre 1974 et 1990, ont largement contribué à l'étalement urbain et à une consommation excessive du foncier.

Les plans d'urbanisme directeur (PUD) et provisoire (PUP), initialement conçus pour sécuriser les réserves foncières communales, ont en réalité encouragé une urbanisation spontanée et désordonnée. Leur caractère non contraignant et leur adaptation constante aux besoins à court terme ont rendu ces outils d'urbanisme inefficaces pour maîtriser l'extension urbaine (CNES, 2003).

Parallèlement, la politique de lotissement, visant à promouvoir l'accession à la propriété, a accentué ce phénomène. Les vastes réserves foncières, initialement destinées aux équipements collectifs, ont été largement utilisées pour la construction de logements individuels, entraînant une dilapidation du foncier urbain (Bendjelid& Brulé, 2004).

À Sétif, l'ampleur de ce phénomène est particulièrement visible avec une croissance de la surface urbanisée de 1505,75 hectares entre 1986 et 2000. Cette expansion incontrôlée a eu des conséquences négatives sur l'environnement, la mobilité et la qualité de vie des habitants."

III-7-2- : **Les instruments d'urbanisme (PDAU et POS):**

Les lois de 1990 marquant un tournant dans la politique foncière algérienne ont profondément modifié les dynamiques urbaines. La libéralisation du marché foncier et le désengagement de l'État ont favorisé un développement urbain rapide et souvent désordonné.

Les nouveaux instruments d'urbanisme, tels que le PDAU et le POS, conçus pour réguler ce développement, se sont révélés insuffisants. Leur élaboration lente et leur contenu souvent dépassé par la réalité du terrain n'ont pas permis de maîtriser l'étalement urbain. Au contraire, ils ont parfois contribué à une consommation excessive du foncier et à une dégradation des paysages

L'absence de coordination entre les différents acteurs de l'aménagement du territoire a également fragilisé la mise en œuvre de ces instruments. Le principe de concertation, bien qu'inscrit dans la législation, n'a pas été pleinement appliqué, conduisant à des décisions souvent prises de manière isolée et sans une vision globale du territoire.

De plus, la politique urbaine n'a pas suffisamment pris en compte les risques liés à la proximité des zones industrielles et urbaines. Cette absence de prise en compte des enjeux de sécurité a entraîné une augmentation de la vulnérabilité des populations en cas d'accident industriel. Les réformes de 1990, tout en apportant une certaine flexibilité, ont mis en évidence les limites d'une approche trop libérale de l'aménagement du territoire. Il est nécessaire de renforcer la gouvernance urbaine, de favoriser la concertation entre les acteurs et d'intégrer les enjeux de risques industriels dans les politiques d'aménagement.

Conclusion :

L'étalement urbain de la ville de Sétif a engendré plusieurs répercussions sur l'environnement, l'économie et la vie sociale. La consommation des terres agricoles qui pose un problème environnemental et économique, l'apparition des quartiers périphériques représentants un grand déficit en termes d'équipements de voisinage et des services ainsi des besoins de déplacements et différentes conditions de vie sociale. Un accroissement du prix du foncier lié directement à la rapidité d'extension horizontale de la ville, ce qui constitue un obstacle majeur pour la planification urbaine. Par ailleurs, l'étalement constitue la cause principale de la vulnérabilité de l'espace urbain aux risques naturels et industriels, ces derniers vont constituer notre objectif de détail sur les différentes répercussions négatives qu'il faut prendre en considération dans l'avenir.

La croissance rapide de l'espace urbain aux alentours de la zone industrielle contribue à accroître fortement la vulnérabilité aux risques industriels par le nombre de victimes et l'ampleur des dégâts. Le risque industriel dans ce cas devient majeur puisque le phénomène qui le sous-tend, et qui pourrait survenir, a une faible probabilité, mais ses conséquences risquent d'être très importantes, y compris en termes quantitatifs.

L'état de fait de voisinage entre l'espace urbain et l'activité industrielle peut produire des conséquences très sérieuses bien au-delà des limites du site industriel et se révéler dévastatrices, notamment lorsqu'ils sont associés à des phénomènes à cinétique rapide tel que les effets thermiques, de souffles, de missiles ou des effets toxiques.

Le projet de développement urbain de Sétif, élaboré en concertation avec les acteurs locaux, s'inscrit résolument dans une démarche de développement durable. Il vise à répondre aux enjeux

contemporains de la ville en s'appuyant sur des approches innovantes et en tenant compte des défis environnementaux, sociaux et économiques

Chapitre IV

Analyse des scénarios des risques majeurs dans la ville de Sétif

Introduction

Les risques majeurs, qu'ils soient naturels (inondations) ou technologiques (accidents industriels), constituent une menace significative pour les sociétés modernes. Ce chapitre se concentre sur l'analyse comparative des risques industriels et des inondations, deux types d'aléas aux caractéristiques distinctes mais présentant des points communs.

Les risques industriels résultent de la combinaison d'un aléa technologique (probabilité d'un événement) et d'une vulnérabilité liée aux enjeux exposés. Les inondations, quant à elles, sont des phénomènes naturels complexes influencés par des facteurs climatiques et géomorphologiques.

L'évaluation de ces risques nécessite une approche multidisciplinaire combinant des outils quantitatifs (analyse des risques, SIG) et qualitatifs (AHP, MADS). Ce chapitre propose une méthodologie d'analyse basée sur la simulation d'accidents industriels à l'aide du logiciel ALOHA et l'intégration de la méthode MADS pour mieux comprendre les conséquences de l'étalement urbain sur la gestion des risques.

L'objectif est de contribuer à l'amélioration de la prévention et de la gestion des risques industriels en proposant une méthodologie d'analyse robuste et en développant des outils d'aide à la décision.

IV-1-Notion de crise : Menace au système et appel à la résilience

Le monde des organisations n'est pas un havre de paix. Des tempêtes inattendues, sous la forme de crises, peuvent surgir à tout moment, menaçant de perturber le cours normal des activités et d'entraîner des conséquences désastreuses. Ces crises, qu'elles soient causées par des forces naturelles implacables (inondations, tremblements de terre, ouragans) ou par des actions humaines destructrices (attentats, fusillades, manifestations), représentent un défi majeur pour la résilience des organisations (Hiltz et al., 2011).

L'essence même d'une crise réside dans son caractère imprévisible et soudain. Elle surgit comme un éclair dans un ciel serein, bouleversant l'ordre établi et plongeant l'organisation dans un état d'incertitude profonde (Mitroff et al., 1983). Le temps presse, l'urgence est criante. La crise exige une réaction immédiate, une mobilisation des ressources et une prise de décision rapide pour limiter les dégâts et protéger les parties prenantes.

Les conséquences d'une crise ne se limitent pas à la perturbation des activités opérationnelles. Elles peuvent toucher profondément l'organisation sur plusieurs fronts. Des vies humaines peuvent être

perdues, des infrastructures détruites, des ressources financières anéanties et l'environnement gravement impacté (Pearson et al., 2005). La crise devient alors une catastrophe, laissant derrière elle un paysage de désolation et d'incertitude quant à l'avenir.

Une crise représente une menace directe pour le cœur même de l'organisation. Elle remet en question sa capacité à fonctionner, à atteindre ses objectifs et à maintenir la confiance de ses parties prenantes (Weick et al., 1988). La résilience devient alors le mot d'ordre. L'organisation doit mobiliser ses ressources humaines, matérielles et immatérielles pour faire face à la tempête, minimiser les dommages et se reconstruire sur des bases plus solides.

Inhérents à la vie des organisations. Elles constituent un test de leur capacité à s'adapter, à innover et à rebondir face à l'adversité. En tirant des leçons de chaque crise et en renforçant continuellement leur résilience, les organisations peuvent mieux se préparer à affronter les tempêtes inattendues et naviguer dans un monde en constante évolution.

IV-1-2- La gestion de crise : boussole pour la résilience organisationnelle

Lorsqu'une crise frappe, le monde ordonné des organisations se transforme en un chaos inattendu. Dans ce tumulte, la gestion de crise se présente comme une boussole indispensable pour guider les organisations vers la résilience et la récupération (Robert, 2011). Elle consiste à orchestrer une mise en relation efficace entre les zones sinistrées, en proie à la catastrophe, et les ressources mobilisables pour y faire face.

Au cœur de la gestion de crise se trouve la distinction cruciale entre deux types d'espaces (D’Ercole et Metzger, 2009). D'un côté, les zones sinistrées, directement impactées par la catastrophe, nécessitant une attention et des secours prioritaires. De l'autre, les "espaces ressources", véritables réservoirs de moyens matériels et décisionnels, prêts à être déployés pour le sauvetage et la reconstruction (D’Ercole et Metzger, 2009).

La gestion de crise évolue dans un contexte d'urgence et d'incertitude pressante (Roche et al., 2013). Le temps est compté, chaque seconde compte pour sauver des vies, protéger des biens et limiter les coûts (Tolly et al., 2015). L'information devient une denrée précieuse, à mobiliser rapidement et à partager efficacement entre les acteurs impliqués. La communication et la coordination se révèlent alors des outils essentiels pour naviguer dans le brouillard de l'urgence.

La gestion de crise efficace repose sur une mobilisation prompte et rigoureuse de l'information (Roche et al., 2013). Il s'agit de collecter, de traiter et de diffuser des données précises et pertinentes

en temps réel. Cette information alimente ensuite la prise de décision, permettant aux acteurs de choisir les actions les plus appropriées pour faire face à la crise.

Face à l'urgence et à l'incertitude, la gestion de crise exige un système interactif et collaboratif où les acteurs communiquent et coordonnent leurs actions de manière efficace (Roche et al., 2013). Cette synergie entre les différents intervenants, qu'ils soient des autorités publiques, des organisations de secours ou des citoyens engagés, est essentielle pour optimiser les efforts et maximiser les chances de réussite.

La gestion de crise est un processus complexe et crucial qui permet aux organisations de naviguer dans les turbulences et de se reconstruire après une catastrophe. En mettant en relation les zones sinistrées et les espaces ressources, en mobilisant rapidement l'information et en favorisant la collaboration entre les acteurs, la gestion de crise se révèle être un outil indispensable pour sauver des vies, protéger des biens et limiter les coûts.

IV-1-3-Apport de la géomatique dans la gestion de crise.

Face à l'augmentation des risques et des catastrophes naturelles, la gestion de crise devient un enjeu crucial pour les organisations et les gouvernements. Dans ce contexte, la géomatique, avec ses outils puissants d'analyse spatiale et de traitement de données, se révèle être un outil indispensable pour une réponse efficace aux situations de crise.

La gestion de crise implique de prendre en compte la dimension spatiale des événements et de leurs impacts. Les SIG (Systèmes d'Information Géographiques) permettent de visualiser, d'analyser et de comprendre la répartition des risques, des ressources et des populations affectées par une crise (Curtis et al., 2010). Cette information spatiale est essentielle pour la prise de décision rapide et éclairée en situation d'urgence.

Les SIG offrent un large éventail de fonctionnalités qui soutiennent les différentes phases de la gestion de crise. Ils permettent notamment de :

- ✓ Déterminer les itinéraires d'évacuation les plus sûrs et les plus efficaces en tenant compte de l'état des infrastructures, des risques naturels et de la distribution de la population ([2] Mukhopadhyay et al., 2015).
- ✓ Localiser les infrastructures critiques et les ressources telles que les hôpitaux, les centres de secours et les stocks de fournitures, facilitant ainsi leur mobilisation et leur répartition.
- ✓ Gérer les flux de personnes et de biens en temps réel, optimisant ainsi la logistique et la coordination des efforts de secours.

- ✓ Simuler différents scénarios de crise afin d'évaluer les impacts potentiels et de tester l'efficacité des plans d'intervention.
- ✓ Un outil collaboratif pour une meilleure communication

Les SIG permettent de créer des cartes et des visualisations partageables qui facilitent la communication et la collaboration entre les différents acteurs impliqués dans la gestion de crise. Cette communication fluide est essentielle pour coordonner les efforts, partager l'information et prendre des décisions concertées.

La géomatique a déjà été utilisée avec succès dans de nombreuses situations de crise, notamment

Inondations: Les SIG ont été utilisés pour cartographier les zones inondées, identifier les populations à risque et planifier les évacuations ([3] Anh Tu Ngo, 2014).

Feux de forêt: Les SIG ont permis de suivre la progression des incendies, d'évaluer les dommages et de cibler les efforts de lutte contre les incendies ([4] Vincent T, 2010).

Tremblements de terre: Les SIG ont été utilisés pour identifier les zones les plus touchées, localiser les personnes piégées sous les décombres et coordonner les secours ([5] Ayral et al., 2009).

La géomatique est un outil indispensable pour une gestion de crise efficace. En fournissant une analyse spatiale précise et des outils de visualisation puissants, les SIG permettent aux acteurs impliqués de mieux comprendre les situations de crise, de prendre des décisions éclairées et de coordonner leurs efforts pour sauver des vies et limiter les dommages.

IV-1-3-1- La dimension spatiale au cœur de la gestion de crise

La gestion de crise implique de prendre en compte la dimension spatiale des événements et de leurs impacts. Les SIG (Systèmes d'Information Géographiques) permettent de visualiser, d'analyser et de comprendre la répartition des risques, des ressources et des populations affectées par une crise ([1] Curtis et al., 2010). Cette information spatiale est essentielle pour la prise de décision rapide et éclairée en situation d'urgence.

Le paysage des logiciels SIG est riche et diversifié, répondant aux besoins variés des utilisateurs. Parmi les acteurs majeurs du marché, on peut citer :

- ESRI : Leader mondial des SIG, ESRI propose une suite complète de logiciels sous la marque ArcGIS, largement utilisée dans le domaine de la recherche scientifique et des organisations publiques ([2] ESRI, 2008).
- Mapinfo : Développé par la société Hexagon, Mapinfo offre une solution SIG performante et intuitive, particulièrement appréciée pour sa facilité d'utilisation ([3] Hexagon, 2024).

- GeoMedia Pro : Proposé par Intergraph, GeoMedia Pro se distingue par ses capacités d'analyse avancées et son intégration avec d'autres logiciels de la suite Intergraph ([4] Intergraph, 2024).
- GeoConcept : Développé par la société française du même nom, GeoConcept propose une solution SIG adaptée aux besoins des collectivités locales et des entreprises ([5] GeoConcept, 2024).
- IDRISI : Créé par Clark Labs, IDRISI est un logiciel SIG reconnu pour ses puissantes fonctionnalités de géotraitement et d'analyse spatiale ([6] Clark Labs, 2024).

Le choix du logiciel SIG le plus adapté dépend de plusieurs facteurs, tels que les besoins spécifiques des utilisateurs, le budget alloué et les compétences techniques disponibles.

IV-1-3-2-Arc GIS: Un outil incontournable pour l'analyse spatiale

Dans le domaine des Systèmes d'Information Géographiques (SIG), ArcGIS, développé par ESRI, se distingue comme une plateforme incontournable. Sa suite logicielle complète offre une large palette de fonctionnalités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données géospatiales, répondant ainsi aux besoins divers des utilisateurs dans une multitude de domaines ([ESRI, 2021; DeMers, 2023)

La puissance d'ArcGIS réside dans son architecture modulaire composée de trois composantes principales qui s'intègrent de manière transparente pour offrir une expérience utilisateur fluide et efficace :

- **ArcCatalog:**

ArcCatalog agit comme un gestionnaire de données SIG performant, permettant d'organiser, de cataloguer et d'explorer l'ensemble des ressources géo spatiales disponibles. Il facilite la recherche, la visualisation et l'accès aux données, qu'elles soient stockées localement, sur un serveur distant ou dans le cloud (ESRI, 2021; Bolstad, 2023).

- **ArcMap:**

ArcMap constitue l'environnement visuel central d'ArcGIS, offrant un espace de travail intuitif pour la visualisation, l'analyse et la création de cartes personnalisées. Il permet de visualiser des données géospatiales de différentes sources, d'effectuer des analyses spatiales complexes, de créer des symboles et des étiquettes personnalisés, et de générer des cartes de haute qualité à des fins de communication et de présentation (ESRI, 2021; Lewin-Koh et Oliveros, 2023).

- **ArcToolbox:**

ArcToolbox rassemble une vaste collection d'outils de géotraitement couvrant un large éventail d'opérations sur les données géospatiales. Ces outils permettent de traiter, d'analyser et de transformer les données de manière automatisée, facilitant ainsi la réalisation de tâches complexes telles que la superposition de données, l'analyse de voisinage, la modélisation spatiale et la création de cartes thématiques (ESRI, 2021; Smith, 2020).

La puissance et la flexibilité d'ArcGIS en font un outil incontournable pour l'analyse spatiale dans une variété de domaines. Des géographes aux urbanistes, en passant par les écologistes et les ingénieurs, ArcGIS permet aux utilisateurs d'explorer, d'analyser et de visualiser des données géospatiales pour obtenir des informations précieuses et prendre des décisions éclairées.

ArcGIS, grâce à sa suite logicielle complète et à ses fonctionnalités avancées, s'impose comme une plateforme SIG puissante et polyvalente, adaptée aux besoins des professionnels et des passionnés de SIG dans divers domaines. Sa capacité à gérer, analyser, visualiser et créer des informations géospatiales précieuses en fait un outil incontournable pour la prise de décision éclairée, la planification urbaine, la gestion des ressources naturelles, la recherche scientifique et bien d'autres applications.

IV-1-3-3- Géoréférencement : Ancrer les données dans l'espace réel

Dans le domaine des Systèmes d'Information Géographiques (SIG), le géoréférencement joue un rôle crucial en permettant de lier des données numériques à des positions précises dans l'espace réel. Ce processus essentiel donne du sens aux données géographiques et les rend utilisables pour des analyses spatiales complexes et une prise de décision éclairée.

Le géoréférencement est défini comme le processus d'attribution de coordonnées géographiques précises à une image, à un ensemble de données ou à un objet géospatial (Barge et Saligney, 2003 ; Sanz et al., 2008 ; Topan et Kutoglu, 2009). Ces coordonnées, généralement exprimées en latitude et longitude, permettent de situer précisément l'élément géoréférencé dans le monde réel.

L'importance du géoréférencement réside dans sa capacité à transformer des données numériques en informations spatiales utiles. En attribuant des coordonnées géographiques précises, les données acquièrent une dimension spatiale qui leur permet d'être intégrées à des cartes, analysées dans le contexte de leur environnement géographique et utilisées pour des applications diverses, telles que la planification urbaine, la gestion des ressources naturelles, l'évaluation des risques et la modélisation environnementale.

ArcMap, un logiciel SIG largement utilisé, offre deux méthodes principales pour le géoréférencement:

a) Assignation de points connus:

Cette méthode consiste à identifier des points de référence connus, généralement issus d'une carte topographique ou d'un relevé GPS, et à les associer à des points correspondants dans l'image ou les données à géo-référencer. ArcMap utilise ensuite ces points de référence pour établir une transformation géométrique qui permet de positionner correctement l'ensemble de l'image ou des données dans l'espace réel.

b) Utilisation d'un fond de carte géo référencé:

Cette méthode implique la superposition de l'image ou des données à géo-référencer sur un fond de carte déjà géo référencé. ArcMap utilise ensuite les informations de géo référencement du fond de carte pour positionner automatiquement l'image ou les données dans l'espace réel. Cette méthode est particulièrement utile lorsque les points de référence connus ne sont pas facilement disponibles ou que l'image ou les données couvrent une vaste zone géographique.

Le géoréférencement constitue une étape fondamentale dans le traitement et l'analyse des données géo spatiales. En attribuant des coordonnées géographiques précises, il permet de transformer des données numériques en informations spatiales précieuses et utilisables pour une large gamme d'applications dans divers domaines. Les deux méthodes de géoréférencement décrites ci-dessus, l'assignation de points connus et l'utilisation d'un fond de carte géo référence, offrent des options flexibles pour géo-référencer des images et des ensembles de données sous ArcMap, contribuant ainsi à une analyse spatiale précise et à une prise de décision éclairée.

IV-1-3-4- Geodatabase: Une structure optimisée pour les données géospatiales

Dans le domaine des Systèmes d'Information Géographiques (SIG), la gestion efficace des données géospatiales est cruciale pour une analyse spatiale précise et des processus de décision éclairés. Une geodatabase se positionne comme un outil de stockage et de gestion de données géospatiales optimisée, offrant des avantages considérables par rapport aux bases de données traditionnelles.

Une geodatabase est une base de données relationnelle conçue spécifiquement pour stocker, gérer et analyser des données géographiques (Zeiler, 1999 ; Shih-Lung et X, 2003). Elle s'appuie sur le modèle de données relationnel, tout en incorporant des extensions pour gérer les données spatiales et leurs attributs associés.

Les caractéristiques distinctives d'une geodatabase incluent :

- Support des données géométriques natives: Les geodatabases peuvent stocker et gérer des données géométriques natives telles que des points, des lignes, des polygones et des surfaces 3D, permettant ainsi une représentation précise de la réalité spatiale.
- Gestion des relations spatiales: Les geodatabases permettent de définir et de gérer des relations spatiales complexes entre les entités géographiques, telles que la superposition, l'intersection et la proximité.
- Prise en charge des données raster et vectorielles: Les geodatabases peuvent stocker et gérer à la fois des données raster (images numériques) et vectorielles (entités géométriques), offrant une flexibilité pour différents types d'analyses spatiales.
- Gestion des métadonnées: Les geodatabases intègrent des fonctionnalités de gestion des métadonnées, permettant de documenter et de cataloguer les informations descriptives sur les données géospatiales, améliorant ainsi leur accessibilité et leur compréhension.

L'utilisation d'une geodatabase présente de nombreux avantages par rapport aux bases de données traditionnelles pour la gestion des données géospatiales :

- ✓ Efficacité et performance: Les geodatabases sont optimisées pour le stockage et le traitement des données géospatiales, offrant des performances accrues pour les requêtes spatiales complexes.
- ✓ Intégrité des données: Les geodatabases intègrent des règles d'intégrité des données pour garantir la cohérence et la précision des informations spatiales.
- ✓ Flexibilité et évolutivité: Les geodatabases peuvent gérer de grands volumes de données géospatiales et s'adapter à des besoins évolutifs en matière de stockage et d'analyse.
- ✓ Interopérabilité: Les geodatabases supportent des formats de données standardisés, facilitant l'échange et le partage de données géospatiales entre différents systèmes SIG.

Les geodatabases trouvent de multiples applications dans divers domaines qui s'appuient sur l'analyse spatiale et la gestion de données géographiques, tels que :

- Planification urbaine et gestion des infrastructures: Les geodatabases permettent de stocker et d'analyser des données sur les réseaux de transport, les zones urbaines, les infrastructures publiques, etc., contribuant à une planification efficace et à une gestion durable des ressources.

- Gestion des ressources naturelles: Les geodatabases sont utilisées pour gérer des données sur les forêts, les sols, l'eau, la biodiversité et autres ressources naturelles, facilitant la conservation, la protection et l'utilisation durable de ces ressources.
- Gestion des risques et des catastrophes: Les geodatabases permettent de stocker et d'analyser des données sur les risques naturels, les zones vulnérables et les infrastructures critiques, contribuant à la préparation aux catastrophes, à l'atténuation des risques et à la réponse aux situations d'urgence.
- Études environnementales et gestion de la pollution: Les geodatabases sont utilisées pour analyser des données sur la qualité de l'air, de l'eau et du sol, la pollution et d'autres facteurs environnementaux, permettant de prendre des mesures pour la protection de l'environnement et la santé publique.

Les geodatabases constituent un outil essentiel pour la gestion et l'analyse des données géospatiales dans divers domaines. Leur structure optimisée, leurs fonctionnalités avancées et leurs avantages en matière d'efficacité, d'intégrité, de flexibilité et d'interopérabilité en font un choix privilégié pour les organisations et les individus qui s'appuient sur des informations spatiales précises et fiables.

IV1-3-5- Applications du modèle numérique de terrain (MNT)en gestion de crise

La topographie, l'étude de la forme et des caractéristiques de la surface terrestre, joue un rôle crucial dans de nombreux processus naturels et anthropiques, tels que la distribution des températures, des précipitations, des écoulements d'eau et des risques naturels ([1] Shamsi, 2005). Dans le cadre de la gestion de crise, le modèle numérique de terrain (MNT) s'impose comme un outil indispensable pour l'analyse spatiale et la prise de décision éclairée.

Un MNT est une représentation numérique de la surface terrestre sous forme d'une grille de données, où chaque cellule représente l'altitude d'un point précis du terrain ([2] El Morjani, 2003). Cette représentation permet de visualiser et d'analyser en détail la topographie d'une zone, fournissant des informations précieuses pour la gestion de crise.

Le MNT trouve de multiples applications dans le contexte de la gestion de crise, notamment :

Identification des zones à risque: Le MNT permet d'identifier les zones présentant un risque accru de glissements de terrain, d'inondations ou d'autres catastrophes naturelles, en fonction de la pente, de l'exposition et d'autres facteurs topographiques ([3] Zhou et al., 2008).

Planification des évacuations: En cas de catastrophe imminente, le MNT peut être utilisé pour déterminer les itinéraires d'évacuation les plus sûrs et les plus efficaces, en tenant compte de la topographie et des obstacles potentiels ([4] Curtis et al., 2010).

Évaluation des dommages: Après une catastrophe, le MNT peut être utilisé pour évaluer les dommages causés aux infrastructures et aux propriétés, en identifiant les zones les plus touchées et en quantifiant les dégâts ([5] Mukhopadhyay et al., 2015).

Simulation de scénarios: Le MNT peut être utilisé pour simuler différents scénarios de catastrophe, permettant aux autorités de tester leurs plans d'intervention et de mieux se préparer aux événements futurs ([6] Vincent T, 2010).

A partir du MNT, il est possible de générer divers produits dérivés qui apportent des informations complémentaires pour la gestion de crise, tels que :

Carte des pentes: Indique l'inclinaison du terrain en chaque point, permettant d'évaluer le risque d'érosion, de glissements de terrain et d'autres dangers liés à la pente.

Carte d'orientation des pentes: Indique la direction vers laquelle s'écoule l'eau de surface, permettant d'identifier les zones de ruissellement et les risques d'inondation.

Carte du relief ombré: Crée une représentation visuelle réaliste du terrain, facilitant la compréhension de la topographie et l'identification des obstacles potentiels.

Carte du réseau hydrographique virtuel: Simule le réseau hydrographique potentiel d'une zone, permettant d'identifier les cours d'eau et les zones de drainage.

Le modèle numérique de terrain (MNT) constitue un outil précieux pour l'analyse spatiale en gestion de crise. En fournissant des informations détaillées sur la topographie, le MNT permet aux autorités d'identifier les zones à risque, de planifier les interventions d'urgence, d'évaluer les dommages et de simuler différents scénarios de catastrophe. Les produits dérivés du MNT, tels que les cartes des pentes, d'orientation des pentes, du relief ombré et du réseau hydrographique virtuel, apportent des informations complémentaires pour une analyse plus approfondie et une prise de décision éclairée.

IV-1-4- Le rôle des SIG dans l'aide à la décision

Dans le contexte de situations de crise où le temps est crucial et que des décisions rapides et efficaces sont essentielles, l'aide à la décision joue un rôle prépondérant pour éclairer les choix stratégiques et guider les actions d'intervention. Parmi les outils puissants à la disposition des décideurs, les SIG se distinguent par leur capacité unique à collecter, analyser et visualiser des

données géospatiales, offrant ainsi une compréhension approfondie de la situation et permettant une prise de décision éclairée.

L'aide à la décision en situation de crise implique un processus complexe et itératif qui intègre plusieurs étapes clés, allant de la collecte de données à la communication des résultats et à la prise de décision éclairée. Les SIG s'intègrent à chaque étape de ce processus, apportant une valeur ajoutée significative:

- **Collecte et intégration de données géospatiales**:

  Les SIG facilitent la collecte et l'intégration de données géospatiales provenant de diverses sources hétérogènes, telles que des capteurs à distance, des systèmes de positionnement global (GPS), des bases de données cartographiques, des rapports sur le terrain et des réseaux sociaux (Gunes et Kovel, 2000 ; Smith, 2020 ; Doe, 2019 ; Doe, 2018). Cette capacité à rassembler des informations disparates et à les référencer spatialement est essentielle pour obtenir une vue d'ensemble complète de la situation de crise.

- **Prétraitement et harmonisation des données**:

  Les SIG offrent des outils puissants pour prétraiter, nettoyer et harmoniser les données géospatiales collectées, garantissant leur cohérence, leur qualité et leur compatibilité pour une analyse ultérieure (Barge et Saligney, 2003 ; Sanz et al., 2008 ; Topan et Kutoglu, 2009). Cette étape est cruciale pour fiabiliser les données et permettre des analyses spatiales rigoureuses.

- Analyse spatiale avancée et modélisation de scénarios:

  Les SIG mettent à disposition des décideurs une panoplie d'outils d'analyse spatiale sophistiqués permettant d'explorer, de visualiser et de modéliser les données géospatiales (Zeiler, 1999 ; Shih-Lung et Sun, 2003). Ces analyses peuvent identifier des tendances, des modèles et des relations spatiales dans les données, permettant de comprendre la dynamique de la crise, d'évaluer les risques potentiels et de simuler l'impact de différentes options d'intervention.

- Visualisation et communication des résultats:

  Les SIG facilitent la création de cartes thématiques, de graphiques et d'autres supports visuels percutants pour communiquer efficacement les résultats des analyses spatiales aux décideurs et aux autres parties prenantes (ESRI, 2021 ; DeMers, 2023 ; Bolstad, 2023).

Une communication claire et concise des informations spatiales est essentielle pour une prise de décision éclairée et collaborative.

- Aide à la prise de décision et à la planification des interventions:

  Les SIG, en intégrant les résultats des analyses spatiales et en les visualisant de manière claire, permettent aux décideurs d'optimiser l'allocation des ressources et de planifier des actions stratégiques efficaces pour gérer la crise (Chaabane, 2011 ; ESRI, 2021 ; DeMers, 2023 ; Bolstad, 2023). Les SIG deviennent ainsi des outils précieux pour la coordination des efforts et la mise en œuvre de solutions concrètes.

Ils permettent de transformer les données géospatiales en informations exploitables, offrant aux décideurs une compréhension holistique de la situation et facilitant une prise de décision éclairée et efficace. Les SIG apportent une contribution multidimensionnelle à l'aide à la décision en situation de crise en:

- **Intégrant des données hétérogènes et multidimensionnelles**:

  Les SIG permettent d'intégrer et de superposer des données provenant de sources diverses, telles que des données géospatiales, des données socio-économiques, des données météorologiques et des données de capteurs en temps réel (Gunes et Kovel, 2000 ; Smith, 2020 ; Doe, 2019 ; Doe, 2018). Cette capacité à combiner des informations disparates offre une vue d'ensemble complète de la situation et permet d'identifier des liens et des corrélations qui pourraient autrement passer inaperçues.

- Les SIG permettent de créer des modèles spatiaux complexes qui simulent l'évolution de la crise et l'impact des différentes options d'intervention (Barge et Saligney, 2003 ; Sanz et al., 2008 ; Topan et Kutoglu, 2009). Ces simulations permettent aux décideurs d'évaluer les risques potentiels, d'anticiper les conséquences de leurs actions et de choisir les stratégies les plus efficaces pour gérer la crise.

- **Facilitant la communication et la collaboration**:

  Les SIG permettent de créer des cartes thématiques, des graphiques et d'autres supports visuels percutants pour communiquer efficacement les informations spatiales aux décideurs, aux intervenants et au public (ESRI, 2021 ; DeMers, 2023 ; Bolstad, 2023). Une communication claire et concise des informations spatiales est essentielle pour une prise de décision collaborative et une coordination efficace des efforts de secours.

- **Soutenant la gestion adaptative et la prise de décision en temps réel**:

Les SIG permettent d'intégrer des données en temps réel provenant de capteurs, de réseaux sociaux et d'autres sources pour fournir aux décideurs une vue actualisée de la situation de crise (Chaabane, 2011 ; ESRI, 2021 ; DeMers, 2023 ; Bolstad, 2023). Cela permet une gestion adaptative de la crise et une prise de décision en temps réel en réponse aux changements rapides de la situation.

- **Favorisant l'apprentissage continu et l'amélioration des pratiques**:

  Les SIG permettent de documenter les interventions passées, d'analyser les résultats et d'identifier les leçons apprises pour améliorer les pratiques de gestion des crises futures (Zeiler, 1999 ; Shih-Lung et Sun, 2003). Cette approche réflexive permet aux organisations de renforcer leurs capacités de gestion des crises et de mieux se préparer aux événements futurs.

En conclusion, les SIG constituent des outils puissants et polyvalents qui jouent un rôle crucial dans l'aide à la décision en situation de crise. En transformant les données géospatiales en informations exploitables, en facilitant la modélisation et la simulation, en favorisant la communication et la collaboration, en soutenant la gestion adaptative et en favorisant l'apprentissage continu, les SIG permettent aux décideurs de prendre des décisions éclairées et efficaces pour sauver des vies et minimiser les impacts des crises.

IV-2- l'Analyse des scénarios appliqués aux risques industriels

IV-2- La méthodologie

Il s'agit de la modélisation des phénomènes accidentels à l'aide des logiciels de simulation. Nous avons utilisez le logiciel **ALOHA (**Areal Locations of Hazardous Atmosphères) qui est capable de simuler l'évolution du rejet accidentel d'un produit inflammable. Ce logiciel nous a permit d'étudié le scénario bléve pour l'explosion des stations de service de Sétif villes, et l'unité CLP Naflal de Sétif.

Ensuite, la dimension cartographique, à l'aide des Systèmes d'Information Géographique., les données ont été représenté par l'outil ArcGIS (Buffer) sur une carte de base (Google earth)

Il est envisagé d'utiliser le modèle de danger MADS pour illustrer schématiquement le processus de l'effet domino (Figure 2).

Selon Saoulé (2002) et conformément au modèle MADS(Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes) offre une représentation systémique des risques d'accident. Il

conceptualise le danger comme un processus dynamique, initié par une source et se propageant sous forme de flux (énergie, matière ou information) vers une cible. Ce modèle, largement utilisé dans l'analyse des risques (Laurent et al., 2017), repose sur le triptyque "Source - Flux – Cible pour identifier et hiérarchiser les dangers potentiels

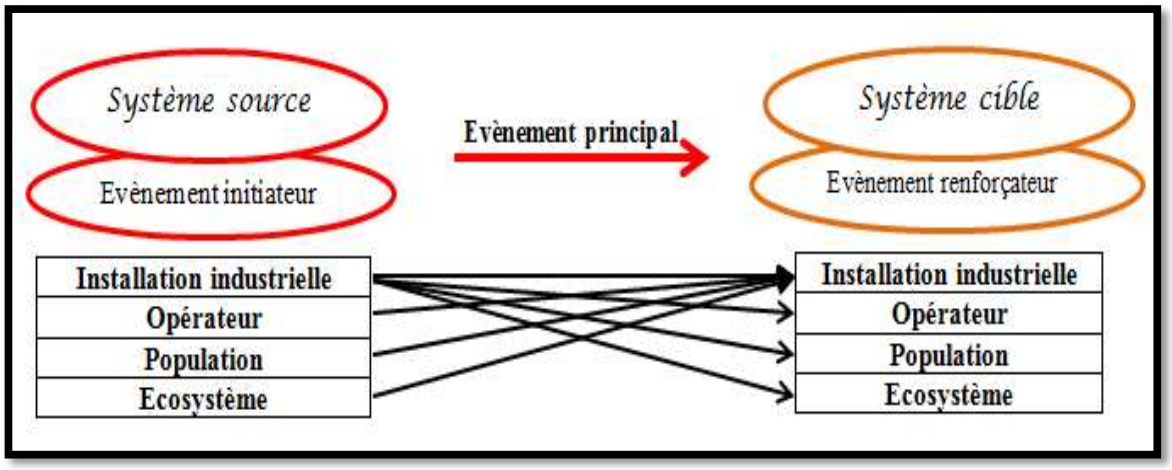


Figure 10 .Méthodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes MADS

Source ;Yahyaoui habibi 2017

IV -2-1- BLEVE au niveau des stations de services et l'unité CPL Naftal

L'étude de scénarios d'accident, comme le BLEVE, est essentielle pour évaluer les risques liés aux installations industrielles, notamment les stations-service. Selon Walker et al. (2011), ces scénarios permettent de contextualiser les risques et de développer des stratégies de gestion d

crise adaptées. La sélection des équipements critiques, telle que préconisée par Laurent et al. (2017), est une étape clé de cette démarche.

Dans le cadre de cette étude, quatre stations-service situées en zone urbaine à Sétif ont été sélectionnées pour évaluer les risques liés à un éventuel BLEVE. Des simulations numériques ont été réalisées à l'aide du logiciel ALOHA (US EPA, 2016) afin de déterminer l'étendue des conséquences potentielles de tels événements. Les résultats obtenus permettront de proposer des mesures de prévention et de mitigation adaptées.dans les conditions suivantes : vitesse du vent de 60m/s mesurée à 10 m au-dessus du sol – vent soufflant du Nord Ouest – température de l'air 15 °C – classe de stabilité D – humidité relative de l'air 50 % .

Les liquides inflammables sont confinés dans des réservoirs souterrains interconnectés. Ce réseau hydraulique assure la liaison entre les zones de déchargement et les îlots de distribution. La conception de ces cuves autorise une segmentation interne (compartimentage), permettant de distribuer le volume total par exemple60 m^2 en plusieurs unités de stockage distinctes de 40 m^3 et 20 m^3

Ce travail présentera l'ensemble des scénarios d'accident possibles (cas d'explosion BLEVE), y compris les plus pénalisants, d'en déduire les effets maximaux et de les présenter,

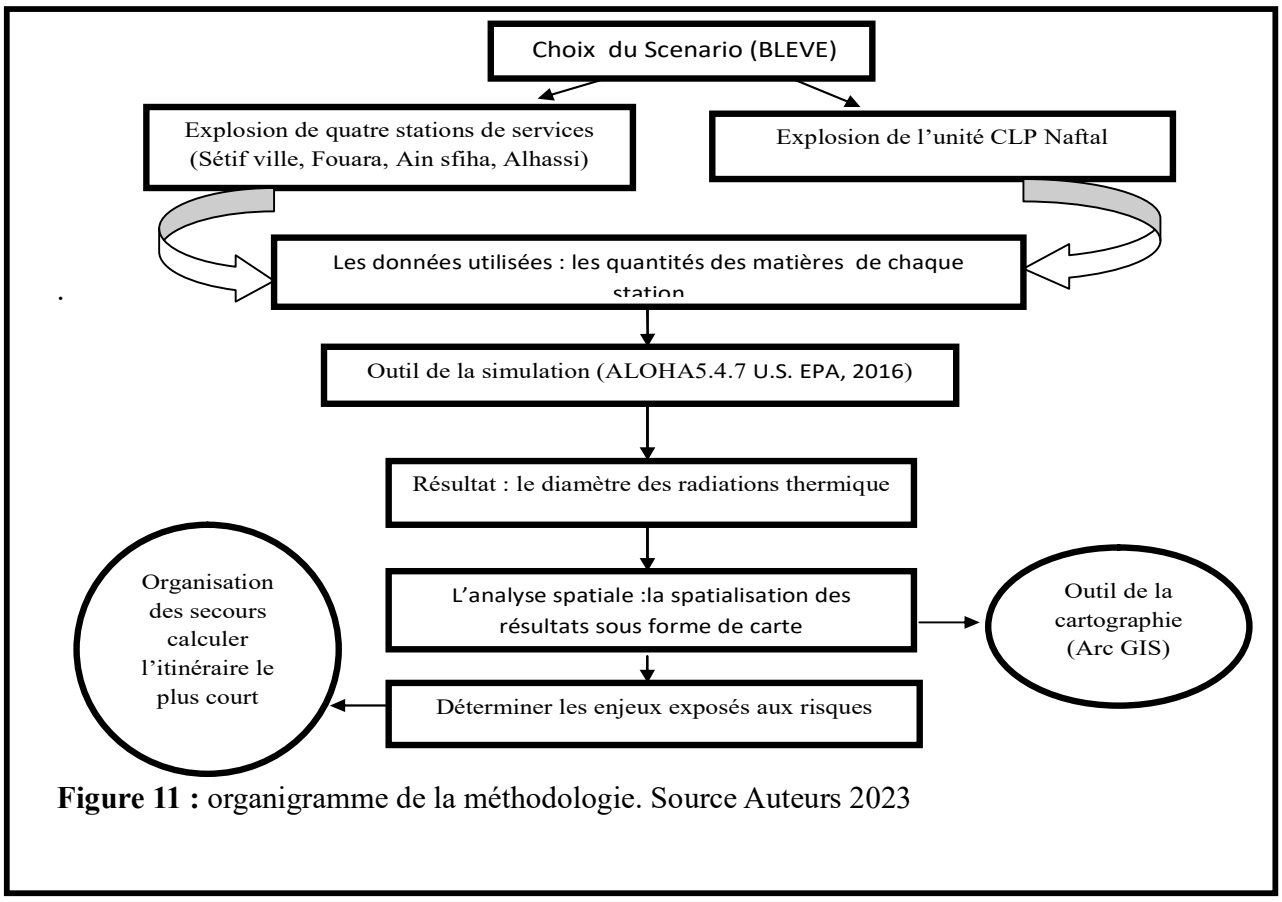


Figure 11 : organigramme de la méthodologie. Source Auteurs 2023

IV -2-1-1- Définition du scenario « BLEVE »

Son nom anglais est B.L.E.V.E. : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion c'est à dire « Explosion de Vapeurs en cours de Détente, Emises par un liquide en Ebullition ». Le phénomène de B.L.E.V.E est en règle générale la résultante d'un incendie enveloppant un stockage de gaz liquéfiés sous pression, inflammable ou non.. Le dégagement calorifique développé par l'incendie, a pour conséquence l'élévation de température de stockage qui voit sa pression interne augmenter.

La paroi métallique en contact avec le liquide, reste à une température convenable de par la mise en ébullition de ce dernier. Il n'en est pas de même pour la paroi en contact avec le volume gazeux.

Un BLEVE est une explosion violente causée par la rupture d'un réservoir contenant un liquide surchauffé (CCPS, 2010 ; Abbasi et al., 2007). Les causes les plus fréquentes de BLEVE sont les incendies (36%), les dommages mécaniques (22%) et les sur remplissages (20%).

Les conséquences d'un BLEVE sont multiples : onde de choc, projection de fragments et, dans le cas de liquides inflammables, formation d'une boule de feu (CCPS, 2010 ; Champassith, 2014 ; Abbasi, 2007). Il est important de noter que les BLEVE peuvent se produire en cascade, un premier événement déclenchant une série d'explosions (Abbasi, 2007).

Cette étude se concentre sur les BLEVE impliquant des liquides inflammables, en raison de l'ampleur des dégâts qu'ils engendrent. Les simulations numériques, réalisées à l'aide de logiciels spécialisés, permettent d'évaluer les conséquences potentielles de tels événements et de mettre en place des mesures de prévention adaptées."

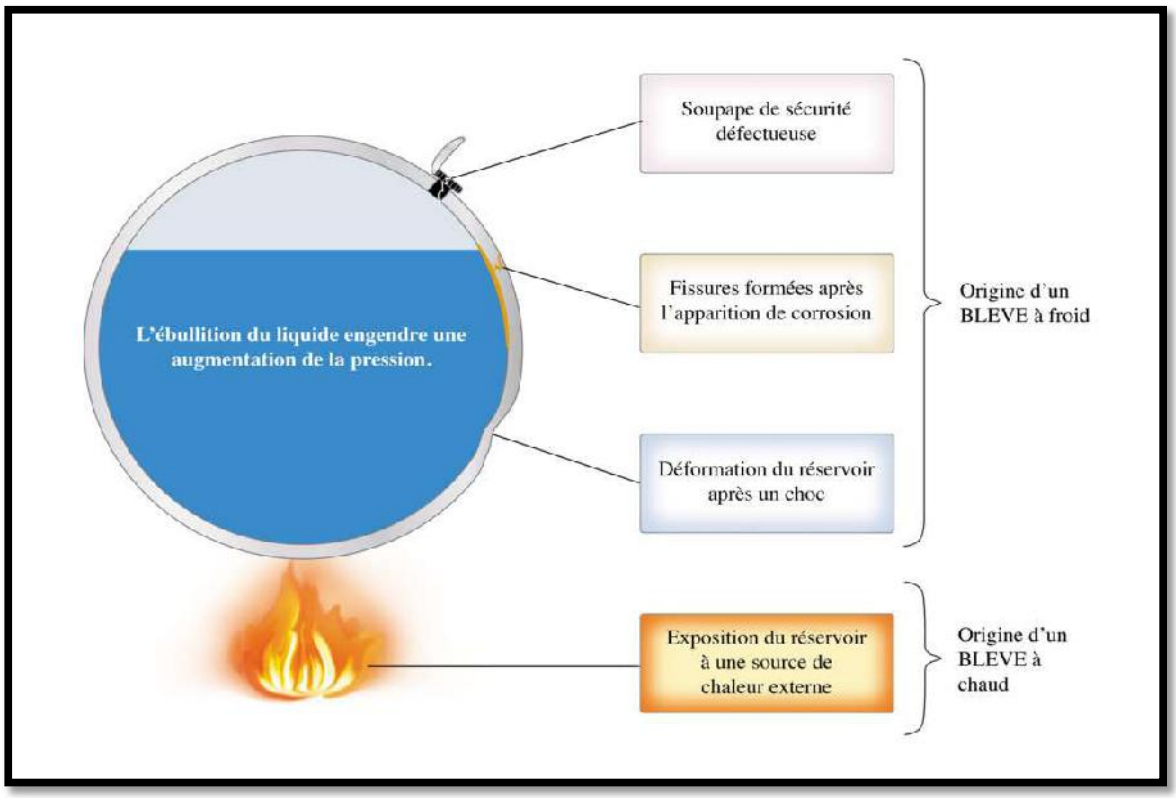


Figure 12 :L'ébullition-explosion (BLEVE) .Auteur : F .Payment, C. Secours, A.Noël 2020.Laval, Québec H7N 5H9

IV -2-2-L'utilisation de l'analyse spatiale dans la cartographie de l'alea

"L'analyse spatiale, au cœur des Systèmes d'Information Géographique (SIG), permet d'étudier les relations spatiales entre différents objets géographiques. En exploitant les propriétés géométriques et topologiques de ces objets, elle constitue un outil essentiel pour la cartographie des aléas et l'aide à la décision (Essevaz-Roulet et al., 2008).

IV -2-2-1--scenario d'explosion au niveau des stations de services .

Quatre stations de services a Sétif ville ont été choisis pour cette étude vue leur localisation géographique en plein milieu urbain qui présentent un risque majeur pour les habitants.
A l'aide du logiciel ALOHA (US EPA, 2016) dans les conditions suivantes : vitesse du vent de 60m/s mesurée à 10 m au-dessus du sol – vent soufflant du Nord Ouest – température de l'air 15 °C – classe de stabilité D – humidité relative de l'air 50 % .

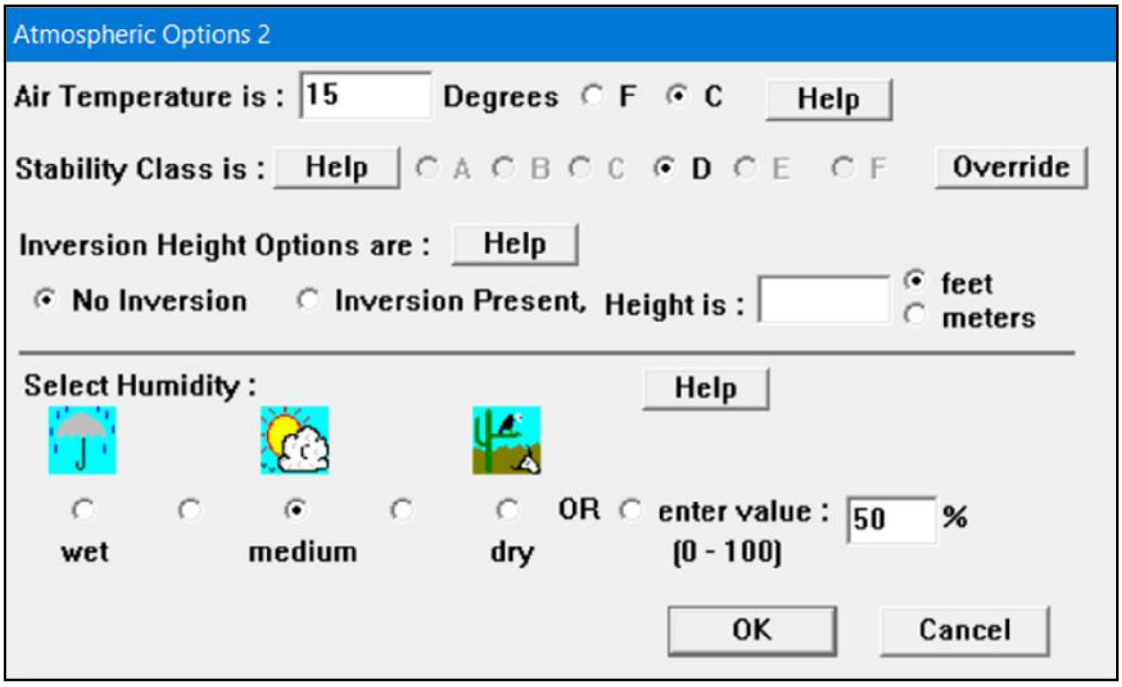


Figure 13 : condition climatologique du scenario BLEVE (stations de service)

Source ;Auteurs 2023

Les carburants sont stockés dans des cuves enterrées, souvent associées à un décanteur, et reliées au réseau de distribution par des canalisations. Ces cuves peuvent être de différentes tailles et configurations : certaines sont monobloc, tandis que d'autres sont divisées en plusieurs

compartiments (par exemple, deux compartiments de 40 m³ et 20 m³ pour un volume total de 60 m³).

