

République Algérienne Démocratique Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 Guelma



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Architecture

MÉMOIRE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER

Filière : **Architecture**

Spécialité : **Architecture**

Présenté par :
BENSAADA NIHAD

Thème : Ville et santé

**PROJET : Conception d'un hôpital haute qualité
environnementale à Guelma**

Sous la direction de :
Dr. CHERAITIA Mohamed

Année Universitaire : 2024/2025

Remerciements

Je remercie Dieu, le Tout-Puissant, de m'avoir donné la force, le courage et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

En premier lieu, je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon encadrant, Dr. CHERAITIA Mohamed, pour avoir accepté de me guider tout au long de ce travail. Je le remercie pour sa patience, sa disponibilité, son aide précieuse, ainsi que pour ses conseils et suggestions qui ont grandement nourri ma réflexion et contribué à l'atteinte de mes objectifs.

Je remercie également l'ensemble de mes professeurs du département, qui ont contribué à ma formation tout au long de ces années d'étude.

Je remercie les membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer ce travail.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à mes chers parents, à mon mari, à mon frère et à ma sœur, pour leur soutien moral et matériel constants, sans lesquels cette réussite n'aurait pas été possible.

Je remercie également tous mes collègues et amis, qui ont toujours été là pour m'aider, me soutenir et m'encourager tout au long de ce parcours.

À toutes ces personnes, j'adresse mes plus profonds remerciements, mon respect et ma reconnaissance. Vous êtes ma source d'inspiration et de motivation au quotidien.

Merci à toutes et à tous.

Nihad.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents, pour leurs immenses sacrifices, leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs prières qui m'ont portée tout au long de mon parcours. Que Dieu me les garde, car ils sont ma force, ma lumière et le secret de ma réussite.

À mon cher mari, Abd Al Hamid, pour son amour, sa patience, sa compréhension et son soutien constant. Merci pour ta présence rassurante, ton écoute et tes encouragements dans chaque étape de ce parcours.

À ma petite sœur Hadil, ma joie de vivre, et à mon frère Younes, mon complice de toujours. Merci pour votre affection, votre confiance en moi et votre présence à mes côtés.

À mes chères tantes, pour leur tendresse, leur respect et leur soutien moral inestimable. Votre bienveillance et vos prières m'ont toujours été précieuses.

À mes amies fidèles Amira et Warda , pour leur écoute, leur générosité, leur soutien et les moments de bonheur partagés. Merci pour cette belle amitié qui m'a tant apportée.

À toute ma famille, pour leur amour et leurs encouragements.

À mon encadrant, Dr. CHERAITIA Mohamed, ainsi qu'à tous mes enseignants, pour leur accompagnement tout au long de mon parcours.

Et à toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont laissé dans ma vie un sourire, un mot gentil ou un moment de bonheur.

Merci à tous.

Résumé

Ce mémoire porte sur l'application de la démarche Haute Qualité Environnementale (HQE) dans le secteur hospitalier, avec un accent particulier sur les cibles liées au confort et à la santé. La HQE, initiée en France dans les années 1990, est une approche de management environnemental visant à réduire l'impact des bâtiments sur l'environnement tout en assurant un niveau élevé de bien-être pour les usagers. Elle s'appuie sur une analyse du cycle de vie du bâtiment et se structure autour de quatorze cibles regroupées en quatre axes : éco-construction, éco-gestion, confort et santé.

Dans les établissements de santé, où les enjeux de qualité de l'environnement intérieur sont cruciaux, les principes HQE offrent des leviers d'action pour améliorer à la fois les conditions de travail du personnel et le bien-être des patients, tout en diminuant l'empreinte écologique des infrastructures. L'étude, centrée sur le contexte algérien, analyse les apports concrets de cette démarche dans les projets de construction et de rénovation hospitalière. Elle propose également des recommandations pour une meilleure intégration des critères HQE, dans une perspective de développement durable adaptée aux spécificités locales.

Mots-clés : Les établissements médicaux, Hôpital universitaire, Qualité de l'air intérieur, Haute Qualité Environnementale (HQE), Conception durable, Cibles HQE.

الملخص

يتناول هذا البحث تطبيق منهج الجودة البيئية العالية HQE، في قطاع المستشفيات، مع تركيز خاص على الأهداف المتعلقة بالراحة والصحة. تُعد HQE، التي انطلقت في فرنسا خلال تسعينيات القرن الماضي، منهجية لإدارة البيئة تهدف إلى تقليل الأثر البيئي للمباني مع الحفاظ على مستوى عالٍ من الراحة والصحة لمستخدميها. وتعتمد هذه المقاربة على تحليل دورة حياة المبنى، وترتكز على أربعة محاور رئيسية تشمل أربعة عشر هدفاً: البناء البيئي، الإدارة البيئية، الراحة، والصحة.

