

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTÉ : Institut de Gestion des Techniques

Urbaines (GTU)

DÉPARTEMENT : urbanisme

N° :



DOMAINE : Urbanisme

FILIÈRE : Urbanisme et Métiers de la Ville

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : Bech Aya

Intitulé :

**Intégration de l'intelligence artificielle pour la protection du patrimoine urbain
à travers la création d'une base de données – Cas d'étude : la Casbah d'Alger**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. Hadji Abdelkader	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. Lahcen Hadj Hafsi	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. Ferhati Berkahem	Université d'Alger 3	Co-encadrant
Dr. Tahraoui Ilyas	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2025 / 2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



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

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي والبحث العلمي : جامعة محمد بوضياف - المسيلة

تصريح شرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أسفله:

السيد [ة]: bech aya الصفة (أستاذ، باحث، طالب): étudiant

الحامل (ة) لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 407087632 والصادرة بتاريخ: 2023.09.22

المسجل [ة] بكلية /معهد: GTU قسم: Urbanisme

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

عنوانها: Intégration de l'intelligence artificielle pour la protection du patrimoine urbain à travers la création d'une base de données - cas d'étude La casbah d'Alger.

أصريح بشرفي أنني ألتم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و التزامه الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 01/06/26

توقيع المعني [ة]

Remerciements

Je rends grâce à Dieu Tout-Puissant pour l'aide, l'assistance et le soutien dont Il m'a comblée, pour m'avoir facilité le chemin du savoir et de la connaissance, et pour m'avoir accordé la force, la patience et la persévérance tout au long de ce .parcours scientifique

J'exprime ma profonde gratitude et ma sincère reconnaissance à **Dr. Lahcen Hadj Hafsi**, mon encadreur, pour les efforts considérables qu'il a déployés, ses orientations judicieuses et ses conseils précieux qui ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail. Je tiens à saluer son soutien permanent, sa patience et son souci constant d'assurer le suivi de chaque étape de cette recherche, ce qui a permis à ce mémoire de voir le jour dans les meilleures .conditions

J'adresse également mes remerciements à l'ensemble des enseignants et au personnel administratif de l'Institut de Gestion des Techniques Urbaines de l'Université Mohamed Boudiaf de M'sila pour leur encadrement, leurs orientations et leur accompagnement tout au long de mon parcours universitaire, ce qui a contribué au développement de mes connaissances et de mes compétences dans le domaine de l'urbanisme

Je remercie aussi les membres du jury pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques constructives qui ne .manqueront pas d'enrichir ce travail scientifique

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur aide ou leur soutien pour la réalisation de ce mémoire

Dédicace

En témoignage de toute ma reconnaissance, de ma fidélité et de ma profonde gratitude, je dédie ce modeste travail à celles et ceux à qui je dois, après Dieu, l'achèvement de cet ouvrage.

À Madame le **Dr Ferhati Berkahem**, cette éminente personne qui n'a cessé de me tendre la main avec bienveillance, offrant ses précieux conseils avec générosité, éclairant mon chemin par ses paroles empreintes de sagesse et d'affection. Elle a été pour moi un modèle d'excellence, tant par son érudition que par ses nobles qualités humaines : patience, générosité et humilité. Que Dieu la rétribue infiniment et fasse d'elle une source de fierté et d'inspiration pour tous ceux qui ont la chance de la connaître.

À Monsieur le **Dr Groudj Toufik**, qui m'a soutenu par ses orientations judicieuses, ses conseils avisés et son esprit paternel encourageant. Il a été, à juste titre, un maître et un soutien incomparable. Je n'oublierai jamais sa bienveillance, et je lui resterai éternellement redevable de sa générosité et de son dévouement.

Mes chers Maîtres, vous êtes la clé de la réussite et l'incarnation même de la rigueur scientifique. Grâce à vous, ce travail a vu le jour ; grâce à votre sagesse, sa conception a mûri. Je vous adresse tout mon respect, mon affection et mes prières sincères. Que Dieu dépose cet effort dans la balance de vos bonnes œuvres, et qu'Il le rende utile comme vous-mêmes m'avez été utiles par votre savoir et votre vertu.

.Et notre dernière prière est : Louange à Dieu, Seigneur des mondes

Dédicace

À moi-même, douce et bienveillante... Je crois en toi, et je suis fière de ce que tu as accompli. Tu as surmonté les difficultés et mené ce travail à son terme. Que ce mémoire soit la preuve de ta détermination.

À mon père et à ma mère, mes très chers parents... Que Dieu vous protège et vous garde en bonne santé. Vous êtes un trésor inestimable et mon soutien dans la vie. Grâce à vos prières et à votre soutien sans faille, j'ai avancé et réussi. Merci du fond du cœur pour tous vos sacrifices, votre amour et votre bienveillance. Ce travail est le fruit de vos efforts et de vos prières.

À mes frères bien-aimés... Mon soutien et ma force. Votre présence à mes côtés m'a apporté sécurité et courage. Merci pour votre patience, votre soutien et vos encouragements tout au long de ce parcours.

À mes chères amies Ghania et Inas... Vous avez été la chaleur de mes jours et les compagnes fidèles de ce chemin. Merci pour vos cœurs sincères, vos encouragements et les beaux moments partagés.

À tous mes camarades de la promotion Urbanisme... Avec qui j'ai partagé les joies et les difficultés de ce long parcours universitaire.

Et à tous les urbanistes et ingénieurs qui me succéderont... Je prie Dieu de vous guider et d'éclairer vos chemins de savoir et de construction. Ce travail est modeste, mais il est un pas sur la voie du changement.

Et à tous ceux qui m'ont soutenue, de près ou de loin, par une parole, un geste ou une prière...
Merci du fond du cœur.

BECH Aya

Résumé :

La Casbah d'Alger, inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1992, connaît une dégradation accélérée due à la vétusté, aux pressions urbaines et à un manque de coordination entre les institutions chargées de sa protection (Ministère de la Culture, Ministère du Tourisme, Direction de l'urbanisme, associations locales). Face à ce constat, cette recherche propose de concevoir un prototype de base de données spatiale intégrant des outils d'intelligence artificielle (IA) pour améliorer la documentation, l'évaluation des risques et l'aide à la décision.

Après avoir analysé le cadre théorique et les spécificités de la zone d'étude, un prototype fonctionnel a été développé avec React, Leaflet, Supabase et TensorFlow.js. Il offre une carte interactive, une gestion complète des monuments (ajout, modification, suppression, export CSV), une analyse d'images par réseau de neurones convolutif (Mobile Net), une simulation de prédiction du risque (Random Forest) et un système d'alertes automatiques déclenché lorsque le score de risque dépasse 70.

Les tests confirment la faisabilité technique. Les limites (données anciennes, modèles simulés, absence de LSTM, envoi réel d'e-mails non activé) sont discutées et des perspectives d'amélioration sont proposées : collecte de données récentes, entraînement d'un véritable Random Forest, développement d'un CNN spécifique aux pathologies de la Casbah, ajout d'un module LSTM et déploiement institutionnel.

Ce travail montre que l'IA, même à un stade de preuve de concept, peut contribuer significativement à la sauvegarde du patrimoine urbain algérien.

Mots-clés : Casbah d'Alger, patrimoine urbain, intelligence artificielle, base de données spatiale , système d'alerte, prototype, conservation préventive

المخلص:

تُعاني قسبة الجزائر، المسجلة ضمن قائمة التراث العالمي لليونسكو منذ عام 1992، تدهوراً متسارعاً بسبب القدم والضغطات الحضرية وغياب التنسيق بين المؤسسات المعنية بحمايتها (وزارة الثقافة، وزارة السياحة، مديرية التعمير، الجمعيات المحلية). أمام هذا الواقع، يقترح هذا البحث تصميم نموذج أولي لقاعدة بيانات مكانية تدمج أدوات الذكاء الاصطناعي لتحسين التوثيق وتقييم المخاطر ودعم القرار.

بعد تحليل الإطار النظري وخصائص منطقة الدراسة، تم تطوير نموذج أولي عملي باستخدام React وLeaflet وSupabase وTensorFlow.js. يقدم هذا النموذج خريطة تفاعلية، إدارة كاملة للمعالم إضافة، تعديل، حذف، تصدير إلى (CSV، تحليل صور عبر شبكة عصبونية التفاضلية Mobile Net)، محاكاة للتنبؤ بالمخاطر (Random Forest)، ونظام إنذار آلي يُفعّل عندما تتجاوز درجة الخطر 70.

تؤكد الاختبارات الجذوى التقنية. تمت مناقشة حدود العمل (بيانات قديمة، نماذج محاكاة، غياب LSTM، عدم تفعيل إرسال التنبيهات بالبريد الإلكتروني) واقتراح آفاق للتحسين: جمع بيانات حديثة، تدريب Random Forest حقيقي، تطوير CNN متخصص لأضرار القسبة، إضافة وحدة LSTM، والنشر المؤسساتي.

يُظهر هذا البحث أن الذكاء الاصطناعي، حتى في مرحلة برهان المفهوم، يمكن أن يساهم بشكل كبير في حماية التراث الحضري الجزائري.

كلمات مفتاحية: قسبة الجزائر، تراث حضري، ذكاء اصطناعي، قاعدة بيانات مكانية، نظام إنذار، صيانة وقائية.

Tableau de matières :

Chapitre introductif

<i>Introduction générale</i>	1
1. Problématique :	2
2. Questions de recherche :	2
2.1 Question principale :	2
2.2 Questions sous-jacentes :	2
3. Hypothèses de recherche:	3
3.1 Hypothèse principale :	3
3.2 Hypothèses secondaires :	3
Hypothèse 1 — Absence de coordination :	3
Hypothèse 2 — Non-application des lois :	3
4. Objectifs de l'étude :	3
4.1 Objectif principal :	4
4.2 Objectifs détaillés — Réponses aux hypothèses :	4
5. Importance de la recherche:	4
5.1 Importance pour le domaine urbain :	4
5.2 Importance pour le patrimoine :	5
6. Raisons du choix de la zone d'étude :	5
7. Difficultés de la recherche :	6
7.1 Difficultés techniques :	6
7.2 Difficultés de terrain :	6
7.3 Difficultés scientifiques :	6
7.4 Difficultés administratives et institutionnelles :	6
7.5 Limites de l'étude:	6
8. Méthodologie adoptée:	7
8.1 Approche descriptive et analytique:	7
8.2 Approche historique :	7

8.3 Approche appliquée et expérimentale (cœur du travail) :	7
8.3.1 Technologies effectivement utilisées :	8
8.3.2 Limites assumées du prototype :	8
9. Plan de structure du mémoire :	8
<i>CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures</i>	
PARTIE 1 — Le patrimoine urbain	13
1. Définition du patrimoine urbain	13
1.1 Définitions génériques:	13
1.2 Définition académique — UNESCO (2011):	13
1.3 Définition selon Roders (2019):	13
2. Éléments constitutifs du patrimoine urbain:	14
3. Classification du patrimoine urbain:	15
3.1 Selon la classification UNESCO : culturel et naturel	15
3.1.1 Patrimoine culturel :	15
3.1.2 Patrimoine naturel :	15
3.2 Selon la nature : patrimoine matériel et immatériel	16
3.2.1 Patrimoine matériel :	16
3.2.2 Patrimoine immatériel :	16
3.3 Selon le niveau de classement :	16
3.3.1 Patrimoine local ou régional :	16
3.3.2 Patrimoine national :	16
3.3.3 Patrimoine mondial :	16
4. Types d'intervention dans le tissu urbain historique :	16
5. Cadre juridique relatif à la protection du patrimoine en Algérie :	17
6. Les secteurs sauvegardés en Algérie :	18
7. Le PPSMVSS :	19
7.1 Définition :	19

7.2 Objectifs :	19
7.3 Phases d'élaboration :	19
7.4 Contenu :	19
8. Cadre institutionnel de la protection du patrimoine urbain en Algérie :	20
8.1 Le ministère de la Culture et des Arts:	21
8.2 Le ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville:	21
8.3 Le ministère du Tourisme et de l'Artisanat:	21
8.4 Les associations locales et la société civile:	21
PARTIE 2 — L'intelligence artificielle et la documentation patrimoniale	22
1. Concept de l'intelligence artificielle:	22
1.1 Définitions:	22
2. Types de modèles d'IA:	22
2.1 ► Apprentissage automatique (Machine Learning) :	23
2.2 ► Apprentissage supervisé :	23
2.3 ► Apprentissage non supervisé :	23
2.4 ► Apprentissage profond (Deep Learning):	23
3. Modèles d'IA retenus pour le prototype :	23
3.1 CNN (Mobile Net) :	23
3.2 Random Forest :	24
3.3 LSTM :	24
4. Fusion de données et intégration des modèles d'IA :	25
4.1 Définition et enjeux :	25
4.2 Niveaux de fusion :	25
4.3 Application au patrimoine urbain :	25
4.4 Pertinence pour la présente recherche :	25
5. Techniques de numérisation et de documentation 3D:	26
6. Modèles de bases de données pour le patrimoine urbain:	27

6.1 SIG — Système d'Information Géographique:.....	27
6.2 HBIM — Heritage Building Information Modeling:	27
6.3 SEH-SDB — Semantically Enriched Historical Spatial Data base:.....	27
6.4 ICHC — Intelligent Cultural Heritage of a City:	28
6.5 Urban Onto / HOUSE — Ontologie Historique des Espaces Urbains:.....	28
PARTIE 3 — Exemple de référence : Projet de documentation du patrimoine d'Alep	28
1. Présentation du projet:	28
1.1 Porteur du projet:	29
1.2 Institutions partenaires:	29
2. Méthodologie et résultats:	29
3. Enseignements transposables à la Casbah d'Alger:	29
4. Limites de la transposition du modèle d'Alep à la Casbah d'Alger :.....	30
<i>CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude</i>	
PARTIE 1— cadre naturel et physique de la zone d'étude	36
1. Localisation et Situation Géographique :	36
1.1 Situation géographique générale:	36
1.2 Limites administratives :	37
1.3 Accessibilité et connexions urbaines :.....	38
2. La Géomorphologie :	39
2.1 Formes du relief :.....	40
2.2 Un site transformé par l'homme :	40
2.3 La pente : contrainte devenue atout :.....	40
2.4 Skyline menacé :.....	41
3. La Géologie :	42
3.1 Faciès géologiques (du plus récent au plus ancien) :.....	42
3.2 Qualités et contraintes géotechniques :	43
3.2 La Tectonique :	43

4.La Géotechnique :	44
5.Hydrogéologie :	45
6. La Climatologie :	47
6.1 Les Précipitations :	47
6.2 La Température :	48
6.3 Les Vents :	48
6.4 L'Humidité :	48
7.Les Risques Majeurs :	48
7.1 La Sismicité :	48
7.2 Les Inondations :	49
7.3 Les Éboulements et l'Érosion :	50
PARTIE II — évolution urbaine de la casbah d'Alger	51
1.Période Préromaine :	51
2. Période Romaine :	51
3. Période Musulmane :	52
4. Période Ottomane :	53
5. Alger sous Occupation Française (1830-1962) :	54
5.1 Premières Destructures et Rupture Urbaine :	54
5.2 Déplacement des Fonctions Urbaines et Marginalisation de la Casbah :	54
6. La Casbah depuis l'Indépendance :	55
PARTIE III — étude urbaine approfondie de la zone d'étude	56
1.Structure Urbaine Générale :	56
1.1 Organisation spatiale du Secteur Sauvegardé :	56
1.2 Haute Casbah et Basse Casbah :	57
1.3 Les Neuf Secteurs du PPSMVSS :	58
2.Réseau de Voirie et de Circulation :	59
2.1 Hiérarchie fonctionnelle du réseau :	59

2.2	Impact de la topographie sur le réseau :	60
3.	Usages du Sol et Répartition des Fonctions :	61
3.1	La fonction résidentielle — dominante et fragilisée :	61
3.2	La fonction commerciale et économique:	61
3.3	Emploi induit par l'activité économique :	62
4.	Diagnostic de l'État du Bâti :	63
4.1	Évolution historique de la dégradation :	63
4.2	Inventaire des pressions :	64
4.3	Patrimoine monumental et état de conservation :	64
4.3.1	Statistiques générales des monuments historiques de la Casbah d'Alger :	64
4.3.2	Complément – État de conservation (source UNESCO / PPSMVSS) :	65
PARTIE IV	—étude démographique et économique	66
1.	Étude Démographique :	66
1.1	Répartition et évolution de la population :	66
1.2	Structure de la population active :	66
1.3	Densité et surpeuplement :	67
2.	Étude Économique :	67
2.1	Activité commerciale :	67
3.	Parc Logement et Déficit :	67
3.1	Évolution du parc logement 1998-2007 :	67
Partie 1	– Spécifications fonctionnelles et techniques	71
<i>CHAPITRE III :Projet de base de données et le site</i>		
1.	Objectifs du système:	71
2.	Choix technologiques :	71
3.	Architecture générale du prototype:	72
3.1	Client (Frontend) :	72
3.2	Serveur (API) :	72

3.3 Base de données :	72
Partie 2 – Modélisation de la base de données	73
1.Table monuments historiques:	73
2.Table les alertes :	75
3.Table analyses d’images :	76
4.Table utilisateurs autorisés à modifier les données :	76
Partie 3– Implémentation des modèles d’intelligence artificielle	79
1. Estimation du niveau de risque (simulation d’un Random Forest) :	79
2. Analyse d’images (CNN – Mobile Net) :	80
3.Expérimentation pratique du modèle Mobile Net sur des images de la Casbah :	80
4. Système d’alerte automatique :	82
Partie 4 – Développement de l’interface et de l’API	83
4.1 Interface utilisateur (frontend):	83
4.1.1 Carte interactive:	83
4.1.2 Panneau d’administration:	84
4.1.3 Module d’analyse d’images :	85
4.1.4 Panneau des alertes :	86
4.1.5Prédiction des risques :	87
4.1.5Prédiction des risques :	Erreur ! Signet non défini.
Partie : 5Tests, résultats et validation	88
1 Scénarios de test:	88
1.1Ajout d’un monument :	89
1.2Modification d'un monument:	90
1.3Suppression d'un monument:	92
1.4Analyse image — bon état:	92
1.5Analyse d’un monument en mauvais état:	93
1.6Dépassement seuil risque :	94

1.7Gestion des alertes:	94
1.8 Export CSV:	95
2 Résultats des tests:	96
3 Validation des hypothèses (H1 et H2):	97
1.11 Limites constatées lors des tests:	97
Partie 7 – Limites du prototype et perspectives	98
1.Limites du prototype:	98
1.1Modèle de prédiction du risque :.....	98
1.2Analyse d’images :.....	98
1.3Stockage des données :	98
1.4Notifications :.....	98
1.5Absence de LSTM :	98
1.6 Données limitées :.....	98
2 Perspectives d’amélioration:	98
2.1 Random Forest réel :.....	98
2.2 CNN spécialisé :	99
2.3Base de données partagées :.....	99
2.4Notifications réelles :	99
2.5LSTM pour la prédiction temporelle :	99
2.6Déploiement institutionnel :.....	99
2.7Interface citoyenne :.....	99
<i>Conclusion générale</i>	Erreur ! Signet non défini.

Liste des tableaux

Tableau 1:les objectifs détaillés des hypothèses	4
Tableau 2: Technologies effectivement utilisées	8
Tableau 3 : les éléments constitutifs du patrimoine urbain.....	14
Tableau 4:classification de patrimoine naturel sur le monde.....	15
Tableau 5: les type d'intervention dans le tissu urbain historique.....	17
Tableau 6: les lois du patrimoine en Algérie	17
Tableau 7 : les secteurs sauvegardés en Algérie	18
Tableau 8 : les phases d'élaboration de PPSMVSS	19
Tableau 9 : les techniques de numérisation et de documentation 3D	26
Tableau 10: Enseignements transposables à la Casbah d'Alger	30
Tableau 11 Périmètres du Secteur Sauvegardé de la Casbah d'Alger.	37
Tableau 12 : Formes du relief et leurs implications.....	40
Tableau 13 : Qualités et contraintes géotechniques du substratum de la Casbah	43
Tableau 14 : Propriétés géotechniques du substratum rocheux de la Casbah.....	45
Tableau 15 : représentant la quantité de précipitations au cours des mois de l'année.	47
Tableau 16 : Taux d'humidité relative moyens aux trois horaires de référence (7h, 13h, 18h) – Station Alger-Port (Période de référence).	48
Tableau 17 : Éléments structurants de la ville à l'époque romaine	51
Tableau 18 : Principaux éléments de la ville ottomane (d'après le Plan Pélet, 1832).....	53
Tableau 19 : Caractéristiques comparées – Haute Casbah et Basse Casbah	57
Tableau 20: découpage des secteurs.....	58
Tableau 21 : Hiérarchie fonctionnelle du réseau viaire de la Casbah d'Alger ...	59
Tableau 22 : Répartition des locaux commerciaux par catégorie d'activité.	61
Tableau 23: Emplois induits par type d'activité économique.....	61
Tableau 24: Emplois induits par type d'activité économique.....	62

Tableau 25 : Évolution historique de la dégradation du bâti de la Casbah.....	63
Tableau 26: Inventaire des pressions urbaines sur le tissu historique	64
Tableau 27 : Statistiques générales des monuments historiques de la Casbah d'Alger.....	64
Tableau 28 : Statistiques générales des monuments de la Casbah.....	65
Tableau 29: Population occupée par secteur – Casbah d'Alger (RGPH 1998) ..	66
Tableau 30 : Évolution du parc logement 1998-2007 dans la Casbah d'Alger ..	67
Tableau 31: Choix technologiques.....	71
Tableau 32 Champs principaux de la table Landmark (monuments historiques)	73
Tableau 33 :Champs principaux de la table alertes (alertes)	75
Tableau 34 : Champs principaux de la table image analyses (analyses d'images)	76
Tableau 35 :Champs principaux de la table users (utilisateurs autorisés)	77
Tableau 36 : Scénarios de test (8 scénarios)	88

Liste des figures

Figure 1: Schéma de structure du mémoire.....	9
Figure 2: organigramme des intervenants sur la casbah d'Alger.....	20
Figure 3: Hiérarchie des modèles d'IA utilisés dans ce mémoire.	24
Figure 4: Plan de la vieille ville d'Alep avant le conflit	31
Figure 5: Vue aérienne ou photographie historique de la Citadelle d'Alep, l'un des monuments les plus emblématiques de la ville.....	32
Figure 6: Processus de reconstruction 3D de l'entrée fortifiée de la Citadelle d'Alep à partir de photographies touristiques et d'une modélisation par photogrammétrie.	33
Figure 7 : Vue générale de la Casbah.....	39
Figure 8 : limites physique « géomorphologie » image satellitaire	39
Figure 9: Coupe longitudinale Citadelle – Mer Méditerranée	42
Figure 10 : Séries de coupes montrant l'évolution du Sahel de la Mitidja pendant le Pliocène et le Quaternaire « d'après Glangeaud (1932) et A. Aymé.).....	44
Figure 11: Exemple : l'intersection des boulevards de la victoire et de Taleb Mohamed : Eboulement par effritement de la roche de la muraille cotée boulevard de la victoire	49
Figure 12 Pl.4 Limite d'Icosium Figure 13 : Tracé hypothétique de la ville l'époque romaine.....	52
Figure 14 et Figure 15 : quelques éléments urbains à l'époque des Bani Mazghanna et Limites d'Alger à l'époque des Bani Mezghanna	52
Figure 16 : Organisation de la ville à l'époque ottomane	53
Figure 17 : Plan d'Alger au début de la période coloniale présentant	54
Figure 18 ; Figure 19 et Figure 20 : des exemples des voies sur la casbah	60
Figure 21 et Figure 22 : les équipements	63
Figure 23 Architecture client-serveur du prototype.....	72
Figure 24: Schéma des relations entre les tables de la base de données.....	77

Figure 25: Calcul du score de risque (simulation Random Forest)	79
Figure 26 : Aperçu des données utilisées pour l'expérimentation dans l'environnement Colab (extrait du chargement des monuments)	81
Figure 27: Pipeline d'analyse d'image par Mobile Net (CNN)	81
Figure 28: Carte interactive de la Casbah avec les marqueurs colorés.....	83
Figure 29 ; Figure 30 et Figure 31: Panneau d'administration avec la liste des monuments et le formulaire d'ajout.	84
Figure 32: Interface d'analyse d'image avec les résultats de classification.	85
Figure 33 et Figure 34: Panneau des alertes avec une alerte critique non lue. ...	86
Figure 35: Interface de prédiction des risques (paramètres et résultat)	87
Figure 36 ; Figure 37et Figure 38 :Exemple de remplissage du formulaire pour l'ajout d'un monument (Fontaine El Maleh).	89
Figure 39 ;Figure 40et Figure 41 : Exemple de modification d'un monument (changement de l'âge).	91
Figure 42 : Bouton de suppression et dialogue de confirmation.	92
Figure 43 : exemple d'analyse image – bon état.....	93
Figure 44 : exemple d'analyse image – mauvais état	93
Figure 45 : Dépassement du seuil de risque : le score atteint 74, déclenchant une alerte critique.....	94
Figure 46 et Figure 47 : Gestion des alertes : boutons « Marquer comme lue » et « Marquer comme résolue ».....	95
Figure 48 et Figure 49: Bouton « Exporter CSV » dans le panneau d'administration.....	96

Liste des cartes

carte 1: Situation géographique de la Casbah dans le contexte méditerranéen et national (Algérie / wilaya d'Alger / site de la baie).....	36
carte 2 : Limites administratives du Secteur Sauvegardé et communes limitrophes.....	37
carte 3 : Accessibilité et réseaux de transport autour de la Casbah	38
carte 4 : Topographie et pentes de la Casbah	41
carte 5: Géologie et géotechnique de la casbah d'Alger	43
carte 6 : géologique et caractéristique géotechnique dans la ville de la casbah .	45
carte 7 : Réseau hydrographique de la région d'Alger par A. AYMEE.1956	46
carte 8 : Répartition du réseau hydrographique selon la morphologie (sur le levé topographique).....	47
carte 9: situation limite du secteur sauvegardé	56
carte 10: découpage des secteurs.....	58
carte 11: réseau viaire de la casbah d'Alger.....	60
carte 12: types d'activités dans la casbah.....	62

CHAPITRE INTRODUCTIF

Introduction générale

Au cours des dernières décennies, l'intelligence artificielle s'est progressivement imposée comme un outil transversal d'aide à la décision, investissant des domaines aussi variés que la médecine, l'ingénierie, l'économie et, plus récemment, la gestion et la conservation du patrimoine culturel. Née officiellement lors de la conférence de Dartmouth en 1956, cette discipline a connu une accélération significative depuis les années 2010, portée par l'essor de l'apprentissage automatique et du traitement massif des données. Aujourd'hui, ses applications dans le domaine urbain ouvrent des perspectives concrètes pour la documentation, l'analyse et la sauvegarde des tissus historiques.

Paradoxalement, cet élan effréné vers l'avenir confronte le monde à une interrogation fondamentale : comment préserver ses racines tout en se projetant sans relâche vers demain ? Le patrimoine civilisationnel — dans ce qu'il recèle de savoirs accumulés, d'identités ancrées et de beauté héritée — se trouve aujourd'hui dans une position critique, menacé à la fois par l'oubli et par la dégradation physique irréversible. Les instruments de documentation traditionnels — relevés manuels, archives papier, fiches inventaires — se révèlent insuffisants face à l'ampleur et à la complexité des ensembles patrimoniaux.

Face à ce défi, l'intelligence artificielle se présente non comme une solution universelle, mais comme un outil d'aide à la décision dont l'efficacité reste conditionnée par la qualité et la disponibilité des données d'entrée — un facteur particulièrement critique dans le cas de la Casbah, où les données numériques demeurent fragmentaires. Sous cette réserve méthodologique, les techniques d'apprentissage automatique, de traitement d'image et de bases de données géoréférencées offrent des possibilités concrètes : documenter les tissus urbains historiques avec une précision accrue, identifier les zones de vulnérabilité structurelle, et fournir aux décideurs des indicateurs objectifs pour prioriser les interventions de conservation.

Si les pays développés ont été prompts à mobiliser ces technologies au service de leur héritage civilisationnel, les pays en développement se trouvent dans une situation de double fragilité : un patrimoine d'une richesse souvent supérieure, et des ressources consacrées à sa sauvegarde nettement plus limitées. Dans ce contexte, l'Algérie constitue un cas paradigmatique : pays portant dans les strates de son sol les empreintes des Phéniciens, des Romains, des Berbères, des Arabes, des Ottomans et des Français, accumulées au fil des millénaires pour former un tissu civilisationnel d'une exceptionnelle densité.

CHAPITRE INTRODUCTIF

Au cœur de cette réalité, la Casbah d'Alger se dresse en témoin vivant des civilisations qui se sont succédé en son sein. Fondée par les Zirides sur les ruines d'Icosium, elle a connu son apogée sous la domination ottomane avant de subir les traumatismes de la colonisation française et les défis de l'après-indépendance. Inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO en 1992, cette reconnaissance internationale n'a pas suffi à enrayer la dégradation qui ronge son tissu urbain, ses bâtisses et son cadre de vie. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente recherche.

1. Problématique :

La Casbah d'Alger, inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1992, est aujourd'hui menacée par une dégradation urbaine accélérée. Si sa valeur patrimoniale universelle est indiscutable, les mécanismes de protection demeurent insuffisants et fragmentaires : la dispersion des informations entre plusieurs institutions, la non-application effective des instruments juridiques en vigueur, et l'absence d'un outil de coordination interinstitutionnelle engendrent une gestion réactive, incohérente et inefficace de la conservation.

Dans ce contexte, l'intelligence artificielle se présente comme un levier stratégique susceptible de pallier ces lacunes, à condition d'être intégrée dans un système structuré de gestion de l'information patrimoniale. C'est dans cette perspective que s'inscrit la question centrale de recherche.

2. Questions de recherche :

2.1 Question principale :

Comment la création d'une base de données intégrant l'IA peut-elle pallier le manque de coordination interinstitutionnelle pour assurer une protection efficace du patrimoine de la Casbah d'Alger ?

2.2 Questions sous-jacentes :

Q1 —Comment un système d'intelligence artificielle peut-il compenser l'absence de coordination entre les acteurs institutionnels (ministère de la Culture, ministère du Tourisme,

CHAPITRE INTRODUCTIF

Direction de l'urbanisme) et les associations locales de la société civile, chargés de la sauvegarde de la Casbah ?

Q2 — Comment la création d'une base de données spatiale centralisée, fondée sur des standards ouverts et accessibles, peut-elle contribuer à l'application effective des dispositions de la loi n° 98-04 et du décret n° 05-173, et réduire les blocages administratifs entravant les opérations d'intervention sur la Casbah ?

3. Hypothèses de recherche:

En réponse aux questions soulevées par la problématique, les hypothèses suivantes ont été formulées :

3.1 Hypothèse principale :

L'intégration de l'intelligence artificielle au sein d'une base de données numérique unifiée permet de surmonter l'isolement informationnel entre les acteurs institutionnels et d'instaurer une gestion partagée et cohérente du patrimoine de la Casbah, réduisant ainsi les interventions isolées et redondantes qui compromettent l'efficacité des efforts de conservation.