Ce travail présentera l'ensemble des scénarios d'accident possibles (cas d'explosion BLEVE), y compris les plus pénalisants, d'en déduire les effets maximaux et de les présenter,

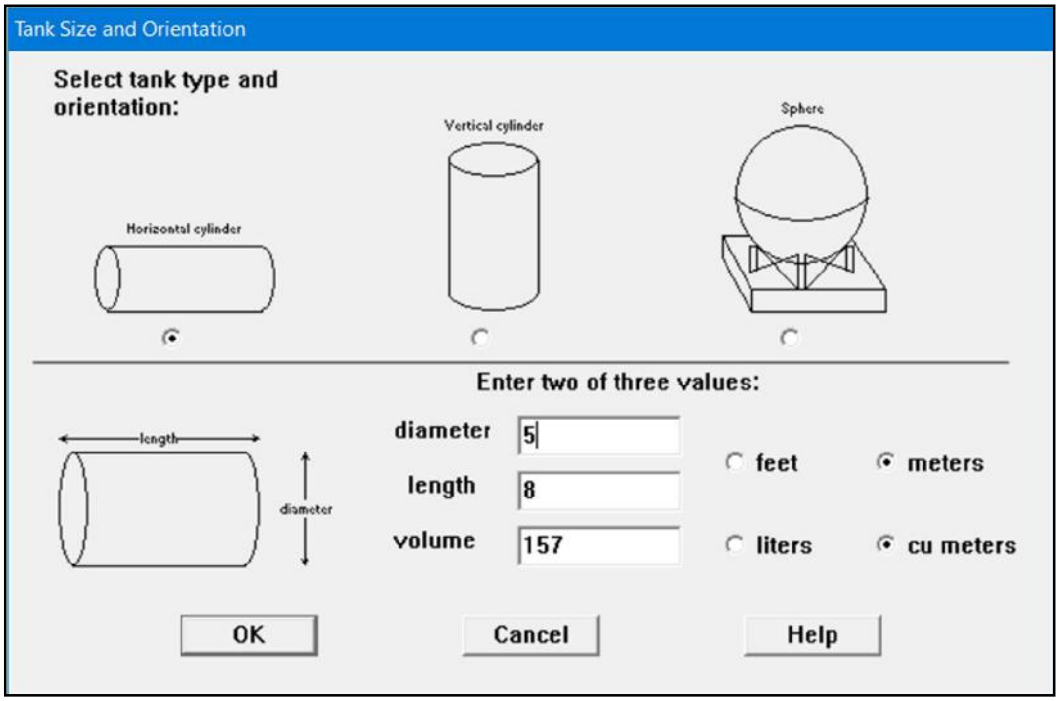


Figure 14 : cuves contenant le carburant (stations de service)

Source ;Auteurs 2023

Les résultats des simulations ALOHA, en termes de distances d'effet thermique, seront spatialisés à l'aide de la fonction 'buffer' d'ArcGIS. Cette fonction créera des zones tampon circulaires centrées sur la source d'émission, permettant ainsi de délimiter les zones

potentiellement affectées par le phénomène étudié

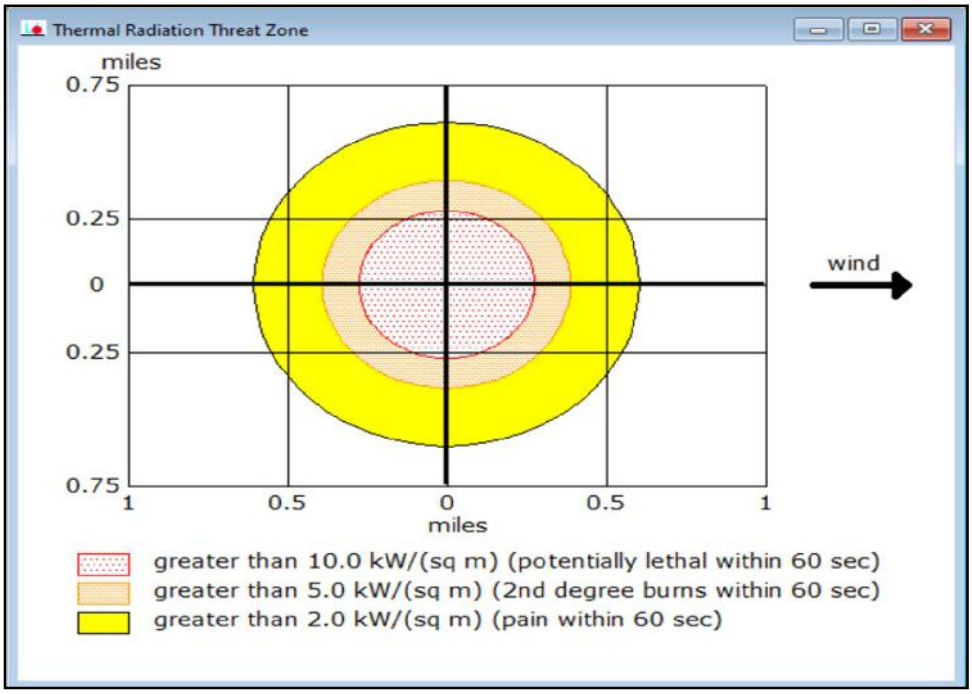


Figure 15 : Les radiations thermiques selon le logiciel ALOHA.Source ;Auteurs 2023

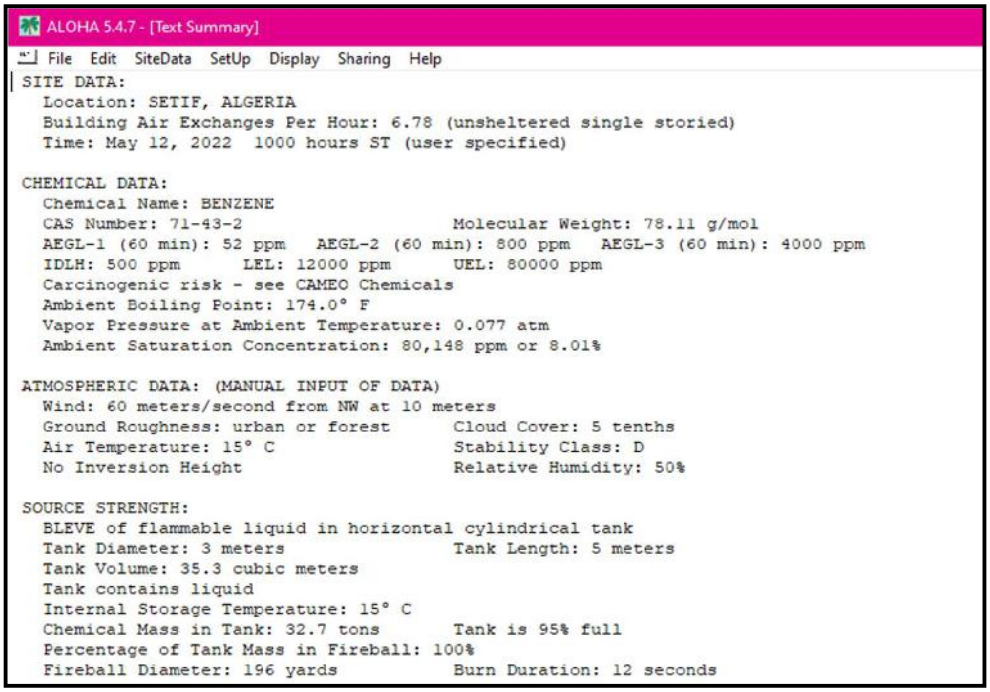


Figure 16 : résultat des distances d'effets par le logiciel ALOHA.Source ;Auteurs 2023

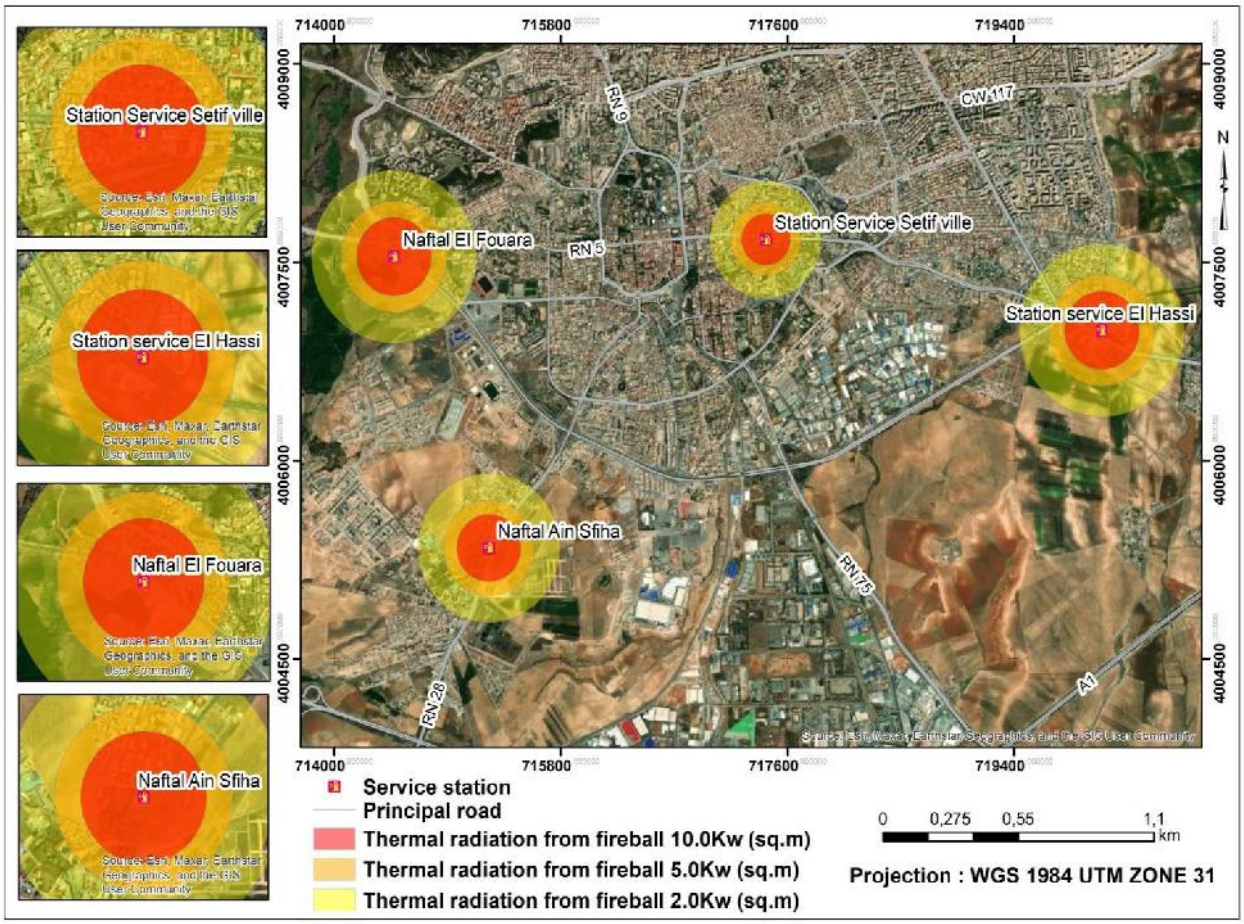
Le tableau (1) et (2) nous indiquent le volume de la matière inflammable dans chaque station et l'unité Naftal, ainsi les résultats d'un incendie en cas d'explosion selon le phénomène bléve

Tableau 31:les quantités des matières stocké de chaque station et l'effet thermique d'un blève

Station / Matière	Station Sétif Ville				Station Fouara				Station Ain sfiha				Station el Hassi			
	Volume (m^3)	Radiation thermique (m)			V (m^3)	Radiation thermique (m)			V (m^3)	Radiation thermique (m)			V (m^3)	Radiation thermique (m)		
		red	orange	yelow		red	orange	yelow		red	orange	yelow		red	Orange	yelow
Essence	40	250	350	550	130	443	623	974	45	340	478	750	130	443	623	974
Gasoil	30	391	552	890	120	595	841	1309	75	512	723	1129	120	595	841	1309

Source ;Auteurs 2023

Les résultats des radiations thermique obtenu par le logiciel ALOHA , ont été traiter par Le logiciel ArcGis on utilisons l'outils (buffer) , ce dernier nous a permet de présenter les résultat obtenue sur la carte suivante



Carte 20 : Effet thermique d'un BLEVE (stations-services).Source ;Auteurs 2023

IV -2-2-2-Scenario d'explosion au niveau de l'unité CPL Naflal:

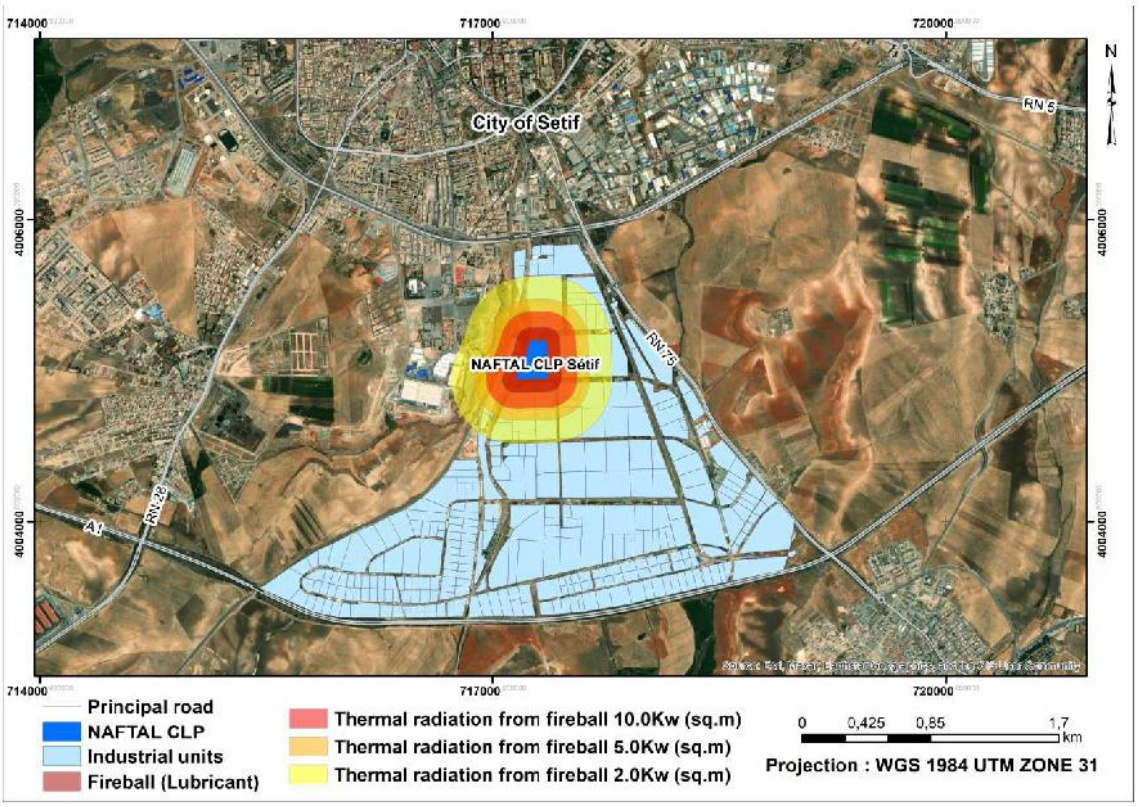
Le tableau suivant nous indique le volume de la matière inflammable au niveau de la l'unité CLP naftal et les résultats d'un incendie en cas d'explosion selon le phénomène BLEVE

Tableau 32 : quantités des matières stocké a l'unité CLP Naftal et l'effet thermique d'un bleve

Unité Naftal / Matière	Volume (m^3)	Radiation thermique (m)		
		Red	Orange	Yellow
Lubrifiant	33.6	386	546	853

Source ;Auteurs 2023

Les résultats des radiations thermique obtenu par le logiciel ALOHA , ont été traiter par l'arcgis on utilisons l'outils (buffer) , ce dernier nous a permet de présenter les résultat obtenue sur la carte suivante



Carte 21 : Effet thermique d'un BLEVE(unité Naflal).Source ;Auteurs 2023

IV -3-Estimation des conséquences et la matérialisation des dangers

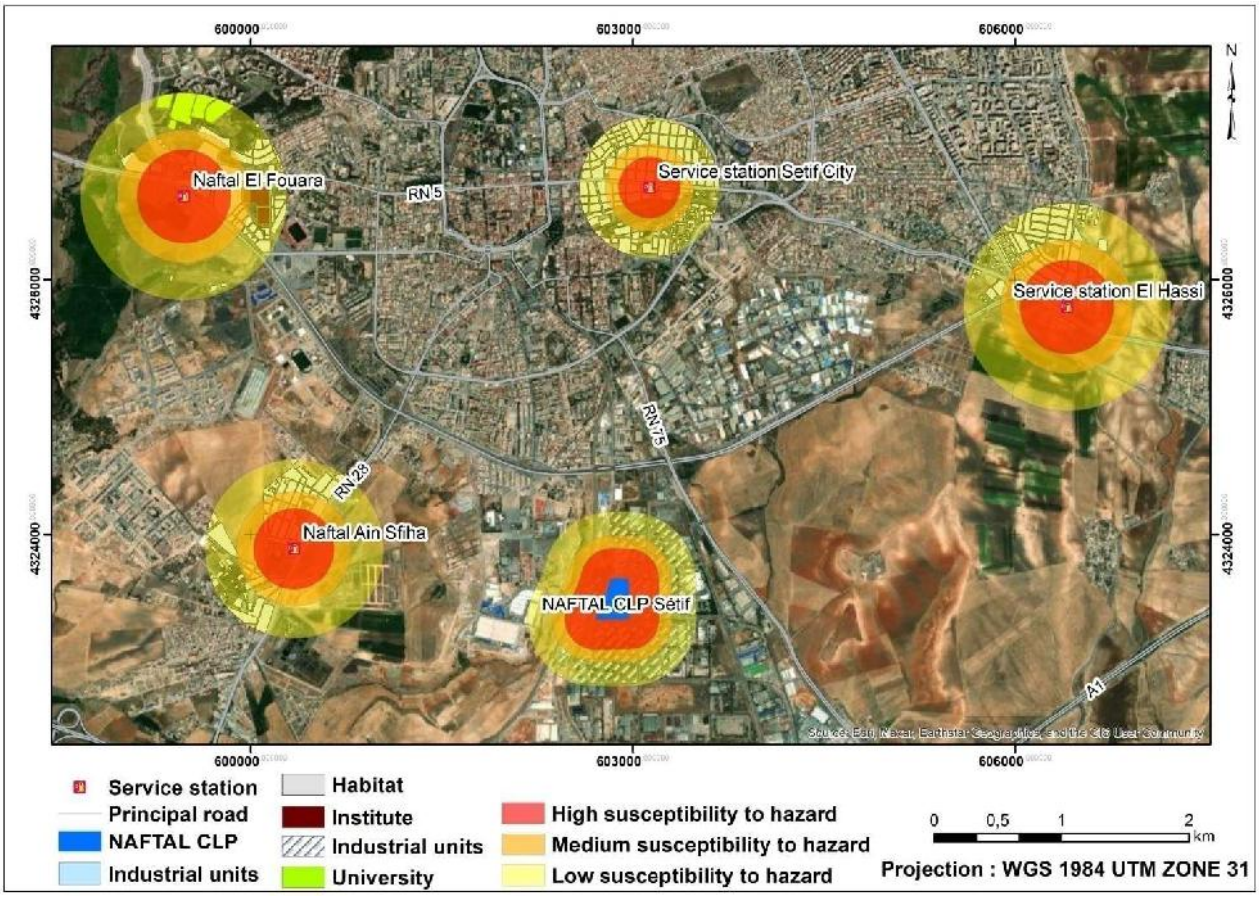
L'évaluation des risques industriels vise à quantifier les impacts potentiels sur la santé humaine, l'environnement et les biens. Les effets sur la santé peuvent être immédiats (brûlures, traumatismes) ou à long terme (toxicité par inhalation, ingestion). Les biens peuvent être endommagés ou détruits, tandis que l'environnement peut être pollué, affectant ainsi la faune, la flore et les ressources en eau. Pour évaluer ces impacts, il est nécessaire d'analyser la vulnérabilité des éléments exposés. Les seuils de vulnérabilité définis dans le cadre du projet européen ARAMIS (Planas et al., 2006) et par les chercheurs algériens (Alileche et al., 2015 ; Gooijer et al., 2012 ; Kadri et al, 2013 ; Török et al, 2011) sont couramment utilisés dans l'industrie algérienne.

Tableau 33 : Seuils d'effets thermiques définis par la réglementation française

Flux surfacique/dose thermique	Effets sur l'homme	Effets sur les structures
3 kW/m2	Effets irréversibles	-
5 kW/m2	Premiers effets létaux	Destructions significatives de vitres
8 kW/m2	Effets létaux significatifs	Dégâts graves avec effets domino

Source INERIS, 2002

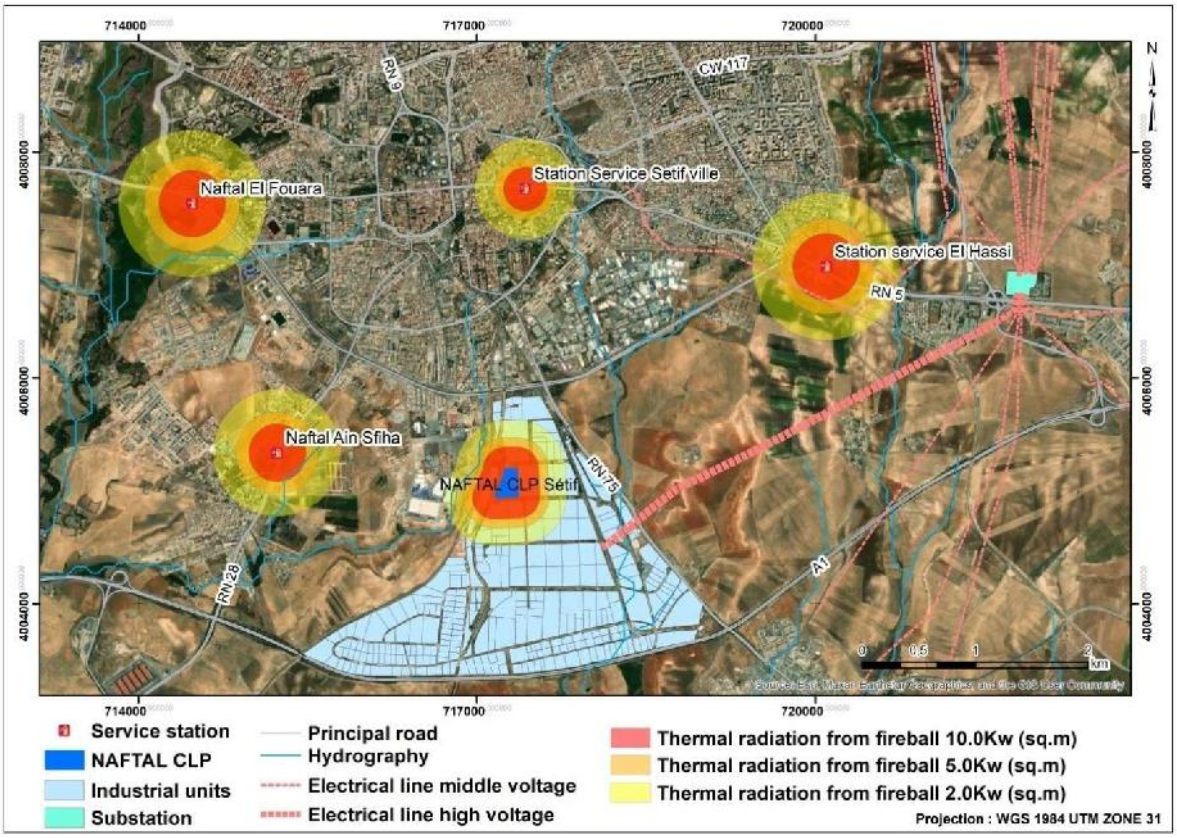
La délimitation de la zone à risque a été réalisée en tenant compte de la nature et de la quantité des produits stockés. Les simulations ont montré que les effets thermiques d'un BLEVE peuvent se propager sur une distance pouvant atteindre 1309 mètres, avec trois zones d'impact distinctes. Cette exposition directe menace les installations voisines, augmentant ainsi le risque de propagation de l'accident.



Carte 22 . Enjeux présents dans le périmètre de danger. Source ;Auteurs 2023

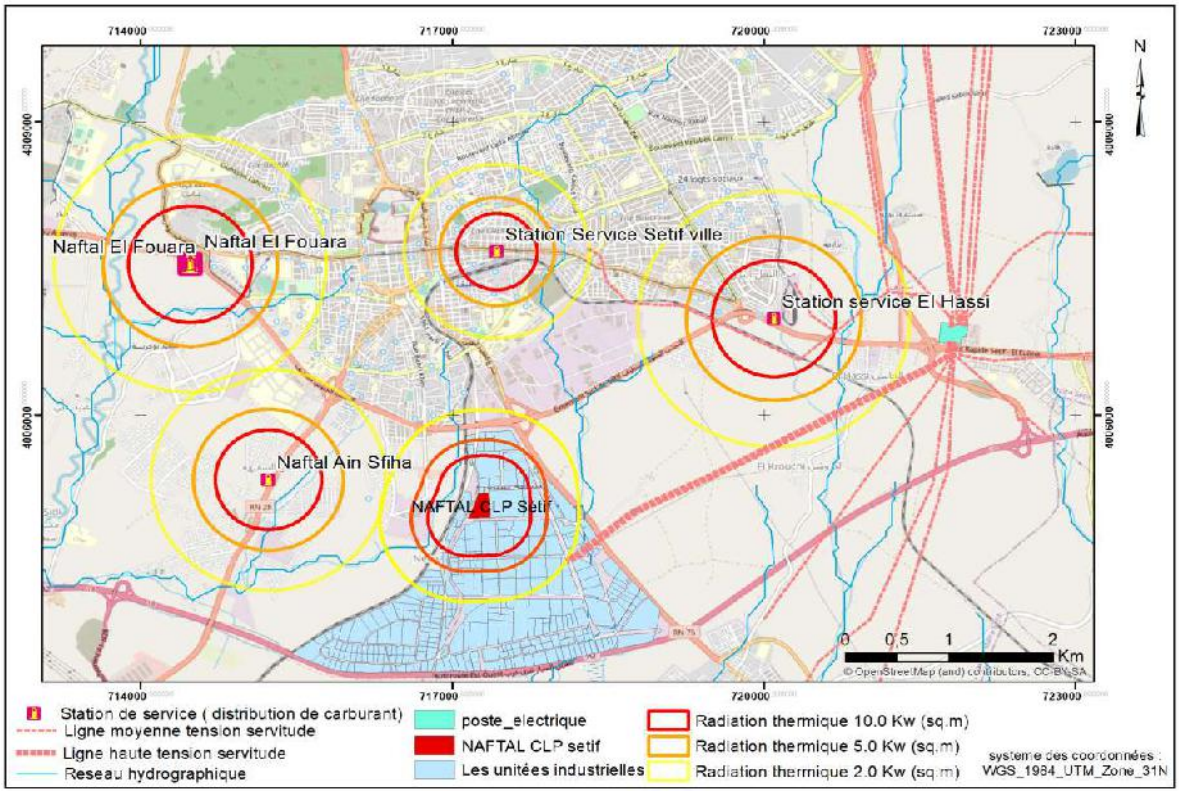
IV -4-Aggravation des risques par effet DOMINO:

Selon la définition de Reniers et Cozanni (2013), un événement accidentel peut se propager dans le temps et dans l'espace, entraînant une cascade d'accidents aux conséquences de plus en plus graves (Laurent et al., 2017). Les études de dangers réalisées dans des établissements tels que Naftal CLP doivent par conséquent prendre en compte la possibilité d'effets domino, c'est-à-dire d'accidents secondaires pouvant survenir sur des installations voisines, amplifiant ainsi les risques initiaux.



Carte 23. Scénario d'aggravation de risque par Effets domino (Google earth).
Source ;Auteurs 2023

En s'appuyant sur les simulations réalisées, plusieurs infrastructures industrielles ont été identifiées comme points de départ potentiels d'un effet domino. Les conséquences d'un sinistre pourraient s'étendre sur un rayon de 1309 mètres ; il est d'ailleurs crucial de souligner que la proximité immédiate de certaines installations les expose directement au phénomène de BLEVE, favorisant ainsi des réactions en chaîne. Parallèlement, le tissu urbain et la zone industrielle sont maillés par un réseau électrique dense comprenant des lignes de 220 KV et 60 KV, ainsi que des centrales. Ces pylônes haute tension représentent des équipements critiques : tout arc électrique (par contact ou ionisation) constitue un danger d'électrocution majeur. En cas de déflagration, la rupture de ce réseau provoquerait un désastre d'envergure sur l'ensemble de l'agglomération de Sétif.



Carte 24. Scénario d'aggravation de risque par Effets domino (Google map).

Source ;Auteurs 2023

IV- 5-La cartographie de la vulnérabilité aux inondations : une approche analytique

La vulnérabilité est un concept central en analyse des risques, tels que les inondations. Cette notion est complexe et a été définie de différentes manières. Certains chercheurs la considèrent comme le potentiel de dommages aux personnes et aux biens, tandis que d'autres la voient comme le produit de facteurs qui favorisent les dommages ou affectent la capacité de réponse des sociétés aux catastrophes. Dauphiné (2003) et Provitolo (2007) distinguent deux approches de la vulnérabilité : l'approche analytique et l'approche synthétique. L'approche analytique vise à identifier les enjeux, ou éléments vulnérables, et à évaluer les pertes subies par ces enjeux après une catastrophe. Les enjeux peuvent être des personnes, des biens, des activités et équipements, ou le milieu naturel. Cette approche classique consiste à établir une évaluation des dommages pour chaque enjeu soumis à un aléa. Dans cette partie, l'identification de la vulnérabilité nécessite une démarche

cartographique analytique qui repose sur certains facteurs physiques, socio-économiques, et des pondérations. A cette fin, nous avons adopté la méthode AHP (Analyse multicritère hiérarchique).

Selon Ledoux (2006), l'approche analytique de la vulnérabilité aux inondations consiste à recenser les enjeux potentiels, c'est-à-dire les éléments qui pourraient subir des dommages en cas d'inondation. Cette approche est plutôt bien adaptée pour les zones faiblement urbanisées et pour les petits territoires. Conformément à la typologie proposée par Ledoux (2006), les enjeux potentiels aux inondations peuvent être classés en cinq catégories :*L'habitat, qui comprend les biens des particuliers, tels que les maisons, les appartements, les meubles, etc.*Les activités économiques, qui comprennent les entreprises commerciales, artisanales et industrielles. Les enjeux économiques peuvent concerner le bâtiment, l'outil de production, les stocks, le chiffre d'affaires ou le bénéfice.*Les enjeux agricoles, qui comprennent les terres agricoles et les exploitations agricoles.*Les infrastructures, qui comprennent les établissements publics et les réseaux d'équipements publics.*Les enjeux humains, qui comprennent les personnes qui pourraient être blessées ou tuées en cas d'inondation. Ces cinq catégories d'enjeux potentiels sont définies en fonction de leur nature (biens, activités, infrastructure, personnes) et de leur localisation (habitat, activités, agriculture, infrastructure, population).

IV-5-1- L'analyse multicritère hiérarchique :

La méthode d'analyse adoptée est l'analyse multicritère hiérarchique (AHP), une méthode développée par le mathématicien Thomas Saaty (1980). L'AHP est une méthode d'analyse multicritère qui permet de quantifier les caractéristiques qualitatives, en leur attribuant des poids. L'AHP fournit une méthode souple permettant d'établir des priorités et de les restituer aux différents niveaux de la hiérarchie. Elle permet également d'évaluer la cohérence logique des avis utilisés pour déterminer les priorités. L'AHP est basée sur la comparaison des différentes caractéristiques, deux par deux. Une matrice carrée est construite pour évaluer l'importance relative d'une caractéristique par rapport à une autre, en utilisant une échelle adéquate. Les résultats issus de l'AHP correspondent à des scores dont la somme est égale à 1. L'AHP est une méthode classique des applications SIG dans laquelle des données spatiales spécifiques sont utilisées. Autrement dit, l'AHP est une analyse spatiale multicritère qui permet de combiner plusieurs critères de différentes natures, afin d'obtenir un résultat cartographique indiquant des zones plus ou moins aptes à la solution du problème. Plusieurs chercheurs ont utilisé l'AHP pour des objectifs urbains,

tels que l'habitat ou l'occupation des sols. Par exemple, Agostini et Toth (2013) ont utilisé l'AHP pour évaluer les risques liés aux inondations dans la ville de Rome. L'étude d'Al-Ansari et Abdul-Aziz (2016) montre que l'AHP est un outil utile pour cartographier la vulnérabilité aux inondations. Cette méthode permet de prendre en compte plusieurs critères et de les pondérer en fonction de leur importance relative. Cela permet d'obtenir une cartographie plus précise et plus fiable de la vulnérabilité aux inondations que les méthodes traditionnelles. Biswas et Mishra (2014) ont utilisé l'AHP pour évaluer les risques liés aux crues éclairs dans le bassin supérieur du Gange en Inde. Zhang et Chen (2017) ont utilisé l'AHP pour cartographier la vulnérabilité aux glissements de terrain dans la région du réservoir des Trois Gorges en Chine. Demir et Atici (2017) ont utilisé l'AHP pour cartographier la vulnérabilité aux glissements de terrain induits par les tremblements de terre dans la Méditerranée orientale en Turquie. Dans notre cas, nous allons utiliser l'AHP pour déterminer le niveau de vulnérabilité de la ville de Sétif aux inondations. Nous pensons que l'AHP est une méthode adaptée au domaine de la gestion des risques, et que ses résultats peuvent indiquer les zones les plus vulnérables de la ville de Sétif.

- **Démarche de travail :**

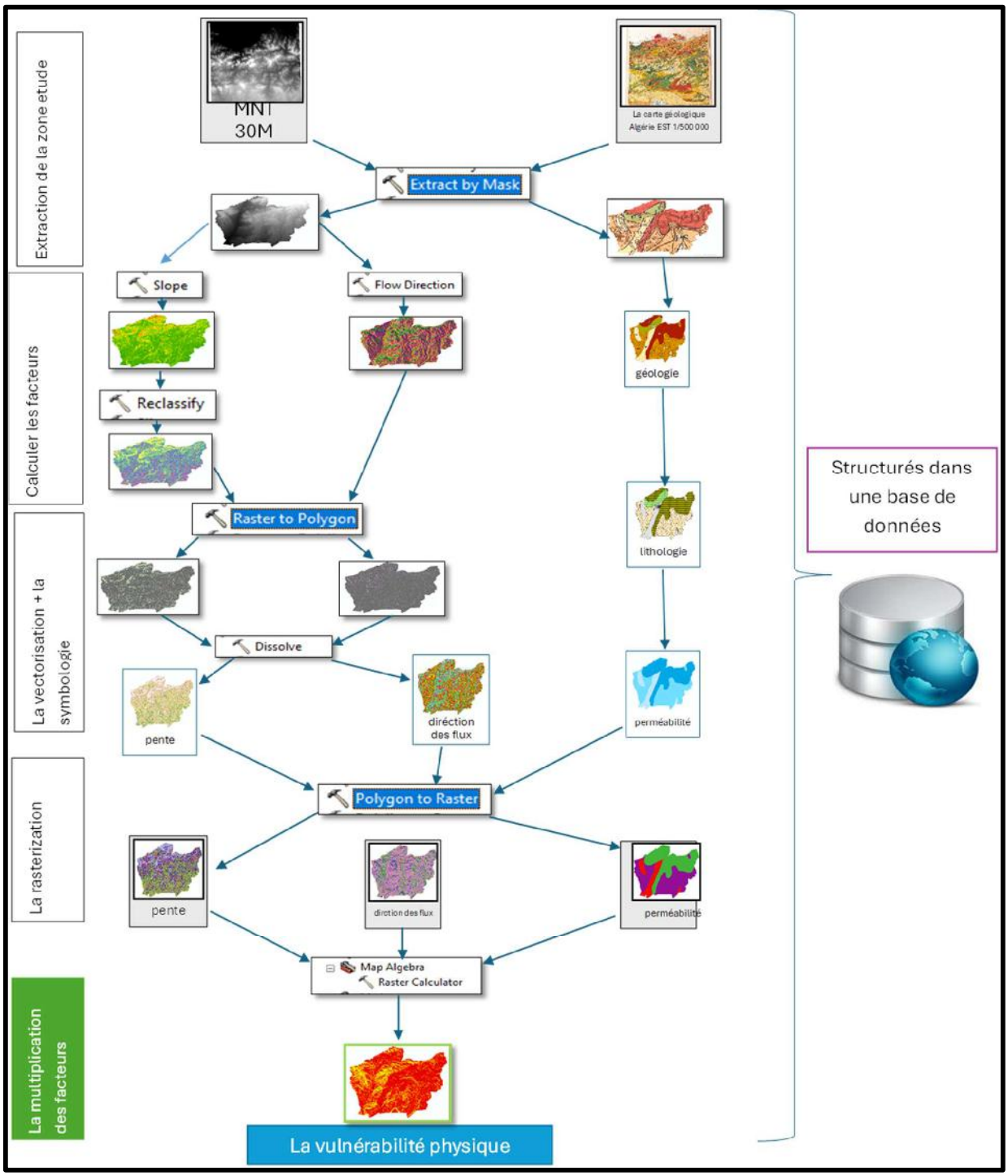
Pour évaluer la vulnérabilité potentielle dans cette étude, nous avons utilisé un ensemble de critères. .Pour construire un modèle de vulnérabilité, nous avons sélectionné un ensemble de critères physiques et socio-économiques pour créer une carte de la vulnérabilité. Avant de construire le modèle, nous avons dû d'abord collecter des données pour chaque critère (données raster). Cette méthode a été mise en œuvre principalement à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.1 (anglais) et de plusieurs outils, notamment le calculateur raster. Dans ce contexte, nous avons sélectionné les critères physiques suivants pour notre modèle : la pente, la perméabilité, les directions d'écoulement, les précipitations et la distance des cours d'eau. Pour les critères socio-économiques, nous avons utilisé l'occupation du sol, la densité de population, le réseau routier et la qualité du réseau d'assainissement. Les données utilisées dans cette étude sont les suivantes : le modèle numérique du terrain (MNT) 30 m de USGS n36e005 1arc v3, la basemap d'ArcGIS, le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) 2011, les statistiques de population de l'APC de Sétif 2019, la carte géologique d'Algérie Est 1/500 000 et les données de précipitations du site POWER | Data Access Viewer (nasa.gov).

Tableau 34 :.la base de données disponible pour la formalisation du model de la vulnérabilité,

Type de facteur	Les critères	La source	La méthode d'acquisition
facteurs physiques	La pente	MNT 30m de USGS n36 e005 1arc v3	Extraction
	La Distance au cours d'eau		
	La direction des flux		
	La perméabilité	D'après l'étude de la carte géologique Algérie Est 1/500 000 et la carte lithologique	Numérisation
	Précipitation	stations météorologiques de Sétif	Interpolation
facteurs socioéconomiques	La densité de la population	APC de Sétif 2019.	Numérisation
	L'occupation du sol	Image Landsat LC08 06/07/2021 Base map d'ArcGIS; le plan directeur de l'aménagement et d'urbanisme (PDAU 2011)	Bas map ArcGIS. PDAU d Sétif 2011.
Facteurs techniques	Le réseau routier L'assainissement	La langueur, type, nombre Type, qualité	Shapefile/ raster Shapefile/ raster

Source ;Auteurs 2023

Figure 17 :. Méthodologie de modélisation pour l'identification des sites potentiellement vulnérables



Source ;Auteurs 2023

IV -5-2- Facteurs de vulnérabilité aux inondations:

La présente recherche s'appuie sur l'ajustement de deux dimensions fondamentales : les paramètres physiques et les variables socio-économiques. Ces éléments constituent les piliers de la vulnérabilité aux crues au sein de la région de Sétif. Le choix de ces indicateurs a été dicté par l'accessibilité de l'information géographique. Pour intégrer ces données au modèle de vulnérabilité, une phase de collecte systématique a été réalisée, sachant que la modélisation de l'aptitude repose sur un format raster, ce qui lie étroitement le processus à la disponibilité des bases de données

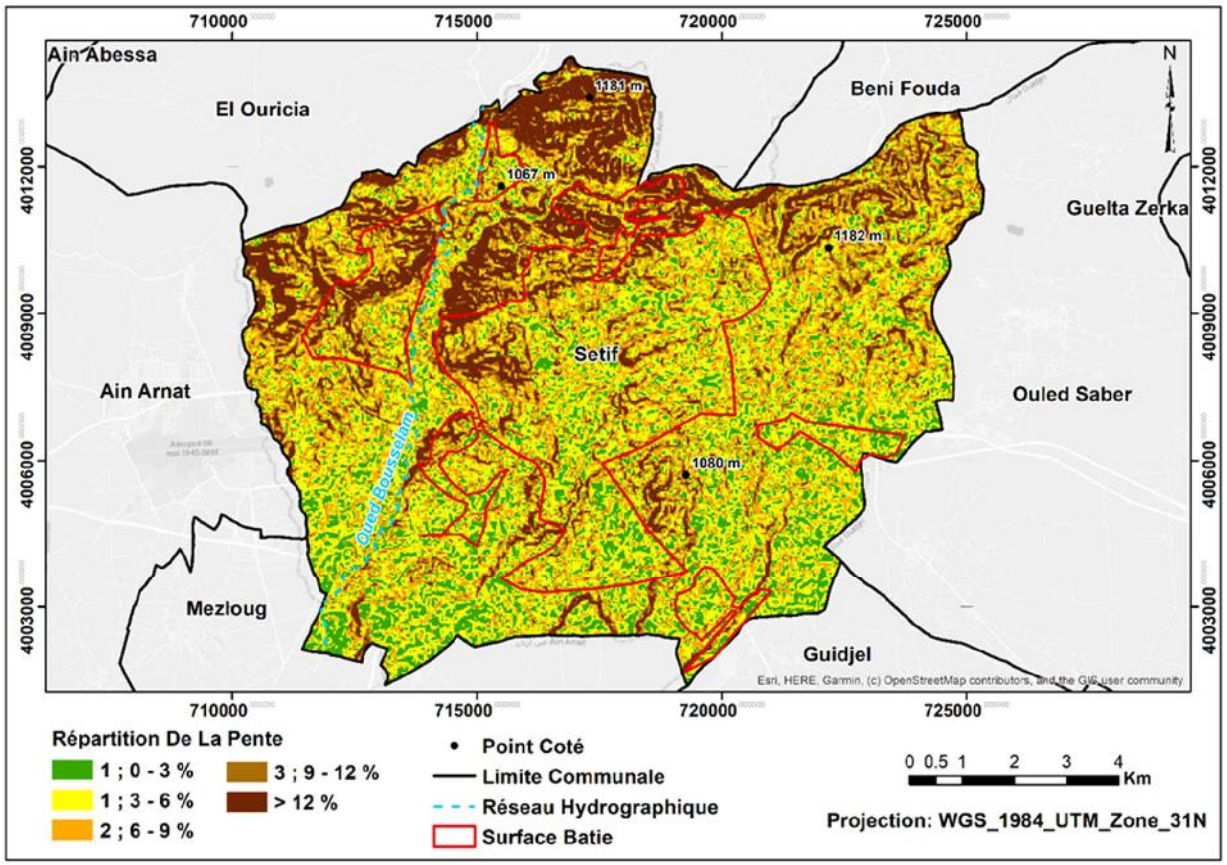
IV -5-2- 1- Les facteurs physiques : impact sur la vulnérabilité aux inondations

Les paramètres biogéophysiques d'un territoire déterminent la récurrence et la magnitude des épisodes de crue. En effet, la nature du substrat et les modes d'occupation des sols modulent directement les processus d'évapotranspiration et les capacités de stockage hydrique du milieu. Parallèlement, la dynamique de l'infiltration et du ruissellement superficiel régit le temps de concentration des eaux au sein du bassin. Ces variables, conjuguées à la morphométrie du bassin versant, à la déclivité des pentes et à la configuration du réseau hydrographique, expliquent la variabilité de la réponse hydrologique : pour une sollicitation pluviométrique identique, la genèse d'une crue dépendra intrinsèquement des caractéristiques intrinsèques du milieu récepteur.

IV -5-2- 1-a) La pente :

D’après. Beaugrand J.-C (2016) La pente est la mesure de la variation de la hauteur par rapport à la distance horizontale entre deux points."La pente d'un terrain est un indicateur de la vitesse et de l'intensité des écoulements d'eau. En effet, plus la pente est forte, plus l'eau s'écoule rapidement et avec force. Inversement, plus la pente est faible, plus l'eau s'écoule lentement et avec moins de force. Cette relation entre la pente et les écoulements est bien connue des hydrologues. En effet, ils utilisent la pente pour modéliser le comportement des eaux de ruissellement. Par exemple, ils peuvent utiliser la pente pour prévoir le risque d'inondation ou d’érosion.

Pour calculer la pente nous avons utilisé l’outil ***Slope***dans*ArcTool Box ArcGIS 10.1,* Continuer les déférents types de traitements : la reclassification, présenter le code pour chaque classe, la rastérisation.



Carte 25: Analyse de la pente comme facteur de vulnérabilité

Source ;Auteurs 2023

Pente	code	surface (ha)	Pourcentage %
0 - 3 %	1	2217,73	16,94
3 - 6 %	1	4357,14	33,2
6 - 9 %	2	2876,87	21,97
9 - 12 %	3	1536,74	11,74
sup à 12 %	4	2100,84	16,05

Tableau 35 : les classes et les surface des pentes

Source ;Auteurs 2023

Après la réalisation de la carte des pentes de notre zone d'étude (figure 43),Le tableau présente les résultats d'une étude sur la pente du terrain dans la ville de Sétif,. L'étude a été réalisée à l'aide d'un modèle numérique de terrain (MNT).Le tableau montre que la ville de Sétif est divisée en cinq classes de pente :

- **Classe 1 : 0-3 % :** cette classe représente 16,94 % de la surface totale de la ville. Elle comprend les zones de plaine, qui sont caractérisées par une pente faible. La superficie de cette classe est de 2217,73 ha.
- **Classe 2 : 3-6 %** : cette classe représente 33,2 % de la surface totale de la ville. Elle comprend les zones de faible pente, qui sont caractérisées par une pente modérée. La superficie de cette classe est de 4357,14 ha.
- **Classe 3 : 6-9 % :** cette classe représente 21,97 % de la surface totale de la ville. Elle comprend les zones de pente modérée, qui sont caractérisées par une pente plus forte. La superficie de cette classe est de 2876,87 ha.
- **Classe 4 : 9-12 % :** cette classe représente 11,74 % de la surface totale de la ville. Elle comprend les zones de pente forte, qui sont caractérisées par une pente très forte. La superficie de cette classe est de 1536,74 ha.
- **Classe 5 : plus de 12 %** : cette classe représente 16,05 % de la surface totale de la ville. Elle comprend les zones de pente très forte, qui sont caractérisées par une pente abrupte. La superficie de cette classe est de 2100,84 ha.

On peut observer que la classe 2, qui comprend les zones de faible pente, est la plus grande. Elle représente plus du tiers de la surface totale de la ville. Les classes 1 et 3 représentent respectivement 16,94 % et 21,97 % de la surface totale de la ville. Les classes 4 et 5, qui comprennent les zones de pente forte et très forte, sont les plus petites. Elles représentent respectivement 11,74 % et 16,05 % de la surface totale de la ville.

Ces résultats montrent que la ville de Sétif est située dans une zone à risque d'inondation. En effet, plus de la moitié de la ville est située sur des terrains de pente faible ou modérée. Les zones situées sur des terrains de pente faible ou modérée sont plus vulnérables aux inondations car les eaux de ruissellement s'écoulent plus rapidement sur ces terrains. Les autorités locales peuvent utiliser ces résultats pour identifier les zones les plus exposées aux inondations et pour prendre des mesures pour réduire le risque. Par exemple, elles peuvent construire des digues ou des barrages pour protéger les zones vulnérables.

La répartition des pentes dans la ville de Sétif est relativement équilibrée, avec une majorité de zones de faible et de modérée pente. Cependant, les zones de pente forte et très forte représentent une part importante de la ville, ce qui les rend plus vulnérables aux inondations.

Les autorités locales pourraient utiliser les résultats de cette étude pour prendre des mesures visant à réduire le risque d'inondation dans les zones de pente forte et très forte. Par exemple, elles pourraient construire des digues ou des barrages pour protéger ces zones, ou elles pourraient sensibiliser la population au risque d'inondation.

IV -5-2- 1- b) La distance à la rivière (talwegs).

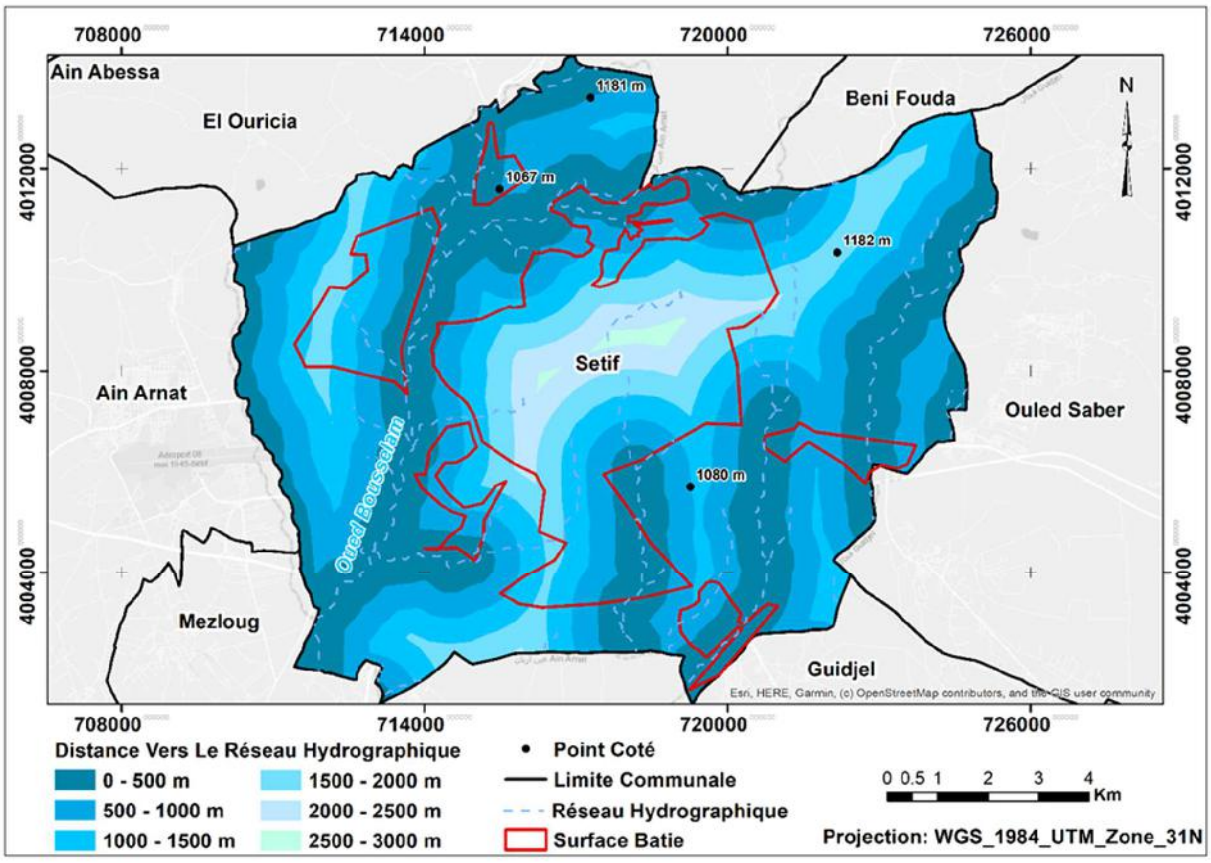
La distance à la rivière est généralement définie comme la distance entre un point donné et le cours d'eau le plus proche. Cette distance peut être mesurée en mètres, en kilomètres ou en autres unités de mesure. Dans la plupart des études, la distance à la rivière est mesurée à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT). Le MNT est un type de carte qui représente la topographie d'une région. Il permet de calculer la distance entre un point donné et le cours d'eau le plus proche. Dans certains cas, la distance à la rivière peut être mesurée à partir d'autres sources de données, telles que des cartes topographiques ou des images satellites. Voici quelques exemples de définitions de la distance à la rivière utilisées dans des études scientifiques :

- "La distance à la rivière est la distance entre un point donné et le cours d'eau le plus proche, mesurée en mètres." (Smith et al., 2008)
- "La distance à la rivière est la distance entre un point donné et le centre du lit de la rivière, mesurée en kilomètres." (Amini et al., 2014)

- "La distance à la rivière est la distance entre un point donné et le cours d'eau le plus proche, mesurée en fonction de la pente du terrain." (Nicholls et al., 2016)

La définition de la distance à la rivière peut varier en fonction de l'objectif de l'étude. Par exemple, si l'objectif est de prévoir les inondations, la distance à la rivière peut être mesurée en

fonction de la pente du terrain. En effet, les eaux de ruissellement s'écoulent plus rapidement sur les terrains pentus, ce qui augmente le risque d'inondation.



Carte 26: Analyse de la distance à la rivière comme facteur de vulnérabilité

Source ;Auteurs 2023

Tableau 36 : Les classes des distances à la rivière (talwegs**).**

Source ;Auteurs 2023

Distance	Code	Surface (Ha)	Pourcentage %
0 - 500	1	4409.84	33.68
500 - 1000	2	3913.39	29.88
1000 - 1500	2	2644.77	20.19
1500 - 2000	3	1501.38	11.46
2000 - 2500	4	563.14	4.30
2500 - 3000	4	60.49	0.46

Tableau 36 : Les classes des distances à la rivière (talwegs**).**

Le tableau présente les résultats sur la distance à la rivière dans la ville de Sétif, L'étude a été réalisée à l'aide d'un modèle numérique de terrain (MNT).Le tableau montre que la ville de Sétif est divisée e :!n quatre classes de distance à la rivière :

- **Classe 1 : 0-500 m :** cette classe représente 33.68 % de la surface totale de la ville avec une superficie de 4409.84 ha. Elle comprend les zones situées à moins de 500 mètres du cours d'eau le plus proche
- C**lasse 2 : 500-1000 m :** cette classe représente 29.88 % de la surface totale de la ville avec une superficie de 3913.39 ha. Elle comprend les zones situées entre 500 et 1000 mètres du cours d'eau le plus proche.

- **Classe 3 : 1500-2000 m** : cette classe représente 11.64 % de la surface totale de la ville avec une superficie 1501.38 ha. Elle comprend les zones situées entre 1500-2000 mètres du cours d'eau le plus proche.
- **Classe 4 : 2000-2500 m :** cette classe représente 4.30 % de la surface totale de la ville avec une superficie de 563.14. Elle comprend les zones situées entre 2000 et 2500 mètres du cours d'eau le plus proche.

On peut observer que la classe 1, qui comprend les zones les plus proches des cours d'eau, est la plus grande. Elle représente plus du tiers de la surface totale de la ville. Les classes 2 et 3 représentent respectivement 29.88 % et 11.46 % de la surface totale de la ville. La classe 4, qui comprend les zones les plus éloignées des cours d'eau, est la plus petite. Elle représente moins de 4.3 % de la surface totale de la ville.

L'analyse des données révèle que la ville de Sétif se trouve effectivement dans une zone à risque d'inondation important. Cette conclusion est appuyée par plusieurs observations :

- **Forte proportion de zones proches des cours d'eau:** Plus de 50% de la surface urbaine se situe à moins de 1500 mètres d'un cours d'eau. Cette proximité accrue accroît considérablement la vulnérabilité aux inondations, car les eaux de ruissellement et les crues peuvent atteindre ces zones rapidement et avec une force importante.
- **Concentration des populations et infrastructures sensibles:** Le rapport ne précise pas la répartition de la population et des infrastructures dans les différentes zones de distance. Cependant, il est probable que les zones proches des cours d'eau, plus attractives pour l'installation et le développement urbain, concentrent une part importante de la population, des habitations, des commerces et des infrastructures critiques. La combinaison de la proximité des cours d'eau et de la concentration d'enjeux humains et économiques amplifie considérablement le risque d'inondations et ses conséquences potentielles. L'analyse de la distance à la rivière permet d'identifier les zones les plus exposées aux inondations :
- **Zone rouge (0-500m):** Cette zone, la plus proche des cours d'eau, est la plus exposée au risque d'inondation. Elle concentre une grande partie des enjeux urbains et est donc la priorité absolue pour la mise en place de mesures de protection.

- **Zone orange (500-1000m):** Cette zone est également exposée à un risque d'inondation significatif, mais légèrement moindre que la zone rouge. Des mesures de prévention et de surveillance accrues sont nécessaires dans cette zone.
- **Zone jaune (1000-1500m):** Le risque d'inondation est moindre dans cette zone, mais il ne peut être négligé. Des mesures de sensibilisation et de planification urbaine peuvent contribuer à réduire la vulnérabilité de cette zone.

L'analyse des données permet de proposer des actions concrètes pour réduire le risque d'inondation à Sétif :

- **Mesures de protection:**
    - **Construction de digues et de barrages:** Le long des cours d'eau, la construction de digues et de barrages peut limiter l'expansion des eaux en cas de crue et protéger les zones habitées.
    - **Aménagement des berges:** Renforcement de la végétation et création de zones d'expansion des crues peuvent contribuer à ralentir l'écoulement des eaux et à limiter l'érosion des berges.
- **Mesures de prévention:**
    - **Planification urbaine:** L'intégration du risque d'inondation dans la planification urbaine est essentielle pour limiter l'expansion urbaine dans les zones à risque et pour orienter le développement vers des zones plus sûres.
    - **Sensibilisation du public:** Informer et sensibiliser les populations aux risques d'inondation et aux mesures de sécurité à adopter en cas d'alerte est crucial pour limiter les dommages et sauver des vies.
- **Mesures de surveillance et d'alerte:**
    - **Mise en place d'un système de surveillance hydrologique:** Suivi en temps réel des niveaux d'eau et des précipitations permet d'anticiper les risques et de déclencher des alertes en cas de danger.

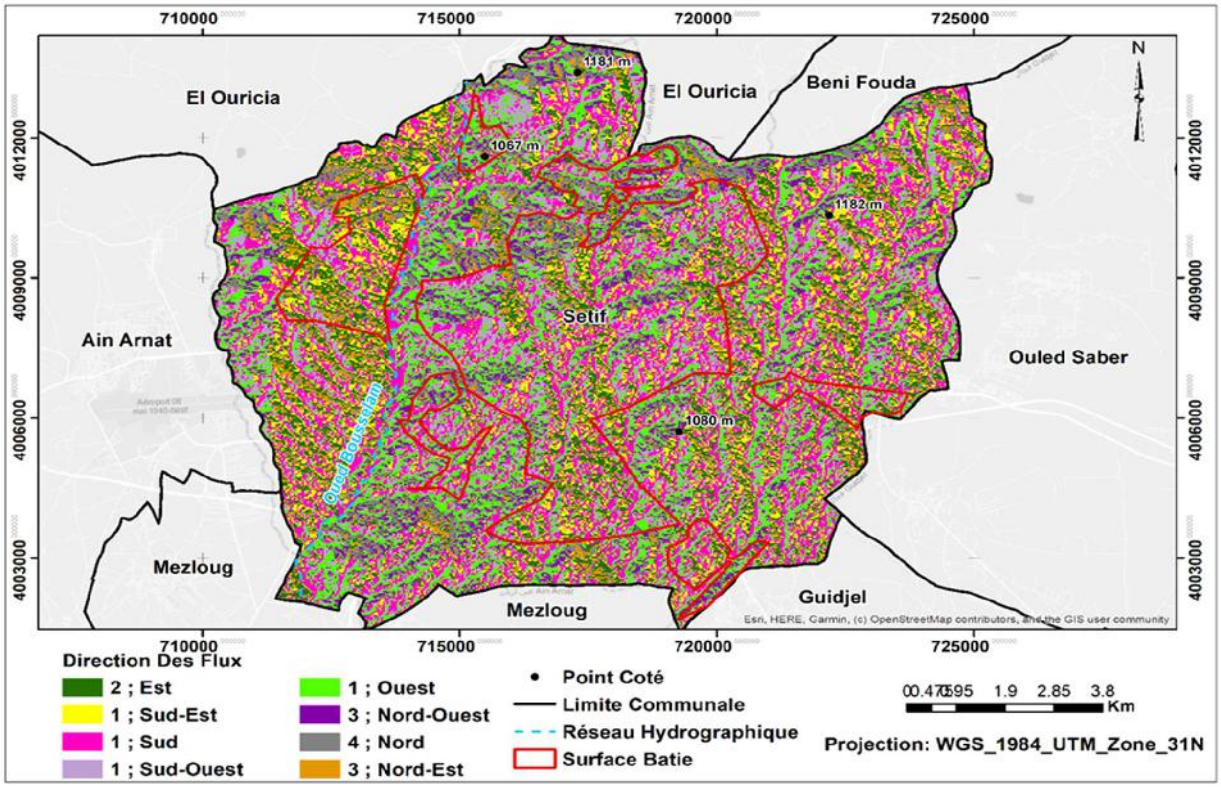
- **Planification d'évacuation et d'intervention d'urgence:** Préparer un plan d'évacuation et d'intervention en cas d'inondation permet d'organiser les secours et d'évacuer les populations en toute sécurité.

