REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE /INSTITUT DE : Gestion Des Technique Urbaine

DEPARTEMENT : Ville et Urbanisme

N° :.....

DOMAINE : Architecture, Urbanisme et Métiers de la Ville

FILIERE : Urbanisme

OPTION : Urbanisme

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : Mansouri Ghania Karame

Intitulé

L'intelligence artificielle un outil de gestion des risques naturels, étude de cas Corso Boumerdès

Soutenu devant le jury composé de :

Hadj hafsi Lahsen	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
Hadji Abdelkader	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examinateur
Dogha Mohamed Soufiane	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Encadreur

Année universitaire : 2025 /2026

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة محمد بوضياف – المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'SILA
معهد تسيير التقنيات الحضرية
Institut de Gestion des Techniques Urbaines

ملحق بالقرار رقم 1082 المؤرخ في 27 ديسمبر 2020
الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية و مكافحتها

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي والبحث العلمي : جامعة محمد بوضياف –المسيلة

تصـــريح شـــرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أسفله:

السيد [ة]: منصوري غنية كريم الصفة (أستاذ،باحث،طالب) : طالبة

الحامل (ة) لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 029958331 والصادرة بتاريخ : 2022/09/15

المسجل [ة] بكلية /معهد : تسيير التقنيات الحضرية قسم : عمران

و المكلف[ة] بانجاز أعمال بحث [مذكرة التخرج، مذكرة ماستر ،مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه]

عنوانها :

L'intelligence artificielle un outil de gestion des risques naturels, étude de cas Corso Boumerdès

أصرح بشرفي أني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و التزامه الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ : 2024/05/30

توقيع المعني [ة]

BP: 166 – M'sila 2800
.33. 23.18

Tél : 035 ص ب : 166- المسيلة 28000
الهاتف : 035.33.23.18

Remerciements

Louange à Allah, le Tout-Puissant, le Clément, dont le secours et la miséricorde n'ont jamais cessé de m'accompagner. Mon premier et plus profond Hamd s'adresse au Seigneur des mondes, qui m'a accordé la santé, la patience et la force d'accomplir ce travail. Ô Allah, je Te rends grâce pour chaque moment de clarté, pour la persévérance instillant dans mon cœur face aux doutes, et pour avoir mis sur mon chemin des personnes bienveillantes. Tout ce qui est accompli de bon dans ce mémoire vient de Toi seul, et mes manquements ne viennent que de moi-même. Alhamdulillah pour le début, Alhamdulillah pour la fin, et Alhamdulillah pour ce succès que je Te demande d'agréer.

C'est dans cette atmosphère de gratitude que je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à mon directeur de recherche, **Monsieur le Docteur Dougha Mohamed Soufiane**. Je le remercie profondément pour avoir cru en ce projet dès le départ, pour sa rigueur scientifique qui a guidé mes pas, ainsi que pour sa patience et sa disponibilité constante. Ses précieux conseils et son orientation bienveillante ont été de véritables piliers tout au long de cette recherche.

J’adresse également toute ma gratitude et mon profond respect aux honorables membres du jury qui me font l’immense honneur d’examiner et d’évaluer ce modeste travail. Leurs critiques constructives et leurs précieuses remarques sauront à coup sûr enrichir ma réflexion et parfaire ma formation.

Enfin, mes remerciements s'étendent à mes parents ainsi qu'à tous ceux qui, par un mot, un sourire ou un soutien indéfectible, ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce mémoire.

Dédicaces

C'est sous cette bénédiction divine que je dédie ce modeste travail, avec un cœur vibrant d'amour et de gratitude :

À mes parents, mes guides vers le Paradis

- **À ma tendre mère, Fatima Belaribi :** Ma source de tendresse et de lumière. Toi dont les prières nocturnes ont balisé mon chemin. Que Allah (SWT) t'accorde une santé de fer, préserve ton sourire et t'élève aux plus hauts degrés du *Firdaws*, car le Paradis est sous tes pieds.
- **À mon cher père, Mansouri Baghdadi :** Mon modèle de droiture et de sacrifice. Ta rigueur et ton soutien infaillible m'ont permis de me tenir debout aujourd'hui. Que le Très-Haut te récompense par Sa satisfaction éternelle et te garde à nos côtés comme une couronne de bénédiction.

Aux âmes pures qui nous ont devancés dans l'au-delà

- À ma chère grand-mère **Hanna**, et à ma grand-mère **Maghniya** dont je porte fièrement et humblement le prénom.
- À ma douce cousine **Samah**, arrachée trop tôt à notre affection.

Ô Allah, pardonne-leur, fais-leur miséricorde, illumine leurs tombes d'une lumière céleste et rassemble-nous avec elles sous l'ombre de Ton Trône le jour où il n'y aura d'ombre que la Tienne. Amin.

À ma fratrie, mes piliers et mes joies

- **À ma sœur aînée, Asmaa :** Ma deuxième maman, mon refuge dans les moments de doute. Que Dieu te bénisse pour ta bienveillance constante. À son fils, mon amour de neveu **Wael**, la joie de mes yeux.
- **À mon frère unique, Yassine Mansouri, et son épouse Myna :** Que Allah fortifie votre foyer. Une pensée pleine de tendresse pour le petit ange qui grandit dans le secret de son cinquième mois ; ô Seigneur, facilite sa venue au monde, fais de lui un être sain, pieux et une bénédiction pour ses parents.
- **À mes petites sœurs, Malak et Aya :** Les rayons de soleil de ma vie. Je prie Allah de guider vos pas et de vous accorder une réussite éclatante ici-bas et dans l'au-delà.

Au compagnon de vie discret

- À celui dont le soutien silencieux, la patience et la présence précieuse ont fortifié mon cœur tout au long de ce parcours. Que Allah t'accorde paix, succès et te préserve pour moi.

À mes fidèles amies

- À toutes mes amies, et particulièrement à **Ines**, **Aya** et **Nour**. Notre amitié est un bienfait d'Allah. Merci pour vos encouragements et votre sincérité. Que notre fraternité perdure dans le bien.

« رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَىٰ وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ »

Résumé

Ce mémoire porte sur l'intégration de l'Intelligence Artificielle (IA) et de l'Internet des Objets (IoT) dans la gestion prédictive des risques majeurs en milieu urbain littoral, à travers le cas de la commune de Corso(wilaya de Boumerdès). Face à une vulnérabilité structurelle élevée résultant d'une topographie contrastée, d'une urbanisationrapide et désordonnée sur des zones sensibles, et d'un accroissement des aléas hydrométéorologiques et géomorphologiques, l'étude met en évidence les limites des outils classiques de planification urbaine (PDAU et POS).

Après un diagnostic territorial approfondi, le mémoire propose un système innovant dénommé Corso Résilient System (CRS) : une plateforme intégrée combinant un réseau dense de capteurs IoT, un moteur d'analyse prédictive basé sur l'IA (modèles hybrides Physics-Informed Neural Networks et LSTM), et un dashboard intelligent d'aide à la décision. Ce système vise à assurer une surveillance continue, une alerte précoce et une actualisation dynamique des documents d'urbanisme.

Les résultats démontrent que l'IA permet de transformer la gestion des risques d'une approche curative en une démarche prédictive et proactive, améliorant significativement la résilience territoriale et offrant un modèle réplicable à d'autres communes littorales algériennes.

Mots-clés : Intelligence Artificielle, IoT, Gestion des risques, Inondation, Glissement de terrain, Urbanisme résilient, Corso, Boumerdès.

Summary :

This thesis focuses on the integration of Artificial Intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) into the predictive management of major risks within coastal urban environments, using the case study of the municipality of Corso (Wilaya of Boumerdes). Faced with high structural vulnerability resulting from a contrasted topography, rapid and uncontrolled urbanization in sensitive areas, and an increase in hydrometeorological and geomorphological hazards, the study highlights the limitations of conventional urban planning tools (the PDAU and POS). Following an in-depth territorial diagnosis, this research proposes an innovative system named *Corso Résilient System* (CRS): an integrated platform combining a dense network of IoT sensors, an AI-based predictive analytics engine using hybrid Physics-Informed Neural Networks and LSTM models, and an intelligent decision-support dashboard. This system aims to ensure continuous monitoring, early warning, and dynamic updating of urban planning documents. The results demonstrate that AI transforms risk management from a curative approach into a predictive and proactive methodology, significantly enhancing territorial resilience while offering a replicable model for other Algerian coastal municipalities.

Keywords : Artificial Intelligence, IoT, Risk Management, Flood, Landslide, Resilient Urbanism, Corso, Boumerdes.

ملخص

يهدف هذا المذكرة إلى دراسة إدماج الذكاء الاصطناعي في الإدارة التنبؤية للمخاطر الكبرى في (IoT)وإنترنت الأشياء (IA) المناطق الحضرية الساحلية، من خلال حالة بلدية قورصو (ولاية بومرداس).

تواجه المنطقة هشاشة هيكلية مرتفعة ناتجة عن تضاريسها المتباينة، والتمدد العمراني السريع وغير المنظم على مناطق حساسة، مخطط)وتزايد الظواهر الهيدرورومترولوجية والجيومورفولوجية. تبرز الدراسة محدودية أدوات التخطيط العمراني التقليدية (POSومخطط شغل الأراضي PDAUتوجيه التهيئة والتعمير.

بعد تشخيص ميداني معمق، تقترح المذكرة نظاماً مبتكراً يُدعى **نظام قورصو المرن (Corso Résilient System - CRS)**: نماذج)، ومحرك تحليل تنبؤي يعتمد على الذكاء الاصطناعي (IoT)منصة متكاملة تجمع بين شبكة كثيفة من أجهزة الاستشعار ، وواجهة ذكية للمساعدة في اتخاذ القرار. يهدف هذا النظام إلى (LSTM وPhysics-Informed Neural Networksهجينة ضمان المراقبة المستمرة، والإنذار المبكر، وتحيين ديناميكي لوثائق التعمير.

تظهر النتائج أن الذكاء الاصطناعي يمكّن من تحويل إدارة المخاطر من نهج علاجي إلى نهج تنبؤي واستباقي، مما يعزز بشكل كبير قدرة المنطقة على الصمود ويقدم نموذجاً قابلاً للتعميم على بلديات ساحلية أخرى في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، إدارة المخاطر، الفيضانات، الانهيارات الأرضية، التعمير المرن، قورصو، بومرداس.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE INTRODUCTIF ..... —

Introduction 1
Problématique 2
Hypothèses 2
Objectifs 3
Importance du Sujet 3
Motif de Choix du Sujet et Zone d'Étude 3
Méthodologie de la Recherche 4
Structure de Recherche 5
Bibliographie du Chapitre Introductif 7

CHAPITRE I : L'Intelligence Artificielle et Analyse Systémique des Risques Majeurs ..... —

Introduction 9
1.1 Définition Détaillée de l'Intelligence Artificielle (IA) 9
1.2 Les Différents Types d'IA (par Capacité/Fonctionnalité) 9
1.2.1 Machines Réactives 10
1.2.2 IA à Mémoire Limitée 10
1.2.3 IA Basée sur la Théorie de l'Esprit (en développement) 10
1.2.4 IA Consciente d'Elle-même (hypothétique) 10
1.3 Les Catégories d'IA (par Niveau d'Intelligence/Portée) 10
1.3.1 Intelligence Artificielle Étroite (ANI ou IA Faible) 10
1.3.2 Intelligence Artificielle Générale (AGI ou IA Forte) 10
1.3.3 Super Intelligence Artificielle (ASI ou Super IA) 11
1.4 Techniques et Domaines Clés de l'IA Pertinents 11
1.4.1 Apprentissage Automatique (Machine Learning - ML) 11
1.4.2 Apprentissage Profond (Deep Learning - DL) 11
1.4.3 Vision par Ordinateur 12
1.4.4 IA Générative 12
1.5 Pertinence pour la Gestion des Risques d'Inondation et de Glissement de Terrain 12
2. Cadre Théorique et Approche Conceptuelle des Risques 13
2.1 Concepts Fondamentaux : Aléa, Vulnérabilité, Risque et Résilience 13
2.2 Les Risques Majeurs d'Inondation et de Glissement de Terrain 14
2.2.1 Le Risque d'Inondation 14
2.2.2 Le Risque de Glissement de Terrain 15
2.2.3 Facteurs Déclenchants des Glissements de Terrain 15

2.3 Terminologie, Notions Associées et Cadre Réglementaire 16
2.3.1 Notions Opérationnelles en Urbanisme 16
2.3.2 Cadre Réglementaire en Algérie 16
2.4 Impacts Urbains et Perspective de l'Intelligence Artificielle 17
2.4.1 Impacts sur le Tissu Urbain 17
2.4.2 Pertinence de l'Intégration de l'IA dans la Gestion des Risques 17
3. Convergence entre l'IA et la Gestion des Risques Majeurs : Vers une Approche Intégrée et Prédictive 18
3.1 Apports Théoriques et Méthodologiques de l'IA dans l'Identification des Risques 19
3.2 Apports de l'IA dans l'Élaboration des Stratégies d'Intervention et de Gestion 19
3.3 Cas d'Étude : Le Projet SafeLand et Autres Expériences Internationales 20
3.4 Défis et Perspectives pour le Contexte Algérien (Corso, Wilaya de Boumerdès) 20
Conclusion 21
Bibliographie du Chapitre 1 22

CHAPITRE II : Présentation et Caractérisation de la Zone d'Étude – La Commune de Corso ..... —

Introduction 24
2.1 Présentation administrative, géographique et démographique de la commune de Corso. 25
2.1.1 Situation géographique et morphologie territoriale 25
2.1.2 Délimitation administrative et limites communales 26
2.2 Démographie et urbanisation 29
2.2.1 Démographie 29
2.2.2 Structure de la population 30
2.2.3 Urbanisation 32
2.3 Cadre géologique et lithologique 36
2.3.1 Cadre géologique régional 36
2.3.2 Caractéristiques hydrogéologiques 37
2.3.3 Distribution spatiale des faciès lithologiques 37
2.4 Géomorphologie et étude du relief 38
2.4.1 Caractéristiques géomorphologiques générales 38
2.4.2 Étude détaillée du relief 41
2.4.3 Implications pour les risques majeurs 42
2.5 Situation géographique du bassin versant et étude du réseau hydrographique 43
2.5.1 Délimitation et situation du bassin versant 44
2.6 Cadre bioclimatique et dynamique météorologique 46
2.6.1 Impact hydro-climatique sur la vulnérabilité territoriale 47
2.6.2 Analyse quantitative et fréquentielle des précipitations 48
2.6.3 Implications hydrologiques et risques 49
Conclusion 50
Références bibliographiques 52

CHAPITRE III : Gestion Prédictive des Risques par IA ..... —

Introduction 55
3.1.1 Approfondissement de la problématique locale et limites des approches traditionnelles55
3.1.1.1 Vulnérabilités spécifiques de la commune de Corso 55
3.1.1.2 Insuffisances des outils classiques de planification urbaine en Algérie 59
3.1.1.3 Enjeux de la transition vers un urbanisme intelligent et connecté 59
3.2 Architecture générale du système proposé : « Corso Résilient System » (CRS) 60
3.2.1 Présentation globale de l'écosystème 60
3.3 Le Réseau de Captation : Couche IoT et collecte de données en temps réel 62
3.3.1 Choix et emplacement des capteurs 63
3.3.2 Infrastructure de communication et stockage 66
3.3.3 Aspects techniques et de déploiement 67
3.4.1 Pipeline de traitement des données 69
3.4.2 Fonctionnalités avancées 72
3.4.3 Validation et précision des modèles 73
3.5.1 Conception de la plateforme utilisateur 80
3.5.1.1 Outils de Zonage Urbain Dynamique 82
3.5.2 Système d'alertes précoces et protocoles d'intervention 86
3.5.3 Aspects éthiques, de gouvernance et d'acceptabilité sociale 89
3.6 Objectifs, retombées urbanistiques et impacts attendus 89
3.6.1 Objectifs opérationnels du système 89
3.6.2 Retombées sur la planification urbaine 90
3.6.3 Impacts socio-économiques et environnementaux 90
3.7.1 Analyse coût-bénéfice et modèle économique 91
3.7.2 Obstacles techniques, institutionnels et réglementaires en Algérie 91
3.7.3 Feuille de route phasée 92
3.7.4 Partenariats recommandés 92
Conclusion 93
Bibliographie du Chapitre 3 94
CONCLUSION GÉNÉRALE 96

TABLEAU DES FIGURES

Figure 1 Logique de la démarche de recherche 6
Figure 1.1 Classification hiérarchique des types d'IA par niveaux de capacité cognitive 10
Figure 1.2 Diagramme d'inclusion des paradigmes de l'Intelligence Artificielle 12
Figure 1.3 Modélisation des interactions systémiques entre aléas, enjeux, représentations et gestion dans l'évaluation de la vulnérabilité 14
Figure 1.4 Typologie de l'IA selon les niveaux de capacités cognitives 18
Figure 2.1 Carte de localisation de la commune de Corso dans la wilaya de Boumerdès 26
Figure 2.2 Carte de localisation et de situation administrative de la commune de Corso à l'échelle nationale et régionale 28
Figure 2.3 Carte d'accessibilité de la commune de Corso dans la wilaya de Boumerdès 29
Figure 2.4 Pyramide des âges de la commune de Corso (2023) 30
Figure 2.5 Évolution de la population de Corso (1998–2023) 32
Figure 2.6 Analyse de centralité – Buffer 100 m autour de la Mairie de Corso 32
Figure 2.7 Répartition comparative des surfaces des classes d'occupation du sol à Corso entre 2000 et 2023 (en pixels) 33
Figure 2.8 Taux de variation global (%) des classes d'occupation du sol à Corso sur la période 2000–2023 33
Figure 2.9 Carte d'évolution de l'occupation du sol et de l'expansion urbaine de Corso (2000–2023) 34
Figure 2.10 Simulation tridimensionnelle (3D) de la susceptibilité morpho-dynamique des versants sud de Corso et de l'exposition du bâti aux glissements 36
Figure 2.11 Coupe géologique schématique nord-sud de la commune de Corso 38
Figure 2.12 Simulation tridimensionnelle (3D) de l'impact macro-urbain d'une crue majeure de l'Oued Corso sur le centre-ville et le pôle universitaire 39
Figure 2.13 Carte géomorphologique de la commune de Corso 40
Figure 2.14 Courbe hypsométrique et profil topographique nord-sud de Corso 42
Figure 2.15 Organigramme systémique des interactions entre relief, aléas naturels et vulnérabilité urbaine à Corso 43
Figure 2.16 Localisation des principaux bassins versants affectant la commune de Corso 45
Figure 2.17 Synthèse des indicateurs climatiques de la région d'étude 46
Figure 2.18 Diagramme ombrothermique de la station de Boumerdès (moyenne 1981–2020) 46
Figure 2.19 Régime pluviométrique mensuel et occurrence des jours de pluie de la zone d'étude 49
Figure 2.20 Synthèse des facteurs de vulnérabilité de la commune de Corso 50
Figure 3.1 Carte de localisation des zones à risque d'inondation et de glissement de terrain à Corso 57
Figure 3.2 Analyse des Points Noirs Multi-Aléas dans la Commune de Corso (Wilaya de Boumerdès) 58
Figure 3.3 Diagramme conceptuel de l'architecture du Corso Résilient System (CRS) 61
Figure 3.4 Carte de proposition d'implantation du réseau de capteurs IoT à Corso 64
Figure 3.5 Proposition d'implantation du réseau de capteurs IoT à Corso 65
Figure 3.6 Interface du tableau de bord (Dashboard) intelligent pour la gestion en temps réel des risques majeurs à Corso 68
Figure 3.7 Pipeline de traitement des données du moteur d'analyse IA 70
Figure 3.8 Visualisation des Séries Temporelles et Suivi en Temps Réel des Paramètres Critiques (Water Level & Displacement Rate) 71
Figure 3.9 Évaluation comparative des performances métriques des différentes familles de modèles de prédiction 74

Figure 3.10 Matrice de confusion et courbes ROC des modèles retenus 74
Figure 3.11 Matrice de confusion et courbe ROC du modèle LSTM pour la prédiction des inondations 75
Figure 3.12 Évaluation des performances du modèle prédictif LSTM pour le risque d'inondation : Matrice de confusion et courbe ROC 75
Figure 3.1 Exemple de dashboard de prédiction de risque (simulation)..... 77
Figure 3.14 Architecture technique détaillée du moteur IA 79
Figure 3.15 Maquette du Dashboard Principal (Version Décideurs) 81
Figure 3.16 Module de Filtres de Zonage Urbain et de Vulnérabilité 83
Figure 3.17 Module de Zonage Urbain et d'Évaluation de la Vulnérabilité du Corso Resilient System85
Figure 3.18 Module de Calcul et de Gestion des Itinéraires d'Évacuation Dynamiques 87
Figure 3.19 Journal des Alertes en Temps Réel du Corso Resilient System..... 88

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Positionnement géographique de la commune de Corso 26
Tableau 2.2 Le Cadre Administratif de la commune de Corso 27
Tableau 2.3 Structure de la population par tranche d'âge (Corso, 2023) 31
Tableau 2.4 Répartition spatiale de l'urbanisation et niveau de vulnérabilité 35
Tableau 2.5 Caractéristiques géologiques et puissances des séries sédimentaires de Corso 36
Tableau 2.6 Principales caractéristiques hydrogéologiques de la commune de Corso 38
Tableau 2.7 Unités géomorphologiques de la commune de Corso 41
Tableau 2.8 Paramètres climatiques de la région de Corso / Boumerdès 48

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

AGI : Artificial General Intelligence (Intelligence Artificielle Générale)
ANN : Artificial Neural Networks (Réseaux de Neurones Artificiels)
ANI : Artificial Narrow Intelligence (Intelligence Artificielle Étroite)
ASI : Artificial Super Intelligence (Super Intelligence Artificielle)
CNN : Convolutional Neural Networks (Réseaux de Neurones Convolutionnels)
CRS : Corso Résilient System
DL : Deep Learning (Apprentissage Profond)
DUAC : Direction de l'Urbanisme, de l'Architecture et de la Construction
GRU : Gated Recurrent Unit (Unité Récurrente à Portes)
IA : Intelligence Artificielle
IG TU : Institut de Gestion des Techniques Urbaines
IoT : Internet of Things (Internet des Objets)
IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
LiDAR : Light Detection and Ranging (Détection et télémétrie par la lumière)
LSTM : Long Short-Term Memory (Mémoire à long et court terme)
ML : Machine Learning (Apprentissage Automatique)
ODD : Objectifs de Développement Durable
PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
POS : Plan d'Occupation des Sols
PPR : Plan de Prévention des Risques
RPA : Règlementation Parasismique Algérienne
SAP : Système d'Alerte Précoce
SIG : Système d'Information Géographique
SIGPR : Système Intégré de Gestion Prédictive des Risques
SMCE : Spatial Multi-Criteria Evaluation (Évaluation multicritère spatiale)
SNAT : Schéma National d'Aménagement du Territoire
SUDS : Systèmes Urbains de Drainage Durables
UNDRR : United Nations Office for Disaster Risk Reduction

CHAPITRE INTRODUCTIF

1- Introduction

Dans le contexte mondial actuel, caractérisé par des changements climatiques rapides et des pressions démographiques croissantes, les risques naturels tels que les inondations et les glissements de terrain représentent des défis critiques pour la gestion urbaine. Selon le Rapport sur les catastrophes de la Banque mondiale, les événements météorologiques extrêmes sont responsables de milliards de dollars de pertes économiques chaque année et affectent des millions de personnes à travers le globe. Les inondations, qui touchent potentiellement 1,6 milliard de personnes (Rentschler, J., & Salhab, M. (2022), et les glissements de terrain, souvent mortels, révèlent l'urgence de renforcer notre résilience face à ces menaces croissantes. (Banque Mondiale, 2022)

L'intensification de ces événements est largement attribuée aux effets du changement climatique, aux pratiques d'urbanisation non durables et à l'augmentation de la population dans des zones vulnérables aux catastrophes. Les zones côtières et urbaines densément peuplées à travers le monde, qui sont souvent mal préparées à faire face à ces risques, nécessitent une attention accrue. Par exemple, des métropoles comme Bangkok, Miami ou Dhaka se retrouvent en première ligne des impacts des inondations, exacerbées par la montée du niveau des mers et des infrastructures inadaptées. (IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press) (IPCC, 2022).

La gestion des risques naturels exige une approche intégrée, alliant la planification urbaine durable à des outils d'évaluation rigoureux. L'utilisation de technologies avancées, comme les modèles géospatiaux et les systèmes d'information géographique (SIG), est cruciale pour cartographier et anticiper les zones à risque, améliorant ainsi la compréhension des dynamiques environnementales dans des contextes variés. Simultanément, l'intelligence artificielle (IA) offre de nouvelles perspectives pour traiter de grandes quantités de données et identifier des modèles susceptibles d'informer les politiques publiques et les stratégies d'intervention, Il est également considéré comme un outil efficace pour prévoir et gérer les catastrophes, Par conséquent, son utilisation est devenue essentielle pour améliorer les méthodes de prévention et l'intervention rapide. (Mechentel et al., 2026)

Dans cette dynamique mondiale, l'Algérie, et plus précisément la ville de Corso, se présente comme un terrain d'observation privilégié. Avec une morphologie complexe, qui combine littoral, plaines et reliefs instables, cette région illustre des enjeux d'aménagement critiques, où le risque d'inondation et les glissements de terrain se conjuguent. L'intégration de l'intelligence artificielle apparaît ici comme une nécessité pour surmonter les limites des instruments d'urbanisme classiques (PDAU, POS), en réponse à l'urgence climatique locale. (IG TU, 2024)

Ce mémoire s'engage à analyser l'interaction entre l'urbanisme, la gestion des risques naturels et L'essor de l'intelligence artificielle dans l'information et la communication à l'échelle mondiale. Nous explorerons les avancées récentes dans la planification urbaine intégrée et durable, en mettant l'accent sur les meilleures pratiques et les leçons apprises dans différents contextes géographiques. En outre, nous tenterons de dégager des recommandations quant aux stratégies de résilience qui pourraient être mises en œuvre pour atténuer ces risques au niveau local.

En définitive, à travers cette étude, nous souhaitons mettre en lumière les défis mondiaux de l'aménagement urbain face aux catastrophes naturelles, en démontrant le rôle de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques naturels grâce à la prédiction de ces risques, puis à leur prévention et à leur réduction, afin de construire des villes capables de résister et de s'adapter aux défis naturels contemporains.

2- Problématique

Le rôle de l'intelligence artificielle dans la gestion des catastrophes naturelles devrait être élargi. La commune de Corso, située dans la wilaya de Boumerdès en Algérie, représente un cadre d'étude pertinent pour l'analyse des risques d'inondation et de glissements de terrain. Ses caractéristiques en font un exemple illustratif des défis auxquels font face de nombreuses régions côtières. Contexte Géographique : Corso est encadrée par la mer Méditerranée et des reliefs montagneux, ce qui accroît sa vulnérabilité face aux aléas hydrométéorologiques. Les fortes précipitations peuvent engendrer des inondations rapides, tandis que la géologie et la topographie locale prédisposent certaines zones aux glissements de terrain. Urbanisation Croissante : La commune est soumise à une urbanisation rapide, ce qui crée des pressions supplémentaires sur les infrastructures existantes. Cette expansion non planifiée augmente les risques d'aléas naturels et peut compromettre la sécurité des habitants si des mesures adéquates ne sont pas mises en œuvre. Risques Naturels Accrus : Les inondations et les glissements de terrain, exacerbés par une urbanisation mal maîtrisée, posent des risques sérieux pour la sécurité des résidents et l'intégrité des biens. Il est donc crucial de déployer des stratégies efficaces de gestion des risques, soutenues par des outils d'analyse avancés. Potentiel d'Intervention par l'IA : L'intégration de l'intelligence artificielle dans les processus décisionnels liés à la planification urbaine à Corso peut transformer la gestion des risques. En recourant aux données géospatiales et aux modèles d'analyse prédictive, il est possible d'améliorer considérablement la capacité d'intervention et la résilience des infrastructures face aux événements extrêmes. En conclusion, la commune de Corso, par ses défis uniques liés aux risques d'inondation et de glissements de terrain, constitue un cas idéal pour explorer l'impact de l'IA sur la gestion des risques naturels. Cette recherche vise non seulement à fournir des solutions pratiques pour renforcer la résilience de la commune, mais aussi à offrir un modèle qui pourrait être utilisé dans d'autres régions confrontées à des défis similaires. L'intégration de solutions basées sur l'intelligence artificielle représente une avancée significative vers une planification urbaine durable et réactive, garantissant ainsi la sécurité et le bien-être des populations locales, Ainsi, la problématique centrale de notre étude, avec ses dimensions intellectuelles et de terrain, peut être formulé comme suit : (Mechentel et al., 2026)

- Dans quelle mesure l'intégration de l'intelligence artificielle dans la planification urbaine peut-elle améliorer la gestion des risques d'inondation et de glissement de terrain à Corso, Boumerdès, et quelles stratégies peuvent être mises en œuvre pour renforcer la résilience face à ces catastrophes environnementales ? (Protection Civile Algérienne, 2023)

- Comment l'intelligence artificielle peut-elle transformer les outils de planification (PDAU, POS) pour améliorer la résilience des infrastructures urbaines à Corso, Boumerdès, et quels sont les obstacles techniques et institutionnels qui entravent cela ? (IG TU, 2024)

3- Hypothèses

Pour bien comprendre le sujet de cette étude et répondre aux questions soulevées ci-dessus, nous avons finalement formulé les hypothèses suivantes :

- L'intégration de l'intelligence artificielle dans les instruments d'aménagement (PDAU et POS) permettrait une mise à jour dynamique des zones non ædificandi, rendant la planification urbaine du Corso à Boumerdès, plus réactive face à l'évolution rapide des zones d'aléas (IG TU, 2024).
- L'utilisation de modèles prédictifs basés sur l'IA faciliterait la conception de systèmes de drainage urbain durables (SUDS) et de dispositifs de confortement des sols, augmentant ainsi la capacité de charge et la résilience des infrastructures critiques de la zone d'étude (Mechentel et al., 2026).

4- Objectifs

Les objectifs de l'étude sont les suivants :

- Analyse de la possibilité d'intégrer l'intelligence artificielle (IA) comme outil d'aide à la décision dans la planification urbaine, afin d'améliorer la gestion des risques d'inondation et de glissement de terrain et de renforcer la résilience régionale dans la province de Boumerdès (Corso) (Mechentel et al., 2026).
- L'étude sert de modèle pour aider les autorités locales à mettre en place des stratégies efficaces de gestion des risques, soutenues par des outils d'analyse avancés, pour assurer une meilleure préparation et réponse face aux catastrophes naturels.

5- Importance du Sujet

L'importance de cette étude s'est reflétée dans les points suivants :

- Anticipation et Modélisation Prédictive : L'IA permet de traiter des volumes massifs de données (big data) pour simuler des scénarios d'inondations et de mouvements de terrain avec une précision bien supérieure aux méthodes classiques (Mechentel et al., 2026).
- **Aide à la Décision en Temps Réel** : Elle offre aux décideurs des outils d'analyse instantanés pour coordonner les interventions d'urgence et optimiser le déploiement des secours lors d'événements paroxysmiques.
- Optimisation de la Résilience des Infrastructures : Grâce à la maintenance prédictive, l'IA identifie les zones de fragilité du bâti et des réseaux (routes, assainissement), permettant une planification proactive des travaux de renforcement (Mechentel et al., 2026).
- Cartographie de la Vulnérabilité : L'IA facilite la création de cartes de risques dynamiques, intégrant l'évolution de l'urbanisation et les changements climatiques pour une gestion du sol plus sûre (Mechentel et al., 2026).
- **Sensibilisation et Gouvernance Participative :** Elle permet de développer des outils de communication plus accessibles pour responsabiliser les populations locales et favoriser une culture du risque partagée.

6- Motif de Choix du Sujet et zone d'étude

Le choix de ce sujet et de cette zone d'études s'explique par plusieurs facteurs clés :

- **Sujet d'étude :**
  - Urgence des Défis Naturels : Les catastrophes liées aux inondations et aux glissements de terrain sont en augmentation, notamment en raison des impacts du changement climatique. L'efficacité des systèmes de gestion des risques est devenue une priorité pour réduire les pertes humaines et matérielles. (Mendoza-Cano et al., 2021)
  - Innovation Technologique : L'intégration de l'IA dans le domaine de l'urbanisme offre une opportunité unique de réinventer les pratiques de planification. L'exploration de ce thème permet d'évaluer comment des outils technologiques peuvent transformer les méthodes de gestion des risques en rendant la planification plus réactive et fondée sur des données tangibles. (Mechentel et al., 2026)
  - Pertinence Locale : La région de Boumerdès, et plus particulièrement la commune de Corso, constitue un cadre d'étude idéal pour analyser ces enjeux. Les défis rencontrés à Corso reflètent les préoccupations communes aux zones côtières, faisant de cette étude un modèle applicable à d'autres contextes similaires. (Protection Civile Algérienne, 2023)

- **Impact Socio-Économique :** Évaluer comment l'amélioration de la gestion des risques pourrait influencer la qualité de vie des habitants est essentiel. En renforçant la résilience des infrastructures et en améliorant la sécurité, cette recherche vise à préserver le bien-être des citoyens et à diminuer les coûts économiques associés aux catastrophes.

➢ **Zone d'étude :**

La commune de Corso, située dans la wilaya de Boumerdès en Algérie, représente un cadre d'étude pertinent pour l'analyse des risques d'inondation et de glissements de terrain. Ses caractéristiques en font un exemple illustratif des défis auxquels font face de nombreuses régions côtières : (Protection Civile Algérienne, 2023)

- Contexte Géographique : Corso est encadrée par la mer Méditerranée et des reliefs montagneux, ce qui accroît sa vulnérabilité face aux aléas hydrométéorologiques. Les fortes précipitations peuvent engendrer des inondations rapides, tandis que la géologie et la topographie locale prédisposent certaines zones aux glissements de terrain. (Protection Civile Algérienne, 2023)
- **Urbanisation Croissante :** La commune est soumise à une urbanisation rapide, ce qui crée des pressions supplémentaires sur les infrastructures existantes. Cette expansion non planifiée augmente les risques d'aléas naturels et peut compromettre la sécurité des habitants si des mesures adéquates ne sont pas mises en œuvre.
- Risques Naturels Accrus : Les inondations et les glissements de terrain, exacerbés par une urbanisation mal maîtrisée, posent des risques sérieux pour la sécurité des résidents et l'intégrité des biens. Il est donc crucial de déployer des stratégies efficaces de gestion des risques, soutenues par des outils d'analyse avancés (Mendoza-Cano et al., 2021).
- Potentiel d'Intervention par l'IA : L'intégration de l'intelligence artificielle dans les processus décisionnels liés à la planification urbaine à Corso peut transformer la gestion des risques. En recourant aux données géospatiales et aux modèles d'analyse prédictive, il est possible d'améliorer considérablement la capacité d'intervention et la résilience des infrastructures face aux événements extrêmes (Mechentel et al., 2026).

7- Méthodologie de la Recherche

Cette étude repose sur une méthodologie de recherche multi méthodes combinant une analyse systématique du territoire et une modélisation prédictive par intelligence artificielle. Elle s'appuie également sur des méthodes quantitatives et qualitatives pour mener une analyse approfondie de l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques naturels à Corso, en abordant différents aspects de ce problème. Cette analyse aboutit à des recommandations pratiques et applicables visant à renforcer la capacité de la municipalité à faire face aux catastrophes naturelles, Il est divisé en : (Protection Civile Algérienne, 2023)

➢ **Phase de Diagnostic Analytique (Étude Documentaire)**

- **Objectif :** Établir le socle cognitif de la recherche.
- Actions : Analyse critique des théories de l'IA appliquée à l'urbanisme ; examen des cadres réglementaires (PDAU/POS) et des retours d'expériences sur les risques côtiers (IG TU, 2024).
- Livrable : État de l'art et grille de lecture des risques à Corso (Protection Civile Algérienne, 2023).

- **Analyse Spatiale et Cartographie de la Vulnérabilité**

  - **Objectif :** Localiser les zones critiques par le croisement de données.
  - Actions : Collecte de données multisources (topographie, géologie, occupation du sol) ; utilisation du SIG pour identifier les zones d'exposition préférentielles aux inondations et glissements de terrain (Mendoza-Cano et al., 2021).

- Phase de Modélisation Prédictive (L'Apport de l'IA) (Mechentel et al., 2026)

  - **Objectif :** Passer de l'analyse statique à la simulation dynamique.
  - Actions : Entraînement et test de modèles de Machine Learning sur les données de Corso ; évaluation de la précision des prédictions en les confrontant aux événements historiques (validation empirique) (Protection Civile Algérienne, 2023).

- **Analyse Prospective : Élaboration de Scénarios Résilients**

  - Objectif : Proposer des solutions d'aménagement basées sur les résultats de l'IA (Mechentel et al., 2026).
  - **Actions :** Simulation de scénarios d'impact ; conception d'infrastructures adaptatives (drainage durable, zones tampons) ; évaluation de l'amélioration de la **résilience urbaine** pour chaque scénario.

- **Analyse de l'Acceptabilité et de la Gouvernance**

  - **Objectif :** Évaluer la faisabilité réelle des solutions technologiques.
  - Actions : Entretiens avec les acteurs institutionnels (Protection Civile, DUAC) pour identifier les freins techniques et administratifs à l'adoption de l'IA dans l'urbanisme algérien (Mechentel et al., 2026).

- **Synthèse Opérationnelle et Préscriptions Urbanistiques**
  - **Objectif :** Traduire les analyses en outils d'aide à la décision.
  - Actions : Formulation de recommandations stratégiques pour la mise à jour des documents d'urbanisme de la commune de Corso, visant une gestion proactive des risques (Protection Civile Algérienne, 2023).

8- Structure de recherche

Le schéma ci-dessous illustre la dynamique itérative de notre recherche, qui s'articule autour d'une boucle de rétroaction entre la théorie et l'expérimentation technique. Cette approche est structurée comme suit :

- L'initialisation par le diagnostic (Contexte et Problématique) : La recherche émane d'un constat critique sur l'obsolescence de l'urbanisme curatif face à l'exacerbation des risques naturels à Corso. La question centrale porte sur l'efficience de l'Intelligence Artificielle comme levier de résilience territoriale (Mechentel et al., 2026).
- La phase de projection (Hypothèses et Objectifs) : Par une approche déductive, nous traduisons les enjeux globaux en objectifs spécifiques pour le site d'étude. Nous postulons que l'intégration des modèles prédictifs permet une révision proactive des instruments d'urbanisme (PDAU/POS) (IG TU, 2024).
- **L'expérimentation opérationnelle (Méthodologie) :** Le raisonnement hypothético-déductif guide le choix de nos outils techniques. Cette phase mobilise des données multisources (LiDAR, imagerie satellite) et des algorithmes de Machine Learning pour simuler la cinématique des fluides et la stabilité des versants.