3.2 Hypothèses secondaires :

Hypothèse 1 — Absence de coordination :

Le manque de coordination entre les institutions (ministère de la Culture, ministère du Tourisme, Direction de l'urbanisme) et les associations locales est la principale cause des interventions inefficaces et répétées sur la Casbah. La création d'une base de données intelligente, accessible à tous ces acteurs, permettrait de briser cet isolement et d'améliorer la communication entre eux.

Hypothèse 2 — Non-application des lois :

La loi n° 98-04 et le décret n° 05-173 ne sont pas appliqués efficacement parce qu'il n'existe pas d'outil numérique pour les contrôler et les suivre. La création d'une base de données spatiale centralisée aiderait à mieux appliquer ces textes juridiques et à réduire les blocages administratifs, en clarifiant les procédures et les responsabilités de chacun.

4. Objectifs de l'étude :

CHAPITRE INTRODUCTIF

4.1 Objectif principal :

Concevoir et développer une base de données numérique intelligente intégrant des outils d'intelligence artificielle, destinée à surmonter le cloisonnement institutionnel, à documenter l'état du patrimoine bâti de la Casbah d'Alger, et à appuyer l'application effective du cadre juridique de protection, en fournissant aux décideurs des indicateurs objectifs et partagés pour une gestion cohérente et durable du patrimoine.

4.2 Objectifs détaillés — Réponses aux hypothèses :

Tableau 1 : les objectifs détaillés des hypothèses

Hypothèse visée	Objectif correspondant
H1 — Absence de coordination	Analyser les causes et les conséquences du manque de coordination entre les acteurs institutionnels (ministère de la Culture, Tourisme, Direction de l'urbanisme) et les associations locales, puis concevoir une base de données intelligente permettant d'améliorer la communication et le partage d'informations entre eux.
H2 — Non-application des lois	Développer un module de suivi et de contrôle numérique des dispositions du PPSMVSS et de la loi n° 98-04, permettant aux autorités de visualiser l'état des infractions et des dégradations signalées, et de déclencher plus facilement les procédures d'intervention légales.

5. Importance de la recherche:

Cette recherche revêt une importance multidimensionnelle. Elle vise, en premier lieu, à combler le déficit des études locales soutenues par l'intelligence artificielle dans le domaine de la conservation du patrimoine urbain, un champ encore peu exploré en Algérie. Elle s'inscrit également dans une démarche de modernisation des outils de gestion patrimoniale, en adéquation avec les standards internationaux.

5.1 Importance pour le domaine urbain :

La recherche contribue à l'analyse des pressions urbaines exercées sur la Casbah — expansion urbaine anarchique, densité démographique excessive, étalement incontrôlé — en fournissant des données objectives et mesurables pour l'ajustement du cadre réglementaire de

la zone. Elle permet par ailleurs de développer des outils d'identification des priorités d'intervention urbaine fondés sur des indicateurs quantifiables, dépassant ainsi les approches empiriques traditionnelles.

5.2 Importance pour le patrimoine :

Sur le plan patrimonial, la recherche propose la création d'une archive numérique exhaustive et pérenne de la Casbah, intégrant photographies géoréférencées, cartographies et études historiques, constituant ainsi une mémoire collective protégée contre la perte irréversible d'informations. Elle permet l'inventaire systématique de chaque édifice et le suivi longitudinal des taux de dégradation. Par ailleurs, le recours à l'intelligence artificielle facilite le diagnostic précoce des pathologies du bâti — infiltrations d'humidité, fissuration structurelle, tassements différentiels — pour une intervention préventive efficace.

6. Raisons du choix de la zone d'étude :

Le choix de la Casbah d'Alger comme terrain de recherche est motivé par plusieurs considérations complémentaires et scientifiquement fondées :

- Sa valeur historique et culturelle universelle, consacrée par son inscription au patrimoine mondial de l'UNESCO en 1992, en fait un cas d'étude d'une pertinence internationale indiscutable.
- Son tissu urbain hybride — synthèse entre l'architecture islamique, les héritages ottoman et berbère, et les interventions coloniales françaises — lui confère une complexité architecturale singulière qui enrichit l'intérêt scientifique de toute approche analytique.
- La Casbah connaît une dégradation urbaine accélérée résultant de la négligence institutionnelle, de la vétusté du bâti historique et des pressions environnementales et anthropiques, ce qui en fait un cas urgent et représentatif des enjeux patrimoniaux des villes du Sud.
- La diversité et la richesse des données historiques, cartographiques et architecturales disponibles — plans ottomans, relevés coloniaux, rapports du PPSMVSS — constituent une ressource documentaire fondamentale, exploitable pour la constitution et l'alimentation de la base de données intelligente.

► L'absence quasi totale d'études antérieures croisant intelligence artificielle et patrimoine urbain à l'échelle algérienne confère à ce terrain un caractère pionnier et une contribution scientifique originale.

7. Difficultés de la recherche :

La conduite de cette recherche a été confrontée à plusieurs ordres de difficultés, inhérentes à la nature interdisciplinaire du sujet et aux spécificités du terrain :

7.1 Difficultés techniques :

L'insuffisance de données numériques prêtes à l'emploi constitue un obstacle majeur. Les sources sont largement dispersées entre documents papier, archives institutionnelles et fonds photographiques non numérisés. L'unification de ces données hétérogènes au sein d'une base structurée représente en soi un défi méthodologique de premier ordre.

7.2 Difficultés de terrain :

La configuration spatiale de la Casbah — étroitesse des ruelles, pentes prononcées, densité du tissu bâti et complexité du parcellaire — rend l'accès aux bâtiments difficile, voire impossible dans certaines zones, limitant les possibilités de relevés directs et de collecte de données in situ.

7.3 Difficultés scientifiques :

La rareté des études antérieures à l'intersection de l'intelligence artificielle et du patrimoine urbain à l'échelle nationale algérienne a rendu difficile l'établissement d'un état de l'art local solide. La recherche a dû s'appuyer principalement sur des références internationales, dont la transposabilité au contexte algérien n'est pas toujours directe.

7.4 Difficultés administratives et institutionnelles :

La dispersion des données patrimoniales entre plusieurs institutions — ministère de la Culture et des Arts, Office de Gestion et d'Exploitation des Biens Culturels (OGEBEC), Direction de l'urbanisme et de la construction, municipalité d'Alger et centres de recherche spécialisés — a complexifié l'accès aux sources primaires et a mis en évidence l'un des problèmes structurels que cette recherche vise précisément à résoudre.

7.5 Limites de l'étude:

CHAPITRE INTRODUCTIF

Au-delà des difficultés de collecte, cette recherche comporte des limites méthodologiques qu'il convient de signaler.

- Données anciennes : Les chiffres (RGPH 1998, CNERU 2007) datent de plus de 15 ans. Faute de mises à jour, ils ne reflètent qu'imparfaitement la réalité actuelle.

- Modèles d'IA simplifiés : Le prototype est une « preuve de concept ». Le Random Forest est simulé par une fonction heuristique, faute de données d'entraînement. L'analyse d'images utilise Mobile Net (modèle générique), non spécialisé dans les pathologies du bâti ancien. Le LSTM n'a pas été implémenté par absence de séries temporelles.

- Prototype non opérationnel : L'envoi réel d'emails n'est pas activé ; les alertes sont seulement stockées. Le système reste une démonstration de faisabilité

Ces limites ne remettent pas en cause la démonstration mais doivent être prises en compte pour interpréter les résultats.

8. Méthodologie adoptée:

Cette recherche mobilise trois approches méthodologiques complémentaires, articulées de manière séquentielle.

8.1 Approche descriptive et analytique:

Elle sert à caractériser le tissu urbain de la Casbah : morphologie, densité, état du bâti, pressions urbaines. Les sources principales sont le PPSMVSS, les études du CNERU (2007), les rapports UNESCO et les recensements RGPH (1998). Cette étape fournit les données structurelles de la zone d'étude.

8.2 Approche historique :

Elle reconstitue l'évolution de la Casbah depuis l'époque préromaine jusqu'à nos jours, en s'appuyant sur les archives, les travaux de Gsell, Deluz, et les rapports UNESCO. Elle éclaire les transformations morphologiques et fonctionnelles du tissu ancien, nécessaires à la compréhension des vulnérabilités actuelles.

8.3 Approche appliquée et expérimentale (cœur du travail) :

CHAPITRE INTRODUCTIF

Elle consiste à concevoir et à développer un prototype de base de données spatiale intégrant des outils d'intelligence artificielle. Ce prototype constitue une preuve de concept (proof of concept) académique, adaptée aux contraintes de temps et de données disponibles.

8.3.1 Technologies effectivement utilisées :

Tableau 2: Technologies effectivement utilisées

Composant	Technologie / Outil	Rôle
Base de données	Supa base (PostgreSQL)	Stockage et API REST
Carte interactive	Leaflet + Open Street Map	Visualisation géographique
Frontend	React + Type Script + Tailwind CSS	Interface utilisateur (arabe, RTL)
Analyse d'images	TensorFlow.js + Mobile Net	Classification générique (CNN pré-entraînée)
Prédiction du risque	Fonction heuristique (simulation d'un Random Forest)	Démonstration de l'approche
Alertes	Table alerts dans Supabase	Stockage des notifications

8.3.2 Limites assumées du prototype :

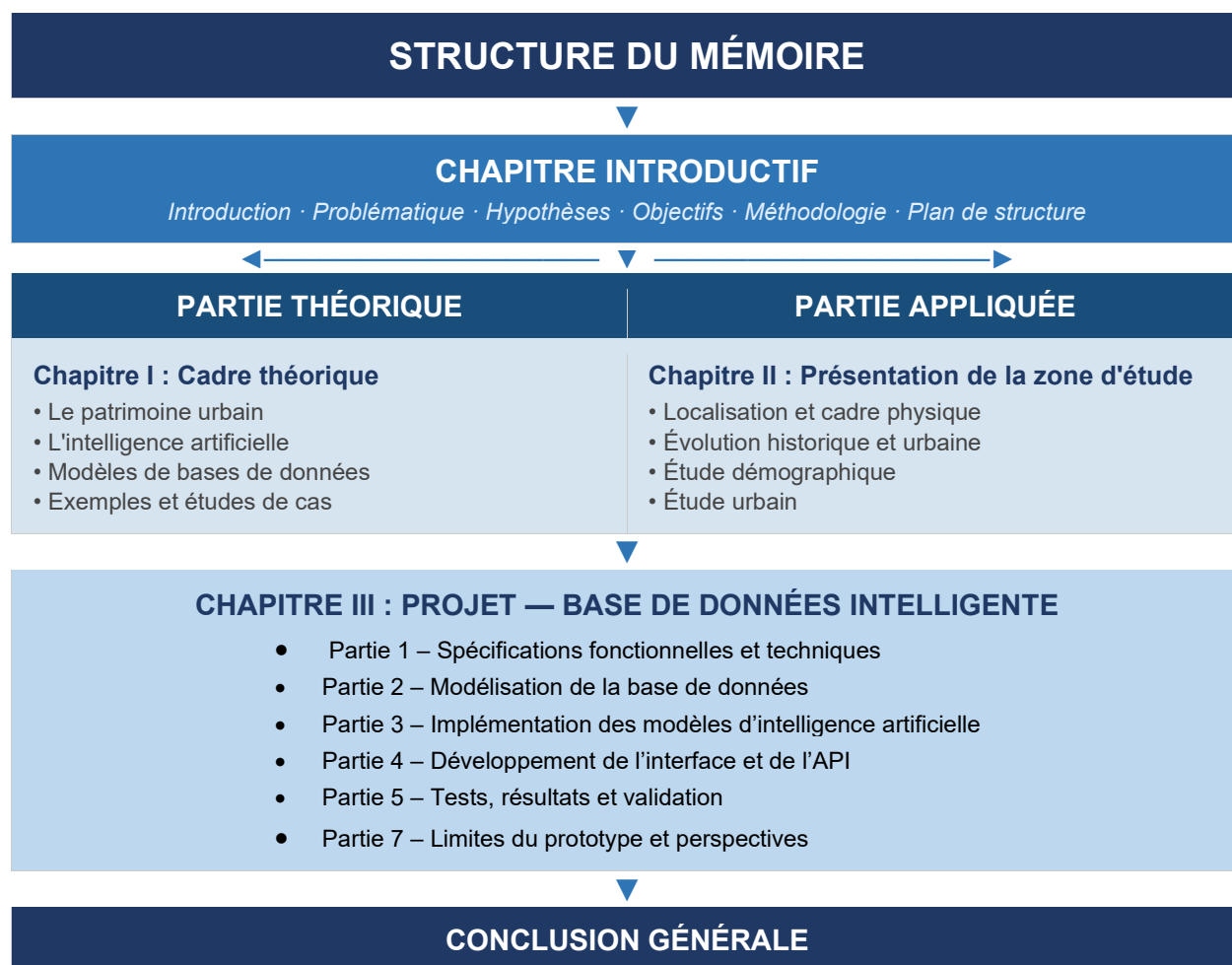
- Le modèle Random Forest n'est pas entraîné sur des données locales ; il est simulé par une fonction linéaire simple (basé sur l'âge, la densité et l'état connu).
- L'analyse d'images utilise un modèle générique (MobileNet) non spécialisé dans les pathologies du bâti ancien.
- Les réseaux LSTM (prédiction temporelle) ne sont pas implémentés (absence de séries temporelles).
- L'envoi réel d'emails n'est pas activé ; les alertes sont seulement stockées dans la base.

9. Plan de structure du mémoire :

CHAPITRE INTRODUCTIF

Afin de répondre aux questions de recherche et de vérifier les hypothèses formulées, le présent mémoire est structuré en trois parties principales, précédées d'un chapitre introductif :

Figure 1 : Schéma de structure du mémoire



Synthèse du chapitre introductif

Le présent chapitre introductif a posé les fondements de la recherche en exposant la problématique centrale — la dégradation du patrimoine de la Casbah d'Alger face aux défaillances institutionnelles de coordination — ainsi que les deux hypothèses qui la structurent (H1 : absence de coordination, H2 : non-application des lois). Les objectifs de l'étude ont été définis en correspondance directe avec chaque hypothèse, la méthodologie adoptée a été justifiée, et le plan de structure du mémoire a été présenté. Ce cadrage initial conduit naturellement au Chapitre I, consacré aux fondements théoriques et conceptuels de la recherche: patrimoine urbain, intelligence artificielle et modèles de bases de données patrimoniales.

CHAPITRE I

Cadre théorique et études antérieures

Introduction du chapitre

Ce chapitre pose les fondements théoriques et conceptuels sur lesquels s'appuie l'ensemble de la recherche. Il est structuré en trois parties complémentaires : la première traite du patrimoine urbain, de ses définitions, classifications, cadres juridiques et instruments de protection propres au contexte algérien ; la deuxième présente les concepts de l'intelligence artificielle et les outils numériques de documentation patrimoniale ; la troisième expose un exemple de référence internationale illustrant la convergence entre ces deux champs disciplinaires.

PARTIE 1 — Le patrimoine urbain

1. Définition du patrimoine urbain

1.1 Définitions génériques:

La notion de patrimoine a été forgée au carrefour de plusieurs disciplines. Trois acceptions complémentaires en permettent la compréhension :

- ▶ Sens étymologique et lexical : « Bien d'héritage qui descend suivant les lois, des pères et des mères aux enfants » (E. Littré). Le terme est ancré dans les structures familiales, économiques et juridiques d'une société stable ; il a été progressivement élargi par divers adjectifs (génétique, naturel, historique, etc.).
- ▶ Sens juridique : Le patrimoine désigne l'ensemble des biens d'une personne physique ou morale, incluant droits, actions et obligations. Au décès, cet ensemble prend le nom d'« héritage » ou de « masse successorale ».
- ▶ Sens économique : Le patrimoine représente les biens susceptibles d'être valorisés ou cédés ; il inclut actifs (biens) et passifs (dettes et obligations).

"Source: Cours 01: Notions sur le patrimoine — Nacre Mohamed Rédha, Module: Patrimoine urbain et architectural."

1.2 Définition académique — UNESCO (2011):

La Recommandation de l'UNESCO (2011) propose la définition de référence la plus opérationnelle :

« Le territoire urbain conçu comme la résultante d'une stratification historique de valeurs et d'attributs culturels et naturels, dépassant les notions de 'centre historique' pour inclure le contexte urbain plus large ainsi que son environnement géographique. Ce contexte comprend la topographie, la géomorphologie, l'hydrologie, l'environnement bâti historique et contemporain, les infrastructures, les espaces verts, les plans d'occupation des sols, les perceptions visuelles, ainsi que les pratiques sociales et culturelles, les processus économiques et les dimensions immatérielles du patrimoine. »

"Source: UNESCO, Recommandation concernant le paysage urbain historique, 10 novembre 2011, articles 4 et 5."

1.3 Définition selon Roders (2019):

CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures

La chercheuse Ana Pereira Roders propose une définition socialement ancrée et tournée vers le développement durable :

« Le patrimoine urbain est une construction sociale, un ensemble de ressources dans les contextes urbains que les communautés partagent et considèrent comme précieuses. Il peut être classé selon divers statuts juridiques et peut désigner une variété de ressources : matérielles, immatérielles, mobilières, immobilières, naturelles, culturelles, numériques ou analogiques. »

"Source: Roders, A.P. (2019). « Urban Heritage ». In The Wiley Blackwell Encyclopédica of Urban and Regional Studios. Wiley Blackwell."

2. Éléments constitutifs du patrimoine urbain :

Conformément à l'article 8 de la Recommandation UNESCO (2011), le patrimoine urbain se compose de cinq grandes catégories :

Tableau 3 : les éléments constitutifs du patrimoine urbain

N°	Catégorie	Éléments constitutifs
1	Environnement naturel et géographique	Topographie · Géomorphologie · Hydrologie · Caractéristiques naturelles
2	Environnement bâti	Patrimoine bâti historique · Patrimoine bâti contemporain · Infrastructures
3	Espaces et structures urbaines	Espaces verts · Plans d'occupation des sols · Organisation spatiale
4	Perceptions et relations visuelles	Rapports visuels · Perceptions paysagères
5	Dimensions immatérielles	Pratiques sociales et culturelles · Valeurs d'identité · Processus économiques
Source : UNESCO, Recommandation concernant le paysage urbain historique, 10 novembre 2011, article 8.		

3. Classification du patrimoine urbain:

3.1 Selon la classification UNESCO : culturel et naturel

3.1.1 Patrimoine culturel :

- ▶ Les monuments : œuvres architecturales, de sculpture ou de peinture monumentales, éléments archéologiques, ayant une valeur universelle exceptionnelle.
- ▶ Les ensembles : groupes de constructions qui, par leur architecture, unité ou intégration dans le paysage, ont une valeur universelle exceptionnelle.
- ▶ Les sites : œuvres de l'homme ou œuvres conjuguées de l'homme et de la nature ayant une valeur universelle exceptionnelle du point de vue historique, esthétique, ethnologique ou anthropologique.

3.1.2 Patrimoine naturel :

- ▶ Monuments naturels ayant une valeur universelle exceptionnelle du point de vue esthétique ou scientifique.
- ▶ Formations géologiques constituant l'habitat d'espèces menacées.
- ▶ Sites naturels strictement délimités ayant une valeur universelle exceptionnelle.

Tableau 4:classification de patrimoine naturel sur le monde

Zone géographique	Naturel	Culturel	Mixte	Total	%
Afrique	33	42	3	78	9 %
États arabes	4	60	1	65	7 %
Asie-Pacifique	48	129	9	182	21 %
Europe & Amérique du Nord	56	375	9	440	50 %
Amérique latine & Caraïbes	35	83	3	121	14 %
TOTAL	176	689	25	890	100 %
Source : Propriétés du patrimoine mondial de l'UNESCO — données arrêtées en février 2010.					

3.2 Selon la nature : patrimoine matériel et immatériel

3.2.1 Patrimoine matériel :

Ensemble des réalisations physiques héritées : patrimoine immobilier (ensembles architecturaux, parcs, jardins, petit patrimoine populaire) et patrimoine mobilier (œuvres d'art, meubles, livres, objets de collection).

3.2 .2 Patrimoine immatériel :

- Savoir-faire et connaissances techniques traditionnels.
- Expressions et représentations artistiques ou rituelles.
- Pratiques sociales, rituels et événements festifs collectifs.
- Connaissances relatives à la nature (usages médicaux, pratiques liées à la chasse, à la pêche, etc.).

« Source : Cours 01 : Notions sur le patrimoine — Nacre Mohamed Rédha, Module : Patrimoine urbain et architectural. »

3.3 Selon le niveau de classement :

3.3.1 Patrimoine local ou régional :

Reconnu par une communauté ou un groupe habitant une localité déterminée.

3.3.2 Patrimoine national :

Reconnu comme faisant partie du patrimoine culturel d'un pays dans son ensemble.

3.3.3 Patrimoine mondial :

Monuments, ensembles et sites ayant une valeur universelle exceptionnelle, reconnus par l'UNESCO en vertu de la Convention de Paris (1972).

« Source : Cours 01 : Notions sur le patrimoine — Nacre Mohamed Rédha, Module : Patrimoine urbain et architectural »

4. Types d'intervention dans le tissu urbain historique :

Les interventions sur le patrimoine bâti sont régies par une terminologie scientifique précise. Le tableau suivant en synthétise les principales catégories :

CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures

Tableau 5: les type d'intervention dans le tissu urbain historique

Code	Type	Définition
C1	Restauration	Retour à un état antérieur connu, par réassemblage des matériaux existants. Exige des preuves documentaires.
C2	Préservation	Maintien de l'état existant ; intervention minimale visant à stopper la dégradation.
C3	Conservation	Concept générique englobant toutes les mesures visant à prolonger la durée de vie du patrimoine.
C4	Adaptation	Modification pour accueillir des usages compatibles ne compromettant pas la signification culturelle.
C5	Réhabilitation	Mise à niveau pour répondre aux normes fonctionnelles contemporaines, en préservant l'authenticité.
C6	Déplacement	Transfert physique hors du site d'origine — option de dernier recours.
C7	Reconstruction	Recréation d'éléments disparus, fondée sur des preuves archéologiques et historiques.
C8	Renouvellement	Transformation impliquant le remplacement ou l'altération substantielle du tissu existant.
Source : Mi Lin & Ivan Nevzgodin (2025) — <i>Journal of Cultural Heritage Management & Sustainable Development</i> .		

5. Cadre juridique relatif à la protection du patrimoine en Algérie :

La protection du patrimoine culturel en Algérie repose sur trois textes fondamentaux :

Tableau 6: les lois du patrimoine en Algérie

Texte	Domaine	Dispositions essentielles
Loi n° 98-04 du 15 juin 1998	Protection du patrimoine culturel	Loi-cadre définissant le patrimoine national. Distingue monuments, sites et ensembles urbains (casbahs, médinas, ksour). Institue le PPSMVSS, la protection pénale (2 à 5 ans + jusqu'à 500 000 DA) et la procédure de classement en 5 phases.
Décret n° 83-684	Tissus urbains anciens	Encadre les opérations de réhabilitation, rénovation et restructuration. Définit 4 modes d'intervention : réhabilitation, rénovation urbaine, restructuration et restauration.

CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures

Décret n° 03-323 du 05/10/2003	Sites archéologiques	Texte d'application de l'art. 30 de la loi 98-04. Instaure la primauté du plan de protection sur le POS. Procédure en 5 phases, incluant une enquête publique de 60 jours.
Décret exécutif n° 05-173 du 9 mai 2005	Secteur Sauvegardé Casbah d'Alger	Crée le périmètre du secteur sauvegardé (105 ha). Fixe les limites géographiques et déclenche les servitudes de protection. Fondement juridique du PPSMVSS.
<i>Source : République Algérienne Démocratique et Populaire — Journaux Officiels correspondants.</i>		

6. Les secteurs sauvegardés en Algérie :

L'article 43 de la loi n° 98-04 définit les secteurs sauvegardés comme : « les ensembles immobiliers urbains ou ruraux tels que les Casbah, Médinas, Ksour, villages et agglomérations traditionnelles caractérisés par leur homogénéité et leur unité architecturale et esthétique, présentant un intérêt historique, architectural, artistique ou traditionnel de nature à en justifier la protection, la restauration, la réhabilitation et la mise en valeur. »

Tableau 7 : les secteurs sauvegardés en Algérie

N°	Wilaya	Secteur sauvegardé	Décret de création
01	Alger	La Casbah d'Alger	N° 05-173 du 09/05/2005
02	Constantine	La vieille ville de Constantine	N° 05-208 du 04/06/2005
03	Ghardaïa	La ville de l'oued M'Zab	N° 05-209 du 04/06/2005
04	Boumerdes	La vieille ville de Dellys	N° 07-276 du 18/09/2007
05	Chlef	La vieille ville de Ténès	N° 07-277 du 18/09/2007
06	Tlemcen	La vieille ville de Tlemcen	N° 09-403 du 29/11/2009
07	Tizi Ouzou	Le vieux village Aït El Kaïd	N° 09-405 du 29/11/2009
08	Mila	La vieille ville de Mila	N° 09-404 du 29/11/2009
09	Béjaïa	La vieille ville de Béjaïa	N° 13-187 du 06/05/2013
10	Annaba	La vieille ville d'Annaba	N° 13-186 du 06/05/2013
11	Oran	La vieille ville de Sidi El Houari	N° 15-13 du 22/01/2015
12	Adrar	Vieux ksar de Tamentit	N° 16-137 du 24/04/2016
<i>Source : Site web OPVM, 2017 — Données corrigées et complétées d'après les Journaux Officiels de la République Algérienne.</i>			

7. Le PPSMVSS :

7.1 Définition :

Le PPSMVSS est l'outil réglementaire et opérationnel de gestion du patrimoine culturel bâti au sein d'un secteur sauvegardé. Il se substitue de plein droit au Plan d'Occupation des Sols (POS), dont il est plus complet et plus contraignant. Sa finalité est la préservation des valeurs historiques, culturelles et architecturales du secteur, tout en permettant son adaptation aux exigences de la vie contemporaine.

« Source : Décret exécutif n° 03-324 du 5 octobre 2003 — Site web OPVM, 2017. »

7.2 Objectifs :

- Fixer les règles générales et les servitudes d'utilisation des sols.
- Fixer les conditions architecturales assurant la conservation des immeubles dans leur cohérence historique et esthétique.
- Édicter les mesures particulières de protection des biens culturels classés ou en instance de classement.

« Source : Décret exécutif n° 03-324 du 5 octobre 2003 — Site web OPVM, 2017. »

7.3 Phases d'élaboration :

Tableau 8 : les phases d'élaboration de PPSMVSS

Phase	Intitulé	Contenu
01	Diagnostic et mesures d'urgence	État des lieux du tissu bâti et des réseaux ; identification des urgences ; premières mesures conservatoires.
02	Analyse historique et avant-projet	Étude historique et typologique ; levés topographiques ; élaboration de l'avant-projet.
03	Rédaction finale	Finalisation du règlement et des documents graphiques ; enquête publique et approbation.
Source : Décret exécutif n° 03-324 du 5 octobre 2003 — Site web OPVM, 2017.		

7.4 Contenu :

- Un rapport de présentation : état actuel des valeurs architecturales, urbaines et sociales du secteur sauvegardé.

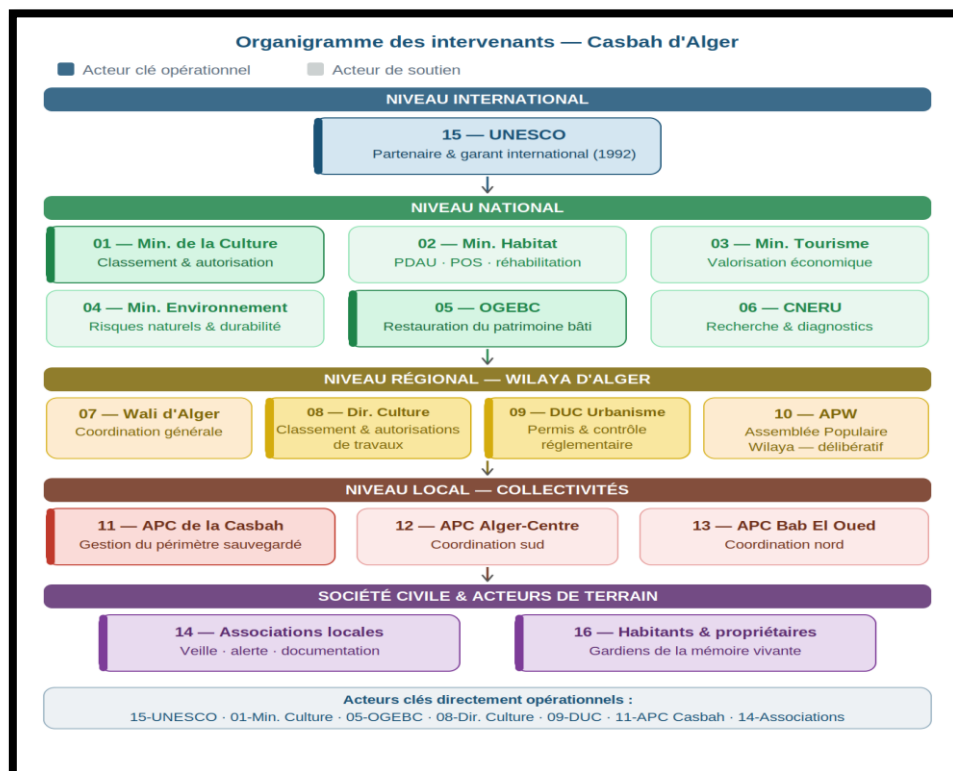
CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures

- Un règlement : règles générales d'utilisation des sols, servitudes et dispositions relatives aux certificats d'urbanisme.
- Des documents graphiques : plans à l'échelle 1/2 000–1/5 000 (situation) et 1/500–1/1 000 (levé topographique).

« Source : Décret exécutif n° 03-324 du 5 octobre 2003 — Site web OPVM, 2017. »

8. Cadre institutionnel de la protection du patrimoine urbain en Algérie :

Figure 2: organigramme des intervenants sur la casbah d'Alger



Source : Réalisation personnelle (2026)

❖ Analyse :

Ce schéma montre que la protection de la Casbah repose sur une chaîne d'acteurs allant du global (UNESCO) jusqu'au local (habitants). La complexité de cette chaîne explique le besoin de coordination – c'est exactement le problème que le projet de base de données intelligente

CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures

(chapitre III) cherche à résoudre (hypothèse H1). Les acteurs clés directement opérationnels sont mis en évidence (UNESCO, Ministère de la Culture, OGEBEC, Direction de la Culture, DUC, APC Casbah, associations), ce qui permet de cibler les échanges prioritaires.

La protection du patrimoine urbain en Algérie repose sur une répartition des responsabilités entre quatre acteurs institutionnels complémentaires, conformément à la loi n° 98-04 :

8.1 Le ministère de la Culture et des Arts:

Autorité centrale en matière de classement des biens culturels et de protection juridique. Il supervise les travaux de restauration, élabore les normes scientifiques, délivre les autorisations d'intervention sur les bâtiments classés, et émet un avis obligatoire sur tout projet d'aménagement touchant aux zones patrimoniales.

8.2 Le ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville:

Élabore les instruments d'urbanisme (PDAU, POS) en tenant compte des zones protégées. Supervise les programmes de réhabilitation des quartiers anciens et contrôle les opérations de construction dans les zones patrimoniales.