في المؤسسات الصحية، حيث تكتسي جودة البيئة الداخلية أهمية بالغة، تتيح مبادئ HQE فرصاً حقيقية لتحسين ظروف عمل العاملين وراحة المرضى، مع الحد من البصمة البيئية للمنشآت الصحية. تركز هذه الدراسة على السياق الجزائري، حيث تقيّم الإسهامات الملموسة لهذا النهج في مشاريع بناء وتجديد المستشفيات، وتقتراح توصيات لتعزيز إدماج معايير HQE في تصميم البنى التحتية الصحية، وفق منظور للتنمية المستدامة يتلاءم مع الخصوصيات المحلية.

الكلمات المفتاحية: المرافق الطبية، المستشفى الجامعي، جودة الهواء الداخلي، جودة البيئة العالية (HQE)، التصميم المستدام، أهداف HQE.

Abstract

This thesis focuses on the application of the High Environmental Quality (HQE) approach in the hospital sector, with particular emphasis on targets related to comfort and health. HQE, initiated in France in the 1990s, is an environmental management approach aimed at reducing the environmental impact of buildings while ensuring a high level of user well-being. It is based on a life cycle analysis of buildings and is structured around fourteen targets grouped into four areas: eco-construction, eco-management, comfort, and health.

In healthcare facilities, where the quality of the indoor environment is crucial, HQE principles provide levers to improve both staff working conditions and patient well-being, while reducing the ecological footprint of infrastructure. This study, focused on the Algerian context, analyzes the concrete contributions of this approach in hospital construction and renovation projects. It also offers recommendations for better integration of HQE criteria, in a sustainable development perspective adapted to local specificities.

Keywords: Medical facilities, University hospital, Indoor air quality, High Environmental Quality (HQE), Sustainable design, HQE targets.

Table des matières

Introduction générale :.....	Erreur ! Signet non défini.
Problématique.....	Erreur ! Signet non défini.
Hypothèses	Erreur ! Signet non défini.
Objectifs	Erreur ! Signet non défini.
Méthodologie de recherche	Erreur ! Signet non défini.
Structure du mémoire	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre I : La démarche HQE dans les établissements sanitaires : revue critique de la littérature.....	7
Introduction	8
I.1 Contexte environnemental et enjeux dans le secteur de la santé.....	8
I.2. Intérêt de la HQE pour les établissements de soins	10
I.2.1. Un outil de pilotage pour un bâtiment plus durable	10
I.2.2. Amélioration du confort et de la santé des occupants	10
I.2.3. Réduction des coûts de fonctionnement.....	11
I.2.4. Un engagement institutionnel	11
I.3. Principes Généraux de la Démarche HQE	12
I.3.1. Définition et origines de la HQE.....	12
I.3.2. Les 14 cibles HQE : synthèse et logique globale	12
I.3.3. Acteurs impliqués dans la mise en œuvre	14
I.4. Spécificités des Établissements Sanitaires	15
I.4.1. Contraintes techniques et fonctionnelles (hygiène, flux, sécurité, etc.)	15
I.4.1.1. Un fonctionnement continu et énergivore	16
I.4.1.2. Des exigences sanitaires strictes	16
I.4.1.3. Des circuits logistiques complexes.....	16
I.4.1.4. Une grande hétérogénéité fonctionnelle	17
I.4.1.5. Contrainte budgétaire et réglementaire	17
I.4.2 Besoins spécifiques des usagers (patients, personnel médical, visiteurs)	17
I.4.2.2. Besoins du personnel médical : ergonomie et fonctionnalité	18
I.4.2.3. Besoins des visiteurs : accueil et convivialité.....	19
I.4.2.4. La conciliation des besoins et des objectifs environnementaux.....	19
I.5. Limites et leviers d'adaptation de la HQE aux contraintes sanitaires.....	20
I.5.1. Concilier performance environnementale et exigences sanitaires.....	20
I.5.2. Adaptation des cibles HQE aux spécificités des établissements sanitaires.....	20
I.5.3. La gestion des déchets médicaux : un enjeu majeur	21