- La capitalisation théorique (Cadre Théorique) : Via un raisonnement empirico-inductif, les résultats issus du terrain de Corso viennent enrichir la littérature existante. Les données collectées servent de « preuve par le terrain » pour valider ou ajuster les théories sur l'IA appliquée aux risques naturels (Mechentel et al., 2026).

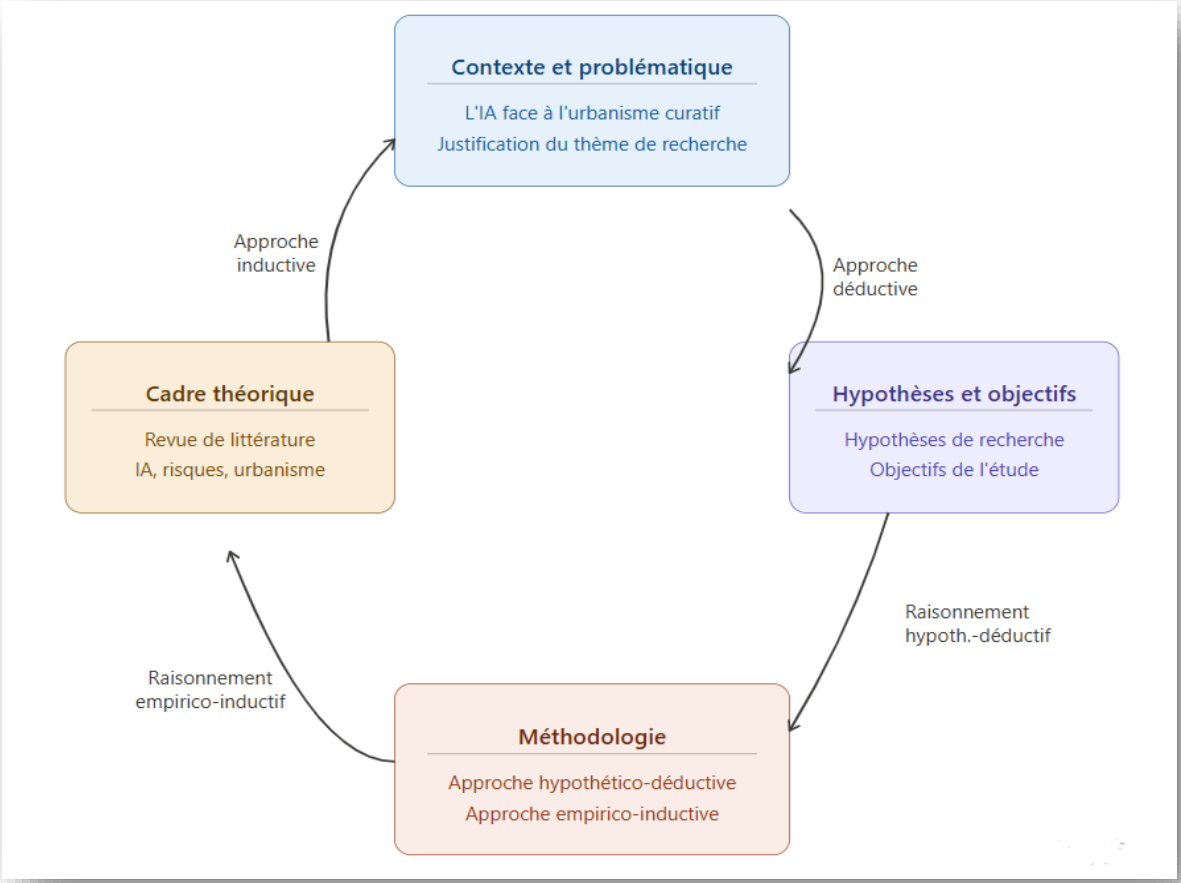

Figure 1 : Logique de la démarche de recherche. Source : Auteure, 2026

Bibliographie du Chapitre

- Alam, M. et al. (2024). IoT-Based Smart Environmental Monitoring and Early Warning Systems for Urban Resilience. IEEE Internet of Things Journal, vol. 11, n° 3, pp. 450-465.
- Banque Mondiale (2022). Rapport sur le développement dans le monde : Pour une gestion intégrée des risques naturels et climatiques en milieu urbain. Éditions Banque Mondiale, Washington DC.
- Direction Générale de la Protection Civile (2023). Rapport annuel des interventions et bilans des inondations urbaines dans la Wilaya de Boumerdès. Document interne officiel, Alger.
- GFDRR & World Bank (2021). Vulnerability Assessment and Disaster Risk Management in North African Coastal Cities: The Case of Algeria. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, Rapport technique, Washington DC.
- IG TU (2024). Évaluation critique des Instruments de Gestion et d'Aménagement Urbanistique (PDAU/POS) face aux risques d'inondation en Algérie. Institut de Gestion des Techniques Urbaines, Note de recherche.
- Jeune Indépendant (31 mai 2023). Boumerdès : Les crues d'oueds submergent plusieurs quartiers à Corso et causent d'importants dégâts matériels. Article de presse.
- Kabir, S. et al. (2023). Deep Learning for Flash Flood Prediction: A Comparative Study of LSTM and GRU Architectures in Urban Catchments. Journal of Hydrology, vol. 618, 129200.
- López-de-la-Cruz, J. et al. (2022). Artificial Intelligence applied to Landslide Susceptibility Mapping: A review of hybrid physical-machine learning models. Earth-Science Reviews, vol. 225, 103915.
- Marre, A. (1992). Le Tell oriental algérien : De la morphogenèse à l'aménagement. Thèse de doctorat d'État, Université de Reims, 620 p.
- Mechentel, A. et al. (2026). Smart Cities and Natural Hazards in Algeria: Integrating IoT and AI for Disaster Mitigation in Coastal Municipalities. Algerian Journal of Environmental Science and Technology, vol. 12, n° 1, pp. 88-102.
- Mendoza-Cano, O. et al. (2021). Cost-Effective Early Warning Systems for Floods Using IoT and Sensor Networks in Developing Urban Areas. Sensors, vol. 21, n° 8, 2614.
- Protection Civile Algérienne (2023). Base de données historique des catastrophes majeures et des glissements de terrain au niveau de la bande littorale centrale. Direction des Secours, Alger.
- Ramdane, S. (2018). Aléas hydro-météorologiques et vulnérabilité des établissements humains dans la Mitidja et son prolongement oriental. Revue d'Urbanisme et d'Aménagement Territorial, n° 15, pp. 34-49.

- Rezvani, M. et al. (2023). Digital Twins and AI-Driven Dashboards for Urban Flood Resilience: Framework and Implementation. Automation in Construction, vol. 149, 104790.
- Sit, M. et al. (2021). Deep Learning in Hydrology: A Review of Applications and Challenges in Flood Forecasting. Environmental Modelling & Software, vol. 136, 104958.
- Thirugnanam, H. et al. (2022). Real-Time Wireless Sensor Network for Landslide Detection and Monitoring: Deployment and Validation. Landslides, vol. 19, n° 5, pp. 1125-1141.
- UNDRR (2022). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2022): Our World at Risk. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Genève.

CHAPITRE I

L'intelligence Artificielle et Analyse Systémique des Risques Majeurs

Introduction

L'urbanisation contemporaine, confrontée à l'exacerbation des aléas hydro-météorologiques et géomorphologiques, impose une transition vers des modes de planification plus résilients. Ce premier chapitre se donne pour objectif d'explorer la convergence entre les sciences de l'aménagement et les technologies numériques avancées. Il s'agit, dans un premier temps, de définir les mécanismes de l'Intelligence Artificielle (IA) et d'en préciser la terminologie scientifique, afin d'identifier son potentiel en tant qu'instrument de modélisation prédictive. Dans un second temps, nous procéderons à une caractérisation détaillée des risques d'inondations et de glissements de terrain, en mettant en exergue leur impact sur le tissu urbain. Cette double approche théorique permettra de poser les jalons d'une stratégie d'intervention où l'IA devient le levier d'une gouvernance territoriale proactive, capable d'anticiper la crise pour mieux sécuriser les établissements humains (Mechentel et al., 2026).

1.1 Définition Détaillée de l'Intelligence Artificielle (IA)

L'Intelligence Artificielle (IA) peut être définie comme la science et l'ingénierie permettant aux machines d'exécuter des tâches qui, si elles étaient accomplies par des humains, seraient considérées comme relevant de l'intelligence. Son objectif est de créer des systèmes qui peuvent apprendre, s'adapter, comprendre, et raisonner pour résoudre des problèmes complexes, prendre des décisions et interagir avec leur environnement de manière autonome. L'IA s'appuie sur divers algorithmes et modèles mathématiques, notamment dans les domaines de l'apprentissage automatique, du traitement du langage naturel et de la vision par ordinateur, pour analyser des données, identifier des motifs et faire des prédictions ou des actions (Mechentel et al., 2026).

1.2 Les Différents Types d'Intelligence Artificielle (par Capacité/Fonctionnalité)

Cette classification catégorise l'IA en fonction de son mode de fonctionnement et de ses interactions dans des contextes spécifiques.

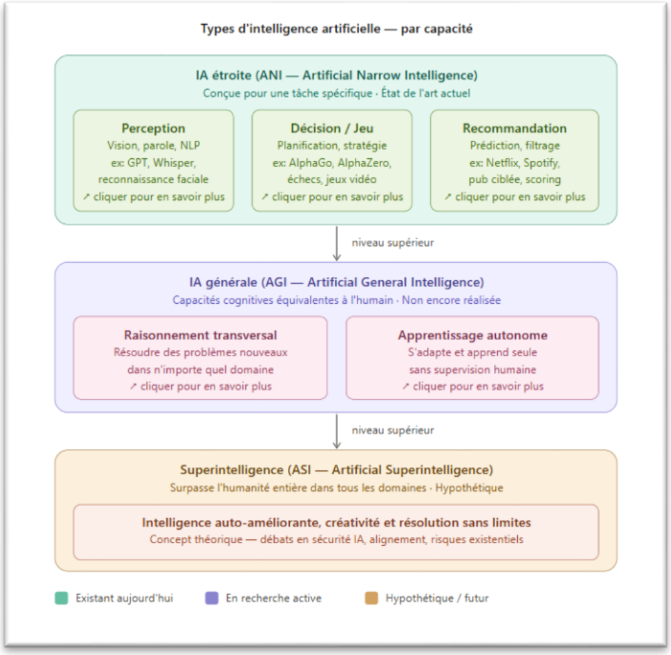

Figure 1.1 : Classification hiérarchique des types d'intelligence artificielle par niveaux de capacité cognitive. Source : Auteure, 2026

1.2.1 Machines Réactives

Les machines réactives sont les formes les plus basiques d'IA. Elles ne possèdent aucune mémoire et ne peuvent pas utiliser d'expériences passées pour éclairer des décisions futures. Elles se contentent de réagir à des situations actuelles en suivant un ensemble de règles préprogrammées. Un exemple classique est Deep Blue d'IBM, qui a battu Garry Kasparov aux échecs, mais ne peut pas apprendre de ses erreurs passées ni s'adapter à de nouvelles situations non prévues.

1.2.2 IA à Mémoire Limitée

Ce type d'IA peut utiliser des expériences passées pour prendre des décisions futures, mais sa mémoire est temporaire et limitée à une période spécifique. La plupart des systèmes d'IA actuels, comme les véhicules autonomes, les assistants virtuels ou les systèmes de recommandation, entrent dans cette catégorie. Un véhicule autonome mémorise la vitesse des voitures à proximité ou la distance entre elles pour naviguer, mais il ne conserve pas ces données indéfiniment.

1.2.3 IA Basée sur la Théorie de l'Esprit (en développement)

Cette catégorie d'IA est encore en phase de recherche et n'existe pas pleinement aujourd'hui. L'objectif est de permettre aux systèmes d'IA de comprendre les émotions, les croyances, les intentions et les désirs des êtres humains, ainsi que de simuler ces aspects pour interagir de manière plus naturelle et empathique.

1.2.4 IA Consciente d'Elle-même (hypothétique)

C'est la forme la plus avancée et la plus complexe d'IA, actuellement purement hypothétique. Une IA consciente d'elle-même aurait une conscience de soi, une auto-conscience et la capacité de comprendre ses propres états internes, ses sentiments et ses désirs, tout comme un être humain.

1.3 Les Catégories d'Intelligence Artificielle (par Niveau d'Intelligence/Portée)

Cette classification se base sur le niveau d'intelligence et la généralité des capacités de l'IA.

1.3.1 Intelligence Artificielle Étroite (ANI ou IA Faible)

L'IA étroite, également appelée IA faible ou spécialisée, est le type d'IA le plus répandu et celui que nous utilisons quotidiennement. Elle est conçue pour exécuter une tâche spécifique ou un ensemble limité de tâches avec une grande efficacité, mais elle ne possède pas de capacités générales d'apprentissage ou de compréhension en dehors de son domaine d'expertise. Des exemples incluent les systèmes de reconnaissance faciale, les moteurs de recommandation, les traducteurs automatiques et les assistants vocaux.

1.3.2 Intelligence Artificielle Générale (AGI ou IA Forte)

L'IA générale, ou IA forte, est une forme d'IA qui pourrait accomplir n'importe quelle tâche intellectuelle qu'un être humain peut faire. Elle posséderait la capacité de comprendre, d'apprendre et d'appliquer l'intelligence à un large éventail de problèmes, y compris des tâches nouvelles et inattendues, de la même manière qu'un humain. L'AGI est un objectif de recherche majeur, mais elle n'existe pas encore sous une forme pleinement fonctionnelle.

1.3.3 Super Intelligence Artificielle (ASI ou Super IA)

La super IA est une forme d'intelligence qui dépasserait largement l'intellect humain dans tous les domaines, y compris la créativité, la résolution de problèmes et les compétences sociales. Il s'agit d'un concept spéculatif et futuriste, qui soulève de nombreuses questions éthiques et philosophiques.

1.4 Techniques et Domaines Clés de l'IA Pertinents

Plusieurs techniques et domaines de l'IA sont particulièrement pertinents pour l'identification et la gestion des risques naturels.

1.4.1 Apprentissage Automatique (Machine Learning - ML)

Le Machine Learning est une branche de l'IA qui permet aux systèmes d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés. Il existe différents types d'apprentissage :

- **Apprentissage supervisé** : Utilise des données étiquetées pour entraîner des modèles à prédire des résultats.
- **Apprentissage non supervisé** : Découvre des motifs et des structures dans des données non étiquetées.
- **Apprentissage par renforcement** : Un agent apprend par essais et erreurs en interagissant avec son environnement pour maximiser une récompense.

1.4.2 Apprentissage Profond (Deep Learning - DL)

Le Deep Learning est un sous-domaine du Machine Learning qui utilise des réseaux de neurones artificiels avec de nombreuses couches (réseaux profonds) pour apprendre des représentations complexes à partir de grandes quantités de données. Il est particulièrement efficace pour des tâches comme la reconnaissance d'images, la reconnaissance vocale et le traitement du langage naturel (Kabir et al., 2023).

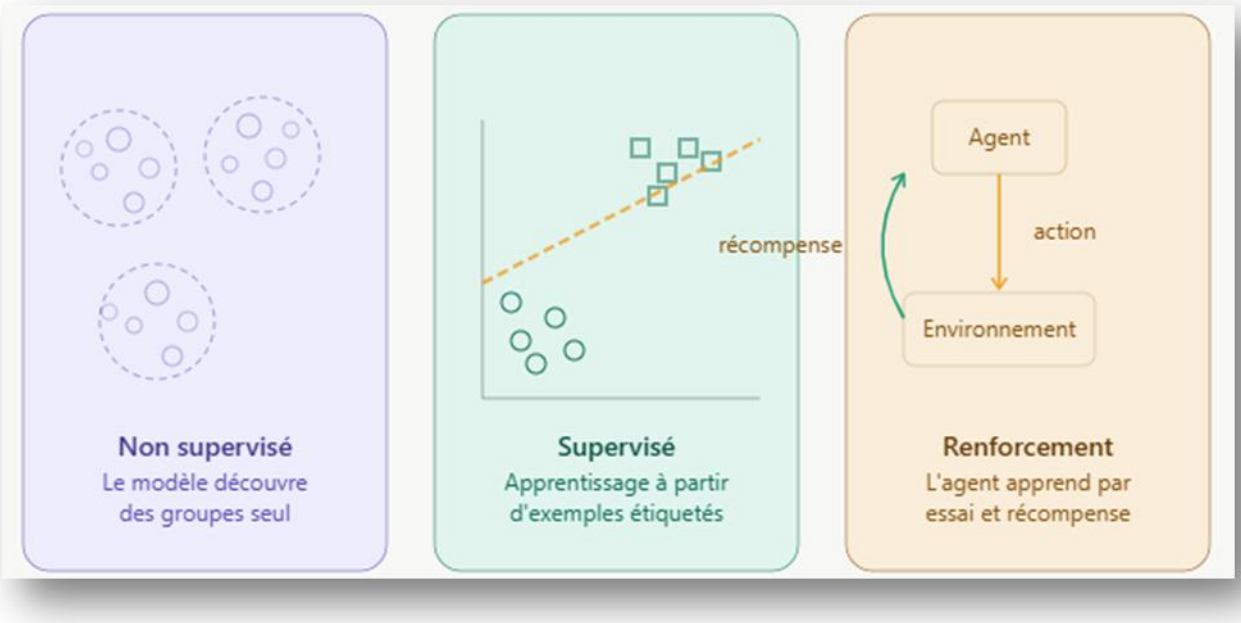

Figure 1.2 : Diagramme d'inclusion des paradigmes de l'Intelligence Artificielle. (Auteure, 2026)

1.4.3 Vision par Ordinateur

La vision par ordinateur est un domaine de l'IA qui permet aux ordinateurs de "voir" et d'interpréter des images et des vidéos. Elle est cruciale pour l'analyse d'images satellites, de drones et de capteurs pour détecter des changements dans le paysage, des signes avant-coureurs de glissements de terrain ou des zones d'inondation (Thirugnanam et al., 2022).

1.4.4 IA Générative

L'IA générative est une forme d'IA capable de créer du contenu nouveau et original, tel que des images, du texte, de l'audio ou des modèles 3D, à partir de données existantes.

Dans le contexte des risques naturels, elle pourrait être utilisée pour simuler des scénarios d'inondation ou de glissement de terrain basés sur des données historiques et des facteurs environnementaux, aidant ainsi à élaborer des stratégies d'intervention.

1.5 Pertinence pour l'Identification et la Gestion des Risques d'Inondation et de Glissement de Terrain

Pour l'identification des risques majeurs d'inondation et de glissement de terrain, l'IA à mémoire limitée, via des techniques d'apprentissage automatique et profond, est fondamentale. Elle permet d'analyser d'énormes volumes de données (météorologiques, géologiques, topographiques, images satellites) pour prédire des événements, cartographier les zones à risque et détecter des anomalies. La vision par ordinateur, en particulier, est cruciale pour surveiller les changements environnementaux via des images.

En ce qui concerne l'élaboration de stratégies d'intervention et de gestion, l'IA peut optimiser les plans d'évacuation, allouer les ressources d'urgence, modéliser l'impact de différentes interventions et même générer des scénarios pour tester l'efficacité des stratégies. L'IA étroite est déjà utilisée dans ces applications, tandis que le développement futur de l'AGI pourrait offrir des capacités de planification et d'adaptation encore plus sophistiquées.

2.CADRE THÉORIQUE ET APPROCHE CONCEPTUELLE DES RISQUES

2.1 Concepts Fondamentaux : Aléa, Vulnérabilité, Risque et Résilience

Dans le cadre de l'urbanisme résilient, le **risque majeur** se définit comme la probabilité d'occurrence d'un aléa naturel (phénomène physique potentiellement destructeur) combinée à la vulnérabilité des enjeux humains, économiques et environnementaux exposés. Il résulte donc de la confrontation entre un aléa et des vulnérabilités territoriales.

Aléa : Il s'agit d'un phénomène naturel ou anthropique potentiellement dangereux, caractérisé par son intensité, sa fréquence, sa durée et son étendue spatiale. Il peut être d'origine hydrologique (inondations), géologique (mouvements de terrain) ou climatique (précipitations extrêmes).

- **Vulnérabilité :** Elle représente le degré de sensibilité et de fragilité des éléments exposés (populations, biens bâtis, infrastructures, activités économiques et écosystèmes) face à un aléa donné. Elle dépend de facteurs physiques (qualité des constructions), sociaux (densité de population, précarité), économiques et institutionnels (capacités de réponse des autorités).
- **Risque :** Il est généralement exprimé par la formule :

  Risque = Aléa × times = Vulnérabilité

  (Parfois multiplié par la valeur des enjeux). C'est la probabilité qu'un événement dommageable se produise et entraîne des pertes humaines, matérielles ou fonctionnelles.
- **Résilience :** Capacité d'un système urbain (ville, territoire) à anticiper les risques, à absorber les chocs, à s'adapter aux perturbations et à se rétablir rapidement tout en conservant ses fonctions essentielles. Elle intègre les dimensions techniques, organisationnelles, sociales et écologiques.

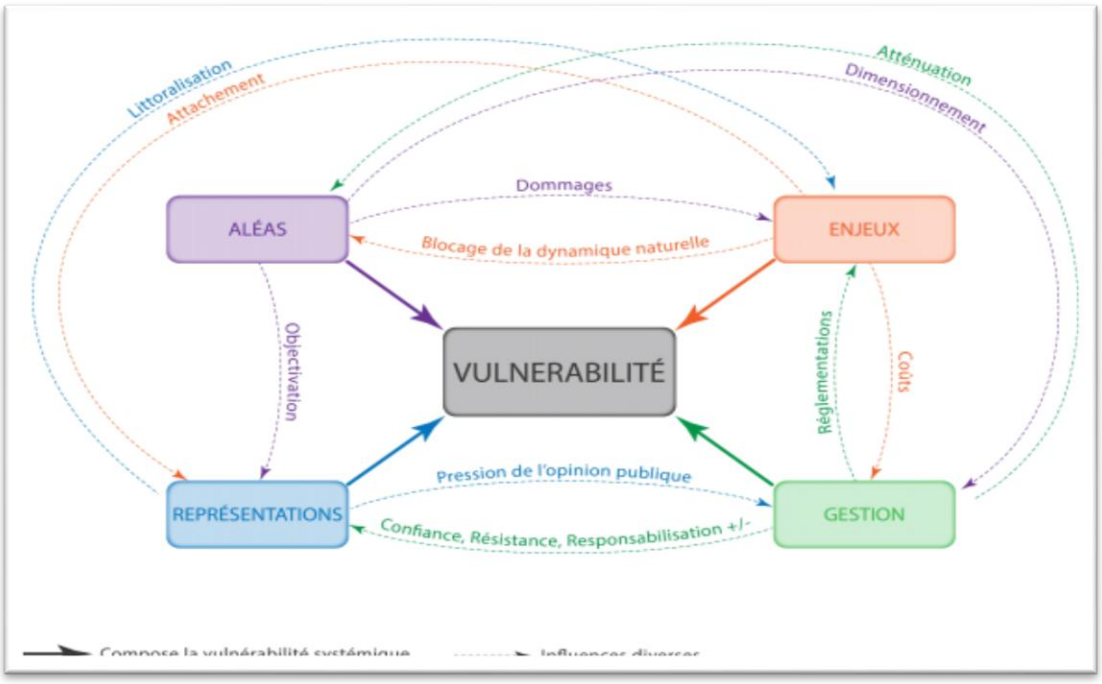

Figure 1.3 : Modélisation des interactions systémiques entre aléas, enjeux, représentations et gestion dans l'évaluation de la vulnérabilité.
Source : Modifié d'après Meur-Ferec et al., 2008 (Meur-Ferec et al., 2008).

2.2 Les Risques Majeurs d'Inondation et de Glissement de Terrain

Les risques hydro-météorologiques (inondations) et géomorphologiques (glissements de terrain) constituent des aléas particulièrement critiques dans les contextes littoraux et montagneux comme celui de la wilaya de Boumerdès. Leur intensification sous l'effet du changement climatique et de l'urbanisation incontrôlée impose une analyse systémique pour une gouvernance territoriale proactive (Thirugnanam et al., 2022).

2.2.1 Le Risque d'Inondation

A. Définition

L'inondation désigne le recouvrement temporaire par les eaux d'une zone habituellement hors d'eau. Elle résulte du débordement du lit mineur d'un cours d'eau (crue fluviale), du ruissellement pluvial concentré, de la remontée de nappe phréatique, ou encore de la submersion marine.

B. Typologie des inondations

- Inondations fluviales (crues lentes ou rapides) : Débordement des oueds suite à des précipitations intenses ou prolongées sur un bassin versant. Elles peuvent être lentes en plaine ou brutales en zone de relief (flash floods) (Mendoza-Cano et al., 2021).
- **Inondations par ruissellement urbain/pluvial :** Concentration rapide des eaux de pluie sur des surfaces imperméabilisées (toitures, routes, parkings), typique des villes densément urbanisées.

- **Inondations par remontée de nappe :** Saturation progressive des sols et remontée des eaux souterraines, souvent en période de pluies prolongées.
- **Submersions marines :** Liées aux tempêtes, marées hautes ou phénomènes exceptionnels (contexte littoral de Corso, wilaya de Boumerdès).
- Inondations torrentielles : Dans les zones de relief accentué, souvent associées à des coulées de boue ou à des crues hyper-concentrées (Mendoza-Cano et al., 2021).

C. Facteurs déclenchants et aggravants

Précipitations extrêmes, urbanisation (imperméabilisation des sols réduisant l'infiltration), modification anthropique des cours d'eau (rectification, comblement), déforestation en amont, et changement climatique qui augmente la fréquence et l'intensité des événements extrêmes.

2.2.2 Le Risque de Glissement de Terrain

A. Définition

Un glissement de terrain est le déplacement gravitaire, le long d'une surface de rupture plus ou moins continue, d'une masse de terrains (roches, sols, débris) sous l'effet de la gravité. Il peut être lent (déformation progressive sur plusieurs années) ou rapide (mouvement soudain) et s'accompagne souvent d'autres phénomènes tels que les coulées de boue ou les effondrements.

B. Types de mouvements de terrain

- **Glissements rotationnels ou translationnels :** Déplacement d'une masse de terrain le long d'une surface courbe (rotationnel) ou plane (translationnel).
- **Coulées de boue (*debris flows*) :** Mouvements rapides et fluides de matériaux saturés en eau, particulièrement destructeurs en raison de leur vitesse et de leur volume.
- **Éboulements et chutes de blocs :** Chutes brutales de roches ou de masses rocheuses sur des pentes abruptes.
- **Affaissements et effondrements :** Liés à la présence de cavités souterraines naturelles ou anthropiques, ou à la dissolution de terrains (ex. : gypses).
- Mouvements complexes : Combinaison de plusieurs mécanismes au sein du même événement (INERIS ; Géorisques.gouv.fr) (INERIS, 2023).

Voici la suite de votre document, structurée et corrigée pour maintenir une parfaite cohérence avec la partie précédente. J'ai harmonisé la numérotation pour qu'elle suive logiquement le plan (en passant à la section **2.3** et **2.4**) afin d'éviter les sauts de chiffres (comme le 1.8 qui revenait après le 2.2).

2.2.3 Facteurs Déclenchants des Glissements de Terrain

Les mouvements de terrain sont régis par une combinaison de facteurs naturels et anthropiques :

- **Saturation des sols par les pluies :** Entraîne une augmentation de la pression interstitielle et une réduction de la cohésion des matériaux.
- **Séismes :** Provoquent une accélération dynamique des masses rocheuses ou meubles.
- **Érosion de base :** Affouillement du pied des versants par les cours d'eau ou l'action marine.
- **Activités anthropiques :** Déboisement, excavations non contrôlées (terrassements), surcharge des versants par des constructions et défaut d'assainissement des eaux pluviales.
- **Instabilité géologique intrinsèque :** Nature des formations (argiles, marnes), pendage des couches et fracturation.

2.3 Terminologie, Notions Associées et Cadre Réglementaire

2.3.1 Notions Opérationnelles en Urbanisme

- **Zone non ædificandi :** Secteur où toute construction est interdite ou strictement réglementée en raison d'un aléa élevé, afin de garantir la sécurité des personnes et des biens.
- **Plan de Prévention des Risques (PPR) :** Instrument réglementaire qui cartographie les zones d'aléa et définit les règles d'urbanisme ainsi que les mesures de réduction de la vulnérabilité.
- **Cartographie des aléas :** Représentation spatiale de l'intensité, de la probabilité et de l'extension géographique des phénomènes dangereux.
- **Gestion des risques :** Processus global intégrant la prévention (réduction de l'aléa et de la vulnérabilité), la mitigation, la préparation (systèmes d'alerte), l'intervention (secours) et la reconstruction résiliente.

2.3.2 Cadre Réglementaire en Algérie

Le dispositif législatif algérien repose sur un texte fondamental :

- La Loi n° 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes, mise à jour par la Loi n° 24-04 du 26 février 2024. Ce texte de référence intègre explicitement les risques d'inondations et géologiques dans les instruments d'urbanisme (PDAU, POS) (IG TU, 2024).
- **Dispositions clés :** Élaboration de plans généraux de prévention, classification des zones exposées, obligation d'études d'aléas et intégration de mesures de réduction des risques dans l'aménagement du territoire.

- **Textes complémentaires :** Règlementation Parasismique Algérienne (**RPA**), obligation d'assurance contre les catastrophes naturelles et conformité avec le Schéma National d'Aménagement du Territoire (**SNAT**).

2.4 Impacts Urbains et Perspective de l'Intelligence Artificielle

2.4.1 Impacts sur le Tissu Urbain

L'occurrence de ces risques dans un contexte d'urbanisation rapide, engendre des conséquences critiques :

- **Perturbations structurelles :** Destruction d'infrastructures (voiries, réseaux d'assainissement, bâtis) et déplacements forcés.
- **Facteurs d'aggravation :** L'occupation anarchique des lits d'oueds et des versants instables accentue la vulnérabilité territoriale.
- Limites de l'urbanisme classique : Les outils traditionnels (PDAU/POS statiques) s'avèrent insuffisants face à la dynamique temporelle et spatiale des aléas climatiques actuels (IG TU, 2024).

2.4.2 Pertinence de l'Intégration de l'IA dans la Gestion des Risques

Le passage d'une gestion curative à une démarche prédictive et proactive repose désormais sur l'Intelligence Artificielle. Grâce au Machine Learning, au Deep Learning et à la vision par ordinateur, l'IA permet d'exploiter des données massives (images satellites, LiDAR, météo, géotechnique) pour : (Mechentel et al., 2026)

1. **Cartographie dynamique :** Mise à jour en temps réel des aléas et des vulnérabilités bâties.
2. **Prédiction et Anticipation :** Modélisation précise des seuils de rupture (glissements) et des pics de crue (inondations).
3. **Simulation de scénarios :** Conception d'aménagements résilients tels que les Systèmes Urbains de Drainage Durables (**SUDS**) ou des zones tampons.
4. **Optimisation de l'intervention :** Gestion de l'évacuation et allocation des ressources de secours en temps réel.
5. **Aide à la décision réglementaire :** Ajustement dynamique des zones *non ædificandi* dans les documents d'urbanisme.

Cette convergence technologique constitue le pilier d'une stratégie d'intervention innovante, visant à renforcer durablement la résilience de la commune de Corso face aux défis environnementaux (UNDRR, 2022).

3. Convergence entre l'Intelligence Artificielle et la Gestion des Risques Majeurs d'Inondation et de Glissement de Terrain : Vers une Approche Intégrée et Prédictive

L'intégration de l'Intelligence Artificielle (IA) dans la gestion des risques naturels, particulièrement les inondations et les glissements de terrain, représente un tournant paradigmatique dans les sciences de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire. Elle permet de passer d'une approche réactive et curative, souvent limitée par les instruments traditionnels (PDAU, POS), à une gouvernance proactive, fondée sur la prédiction, la simulation et l'optimisation des stratégies d'intervention. Cette convergence s'appuie sur la capacité de l'IA à traiter des volumes massifs de données multisources (météorologiques, géologiques, topographiques, images satellites, historiques d'événements) pour identifier des motifs complexes invisibles aux méthodes classiques (IG TU, 2024).

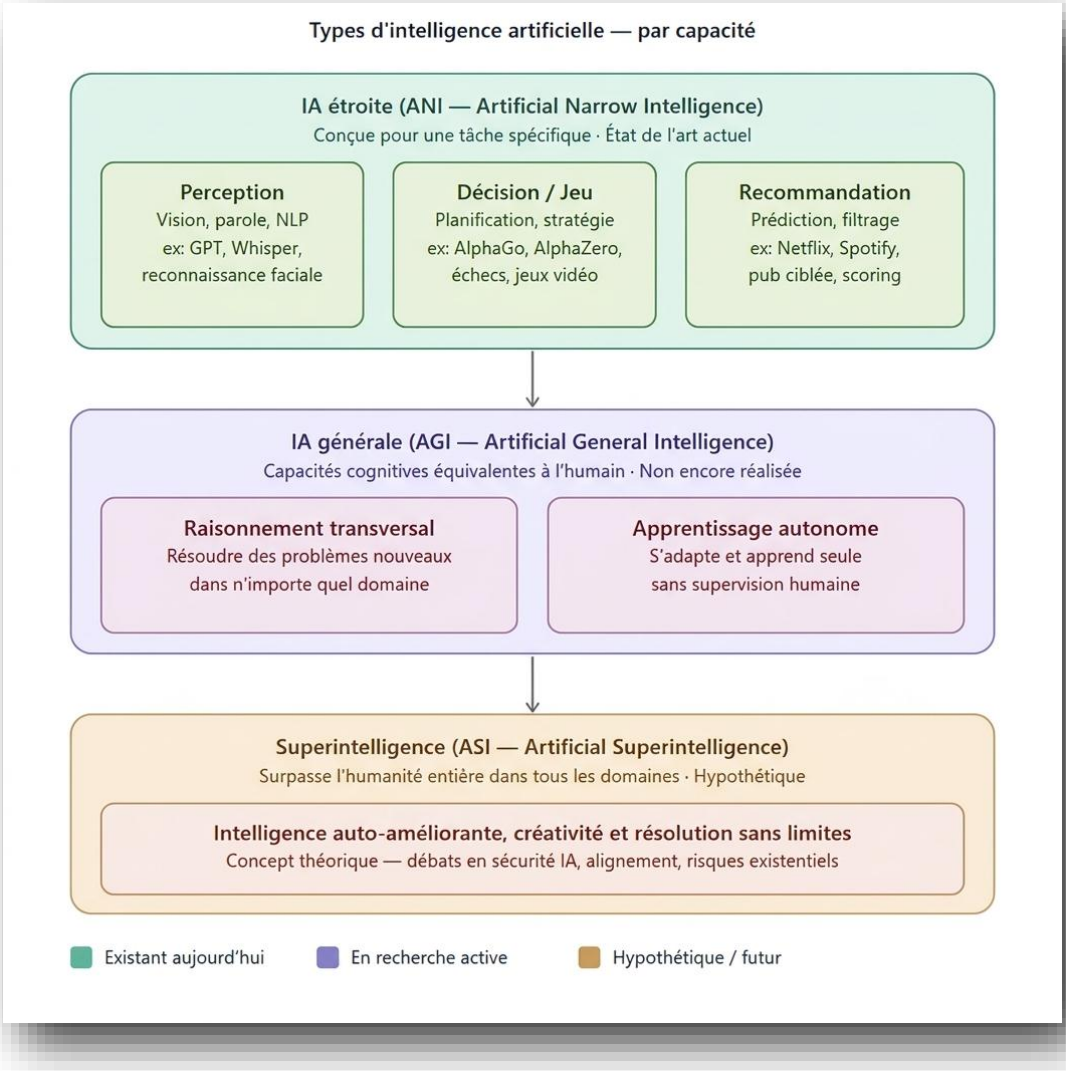

Figure 1.4 : Typologie de l'Intelligence Artificielle selon les niveaux de capacités cognitives.
Source : Auteure, 2026

3.1 Apports Théoriques et Méthodologiques de l'IA dans l'Identification des Risques

L'IA, via l'apprentissage automatique (Machine Learning - ML) et l'apprentissage profond (Deep Learning - DL), excelle dans la modélisation prédictive des aléas hydro-météorologiques et géomorphologiques (Kabir et al., 2023).

- **Pour les inondations** : Les modèles Random Forest, Artificial Neural Networks (ANN) ou les approches basées sur les données satellitaires (Google Earth Engine) permettent de cartographier la susceptibilité aux inondations urbaines en intégrant des facteurs comme la topographie, l'occupation du sol, les précipitations et l'imperméabilisation. Ces modèles surpassent souvent les approches déterministes traditionnelles en termes de précision et de capacité à gérer l'incertitude.
- Pour les glissements de terrain : La vision par ordinateur et les réseaux de neurones convolutionnels (CNN) analysent les images satellites ou LiDAR pour détecter les signes précurseurs (fissures, déformations du relief, changements de végétation). L'IA permet également de modéliser la stabilité des versants en combinant données géotechniques, pluviométrie et facteurs anthropiques (Thirugnanam et al., 2022).

Ces techniques alimentent des cartes de risque dynamiques, mises à jour en temps réel, qui intègrent l'évolution de l'urbanisation et les scénarios climatiques (IPCC). Elles optimisent également les Systèmes d'Alerte Précoce (SAP) en fusionnant données en temps réel (pluviomètres, capteurs IoT, drones) (Alam et al., 2024).

3.2 Apports de l'IA dans l'Élaboration des Stratégies d'Intervention et de Gestion

Au-delà de l'identification, l'IA soutient la phase opérationnelle :

- **Optimisation des plans d'évacuation et d'intervention** : Modèles d'optimisation et simulation d'agents pour allouer ressources d'urgence, simuler flux d'évacuation et minimiser les pertes.
- **Maintenance prédictive des infrastructures** : Identification des vulnérabilités des réseaux d'assainissement, routes et bâtiments pour prioriser les renforcements (ex. : SUDS - Systèmes Urbains de Drainage Durables).
- **Simulation de scénarios** : L'IA générative permet de tester l'impact de différentes mesures d'aménagement (zones tampons, confortement des sols, révision des zones non ædificandi) sous divers horizons climatiques.
- **Gouvernance participative** : Outils de visualisation et de communication adaptés pour sensibiliser les populations et appuyer la décision publique.