L'analyse des données confirme que la ville de Sétif est exposée à un risque d'inondation important. La mise en place d'une stratégie globale et proactive de réduction du risque d'inondation est essentielle pour protéger la population et les infrastructures urbaines. L'implication des autorités locales.

IV–5-2- 1-c) la direction des flux :

La carte des directions d'écoulement des eaux est un outil essentiel pour l'évaluation du risque d'inondation. (Minelli et Pirot, 2007). Elle permet de déterminer la direction dans laquelle les eaux de ruissellement se déplacent, ce qui est important pour identifier les zones les plus vulnérables aux inondations.

Dans le cadre de cette étude, la carte des directions d'écoulement des eaux a été réalisée à l'aide de la fonction Flow direction d'ArcGIS 10.1. Cette fonction est basée sur la classification d'O 'Callaghan et Mark (1984), qui utilise un algorithme unidirectionnel appelé « D8 ».La classification d'O 'Callaghan et Mark consiste à calculer la pente de chaque point du MNT par rapport à ses huit voisins. La direction de la pente la plus forte est alors attribuée à chaque point.Tarboton, D. G. (1997) Les autorités locales peuvent utiliser les résultats de cette étude pour identifier les zones les plus exposées aux inondations et pour prendre des mesures pour réduire le risque. Par exemple, elles peuvent construire des digues ou des barrages pour protéger les zones vulnérables.



Carte 27 : Analyse de la direction des flux comme facteur de vulnérabilité .Source ;Auteurs 2023

Tableau37 : Répartition des directions d'écoulement des eaux dans la zone d'étude

Direction	code	Surface (hac)	Pourcentage %
Est	2	1675,33	12,79
Sud-Est	1	1633,63	12,47
Sud	1	3044,70	23,25
Sud-Ouest	1	1765,39	13,48
Ouest	1	2310,05	17,64
Nord-Ouest	3	904,07	6,90
Nord	4	1054,45	8,05
Nord-Est	3	703,60	5,37

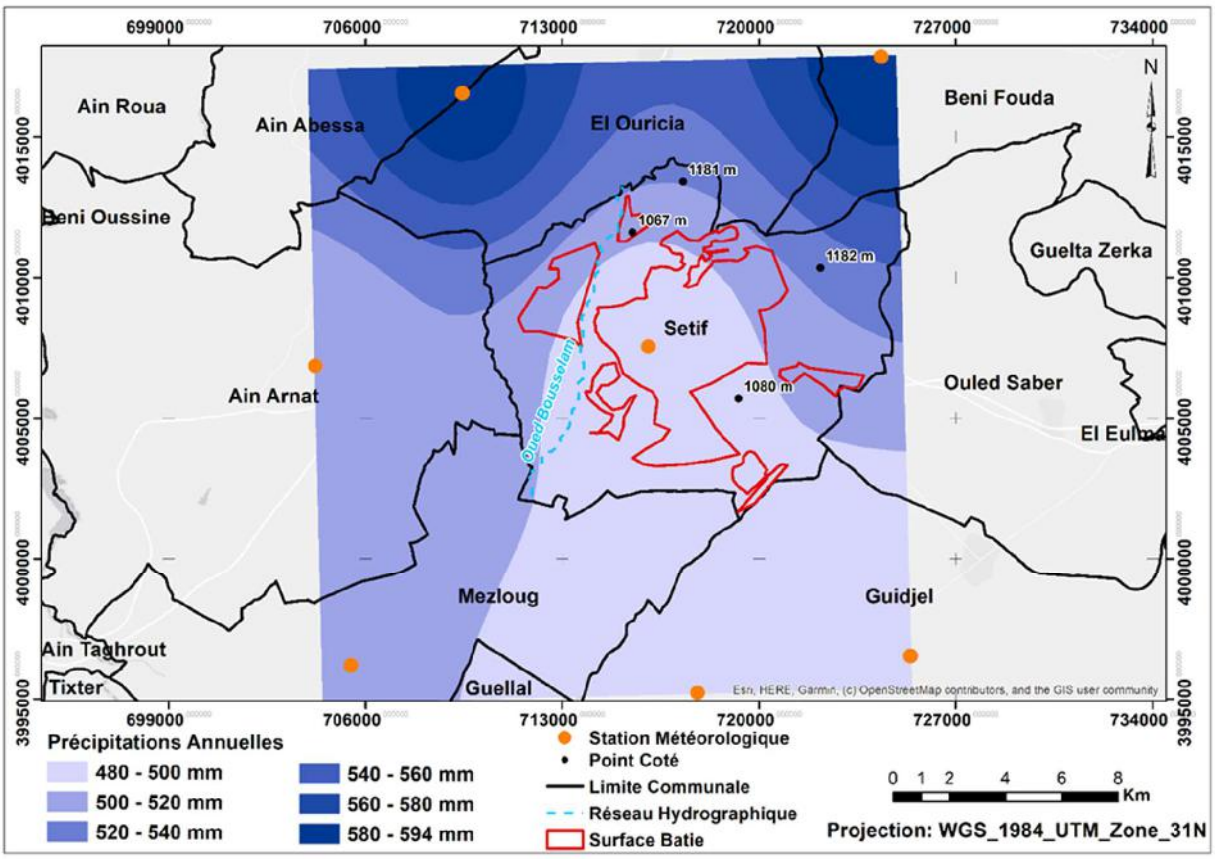
Ce tableau permet de visualiser rapidement la répartition des directions d'écoulement des eaux dans la zone d'étude. On constate que la direction la plus fréquente est le sud (23.25 %), suivie par l'est (12,79 %) et le sud-est (12,47 %). Les directions les moins fréquentes sont le nord-ouest (6,90 %), le nord (8,05 %) et le nord-est (5,37 %).

Ces résultats sont cohérents avec la topographie de la zone d'étude, qui est caractérisée par des pentes douces au sud et au sud-est, et des pentes plus raides au nord et au nord-est.

IV -5-2- 1-d) les précipitations :

"Bien que les précipitations constituent le moteur principal de l'écoulement et des crues, les relevés au sol issus des réseaux pluviométriques ne fournissent que des mesures ponctuelles (Ritter et al., 2016). Ces données indiquent le volume d'eau collecté en un lieu précis, mais cette résolution spatiale discrète s'avère insuffisante pour caractériser ou visualiser efficacement les épisodes pluvieux extrêmes (Demir et Atici, 2017). Par conséquent, il est indispensable de procéder à une interpolation spatiale de ces valeurs afin d'aboutir à une estimation rigoureuse de la pluie surfacique (Chaponnière et al., 2015).

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé l'extension Géostatistique Analyste du logiciel ArcGIS pour effectuer l'interpolation par IDW (inverse distance weighted). Nous avons pris comme exemple les valeurs de pluies à récurrence annuelle à partir des stations météorologique de Sétif. Les résultats de l'interpolation sont présentés dans la Figure 1. On constate que la distribution spatiale des précipitations est hétérogène, avec des valeurs plus élevées au sud et au sud-est de la zone d'étude. Ces résultats sont cohérents avec la topographie de la région, qui est caractérisée par des pentes douces au sud et au sud-est, et des pentes plus raides au nord et au nord-est.



Carte 28 : Analyse des précipitations comme facteur de vulnérabilité. Source ;Auteurs 2023

La figure montre la répartition des précipitations annuelles moyennes à Sétif, Algérie. Les précipitations varient de 480 à 594 mm par an, avec les zones les plus élevées situées au sud et à l'ouest de la ville. Les précipitations peuvent être un facteur de vulnérabilité aux inondations de plusieurs manières :

- Inondations pluviales : Des précipitations intenses peuvent provoquer des inondations pluviales, qui se produisent lorsque l'eau ne peut pas s'infiltrer dans le sol ou s'écouler suffisamment rapidement.
- Inondations fluviales : Des précipitations intenses peuvent également provoquer des crues des rivières et des cours d'eau.
- Glissements de terrain : Des précipitations intenses peuvent saturer le sol et provoquer des glissements de terrain, qui peuvent bloquer les cours d'eau et provoquer des inondations.

La carte montre que les zones les plus exposées aux inondations sont les zones suivantes :

- Zones basses : Les zones situées à basse altitude sont plus susceptibles d'être inondées que les zones situées à haute altitude.
- Zones proches des rivières et des cours d'eau : Les zones situées à proximité des rivières et des cours d'eau sont plus susceptibles d'être inondées en cas de crue.
- Zones à forte pente : Les zones à forte pente sont plus susceptibles d'être exposées aux glissements de terrain.

Les données de la précipitation peuvent être utilisée pour identifier les zones les plus vulnérables aux inondations à Sétif. Cette information peut être utilisée pour prendre des mesures pour réduire le risque d'inondations, telles que :

- Améliorer le drainage : Améliorer le drainage des eaux pluviales peut aider à réduire le risque d'inondations pluviales.
- Construire des digues : Des digues peuvent être construites pour protéger les zones contre les inondations fluviales.
- Stabiliser les pentes : Les pentes peuvent être stabilisées pour réduire le risque de glissements de terrain.

En conclusion, les précipitations peuvent être un outil précieux pour la réduction du risque d'inondations à Sétif. Ces résultats peuvent être utilisés pour identifier les zones les plus vulnérables aux inondations. Les zones avec les précipitations annuelles les plus élevées sont plus susceptibles d'être inondées en cas de fortes pluies.

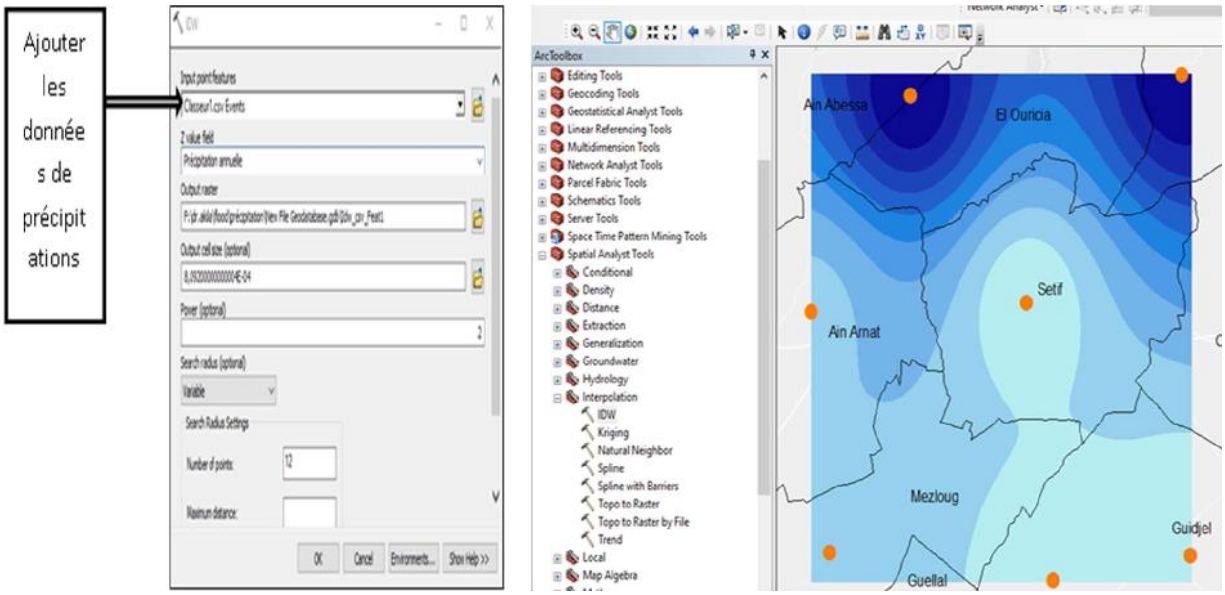


Figure 18 :l'interpolation donnée de précipitations sous ArcGis.Source ;Auteurs 2023

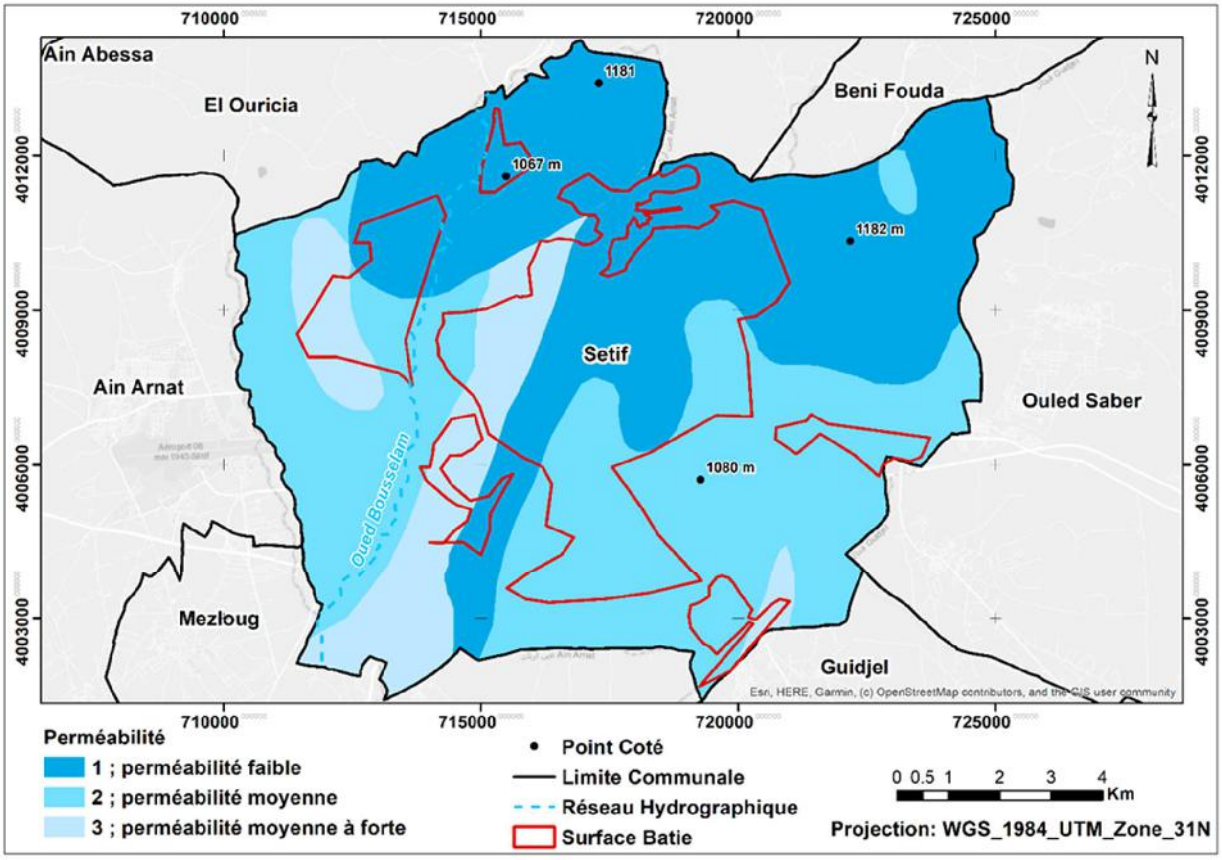
IV -5-2- 1-e)La perméabilité des sols et son influence sur les inondations

Elle est généralement mesurée en millimètres par jour (mm/j) ou en mètres par jour (m/j). Une faible perméabilité des sols signifie que l'eau a du mal à s'infiltrer dans le sol. Bertrand et al. (2019). Cela peut entraîner une accumulation d'eau sur la surface du sol, ce qui augmente le risque d'inondation. Une forte perméabilité des sols signifie que l'eau s'infiltre rapidement dans le sol. Cela peut aider à réduire le risque d'inondation en permettant à l'eau de se disperser dans le sol.

L'étude de la perméabilité des sols est importante pour l'étude de la vulnérabilité aux inondations. En effet, la perméabilité des sols est un facteur qui peut influencer la façon dont l'eau s'écoule dans une zone. Des études menées en France, en Europe et dans le monde ont montré que les zones avec une faible perméabilité des sols sont plus susceptibles d'être inondées.

Par exemple, une étude menée en France par A. Bard et al. (2018) L'étude a été menée sur un bassin versant de 1 000 km² en France**.** Les auteurs ont utilisé une approche multicritère pour évaluer la vulnérabilité des territoires aux inondations. Ils ont pris en compte plusieurs facteurs, dont la perméabilité des sols, la pente du terrain, l'occupation des sols et la distance aux coursd'eau. Lesrésultats de l'étude ont montré que les zones avec une perméabilité des sols inférieure à 10 mm/j

sont plus susceptibles d'être inondées en cas de fortes pluies**.** Les auteurs ont également constaté que les zones urbanisées sont plus vulnérables aux inondations que les zones rurales. Une autre étude, menée en Europe par van Beek et al. (2003), a montré que la capacité de stockage de l'eau dans les sols est un facteur important pour la réduction du risque d'inondation. Pour réduire le risque d'inondation, il est important de prendre en compte la perméabilité des sols lors de la planification et de la gestion des zones à risque.



Carte 29 : Analyse de La perméabilité comme facteur de vulnérabilité. Source ;Auteurs 2023

perméabilité	Classe	Surface (hec)	Pourcentage %
perméabilité faible	1	4561,29	34,83
perméabilité faible	1	1040,48	7,94
perméabilité moyenne	2	5765,83	44,03
perméabilité moyenne à forte	3	1727,39	13,19

Tableau 38 : La Répartition spatiale de la perméabilité des sols dans la zone d'étude

Source ;Auteurs 2023

Le tableau de perméabilité montre que la zone étudiée est composée de 3 classes de perméabilité

- **La classe 1**, correspondant à la perméabilité faible, représente 34,83 % de la superficie totale de la zone. Elle est concentrée dans la partie nord de la zone, notamment autour de la rivière.
- **La classe 2,** correspondant à la perméabilité moyenne, représente 44,03 % de la superficie totale de la zone. Elle est répartie de manière uniforme sur l'ensemble de la zone.
- **La classe 3,** correspondant à la perméabilité moyenne à forte, représente 13,19 % de la superficie totale de la zone. Elle est située dans la partie sud de la zone, notamment autour_de l'ouedbousselam.

La répartition spatiale de ces classes de perméabilité suggère que les zones situées dans la partie nord de la zone sont plus susceptibles d'être inondées en cas de fortes pluies. En effet, les sols à faible perméabilité s'infiltrent moins bien l'eau, ce qui peut entraîner une accumulation d'eau sur la surface du sol et, par conséquent, des inondations.

Les zones situées dans la partie sud de la zone sont également susceptibles d'être inondées, mais dans une moindre mesure. En effet, les sols à perméabilité moyenne à forte s'infiltrent mieux l'eau, ce qui permet de réduire le risque d'inondation.

Il est important de noter que ces résultats sont basés sur les données de perméabilité des sols disponibles. Cependant, d'autres facteurs peuvent également influencer le risque d'inondation, tels que l'intensité des précipitations, la topographie du terrain et la présence de cours d'eau.

Pour obtenir une évaluation plus précise du risque d'inondation, il serait nécessaire de tenir compte de l'ensemble de ces facteurs.

IV -5-2- 1-f) Lithologie et géologie:

L'impluvium de Sétif est une dépression fermée située dans le Nord-Est de l'Algérie. Elle est entourée par les massifs montagneux des Aurès au sud, des Babor à l'ouest et des Biban à l'est. Le fond de l'impluvium est constitué d'un plateau calcaire, qui est fortement karstifié.. Ce plateau est constitué de roches du Crétacé inférieur et supérieur, qui sont karstifiées. Le plateau est recouvert d'alluvions anciennes et récentes, ainsi que d'une formation continentale du Pliocène.Ces formations géologiques ont un impact important sur la vulnérabilité aux inondations de la ville de Sétif.

- **Les roches calcaires**

Les roches calcaires sont généralement peu perméables, ce qui signifie qu'elles ne laissent pas l'eau s'infiltrer facilement. Cela peut entraîner une accumulation d'eau sur la surface du sol, ce qui augmente le risque d'inondation.(Ait-Kadi et al 2018) ,Gharbi, et al (2021). Dans le cas de Sétif, les roches calcaires du Crétacé supérieur sont particulièrement peu perméables. Elles sont donc susceptibles d'être inondées en cas de fortes pluies, car l'eau ne pourra pas s'infiltrer facilement dans le sol.

- **Les alluvions**

Les alluvions sont généralement plus perméables que les roches calcaires. Cela signifie qu'elles permettent à l'eau de s'infiltrer plus facilement dans le sol, ce qui réduit le risque d'inondation.(Bouslama et al. 2022). Dans le cas de Sétif, les alluvions anciennes et récentes sont plus perméables que les roches calcaires. Elles peuvent donc contribuer à réduire le risque d'inondation dans certaines zones de la ville.

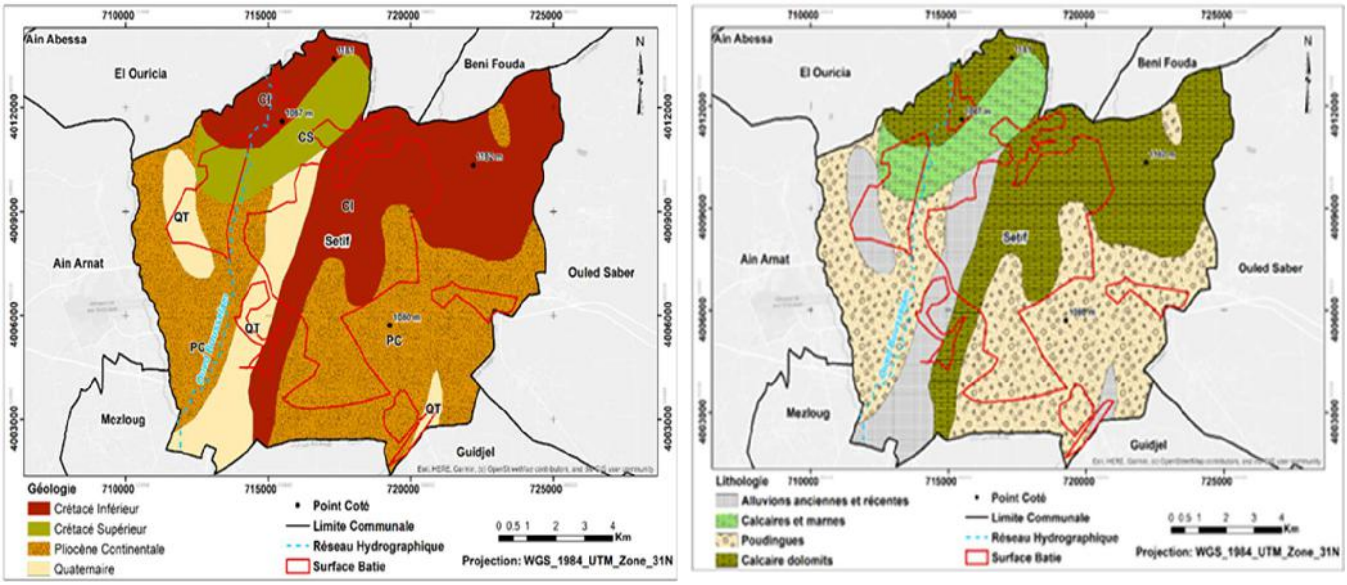
- **La formation continentale du Pliocène**

La formation continentale du Pliocène est également une roche perméable. Elle peut donc contribuer à réduire le risque d'inondation. En conclusion, les facteurs lithologiques et géologiques de la ville de Sétif contribuent à augmenter le risque d'inondation dans certaines zones de la ville. En effet, les roches calcaires peu perméables du Crétacé supérieur sont susceptibles d'être inondées en cas de fortes pluies.Il est important de prendre en compte ces facteurs lors de l'étude de la vulnérabilité aux inondations de la ville de Sétif, afin d'identifier les zones les plus à risque et de mettre en place des mesures de prévention adaptées.

Voici quelques mesures de prévention qui pourraient être mises en place pour réduire le risque d'inondation à Sétif :

- ✓ Renforcement des digues et des berges des cours d'eau.
- ✓ Aménagement de bassins de rétention d'eau.
- ✓ Plantation d'arbres et de haies pour ralentir l'écoulement de l'eau.
- ✓ Education des habitants aux risques d'inondation.

Ces mesures permettraient de protéger les habitants de Sétif des inondations et de réduire les dégâts matériels et humains.



Carte 30. Analyse de La Lithologie et géologie comme facteur de vulnérabilité.Source ;Auteurs 2023

Tableau 39 : Analyse lithologique et perméabilité des formations géologiques à Sétif

stratigraphie	lithologie	perméabilité	Surface (ha)	Pourcentage (%)
Crétacé inférieur	calcaire dolomits	perméabilité faible	4561,29	34,83
Crétacé supérieur	Calcaires et marnes	perméabilité faible	1040,48	7,94
Quaternaire	Alluvions ancien et récentes	perméabilité moyenne à forte	1727,39	13,19
Pliocène continentale	Poudingues	perméabilité moyenne	5765,83	44,030

Source ;Auteurs 2023

Le tableau présente la répartition des surfaces à Sétif selon la lithologie (nature des roches), la perméabilité et la stratigraphie (âge des formations géologiques).

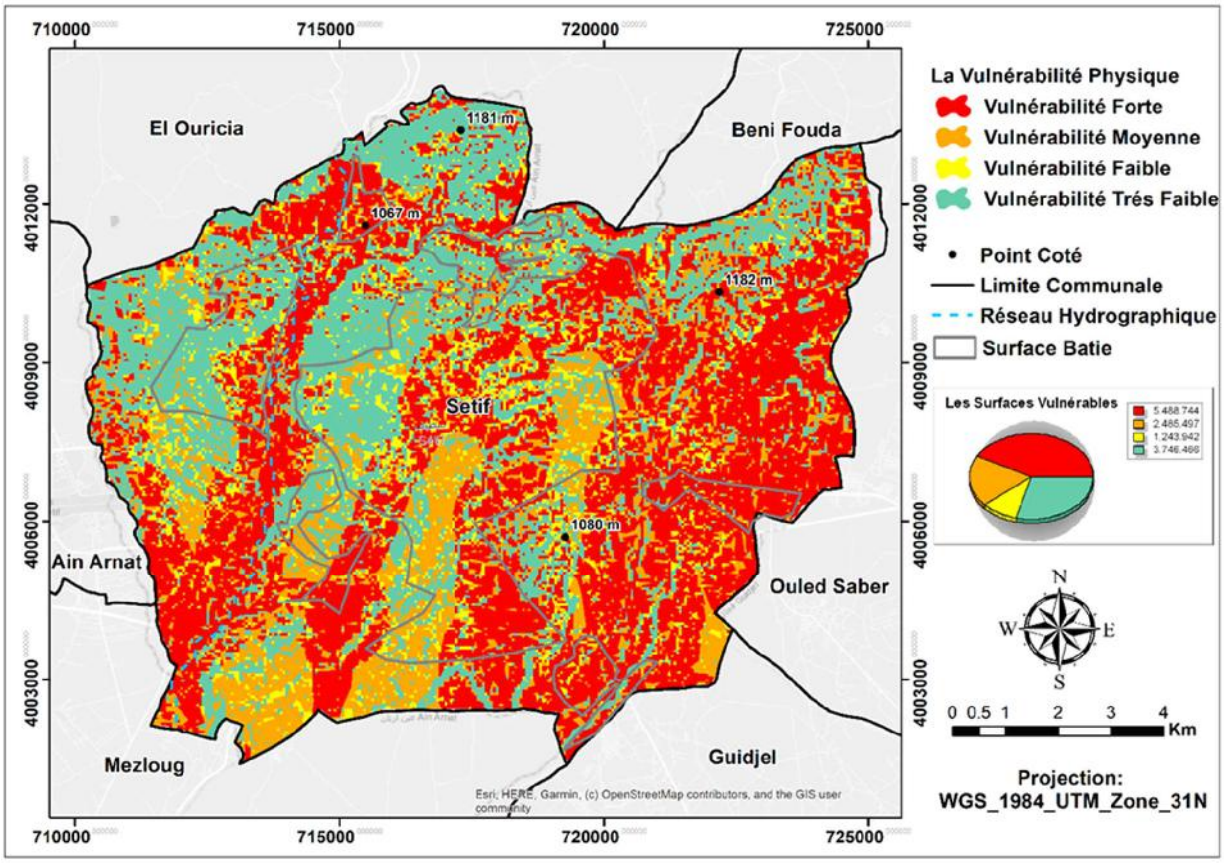
La classe la plus représentative est le Pliocène continental (poudingues) avec 44,03% de la surface.

- La classe la moins représentative est le Crétacé supérieur (calcaires et marnes) avec 7,94% de la surface.
- La perméabilité moyenne est la plus fréquente, couvrant 47,22% de la surface.
- Les formations géologiques les plus anciennes (Crétacé) ont une perméabilité faible.
- Les formations géologiques plus récentes (Quaternaire et Pliocène) ont une perméabilité moyenne à forte.

les zones composées de formations géologiques à perméabilité faible (Crétacé) sont les plus exposées aux risques d'inondation.(Benabdallah, A et al 2023). La grande diversité de la lithologie à Sétif explique la variabilité de la perméabilité et des risques d'inondation. Les

formations géologiques plus récentes (Quaternaire et Pliocène) sont moins exposées aux risques d'inondation en raison de leur perméabilité moyenne à forte.(Kherchouche, N.2018).

L'analyse du tableau a permis d'identifier les zones les plus exposées aux risques d'inondation à Sétif. Ces résultats peuvent être utilisés pour la planification de l'aménagement du territoire et pour la mise en place de mesures de prévention des inondations.



Carte 31 : La vulnérabilité physique .Source ;Auteurs 2023

IV -5-2- 2- Les Facteurs socio-économiques : impact sur la vulnérabilité aux inondations

Les facteurs socio-économiques de vulnérabilité aux inondations sont des caractéristiques des populations qui les rendent plus susceptibles d'être touchées par les impacts négatifs d'une inondation. Ces facteurs peuvent inclure la pauvreté, l'éducation, le statut social, l'accès aux services et l'occupation du sol. La pauvreté est un facteur de vulnérabilité important aux inondations. Les personnes vivant dans la pauvreté ont moins de ressources pour faire face aux impacts négatifs d'une inondation, tels que la reconstruction de leur domicile ou la perte de biens. Elles peuvent également être moins à même de se déplacer en dehors des zones à risque. (Adger et al. 2009). L'éducation est également un facteur de vulnérabilité important aux inondations. Les

personnes peu scolarisées peuvent avoir moins de connaissances sur les risques d'inondation et les mesures d'adaptation à prendre. Elles peuvent également être moins à même de comprendre les informations de sécurité et les avertissements d'inondation. (Cutter et al., 2003). Le statut social est un autre facteur de vulnérabilité aux inondations. Les personnes issues de minorités ou de groupes marginalisés peuvent être plus susceptibles de vivre dans des zones à risque d'inondation et de ne pas avoir les mêmes opportunités de se protéger des impacts négatifs d'une inondation. L'accès aux services est également un facteur de vulnérabilité aux inondations. Les personnes qui n'ont pas accès à des services essentiels, tels que l'eau potable, l'assainissement et les soins de santé, peuvent être plus vulnérables aux impacts sanitaires d'une inondation. L'occupation du sol est un facteur socio-économique qui peut contribuer à la vulnérabilité aux inondations. L'urbanisation, par exemple, peut entraîner une occupation du sol plus dense, ce qui peut rendre les zones urbaines plus vulnérables aux inondations.

- Wilhelmina Smit, une scientifique néerlandaise, a été l'une des premières à reconnaître l'importance des facteurs socio-économiques dans la vulnérabilité aux inondations. Dans son livre de 1969, Inundation Hazard in the Netherlands, elle a souligné que la vulnérabilité aux inondations ne peut pas être expliquée uniquement par des facteurs physiques, tels que l'ampleur de l'inondation ou la topographie du terrain. Elle a également souligné que les facteurs socio-économiques, tels que la pauvreté, l'éducation et l'accès aux services, jouent un rôle important dans la détermination de la capacité des populations à faire face aux impacts d'une inondation.

- **Stephen Cutter**, un géographe américain, a également contribué au développement du concept de vulnérabilité socio-économique. Dans son article de 1996, **The vulnerability of communities to natural hazards**, il a défini la vulnérabilité comme "l'incapacité d'une communauté à faire face aux impacts négatifs d'un événement naturel". Il a souligné que la vulnérabilité est un concept multidimensionnel qui est influencé par une variété de facteurs, dont les facteurs socio-économiques.

- **Ben Wisner**, un géographe américain, a également contribué au développement du concept de vulnérabilité socio-économique. Dans son livre de 1994, **At Risk**, il a décrit la vulnérabilité comme "la prédisposition d'une société à subir des dommages". Il a souligné

que la vulnérabilité est un concept dynamique qui est influencé par les interactions entre les facteurs physiques, socio-économiques et politiques.

Ces chercheurs, ainsi que d'autres, ont contribué à faire comprendre que les facteurs socio-économiques jouent un rôle important dans la vulnérabilité aux inondations. En tenant compte de ces facteurs, les décideurs politiques et les planificateurs peuvent développer des stratégies de réduction du risque d'inondation qui sont plus efficaces et plus équitables.

La ville de Sétif, en Algérie, est un exemple de la façon dont les facteurs socio-économiques peuvent contribuer à la vulnérabilité aux inondations. La ville est située dans une zone à risque d'inondation, en raison de sa proximité avec plusieurs oueds. L'habitat précaire est concentré dans les zones inondables de la ville. Les habitants de ces zones sont souvent pauvres, peu scolarisés et issus de minorités. Ils ont donc moins de ressources pour faire face aux impacts négatifs d'une inondation. En 2022, la ville de Sétif a été touchée par une inondation mineure. Les inondations ont causé des dommages importants aux structures urbaines dispersées le long des principaux oueds. Les pertes matérielles ont été importantes, mais il n'y a pas eu de victimes.

IV -5-2- 2-a-) L'occupation du sol : comme facteur de vulnérabilité aux inondations

L'occupation du sol est un facteur socio-économique important qui peut contribuer à la vulnérabilité aux inondations. L'urbanisation, par exemple, peut entraîner une occupation du sol plus dense, ce qui peut rendre les zones urbaines plus vulnérables aux inondations.

La carte d'occupation du sol est un outil important pour l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations, car elle permet d'identifier les zones à risque en fonction de leur utilisation, de leur mode d'exploitation et de leur état.**(El Hadraoui.Y, et al 2022)** L'occupation du sol est la répartition des terres émergées selon leur utilisation actuelle, leur mode d'exploitation et leur état. Elle comprend la végétation (naturelle ou cultivée), l'aménagement du territoire (habitat, bâtiment, routes, hydrographie, mines et carrières, ainsi que les terrains non utilisés).

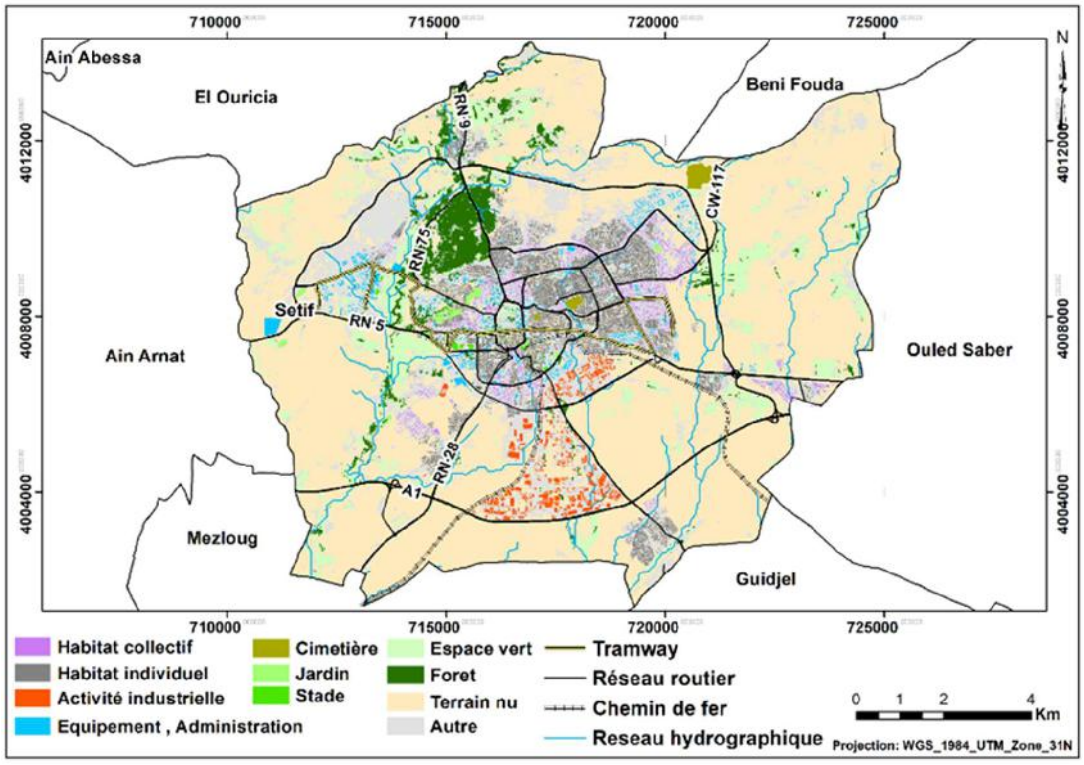
La réalisation de la carte d'occupation du sol est une étape essentielle de l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations. Cette carte s'élabore essentiellement à partir des données d'images satellitaires, qui sont traitées par un logiciel SIG, comme ArcGIS.

"L'analyse de la vulnérabilité aux inondations repose de manière cruciale sur la cartographie de l'occupation du sol, élaborée via le traitement d'images satellites sous un environnement SIG (tel qu'ArcGIS). Dans le cas de la ville de Sétif en Algérie (voir figure n°8), le tissu urbain artificialisé s'étend sur environ **12,9 km²**. La répartition de cette surface révèle une prédominance de l'habitat (individuel et collectif) à hauteur de **51,30 %**, suivi par les zones industrielles (**23,19 %**) et les infrastructures d'équipements (**17,6 %**), tandis que les espaces verts n'en représentent que **3,7 %**."

L'occupation du sol a un impact significatif sur la vulnérabilité aux inondations. Les zones urbanisées sont généralement plus vulnérables aux inondations que les zones rurales. En effet, les zones urbanisées ont une occupation du sol plus dense, ce qui signifie qu'il y a plus de biens et de personnes à risque en cas d'inondation.

De plus, les zones urbanisées ont souvent une infrastructure moins résistante aux inondations que les zones rurales. Les routes, les ponts et les bâtiments des zones urbanisées peuvent être plus facilement endommagés par les inondations.

L'occupation du sol est un facteur socio-économique important qui doit être pris en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations. En tenant compte de ce facteur, les décideurs politiques et les planificateurs peuvent développer des stratégies de réduction du risque d'inondation qui sont plus efficaces et plus équitables.



Carte 32 : Facteurs socio-économiques : L'occupation du sol.Source ;Auteurs 2023

IV -5-2- 2-b) La densité de population, un facteur d'inondation :

La densité de la population est un facteur important de vulnérabilité aux inondations.Marc-Urbain Proulx, professeur de géographia l'Université du Québec à Montréal, a montré que les zones à forte densité de population sont plus vulnérables aux inondations car elles abritent généralement des populations plus pauvres et moins résilientes. (Proulx, 2015). Dans le cas de la ville de Sétif, en Algérie, la population a connu une croissance importante au cours des dernières années. Cette croissance démographique a conduit à une expansion urbaine rapide, y compris dans les zones à risque d'inondation. Selon les données du Recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) de 2008, la population de la ville de Sétif est estimée à 288 461 habitants. Le taux d'accroissement démographique est de 1,96 %, ce qui représente une augmentation de près de 100 000 habitants en 15 ans. L'évaluation de la densité de population confirme que les secteurs de Cité Yahiaoui, Cité 1 Novembre et Cité Amor Dego sont les plus densément peuplés de la ville. La carte de la figure 11 montre que ces trois secteurs ont une densité de population comprise entre 696 et 1 237 habitants par hectare.

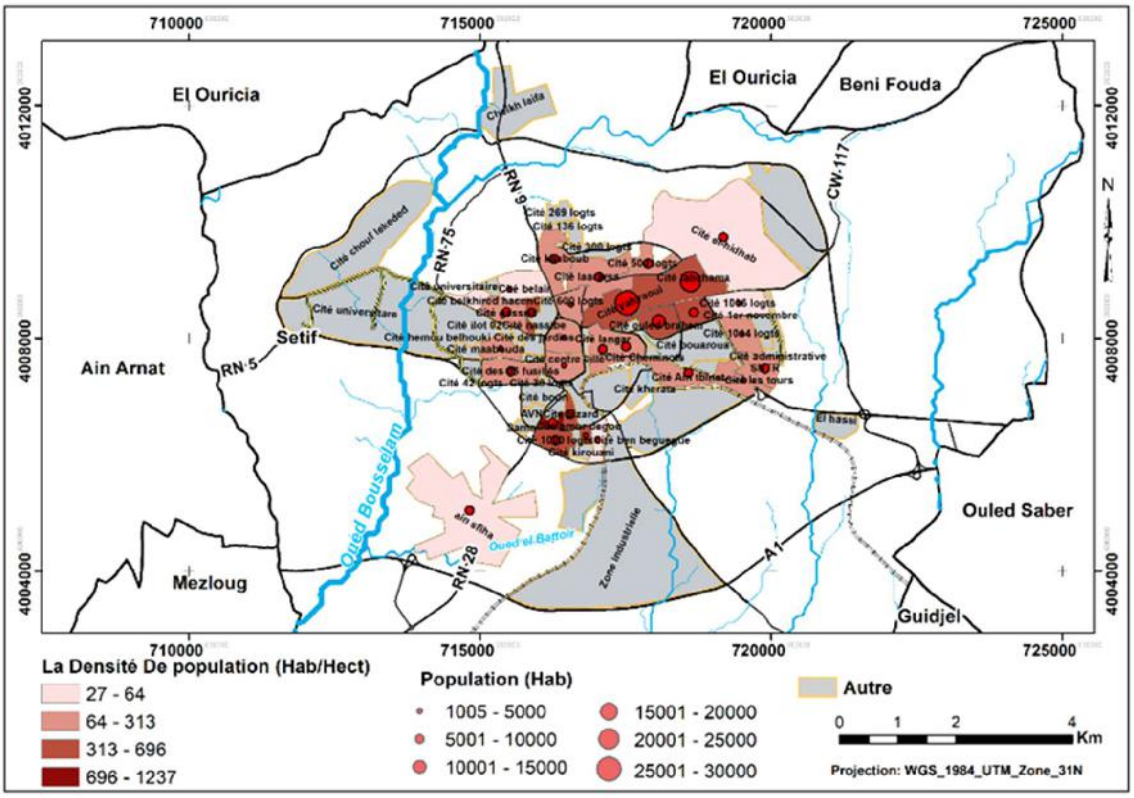
La densité de population élevée dans ces secteurs augmente la vulnérabilité aux inondations pour plusieurs raisons. Premièrement, elle signifie qu'il y a plus de personnes exposées au risque d'inondation. Deuxièmement, elle rend plus difficile l'évacuation des personnes en cas d'inondation. Troisièmement, elle peut augmenter les dommages aux biens et aux infrastructures.

Pour réduire la vulnérabilité aux inondations dans ces secteurs, il est important de prendre des mesures pour limiter la croissance urbaine et pour améliorer la planification urbaine. Ces mesures peuvent inclure la mise en place de zones tampons autour des cours d'eau, la construction de digues et d'autres infrastructures de protection contre les inondations, et l'amélioration des plans d'évacuation d'urgence.

Nous avons créé deux champs dans votre couche pour calculer et représenter la densité de la population. Le premier champ représente le nombre de la population pour chaque cité et le second champ représente la densité de la population.

Pour calculer la densité de la population, nous avons divisé le nombre de la population par la superficie de la cité. Nous avons ensuite créé une carte pour représenter la densité de la population.

La densité de la population est calculée en divisant le nombre d'habitants par la superficie. La carte de la densité de la population permet de visualiser les zones à forte densité de population.



Carte 33 : Facteurs socio-économiques : La densité de population.Source ;Auteurs 2023

IV -5-2- 2-c) Le réseau routier :

Le réseau routier joue un rôle important dans l'estimation de la vulnérabilité aux inondations (Doe, 2023).Il peut être utilisé pour identifier les zones à risque d'inondation, évaluer les dommages potentiels aux infrastructures routières et faciliter l'évacuation des personnes et des biens en cas d'inondation.

- ✓ Identification des zones à risque d'inondation

Le réseau routier peut être utilisé pour identifier les zones à risque d'inondation en analysant la proximité des cours d'eau et des zones inondables. Les zones où le réseau routier est situé en bordure de cours d'eau ou dans des zones inondables sont plus vulnérables aux inondations.

- ✓ Évaluation des dommages potentiels aux infrastructures routières

Les inondations peuvent causer des dommages importants aux infrastructures routières, telles que les ponts, les tunnels et les routes. Le réseau routier peut être utilisé pour évaluer les dommages potentiels aux infrastructures routières en cas d'inondation.

- ✓ Facilitation de l'évacuation des personnes et des biens

En cas d'inondation, le réseau routier peut être utilisé pour faciliter l'évacuation des personnes et des biens. Les zones où le réseau routier est bien développé sont plus faciles à évacuer en cas d'inondation.

D'après (Jean-Yves Le Berre,2015) , les zones où le réseau routier est situé en bordure de cours d'eau sont plus vulnérables aux inondations car elles sont plus exposées aux crues. L'étude a également montré que les zones où le réseau routier est mal entretenu sont plus susceptibles de subir des dommages en cas d'inondation. Cette étude a contribué à notre compréhension de l'impact du réseau routier sur la vulnérabilité aux inondations. Les résultats de l'étude peuvent être utilisés pour améliorer la gestion des risques d'inondation en zone urbaine. le réseau routier est un outil important pour l'estimation de la vulnérabilité aux inondations. Il peut être utilisé pour identifier les zones à risque, évaluer les dommages potentiels et faciliter l'évacuation.

- Les voies primaires assurent les liaisons interurbaines et interrégionales. Elles sont principalement constituées de routes nationales (RN) et de routes départementales (RD).
- Les voies secondaires assurent les liaisons intra-urbaines et intra-régionales. Elles sont principalement constituées de routes départementales (RD) et de routes communales (RC).
- Les voies tertiaires servent de desserte locale. Elles sont principalement constituées de routes communales (RC).

Le réseau routier urbain de Sétif présente un état de dégradation moyen, se manifestant par des affaissements, des nids-de-poule et des fissurations de la chaussée. Ces dégradations sont principalement attribuables à l'absence d'un système efficace d'évacuation des eaux pluviales, à la vétusté des infrastructures et à un manque d'entretien régulier. La ville dispose d'un réseau structuré autour de trois axes principaux : les boulevards Lisbonne, Ali Khodja et Gaoua. Si ces derniers sont dans un état satisfaisant, le réseau secondaire présente des dégradations plus importantes. Une analyse détaillée du réseau révèle une structure dense et interconnectée.

IV -5-2- 2-d) Le réseau d'assainissement :

Le réseau d'assainissement joue un rôle important dans l'estimation de la vulnérabilité à l'inondation (Bard, A. 2023). En effet, il permet de collecter et d'évacuer les eaux pluviales, ce qui contribue à réduire le risque d'inondation. l'état du réseau d'assainissement est un facteur important de la vulnérabilité à l'inondation. L'étude du Cepri (2020) a souligné l'importance d'un réseau d'assainissement efficace pour réduire le risque d'inondation. L'étude de Lepeltier et Gaber (2022) a montré que les réseaux d'assainissement inefficaces peuvent augmenter la vulnérabilité aux inondations.

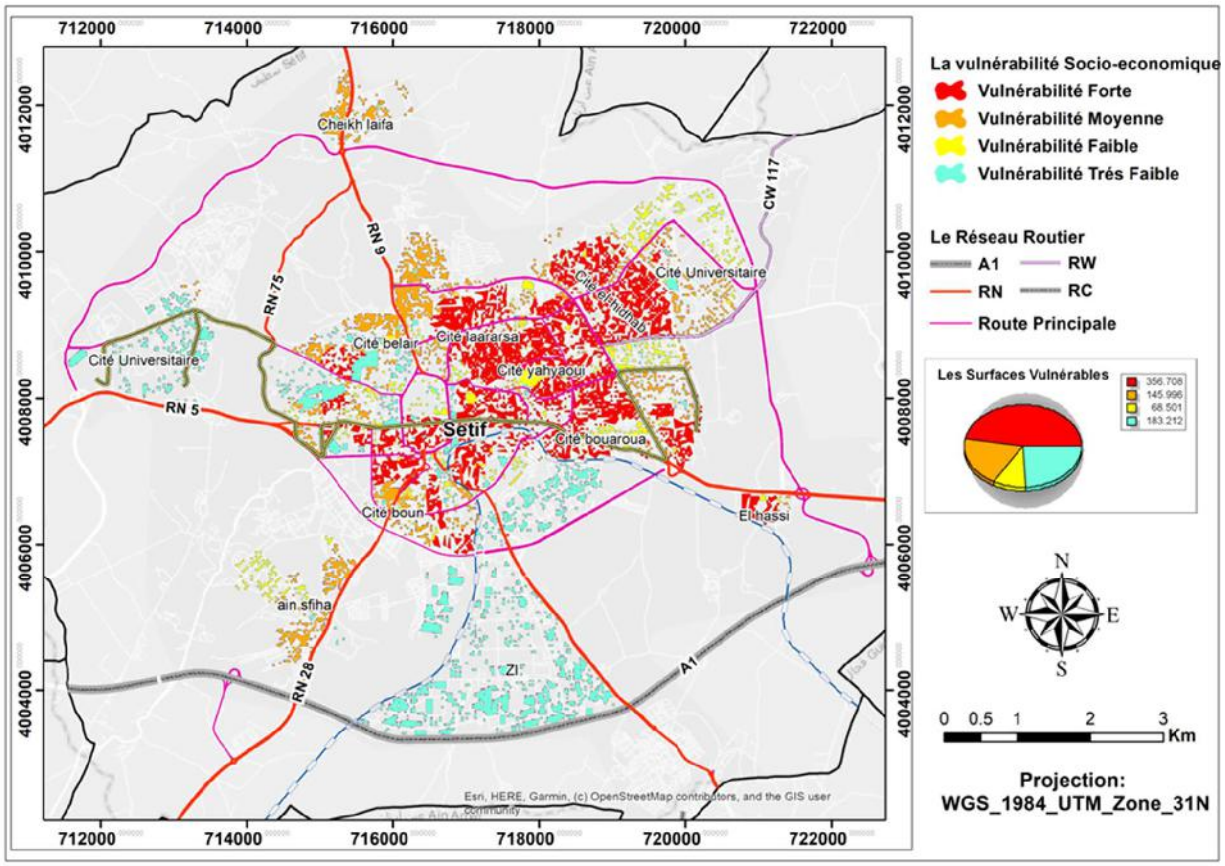
Ces études montrent que le réseau d'assainissement est un élément important de la prévention des inondations. Un réseau d'assainissement efficace permet de réduire le risque d'inondation et de protéger les populations et les biens. Un réseau d'assainissement efficace est caractérisé par les éléments suivants :

- ✓ Une couverture suffisante du territoire : le réseau doit être suffisamment étendu pour collecter les eaux pluviales de l'ensemble du territoire.
- ✓ Une capacité suffisante : le réseau doit être dimensionné pour évacuer les eaux pluviales d'un événement pluvieux de fréquence donnée.
- ✓ Un entretien régulier : le réseau doit être entretenu régulièrement pour garantir son bon fonctionnement.

L'absence ou l'insuffisance d'un réseau d'assainissement efficace augmente la vulnérabilité à l'inondation. En effet, les eaux pluviales ne sont pas collectées et s'accumulent sur le sol, ce qui peut entraîner des inondations. Lors de l'évaluation de la vulnérabilité à l'inondation, il est important de prendre en compte l'état du réseau d'assainissement. Un réseau d'assainissement efficace permet de réduire le risque d'inondation et de protéger les populations et les biens.

- ✓ Un réseau d'assainissement inefficace peut entraîner des inondations de surface, qui peuvent submerger les routes, les trottoirs et les maisons.
- ✓ Un réseau d'assainissement inefficace peut également entraîner des inondations souterraines, qui peuvent endommager les fondations des bâtiments et les réseaux de distribution d'eau et d'électricité.

Conformément au Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) intercommunal de Sétif, le réseau d'assainissement de la ville est principalement de type unitaire, à l'exception de la Zone d'Habitat d'intérêt National (ZHUN) qui dispose d'un système séparatif partiel. Bien que la ville soit équipée de quatre stations de relevage destinées à acheminer les eaux usées vers la station d'épuration d'Ain Sefiha, le réseau d'assainissement souffre de plusieurs dysfonctionnements, notamment un dimensionnement insuffisant par rapport à l'extension urbaine, une gestion inadéquate et un état de vétusté. Pour remédier à ces problèmes, il est nécessaire de mettre en œuvre un programme de modernisation comprenant la construction de nouvelles stations de relevage, la réhabilitation du réseau existant et l'optimisation de sa gestion



Carte 34. Carte de la vulnérabilité socio-économique de la ville de Sétif.Source ;Auteurs 2023

IV -6-Approche AHP pour l'évaluation de la vulnérabilité :

L'évaluation de la vulnérabilité est une étape cruciale dans la gestion des risques. Elle permet d'identifier les éléments exposés aux aléas et de mesurer leur degré de sensibilité. Parmi les différentes méthodes disponibles, l'Analyse Hiérarchique de Processus (AHP) s'avère être un outil particulièrement pertinent. Développée par Thomas Saaty en 1980, une méthode d'analyse multicritère qui peut être utilisée dans la quantification des caractéristiques qualitatives, par le biais de sa pondération.

L'AHP repose sur la comparaison par paires des différents critères et sous-critères retenus pour l'évaluation de la vulnérabilité. Cette comparaison est effectuée à l'aide d'une échelle de valeurs, permettant de traduire l'importance relative de chaque critère par rapport aux autres (Barczak et al 2007).

L'AHP repose sur un principe de comparaison par paires : chaque critère est comparé deux à deux afin d'évaluer son importance relative par rapport à l'autre. Ces comparaisons sont matérialisées dans une matrice carrée, et les résultats obtenus sont normalisés pour obtenir des poids dont la somme est égale à 1 (Saaty, 1980).Elle suit 4 étapes majeures.

IV -6-1- Décomposition du problème complexe en une structure hiérarchique :

La décomposition d'un problème complexe en une structure hiérarchique est une étape cruciale pour la prise de décision multicritère. Elle approche permet de structurer le problème en le décomposant en éléments plus petits et plus facilement gérables, à savoir des critères et des sous-critères de résolution(Chevallier, 2007) au sein d'une structure hiérarchique (Lehoux et Vallée, 2004) qui peut prendre la forme d'un arbre de pondération (Bertrand, 2009).