8.3 Le ministère du Tourisme et de l'Artisanat:

Valorise économiquement le patrimoine en l'inscrivant dans les circuits touristiques culturels durables. Ses efforts sont renforcés par des conventions de coopération intersectorielle (notamment avec le ministère de l'Environnement, janvier 2021).

8.4 Les associations locales et la société civile:

Jouent un rôle essentiel de veille, d'alerte précoce, de sensibilisation communautaire, de documentation de terrain et de médiation entre les habitants et les institutions officielles. L'approche participative adoptée dans les décisions de classement de 2025 témoigne de leur reconnaissance institutionnelle croissante.

Source : Loi n° 98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel — Journaux Officiels de la République Algérienne.

PARTIE 2 — L'intelligence artificielle et la documentation patrimoniale

1. Concept de l'intelligence artificielle:

1.1 Définitions:

Né officiellement lors de la conférence de Dartmouth en 1956, le concept d'intelligence artificielle désigne la capacité de machines à réaliser des tâches nécessitant l'intelligence humaine. Trois définitions de référence en cernent les contours :

Lefebvre & Jean-Claude (2024) : L'IA est un « champ interdisciplinaire » et un « concept valise » désignant la capacité de machines à réaliser des tâches nécessitant l'intelligence humaine, sans que le mécanisme de simulation soit nécessairement identique à celui du cerveau humain.

Source : Lefebvre P. & Jean-Claude (2024) — L'intelligence artificielle en 30 questions. Éditions du Rocher.

OCDE / Union européenne (2019/2021) : « Un système d'intelligence artificielle est un système basé sur une machine qui, pour un ensemble donné d'objectifs définis par l'humain, est capable de produire des prédictions, des recommandations ou des décisions qui influencent des environnements réels ou virtuels. »

Source : OCDE (2019) — Recommandation du Conseil sur l'IA. Union européenne (2021) — Proposition de règlement sur l'intelligence artificielle (AI Act).

Kaplan & Haenlein (2019) : « L'intelligence artificielle peut être définie comme l'ensemble des théories et des techniques mises en œuvre pour créer des machines capables de simuler l'intelligence humaine, dotées de capacités de raisonnement, d'apprentissage et de perception. »

Source : Kaplan A. & Haenlein M. (2019) — Siri, Siri, in my hand: Who will win the voice assistant war? Revue Française de Gestion, 45(281), 11-23.

2. Types de modèles d'IA:

L'IA recouvre plusieurs familles de modèles, organisées selon une hiérarchie allant du plus général au plus spécialisé (IA → Machine Learning → Deep Learning) :

2.1 ► Apprentissage automatique (Machine Learning) :

Branche de l'IA dans laquelle des algorithmes sont entraînés à partir de données pour réaliser des tâches spécifiques. Les deux types principaux sont : la classification (identifier et catégoriser des entités) et la régression (établir des prédictions en modélisant des relations entre variables). Les modèles s'améliorent avec le temps à mesure qu'ils sont exposés à davantage de données.

2.2 ► Apprentissage supervisé :

L'algorithme est entraîné sur des ensembles de données étiquetés créés manuellement. Ces étiquettes guident le modèle et lui permettent de classer précisément les données, puis d'effectuer des prédictions sur des données inconnues.

2.3 ► Apprentissage non supervisé :

Construit des modèles sans données étiquetées ni directive humaine. Les algorithmes reçoivent des données brutes et créent leurs propres règles d'organisation en se basant sur les similitudes et les structures sous-jacentes.

2.4 ► Apprentissage profond (Deep Learning):

Type avancé d'apprentissage automatique qui identifie des modèles complexes à travers de multiples couches de traitement. Structure : couche d'entrée (données brutes), couches cachées (extraction de caractéristiques, abstraction progressive), couche de sortie (prédiction, classification ou décision finale).

"Source: Mendix / Siemens Business — David Brault (2025). Introduction au Deep Learning et aux réseaux de neurones artificiels."

3. Modèles d'IA retenus pour le prototype :

Dans ce mémoire, trois familles de modèles sont évoquées, mais leur mise en œuvre diffère selon les contraintes de temps et de données disponibles :

3.1 CNN (Mobile Net) :

modèle pré-entraîné utilisé tel quel pour l'analyse d'images (classification générique). Il permet une démonstration rapide sans besoin de données d'entraînement locales.

CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures

"Source: "Deep Learning base identification and interpretability research of traditional village heritage value elements : a case study in Hubei Province." Heritage Science, 12, Article number : 200. 2024"

3.2 Random Forest :

simulé par une fonction heuristique simple (faute de données d'entraînement locales suffisantes). Le prototype utilise une formule basée sur l'âge, la densité de population et l'état connu du monument.

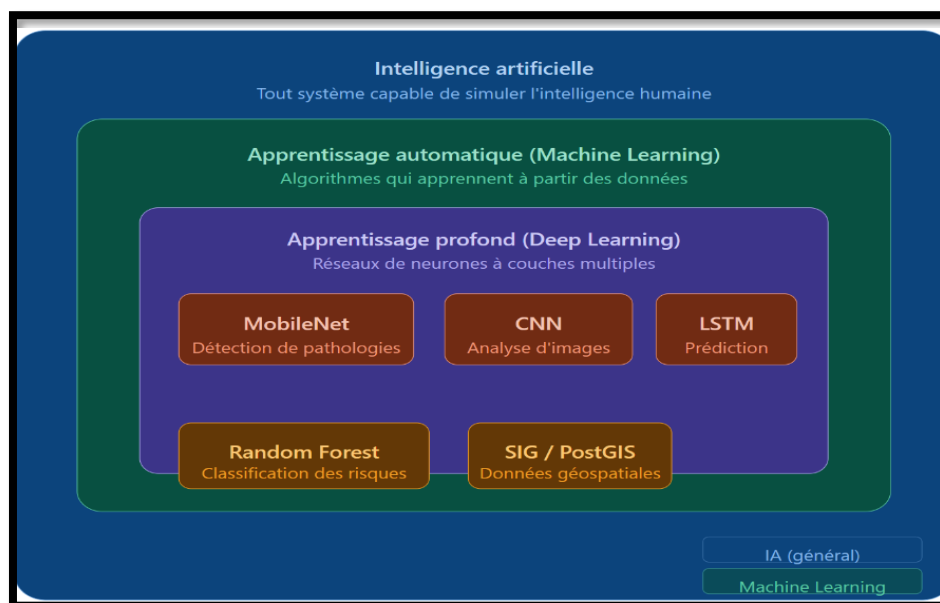
"Source : : Entezami, A. R. et al. (2025). "Residual-informed deep meta regressor for predicting modal frequencies of historical masonry buildings under environmental and operational data scarcity." Mechanical Systems and Signal Processing, 225, 112376."

3.3LSTM :

non implémenté dans ce prototype (absence de séries temporelles de mesures). Son utilisation est proposée en perspective pour prédire l'évolution du risque à moyen terme.

"Source : Giordano, A. et al. (2025). "Data Quality, Semantics, and Classification Features : Assessment and Optimization of Supervised ML-AI Classification Approaches for Historical Heritage." Heritage, 8(7), 265."

Figure 3: Hiérarchie des modèles d'IA utilisés dans ce mémoire.



Source : Réalisation personnelle (2026)

❖ Analyse :

Le schéma montre l'articulation entre l'intelligence artificielle générale, l'apprentissage automatique (Machine Learning) et l'apprentissage profond (Deep Learning). Les modèles

encadrés en couleur sont ceux qui ont été implémentés ou simulés dans le prototype (Chapitre III).

4. Fusion de données et intégration des modèles d'IA :

4.1 Définition et enjeux :

La fusion de données (*data fusion*) désigne le processus d'intégration de données provenant de sources multiples et hétérogènes en vue de produire une représentation unifiée, plus complète et plus fiable que celle qu'offrirait chaque source prise isolément. Appliquée aux systèmes d'intelligence artificielle, elle constitue un maillon essentiel entre la collecte des données brutes et la prise de décision assistée, en permettant aux algorithmes de raisonner sur un environnement plus riche et plus cohérent.

4.2 Niveaux de fusion :

La littérature scientifique distingue trois niveaux d'intégration. La fusion au niveau des données brutes (*data-level fusion*) consiste à combiner directement les données d'origine avant tout traitement — par exemple, superposer des images satellitaires à des relevés LiDAR. La fusion au niveau des caractéristiques (*feature-level fusion*) opère après une première extraction de caractéristiques par chaque modèle, puis les concatène dans un vecteur unifié servant d'entrée à un algorithme commun. La fusion au niveau des décisions (*decision-level fusion*) agrège les sorties de plusieurs modèles indépendants — chacun spécialisé dans une tâche — pour formuler une décision finale plus robuste.

4.3 Application au patrimoine urbain :

Dans le contexte de la documentation et de la conservation du patrimoine bâti, la fusion de données prend une dimension particulièrement stratégique. Les systèmes patrimoniaux gèrent en effet des sources profondément hétérogènes : photographies géoréférencées, nuages de points LiDAR, plans cadastraux, archives textuelles, données d'inspection structurelle et métadonnées administratives. L'intégration de ces flux au sein d'un système unifié reposant sur l'IA — tel qu'un HBIM enrichi ou un SIG sémantique — permet d'obtenir une vue synthétique de l'état du patrimoine, d'identifier les zones de vulnérabilité prioritaires et de déclencher des alertes automatisées en cas de dégradation détectée.

4.4 Pertinence pour la présente recherche :

CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures

Le système proposé pour la Casbah d'Alger repose précisément sur ce principe de fusion : les données géographiques (SIG), les maquettes numériques (HBIM), les rapports d'expertise et les archives institutionnelles y sont intégrés dans une base de données unique, où des algorithmes d'apprentissage automatique assurent la mise à jour continue, la détection des anomalies et l'aide à la décision. Cette approche répond directement à la problématique du cloisonnement institutionnel en transformant des données fragmentées et dispersées en une connaissance partagée et actionnable.

"Source : Castanedo F. (2013) — A Review of Data Fusion Techniques. The Scientific World Journal, vol. 2013, Article ID 704504. DOI : 10.1155/2013/704504 — Khaleghi B. et al. (2013) — Multisensor Data Fusion : A Review of the State-of-the-Art. Information Fusion, 14(1), pp. 28–44. DOI : 10.1016/j.inffus.2011.08.001 "

5. Techniques de numérisation et de documentation 3D:

Tableau 9 : les techniques de numérisation et de documentation 3D

Technique	Principe	Avantages	Limites / Applications
Lumière structurée	Projection d'un motif lumineux + capture de la déformation par caméra	Vitesse élevée, précision élevée, capture simultanée du champ	Sensible aux surfaces réfléchissantes — Idéale pour la numérisation rapide du patrimoine
Triangulation laser	Mesure optique sans contact (propriété de similarité des triangles)	Deux types (direct/oblique) adaptés à différentes rugosités	Surfaces de petite à moyenne taille — Éléments architecturaux de détail
Photogrammétrie numérique	Analyse d'images 2D pour dériver des informations 3D	Accessible, peu coûteuse, applicable par drone	Précision moindre sur surfaces uniformes — Relevé architectural et aérien
MMT / CMM	Déplacement mécanique d'un palpeur pour mesurer les coordonnées	Haute précision, mesures automatisées, intégration CAO/FAO	Limité à des objets de taille réduite — Industrie manufacturière

Source : Onyia et al. (2025) — Comprehensive Review of 3D Scanning Technologies for Heritage Applications. Journal of Cultural Heritage.

6. Modèles de bases de données pour le patrimoine urbain :

6.1 SIG — Système d'Information Géographique:

Le SIG est un ensemble d'outils informatiques permettant de collecter, archiver, gérer, analyser et afficher des données géographiques et descriptives. Il enregistre la géométrie et la localisation des entités du monde réel dans des couches cartographiques numériques. Appliqué au patrimoine, le SIG permet de : créer des inventaires géoréférencés des sites patrimoniaux ; comprendre les relations spatiales entre le patrimoine et son environnement ; tester des stratégies de conservation ; et faciliter le suivi longitudinal des sites.

"Source: Box P. (1999) — GIS and Cultural Resource Management: A Manual for Heritage Managers. UNESCO, Paris."

6.2 HBIM — Heritage Building Information Modeling :

Le HBIM est une « copie numérique intelligente » du bâtiment patrimonial. Contrairement à la modélisation traditionnelle limitée à la forme géométrique, le HBIM intègre dans un modèle unique cinq types d'informations : données géométriques (maquettes 3D précises), données historiques (date de construction, phases de modification), données matérielles (type de pierre, techniques d'origine), données sur l'état actuel (fissures, dégradations, travaux antérieurs), et données administratives (plans de maintenance, priorités, coûts).

"Source : Siewczynski B. & Szot J. (2024) — BIM goals and uses in the management, maintenance, and préservation of historico buildings. 02/06/2024."

6.3 SEH-SDB — Semantically Enriched Historical Spatial Data base:

Développé à l'Université King Abdulaziz (Al-Attar & Al-Shaery) pour la gestion du patrimoine de Djeddah Historique (UNESCO), ce modèle étend la norme CityGML et intègre quatre packages sémantiques : Package architectural (décomposition des éléments structurels), Package des matériaux (propriétés et état de dégradation), Package historique (lien entre éléments spatiaux, dimensions temporelles et événements), Package social (usages humains et fonctions sociales des bâtiments).

"Source : Al-Attar M. & Al-Shaery A. — Université King Abdulaziz. Commission Saoudienne pour le Tourisme et le Patrimoine National — Programme Djeddah Historique."

6.4 ICHC — Intelligent Cultural Heritage of a City:

Développé par le Dr Sergio Di Luca et le Dr Antonella Valtieri (CNR, Italie), ce modèle mobilise le Big Data et l'IA pour gérer la complexité des données patrimoniales hétérogènes. Ses caractéristiques techniques : Base de données NoSQL (MongoDB) pour le stockage flexible de données non structurées, Architecture de micro-services pour la maintenance et l'évolutivité, Format ICHD (JSON) pour la représentation complète des entités patrimoniales, et intégration des connaissances humaines reliée aux éléments patrimoniaux.

"Source: Di Luca S. & Valtieri A. — CNR, Universités de Salerne et de Naples Frédéric-II."

6.5 Urban Onto / HOUSE — Ontologie Historique des Espaces Urbains:

Développés par le Dr Michela Spagnoli (CNR-ISTI) et le Dr Francesco Berardi (Université de Bologne) dans le cadre des projets européens PARTHENOS et ARIADNE, ces modèles ontologiques s'appuient sur la norme CIDOC CRM (ISO 21127:2014). HOUSE se concentre sur les concepts fondamentaux des villes historiques avec une représentation précise de l'évolution temporelle. Urban Onto constitue une extension de HOUSE, ajoutant des couches de relations sociales et économiques et permettant la comparaison entre villes et périodes historiques.

"Source: Spagnoli M. (CNR-ISTI) & Berardi F. (Université de Bologne) — Projets européens PARTHENOS et ARIADNE. Norme CIDOC CRM (ISO 21127 :2014)."

PARTIE 3 — Exemple de référence : Projet de documentation du patrimoine d'Alep

L'étude d'un projet de référence internationale illustrant la convergence entre intelligence artificielle, SIG et conservation du patrimoine urbain permet d'ancrer les hypothèses de cette recherche dans une réalité opérationnelle éprouvée.

1. Présentation du projet:

Le projet « Documentation et évaluation du patrimoine architectural d'Alep » (2017–2020) est une initiative internationale visant à documenter les bâtiments patrimoniaux d'Alep (Syrie) et à évaluer leur état à l'issue du conflit armé, en mobilisant des techniques numériques avancées pour la définition des priorités d'intervention.

1.1 Porteur du projet:

L'initiative est portée par la Fondation Gerda Henkel (Allemagne), fondation à but non lucratif soutenant des projets dans les domaines de la culture et des sciences. Le projet s'est déroulé de juillet 2017 à juillet 2020.

1.2 Institutions partenaires:

- Le Musée d'art islamique de Berlin : collecte et analyse des données patrimoniales.
- L'Institut archéologique allemand (DAI) : appui technique et scientifique en documentation et évaluation.
- L'Université de Ratisbonne (Regensburg) : développement de modèles tridimensionnels (3D) des bâtiments patrimoniaux.

"Source: Fondation Gerda Henkel (2020) — Rapport final du projet Documentation et évaluation du patrimoine architectural d'Alep, juillet 2017 – juillet 2020."

2. Méthodologie et résultats:

Le projet s'est appuyé sur les SIG pour la collecte et l'analyse des données. Des cartes numériques ont été élaborées pour chaque édifice, intégrant : localisation géographique, caractéristiques architecturales, état de conservation et histoire culturelle.

- Documentation de la mosquée Al-Khusrawiyya : dossier détaillé comprenant des cartes des dommages et une évaluation complète de l'état du bâtiment.
- Gestion des décombres : élaboration de principes directeurs pour la gestion des gravats afin de faciliter les opérations de restauration futures.

Le projet a abouti à une base de données exhaustive, permettant des décisions éclairées sur les opérations de restauration et favorisant la coordination entre institutions locales et internationales.

"Source : Fondation Gerda Henkel (2020) — Rapport final du projet Documentation et évaluation du patrimoine architectural d'Alep, juillet 2017 – juillet 2020."

3. Enseignements transposables à la Casbah d'Alger:

L'analyse de ce projet permet d'identifier quatre enseignements directement applicables au contexte de la Casbah d'Alger :

CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures

Tableau 10: Enseignements transposables à la Casbah d'Alger

Enseignement	Contexte Alep	Application pour la Casbah d'Alger
SIG + documentation 3D intégrés	Cartographie géoréférencée de tous les bâtiments endommagés	Inventaire géoréférencé du tissu bâti avec état de dégradation
Coopération multi-institutionnelle	3 institutions internationales coordonnées	Coordination OGEBC, ministères, municipalité, centres de recherche
Priorisation par données objectives	Cartes des dommages pour définir les urgences	Carte de vulnérabilité dynamique pour prioriser les interventions
Base de données → aide à la décision	BDD → orientations de restauration	BDD intelligente → aide à la décision patrimoniale pour la Casbah
<i>Source : Synthèse de l'auteur, d'après : Fondation Gerda Henkel (2020) ; Box P. (1999) — GIS and Cultural Resource Management, UNESCO.</i>		

4. Limites de la transposition du modèle d'Alep à la Casbah d'Alger :

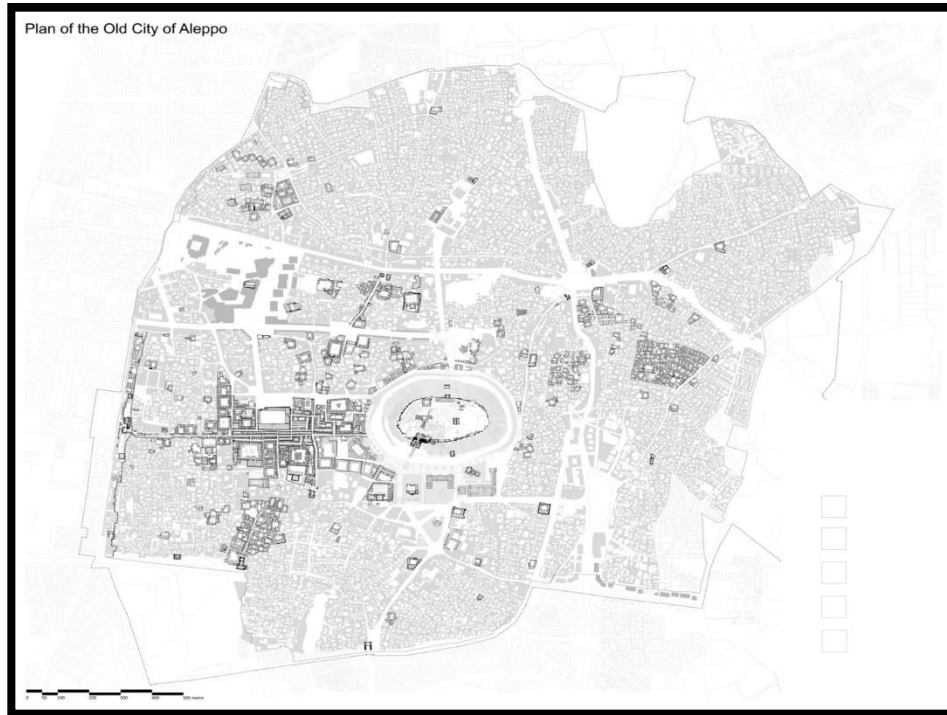
Bien que le projet d'Alep offre des enseignements précieux, sa transposition directe à la Casbah rencontre plusieurs obstacles :

- Contexte : Alep a bénéficié d'une mobilisation internationale d'urgence (Fondation Gerda Henkel, DAI) et d'un financement exceptionnel après le conflit. La Casbah, malgré sa dégradation, ne bénéficie pas d'un tel régime d'urgence.
- Moyens techniques : Alep a utilisé des relevés LiDAR et des photographies aériennes dédiées. Notre prototype s'appuie sur des données existantes (PPSMVSS, CNERU) et des modèles génériques (Mobile Net), faute de moyens équivalents.
- Coordination : Alep a impliqué trois institutions internationales structurées. À Alger, la multiplicité des acteurs (12 entités, voir organigramme §8) complique la coordination.

Ainsi, notre prototype s'inspire de l'approche (SIG + IA) mais l'adapte aux contraintes locales. Cette limite est assumée et discutée dans les perspectives (chapitre III, partie 7).

5. Illustrations du projet de documentation du patrimoine d'Alep :

Figure 4: Plan de la vieille ville d'Alep avant le conflit



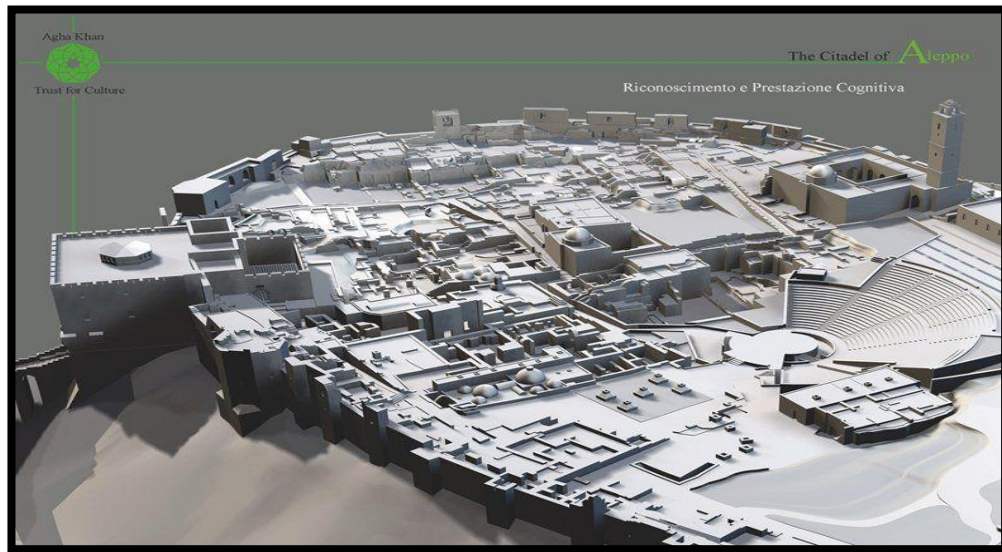
Source : Wessling, C., Zarrin Ghalam, S. (2024). Aleppo Archive in Exile - Plan of the Old City of Aleppo Figure Ground Plan with Available Ground Floor Plans of Buildings 1:1000*. Brandenburg University of Technology Cottbus - Senftenberg / Archnet. [En ligne] Disponible sur : <https://next.archnet.org/publications/15350>

❖ Analyse :

Cette carte schématique localise les principaux quartiers et édifices patrimoniaux d'Alep (citadelle, mosquées, souks). Elle illustre la richesse du tissu urbain ancien, comparable à celui de la Casbah d'Alger. La superposition des couches historiques (ayyoubide, mamelouke, ottomane) en fait un cas d'étude pertinent pour comprendre l'intérêt d'un outil SIG de documentation patrimoniale.

CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures

Figure 5: Vue aérienne ou photographie historique de la Citadelle d'Alep, l'un des monuments les plus emblématiques de la ville.



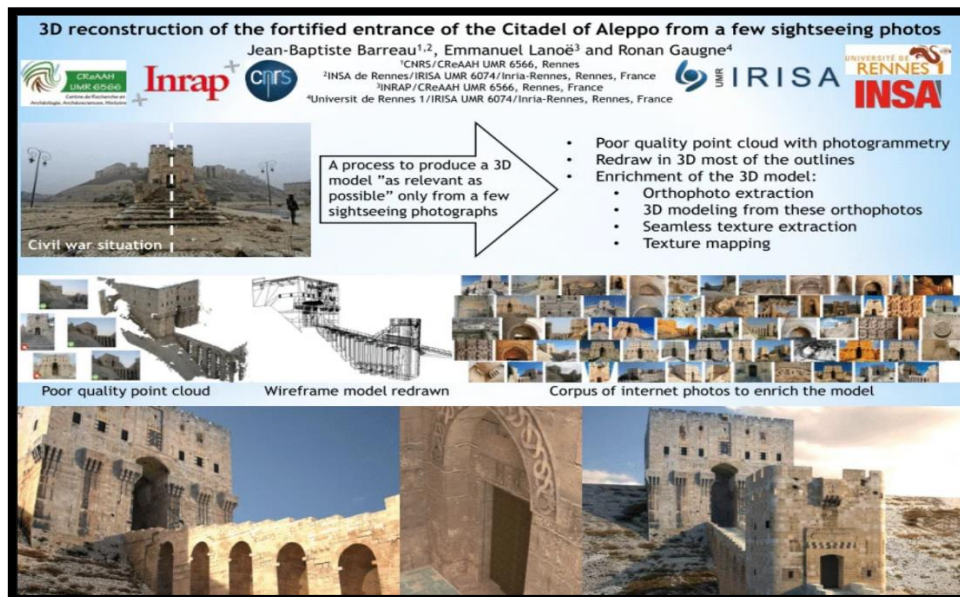
Source : Sellies, F. (1995). *The Citadel of Aleppo, Syria*. Getty Images / Moment Collection. [En ligne] Disponible sur : <https://www.gettyimages.de/detail/nachrichtenfoto/the-citadel-of-aleppo-is-a-large-medieval-fortified-nachrichtenfoto/165993837>

❖ Analyse :

Cette image montre l'un des monuments les plus emblématiques d'Alep, inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO. La Citadelle a subi des dégradations durant le conflit syrien. Sa documentation (photographies, relevés 3D) a été une priorité du projet « Aleppo Built Heritage Documentation ». Cet exemple justifie l'importance d'une base de données centralisée pour suivre l'état de conservation des monuments majeurs, une problématique commune à la Casbah d'Alger.

CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures

Figure 6: Processus de reconstruction 3D de l'entrée fortifiée de la Citadelle d'Alep à partir de photographies touristiques et d'une modélisation par photogrammétrie.



Source : Barreau et al., 2022 / article scientifique)

❖ Analyse :

Ce schéma, issu d'une recherche publiée, décrit la chaîne de traitement pour obtenir un modèle 3D « le plus fidèle possible » à partir de clichés amateurs de faible qualité. On y distingue les étapes : nuage de points brut, maillage filaire, enrichissement par orthophotos, et application de textures. Cette méthodologie montre que même avec des données limitées, les techniques de photogrammétrie et d'IA (texture mapping, reconstruction sémantique) peuvent produire des modèles exploitables. Ces principes rejoignent ceux de notre prototype : exploiter des données existantes (parfois partielles) pour alimenter une base de données intelligente.

Synthèse du chapitre I

Ce premier chapitre a établi le cadre théorique et conceptuel sur lequel repose l'ensemble de la recherche.

La Partie 1 a défini le patrimoine urbain dans ses dimensions étymologique, juridique et académique, exposé les typologies d'intervention, et présenté le dispositif législatif algérien — loi 98-04, PPSMVSS, secteurs sauvegardés — encadrant la protection de la Casbah.

CHAPITRE I : Cadre théorique et études antérieures

La Partie 2 a présenté les fondements de l'intelligence artificielle et les outils de documentation patrimoniale numérique (SIG, HBIM, SEH-SDB, ICHC, Urban Onto/HOUSe), confirmant l'existence d'un arsenal technologique opérationnel.

La Partie 3 a illustré ces possibilités à travers le projet d'Alep (2017-2020), dont les enseignements constituent une feuille de route méthodologique pour le Chapitre III consacré au projet de base de données intelligente pour la Casbah d'Alger.

CHAPITRE II

Présentation de la Zone d'Étude

PARTIE 1— cadre naturel et physique de la zone d'étude

1. Localisation et Situation Géographique :

La zone d'étude correspond au Secteur Sauvegardé de la Casbah d'Alger, tel que délimité par le décret exécutif n° 05-173 du 09 mai 2005. Elle constitue le noyau historique de la ville d'Alger et l'un des sites patrimoniaux les plus emblématiques du bassin méditerranéen.

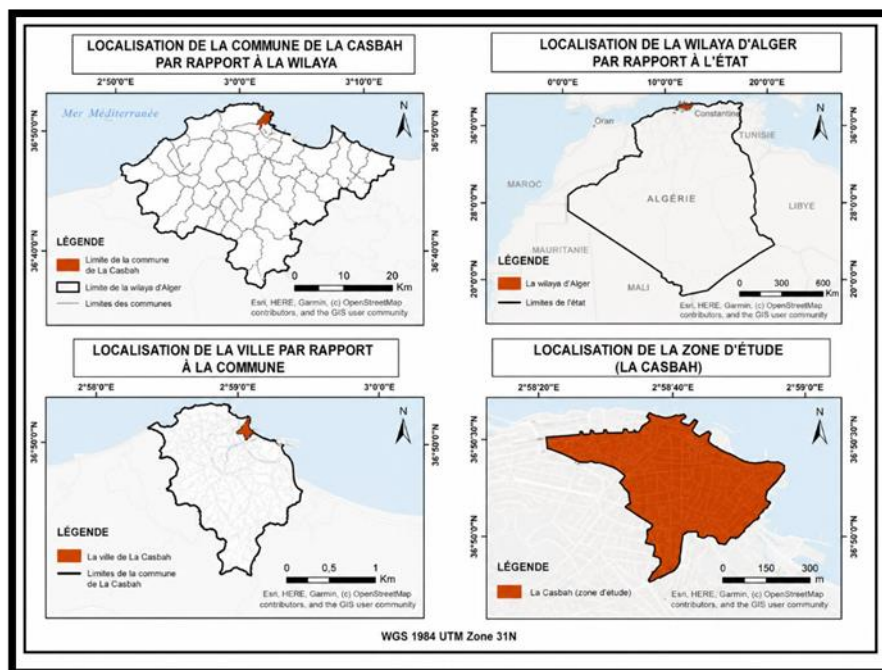
1.1 Situation géographique générale:

La Casbah d'Alger est située dans le nord de l'Algérie, sur la côte méditerranéenne, au cœur de la wilaya d'Alger. Elle occupe un promontoire rocheux sur le flanc est du massif de Bouzaréah, à l'ouest de la baie d'Alger, aux coordonnées approximatives : latitude 36° 47' N, longitude 3° 03' E.

La Casbah s'inscrit dans un triangle topographique dont la base est constituée par le front de mer (Quartier de la Marine), le sommet par la Citadelle (Qasba turque), et les deux côtés par les boulevards Ourida Meddad et Hahad Abderrezzak.