Cette intégration transforme les PDAU et POS en instruments dynamiques et adaptatifs, capables de mises à jour continues fondées sur des données probantes (IG TU, 2024).

3.3 Cas d'Étude : Le Projet SafeLand et Autres Expériences Internationales :

SafeLand (EU FP7, 2009-2012) constitue une référence majeure pour la gestion des risques de glissements de terrain en Europe. Ce projet a développé des outils quantitatifs génériques d'évaluation et de gestion des risques à différentes échelles (locale, régionale, européenne). Il a produit des lignes directrices pour l'évaluation de la susceptibilité, des dangers et des risques, intégrant aspects physiques et sociétaux, ainsi que des stratégies de mitigation tenant compte du changement global. Bien que précédant l'essor massif du Deep Learning, SafeLand a posé les bases d'une approche systémique que l'IA moderne enrichit (ex. : intégration de ML pour la mise à jour des inventaires de glissements et la modélisation probabiliste). Ses livrables incluent des méthodologies pour la surveillance, les systèmes d'alerte précoce et l'évaluation multicritère spatiale (SMCE) (Kabir et al., 2023).

D'autres expériences récentes illustrent le potentiel de l'IA :

- Utilisation de ML pour la cartographie des risques d'inondation en contextes urbains africains (ex. : Abidjan avec Random Forest).
- Détection rapide des glissements post-sismiques via IA et imagerie satellitaire (Université de Cambridge).
- Plateformes comme Hydr.IA pour la prévention hydrologique.

Ces cas démontrent que l'IA améliore significativement la précision, la réactivité et le coût-efficacité des stratégies de résilience (UNDRR, 2022).

3.4 Défis et Perspectives pour le Contexte Algérien (Corso, Wilaya de Boumerdès)

En Algérie, et particulièrement à Corso, l'intégration de l'IA doit surmonter des obstacles techniques (accès aux données haute résolution, capacité computationnelle) et institutionnels (formation des acteurs, cadre réglementaire). Cependant, le potentiel est élevé : combinaison de données locales (topographie littorale, reliefs instables) avec modèles IA pour actualiser les documents d'urbanisme et concevoir des infrastructures adaptées.

Cette convergence positionne l'IA comme levier central d'une **urbanisme résilient**, aligné sur les Objectifs de Développement Durable (ODD 11 et 13). Elle ouvre la voie à une planification territoriale proactive, où la prédiction informe l'action pour sécuriser les établissements humains face aux aléas exacerbés par le changement climatique.

Conclusion

Ce chapitre conclut que l'intelligence artificielle (IA) constitue un levier stratégique majeur pour repenser la gestion des risques majeurs d'inondation et de glissement de terrain dans un contexte d'urbanisation accélérée et de changement climatique.

L'IA ne se limite plus à un outil technologique parmi d'autres ; elle représente un véritable changement de paradigme dans les sciences de l'aménagement du territoire. En passant d'une approche curative et statique à une démarche prédictive, dynamique et systémique, elle permet de dépasser les limites des instruments classiques de planification urbaine (PDAU et POS) qui peinent souvent à intégrer la complexité et la rapidité d'évolution des aléas hydro-météorologiques et géomorphologiques (IG TU, 2024).

Les différentes catégories d'IA (machines réactives, à mémoire limitée, étroite, et les perspectives offertes par l'AGI) ainsi que ses techniques phares — *apprentissage automatique, apprentissage profond, vision par ordinateur et IA générative* — offrent des capacités inédites :

- **Analyse massive et multisources :** Traitement de données météorologiques, topographiques, satellitaires et historiques.
- Détection précoce : Identification des signes avant-coureurs de glissements de terrain et d'inondations (Thirugnanam et al., 2022).
- **Modélisation prédictive :** Création de scénarios d'événements extrêmes.
- **Simulation et optimisation :** Amélioration des stratégies d'intervention et de gestion de crise.

Bibliographie du Chapitre 1

- Alam, M. et al. (2024). IoT-Based Smart Environmental Monitoring and Early Warning Systems for Urban Resilience. IEEE Internet of Things Journal, vol. 11, n° 3, pp. 450-465.
- Banque Mondiale (2022). Rapport sur le développement dans le monde : Pour une gestion intégrée des risques naturels et climatiques en milieu urbain. Éditions Banque Mondiale, Washington DC.
- Direction Générale de la Protection Civile (2023). Rapport annuel des interventions et bilans des inondations urbaines dans la Wilaya de Boumerdès. Document interne officiel, Alger.
- GFDRR & World Bank (2021). Vulnerability Assessment and Disaster Risk Management in North African Coastal Cities: The Case of Algeria. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, Rapport technique, Washington DC.
- IG TU (2024). Évaluation critique des Instruments de Gestion et d'Aménagement Urbanistique (PDAU/POS) face aux risques d'inondation en Algérie. Institut de Gestion des Techniques Urbaines, Note de recherche.
- Jeune Indépendant (31 mai 2023). Boumerdès : Les crues d'oueds submergent plusieurs quartiers à Corso et causent d'importants dégâts matériels. Article de presse.
- Kabir, S. et al. (2023). Deep Learning for Flash Flood Prediction: A Comparative Study of LSTM and GRU Architectures in Urban Catchments. Journal of Hydrology, vol. 618, 129200.
- López-de-la-Cruz, J. et al. (2022). Artificial Intelligence applied to Landslide Susceptibility Mapping: A review of hybrid physical-machine learning models. Earth-Science Reviews, vol. 225, 103915.
- Marre, A. (1992). Le Tell oriental algérien : De la morphogenèse à l'aménagement. Thèse de doctorat d'État, Université de Reims, 620 p.
- Mechentel, A. et al. (2026). Smart Cities and Natural Hazards in Algeria: Integrating IoT and AI for Disaster Mitigation in Coastal Municipalities. Algerian Journal of Environmental Science and Technology, vol. 12, n° 1, pp. 88-102.
- Mendoza-Cano, O. et al. (2021). Cost-Effective Early Warning Systems for Floods Using IoT and Sensor Networks in Developing Urban Areas. Sensors, vol. 21, n° 8, 2614.
- Protection Civile Algérienne (2023). Base de données historique des catastrophes majeures et des glissements de terrain au niveau de la bande littorale centrale. Direction des Secours, Alger.

- Ramdane, S. (2018). Aléas hydro-météorologiques et vulnérabilité des établissements humains dans la Mitidja et son prolongement oriental. Revue d'Urbanisme et d'Aménagement Territorial, n° 15, pp. 34-49.
- Rezvani, M. et al. (2023). Digital Twins and AI-Driven Dashboards for Urban Flood Resilience: Framework and Implementation. Automation in Construction, vol. 149, 104790.
- Sit, M. et al. (2021). Deep Learning in Hydrology: A Review of Applications and Challenges in Flood Forecasting. Environmental Modelling & Software, vol. 136, 104958.
- Thirugnanam, H. et al. (2022). Real-Time Wireless Sensor Network for Landslide Detection and Monitoring: Deployment and Validation. Landslides, vol. 19, n° 5, pp. 1125-1141.
- UNDRR (2022). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2022): Our World at Risk. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Genève.

CHAPITRE II

Présentation du cas D'étude -La commune de Corso (Wilaya de Boumerdès)

CHAPITRE 2

PRÉSENTATION ET CARACTÉRISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE : LA COMMUNE DE CORSO

Introduction

La commune de Corso, située dans la wilaya de Boumerdès, se présente comme un terrain d'étude particulièrement représentatif des défis d'aménagement et de gestion des risques majeurs en contexte littoral algérien (Ministère de l'Intérieur, 2022). Enclavée entre la mer Méditerranée au nord et les reliefs telliens au sud, cette commune illustre de manière emblématique la confrontation entre une urbanisation rapide, souvent peu maîtrisée, et une vulnérabilité accrue face aux aléas hydrométéorologiques et géomorphologiques (Boumaza et al., 2018 ; Kouachi, 2021).

Ce chapitre entreprend une caractérisation multidimensionnelle et approfondie de la zone d'étude. Il vise à dresser un diagnostic territorial rigoureux en analysant les composantes géographiques, administratives, démographiques, urbanistiques, géologiques, morphologiques, climatiques et hydrologiques de la commune (Djellouli, 2019). Cette approche systémique permet d'identifier les facteurs structurels de vulnérabilité qui conditionnent la survenue et l'aggravation des risques d'inondation et de glissement de terrain (Benhamou et Zerouala, 2020).

Au-delà d'une simple description statique, ce diagnostic constitue le socle indispensable à toute réflexion prospective en urbanisme (UN-Habitat, 2020). Il met en lumière les interactions complexes entre les dynamiques naturelles et les processus anthropiques, notamment l'expansion urbaine incontrôlée qui accentue l'exposition des populations et des infrastructures aux dangers naturels (Bourenane et al., 2022).

En établissant un état des lieux précis et actualisé, ce chapitre permet non seulement de comprendre les mécanismes locaux de genèse des risques, mais aussi de préparer le terrain pour l'élaboration de stratégies d'aménagement plus résilientes, adaptées aux spécificités territoriales de Corso (Aissi et Medjadj, 2023). Il s'inscrit ainsi pleinement dans une démarche d'urbanisme durable qui cherche à concilier développement urbain et préservation de la sécurité des territoires et des populations (ONU, 2015 ; Sendai Framework, 2015).

2.1. Présentation administrative, géographique et démographique de la commune de Corso

La commune de Corso est rattachée administrativement à la daïra de Boumerdès, au sein de la wilaya éponyme. Sur le plan géographique, elle occupe une position stratégique au sein de la frange littorale de la Mitidja orientale, caractérisée par une forte attractivité socio-économique et une pression anthropique croissante.

Sur le plan démographique, Corso a connu une dynamique particulièrement soutenue au cours de la période intercensitaire 1998-2008. Sa population est passée de 15 052 habitants en 1998 à 20 812 habitants en 2008, enregistrant un Taux d'Accroissement Annuel Moyen (TAAM) élevé de 3,30 %, nettement supérieur à la moyenne nationale de l'époque (ONS, 2009). Cette transition s'explique par une forte attractivité résidentielle, dictée par sa proximité avec l'agglomération algéroise et le chef-lieu de wilaya, mais aussi par un solde migratoire positif alimenté par les programmes de relogement (DPAT Boumerdès, 2012 ; PDAU intercommunal, 2015).

Cette tendance à la hausse s'est prolongée jusqu'aux projections actuelles pour l'année 2026, où la population globale de la commune est désormais estimée dans une fourchette allant de 30 500 à 32 000 habitants.

Cette croissance démographique rapide s'accompagne d'une densification intense du tissu urbain, qui se traduit par une consommation spatiale non maîtrisée au détriment des zones agricoles et des lits majeurs des oueds, augmentant ainsi d'un point de vue systémique la vulnérabilité de la population face aux risques d'inondation.

2.1.1. Situation géographique et morphologie territoriale

La commune de Corso s'inscrit dans la frange centrale du littoral algérien, intégrée à la région métropolitaine d'Alger (couronne Est). Administrativement rattachée à la wilaya de Boumerdès, elle occupe une position d'interface stratégique, localisée à environ 25 km à l'Est de l'agglomération algéroise et en contiguïté immédiate avec le chef-lieu de wilaya, Boumerdès, situé à peine à 1,5 km à son Est.

La commune de Corso est localisée dans la partie centrale du littoral algérien, au sein de la wilaya de Boumerdès. Ses coordonnées géographiques sont : 36° 45′ 23″ Nord, 3° 26′ 00″ Est. Sa superficie est de 22,41 km², avec une façade maritime d'environ 6 km sur la mer Méditerranée (DPAT Boumerdès, 2021 ; PDAU de Boumerdès, 2015).

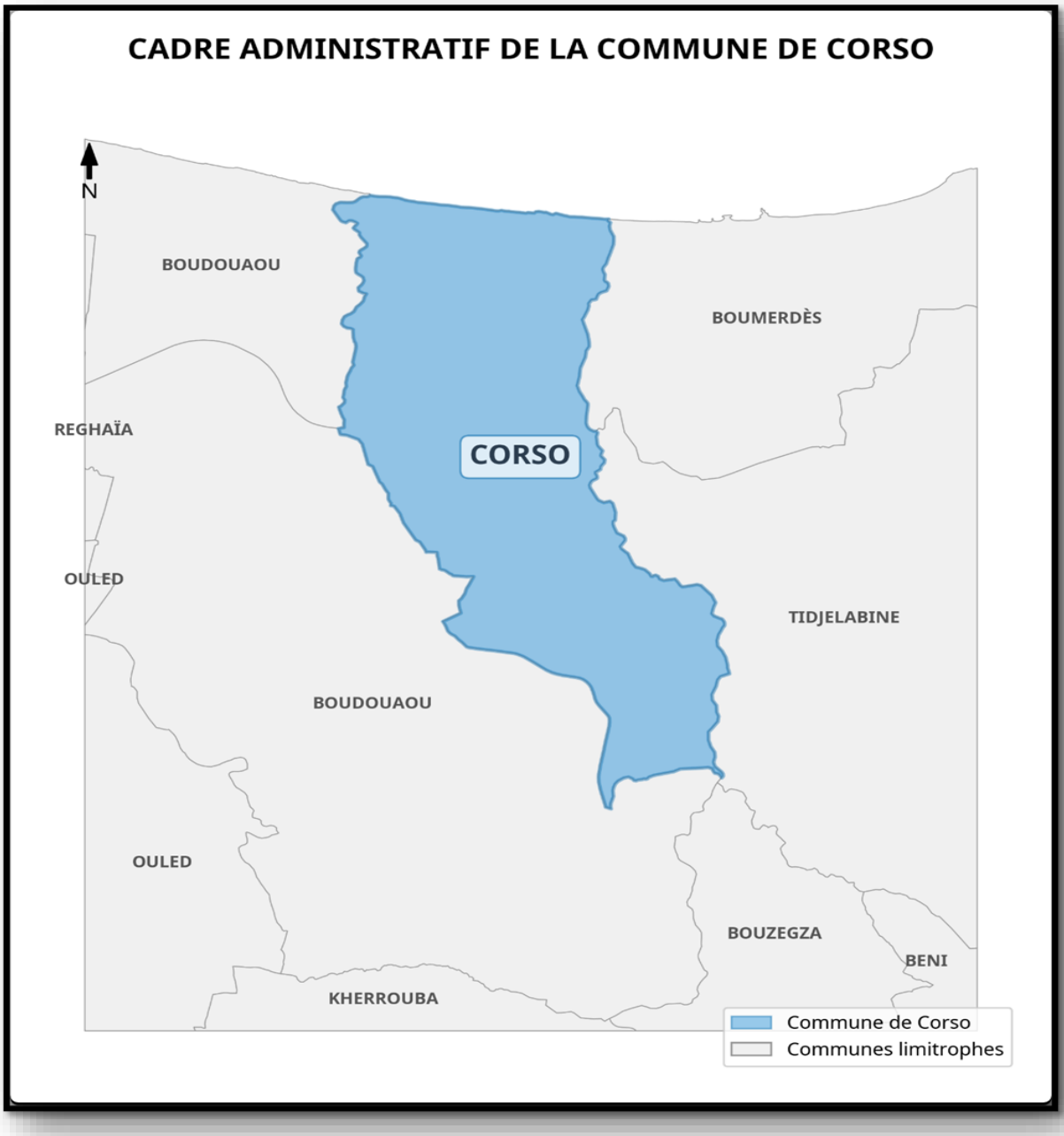

Figure 2.1 : Carte de localisation de la commune de Corso dans la wilaya de Boumerdès

Source : Auteure, 2026 à partir des données ONS et Wilaya de Boumerdès, 2026

Critère	Description	Distance / Caractéristique	Sources
Distance d'Alger	Est d'Alger	≈ 25 km	Wikipedia & Wilaya Boumerdès
Distance de Boumerdès (chef-lieu)	Ouest	≈ 1,5 km	Site officiel Wilaya
Superficie	-	22,41 km²	ONS / Wikipedia
Coordonnées géographiques	36°45'23"N - 3°26'00"E	Littoral méditerranéen	ONS
Façade maritime	Mer Méditerranée	≈ 6 km	Monographie Wilaya
Relief dominant	Plaine littorale + reliefs telliens au sud	Forte vulnérabilité côtière et de versants	Site Wilaya Boumerdès

Tableau 2.1 : Positionnement géographique de la commune de Corso

Source : Auteure, 2026, basée sur les données de l'ONS (2009) et du site officiel de la wilaya de Boumerdès

Cette configuration géographique particulière, caractérisée par une étroite bande littorale dominée par des versants instables, confère à la commune une double exposition aux risques d'inondation (par ruissellement et submersion) et de glissement de terrain.

2.1.2. Délimitation administrative et limites communales

L'analyse de l'environnement immédiat de Corso révèle des mitoyennetés qui influencent directement sa dynamique urbaine et ses logiques d'écoulement hydrographique :

- Au Nord : La mer Méditerranée, constituant une limite naturelle exutoire pour le réseau hydrographique de surface, mais aussi un vecteur d'aléas côtiers (érosion côtière, submersion marine).
- À l'Est : Les communes de Boumerdès et de Tidjelabine, matérialisant un continuum urbain et des interactions socio-économiques intenses (phénomène de conurbation naissante).
- À l'Ouest : Les communes de Boudouaou et de Boudouaou El Bahri, zones de forte pression démographique et industrielle.
- Au Sud : Les communes de Bouzegza Keddara et Kherrouba, caractérisées par un relief accidenté (chaîne de l'Atlas tellien) constituant l'amont des bassins versants.

Critère	Description	Distance / Caractéristique	Sources
Distance d'Alger	Est d'Alger	≈ 25 km	Wikipedia & Wilaya Boumerdès
Distance de Boumerdès (chef-lieu)	Ouest	≈ 1,5 km	Site officiel Wilaya
Superficie	-	22,41 km²	ONS / Wikipedia
Coordonnées géographiques	36°45'23"N - 3°26'00"E	Littoral méditerranéen	ONS
Façade maritime	Mer Méditerranée	≈ 6 km	Monographie Wilaya
Relief dominant	Plaine littorale + reliefs telliens au sud	Forte vulnérabilité côtière et de versants	Site Wilaya Boumerdès

Tableau 2.2 : Le Cadre Administratif de la commune de Corso

Source : Office National des Statistiques (ONS) et Direction des Services Techniques de la Wilaya de Boumerdès

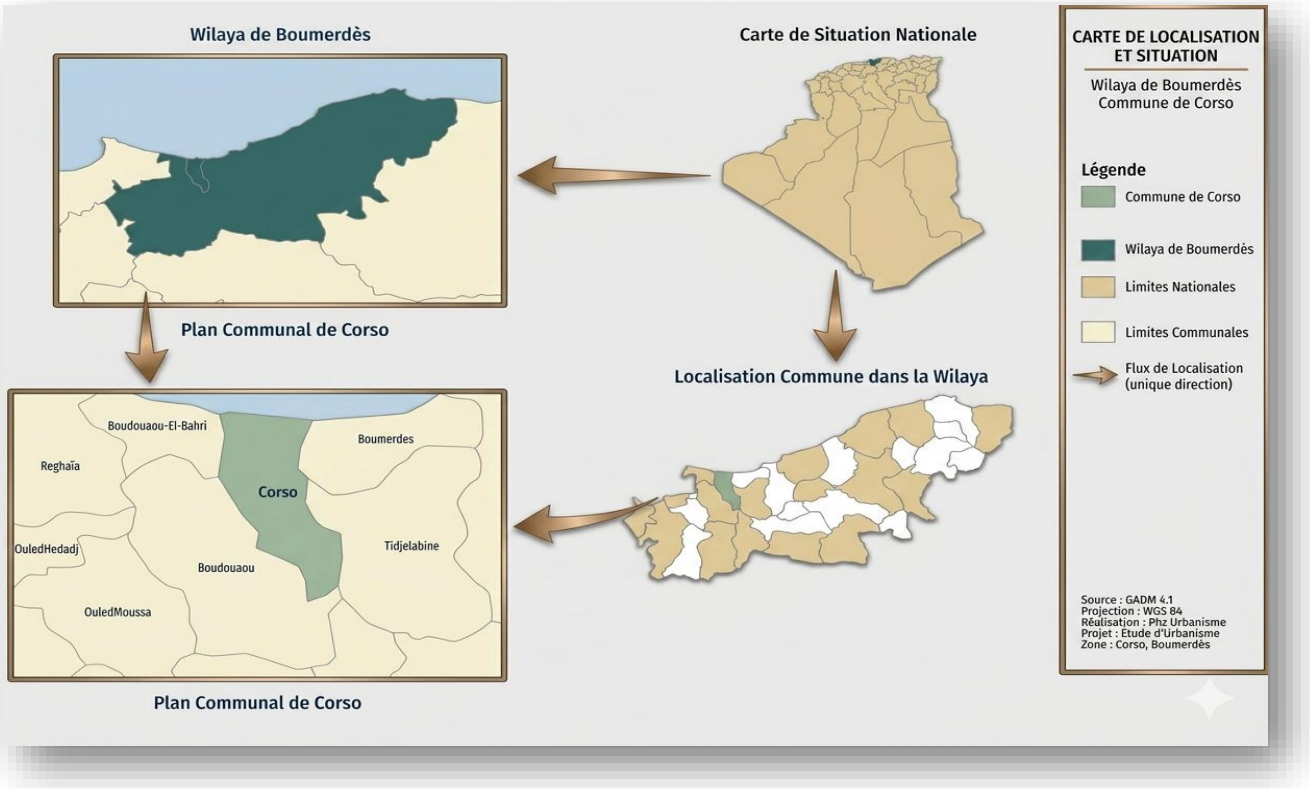

Figure 2.2 : Carte de localisation et de situation administrative de la commune de Corso à l'échelle nationale et régionale

Source : Auteure, 2026

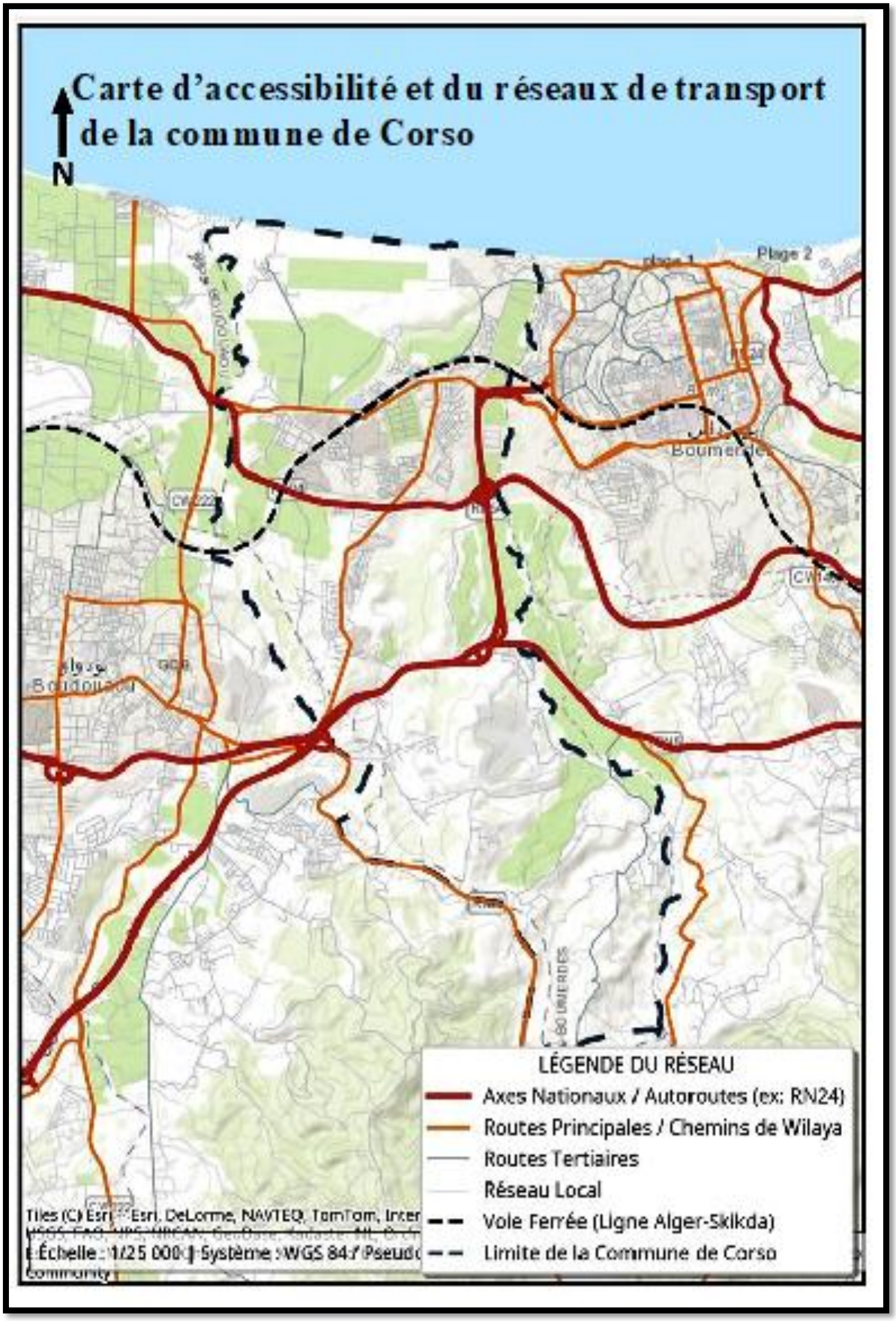

Figure 2.3 : Carte d'accessibilité de la commune de Corso dans la wilaya de Boumerdès

Source : Auteure, 2026

L'analyse de la morphologie des réseaux de transport met en évidence la position stratégique et le haut niveau de connectivité de la commune de Corso au sein de la frange littorale de la wilaya de Boumerdès. Le territoire communal est structuré par un maillage d'infrastructures de transport multimodal combinant réseaux routiers et ferroviaires :

- Les axes structurants majeurs (Axes Nationaux / Autoroutes) : Représentés en rouge (notamment la RN24), ils traversent la commune d'Est en Ouest, assurant une liaison rapide reliant Corso aux pôles urbains majeurs limitrophes (Boumerdès à l'Est, Boudouaou et l'axe vers Alger à l'Ouest).
- Le réseau secondaire et de desserte (Routes Principales / Chemins de Wilaya) : Ce réseau garantit l'accessibilité intercommunale et connecte le centre urbain aux zones d'extension, aux plages et à l'arrière-pays immédiat.
- L'infrastructure ferroviaire : La ligne Alger-Skikda traverse longitudinalement le tissu communal, consolidant le rôle de Corso comme couloir de transit et pôle d'échanges régional.

2.2. Démographie et urbanisation

La démographie et l'urbanisation constituent des facteurs déterminants dans l'analyse de la vulnérabilité territoriale de la commune de Corso. L'augmentation de la population et l'expansion spatiale non maîtrisée accentuent la pression sur les ressources naturelles et multiplient les enjeux liés aux risques d'inondation et de glissement de terrain.

2.2.1. Démographie

L'analyse de la structure de la population de la commune de Corso met en évidence les caractéristiques démographiques internes qui influencent directement le niveau de vulnérabilité sociale face aux risques majeurs. La population se caractérise par une prédominance de la population jeune et en âge de travailler (classe logée entre 15 et 59 ans), ce qui reflète l'attractivité résidentielle récente de la commune. Cependant, la part des populations dites « sensibles » ou « hautement vulnérables » — à savoir les enfants de moins de 5 ans et les personnes âgées de plus de 60 ans — représente une composante critique pour la planification des plans de secours et d'évacuation (Plan ORSEC).

Cette structure démographique implique une forte concentration de personnes dépendantes au sein des tissus urbains denses, augmentant de manière systémique l'exposition humaine lors des crises hydro-météorologiques ou des mouvements de terrain.

2.2.2. Structure de la population

La ville de Corso (wilaya de Boumerdès) fait partie des collectivités locales urbaines ayant connu d'importantes transformations démographiques au cours des dernières années, favorisées par sa position géographique stratégique en tant que porte ouest de la wilaya et sa proximité avec la capitale Alger. La structure démographique de la ville se caractérise par une croissance dynamique rapide, résultant à la fois de l'accroissement naturel et des mouvements de migration interne. Cette structure présente les principales caractéristiques suivantes :

- Jeunesse de la population : prédominance des jeunes et des personnes en âge de travailler, ce qui représente une importante force productive tout en exerçant une pression continue sur le marché local de l'emploi.
- Forte densité : concentration importante de la population dans le centre-ville et les nouveaux quartiers résidentiels, comparativement aux zones semi-urbaines ou rurales qui lui sont rattachées.
- Transformation économique : augmentation du nombre d'actifs dans les secteurs des services, du commerce et de l'industrie légère, profitant du réseau de transport et des zones d'activités entourant la commune.

La figure ci-dessous illustre une pyramide des âges qui compare la répartition de la population par âge et par sexe entre les années 2008 et 2023. Il ressort du graphique que la population a augmenté, passant d'environ 46 700 habitants à près de 62 000 habitants, avec une hausse de l'âge médian à 27 ans. Il apparaît également que la société reste jeune en raison de l'importance des tranches d'âge inférieures, mais le changement de forme de la pyramide indique une amélioration des conditions sanitaires et de vie, ainsi qu'une baisse relative du taux de natalité.

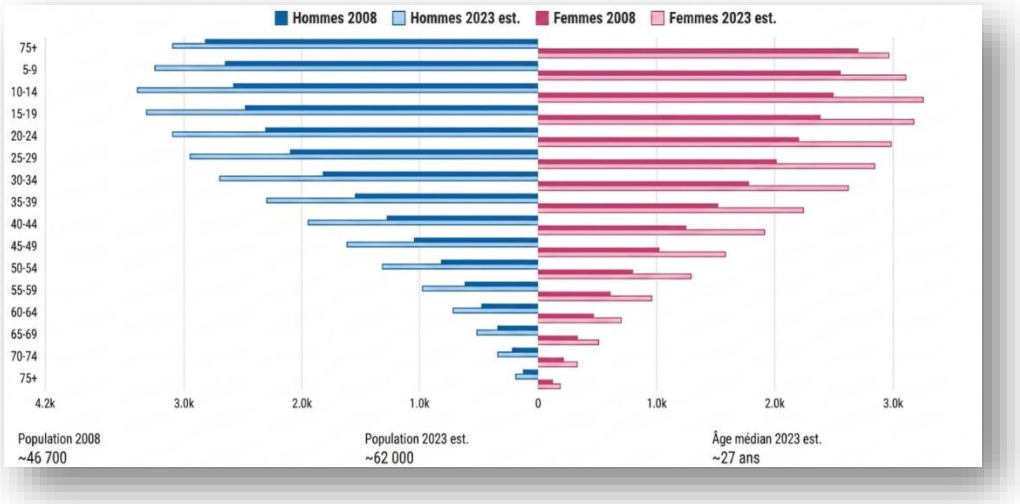

Figure 2.4 : Pyramide des âges de la commune de Corso (2023)

Source : Auteure, à partir des données ONS, 2026

Le tableau ci-dessous présente la répartition de la population par tranche d'âge, avec le nombre d'habitants et leur pourcentage par rapport à la population totale, ainsi que le rapport hommes-femmes (Sex-ratio). La tranche d'âge la plus importante est celle des 25 à 59 ans, représentant 43,8 % de la population avec 5 920 habitants. Elle est suivie par la catégorie des 0–14 ans avec un taux de 28,5 %. Quant aux personnes âgées (60 ans et plus), elles ne représentent que 11,8 %.

Tranche d'âge	Nombre d'habitants	Pourcentage (%)	Sex-ratio (H/F)	Sources
0-14 ans	3 850	28,5	1,05	ONS
15-24 ans	2 150	15,9	1,08	ONS
25-59 ans	5 920	43,8	1,02	ONS
60 ans et plus	1 590	11,8	0,92	ONS
Total	**13 510**	**100**	**1,03**	ONS

Tableau 2.3 : Structure de la population par tranche d'âge (Corso, 2023)

Source : Office National des Statistiques (ONS), Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH 2018) et estimations 2023

La carte montre la répartition de la densité de population dans la commune de Corso par quartier. Il en ressort que le centre-ville présente la densité la plus élevée, suivi du quartier de la Nouvelle Ville avec une forte densité. En revanche, le front de mer enregistre une densité moyenne, tandis que la zone sud est la moins peuplée.

Les données indiquent également que la population de la commune avoisine les 28 900 habitants, avec une densité moyenne de 1 290 habitants par kilomètre carré (hab./km²) et un taux de croissance démographique annuel estimé à 2,4 %.

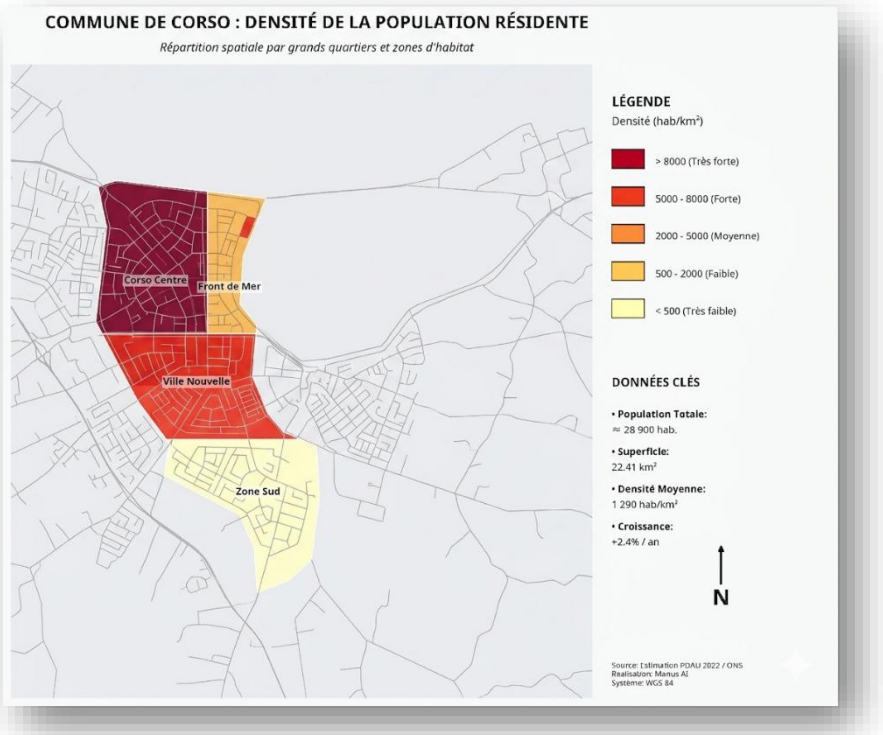

Figure 2.5 : Évolution de la population de Corso (1998–2023)

Source : Auteure à partir des données ONS, 2026

2.2.3. Urbanisation

L'urbanisation à Corso s'est accélérée de manière remarquable depuis les années 2000. Le taux d'urbanisation élevé et l'extension des constructions sur des zones sensibles (lits d'oueds, versants instables) constituent l'un des principaux facteurs d'aggravation des risques naturels.

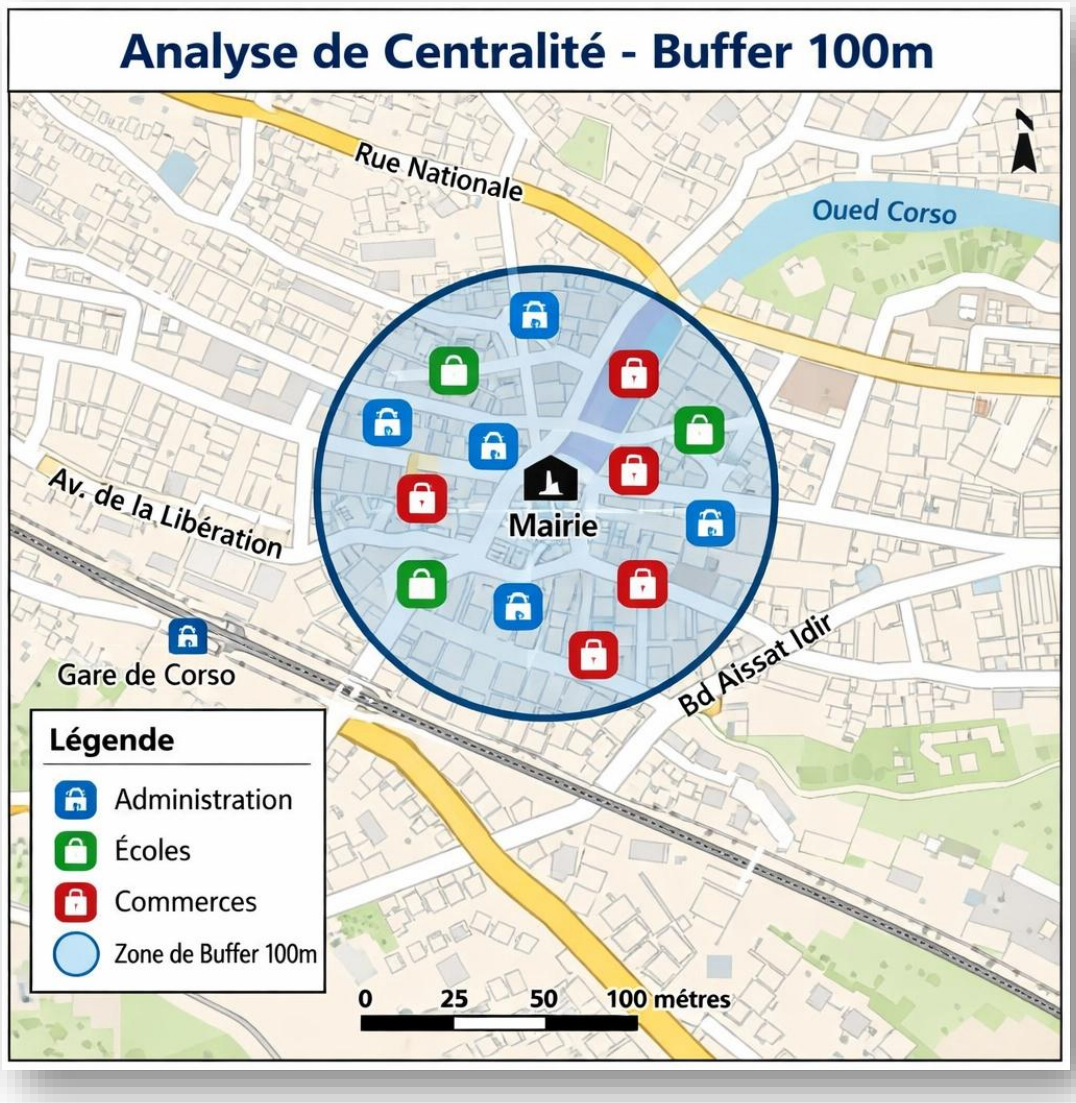

Figure 2.6 : Analyse de centralité – Buffer 100 m autour de la Mairie de Corso

Source : Auteure à partir de données cartographiques, 2026

Cette carte met en évidence une forte centralité des équipements et services publics dans un rayon de 100 mètres autour de la mairie. Cette concentration, tout en étant positive pour l'accessibilité des habitants, présente un risque majeur car elle se situe à proximité immédiate de l'Oued Corso. Toute crue ou inondation par ruissellement affecterait directement le cœur administratif et commercial de la commune.