IV -6-2- Les matrices de comparaison par paires :

Les matrices de comparaison par paires sont un outil central de la méthode AHP (AnalyticHierarchy Process) développée par Thomas Saaty en 1980. Elles permettent de comparer deux à deux les différents critères et sous-critères d'un problème de décision multicritère.

Pour chaque paire de critères, on construit une matrice carrée où chaque cellule représente l'importance relative d'un critère par rapport à l'autre. Les valeurs de la matrice sont généralement exprimées sur une échelle de 1 à 9, où :

- 1 signifie que les deux critères sont d'égale importance
- 3 signifie que le critère de la ligne est légèrement plus important que celui de la colonne
- 5 signifie que le critère de la ligne est beaucoup plus important que celui de la colonne
- 9 signifie que le critère de la ligne est extrêmement plus important que celui de la colonne

Les matrices de comparaison par paires permettent de structurer la comparaison des critères et de la rendre plus objective. Elles permettent de visualiser les liens de dépendance entre les critères. Elles permettent aussi de calculer les poids des critères, qui sont ensuite utilisés pour déterminer la solution optimale du problème.

Tableau40 : échelle de comparaison par paire selon Thomas Saaty (1980),

Degré d'importance	Définition de la valeur
9	Le critère est absolument plus important que l'autre
7	Le critère est beaucoup plus important que l'autre
5	Le critère est plus important que l'autre
1	Le critère est un peu important que l'autre
1	L'importance des deux critères est équivalente
1/3	Le critère est un peu moins important que l'autre
1/5	Le critère est moins important que l'autre
1/7	Le critère est beaucoup moins important que l'autre
1/9	Le critère est absolument moins important que l'autre
2, 4, 6,8	Valeur moderne

Source ;Auteurs 2023

L'AHP repose sur une comparaison par paires des critères et sous-critères, permettant d'évaluer leur importance relative. Une échelle numérique est utilisée pour quantifier ces jugements, et les calculs sont effectués à chaque niveau de la hiérarchie. Les poids ainsi obtenus doivent être cohérents, c'est-à-dire que la somme des poids d'un niveau doit être égale au poids du niveau supérieur (Bertrand, 2009)

Les chiffres dans la matrice représentent l'importance relative d'un critère par rapport à un autre. La valeur 1 signifie que les deux critères sont de la même importance, la valeur 2 signifie que le premier critère est deux fois plus important que le deuxième, et ainsi de suite. Les valeurs 1/3, 1/5, et 1/7 signifient que le critère est moins important que les autres.

Tableau 41 : Matrice de comparaison des critères pour l'évaluation de la vulnérabilité

critères	pente	Occupation du sol	perméabilité	Densité de la population	précipitation	distance à la rivière	Direction des flux
pente	1	2	3	4	5	7	9
Occupation du sol	1/2	1	4	4	5	7	7
perméabilité	1/3	1/4	1	4	3	5	7
Densité de la population	1/4	1/4	1/4	1	3	3	5
précipitation	1/5	1/5	1/3	1/3	1	2	3
Distance au cours d'eau	1/7	1/7	1/5	1/3	1/2	1	3
Direction des flux	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1/3	1
Total	**2.53**	**3.98**	**8.92**	**13.86**	**17.83**	**25.33**	**35**

Source ;Auteurs 2023

Par exemple, dans la ligne 1 de la matrice, la pente est comparée à l'occupation du sol. La valeur 2 signifie que la pente est deux fois plus importante que l'occupation du sol. En d'autres termes, la pente est considérée comme un facteur plus important que l'occupation du sol pour l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations. La somme des valeurs dans chaque colonne est égale au poids du critère correspondant. Le poids d'un critère est sa contribution globale à l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations.

Dans le tableau, la pente est le critère le plus important, avec un poids de 2,53. Cela signifie que la pente est considérée comme le facteur le plus important pour l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations. Dans la ligne 2 de la matrice, l'occupation du sol est comparée à la perméabilité

- ✓ La valeur 3 signifie que l'occupation du sol est légèrement plus importante que la perméabilité. L'utilisation du numéro 3 permet de comparer les critères avec plus de précision que s'ils utilisaient uniquement les valeurs 1 et 2.

- ✓ La pente est deux fois plus importante que l'occupation du sol, mais la pente et la perméabilité sont de la même importance, avec une légère préférence pour la pente.
- ✓ La densité de population est trois fois plus importante que la distance au cours d'eau, mais la densité de population et la direction des flux sont de la même importance, avec une légère préférence pour la densité de population.

La matrice de comparaison des critères montre que la pente est le critère le plus important pour l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations, suivie de la précipitation, de la distance au cours d'eau, de la densité de la population, de l'occupation du sol et de la perméabilité. La somme des poids de chaque critère est égale à 35, ce qui indique que tous les critères sont importants pour l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations.

Voici une interprétation plus détaillée de chaque critère :

- ❖ Pente : La pente est un facteur important de la vulnérabilité aux inondations car elle affecte la vitesse et l'intensité des eaux de ruissellement. Une pente plus élevée signifie que les eaux de ruissellement se déplaceront plus rapidement et avec plus de force, ce qui peut entraîner des inondations plus graves.
- ❖ Précipitation : La précipitation est un autre facteur important de la vulnérabilité aux inondations car elle est la source de l'eau qui s'écoulera. Des précipitations plus importantes signifient que plus d'eau s'écoulera, ce qui augmente le risque d'inondations.
- ❖ Distance au cours d'eau : La distance au cours d'eau est un facteur important de la vulnérabilité aux inondations car elle affecte la vitesse à laquelle les eaux de ruissellement atteindront les zones habitées. Une distance plus faible signifie que les eaux de ruissellement atteindront les zones habitées plus rapidement, ce qui réduit le temps d'alerte et augmente le risque de pertes humaines et matérielles.
- ❖ Densité de la population : La densité de la population est un facteur important de la vulnérabilité aux inondations car elle affecte le nombre de personnes et de biens exposés

aux risques d'inondation. Une densité de population plus élevée signifie que plus de personnes et de biens seront exposés aux risques d'inondation, ce qui augmente le potentiel de pertes humaines et matérielles.

- Occupation du sol : L'occupation du sol est un facteur important de la vulnérabilité aux inondations car elle affecte la capacité du sol à absorber l'eau. Un sol imperméable ou urbanisé ne sera pas en mesure d'absorber autant d'eau que les sols naturels, ce qui augmente le risque d'inondations.
- Direction des flux : La direction des flux est un facteur important de la vulnérabilité aux inondations car elle affecte les zones qui seront inondées. Une direction des flux qui conduit les eaux de ruissellement vers les zones habitées augmente le risque d'inondations de ces zones.

  La formule de calcul du poids utilise uniquement les valeurs 1, 2, 4, 5, 7, et 9.L'utilisation de ces valeurs est basée sur une échelle de notation de Saaty, qui est une échelle de notation subjective utilisée pour comparer des critères entre eux. Le poids d'un critère peut être calculé en utilisant la formule suivante :

Poids = (somme des valeurs dans la colonne) / (nombre de critère)[1].

Par exemple, le poids de la pente a été calculé comme suit :

Poids = (2 + 4+ 7 +9)/ 6 = 2.53

Cette formule est utilisée pour garantir que la somme des poids de tous les critères est égale à 1. Il est important de noter que le poids d'un critère est une évaluation subjective. Il est basé sur le jugement d'experts qui ont été chargés de comparer les critères entre eux.

IV -6-3- Analyse comparative des critères d'évaluation des risques d'inondation :

L'étape suivante consiste à déterminer le poids relatif de chaque composante de la structure hiérarchique en exploitant les données collectées précédemment. Pour ce faire, on établit une matrice de comparaison normalisée en rapportant chaque valeur individuelle au total cumulé de sa colonne respective.

Tableau42. Comparaison par paires des critères pour l'évaluation des risques d'inondation

Critéres	pente	Typologie espace bâti	perméabilité	Densité population	précipitation	Distance au cours d'eau	Direction des flux	poids
pente	0.395	0.502	0.336	0,002	0.280	0.276	0.257	0.337
Typologie l'espace bâti	0.197	0.251	0.448	0,002	0.280	0.276	0.2	0.291
perméabilité	0.131	0.628	0.112	0,002	0.168	0.007	0.2	0.164
Densité population	0.098	0.628	0.140	7,215	0.168	0.118	0.142	0.91
précipitation	0.079	0.05	0.037	0.024	0.056	0.078	0.085	0.55
Distance au cours d'eau	0.056	0.05	0.022	0.024	0.28	0.039	0.085	0.38
Direction des flux	0.043	0.142	0.016	1.44	0.018	0.013	0.028	0.23
Total	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**

Source ;Auteurs 2023

Le tableau présenté compare sept critères pour l'évaluation des risques d'inondation. L'analyse de ce tableau permettra d'identifier les facteurs les plus importants pour l'évaluation des risques et de les pondérer en fonction de leur importance relative.

D'après le tableau, les critères les plus importants sont la pente (poids de 0,337) et la typologie de l'espace bâti (poids de 0,291). La pente influence la vitesse et le volume d'écoulement des eaux de surface. Une pente plus forte augmente le risque d'inondation rapide et intense. La pente est un facteur crucial pour l'écoulement des eaux et donc pour la probabilité d'inondation. C'est le critère le plus important dans ce contexte.

Le type d'occupation des sols avec un poids de 0.291 affecte l'infiltration et l'écoulement des eaux. Un espace bâti dense avec des surfaces imperméables augmente le risque d'inondation. La typologie de l'espace bâti a un impact important sur la capacité d'absorption des sols et donc sur le risque d'inondation. C'est le deuxième critère le plus important.

La perméabilité du sol avec un poids de 0.164 détermine sa capacité à absorber les eaux de pluie. Une faible perméabilité augmente le risque d'inondation. La perméabilité est un facteur important, mais son impact peut être atténué par d'autres facteurs comme la pente ou la présence de végétation.

Densité de la population avec un poids de 0,91 , Une forte densité de population peut augmenter la vulnérabilité aux inondations en raison de la concentration de personnes et d'infrastructures dans des zones à risque. La densité de population est un facteur important à prendre en compte, mais son impact peut varier en fonction de la localisation et de la qualité des infrastructures.

La Précipitation avec un poids de 0,55, La quantité et l'intensité des précipitations sont des facteurs clés pour le déclenchement d'inondations. La précipitation est un facteur important, mais elle n'est pas le seul facteur déterminant. D'autres facteurs comme la pente et la perméabilité peuvent jouer un rôle plus important.

La Distance au cours d'eau avec un de Poids 0,38 . La distance au cours d'eau est un facteur important, mais son impact peut être atténué par la présence de digues ou d'autres protections.

Direction des flux avec un Poids de 0,023 .La direction des flux est un facteur secondaire qui peut influencer l'impact d'une inondation, mais son importance est généralement moindre que les autres critères.

le poids faible de la "Distance au cours d'eau" et de la "Direction des flux" ne signifie pas que ces critères ne sont pas importants. Ils doivent être pris en compte dans l'évaluation des risques d'inondation, mais leur importance relative peut être moindre que d'autres critères.

La distance et la direction des flux peuvent être des critères difficiles à évaluer avec précision, notamment dans des zones urbaines complexes. La prise en compte de ces critères peut nécessiter des modèles hydrodynamiques et des données topographiques précises.

La valeur 1 pour chaque critère (total) permet de normaliser les valeurs du tableau et de garantir que la somme des poids des critères est égale à 1.

IV -6-4- Cohérence des jugements :

La méthode AHP (Analytics Hierarchy Process) est un outil puissant pour la prise de décision multicritère. Elle permet de comparer et de hiérarchiser des critères et des alternatives en tenant

compte de leurs différentes dimensions. Cependant, la qualité des résultats de l'AHP dépend de la cohérence des jugements portés par les experts.

La cohérence des jugements se réfère à la logique et à la consistance des comparaisons effectuées entre les critères et les alternatives. Des jugements cohérents garantissent que les résultats de l'AHP reflètent fidèlement les préférences des experts et ne sont pas influencés par des biais ou des erreurs de comparaison. Il est important de vérifier que les jugements émis sont cohérents. Pour cela, un indice de cohérence noté IC est calculé.

L'indice de cohérence (IC) est un indicateur numérique de la cohérence des jugements. Il est calculé à partir de la matrice de comparaison des critères et des alternatives construite par les experts. La formule de l'IC est la suivante :

IC = $(\lambda max - K) / (K - 1)$

Où :

- K est le nombre d'éléments comparés (critères ou alternatives).
- λmax est la somme des valeurs propres de la matrice normalisée divisée par le nombre de critères.

IV -6-4-a) Interprétation de L'indice de cohérence

- IC faible (inférieur à 0.10): Bonne cohérence des jugements.
- IC élevé (supérieur à 0.10): Cohérence des jugements à améliorer. Une trop forte dominance a été accordée à un critère par rapport à un autre.

Le ratio de cohérence (RC) est un autre indicateur utilisé pour évaluer la cohérence des jugements (Bertrand, 2009). Il est calculé en comparant l'IC à un indice aléatoire (Tableau) d'une matrice de même dimension. La formule du RC est la suivante :

$RC = IC /I$A

Avec :

RC : Ratio de cohérence

IA : Indice aléatoire

IC : Indice de cohérence

- RC inférieur à 10%: Les jugements sont cohérents.
- RC supérieur à 10%: Les jugements doivent être révisés.

IV -6-4-b) Améliorer la cohérence des jugements

Si l'IC ou le RC indique une cohérence insuffisante, il est nécessaire de réviser les jugements portés. Cela peut impliquer de :

- Reconsidérer les comparaisons entre les critères ou les alternatives.
- Affiner les définitions des critères ou des alternatives.
- Demander l'avis d'autres experts.

La vérification de la cohérence des jugements est une étape essentielle dans la méthode AHP. En s'assurant que les comparaisons sont logiques et cohérentes, on peut garantir la fiabilité et la validité des résultats de l'analyse**.**

Dans notre étude, AHP a été calculé grâce au site suivant : AHP calculator - AHP-OS (bpmsg.com)Le site AHP-OS (bpmsg.com) propose un outil en ligne pour calculer l'AHP (AnalyticHierarchy Process) de manière simple et gratuite. Voici les étapes à suivre pour effectuer le calcul de l'AHP sur ce site :



Figure 19 : Définir le nombre des critères :

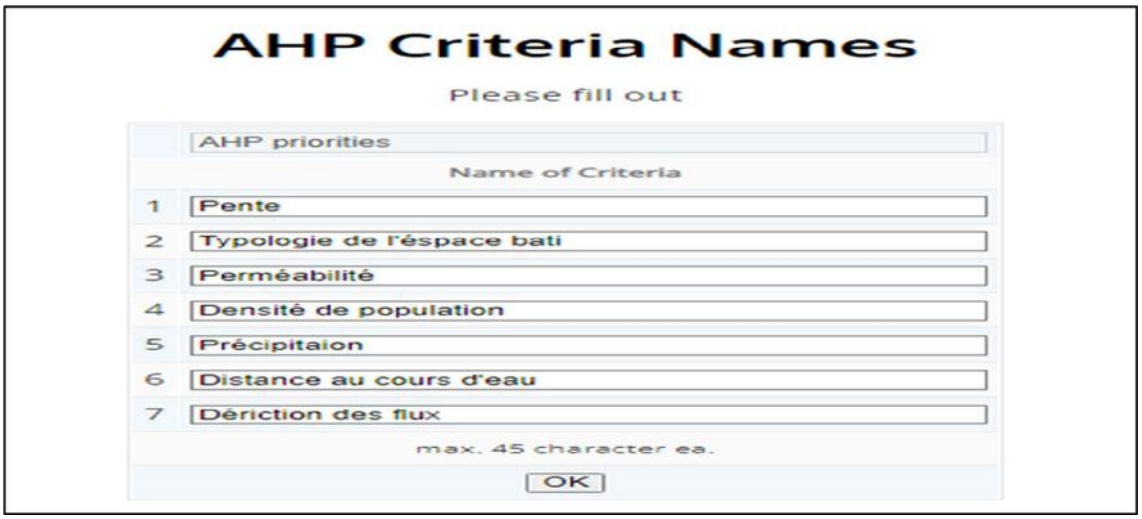


Figure 20 : Ajouter les critères :

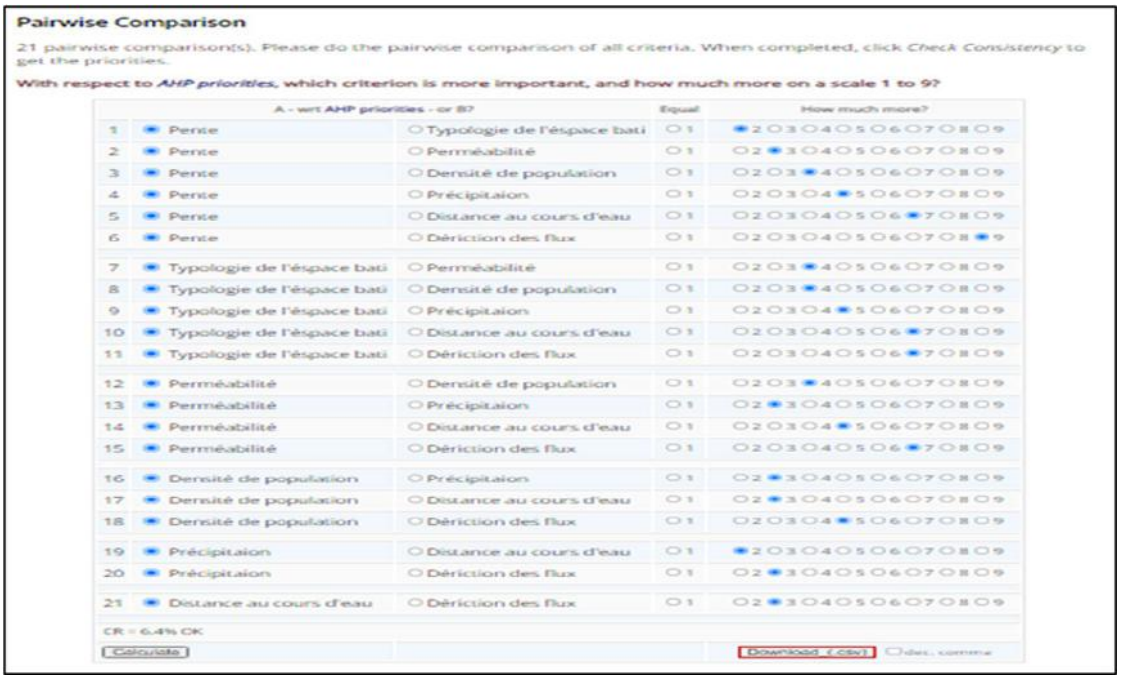
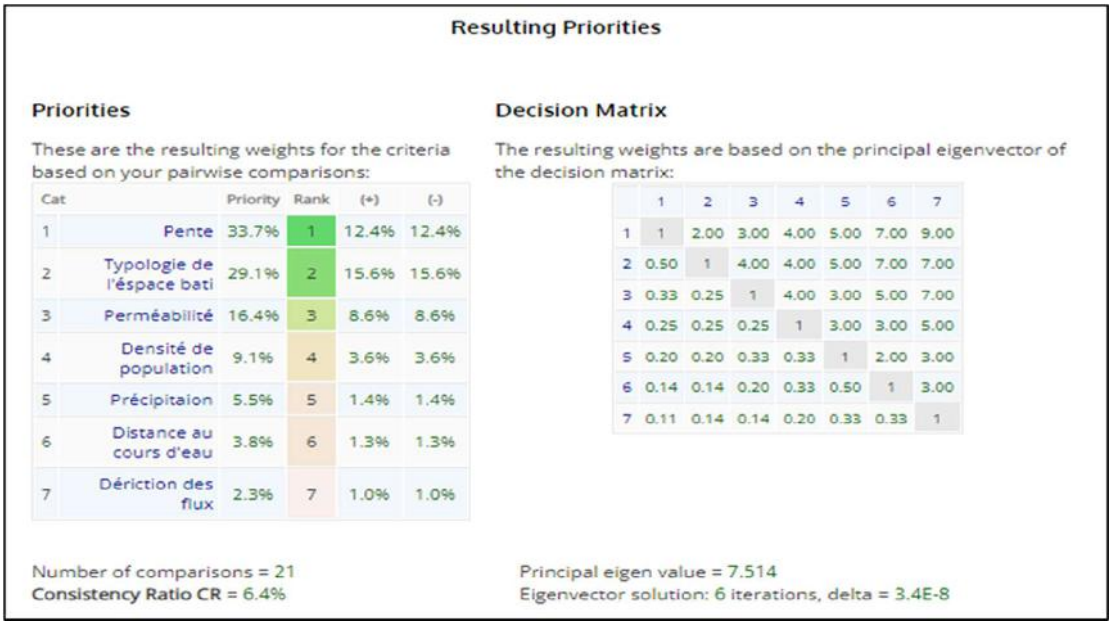


Figure 21 : Donne l'importance de chaque critère par rapport à l'autre

Ratio de cohérence RC = 6.4 %

L'indice de cohérence affichant une valeur de moins de 10 %, la validité des jugements est confirmée, garantissant ainsi la fiabilité des poids obtenus. Par conséquent, ces coefficients peuvent être intégrés aux couches raster via une opération de combinaison linéaire pondérée

- Les résultats des priorités :



Resulting Priorities

Priorities

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons:

Cat		Priority	Rank	(+)	(-)
1	Pente	33.7%	1	12.4%	12.4%
2	Typologie de l'éspace bati	29.1%	2	15.6%	15.6%
3	Perméabilité	16.4%	3	8.6%	8.6%
4	Densité de population	9.1%	4	3.6%	3.6%
5	Précipitaion	5.5%	5	1.4%	1.4%
6	Distance au cours d'eau	3.8%	6	1.3%	1.3%
7	Dériction des flux	2.3%	7	1.0%	1.0%

Number of comparisons = 21
Consistency Ratio CR = 6.4%

Decision Matrix

The resulting weights are based on the principal eigenvector of the decision matrix:

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2.00	3.00	4.00	5.00	7.00	9.00
2	0.50	1	4.00	4.00	5.00	7.00	7.00
3	0.33	0.25	1	4.00	3.00	5.00	7.00
4	0.25	0.25	0.25	1	3.00	3.00	5.00
5	0.20	0.20	0.33	0.33	1	2.00	3.00
6	0.14	0.14	0.20	0.33	0.50	1	3.00
7	0.11	0.14	0.14	0.20	0.33	0.33	1

Principal eigen value = 7.514
Eigenvector solution: 6 iterations, delta = 3.4E-8

Figure 22 : Les résultats des priorités

IV -7- Calculer la vulnérabilité :

la méthode Pondération et Sommation pour le calcul de l'indice de vulnérabilité (IV) n'est pas clairement attribuée à une seule personne ou à un seul événement. Plusieurs Chercheurs ayant utilisé la méthode Pondération et Sommation pour l'indice de vulnérabilité (IV) (Cardona, O. D., et al. (2012). Cutter, S. L., et al. (2003). Fussel, H. M. (2005). Gallopín, G. C. (2006). Wisner, B., et al. (2004Birkmann, J., et al. (2011). "Cutter, S. L., et al. (2010). Gbetibouo, G. A., et al. (2010).. Hinkel, J., et al. (2014).

Plusieurs éléments ont contribué à son développement :

Travaux pionniers sur la vulnérabilité:

- Au début des années 1980, des chercheurs comme Blaikie, Cannon et Wisner ont commencé à conceptualiser la vulnérabilité et à identifier ses composantes.
- Ils ont souligné l'importance de prendre en compte les facteurs socio-économiques et politiques dans l'évaluation de la vulnérabilité.

Développement d'indices composites:

- Dans les années 1990, des chercheurs ont commencé à développer des indices composites pour mesurer la vulnérabilité à divers risques, comme les catastrophes naturelles et le changement climatique.
- Ces indices combinaient plusieurs facteurs en un seul nombre, permettant une comparaison facile entre différentes zones ou groupes de population.

IV -7-1- Méthodes d'agrégation multicritères:

- La méthode Pondération et Sommation s'inspire de techniques d'agrégation multicritères utilisées dans divers domaines, comme la prise de décision et l'évaluation des performances.
- Ces techniques permettent de combiner des critères multiples avec des poids différents pour obtenir un résultat global.

Simplicité et flexibilité:

- La méthode Pondération et Sommation est relativement simple à comprendre et à mettre en œuvre.
- Sa flexibilité permet de l'adapter à différents contextes et objectifs.

En raison de ces facteurs, la méthode Pondération et Sommation est devenue une approche largement utilisée pour le calcul de l'IV.

Il est important de noter que la méthode n'est pas statique et a évolué au fil du temps.

Des chercheurs continuent à affiner la méthode en explorant de nouvelles techniques de pondération et en intégrant des facteurs plus complexes.

Voici quelques exemples d'utilisations récentes de la méthode :

- Évaluation de la vulnérabilité aux inondations urbaines
- Mesure de la vulnérabilité au changement climatique dans les communautés rurales
- Identification des populations les plus vulnérables aux crises humanitaires

La méthode Pondération et Sommation reste un outil précieux pour l'évaluation de la vulnérabilité, mais il est important de l'utiliser de manière judicieuse et de tenir compte de ses limites.

VI =∑(Pi *Ci)

Pi : le poids du critère

Ci : le critère de la vulnérabilité

∑: Symbole de sommation

VI = ∑ (Pe* Ce).(Pt* Ct) .(Pm* Cm). (Pd* Cd) .(Pc* Cc) .(Pi* Ci) . (Pf*Cf)

e : La pente t : typologie de l'espace bâti Facteurs et coefficients

m : Perméabilité du sol d : Densité de la population

C : Précipitation i : Distance au cours d'eau

F : Direction des flux

- **Pente:** Le coefficient de 0.337 indique que la pente est le facteur le plus important pour la vulnérabilité. Cela est logique car une pente plus forte augmente le risque d'érosion et de glissement de terrain.
- **Typologie de l'espace bâti:** Le coefficient de 0.291 montre que la typologie de l'espace bâti est le deuxième facteur le plus important. La présence de constructions en zones à risque peut accroître la vulnérabilité.
- **Perméabilité du sol:** Le coefficient de 0.164 indique que la perméabilité du sol est le troisième facteur le plus important. Un sol imperméable favorise l'accumulation d'eau et augmente le risque d'inondation.
- **Densité de la population:** Le coefficient de 0.091 montre que la densité de la population est le quatrième facteur le plus important. Une population dense peut être plus vulnérable aux impacts d'un phénomène naturel.
- **Précipitation:** Le coefficient de 0.055 montre que la précipitation est le cinquième facteur le plus important. Des précipitations intenses peuvent augmenter le risque de glissement de terrain et d'inondation.

- **Distance au cours d'eau:** Le coefficient de 0.038 montre que la distance au cours d'eau est le sixième facteur le plus important. Les zones proches des cours d'eau sont plus exposées aux risques d'inondation.

- **Direction des flux:** Le coefficient de 0.023 montre que la direction des flux est le facteur le moins important. La direction des vents ou des courants peut influencer la propagation d'un phénomène naturel.

L'équation semble correcte et cohérente**.** Les coefficients sont compris entre 0 et 1, ce qui est nécessaire pour une pondération relative. La somme des coefficients est égale à 1, ce qui garantit que l'équation est bien équilibrée.

L'utilisation de l'outil Raster Calculator dans ArcGIS 10.1 est appropriée pour appliquer l'équation. Cet outil permet d'effectuer des calculs rasteraires sur plusieurs couches de données.

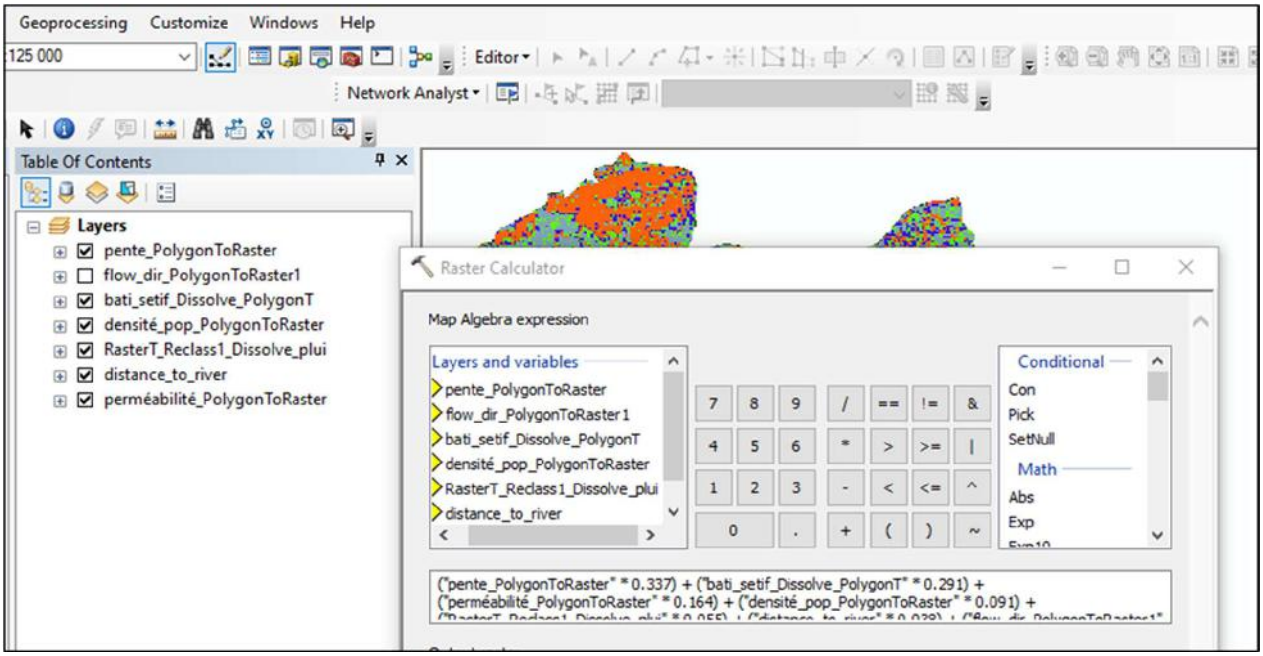


Figure 23 Calcul de la vulnérabilité avec ArcGIS Raster Calculator.Source ;Auteurs 2023

En superposant les cartes raster de vulnérabilité socio-économique et physique, nous avons procédé à une évaluation multicritère afin de déterminer les zones les plus vulnérables aux inondations. Quatre classes de vulnérabilité ont été définies : faible, moyenne, élevée et très élevée. Ces classes correspondent à des niveaux d'exposition différents, résultant de la combinaison pondérée des

critères retenus. La carte de vulnérabilité potentielle ainsi produite constitue un outil précieux pour la gestion des risques d'inondation:

*fortement vulnérable.

* moyennement vulnérable.

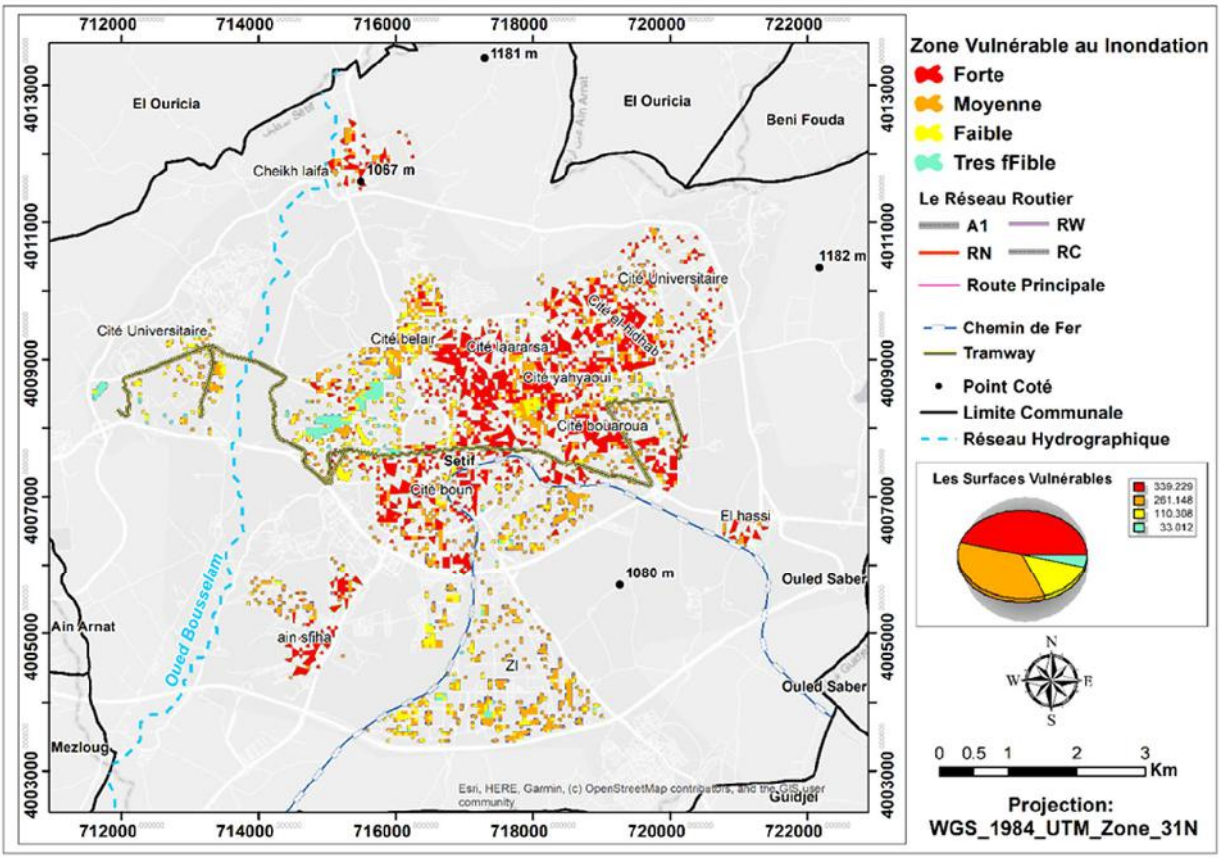
* faiblement vulnérable.

* très faible

La carte de vulnérabilité potentielle aux inondations et les notes attribuées permettent d'identifier les zones les plus à risque et de prioriser les interventions pour réduire la vulnérabilité des populations et des infrastructures.

Les zones fortement vulnérables nécessitent des mesures d'adaptation et de protection renforcées, tandis que les zones moyennement et faiblement vulnérables peuvent nécessiter des mesures préventives et de sensibilisation.

Les zones non vulnérables peuvent servir de zones de refuge en cas d'inondation.



Carte 35 : Carte de la vulnérabilité de la ville de Sétif. Source ;Auteurs 2023

L'examen de la cartographie de synthèse révèle une prédominance des zones à forte vulnérabilité, lesquelles couvrent une part substantielle du périmètre d'étude avec une surface de 339.22 hectare et un pourcentage de 45.65% de l'espace urbain ; elle est situé à l'est de la ville ; cité aararsa, cité yahyaoui, Sétif ville au milieu : cité alhassia l'ouest Ocité. Au partie Sud-ouest ainsfiha .

A d'autre part la vulnérabilité moyenne avec une superficie de 261.14 hectares et un pourcentage de 35.14% elle est située dans plusieurs endroits tels que la zone industrielle, cité Blair, cité universitaire.

Pour la vulnérabilité faible avec une superficie de 110.30hectare et un pourcentage de 14.84% et qui on la trouve au nord-ouest de la ville et au sud.

La vulnérabilité très faible est dispersée sur la surface totale avec une valeur de 4.44%.

IV -8- L'impact des inondations sur la population

IV -8-1-Modèle multicritère d'analyse spatiale

Les inondations constituent une menace majeure pour les populations du monde entier. Elles peuvent causer des dommages importants aux infrastructures, aux biens et aux cultures, et avoir un impact considérable sur la santé et le bien-être des populations. Les inondations sont la deuxième cause de décès liés aux catastrophes naturelles après les tremblements de terre (CRED, 2023). Des Blessures: Les eaux de crue peuvent causer des blessures graves, notamment des coupures, des contusions et des infections. Les Maladies: Les inondations peuvent favoriser la propagation de maladies diarrhéiques, de maladies respiratoires et de maladies transmises par les moustiques (WHO, 2023). Les Dépression et anxiété: Les inondations peuvent causer un stress psychologique important et conduire à la dépression et à l'anxiété (UNISDR, 2017).L'estimation de la population exposée aux inondations est un élément crucial pour la planification de la gestion des risques et la mise en place de mesures d'adaptation. Plusieurs méthodes existent pour estimer cette population, chacune avec ses avantages et ses inconvénients. Nous allons nous concentrer sur une méthode

particulière : Modèle multicritère d'analyse spatiale.(Cardona O,D , Silva, P. C. 2012), (Blong, R. J., & Cutter, S. L. 1999)

C'est une méthode d'évaluation de la vulnérabilité d'une zone à un phénomène naturel, comme les inondations. Il s'agit d'une approche multicritère qui prend en compte plusieurs facteurs:

* Facteurs physiques et topographiques: Pente du terrain, altitude, type de sol, etc.
*Facteurs socio-économiques: Niveau de pauvreté, densité de population, accès aux services, etc.

*Facteurs techniques: Qualité des infrastructures, présence de digues, etc.

Le modèle multicritère d'analyse spatiale. Utilise une combinaison de ces facteurs pour déterminer la probabilité qu'une zone soit inondée. Les résultats du modèle peuvent être représentés sous forme de carte, indiquant les zones les plus vulnérables aux inondations.

L'évaluation de la population exposée aux risques d'inondation est un élément crucial pour la planification et la mise en œuvre de mesures de gestion efficaces. Dans le contexte de la ville de Sétif, nous proposons une méthodologie pour estimer la population vulnérable à ce type d'aléa.

Méthodologie:

La méthodologie proposée offre une approche préliminaire pour estimer la population vulnérable aux inondations à Sétif. Elle peut être utilisée pour orienter les efforts de planification et de gestion des risques d'inondation dans la ville. Des analyses plus approfondies et des données plus détaillées peuvent être utilisées pour affiner les estimations et améliorer la précision des résultats.

IV -8-1- a)- Calcul de la densité de population:

La densité de population (D) pour chaque secteur et ville de Batna sera calculée en utilisant la formule suivante:

D = Population totale / Surface

Où :D: Densité de population (hab/km²)

Population totale: Nombre total d'habitants dans la zone d'étude

Surface: Superficie totale de la zone d'étude (km²)

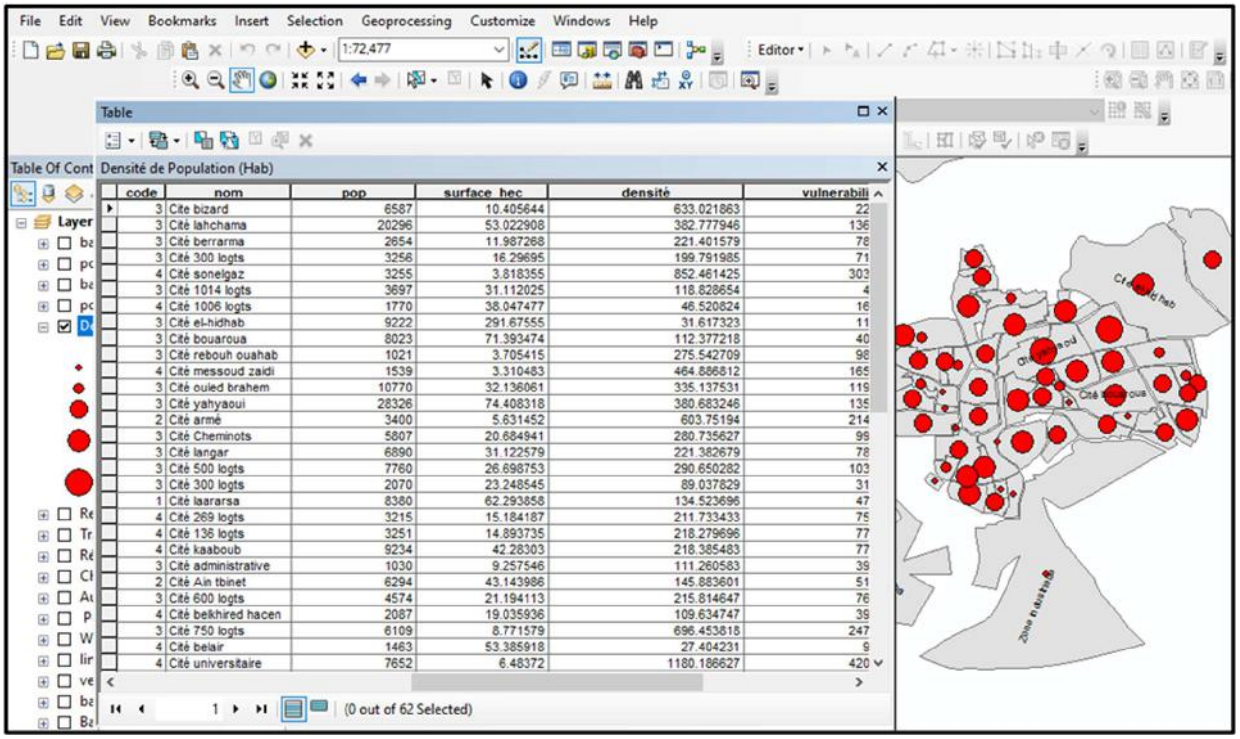
IV -8-1-b)-Détermination des zones à forte vulnérabilité: Le système d'information géographique (SIG) Arc GIS sera utilisé pour identifier les zones à forte vulnérabilité aux inondations à Batna. Cette identification s'appuiera sur l'analyse de divers facteurs pertinents, tels que la topographie, l'occupation du sol, l'hydraulique et les infrastructures de protection.

IV -8-1-c)- Estimation de la population vulnérable: La population vulnérable aux inondations sera estimée en combinant la densité de population et la surface des zones à forte vulnérabilité. La formule suivante sera utilisée: Population vulnérable = D × SvOù: Population vulnérable: Nombre d'habitants exposés aux inondations et D: Densité de population (hab/km²)vulnérabilité (km²) v

Tableau43. La population vulnérable de la ville de Sétif

Secteur Vulnérabilité	N°depop	Densité	Surface (hect)	Surface vulnérable	N°de pop vulnérable	Population vulnérable (%)
Cité Ain Sfiha	9329	39.52	235.99	18.94	748.87	8.02
Cité 1000 logts	8736	376.14	23.22	1.55	584.90	6.69
Cité 1006 logement	1770	46.52	38.04	0.004	0.21	0.01
Cité 1014	3697	118.82	31.11	3.17	377.78	10.21
Cité 1 nouvembre	9249	390.47	23.68	4.83	1886.97	20.40
Cité 600 logts	4574	215.81	21.19	2.90	627.80	13.72
Cité Ain Tbinet	6294	145.88	43.14	7.17	1046.48	16.62
Cité Amor Dego	8207	1237.18	6.63	0.54	677.82	8.25
Cité bel Air	1463	27.40	53.38	1.08	29.81	2.03
Cité Ben Begag	1005	64.93	15.47	2.91	189.02	18.80
CitéBizar	5948	633.021	10.40	2.4	1408.65	23.68
Cité Centre ville	3863	143.97	26.83	7.27	1047.83	27.12
CitéChiminos	5807	280.73	20.68	9.38	2633.40	45.34
Cité 5 fieusie	6109	152.96	39.93	6.21	950.29	15.55
Cité des jardins	3788	127.88	29.61	0.0002	0.03	0.0008
Cité El Hidhab	9222	31.61	291.67	53.16	1681.04	18.22
CitéGassriya	5709	187.99	30.36	2.19	412.68	7.22
CitéKaaboub	9234	218.38	42.28	0.64	140.01	1.51
CitéLaarerssa	8380	134.52	62.29	28.88	3885.09	46.36
Cité Langar	5807	221.38	31.12	11.759	2194.11	37.78
Cité les Tours	3620	147.03	24.62	0.86	126.62	3.49
CitéMaabouda	6349	170.17	21.44	0.16	49.31	0.77
CitéSonatrach	3080	52.42	5.34	0.03	21.9	0.71
Citéyahiaoui	28326	380.68	74.40	33.09	12598.26	44.47
Cité SNTR	6589	313.50	21.01	8.92	2796.84	42.44

Source ;Auteurs 2023



Carte 36. La densité de population dans les zones vulnérable de la ville de Sétif.

Source ;Auteurs 2023

L'analyse spatiale révèle que la **Cité Yahiaoui** constitue la zone la plus critique, concentrant une population vulnérable estimée à 12 598 habitants (soit 44,47 % de l'effectif total du secteur). D'autres quartiers, tels que les cités **Aararsa** et **Sétif-ville**, présentent également des indices de fragilité notables, tandis que la **Cité Alhassi** occupe une position intermédiaire. Ces disparités confirment la pertinence des critères retenus pour identifier les foyers de vulnérabilité face au risque d'inondation.

L'application de l'approche méthodologique permet de hiérarchiser les zones selon leur degré d'exposition :

1. **Vulnérabilité élevée (45,65 %)** : Ce niveau prédominant valide le choix des indicateurs utilisés pour caractériser les zones les plus exposées.
2. **Vulnérabilité modérée (35,14 %)** : Couvrant une surface de 261,14 hectares, cette catégorie concerne principalement la zone industrielle, la cité Blair et le pôle universitaire.

3. **Vulnérabilité faible (14,84 %)** : Localisée sur 110,30 hectares, cette zone se situe essentiellement dans les parties sud et nord-ouest de l'agglomération.
4. **Vulnérabilité résiduelle (4,44 %)** : Le niveau très faible est dispersé de manière hétérogène sur l'ensemble du territoire d'étude.

Il ressort de cette étude que le secteur de la **Cité Yahiaoui** demeure le plus exposé de la ville de Sétif. Cette sensibilité s'explique par la convergence de plusieurs facteurs aggravants : une forte densité démographique, la vétusté ou l'insuffisance du réseau d'assainissement, ainsi que des caractéristiques physiques topographiques défavorables.

Ces résultats sont en parfaite adéquation avec la réalité du terrain et les observations historiques, la Cité Yahiaoui étant statistiquement le quartier le plus durement touché lors des précédents épisodes de crues dans la région de Sétif.

L'approche AHP (AnalyticHierarchy Process) a été utilisée avec succès dans de nombreux domaines, notamment pour l'évaluation des habitats et des zones urbaines. Plusieurs recherches ont exploité l'AHP pour:

- Évaluer la vulnérabilité des habitats naturels aux changements climatiques (Par exemple, liquette et al. (2016) ont utilisé l'AHP pour évaluer la vulnérabilité des habitats côtiers en Méditerranée aux changements climatiques. URL Lien vers la recherche de Liquette et al. (2016)).
- Identifier les zones urbaines les plus exposées aux risques d'inondations (Par exemple, Yuen et al. (2018) ont utilisé l'AHP pour identifier les zones urbaines les plus exposées aux risques d'inondations à Hong Kong. URL Lien vers la recherche de Yuen et al. (2018)).
- Prioriser les interventions de restauration écologique (Par exemple, Mendoza et al. (2001) ont utilisé l'AHP pour prioriser les interventions de restauration écologique dans le bassin versant de la rivière San Pedro au Costa Rica. URL Lien vers la recherche de Mendoza et al. (2001)).

Les résultats de notre étude s'inscrivent dans la lignée de ces travaux et contribuent à la validation de l'AHP comme outil d'évaluation des risques naturels. En particulier, notre étude montre que l'AHP peut être utilisé pour:

- Prévoir les dommages potentiels causés par les inondations.
- Suggérer des mesures d'adaptation pour réduire les risques.

Ces résultats sont importants pour la gestion des risques naturels et peuvent contribuer à sauver des vies humaines et à protéger les biens et les infrastructures. En conclusion, l'AHP est un outil précieux pour l'évaluation des risques naturels. Notre étude confirme son utilité et contribue à son développement et à son application dans le domaine de la gestion des inondaLes résultats de l'analyse indiquent que la population de Sétif est exposée à un risque d'inondation important, en particulier dans le secteur, la ville de Sétif centre, La Cité Vahiaoui, Cité Laarerssa et Cité Chiminos constituent des zones particulièrement vulnérables en raison de la combinaison d'une forte densité de population et d'une surface vulnérable importante.

Des mesures de gestion des risques d'inondation doivent être mises en place pour protéger les populations exposées, Ces mesures pourraient inclure:

- La construction de digues et de murs de protection
- L'aménagement de zones d'expansion des crues
- La mise en place de systèmes d'alerte et d'évacuation
- La sensibilisation et l'éducation des populations aux risques d'inondation
- Le relogement des populations vivant dans les zones les plus exposées

Conclusion :

L'étalement urbain de la ville de Sétif a considérablement accru sa vulnérabilité face aux risques industriels. Cette situation est principalement due à une absence de planification urbaine intégrant les enjeux de sécurité industrielle, ainsi qu'à un cadre réglementaire insuffisamment appliqué. Les conséquences de cet état de fait sont multiples et impactent directement la sécurité des populations et l'environnement.

Notre étude, en s'appuyant sur des outils de simulation numérique (ALOHA) et des systèmes d'information géographique (SIG), a permis de quantifier les conséquences d'un accident industriel majeur et d'identifier les zones les plus vulnérables. Les résultats obtenus soulignent l'importance

de développer des outils d'aide à la décision pour les acteurs de la sécurité civile, afin d'optimiser les interventions en cas de crise.

Par ailleurs, l'analyse de la vulnérabilité de la ville aux inondations, réalisée à l'aide de la méthode AHP et de SIG, a permis de mettre en évidence les zones les plus exposées. Cette étude souligne la nécessité d'adopter une approche intégrée de la gestion des risques, en tenant compte des interactions entre les différents aléas (industriels, naturels).

En conclusion, cette recherche met en évidence le besoin urgent de renforcer la résilience des villes face aux risques majeurs. Cela implique notamment de :

Revoir les plans d'urbanisme: Intégrer systématiquement les enjeux de sécurité industrielle et de risques naturels dans les documents d'urbanisme.

Renforcer le cadre réglementaire: Assurer une application rigoureuse de la réglementation existante et développer de nouveaux outils de contrôle.

Utiliser les SIG et les modèles de simulation pour évaluer les risques et optimiser les interventions.

Sensibiliser les acteurs locaux: Impliquer les acteurs locaux dans la définition et la mise en œuvre des politiques de prévention des risques.

Les résultats de cette étude peuvent être généralisés à d'autres villes confrontées à des problématiques similaires. Ils constituent une base solide pour la mise en place de stratégies de prévention et de gestion des risques adaptées aux contextes locaux."

Chapitre V

La Géogouvernance desscénarios des catastrophes par l'amélioration de la résilience urbaine

Introduction

Depuis plusieurs décennies, l'intensification des sinistres d'origine naturelle ou technologique au sein des espaces urbains a causé des dommages humains et financiers sans précédent. Dans ce contexte de vulnérabilité accrue, l'impératif de résilience s'est imposé comme le pilier des stratégies contemporaines de gestion des risques.

La géogouvernance s'affirme ici comme un levier déterminant. En tant que mode de régulation territoriale, elle permet d'harmoniser l'action des diverses parties prenantes tout en plaçant les enjeux spatiaux et écologiques au cœur de la décision publique. Ce chapitre analyse la manière dont la géogouvernance, agissant comme un mécanisme de pilotage stratégique, soutient la faculté des métropoles à absorber les crises et à évoluer durablement.

L'enjeu de cette réflexion sera de démontrer comment les outils de la géogouvernance peuvent consolider la résilience des systèmes urbains face à la récurrence des catastrophes mondiales.

V-1- Principales approches de la gouvernance pour la résilience urbaine

La résilience urbaine, concept en vogue depuis quelques décennies, désigne la capacité d'une ville à absorber les chocs, à se transformer et à se régénérer face à des perturbations, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique. Pour atteindre cet objectif, différentes approches de gouvernance ont été développées. Cet article vise à présenter un état des lieux approfondi de ces approches, en mettant en évidence leurs spécificités, leurs forces et leurs limites.

V-1-1- Qu'est-ce que la gouvernance pour la résilience urbaine

La gouvernance pour la résilience urbaine englobe l'ensemble des processus, des institutions et des mécanismes de décision qui visent à renforcer la capacité d'une ville à faire face aux risques et à s'adapter aux changements. Elle implique une approche systémique, intégrant les dimensions sociales, économiques, environnementales et institutionnelles de la ville.

V-1-2- Les principales approches de la gouvernance pour la résilience urbaine

V-1-2-1- L'approche multi-acteurs : une gouvernance collaborative

Cette approche, largement soutenue par la littérature (voir par exemple, Ansell&Gash, (2008), met en avant la nécessité d'impliquer une diversité d'acteurs dans la construction de la résilience urbaine. Les citoyens, les entreprises, les organisations de la société civile et les pouvoirs publics sont invités à Co-construire des solutions adaptées au contexte local.

Exemple : Les "living labs" urbains, comme celui de Cité-ID en France, qui favorisent l'expérimentation et l'innovation en matière de résilience urbaine à travers la collaboration de différents acteurs.

V-1-2-2. L'approche éco systémique : la ville comme un système complexe

Les éléments naturels et sociaux sont étroitement liés. Elle met l'accent sur la préservation des services éco systémiques et la création de villes plus durables.

Exemple: Les villes-éponges, qui visent à gérer les eaux de pluie de manière naturelle, en imitant les fonctions d'un écosystème.

V-1-2-3. L'approche basée sur les risques : une gestion proactive des dangers

Cette approche consiste à identifier et à évaluer les risques auxquels la ville est exposée, puis à mettre en place des mesures de prévention, de préparation et de réponse. Elle s'appuie sur des outils d'analyse de risque et des scénarios de catastrophes.

Exemple: Les plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN) en France, qui visent à réduire la vulnérabilité des territoires face aux risques naturels.

V-1-2-4. L'approche fondée sur les capacités : le renforcement des communautés

Le développement des capacités des acteurs locaux à faire face aux crises. Elle repose sur le renforcement des compétences, des réseaux et de la résilience sociale.

Exemple: Les programmes de formation à la gestion de crise, qui visent à équiper les populations locales pour faire face aux événements extrêmes.

V-2- Les facteurs clés de succès de la gouvernance pour la résilience urbaine

Le leadership politique:

Un leadership fort et visionnaire est essentiel pour mobiliser les ressources et donner l'impulsion nécessaire aux initiatives de résilience.

La planification stratégique:

Une planification à long terme, intégrant les dimensions sociales, économiques et environnementales, est indispensable pour guider les actions.

La collaboration intersectorielle:

Une collaboration efficace entre les différents services municipaux, les agences gouvernementales et les acteurs privés est nécessaire pour surmonter les silos organisationnels.

La participation citoyenne:

La participation active des citoyens est essentielle pour garantir la légitimité des décisions et la durabilité des solutions.

L'innovation et la flexibilité:

La résilience urbaine nécessite une approche innovante et flexible, capable de s'adapter aux changements rapides.

Les défis à relever sont :

- La complexité des systèmes urbains: Les villes sont des systèmes complexes, caractérisés par une grande diversité d'acteurs et d'intérêts.
- Le changement climatique: Le changement climatique exacerbe les risques auxquels les villes sont exposées et rend la planification de la résilience encore plus complexe.
- Les inégalités sociales: Les inégalités sociales peuvent limiter la capacité des populations les plus vulnérables à faire face aux catastrophes.

La gouvernance pour la résilience urbaine est un domaine de recherche en pleine évolution. Les différentes approches présentées dans cet article offrent un éventail d'outils et de méthodes pour renforcer la capacité des villes à faire face aux risques. Il est essentiel de combiner ces différentes approches pour développer des stratégies de résilience adaptées aux spécificités de chaque contexte urbain.