I.5.4. Conception modulable et flexible : un levier pour l'adaptation à long terme	21
I.6. Consommations énergétiques et production de déchets spécifiques.....	22
I.6.1. Des consommations énergétiques structurellement élevées.....	22
I.6.2. Une production de déchets très spécifique et à fort impact.....	23
I.6.3. Les limites structurelles et les possibilités d'optimisation	23
I.7. Études de Cas et Retours d'Expérience	24
I.7.1 Exemple d'un hôpital certifié HQE : Le Centre Hospitalier de Chambéry (France)	24
I.7.2 Analyse des résultats : gains, difficultés, enseignements.....	25
I.7.3 Évaluation Post-Occupation (EPO).....	26
I.8. Ouverture vers d'autres labels environnementaux	26
Conclusion.....	27
 CHAPITRE II :Établissements sanitaires, analyse des exemples	29
Introduction	30
II.1. Aperçu sur les établissements sanitaires dans le monde	30
II.2. Les hôpitaux universitaires en Algérie	31
II.3. Guelma, l'opportunité de l'hôpital universitaire pour la faculté de médecine en gestation	31
II.4. Analyse des exemples :	32
II.4.1. CHU de Strasbourg (Nouvel Hôpital Civil), France.....	32
II.4.1.1. Présentation de projet :	32
II.4.1.2. Situation géographique :	32
II.4.1.3. Analyse des caractéristiques externes du projet :	32
II.4.1.4. Analyse des caractéristiques internes du projet :	33
Analyse des façades :	34
Le Programme de l'exemple :	34
II.4.2. Le CHU de Saintonge (France)	35
II.4.2.1. Présentation de projet :	35
II.4.2.2. Situation géographique :	35
II.4.2.3. Analyse des caractéristiques externes du projet :	35
II.4.2.4. Analyse des caractéristiques internes du projet	37
Analyse des façades :	38
Le Programme de l'exemple :	39
II.4.3. CHU ibn Rochd ANNABA	40
II.4.3.1. Présentation de projet :	40
II.4.3.2. Situation géographique :	40
II.4.3.3. Analyse des caractéristiques externes du projet :	41

II.4.3.4. Analyse des caractéristiques internes du projet	42
Analyse des façades :	43
Le Programme de l'exemple :	44
Synthèse générale des exemples analysés	49
Conclusion.....	52
Chapitre III : Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale	55
Introduction	56
III.1. La qualité d'air intérieur	56
III.1.1. Les sources de pollution :	56
III.1.1.1. Définition :	57
III.1.1.2. Le cadre général de la qualité de l'air :	57
III.1.1.3. Les effets sur la santé d'une mauvaise qualité de l'air intérieur :	57
III.1.1.4. Source des contaminants dans l'air intérieur :	57
III.1.1.5. Différents paramètres de l'air :	58
III.2. La qualité de l'air et la ventilation :	58
II.2.1. Rôle des systèmes de ventilation :	59
II.2.2. Ventilation et confort :	59
III.3. Évaluation de la qualité de l'air	60
III.3.1. Critères d'évaluation de la qualité de l'air intérieur :	60
III.3.1.1. Âge de l'air :	61
III.3.1.2. Indices de qualité de l'air dans un local :	61
III.3.1.3. Nombre de changement d'air :	61
III.3.1.4. II Efficacité de ventilation :	61
III.3.15. Les filtres :	62
III.3.2. Objectifs	62
III.3.3. Programmation	63
III.3.4. Techniques d'évaluation	63
III.4. La simulation à l'échelle urbaine et architecturale	64
III.4.1. Définition de la simulation environnementale	64
III.4.2. Objectifs	64
III.5. Méthodes et outils de simulation	64
III.5.1. Simulation de l'environnement lumineux (éclairage naturel et artificiel)	65
III.5.2. Méthodologie de simulation de la qualité de l'air	65

III.5.3. Simulation performative du comportement thermique extérieur.....	66
III.6.Critère de choix de logiciel ENVIMET.....	70
III.6.1. Fonctionnalités principales du logiciel ENVI-met	70
III.6.2. Caractéristiques techniques clés	71
III.6.3. Schéma de workflow dans ENVI-met.....	71
Conclusion.....	72
CHAPITRE IV : Aire d'intervention et démarche conceptuelle	73
IV. Analyse de l'aire d'étude	74
IV.1 Données géographiques	74
IV.1.1 Présentation de la ville de Guelma	74
IV.2 Données climatiques.....	74
IV.2.1 : Le climat de la ville de Guelma	74
IV.2.2 Température	75
IV.2.3 Précipitations	76
IV.2.4 Insolation	76
IV.2.5 Diagramme solaire de Guelma	77
IV.2.6 Température de sol.....	78
IV.2.7 Vitesse et direction de vents.....	78
IV.3. Analyse du Terrain :.....	80
IV.3.1. Présentation et limitation de terrain :.....	80
1. Voies et Accessibilité	81
2. Flux.....	81
IV.4. Analyse du milieu physique du terrain :	81
IV.5. Caractéristiques naturelles :	81
IV.5.1. Topographie et morphologie – coupe transversale	81
IV.5.2. Topographie et morphologie – coupe longitudinale	82
IV.6. Étude climatique :	82
IV.6.1. L'ensoleillement :	82
IV.6.2. Vents dominants :.....	82
IV.7. La genèse de la forme :.....	83
IV.7.1. SCHEMA DE PRINCIPE.....	83
IV.8. Modélisation	87
IV.8.1. Objectif de simulation.....	87
IV.8.2. Le choix de l'espace a simulé	88
IV.8.3. Méthode de simulation	88
IV.8.3. Réglage des paramètres	92