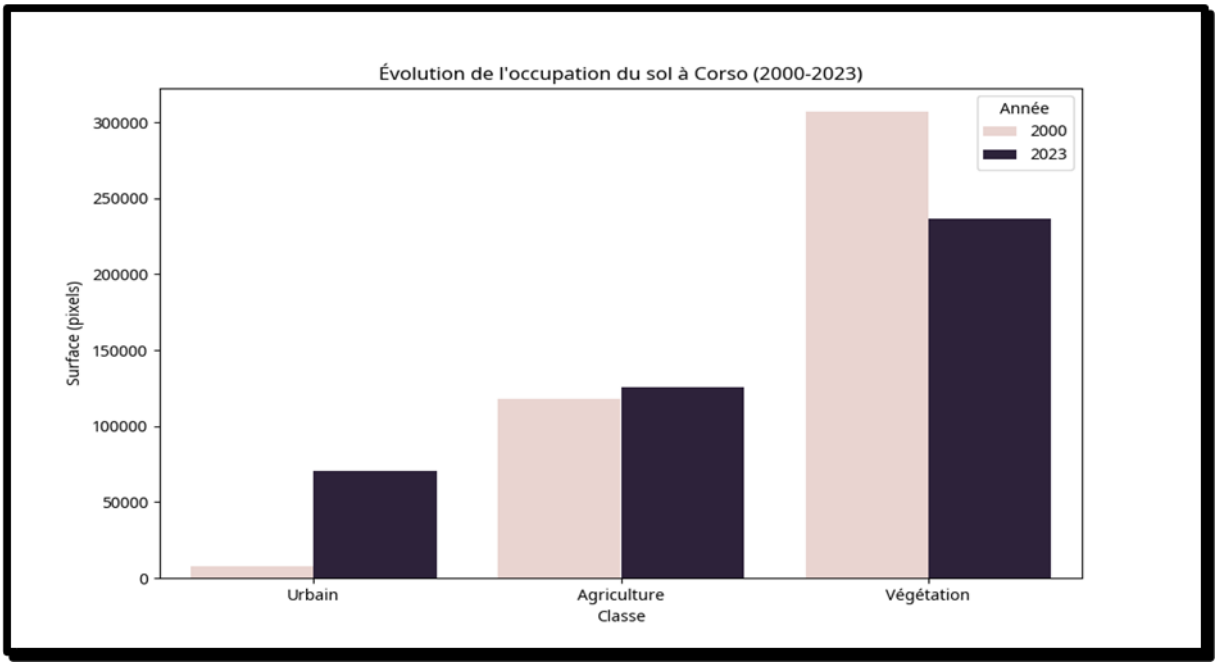

Figure 2.7 : Répartition comparative des surfaces des classes d'occupation du sol à Corso entre 2000 et 2023 (en pixels)

Source : : Auteure à partir d'images satellites et données ANAT/ONS, 2026

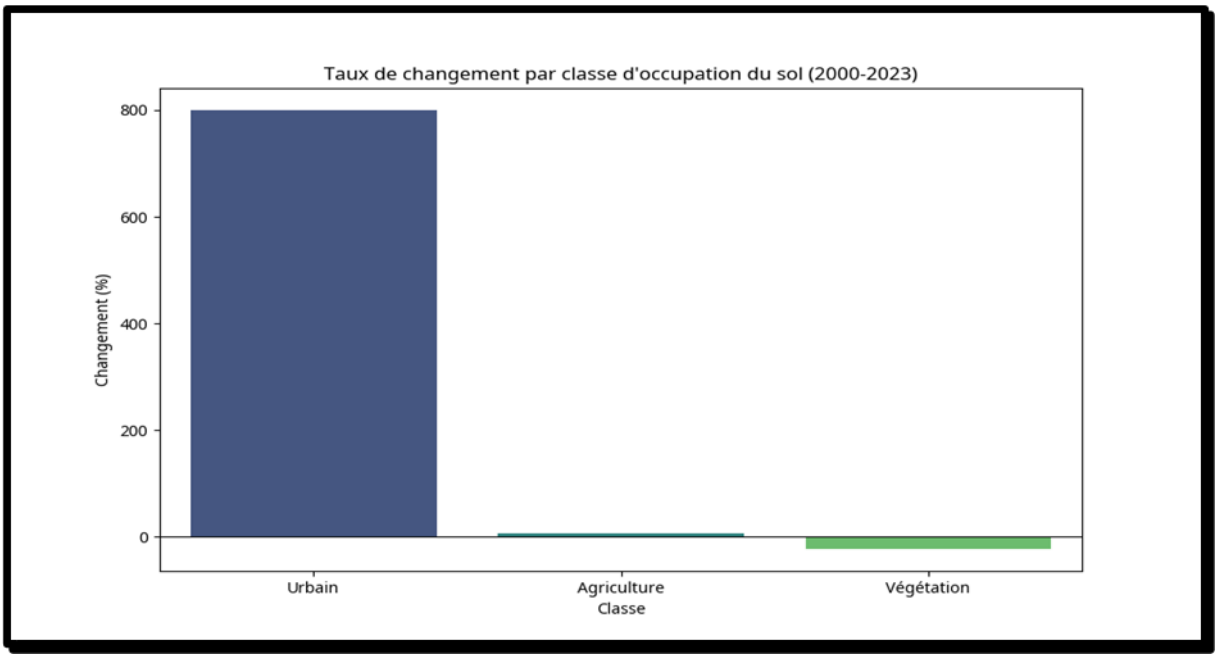

Figure 2.8 : Taux de variation global (%) des classes d'occupation du sol à Corso sur la période 2000–2023

Source : : Auteure à partir d'images satellites et données ANAT/ONS, 2026

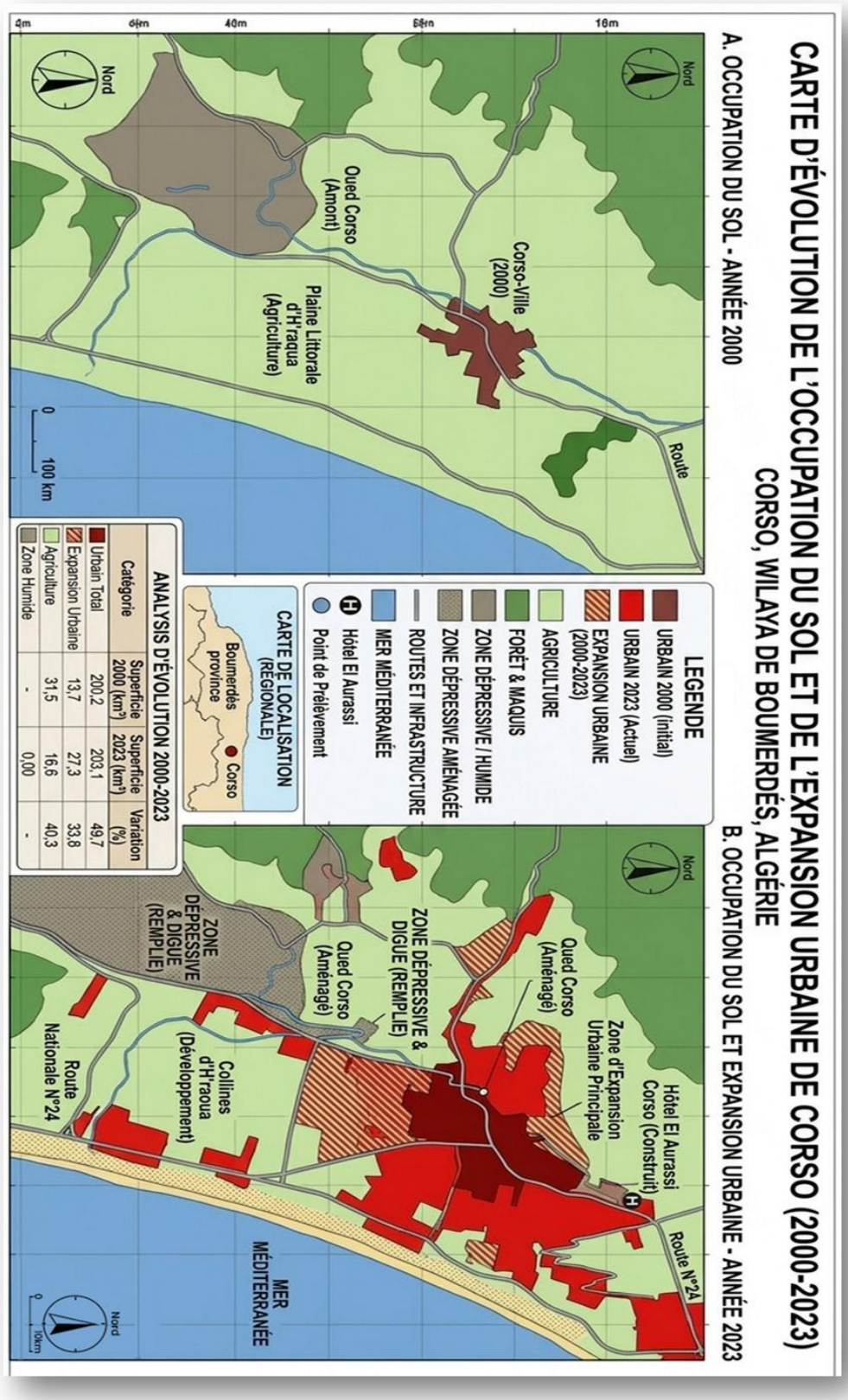

Figure 2.9 : Carte d'évolution de l'occupation du sol et de l'expansion urbaine de Corso (2000–2023)

Source : : Auteure à partir d'images satellites et données ANAT/ONS, 2026

Zone / Quartier	Surface urbanisée approx.	Densité urbaine	Niveau d'exposition aux risques	Observations
Centre-ville & Littoral	45 %	Très élevée	Très élevé (inondation + submersion)	Concentration des services (voir Figure 2.5)
Quartiers sud (versants)	30 %	Moyenne	Élevé (glissement de terrain)	Expansion sur pentes marneuses
Zones périurbaines et agricoles	25 %	Faible	Moyen	Conversion progressive des terres agricoles
Total	**100 %**	-	-	-

Tableau 2.4 : Répartition spatiale de l'urbanisation et niveau de vulnérabilité

Source : ANAT, ONS et Direction de l'Urbanisme de la Wilaya de Boumerdès

Cette urbanisation rapide et souvent informelle s'est principalement développée dans les zones basses et les versants, entraînant une artificialisation des sols, une réduction des zones d'infiltration et une augmentation du ruissellement. Ces transformations spatiales accentuent considérablement la vulnérabilité de la commune face aux inondations par ruissellement et aux mouvements de terrain.

L'urbanisation à Corso est caractérisée par une double problématique : une concentration excessive des fonctions centrales dans une zone à haut risque d'inondation (proche de l'Oued Corso) ; et une extension incontrôlée sur les versants sud et les lits mineurs des oueds, entraînant une artificialisation des sols, une réduction des zones d'infiltration et une augmentation du ruissellement pluvial. Cette dynamique transforme les aléas naturels en risques technologiques et humains, rendant urgente la révision des documents d'urbanisme (PDAU et POS).

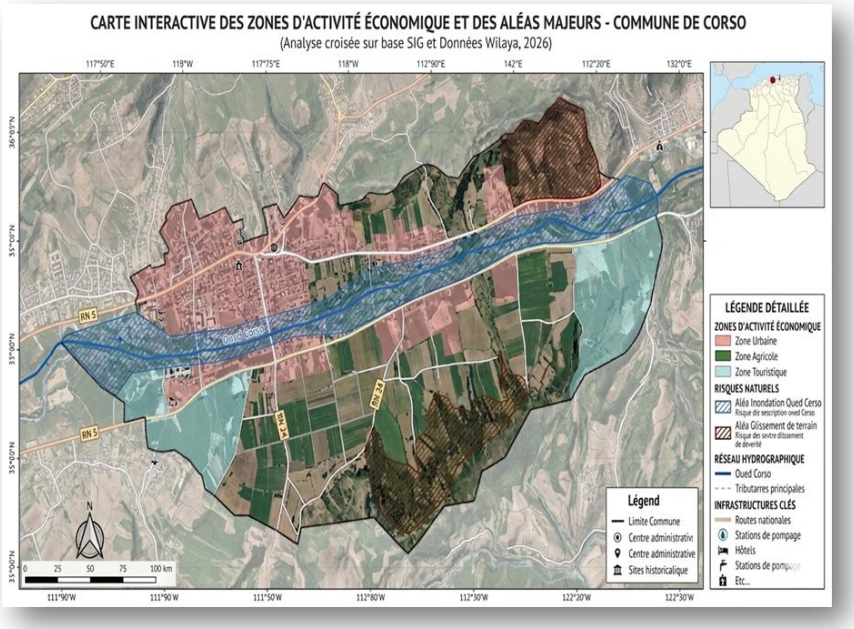

Figure 2.10 : Simulation tridimensionnelle (3D) de la susceptibilité morpho-dynamique des versants sud de Corso et de l'exposition du bâti aux glissements de terrain

Source : Auteure, 2026

2.3. Cadre géologique et lithologique

Le contexte géostructurel et lithologique de la commune de Corso joue un rôle fondamental dans la genèse, le déclenchement et l'aggravation des risques de glissement de terrain et d'inondation. Située dans le domaine tellien nord-algérien, la commune s'intègre dans un secteur de forte sismicité et d'activité tectonique compressive alpine active (CRAAG, 2004). Ce territoire appartient à un domaine complexe marqué par des formations sédimentaires cénozoïques peu consolidées, une forte fracturation et une altération météorique prononcée, ce qui induit une prédisposition naturelle majeure aux instabilités de versants (Marre, 1992).

2.3.1. Cadre géologique régional

La frange littorale de la wilaya de Boumerdès, et plus particulièrement le territoire de Corso, se situe à la jonction du domaine tellien externe et des bassins néogènes côtiers. Cette région est caractérisée par d'épaisses séries de formations sédimentaires tertiaires (Miocène supérieur et Pliocène) à dominante marneuse, argileuse et molassique, reposant en discordance sur un substratum métamorphique ou flyschoïde plus ancien (Raymond, 1976 ; ASGA, 2010).

Âge / Période	Formation / Lithologie	Caractéristiques principales	Niveau de vulnérabilité	Sources
Quaternaire	Alluvions récentes, colluvions	Sables, graviers, argiles non consolidées	Très élevé (inondation & glissement)	SGA / ANRH
Pliocène	Conglomérats, marnes et grès	Alternance de couches perméables et imperméables	Élevé	Carte géologique 1/50 000
Miocène supérieur	Marnes bleues, argiles, flysch	Formations plastiques, très sensibles à l'eau	Très élevé (glissements)	SGA
Miocène inférieur	Calcaires et grès	Plus résistants mais fracturés	Moyen	SGA
Crétacé (substratum)	Flysch et schistes	Base tectonisée	Moyen à élevé	Carte géologique Algérie

Tableau 2.5 : Caractéristiques géologiques et puissances des séries sédimentaires de Corso

Source : Service Géologique de l'Algérie (SGA), Carte géologique au 1/50 000 de Boumerdès ; Études de l'ANRH

2.3.2. Caractéristiques hydrogéologiques

Les formations géologiques de Corso présentent une forte hétérogénéité qui favorise à la fois l'infiltration rapide et la saturation des sols lors des fortes pluies.

Âge / Période	Formation / Lithologie	Caractéristiques principales	Niveau de vulnérabilité	Sources
Quaternaire	Alluvions récentes, colluvions	Sables, graviers, argiles non consolidées	Très élevé (inondation & glissement)	SGA / ANRH
Pliocène	Conglomérats, marnes et grès	Alternance de couches perméables et imperméables	Élevé	Carte géologique 1/50 000
Miocène supérieur	Marnes bleues, argiles, flysch	Formations plastiques, très sensibles à l'eau	Très élevé (glissements)	SGA
Miocène inférieur	Calcaires et grès	Plus résistants mais fracturés	Moyen	SGA
Crétacé (substratum)	Flysch et schistes	Base tectonisée	Moyen à élevé	Carte géologique Algérie

Tableau 2.6 : Principales caractéristiques hydrogéologiques de la commune de Corso

Source : Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) et rapports géotechniques de la wilaya de Boumerdès

2.3.3. Distribution spatiale des faciès lithologiques

La distribution spatiale des faciès lithologiques régit directement la typologie des aléas sur le territoire de Corso. Les formations géologiques des versants méridionaux, caractérisées par une prédominance de marnes de forte puissance et d'argiles plastiques surconsolidées du Miocène supérieur, présentent une sensibilité critique aux phénomènes d'instabilité gravitaire. Sous l'effet de précipitations cycloniques intenses, la saturation des pores de ces matrices argileuses induit une chute drastique de leur cohésion interne et du comportement au cisaillement, déclenchant des glissements de terrain rotationnels ou translationnels (Marre, 1992 ; Ramdane, 2018).

À l'inverse, au niveau des thalwegs et de la basse plaine côtière, les complexes d'alluvions superficielles récentes (sables, limons et graviers du Quaternaire) matérialisent des zones d'écoulement préférentiel. Ces secteurs sont structurellement vulnérables aux inondations par submersion fluviale et par ruissellement pluvial urbain diffus, accentué par la faible déclivité topographique de la plaine littorale (ABH-Algiers, 2020).

Cette susceptibilité géotechnique et hydrologique majeure impose une rupture avec les approches statiques traditionnelles de la planification urbaine. Elle démontre l'urgence de déployer une cartographie dynamique et prédictive des zones d'aléas, devant obligatoirement contraindre la révision des périmètres non ædificandi et les servitudes d'urbanisme au sein des instruments réglementaires (PDAU et POS), conformément aux dispositions de la Loi n° 04-20 relative à la prévention des risques majeurs (Journal Officiel de la République Algérienne, 2004).

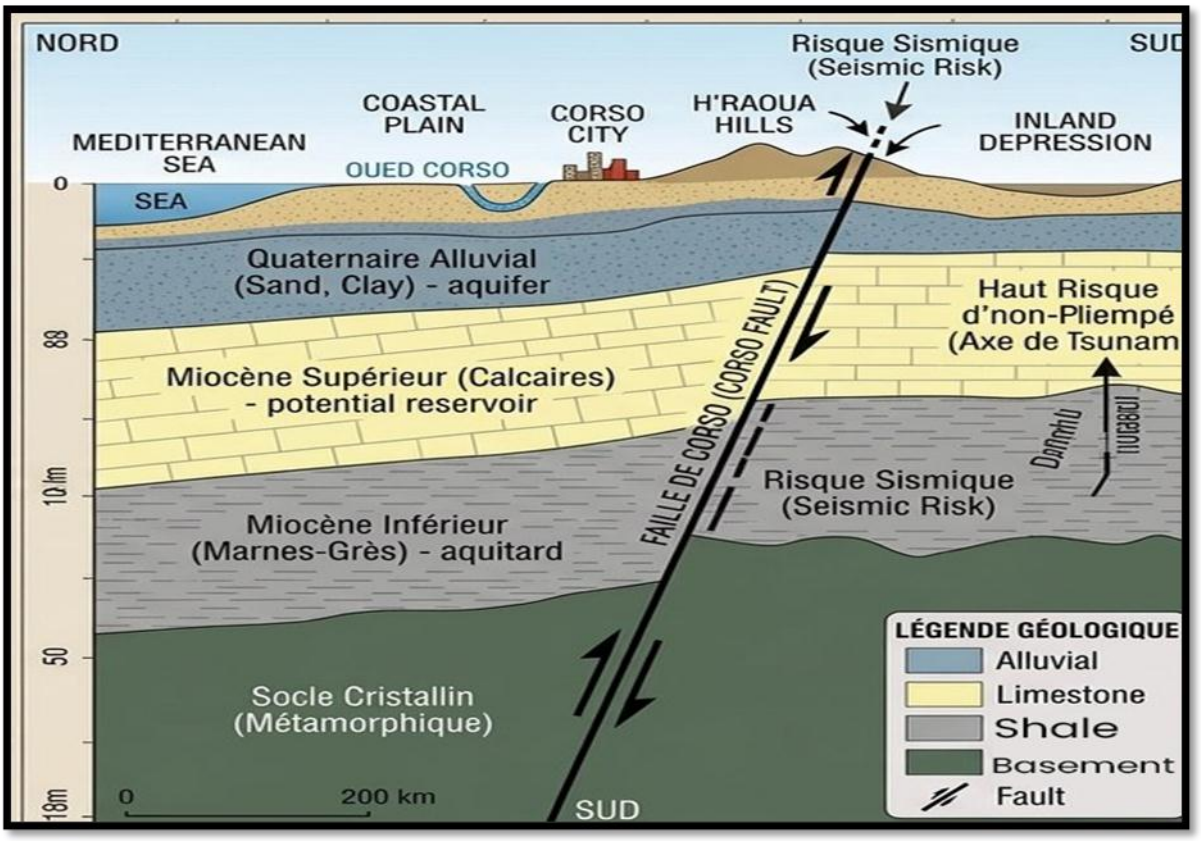

Figure 2.11 : Coupe géologique schématique nord-sud de la commune de Corso

Source : Auteure, 2026

2.4. Géomorphologie et étude du relief

La configuration géomorphologique et les caractéristiques altimétriques de la commune de Corso constituent des facteurs morphodynamiques déterminants, qui explicitent sa susceptibilité croissante face aux risques majeurs concomitants d'inondation et de glissement de terrain. Le territoire communal expose une topographie fortement contrastée, caractérisée par une transition spatiale abrupte entre un secteur septentrional bas et plat et des structures collinaires méridionales à fortes déclivités. Cette dissymétrie du relief engendre une double contrainte hydro-géomorphologique : elle accélère les temps de concentration des eaux pluviales vers l'aval tout en réduisant le facteur de sécurité des versants instables (Marre, 1992 ; Ramdane, 2018).

2.4.1. Caractéristiques géomorphologiques générales

Le profil morpho-topographique de la commune de Corso s'articule autour de trois unités géomorphologiques majeures, disposées de manière parallèle au trait de côte :

- La plaine littorale et basse vallée (Nord) : Cette unité correspond à une formation plate d'origine alluviale et marine, d'une altitude moyenne inférieure à 20 mètres. Elle forme le réceptacle

final des réseaux hydrographiques de surface. Sa faible déclivité (pente inférieure à 3 %) freine l'écoulement des eaux et favorise les phénomènes de stagnation et de submersion fluviale lors des crues (ABH-Algiers, 2020 ; PDAU intercommunal, 2015).

- Le glacis et les versants intermédiaires : Représentant une zone de transition topographique, cette unité est marquée par des pentes modérées à fortes (comprises entre 10 % et 25 %). Elle est particulièrement affectée par le ruissellement concentré et une forte vulnérabilité à l'érosion hydrique superficielle (ANAT, 2019).
- Les reliefs collinaires telliens (Sud) : Cette unité méridionale se distingue par une topographie de collines et de versants raides (pentes supérieures à 25 %), rattachée aux premiers contreforts de la chaîne de l'Atlas tellien. Ces versants matérialisent les zones d'initiation préférentielles des glissements de terrain et des coulées de boue (Marre, 1992 ; CGS, 2012).

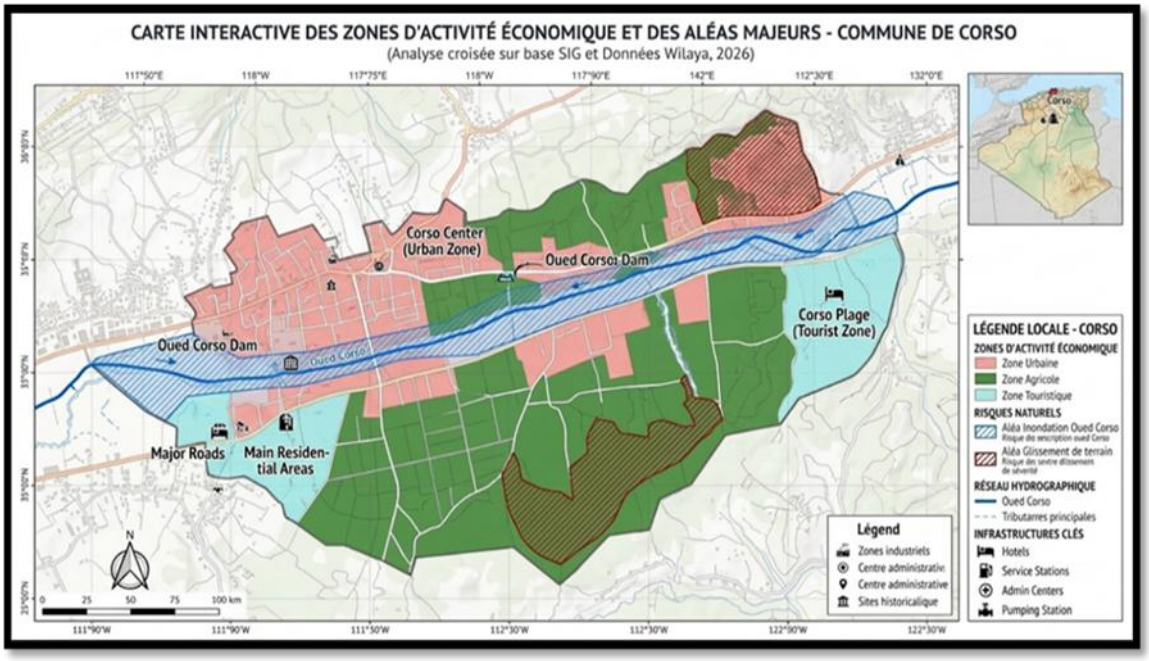

Figure 2.12 : Simulation tridimensionnelle (3D) de l'impact macro-urbain d'une crue majeure de l'Oued Corso sur le centre-ville et le pôle universitaire

Source : Auteure, 2026

Le réseau hydrographique de la commune de Corso est l'un des facteurs naturels les plus critiques dans la genèse des risques d'inondation. Le territoire communal est traversé par deux cours d'eau principaux :

- **L'Oued Corso :** Qui traverse directement des zones urbanisées à forte densité, présentant un lit majeur fortement rétréci par l'extension du bâti.
- **L'Oued Boumerdès :** Situé à la limite est de la commune

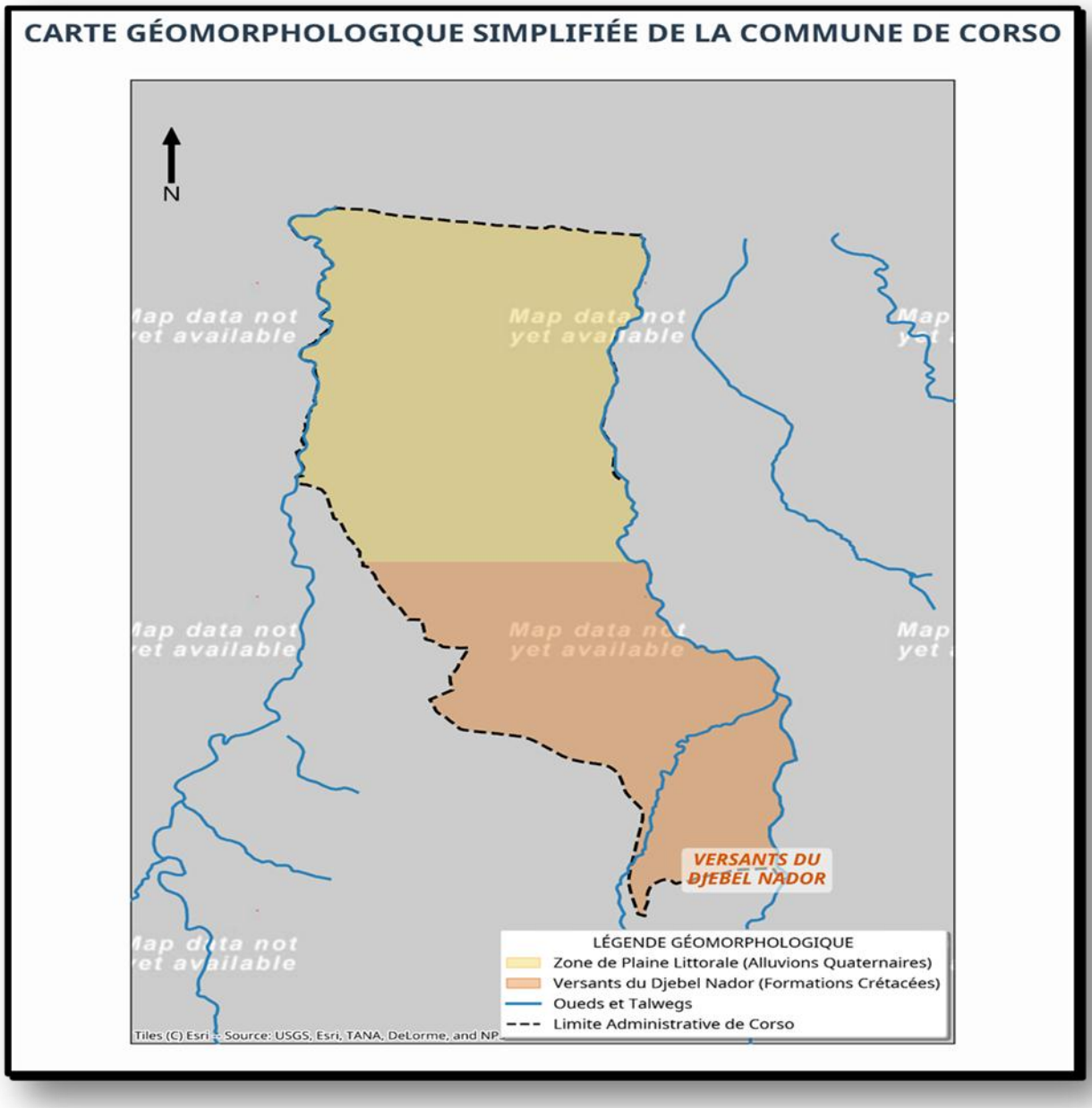

Figure 2.13 : Carte géomorphologique de la commune de Corso

Source : Auteur à partir des données ANRH, SGA et images satellites, 2026

Unité géomorphologique	Altitude moyenne	Pente moyenne (%)	Superficie approximative	Caractéristiques principales	Niveau de vulnérabilité
Plaine littorale	0 – 20 m	< 5 %	35 % de la commune	Alluvions récentes, zones basses	Très élevé (inondations)
Versants intermédiaires	20 – 150 m	10 – 25 %	40 %	Marnes et colluvions, talwegs nombreux	Élevé (glissements & ruissellement)
Reliefs sud (telliens)	150 – 350 m	25 – 45 %	25 %	Crêtes et versants raides, forte dissection	Très élevé (glissements)

Tableau 2.7 : Unités géomorphologiques de la commune de Corso

Source : Données topographiques ANRH, cartes IGN Algérie et monographie de la wilaya de Boumerdès

2.4.2. Étude détaillée du relief

Le relief de Corso est caractérisé par une forte dissymétrie nord-sud. La transition brutale entre la plaine littorale et les versants telliens crée une situation de haute énergie morphologique. Les pentes supérieures à 25 % occupent une part importante du territoire, rendant les sols marneux extrêmement sensibles aux glissements de terrain, surtout lorsqu'ils sont saturés d'eau.

L'évaluation quantitative du relief de Corso met en évidence une forte vulnérabilité hydro-géomorphologique conditionnée par trois facteurs clés :

- Profil hypsométrique accidenté : La concavité de la courbe traduit un relief à forte énergie de position. Les processus d'érosion et de transport sédimentaire prédominent dans les parties hautes, accélérant le transfert des flux vers la plaine littorale.
- Prédominance des pentes fortes : Avec plus de 27 % du territoire communal caractérisé par des pentes supérieures à 25 %, les versants méridionaux présentent une instabilité mécanique critique. Cette configuration géomorphologique favorise le déclenchement de mouvements de masse (glissements de terrain, coulées boueuses) sur les sols marneux instables.
- Forme allongée du bassin versant : Les dimensions du rectangle équivalent (L = 12,4 km ; l = 2,1 km) confirment la morphologie allongée du réseau hydrographique principal. Cette géométrie réduit considérablement le temps de concentration des eaux (Tc), provoquant des crues torrentielles soudaines et des hydrogrammes très pointus en aval lors des averses intenses.

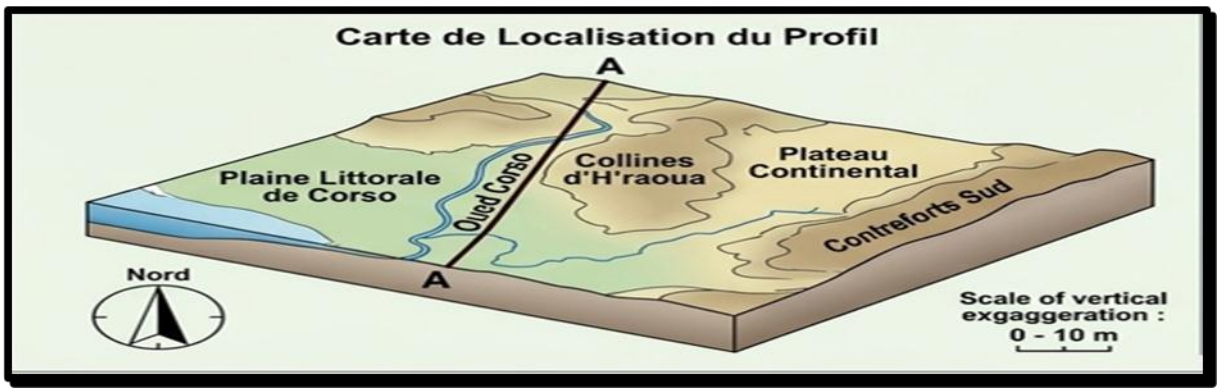

Figure 2.14 : Courbe hypsométrique et profil topographique nord-sud de Corso

Source : Auteur, 2026

2.4.3. Implications pour les risques majeurs

L'analyse morphodynamiques démontre que la topographie accentue considérablement la cinétique des risques. Les versants méridionaux à forte déclivité réduisent drastiquement le temps de concentration des eaux de ruissellement vers les collecteurs d'écoulement, tandis que les propriétés géotechniques des formations marneuses induisent une rupture d'équilibre des pentes dès l'atteinte du seuil de saturation hydrique (Marre, 1992 ; Ramdane, 2018). L'expansion urbaine non réglementaire sur ces versants instables ainsi que l'intrusion du bâti à l'intérieur des lits majeurs des oueds ont considérablement multiplié l'exposition des enjeux matériels et humains (Loi n° 04-20, 2004 ; Tucci, 2007).

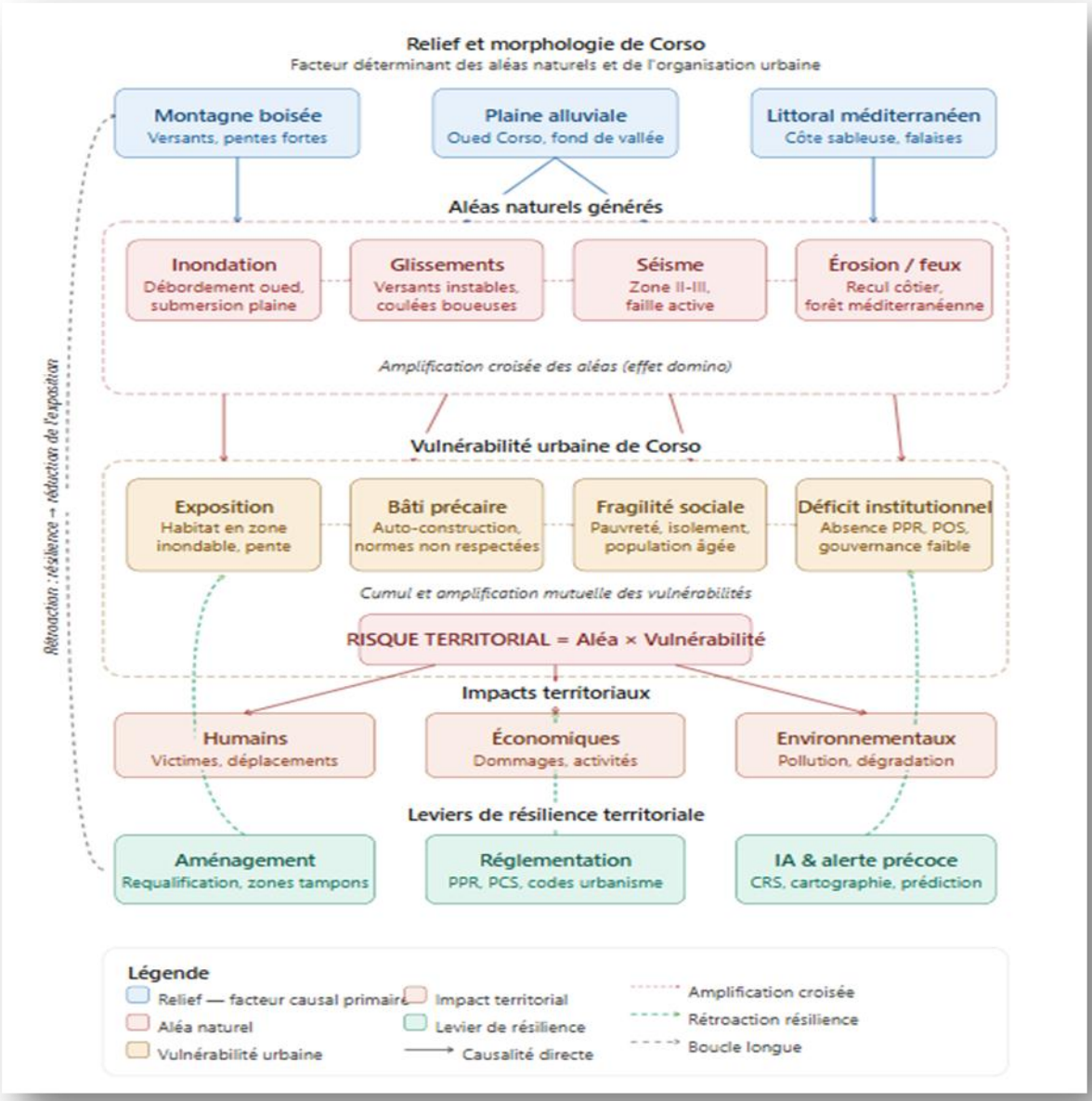

Figure 2.15 : Organigramme systémique des interactions entre relief, aléas naturels et vulnérabilité urbaine à Corso

Source : Auteur, 2026

2.5. Situation géographique du bassin versant et étude du réseau hydrographique

La configuration du réseau hydrographique de la commune de Corso constitue le facteur déclenchant principal de sa vulnérabilité structurelle face au risque d'inondation. Le territoire communal est segmenté et irrigué par plusieurs oueds qui drainent les apports liquides et solides depuis les reliefs telliens de l'amont (Sud) jusqu'à l'exutoire marin (Nord). Cette disposition spatiale, combinée à une forte énergie de relief et à une imperméabilisation croissante des sols par

l'urbanisation dense, engendre des crues torrentielles caractérisées par des hydrogrammes de crues pointus et des submersions brutales (ABH-Algiers, 2020).