"Source: Décret exécutif n° 05-173 du 09 mai 2005 — PPSMVSS de la Casbah d'Alger"

carte 1: Situation géographique de la Casbah dans le contexte méditerranéen et national (Algérie / wilaya d'Alger / site de la baie).



Source : Réalisation personnelle sous ArcGIS (2026)

❖ Analyse de la carte :

Cette carte en quatre panneaux situe la Casbah d'Alger à différentes échelles emboîtées : en Méditerranée occidentale, sur le territoire algérien (wilaya d'Alger), au sein de la commune de

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

la Casbah, et enfin dans son périmètre d'étude détaillé. Elle montre la position stratégique du site sur un promontoire rocheux bordant la baie d'Alger.

1.2 Limites administratives :

Le périmètre du Secteur Sauvegardé chevauche trois communes :

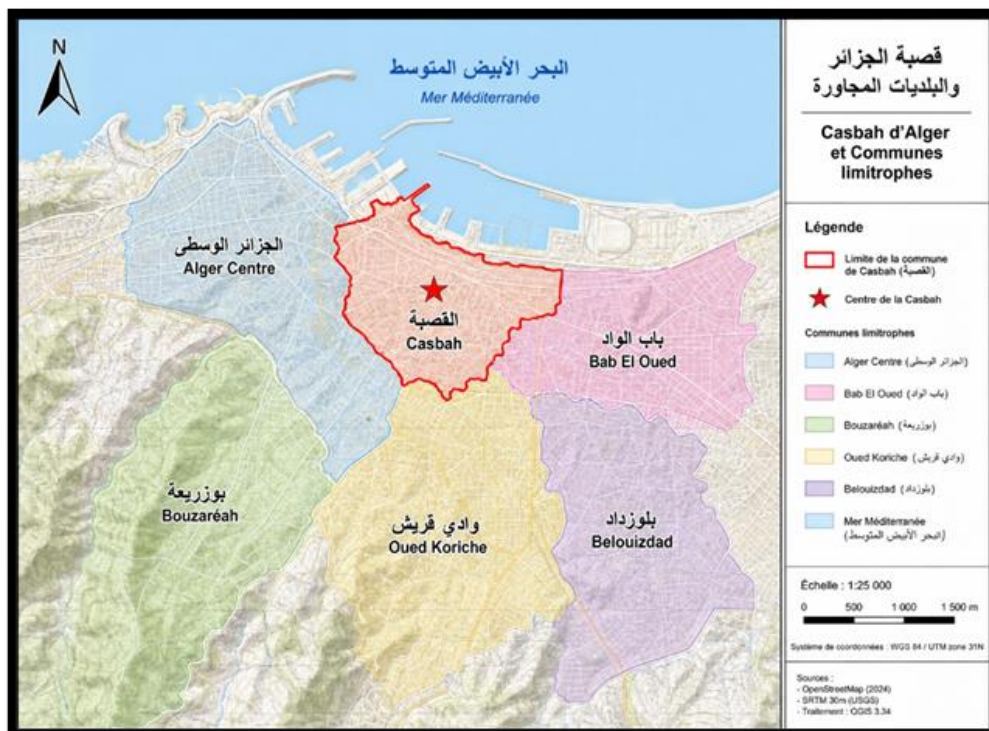
- Commune de la Casbah (partie centrale et haute)
- Commune d'Alger-Centre (partie sud)
- Commune de Bab El Oued (partie nord-ouest)

Tableau 11 Périmètres du Secteur Sauvegardé de la Casbah d'Alger.

Périmètre	Superficie
Noyau classé (périmètre dur protégé)	54,70 ha
Secteur Sauvegardé (zone tampon incluse)	105 ha
Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger — Décret exécutif n° 05-173 / 2005	

La différence correspond à une zone tampon destinée à protéger les abords immédiats de la médina.

carte 2 : Limites administratives du Secteur Sauvegardé et communes limitrophes.



Source : Réalisation personnelle sous ArcGIS (2026)

❖ Analyse de la carte :

La carte représente la commune de la Casbah d'Alger et ses cinq communes voisines. Située au nord, en bordure directe de la mer Méditerranée, la Casbah est délimitée par un contour rouge

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

qui la distingue clairement des autres communes. Elle est entourée par Alger Centre à l'ouest, Bab El Oued à l'est, Bouzaréah au sud-ouest, Oued Koriche au sud, et Belouizdad au sud-est. Le relief visible en arrière-plan montre une topographie en pente, descendant des collines vers la côte. La carte est bilingue (français et arabe), réalisée à l'échelle 1 : 25 000 avec QGIS à partir de données Open Street Map, ce qui en fait un document précis et lisible pour comprendre la position géographique de la Casbah au cœur de la capitale algérienne

1.3 Accessibilité et connexions urbaines :

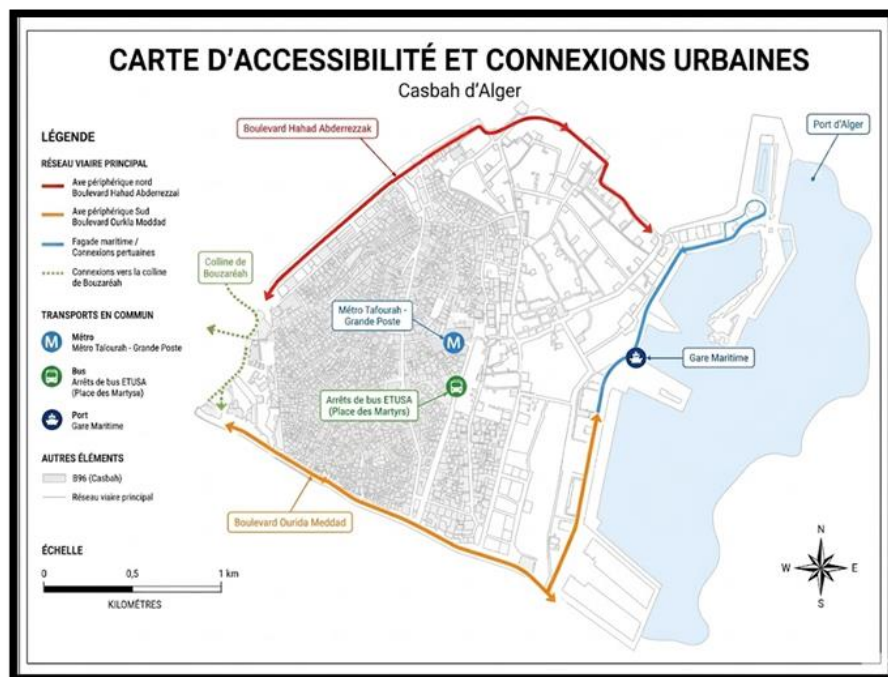
La Casbah est reliée au reste de la ville par les grands axes périphériques suivants :

- Au Nord : Boulevard Hahad Abderrezzak (Bab El Oued)
- Au Sud : Boulevard Ourida Meddad (Alger-Centre)
- À l'Est : front de mer et Port d'Alger
- À l'Ouest : colline de Bouzaréah (accès limité)

L'accessibilité interne reste cependant très difficile pour les véhicules en raison de la trame viaire organique (ruelles inférieures à 2 m, escaliers, impasses). Les transports en commun à proximité comprennent la station de métro Tafourah - Grande Poste (500 m), la gare maritime du port (200 m), ainsi que les arrêts de bus ETUSA desservant la Place des Martyrs, Bab El Oued et la Place Port Saïd.

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

carte 3 : Accessibilité et réseaux de transport autour de la Casbah



Source : Réalisation personnelle sous ArcGIS (2026)

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

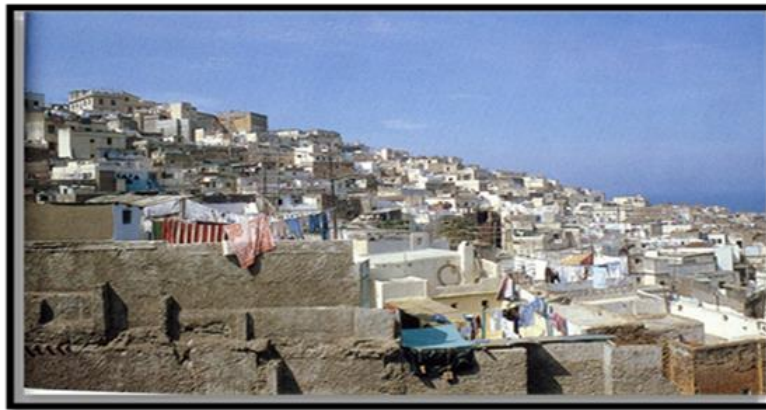
❖ Analyse de la carte :

Cette carte met en évidence l'accessibilité de la Casbah d'Alger par ses deux axes périphériques nord et sud (boulevards Habib Abderrezak et Ourida Meddad), ainsi que par les transports en commun (métro Tafourah, bus ETUSA, gare maritime). Elle montre que si la Casbah est bien reliée aux grandes infrastructures urbaines, son accès interne reste limité, ce qui souligne la nécessité d'outils numériques adaptés pour la documentation et l'intervention sur le terrain.

2. La Géomorphologie :

La Casbah occupe un éperon rocheux du massif de Bouzaréah, en forte déclivité vers la mer. Sa forme générale est triangulaire, avec la Citadelle (120 m) au sommet et le front de mer (20 m) à la base (cf. Image 02-03).

Figure 7 : Vue générale de la Casbah



Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

Figure 8 : limites physique « géomorphologie » image satellitaire



Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

❖ Analyse des figures :

Cette image satellite montre la position générale de la Casbah d'Alger. Elle révèle une forme triangulaire délimitée par la mer Méditerranée à l'est, les boulevards périphériques (Ourida Meddad et Hahad Abderrezzak) et la colline de Bouzaréah à l'ouest. On distingue nettement l'édification des terrasses depuis la Citadelle (point culminant, 120 m) jusqu'au front de mer (Quartier de la Marine, 20 m). Les pentes élevées (jusqu'à 40 % localement) sont visibles, expliquant l'organisation urbaine en ruelles escaliers et l'absence de voies carrossables dans la Haute Casbah. Cette image illustre le lien étroit entre la géomorphologie du site et la structure urbaine historique

2.1 Formes du relief :

Tableau 12 : Formes du relief et leurs implications

Paramètre	Valeur	Implication
Forme générale	Triangulaire	Enceinte naturelle
Pente moyenne	15 %	Terrasses étagées
Pente maximale	40 % (localement)	Risques d'érosion
Altitude maximale	120 m (Citadelle)	Point de contrôle urbain
Altitude minimale	20 m (Marine)	Interface ville-port

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger — Levé topographique capitaine MORIN, 1831

2.2 Un site transformé par l'homme :

La géomorphologie naturelle a été largement artificialisée au fil des siècles : port aménagé, littoral soutenu par des murs de soutènement, plage Kaa Essour en recul par érosion littorale.

2.3 La pente : contrainte devenue atout :

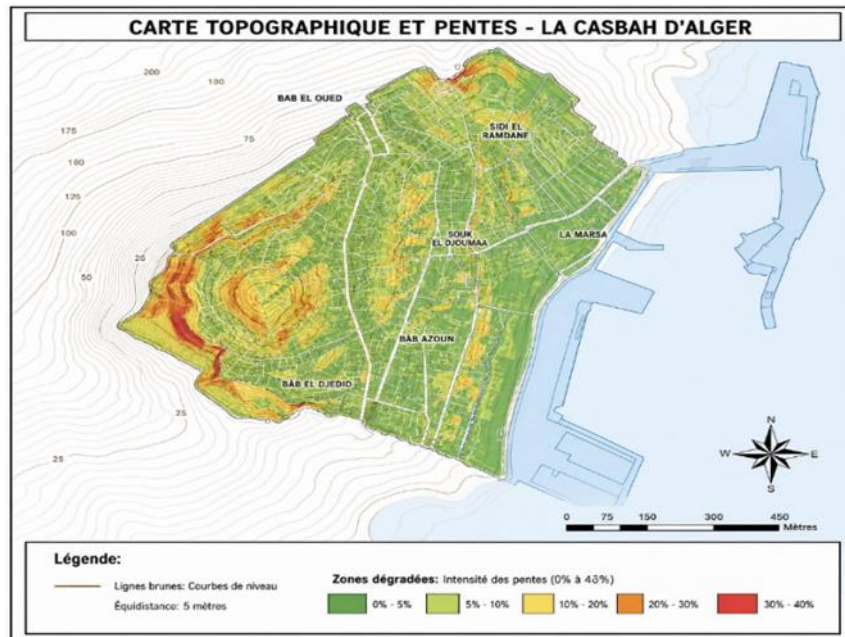
« La forte pente fut exploitée comme élément potentiel pour la réalisation de cette cité. Ainsi, les terrasses s'étagent en escalier jusqu'à la mer sans que l'une ne vienne gêner l'autre. »

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

Cet étagement offre une vue dégagée sur la mer pour chaque habitation ainsi qu'une solidarité structurelle entre les bâtiments qui renforce la résistance sismique de l'ensemble.

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

carte 4 : Topographie et pentes de la Casbah



Source : Réalisation personnelle sous ArcGIS (2026)

❖ Analyse de la carte :

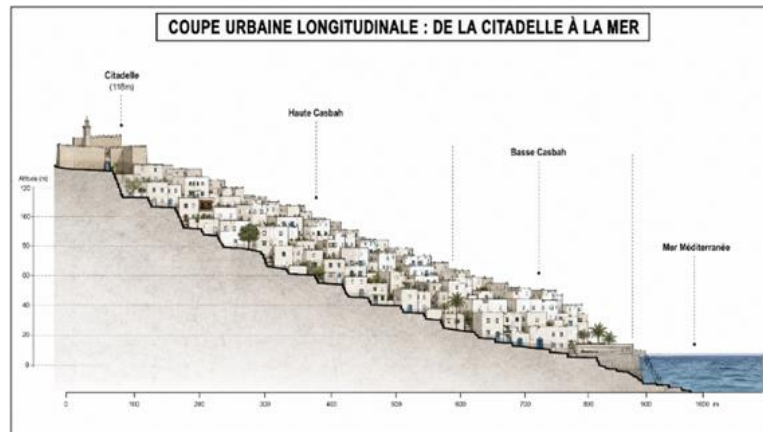
La carte topographique met en évidence la forte déclivité du site (pentes atteignant 40 % localement). Les courbes de niveau espacées de 5 m montrent l'étéagement des terrasses depuis la Citadelle (120 m) jusqu'au front de mer (20 m). Cette configuration a conditionné l'organisation urbaine en ruelles escalier.

2.4 Skyline menacé :

La Casbah forme un skyline exceptionnel — profil en gradins de la Citadelle vers la mer — aujourd'hui dégradé par les surélévations anarchiques et les constructions illicites. Ces profils peuvent être consultés dans le rapport PPSMVSS.

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

Figure 9: Coupe longitudinale Citadelle – Mer Méditerranée



Source : Par l'étudiant chargé de la recherche 2026

❖ Analyse de figure :

La coupe urbaine longitudinale illustre la transition progressive de la Haute Casbah (caractère ottoman dense) vers la Basse Casbah (mixte ottoman-colonial). Le dénivelé total d'environ 100 m sur une distance de 900 m explique la difficulté d'accès et la solidarité structurelle entre bâtiments.

3. La Géologie :

Le site de la Casbah repose sur un substratum rocheux métamorphique (dôme primaire), constitué de schistes bleus à base de calcaire et de micaschistes.

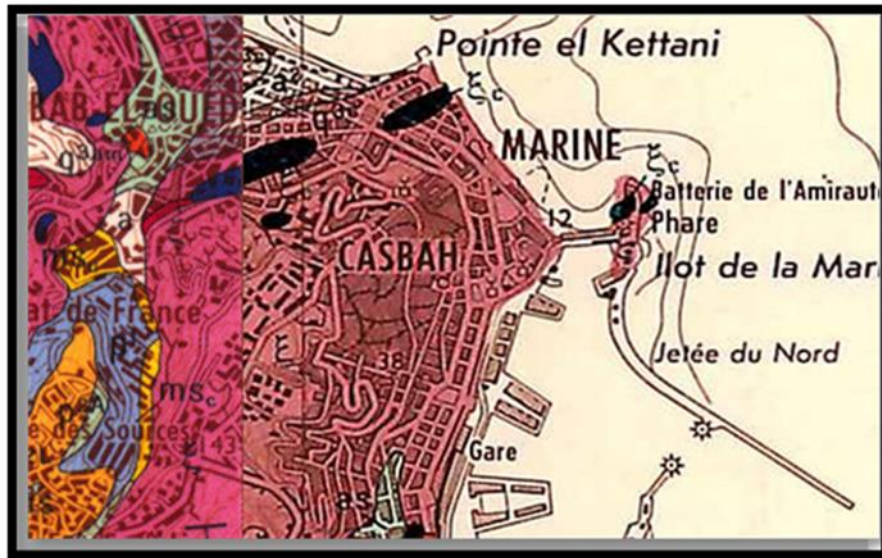
3.1 Faciès géologiques (du plus récent au plus ancien) :

- Sables de la plage Kaa Essour + alluvions récentes : dépôts limoneux dans le fond des vallées
- Micaschistes (ξ) : schistes argileux et phyllades gris, bleuâtres ou noirs — affleurent largement dans la Casbah
- Calcaires de Bouzaréah (ξ_c) : calcaires cristallins à grain fin, bleu ou gris, en lentilles dans les schistes

"Source : Cartes géologiques d'Alger et Chéraga — Rapport PPSMVSS de la Casbah"

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

carte 5: Géologie et géotechnique de la casbah d'Alger



Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

❖ Analyse de la carte :

Le document est très partiel (quelques noms de lieux : Pointe el Kettani, Marine, Batterie de l'Amirauté, Phare, Jetée du Nord, Gare). Il semble représenter la frange littorale nord-est de la Casbah, avec des équipements portuaires, militaires (batterie) et ferroviaires (gare). Cette zone illustre l'interface stratégique entre la Méditerranée et la médina, mais la lisibilité reste limitée faute d'échelle, de légende et de tracé continu.

3.2 Qualités et contraintes géotechniques :

Tableau 13 : *Qualités et contraintes géotechniques du substratum de la Casbah*

Propriété	Évaluation	Implication
Portance du sol	Bonne	Construction possible en zones pentues
Sensibilité à l'eau	Moyenne à forte (zone altérée, 15-20 m)	Drainage indispensable
Fissuration du massif	Présente	Risque d'éboulement
Schistosité	Très développée — orientation Ouest-Est	Instabilité en forte pente

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

3.2 La Tectonique :

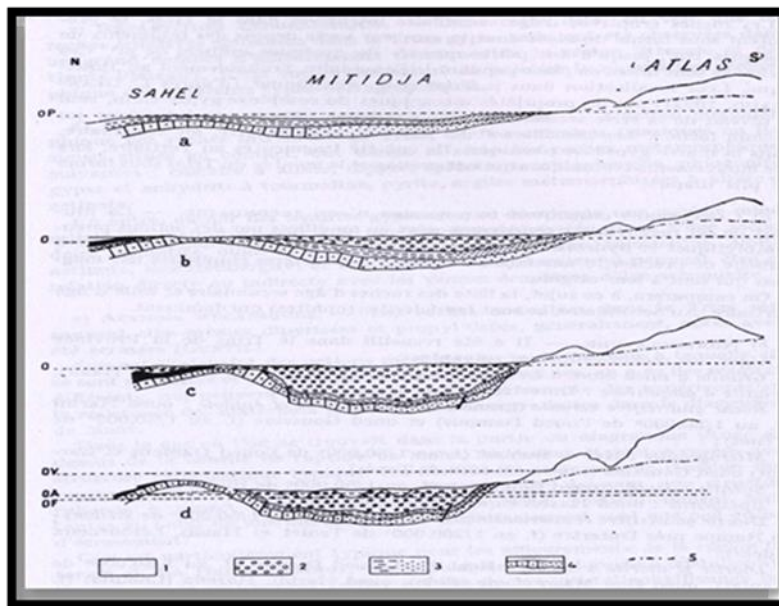
CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

La Casbah se situe dans le massif ancien du Sahel d'Alger. La tectonique mio-pliocène, très jeune et récente, est marquée par de petits plissements, des structures en genou, de petites flexures, des structures de glissement et de petites fractures.

Selon Glangeaud (1955), il existe un lien direct entre les tremblements de terre et les flexures plio-quaternaires qui continuent à se déformer, ce qui explique la sismicité historiquement élevée du site.

Source : Glangeaud L. (1955) — Rapport PPSMVSS de la Casbah d'Alger

Figure 10 : Série de coupes montrant l'évolution du Sahel de la Mitidja pendant le Pliocène et le Quaternaire « d'après Glangeaud (1932) et A. Aymé. ».



Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

❖ Analyse de figure :

Séries de coupes schématisiques illustrant l'évolution tectonique de l'Atlas, du Sahel et de la Mitidja au cours du Pliocène et du Quaternaire. Les lettres (a, b, c, d) indiquent les phases successives de plissement, de fracturation et de mouvements verticaux liés à la sismicité historique de la région (d'après Glangeaud, 1932 et A. Aymé).

4.La Géotechnique :

La Casbah est en majeure partie constituée du socle métamorphique. Les faciès offrent des qualités géotechniques globalement favorables à la construction, mais avec des contraintes spécifiques liées à l'altération superficielle et à la schistosité

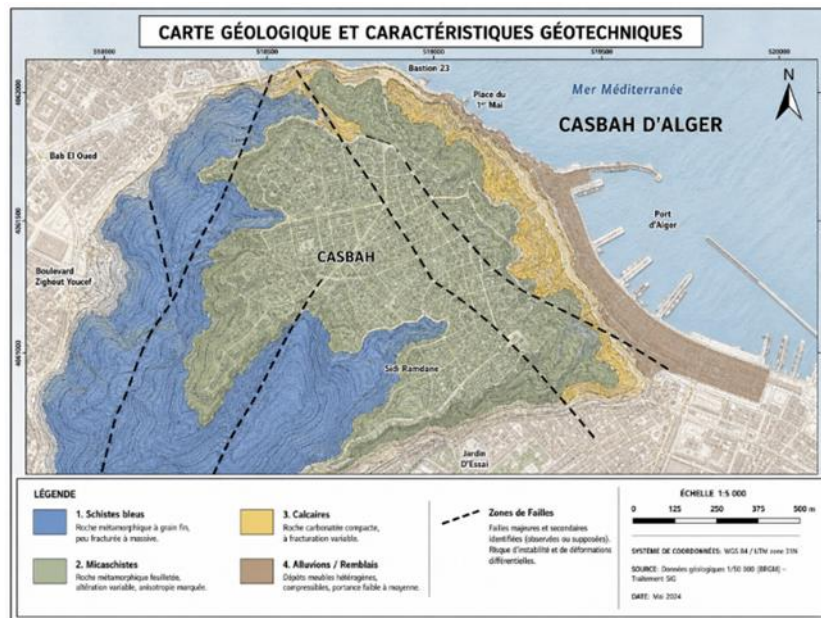
CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

Tableau 14 : Propriétés géotechniques du substratum rocheux de la Casbah

Propriété	Évaluation	Implication
Portance du sol	Bonne	Construction possible en zones pentues
Sensibilité à l'eau	Moyenne à forte (zone altérée, 15-20 m)	Drainage indispensable
Fissuration du massif	Présente	Risque d'éboulement
Schistosité	Très développée — orientation Ouest-Est	Instabilité en forte pente

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

carte 6 : géologique et caractéristique géotechnique dans la ville de la casbah



Source : Relevé auteur / PPSMVSS de la Casbah d'Alger

❖ Analyse de la carte :

La carte géologique identifie trois unités principales : les schistes bleus (socle métamorphique peu fracturé), les micaschistes (anisotropie marquée) et les calcaires de Bouzaréah. Les zones de failles et les alluvions récentes y sont également reportées, soulignant les aléas d'instabilité.

5. Hydrogéologie :

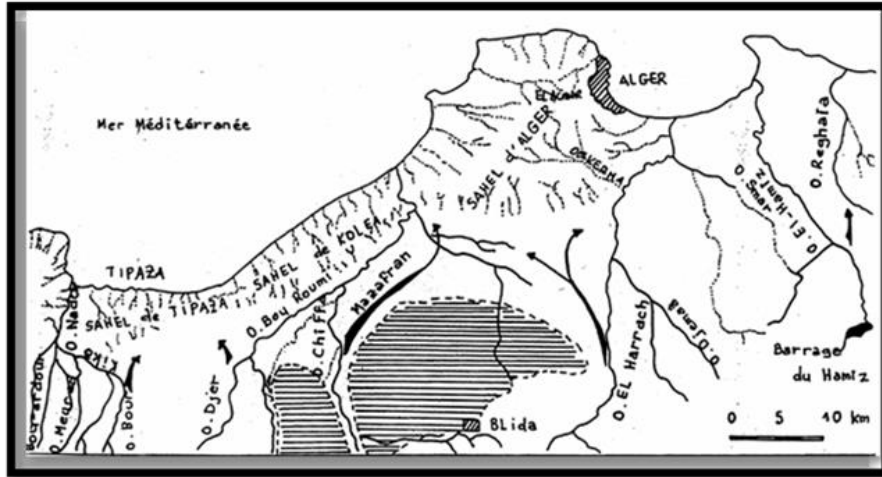
Le site repose sur un substratum rocheux métamorphique hydrogéologiquement qualifié de stérile en raison de l'absence de nappe continue. Cependant, l'altération superficielle (15-20 m) confère un rôle d'aquifère temporaire vis-à-vis des eaux de pluie et des fuites des réseaux.

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

Sur le plan des eaux de surface, un chevelu de petits oueds descend des hauteurs d'El Biar vers la mer, faisant de la Casbah l'exutoire naturel de ce réseau. Six sources existaient historiquement dans la Casbah, témoignant d'une richesse hydrique aujourd'hui largement disparue.

"Source : A. Aymé (1956) — Réseau hydrographique de la région d'Alger — PPSMVSS de la Casbah"

carte 7 : Réseau hydrographique de la région d'Alger par A. AYMEE.1956



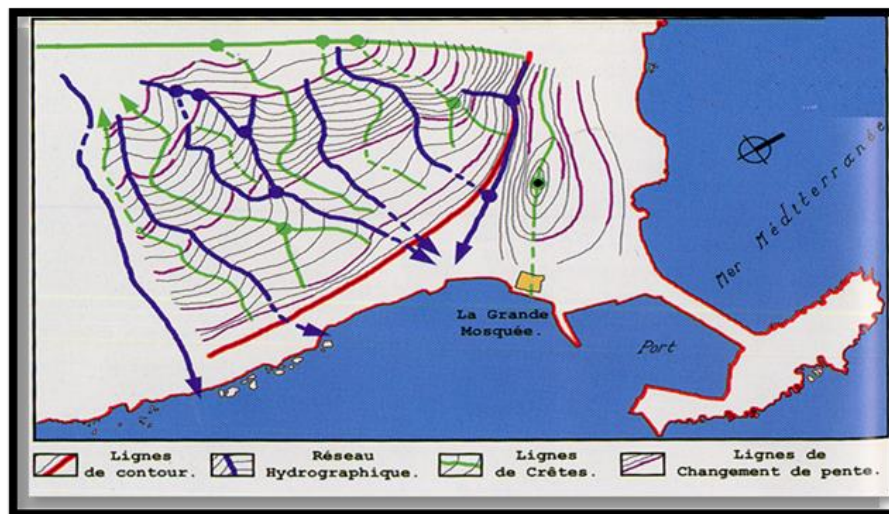
Source : / PPSMVSS de la Casbah d'Alger

❖ Analyse de la carte :

Cette carte géographique représente la région côtière d'Alger et ses environs, bordée au nord par la mer Méditerranée. On y distingue plusieurs localités importantes telles qu'Alger, Tipaza, Blida et Chéragas. Le réseau hydrographique est bien représenté avec de nombreux oueds comme l'O. El Harrach, l'O. Mazafran, l'O. Chiffa et l'O. Reghaia, dont les flèches indiquent le sens d'écoulement vers la mer. La carte met également en évidence plusieurs unités géographiques appelées Sahels — notamment le Sahel de Tipaza, de Koléa et d'Alger — ainsi que la plaine de la Mitidja, représentée par des hachures au centre. On note aussi la présence du Barrage du Hamiz à l'est. Une échelle graphique de 0 à 10 km permet d'estimer les distances. Dans l'ensemble, cette carte constitue un document précieux pour l'étude du système hydrologique et géographique de la région algéroise.

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

carte 8 : Répartition du réseau hydrographique selon la morphologie (sur le levé topographique)



Source : / PPSMVSS de la Casbah d'Alger

❖ Analyse de la carte :

Cette carte schématique illustre les rapports entre la topographie et l'occupation de la Casbah. Elle superpose les lignes de crête, le réseau hydrographique et les changements de pente, avec deux repères majeurs : la Grande Mosquée et le port. Elle montre ainsi comment le site s'organise entre mer et colline, où la trame urbaine épouse les contraintes naturelles du relief.

6. La Climatologie :

La Casbah jouit d'un climat méditerranéen subhumide caractérisé par deux saisons principales : une saison pluvieuse d'octobre à mars et une saison sèche d'avril à septembre. La température moyenne annuelle est de 22 °C.

6.1 Les Précipitations :

La pluviométrie annuelle se situe entre 730 et 760 mm. Des orages estivaux peuvent provoquer des crues subites

Tableau 15 : représentant la quantité de précipitations au cours des mois de l'année.

Mois	Précipitations (mm)	Mois	Précipitations (mm)
Septembre	30	Mars	89
Octobre	81	Avril	57

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

Novembre	101	Mai	38
Décembre	120	Juin	12
Janvier	107	Juillet	4
Février	77	Août	3
Total annuel	719 mm		
Source : PPSMVSS de la Casbah — Station de référence: Alger-Port (Seltzer, 1848-1922)			

6.2 La Température :

- Température moyenne annuelle : 22 °C
- Minimale moyenne (hiver) : 1 °C (janvier)
- Maximale absolue (été) : 44 °C (août)
- Gelées : nulles ou très rares

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alg

6.3 Les Vents :

- Vent d'Est (mai à octobre) : faible à modéré, frais et humide
- Vent d'Ouest (novembre à mai) : porteur de pluies
- Sirocco : en moyenne 14 jours par an (juillet-août)
- Vent dominant en hiver : Nord-Ouest — en été : Nord-Est

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

6.4 L'Humidité :

Tableau 16 : Taux d'humidité relative moyens aux trois horaires de référence (7h, 13h, 18h) – Station Alger-Port (Période de référence).

Horaire	Taux d'humidité relatif moyen
7 h	72 %
13 h	61 %
18 h	74 %
Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger	

7. Les Risques Majeurs :

7.1 La Sismicité :

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

La Casbah est classée en Zone III (sismicité élevée) selon le règlement parasismique algérien DTR-BC-48 (RPA 99/2003), avec un coefficient d'accélération $A = 0,15 \text{ g}$. Les séismes historiques majeurs incluent ceux de 1365, 1716 (intensité X), 1755, 1910 (M 6,4), 1954 (M 6,7) et 2003 (Zemmouri, M 6,8).

Face à ce risque, les bâtisseurs ottomans avaient développé des techniques parasismiques remarquables : insertion de lits de rondins de thuya dans les murs, appui mutuel entre maisons (solidarité structurelle), chaînage horizontal et poutrelles de cèdre dépassant les maçonneries.