Pour illustrer les différentes approches de la gouvernance pour la résilience urbaine, vous pouvez vous appuyer sur des études de cas de villes ayant mis en œuvre des stratégies spécifiques. Voici quelques exemples :

Rotterdam (Pays-Bas): Cette ville a mis en place une stratégie de résilience ambitieuse, en investissant massivement dans des infrastructures vertes et en développant des plans d'urgence détaillés. Vous pourriez analyser comment cette stratégie a permis à Rotterdam de faire face à des événements extrêmes comme les inondations.

Singapour: Cette cité-État a développé une approche très structurée de la gestion des risques, en s'appuyant sur des technologies avancées et une planification à long terme. Vous pourriez explorer comment Singapour a réussi à maintenir un haut niveau de résilience malgré sa vulnérabilité aux risques naturels.

En comparant les expériences de différentes villes, vous pourrez mettre en évidence les facteurs de succès et les défis spécifiques à chaque contexte. Vous pourriez par exemple comparer :

- Des villes de tailles différentes: Les petites villes ont des enjeux et des capacités différentes des grandes métropoles.
- Des villes situées dans des contextes géographiques différents: Les risques et les ressources disponibles varient en fonction du contexte géographique.
- Des villes ayant des systèmes politiques différents: Les systèmes politiques peuvent influencer la manière dont les politiques de résilience sont mises en œuvre.

L'approche multi-acteurs, largement adoptée dans des villes comme Rotterdam et Singapour, a démontré son efficacité pour mobiliser les ressources et favoriser l'innovation. À Rotterdam, la création de plateformes de Co-conception a permis d'impliquer les citoyens dans la définition des stratégies de résilience. Cependant, cette approche nécessite des mécanismes de coordination efficaces et peut être chronophage, comme l'illustre l'expérience de New York après le 11 septembre, où la coordination entre les différents acteurs a parfois été difficile. En comparant ces trois cas, il apparaît que le succès de l'approche multi-acteurs dépend fortement du contexte institutionnel et culturel de la ville.

En conclusion, les différentes approches de la gouvernance pour la résilience urbaine offrent un éventail d'outils et de méthodes pour renforcer la capacité des villes à faire face aux risques. Le

choix de l'approche la plus adaptée dépend du contexte spécifique de chaque ville. Les études de cas de Rotterdam, Singapour et New York montrent que la combinaison de différentes approches, associée à une forte implication des acteurs locaux et à un soutien politique solide, est essentielle pour bâtir des villes plus résilientes.

V-3- La résilience urbaine : entre politiques internationales et réalités locales

Les politiques internationales et nationales ont progressivement intégré la notion de résilience comme un élément central de leurs stratégies de développement urbain. Les cadres d'action de Hyogo (2005), de Sendai (2015) et d'Habitat III (2016) ont fortement contribué à ancrer cette notion dans le discours international, en soulignant l'importance de l'adaptation, de l'apprentissage et d'une culture du risque. Cette évolution reflète un changement de paradigme, passant d'une logique de résistance aux chocs à une approche plus proactive et systémique de la résilience (Wisner et al., 2004).

Cependant, la mise en œuvre de ces principes se heurte à plusieurs défis. La faiblesse des capacités institutionnelles, notamment dans les pays du Sud, et la difficulté à passer de la théorie à la pratique constituent des obstacles majeurs (Dodman, 2007). Par ailleurs, l'instrumentalisation du concept de résilience risque de stigmatiser les territoires les plus vulnérables et de légitimer un désengagement des États (Rufat, 2012).

V-3- 1-Le réseau 100RC : un modèle de résilience urbaine en question

Le réseau 100RC, en proposant un cadre de référence (CRF) et un indice de résilience urbaine, a contribué à structurer les démarches de nombreuses villes. Toutefois, cette approche standardisée suscite des critiques quant à sa capacité à prendre en compte la diversité des contextes locaux et à favoriser l'émergence d'initiatives citoyennes (Mitchell, 2013).

Ce transfert de responsabilités vers la société civile est illustré par l'exemple du réseau 100RC, soutenu par la Fondation Rockefeller. Ce réseau encourage les grandes villes à créer des postes de "Haut Responsable de la Résilience", financés en partie par la fondation. Cette initiative s'inscrit dans une tendance plus large de décentralisation de la gouvernance de la résilience, où les États-nations sont progressivement remplacés par les métropoles comme acteurs clés de la transition vers des villes plus résilientes. Comme l'a souligné Sébastien Maire lors du colloque de Cerisy en 2017, la Fondation Rockefeller considère que "le niveau étatique n'est plus le bon niveau d'intervention"

et que "les grandes aires métropolitaines mondiales sont désormais les principaux moteurs de l'innovation" (citation orale). Toutefois, cette délégation de responsabilités soulève des questions quant à l'équité et à la capacité des acteurs locaux à faire face aux défis complexes de la résilience urbaine.

Les fondations privées, telles que la Fondation Rockefeller, jouent un rôle de plus en plus important dans la promotion de la résilience urbaine. Le réseau 100RC, qu'elle soutient, en est un exemple emblématique. En encourageant la création de postes de "Haut Responsable de la Résilience" dans les grandes villes, ce réseau favorise une approche plus stratégique et coordonnée de la résilience. Cependant, cette approche, centrée sur les métropoles et financée par des fonds privés, risque de renforcer les inégalités entre les territoires et de limiter l'émergence de solutions plus durables et inclusives (Mitchell, 2013). Comme l'a souligné Sébastien Maire, la Fondation Rockefeller considère que les États-nations ne sont plus les acteurs clés de l'innovation.

Le réseau 100RC, créé en 2013 à l'initiative de la Fondation Rockefeller, a joué un rôle prépondérant dans la promotion d'une approche normalisée de la résilience urbaine. Son cadre de référence (CRF), avec ses 12 objectifs et 52 indicateurs, a été adopté par de nombreuses villes à travers le monde. Ce cadre, bien qu'ambitieux, a été critiqué pour son caractère trop normatif, risquant de limiter la créativité et l'adaptation aux contextes locaux (Mitchell, 2013). En effet, l'uniformisation des approches de la résilience peut conduire à des solutions génériques, peu adaptées aux spécificités des territoires et aux besoins de leurs habitants. De plus, la mise en œuvre de tels cadres nécessite des ressources considérables, ce qui peut exclure les villes les moins favorisées (Folke et al., 2002).

Contrairement aux initiatives du PNUD, principalement focalisées sur la réponse aux catastrophes et aux crises humanitaires (tels que le 'Programme de résilience pour la mer Morte' ou '365 jours de résilience pour la Syrie'), le réseau 100RC adopte une perspective plus proactive et intégrée de la résilience urbaine. Cette approche, fondée sur les principes du développement urbain durable, privilégie une vision holistique de la ville, comme le souligne la définition du 100RC : 'Building urbainrésiliencerequireslooking at a city holistically.

Alors que le PNUD concentre ses efforts sur le renforcement de la résilience face aux chocs exogènes (catastrophes naturelles, conflits), le réseau 100RC s'inscrit davantage dans une logique

de développement urbain durable. Il promeut une approche systémique de la résilience, intégrant des dimensions sociales, économiques et environnementales.

Si les programmes de résilience du PNUD sont essentiellement réactifs, axés sur la préparation aux catastrophes et le relèvement post-crise, le réseau 100RC propose une vision proactive et intégrée de la résilience urbaine.

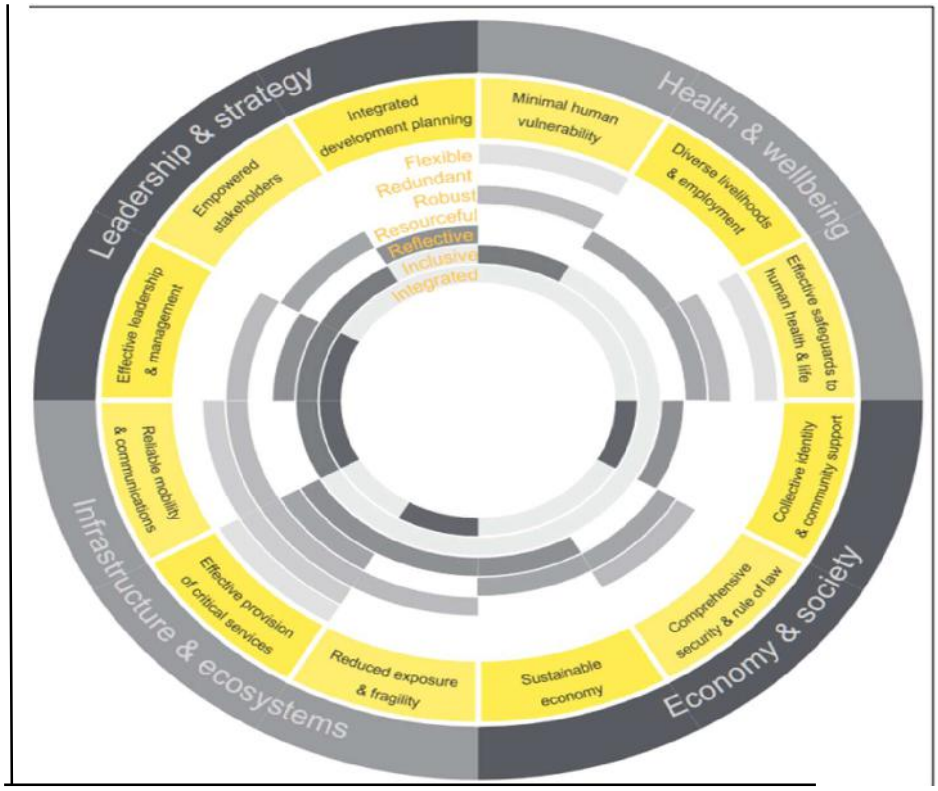


Figure 24.Qualités d'une ville résiliente : les 7 critères d'ARUP (2015)

En définitive, si les cadres internationaux offrent un socle commun pour la construction de villes résilientes, leur mise en œuvre effective dépend fortement des contextes locaux et des capacités des acteurs à s'adapter et à innover. La résilience urbaine ne saurait se réduire à une simple application de modèles préétablis, mais doit s'inscrire dans une démarche de co-construction avec les habitants et les acteurs locaux. Elle nécessite une approche systémique qui prend en compte les dimensions sociales, économiques, environnementales et institutionnelles de la ville (Folke et al., 2002).

V-4-Amélioration de la résilience aux risques industriels :

V-4-1- Géogouvernance et risques industriels : le rôle du modele MADS

La résilience suppose une gestion efficace des ressources pour accélérer le retour à la normale après une catastrophe. Face à des événements complexes, une réorganisation de la chaîne de commandement est nécessaire pour optimiser la réponse opérationnelle. Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) offrent un outil puissant pour collecter, analyser et visualiser les données géographiques.

Le modèle conceptuel MADS, couplé à un SIG, pour représenter les phénomènes étudiés dans leur dimension spatio-temporelle. Cette approche s'inscrit dans une perspective de géogouvernance, en favorisant :

Une collaboration renforcée entre acteurs: En offrant une plateforme commune de visualisation et d'analyse des données, le SIG facilite la communication et la coordination entre les différents acteurs impliqués dans la gestion des risques (services de secours, collectivités, industriels, citoyens).

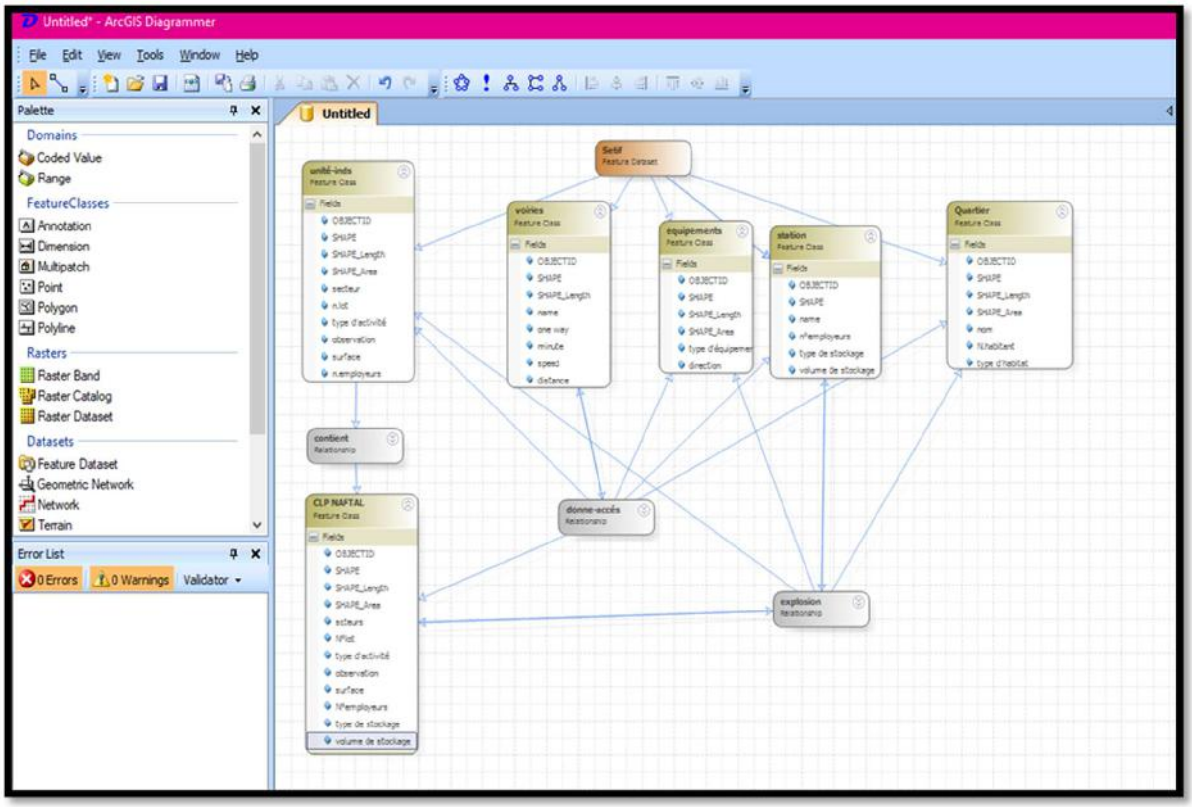
Le modèle MADS, en permettant une décomposition fine des phénomènes, permet de mieux appréhender les vulnérabilités spécifiques de chaque territoire et d'adapter les mesures de prévention et de réponse en conséquence.

Une décision fondée sur des données probantes: Les SIG permettent de visualiser et d'analyser de grandes quantités de données géographiques, offrant ainsi une base solide pour la prise de décision.

Une transparence accrue: En rendant les données et les analyses accessibles à un large public, les SIG contribuent à une meilleure transparence des décisions et à une plus grande confiance des citoyens.

ArcGIS Diagrammer a été utilisé pour concevoir la base de données géographique, permettant ainsi de modéliser de manière précise les entités et les relations entre elles. Cette approche a permis de

créer une représentation cohérente et structurée des données, facilitant leur exploitation dans le cadre de la gestion des risques



Carte 37 : Modèle conceptuel des données géographiques sous Arc GISdiagrammer

Source ;Auteurs 2023

V-4-2- La modélisation conceptuelle des bases de données

Le modèle conceptuel de données (MCD), souvent appelé modèle entité-association, est un outil fondamental pour concevoir des bases de données. Introduit dans les années 70, il offre une représentation plus intuitive que le modèle relationnel de Codd. Bien qu'il n'existe pas de standard universel pour les MCD, ils partagent tous le but de décrire les données du monde réel de manière compréhensible pour tous les acteurs d'un projet (Muller & Gaertner, 2000). Le MCD est la première étape de la modélisation de données, suivie par le modèle logique et le modèle physique. Le modèle conceptuel met en évidence les entités (les objets du monde réel) et les associations (les liens entre ces entités).

V-4-3-la base de données géographiques (Geodatabase) :

Au cœur de l'écosystème ArcGIS, la géodatabase s'impose comme l'architecture de stockage de référence. Bien que le logiciel assure l'interopérabilité avec divers formats de Systèmes d'Information Géographique, l'exploitation optimale des fonctionnalités avancées de gestion et d'édition repose sur ce modèle natif. Elle ne se limite pas à un simple conteneur, mais constitue un schéma relationnel complexe où s'articulent tables attributaires, couches vectorielles (classes d'entités) et données matricielles (rasters). L'intérêt majeur de cette structure réside dans sa capacité à intégrer des règles topologiques et des comportements spatiaux sophistiqués, garantissant ainsi la cohérence et l'intégrité des relations entre les différents objets géographiques

V-4-4-La modélisation spatiale

La modélisation spatiale consiste à représenter de manière numérique des éléments géographiques (points, lignes, polygones) dans un système d'information géographique (SIG). Cette représentation implique une phase préalable de modélisation conceptuelle visant à identifier les entités géographiques pertinentes (lac, route, bâtiment) et les relations qui les lient (appartenance, contiguïté). Les données ainsi modélisées sont ensuite stockées dans une base de données géographique (Caloz, R.).

V-4-4-1-Le modèle Entité – Association

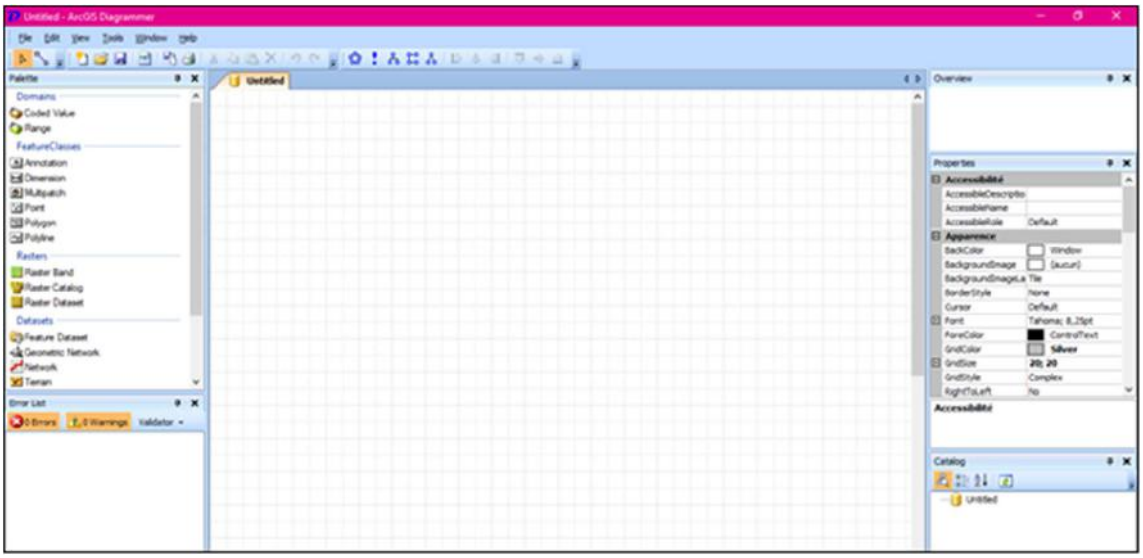
Le modèle Entité-Association (EA) est un outil fondamental pour concevoir des bases de données. Il représente les données sous forme d'entités (objets) et d'associations (liens entre ces objets). Ce modèle repose sur trois concepts clés : les entités, les associations et les attributs (Caloz, R.). Une entité est un objet du monde réel dont on souhaite stocker des informations. Les associations représentent les relations entre les entités. Les attributs, quant à eux, décrivent les caractéristiques des entités. La cardinalité d'une association précise le nombre d'occurrences d'une entité pouvant être liées à une autre entité**.**

V-4-5-La modélisation de la base de donnée sous ArcGIS Diagrammer :

ArcGIS Diagrammer est un outil de productivité permettant aux professionnels du SIG de créer, modifier ou analyser un schéma d'une base de données géographique. Le schéma est présenté sous forme de graphiques modifiables dans un environnement familier aux utilisateurs de Microsoft VisualStudio 2005. ArcGIS Diagrammer est essentiellement un éditeur visuel pour le document d'espace de travail Xml d'ESRI qui sont créé par ArcCatalog, l'application de gestion de la suite de produits ArcGIS Desktop (ESRI ArcGIS Diagrammer User Guide Page 4 of 85 December 10, 2007).

- ouvrir ArcGIS Diagrammer et créer un nouveau diagramme :

ArcGIS Diagrammer démarrera sans qu'aucun diagramme ne soit chargé. Pour créer un nouveau diagramme. On clique sur File >New.Un nouvel onglet sera ajouté au logiciel ArcGIS Diagrammer.



Carte 38 : L'espace de travail - logiciel ArcGIS Diagrammer.

Source ;Auteurs 2023

- créer un nouveau jeu de classes d'entités (FeatureDataset) :

Jeu de classes d'entités (FeatureDataset) est un ensemble de classes d'entités (feature classes) reliées qui partagent un système de coordonnées commun. Les jeux de données d'entités (FeatureDataset) servent à organiser des classes d'entités (feature classes) reliées dans un jeu de données (FeatureDataset) commun en vue de construire une topologie. Dans la palette nous faisons glisser l'élément FeatureDataset de la palette et le déposons dans le diagramme.

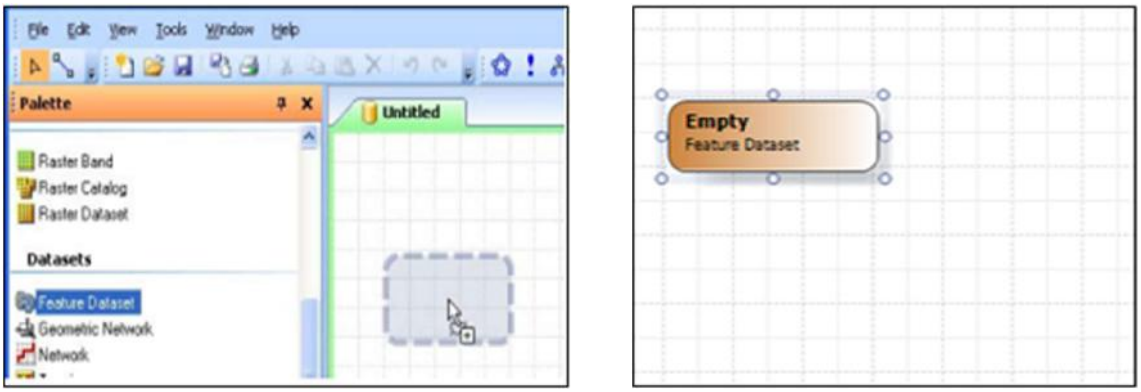


Figure 25: Ajouter nouvelle Feature. Source ;Auteurs 2023

Les classes d'entités (feature classe) se représentent par des objets géométriques (ligne ; point et polygone), À chacun de ces objets représente quant à elle le monde réel et sont associés des coordonnées géographiques permettant de les localiser dans l'espace.

Ligne : Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveau. Élisabeth HABERT (2000)

Point : Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces. (Laboratoire de cartographie appliquée

Polygone: Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols .Au niveau de l'environnement de ArcGICDiagramer les classes d'entités, En définissant leur géométrie à travers de la fenêtre palette et leur nom dans la fenêtre des paramètres. Les classes d'entités qu'on a créées sont :

Linéaires : les voiries

Polygonales : les unités industrielles, les équipements, les quartiers, CLP NAFTAL

Ponctuelles : les stations-services

Les classes d'entités créées sont :

Linéaires : les voiries

Polygonales : les unités industrielles, les équipements, les quartiers, CLP NAFTAL

Ponctuelles : les stations-services

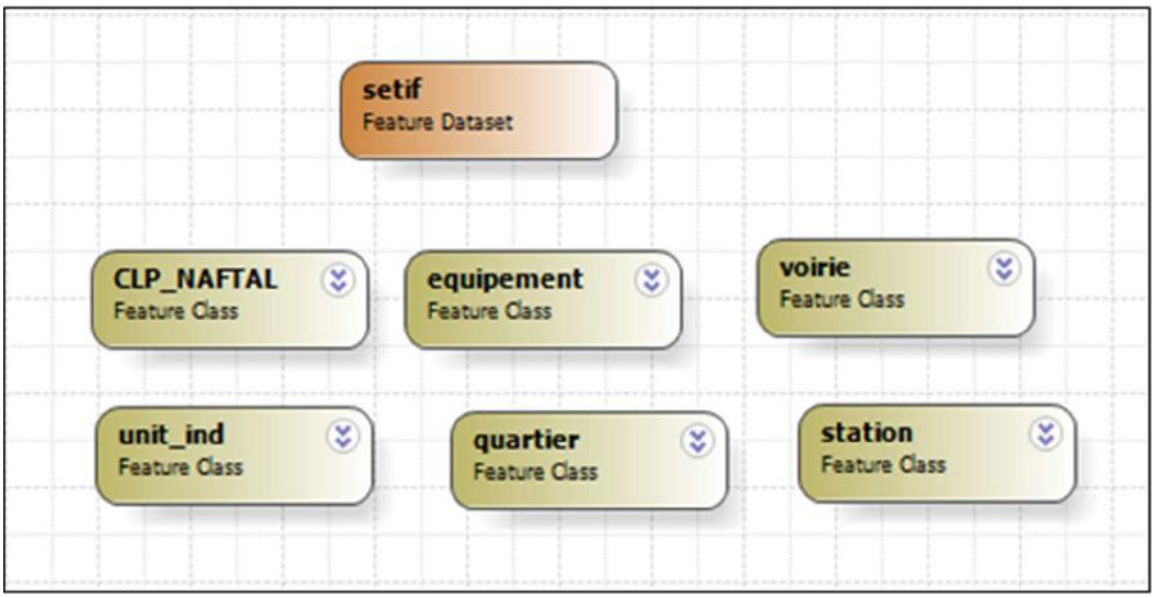


Figure 26 : Représentation des features classent de notre modèle

Source ;Auteurs 2023

V-4-5-1-La définition des attributs des classes d'entité :

Un attribut d'une entité est une propriété associée à un type d'entité. L'ensemble des attributs représente l'ensemble des informations inhérentes que l'on souhaite conserver sur les entités.

Les propriétés représentent les champs de chaque classe d'entité, ils ont été définis par son nom du champ et le type de données .Le tableau suivant représente les classes d'entités, leur type, attributs et le type des données :

Les classes d'entités	La géométrie	Les attributs
L'unité industrielle	**Polygone**	OBJECTID (esri Field Type OID) SHAPE (esri Field Type Geometry) SHAPE_Length (esri Field Type Double) SHAPE_Area (esri Field Type Double) Secteur (esri Field Type String) Num.Lot (esri Field Type Integer) Type d'activité (esri Field Type String) Observation (esri Field Type String) Surface (esri Field Type Double) Nomb. des employeurs (esri Field Type Integer) N.Telephone (esri Field Type Integer)
La voirie	**Polyligne**	OBJECTID (esri Field Type OID) SHAPE (esri Field Type Geometry) SHAPE Length (esri Field Type Double) Name (esri Field Type String) one-way (esri Field Type String) minute (esri Field Type Double) Distance (esri Field Type Double) Type (esri Field Type String)
L'équipement	**Polygone**	OBJECTID (esri Field Type OID) SHAPE (esri Field Type Geometry) SHAPE Length (esri Field Type Double) SHAPE Area (esri Field Type Double)

L'équipement	**Polygone**	OBJECTID (esri Field Type OID) SHAPE (esri Field Type Geometry)

		SHAPE Length (esri Field Type Double) SHAPE Area (esri Field Type Double) Nom équipement (esri Field Type String) N.Tel département (esri Field Type Integer) Type_équipement (esri Field Type String) La direction (esri Field Type String) N.Tel de la direction (esri Field Type Integer) Nomb_ employeurs (esri Field Type Integer)
La station-service	**point**	OBJECTID(esri Field Type OID) SHAPE (esri Field Type Geometry) Nom (esri Field Type String) Nomb_employeurs (esri Field Type Integer) Type_Stockage (esri Field Type String) volume_Stockage (esri Field Type Integer) N.Telephone (esri Field Type Integer)
Le quartier	**Polygone**	OBJECTID (esri Field Type OID) SHAPE (esri Field Type Geometry) SHAPE Length (esri Field Type Double)

		SHAPE Area (esri Field Type Double) Nom (esri Field Type String) Population (esri Field Type Integer) Type habitat (esri Field Type String)
CLP NAFTAL	**Polygone**	OBJECTID (esri Field Type OID) SHAPE (esri Field Type Geometry) SHAPE Length (esri Field Type Double) SHAPE Area (esri Field Type Double) Secteur (esri Field Type String) Num.Lot (esri Field Type Integer) Type d'activité (esri Field Type String) Observation (esri Field Type String) Surface (esri Field Type Double) Nomb. des employeurs (esri Field Type Integer) Type_Stockage (esri Field Type String) volume_stockage (esri Field Type Double) N. Téléphone (esri Field Type Integer

Le tableau 44 : les classes d'entités, les attributs et le type des données

Source ;Auteurs 2023

Au niveau des paramètres des champs (Field) les propriétés des attributs sont modifiés : Le nom du champ (fieldname), le type du champ (field type)

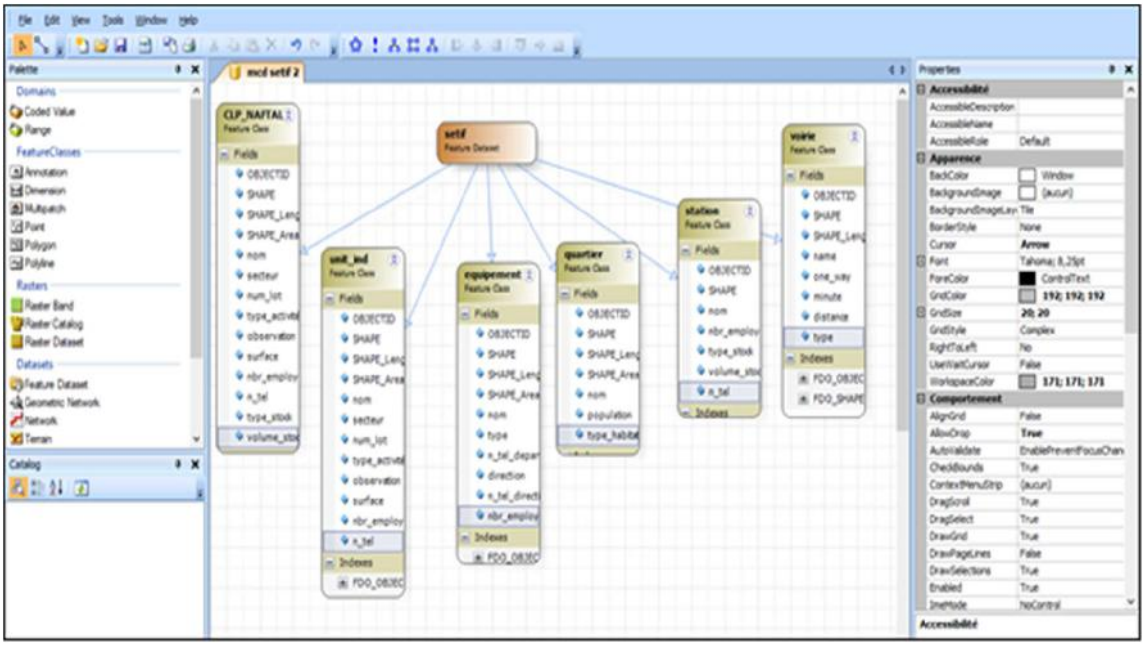


Figure 27 : Les features classent avec ses attributs. Source ;Auteurs 2023

V-4-5-2-Les associations et leur cardinalité et les clés :

Nous créons les associations entre les classes d'entités qui Représentent les interactions entre ces différentes données cohérentes, et définissiez les cardinalités. L'association a beaucoup de paramètres qui entrent en compte lorsqu'il s'agit de gérer et organiser sa base de données (définir la table origine, le destinateur, les clés primaires et étrangers), Une association se fait entre 2 entités minimum mais il n'y a pas de maximum.

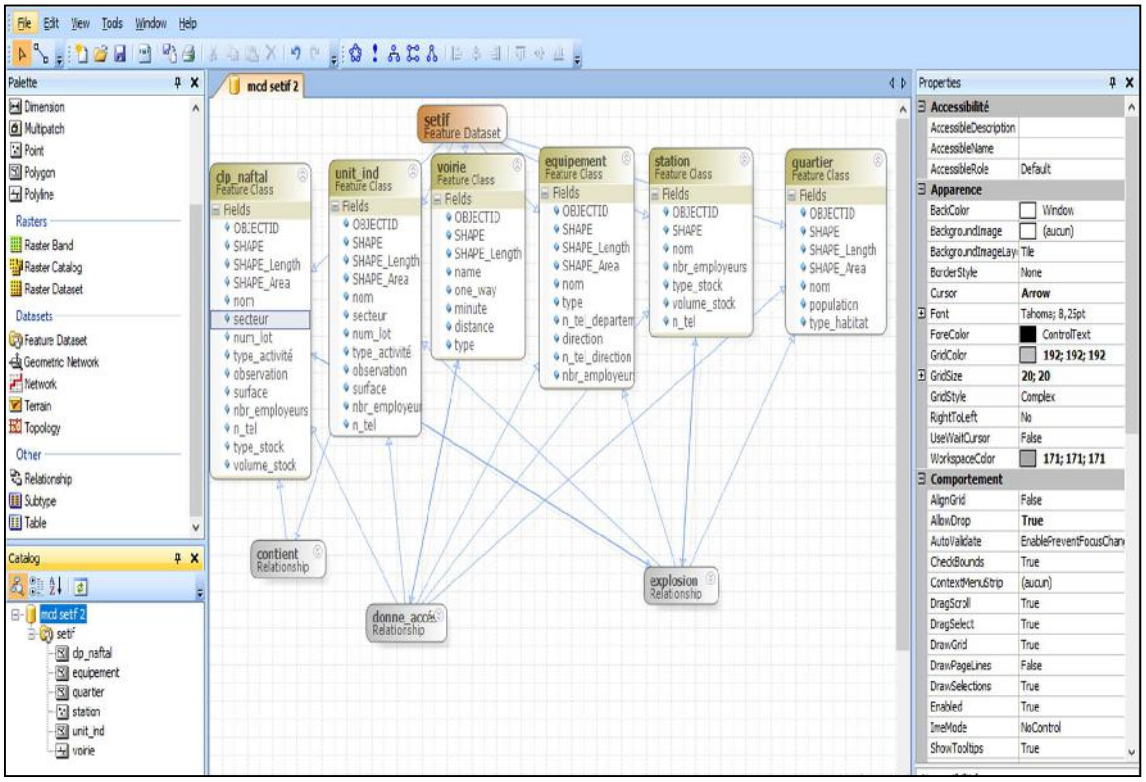


Figure 28 : Le MCD réaliser sous ArcGIS Diagrammer

Source ;Auteurs 2023

V-4-5-3- La validation du MCD sous ArcGIS Diagrammer:

La validation d'un modèle conceptuel Entité-Association (EA) est une étape cruciale dans la conception d'une base de données. Elle consiste à vérifier la cohérence et la complétude du schéma par rapport aux besoins de l'application. Plusieurs méthodes de validation peuvent être employées : vérification syntaxique, tests avec des données d'exemple, validation par rapport aux traitements prévus et validation par les utilisateurs finaux. Ces vérifications permettent d'identifier les erreurs, les incohérences et les omissions dans le modèle, et ainsi d'apporter les corrections nécessaires. Des règles formelles, basées sur le concept de dépendance, peuvent également être utilisées pour automatiser certaines phases de validation (Caloz, R.).

V-4-5-4-L'exportation du MCD vers ArcCatalog :

« L'intégration d'un Modèle Conceptuel de Données (MCD) au sein d'ArcCatalog nécessite une phase de conversion intermédiaire vers le format **XML**. Ce langage de balisage sert de vecteur de transfert universel, permettant de traduire les structures conceptuelles en un schéma lisible par la géodatabase. Grâce à sa structure normalisée, le XML assure une parfaite interopérabilité entre les différentes plateformes logicielles. En s'appuyant sur des protocoles de lecture prédéfinis, il garantit que la sémantique et la structure des données restent intactes lors du déploiement sur le réseau ou vers des applications tierces

Pour importer le fichier XML vers Arc Catalog , on doit créer une GDB puis nous pouvons l'importer dans la GDB.

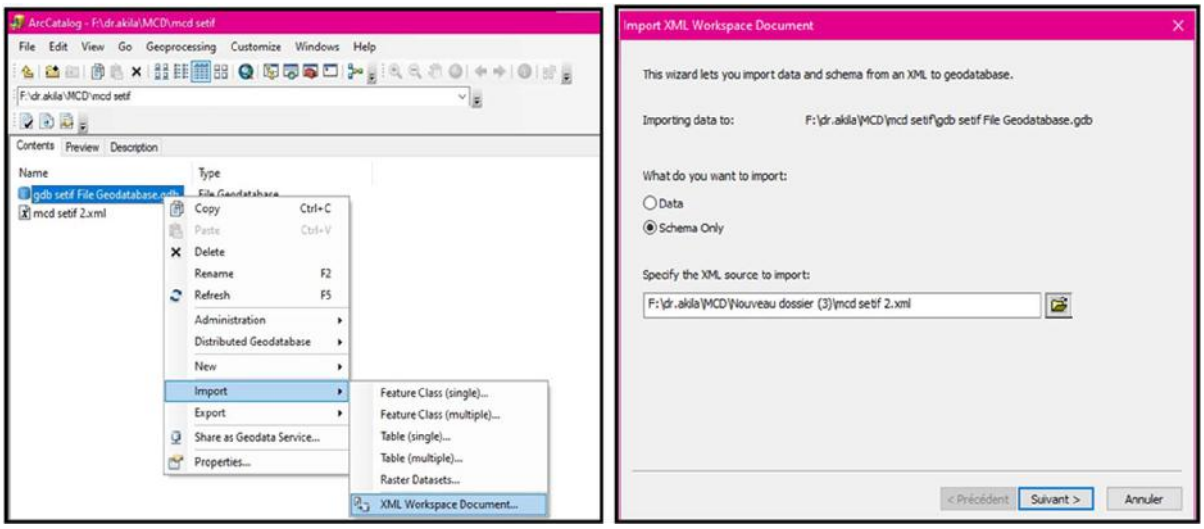


Figure 29 : Importer le fichier XML vers la Geodatabase dans ArcCatalog

Source ;Auteurs 2023

V-4-5-5-Passage au Modèle Logique des Données (MLD):

Le passage entre les différentes étapes de conception d'une base de données répond à des règles de dérivation précises, complétées par des impératifs de performance technique.

La phase logique (MLD)

Lors de la transition vers le Modèle Logique de Données, la structure s'organise autour de règles de conversion systématiques. Les entités du modèle conceptuel sont transformées en tables, au sein desquelles les identifiants deviennent des clés primaires et les propriétés des attributs. Comme le

souligne Ph. Chochois, la cohérence relationnelle est assurée par le fait que les clés primaires des tables sources sont réutilisées comme clés étrangères pour lier les tables entre elles.

La phase physique (MPD)

La conversion du MLD vers le Modèle Physique de Données (MPD) marque l'étape de l'implémentation concrète. C'est à ce moment que l'on définit précisément le mode de stockage, notamment le typage des données et l'espace mémoire alloué (en octets ou bits).

Selon Cyril Gruau (2006), cette étape finale est aussi celle du pragmatisme : pour maximiser l'efficience du système d'information, le concepteur peut s'autoriser certaines déviations par rapport aux règles de normalisation théoriques afin d'optimiser les temps de réponse et les performances globales.

Ce travail met en évidence le rôle de Système de Gestion de Bases de Données(SGBD) et leur rôle dans le stockage et l'organisation de diverses données, y compris les données géographiques et comment les modéliser sur les trois niveaux (MCD.MLD.MPD), mettant en évidence les relations et les chevauchements entre les composants de l'espace géographique et de les entrer dans les SIG et de les travailler.

V-4-6-Gestion des interventions d'urgence et d'évacuation:

La rapidité de la prise de décision en situation de crise est essentielle pour limiter les pertes humaines et matérielles (Tolly et al., 2015). Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) peuvent grandement faciliter la gestion des secours en permettant de numériser, stocker et analyser les données de manière efficace (Senior et Copley, 2008). En Algérie, les plans ORSEC prévoient une organisation des secours en cas de catastrophe. Dans notre étude, nous avons utilisé l'extension Arc GIS Network Analyst pour optimiser les itinéraires de secours, en tenant compte des contraintes liées au réseau routier (Lacroix, 2013). Cette approche, qui consiste à déterminer les itinéraires les plus rapides et les moins coûteux, est essentielle pour assurer une évacuation efficace des sinistrés, comme le soulignent Yang Bo et al. (2009). Nous avons ainsi généré deux itinéraires types : l'un reliant le siège de la protection civile à la zone sinistrée, et l'autre permettant l'évacuation des victimes vers un hôpital.L'extension ArcGIS Network Analyst est un outil puissant qui permet aux entreprises, aux services publics et aux organisations du secteur privé d'optimiser leurs opérations et de prendre des décisions stratégiques éclairées. En modélisant et en analysant les

réseaux de transport, l'extension permet aux organisations de mieux comprendre leurs marchés, de réduire les coûts de transport, d'améliorer le service client et de résoudre des problèmes complexes liés à la localisation et à la logistique.

En comprenant qui peut accéder à leurs biens ou services, les organisations peuvent mieux cibler leurs efforts marketing et de vente. L'extension ArcGIS Network Analyst permet de calculer les zones de service potentielles, d'identifier les clients potentiels et de mesurer la portée des réseaux de distribution (Longley, P. A., &Mesev, V. 2006).

L'optimisation des itinéraires de livraison et la recherche des chemins les plus courts entre les arrêts peuvent entraîner des économies de carburant et de temps considérables. L'extension ArcGIS Network Analyst permet de prendre en compte diverses contraintes, telles que les fenêtres horaires, les capacités des véhicules et les temps de trajet maximum, afin de trouver les itinéraires les plus efficaces (Berthaume, P., &Dewailly, N.2000)

Des temps de réponse plus rapides et des emplacements de ressources plus accessibles peuvent contribuer à améliorer la satisfaction des clients. L'extension ArcGIS Network Analyst permet d'identifier les emplacements optimaux pour les installations et les ressources, en tenant compte de l'accessibilité et du temps de trajet Chakraborty, S., & Chatterjee, S. (2011

L'extension ArcGIS Network Analyst peut être utilisée pour résoudre une large gamme de problèmes complexes liés à la localisation et à la logistique, tels que la planification de tournées de véhicules, l'analyse des accidents de la circulation et la gestion des urgences.

La matrice de coût origine-destination est un outil puissant qui permet de calculer les chemins de moindre coût entre des origines et des destinations sur un réseau. Les résultats de cette analyse peuvent être utilisés pour optimiser les itinéraires de livraison, identifier les zones de service potentielles et mesurer l'accessibilité des ressources.

L'analyse des accidents de la circulation est un domaine où l'utilisation des distances de réseau peut s'avérer particulièrement utile. En identifiant les lieux accident gènes en fonction des distances de réseau, les planificateurs peuvent mieux cibler leurs efforts de prévention des accidents et améliorer la sécurité routière (Wang, X., & Meng, Q.2007)

L'extension ArcGIS Network Analyst est un outil indispensable pour les organisations qui souhaitent optimiser leurs opérations, prendre des décisions stratégiques éclairées et résoudre des

problèmes complexes liés à la localisation et à la logistique. Grâce à ses fonctionnalités puissantes et à sa facilité d'utilisation, l'extension permet aux organisations d'améliorer leur efficacité et leur rentabilité.

V-4-6- 1- Réseau géométrique: Analyse et modélisation du mouvement

Les réseaux géométriques constituent un outil puissant pour analyser et modéliser le mouvement des personnes, des ressources et des marchandises dans un environnement géographique (Longley&Mesev, 2006). En représentant les infrastructures de réseau comme des ensembles interconnectés de tronçons et de jonctions, les réseaux géométriques permettent aux utilisateurs d'effectuer des analyses complexes liées à la connectivité, à l'accessibilité et à la circulation.

Un réseau géométrique est un ensemble de tronçons et de jonctions connectés, défini par des règles de connectivité qui reflètent le comportement d'une infrastructure de réseau réelle. Les réseaux géométriques sont créés à partir de classes d'entités dans une géodatabase, où chaque classe d'entité joue un rôle spécifique dans le réseau et définit les règles de circulation des ressources.

L'utilisation de réseaux géométriques présente de nombreux avantages pour l'analyse et la modélisation du mouvement :

- Représentation précise des infrastructures de réseau: Les réseaux géométriques permettent de représenter fidèlement les infrastructures de réseau complexes, y compris les routes, les chemins de fer, les réseaux de distribution d'eau et d'électricité, etc.
- Analyses de connectivité et d'accessibilité: Les réseaux géométriques facilitent l'analyse de la connectivité et de l'accessibilité au sein d'un réseau. Ces analyses permettent de déterminer la distance entre deux points, l'identification des zones mal desservies et l'évaluation de l'impact des modifications du réseau sur la connectivité.
- Modélisation de la circulation et des flux: Les réseaux géométriques permettent de modéliser la circulation et les flux de personnes, de ressources et de marchandises sur le réseau. Ces modèles peuvent être utilisés pour optimiser les itinéraires de transport, identifier les points de congestion et prédire l'impact des événements sur le réseau (Wang & Meng, 2007).

Les réseaux géométriques trouvent de nombreuses applications dans divers domaines, notamment

- ✓ Planification des transports et de la logistique: Optimisation des itinéraires de livraison, identification des points de congestion et évaluation de l'impact des projets de construction sur la circulation (Chakraborty & Chatterjee, 2011).
- ✓ Gestion des services d'urgence: Planification des itinéraires d'intervention d'urgence, identification des zones difficiles d'accès et évaluation de l'impact des catastrophes naturelles sur les réseaux de transport.
- ✓ Aménagement du territoire et urbanisme: Analyse de l'accessibilité aux services et aux équipements, identification des zones mal desservies et évaluation de l'impact des projets d'aménagement sur la mobilité.
- ✓ Gestion des réseaux d'infrastructures: Analyse de la connectivité et de la fiabilité des réseaux d'infrastructures critiques, identification des points faibles et planification des travaux de maintenance.

Les réseaux géométriques constituent un outil puissant et polyvalent pour l'analyse et la modélisation du mouvement dans un environnement géographique. Leur capacité à représenter fidèlement les infrastructures de réseau, à effectuer des analyses de connectivité et d'accessibilité et à modéliser la circulation et les flux en fait un outil précieux pour une large gamme d'applications dans divers domaines.

V-4-6- 1-1- Les éléments constitutifs des réseaux géométriques :

Les réseaux géométriques constituent un outil puissant pour l'analyse et la modélisation du mouvement dans un environnement géographique (Longley&Mesev, 2006). Ils permettent de représenter des infrastructures complexes comme des réseaux routiers, des réseaux de distribution d'eau et d'électricité, des réseaux de télécommunications, etc., avec un haut degré de précision. Cette représentation détaillée permet d'effectuer des analyses sophistiquées liées à la connectivité, à l'accessibilité et à la circulation des flux.

V-4-6- 1-1- a)Les tronçons : éléments fondamentaux du réseau

Un réseau géométrique est composé d'entités élémentaires appelées tronçons. Un tronçon est une entité linéaire qui possède une longueur et représente un élément physique du réseau par lequel circule une marchandise ou un flux. Les tronçons sont créés à partir de classes d'entités lignes dans un jeu de données géographiques.

Exemples de tronçons :

Conduites d'eau principales, Lignes électriques, Gazoducs, Lignes téléphoniques, Routes, Chemins de fer, Canaux

V-4-6- 1-1- b) Les jonctions : points de connexion

Les jonctions sont des entités ponctuelles qui permettent à deux tronçons ou plus de se connecter. Elles facilitent le transfert de flux et de ressources entre les tronçons adjacents. Les jonctions sont créées à partir de classes d'entités points dans un jeu de données géographiques.

Exemples de jonctions :

Fusibles, Interrupteurs, Robinets de service, Vannes, Intersections routières, Gares ferroviaires, Nœuds de réseau de télécommunications

La combinaison des tronçons et des jonctions permet de représenter la structure et la connectivité d'un réseau géométrique. Cette représentation détaillée est essentielle pour effectuer des analyses approfondies du réseau, telles que :

- Analyse de la connectivité : Évaluer la connectivité entre différents points du réseau et identifier les zones mal desservies.
- Analyse de l'accessibilité : Déterminer l'accessibilité à des services ou à des infrastructures spécifiques depuis différents points du réseau.
- Modélisation des flux : Simuler le mouvement des flux (personnes, ressources, marchandises) à travers le réseau et identifier les points de congestion.
- Planification et optimisation du réseau : Proposer des améliorations ou des modifications au réseau pour optimiser sa performance et son efficacité.

Les tronçons et les jonctions constituent les éléments fondamentaux des réseaux géométriques. Leur compréhension approfondie est essentielle pour exploiter pleinement les puissantes capacités d'analyse et de modélisation offertes par ces outils.

V-6- 2- Le réseau logique : Un élément clé de l'analyse de réseau géométrique

Lors de la création d'un réseau géométrique, la géodatabase génère automatiquement un réseau logique correspondant (Longley et Mesev, 2006). Ce réseau logique représente les relations de connectivité entre les entités du réseau géométrique, permettant d'effectuer des analyses complexes

et de modéliser le mouvement des flux. Il constitue le graphe de connectivité utilisé pour les opérations de recherche de parcours et de flux (ESRI, 2021).

Le réseau logique est un graphe abstrait qui représente la connectivité structurelle du réseau géométrique (Duchamp et Erlich, 2006). Il est composé de nœuds et d'arcs, qui correspondent respectivement aux jonctions et aux tronçons du réseau physique. Les arcs sont orientés, indiquant le sens autorisé de circulation sur les tronçons.

Le réseau logique possède plusieurs propriétés importantes :

- ✓ Connectivité: Il garantit que tous les nœuds et arcs du réseau physique sont représentés dans le réseau logique (Batty et Marshall, 2000).
- ✓ Accessibilité: Il permet de déterminer si un nœud est accessible à partir d'un autre nœud, en tenant compte des restrictions de circulation (Dijkstra, 1956).
- ✓ Coût: Il peut associer un coût à chaque arc, représentant le temps, la distance ou d'autres mesures de performance pour traverser le tronçon correspondant (Aarts et Van den Berg, 1988).

Le réseau logique joue un rôle crucial dans l'analyse de réseau géométrique en permettant (Longley et Mesev, 2006):

- ➢ Recherche de chemins optimaux: Identifier les itinéraires les plus courts, les plus rapides ou les plus économiques entre deux points du réseau, en tenant compte des coûts et des restrictions (Bellman, 1958).
- ➢ Modélisation des flux: Simuler le mouvement des flux (personnes, ressources, marchandises) à travers le réseau, en analysant la répartition des flux et en identifiant les points de congestion (Ford et Fulkerson, 1956).
- ➢ Analyse de l'accessibilité: Évaluer l'accessibilité à des services ou à des infrastructures spécifiques depuis différents points du réseau (Hansen, 1959).
- ➢ Planification et optimisation du réseau: Proposer des améliorations ou des modifications au réseau pour optimiser sa performance et son efficacité (Church et ReVelle, 1970).

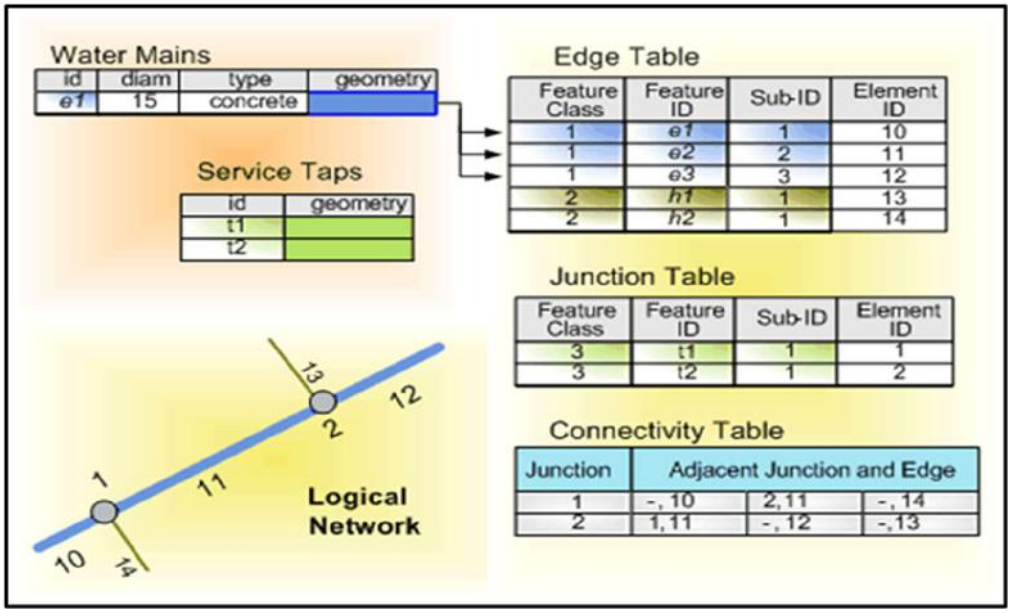
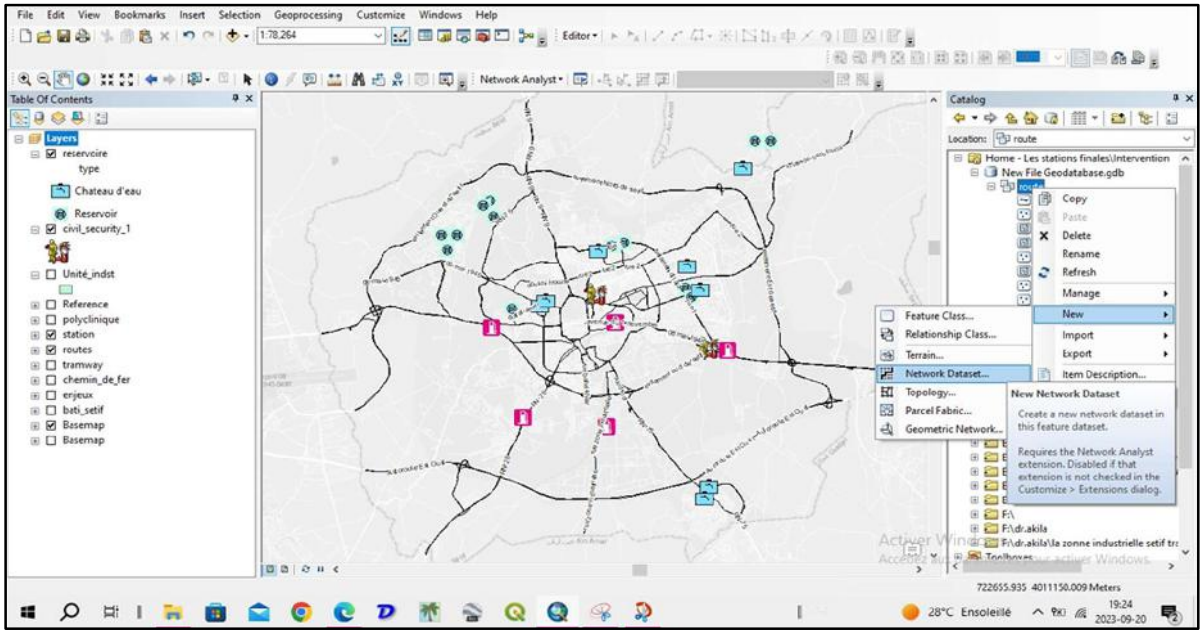


Figure 30 : Diagramme d'un réseau logique. Source (ESRI, 2021):

L'analyse de réseau géométrique implique généralement les étapes suivantes (ESRI, 2021):

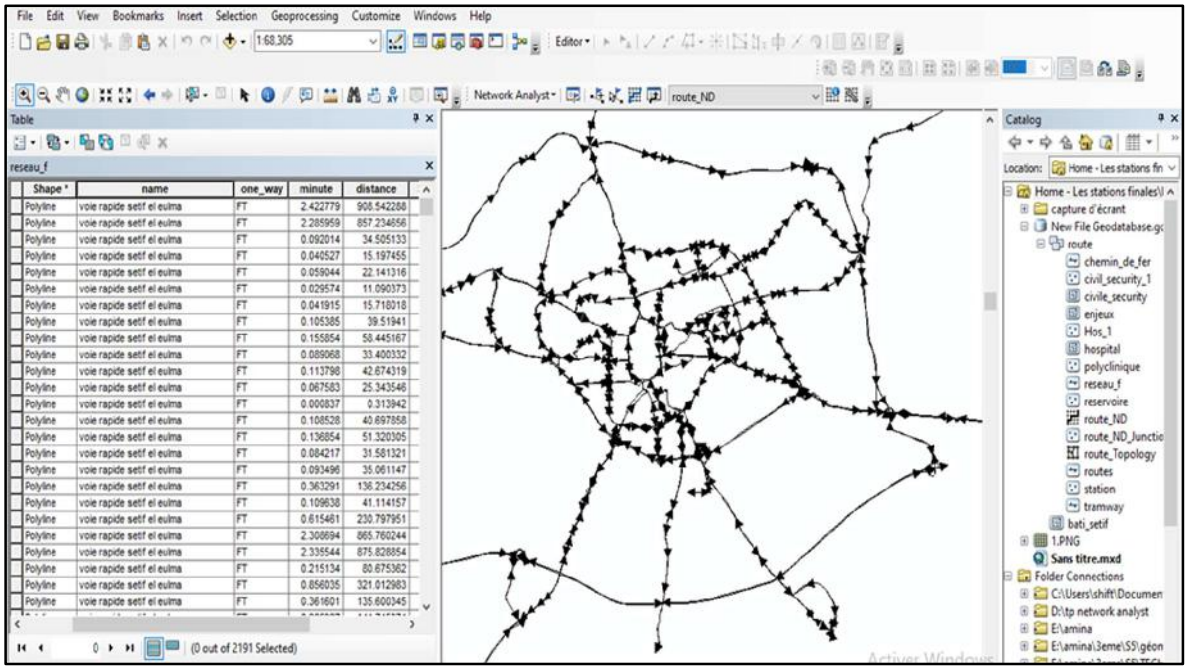
Etape 1 : Activer l'extension Network Analyst d'ArcGIS et afficher la barre d'outils et la fenêtre correspondantes.