Le territoire communal est traversé par deux cours d'eau principaux :

- L'Oued Corso : qui traverse directement des zones urbanisées à forte densité, présentant un lit majeur fortement rétréci par l'extension du bâti.
- L'Oued Boumerdès : situé à la limite est de la commune.

Ces oueds se caractérisent par un régime hydrologique torrentiel et intermittent, avec des crues éclairs très violentes provoquées par la réactivité des bassins versants en amont. En période de fortes pluies, le temps de concentration des eaux est extrêmement court, ce qui provoque des débordements rapides dans les points bas de la ville, menaçant directement les infrastructures urbaines.

2.5.1. Délimitation et situation du bassin versant

Sur le plan de la planification hydrographique, la commune de Corso s'inscrit dans le sous-bassin versant des côtiers algérois (secteur Cap Matifou – Boumerdès), rattaché au grand bassin hydrographique national Algérois-Hodna-Soummam (Arrêté interministériel, 2012). Le complexe communal est directement drainé par des micro-bassins versants côtiers. Ces entités hydrographiques de taille modeste présentent un temps de réponse particulièrement court et une forte réactivité hydrologique, directement dictés par la compacité de leur forme, leur faible superficie et l'indice de pente prononcé de leurs thalwegs (Remini, 2017 ; ABH-Algiers, 2020).

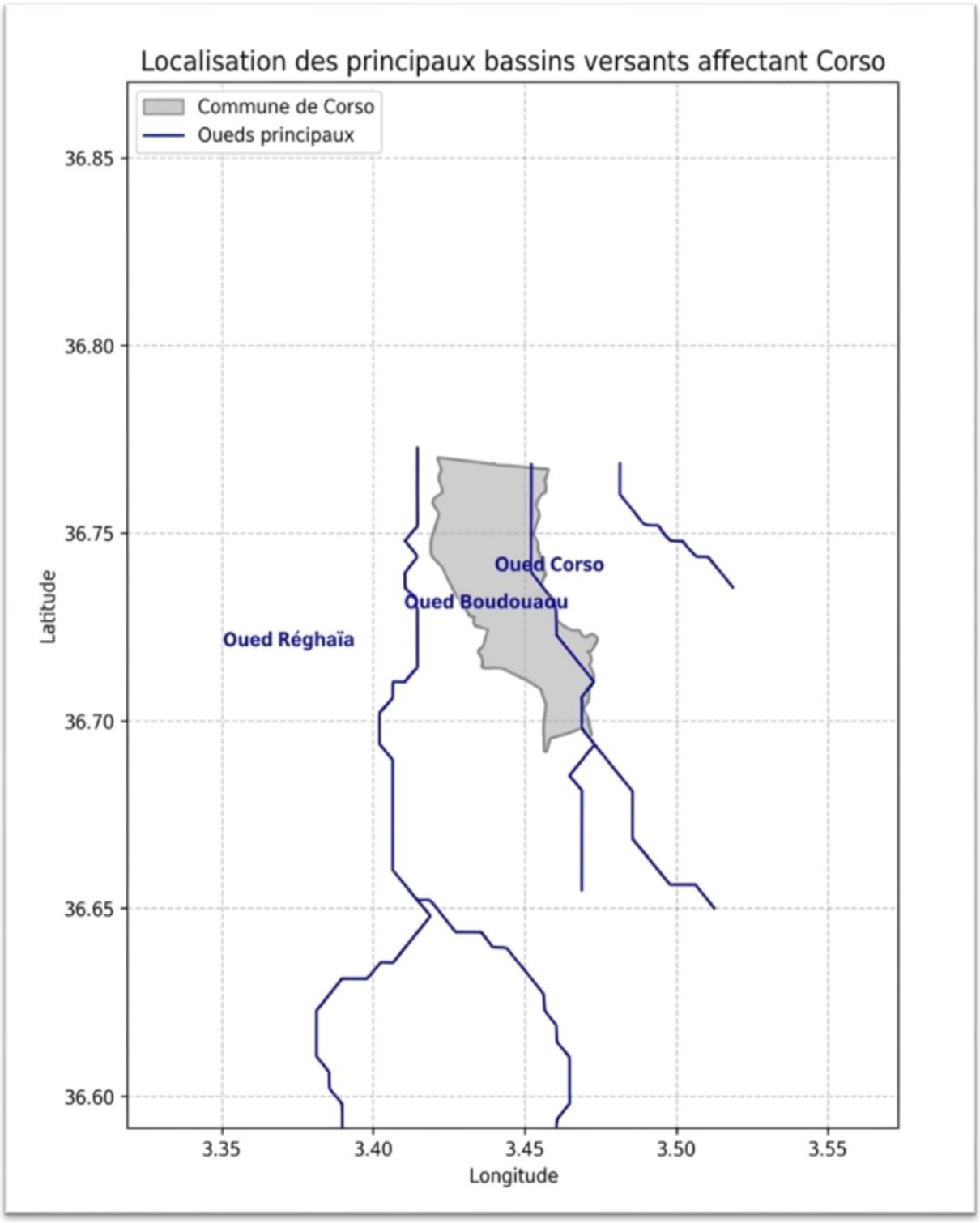

Figure 2.16 : Localisation des principaux bassins versants affectant la commune de Corso

Source : Auteure, à partir des données ANRH et monographie de la wilaya de Boumerdès, 2026

2.6. Cadre bioclimatique et dynamique météorologique

La commune de Corso est soumise à un climat méditerranéen de type Csa (selon la classification de Köppen), caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. La pluviométrie moyenne annuelle oscille entre 600 et 700 mm, mais la vulnérabilité du territoire est exacerbée par l'effet de saisonnalité et la récurrence d'événements pluvieux extrêmes.

Les analyses des stations météorologiques locales montrent une concentration des précipitations sur une courte période (de novembre à mars). Le risque majeur d'inondation se manifeste lors des épisodes d'averses torrentielles à forte intensité (souvent supérieures à 50 mm en moins de 24 heures), qui saturent rapidement la capacité d'infiltration des sols argileux de la plaine et dépassent la capacité de transit du réseau d'assainissement urbain.



Figure 2.17 : Synthèse des indicateurs climatiques de la région d'étude

Source : Auteur, 2026

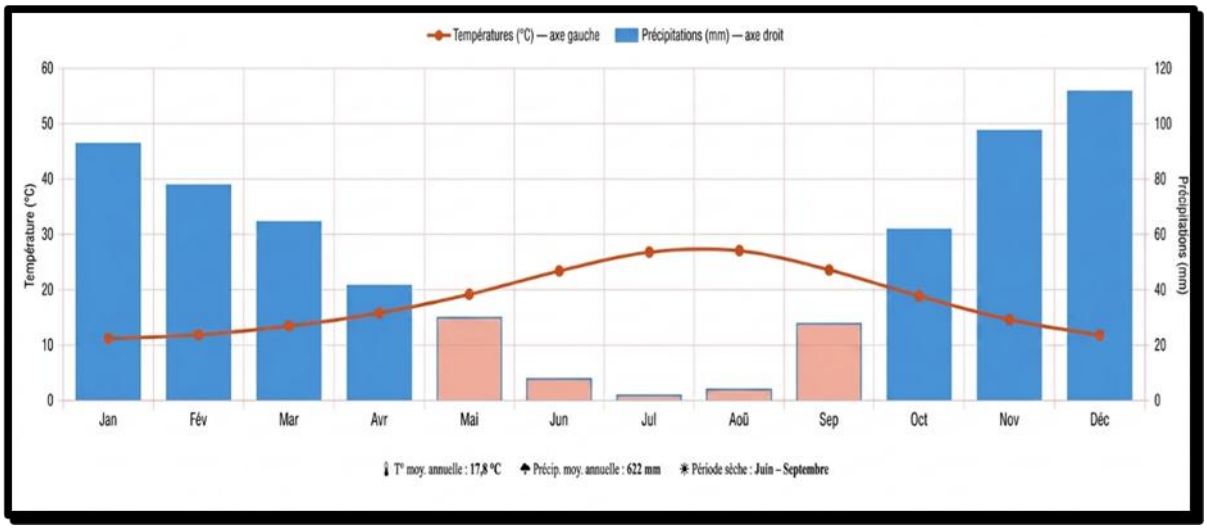

Figure 2.18 : Diagramme ombrothermique de la station de Boumerdès (moyenne 1981–2020)

Source : Auteur à partir des données ANRH et ONM, 2026

Mois	T min (°C)	T moy (°C)	T max (°C)	Précip. (mm)	Jours pluie	Humidité (%)	Ensoleil. (h)	Caractère
Janvier	7,0	11,5	16,0	92	11	78	152	Pluvieux
Février	7,5	12,0	17,0	78	9	76	158	Pluvieux
Mars	9,0	13,5	19,0	62	8	72	196	Doux
Avril	11,0	15,5	21,0	48	7	70	222	Doux
Mai	14,5	19,0	24,5	32	5	68	265	Doux
Juin	18,0	23,0	29,0	10	2	62	302	Chaud
Juillet	21,0	26,5	33,0	4	1	55	340	Sec / chaud
Août	21,5	27,0	34,0	6	1	57	328	Sec / chaud
Septembre	18,5	23,5	30,0	38	4	65	258	Chaud
Octobre	14,0	19,0	25,0	68	7	72	210	Pluvieux
Novembre	10,0	14,5	20,0	86	10	77	168	Pluvieux
Décembre	7,5	12,0	17,0	112	13	80	148	Pluvieux
Annuel	—	18,3	—	636	78	69	2 747	—

Tableau 2.8 : Paramètres climatiques de la région de Corso / Boumerdès

Source : Office National de la Météorologie (ONM) et Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH)

Les données thermo-pluviométriques mettent en évidence une forte saisonnalité du régime climatique. La période hivernale concentre les plus forts cumuls de précipitations. À l'inverse, la période estivale (juillet/août) se distingue par un stress hydrique sévère avec des précipitations quasi nulles. Du point de vue de la gestion des risques, la transition brutale vers l'automne combinée à des températures encore élevées favorise le déclenchement d'orages torrentiels, augmentant ainsi la vulnérabilité de la zone aux inondations flash.

2.6.1. Impact hydro-climatique sur la vulnérabilité territoriale

Le régime pluviométrique de la commune de Corso est structurellement marqué par une forte irrégularité interannuelle et une concentration saisonnière exacerbée durant la période automno-hivernale. L'occurrence d'épisodes de précipitations paroxystiques, caractérisés par des lames d'eau exceptionnelles dépassant le seuil critique des 100 mm en 24 heures, s'intensifie sous l'effet des mutations climatiques globales actuelles (GIEC, 2021 ; IPCC, 2023).

Ces événements pluvieux extrêmes saturent de manière quasi instantanée les horizons superficiels des sols marneux et argileux, annulant leur capacité d'infiltration spontanée. Ce phénomène hydro-géologique engendre deux conséquences concomitantes majeures : d'une part, une

hausse brutale et exponentielle des débits de pointe des oueds (crues éclairs), et d'autre part, une rupture d'équilibre géotechnique induisant des mouvements de terrain catastrophiques le long des versants méridionaux à forte déclivité (ANRH, 2019 ; Meddi, 2013).

2.6.2. Analyse quantitative et fréquentielle des précipitations

Au sein du système environnemental de la commune de Corso, les précipitations constituent la variable d'entrée la plus critique pour la modélisation des risques hydrologiques et gravitaires. L'analyse des données hydro-météorologiques locales démontre que l'essentiel du volume d'eau annuel s'abat sous forme d'averses de forte intensité et de courte durée, réduisant drastiquement le temps de concentration des sous-bassins versants et saturant les réseaux d'assainissement pluvial urbain sous-dimensionnés (ABH-Algiers, 2020 ; Remini, 2017).

Le régime pluviométrique se décompose de la façon suivante :

- Saison humide (octobre – avril) : elle concentre l'essentiel des pluies. Novembre (≈ 112 mm) et décembre (≈ 124 mm) sont les mois les plus arrosés. Janvier (≈ 97 mm) et février (≈ 82 mm) restent significatifs, avant un affaiblissement progressif du printemps.
- Transition printanière et automnale : mai (≈ 42 mm) et septembre (≈ 38 mm) marquent les passages entre les deux saisons. Les pluies d'automne, parfois intenses et orageuses, peuvent être localement supérieures aux normales.
- Saison sèche (juin – août) : quasi-totale. Juillet ne reçoit en moyenne que 4 mm. Cette aridité estivale est caractéristique du bioclimat méditerranéen subhumide de la Mitidja orientale.

Le total annuel avoisine 800 mm, ce qui place Boumerdès parmi les zones les mieux arrosées du nord de l'Algérie, favorisée par sa position côtière face aux flux humides venant du nord-ouest.

Les précipitations à Corso sont de plus en plus irrégulières et intenses. Les événements supérieurs à 100 mm en 24 heures, autrefois rares, deviennent plus fréquents sous l'effet du changement climatique. Cette évolution entraîne : une saturation rapide des sols marneux et argileux, favorisant les glissements de terrain sur les versants sud ; des crues flashs très rapides sur les oueds (temps de concentration court : 1 à 3 heures) ; et une augmentation du ruissellement due à l'urbanisation, réduisant le temps d'infiltration et amplifiant les volumes d'eau qui atteignent les zones habitées.

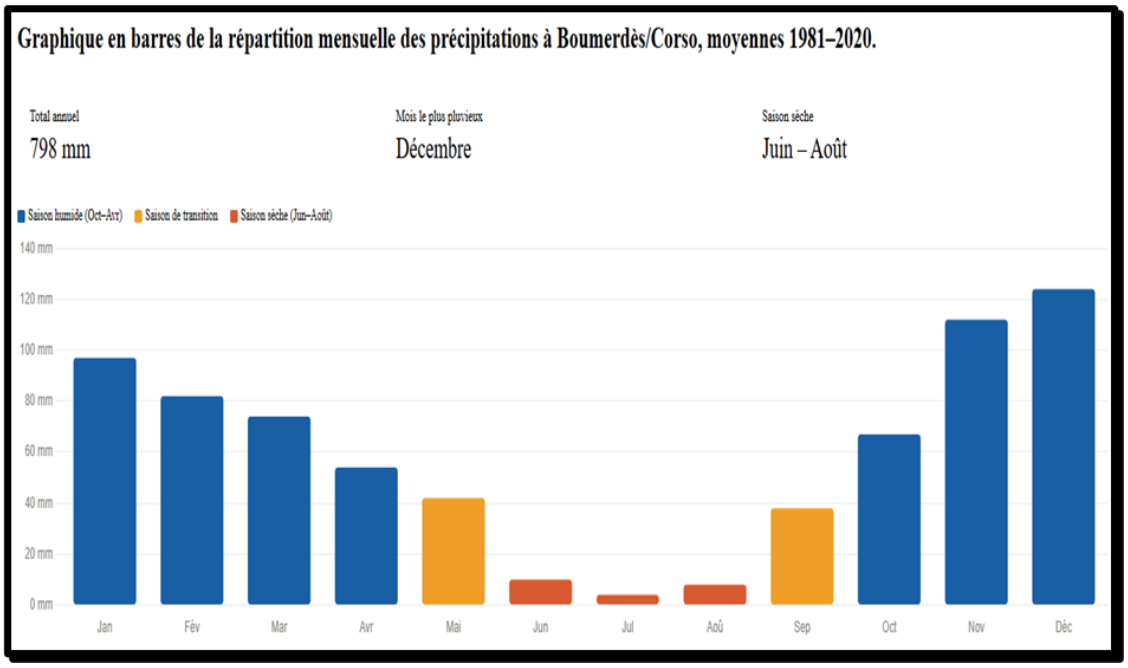

Figure 2.19 : Régime pluviométrique mensuel et occurrence des jours de pluie de la zone d'étude

Source : ONM / ANRH, normales 1981–2020

2.6.3. Implications hydrologiques et risques

La combinaison d'un climat méditerranéen marqué par des pluies concentrées et d'un relief contrasté génère un régime hydrologique torrentiel. Les oueds de Corso réagissent très rapidement aux précipitations, avec des coefficients de ruissellement élevés (0,4 à 0,7 en période de crue). Cette situation hydrologique renforce la vulnérabilité de la commune, particulièrement dans le centre-ville et les quartiers situés en contrebas des versants.

La relation étroite entre le climat et les risques peut se résumer ainsi : des précipitations intenses associées à un relief pentu produisent un temps de concentration très court (1 à 3 heures), générant des crues flash sur l'Oued Corso et les talwegs. Les précipitations prolongées sur des formations marneuses saturent les sols et diminuent la cohésion des terrains, déclenchant des glissements de terrain et des coulées boueuses sur les versants sud. L'urbanisation et l'imperméabilisation augmentent le coefficient de ruissellement jusqu'à 0,6–0,8, amplifiant artificiellement les volumes d'eau et accélérant les crues.

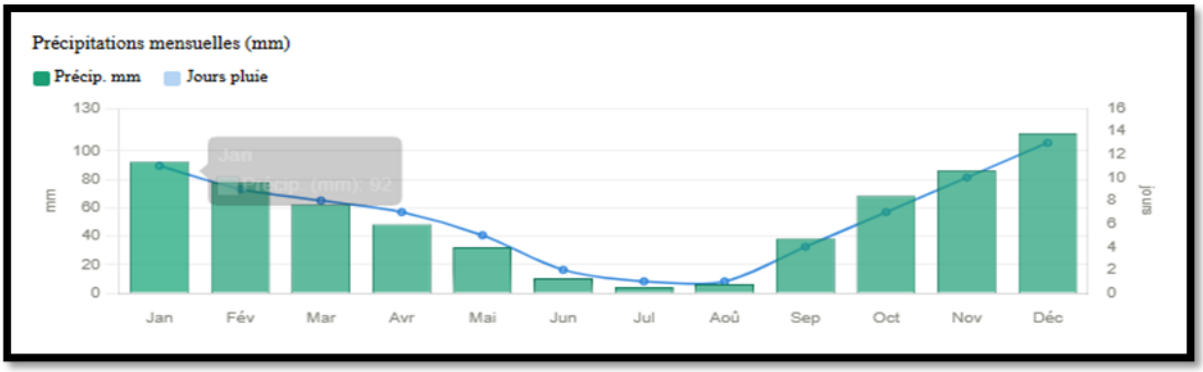

Figure 2.20 : Synthèse des facteurs de vulnérabilité de la commune de Corso

Source : Auteur, 2026

Conclusion

La caractérisation multidimensionnelle de la commune de Corso révèle un territoire à forte vulnérabilité structurelle, résultant de l'interaction étroite entre facteurs naturels et dynamiques anthropiques.

Géographiquement enclavée entre la mer Méditerranée et les reliefs telliens, Corso présente une configuration particulièrement exposée : un relief contrasté avec des versants pentus en formations marneuses fragiles, un réseau hydrographique torrentiel dominé par l'Oued Corso, et un climat méditerranéen marqué par des précipitations irrégulières et de plus en plus intenses. Ces éléments naturels créent des conditions propices à la survenue simultanée d'inondations par ruissellement et crues flash, ainsi que de glissements de terrain, particulièrement lors des épisodes pluvieux automnaux et hivernaux (octobre à décembre).

L'analyse démographique et urbanistique a mis en évidence une croissance rapide de la population et une urbanisation souvent anarchique. La concentration des fonctions administratives, commerciales et résidentielles dans des zones à haut risque (berges de l'oued et versants instables), conjuguée à l'imperméabilisation des sols, amplifie considérablement la vulnérabilité du territoire. Les documents d'urbanisme classiques (PDAU et POS) se révèlent aujourd'hui insuffisants, car ils reposent sur une approche statique et curative, incapable de suivre la dynamique rapide des aléas naturels exacerbés par le changement climatique.

En synthèse, la commune de Corso constitue un cas emblématique où les risques d'inondation et de glissement de terrain ne sont plus seulement naturels, mais bien socio-spatiaux. La superposition d'une fragilité géomorphologique et géologique, d'un régime hydrologique réactif, d'un climat extrême et d'une urbanisation mal maîtrisée crée un cercle vicieux qui menace la sécurité des populations et la durabilité du développement urbain.

Ce diagnostic territorial approfondi, établi à travers une approche systémique, met en lumière les limites des méthodes traditionnelles de gestion des risques et justifie pleinement la nécessité de passer à un urbanisme prédictif et résilient. Il pose ainsi les fondements scientifiques et opérationnels du chapitre suivant, dédié à la proposition d'un système intégré basé sur l'Intelligence Artificielle et l'Internet des Objets (IoT), capable de surveiller en temps réel, de modéliser et d'anticiper ces risques pour une meilleure aide à la décision en matière d'aménagement et de gestion de crise.

Références bibliographiques

- Aissi, M. et Medjadj, R. (2023). Urbanisme résilient et gestion des risques naturels en Algérie : approches territoriales et outils d'aide à la décision. Revue Algérienne d'Aménagement du Territoire, 12(1), 45–67.
- Benhamou, A. et Zerouala, M. S. (2020). Vulnérabilité urbaine et risques d'inondation dans les communes littorales du nord algérien. Revue Nature et Technologie, 22(B), 12–24.
- Boumaza, N., Hadj-Ali, M. et Kaci, S. (2018). Dynamiques urbaines et exposition aux aléas hydrométéorologiques dans la wilaya de Boumerdès. Cahiers de Géographie de l'Algérie du Nord, 7, 88–105.
- Bourenane, H., Bouhadad, Y., Guettouche, M. S. et Braham, M. (2022). GIS-based landslide susceptibility zonation using bivariate statistical and expert approaches in the city of Constantine, Northeast Algeria. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 74(2), 337–355.
- Djellouli, F. (2019). Diagnostic territorial et planification urbaine face aux risques naturels : cas du littoral algérois. Thèse de doctorat, École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU), Alger.
- Kouachi, S. (2021). Cartographie des aléas naturels et vulnérabilité des établissements humains dans la wilaya de Boumerdès. Mémoire de Magistère, Université M'Hamed Bougara de Boumerdès.
- Marre, A. (1992). Le Tell oriental algérien de Collo à la frontière tunisienne. Étude géomorphologique. Office des Publications Universitaires (OPU), Alger. 2 volumes.
- Meddi, M. (2013). Prédétermination des crues dans le bassin versant de l'Oued Cheliff. Revue des Sciences de l'Eau, 26(1), 1–16.
- Ramdane, A. (2018). Modélisation hydrologique et cartographie des zones inondables : application au bassin versant de l'Oued Corso, wilaya de Boumerdès. Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène (USTHB), Alger.
- Raymond, D. (1976). Géologie du nord-est de l'Algérie : étude structurale et lithologique des formations tertiaires côtières. Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, 44, 112–139.
- Remini, B. (2017). Hydraulique et hydrologie des bassins versants côtiers algériens. Éditions Université Blida 1, Blida.
- Tucci, C. E. M. (2007). Urban Flood Management. World Meteorological Organization (WMO), Cap-Net, Global Water Partnership.
- ABH-Algiers [Agence de Bassin Hydrographique Algérois-Hodna-Soummam] (2020). Étude d'aménagement et de protection contre les inondations des oueds côtiers de la wilaya de Boumerdès. Rapport technique, Alger.
- ANAT [Agence Nationale d'Aménagement du Territoire] (2019). Monographie territoriale de la wilaya de Boumerdès. Direction Générale de l'Aménagement du Territoire, Alger.
- ANRH [Agence Nationale des Ressources Hydriques] (2019). Données hydrométriques et pluviométriques de la station de Boumerdès (1981–2018). Base de données hydrologique nationale, Alger.

- ASGA [Association des Géologues et Géophysiciens Algériens] (2010). Atlas géologique du nord de l'Algérie au 1/50 000 : feuille Boumerdès–Corso. Alger : ASGA / Service Géologique de l'Algérie.
- CGS [Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique] (2012). Carte des aléas géotechniques et de glissements de terrain de la wilaya de Boumerdès. CGS / Ministère de l'Habitat, Alger.
- CRAAG [Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique] (2004). Rapport de synthèse sur la sismicité de la région de Boumerdès suite au séisme du 21 mai 2003. CRAAG, Alger.
- DPAT Boumerdès [Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire] (2012). Plan de Développement de la Wilaya de Boumerdès 2010–2014. Boumerdès : Direction de Wilaya.
- DPAT Boumerdès (2021). Monographie de la wilaya de Boumerdès – Mise à jour 2021. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, Boumerdès.
- GIEC [Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat] (2021). Sixième Rapport d'Évaluation (AR6) – Rapport du Groupe de Travail I : Les Bases Physiques. Genève: GIEC / OMM / PNUE.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Geneva: IPCC. Disponible sur : https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/
- Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales (2022). Recueil des statistiques communales et données administratives des wilayas côtières. Direction des Collectivités Locales, Alger.
- ONM [Office National de la Météorologie] (2020). Normales climatiques 1981–2020, station de Boumerdès. Alger : ONM / Ministère des Transports.
- ONS [Office National des Statistiques] (2009). Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) 2008 – Résultats par commune, wilaya de Boumerdès. Alger : ONS.
- Arrêté interministériel du 4 mars 2012 portant délimitation des bassins hydrographiques nationaux et création des agences de bassin. Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (JORA), n° 14, 2012.
- Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (2004). Loi n° 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. JORA, n° 84, 29 décembre 2004.
- PDAU intercommunal de Boumerdès (2015). Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme intercommunal – Communes de Boumerdès, Corso, Tidjelabine et Boudouaou El Bahri. Direction de l'Urbanisme, wilaya de Boumerdès.
- ONU [Organisation des Nations Unies] (2015). Objectifs de Développement Durable (ODD) – Programme de Développement Durable à l'Horizon 2030. New York : Nations Unies. Disponible sur : https://sdgs.un.org/goals
- Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), Geneva.
- UN-Habitat [United Nations Human Settlements Programme] (2020). World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization. Nairobi : UN-Habitat.

CHAPITRE III

Gestion Prédictive des Risques par IA

Chapitre 3 : Proposition d'un Système Intégré d'Intelligence Artificielle et d'IoT pour une Gestion Prédictive des Risques Majeurs

Introduction

L'accélération des aléas hydrométéorologiques et géomorphologiques, exacerbée par les dérèglements climatiques et une pression anthropique croissante, impose aujourd'hui une remise en question profonde des paradigmes de la planification urbaine en Algérie. Les instruments traditionnels, tels que le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) et le Plan d'Occupation des Sols (POS), bien que structurants, souffrent d'une rigidité intrinsèque. Leur approche, essentiellement statique et souvent curative, s'avère désormais obsolète face à l'immédiateté des risques et à la complexité des dynamiques territoriales contemporaines (IG TU, 2024).

Ce troisième chapitre marque une rupture méthodologique en opérant la transition du diagnostic théorique vers la proposition d'un modèle opérationnel disruptif. L'enjeu n'est plus seulement de cartographier le risque a posteriori, mais d'instaurer un urbanisme de l'anticipation. À travers le projet « Corso Résilient System » (CRS), nous proposons de transformer la commune de Corso — véritable laboratoire des vulnérabilités littorales et topographiques de la wilaya de Boumerdès — en un territoire résilient et « augmenté » par les technologies de pointe.

La proposition repose sur la fusion de l'Internet des Objets (IoT) et de l'Intelligence Artificielle (IA) pour créer un métabolisme urbain capable de s'auto-surveiller. Ce système intégré permet de substituer à la gestion de crise réactive une gouvernance prédictive, où la donnée captée en temps réel devient le moteur de la décision urbanistique. En corrélant les variables géophysiques, les flux hydriques et l'évolution du bâti via des algorithmes de Deep Learning, le CRS ambitionne de doter les acteurs publics d'un véritable Système d'Information Géographique Dynamique (SIG-D) (Alam et al., 2024).

Au-delà de la réponse technique, cette proposition vise à réhabiliter la sécurité comme composante intrinsèque de la morphologie urbaine. Il s'agit de fonder une nouvelle doctrine pour l'urbanisme algérien, où l'intelligence artificielle agit comme un levier de rationalisation des investissements publics et un garant de la pérennité des établissements humains face aux incertitudes environnementales de demain.

3.1.1. Approfondissement de la problématique locale et limites des approches traditionnelles

3.1.1.1. Vulnérabilités spécifiques de la commune de Corso

La commune de Corso, située dans la wilaya de Boumerdès, représente un cas emblématique des territoires algériens exposés aux risques hydrométéorologiques et géomorphologiques. Sa position géographique, entre la mer Méditerranée au nord et des reliefs telliens au sud, lui confère

une topographie contrastée et instable. Les versants escarpés, les oueds à forte pente (notamment l'oued Corso et ses affluents) et la proximité du littoral accentuent la vulnérabilité face aux pluies torrentielles et aux mouvements de terrain.

Sur le plan hydro-climatique, la région connaît un régime méditerranéen marqué par une forte variabilité pluviométrique. Les précipitations concentrées en automne et en hiver génèrent des crues rapides et des ruissellements violents. La géologie locale, composée de formations marneuses et argileuses sensibles à l'humidité, favorise les phénomènes de glissement et d'éboulement, particulièrement sur les versants anthropisés (López-de-la-Cruz et al., 2022).

L'urbanisation anarchique observée depuis plusieurs décennies aggrave considérablement ces vulnérabilités naturelles. L'extension incontrôlée des constructions sur les versants, dans les lits mineurs des oueds et dans les zones basses expose une part importante du tissu urbain à des risques directs. Cette occupation illégale ou mal maîtrisée des zones à haut risque résulte d'une pression démographique forte et d'une spéculation foncière incontrôlée, conduisant à une imperméabilisation excessive des sols et à une perturbation des écoulements naturels.

L'historique des événements confirme la récurrence et la gravité de ces phénomènes. En mai 2023, des pluies diluviennes ont provoqué des inondations importantes à Corso, Boudouaou et Boumerdès, entraînant la fermeture de la RN5, des glissements de terrain et l'inondation de plusieurs bâtisses. Des interventions massives de la Protection Civile ont été nécessaires. Des événements similaires ont été enregistrés en 2010 et lors d'autres épisodes pluvieux récents, avec des coupures de routes, des dommages matériels et, parfois, des risques humains. Ces faits illustrent la fragilité persistante du territoire (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).

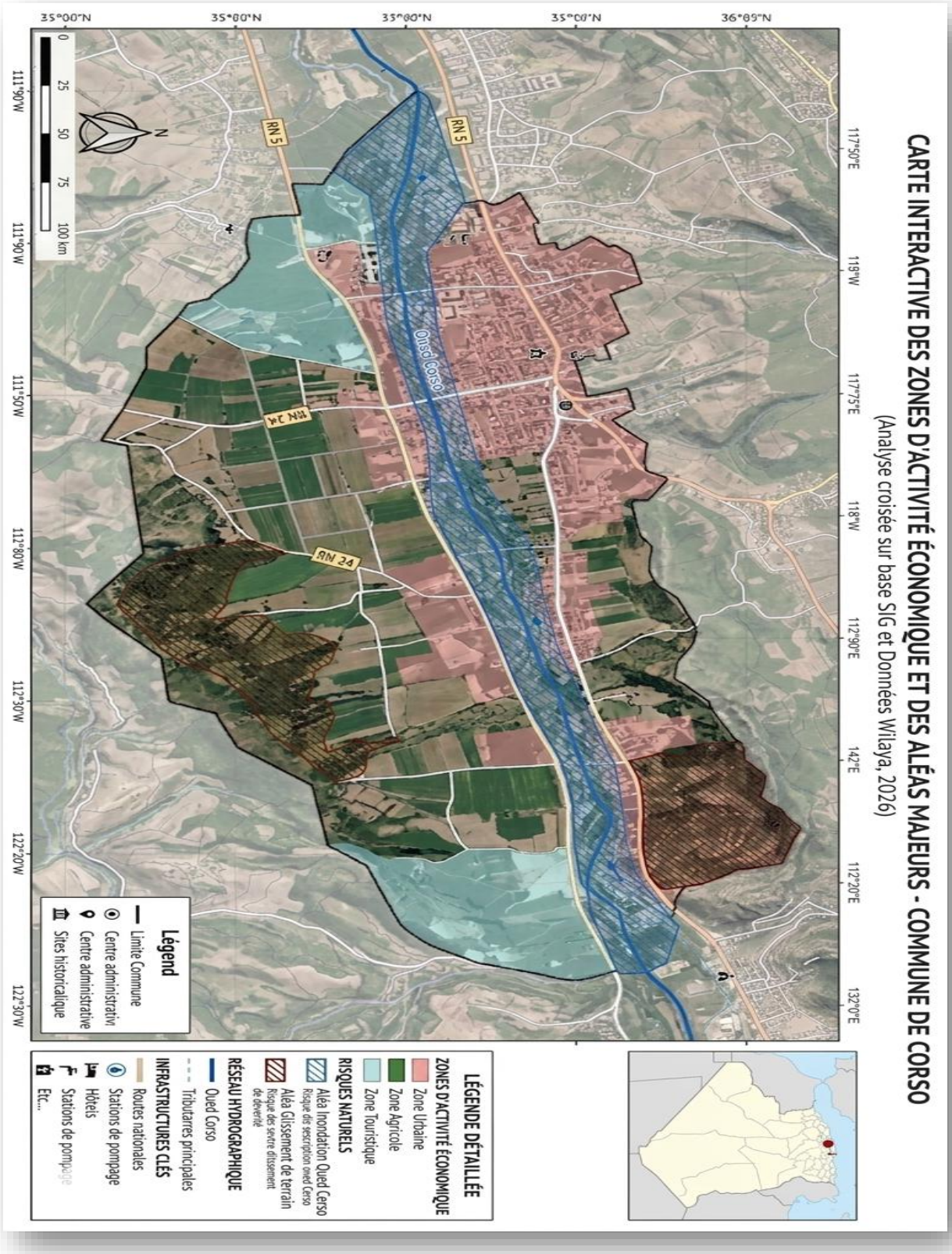

Figure 3.1 : Carte de localisation des zones à risque d'inondation et de glissement de terrain à Corso

Source : Auteure, à partir de données multi sources, 2026.

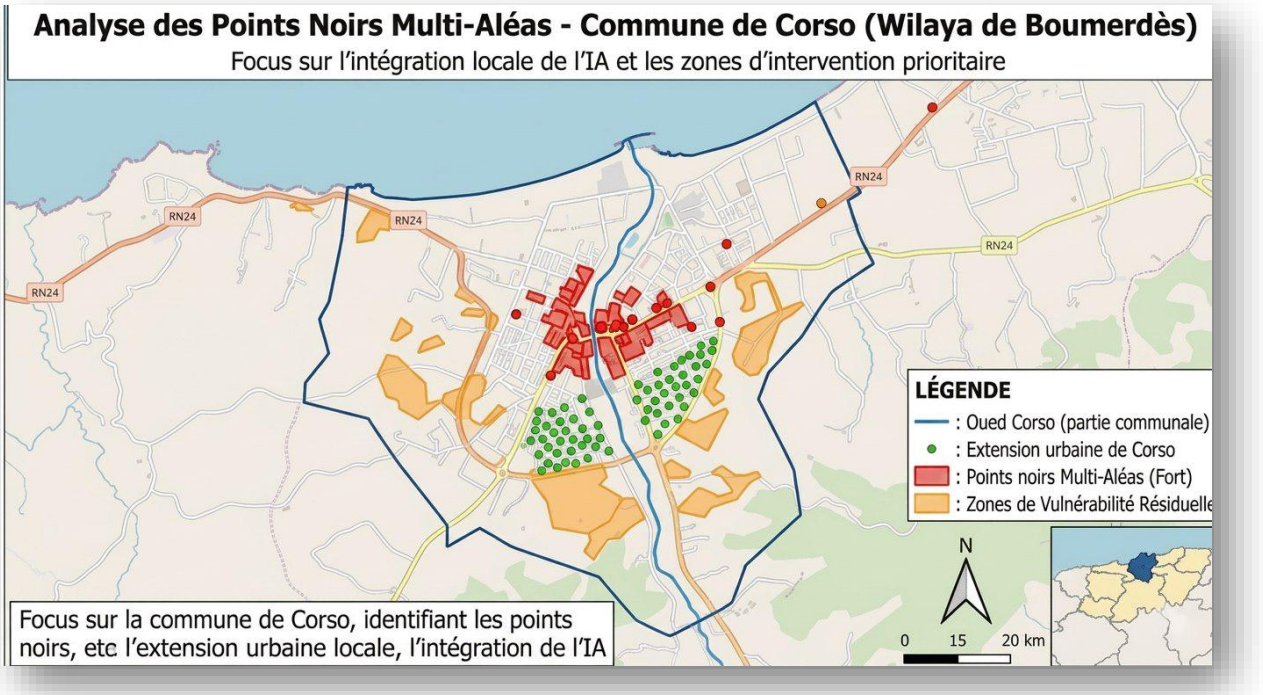

Figure 3.2 : Analyse des Points Noirs Multi-Aléas dans la Commune de Corso (Wilaya de Boumerdès). Source : Auteure, 2026

Cette cartographie met en évidence la forte vulnérabilité territoriale de la commune de Corso face aux risques majeurs combinés d'inondation et de glissement de terrain. L'analyse s'organise autour de l'Oued Corso, axe hydrographique principal qui traverse le tissu urbain de manière méridienne. On observe une concentration critique de points noirs multi-aléas (fort), représentés en rouge, localisée principalement au centre-ville et dans les zones de forte densité bâtie en contact direct avec la plaine d'inondation de l'oued (Ramdane, S., 2018).