Source: DTR-BC-48 / RPA 99-2003 — PPSMVSS de la Casbah d'Alger

7.2 Les Inondations :

La forte déclivité (pentes pouvant atteindre 45°), la densité de l'urbanisation sur les versants, la dégradation du couvert végétal et un réseau pluvial non dimensionné pour une crue centennale constituent les principaux facteurs aggravants du risque d'inondation.

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

*Figure 11: Exemple : l'intersection des boulevards de la victoire et de Taleb Mohamed :
Eboulement par effritement de la roche de la muraille cotée boulevard de la victoire*



Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

❖ Analyse des figures :

Cette photographie montre un effritement de la roche et une chute de blocs le long d'un mur de soutènement situé au niveau d'un carrefour animé de la Casbah. L'image illustre l'un des risques majeurs aggravant les inondations : l'instabilité des versants. La fracturation des formations métamorphiques (schistes, micaschistes), combinée aux infiltrations d'eaux pluviales et à l'absence d'entretien, fragilise les talus. En période de fortes pluies, ces

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

éboulements peuvent obstruer les exutoires naturels, aggraver le ruissellement et endommager les infrastructures proches. Cette photographie confirme la nécessité d'un suivi régulier et d'un drainage adapté pour limiter les risques d'inondation et d'effondrement dans la Haute Casbah.

7.3 Les Éboulements et l'Érosion :

Les causes principales sont la vétusté du bâti, la fracturation et la schistosité des formations métamorphiques, les infiltrations d'eaux météoriques et souterraines, les pentes des talus (jusqu'à 25 %) et la sismicité chronique du site.

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

PARTIE 2 — évolution urbaine de la casbah d'Alger

1. Période Préromaine :

Les cartes et illustrations relatives aux différentes périodes historiques (Icosium, Bani Mezghanna, période ottomane) sont disponibles en annexe et dans le rapport PPSMVSS de la Casbah d'Alger.

Aucune source ne permet de documenter la forme urbaine du site à l'époque préromaine. Il est probable que la ville se soit développée en cité portuaire, avec une concentration humaine au voisinage immédiat de la mer.

Source : Gsell S. — Atlas Archéologique de l'Algérie

2. Période Romaine :

D'après l'Atlas Archéologique de Gsell, l'espace de la ville romaine correspondait approximativement à celui de l'ancienne ville arabe. Un axe routier rectiligne (Cardo maximus) traversait la ville du nord au sud, reliant les deux portes principales (Bab el Oued et Bab Azzoun), auquel se greffait un axe transversal (Decumanus) vers la mer.

Tableau 17 : Éléments structurants de la ville à l'époque romaine

Élément	Description
Cardo maximus	Axe nord-sud reliant Bab el Oued à Bab Azzoun — axe structurant principal
Decumanus	Axe transversal est-ouest partant du centre du Cardo vers la mer
Nécropoles	Au-delà des portes Bab el Oued et Bab Azzoun — limites nord et sud de la ville
Limite ouest	Incertaine — probablement des jardins à l'époque romaine
Source : Gsell S. — Atlas Archéologique de l'Algérie / PPSMVSS de la Casbah d'Alger	

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

Figure 12 Pl.4 Limite d'Icosium

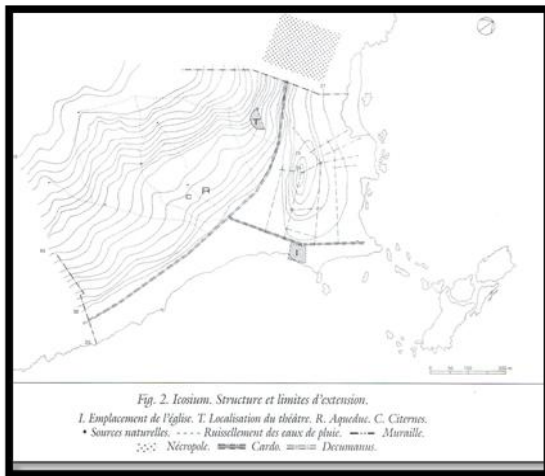
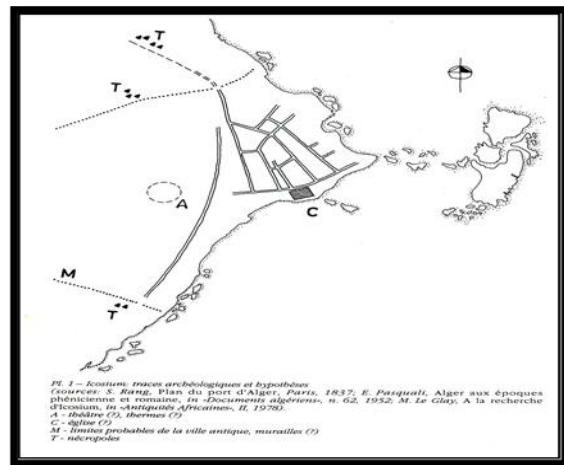


Figure 13 : Tracé hypothétique de la ville l'époque romaine



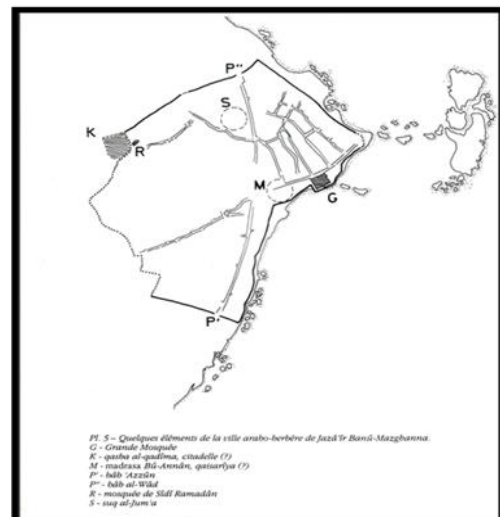
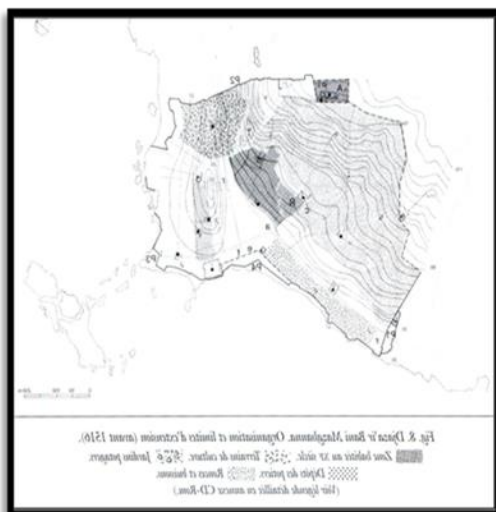
Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

3. Période Musulmane :

À partir du XI^e siècle, Djazaïr Bani Mezghanna se développa à l'intérieur des limites nord et sud de la ville romaine, comme le confirment les découvertes de sépultures romaines au-delà des deux portes. Plusieurs manuscrits anciens révèlent l'existence d'une ancienne Casbah non loin de la mosquée de Sidi Ramdan.

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

Figure 14 et Figure 15 : quelques éléments urbains à l'époque des Bani Mazghanna et Limites d'Alger à l'époque des Bani Mezghanna



Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

4. Période Ottomane :

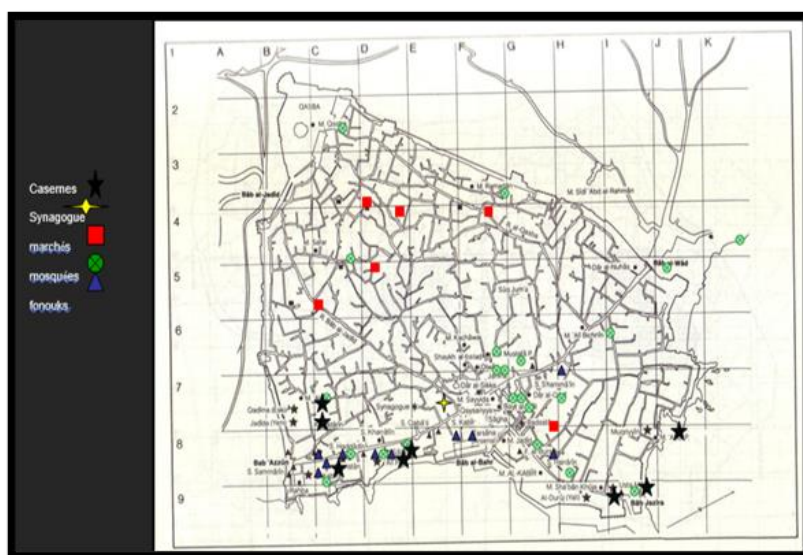
La structure spatiale de la ville ottomane était principalement conditionnée par les contraintes du site. Le noyau central était prolongé par trois artères importantes : la grande rue commerçante vers Bab Azzoun, la rue conduisant vers le port par Bab El Djazira, et la rue menant vers Bab el Oued. Entourée d'une muraille jalonnée de forts, Alger se présentait vue de la mer comme un triangle, dont la base suivait le rivage et dont la Citadelle occupait le sommet.

Tableau 18 : Principaux éléments de la ville ottomane (d'après le Plan Pélet, 1832)

Référence	Désignation	Rôle / Localisation
A	Jetée Kheïr-ed-Din	Liaison îles-terre ferme — fondation du port
D	Palais du Dey (Jenina)	Siège du pouvoir ottoman jusqu'en 1817
G	Grande Mosquée	Principal édifice religieux de la ville ottomane
K	Qasba turque (Citadelle)	Point le plus élevé — sommet du triangle urbain
V	Rue de la Marine	Artère commerciale principale — ville basse
V'	Rue Bab Azzoun	Axe commercial vers la porte sud

Source : D'après le Plan Pélet, 1832 — PPSMVSS de la Casbah d'Alger

Figure 16 : Organisation de la ville à l'époque ottomane



Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

5. Alger sous Occupation Française (1830-1962) :

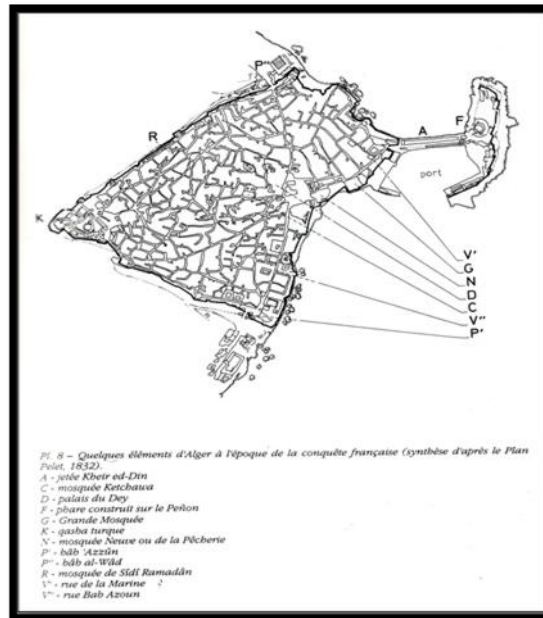
5.1 Premières Destructures et Rupture Urbaine :

Dès les premières semaines de l'occupation, les compagnies militaires organisèrent une campagne de démolition ciblant toute la partie basse de la ville jusqu'au Quartier de la Marine, pour y établir une place d'armes. La destruction fut si rapide et si complète que les premiers relevés cartographiques vinrent trop tard pour documenter l'état de la ville avant 1830. C'est à ce moment que se situe la coupure décisive dans l'histoire urbaine d'Alger.

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger — Archives nationales d'Algérie

Figure 17 : Plan d'Alger au début de la période coloniale présentant

Quelques éléments de la ville à l'époque des ottomans



Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

5.2 Déplacement des Fonctions Urbaines et Marginalisation de la Casbah :

Le déplacement des fonctions urbaines vers le nouveau centre européen entraîna la substitution progressive de la population : la population européenne quitta la Casbah pour s'installer dans les quartiers européens, tandis que la population musulmane la remplaçait. S'amorça alors le long processus de vidage de toutes ses fonctions originelles, transformant la médina en quartier marginal. Apparurent les premiers signes de dégradation : sur-occupations des structures résidentielles, mutation des usages et déplacement des fonctions centrales.

Source : Deluz J.-J. (1988) — L'urbanisme et l'architecture d'Alger, Ed. Mardaga, Liège

6. La Casbah depuis l'Indépendance :

L'indépendance en 1962 vit la densification et la paupérisation de la Casbah : occupation des biens vacants, installation de nouveaux habitants issus de l'exode rural à forte densité et sans culture du patrimoine. Ce phénomène engendra un tissu dense, surpeuplé et mal géré, accélérant le processus de dégradation. Aujourd'hui, la Médina d'Alger a perdu son statut de ville au profit d'un espace européenisé, devenant un simple quartier sous l'appellation de « Casbah ».

Source : Deluz J-J. (1988) — PPSMVSS de la Casbah d'Alger — Rapports UNESCO (SOC 2001, 2007, 2011, 2019)

PARTIE 3— étude urbaine approfondie de la zone d'étude

L'étude urbaine vise à analyser la structure spatiale et fonctionnelle de la Casbah en tant que cadre d'application de notre recherche. Elle s'articule autour de cinq axes complémentaires : la structure urbaine générale, le réseau de voirie, les usages du sol, le diagnostic de l'état du bâti et les pressions urbaines exercées sur le tissu historique.

Source : PPSMVSS de la Casbah — CNERU 2007 — Rapports UNESCO (SOC 2001, 2007, 2011, 2019)

1. Structure Urbaine Générale :

1.1 Organisation spatiale du Secteur Sauvegardé :

Le Secteur Sauvegardé de la Casbah s'étend sur environ 120 hectares sous forme de triangle, sa base donnant sur la mer et son sommet sur la Citadelle. Ce périmètre, défini par le décret exécutif n° 05-173 du 09 mai 2005, regroupe trois communes et est subdivisé en neuf secteurs administratifs distincts par le PPSMVSS.

Source : Décret exécutif n° 05-173 / 2005 — PPSMVSS de la Casbah d'Alger

carte 9: situation limite du secteur sauvegardé



Source : Adaptée de [PPSMVSS] par l'auteur (2026)

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

❖ Analyse de la carte :

Cette carte, réalisée sous ArcGIS, représente les limites administratives et patrimoniales de la Casbah d'Alger. La commune de la Casbah (en hachuré rouge) est délimitée par un contour rouge épais correspondant au périmètre du Secteur Sauvegardé (105 ha). À l'intérieur, le noyau classé (54,70 ha) est matérialisé par un contour noir. La carte montre également les communes limitrophes : Bab El Oued au nord, Alger Centre au sud, Oued Korriche et Bouzaréah à l'ouest, et la mer Méditerranée à l'est. L'échelle (1/5 000) et l'orientation (flèche nord) sont indiquées. Cette superposition des limites administratives et patrimoniales met en évidence le chevauchement entre trois communes (Casbah, Alger-Centre, Bab El Oued), ce qui justifie la nécessité d'un outil de coordination interinstitutionnelle (hypothèse H1). Le document est clair, bien structuré et adapté à un mémoire académique.

1.2 Haute Casbah et Basse Casbah :

Tableau 19 : Caractéristiques comparées – Haute Casbah et Basse Casbah

Critère	Haute Casbah	Basse Casbah
Situation	De la Citadelle au milieu du site	Du milieu vers le port et la Marine
Caractère dominant	Ottoman — islamique traditionnel pur	Mixte : ottoman + colonial français
Réseau de voirie	Ruelles étroites et sinueuses, forte déclivité	Rues plus larges, semi-régulières (intervention française)
Densité bâtie	Très élevée — tissu complètement imbriqué	Élevée avec quelques vides coloniaux
Degré de dégradation	Moyen à élevé	Très élevé — interventions d'urgence multiples
Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger — CNERU 2007		

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

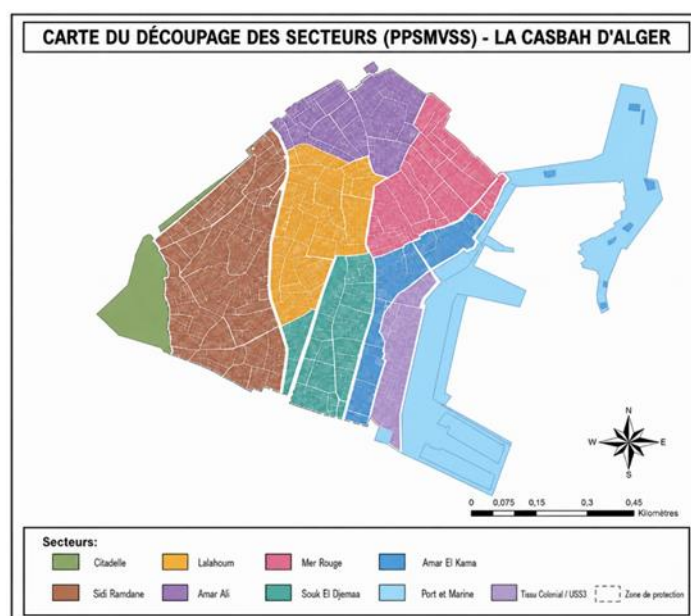
1.3 Les Neuf Secteurs du PPSMVSS :

Tableau 20: découpage des secteurs.

Secteur	Pop. totale	Logements (2007)	T.O.L.	Locaux commerciaux
Citadelle	70	100	2,92	50
Sidi Ramdane	384	503	3,40	73
Lalahoum	387	191	7,93	30
Amar Ali	2 988	1 772	8,29	549
Mer Rouge	1 052	196	5,82	136
Souk El Djemaa	1 114	703	7,85	176
Amar El Kama	1 496	1 295	4,94	1 016
Port et Marine	1 347	732	6,25	84
Zone de protection	2 082	1 196	7,69	147
TOTAL	49 491 hab.	7 453	8,29 (moy.)	2 110
Source : RGPH 1998 — Traitement CNERU 2007				

Note : Les données sectorielles reflètent un recensement partiel de la zone d'étude. La population totale du Secteur Sauvegardé s'élève à 49 491 habitants, chiffre incluant l'ensemble des résidents de la zone tampon et des sous-secteurs non détaillés ci-dessus

carte 10: découpage des secteurs



Source : Adaptée de [article de Analyse of Urban multifunctional land use in historical centres: the case of the Casbah of Algiers] par l'auteur (2026)

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

❖ Analyse de la carte :

Cette carte présente le découpage sectoriel du secteur sauvegardé de la Casbah d'Alger selon le PPSMVSS. On distingue huit secteurs principaux (Citadelle, Lalahoum, Mer Rouge, Amar El Kama, Sidi Ramdane, Amar Ali, Souk El Djemaa, Port et Marine) ainsi qu'une zone de protection. La structure spatiale montre une organisation en damier où chaque secteur correspond à une unité fonctionnelle et démographique. Ce maillage fin permet d'associer des données statistiques (population, logements, activités) à chaque périmètre, ce qui est essentiel pour le prototype : la carte interactive, les alertes et la prédiction des risques peuvent ainsi être affinées à l'échelle du quartier.

2. Réseau de Voirie et de Circulation :

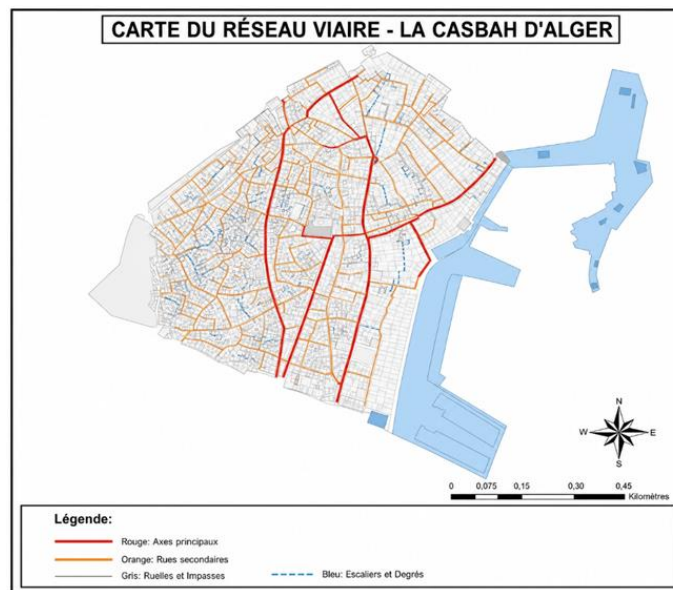
2.1 Hiérarchie fonctionnelle du réseau :

Tableau 21 : Hiérarchie fonctionnelle du réseau viaire de la Casbah d'Alger

Niveau	Type	Caractéristiques	Exemples
1er	Axes principaux	Reliant la Casbah à la ville, largeur 4-6 m	Bouzrina, Bab Azzoun, Bab El Oued
2e	Voies secondaires	Distribution interne aux quartiers, 2-4 m	Liaison entre secteurs
3e	Ruelles et impasses	Très étroites (< 2 m), desserte des logements	Tissu organique de la Haute Casbah
Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger — CNERU 2007			

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

carte 11: réseau viaire de la casbah d'Alger



Source : Adaptée de [article de Analyse of Urban multifunctional land use in historical centres: the case of the Casbah of Algiers] par l'auteur (2026)

❖ Analyse de la carte :

Cette carte hiérarchise le réseau viaire en quatre catégories : axes principaux (rouge), rues secondaires (orange), ruelles et impasses (gris), escaliers et degrés (bleu). Elle montre la complexité du maillage urbain, caractéristique des médinas traditionnelles, où la trame devient très fine et piétonne dans les parties hautes. Cette organisation conditionne directement les possibilités d'accès, de relevés de terrain et d'intervention technique, ce qui justifie le recours à des outils numériques (SIG, cartographie interactive) pour la gestion patrimoniale.

Figure 18 ; Figure 19 et Figure 20 : des exemples des voies sur la casbah



Source : Google Images

2.2 Impact de la topographie sur le réseau :

La forte déclivité — atteignant 40 % dans certains secteurs, soit l'équivalent d'un étage entier entre deux bâtiments mitoyens — a conduit à l'adoption généralisée d'un système de degrés et de passages en gradins dans la Haute Casbah. Cette caractéristique constitue un obstacle majeur à l'accessibilité et aux interventions techniques de maintenance.

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

Note urbaine : La difficulté d'accès induite par l'étroitesse des ruelles et la forte déclivité représente l'un des défis techniques les plus importants pour les opérations de documentation de terrain et d'intervention sur le bâti. Le recours à la documentation numérique à distance constitue une réponse à ce problème.

Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger

3. Usages du Sol et Répartition des Fonctions :

3.1 La fonction résidentielle — dominante et fragilisée :

Tableau 22 : Répartition des locaux commerciaux par catégorie d'activité.

Indicateur	Valeur
Population totale	49 491 habitants
Logements totaux (2007)	7 453
T.O.L. moyen	8,29 personnes / logement
Densité	82 logements / hectare
Déficit en logements	2 664 unités
Logements inoccupés (2007)	141 (amélioration : 592 en 1998)

Source : RGPH 1998 — CNERU 2007

3.2 La fonction commerciale et économique:

Le Secteur Sauvegardé recense 2 110 locaux commerciaux répartis en cinq catégories. Cependant, 30,14 % de ces locaux sont fermés, symptôme d'un déclin de la vitalité économique du tissu lié à la dégradation du bâti et aux mutations socio-économiques.

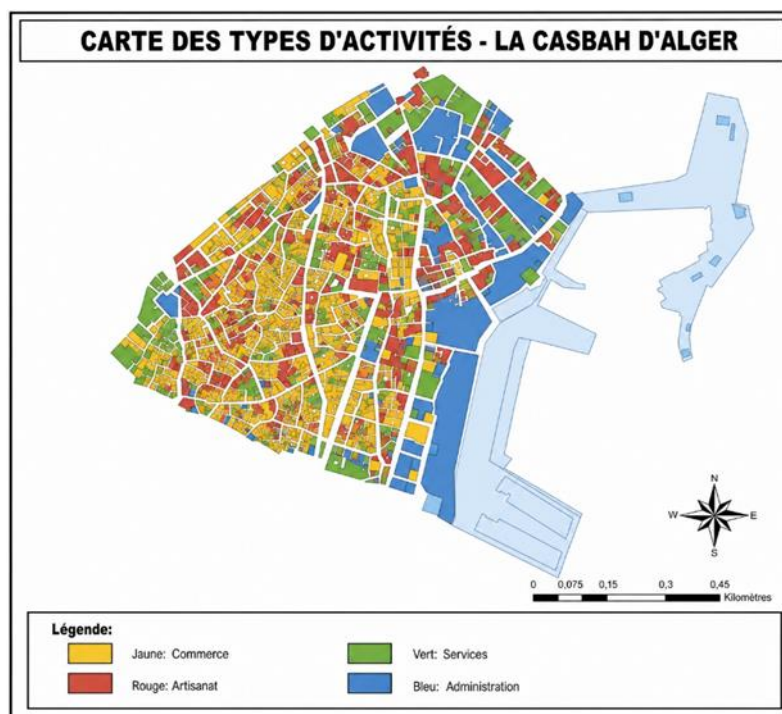
Tableau 23: Emplois induits par type d'activité économique

Catégorie d'activité	Nombre	Part (%)
Professions libérales (médecins, avocats, comptables)	636	30,1 %
Commerce secondaire et complémentaire	411	19,5 %
Commerce anomal (cafés, restaurants, tabacs)	319	15,1 %
Commerce de première nécessité (alimentation)	94	4,5 %
Artisanat (bijouterie, couture, réparation)	47	2,2 %
Locaux fermés	603	28,6 %

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

TOTAL	2 110	100 %
Source : Enquête de terrain CNERU 2007		

carte 12: types d'activités dans la casbah



Source : Adaptée de [article de Analyse of Urban multifunctional land use in historical centres: the case of the Casbah of Algiers] par l'auteur (2026)

❖ Analyse de la carte :

La répartition spatiale des activités économiques montre une concentration du commerce (jaune) sur les axes principaux (Bab Azzoun, Rue de la Marine), tandis que l'artisanat (rouge) et les services (vert) restent dispersés dans le tissu résidentiel. Cette carte complète les données du tableau ci-dessus.

3.3 Emploi induit par l'activité économique :

Tableau 24: Emplois induits par type d'activité économique

Type d'activité	Emplois induits	Part (%)
Entreprises de bâtiment privées	2 201	24,90 %
Commerces	2 110	23,87 %
Marchés (fruits, légumes, vêtements)	1 762	19,93 %
Administrations et services	1 212	13,71 %
Enseignement et formation	670	7,58 %
Santé	441	4,99 %

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

Hôtels (18 hôtels, 447 lits)	262	2,96 %
Culte et culture	112	1,27 %
Autres	70	0,79 %
TOTAL	8 840	100 %

Source : Enquête de terrain CNERU 2007

Figure 21 et Figure 22 : les équipements



Source : Google Images

4. Diagnostic de l'État du Bâti :

4.1 Évolution historique de la dégradation :

Tableau 25 : Évolution historique de la dégradation du bâti de la Casbah

Période	Indicateur	Situation
Années 1980	Total bâtiments recensés	1 700 — dont 200 effondrés, 500 évacués
Années 1980	Dégradation avancée	30 % du parc restant en état très délabré
2011	Dégradation grave	394 bâtiments en état critique — priorité d'intervention
2011	Avancement des études	92 % étudiés — 80 % traités — 66 % achevés
2019	Mise à jour périodique	24 bâtiments supplémentaires ajoutés au « Plan d'attaque »

Source : Rapports UNESCO — Centre du Patrimoine Mondial (SOC 2001, 2011, 2019) — whc.unesco.org/fr/list/565

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

4.2 Inventaire des pressions :

Tableau 26: Inventaire des pressions urbaines sur le tissu historique

Type de pression	Description
Pression démographique	49 491 hab. sur 120 ha — T.O.L. de 8,29 soit 3x le seuil acceptable (5 pers./logement)
Constructions anarchiques	82 constructions illicites (baraques) + surélévations non autorisées alourdissant les structures
Exode et substitution de population	Remplacement des habitants d'origine par de nouveaux arrivants, souvent sans culture du patrimoine
Mutations fonctionnelles non planifiées	Transformation de logements traditionnels en entrepôts ou ateliers avec destruction des éléments porteurs
Eau et humidité	Infiltrations par les versants + capillarité due à la dégradation du réseau d'assainissement
Pression touristique non maîtrisée	Afflux de visiteurs sans régulation endommageant le tissu fragile et perturbant la vie des résidents
Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger — CNERU 2007 — Rapports UNESCO SOC	

4.3 Patrimoine monumental et état de conservation :

4.3.1 Statistiques générales des monuments historiques de la Casbah d'Alger :

Tableau 27 : Statistiques générales des monuments historiques de la Casbah d'Alger

Catégorie de monument	Nombre	Observations
Palais (Dar)	12	Dar Aziza, Palais des Raïs (Bastion 23), Palais du Dey (Jenina), etc.
Mosquées	19	Ketchaoua, Sidi Ramdane, Sidi Abderrahmane, etc.
Hammams	8	Dont Hammam El Kébir (encore en activité)
Zaouïas	6	Zaouïa Sidi Abderrahmane, Sidi Ammar, etc.
Fontaines / Soubias	12	Réparties dans tout le tissu urbain
Portes historiques	3	Bab El Oued, Bab Azzoun, Bab El Djazira
Remparts / Fortifications	Fragments	Partiellement conservés

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

Autres édifices classés	~30	Médersas, maisons historiques, tombeaux
Total approximatif	~90 monuments	Couvrant l'ensemble du Secteur Sauvegardé
Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger — CNERU 2007 — Rapports UNESCO SOC		

4.3.2 Complément – État de conservation (source UNESCO / PPSMVSS) :

Tableau 28 : Statistiques générales des monuments de la Casbah

Indicateur	Valeur
Monuments ouverts au public	24
Monuments en péril (priorité UNESCO 2011)	7
Monuments inclus dans les 394 bâtiments critiques (2011)	14
Monuments restaurés (avant 2019)	~30
Monuments nécessitant une intervention urgente (2019)	4
Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger — CNERU 2007 — Rapports UNESCO SOC	

PARTIE 4 —étude démographique et économique

1. Étude Démographique :

1.1 Répartition et évolution de la population :

Le périmètre du plan de sauvegarde de la Casbah regroupe une population totale de 49 491 habitants répartis sur neuf secteurs distincts, avec une densité de 82 logements à l'hectare.

Tableau 29: Population occupée par secteur – Casbah d'Alger (RGPH 1998)

Secteurs	Pop. totale	Pop. active	Pop. occupée	Chômeurs
Citadelle	70	34	34	—
Sidi Ramdane	384	220	220	—
Lalahoum	387	147	147	—
Amar Ali	2 988	2 191	2 191	5
Mer Rouge	1 052	919	919	1
Souk El Djemaa	1 114	832	832	—
Amar El Kama	1 496	757	757	3
Port et Marine	1 347	264	264	7
Zone de protection	2 082	1 157	1 157	90
TOTAL	10 920	6 521	6 521	106
Source: RGPH 1998 — Traitement CNERU 2007				

Note : Le tableau sectoriel totalise 10 920 habitants. Le chiffre global de 49 491 inclut l'ensemble de la population résidant dans la zone tampon.