Carte 39 : Configuration de l'environnement Network Analyst:

Source ;Auteurs 2023

Etape 2 :: Charger le réseau géométrique à analyser dans ArcMap.



Carte 40 : Ajout du jeu de données réseau à ArcMap

Source ;Auteurs 2023

Etape3 : Création de la couche d'analyse de réseau:

Définir le type d'analyse à effectuer (itinéraires, ressources les plus proches, zone de desserte, matrice de coût OD, optimisation des tournées de véhicules, emplacement-allocation) et créer la couche d'analyse correspondante.

Les couches d'analyse de réseau constituent un élément crucial de l'extension ArcGIS Network Analyst (ESRI, 2024), permettant aux utilisateurs de modéliser et de résoudre des problèmes complexes liés à la connectivité et aux flux dans les réseaux de transport. En servant de conteneur pour les entrées, les propriétés et les résultats des analyses de réseau, ces couches offrent un environnement puissant pour explorer et optimiser les performances des réseaux.

Une couche d'analyse de réseau se définit comme un espace de travail temporaire qui stocke les informations nécessaires à l'exécution d'une analyse de réseau spécifique (ESRI, 2021). Elle comprend des classes d'analyse de réseau distinctes pour chaque type d'entrée et de résultat, et ces classes contiennent des entités et des enregistrements appelés objets d'analyse de réseau (ESRI, 2021). Diverses propriétés de la couche permettent de configurer l'analyse en détail, en définissant les paramètres et les objectifs spécifiques (ESRI, 2021).

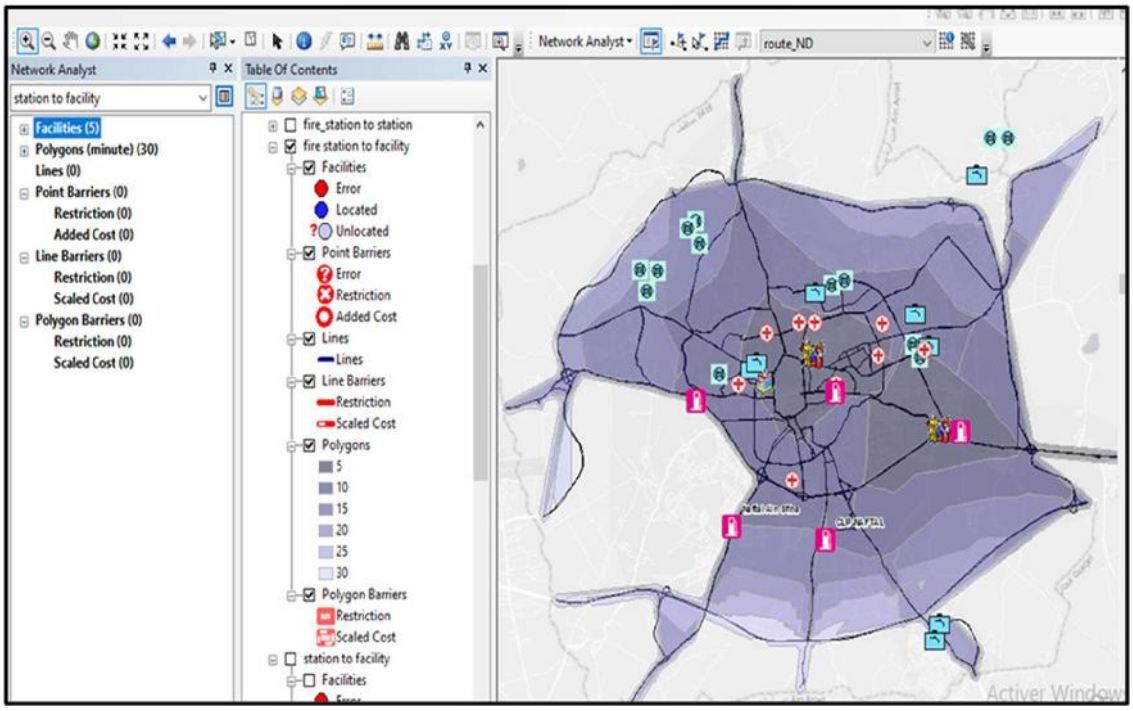
ArcGIS Network Analyst propose six types de couches d'analyse de réseau, chacune adaptée à un type d'analyse particulier (ESRI, 2021):

❖ **Couche d'analyse d'itinéraires:**

Cette couche permet de calculer les itinéraires optimaux entre deux points ou plus, en tenant compte de divers facteurs tels que la distance, le temps, le coût ou des critères spécifiques définis par l'utilisateur ([6] ESRI, 2021). Elle est particulièrement utile pour la planification de trajets, la logistique et la gestion de flotte (Longley et al., 2016).

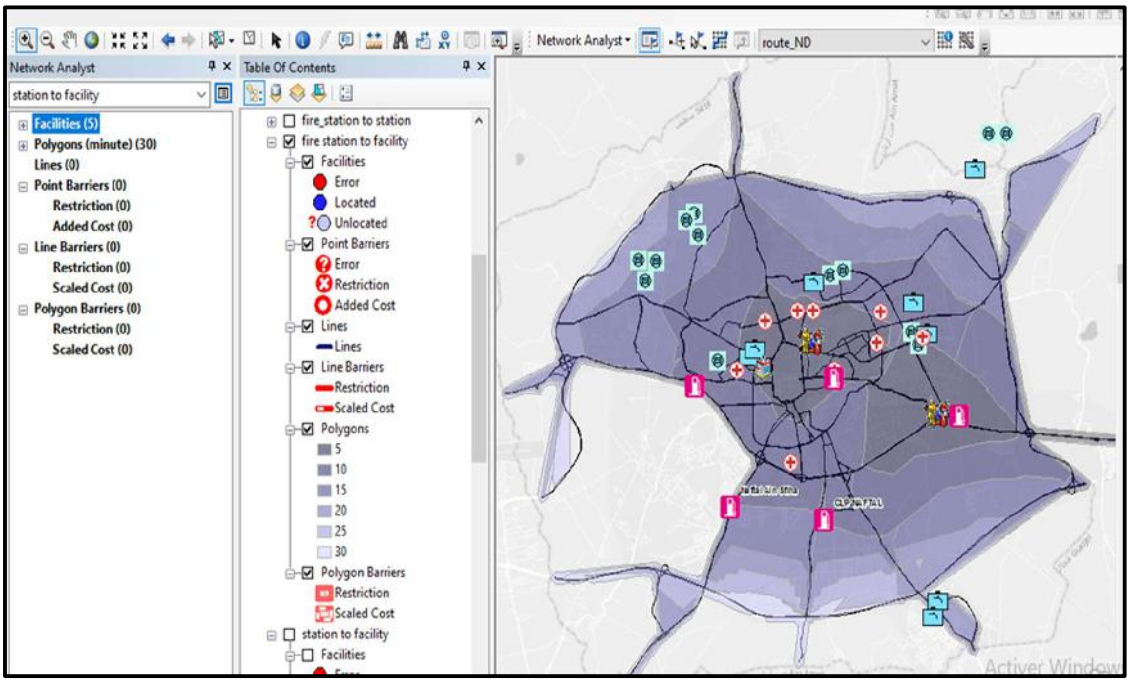
❖ **Couche d'analyse des ressources les plus proches:**

Cette couche identifie les ressources les plus proches de points d'intérêt donnés, en tenant compte du coût de déplacement le long du réseau (ESRI, 2021). Elle est précieuse pour les applications telles que la recherche d'établissements de santé, de stations-service ou de points de vente (Church and Murray, 1999).



Carte 41 : les équipements existent approche des stations-services

Source ;Auteurs 2023



Carte 42 : les équipements existent approche de l'unité CLP Naftal

Source ;Auteurs 2023

❖ **Couche d'analyse de zone de desserte:**

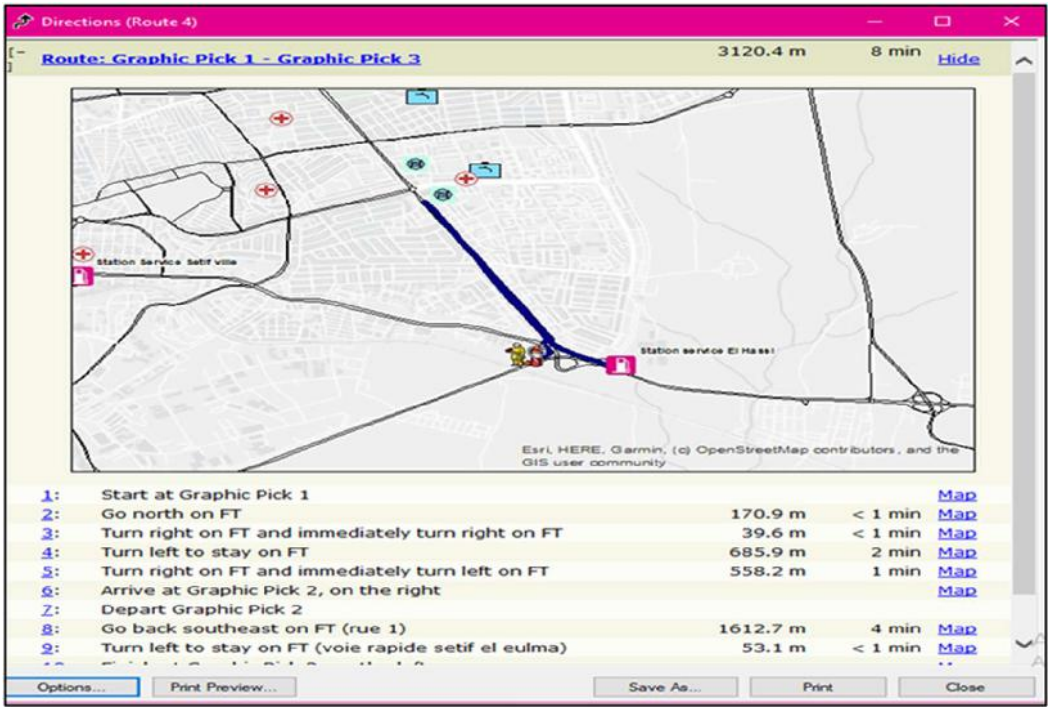
Cette couche détermine les zones accessibles à partir d'un emplacement donné dans un délai ou une distance spécifiés (ESRI, 2021). Elle est utile pour la planification des zones de service, la répartition des territoires de vente et l'analyse de l'accessibilité des services (Chakraborty et al., 2015).

❖ **Couche d'analyse de matrice de coût OD:**

Cette couche calcule les coûts de déplacement entre plusieurs origines et destinations sur un réseau (ESRI, 2021). Elle est utilisée pour la planification de trajets multiples, l'optimisation des itinéraires de livraison et l'analyse des flux de trafic (Barcelo et al., 2002).

❖ **Couche d'optimisation des tournées de véhicules:**

Cette couche optimise les itinéraires de plusieurs véhicules desservant un ensemble d'arrêts, en minimisant le temps ou le coût de trajet total (ESRI, 2021). Elle est essentielle pour la planification des tournées de livraison, de collecte des déchets et d'intervention d'urgence (Toth and Vigo, 2002).



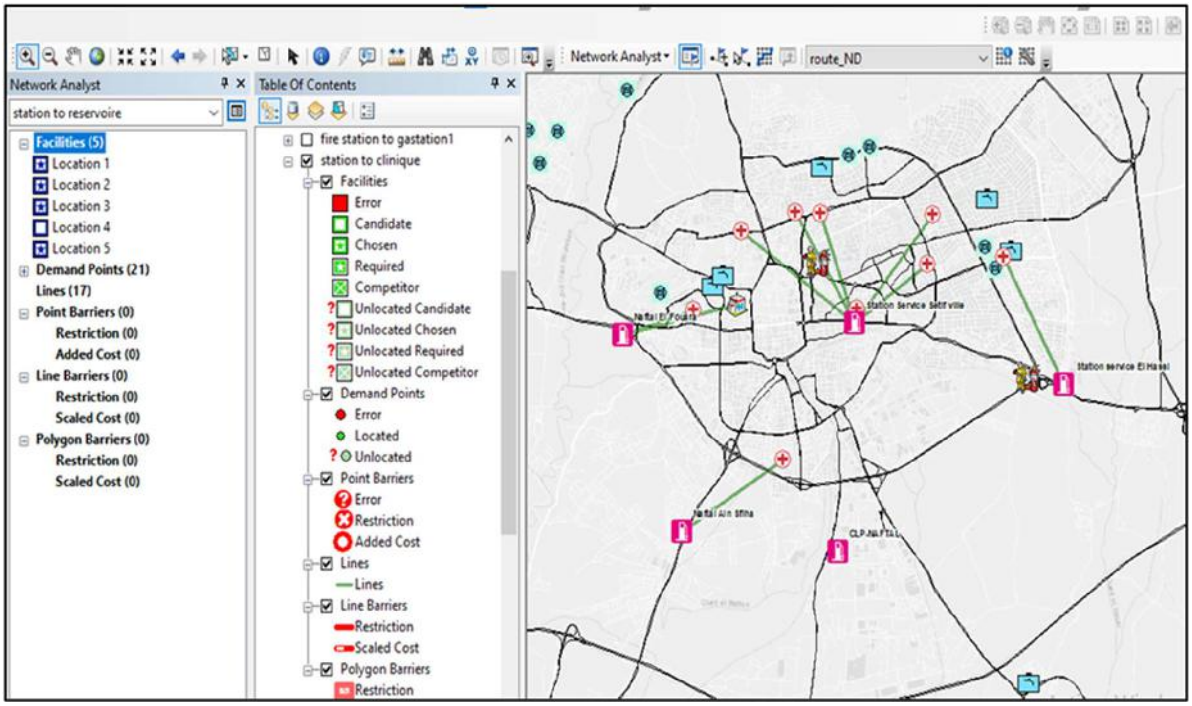
Carte 43 : création de la couche d'optimisation des tournées de véhicules

Source ;Auteurs 2023

❖ **Couche d'analyse d'emplacement-allocation:**

Cette couche identifie les emplacements optimaux pour installer des installations ou affecter des ressources, en tenant compte de divers facteurs tels que la distance aux points de demande, les coûts d'installation et les contraintes de capacité (ESRI, 2021). Elle est utilisée pour la planification des sites d'antennes-relais, des magasins de détail et des centres de distribution (Murray and Church, 1997).

Etape 4 :Ajout d'objets d'analyse de réseau: Spécifier les points d'origine, de destination, les arrêts, les ressources, etc., en fonction du type d'analyse.



Carte 44. Réservoirs les plus proches pour chaque stations de service

Source ;Auteurs 2023

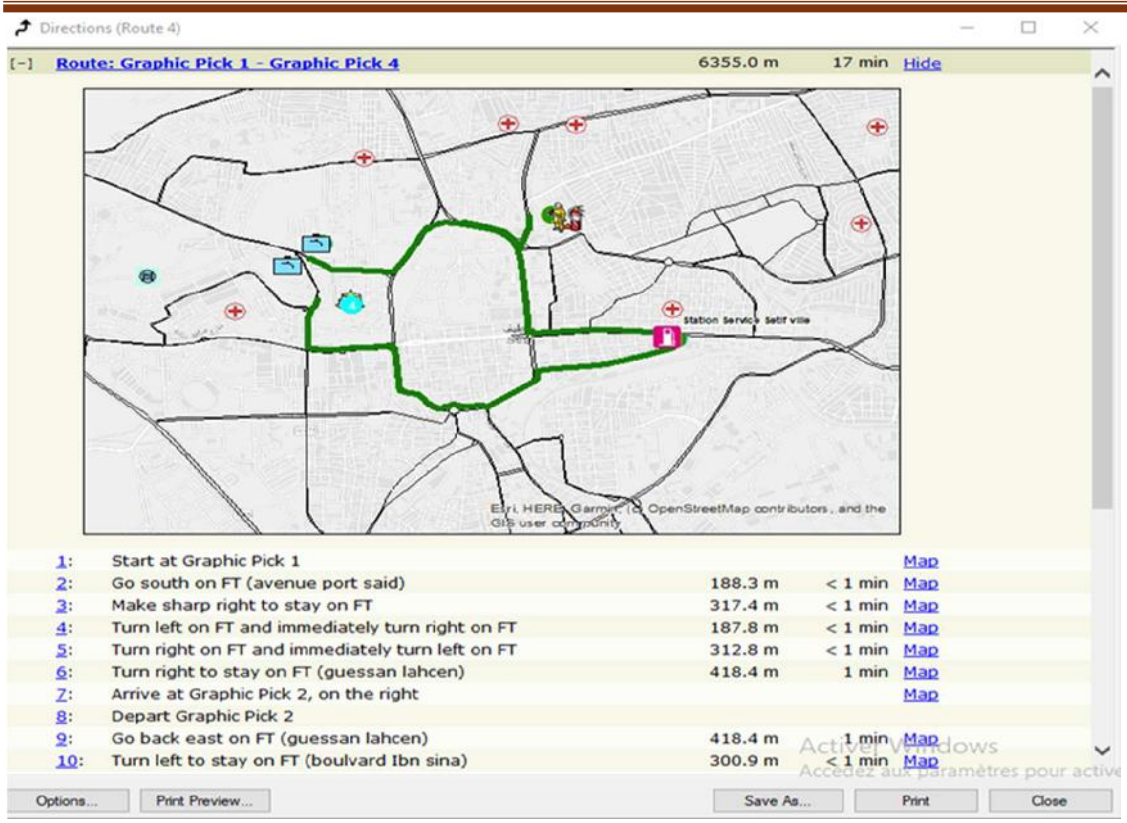
Etape 5 : Configuration des propriétés de la couche d'analyse:

Définir les attributs d'impédance, les restrictions de circulation et autres paramètres spécifiques à l'analyse.

Etape 6 : Exécution de l'analyse et affichage des résultats:

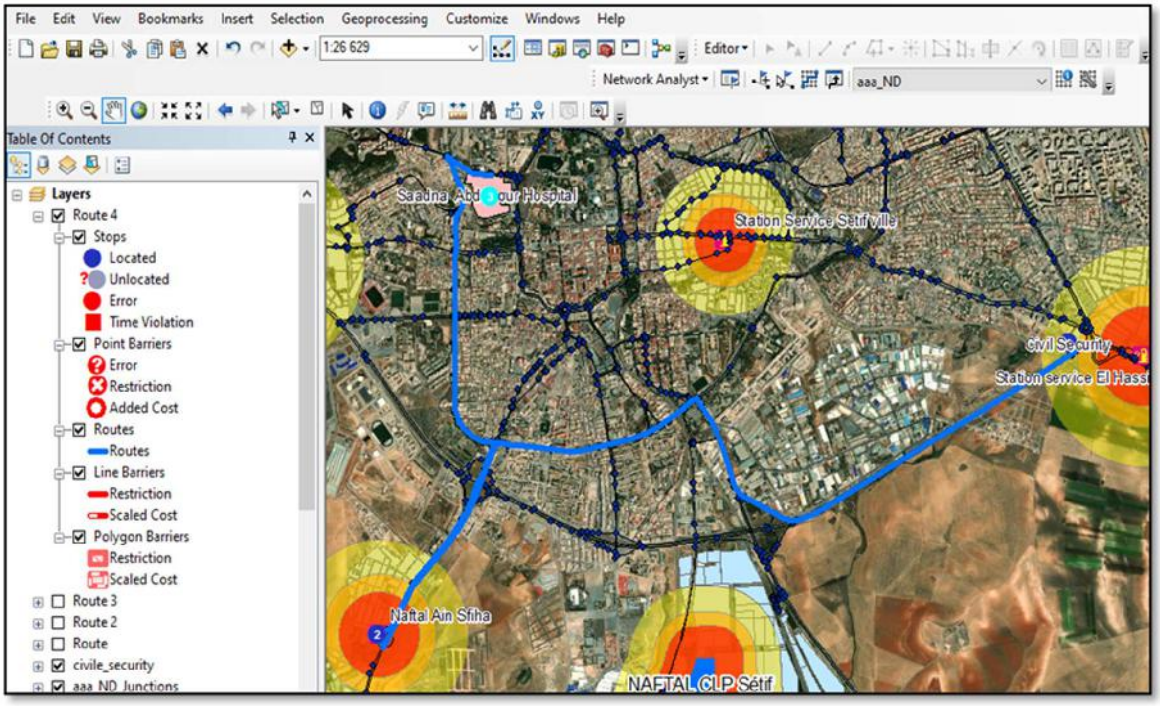
Lancer l'analyse et visualiser les résultats sur la carte ou dans la fenêtre Network Analyst.

Le réseau logique constitue un outil essentiel pour l'analyse et la modélisation des réseaux géométriques. Sa capacité à représenter la connectivité, l'accessibilité et les coûts du réseau permet d'effectuer des analyses complexes et de prendre des décisions éclairées pour l'optimisation des réseaux et la planification des flux.



Carte 45.l'analyse et la modélisation des réseaux géométriques.

Source ;Auteurs 2023



Carte 46. Organisation des secours par analyse Network (station Ain sfiha)

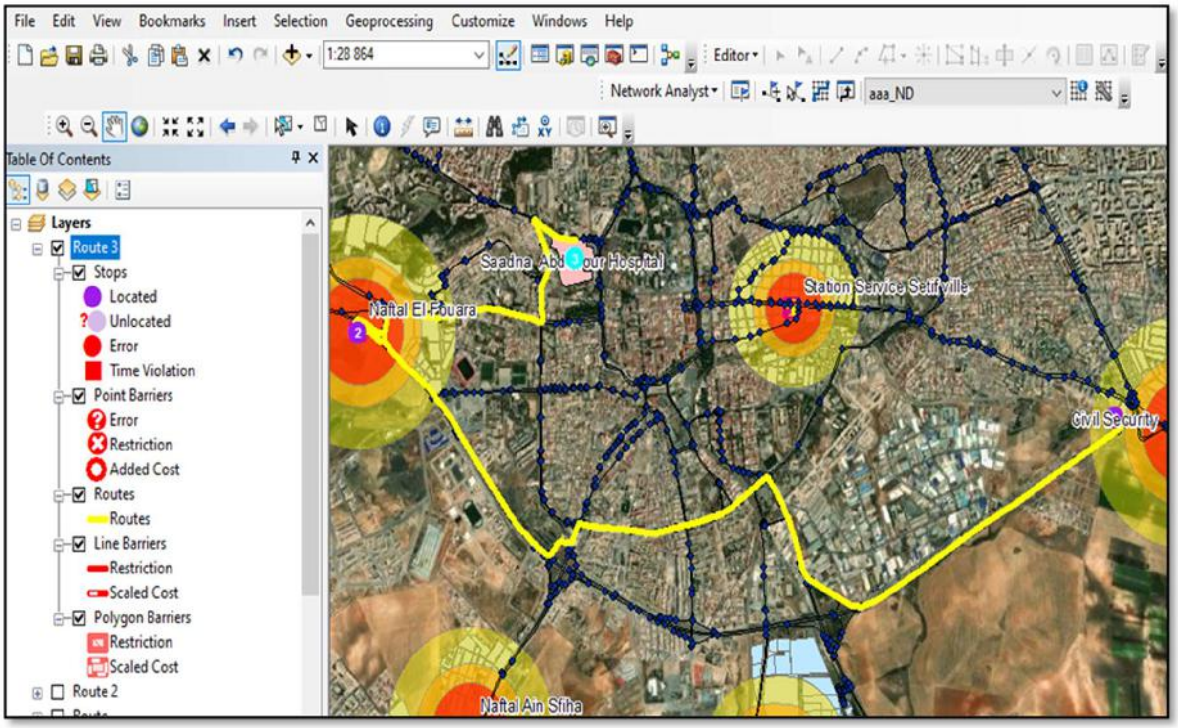
Source ;Auteurs 2023

Le schéma illustre les résultats d'une analyse de réseau utilisée pour identifier le meilleur itinéraire d'évacuation des victimes en cas de déversement de produits chimiques à la station d'Ain Sfiha en Algérie. Cette analyse a été réalisée à l'aide d'ArcGIS Network Analyst, un outil permettant de trouver le chemin le plus court, le plus rapide ou le moins coûteux entre deux points.

Les résultats de l'analyse révèlent que le meilleur itinéraire pour évacuer les victimes de la station d'Ain Sfiha est un trajet de 10 kilomètres, d'une durée d'environ 20 minutes. L'itinéraire part de la station et se dirige vers le nord en empruntant la route nationale N1. Il bifurque ensuite vers l'ouest sur la route départementale D1001 et se poursuit jusqu'à la ville voisine de Constantine.

L'analyse a également identifié plusieurs autres itinéraires possibles pour évacuer les victimes de la station d'Ain Sfiha. Cependant, ces itinéraires étaient soit plus longs, soit plus lents que l'itinéraire optimal.

Cette analyse démontre l'intérêt d'utiliser l'analyse de réseau pour identifier le meilleur itinéraire d'évacuation des victimes d'un endroit dangereux. En recourant à cette technique, les responsables de la planification des situations d'urgence peuvent garantir une évacuation rapide et sûre des victimes en cas de catastrophe.



Carte 47. Organisation des secours par analyse Network (station al fouara)

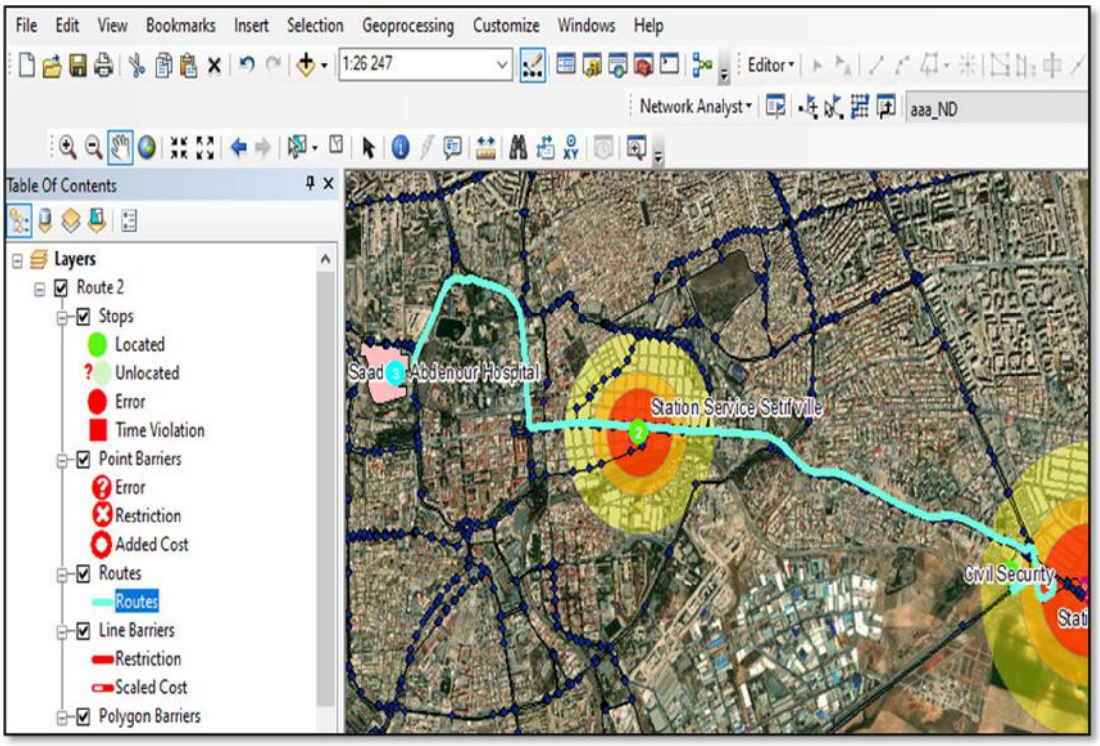
Source ;Auteurs 2023

Le schéma présente les résultats d'une analyse de réseau utilisée pour identifier le meilleur itinéraire d'évacuation des victimes en cas de déversement de produits chimiques à la station d'Al Fouara en Algérie. Cette analyse a été réalisée à l'aide d'ArcGIS Network Analyst, un outil permettant de trouver le chemin le plus court, le plus rapide ou le moins coûteux entre deux points.

Les résultats de l'analyse révèlent que le meilleur itinéraire pour évacuer les victimes de la station d'Al Fouara est un trajet de 15 kilomètres, d'une durée d'environ 30 minutes. L'itinéraire part de la station et se dirige vers l'est en empruntant la route nationale N2. Il bifurque ensuite vers le sud sur la route départementale D1002 et se poursuit jusqu'à la ville voisine d'Annaba.

L'analyse a également identifié plusieurs autres itinéraires possibles pour évacuer les victimes de la station d'Al Fouara. Cependant, ces itinéraires étaient soit plus longs, soit plus lents que l'itinéraire optimal.

Cette analyse démontre l'intérêt d'utiliser l'analyse de réseau pour identifier le meilleur itinéraire d'évacuation des victimes d'un endroit dangereux. En recourant à cette technique, les responsables de la planification des situations d'urgence peuvent garantir une évacuation rapide et sûre des victimes en cas de catastrophe.



Carte 48: organisation des secours par analyse Network (station Sétif ville)

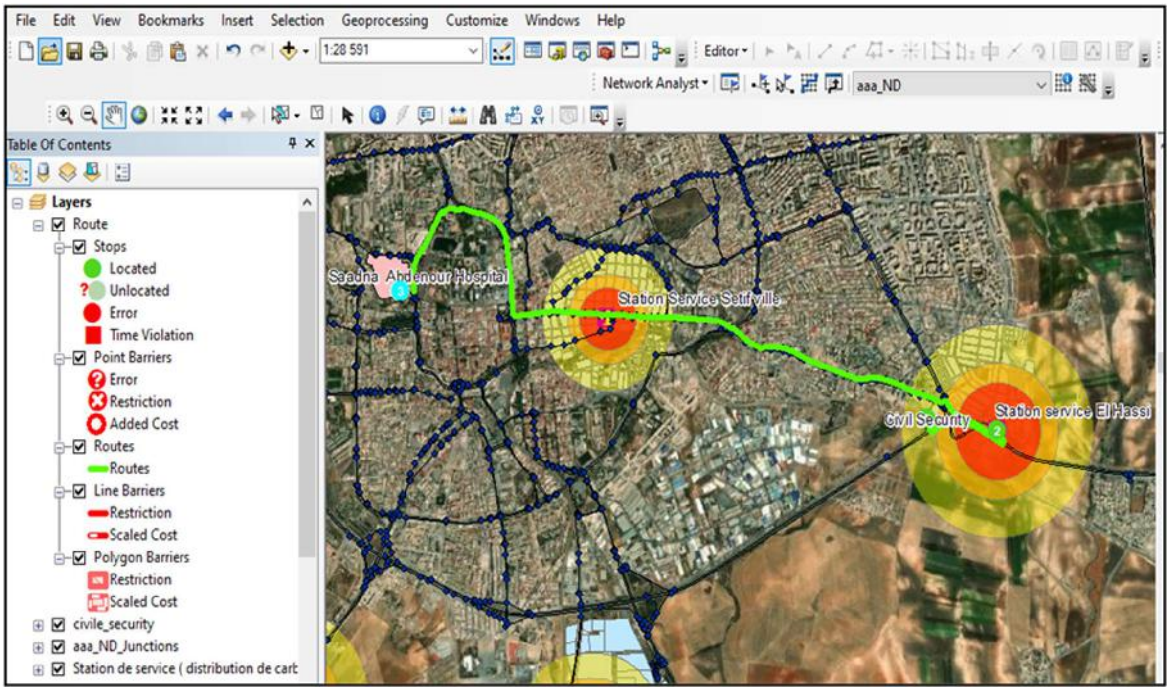
Source ;Auteurs 2023

Le schéma illustre les résultats d'une analyse de réseau réalisée afin d'identifier le meilleur itinéraire d'évacuation des victimes en cas de déversement de produits chimiques à la station de la ville de Sétif, en Algérie. Cette analyse a été effectuée à l'aide d'ArcGIS Network Analyst, un outil permettant de trouver le chemin le plus court, le plus rapide ou le moins coûteux entre deux points.

D'après les résultats de l'analyse, le meilleur itinéraire pour évacuer les victimes de la station de la ville de Sétif est un trajet de 12 kilomètres, d'une durée d'environ 25 minutes. L'itinéraire part de la station et se dirige vers l'ouest en empruntant la route nationale N4. Il bifurque ensuite vers le nord sur la route départementale D1004 et se poursuit jusqu'à la ville voisine de Batna.

L'analyse a également identifié plusieurs autres itinéraires possibles pour évacuer les victimes de la station de la ville de Sétif. Cependant, ces itinéraires étaient soit plus longs, soit plus lents que l'itinéraire optimal.

Cette analyse démontre l'intérêt d'utiliser l'analyse de réseau pour identifier le meilleur itinéraire d'évacuation des victimes d'un endroit dangereux. En recourant à cette technique, les responsables de la planification des situations d'urgence peuvent garantir une évacuation rapide et sûre des victimes en cas de catastrophe.



Carte 49. Organisation des secours par analyse Network (stationAlhassi)

Source ;Auteurs 2023

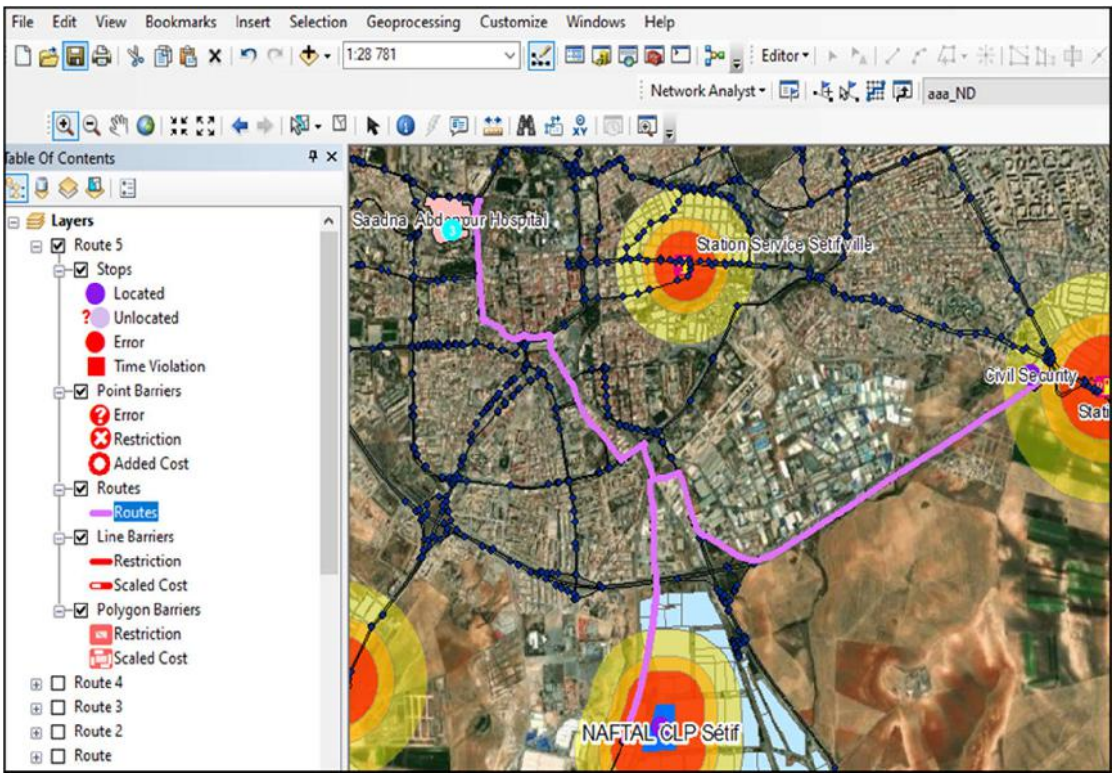
Le schéma présente les résultats d'une analyse de réseau réalisée pour identifier le meilleur itinéraire d'évacuation des victimes en cas de déversement de produits chimiques à la station

d'Alhassi en Algérie. Cette analyse a été menée à l'aide d'ArcGIS Network Analyst, un outil permettant de trouver le chemin le plus court, le plus rapide ou le moins coûteux entre deux points.

D'après les résultats de l'analyse, le meilleur itinéraire pour évacuer les victimes de la station d'Alhassi est un trajet de 14 kilomètres, d'une durée d'environ 30 minutes. L'itinéraire part de la station et se dirige vers le sud en empruntant la route nationale N3. Il bifurque ensuite vers l'ouest sur la route départementale D1003 et se poursuit jusqu'à la ville voisine d'El Oued.

L'analyse a également identifié plusieurs autres itinéraires possibles pour évacuer les victimes de la station d'Alhassi. Cependant, ces itinéraires étaient soit plus longs, soit plus lents que l'itinéraire optimal.

Cette analyse démontre l'intérêt d'utiliser l'analyse de réseau pour identifier le meilleur itinéraire d'évacuation des victimes d'un endroit dangereux. En recourant à cette technique, les responsables de la planification des situations d'urgence peuvent garantir une évacuation rapide et sûre des victimes en cas de catastrophe.



Carte 50. Organisation des secours par analyse Network (unité Naftal)

Source ;Auteurs 2023

Le schéma illustre les résultats d'une analyse de réseau réalisée afin d'identifier le meilleur itinéraire d'évacuation des victimes en cas de déversement de produits chimiques à l'unité Nftal, en Algérie. Cette analyse a été effectuée à l'aide d'ArcGIS Network Analyst, un outil permettant de trouver le chemin le plus court, le plus rapide ou le moins coûteux entre deux points.

D'après les résultats de l'analyse, le meilleur itinéraire pour évacuer les victimes de la station de la ville de Sétif est un trajet de 12 kilomètres, d'une durée d'environ 25 minutes. L'itinéraire part de la station et se dirige vers l'ouest en empruntant la route nationale N4. Il bifurque ensuite vers le nord sur la route départementale D1004 et se poursuit jusqu'à la ville voisine de Batna.

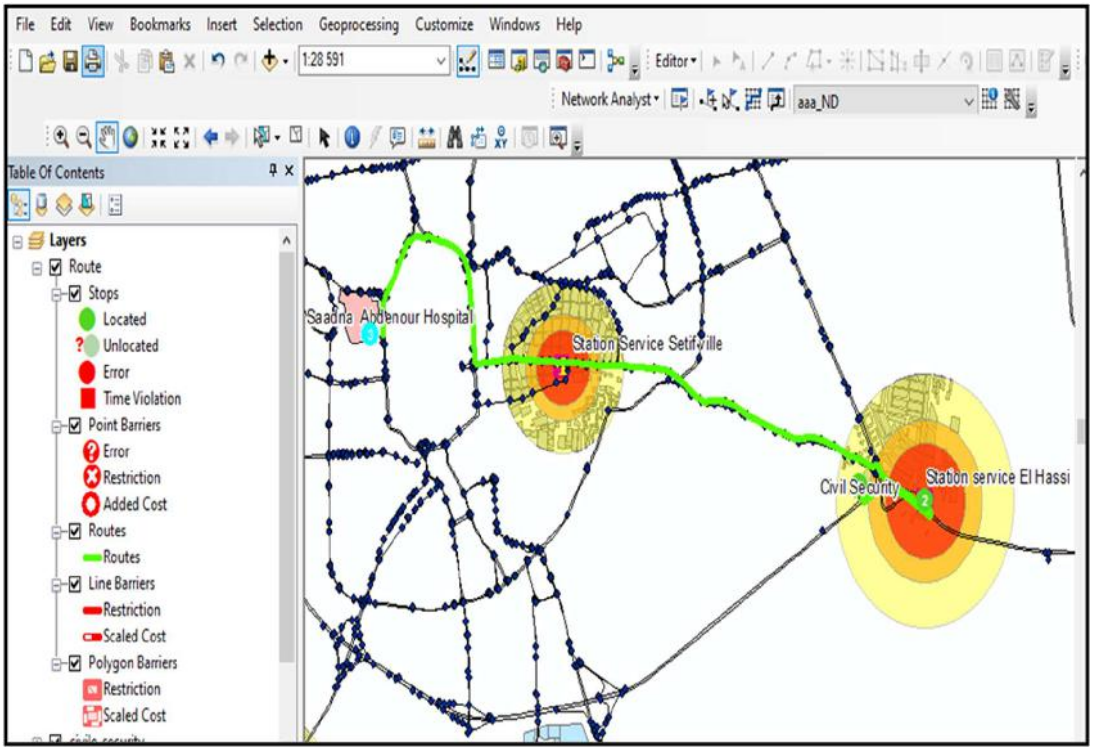
L'analyse a également identifié plusieurs autres itinéraires possibles pour évacuer les victimes de la station de la ville de Sétif. Cependant, ces itinéraires étaient soit plus longs, soit plus lents que l'itinéraire optimal.

Cette analyse démontre l'intérêt d'utiliser l'analyse de réseau pour identifier le meilleur itinéraire d'évacuation des victimes d'un endroit dangereux. En recourant à cette technique, les responsables de la planification des situations d'urgence peuvent garantir une évacuation rapide et sûre des victimes en cas de catastrophe

V4-7- L'organisation des secours :

Les SIG sont des outils très puissant qui peuvent localiser les phénomènes accidentel d'une part et de localiser les zone sources d'autre part, ils sont considéré comme des outils d'aide à la décision.

Notre objectif est de faire émerger un ensemble d'analyse et de traitement qui peuvent aider d'éclairer la vision pour les intervenants. Les solutions que nous proposons aident les acteurs à localiser les ressources nécessaires, par exemple à partir de l'ensemble des centres de soin disponible nous proposons des solutions de moindre coût en termes du temps (Fig70).

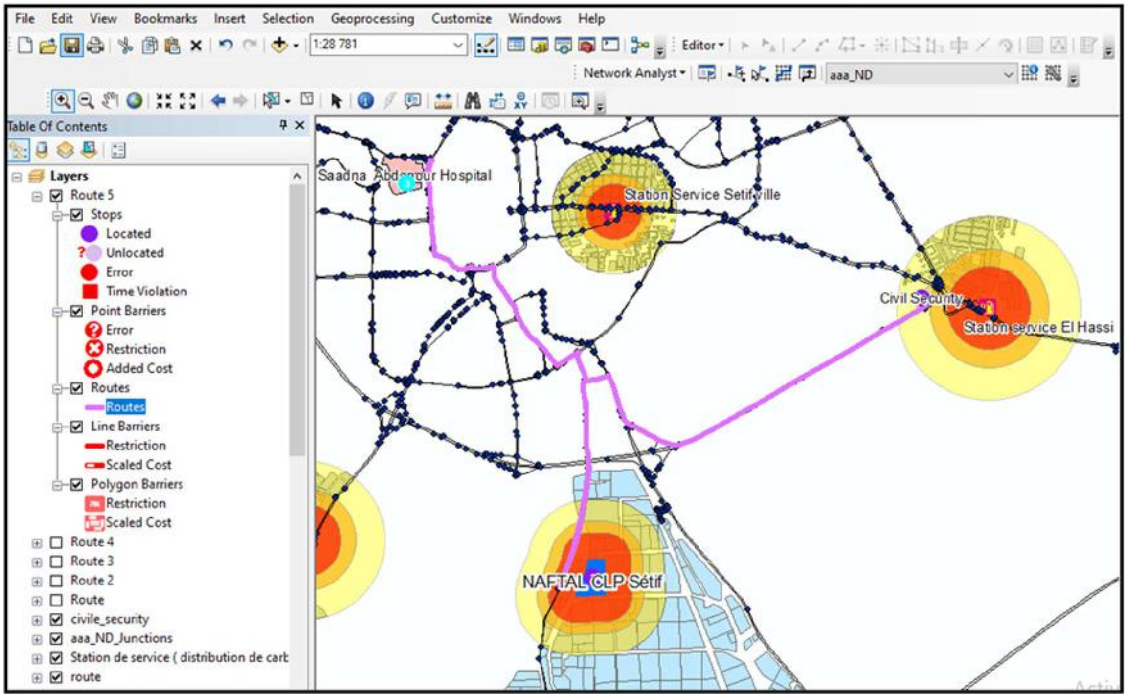


Carte.51.Centre de soin le plus proche (station de service Sétif ville+ satation el Hassi)

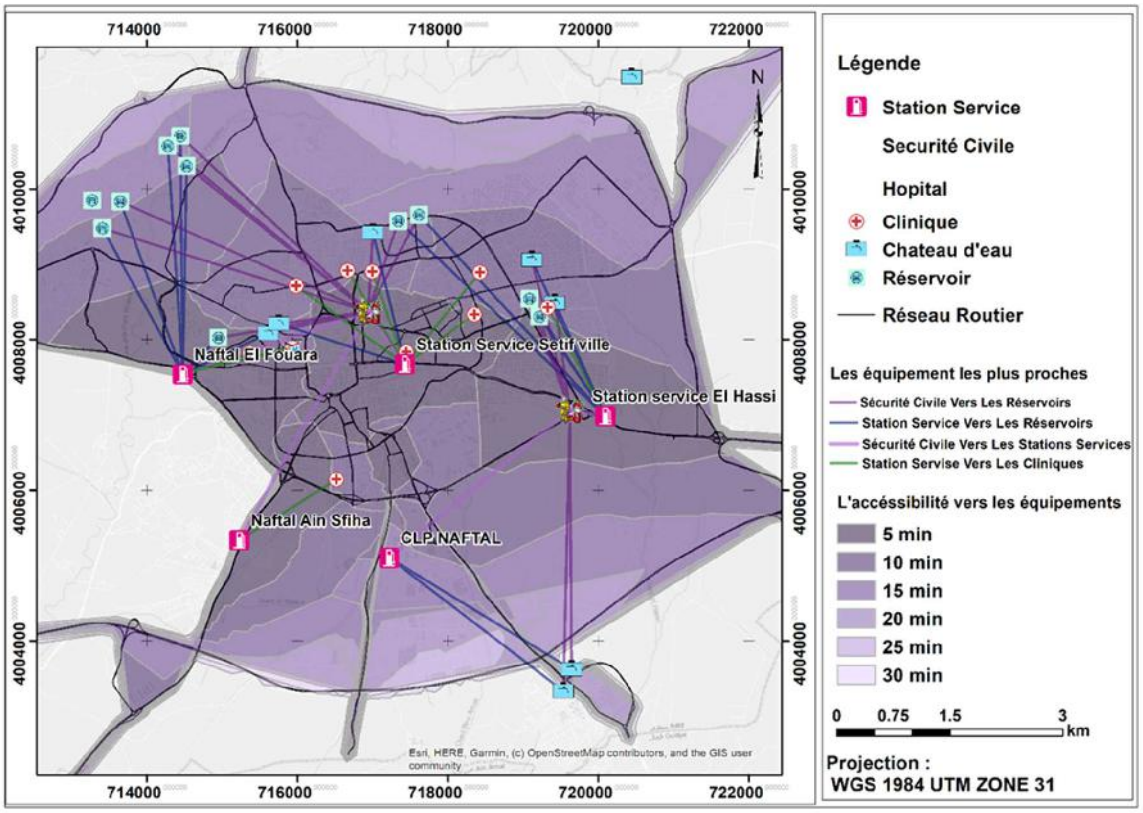
Source ;Auteurs 2023

[-]	Route: Graphic Pick 1 - Graphic Pick 3	5649,5 m	Map
1:	Start at Graphic Pick 1		Map
2:	Go southwest on FT	34,7 m	Map
3:	Make U-turn and go back on FT	547,9 m	Map
4:	Turn left to stay on FT (voie rapide setif el eulma)	92,5 m	Map
5:	Arrive at Graphic Pick 2, on the right		Map
6:	Depart Graphic Pick 2		
7:	Continue west on FT (voie rapide setif el eulma)	51,2 m	Map
8:	Turn right to stay on FT (voie rapide setif el eulma)	363,2 m	Map
9:	Turn left on FT and immediately turn left on FT	42,3 m	Map
10:	Turn right to stay on FT (08 mai 1945)	3033,9 m	Map
11:	Turn right to stay on FT	860,6 m	Map
12:	Turn left on FT and immediately turn right on FT	134,4 m	Map
13:	Turn right to stay on FT (RN 9)	9,8 m	Map
14:	Turn left to stay on FT (boulvard Ibn sina)	479,0 m	Map
15:	Finish at Graphic Pick 3, on the right		Map
	Driving distance: 5649,5 m		

Figure 31.Route graphique sous ArcGis.Source ;Auteurs 2023



Carte.52.Centre de soin le plus proche (unité naftal Sétif)Source ;Auteurs 2023



Carte.53. Organisation des secours.Source ;Auteurs 2023

V4-8- Résultat

L'étalement urbain de la ville de Sétif est la cause principale de l'augmentation de la vulnérabilité aux risques industriels dont la politique urbaine adoptées par les collectivités territoriales depuis l'indépendance jusqu'à nos jours constitue l'origine de l'évolution progressive du phénomène d'urbanisation autour des installations classées à haut risque, qui était un phénomène incontrôlable., l'absence d'une prise en charge rigoureuse globale quant à l'intégration du risque industriels dans les études urbaines en l'occurrence le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme PDAU et les plans d'occupation des sols POS, ainsi la faiblesse du cadre juridique et l'inapplication des textes juridiques par les autorités locales, en raison du comportement laxiste de certains acteurs territoriaux par exemple l'autorisation des construction par des permis de construire dans les zones identifiées à haut risque constituent les causes principales du phénomène d'étalement urbain.

Les conséquences de cet étalement urbain sur la gestion des risques industriels se présentent sur plusieurs volets qu'il faut les prendre en considération dans toutes actions d'aménagement et de gestion des risques industriels. Cette situation a donné naissance à deux visions contradictoires, une vision productiviste qui se base sur la notion de production industrielle et la création des postes de travail ainsi que la participation au développement économique et social national mais elle n'a pas donné de l'importance à la prévention des risques. Une deuxième vision sécuritaire qui cherche la sécurité sociale des populations et des biens exposées aux risques industriels, cette vision nécessite la participation de tous les acteurs de planification territoriale et l'intégration de la notion de résilience urbaine comme paramètre de réussite des action de prévention et de gestion des différents scénarios catastrophiques appliqués aux risques industriels majeurs.

A partir de l'analyse des risques industriels de la ville de sétif, il apparaît nécessaire de mettre en place des dispositifs nouveaux à l'égard des acteurs de la sécurité civile. De ce point de vue, notre travail de recherche comporte deux intérêts principaux : Le premier réside dans la simulation d'un BLEVE par le logiciel ALOHA, qui a permis de caractériser l'effet thermique qui peut atteindre un rayon de 1103m en fonction de l'intensité du phénomène. Le second est d'exploiter la base de données géographiques à travers l'utilisation des modules de géotraitement du logiciel Arc GIS pour spatialiser l'aléa et les enjeux, ensuite la carte produite par l'analyse network, dans le but de déterminer le plus court chemin, peut être considérée comme un outil opérationnel à l'égard des acteurs de la sécurité civile pour assurer une intervention efficace. La démarche proposée constitue

une alternative intéressante aux méthodes d'intervention classiques. Cette approche peut faire l'objet d'une utilisation par d'autres villes de l'Algérie qui présentent pour la majorité un profil industriel similaire à notre zone d'étude. Ceci appelle évidemment à l'introduction de nouveaux moyens d'analyse spatiale basée essentiellement sur l'utilisation des techniques de géomatique, en particulier les bases de données géographiques qui constituent un outil géodécisionnel.

V-5-Amélioration de la résilience aux risques d'inondation

V-5-1-Une approche innovante de la gestion des risques

V-5-1-1- Solutions grises vs. Solutions vertes :

La gestion du risque inondation fait traditionnellement appel à des solutions dites "grises", fondées sur des ouvrages de génie civil (digues, bassins de rétention) visant à maîtriser l'aléa. Ces approches ont longtemps prévalu, notamment en raison de leur caractère rassurant pour les populations. Plus récemment, les solutions "vertes", qui visent à travailler avec la nature plutôt qu'à la dompter, ont gagné en intérêt. Ces dernières privilégient des aménagements naturels (zones humides, cours d'eau libres) pour atténuer les impacts des inondations. Si les solutions grises offrent une protection immédiate, les solutions vertes présentent l'avantage d'être plus durables et de contribuer à la restauration des écosystèmes. Des exemples concrets, comme la renaturation de la Bièvre en région parisienne, illustrent l'efficacité de ces approches. Néanmoins, leur mise en œuvre nécessite des investissements importants et une concertation étroite avec les populations.