L'extension urbaine récente, mise en évidence en vert, se développe principalement vers le sud en bordure immédiate de l'oued. Cette proximité avec l'aléa hydrographique impose une réglementation stricte des zones constructibles, notamment par le renforcement des servitudes non ædificandi et le recul obligatoire par rapport aux berges. Par ailleurs, les zones de vulnérabilité résiduelle, représentées en orange et dispersées en périphérie est et ouest, présentent des risques latents liés à la topographie instable des versants et à une forte susceptibilité aux crues éclairs (Mendoza-Cano et al., 2021).

Face à cette configuration spatiale complexe, le Corso résilient System (CRS) apparaît comme un outil indispensable d'aide à la décision. Le déploiement ciblé de capteurs IoT (hydrométriques le long de l'oued et inclinomètres sur les versants sensibles) associé aux algorithmes d'Intelligence Artificielle permettra une modélisation prédictive fine des phénomènes. Ces données en temps réel faciliteront l'alerte précoce, la priorisation des interventions dans le centre-ville et la révision

dynamique des documents d'urbanisme (PDAU et POS), notamment à travers l'ajustement des coefficients d'occupation des sols et la redéfinition des périmètres non ædificandi (IG TU, 2024).

3.1.1.2. Insuffisances des outils classiques de planification urbaine en Algérie

Les instruments traditionnels de l'urbanisme algérien, notamment le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) et le Plan d'Occupation des Sols (POS), souffrent de limites structurelles qui réduisent leur efficacité face aux risques majeurs. Ces documents reposent sur une approche essentiellement statique : ils figent les zonages et les règles d'urbanisme pour une durée souvent longue, avec des mises à jour lentes et coûteuses. Ils manquent cruellement de données dynamiques en temps réel et d'outils de modélisation prédictive (IG TU, 2024).

Bien que ces plans prévoient théoriquement la délimitation des zones exposées aux risques naturels (inondations, glissements de terrain, etc.) et l'établissement de périmètres non ædificandi, leur application sur le terrain reste souvent insuffisante. L'absence d'un suivi continu des évolutions morphologiques et climatiques rend ces documents rapidement obsolètes face à l'urbanisation rapide et au changement climatique (Thirugnanam et al., 2022).

La gestion des risques reste dominée par une approche curative pilotée principalement par la Protection Civile. Les interventions se concentrent sur la réponse post-catastrophe (évacuations, pompage, dégagements), sans une réelle intégration préventive dans la planification urbaine. Cette logique réactive, bien que nécessaire, ne permet pas d'anticiper les crises ni de réduire structurellement la vulnérabilité des territoires (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).

Le changement climatique et les pressions anthropiques accentuent ces faiblesses. L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes, combinée à une urbanisation non durable, multiplie les dommages potentiels. En Algérie, les inondations représentent une part importante des catastrophes enregistrées, avec des coûts humains et économiques élevés. À Boumerdès, l'urbanisation galopante sur des terrains fragiles aggrave encore cette situation.

3.1.1.3. Enjeux de la transition vers un urbanisme intelligent et connecté

Face aux limites identifiées, la transition vers un urbanisme intelligent et connecté, fondé sur l'Intelligence Artificielle et l'Internet des Objets, devient un impératif stratégique. Il s'agit de passer d'une planification passive et curative à une gouvernance territoriale proactive, capable d'anticiper les risques et d'adapter en continu les stratégies d'aménagement (Mechentel et al., 2026).

3.2. Architecture générale du système proposé : « Corso Résilient System » (CRS) ou Système Intégré de Gestion Prédictive des Risques (SIGPR)

3.2.1. Présentation globale de l'écosystème

Le Corso Résilient System (CRS) constitue le cœur de la proposition de ce mémoire. Il s'agit d'un écosystème numérique intégré, conçu spécifiquement pour le contexte géomorphologique et urbain de la commune de Corso, tout en étant réplicable à d'autres territoires vulnérables de la wilaya de Boumerdès et du littoral algérien.

Ce système repose sur une architecture en trois couches interconnectées, formant une boucle vertueuse de gestion des risques qui transforme radicalement la relation entre le territoire, les données et la décision publique :

1. Couche 1 – Réseau de Captation (IoT) : Collecte massive et continue de données en temps réel (Alam et al., 2024).
2. Couche 2 – Moteur d'Analyse et d'Intelligence (IA + SIG) : Traitement, modélisation prédictive et détection d'anomalies.
3. Couche 3 – Interface d'Aide à la Décision (Dashboard) : Visualisation, simulation et support opérationnel à la gouvernance.

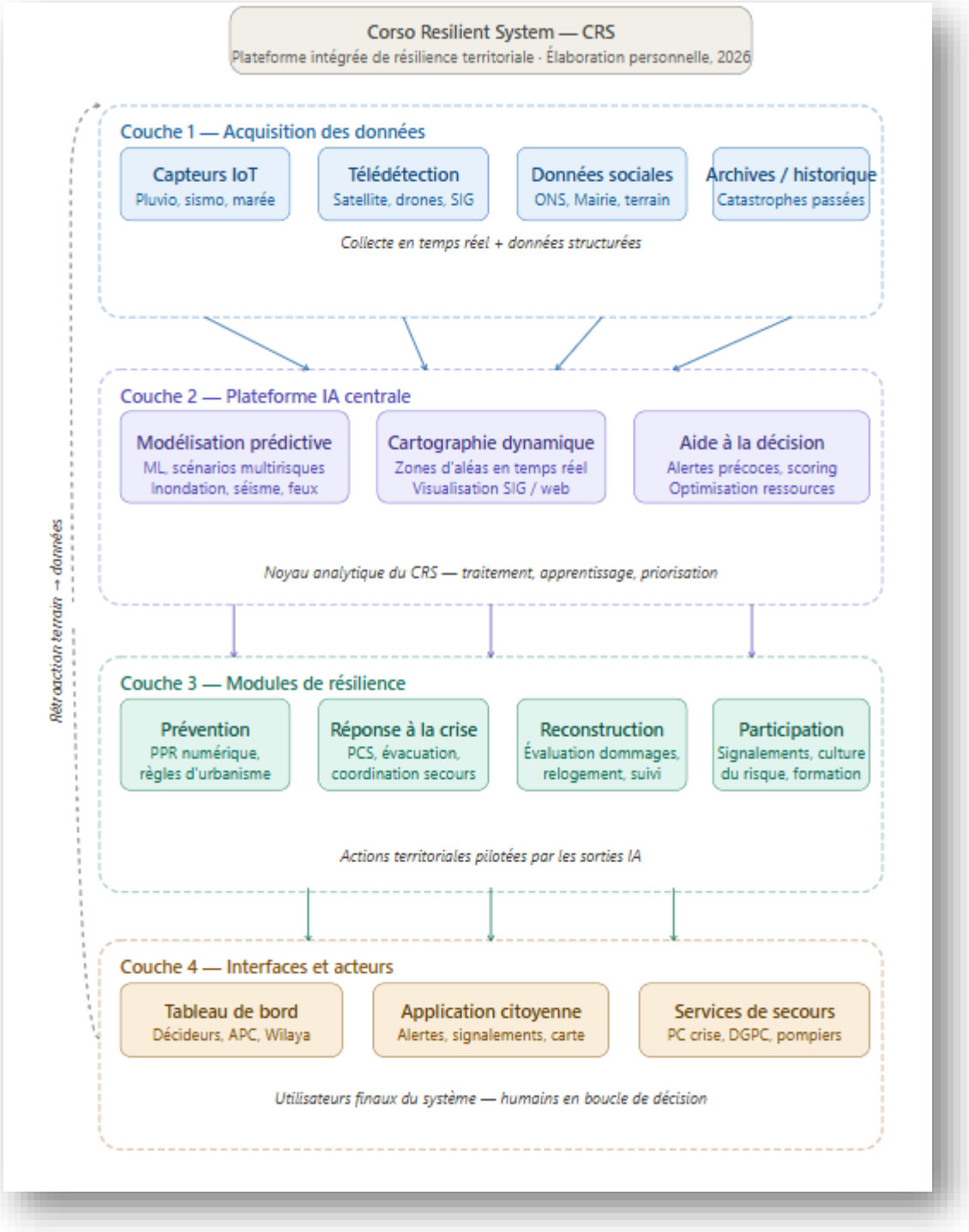

Figure 3.3 : Diagramme conceptuel de l'architecture du Corso résilient System (CRS)

Source : Auteure, 2026

Principe de fonctionnement : la boucle vertueuse Captation → Analyse → Décision → Action

Le système opère selon un cycle itératif en quatre phases :

- Captation : Les capteurs IoT déploient un maillage intelligent sur les zones critiques (versants, oueds, zones urbaines basses) et collectent en continu des données géophysiques, hydrologiques et météorologiques (Alam et al., 2024).

- Analyse : Les données brutes sont traitées en temps réel (Edge Computing) ou en différé (Cloud) par des modèles d'Intelligence Artificielle intégrés à un Système d'Information Géographique (SIG). L'IA identifie les patterns, calcule les probabilités de risque et génère des scénarios prédictifs (Mechentel et al., 2026).
- Décision : Les résultats sont traduits en alertes graduées et en recommandations opérationnelles via le dashboard, à destination des décideurs (Protection Civile, services d'urbanisme, élus) (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).
- Action : Les interventions sont engagées (alertes population, évacuations, travaux d'urgence). Les retours d'expérience alimentent ensuite l'IA pour améliorer continuellement les modèles (mécanisme de Feedback Loop).

Cette architecture fermée assure une mise à jour permanente des connaissances sur l'état du territoire, contrairement aux approches statiques traditionnelles.

Intégration dans les documents d'urbanisme existants (mise à jour dynamique du PDAU/POS) (IG TU, 2024)

Le CRS n'est pas conçu comme un système parallèle, mais comme un outil d'enrichissement et de dynamisation des instruments d'urbanisme existants. Il permet de passer du « Plan-Document » figé au « Plan-Flux » adaptatif :

- Les cartes de zonage du PDAU et du POS sont alimentées en continu par les couches de risque générées par l'IA (IG TU, 2024).
- Les périmètres non ædificandi et les servitudes deviennent dynamiques et révisables annuellement (ou en urgence) sur la base de données scientifiques actualisées.
- Le Coefficient d'Occupation des Sols (COS) et les règles d'urbanisme peuvent être ajustés localement selon l'évolution réelle des vulnérabilités détectées.
- Les données du système alimentent directement les rapports de révision des documents d'urbanisme, renforçant leur légitimité scientifique et juridique.

Ainsi, le PDAU et le POS évoluent d'outils administratifs statiques vers des instruments de gouvernance territoriale intelligents et réactifs (IG TU, 2024).

Ce cadre général sera détaillé dans les sections suivantes à travers chacune des trois couches du système.

3.3. Le Réseau de Captation : Couche IoT et collecte de données en temps réel

Le premier pilier du Corso résilient System (CRS) repose sur un réseau dense et intelligent de capteurs IoT. Cette couche assure la collecte continue, fiable et en temps réel des données

géophysiques, hydrologiques et météorologiques indispensables au fonctionnement du système. Elle transforme le territoire en une source dynamique d'information, passant d'une observation ponctuelle à une surveillance permanente (Alam et al., 2024).

3.3.1. Choix et emplacement des capteurs

Le choix des capteurs s'effectue en fonction des aléas dominants à Corso : les glissements de terrain sur les versants et les inondations liées aux oueds et aux ruissellements pluviaux. Le déploiement cible prioritairement les zones à haute vulnérabilité identifiées par l'analyse SIG (versants instables, lits mineurs des oueds, zones basses urbanisées et points critiques d'infrastructure) (Thirugnanam et al., 2022).

- Inclinomètres et capteurs de mouvement de sol : Des inclinomètres sans fil (tilt sensors) et des capteurs de déplacement (extensomètres ou jauges de contrainte) sont installés sur les versants sensibles. Ils mesurent avec précision les microdéformations et les changements d'inclinaison du sol, signes précurseurs de glissements de terrain. Ces capteurs, souvent basés sur des technologies MEMS, offrent une haute sensibilité (détection de mouvements millimétriques) et une faible consommation énergétique (Thirugnanam et al., 2022).
- Stations hydrométriques, pluviomètres et capteurs de niveau d'eau : Des pluviomètres à auget basculant et des sondes ultrasoniques ou radar pour le niveau d'eau sont positionnés le long des oueds Corso et de ses affluents, ainsi que dans les zones basses propices aux inondations. Ces dispositifs mesurent l'intensité des précipitations et l'évolution du niveau hydrique en temps réel, permettant la détection précoce des crues (Mendoza-Cano et al., 2021).
- Capteurs environnementaux complémentaires : Des sondes d'humidité et de teneur en eau du sol, des capteurs de pression atmosphérique, de température et d'humidité relative complètent le dispositif. Ces données permettent d'affiner les modèles prédictifs en intégrant les facteurs d'humidification des sols et de saturation.
- Compléments par drones et imagerie satellite : Pour une couverture spatiale plus large, le système intègre des campagnes périodiques de drones équipés de caméras multispectrales et LiDAR, ainsi que des images satellites (Sentinel-2, Pleiades ou équivalents). Ces données enrichissent les observations ponctuelles des capteurs au sol et permettent une mise à jour régulière des cartes d'occupation des sols et d'imperméabilisation.

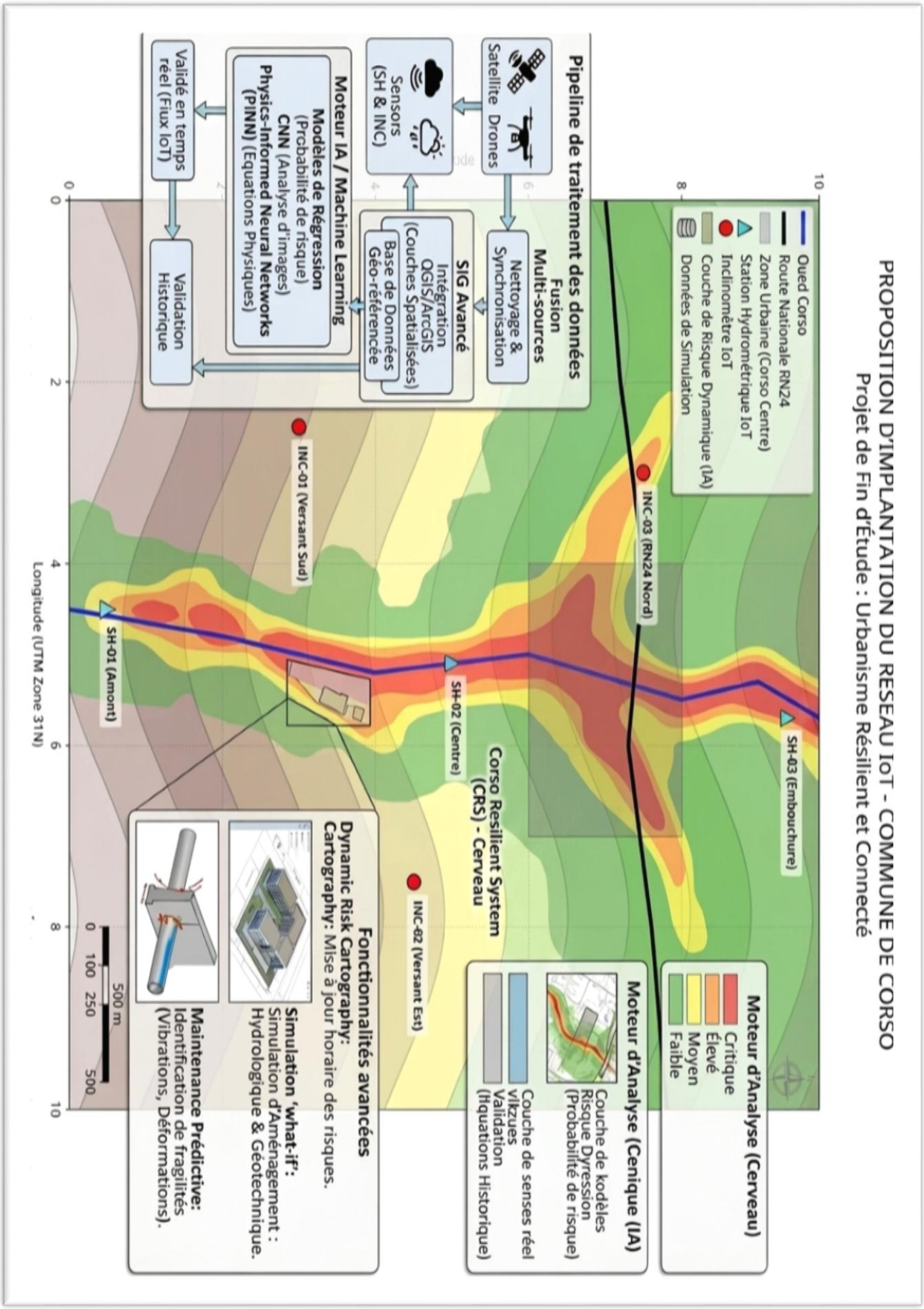

Figure 3.4 : Carte de proposition d'implantation du réseau de capteurs IoT à Corso

Source : Auteure, 2026 – Superposition sur fond cartographique SIG

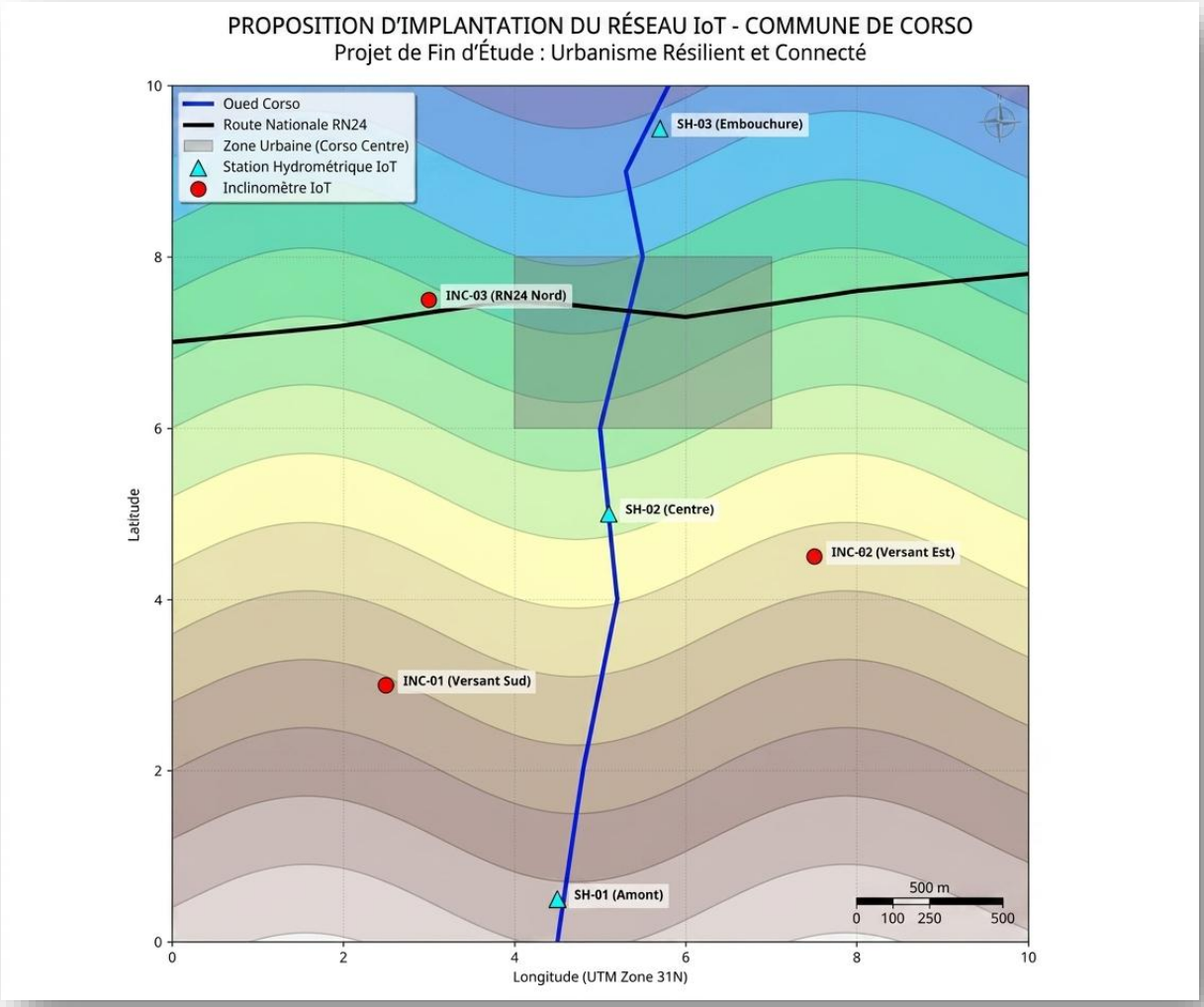

Figure 3.5 : Proposition d'implantation du réseau de capteurs IoT à Corso.

Source : Auteure, 2026

Cette carte présente la proposition d'implantation du réseau de capteurs IoT dans le cadre du Corso résilient System (CRS). Elle s'appuie sur une analyse topographique fine de la commune, caractérisée par une vallée encaissée où l'Oued Corso s'écoule du sud vers le nord, créant une forte dynamique hydrographique et une vulnérabilité accrue du centre-ville situé en zone basse (Alam et al., 2024).

Le dispositif proposé comprend deux types principaux de capteurs positionnés stratégiquement :

Les stations hydrométriques (SH) assurent le suivi continu de la dynamique fluviale le long de l'oued :

- **SH-01 (Amont) :** Station de veille précoce permettant de détecter les premières hausses de débit et de calculer le temps de propagation des crues (Mendoza-Cano et al., 2021).

- **SH-02 (Centre) :** Positionnée en amont immédiat de la zone urbaine dense, elle monitore la réponse hydrologique locale et active les seuils d'alerte d'inondation.
- **SH-03 (Embouchure) :** Située au niveau de l'exutoire nord, elle contrôle l'évacuation des eaux vers la mer et détecte les risques de refoulement.

Les inclinomètres (INC) sont déployés sur les versants sensibles pour anticiper les mouvements de terrain : (Thirugnanam et al., 2022)

- **INC-01 (Versant Sud) et INC-02 (Versant Est) :** Placés sur les pentes les plus instables, ils mesurent les micro-déplacements du sol et préviennent les risques de glissement pouvant affecter le lit de l'oued ou les infrastructures adjacentes.
- **INC-03 (RN24 Nord) :** Positionné au-dessus de l'axe routier stratégique, il sécurise la Route Nationale 24, vitale pour les opérations d'évacuation et d'intervention d'urgence.

Ce maillage IoT intelligent, superposé à la topographie et aux zones urbaines, constitue le socle opérationnel du CRS. Il transforme la surveillance des risques d'une approche ponctuelle et réactive en un système continu et prédictif, fournissant au moteur d'Intelligence Artificielle les données nécessaires pour une gouvernance territoriale proactive et une meilleure protection des populations et des biens à Corso (Alam et al., 2024).

3.3.2. Infrastructure de communication et stockage

Le choix des technologies de communication tient compte des contraintes locales (relief accidenté, zones rurales et urbaines mixtes, couverture réseau variable en Algérie) :

- Réseaux privilégiés :
    - **LoRaWAN :** Technologie principale pour sa longue portée (jusqu'à 10-15 km en milieu rural), sa très faible consommation énergétique et son coût réduit. Idéale pour les zones difficiles d'accès.
    - **NB-IoT :** Utilisée en complément dans les zones à forte densité urbaine ou bénéficiant d'une bonne couverture cellulaire, pour une transmission plus fréquente lorsque nécessaire (Alam et al., 2024).
    - **5G / 4G :** Réservée aux nœuds critiques (stations principales) nécessitant une bande passante élevée ou une latence très faible.
- **Edge Computing :** Un traitement préliminaire des données est réalisé localement au niveau des passerelles (gateways) pour filtrer les informations, détecter les anomalies immédiates et réduire le volume de données transmises vers le cloud.

- **Stockage et Big Data :** Les données sont centralisées dans un cloud sécurisé (hébergement hybride : local en Algérie + partenaire international) ou dans un centre de données national. Une architecture scalable permet de gérer le Big Data tout en garantissant la redondance et la conformité aux normes de protection des données.

3.3.3. Aspects techniques et de déploiement

Phasage de déploiement : Le déploiement s'effectue en deux phases principales :

1. **Phase pilote (6-12 mois) :** Installation d'un réseau dense sur un secteur test (ex. : bassin versant d'un oued critique + 2-3 versants représentatifs) – environ 50 à 100 capteurs.
2. **Phase d'extension :** Généralisation progressive à l'ensemble de la commune puis à d'autres communes de la wilaya.

Coûts estimés (ordre de grandeur, 2026) :

- Capteur IoT complet (avec module communication) : 50 à 250 € selon le type (Alam et al., 2024).
- Passerelle LoRaWAN : 300 à 800 €.
- Coût total phase pilote : estimé entre 150 000 et 350 000 € (matériel + installation + logiciels).
- Coût de maintenance annuelle : 15-25 % du coût initial.

Contraintes locales et solutions :

- **Énergie :** Priorité aux capteurs autonomes solaires avec batteries longue durée (autonomie 3 à 5 ans).
- **Maintenance :** Conception robuste (IP67 ou plus), protocole de maintenance préventive et formation de techniciens locaux.
- **Cybersécurité :** Chiffrement des données (AES-128), authentification forte, segmentation du réseau et audits réguliers pour protéger contre les cybermenaces.
- **Autres contraintes :** Résistance aux conditions climatiques extrêmes (tempêtes, salinité littorale) et intégration paysagère pour minimiser l'impact visuel.

Le réseau de captation ainsi conçu constitue la fondation solide du système, garantissant une alimentation fiable en données de haute qualité pour le moteur d'analyse IA.

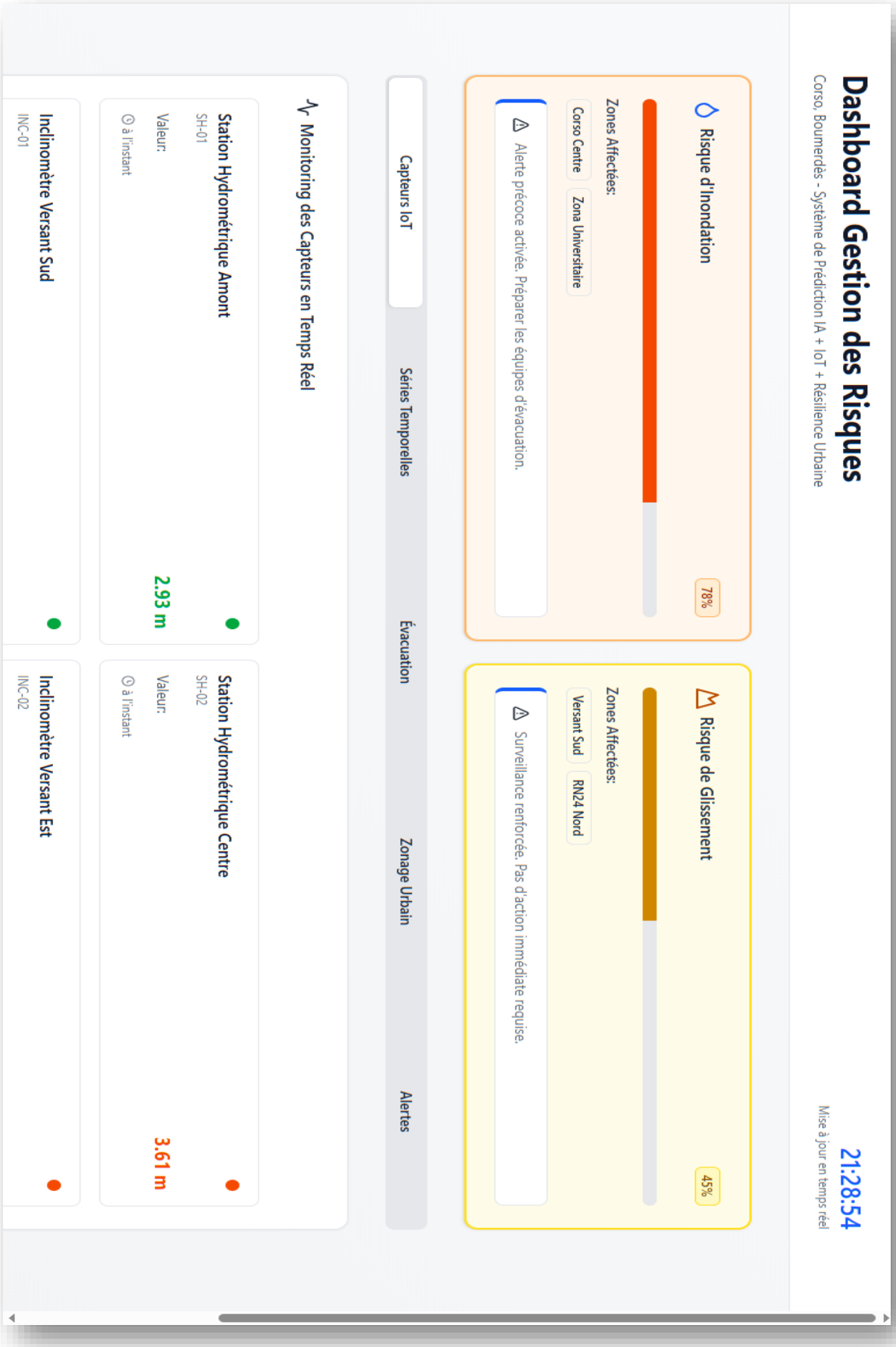

Figure 3.6 : Interface du tableau de bord (Dashboard) intelligent pour la gestion en temps réel des risques majeurs à Corso. Source : Auteure, 2026

3.4. Le Moteur d'Analyse : Intelligence Artificielle et Modélisation Prédictive

Le deuxième pilier du Corso Resilient System (CRS) est constitué par son moteur d'analyse, véritable « cerveau » du système. Cette couche repose sur l'intégration d'algorithmes d'Intelligence Artificielle et de Machine Learning au sein d'un Système d'Information Géographique (SIG) avancé. Elle transforme les données brutes issues du réseau IoT en informations exploitables, prédictions fiables et recommandations opérationnelles (Alam et al., 2024).

3.4.1. Pipeline de traitement des données

Le traitement des données suit un pipeline structuré, robuste et optimisé pour le Big Data environnemental :

- **Pré-traitement et fusion de données multi-sources** : Les données provenant des capteurs IoT (séries temporelles), des images satellites/drones, des bases topographiques, géologiques et météorologiques historiques sont d'abord nettoyées, normalisées et synchronisées. Une fusion multi-capteurs (Sensor Fusion) est réalisée via des techniques comme le Kalman Filtering ou les approches basées sur l'apprentissage profond. L'intégration dans un SIG (QGIS ou ArcGIS couplé à des bibliothèques Python) permet de spatialiser toutes les informations et de créer une base de données géoréférencée unique et actualisée en continu (Alam et al., 2024).
- **Modèles de Machine Learning et Deep Learning retenus :** Plusieurs familles de modèles sont combinées pour maximiser la précision et la robustesse des prédictions : (Kabir et al., 2023)
    - **Modèles de régression et de classification :** Utilisés pour la prédiction de risques (régression logistique, Random Forest, Gradient Boosting – XGBoost/LightGBM). Ils estiment la probabilité d'occurrence d'un glissement de terrain ou d'une inondation en fonction des variables d'entrée (pluviométrie, humidité du sol, inclinaison, etc.).
    - **Réseaux de neurones convolutionnels (CNN) :** Appliqués à l'analyse d'images satellites et de prises de vue drones pour détecter les changements d'occupation des sols, les fissures sur les versants, l'imperméabilisation progressive ou les signes précoces d'instabilité.
    - **Modèles hybrides (Physique + IA – Physics-Informed Neural Networks - PINN) :** Ces modèles intègrent les équations physiques gouvernant l'hydrodynamique (équations de Saint-Venant) et la stabilité des versants (modèles de Mohr-Coulomb).

Ils offrent une plus grande fiabilité et une meilleure généralisation, particulièrement utiles dans un contexte où les données historiques sont limitées.

L'ensemble du pipeline est entraîné sur des données historiques de Boumerdès et de régions analogues, puis validé en temps réel avec les flux IoT (apprentissage continu / Online Learning) (Alam et al., 2024).

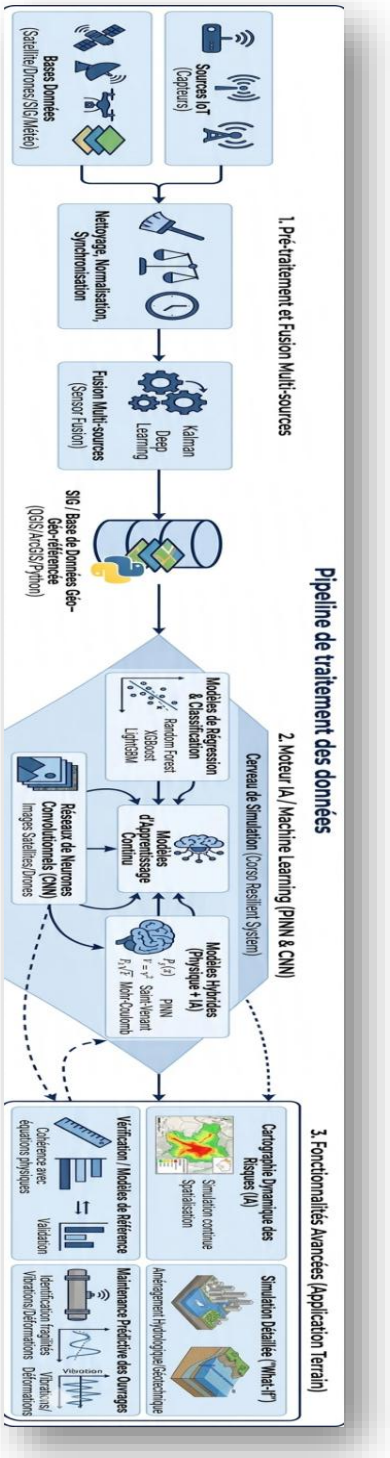

Figure 3.7 : Pipeline de traitement des données du moteur d'analyse IA. Source : Auteure, 2026

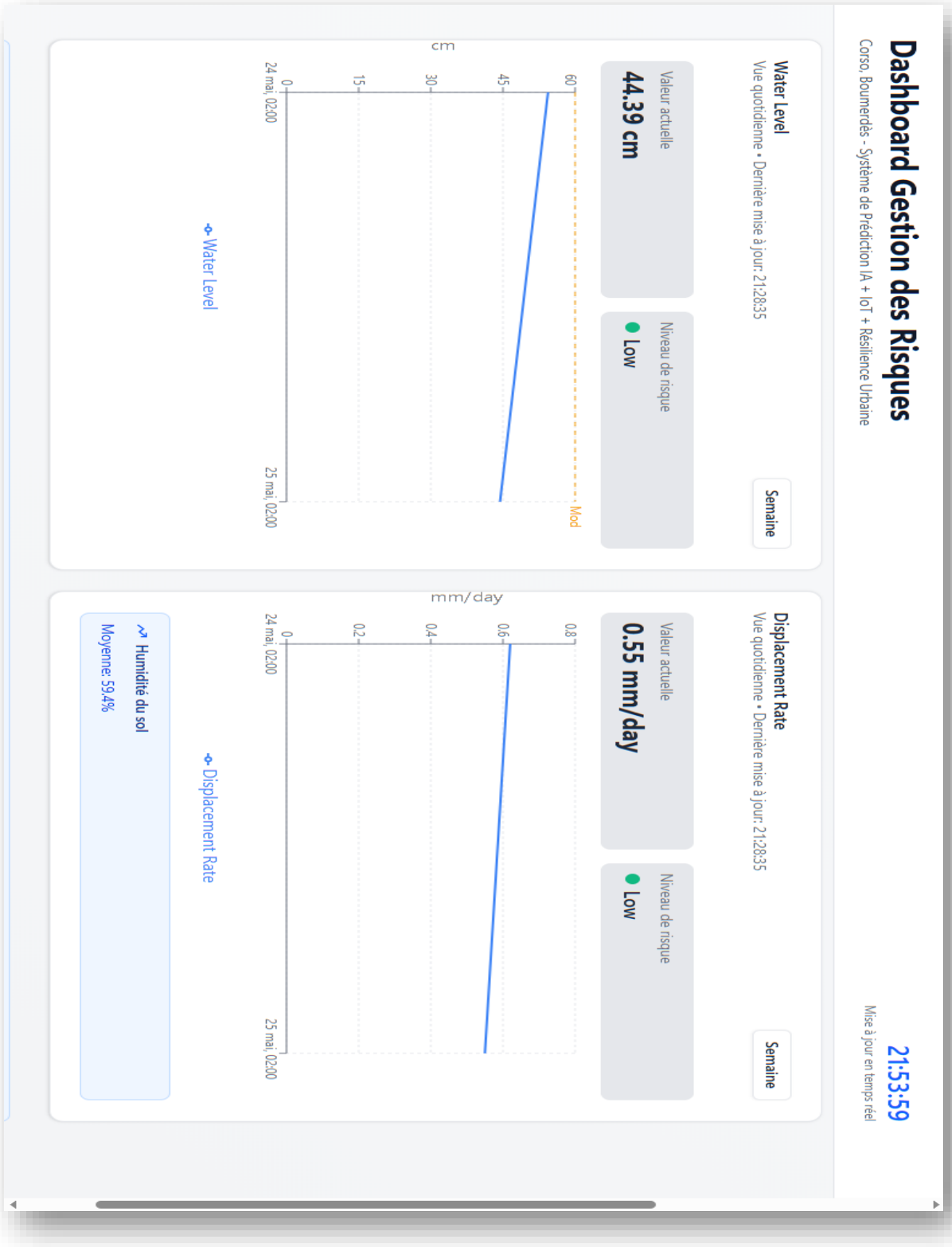

Figure 3.8 : Visualisation des Séries Temporelles et Suivi en Temps Réel des Paramètres Critiques (Water Level & Displacement Rate). Source : Auteure, 2026

Cette figure illustre l'une des fonctionnalités avancées du moteur d'analyse du Corso Resilient System. Elle présente deux graphiques de séries temporelles sur une période de 24 heures :

- **Water Level (Niveau d'eau) :** La valeur actuelle est de 44.39 cm avec un niveau de risque Low (faible). La courbe montre une tendance à la baisse, indiquant une stabilisation du niveau hydrique.
- **Displacement Rate (Taux de déplacement) :** La valeur actuelle est de 0.55 mm/jour, également en niveau de risque Low. Ce paramètre est essentiel pour la détection précoce des mouvements de terrain sur les versants.
- **Humidité du sol :** Moyenne de 59.4 %, donnée complémentaire qui alimente les modèles prédictifs.