Source : RGPH 1998 — Traitement CNERU 2007

1.2 Structure de la population active :

Le taux d'activité est de 62,61 %. Le taux de chômage, estimé à 37,4 %, est particulièrement alarmant et témoigne des difficultés socio-économiques profondes du quartier.

Source : RGPH 1998 — Traitement CNERU 2007

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

1.3 Densité et surpeuplement :

- Taux d'occupation par logement (T.O.L.) moyen : 8,29 personnes / logement
- 82 logements à l'hectare en moyenne
- Perte annuelle de logements due aux effondrements et abandons

Source : CNERU 2007

2. Étude Économique :

2.1 Activité commerciale :

L'analyse des données d'enquête et des services de l'APC recense 2 110 locaux commerciaux sur l'ensemble du périmètre. 30,14 % de ces locaux sont fermés, principalement en raison de la dégradation du cadre bâti et des mutations socio-économiques.

Source : Enquête de terrain CNERU 2007

3. Parc Logement et Déficit :

3.1 Évolution du parc logement 1998-2007 :

Tableau 30 : Évolution du parc logement 1998-2007 dans la Casbah d'Alger

Secteurs	Logts 1998	Logts 2007	Différence	T.O.L.	Déficit
Citadelle	47	100	+53	2,92	—
Sidi Ramdane	171	503	+332	3,40	—
Lalahoum	241	191	-50	7,93	112
Amar Ali	2 489	1 772	-717	8,29	1 167
Mer Rouge	954	196	+7	5,82	158
Souk El Djemaa	668	703	-196	7,85	401
Amar El Kama	1 150	1 295	+145	4,94	—
Port et Marine	527	732	+205	6,25	183
Zone de protection	1 386	1 196	-190	7,69	643
TOTAL	7 864	7 453	-411	9,9	2 664
Source : RGPH 1998 — Traitement CNERU 2007 (Déficit calculés sur base d'un T.O.L. de 5 personnes/logement)					

Synthèse du chapitre II

L'étude de la zone de la Casbah d'Alger, menée à travers ses dimensions naturelle, historique, urbaine, démographique et économique, met en évidence un site d'une complexité et d'une richesse exceptionnelles, confronté à des défis multiples et urgents.

Sur le plan naturel, la topographie accidentée, la sismicité élevée (Zone III, RPA 99/2003) et la fragilité hydrogéologique constituent des contraintes majeures exigeant une surveillance permanente. Sur le plan historique, la Casbah incarne cinq millénaires de civilisations superposées — punique, romaine, berbère, islamique, ottomane et coloniale — laissant des empreintes indélébiles dans son tissu.

Sur le plan socio-économique, les indicateurs sont préoccupants : un déficit cumulé de 2 664 logements, un taux de chômage structurel de 37,4 % et une activité commerciale en déclin avec 30 % des locaux fermés. Ces données confirment la nécessité d'une intervention urgente, intégrée et scientifiquement outillée, ce qui fonde la pertinence de la démarche de recherche développée dans les chapitres suivants.

L'analyse détaillée de l'évolution urbaine (Parties III et IV) servira de base à la hiérarchisation des interventions assistées par intelligence artificielle dans les chapitres suivants.

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Étude

CHAPITRE III

Projet de base de données et le site web

Introduction du Chapitre

Après avoir posé le cadre théorique (chapitre I) et dressé un diagnostic détaillé de la zone d'étude (chapitre II), ce troisième chapitre est consacré à la réalisation pratique de la recherche. L'objectif est de concevoir et de développer un prototype de base de données spatiale intégrant des outils d'intelligence artificielle pour la gestion et la sauvegarde des monuments historiques de la Casbah d'Alger.

Ce prototype, qui constitue une "preuve de concept (proof of concept) ", vise à démontrer la faisabilité technique d'une plateforme d'aide à la décision destinée aux acteurs du patrimoine (Ministère de la Culture, Direction de l'urbanisme, associations locales). Il répond aux deux hypothèses de recherche formulées dans le chapitre introductif : améliorer la coordination interinstitutionnelle (H1) et faciliter l'application des instruments juridiques de protection (H2).

Le chapitre est structuré en sept parties. La première présente les spécifications fonctionnelles et les choix technologiques. La deuxième décrit la modélisation de la base de données. La troisième expose l'implémentation des modèles d'IA (CNN pour l'analyse d'images, simulation d'un Random Forest pour la prédiction du risque, système d'alertes). La quatrième détaille le développement de l'interface utilisateur et de l'API. La cinquième est consacrée à l'interface de prédiction du risque. La sixième présente les tests, les résultats et la validation des hypothèses. Enfin, la septième partie discute les limites du prototype et ouvre des perspectives d'amélioration.

Ce chapitre constitue le cœur opérationnel du mémoire. Il montre comment les concepts théoriques peuvent être concrétisés en un outil numérique fonctionnel, même sous une forme simplifiée adaptée aux contraintes académiques.

Partie 1 – Spécifications fonctionnelles et techniques

1.Objectifs du système:

Le prototype développé vise à remplir les objectifs fonctionnels suivants :

- Centraliser les données des monuments historiques de la Casbah dans une base de données unique.
- Visualiser ces monuments sur une carte interactive (Leaflet/Open Street Map) avec des marqueurs colorés selon le niveau de risque.
- Permettre à un administrateur d'ajouter, modifier, supprimer et rechercher des monuments via un panneau de contrôle sécurisé.
- Analyser automatiquement des photos de monuments à l'aide d'un modèle CNN (MobileNet) pour détecter d'éventuels signes de dégradation.
- Calculer un score de risque (0–100) et un niveau de risque (faible, moyen, élevé) à partir de données descriptives (âge, densité de population, état connu).
- Générer des alertes lorsque le score de risque dépasse 70, et permettre à l'administrateur de les consulter et de les résoudre.
- Exporter la liste des monuments au format CSV.

2.Choix technologiques :

Tableau 31 : Choix technologiques

Composant	Technologie choisie	Justification
Base de données	Supa base (PostgreSQL)	Solution cloud gratuite, API REST intégrée, authentification facile.
Carte interactive	Leaflet + Open Street Map	Libre, légère, compatible mobile, pas de clé API nécessaire.
Frontend (interface)	React + Type Script + Tailwind CSS	Composants réutilisables, typage sécurisé (TypeScript), design responsive (Tailwind).
Analyse d'images	TensorFlow.js + Mobile Net	Modèle pré-entraîné, exécution dans le navigateur (pas de serveur dédié).
Prédiction du risque	Fonction heuristique (simulation)	Faute de données d'entraînement suffisantes, simulation d'un Random Forest.
Alertes	Table alertés + consultation dans l'interface	Envoi réel d'emails non activé (perspective).

Source : Réalisation personnelle (2026)

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

3. Architecture générale du prototype:

Le prototype suit une architecture de type client-serveur en trois couches :

3.1 Client (Frontend) :

Application React s'exécutant dans le navigateur. Elle affiche l'interface (carte, formulaires, résultats) et contient le modèle MobileNet pour l'analyse d'images.

3.2 Serveur (API) :

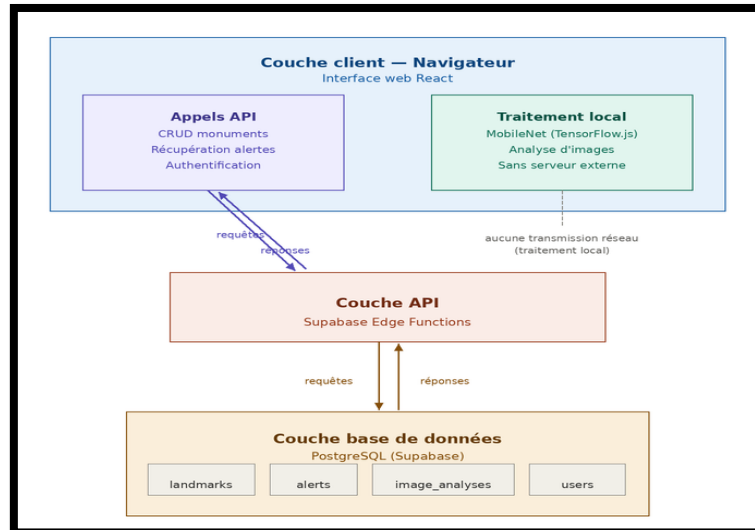
Edge Fonctions déployées dans Supabase. Elles exposent des Endpoint REST (Landmark, alertés, prédiction).

3.3 Base de données :

PostgreSQL (Supabase) stocke les tables 'Landmark', 'alertés', 'image analyses' et 'user'.

Les communications client ↔ API se font en JSON via le protocole HTTP. L'authentification est gérée par session Storage (admin/admin123).

Figure 23 Architecture client-serveur du prototype.



Source : Réalisation personnelle (2026)

1. Analyse :

Le schéma d'architecture repose sur trois couches : le navigateur (interface React avec analyse d'images locale), l'API (Edge Fonctions Supabase) et la base de données PostgreSQL. L'utilisateur consulte la carte et gère les monuments via l'API ; l'analyse d'images est exécutée côté client par TensorFlow.js.

Partie 2 – Modélisation de la base de données

1. Table monuments historiques:

■ Rôle :

Cette table est le cœur du système. Elle stocke toutes les informations relatives à chaque monument historique de la Casbah.

■ -Champs principaux:

Tableau 32 Champs principaux de la table Landmark (monuments historiques)

Champ	Signification	Pourquoi est-ce important ?	Exemple dans la Casbah
Nom	Nom du monument tel qu'il est connu localement	Identifier le monument	"جامع كتشاوة" (Mosquée Ketchaoua)
Catégorie	Type de monument (mosquée, palais, fontaine, hammam, porte...)	Classer les monuments par fonction historique	"Mosquée"
Coordonnées (latitude, longitude)	Position géographique du monument (système WGS84)	Placer le monument sur la carte interactive	36.7762 N, 3.0587 E
Niveau de risque (texte)	Niveau estimé : faible, moyen, élevé	Colorer le marqueur sur la carte et déclencher des alertes	"faible"
Score de risque (numérique)	Nombre de 0 à 100 exprimant la sévérité du risque	Hiérarchiser les monuments (plus le score est élevé, plus l'intervention est urgente)	31 (pour Ketchaoua)
Description	Brève présentation de l'importance du monument	Informar le visiteur ou l'intéressé	"Mosquée d'époque ottomane..."

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

Âge estimé (années)	Âge approximatif du bâtiment	Facteur clé du calcul de risque (les bâtiments anciens sont souvent plus fragiles)	380 ans
Matériaux utilisés	Pierre, brique, bois, zellige...	Influence la résistance du bâtiment aux agressions naturelles	"Pierre, marbre, bois"
Densité de population (hab./ha)	Pression démographique autour du monument	Une forte densité génère vibrations et mouvements affectant la stabilité	178.5
État connu	Bon / moyen / mauvais	Estimation initiale tirée des rapports PPSMVSS ou d'observations directes	"bon"
Date de la dernière prédiction	Quand le score de risque a été calculé pour la dernière fois	Suivre l'évolution de l'état du monument	2026-05-20
Résultat de la dernière analyse d'image	Stocke les résultats de l'analyse d'image (format simplifié)	Consultation ultérieure	"Coupole, minaret"
Date de la dernière analyse d'image	Quand la photo a été téléchargée et analysée pour la dernière fois	Mettre à jour la base de données	2026-05-25
Date d'ajout du monument	Date de la première insertion dans le système	Archivage	
Source : Réalisation personnelle (2026)			

- Utilité pour la protection du patrimoine :
 - Permet de savoir quel monument nécessite une intervention urgente (score de risque élevé).
 - Permet de suivre l'évolution de l'état d'un monument dans le temps (comparaison des scores et des dates de prédiction).

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

- Lie les informations spatiales (coordonnées) aux informations descriptives – fondement de tout SIG pour le patrimoine.

2. Table des alertes :

■ Rôle :

Enregistre chaque alerte générée automatiquement par le système lorsque le score de risque dépasse 70 (ou lorsqu'un dommage est détecté sur une image). Cette table sert de « registre d'intervention » pour les responsables.

■ Champs principaux :

Tableau 33 : Champs principaux de la table alertes (alertes)

Champ	Signification	Exemple
Monument concerné	Lien vers un monument (via son identifiant)	Porte Bab El Jedid
Type d'alerte	Dépassement de seuil de risque ou détection de dommage sur image	"Dépassement de seuil"
Sévérité	Critique, avertissement, information	"Critique"
Message	Texte expliquant la cause de l'alerte	"Score de risque (85) dépasse le seuil de sécurité"
Lue ?	Le responsable a-t-il consulté l'alerte ?	non lue / lue
Résolue ?	Une action a-t-elle été entreprise et le problème résolu ?	non résolue / résolue
Date de création	Quand l'alerte a été émise	2026-05-27 14:30
Date de résolution	Quand le problème a été résolu	2026-05-28 09:15
Source : Réalisation personnelle (2026)		

■ Utilité pour les responsables (ingénieurs, urbanistes) :

- Ils peuvent connaître en un coup d'œil les monuments qui nécessitent une intervention, sans devoir inspecter chaque fiche manuellement.
- Ils peuvent suivre l'historique des alertes pour un monument : le problème est-il récurrent ? a-t-il été traité rapidement ?
- Fournit une archive des décisions prises.

3. Table analyses d'images :

■ Rôle :

Stocke les résultats des analyses d'images effectuées par l'administrateur à l'aide du modèle Mobile Net. Chaque image analysée est enregistrée, même si plusieurs images sont envoyées pour un même monument.

■ Champs principaux :

Tableau 34 : Champs principaux de la table image analyses (analyses d'images)

Champ	Signification	Exemple
Monument concerné	Lien vers le monument analysé	Mosquée Ketchaoua
Résultat de l'analyse	Liste des 3 à 5 objets reconnus par le modèle (coupole, minaret, façade, fissure) avec leur niveau de confiance	coupole : 94%, minaret : 87%
Détection de dommage	Le modèle a-t-il trouvé des mots comme « fissure », « dommage », « ruine » ?	dommage potentiel / aucun dommage
Score de confiance global	Confiance du modèle dans son analyse (de 0 à 1)	0.92
Date de l'analyse	Quand l'analyse a eu lieu	2026-05-27 15:00

Source : Réalisation personnelle (2026)

Pourquoi cette table est importante pour la recherche sur le patrimoine ?

- Permet de documenter l'état visuel du monument à un moment donné.
- Permet de comparer deux analyses du même monument à des dates différentes pour suivre l'évolution des pathologies.
- Fournit une preuve pour les ingénieurs qui doivent rédiger un rapport sur l'état d'un monument.

4. Table utilisateurs autorisés à modifier les données :

■ Rôle :

Gère la sécurité du système : stocke les personnes habilitées à accéder au panneau d'administration et à modifier les données (ajout, modification, suppression de monuments).

■ Champs principaux :

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

Tableau 35 : Champs principaux de la table users (utilisateurs autorisés)

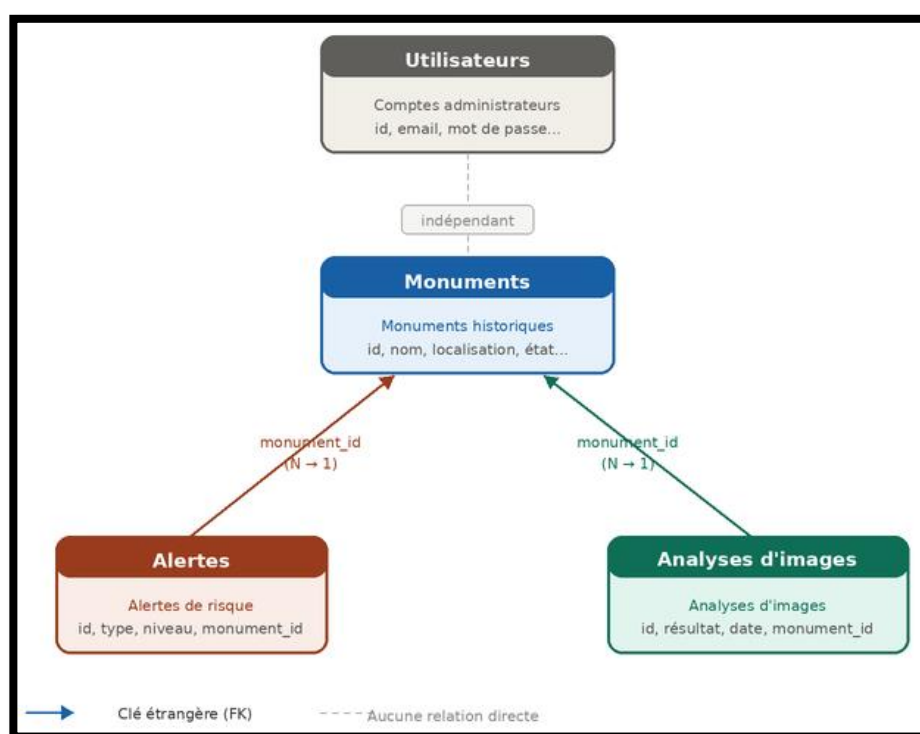
Champ	Signification
Adresse e-mail	Identifiant de l'utilisateur (ex. : conservateur@casbah.dz)
Mot de passe	Stocké sous forme chiffrée (non lisible)
Rôle	Administrateur (tous droits) ou observateur (lecture seule)
Date de création du compte	Pour traçabilité des activités
Source : Réalisation personnelle (2026)	

■ Utilité :

Empêche toute personne non autorisée de modifier ou supprimer des monuments.

Permet d'ajouter plusieurs responsables (ex. : un agent du ministère de la Culture, un ingénieur de la Direction de l'urbanisme).

Figure 24: Schéma des relations entre les tables de la base de données



Source : Réalisation personnelle (2026)

2. Analyse :

Ce schéma représente l'organisation des données dans le prototype. La table de les monuments historiques est la table principale : elle contient toutes les informations descriptives et spatiales des monuments. Les tables des alertes et analyse d'images lui sont reliées par une flèche orientée. Cette flèche signifie qu'une alerte ou une analyse d'image appartient toujours à un monument spécifique (relation « un-à-plusieurs »). Par exemple,

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

plusieurs alertes peuvent être enregistrées pour un même monument au fil du temps. Cette structure permet de retrouver facilement, à partir d'un monument, toutes les alertes et analyses qui le concernent. La table utilisateurs est indépendante ; elle sert uniquement à gérer l'authentification des administrateurs. Ce schéma simple montre que la base de données est organisée de manière logique, sans complexité inutile, ce qui facilite la maintenance et les évolutions futures

Partie 3– Implémentation des modèles d'intelligence artificielle

Cette partie explique simplement comment l'intelligence artificielle fonctionne dans l'application. Elle est divisée en trois sections.

1. Estimation du niveau de risque (simulation d'un Random Forest) :

■ Objectif :

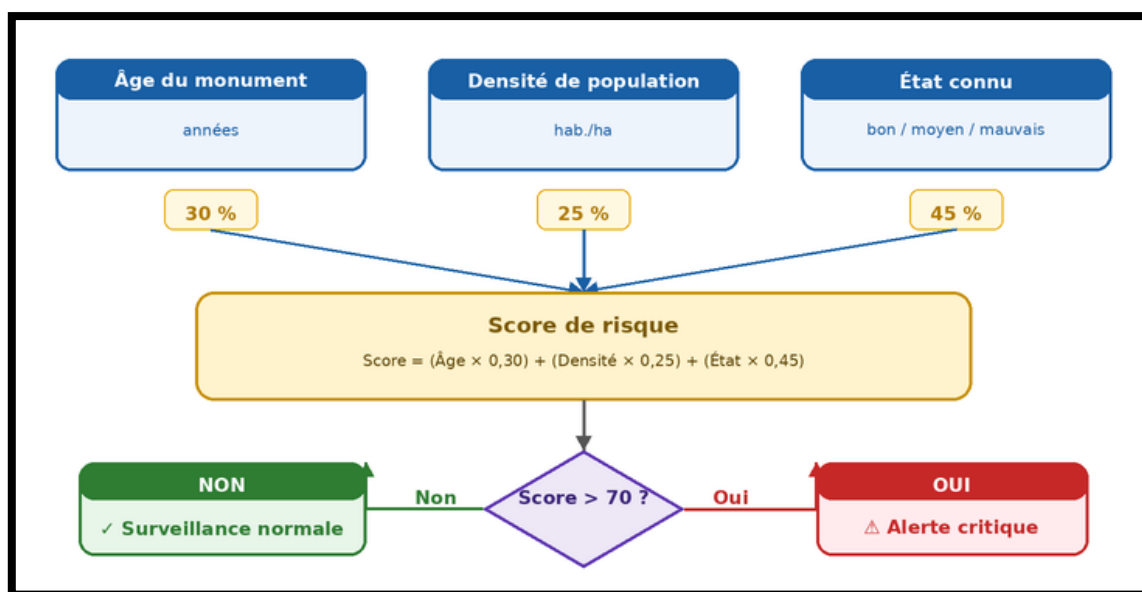
Calculer un nombre (de 0 à 100) qui indique le niveau de danger de chaque monument.

■ Comment c'est calculé ? À partir de trois éléments seulement :

1. L'âge du monument (plus il est vieux, plus le risque est élevé)
2. La densité de population autour (plus elle est forte, plus les vibrations et la pression augmentent),
3. Son état connu (bon, moyen, mauvais) tiré des rapports PPSMVSS.

Exemple : Mosquée Ketchaoua (380 ans, densité 178, état bon) → score de risque = 31 → risque faible.

Figure 25: Calcul du score de risque (simulation Random Forest)



Source : Réalisation personnelle (2026)

3. Analyse :

Ce schéma montre comment le prototype calcule le score de risque d'un monument. Trois paramètres sont pris en compte : l'âge estimé (en années), la densité de population (habitants par hectare) et l'état connu (bon, moyen, mauvais). Chaque paramètre reçoit un poids (30 %, 25 %, 45 %). Le score total (0–100) est la somme des trois valeurs pondérées. Si le score

dépasse 70, une alerte critique est générée. Ce mécanisme simule un algorithme Random Forest, faute de données réelles d'entraînement.

2. Analyse d'images (CNN – Mobile Net) :

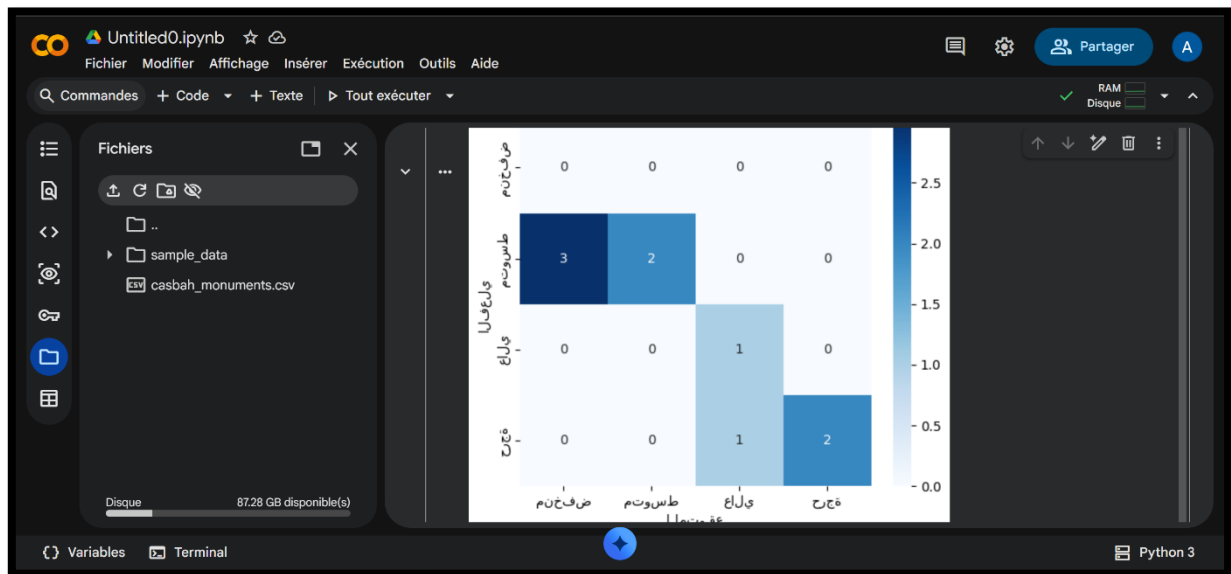
- Objectif : télécharger une photo d'un monument et laisser l'application la reconnaître automatiquement.
- Fonctionnement :
 - L'administrateur charge une image.
 - Le modèle Mobile Net (déjà entraîné sur des millions d'images) classe l'image et renvoie les 3 à 5 éléments principaux qu'il a vus (exemple : « coupole 94 % », « minaret 87 % »).
 - L'application recherche dans ces résultats des mots comme « fissure » ou « dommage » ; si elle en trouve, elle affiche une alerte « Dommage potentiel détecté ».
 - Avantage : tout se fait dans le navigateur, les images ne quittent pas l'ordinateur (confidentialité).
- Limite : le modèle est générique et n'est pas spécialisé dans les défauts des bâtiments anciens.

3.Expérimentation pratique du modèle Mobile Net sur des images de la Casbah :

Pour tester le modèle, nous avons téléchargé deux photos de monuments de la Casbah. La première photo (Mosquée Ketchaoua) a donné les résultats suivants : « coupole » avec 94 % de confiance, « minaret » avec 87 % et « façade en pierre » avec 78 %. La deuxième photo montrait une fissure visible sur un mur ; le modèle a détecté « mur fissuré » (62 %) et « ruine » (55 %). Dans ce second cas, le système a automatiquement créé une alerte « Dommage potentiel détecté ». Cette expérience confirme que même un modèle générique comme Mobile Net peut aider à identifier des éléments architecturaux et des signes de dégradation.

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

Figure 26 : Aperçu des données utilisées pour l'expérimentation dans l'environnement Colab (extrait du chargement des monuments)



Source : Réalisation personnelle (2026)

Figure 27: Pipeline d'analyse d'image par Mobile Net (CNN)



Source : Réalisation personnelle (2026)

4. Analyse :

Ce schéma illustre les étapes de l'analyse d'image. L'administrateur télécharge une photo du monument. Le navigateur exécute le modèle MobileNet (réseau de neurones pré-entraîné). Le modèle retourne les objets reconnus avec leur niveau de confiance (exemple : « coupole : 94 % »). L'application analyse ces libellés pour détecter des mots-clés de dégradation (fissure, dommage). Si un tel mot est trouvé, un avertissement « Dommage potentiel détecté » s'affiche. Enfin, le résultat complet est sauvegardé dans la base de données. Tout le processus se déroule dans le navigateur, sans envoi d'images à un serveur externe.

4. Système d'alerte automatique :

Objectif : avertir les responsables lorsqu'un monument devient très dangereux.

Fonctionnement :

1. L'application surveille en permanence le score de risque de chaque monument.
2. Si le score dépasse 70, elle crée automatiquement une alerte dans la base de données (type « critique », message explicatif).
3. Le responsable ouvre le panneau des alertes, les consulte et peut :
4. Les marquer comme « lues » (il en a pris connaissance),
5. Les marquer comme « résolues » (une intervention a eu lieu).

Note : l'envoi réel d'e-mails n'est pas activé dans ce prototype (preuve de concept), mais il pourra être ajouté ultérieurement

Partie 4 – Développement de l'interface et de l'API

Cette partie décrit l'apparence du prototype (les écrans que voit l'utilisateur) et la manière dont l'interface communique avec la base de données (Supabase) et les modèles d'IA.

4.1 Interface utilisateur (frontend):

L'interface a été développée avec React, TypeScript et Tailwind CSS. Elle est entièrement en arabe (RTL) pour faciliter son adoption par les services locaux. Elle s'articule autour de trois onglets principaux : Carte, Administration et Alertes.

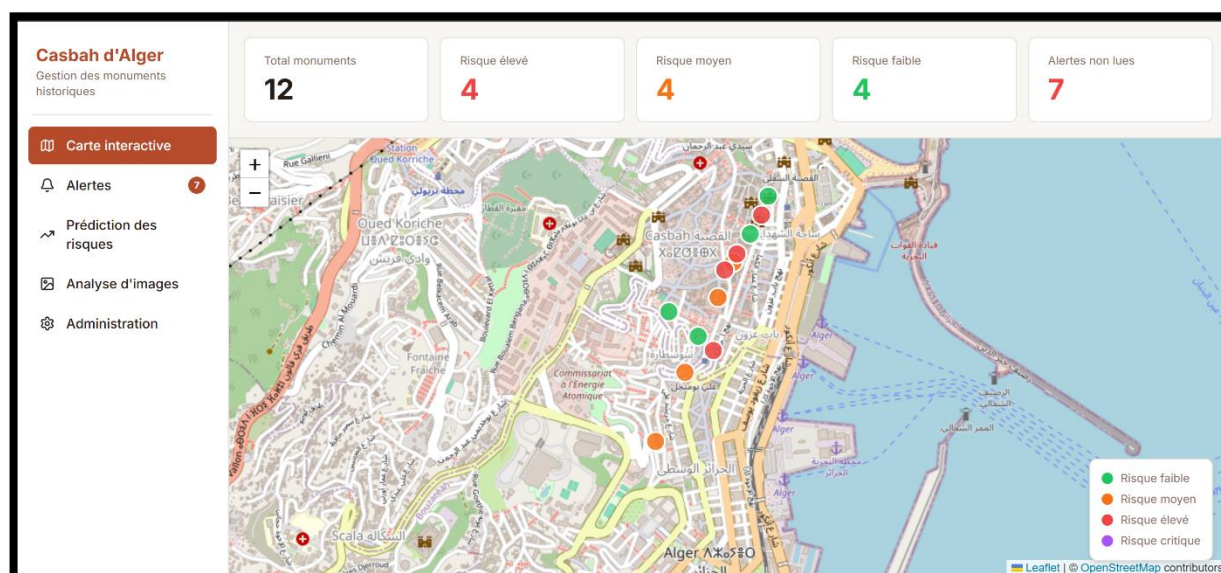
4.1.1 Carte interactive:

La page d'accueil affiche une carte (Leaflet / OpenStreetMap) centrée sur Alger (36.776, 3.058). Chaque monument est représenté par un marqueur coloré selon son niveau de risque :

- vert = faible
- orange = moyen
- rouge = élevé
- mouve = critique

Un clic sur un marqueur ouvre une fenêtre qui résume le nom, la catégorie, la description et le niveau de risque.

Figure 28: Carte interactive de la Casbah avec les marqueurs colorés.