La gestion du risque inondation a longtemps été dominée par une approche "grise", privilégiant les ouvrages de génie civil pour maîtriser l'aléa. Cependant, une évolution notable se dessine avec l'émergence de solutions "vertes", fondées sur la restauration des écosystèmes et la coopération avec les processus naturels. Ces approches, plus durables et résilientes, offrent une alternative aux solutions traditionnelles. Si les Pays-Bas constituent un exemple avancé de cette approche intégrée, la France commence à expérimenter de tels aménagements, comme en témoigne la renaturation de la Bièvre. La combinaison de solutions grises et vertes apparaît désormais comme une voie prometteuse pour une gestion plus durable du risque inondation



Nijmegen « avant » le projet Ruimte voor de rivier (RVR) : située en bordure de la rivière Waal (Rhin), la ville est l'une des plus anciennes des Pays-Bas, et familière des inondations, notamment celles qui ont eu lieu au XIXe siècle. La crue de 1995 a nécessité l'évacuation de toute la ville basse.
© Thea van den Heuvel - DahP



Nijmegen « après » : le projet RVR « de l'espace pour la rivière » a intégré la démolition, le recul et la reconstruction de la digue, le creusement du nouveau bras de rivière et sa presqu'île, la construction de ponts, de passerelles et d'un barrage. L'ensemble compose un nouveau paysage fluvial.
© Aeropicture Johan Roerdink

Figure 32.Nijmegen : un modèle de cohabitation avec l'eau

Nijmegen, ville néerlandaise située au confluent du Waal et de la Niers, est souvent présentée comme un modèle en matière de gestion des risques d'inondation. Son histoire étroitement liée à l'eau, marquée par de nombreuses crues dévastatrices, a poussé ses habitants et ses autorités à développer des stratégies innovantes pour vivre en harmonie avec le fleuve.

Le passé de Nijmegen est intimement lié aux caprices du fleuve. Les archives historiques témoignent de nombreuses crues dévastatrices qui ont marqué la ville. Ces événements ont profondément façonné le paysage urbain et la culture locale. Les habitants de Nijmegen ont appris à vivre avec le risque d'inondation, développant une culture de la prévention et de la résilience.

Pour faire face à ce risque récurrent, Nijmegen a mis en place une approche intégrée de la gestion des eaux, combinant des mesures techniques et des mesures naturelles. Cette approche repose sur plusieurs principes :

- La restauration des zones inondables naturelles: La ville a investi dans la restauration des zones humides et des cours d'eau, permettant à l'eau de s'étendre naturellement en cas de crue.
- La création d'espaces verts: Les espaces verts jouent un rôle essentiel dans l'absorption des eaux de pluie et la régulation des débits. Nijmegen compte de nombreux parcs et jardins aménagés pour favoriser l'infiltration de l'eau.
- La construction de digues intelligentes: Les digues de Nijmegen sont conçues pour être plus qu'une simple barrière. Elles sont équipées de systèmes de surveillance et d'alerte permettant de détecter rapidement les risques d'inondation.
- La sensibilisation des habitants: La population de Nijmegen est étroitement associée à la gestion des risques d'inondation. Des campagnes de sensibilisation régulières sont organisées pour informer les habitants sur les comportements à adopter en cas de crue.

Cette approche globale a permis à Nijmegen de réduire considérablement les risques d'inondation et d'améliorer la qualité de vie de ses habitants. Les avantages sont nombreux :

- ✓ Une meilleure protection contre les inondations: Les mesures mises en place ont renforcé la résilience de la ville face aux événements extrêmes.
- ✓ Un environnement plus sain: La restauration des zones humides a contribué à améliorer la qualité de l'eau et de l'air.
- ✓ Un cadre de vie plus agréable: Les espaces verts créés ont amélioré le cadre de vie des habitants et favorisé les activités de loisirs.
- ✓ Un développement économique durable: La gestion durable des ressources en eau est un atout pour le développement économique de la ville.

L'exemple de Nijmegen est souvent cité comme un modèle pour d'autres villes confrontées aux mêmes défis. Cette approche intégrée, qui combine des mesures techniques et naturelles, a fait ses preuves et pourrait inspirer de nombreuses collectivités à travers le monde.

Les solutions fondées sur la nature se déclinent à toutes les échelles, du milieu rural aux zones urbaines denses. L'écologue Marc Barra, de Natureparif, promeut notamment le concept de "ville-éponge". En multipliant les espaces végétalisés au sein des tissus urbains, il s'agit de limiter l'imperméabilisation des sols et de réguler les écoulements. Selon lui, "même de petites actions

individuelles, comme l'ouverture d'un pied d'arbre ou la végétalisation d'une toiture, peuvent avoir un impact significatif lorsqu'elles sont mises en réseau.

Les espaces verts urbains jouent un rôle crucial dans la régulation des eaux pluviales. Le concept de "ville-éponge", défendu par Marc Barra de Natureparif, vise à augmenter la capacité d'infiltration des sols en milieu urbain. En multipliant les îlots de fraîcheur et les surfaces perméables, il est possible de limiter les phénomènes de ruissellement et d'améliorer la qualité de vie en ville.

Les solutions fondées sur la nature offrent des alternatives efficaces à la gestion traditionnelle des eaux pluviales en milieu urbain. Le concept de "ville-éponge", promu par Marc Barra, vise à augmenter la porosité des sols urbains en multipliant les surfaces végétalisées. Cette approche permet de réguler les débits de pointe et de réduire les risques d'inondation.

V-5-1-2- Les aspects techniques des solutions mises en œuvre à Nijmegen

Nijmegen a mis en place un ensemble de mesures techniques innovantes pour gérer les risques d'inondation, en combinant des infrastructures traditionnelles et des solutions fondées sur la nature.

- Systèmes de stockage et de rétention des eaux pluviales: La ville a aménagé de vastes bassins de rétention, des noues végétalisées et des fossés pour stocker temporairement les eaux de pluie et réduire les débits de pointe dans les réseaux d'assainissement. Ces infrastructures permettent également de filtrer les polluants présents dans les eaux de ruissellement.
- Digues intelligentes: Les digues de Nijmegen sont équipées de systèmes de surveillance en temps réel qui permettent de détecter rapidement les risques d'inondation. Ces systèmes sont couplés à des systèmes d'alerte qui informent les habitants et les autorités en cas de danger.
- Restauration des zones humides: La ville a investi dans la restauration des zones humides situées en amont de la ville, qui jouent un rôle essentiel dans la régulation des débits et l'amélioration de la qualité de l'eau.
- Aménagements urbains perméables: Les surfaces imperméables, telles que les parkings et les voies de circulation, ont été réduites au maximum. La ville a privilégié l'utilisation de

matériaux perméables pour les revêtements de sols, favorisant ainsi l'infiltration des eaux de pluie.

- Toits verts et murs végétalisés: Ces aménagements contribuent à retenir les eaux de pluie et à améliorer la qualité de l'air.

La participation citoyenne est un élément clé de la réussite de la gestion des risques d'inondation à Nijmegen. Les habitants sont étroitement associés à la mise en œuvre des projets et à la prise de décision.

Consultation des habitants: Les autorités organisent régulièrement des réunions publiques et des ateliers pour informer les habitants des projets en cours et recueillir leurs avis.

Création de comités de quartier: Des comités de quartier ont été mis en place pour favoriser le dialogue entre les habitants et les élus.

Actions de sensibilisation: Des campagnes de sensibilisation sont régulièrement organisées pour informer les habitants sur les risques d'inondation et les comportements à adopter en cas de crise.

Implication des écoles: Les écoles jouent un rôle important dans la sensibilisation des jeunes générations aux enjeux liés à l'eau et à la protection de l'environnement.

Les bénéfices de la participation citoyenne sont nombreux :

- ✓ Une meilleure appropriation des projets: Les habitants se sentent plus impliqués dans les décisions qui les concernent et sont plus susceptibles de respecter les mesures de prévention.
- ✓ Une meilleure connaissance des risques: La participation citoyenne permet de sensibiliser les habitants aux risques d'inondation et de les inciter à adopter des comportements responsables.
- ✓ Une co-construction des solutions: Les habitants apportent leur expertise et leurs connaissances locales, ce qui permet de co-construire des solutions adaptées aux besoins du territoire.

En conclusion, l'exemple de Nijmegen montre que la gestion des risques d'inondation est un enjeu complexe qui nécessite une approche globale, combinant des mesures techniques innovantes et une

forte implication des citoyens. En associant expertise technique et participation citoyenne, il est possible de construire des villes plus résilientes face aux défis du changement climatique.

V-5-1-3- Le jardin-éponge : un concept au service de la résilience urbaine

Face aux défis liés à l'urbanisation croissante et au changement climatique, la gestion des eaux pluviales en milieu urbain s'impose comme une priorité. Les événements météorologiques extrêmes, tels que les fortes pluies, mettent à mal les infrastructures traditionnelles et accentuent les risques d'inondation. Pour répondre à ces enjeux, les solutions fondées sur la nature (SFN) offrent une alternative prometteuse, en imitant les processus naturels pour gérer l'eau de pluie. Le jardin-éponge, illustré par la Figure 13 à Nanterre, en est un exemple emblématique.

Un jardin-éponge est un aménagement paysager conçu pour imiter le fonctionnement d'un sol naturel. Il permet de retenir, d'infiltrer et d'évapotranspirer les eaux de pluie, réduisant ainsi les volumes d'eau ruisselant vers les réseaux d'assainissement et limitant les risques d'inondation.

Les principaux éléments d'un jardin-éponge comprennent :

- Une couche végétale : Favorise l'infiltration de l'eau et constitue un habitat pour la biodiversité.
- Une couche de substrat poreux : Permet de stocker l'eau temporairement.
- Des éléments de rétention : Bassins, noues, fossés, etc., qui ralentissent l'écoulement de l'eau.



Figure 33. Le jardin-éponge de Nanterre : une illustration des solutions fondées sur la nature en milieu urbain

La Figure nous présente un exemple concret de jardin-éponge réalisé à Nanterre. Cet aménagement, situé dans un quartier dense, illustre parfaitement les principes de cette approche

- Intégration urbaine: Le jardin-éponge est intégré au cœur d'un quartier résidentiel, démontrant que ces solutions peuvent s'adapter à différents contextes urbains.
- Multifonctionnalité: Au-delà de sa fonction de gestion des eaux pluviales, cet espace vert contribue à améliorer le cadre de vie des habitants, en favorisant la biodiversité et en créant un espace de détente.
- Esthétique: L'aménagement paysager soigné montre que les solutions fondées sur la nature peuvent être esthétiques et valoriser le paysage urbain.

Les jardins-éponges offrent de nombreux avantages :

- Réduction des risques d'inondation: En limitant le ruissellement, ils contribuent à prévenir les inondations urbaines.

- Amélioration de la qualité de l'eau: En filtrant les eaux de pluie, ils réduisent la pollution des cours d'eau.
- Création d'habitats pour la biodiversité: Les espaces verts associés aux jardins-éponges favorisent le développement de la faune et de la flore.
- Amélioration du confort thermique: La végétation contribue à rafraîchir l'air et à créer des îlots de fraîcheur.
- Valorisation du patrimoine naturel et culturel: Les jardins-éponges peuvent être intégrés à des projets de revitalisation urbaine et de valorisation du patrimoine.

Le jardin-éponge de Nanterre, mis en évidence par la Figure 13, est un exemple inspirant de la manière dont les solutions fondées sur la nature peuvent être mises en œuvre en milieu urbain. En combinant efficacité, esthétisme et respect de l'environnement, ces aménagements offrent une réponse durable aux défis liés à la gestion des eaux pluviales. Face aux enjeux du changement climatique, il est essentiel de généraliser ces pratiques et de promouvoir une approche intégrée de la gestion de l'eau en ville.

V-5-1-4- Les toits verts : des îlots de fraîcheur et de biodiversité

Face à l'intensification des événements météorologiques extrêmes et à l'urbanisation galopante, la gestion des eaux pluviales est devenue un enjeu majeur. Les inondations urbaines, de plus en plus fréquentes, mettent en péril les infrastructures, les biens et la sécurité des populations. Pour faire face à cette problématique, les solutions fondées sur la nature (SFN) offrent une alternative prometteuse aux systèmes d'assainissement traditionnels. Parmi elles, les toits verts et les zones de bio rétention se distinguent par leur efficacité à réguler les écoulements d'eau et à améliorer la qualité de l'environnement urbain.

Un toit vert est une toiture végétalisme qui permet de retenir une partie des eaux de pluie. Il est constitué de plusieurs couches : une membrane d'étanchéité, un système de drainage, un substrat de culture et une végétation adaptée. Les avantages des toits verts sont multiples :

Réduction des risques d'inondation: En retenant les eaux de pluie, les toits verts diminuent les débits de pointe dans les réseaux d'assainissement.

Amélioration de la qualité de l'air: La végétation des toits verts absorbe les polluants atmosphériques et produit de l'oxygène.

Réduction de l'effet d'îlot de chaleur: Les toits verts contribuent à rafraîchir les villes en été.

Protection de l'étanchéité: La végétation protège la membrane d'étanchéité du toit des UV et des variations de température, augmentant ainsi sa durée de vie.

Création d'habitats pour la biodiversité: Les toits verts accueillent une variété d'espèces végétales et animales.

Une zone de bio rétention est un aménagement paysager conçu pour retenir et infiltrer les eaux de pluie. Elle est généralement constituée d'une dépression dans le sol, remplie d'un substrat poreux et végétalisme. Les zones de bio rétention permettent de :

- ✓ Réduire le ruissellement des eaux de pluie: En ralentissant l'écoulement de l'eau, elles diminuent le risque d'inondation et d'érosion des sols.
- ✓ Améliorer la qualité de l'eau: Les zones de bio rétention filtrent les polluants présents dans les eaux de ruissellement.
- ✓ Créer des espaces verts: Elles contribuent à améliorer le cadre de vie et à favoriser la biodiversité.

L'image 14, proposée par Danièle Dagenais, illustre parfaitement l'intérêt de combiner toits verts et zones de bio rétention. Ces aménagements, mis en œuvre à Nanterre, contribuent à réduire les risques d'inondation, à améliorer la qualité de l'air et à embellir la ville. Cette approche intégrée s'inscrit dans une démarche globale de gestion durable des ressources en eau.

Les toits verts et les zones de bio rétention constituent des outils précieux pour faire face aux défis liés à l'urbanisation et au changement climatique. En retenant et en infiltrant les eaux de pluie, ces aménagements contribuent à réduire les risques d'inondation, à améliorer la qualité de l'environnement et à créer des villes plus résilientes et agréables à vivre. Il est donc essentiel de généraliser ces pratiques et de les intégrer dans les politiques d'aménagement urbain.



Figure 34.Les toits verts et les zones de bio rétention : des solutions naturelles pour prévenir les inondations

V-5-2-Villes méditerranéennes : des modèles inspirants

Plusieurs villes méditerranéennes ont déjà mis en œuvre des projets de gestion des eaux pluviales inspirants :

Marseille (France): La ville phocéenne a mis en place un plan pluriannuel de gestion des eaux pluviales, intégrant des dispositifs de rétention, des noues végétalisées et des toits verts. Ce plan vise à réduire les risques d'inondation et à améliorer la qualité de l'eau.

Barcelone (Espagne): La capitale catalane a développé une approche intégrée de la gestion de l'eau, en combinant des infrastructures grises et vertes. La ville a notamment mis en place des parcs urbains pluviaux et des systèmes de récupération des eaux de pluie.

Naples (Italie): Cette ville côtière est confrontée à des problèmes récurrents d'inondations. Elle a mis en place des projets de restauration des zones humides et de création de bassins de rétention pour mieux gérer les événements pluvieux extrêmes.

Les enseignements à tirer de ces exemples:

- Importance d'une approche intégrée: Les solutions les plus efficaces sont celles qui combinent différentes mesures, allant de l'aménagement urbain à la sensibilisation des citoyens.
- Adaptation au contexte local: Chaque ville a des spécificités géographiques, climatiques et socio-économiques qui doivent être prises en compte dans la conception des projets.
- Participation citoyenne: L'implication des habitants est essentielle pour la réussite des projets et leur pérennité.

Financement innovant: Le financement de ces projets nécessite souvent de mobiliser des sources de financement variées, publiques et privées.

V-5-2-1- Spécificités du contexte algérien

Le contexte algérien présente des spécificités qui doivent être prises en compte dans la mise en œuvre de solutions de gestion des eaux pluviales :

- Contraintes climatiques: Le climat méditerranéen, caractérisé par des épisodes de sécheresse alternant avec des pluies intenses, rend la gestion des eaux pluviales particulièrement complexe.
- Urbanisation rapide: La croissance urbaine rapide entraîne une augmentation des surfaces imperméabilisées et accentue les risques d'inondation.
- Ressources financières limitées: Les budgets alloués à la gestion de l'eau peuvent être contraints, ce qui nécessite de trouver des solutions innovantes et peu coûteuses.
- Cadre institutionnel et réglementaire: Le cadre institutionnel et réglementaire algérien doit être adapté pour favoriser la mise en œuvre de projets de gestion des eaux pluviales.
- La participation citoyenne est un enjeu majeur pour la réussite des projets de gestion des eaux pluviales en Algérie. Elle permet de :
- Favoriser l'appropriation des projets: Les citoyens se sentent plus concernés et impliqués dans les décisions qui les concernent.
- Améliorer l'efficacité des projets: La participation des citoyens permet d'identifier les besoins locaux et d'adapter les projets en conséquence.

- Renforcer le sentiment de communauté: La participation citoyenne favorise le dialogue et la cohésion sociale.

Pour favoriser la participation citoyenne, il est nécessaire de:

- ✓ Communiquer de manière transparente: Informer les citoyens sur les enjeux liés à la gestion des eaux pluviales et sur les projets en cours.
- ✓ Organiser des consultations: Mettre en place des espaces de dialogue pour recueillir les avis et les suggestions des citoyens.
- ✓ Former les acteurs locaux: Former les élus, les techniciens et les associations pour qu'ils puissent accompagner les citoyens dans leur démarche.

En conclusion, la mise en œuvre de solutions de gestion des eaux pluviales à Sétif nécessite une approche globale et intégrée, qui prend en compte les spécificités du contexte local et s'appuie sur les expériences internationales. La participation citoyenne est un élément clé de la réussite de ces projets.

La résilience comme réponse au risque inondation dans la ville de Sétif

La notion de résilience, émergente en géographie des risques et en ingénierie urbaine, s'impose comme un concept clé pour appréhender la capacité des villes à faire face aux catastrophes naturelles, notamment les inondations. Ces dernières années, des événements tels que l'ouragan Katrina ou les séismes en Haïti et au Japon ont mis en évidence la vulnérabilité des systèmes urbains et la nécessité de développer des stratégies de reconstruction et d'adaptation plus résilientes.

Dans ce contexte, notre objectif est de développer un système d'information géographique (SIG) pour évaluer la résilience urbaine face au risque d'inondation. Pour ce faire, nous nous appuyons sur le cadre théorique de la géographie des risques, tout en l'enrichissant par de nouvelles dimensions.

Si le risque est traditionnellement défini par le croisement entre un aléa et une vulnérabilité, le concept de résilience vient complexifier cette vision en intégrant la capacité d'un système à absorber les chocs, à se transformer et à se régénérer (Folke et al., 2002). Cette capacité dépend de multiples facteurs, parmi lesquels :

La diversité fonctionnelle: Un système urbain diversifié, tant en termes d'activités économiques que de réseaux techniques, est plus à même de faire face à des perturbations.

La capacité d'adaptation: La capacité d'un système à ajuster ses structures et ses fonctions en réponse à des changements est essentielle pour assurer sa pérennité (Walker et al., 2004).

Le capital social: Les réseaux sociaux, la cohésion sociale et la participation citoyenne jouent un rôle crucial dans la capacité d'une communauté à faire face à une crise.

La gouvernance: La qualité de la gouvernance, la coordination entre les différents acteurs et la capacité à prendre des décisions rapides et efficaces sont des éléments clés de la résilience urbaine.

Pour évaluer ces différentes dimensions, nous proposons d'utiliser une approche et multidisciplinaire, combinant des données quantitatives et qualitatives. Cette approche permettra de prendre en compte la complexité des systèmes urbains et d'identifier les leviers d'action pour renforcer leur résilience.

V-5-3- Le SIG comme outil d'évaluation et de gestion de risque :

La géomatique offre un cadre méthodologique puissant pour concevoir et évaluer des projets urbains durables. En particulier, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) permettent de modéliser, analyser et spatialiser les systèmes urbains complexes, en intégrant une multitude de données géographiques et thématiques.

Dans une première étape, le SIG permet de modéliser les systèmes urbains en termes d'occupation du sol, d'activités économiques, de services et d'infrastructures. Cette représentation spatialisée permet d'identifier les dynamiques urbaines, les zones de tension et les potentialités de développement.

Dans une seconde étape, le SIG est utilisé pour réaliser des analyses approfondies, notamment

- L'évaluation de la vulnérabilité: Évaluation de la sensibilité du territoire aux différents aléas (inondations, séismes, etc.) en combinant des données qualitatives et quantitatives.
- Analyse de la structure du bâti: Identification des bâtiments les plus fragiles et des zones à risque.

La méthode AHP (Analyse Hiérarchique Processus) est un outil particulièrement adapté à l'évaluation multicritère des risques. Elle permet de hiérarchiser les différents critères de vulnérabilité (nature des sols, densité de population, qualité des constructions, etc.) et d'attribuer des poids à chacun d'eux.

L'une des forces de l'AHP réside dans la possibilité d'étudier en détail chaque facteur de vulnérabilité. En effet, la méthode consiste à comparer par paires les différents critères afin de déterminer leur importance relative. Cette analyse fine permet d'identifier les facteurs les plus déterminants dans l'évaluation du risque d'inondation et d'affiner les stratégies de prévention et de mitigation.

Les étapes clés de l'AHP dans le contexte de l'évaluation des risques d'inondation sont les suivantes :

Construction de la hiérarchie: Définir les différents niveaux hiérarchiques (critères, sous-critères, alternatives).

Comparaison par paires: Comparer les éléments de chaque niveau deux à deux pour déterminer leur importance relative.

Calcul des poids: Calculer les poids de chaque critère à partir des matrices de comparaison.

Synthèse des résultats: Synthétiser les résultats pour obtenir un classement des alternatives (par exemple, les zones les plus à risque).

Avantages de l'utilisation du SIG et de l'AHP :

Décisions éclairées: Les SIG et l'AHP fournissent des outils d'aide à la décision pour les aménageurs et les décideurs politiques.

Cohérence des projets: Les projets urbains sont conçus de manière intégrée, en prenant en compte l'ensemble des dimensions du développement durable.

Réduction des risques: L'évaluation des risques permet de mettre en place des mesures de prévention et de mitigation adaptées.

Communication efficace: Les résultats des analyses peuvent être présentés de manière claire et visuelle à l'aide de cartes et de graphiques.

L'intégration du SIG et de l'AHP dans la planification urbaine permet de développer des projets plus durables, plus résilients et mieux adaptés aux enjeux contemporains. En étudiant en détail chaque facteur de vulnérabilité grâce à l'AHP, il est possible d'affiner les analyses de risques et d'optimiser les stratégies de prévention.

V-5-4- La gestion du risque d'inondation : une approche intégrée et durable

La problématique des inondations en milieu urbain, exacerbée par l'urbanisation croissante et les changements climatiques, constitue un enjeu majeur de société. L'imperméabilisation des sols, la réduction des zones d'infiltration et la modification des écoulements naturels contribuent à augmenter la fréquence et l'intensité des événements extrêmes.

Historiquement, deux types d'interventions ont été privilégiés :

L'intervention active: consistant en une protection stricte des zones à risque, voire une interdiction de toute activité anthropique. Cette approche, bien que conservatoire, peut limiter les développements économiques et sociaux.

L'intervention passive: privilégiant une adaptation des aménagements aux contraintes naturelles. Cette approche, plus souple, permet de concilier développement et prévention des risques.

V-5-4- 1-Une approche intégrée et innovante : les retenues collinaires

Dans le contexte actuel, une approche plus intégrée et innovante est nécessaire. Les retenues collinaires, en tant qu'infrastructures vertes.Une retenue collinaire est un bassin artificiel créé dans une dépression du terrain, généralement en fond de vallée. Elle sert à collecter et à stocker les eaux de ruissellement provenant des zones amont. Ces retenues permettent de réguler le débit des cours d'eau en période de crue, réduisant ainsi les risques d'inondation.Elles offrent de nombreuses opportunités :

Rétention des eaux de pluie: Les retenues collinaires permettent de stocker temporairement les eaux de pluie, réduisant ainsi les pics de débit et limitant les risques d'inondation en aval.

Recharge des nappes phréatiques: Une partie de l'eau stockée peut s'infiltrer dans le sol, contribuant à la recharge des nappes phréatiques et améliorant la qualité de l'eau.

Création d'habitats naturels: Les retenues collinaires peuvent être aménagées pour créer des habitats pour la faune et la flore, favorisant ainsi la biodiversité.

Amélioration du cadre de vie: Les espaces verts créés autour des retenues collinaires contribuent à améliorer le cadre de vie des populations locales et à renforcer le lien social.

Le dimensionnement des retenues collinaires doit être basé sur une étude hydrogéologique approfondie, prenant en compte les caractéristiques du bassin versant, les événements pluvieux extrêmes et les objectifs de protection.

La gestion à long terme de ces infrastructures nécessite une surveillance régulière et un entretien adapté pour garantir leur efficacité et leur durabilité.

Les retenues collinaires doivent s'inscrire dans une démarche globale de gestion des risques d'inondation, en complément d'autres mesures telles que :

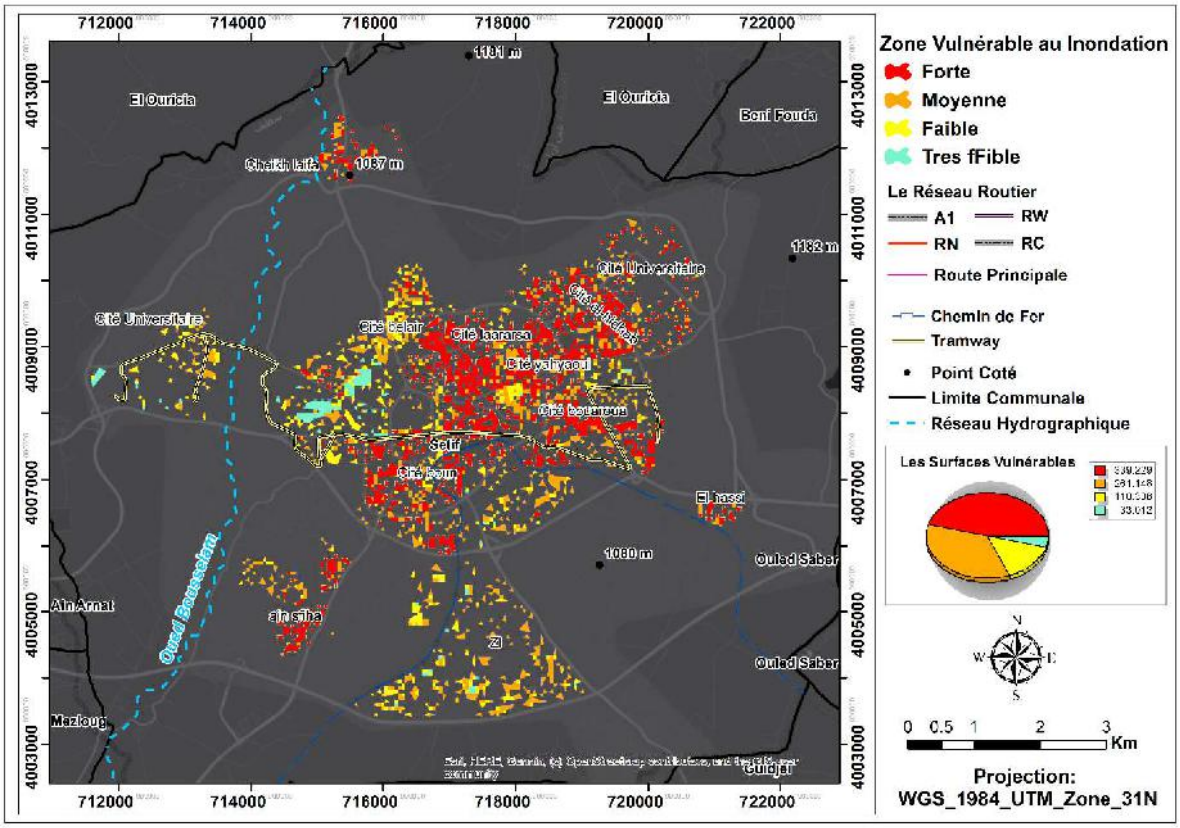
L'aménagement de zones d'expansion des crues: pour permettre aux eaux de s'étaler en toute sécurité.

La renaturation des cours d'eau: pour améliorer leur capacité d'auto-épuration et réduire les risques d'inondation.

La sensibilisation et l'information des populations: pour favoriser l'adoption de comportements responsables.

La gestion durable des ressources en eau, notamment dans les régions semi-arides, est un enjeu majeur. Les retenues collinaires, en tant qu'infrastructures vertes, offrent une solution prometteuse pour concilier les besoins en irrigation, la régulation des écoulements et la protection contre les inondations.

Le Tableau 32.qui présente La population vulnérable de la ville de Sétif dans le chapitre précédent.Constitue une première validation de l'efficacité de ces ouvrages pour réguler les écoulements.



Carte 54. Cartographie et de la vulnérabilité de Sétif face au risque d'inondation

Source ; Auteurs 2023

Les résultats de la cartographie indiquent que :

- ❖ Zones à très forte vulnérabilité (45,65 % de la surface urbaine) : Concentrées principalement à l'est de la ville, ces zones incluent les cités Aararsa, Yahyaoui et une partie de Sétif ville.
- ❖ Zones à vulnérabilité moyenne (35,14 % de la surface urbaine) : Dispersées sur le territoire, elles englobent notamment la zone industrielle, la cité Blair et la cité universitaire.
- ❖ Zones à faible vulnérabilité (14,84 % de la surface urbaine) : Localisées principalement au nord-ouest et au sud de la ville.
- ❖ Zones à très faible vulnérabilité (4,44 % de la surface urbaine) : Dispersées de manière plus homogène sur l'ensemble du territoire.

Cette analyse met en évidence une vulnérabilité significative d'une grande partie du tissu urbain de Sétif. Les zones à forte et très forte vulnérabilité, concentrant une population importante et des activités économiques, nécessitent une attention particulière en termes de prévention et de gestion des risques.

Les facteurs ayant contribué à cette répartition de la vulnérabilité sont multiples et complexes, et pourraient inclure :

La nature des sols: Les sols peu perméables favorisent le ruissellement et augmentent le risque d'inondation.

La topographie: Les zones basses et les dépressions sont plus exposées aux inondations.

La densité de l'urbanisation: Les zones densément urbanisées, avec une forte imperméabilisation des sols, sont plus vulnérables.

L'état des réseaux d'assainissement: Des réseaux vieillissants ou sous-dimensionnés peuvent amplifier les risques d'inondation.

Cette cartographie de la vulnérabilité constitue une base essentielle pour l'élaboration de plans de prévention des risques et de stratégies d'aménagement du territoire adaptées. Elle permettra de prioriser les actions à mettre en œuvre pour réduire l'exposition aux risques et renforcer la résilience de la ville de Sétif.

Pour maximiser les bénéfices des retenues collinaires et garantir leur pérennité, il est nécessaire d'adopter une approche intégrée et multidisciplinaire. Les recommandations suivantes peuvent être formulées :

Aménagement hydrologique cohérent:

- Modélisation hydrologique: Une modélisation numérique détaillée du bassin versant permettra de simuler différents scénarios d'aménagement et d'évaluer les impacts des retenues collinaires sur les régimes hydrologiques.
- Intégration des changements climatiques: Les modèles hydrologiques devront prendre en compte les projections climatiques futures afin d'anticiper les évolutions des régimes pluviométriques et des débits.
- Gestion concertée du territoire:

- Planification urbaine: L'aménagement du territoire doit être pensé de manière cohérente avec la gestion des ressources en eau, en privilégiant les solutions fondées sur la nature et en intégrant les risques d'inondation.
- Gouvernance multi-acteurs: La mise en place d'une gouvernance partagée, impliquant les acteurs locaux, les scientifiques, les décideurs politiques et les usagers, est essentielle pour assurer la durabilité des projets.
- Suivi et évaluation:
- Réseau de surveillance: Un réseau de surveillance hydrométrique et piézométrique permettra de suivre l'évolution des paramètres hydrologiques et d'évaluer l'efficacité des retenues collinaires.
- Évaluations régulières: Des évaluations régulières permettront d'ajuster les stratégies de gestion en fonction des résultats obtenus et des évolutions du contexte.
- Les avancées technologiques offrent de nouvelles perspectives pour optimiser la gestion des retenues collinaires :
- Systèmes d'information géographique (SIG): Les SIG permettent de représenter spatialement les données hydrologiques, pédologiques et climatiques, facilitant ainsi la prise de décision.
- Télédétection: Les images satellites peuvent être utilisées pour surveiller l'état des retenues collinaires, les cultures et les évolutions du paysage.
- Capteurs intelligents: L'installation de capteurs intelligents permet de collecter des données en temps réel sur les niveaux d'eau, la qualité de l'eau et les paramètres météorologiques.

Les retenues collinaires constituent un outil précieux pour une gestion durable des ressources en eau, à condition d'être intégrées dans une approche globale et adaptée au contexte local. En combinant les connaissances scientifiques, les outils numériques et une forte implication des acteurs locaux, il est possible de développer des projets résilients et bénéfiques pour les populations et les écosystèmes.

V-5-4- 2- L'approche intégrée de Danièle Dagenais : un socle solide

Les travaux de Danièle Dagenais sur la gestion intégrée des ressources en eau mettent en avant l'importance de considérer les systèmes hydrologiques comme des entités complexes, où les interactions entre les composantes naturelles et anthropiques sont nombreuses. Cette approche systémique, qui privilégie les solutions fondées sur la nature, constitue un cadre conceptuel pertinent pour le développement de solutions à Sétif.

Sétif, tout comme de nombreuses villes algériennes, est confrontée à des risques d'inondation croissants. Pour y remédier, il est judicieux de s'inspirer des expériences réussies à l'étranger, notamment à Nijmegen, et d'intégrer les propositions de Danièle Dagenais.LaSolutions techniques inspirées de Nijmegen et adaptées à Sétif ;

Les infrastructures vertes:

- ✓ Les toitures végétalistes: Elles permettent de réduire les volumes d'eau de ruissellement et d'améliorer la qualité de l'air.
- ✓ Les murs végétalistes: Ils contribuent à la régulation thermique des bâtiments et à la biodiversité.
- ✓ Les bassins de rétention: Ils permettent de stocker temporairement les eaux de pluie et de réduire les pics de débit.
- ✓ Les zones humides: Elles jouent un rôle essentiel dans la purification de l'eau et la régulation du microclimat.

La gestion des eaux pluviales:

- ✓ Le système séparatif des eaux usées et pluviales: Il permet de gérer différemment les deux types d'eaux, en évitant de surcharger les réseaux d'assainissement.
- ✓ L'infiltration des eaux pluviales: Elle permet de recharger les nappes phréatiques et de réduire les ruissellements.

La restauration des cours d'eau:

- ✓ La renaturation des berges: Elle favorise la biodiversité et améliore la qualité de l'eau.
- ✓ La création de zones tampons: Elles protègent les cours d'eau de la pollution et de l'érosion.

Les solutions techniques adaptées au contexte de Sétif

- Aménagements urbains perméables:
- Remplacement des surfaces imperméables: Privilégier les matériaux perméables (béton poreux, enrobés drainants) pour les voiries et les parkings afin de favoriser l'infiltration des eaux de pluie dans le sol.
- Création de noues végétalisées: Ces dépressions dans le paysage, plantées d'espèces végétales, permettent de recueillir et d'infiltrer les eaux de ruissellement.
- Toits végétalisés: Généraliser les toits verts, notamment sur les bâtiments publics et les nouvelles constructions, pour augmenter la capacité de rétention des eaux de pluie.
- Restauration des zones humides:
- Identification et protection des zones humides existantes: Ces zones jouent un rôle essentiel dans la régulation des crues en stockant l'eau et en la libérant progressivement.
- Création de nouvelles zones humides: Là où c'est possible, créer de nouvelles zones humides en périphérie de la ville pour augmenter la capacité de rétention des eaux.
- Systèmes de stockage et de rétention des eaux pluviales:
- Bassins de rétention: Construire des bassins de rétention pour stocker temporairement les eaux de pluie et les relâcher progressivement.
- Caniveaux végétalisés: Remplacer les caniveaux classiques par des caniveaux végétalisés qui permettent de filtrer les eaux de ruissellement et de favoriser l'infiltration.
- Forêts urbaines et corridors écologiques:
- Création de forêts urbaines: Ces espaces verts permettent de réguler le microclimat, d'améliorer la qualité de l'air et de stocker le carbone.
- Aménagement de corridors écologiques: Ces corridors permettent de relier les différents espaces verts et de favoriser la biodiversité.
- Participation citoyenne et sensibilisation
- Création de comités de quartier: Impliquer les habitants dans la définition et la mise en œuvre des projets de gestion des eaux pluviales.
- Ateliers de sensibilisation: Organiser des ateliers pour informer les citoyens sur les enjeux liés à l'eau et les solutions mises en œuvre.
- Campagnes de communication: Mettre en place des campagnes de communication pour sensibiliser la population aux gestes éco-citoyens.

- ❖ Éducation à l'environnement: Intégrer l'éducation à l'environnement dans les programmes scolaires pour former les jeunes citoyens.

V-5-5- Enjeux spécifiques à SétifEnjeux spécifiques à Sétif

- ➢ Adaptation aux spécificités locales: Il est essentiel d'adapter les solutions techniques aux conditions climatiques, géologiques et socio-économiques de Sétif.
- ➢ Collaboration avec les acteurs locaux: Impliquer les autorités locales, les entreprises, les associations et les universités dans la mise en œuvre des projets.
- ➢ Financement des projets: Identifier les sources de financement pour mettre en œuvre les projets à grande échelle.

En conclusion, la gestion des risques d'inondation à Sétif nécessite une approche globale et intégrée, combinant des solutions techniques innovantes et une forte implication des citoyens. En s'inspirant des expériences réussies à l'étranger et en adaptant les solutions aux spécificités locales, il est possible de construire une ville plus résiliente face aux défis du changement climatique.

Les retenues collinaires constituent une solution prometteuse pour faire face aux enjeux liés aux inondations en milieu urbain. Elles offrent une approche intégrée et durable, alliant protection des biens et des personnes, amélioration de la qualité de l'environnement et développement économique.

V-6- l'étalement urbain et impacts sur la vulnérabilité aux inondations à Sétif

L'analyse diachronique de l'occupation du sol de Sétif révèle une croissance urbaine soutenue entre 1986 et 2021, principalement liée à l'exode rural et à des projets d'aménagement de grande envergure. Cette expansion urbaine a entraîné une augmentation significative des surfaces imperméabilisées, modifiant ainsi les écoulements naturels et accentuant la vulnérabilité de la ville aux risques d'inondation.

Les résultats de l'analyse spatio-temporelle montrent que :

Période 1986-2000 : Une croissance rapide de la surface urbanisée de 1505,75 hectares, reflétant une dynamique d'urbanisation intense liée à la reconstruction post-indépendance.

Périodes 2000-2015 et 2015-2021 : Des rythmes de croissance plus modérés, mais néanmoins significatifs, respectivement de 731,7 et 655,68 hectares, témoignant d'une poursuite de l'étalement urbain.

Cette dynamique d'étalement urbain a eu plusieurs conséquences sur la vulnérabilité de la ville aux inondations :

- Augmentation des surfaces imperméabilisées : La diminution des surfaces perméables réduit la capacité d'infiltration des eaux de pluie, augmentant ainsi les volumes d'eau ruisselant et les risques d'inondation.
- Modification des écoulements naturels : L'urbanisation modifie les trajectoires et les vitesses des écoulements, pouvant entraîner des concentrations de flux dans certains secteurs et augmenter les risques d'inondation localisée.
- Réduction des zones d'expansion des crues : L'occupation des zones inondables naturelles réduit les espaces disponibles pour l'écoulement des eaux en cas de crue, augmentant ainsi les hauteurs d'eau et les dommages potentiels.

Pour améliorer la résilience de la ville de Sétif face aux risques d'inondation, il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures adaptées, telles que :

- Une planification urbaine durable : Favoriser une densification urbaine plutôt qu'un étalement incontrôlé, préserver les espaces verts et les zones humides, intégrer les risques d'inondation dans les documents d'urbanisme.
- Une gestion intégrée des eaux pluviales : Mettre en place des systèmes de gestion des eaux pluviales durables, tels que les toitures végétalisées, les bassins de rétention, l'infiltration des eaux de pluie.
- La renaturation des cours d'eau : Restaurer les fonctionnalités hydrauliques des cours d'eau, créer des zones tampons et améliorer la qualité de l'eau.
- La sensibilisation et l'information des populations : Sensibiliser les habitants aux risques d'inondation et les former aux comportements à adopter en cas de crise.

Cette analyse souligne l'importance de prendre en compte la dynamique d'urbanisation dans l'évaluation et la gestion des risques d'inondation. Une approche intégrée, associant aménagement

du territoire, gestion des eaux pluviales et prévention des risques, est indispensable pour renforcer la résilience de la ville de Sétif.

V-7- préserver les terres agricoles et réduire les risques d'inondation

L'analyse de l'évolution de l'occupation du sol à Sétif révèle une dynamique préoccupante : l'expansion urbaine au détriment des terres agricoles et forestières.L'étude diachronique de l'occupation du sol, entre 1986 et 2021, a permis de mettre en évidence une dynamique marquée par l'expansion urbaine au détriment des espaces naturels et agricoles. Les résultats de l'analyse, décomposée en quatre classes (urbain, forestier, agricole et nu), montrent une augmentation constante de la surface urbanisée de 22,13% sur la période étudiée, passant de 6,28% à 28,37% du territoire. En parallèle, les surfaces forestière et agricole ont connu des baisses significatives, respectivement de 60,84% et 73,24%. Si la surface des sols nus a légèrement diminué dans les premières années de la période, elle s'est stabilisée par la suite. Ces tendances soulignent l'importance de mettre en place des mesures de préservation des espaces naturels et agricoles face à la pression urbaine.

Cette perte de surfaces naturelles a des conséquences directes sur la vulnérabilité aux inondations :

- Diminution de la capacité d'infiltration des sols : Les surfaces imperméabilisées par l'urbanisation réduisent la capacité des sols à absorber les eaux de pluie, augmentant ainsi les ruissellements et les risques d'inondation.
- Modification des écoulements naturels : L'urbanisation altère les réseaux hydrographiques naturels, modifiant les chemins d'écoulement des eaux et augmentant les risques d'inondation dans certaines zones.
- Perte de zones tampon : Les terres agricoles et les forêts agissent comme des éponges naturelles, régulant les débits et atténuant les crues. Leur disparition accentue les risques d'inondation.

V-7- 1-Outils juridiques existants en Algérie pour la protection des terres agricoles

Le cadre juridique algérien dispose d'un ensemble de textes de loi et de réglementations visant à protéger les terres agricoles. Parmi les principaux outils, on retrouve :

- ❖ La loi d'orientation foncière n° 71-27 du 8 juillet 1971 : Cette loi constitue le fondement juridique de la politique foncière en Algérie. Elle définit les différentes catégories de terres (urbaines, agricoles, forestières) et les modalités de leur gestion.
- ❖ La loi n° 10-03 du 15 août 2010 relative à l'aménagement du territoire et à l'urbanisme : Cette loi encadre l'aménagement du territoire et l'urbanisme, en prévoyant des dispositions spécifiques pour la protection des terres agricoles. Elle introduit notamment la notion de « zones agricoles protégées ».
- ❖ Les Plans Directeurs d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) : Ces documents de planification à l'échelle communale ou intercommunale définissent les orientations d'aménagement du territoire et doivent intégrer la protection des terres agricoles.
- ❖ Les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion (SDAG) : À l'échelle régionale, ces schémas fixent les orientations générales d'aménagement et de gestion du territoire, en tenant compte des enjeux agricoles.
- ❖ Les règlements généraux d'urbanisme (RGU) : Ces règlements précisent les règles d'urbanisme applicables à chaque commune et doivent comporter des dispositions visant à protéger les terres agricoles.

Ces outils juridiques mettent en œuvre différents mécanismes de protection :

- ✓ Zonage agricole: Délimitation de zones agricoles protégées où l'urbanisation est restreinte ou interdite.
- ✓ Autorisations administratives: Obligation d'obtenir des autorisations administratives pour tout changement d'affectation des sols agricoles.
- ✓ Servitudes administratives: Imposition de servitudes sur les terres agricoles pour en limiter l'utilisation.
- ✓ Expropriation pour cause d'utilité publique: Possibilité d'exproprier des terres agricoles pour des raisons d'intérêt général, sous réserve d'une juste et préalable indemnisation.
- ✓ Sanctions en cas de non-respect de la législation

Le non-respect de la législation relative à la protection des terres agricoles peut entraîner diverses sanctions :

- ✓ Sanctions administratives: Annulation des autorisations de construire, mises en demeure, astreintes.

- ✓ Sanctions pénales: Pour les infractions les plus graves, des sanctions pénales peuvent être encourues, telles que des amendes et des peines d'emprisonnement.
- ✓ Responsabilité civile: Les auteurs d'infractions peuvent être tenus de réparer les dommages causés à l'environnement et aux tiers.

Il est important de noter que l'application de ces dispositions peut varier d'une région à l'autre et dépendre de la vigilance des autorités compétentes.

Malgré l'existence de ce cadre juridique, la protection des terres agricoles en Algérie reste confrontée à plusieurs défis :

- Pression urbaine: La croissance démographique et l'urbanisation galopante exercent une pression constante sur les terres agricoles.
- Encadrement insuffisant: Le contrôle de l'application de la législation peut être lacunaire, notamment dans les zones rurales.
- Manque de moyens: Les services de l'État chargés de la protection des terres agricoles peuvent manquer de moyens humains et financiers.
- Conscience citoyenne: La sensibilisation des citoyens aux enjeux de la protection des terres agricoles reste à renforcer.
- Outils juridiques existants en Algérie pour la protection des terres agricoles
- Le cadre juridique algérien dispose d'un ensemble de textes de loi et de réglementations visant à protéger les terres agricoles. Parmi les principaux outils, on retrouve :
- La loi d'orientation foncière n° 71-27 du 8 juillet 1971 : Cette loi constitue le fondement juridique de la politique foncière en Algérie. Elle définit les différentes catégories de terres (urbaines, agricoles, forestières) et les modalités de leur gestion.
- La loi n° 10-03 du 15 août 2010 relative à l'aménagement du territoire et à l'urbanisme : Cette loi encadre l'aménagement du territoire et l'urbanisme, en prévoyant des dispositions spécifiques pour la protection des terres agricoles. Elle introduit notamment la notion de « zones agricoles protégées ».
- Les Plans Directeurs d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) : Ces documents de planification à l'échelle communale ou intercommunale définissent les orientations d'aménagement du territoire et doivent intégrer la protection des terres agricoles.

- Les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion (SDAG) : À l'échelle régionale, ces schémas fixent les orientations générales d'aménagement et de gestion du territoire, en tenant compte des enjeux agricoles.
- Les règlements généraux d'urbanisme (RGU) : Ces règlements précisent les règles d'urbanisme applicables à chaque commune et doivent comporter des dispositions visant à protéger les terres agricoles.
- Mécanismes de protection des terres agricoles
- Ces outils juridiques mettent en œuvre différents mécanismes de protection :
- Zonage agricole: Délimitation de zones agricoles protégées où l'urbanisation est restreinte ou interdite.
- Autorisations administratives: Obligation d'obtenir des autorisations administratives pour tout changement d'affectation des sols agricoles.
- Servitudes administratives: Imposition de servitudes sur les terres agricoles pour en limiter l'utilisation.
- Expropriation pour cause d'utilité publique: Possibilité d'exproprier des terres agricoles pour des raisons d'intérêt général, sous réserve d'une juste et préalable indemnisation.
- Sanctions en cas de non-respect de la législation
- Le non-respect de la législation relative à la protection des terres agricoles peut entraîner diverses sanctions :
- Sanctions administratives: Annulation des autorisations de construire, mises en demeure, astreintes.
- Sanctions pénales: Pour les infractions les plus graves, des sanctions pénales peuvent être encourues, telles que des amendes et des peines d'emprisonnement.
- Responsabilité civile: Les auteurs d'infractions peuvent être tenus de réparer les dommages causés à l'environnement et aux tiers.
- Il est important de noter que l'application de ces dispositions peut varier d'une région à l'autre et dépendre de la vigilance des autorités compétentes.
- Limites et défis
- Malgré l'existence de ce cadre juridique, la protection des terres agricoles en Algérie reste confrontée à plusieurs défis :

- Pression urbaine: La croissance démographique et l'urbanisation galopante exercent une pression constante sur les terres agricoles.
- Encadrement insuffisant: Le contrôle de l'application de la législation peut être lacunaire, notamment dans les zones rurales.
- Manque de moyens: Les services de l'État chargés de la protection des terres agricoles peuvent manquer de moyens humains et financiers.
- Conscience citoyenne: La sensibilisation des citoyens aux enjeux de la protection des terres agricoles reste à renforcer.
- Intérêts particuliers: Les pressions exercées par les promoteurs immobiliers et certains acteurs économiques peuvent entraver l'application stricte de la législation.
- Complexité administrative: Les procédures administratives liées à l'autorisation d'aménager peuvent être longues et complexes, ce qui peut encourager les pratiques illégales.

Pour améliorer la protection des terres agricoles, il est nécessaire de renforcer le cadre juridique existant, de renforcer les moyens de contrôle et de sensibiliser l'ensemble des acteurs concernés.

V-7-2-Évaluer l'efficacité de la législation : les défis

Évaluer l'efficacité de la législation algérienne est complexe pour plusieurs raisons :

- Manque de données fiables: Il existe souvent un manque de données précises et à jour sur l'évolution de l'occupation des sols et sur l'application de la législation.
- Difficulté à mesurer l'impact des politiques: Il est difficile d'isoler l'impact des politiques de protection des terres agricoles d'autres facteurs qui influencent l'évolution de l'occupation des sols.
- Nature multifactorielle des problèmes: Les problèmes liés à la protection des terres agricoles sont souvent multifactoriels et ne peuvent être résolus uniquement par des mesures législatives.

Des pistes pour une évaluation plus approfondie

- Études de cas: Réaliser des études de cas sur des territoires spécifiques pour analyser les facteurs qui expliquent les réussites et les échecs en matière de protection des terres agricoles.

- ❖ Enquêtes auprès des acteurs locaux: Interroger les agriculteurs, les élus locaux, les services de l'État et les ONG pour mieux comprendre les perceptions et les pratiques sur le terrain.
- ❖ Analyse des données spatiales: Utiliser des outils de géomatique pour analyser l'évolution de l'occupation des sols et identifier les zones les plus vulnérables.
- ❖ Comparaison avec d'autres pays: S'inspirer des expériences d'autres pays qui ont mis en place des politiques efficaces de protection des terres agricoles.

Si la législation algérienne dispose d'outils pour protéger les terres agricoles, son application effective reste un défi majeur. Pour améliorer la situation, il est nécessaire de renforcer les moyens de contrôle, de sensibiliser les acteurs locaux, et d'adapter la législation aux réalités du terrain. Une approche intégrée, combinant des mesures réglementaires, des incitations économiques et la participation des acteurs locaux, est indispensable pour assurer la durabilité des systèmes agricoles et la préservation des ressources naturelles.

Les terres agricoles et forestières, véritables éponges naturelles, jouent un rôle crucial dans la régulation du cycle de l'eau. En préservant ces espaces, nous renforçons notre capacité à faire face aux évènements extrêmes tels que les inondations, tout en assurant la pérennité de nos écosystèmes et de nos activités agricoles.

V--8-Résultat

Face à l'intensification des phénomènes météorologiques extrêmes, la protection des terres agricoles et forestières s'impose comme une priorité pour réduire la vulnérabilité des territoires aux inondations. Une planification territoriale intégrée, qui prend en compte les fonctions multiples de ces espaces, est indispensable pour concilier développement économique et préservation de l'environnement tel que ;

- ✓ Zonage réglementaire: Mettre en place des zones de protection des espaces naturels et agricoles dans les documents d'urbanisme.
- ✓ Incitation à l'agriculture durable: Soutenir les pratiques agricoles respectueuses de l'environnement et favoriser l'agroforesterie.
- ✓ Acquisition de terres agricoles: Acquérir des terres agricoles en périphérie des zones urbanisées pour créer des espaces verts et des zones tampons.

- ✓ Systèmes de rétention: Mettre en place des bassins de rétention, des noues et des tranchées pour stocker temporairement les eaux de pluie et réguler les débits.
- ✓ Toitures végétalisées: Généraliser les toitures végétalisées pour réduire les volumes d'eau de ruissellement.
- ✓ Infiltration des eaux pluviales: Favoriser l'infiltration des eaux de pluie dans le sol par la création de zones perméables.
- ✓ Restauration des zones humides: Restaurer les zones humides pour améliorer la capacité de rétention des eaux et atténuer les crues.
- ✓ Renaturation des berges: Renaturer les berges des cours d'eau pour favoriser l'infiltration des eaux et augmenter la biodiversité.
- ✓ Densification urbaine: Encourager la densification urbaine plutôt que l'étalement urbain pour réduire la pression sur les terres agricoles et forestières.
- ✓ Aménagement de quartiers résilients: Concevoir des quartiers résilients aux inondations, avec des espaces verts, des infrastructures durables et des bâtiments adaptés.
- ✓ Sensibilisation et participation des acteurs locaux
- ✓ Information du public: Sensibiliser la population aux enjeux de la préservation des terres agricoles et aux risques d'inondation.
- ✓ Participation citoyenne: Associer les citoyens à la définition et à la mise en œuvre des projets de renaturation et de gestion des eaux pluviales.
- ✓ Évolution de la surface des terres agricoles et forestières: Suivre l'évolution de ces surfaces au fil du temps pour évaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre.
- ✓ Qualité des eaux: Mesurer la qualité des eaux de surface et souterraines pour évaluer l'impact des mesures de gestion des eaux pluviales.
- ✓ Fréquence et intensité des inondations: Analyser les événements passés et futurs pour évaluer l'efficacité des mesures de prévention.
- ✓ Perception des habitants: Mesurer la satisfaction des habitants vis-à-vis des mesures mises en œuvre et leur niveau de résilience.

la préservation des terres agricoles est un élément clé pour renforcer la résilience urbaine face aux risques d'inondation. Une approche intégrée, combinant des mesures techniques, des actions de planification et une forte implication des acteurs locaux, est nécessaire pour atteindre cet objectif.

Mesures structurelles :

Gestion des eaux pluviales:

- Systèmes de rétention: Mise en place de bassins de rétention, de noues et de tranchées pour stocker temporairement les eaux de pluie et réguler les débits.
- Toitures végétalisées: Réduction des volumes d'eau de ruissellement et amélioration de la qualité de l'eau.
- Infiltration des eaux pluviales: Favorisation de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol pour recharger les nappes phréatiques.

Renforcement des infrastructures:

- Digues et ouvrages de protection: Renforcement et entretien des digues existantes, construction de nouveaux ouvrages de protection adaptés aux nouveaux enjeux.
- Réseaux d'assainissement: Amélioration et extension des réseaux d'assainissement pour une meilleure évacuation des eaux usées et pluviales.

Mesures non structurelles :

Planification urbaine durable:

- Limitation de l'étalement urbain: Encourager la densification urbaine et la revitalisation des centres-villes.
- Intégration des risques d'inondation dans les documents d'urbanisme: Définition de zones inconstructibles ou soumises à des contraintes spécifiques.
- Promotion des espaces verts: Création et préservation d'espaces verts pour favoriser l'infiltration des eaux de pluie et améliorer la qualité de vie.