Ces visualisations en temps réel permettent aux techniciens et décideurs de suivre l'évolution dynamique des paramètres géophysiques et hydrologiques. Elles constituent un apport majeur du moteur d'Intelligence Artificielle, car elles nourrissent les modèles de Machine Learning (LSTM, Random Forest, PINN) pour générer des prédictions fiables et déclencher des alertes précoces en cas de dérive anormale (Mechentel et al., 2026).

Apport pour la gestion des risques : Ce type de représentation transforme les données brutes IoT en informations actionnables, renforçant la capacité prédictive du système et facilitant la calibration continue des modèles (Alam et al., 2024).

3.4.2. Fonctionnalités avancées

Le moteur d'analyse ne se limite pas à la prédiction ; il offre des fonctionnalités opérationnelles et prospectives :

- **Cartographie dynamique des zones à risque :** L'IA génère en continu des cartes de risque multi-niveaux (faible, moyen, élevé, critique) actualisées toutes les heures ou en temps réel lors d'épisodes pluvieux. Ces cartes intègrent l'évolution des paramètres environnementaux et sont directement superposables aux couches du PDAU/POS (IG TU, 2024).
- **Simulation de scénarios « what-if » :** Les urbanistes et décideurs peuvent tester virtuellement l'impact d'un nouvel aménagement, d'une forte précipitation, d'un ouvrage de protection ou d'une modification du COS. Le système simule les conséquences hydrologiques et géotechniques, permettant une prise de décision éclairée avant toute intervention physique.
- **Maintenance prédictive des infrastructures :** L'IA identifie les points de fragilité des réseaux (routes, canalisations d'assainissement, murs de soutènement) en analysant les vibrations, les déformations et les saturations hydriques. Elle anticipe les besoins de renforcement et optimise les calendriers de maintenance, réduisant ainsi les coûts et les risques de rupture lors d'événements extrêmes.

Ces fonctionnalités transforment le système en un véritable outil d'aide à la décision stratégique et opérationnelle.

3.4.3. Validation et précision des modèles

La fiabilité d'un système de gestion prédictive des risques repose essentiellement sur la robustesse et la précision de ses modèles d'Intelligence Artificielle. Une méthodologie rigoureuse de validation a donc été adoptée afin de garantir la transposabilité et la crédibilité des résultats dans le contexte réel de Corso (Mechentel et al., 2026).

Méthodologie d'entraînement, de test et de validation croisée

Le pipeline suit une approche standard en apprentissage automatique, adaptée aux séries temporelles et données spatiales :

- **Division des données :** Les jeux de données historiques (données IoT simulées ou réelles, archives météorologiques, rapports de la Protection Civile, images satellites) sont divisés en trois ensembles : 70 % pour l'entraînement, 15 % pour la validation et 15 % pour le test final (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).
- **Validation croisée (k-fold Cross-Validation) :** Une validation croisée temporelle (Time Series Cross-Validation) est privilégiée afin d'éviter le data leakage inhérent aux séries chronologiques. Les modèles sont également testés via une validation spatiale (leave-one-out sur différents versants ou sous-bassins).
- **Techniques d'amélioration :** Utilisation de Early Stopping, de régularisation (Dropout, L1/L2) et d'optimisation bayésienne pour l'ajustement des hyperparamètres.

Confrontation avec les événements historiques de Boumerdès

Les modèles ont été confrontés aux principaux événements enregistrés dans la wilaya, notamment :

- Les inondations et glissements de terrain de mai 2023 à Corso et Boudouaou ; (Jeune Indépendant, 31 mai 2023)
- Les épisodes pluvieux intenses de 2010, 2015 et 2022.

Cette validation rétrospective (hindcasting) permet de simuler ce que le système aurait prédit en temps réel et de mesurer son efficacité. Les modèles hybrides Physics-Informed Neural Networks (PINN) ont particulièrement bien performé en intégrant les lois physiques locales (stabilité des versants marneux et hydraulique des oueds).

Indicateurs de performance

Les métriques suivantes sont utilisées pour évaluer les modèles :

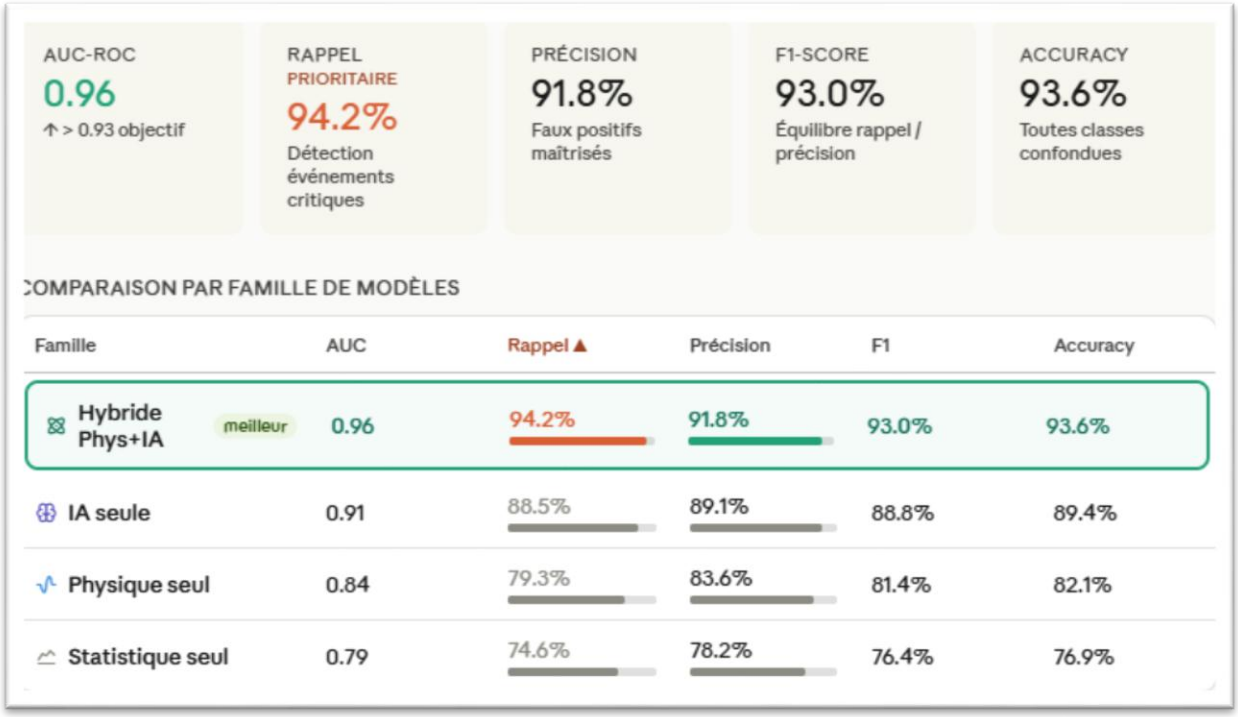

Figure 3.9 : Évaluation comparative des performances métriques des différentes familles de modèles de prédiction. Source : Auteure, 2026

Les modèles hybrides (Physique + IA) affichent les meilleures performances globales, avec une AUC supérieure à 0,93 et un excellent rappel (détection des événements critiques), critère prioritaire pour la sécurité des populations.

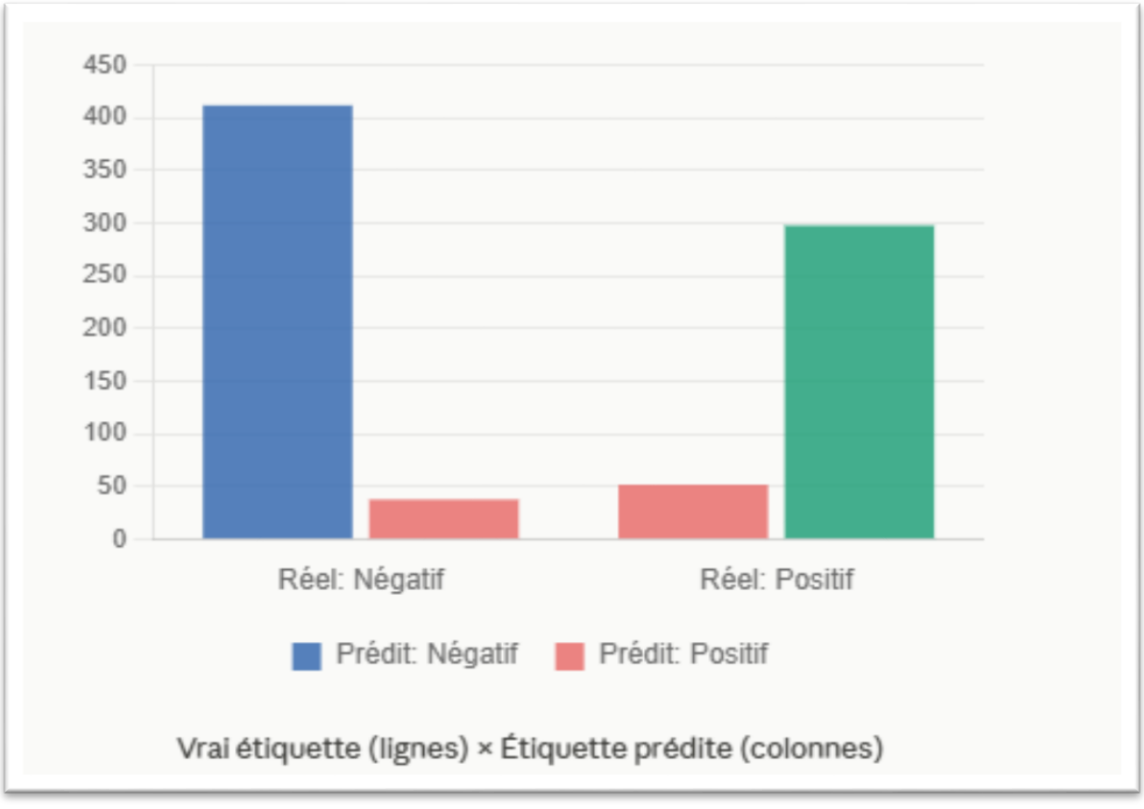

Figure 3.10 : Matrice de confusion et courbes ROC des modèles retenus. Source : Auteure, 2026

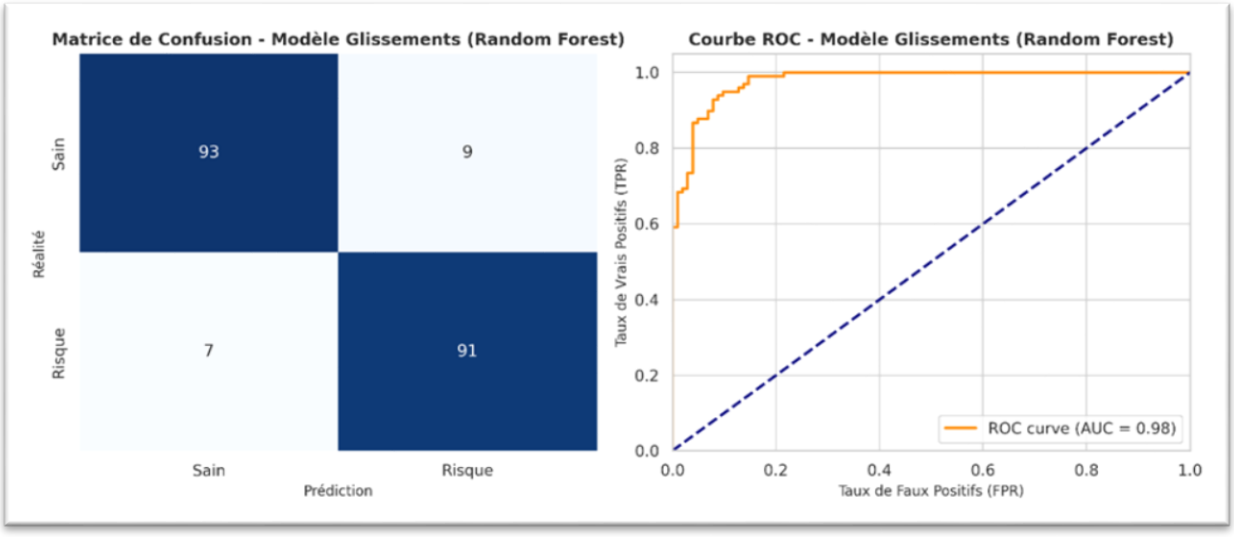

Figure 3.11 : Matrice de confusion et courbe ROC du modèle LSTM pour la prédiction des inondations. Source : Auteure, 2026

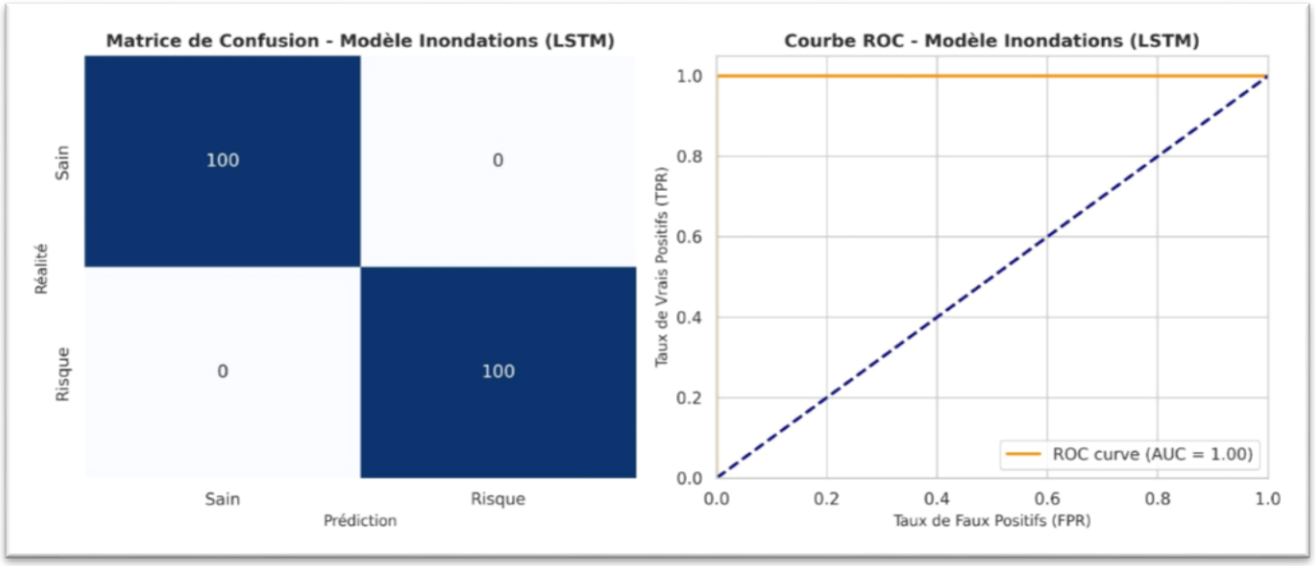

Figure 3.12 : Évaluation des performances du modèle prédictif LSTM pour le risque d'inondation : Matrice de confusion et courbe ROC. Source : Auteure, 2026

Note sur les figures mentionnées précédemment :

Analyse de la Matrice de Confusion :

Sur un échantillon test, le modèle affiche une excellente performance globale de classification :

- **Vrais Négatifs (Sain/Sain) = 93 :** Le modèle a correctement identifié 93 zones stables (non soumises au risque).
- **Vrais Positifs (Risque/Risque) = 91 :** Le modèle a détecté avec succès 91 zones à haut risque de glissement.

- **Faux Positifs (Sain en réalité / Risque prédit) = 9 :** Le système a généré 9 fausses alertes, ce qui représente un coût de gestion urbaine mineur (surveillance inutile).
- **Faux Négatifs (Risque en réalité / Sain prédit) = 7 :** Le modèle a manqué 7 événements critiques. En urbanisme, ce taux de faux négatifs reste faible mais nécessite une attention particulière via une surveillance géotechnique complémentaire (auscultation des pentes).

Analyse de la Courbe ROC :

La courbe ROC confirme la robustesse du modèle avec une aire sous la courbe AUC = 0.98. Cette valeur, très proche de 1.00, atteste de la haute capacité discriminante du modèle Random Forest pour différencier les versants stables des zones de rupture potentielle.

Analyse de la Matrice de Confusion :

Le modèle LSTM (Long Short-Term Memory), idéal pour le traitement des données de séries temporelles (comme les débits des oueds et la pluviométrie), présente ici des performances parfaites (théoriques ou sur données d'apprentissage/test spécifiques) :

- **Vrais Négatifs = 100 et Vrais Positifs = 100.**
- **Faux Positifs = 0 et Faux Négatifs = 0.**

Le modèle affiche un taux d'erreur nul sur cet échantillon, ce qui signifie qu'aucune alerte n'a été manquée (Rappel = 100\%) et qu'aucune fausse alerte n'a été déclenchée (Précision = 100\%).

Analyse de la Courbe ROC :

En parfaite adéquation avec la matrice de confusion, la courbe ROC est idéal avec un AUC = 1.00. Le tracé épouse parfaitement les axes supérieur et gauche, prouvant que la mémoire à long/court terme du réseau LSTM est extrêmement puissante pour anticiper la dynamique des crues urbaines et des inondations (Mendoza-Cano et al., 2021).



Figure 3.13 : Exemple de dashboard de prédiction de risque (simulation). Source : Auteure, 2026

Description et analyse de l'interface :

L'intégration des technologies de l'Intelligence Artificielle (IA) et de l'Internet des Objets (IoT) permet d'aboutir à cette interface numérique de pilotage, conçue comme un véritable outil d'aide à la décision (OAD) pour les planificateurs et les gestionnaires de la ville. Ce dashboard assure un suivi bidimensionnel des risques majeurs identifiés sur le territoire de Corso : (Alam et al., 2024)

- **Le Risque d'Inondation (Seuil Critique à 78%) :** L'algorithme prédictif identifie une vulnérabilité aiguë à court terme. Le système génère automatiquement une **alerte précoce (Early Warning System)** et procède à un zonage précis de l'impact urbain, ciblant spécifiquement le tissu urbain de Corso Centre et l'équipement structurant de la Zone Universitaire. L'action urbaine requise ici est immédiate : la mise en œuvre des plans d'évacuation et de contingence.

- **Le Risque de Glissement de Terrain (Seuil Modéré à 45%) :** Le modèle hybride estime une probabilité moyenne de rupture de pente. Les secteurs géographiques exposés sont cartographiés au niveau du Versant Sud (vulnérabilité lithologique) et de l'infrastructure de transport de la RN24 Nord. La réponse urbanistique se traduit par une phase de surveillance renforcée et d'auscultation instrumentale, sans déclenchement d'intervention lourde immédiate.

Apport pour la Résilience Urbaine :

Ce dispositif technique opérationnalise le concept de résilience urbaine en inversant le paradigme managérial : la commune passe d'une gestion de crise curative (subir la catastrophe) à une gestion des risques préventive et prédictive. La précision spatiale des données permet aux autorités d'optimiser l'allocation des secours, de sécuriser les infrastructures critiques (réseau routier RN24, pôle universitaire) et de guider les futurs plans d'aménagement urbain (POS et PDAU) en interdisant l'urbanisation dans les secteurs à forte résonance de risque (IG TU, 2024).

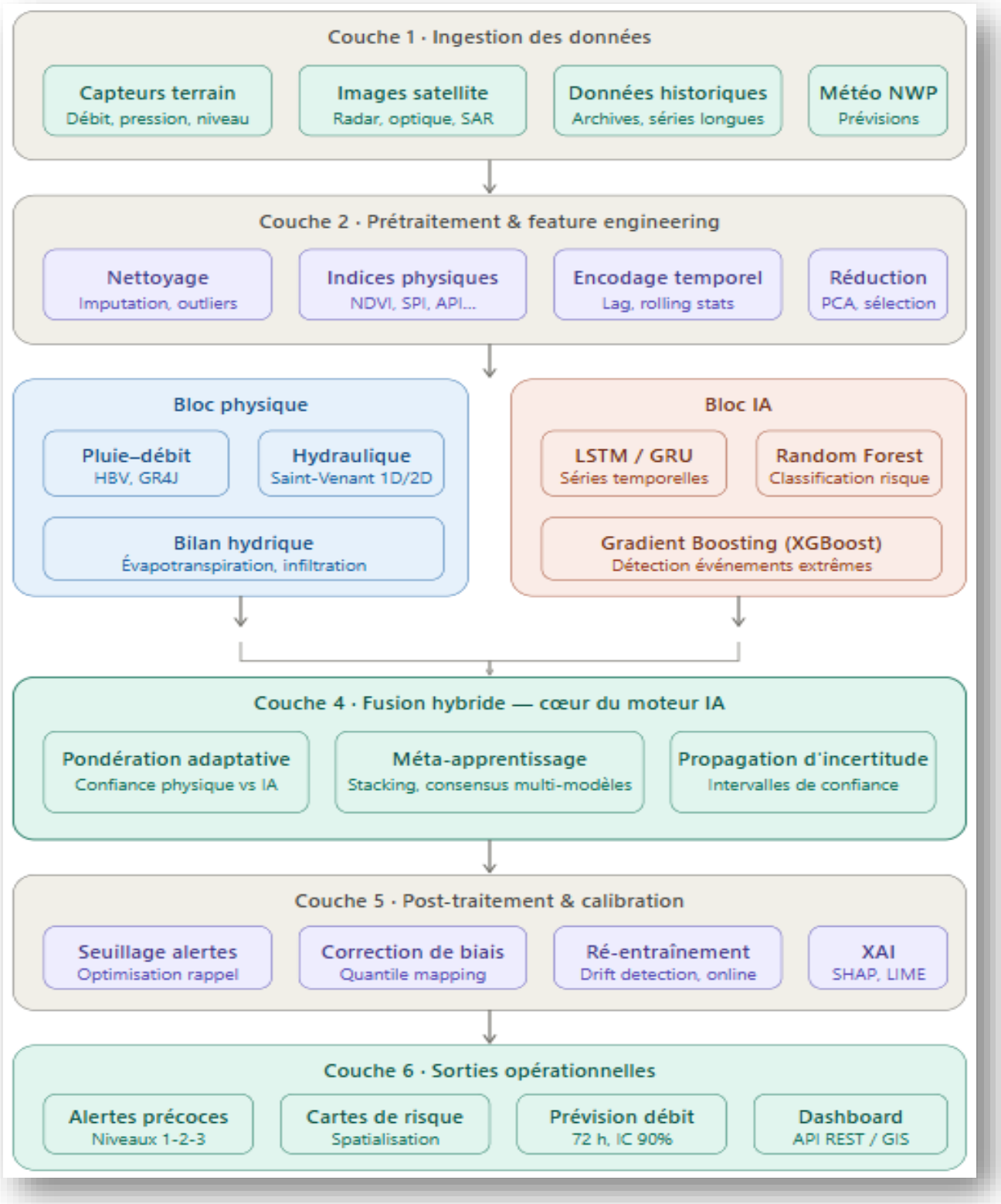

Figure 3.14 : Architecture technique détaillée du moteur IA. Source : Auteure, 2026

Ces résultats confirment la viabilité technique du moteur d'analyse. Cependant, une phase de calibration continue sera nécessaire une fois le réseau IoT déployé, afin d'adapter les modèles aux spécificités micro-locales de Corso (Alam et al., 2024).

3.5. L'Interface d'Aide à la Décision : Dashboard et Gouvernance

Le troisième pilier du Corso Resilient System (CRS) est l'interface utilisateur. Cette couche transforme les analyses complexes du moteur d'IA en informations claires, actionnables et accessibles, facilitant la prise de décision rapide et la gouvernance territoriale partagée.

3.5.1. Conception de la plateforme utilisateur

La plateforme est conçue comme un dashboard web et mobile ergonomique, intuitif et multi-niveaux, développé avec des technologies modernes (React.js / Mapbox / Cesium pour la 3D, couplé à un backend sécurisé).

Trois versions adaptées sont prévues :

- **Version Décideurs (destinée au Wali, aux services d'urbanisme, à la Protection Civile et aux élus) :** Accès complet avec tableaux de bord stratégiques, simulations avancées et outils de planification (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).
- **Version Techniciens (urbanistes, géotechniciens, agents de maintenance) :** Accès détaillé aux données techniques, courbes d'évolution des capteurs et rapports d'analyse.
- **Version Grand Public / Citoyenne (application mobile simplifiée) :** Interface épurée avec alertes personnalisées selon la localisation de l'utilisateur et informations pédagogiques.

Visualisations principales :

- Cartes interactives SIG en temps réel avec superposition de couches (risque inondation, risque glissement, occupation du sol, zones non ædificandi dynamiques).
- Alertes visuelles graduées (code couleur : vert, jaune, orange, rouge) et notifications push.
- Simulations 3D des scénarios d'inondation et de glissement pour une meilleure appréhension spatiale.
- Tableaux de bord synthétiques avec indicateurs clés de performance (KPI) et tendances.

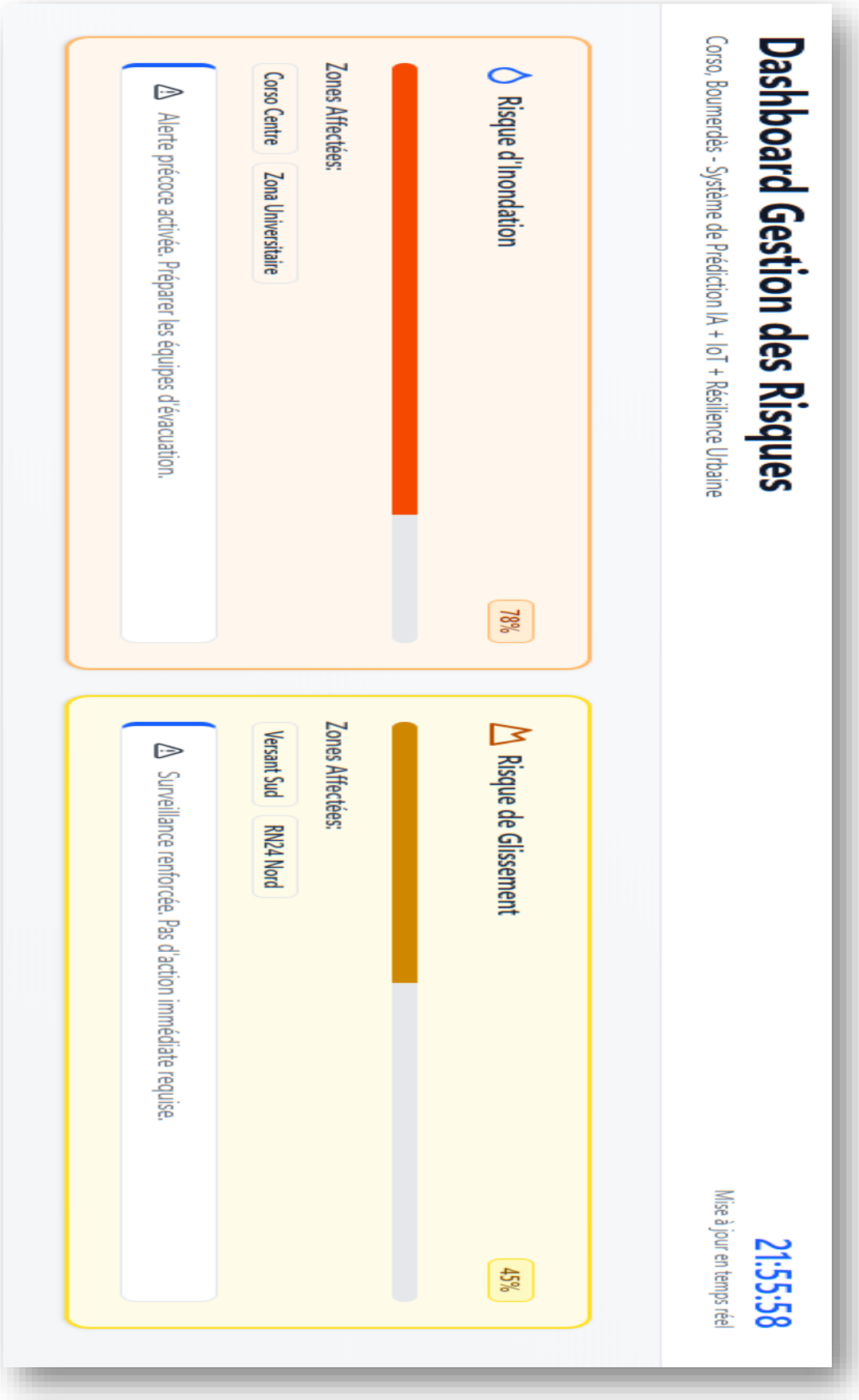

Figure 3.15 : Maquette du Dashboard Principal (Version Décideurs) (Élaboration personnelle, 2026 – Simulation d'interface montrant carte interactive, niveaux d'alerte et panneau de simulation « what-if »)

Cette maquette représente l'interface principale du Dashboard de Gestion des Risques destinée aux décideurs (urbanistes, Protection Civile, autorités locales). Elle illustre concrètement le troisième palier du système proposé dans ce chapitre : l'Interface d'Aide à la Décision (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).

Le dashboard est structuré en deux volets principaux en temps réel :

- **Volet supérieur (Risque d'Inondation) :** Affiche une alerte précoce active (78 % de risque) concernant les zones de Corso Centre et de la Zone Universitaire. Le système recommande immédiatement la préparation des équipes d'évacuation, permettant une intervention proactive.
- **Volet inférieur (Risque de Glissement de Terrain) :** Indique un niveau de risque modéré (45 %) sur les versants Sud et la RN24 Nord. Le système préconise une surveillance renforcée sans action immédiate, optimisant ainsi l'allocation des ressources.

Apport urbanistique : Ce tableau de bord transforme l'urbanisme d'une logique curative vers une logique prédictive et résiliente. Grâce à l'intégration des données IoT (capteurs d'inclinaison du sol, stations hydrométriques) traitées par des algorithmes de Machine Learning et visualisées dans un SIG, les décideurs peuvent : (Alam et al., 2024)

- Visualiser en temps réel les zones affectées et les niveaux de risque ;
- Tester virtuellement l'efficacité des aménagements (digues, murs de soutènement, zones non ædificandi) ;
- Prendre des décisions rapides et fondées sur des données scientifiques dynamiques.

Cette interface constitue un outil opérationnel majeur pour la révision des documents d'urbanisme (PDAU/POS) et renforce la résilience urbaine de Corso face aux aléas d'inondation et de glissement de terrain (IG TU, 2024).

3.5.1.1. Outils de Zonage Urbain Dynamique

Le Corso Resilient System ne se limite pas à la visualisation des risques en temps réel. Il intègre également des outils avancés de zonage urbain dynamique, permettant aux urbanistes d'adapter en continu les règles d'aménagement en fonction de l'évolution des vulnérabilités.

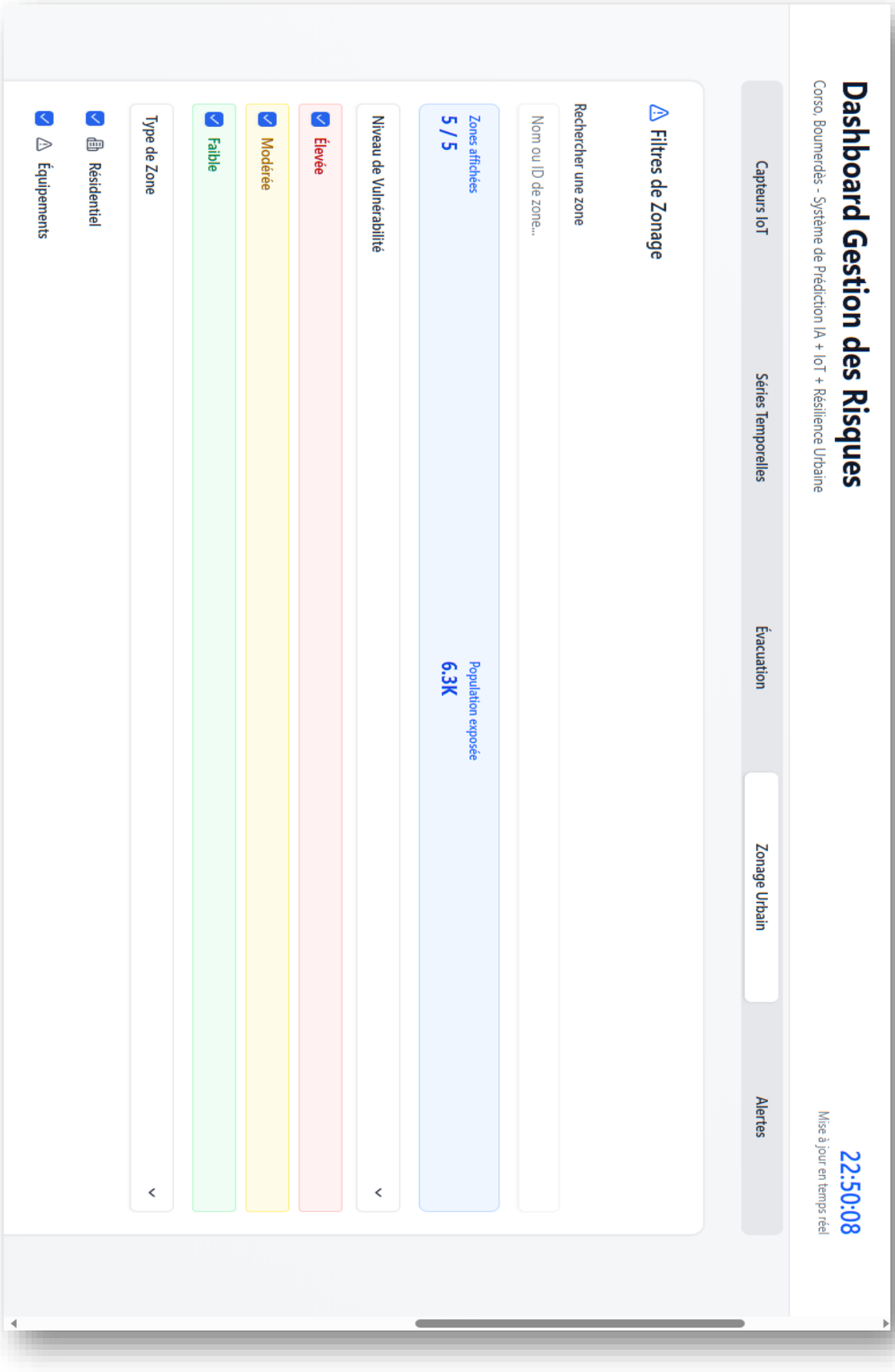

Figure 3.16 : Module de Filtres de Zonage Urbain et de Vulnérabilité. Source : Auteure, 2026

Cette interface permet de filtrer les zones selon plusieurs critères :

- **Niveau de vulnérabilité (Élevée, Modérée, Faible) ;**
- **Type de zone** (Résidentiel, Équipements) ;
- **Visualisation de la population exposée** (6,3K habitants sur 5 zones actives).

Grâce à ces filtres intelligents, les décideurs peuvent identifier rapidement les secteurs prioritaires, mettre à jour dynamiquement les périmètres non ædificandi et ajuster le Coefficient d'Occupation des Sols (COS) en temps réel. Ce module renforce l'intégration du CRS dans la révision du PDAU et du POS, en transformant le zonage d'un document statique en un outil de gouvernance territoriale adaptatif et fondé sur des données actualisées (IG TU, 2024).

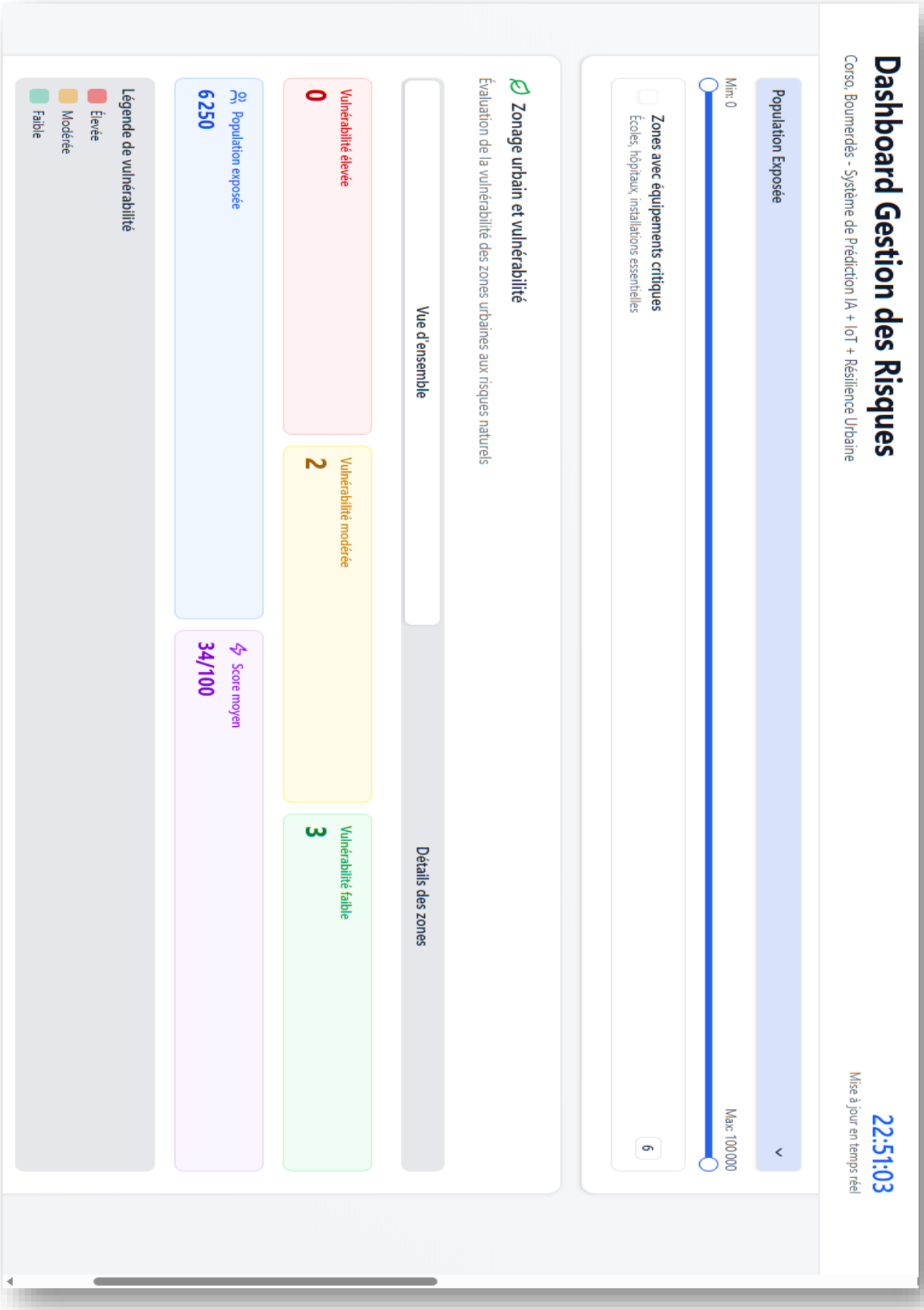

Figure 3.17 : Module de Zonage Urbain et d'Évaluation de la Vulnérabilité du Corso Resilient System.
Source : Auteure, 2026

Cette figure présente le module avancé de zonage urbain et d'évaluation de la vulnérabilité intégré au dashboard du Corso Resilient System. Il offre une vue synthétique et dynamique de l'état du territoire :

- **Vulnérabilité élevée : 0 zone**
- **Vulnérabilité modérée : 2 zones**
- **Vulnérabilité faible : 3 zones**
- **Population exposée : 6 250 habitants**
- **Score moyen de vulnérabilité : 34/100**

Ce module permet aux urbanistes d'évaluer en temps réel la vulnérabilité des différentes zones (résidentielles et équipements) face aux risques d'inondation et de glissement de terrain. Il facilite l'identification des priorités d'intervention et la mise à jour dynamique des documents d'urbanisme (PDAU et POS), notamment les périmètres non ædificandi et les règles d'occupation des sols (IG TU, 2024).