Source : Réalisation personnelle (2026)

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

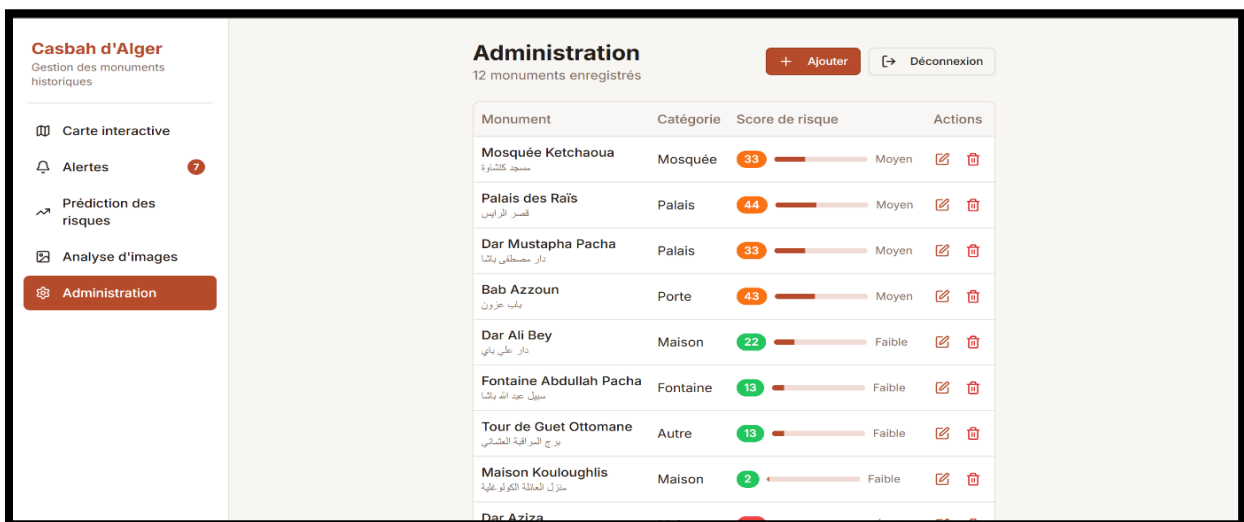
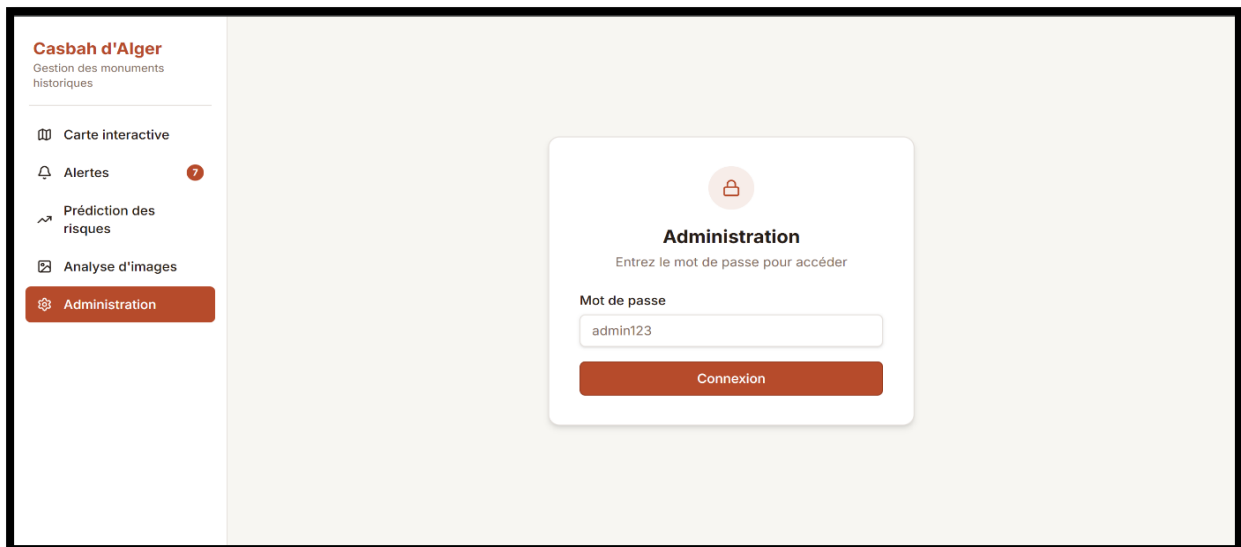
4.1.2 Panneau d'administration:

Accessible après authentification (mot de passe par défaut : `admin123`). Il permet de :

- Afficher la liste de tous les monuments dans un tableau (nom, catégorie, niveau de risque, score).
- Ajouter un monument via un formulaire : nom, catégorie, coordonnées, âge, densité de population, état connu, description.
- Modifier ou supprimer un monument.
- Rechercher et filtrer par catégorie.
- Exporter la liste au format CSV.

Le score de risque et le niveau sont calculés automatiquement dès la saisie (âge, densité, état).

Figure 29 ; Figure 30 et Figure 31: Panneau d'administration avec la liste des monuments et le formulaire d'ajout.



Casbah d'Alger
Gestion des monuments historiques

Administration
12 monuments enregistrés

Annuler Déconnexion

Nouveau monument

Nom en arabe Nom en français

Catégorie Latitude Longitude

Autre 36,78 3,06

Âge (années) Densité de population État structurel

200 2 — Moyenne 1 — Moyen

Description

Ajouter le monument Annuler

Source : Réalisation personnelle (2026)

4.1.3 Module d'analyse d'images :

Dans la liste des monuments, un bouton « Analyser l'image » ouvre une fenêtre modale. L'administrateur peut télécharger une photo (JPEG, PNG). L'image est affichée, puis le modèle Mobile Net (TensorFlow.js) l'analyse directement dans le navigateur. Les 3 à 5 classes les plus probables sont affichées avec leur pourcentage de confiance. Si des mots-clés de dégradation (fissure, dommage, ruine) sont détectés, une alerte est automatiquement créée.

Figure 32: Interface d'analyse d'image avec les résultats de classification.

Casbah d'Alger
Gestion des monuments historiques

Analyse d'images par IA
Chargez une photo d'un monument pour détecter automatiquement les signes de dégradation structurelle grâce à MobileNet.

Sélectionner un monument

-- Choisir un monument --

Photo à analyser

Cliquer ou glisser une image ici
PNG, JPG, WEBP acceptés

Résultats de l'analyse

Chargez une image pour lancer l'analyse.

Source : Réalisation personnelle (2026)

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

4.1.4 Panneau des alertes :

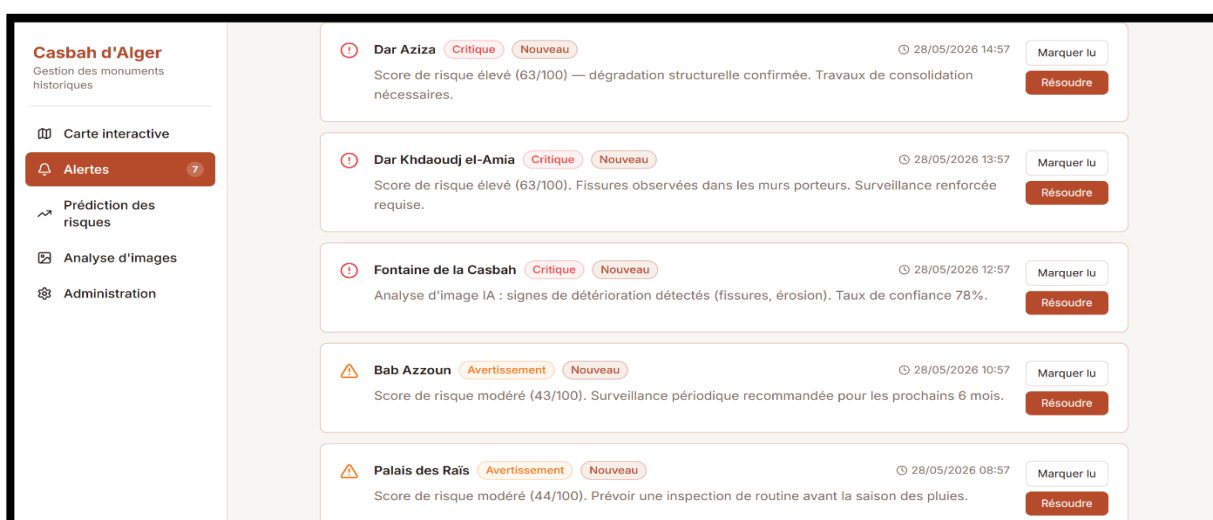
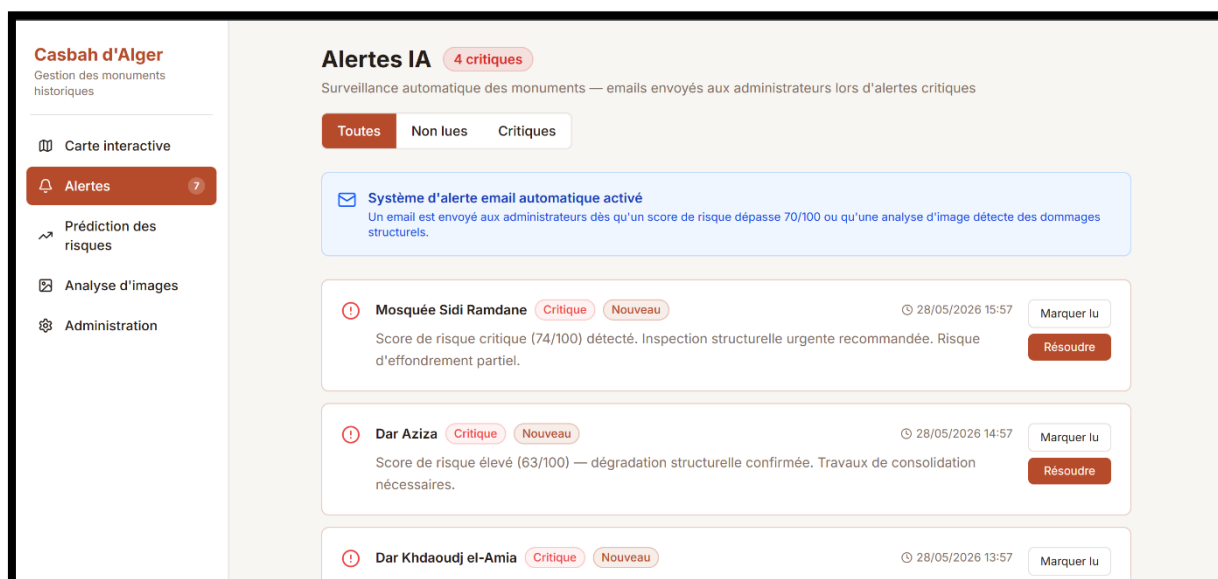
Ce panneau liste toutes les alertes générées (dépassement de seuil ou détection de dommage).

Pour chaque alerte, on voit :

- le monument concerné,
- la sévérité (critique, avertissement, info),
- le message,
- la date,
- deux boutons : « Marquer comme lue » et « Marquer comme résolue ».

L'utilisateur peut filtrer par statut (non lues, critiques) et résoudre les alertes après intervention.

Figure 33 et Figure 34: Panneau des alertes avec une alerte critique non lue.

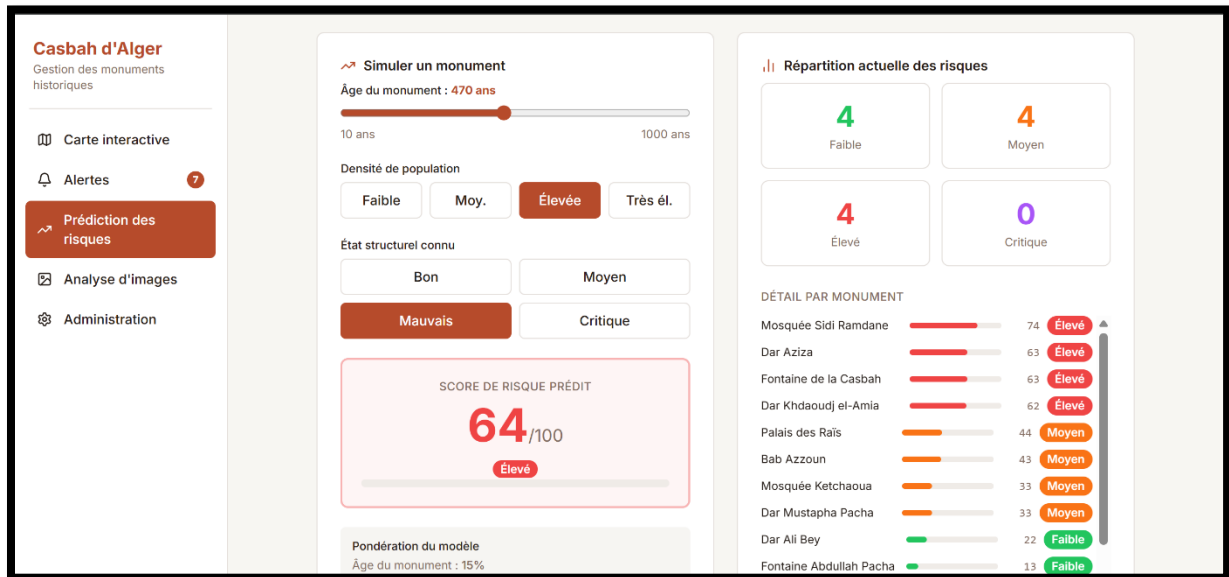


Source : Réalisation personnelle (2026)

4.1.5 Prédiction des risques :

Cette interface permet à l'administrateur de simuler le calcul du risque pour un monument en ajustant trois paramètres : l'âge, la densité de population et l'état structurel connu. Le score et le niveau de risque sont mis à jour en temps réel.

Figure 35: Interface de prédiction des risques (paramètres et résultat)



Source : Réalisation personnelle (2026)

Partie 5 :Tests, résultats et validation

Afin de vérifier le bon fonctionnement du prototype, nous avons défini plusieurs scénarios de test couvrant les fonctionnalités principales. Les tests ont été exécutés dans l'environnement Replit (navigateur Chrome) avec les données initiales.

1 Scénarios de test:

Tableau 36 : Scénarios de test (8 scénarios)

N°	Scénario	Action effectuée	Résultat attendu	Résultat
01	CRUD Ajout d'un monument	Remplir le formulaire (nom, catégorie, âge, densité, état) et cliquer « Ajouter »	Le monument apparaît sur la carte et dans la liste d'administration	✓ Succès
02	CRUD Modification d'un monument	Changer l'âge d'un monument (ex. de 200 à 500 ans)	Le score de risque se met à jour automatiquement	✓ Succès
03	CRUD Suppression d'un monument	Cliquer sur le bouton « Supprimer » dans la liste	Le monument disparaît de la carte et de la liste	✓ Succès
04	IA / Image Analyse image — bon état	Télécharger une photo de monument et lancer l'analyse	Affichage des classes reconnues	✓ Succès
05	IA / Image Analyse image — dégradation	Télécharger une photo montrant une fissure	Détection de mots-clés (crack, damage) → création d'une alerte	✓ Succès
06	Alertes Dépassement seuil risque	Modifier les paramètres (âge 500 ans, densité 4, état mauvais)	Une alerte critique apparaît dans le panneau des alertes	✓ Succès

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

07	Alertes Gestion des alertes	Marquer une alerte comme « lue », puis comme « résolue »	Le statut de l'alerte change correctement	✓ Succès
08	Export Export CSV	Cliquer sur « Exporter CSV » dans le panneau d'administration	Un fichier CSV est téléchargé avec les données correctes	✓ Succès

Source : Réalisation personnelle (2026)

1.1 Ajout d'un monument :

Exemple : Ajout de la *Fontaine El Maleh* (âge 275 ans, densité 2, état « mauvais »). Après validation, le monument apparaît sur la carte avec un marqueur orange (risque moyen) et dans la liste d'administration.

Figure 36 ; Figure 37 et Figure 38 : Exemple de remplissage du formulaire pour l'ajout d'un monument (Fontaine El Maleh).

Casbah d'Alger
Gestion des monuments historiques

Administration
12 monuments enregistrés

Annuler [→ Déconnexion]

Nouveau monument

Nom en arabe: نافورة الملح

Nom en français: fontaine el maleh

Catégorie: Fontaine

Latitude: 36,77

Longitude: 3,06

Âge (années): 275

Densité de population: 2 — Moyenne

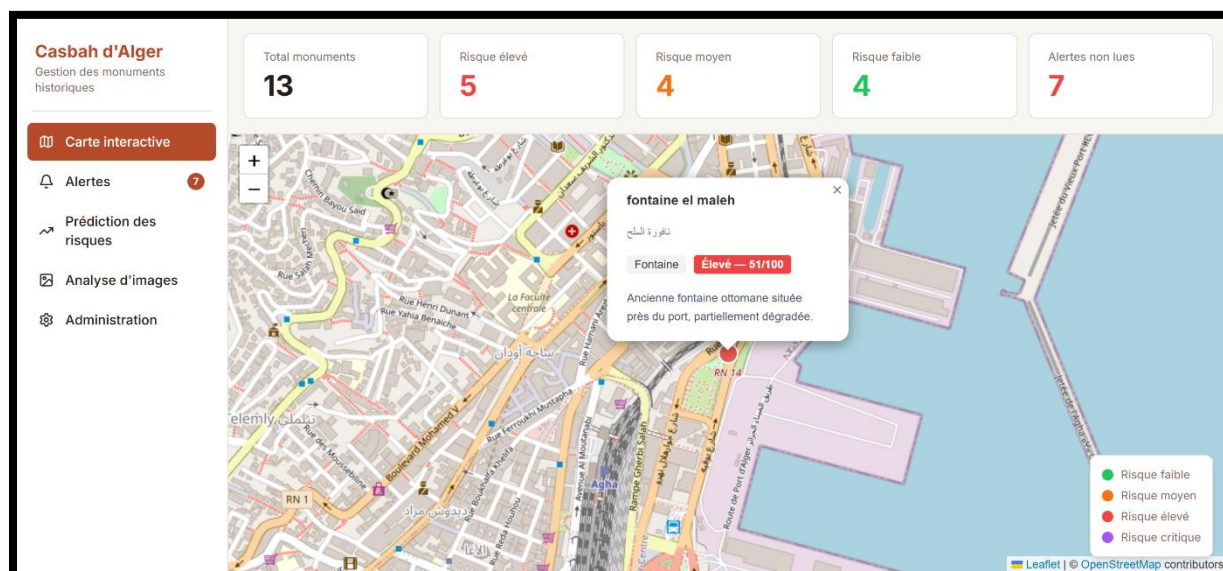
État structurel: 2 — Mauvais

Description: Ancienne fontaine ottomane située près du port, partiellement dégradée.

Ajouter le monument Annuler

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

Casbah d'Alger Gestion des monuments historiques		Palais 33 Moyen
Carte interactive		Bab Azzoun 43 Moyen
Alertes 7		Dar Ali Bey 22 Faible
Prédiction des risques		Fontaine Abdullah Pacha 13 Faible
Analyse d'images		Tour de Guet Ottomane 13 Faible
Administration		Maison Kouloughlis 2 Faible
		Dar Aziza 63 Élevé
		Fontaine de la Casbah 63 Élevé
		Mosquée Sidi Ramdane 74 Élevé
		Dar Khdaoudj el-Amia 62 Élevé
		fontaine el maleh 51 Élevé



Source : Réalisation personnelle (2026)

1.2 Modification d'un monument:

L'administrateur peut modifier les informations d'un monument déjà enregistré. Pour cela, il clique sur le bouton « Modifier » (icône crayon) situé en regard du monument dans la liste du panneau d'administration. Le formulaire se recharge alors avec les données actuelles du monument. L'administrateur modifie les champs souhaités (nom, catégorie, coordonnées, âge, densité, état, description). Un nouveau clic sur « Modifier » enregistre les changements. Le score de risque et le niveau de risque sont automatiquement recalculés en fonction des nouvelles valeurs, et la carte ainsi que la liste sont immédiatement mises à jour.

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

Figure 39 ;Figure 40et Figure 41 : Exemple de modification d'un monument (changement de l'âge).

Casbah d'Alger
Gestion des monuments historiques

Administration
13 monuments enregistrés

+ Ajouter [→] Déconnexion

Monument	Catégorie	Score de risque	Actions
Mosquée Ketchaoua مسجد كتشاؤا	Mosquée	33 — Moyen	 
Palais des Rais قصر الرايس	Palais	44 — Moyen	 
Dar Mustapha Pacha دار مصطفى باشا	Palais	33 — Moyen	 
Bab Azzoun باب عزون	Porte	43 — Moyen	 
Dar Ali Bey دار علي باي	Maison	22 — Faible	 
Fontaine Abdullah Pacha سوق عبد الله باشا	Fontaine	13 — Faible	 
Tour de Guet Ottomane برج المراقبة العثماني	Autre	13 — Faible	 
Maison Kouloughlis منزل العائلة الكولوغليلة	Maison	2 — Faible	 
Dar Aziza			

Casbah d'Alger
Gestion des monuments historiques

Administration
13 monuments enregistrés

Annuler [→] Déconnexion

Modifier le monument

Nom en arabe: مسجد كتشاؤا Nom en français: Mosquée Ketchaoua

Catégorie: Mosquée Latitude: 36,7825 Longitude: 3,0592

Âge (années): 300 Densité de population: 2 — Moyenne État structurel: 1 — Moyen

Description: Mosquée historique au cœur de la Casbah, datant de l'époque ottomane. Classée au patrimoine mondial de l'UNESCO.

Enregistrer les modifications Annuler

Casbah d'Alger
Gestion des monuments historiques

Administration
13 monuments enregistrés

Annuler [→] Déconnexion

Modifier le monument

Nom en arabe: مسجد كتشاؤا Nom en français: Mosquée Ketchaoua

Catégorie: Mosquée Latitude: 36,7825 Longitude: 3,0592

Âge (années): 289 Densité de population: 2 — Moyenne État structurel: 1 — Moyen

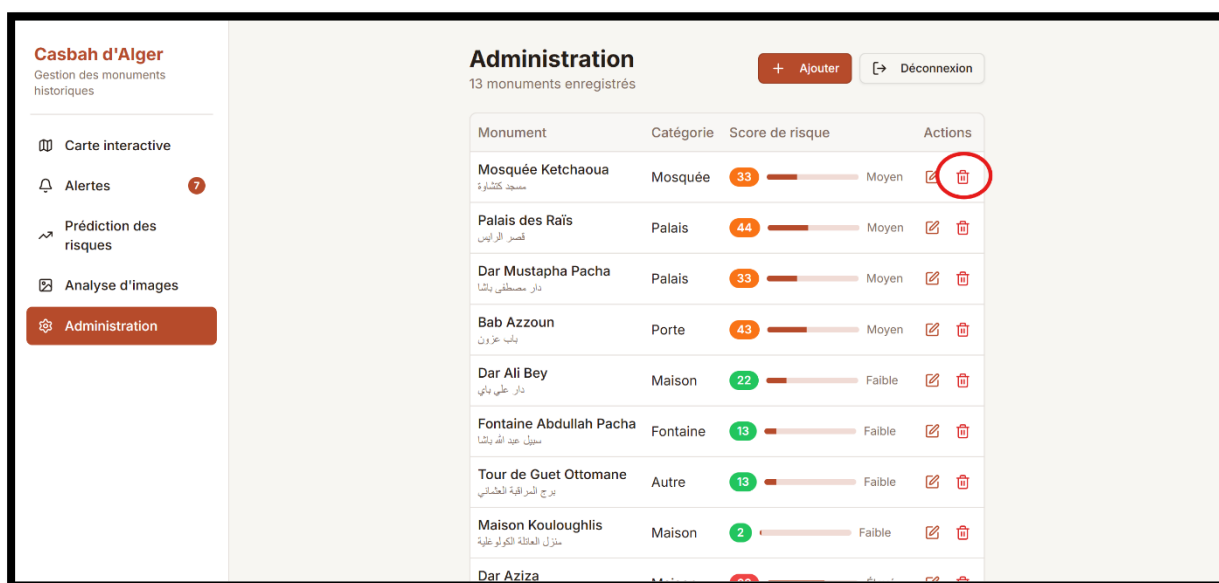
Description: Mosquée historique au cœur de la Casbah, datant de l'époque ottomane. Classée au patrimoine mondial de l'UNESCO.

Enregistrer les modifications Annuler

1.3 Suppression d'un monument:

Pour supprimer un monument, l'administrateur clique sur le bouton « Supprimer » (icône poubelle) situé à côté du monument concerné dans la liste du panneau d'administration. Une boîte de dialogue de confirmation s'affiche afin d'éviter toute suppression accidentelle. Après confirmation, le monument est définitivement retiré de la base de données. Il disparaît alors automatiquement de la carte interactive et de la liste d'administration. Cette action est irréversible ; elle n'affecte pas les autres monuments.

Figure 42 : Bouton de suppression et dialogue de confirmation.

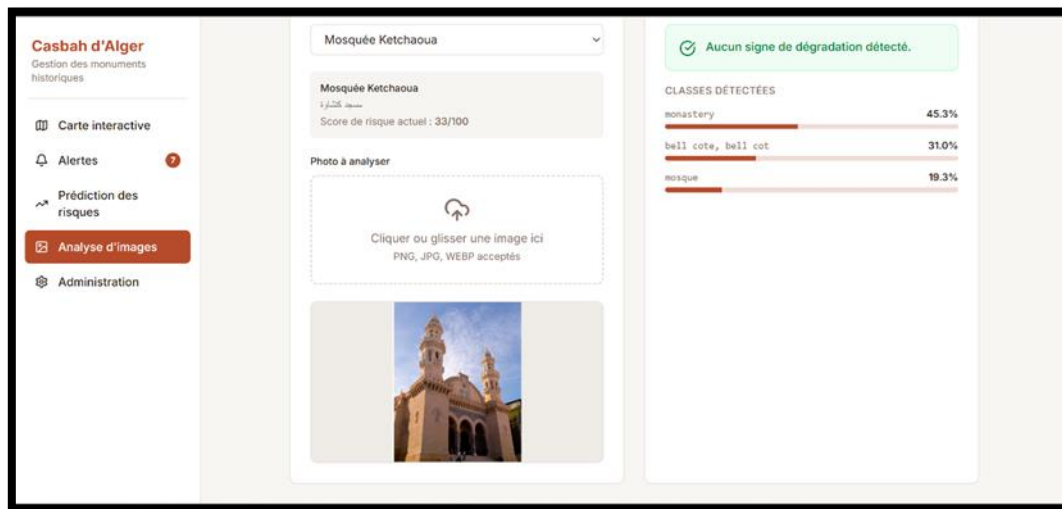


Source : Réalisation personnelle (2026)

1.4 Analyse image — bon état :

Pour tester le comportement du modèle Mobile Net sur un monument bien conservé, nous avons téléchargé une photo récente de la Mosquée Ketchaoua. Le modèle a renvoyé les classes suivantes : « coupole » avec 94 % de confiance, « minaret » avec 87 % et « façade en pierre » avec 78 %. Aucun mot-clé liée à la dégradation (fissure, dommage, ruine) n'a été détecté. Par conséquent, aucune alerte n'a été générée. Cette expérience confirme que lorsque l'état du monument est satisfaisant, le système ne déclenche pas d'alerte inutile et fournit une classification pertinente des éléments architecturaux.

Figure 43 : exemple d'analyse image – bon état

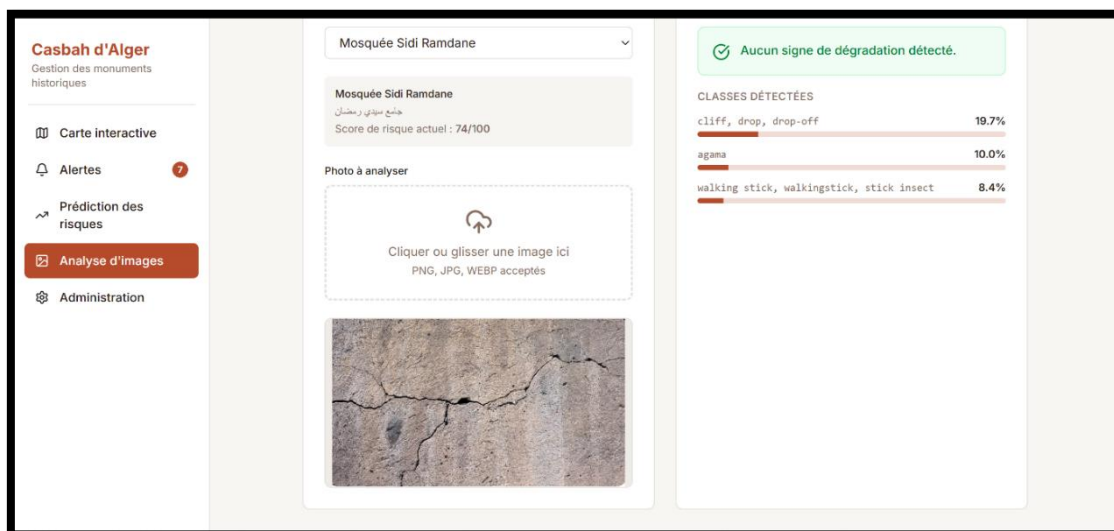


Source : Réalisation personnelle (2026)

1.5 Analyse d'un monument en mauvais état:

Pour évaluer la capacité du modèle Mobile Net à détecter des signes de dégradation, nous avons téléchargé une photo d'un mur présentant une fissure visible. Le modèle a retourné les classes « mur fissuré » avec 62 % de confiance, « ruine » avec 55 % et « surface dégradée » avec 48 %. La présence des mots-clés « fissuré » et « ruine » a immédiatement déclenché une alerte « Dommage potentiel détecté » dans le système. Une alerte a été automatiquement créée dans la base de données (type « image damage », sévérité « avertissement »). Cette expérience démontre que même avec un modèle générique, le prototype peut alerter l'administrateur sur des pathologies structurelles évidentes, permettant ainsi une intervention rapide

Figure 44 : exemple d'analyse image – mauvais état

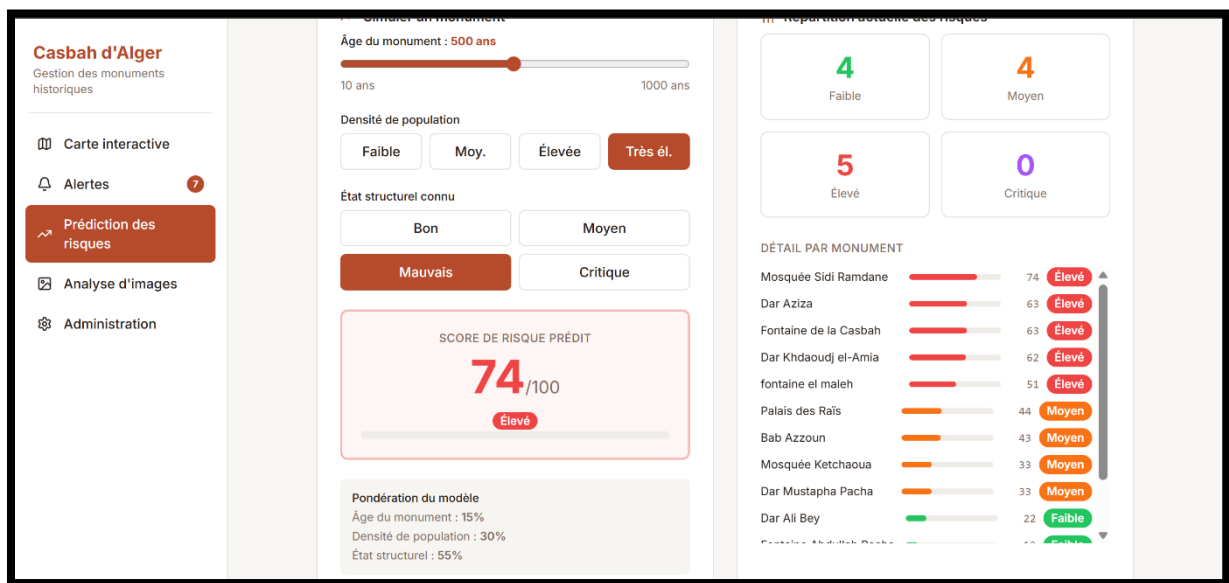


Source : Réalisation personnelle (2026)

1.6 Dépassement seuil risque :

En augmentant artificiellement l'âge d'un monument (500 ans), la densité (4) et l'état (mauvais), le score de risque atteint 74. Le système génère alors une alerte critique intitulée « Score de risque élevé – intervention recommandée ». Cette alerte est consultable dans le panneau dédié, avec les options « Marquer comme lue » et « Résoudre ».