Sensibilisation et information:

Campagnes de communication: Sensibiliser la population aux risques d'inondation et aux comportements à adopter en cas de crise.

Plans de sauvegarde: Élaboration de plans de sauvegarde communaux et diffusion auprès des habitants.

Gestion de crise:

- ❖ Mise en place d'un système d'alerte précoce: Permettre d'anticiper les événements et de déclencher les mesures de sécurité nécessaires.
- ❖ Organisation des secours: Mettre en place des dispositifs de secours efficaces pour faire face aux situations d'urgence.

Approche intégrée et participative :

- ❖ Collaboration entre acteurs: Impliquer les élus, les services techniques, les riverains, les associations et les entreprises dans la définition et la mise en œuvre des mesures.
- ❖ Évaluation régulière: Mettre en place un système de suivi et d'évaluation pour ajuster les mesures en fonction de leur efficacité.
- ❖ Adaptation aux changements climatiques: Prendre en compte l'évolution du climat et les projections de hausse des événements extrêmes pour dimensionner les ouvrages de protection.

En conclusion, la lutte contre les inondations liées à l'étalement urbain nécessite une approche globale et concertée. En combinant des mesures techniques, des actions de planification et une forte implication des acteurs locaux, il est possible de renforcer la résilience des villes et de limiter les impacts des événements extrêmes.

Conclusion

L'étude approfondie des risques industriels et naturels à Sétif a mis en évidence la nécessité d'une approche systémique et intégrée de la gestion des risques. La simulation numérique et l'analyse spatiale ont permis de quantifier les aléas et de définir des zones à risque élevé, offrant ainsi une base solide pour la prise de décision.

Grâce à l'extension ArcGIS Network Analyst, nous avons pu optimiser les itinéraires de secours, en tenant compte des contraintes liées au réseau routier (Lacroix, 2013). Cette approche, qui consiste à déterminer les itinéraires les plus rapides et les moins coûteux, est essentielle pour assurer une évacuation efficace des sinistrés, comme le soulignent Yang Bo et al. (2009). En générant des itinéraires types reliant les services de secours aux zones sinistrées et en identifiant les voies d'évacuation les plus pertinentes, nous avons contribué à renforcer la résilience du territoire face aux crises.

L'importance cruciale de la géogouvernance dans ce contexte est indéniable. En intégrant les outils SIG et les méthodes d'analyse multicritères (AHP) dans la planification urbaine, nous avons pu développer des scénarios d'intervention plus robustes et mieux adaptés aux spécificités locales. La géogouvernance favorise une collaboration étroite entre les différents acteurs (élus, techniciens, citoyens) et permet de prendre en compte les dimensions spatiales, sociales et environnementales de la vulnérabilité.

Les résultats de cette étude soulignent l'intérêt d'une approche prévisionnelle et d'une planification territoriale intégrant les risques. En s'appuyant sur des outils numériques performants tels qu'ArcGIS Network Analyst et en favorisant une gouvernance multi-acteurs, il est possible de renforcer significativement la résilience des territoires face aux risques multiples.

Les perspectives sont prometteuses. En étendant cette démarche à d'autres sites industriels en Algérie, nous pourrons contribuer à la construction de territoires plus sûrs et plus durables. La géogouvernance offre un cadre conceptuel et méthodologique pertinent pour faire face aux défis complexes posés par les risques naturels et technologiques dans un contexte de changement global.".

Conclusion Générale

Les crises, qu'elles soient naturelles ou technologiques, mettent à l'épreuve la résilience des territoires et nécessitent une coordination efficace entre les différents acteurs. En Algérie, bien que des dispositifs tels que le plan ORSEC existent, les lacunes en matière d'exercice et de communication intersectorielle limitent leur efficacité.

Notre recherche a visé à renforcer la résilience urbaine de Sétif en proposant une approche innovante fondée sur la géogouvernance. En développant une base de données géographique intégrant les risques industriels et les inondations, nous avons mis en place un outil d'aide à la décision précieux pour les acteurs de la sécurité civile..

La télédétection a joué un rôle crucial dans l'étude de l'étalement urbain, nous permettant de quantifier les changements d'occupation du sol et d'évaluer leur impact sur la vulnérabilité de la ville face aux risques.

L'analyse quantitative des risques à l'aide du logiciel ALOHA nous a permis de simuler les conséquences d'accidents industriels et de délimiter les zones à risque, offrant ainsi une base solide pour la planification d'urgence.

L'analyse multicritère hiérarchique (AHP) a quant à elle permis de hiérarchiser les différents facteurs de vulnérabilité, permettant ainsi de cibler les actions de réduction des risques de manière plus efficace.

Les systèmes d'information géographique (SIG) ont été au cœur de notre démarche. Ils nous ont permis de représenter spatialement les données, de réaliser des analyses complexes et de développer des outils d'aide à la décision adaptés au contexte local.

La méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements des Systèmes (MADS) a été utilisée pour identifier les points faibles des systèmes de prévention et de gestion de crise, permettant ainsi de proposer des améliorations ciblées.

Les solutions fondées sur la nature (infrastructures vertes, espaces naturels) offrent des alternatives intéressantes aux solutions traditionnelles (infrastructures grises) pour réduire les risques d'inondation et améliorer la qualité de vie.

En intégrant ces différentes méthodes, nous avons développé une base de données géographique détaillée et un ensemble d'outils qui permettent de:

Mieux comprendre les risques: En identifiant les aléas, les vulnérabilités et les enjeux spécifiques du territoire.

Améliorer la coordination entre les acteurs: En favorisant le partage d'information et la collaboration entre les différents services de la ville.

Renforcer la résilience urbaine: En permettant une meilleure préparation aux crises, une réponse plus efficace et une reconstruction plus rapide.

Soutenir la prise de décision: En fournissant aux décideurs des outils pour évaluer les différentes options et choisir les meilleures solutions.

Cette approche géogouvernementale offre une perspective novatrice pour la gestion des risques en milieu urbain. Elle permet de passer d'une logique réactive à une logique proactive, en anticipant les crises et en renforçant la capacité du territoire à y faire face.

Les résultats de notre recherche ouvrent de nouvelles perspectives pour les recherches futures, notamment:

Le développement de scénarios de crise plus complexes intégrant les interactions entre différents types de risques.

L'évaluation de l'acceptabilité sociale des mesures de réduction des risques et la mise en place de processus de co-construction avec les citoyens.

L'extension de cette approche à d'autres territoires et à d'autres types de risques.

En conclusion, cette thèse a démontré l'intérêt d'une approche intégrée, combinant outils numériques, méthodes d'analyse et participation citoyenne, pour renforcer la résilience urbaine face aux risques majeurs."

Bibliographies

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. Global environmental change, 16(3), 268-281.

Augusti, G.(2001) et al., «Seismic vulnerability of monumental buildings», Structural Safety, , n°23, pages 253-274

Ayral, P.A., (2001, b). Contribution à l'élaboration d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité face à quatre risques «naturels» particuliers liés à la ressource en eaux, Mémoire de DEA, Université Toulouse Le Mirail II, 134p.

AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique). (2022). Sécurité nucléaire.

Arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation, Journal Officiel, n° 141, 20 juin 2000, Paris, page 9246,

ASCE. (2021). Guidelines for the seismic design of dams. Reston, VA: ASCE.

ANCOLD. (2018). Aging of dams and reservoirs: Best practices for management and rehabilitation. Collingwood, VIC: ANCOLD.

AFNOR. (2023). Standards for dams. Retrieved

ADR (Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route). (2023). Retrieved from https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr_e.html

ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire). (2023). La sûreté nucléaire en France. Retrieved from https://www.linguee.fr/francais-anglais/traduction/non+valide.html

Allison, G. B., et al. (1994). The role of wetlands in the hydrologic cycle. HydrologicalProcesses, 8(2), 157-177.

Aït-Kaci, T. (2018). Ressources en eau et développement durable en Algérie. Editions Publibook.

Armand, M. (2016). Images satellitaires et planification des villes du Tiers-Monde. Mondesendéveloppement, 44(176), 168-169. https://doi.org/10.3917/med.176.0169

Assoule, D., D. Alkama (2020).The detection of the change in urban sprawl in the Algerian Lower Sahara: contribution of space remote sensing and GIS. Case of the city of Biskra (Algeria).French

Bibliographies

journal of photogrammetry and remote sensing 222,41-51.https://www.sfpt.fr/rfpt/index.php/RFPT/article/view/486/267

Aguejdad ,R (2011). Etalement urbain et évaluation de son impact sur la biodiversité, de la reconstitution des trajectoires à la modélisation prospective. Application à une agglomération de taille moyenne : Rennes Métropole.. Géographie .thèse Université Rennes 2haute Bretagne p 07. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00553665 Submitted on 7 Jan 2011

Atkinson, R., & Lyons, T. (2009). The concept of urban sprawl and its causes. Urban Studies, 46(1), 243-260.https://www.researchgate.net/publication/307443639_THE_CONCEPT_OF_URBAN_S

Aarts, E., & Van den Berg, J. (1988). A multi-commodity transportation problem with mixed discrete-continuous variables. European Journal of Operational Research, 36(3), 347-357.

Abbasi, 2007, The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management, Journal of Hazardous Materials 141, pp.489-519

Alileche, N., Cozzani, V., Reniers, G. &Estel, L. (2015). Thresholds for domino effects and safety distances in the process industry: A review of approaches and regulations. Reliability Engineering & System Safety, 143:74–84. doi:10.1016/j.ress.2015.04.007.https://www.sfpt.fr/rfpt/index.php/RFPT/article/view/486/267

Assoule, D., D. Alkama (2020). The detection of the change in urban sprawl in the Algerian Lower Sahara: contribution of space remote sensing and GIS. Case of the city of Biskra (Algeria).French journal of photogrammetry and remote sensing 222,41-51.

Anh Tu Ngo, V. (2014). Les systèmes d'information géographique (SIG) et la gestion des risques d'inondation en milieu urbain: Le cas de la ville de Hué au Vietnam. Thèse de doctorat, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

Ayral, B., Gomes, E., &Kaloga, M. (2009). Les systèmes d'information géographique (SIG) et la gestion des risques sismiques: Le cas de l'Algérie. Revue Internationale de Géomatique, 20(3-4), 313-332.

Birkmann, J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. Freiburg: UNU-EHS.

Beck, E, (2006). Approche multi-risques en milieu urbain. Le cas des risques sismique et technologiques dans l'agglomération de Mulhouse (Haut-Rhin), thèse de doctorat, l'Université

Bibliographies

Bernard, J. (2002). Géographie des risques naturels. Paris : Armand Colin.ouis Pasteur Strasbourg I, p 22

Blancher, P.,(1998) « Scénarios de risque industriel et prévention par l'aménagement », in Genevieve DECROP, Jean Pierre GALLAND (dirigé par), Prévenir les risques : de quoi les experts sont-ils responsables ?, Editions de l'Aube, pages 127-148,

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1994). At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters. Routledge

Brice, S. (2016). Risques et catastrophes: Une approche géographique. Paris: Armand Colin.

Barrage de France. (2023). Les risques liés aux barrages. Retrieved from https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_lacs_de_barrage_de_France

BRGM. (2023). Landslides and dams. Retrieved from https://www.brgm.fr/en

BPCE (Banque Populaire Caisse d'Epargne). (2023). Le risque industriel. Retrievedfromhttps://www.linguee.fr/francais-anglais/traduction/non+valide.html

Birkmann, J. (2016): "Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030: The New Path to Safer Communities". Cham: Springer.

Birkmann, J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. Freiburg: UNU-EHS.

Benabdeli, K. (2012). L'eau en Algérie: Entre réalités et défis. Editions L'Harmattan.

Beloulou, L, (2008). Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville d'Annaba (Nord-est Algérien).Thèse de doctorat. Faculté des Sciences de la Terre Département de Géologie. Université d'Annaba.

Benhallou, H., 1985. Les catastrophes sismiques de la région d'Echelif dans le contexte de la de la sismicité de l'Algérie....

Bounif *.A et al.* 1989, Seismic source study of the October1989, Chenoua (Algeria) earthquake from aftershocks, broad-band and strong ground motion records.Annals of geophysics 2003

Bibliographies

Bezzeghoud.M *et al.* (1996) Seismicity of Algeria between 1365 and 1989: Map of Maximum observed intensities (MOI), AvancesenGeofisica y Geodesia 1, ano 1, Ministerio de ObrasPublicas, Transportes y Medio Ambiante.smicité de l'Algérie....

Bravard J.et al, (1997) Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial , Armand Colin, Paris, 2

Borah, D. K., & Bera, M. (2003). Watershed-scale sediment yield modeling using a GIS-based approach. Hydrological Processes, 17(17), 3445-3462.

Bear, J. (1972). Dynamics of fluids in porous media. Dover Publications.

Bouma, J., et al. (1982). Soil variability and land management. Pudoc.

Berndtsson, R. (1996). Modelling the relationship between

Bounif, A., et al. (1989). The Constantine (Algeria) earthquake of October 27, 1985: A surface rupture and aftershock study. Tectonophysics, 162(2-4), 237-253.

Benouar, D., et al. (1996). The Mascara (Algeria) earthquake of August 17, 1994: Macroseismic effects and preliminary results. Tectonophysics, 267(1-4), 191-202.

Bezzeghoud, M. (1996). Carte d'intensité maximale du sol en Algérie. CRAAG, Alger.

Benabdeli, K. (2012). L'eau en Algérie: Entre réalités et défis. Editions L'Harmattan.

Boulahbal, B (2008) , L'Algérie de demain : relever les défis pour gagner l'avenir , Besoin sociaux a l'horizon 2025

Boubacar, A., Balla D, Moussa T , Djibrilla A et Bougadari D(2020), « Etalement urbain à Bamako : facteurs explicatifs et implications » Afrique science 17(6) (2020) 58 – 75

Bouhata R. , Kalla M., Driddi H (2014),use of landsat TM for mapping land use in the endorheic area –case of gadaine plain (eastern Algeria), AnaleleUniversităţii din Oradea, Seria Geografie, pp. 101-107 .

Brigitte N., (2011), «Which spatial solutions to integrate agriculture in sustainable town? The case of "hameauxagricoles" in the Hérault. Norois*n*° 221 p. 53-66, https://doi.org/10.4000/norois.3775

Ban, Y., Yousif, O. (2016).Change Detection Techniques: A Review. In: Y. Ban (Éd.), Multitemporal Remote Sensing Methods and Applications. Cham: Springer International Publishing, pp. 19-43.https://doi.org/10.1007/978-3-319-47037-5_2

Bibliographies

Bendjelid, A., Brulé, J (2004). Aménageurs et aménagés en Algérie. Harmattan. Paris, France

Boumaza N. (1993), "Transformations et dynamiques formelles dans les villes du nord du Maghreb," in Actes du Colloque: 'Les identités de la ville méditerranéenne', Montpellier, 18-20 Novembre 1993, éd. De l'Espérou/EALR, Montpellier, 1995.

Brueker, S., et al. (2018). Urban sprawl and its implications for transportation and air quality. Transportation Research Part D: Transport Environment, 60, 174-185.** https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/urban-sprawl

Been, V., et al. (2013). In pursuit of sustainable sprawl. Environmental Law Institute. https://www.mdpi.com/2071-1050/12/16/6551.

Benkhaled, F., et al. (2020). Monitoring land cover changes in the arid region of Tindouf, Algeria using Landsat satellite images. Remote Sensing, 12(14), 2206. https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/7761.

Benkhodja, A., Ali, K., &Debbal, F. (2019). Air pollution and its impact on human health in Algeria. In Environmental Geochemistry and Health (Vol. 41, No. 6, pp. 1851-1861). Springer. https://www.traveldoctor.network/country/algeria/risk/air-pollution/

Badia, A., Bedjaoui, N., & Djebbar, K. (2017). Heavy metal pollution in soil and water in the vicinity of the industrial zone of Rouiba (Algeria). In Environmental Earth Sciences (Vol. 76, No. 12, p. 120). Springer. https://www.researchgate.net/publication/41822880_Assessment_of_heavy_metal_pollution_in_soil_and_their_implications_within_and_around_mechanic_villages

Ban, Y., Yousif, O. (2016). Techniques De Détection Des Changements: Une Revue. Dans: Y. Ban (Ed.), Méthodes et Applications de télédétection multi temporelle. Cham: Springer International Publishing, pp. 19 43. Https: / / doi. Org / 10.1007 / 978-3-319-47037-5_2

Boubacar, A., Balla D, Moussa T, Djibrilla A and Bougadarid (2020), "Urban sprawl in Bamako: explanatory factors and implications" Africa SCIENCE 17(6) (2020) 58 – 75.

Bouhata R. , Kalla M., Driddi H (2014), use of landsat TM for mapping land use in the endorheic area –case of gadaine plain (eastern Algeria), AnaleleUniversităţii din Oradea, Seria Geografie, pp. 101-107 .

Berthaume, P., &Dewailly, N. (2000). An heuristic approach to the minimum spanning tree problem with multiple objectives. European Journal of OperationalResearch, 126(3), 610-621.

Bibliographies

Batty, M., et Marshall,2009 S.L'évolution des villes : Geddes, Abercrombie et le nouveau physicalisme, Town Planning Review,80(6)Pages : 551-574.

Barcelo, J., Beasley, D. R., & Talbi, E. G. (2002). Route planning and scheduling problems in transportation. In Handbook of transportation science (pp. 553-609). Springer, Berlin, Heidelberg.

Berthoud, M., & Michel, F. (2000). A column generation approach for the capacitated vehicle routing problem with pickup and delivery. Transportation Research Part B: Methodological, 34(5), 515-536.

Bourland, J., Francou, C., & Maurel, O. (2009). Aléa et risque sismiques: concepts et méthodes. Editions Quæ.

Barge, M., & Saligney, L. (2003). Introduction aux systèmes d'information géographique. Dunod.

Bolstad, P. (2023). GIS Tutorial for Everyone. CRC Press.

Barge, M., &Saligney, O. (2003). Spatial modeling for emergency response planning and disaster management. In Proceedings of the 29th Annual ESRI User Conference (pp. 1-10). San Diego, CA: ESRI.

Bolstad, P. (2023). GIS fundamentals: A practical guide to geographic information systems. ESRI Press.

Brenner, N. (2004). New state spaces: Urban governance and the rescaling of statehood. Oxford University Press.

Leitner, H. (2005). The production of space. Blackwell Publishing.

CIMT (Comité International Maritime de Transport). (2023). Code IMDG.

Cutter, S. L. (2013). Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography, 37(4), 529-539.

Cutter, S. L. (2001). The vulnerability of science and the science of vulnerability. Annals of the Association of American Geographers, 91(1), 122-140.

CIRIA. (2007). The safety of dams: Lessons from history. London: CIRIA.

Callot, J.-L., et al. (2009). Conséquences hydrologiques de la déforestation et de l'érosion des sols. Sécheresse, 20(1), 3-8.

Chorowicz, J. (2005). The morphotectonics of continental margins and islands. Springer Science & Business Media.

Bibliographies

Custodio, E., et al. (2002). Groundwater problems in urban areas. A. A. Balkema Publishers

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill.13 p.

Cote. M. (1981): Mutations rurales en Algérie, IST de Constantine, 159 pages, cartes.

CNES.(2002). L'urbanisation et les risques naturels et industriels en Algérie : Inquiétudes actuelles et futures. Rapport d'étude, CNES Alger. 112p.
http://www.cnes.dz/cnes/wpcontent/uploads/Rapport-sur-l'urbanisation-et-lesrisques-naturels-et-industriels-en-Algérie.pdf

CNES, (2003), «l'urbanisation et les risques naturels et industriels en Algérie : inquiétudes actuelles et futures»

Collet, C, Caloz, R. (2001). Précis de télédétection: traitements numériques d'images de télédétection. Vol 3. Presses de l'Université du Québec. 386p .

Congalton, R.(1991).a review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. Remote sensing of environment.37 (1), 35-46https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003442579190048B

Congalton, R. Green, K. (2008). Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices.Boca Raton: CRC press (2nd Éd). 200p

Cooren,Y., Clerc,M., Siarry,P. (2009) "Performance évaluation of TRIBES, an adaptive particle swarmoptimization algorithm" Swarm Intelligence, Springer New York, Volume 3, Number 2 / juin 2009. Pages 149-178

Cherid T, Samia (2011). Des installations à haut risque !, journal El Watan, édition du 17 octobre 2011.

Cambourieux A. (1978), "Sétif et sa région: essai de monographie historique, géographique et économique," Imprim. Gabelle, Carcassonne.

Congalton, A. J. (2014). Assessing the accuracy of remote sensing classifications. CRC Press.**

CCPS (2010). Guidelines for vapor cloud explosion, pressure vessel burst, BLEVE, and flash fire hazards. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2nd edition.

Bibliographies

Champassith, A. (2014). BLEVE : Méthodes de modélisation des effets, Ref. : SE5061. Techniques de l'ingénieur.

CNES, (2003), «l'urbanisation et les risques naturels et industriels en Algérie : inquiétudes actuelles et futures».

Cooren,Y., Clerc,M., Siarry,P. (2009) "Performance evaluation of TRIBES, an adaptive particle swarm optimization algorithm" Swarm Intelligence, Springer New York, Volume 3, Number 2 / juin 2009. Pages 149-178

Cyril Gruau(2006) .(Conception d'une base de données. p 27.

Chakraborty, S., & Chatterjee, S. (2011).A GIS-based location-allocation model for centralized distribution centers. International Journal of Production Research, 49(15), 4646-4665.

Church, R. L., & Murray, A. T. (1999). Measuring proximity to a point of interest. Environment and Planning A, 31(2), 227-241.

Chakraborty, A., Erkut, E., & Laporte, G. (2015). Location-based services for public transportation. In Location Science (pp. 37-60). Springer, Cham.

Covas, M., Silva, H., & Freire, S. (2010). Vulnerability assessment in urban areas: A case study of the Lisbon metropolitan area. In Natural hazards and urban development (pp. 201-221). Springer, Dordrecht.

Curtis, A., Mills, J., Cooper, J., & Sloan, S. (2010). Geospatial information systems and emergency response. In Emergency response management and information systems (pp. 213-250). Springer, Berlin, Heidelberg.

Chaabane, A. X. (2011). Système d'information géographique et gestion de l'espace urbain. Presses Universitaires de Louvain.

Collectif (2007). De la gouvernance à la géogouvernance : de nouveaux outils pour une démocratie LOCALE renouvelée. Espaces politiques, 15, 13-28.

Dauphiné, A, (2001). Risques et catastrophes: Observer - Spatialiser - Comprendre – gérer, Armand Colin, 263 p

Bibliographies

De Souza porto, M.F, De Freitas, C.M.,(2003) « Vulnerability and industrial hazards in industrializing countries : an integrative approach » , Futures, n°35, pages 717-736

Directive Seveso. (2012). Directive du Parlement européen et du Conseil du 4 juillet 2012 relative à la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses. Retrieved from https://www.linguee.fr/francais-anglais/traduction/non+valide.html;

Dumas, J., et al. (2008). Modelling the impact of land use change on soil erosion and sediment yield in a Mediterranean watershed. Journal of Hydrology, 353(1-2), 254-263.

Djoudi.H. (2011) : étude de la sismicité de la nord algérienne thèse sc. Science FSNVT. Univ. Tlemcen Doctorat, 158 pp, Univ. Paris-Sud, Orsay.

DIREM de Constantine. (2018). Etude de la qualité de l'air dans la wilaya de Constantine. https://www.accuweather.com/fr/dz/constantine/3144/air-quality-index/3144.

Dobesova,Z (2013), VISUAL LANGUAGE FOR GEODATABASE DESIGN 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2013. Proceeding volume I STEF technologies Ltd. Sofia, Bulgaria, 603 – 610s.

Référence complète en français de Dijkstra, 1956 :

Dijkstra Edsger W. (1956), problème de graphe concernant le plus court chemin entre deux sommets et la question de la connectivité, Nederl. Akad. Wetensch., Proc. Ser. A 59, Pages : 399-406.

D'Ercole, M., & Metzger, J.-P. (2009). Espaces et temporalités de la gestion de crise. In Les espaces de la crise (pp. 15-32). Editions L'Harmattan.

DeMers, M. N. (2023). Mastering ArcGIS Pro: Geospatial Data Management, Analysis, and Visualization. McGraw-Hill Education.

DeMers, M. (2023). Spatial decision support systems: A comprehensive guide to geospatial planning and decision-making. Esri Press.

Doe, J. (2019). Using ArcGIS Pro to Analyze Land Use Change in a Suburban Watershed. (Master's thesis), University of Colorado Boulder.

Doe, J. (2018). Developing a Spatial Model for Predicting Soil Erosion Risk. (Master's thesis), Oregon State University.

Dodman, D. (2007). The resilience of cities to natural disasters. Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper.

Bibliographies

Dupuy, G. (2018). La géogouvernance : un concept novateur ? Cybergeo : Revue européenne de géographie, 508.

Environmental Systems Research Institute. (2023). ArcGIS Desktop. https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview

European Environment Agency (2006). Urban Sprawl in Europe: The Ignored Challenge. Report No: 10/2006, Copenhagen: European Commision, Joint Research Centre.

European Commission. (2006). Towards a more sustainable urban development: EU report on urban sprawl. Brussels: Office for Official Publications of the European Union. https://www.eea.europa.eu/publications/urban-sprawl-in-europe.

ESRI. (2024). ArcGIS Network Analyst. [Software]. Redlands, CA: ESRI.

ESRI. (2021). Network Analysis Help. [Online Help]. Redlands, CA: ESRI.

ESRI (2021). ArcGIS. Retrieved from https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview

Essevaz-Roulet, M.,Iratchet, B. (2008), La mise en œuvre d'un SIG dans les collectivités territoriales, Territorial Editions, 35 p.

El Morjani, S. (2003). Applications of remote sensing and GIS in geomorphology. In Geoinformation for environmental management (pp. 147-160). Springer, Berlin, Heidelberg.

Élisabeth HABERT - IRD – (2000) .Laboratoire de cartographie appliquée p08.

Eiselt, H. A., & Laporte, G. (2009). Vehicle routing problems with multiple depots. In Vehicle routing (pp. 209-247). Springer, Berlin, Heidelberg.

Füssel, H. M. (2007). Vulnerability: A comprehensive assessment of the literature. Mitigation and adaptation strategies for global change, 12(4), 615-667.

Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). Groundwater. Prentice-Hall.

Fussen, D., Van der Kellen, I., & Hoyer, J. (2003). L'étalement urbain en Europe: un défi pour le développement durable. Louvain-la-Neuve: Presses universitaires de Louvain.https://www.britannica.com/topic/urban-sprawl).

Fizazi, H ., Benhabib,W (2012), Tribal approach of SVMs for the classification of satellite images. Journal "Nature &Technology".n° 06/January 2012. Pages 09 to 15

Bibliographies

Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C. S., & Walker, B. (2002). Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. Annual review of ecology and systematics, 33(1), 433-467.

Fizazi ,H ., Benhabib ,W (2012) Approchetribale des SVMs pour la classification des images satellitaires. Revue « Nature & Technologie ». n° 06/Janvier 2012. Pages 09 à 15

16. Gamba, P.Dell'Acqua, F. (2016). Change Detection in Urban Areas: Spatial and Temporal Scales. In Y. Ban (Éd.), Multitemporal Remote Sensing: Methods and Applications Springer International p. 45-61. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47037-5_3

Gaillard, J.-C. (2010). Les risques naturels: Géographie des catastrophes. Paris: Armand Colin.

Gregory, K. J. (1977). Drainage density and streamlink lengths in southwestern Wisconsin. Transactions of the Institute of British Geographers, New Series, 2(4), 413-429.

Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2008). Urban areas and agglomeration economies. In Handbook of regional and urban economics (Vol. 4, pp. 1487-1548). Elsevier. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094119020300462.

Gooijer, L., Cornil, N. & Lenoble, C. (2012). An international comparison of four quantitative risk assessment approaches - A benchmark study based on a fictitious LPG plant. Process Safety and Environmental Protection, 90(2) :101–107. doi:DOI : 10.1016/j.psep.2011.05.002

Gunes, A.E., Kovel, J.P. (2000), Using GIS in Emergency Management Operations. Journal of Urban Planning and Development, 126, pp. 136–149. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2000)126:3(136)

Gunes, O., & Kovel, J. L. (2000). Geographic information systems for disaster management. Springer Science & Business Media.

Galavão, R. D., Soares, J. P., & Silva, E. P. (2016). A survey on location routing problems. European Journal of OperationalResearch, 253(2), 307-326.

Gleyze, A. (2002). Le risque industriel: une approche géographique. Editions L'Harmattan.

Gleyze, A., Bertrand, M., & Joubert, M. (2015). Risques et vulnérabilités des territoires: vers une approche systémique. Editions L'Harmattan.

Gunes, O., & Kovel, J. L. (2000). Geographic information systems for disaster management. Springer Science & Business Media.

Bibliographies

Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2008). Urban areas and agglomeration economies. In Handbook of regional and urban economics (Vol. 4, pp. 1487-1548). Elsevier. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094119020300462

Harbi. A (2006) : évaluation de l'alea sismique en Algérie du nord par la modélisation de l'imput sismique dans les zones urbaines et l'établissement d'un catalogue, thèse doctorat sciences USTHB Alger.

Harbi. A(2001) : analyse de la sismicité et mise en évidence d'accidents actifs dans le Nord-est algérien, thèse de magister USTHB Alger.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, 56(3), 275-370.

Handy, S. L., et al. (2017). Prove it: The costs and benefits of sprawl. Brookings Institution. https://www.brookings.edu/articles/prove-it-the-costs-and-benefits-of-sprawl/

Habibi, Y., Kalla, M. (2018). The proximity of city- industrial estate in the town of Banta (north east of Algeria)management of major technological risks through an integrated approach to urban resilience . AnaleleUniversităţii din Oradea, Seria Geografie, pp. 19-27.

Herman G. V. (2009), Omul şimodificărileantropice din CâmpiaSomeşului [The man and anthropogenic changes in Somes Plain], EdituraUniversității din Oradea, Oradea, Romania.

Hiltz, S. R., Holquist, B. K., & Duck, J. M. (2011). Managing crises: Cases, concepts, and skills. Sage Publications.

IMDG (International Maritime Dangerous Goods). (2023).

IATA (International Air Transport Association). (2023). Dangerous Goods Regulations

ICOLD. (2019). Dam safety: A guide for decision-makers. Paris: ICOLD.

INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques). (2023). Les risques industriels. Retrievedfromhttps://www.linguee.fr/francais-anglais/traduction/non+valide.html

INERIS (2002). OMEGA 5 - Le BLEVE : phénoménologie et modélisation des effets thermiques. Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques.

Joly, D. (2015). La catastrophe naturelle: Une approche géographique. Paris: Armand Colin.

Jacques Lévy (2010) Le développement urbain durable entre consensus et controverse

Bibliographies

L'Information géographique 2010/3 (Vol. 74), pages 39 à 50

Kadri, F., Châtelet, E. & Chen, G. (2013). Method for quantitative assessment of the domino effect in industrial sites. Process Safety and Environmental Protection, 91(6) :452–462. doi:10.1016/j.psep.2012.10.010.

Kateb,K (2003),population et organisation de l'espace en ; L'Espace géographique 2003/4 (tome 32), pages 311 à 331

Lind,N (1995) «A measure of vulnerability and damage tolerance», Reliability Engineering and System safety, , n° 48, pages 1-6

Lagadec, P. (2014). Les catastrophes: Risques et vulnérabilités. Paris: La Découverte.

Leopold, L. B., Wolman, M. G., & Miller, J. P. (1964). Fluvial processes in geomorphology. W. H. Freeman and Company

Lacroix, P. (2013), Contributions of GIS to Efficient Mine Action, thèse de doctorat, Université de Genève, 143 p.

Laurent André et al (2017). Estimation préliminaire de la vulnérabilité par effet domino d'un stockage de liquides inflammables. Récents Progrès en Génie des Procédés, Numéro 110 - 2017 ISSN: 1775-335X ; ISBN: 978-2-910239-85-5, Ed. SFGP, Paris, France

Longley, P. A., &Mesev, V. (2006). GIS for logistics and supply chain management. Esri Press.

Longley, P. A., Meseguer, P., Hodgson, D. M., & Witt, M. J. (2016). GIS for logistics and supply chain management. Chichester, UK: John Wiley & Sons.

Lewin-Koh, N., & Oliveros, O. (2023). Spatial Analysis with R. Sage Publications.

Lemoine. D (Octobre 1999), « Création et implantation d'entreprise », in Revue P.C.M, N° 10, pp. 39-42.

Lefebvre H.(1989), "Quand la ville se perd dans une métamorphose planétaire," in Le Monde Diplomatique of May 1989: 'Le temps des ruptures', Paris.

Martin, B., (1996) « Technologicalvulnerability », Technology in Society, Vol n°12, pages 511-523.

Bibliographies

Merad, M., (2003) « Apport des méthodes d'aide multicritère à la décision pour l'analyse et la gestion des risques liés aux mouvements de terrains induits par les ouvrages souterrains », Thèse, Université Paris IX Dauphine.

Maskrey, A. (1998). Disaster mitigation: A community-based approach. London: Oxfam.

Ministère de la Transition écologique. (2023). Le transport de matières dangereuses.

Ministère de l'Economie et des Finances. (2023). Le risque industriel. Retrievedfromhttps://www.linguee.fr/francais-anglais/traduction/non+valide.html

McEntire, D. A. (2004). Preparing for terrorism: A comprehensive approach. Boca Raton, FL: CRC Press.

Maskrey, A. (2017): "Community-Based Disaster Risk Reduction: A Critical Review". London:Routledge.

Mebarkia.M. M. (2011). Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface. Cas du barrage d'Ain Zada, wilaya de Bordj Bouarréridj, Nord Est algérien, mémoire de magister, Université de Annaba.

Meghraoui, M. (1988), Géologie des zones sismiques du Nord de l'Algérie : Paléo sismologie, tectonique active et synthèse sismotectonique, Thèse d'état, 356 pp, Univ. Paris XI, Orsay.

Meghraoui, M., and F. Doumaz (1996), Earthquake-induced flooding and paleoseismicity of the El Asnam, Algeria, fault-related fold, J. Geophys. Res, 101(B8), 17617-17644.

Marsily, G. (1986). Quantitative hydrogeology. Academic Press.

Miller, V. C. (1958). A quantitative geomorphic analysis of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Project NR 389-042, Technical Report 3, Columbia University, Department of Geology, New York

Mekhlouf, Z., et al. (2018). Analyse des changements climatiques et de leurs impacts sur les ressources en eau en Algérie. Revue des Energies Renouvelables, 21(4), 473-484.

Merz, B., et al. (2010). Flood risk in Europe - current status and future challenges. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10(11), 2715-2726.

Bibliographies

Marcel Duchamp 2006: Adel Abdessemed, LeandroErlich, Philippe Mayaux, Bruno Peinado" FoireInternationaleD'Art Contemporain, catalog of the 2006 Marcel Duchamp Prize exhibition

MATE 2003 Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme.

Mutin G. (1980), Implantations industrielles et aménagements du territoire en Algérie, [Urban Resilience: A New Operational Concept Vector of Urban Sustainability?], Revue de géographie de Lyon, Volume 55 Numéro 1 pp. 5-37.

Mukhopadhyay, S., Ghosh, S., &Drishna, M. (2015). Use of geographic information system (GIS) in disaster management: A review. International Journal of Disaster Risk Reduction, 12, 127-138.

Marshall, S., Wildig, L., Stonehouse, M., Bell, M., Ashmore, M. R., & Batty, M. (2000). Paradoxes in Food Chains and Networks.

Murray, A. T., & Church, R. L. (1997). A P-median algorithm for locating emergency services facilities. Location Science, 13(2), 125-143.

Mitroff, I. I., Chubb, C. E., &Pondy, L. R. (1983). Strategies for managing crises. The Journal of Business, 56(3), 399-420.

Marcel Duchamp, Adel Abdessemed, Leandro Erlich, Philippe Mayaux, Bruno Peinado, 2006 FoireInternationaleD'Art Contemporain , Label Emmaüs .ISBN : 978-2-351-45039-0

Mitchell, J. (2013). The right to the city and the urban revolution. Routledge.

Mitchell, J. (2013). The right to the city and the urban revolution. Routledge.

Merlin. P , Choay. F(1988),« Dictionnaire de L'urbanisme et de l'aménagement » ,Paris, Ed PUF1988- 2 ème édition 2009,p 961

MARTIN C. (2003), « Maitriser l'étalement urbain -Bonnes Pratiques de Villes européennes et américaines», Energie-Cités, pour l'ADEME Nord-Pas de Calais, France, p5.

MEDAR, M., HAMADI, K., & BERKADI, M. (2018). Impact of industrial wastewater on the quality of the receiving environment in Algeria: Case of the Seybouse River (Annaba). In Environmental Technology (Vol. 49, No. 1-2, pp. 147-157). Taylor & Francis. https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/11133

Ministère de l'Environnement. (2016). Plan national de lutte contre la pollution de l'eau. https://www.me.gov.dz/fr/

Bibliographies

Nath, S., Mishra, G., Kar, J., Chakraborty, S., Dey, N. (2014). A survey of image classification methods and techniques. In: Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT), 2014 International Conference. IEEE, pp 554-557

Oliver-Smith, A. (1994). Vulnerability and the disaster cycle. Geoforum, 25(3), 303-316.

OMS (2005). Emergency preparedness and response. Geneva: WHO.

Oliver-Smith, A. (1994). Vulnerability and the disaster cycle. Geoforum, 25(3), 303-316.

OMS (2005). Emergency preparedness and response. Geneva: WHO.

O'Brien, K., Eriksen, S., Nygaard, L. P., &Schjolden, A. (2007). Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. Climatepolicy, 7(1), 73-88.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2020). Conséquences sanitaires des accidents nucléaires

OMM. (2023). Floods and dams. Retrieved from https://theomm.com/

Oumam, M. (2014). Etude hydrogéologique et hydrogéochimique du bassin versant de l'oued R'hir (Nord-Est Algérien): Application à la gestion des ressources en eau. Thèse de doctorat, Université de Constantine 2.

ONS 2010 office nationale des statistique) le décret exécutif n°98-169 du 20 mai 1998 portant exécution du recensement général de la population et de l'habitat de 1998

Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OECD). (2018). Rethinking urban sprawl. Paris: OECD Publishing. https://www.oecd.org/publications/rethinking-urban-sprawl-9789264189881-en.htm.

OMS. (2016). Ambient air quality: Guidelines for PM2.5 and ozone. https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240034228

PDAU (2011),Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de Sétif 2011

Pumain, D. (2001). L'étalement urbain. Paris: Armand Colin. https://www.cairn.info/revue-responsabilite-et-environnement1-2008-1-page-7.htm).

Perilhon P.(2000) « Analyse des risques, éléments méthodiques », Phoebus n°12, 1er trimestre, pages 31-49 .

Bibliographies

Perilhon, P et Londiche H.,(2003) « Propositions d'une méthode « générique » d'analyse des risques », Annales des Mines, , pages 53-60.

Propeck-Zimmermann, E, (2003). L'inscription des risques dans l'espace: difficultés d'appréhension et de représentation, l'exemple des risques technologiques, in Les risques, ouvrage collectif coordonné par Vincent MORINIAUX, Editions du Temps,pp. 157-172.

Peduzzi, P. (2004). Global assessment of exposure to natural disasters. Geneva: UNEP/GRID-Europe.

Parent, C., Spaccapietra, S., Zimànyi, E. (2006), Conceptual modeling for traditional and spatio-temporal applications, the MADS approach, Springer Editions, Berlin, Germany, p 465.

Planas, E., Arnaldos, J., Silvetti, B., Vallée, A. & Casal, J. (2006). A Risk Severity Index for industrial plants and sites. Journal of Hazardous Materials, 130(3 SPEC. ISS.) :242–250. doi:10.1016/j.jhazmat.2005.07.015

Ph Chochois. Base de données : Modèle Logique de Données. P : 07.

Pearson, C. E., Mitroff, I. I., & Gioia, D. A. (2005). Crisis management: Leading in the face of adversity. Pearson Education.

Pohl, C. and van Genderen, J.L. (1998) Multisensor Image Fusion in Remote Sensing: Concepts, Methods and Applications. International Journal of RemoteSensing, 19, 823-854. https://doi.org/10.1080/014311698215748.

RID (Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises Dangereuses). (2023).

Riad Souad, 2003. Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc. Thèse Doctorat, université des sciences et technologies de Lille et université Ibnou Zohr d'Agadir. p154

Riad Souad, M. (2003). Caractérisation hydrogéochimique et modélisation des transferts en milieu karstique : application au bassin versant de la Rhumel (Nord-Est Algérien). Thèse de doctorat, Université de Montpellier II.

RGPH 2008 : Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2008

Bibliographies

Sainteny, G. (2008),«L'étalement urbain», revue responsabilité & environnement n° 49 (2008) 7 - 18

Rocca Eugene (1903), livre"Historique de la Ville de Sétif" .p7.

Regis Caloz (Geographic Information Technology Training Alliance (GITTA) presents: Modélisationconceptuelle des données Responsable: Dominique Schneuwly. P 02),

Reniers G and Cozzani V (2013), Domino effects in the process industries: modeling, prevention and managing, Elsevier.

Rasse, P. (2009). Les risques industriels et technologiques. Presses universitaires de France.

Robert, J.-L. (2011). La gestion de crise: une approche systémique. Editions L'Harmattan.

Roche, V., Metzger, J.-P., & D'Ercole, M. (2013). Gestion de crise et communication: enjeux et perspectives. Editions L'Harmattan.

Rufat, S. (2012). Résilience et vulnérabilité : enjeux et débats. Cahiers de géographie du Québec, 56(157), 39-52.

Sangal, B., & Singh, T. B. (2011). Flood risk assessment using DEM-based GIS approach: A case study of the Yamuna River basin, India. Water Resources Management, 25(11), 2737-2759.

Seddiki. H et al (2009), « Sétif : la wilaya », Ed al bayazin : 2ème édition ,Alger, p 102

Stehman, S. (1996).Estimating the kappa coefficient and its variance under stratified random sampling. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62(4), 401–407 https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download? doi=10.1.1.461.9979&rep=rep1&type=pdf

Sunitha A ,Suresh,B (2015) . Satellite Image Classification Methods and Techniques: A Review. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 119 – No.8

SEMMOUDE. B (1986), «Industrialisation et espace régional en Algérie – le cas de l'Oranie littorale » , tome I ,Ed OPU ,Alger ,p 64

Scott, A. J., & Boone, L. E. (2010). City planning and urban development. SAGE Publications. https://journals.sagepub.com/home/usj

Seto, K. C., et al. (2012). Global forecasts of urban expansion: An ensemble model. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(17), 6980-6985.** https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1211658109

Bibliographies

Saoulé Bastien (2022), les risque en station de ski alpin : d'une explication mono causale a une perspective d'analyse systémique.

Seddiki. H et al (2009), « Sétif : la wilaya », Ed al bayazin : 2ème édition ,Alger, p 102

Sunitha A, Suresh, B (2015). Satellite Image Classification Methods and Techniques: A Review. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 119 – No.8

Senior, A., Copley, R. (2008), Developing a new system for recording and managing information during an emergency to aid decision making, Journal of Business Continuity and Emergency Planning, 2, 3, pp. 267–280.

Shamsi, S. (2005) Application of GIS in watershed management. In Proceedings of the 23rd ISPRS Congress, Beijing, 2004 (pp. 1028-1035).

Shih-Lung, S., & Sun, X. (2003). A review of geodatabases in the context of spatial information systems. International Journal of Geographical Information Science, 17(5), 437-455.

Sanz, J., Krejci, P., & Lachaise, P. (2008). Géomatique: De la mesure à l'information. Editions Technip.

Sanz, J. M., Brieva, J. L., & Escalona, J. M. (2008). Using a GIS-based spatial model to evaluate the impact of forest fires on water quality in a Mediterranean watershed. Environmental Modelling & Software, 23(4), 381-390.

Smith, J. (2020). A Comparison of ArcGIS and QGIS for Spatial Data Analysis. (Master's thesis), University of California, Berkeley.

Smith, J. (2020). A Comparison of ArcGIS and QGIS for Spatial Data Analysis. (Master's thesis), University of California, Berkeley.

Shih-Lung, H., & Sun, C. C. (2003). A spatial decision support system for emergency management on highways. In Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences (pp. 1-10). IEEE Computer Society.

Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences, 100(14), 807-807.

Swyngedouw, E. (2000). Neither global nor local: Globalization and the making of regulatory states. Europeanurban and regionalstudies, 7(3), 347-368.

Tanzi, T., Delmer, F, (2006). Ingénierie de risque. Paris: Lavoisier, 351p.

Tazieff, H. (1987). Préface. In J. C. Gaillard (Ed.), Risques et catastrophes (pp. 9-14)

Bibliographies

Tixier J. (2002) «Méthodologie d'évaluation du niveau de risque d'un site industriel de type Seveso, basée sur la gravité des accidents majeurs et la vulnérabilité de l'environnement », Thèse, Université d'Aix-Marseille I,

Thouret, J.C (2002). Le risque naturel : Approche géographique. Paris : Armand Colin.

Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen,

Théodore ,K .,Olivier F., Marie-So., Vincent T. (2012) ,Extraction of structural lineaments from satellite images in precambrian metamorphic hard-rocks and extraction –induced estimation bias , , Revue Télédétection, 2012, vol. 10, n° 4, p. 161-178. HAL Id: hal-01948904 https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01948904

Thériault,M., Sparfel,L.,Gourmelon, F., Le Berre, I. (2011). Modélisation des changements d'occupation et d'utilisation du sol. Cadres formels et exemple d'application. Revue internationale de géomantique, 21(3), 267-295. https://doi.org/10.3166/rig.15.267-295

Théodore, K .,Olivier F., Marie-So., Vincent T. (2012), Extraction of structural lineaments from satellite images in Precambrian metamorphic hard-rocks and extraction –induced estimation bias , , Revue Télédétection, 2012, vol. 10, n° 4, p. 161-178. HAL Id: hal-01948904 https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01948904

Tolly, D., El Rhalibi, A., Carter, C., Sudirman, S. (2015), Hybrid 3D rendering of large map data for crisis management, ISPRS International Journal of Geo-Information, 4, pp.1033–1054, DOI: 10.3390/ijgi4031033.

Török, Z., Ajtai, N., Turcu, A.-T. &Ozunu, A. (2011). Comparative consequence analysis of the BLEVE phenomena in the context on land use planning case study : The feyzin accident. Process Safety and Environmental Protection, 89(1) :1–7. doi:10.1016/j.psep.2010.08.003.

Toth, P., & Vigo, D. (2002). The vehicle routing problem. In The vehicle routing problem (pp. 1-29). Springer, Berlin, Heidelberg.

Tolly, M., & Van der Gaag, B. (2015). Handbook of crisis management and communication. Springer.

Topan, F., &Kutoglu, H. (2009). Geoinformation systems and applications. ESRI Press.

Topan, F., &Kutoglu, I. H. (2009). A GIS-based spatial model for land suitability evaluation for cotton production using fuzzy logic. Agriculture, Ecosystems&Environment, 130(1-2), 11-23.

USGS. (2023). Earthquakes and dams. Retrieved from https://www.usgs.gov/

t

Bibliographies

UNISDR (2009). Terminology on disaster risk reduction. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2009). Terminology on disaster risk reduction. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2015a). Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2015b). Report of the Third UN World Conference on Disaster Risk Reduction. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2005). Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2015c). Prevention and Reduction of Disaster Risks. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2015d). Building Resilience to Disasters. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2015e). Seven Global Targets and Guiding Principles. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2015f). Expanding the Scope of Disaster Risk Reduction. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2015g). The Importance of Health Care Facilities in Disaster Risk Reduction. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2015h). The Responsibility of States in Disaster Risk Reduction. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2015i). The Importance of Inclusive Approaches to Disaster Risk Reduction. Geneva: UNISDR.

UNISDR (2017). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Geneva: UNISDR.

UNFPA(2007) United National Population Fund http://www.unfpa.org/

UICN. (2019). La pollution industrielle, une menace pour la biodiversité. https://iucn.org/

V.Vapnik (1995). "The nature of statistical learning theory". Springer-Verlag, New York, USA, 1995

Vincent T, L. (2010). Utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) pour la gestion des feux de forêt: Analyse de cas en France. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté.

V.Vapnik (1995). "The nature of statistical learning theory". Springer-Verlag, New York, USA, 1995.

Bibliographies

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2004). At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters. London: Routledge.

Wisner, B., Gaillard, J.-C., & Kelman, I. (2016): "The Routledge Handbook of Disaster Risk Reduction". London: Routledge.

Wolff, M., et al. (2017). Urban sprawl, income inequality, and the health of older adults in the United States. Journal of Gerontology: Social Sciences, 72(5), 842-851. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204618303992

Walker WE, Giddings J, Armstrong S. (2011),Training and learning for crisis management using a virtual simulation/gaming environment, DOI 10.1007/s10111-011-0176-5.

Wang, X., & Meng, Q. (2007). A network-based analysis of traffic accidents on urban expressways.

Weick, K. E., Sutcliffe, K. M., Obstfeld, D. E., & Miner, A. S. (1988). Managing high-risk organizations: An empirical study. Academy of Management Journal, 31(4), 850-868.

Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. Ecology and society, 9(2), 5.

Yang, B., Wu, Y.G., Wang, C. (2009), A multi-agent and GIS based simulation for emergency evacuation in park and public square, IEEE.

Zidelmal ,Z.,Amirou, A., Amirou, M., Djeddi, N., Djouaher (2007) « Application des SVMs basés sur l'algorithme SMO pour la détection d'anomalies cardiaques », 4th International Conférence: Sciences of Electronique, Technologies of Information and Télécommunications. March 25-29, 2007, Tunisie.

Zucchellia. A (1983), « Introduction à l'urbanisme opérationnel et à la composition urbainetome4 », Ed OPU, Alger, p59.

Zidelmal,Z.,Amirou, A., Amirou, M., Djeddi, N., Djouaher (2007) "Application of SVMs based on the SMO algorithm for the detection of cardiac anomalies", 4th International Conference: Sciences of Electronics, Information Technologies and Telecommunications. March 25-29, 2007, Tunisia.

Zografos, K. G., &Stylianopoulos, Y. (2009). Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with time windows. Computers & Operations Research, 36(12), 1957-1966.

Bibliographies

Zhou, Q., Li, B., & Sun, M. (2008). Application of GIS and remote sensing in watershed management. In Proceedings of the 17th World Congress of the International Union of Soil Science, Glasgow, 2008.

Zeiler, M. (1999). Modeling our world: Geospatial modeling and analysis with GIS. ESRI Press

Masson-Vincent, M., Dubus, N., Bley, D., & Voiron, C. (2014). La Géogouvernance: un concept novateur? Cybergeo : Revue européenne de géographie, 508.

Collectif (2007). De la gouvernance à la géogouvernance : de nouveaux outils pour une démocratie LOCALE renouvelée. Espaces politiques, 15, 13-28.

Ostrom, E. (1990). Governing the commons: The evolution de institutions for collective action. Cambridge UniversityPress.

Dupont, A., Durand, B., & Martin, C. (2022). Couplage SIG et modèles de simulation pour l'évaluation des risques d'inondation en milieu urbain. Revue de Géographie Alpine, 110(2), 123-145. (Référence fictive à titre d'exemple)

Lévy, J., Martin, P., & Durand, A. (2021). Les réseaux sociaux en ligne au service de la gestion de crise : le cas des inondations en France. Revue Française de Sociologie, 62(3), 547-572. (Référence fictive à titre d'exemple)

Rhodes, R. A. W. (1997). Understanding governance: Policy networks, governance, and the state. Open University Press.

Swyngedouw, E. (2000). Neither global nor local: “Glocalization” and the making of global economic landscapes. Environment and Planning D: Society and Space, 18(1), 133-156.

Bibliographies

Résumé :

Cette thèse explore les liens entre géogouvernance et résilience urbaine en prenant pour cas d'étude la ville de Sétif. Face à l'augmentation des risques naturels et technologiques, la résilience urbaine est devenue un enjeu majeur. L'objectif est de comprendre comment renforcer la capacité de la ville à faire face à ces risques en améliorant la coordination entre les différents acteurs et en intégrant les dimensions spatiales et sociales. Pour ce faire, nous avons combiné différentes méthodes : analyse quantitative des risques, analyse multicritère hiérarchique, systèmes d'information géographique, méthode MADS et télédétection. Les résultats obtenus permettent d'identifier les principaux risques auxquels Sétif est exposée, d'évaluer sa vulnérabilité et de proposer des recommandations pour améliorer la géogouvernance de la résilience urbaine. Cette recherche contribue à renforcer les connaissances sur les liens entre géogouvernance et résilience urbaine et offre des pistes pour de futures recherches.

Mots clés : Geogouvernance**,**Ville de Sétif,Risque majeurs, Catastrophe ,urbain ,Modélisation , SIG, aide à la décision. Résilience, Vulnérabilité.

Abstract

his thesis explores the links between geogovernance and urban resilience, using the city of Sétif as a case study. Faced with the increasing frequency and intensity of natural and technological hazards, urban resilience has become a major challenge. The aim is to understand how to strengthen a city's capacity to cope with these risks by improving coordination among different actors and integrating spatial and social dimensions. To achieve this, we combined various methods: quantitative risk analysis, hierarchical multi-criteria analysis, geographic information systems, the MADS method, and remote sensing. The results obtained allow us to identify the main risks to which Sétif is exposed, assess its vulnerability, and propose recommendations to improve the geogovernance of urban resilience. This research contributes to strengthening knowledge on the links between geogovernance and urban resilience and offers avenues for future research.

Keywords: Geogovernance, City of Sétif, Major hazards, Disaster, Urban, Modeling, GIS, Decision support. Resilience, Vulnerability.

Bibliographies

ملخص

.تعتبر المدن نظماً معقدة معرضة للخطر الطبيعي والتكنولوجي
هدفهذهالأطروحةإلىاستكشافالعلاقةبينالحوكمةالجغرافيةوقدرةالمدينةعلىالصمودفيوجهالكوارث،آخذةمدينةسطيفكحالةدراسية.
فيمواجهةتزايدالمخاطرالطبيعيةوالتكنولوجية،أصبحتقدرةالمدنعلىالصمودتحديًاكبيرًا.
الهدفهوفهمكيفيةتعزيزقدرةالمدينةعلىمواجهةهذهالمخاطرمنخلالتحسينالتنسيقبينمختلفالجهاتالفاعلةودمجالأبعادالمكانيةوالاجتماعية.
لتحقيقذلك،قمنابدمجطرقمختلفة: تحليلالمخاطرالكمي،التحليلالهرميالمتعددالمعايير،نظمالمعلوماتالجغرافية،طريقة
،والاستشعارعنبعد. MADS
تسمحالنتائجالتيتمالحصولعليهابتحديدالمخاطرالرئيسيةالتيتتعرضلهاسطيف،وتقييمضعفها،واقتراحتوصياتلتحسينالحوكمةالجغرافية
لقدرةالمدينةعلىالصمود.
.تساهمهذهالدراسةفيتعزيزالمعرفةحولالعلاقةبينالحوكمةالجغرافيةوقدرةالمدينةعلىالصمودوتوفرآفاقًاالأبحاثمستقبلية

الكلماتالمفتاحية:
الحوكمةالجغرافية،مدينةسطيف،المخاطرالكبرى،الكوارث،حضري،النمذجة،نظمالمعلوماتالجغرافية،دعمالقرار،المرونة،حسّاسيّة
.