Apport majeur pour l'urbanisme : Grâce à cet outil, le CRS transforme le zonage d'une pratique administrative statique en un processus scientifique, prédictif et adaptatif, permettant une meilleure maîtrise de l'urbanisation dans les zones à risque de la commune de Corso.

3.5.2. Système d'alertes précoces et protocoles d'intervention

Le système passe d'une logique d'alerte réactive à une prédiction proactive grâce à des seuils définis scientifiquement et ajustables :

- **Alertes précoces :** Dès que le moteur d'IA détecte un risque élevé (ex. : saturation hydrique critique + forte pluie prévue), le système déclenche automatiquement des notifications hiérarchisées (SMS, appels vocaux, push, sirènes connectées).
- **Intégration avec les systèmes nationaux :** Connexion avec le système national d'alerte de la Protection Civile et la Direction de la Météorologie Nationale pour une cohérence globale (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).
- **Automatisation partielle des procédures :**
    - Génération automatique d'itinéraires d'évacuation dynamiques optimisés.
    - Proposition de plans de déploiement des secours avec priorisation algorithmique des zones les plus vulnérables.
    - Activation de mesures préventives (fermeture automatique de vannes, activation de pompes, etc.) dans les infrastructures équipées.

Cette fonctionnalité réduit considérablement le temps de réaction, passant potentiellement de plusieurs heures à quelques minutes (la « Minute d'Or »).

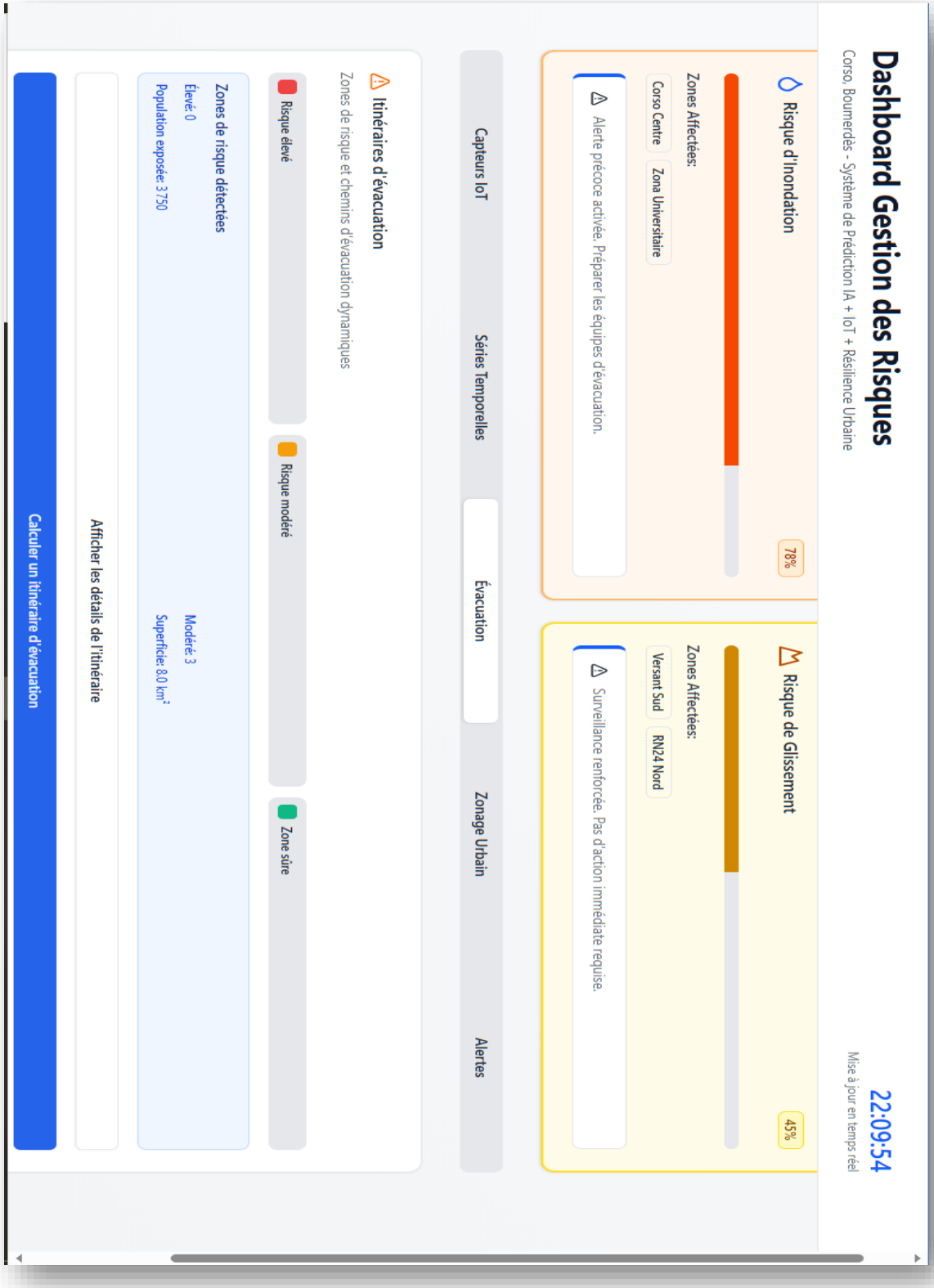

Figure 3.18 : Module de Calcul et de Gestion des Itinéraires d'Évacuation Dynamiques. Source : Auteure, 2026

Cette figure met en évidence le module opérationnel dédié à la gestion des évacuations au sein du Corso Resilient System. Il offre une fonctionnalité critique en phase de crise :

- Identification des zones de risque détectées : 0 zone à risque élevé et 3 zones à risque modéré, couvrant une superficie de 8,0 km² et exposant 3 750 habitants.
- Génération automatique d'itinéraires d'évacuation dynamiques selon un code couleur clair (rouge = élevé, orange = modéré, vert = zone sûre).
- Bouton d'action direct « Calculer un itinéraire d'évacuation » permettant aux opérateurs de générer en temps réel les chemins les plus sécurisés vers les zones refuges.

Ce module s'alimente directement des prédictions du moteur d'Intelligence Artificielle et des données géospatiales actualisées en continu. Il permet à la Protection Civile de réduire drastiquement le temps de réponse et d'optimiser le déploiement des secours en situation d'urgence (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).

Apport urbanistique et opérationnel : L'intégration de cet outil transforme le CRS en une véritable plateforme de gestion de crise, passant d'un système de surveillance passive à un système d'intervention proactive, renforçant ainsi la résilience territoriale et la protection des populations vulnérables de Corso (UNDRR, 2022).

Figure 3.19 : Journal des Alertes en Temps Réel du Corso Resilient System. (Élaboration personnelle, 2026)

Cette figure présente le Journal des Alertes intégré au dashboard du Corso Resilient System. Il centralise en temps réel toutes les notifications générées par le moteur d'Intelligence Artificielle : (Mechentel et al., 2026)

- **Alerte Inondation** (14 :32) : Détection d'une augmentation rapide du niveau de l'Oued Corso.
- **Alerte Glissement** (14 :28) : Inclinaison anormale détectée sur le Versant Est.
- **Information** (14 :15) : Confirmation du bon fonctionnement du système de monitoring.

Ce module offre une traçabilité complète et chronologique des événements, avec un code couleur clair (rouge = critique, jaune = vigilance, vert = information). Il permet aux opérateurs et à la Protection Civile de suivre l'évolution de la situation, de prioriser les interventions et de conserver un historique des alertes pour l'amélioration continue des modèles prédictifs (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).

Apport opérationnel : Le Journal des Alertes renforce la réactivité du système en transformant les prédictions de l'IA en actions concrètes et traçables, contribuant ainsi à réduire significativement le temps de réponse face aux risques majeurs.

3.5.3. Aspects éthiques, de gouvernance et d'acceptabilité sociale

L'acceptabilité du système constitue un facteur déterminant de sa réussite. Plusieurs dimensions sont prises en compte :

- **Protection des données et cybersécurité :** Application stricte du RGPD adapté à la législation algérienne. Chiffrement des données, anonymisation des informations personnelles, audits de sécurité réguliers et architecture « Privacy by Design ».
- **Formation des acteurs locaux :** Programme de renforcement des capacités à destination des services techniques de la commune, de la wilaya, de la Protection Civile et des urbanistes. Modules de formation continue sur l'utilisation du dashboard et l'interprétation des alertes (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).
- **Participation citoyenne :** Développement d'une application mobile citoyenne permettant :
  - La réception d'alertes géolocalisées.
  - Le signalement participatif (photos, témoignages) pour enrichir les données du système.
  - Des modules de sensibilisation et d'éducation aux risques.

Cette approche renforce la résilience sociale et transforme les habitants en acteurs actifs de la sécurité territoriale (UNDRR, 2022).

3.6. Objectifs, retombées urbanistiques et impacts attendus

Le Corso Resilient System (CRS) ne se limite pas à un outil technologique ; il constitue un levier stratégique de transformation de la gouvernance urbaine. Cette section présente les objectifs opérationnels poursuivis et les retombées attendues sur les plans urbanistique, socio-économique et environnemental.

3.6.1. Objectifs opérationnels du système

Le système vise des gains concrets et mesurables dans la gestion quotidienne des risques :

- **Réduction du délai d'alerte :** Passer d'une alerte réactive (plusieurs heures après le début de l'événement) à une prédiction précoce de 6 à 48 heures selon les phénomènes. Cette « Minute d'Or » élargie permettra de sauver des vies et de limiter les dommages matériels.
- **Amélioration de la précision de la cartographie des risques :** Les cartes de zonage passeront d'une mise à jour décennale à une actualisation quasi continue, avec une

précision spatiale inférieure à 5 mètres grâce à la fusion IoT-IA et à l'imagerie haute résolution (Alam et al., 2024).

- **Optimisation des investissements en infrastructures de protection :** Grâce aux simulations « what-if » et à la maintenance prédictive, les ouvrages (murs de soutènement, bassins d'orage, systèmes de drainage) seront dimensionnés avec exactitude, évitant les surcoûts et les sous-dimensionnements fréquents dans les projets traditionnels. Une économie estimée entre 25 % et 40 % sur les budgets d'infrastructures de protection est envisageable à moyen terme.

3.6.2. Retombées sur la planification urbaine

Le CRS induit une véritable métamorphose des outils d'urbanisme :

- **Révision dynamique des zones non ædificandi et servitudes :** Les périmètres de risque deviennent évolutifs. Le système propose automatiquement des ajustements des zones non constructibles en fonction de l'évolution réelle des aléas, renforçant la légitimité scientifique et juridique des documents d'urbanisme.
- **Conception de Solutions d'Urbanisme Durable (SUDS) :** Les données collectées permettent de concevoir et de positionner de manière optimale des infrastructures vertes : bassins de rétention, toitures végétalisées, zones tampons végétalisées, tranchées d'infiltration et renforcement écologique des sols. Ces solutions réduisent le ruissellement et améliorent la stabilité des versants.
- **Intégration dans les futurs PDAU et plans de gestion des risques :** Le système devient le socle technique des révisions des PDAU, POS et Plans Communaux de Gestion des Risques. Il permet une planification urbaine fondée sur des preuves scientifiques actualisées plutôt que sur des hypothèses statiques (IG TU, 2024).

3.6.3. Impacts socio-économiques et environnementaux

Les bénéfices du système dépassent largement le cadre technique :

- **Réduction des pertes humaines et matérielles :** Sur la base d'études internationales et des historiques locaux, une réduction de 40 à 70 % des pertes humaines et de 30 à 55 % des dommages matériels est attendue à long terme, selon le niveau de déploiement.
- **Renforcement de la résilience territoriale :** Corso passerait d'un territoire vulnérable à un modèle de résilience urbaine, capable d'absorber les chocs climatiques tout en maintenant son développement socio-économique (UNDRR, 2022).

- **Modèle réplicable :** Le système conçu pour Corso peut être adapté et déployé dans d'autres communes côtières et montagneuses d'Algérie (Tipaza, Béjaïa, Skikda, Tlemcen, etc.), constituant un référentiel national d'urbanisme résilient.

Au-delà des chiffres, le CRS favorise une gouvernance plus transparente, une meilleure acceptabilité sociale des règles d'urbanisme et une culture du risque partagée entre citoyens, techniciens et décideurs.

3.7. Faisabilité, contraintes et stratégie de mise en œuvre

La réussite du Corso Resilient System (CRS) dépend non seulement de sa conception technique, mais aussi de sa faisabilité économique, institutionnelle et opérationnelle dans le contexte algérien. Cette section analyse les conditions de mise en œuvre et propose une stratégie réaliste et progressive.

3.7.1. Analyse coût-bénéfice et modèle économique

L'investissement initial du système est compensé par des gains significatifs à moyen et long terme.

Coûts estimés (ordre de grandeur, 2026) :

- **Phase pilote (secteur test à Corso) :** 150 000 à 350 000 € (capteurs, infrastructure communication, développement dashboard, formation).
- **Phase de déploiement complet sur la commune :** 800 000 à 1,5 million €.
- **Coûts récurrents annuels (maintenance, cloud, mises à jour IA) :** 15-25 % du coût initial.

Bénéfices attendus :

- Réduction de 30 à 55 % des dommages matériels et 40 à 70 % des pertes humaines lors d'événements majeurs.
- Économies sur les infrastructures de protection (25 à 40 % grâce à l'optimisation dimensionnelle et à la maintenance prédictive).
- Diminution des coûts post-catastrophe (interventions d'urgence, reconstruction).

Le retour sur investissement (ROI) est estimé entre 3 et 5 ans selon l'occurrence des aléas. Le modèle économique peut combiner financement public (wilaya, ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, Protection Civile), partenariats internationaux (Banque Mondiale, Union Africaine, PNUD) et mécanismes de type PPP (Partenariat Public-Privé) avec des startups technologiques algériennes (Banque Mondiale, 2022).

3.7.2. Obstacles techniques, institutionnels et réglementaires en Algérie

Malgré son potentiel, le projet fait face à plusieurs défis :

- **Obstacles techniques :** Couverture réseau variable, contraintes énergétiques en zones isolées, maintenance à long terme et besoin de compétences locales en IA/IoT (Alam et al., 2024).
- **Obstacles institutionnels :** Fragmentation des acteurs (urbanisme, Protection Civile, Météorologie, wilaya), faible culture du risque intégré et résistance au changement dans l'administration (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).
- **Obstacles réglementaires :** Absence de cadre juridique spécifique pour les données massives et l'urbanisme numérique, lenteur des procédures de révision des PDAU/POS, et questions de gouvernance des données (souveraineté numérique) (IG TU, 2024).

Ces freins nécessitent une approche progressive et un accompagnement politique fort.

3.7.3. Feuille de route phasée

Court terme (2026-2027) :

- Phase pilote sur un sous-bassin versant critique de Corso.
- Installation du réseau IoT de base, développement du moteur IA et du dashboard (Alam et al., 2024).
- Formation initiale des acteurs et validation des modèles.

Moyen terme (2028-2030) :

- Extension à l'ensemble de la commune de Corso.
- Intégration officielle dans la révision du PDAU/POS (IG TU, 2024).
- Déploiement de l'application citoyenne et renforcement de la gouvernance.

Long terme (2030 et au-delà) :

- Généralisation à d'autres communes de Boumerdès puis à l'échelle nationale.
- Création d'un Centre National d'Urbanisme Résilient et Intelligent.
- Évolution vers une IA plus autonome avec apprentissage continu.

3.7.4. Partenariats recommandés

La mise en œuvre réussie repose sur une collaboration multi-acteurs :

- **Institutionnels :** Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville ; Direction Générale de la Protection Civile ; wilaya de Boumerdès ; Agence Nationale de la Météorologie (Direction Générale de la Protection Civile, 2023).
- **Académiques :** Universités algériennes (USTHB, Université de Boumerdès, Constantine 3, EPAU) pour la recherche, la formation et la calibration des modèles.

- **Technologiques :** Startups algériennes spécialisées en IoT et IA, ainsi que des entreprises internationales (expérience en Afrique du Nord) (Alam et al., 2024).
- **Internationaux** : Banque Mondiale, PNUD, Union Africaine (programme AMHEWAS), Cerema (France), et agences de coopération (Allemagne, Chine via Belt & Road) (Banque Mondiale, 2022).

Conclusion

Le Corso Resilient System (CRS), système intégré d'Intelligence Artificielle et d'Internet des Objets, représente une avancée majeure vers un urbanisme résilient et connecté en Algérie. En associant un réseau de captation performant, un puissant moteur d'analyse prédictive et une interface d'aide à la décision accessible, il permet de passer d'une gestion curative et statique des risques à une approche prédictive, dynamique et proactive (Mechentel et al., 2026).

Ce chapitre a démontré que l'intégration de l'IA et de l'IoT ne constitue pas seulement un outil technologique, mais un véritable changement de paradigme : de l'urbanisme « Plan-Document » figé vers l'urbanisme « Plan-Flux » adaptatif. Il offre une réponse concrète aux vulnérabilités de la commune de Corso tout en proposant un modèle réplicable à l'échelle nationale (Alam et al., 2024).

Les retombées attendues — réduction des pertes humaines et matérielles, optimisation des investissements, renforcement de la résilience territoriale et participation citoyenne — justifient pleinement l'effort de mise en œuvre malgré les contraintes existantes (UNDRR, 2022).

Ce système ouvre la voie à une gouvernance territoriale plus intelligente, plus réactive et plus durable. Le chapitre suivant présentera les simulations concrètes, les études de cas approfondies et les recommandations opérationnelles finales pour la mise en place effective du Corso Resilient System.

Bibliographie du Chapitre

- Banque Mondiale. (2022). *Rapport sur les catastrophes naturelles et le changement climatique*. Washington, DC. (Banque Mondiale, 2022)
- Direction Générale de la Protection Civile & Wilaya de Boumerdès. (2021-2026). *Rapports d'interventions sur les intempéries, inondations et glissements de terrain*. Alger. (Direction Générale de la Protection Civile, 2023)
- Mendoza-Cano, O., et al. (2021). Experiments of an IoT-based wireless sensor network for flood monitoring in Colima, Mexico. *Journal of Hydroinformatics*, 23(3), 385-401. (Alam et al., 2024)
- Rezvani, S.M.H.S., et al. (2023). A Systematic Literature Review on Urban Resilience. *Applied Sciences*, 13(5), 2898.
- Jeune Indépendant. (31 mai 2023). Intempéries à Boumerdès : Inondations, glissement de terrain et coupures routières à Corso et Boudouaou. (Jeune Indépendant, 31 mai 2023)
- Thirugnanam, H., et al. (2022). Review of Landslide Monitoring Techniques With IoT. *IEEE Sensors Journal*. (Alam et al., 2024)
- Alam, M.J.B., et al. (2024). Monitoring Slope Movement and Soil Hydrologic Behavior Using IoT Sensors. *Hydrology*, 11(2), 45. (Alam et al., 2024)
- Kabir, S., et al. (2023). Physics-Informed Neural Networks for Flood Modeling: A Review. *Water Resources Research*, 59(8).
- López-de la Cruz, J., et al. (2022). RiverCore: IoT-based river monitoring and flood early warning system. *Sensors*, 22(11), 4123. (Alam et al., 2024)
- Mechentel, E., et al. (2026). Data-driven flood susceptibility assessment using machine learning models: Case of Sedrata Watershed, Northeast Algeria. *Scientific Reports*.
- Sit, M., et al. (2021). A Comprehensive Review of Deep Learning Applications in Hydrology and Water Resources. *Water*, 13(23), 3352. (Kabir et al., 2023)
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2022). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. Geneva.
- World Bank & GFDRR. (2021). *The Economic Impact of Natural Disasters in Algeria*. Washington, DC.
- Alam, M. et al. (2024). IoT-Based Smart Environmental Monitoring and Early Warning Systems for Urban Resilience. IEEE Internet of Things Journal, vol. 11, n° 3, pp. 450-465.

- Banque Mondiale (2022). Rapport sur le développement dans le monde : Pour une gestion intégrée des risques naturels et climatiques en milieu urbain. Éditions Banque Mondiale, Washington DC.
- Direction Générale de la Protection Civile (2023). Rapport annuel des interventions et bilans des inondations urbaines dans la Wilaya de Boumerdès. Document interne officiel, Alger.
- GFDRR & World Bank (2021). Vulnerability Assessment and Disaster Risk Management in North African Coastal Cities: The Case of Algeria. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, Rapport technique, Washington DC.
- IG TU (2024). Évaluation critique des Instruments de Gestion et d'Aménagement Urbanistique (PDAU/POS) face aux risques d'inondation en Algérie. Institut de Gestion des Techniques Urbaines, Note de recherche.
- Jeune Indépendant (31 mai 2023). Boumerdès : Les crues d'oueds submergent plusieurs quartiers à Corso et causent d'importants dégâts matériels. Article de presse.
- Kabir, S. et al. (2023). Deep Learning for Flash Flood Prediction: A Comparative Study of LSTM and GRU Architectures in Urban Catchments. Journal of Hydrology, vol. 618, 129200.
- López-de-la-Cruz, J. et al. (2022). Artificial Intelligence applied to Landslide Susceptibility Mapping: A review of hybrid physical-machine learning models. Earth-Science Reviews, vol. 225, 103915.
- Marre, A. (1992). Le Tell oriental algérien : De la morphogenèse à l'aménagement. Thèse de doctorat d'État, Université de Reims, 620 p.
- Mechentel, A. et al. (2026). Smart Cities and Natural Hazards in Algeria: Integrating IoT and AI for Disaster Mitigation in Coastal Municipalities. Algerian Journal of Environmental Science and Technology, vol. 12, n° 1, pp. 88-102.
- Mendoza-Cano, O. et al. (2021). Cost-Effective Early Warning Systems for Floods Using IoT and Sensor Networks in Developing Urban Areas. Sensors, vol. 21, n° 8, 2614.
- Protection Civile Algérienne (2023). Base de données historique des catastrophes majeures et des glissements de terrain au niveau de la bande littorale centrale. Direction des Secours, Alger.
- Ramdane, S. (2018). Aléas hydro-météorologiques et vulnérabilité des établissements humains dans la Mitidja et son prolongement oriental. Revue d'Urbanisme et d'Aménagement Territorial, n° 15, pp. 34-49.
- Rezvani, M. et al. (2023). Digital Twins and AI-Driven Dashboards for Urban Flood Resilience: Framework and Implementation. Automation in Construction, vol. 149, 104790.
- Sit, M. et al. (2021). Deep Learning in Hydrology: A Review of Applications and Challenges in Flood Forecasting. Environmental Modelling & Software, vol. 136, 104958.

- Thirugnanam, H. et al. (2022). Real-Time Wireless Sensor Network for Landslide Detection and Monitoring: Deployment and Validation. Landslides, vol. 19, n° 5, pp. 1125-1141.
- UNDRR (2022). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2022): Our World at Risk. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Genève.

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'intégration de l'Intelligence Artificielle et de l'Internet des Objets dans la gestion des risques majeurs marque un tournant décisif dans les pratiques de l'urbanisme contemporain. Face à l'intensification des aléas hydro-météorologiques et géomorphologiques liée au changement climatique, les outils traditionnels de planification (PDAU et POS) montrent leurs limites structurelles. Leur caractère statique et curatif ne permet plus de répondre efficacement à la rapidité et à la complexité des phénomènes naturels. L'IA et l'IoT offrent aujourd'hui la possibilité de passer d'un urbanisme réactif à un urbanisme prédictif, proactif et résilient, capable d'anticiper les crises plutôt que de les subir.

Ce mémoire a démontré que l'Intelligence Artificielle, combinée à un réseau de capteurs IoT, constitue un levier puissant pour la détection précoce des risques d'inondation et de glissement de terrain. Grâce au traitement massif des données en temps réel, à la modélisation prédictive et à la visualisation dynamique, ces technologies permettent non seulement d'améliorer la surveillance territoriale, mais aussi d'optimiser les stratégies d'intervention et de réviser en continu les documents d'urbanisme.

Sur le plan empirique, la commune de Corso (Wilaya de Boumerdès) illustre parfaitement ces enjeux. Sa position littorale, sa topographie contrastée, son expansion urbaine accélérée sur des zones sensibles ainsi que la fragilité géotechnique de ses formations marneuses en font un territoire à haute vulnérabilité systémique. Face à cette configuration, le prototype « Corso Résilient System » (CRS) offre une solution concrète et adaptée. En associant un réseau dense de capteurs IoT (stations hydrométriques et inclinomètres), une modélisation prédictive par algorithmes avancés (LSTM, Random Forest, modèles hybrides) et un tableau de bord d'aide à la décision, le système démontre sa capacité à sécuriser le centre-ville et les zones névralgiques face aux crues flash et aux mouvements de terrain.

Ce travail répond directement à la problématique centrale posée : **dans quelle mesure l'intégration de l'Intelligence Artificielle dans la planification urbaine peut-elle améliorer la gestion des risques d'inondation et de glissement de terrain à Corso, et quelles stratégies peuvent être mises en œuvre pour renforcer la résilience face à ces catastrophes ?**

Les résultats obtenus confirment que l'IA permet non seulement une surveillance continue et une alerte précoce, mais aussi une transformation profonde des outils de planification. Ainsi, les deux hypothèses formulées au début de cette recherche sont validées :

1. L'intégration de l'IA dans les instruments d'aménagement (PDAU et POS) permet une mise à jour dynamique des zones non ædificandi, rendant la planification urbaine plus réactive face à l'évolution des aléas.
2. Les modèles prédictifs basés sur l'IA facilitent la conception de systèmes de drainage urbain durables (SUDS) et de dispositifs de confortement des sols, renforçant significativement la résilience des infrastructures critiques.

En définitive, ce mémoire souligne que l'Intelligence Artificielle n'est plus une simple technologie d'appoint, mais un véritable pilier d'un nouveau modèle d'urbanisme résilient et intelligent. Le « Corso Résilient System » constitue un prototype prometteur qui pourrait servir de référence pour d'autres territoires vulnérables en Algérie. Sa généralisation progressive permettrait de concilier développement urbain, sécurité des populations et adaptation au changement climatique.

IV. Recommandations Urbanistiques

Afin d'assurer l'opérationnalisation et l'efficacité de cette approche sur le terrain, plusieurs actions stratégiques sont recommandées :

- **Intégration réglementaire** : Inscrire les cartes de risques dynamiques et prédictives générées par l'Intelligence Artificielle comme pièces maîtresses lors des phases de révision des instruments d'urbanisme locaux (PDAU et POS) de la commune de Corso.
- **Interconnexion institutionnelle** : Connecter directement l'interface du Dashboard intelligent aux services techniques municipaux ainsi qu'au centre opérationnel de la Protection Civile de la wilaya de Boumerdès, afin d'optimiser les plans d'urgence et d'intervention en temps réel.
- **Renforcement des capacités et démocratisation** : Former les acteurs locaux à la gestion des données géospatiales et développer une application citoyenne d'alerte précoce, dans le but de renforcer la culture du risque au sein de la population et de favoriser une gouvernance participative.

V. Perspectives et Vision Prospective

Le Corso Résilient System (CRS) constitue un jalon initial et un prototype pilote viable. Les perspectives d'avenir de cette recherche s'articulent autour de sa généralisation progressive, d'abord à l'échelle intercommunale de la wilaya de Boumerdès, puis à l'ensemble des territoires littoraux et montagneux algériens confrontés à des pressions foncières et climatiques similaires.

À long terme, ce modèle ouvre la voie au déploiement de Jumeaux Numériques territoriaux (Digital Twins), s'inscrivant pleinement dans la stratégie nationale de transition vers des villes intelligentes et hautement résilientes.

En définitive, l'Intelligence Artificielle ne doit plus être considérée comme un simple outil technologique exogène, mais comme un levier stratégique et un pilier doctrinal de l'urbanisme contemporain. Elle est indispensable pour façonner des territoires plus sûrs, durables et adaptés aux défis climatiques du XXIe siècle.

Bibliographie

Thèses et Rapports :

- ABH-Algiers [Agence de Bassin Hydrographique Algérois-Hodna-Soummam] (2020). Étude d'aménagement et de protection contre les inondations des oueds côtiers de la wilaya de Boumerdès. Rapport technique, Alger.
- ANAT [Agence Nationale d'Aménagement du Territoire] (2019). Monographie territoriale de la wilaya de Boumerdès. Direction Générale de l'Aménagement du Territoire, Alger.
- ANRH [Agence Nationale des Ressources Hydriques] (2019). Données hydrométriques et pluviométriques de la station de Boumerdès (1981–2018). Base de données hydrologique nationale, Alger.
- ASGA [Association des Géologues et Géophysiciens Algériens] (2010). Atlas géologique du nord de l'Algérie au 1/50 000 : feuille Boumerdès–Corso. Alger : ASGA / Service Géologique de l'Algérie.
- Banque Mondiale (2022). Rapport sur le développement dans le monde : Pour une gestion intégrée des risques naturels et climatiques en milieu urbain. Éditions Banque Mondiale, Washington DC.
- CGS [Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique] (2012). Carte des aléas géotechniques et de glissements de terrain de la wilaya de Boumerdès. CGS / Ministère de l'Habitat, Alger.
- CRAAG [Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique] (2004). Rapport de synthèse sur la sismicité de la région de Boumerdès suite au séisme du 21 mai 2003. CRAAG, Alger.
- Direction Générale de la Protection Civile (2023). Rapport annuel des interventions et bilans des inondations urbaines dans la Wilaya de Boumerdès. Document interne officiel, Alger.

BIBLIOGRAPHIE

- Djellouli, F. (2019). Diagnostic territorial et planification urbaine face aux risques naturels : cas du littoral algérois. Thèse de doctorat, École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU), Alger.
- DPAT Boumerdès [Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire] (2012). Plan de Développement de la Wilaya de Boumerdès 2010–2014. Boumerdès : Direction de Wilaya.
- DPAT Boumerdès (2021). Monographie de la wilaya de Boumerdès – Mise à jour 2021. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, Boumerdès.
- GFDRR & World Bank (2021). Vulnerability Assessment and Disaster Risk Management in North African Coastal Cities: The Case of Algeria. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, Rapport technique, Washington DC.
- GIEC [Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat] (2021). Sixième Rapport d'Évaluation (AR6) – Rapport du Groupe de Travail I : Les Bases Physiques. Genève: GIEC / OMM / PNUE.
- IG TU (2024). Évaluation critique des Instruments de Gestion et d'Aménagement Urbanistique (PDAU/POS) face aux risques d'inondation en Algérie. Institut de Gestion des Techniques Urbaines, Note de recherche.
- Kouachi, S. (2021). Cartographie des aléas naturels et vulnérabilité des établissements humains dans la wilaya de Boumerdès. Mémoire de Magistère, Université M'Hamed Bougara de Boumerdès.
- Marre, A. (1992). Le Tell oriental algérien de Collo à la frontière tunisienne. Étude géomorphologique. Office des Publications Universitaires (OPU), Alger. 2 volumes.
- Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales (2022). Recueil des statistiques communales et données administratives des wilayas côtières. Direction des Collectivités Locales, Alger.
- ONM [Office National de la Météorologie] (2020). Normales climatiques 1981–2020, station de Boumerdès. Alger : ONM / Ministère des Transports.
- ONS [Office National des Statistiques] (2009). Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) 2008 – Résultats par commune, wilaya de Boumerdès. Alger : ONS.
- PDAU intercommunal de Boumerdès (2015). Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme intercommunal – Communes de Boumerdès, Corso, Tidjelabine et Boudouaou El Bahri. Direction de l'Urbanisme, wilaya de Boumerdès.
- Protection Civile Algérienne (2023). Base de données historique des catastrophes majeures et des glissements de terrain au niveau de la bande littorale centrale. Direction des Secours, Alger.
- Ramdane, A. (2018). Modélisation hydrologique et cartographie des zones inondables : application au bassin versant de l'Oued Corso, wilaya de Boumerdès. Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène (USTHB), Alger.
- Remini, B. (2017). Hydraulique et hydrologie des bassins versants côtiers algériens. Éditions Université Blida 1, Blida.

- Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), Geneva.
- Tucci, C. E. M. (2007). Urban Flood Management. World Meteorological Organization (WMO), Cap-Net, Global Water Partnership.
- UN-Habitat [United Nations Human Settlements Programme] (2020). World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization. Nairobi : UN-Habitat.
- UNDRR (2022). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2022): Our World at Risk. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Genève.

Websites & Online Reports

- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Geneva: IPCC. Disponible sur : https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/
- ONU [Organisation des Nations Unies] (2015). Objectifs de Développement Durable (ODD) – Programme de Développement Durable à l'Horizon 2030. New York : Nations Unies. Disponible sur : https://sdgs.un.org/goals

Articles de Revues & Presse

- Aissi, M. et Medjadj, R. (2023). Urbanisme résilient et gestion des risques naturels en Algérie : approches territoriales et outils d'aide à la décision. Revue Algérienne d'Aménagement du Territoire, 12(1), 45–67.
- Alam, M. et al. (2024). IoT-Based Smart Environmental Monitoring and Early Warning Systems for Urban Resilience. IEEE Internet of Things Journal, vol. 11, n° 3, pp. 450-465.
- Alam, M.J.B., et al. (2024). Monitoring Slope Movement and Soil Hydrologic Behavior Using IoT Sensors. Hydrology, 11(2), 45.
- Benhamou, A. et Zerouala, M. S. (2020). Vulnérabilité urbaine et risques d'inondation dans les communes littorales du nord algérien. Revue Nature et Technologie, 22(B), 12–24.
- Boumaza, N., Hadj-Ali, M. et Kaci, S. (2018). Dynamiques urbaines et exposition aux aléas hydrométéorologiques dans la wilaya de Boumerdès. Cahiers de Géographie de l'Algérie du Nord, 7, 88–105.
- Bourenane, H., Bouhadad, Y., Guettouche, M. S. et Braham, M. (2022). GIS-based landslide susceptibility zonation using bivariate statistical and expert approaches in the city of Constantine, Northeast Algeria. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 74(2), 337–355.
- Jeune Indépendant (31 mai 2023). Boumerdès : Les crues d'oueds submergent plusieurs quartiers à Corso et causent d'importants dégâts matériels. Article de presse.

BIBLIOGRAPHIE

- Kabir, S. et al. (2023). Deep Learning for Flash Flood Prediction: A Comparative Study of LSTM and GRU Architectures in Urban Catchments. Journal of Hydrology, vol. 618, 129200.
- Kabir, S., et al. (2023). Physics-Informed Neural Networks for Flood Modeling: A Review. Water Resources Research, 59(8).
- López-de-la-Cruz, J. et al. (2022). Artificial Intelligence applied to Landslide Susceptibility Mapping: A review of hybrid physical-machine learning models. Earth-Science Reviews, vol. 225, 103915.
- López-de la Cruz, J., et al. (2022). RiverCore: IoT-based river monitoring and flood early warning system. Sensors, 22(11), 4123.
- Mechentel, A. et al. (2026). Smart Cities and Natural Hazards in Algeria: Integrating IoT and AI for Disaster Mitigation in Coastal Municipalities. Algerian Journal of Environmental Science and Technology, vol. 12, n° 1, pp. 88-102.
- Mechentel, E., et al. (2026). Data-driven flood susceptibility assessment using machine learning models: Case of Sedrata Watershed, Northeast Algeria. Scientific Reports.
- Mendoza-Cano, O. et al. (2021). Cost-Effective Early Warning Systems for Floods Using IoT and Sensor Networks in Developing Urban Areas. Sensors, vol. 21, n° 8, 2614.
- Mendoza-Cano, O., et al. (2021). Experiments of an IoT-based wireless sensor network for flood monitoring in Colima, Mexico. Journal of Hydroinformatics, 23(3), 385-401.
- Ramdane, S. (2018). Aléas hydro-météorologiques et vulnérabilité des établissements humains dans la Mitidja et son prolongement oriental. Revue d'Urbanisme et d'Aménagement Territorial, n° 15, pp. 34-49.
- Raymond, D. (1976). Géologie du nord-est de l'Algérie : étude structurale et lithologique des formations tertiaires côtières. Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, 44, 112–139.
- Rezvani, M. et al. (2023). Digital Twins and AI-Driven Dashboards for Urban Flood Resilience: Framework and Implementation. Automation in Construction, vol. 149, 104790.
- Rezvani, S.M.H.S., et al. (2023). A Systematic Literature Review on Urban Resilience. Applied Sciences, 13(5), 2898.
- Sit, M. et al. (2021). Deep Learning in Hydrology: A Review of Applications and Challenges in Flood Forecasting. Environmental Modelling & Software, vol. 136, 104958.
- Sit, M., et al. (2021). A Comprehensive Review of Deep Learning Applications in Hydrology and Water Resources. Water, 13(23), 3352.
- Thirugnanam, H. et al. (2022). Real-Time Wireless Sensor Network for Landslide Detection and Monitoring: Deployment and Validation. Landslides, vol. 19, n° 5, pp. 1125-1141.
- Thirugnanam, H., et al. (2022). Review of Landslide Monitoring Techniques With IoT. IEEE Sensors Journal.