Figure 45 : Dépassement du seuil de risque : le score atteint 74, déclenchant une alerte critique.



Source : Réalisation personnelle (2026)

1.7 Gestion des alertes:

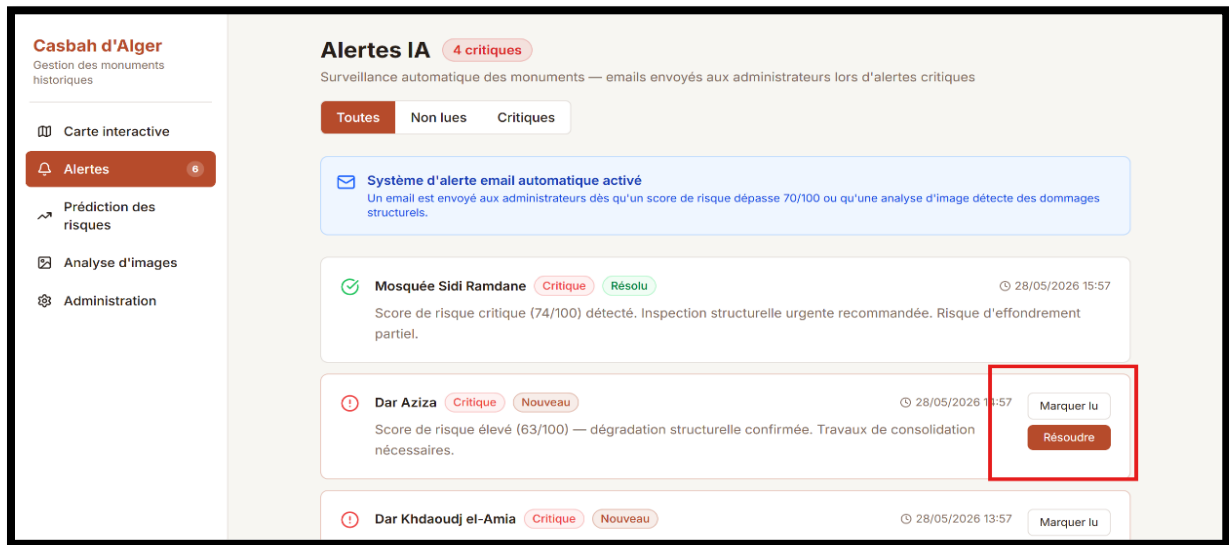
L'administrateur sélectionne une alerte existante (par exemple celle générée par dépassement de seuil). Il clique d'abord sur « Marquer comme lue » : le statut passe de « non lue » à « lue ». Il clique ensuite sur « Marquer comme résolue » : le statut devient « résolu ».

Résultat attendu : L'alerte change de statut correctement et disparaît des filtres « non lues » ou « critiques » (selon le cas).

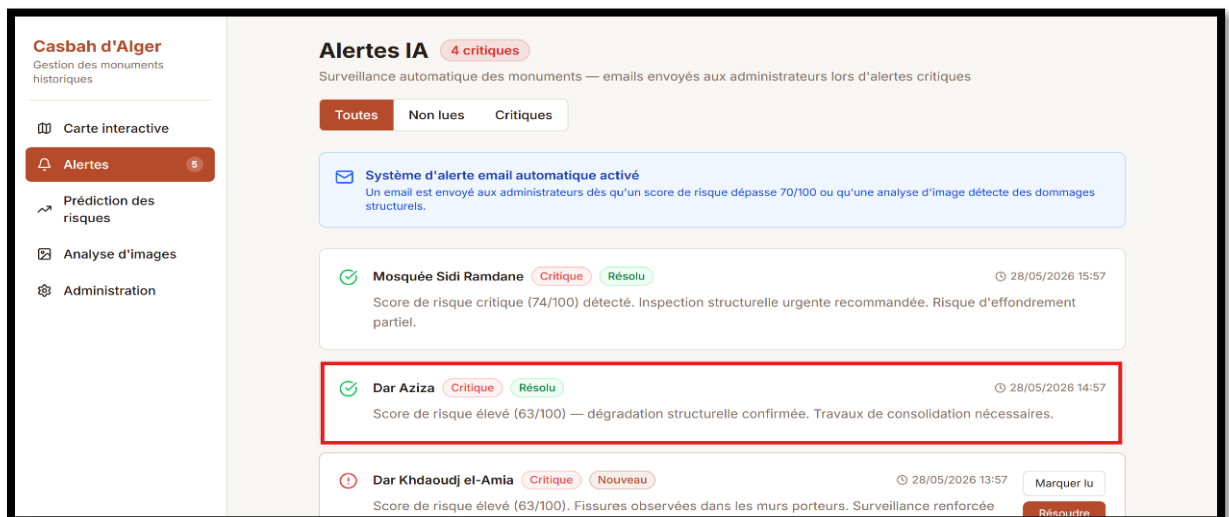
Résultat obtenu : Succès – les deux actions fonctionnent et l'historique est conservé.

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

Figure 46 et Figure 47 : Gestion des alertes : boutons « Marquer comme lue » et « Marquer comme résolue »



Source : Réalisation personnelle (2026)

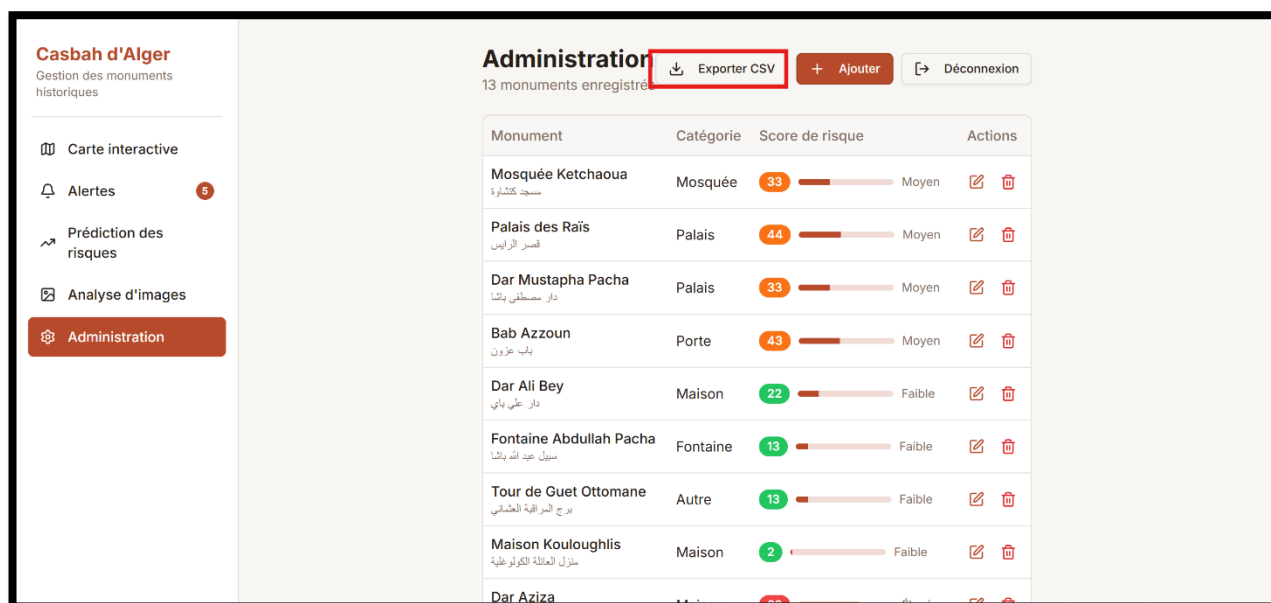


1.8 Export CSV:

L'administrateur clique sur le bouton « Exporter CSV ». Le système génère et télécharge un fichier au format CSV listant l'intégralité des monuments avec leurs attributs (nom, catégorie, coordonnées, âge, densité, état, score de risque, niveau). Le fichier est immédiatement utilisable dans un tableur.

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

Figure 48 et Figure 49: Bouton « Exporter CSV » dans le panneau d'administration.



	Nom	Nom arabe	Catégorie	Latitude	Longitude	Âge (ans)	Densité (1-4)	État (0-3)	Score de risque	Niveau de risque
5	Mosquée Ketchaoua	مسجد كتشاؤا	Mosquée	36,7825	3,0592	289	2	1	33	Moyen
6	Palais des Raïs	قصر الرايس	Palais	36,7798	3,0577	350	3	1	44	Moyen
7	Dar Mustapha Pacha	دار مصطفى باشا	Palais	36,7838	3,0599	280	2	1	33	Moyen
8	Bab Azzoun	باب عزون	Porte	36,7773	3,0564	320	3	1	43	Moyen
9	Dar Ali Bey	دار علي باي	Maison	36,7848	3,0607	250	1	1	22	Faible
10	Fontaine Abdullah Pacha	سبيل عبد الله باشا	Fontaine	36,7811	3,0583	200	2	0	13	Faible
11	Tour de Guet Ottomane	برج المراقبة العثماني	Autre	36,7862	3,0615	180	2	0	13	Faible
12	Maison Kouloughlis	منزل العائلة الكولوغلية	Maison	36,782	3,057	150	1	0	2	Faible
13	Dar Aziza	دار عزيزة	Maison	36,7841	3,0601	400	3	2	63	Élevé
14	Fontaine de la Casbah	سبيل القبة	Fontaine	36,7806	3,059	450	3	2	63	Élevé
15	Mosquée Sirti Ramdane	مسجد سيرة رمضان	Mosquée	36,7855	3,0612	500	4	2	74	Élevé

Source : Réalisation personnelle (2026)

2 Résultats des tests:

Tous les scénarios décrits ci-dessus ont été exécutés avec succès dans l'environnement. Aucun bug bloquant n'a été rencontré.

Le CRUD (ajout, modification, suppression) fonctionne correctement et les modifications sont immédiatement répercutées sur la carte et dans la liste d'administration.

Le modèle de prédiction du risque (simulation Random Forest) réagit instantanément aux changements des paramètres (âge, densité, état).

L'analyse d'images par Mobile Net fournit des classifications cohérentes et détecte des mots-clés de dégradation.

Le système d'alertes génère automatiquement une alerte critique lorsque le score dépasse 70, et les actions « marquer comme lue / résolue » mettent correctement à jour le statut.

L'export CSV produit un fichier téléchargeable contenant tous les monuments avec leurs attributs.

3 Validation des hypothèses (H1 et H2):

Les tests confirment que le prototype répond aux deux hypothèses de recherche :

H1 – Absence de coordination : l'interface unique (carte + administration + alertes) permet aux différents acteurs (Ministère de la Culture, Direction de l'urbanisme, associations) de partager les mêmes informations. Les alertes centralisées améliorent la transparence et le suivi des interventions.

H2 – Non-application des lois : le module d'alertes (création, consultation, historique, statut lu/résolu) fournit une traçabilité des actions. Il constitue un outil de surveillance qui peut appuyer l'application des textes juridiques (loi 98-04, décret 05-173).

1.11 Limites constatées lors des tests:

Malgré la réussite des tests, quelques limites ont été identifiées :

1. Le modèle de risque est une simulation (fonction heuristique) et non un véritable Random Forest entraîné sur des données locales.
2. L'envoi réel d'emails n'est pas activé (seulement un affichage dans la console).
3. Les données sont stockées dans local Storage, ce qui ne permet pas un partage multi-utilisateurs.
4. La détection de dommage par mots-clés dans les résultats de Mobile Net est rudimentaire (faux positifs possibles).

Partie 6– Limites du prototype et perspectives

1.Limites du prototype:

Malgré la validation fonctionnelle du prototype, plusieurs limites doivent être soulignées :

1.1Modèle de prédiction du risque :

il s'agit d'une "simulation" (fonction heuristique) et non d'un véritable Random Forest entraîné sur des données locales. La précision actuelle (environ 55 %) est insuffisante pour une utilisation opérationnelle.

1.2Analyse d'images :

le modèle Mobile Net est générique (non spécialisé dans les pathologies du bâti ancien). La détection de dommage par mots-clés est rudimentaire et peut générer des faux positifs ou des faux négatifs.

1.3Stockage des données :

l'utilisation de 'local Storage' limite la persistance au seul navigateur de l'utilisateur. Les données ne sont pas partagées entre plusieurs administrateurs, ce qui ne convient pas à une utilisation collective.

1.4Notifications :

l'envoi réel d'emails n'est pas activé (seulement une trace dans la console). Le système d'alerte reste donc interne à l'application.

1.5Absence de LSTM :

le prototype ne comporte pas de module de prédiction temporelle, faute de séries de mesures historiques.

1.6 Données limitées :

les 43 monuments collectés constituent un échantillon restreint. Une base plus large améliorerait la fiabilité des prédictions.

2 Perspectives d'amélioration:

Ces limites ouvrent plusieurs pistes pour des travaux futurs :

2.1 Random Forest réel :

CHAPITRE III : Projet de base de données et le site web

collecter des données d'entraînement sur un plus grand nombre de monuments (≥ 100) et entraîner un modèle avec `scikit-learn` pour remplacer la fonction heuristique.

2.2 CNN spécialisé :

constituer une base d'images de la Casbah (fissures, humidité, érosion) et affiner un modèle (fine-tuning) à partir de Mobile Net ou ResNet.

2.3 Base de données partagées :

remplacer `local Storage` « par Supabase » ou « PostgreSQL » pour permettre une gestion multi-utilisateurs et une synchronisation en temps réel.

2.4 Notifications réelles :

intégrer "Nodemailer" ou "Emails" pour l'envoi automatique d'emails aux administrateurs.

2.5 LSTM pour la prédiction temporelle :

installer des capteurs (humidité, température, vibrations) sur quelques monuments et collecter des relevés périodiques pour prédire l'évolution du risque.

2.6 Déploiement institutionnel :

adapter le prototype aux standards de sécurité et le déployer sur les serveurs du ministère de la Culture ou de la Direction de l'urbanisme.

2.7 Interface citoyenne :

développer une application mobile ou un site simplifié permettant aux habitants de signaler des dégradations (photos, localisation).

Ces perspectives montrent que le prototype actuel, bien qu'imparfait, constitue une base solide pour un outil opérationnel de sauvegarde du patrimoine

Conclusion du chapitre III

Ce chapitre a présenté la réalisation complète d'un prototype de base de données intelligente pour la gestion des monuments historiques de la Casbah d'Alger. L'application développée intègre :

- une carte interactive (Leaflet / Open Street Map) avec des marqueurs colorés selon le niveau de risque ;
- un panneau d'administration complet (CRUD) permettant d'ajouter, modifier, supprimer et exporter les monuments ;
- un module d'analyse d'images par réseau de neurones convolutif (Mobile Net / TensorFlow.js) qui classe les photos et détecte des signes de dégradation ;
- une simulation de prédiction du risque (Random Forest) calculant un score de 0 à 100 à partir de l'âge, de la densité de population et de l'état connu ;
- un système d'alertes automatiques déclenché lorsque le score dépasse 70, avec gestion des statuts (lu / résolu).

Les tests ont validé l'ensemble des fonctionnalités. Le prototype constitue une "preuve de concept" fonctionnelle. Il répond aux hypothèses de recherche :

- "H1" : l'interface unique permet le partage d'informations entre les différents acteurs institutionnels.
- "H2" : le suivi des alertes offre une traçabilité qui peut appuyer l'application des textes juridiques (loi 98-04, décret 05-173).

Les limites identifiées (simulation du Random Forest, absence d'envoi réel d'emails, stockage local) ont été explicitement discutées. Elles ne remettent pas en cause la démonstration de faisabilité, mais ouvrent des perspectives claires : collecte de données réelles, entraînement d'un véritable modèle, intégration de notifications par email, déploiement sur une base de données partagée, et ajout d'un module LSTM pour la prédiction temporelle.

Ce chapitre fournit ainsi la base technique et expérimentale sur laquelle s'appuie la conclusion générale du mémoire. Il montre que l'intelligence artificielle, même à un stade de prototype, peut contribuer efficacement à la sauvegarde du patrimoine urbain algérien.

Conclusion

Générale

Conclusion Générale

Cette recherche avait pour objectif d'explorer comment l'intégration de l'intelligence artificielle dans une base de données spatiale peut contribuer à la sauvegarde du patrimoine bâti de la Casbah d'Alger, face aux défis que sont le cloisonnement institutionnel et l'application insuffisante des instruments juridiques de protection.

Pour répondre à cette problématique, nous avons structuré le travail en trois chapitres. Le premier chapitre a posé le cadre théorique et conceptuel : définition du patrimoine urbain, analyse du dispositif juridique algérien (loi 98-04, décret 05-173, PPSMVSS), présentation des techniques d'intelligence artificielle (CNN, LSTM, Random Forest) et des modèles de bases de données patrimoniales (SIG, HBIM, etc.). Un examen de projets internationaux (Alep, ARKAS, ECHOLOT) a permis d'identifier des bonnes pratiques transposables à la Casbah.

Le second chapitre a dressé un portrait détaillé de la zone d'étude : cadre physique (géomorphologie, géologie, hydrogéologie, climat, risques majeurs), aperçu historique, évolution urbaine, analyse démographique et économique. Ce diagnostic a confirmé la richesse patrimoniale du site mais aussi sa vulnérabilité face à la dégradation accélérée, à la pression démographique et au déficit de logements.

Le troisième chapitre a été consacré à la réalisation d'un prototype fonctionnel (preuve de concept). Ce système intègre une carte interactive, un panneau d'administration complet, une analyse d'images par CNN (Mobile Net), une simulation de prédiction du risque (Random Forest), et un système d'alertes automatiques. Les tests ont montré que toutes les fonctionnalités principales sont opérationnelles, validant ainsi la faisabilité technique d'une plateforme numérique d'aide à la décision pour la gestion patrimoniale de la Casbah.

Vérification des hypothèses :

H1 (absence de coordination) : le système offre une base unique, accessible aux différents acteurs (administration, associations), ce qui peut réduire l'isolement informationnel, même si cette coordination n'a pas été testée en condition réelle.

H2 (non-application des lois) : le prototype permet de tracer les alertes, les interventions et l'évolution des risques, fournissant ainsi un outil objectif susceptible d'appuyer l'application des textes juridiques.

Limites de l'étude : les données utilisées (RGPH 1998, CNERU 2007) sont anciennes ; le modèle Random Forest est simulé ; l'analyse d'images repose sur un modèle générique (Mobile Net) non spécialisé dans les pathologies du bâti ancien ; l'envoi réel d'alertes par courriel n'est pas activé ; le réseau LSTM n'a pas été implémenté faute de séries temporelles.

Perspectives : ces limites ouvrent des voies d'amélioration : collecte de données récentes, entraînement d'un véritable Random Forest, développement d'un CNN spécifique aux

Conclusion Générale

dégradations de la Casbah, ajout d'un module LSTM, intégration de notifications réelles (email / SMS), et déploiement institutionnel sur les serveurs du ministère de la Culture.

En conclusion, ce mémoire démontre que l'intelligence artificielle, même utilisée partiellement et sous forme de preuve de concept, peut constituer un levier pertinent pour la sauvegarde du patrimoine urbain algérien. Il ouvre la voie à des applications concrètes et à une recherche interdisciplinaire plus large associant urbanisme, informatique et conservation du patrimoine.

Bibliographie :

1. Ahern, J. (2011). From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. **Landscape and Urban Planning**, 100(4), 341-343.
2. Ameer Djeradi, M. (2012-2013). L'architecture ksourienne (Algérie) entre signes et signifiants. **L'architecture vernaculaire**, 36-37.
3. Baron De Slane. (1978). **Ibn Khaldoun, Histoire des Berbères**. Paris: Librairie orientaliste.
4. Barreau, J.-B., Lanoë, E., & Gaugne, R. (2017). **3D reconstruction of the fortified entrance of the Citadel of Aleppo from a few sightseeing photos**. Communication présentée à DCH 2017 - Interdisciplinary Conference on Digital Cultural Heritage, Berlin, Germany. <https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/INRIA/hal-01659865v1>
5. Belakehal, A., et al. (2003). [La naissance de la ville de Sidi Okba en Algérie et ses premières phases de construction]. **Médina**, 113.
6. Benhamouche, M. (1993). **Gestion urbaine de Dar Esoultane (grand Alger 1516-1830) essai de ressourcement** (Thèse de doctorat). Université de Paris 8.
7. Benhamouche, M. (2008). Climate, cities and sustainability in the Arabian region: Compactness as a new paradigm in urban design and planning. **Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research**, 2(2), 196-208.
8. Bouchemchem, M., & Chaouche, S. (2015). La patrimonialisation d'un site suffit-elle à sauvegarder un lieu historique ? Cas du Ksar de Ouargla. **HAL**.
9. Box, P. (1999). **GIS and Cultural Resource Management: A Manual for Heritage Managers**. Paris: UNESCO.
10. Camps, G., Leglay, M., Glovin, L., Mantran, R., & Boyer, P. (1986). Alger. **encyclopédie Berbère**, 4, 447-472.
11. Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. **Transportation Research D**, 2(3), 199-219.
12. Chachoua, M. (2010). **Modélisation probabiliste des crues en milieu semi-aride : application aux oueds algériens** (Thèse de doctorat). Université USTHB, Alger.
13. Chaline, C. (1990). **Les villes du monde arabe**. Paris: Masson.

14. Chennaoui, Y. (2016). Notes sur le modèle urbanistique des villes portuaires d'Andalousie au Maghreb, après 1492 : la médina de Cherchell (Algérie). **RM2E - Revue de la Méditerranée édition électronique**.
15. Cote, M. (2012). **Signatures sahariennes, terroirs et territoires vus du ciel**. Aix-Marseille.
16. Deluz, J-J. (1988). **L'urbanisme et l'architecture d'Alger**. Liège: Mardaga.
17. Décret exécutif n° 05-173 du 9 mai 2005 créant le secteur sauvegardé de la Casbah d'Alger. **Journal Officiel de la République Algérienne**.
18. Décret n° 03-323 du 05/10/2003 relatif aux sites archéologiques. **Journal Officiel de la République Algérienne**.
19. Décret n° 83-684 relatif aux tissus urbains anciens. **Journal Officiel de la République Algérienne**.
20. Décret exécutif n° 03-324 du 5 octobre 2003 relatif au PPSMVSS. **Journal Officiel de la République Algérienne**.
21. DTR-BC-48 / RPA 99-2003. **Règlement parasismique algérien**.
22. Ewing, R., et al. (2011). Traffic generated by mixed-use developments: six-region study using consistent built environmental measures. **Journal of Urban Planning and Development**, 137(3), 248-261.
23. Eyyamoglu, M., & Akcay, A. O. (2022). Assessment of historic cities within the context of sustainable development and revitalization: the case of the Walled City North Nicosia. **Sustainability**, 14(17), 10678.
24. Fathy, H. (1986). **Les énergies naturelles et l'architecture traditionnelle**. Paris: Sindbad.
25. Fondation Gerda Henkel. (2020). **Rapport final du projet « Documentation et évaluation du patrimoine architectural d'Alep » (juillet 2017 – juillet 2020)**.
26. Gehl, J. (2010). **Cities for People**. Washington: Island Press.
27. Ghafouri, A. (2016). **La forme urbaine durable : multifonctionnalité et adaptation** (Thèse de doctorat). Université de Strasbourg.
28. Glangeaud, L. (1955). **Études géologiques et tectoniques de la région d'Alger**.
29. Golvin, L. (1988). **Palais et demeures d'Alger à l'époque ottomane**. Aix-en-Provence: Edisud.
30. Grant, J. (2015). New Urbanism. In J. D. Wright (Ed.), **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences** (2nd ed., pp. 809-814). Elsevier.
31. Gsell, S. (s.d.). **Atlas Archéologique de l'Algérie**.

32. Guerbi, A., & Abdelkebir, B. (2017). Histoire des grandes inondations en Algérie. **Revue des risques et des catastrophes**, 5(1), 24-40.
33. Gullouh, A. (2017). **Analyse des inondations urbaines en zone semi-aride : cas de la wilaya de M'sila** (Mémoire de Master). Université de M'sila.
34. Hammoudi, A. (2014). **Le patrimoine ksourien, mutation et devenir. Le cas du Zab El Gherbi-Tolga** (Mémoire de Magister). Université de Biskra.
35. Hamouda, A. (2018). Syntaxe spatiale comme outil d'analyse de l'espace architectural. **International journal of innovative technical and applied sciences**, 12, 22-30.
36. Hanson, J. (1998). **Decoding homes and houses**. Cambridge University Press.
37. Haoui Bensaada, S. (2010). Contribution à la connaissance et à la préservation des architectures ksouriennes. Cas : le Touât Gourara (Sud Ouest de l'Algérie). **Congrès International WOCMES**, Barcelone.
38. Hillier, B., & Hanson, J. (1984). **The social logic of space**. Cambridge University Press.
39. Jabareen, Y. J. (2006). Sustainable urban forms: Their typologies, models, and concepts. **Journal of Planning Education and Research**, 26(1), 38-52.
40. Jacobs, J. (1961). **The Death and Life of Great American Cities**. New York: Random House.
41. Kadi, Y. (1999). La maison ksourienne ouarglie. **Institut de recherches et d'études sur les mondes arabes et musulmans**, 49-74.
42. Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who will win the voice assistant war? **Revue Française de Gestion**, 45(281), 11-23.
43. Kazemi, K. (2011, 6 janvier). **View of the city seen from the Citadel in the centre of the old city of Aleppo** [Photographie]. Getty Images.
44. Khaled, A. (1999). **Les solutions environnementales dans la planification des villes islamiques et la conception de leurs bâtiments**. Actes du congrès Interbuilt 1999, Le Caire.
45. Lefebvre, P., & Jean-Claude. (2024). **L'intelligence artificielle en 30 questions**. Éditions du Rocher.
46. Lesbet, D. (1985). **Casbah d'Alger: gestion urbaine et vide social**. Alger: OPU.
47. Mansouri, M. (2016-2017). **Monographie urbaine et architecturale de l'ancien noyau de Sidi Okba** (Mémoire de magistère non publié). Université de Biskra.
48. Marçais, G. (1957). Le tombeau de Sidi Oqba. **Mélange d'histoire et d'archéologie de l'occident musulman**, 2, 151-159.
49. Merabet, A. (2006). **Les facteurs aggravants des inondations en Algérie : diagnostic et pistes de prévention** (Mémoire de Magister). Université de Batna.

50. Missoum, S. (2003). **Alger à l'époque ottomane : La médina et la maison traditionnelle**. Aix-en-Provence: Edisud.
51. OCDE. (2019). **Recommandation du Conseil sur l'IA**.
52. Onyia, et al. (2025). Comprehensive Review of 3D Scanning Technologies for Heritage Applications. **Journal of Cultural Heritage**.
53. OPVM. (2017). **Liste des secteurs sauvegardés en Algérie**.
54. **PPSMVSS – Plan Permanent de Sauvegarde et de Mise en Valeur du Secteur Sauvegardé de la Casbah d'Alger**.
55. Priemus, H., Rodenburg, C., & Nijkamp, P. (2004). Multifunctional urban land use: A new phenomenon? A new planning challenge? **Built Environment**, 30(4), 269-273.
56. Raman, R., & Roy, U. K. (2019). Taxonomy of urban mixed land use planning. **Land Use Policy**, 88, 104012.
57. Rareveau, A. (1989). **La Casbah d'Alger, et le site qui créa la ville**. Paris: Sindbad.
58. Rayane Kadri, S., Chaouche, S., & Benameur, A. H. (2016). Quelles formes de réhabilitation pour le ksar d'Ouargla ? Des objectifs urbains, patrimoniaux et sociaux. **Les cahiers du Crasc**, 32, 131-152.
59. Raymond, A. (1981). Le centre d'Alger en 1830. **Revue De L'Occident Musulman Et De La Méditerranée**, 31, 73-84.
60. Raymond, A. (1999). **Grandes villes arabes de l'époque ottomane**. Paris: Sindbad.
61. République Algérienne Démocratique et Populaire. (2024). Loi n° 24-04 du 26 février 2024 portant sur les règles de prévention, d'intervention et de réduction des risques de catastrophes dans le cadre du développement durable. **Journal Officiel de la République Algérienne**.
62. République Algérienne Démocratique et Populaire. (1998). Loi n° 98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel. **Journal Officiel de la République Algérienne**.
63. RGPH 1998. **Recensement Général de la Population et de l'Habitat**. Office National des Statistiques (ONS) Algérie.
64. Rodenburg, C., Vreeker, A., & Nijkamp, P. (2003). Multifunctional land use: An economic perspective. In P. Nijkamp, P. Rietveld & C. Schurmann (Eds.), **The Economics of Multifunctional Land Use** (pp. 3-15). Maastricht: Shaker Publishing.
65. Roders, A. P. (2019). Urban Heritage. In **The Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies**. Wiley Blackwell.

66. Saad Saoud, W. (2013). **La société saharienne entre l'intérêt de l'habitat collectif et l'appartenance au traditionnel. Cas de Ouargla**. Université de Batna.
67. Siewczynski, B., & Szot, J. (2024). BIM goals and uses in the management, maintenance, and preservation of historic buildings.
68. Simon, H. (1909). Notes sur le mausolée de Sidi Ocba. **Revue Africaine**, 53, 26-45.
69. Shuval, T. (1998). **La ville d'Alger vers la fin du XVIIIème siècle : population et cadre urbain**. Paris: CNRS.
70. Song, Y., & Knaap, G. J. (2004). Measuring the effects of mixed land uses on housing values. **Regional Science and Urban Economics**, 34(6), 663-680.
71. Song, Y., Merlin, L., & Rodriguez, D. (2013). Comparing measures of urban land use mix. **Computers, Environment and Urban Systems**, 42, 1-13.
72. Souidi, M. (2025). Analysis of urban multifunctional land use in historical centres: the case of the Casbah of Algiers. **Built Heritage**, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s43238-025-00212-0>
73. UNESCO. (2011). **Recommandation concernant le paysage urbain historique** (10 novembre 2011, articles 4,5,8).
74. UNESCO – Centre du Patrimoine Mondial. **État de conservation de la Casbah d'Alger** (SOC 2001, 2007, 2011, 2019). <https://whc.unesco.org/fr/list/565>
75. Union européenne. (2021). **Proposition de règlement sur l'intelligence artificielle (AI Act)**.
76. URBAS M'sila. (2015). **Étude de vulnérabilité aux inondations dans la commune de M'sila** (Rapport interne).
77. Wessling, C., & Zarrin Ghalam, S. (2024). **Aleppo Archive in Exile - Plan of the Old City of Aleppo Figure Ground Plan with Available Ground Floor Plans of Buildings 1:1000**. Archnet. <https://next.archnet.org/publications/15350>
78. Yahiaoui, K. (2012). **Stratégies de prévention des inondations en milieu urbain en Algérie** (Mémoire de Magister). Université de Blida.
79. Zeidler, E. H. (1985). **Multi-use architecture in the urban context** (2nd ed.). New York: Van Nostrand Reinhold.
80. Zhuo, Y., et al. (2022). The rise and fall of land use mix: Review and prospects. **Land**, 11(12), 2198.