IV.8.4. Réglage des matériaux et autres paramètres.....	93
IV.8.5. Configuration des ouvertures extérieures.....	93
IV.8.6. Configuration des parois extérieures et intérieures	93
Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale :	94

Liste de figures

Figure I. 1 : Consommation d'énergie dans le secteur de santé	9
Figure I. 2 : les trois piliers du développement durable	12
Figure I. 3 : les champs des 14 cibles de la HQE	13
Figure I. 4 : les champs des 14 cibles de la HQE	13
Figure I. 5 : Le Centre Hospitalier de Chambéry	26
Figure II 1 : CHU de Strasbourg	32
Figure II 2 : Plan de masse de CHU de Strasbourg.....	32
Figure II 3: Plan de masse de CHU	33
Figure II 4 : Volumétrie de CHU de Strasbourg	33
Figure II 5 : CHU de Strasbourg	34
Figure II 6 : CHU de Saintonge (France)	35
Figure II 7 : Plan de masse	36
Figure II 8 : Plan de masse	36
Figure II 9 : Volumétrie de CHU de Saintonge (France).....	36
Figure II 11 : plan niveau rdc	37
Figure II 10 : plan niveau rdc	37
Figure II 12 : organigramme fonctionnel et spatial niveau RDC	38
Figure II 13 : Façade du CHU de Saintonge	38
Figure II 14 : CHU Ibn Rochd.....	40
Figure II 15 : Plan de masse	41
Figure II 16 : Plan de masse	41
Figure II 17 : l'unité d'urgence.....	42
Figure II 18 : le monobloc de Ibn Rochd	42
Figure II 19 : plan d'urgences RDC	43
Figure II 20 : organigramme fonctionnel et spatial des urgences.....	43
Figure II 21 : façade du CHU de Saintonge	43
Figure III 1 : Facteurs influant sur la qualité de l'air intérieur	56
Figure III 2 : Taux d'hygrométrie de l'air intérieur	60
Figure III 3 : Système de filtration HEPA	62
Figure III 4 : Etape 1 et 2 de la simulation	66
Figure III 5: Etape 3 de la simulation.....	66
Figure III 6: Etape 4 de la simulation.....	67
Figure III 7 : Etape 5 de la simulation.....	67
Figure III 8: Etape 6 de la simulation.....	68
Figure III 9: Etape 7 de la simulation.....	68
Figure III 10: Etape 8 de la simulation.....	68
Figure III 11: Etape 9 de la simulation.....	69
Figure III 12: Etape 10 de la simulation.....	69

Figure III 13: Etape 11 de la simulation	70
Figure III 14 : Fonctionnalités principales du logiciel ENVI-met.....	71
Figure III 15 : Schéma de workflow dans ENVI-met	72
Figure IV 1 : Situation de la ville de Guelma	
Google earth	74
Figure IV 2 : Situation de la ville de Guelma Google earth	74
Figure IV 3 : La classification du climat de la ville de Guelma.	75
Figure IV 4 : Graphe des variations des températures mensuelles et annuelles de Guelma.....	75
Figure IV 5 : Graphe de variations des précipitations mensuelles.Thèse Ghechi Imane	76
Figure IV 6 : Variation de duréed'insolation mensuelle	76
Figure IV 7 : Diagramme solaire de Guelma période Hiver/Printemps.Climat consultant6.0	77
Figure IV 8 : Diagramme solaire de Guelma période été/automne. « Climat consultant 6.0 »	77
Figure IV 9 : Graphe de variations mensuelles de la température du sol. « Climat consultant 6.0 » ...	78
Figure IV 10 : Graphe de variation de vitesse des vents mensuelle « Climat consultant 6.0 »	79
Figure IV 11 : La rose du vent dans les 4 saisons de la wilaya de Guelma « Climat consultant 6.0) ...	79
Figure IV 12 : Situation du terrain par rapport à la ville	80
Figure IV 13 : l'environnement immédiat de l'aire d'intervention	80
Figure IV 14 : Réseau Viaire	81
Figure IV 15 : La forme du terrain	81
Figure IV 16: Les coupes du terrain	81
Figure IV 18: Coupe longitudinale A-A	82
Figure IV 17: Coupe transversale B-B	82
Figure IV 19: L'ensoleillement et Vents dominants	82
Figure IV 21 : Etape 2 de la Composition Géométrique	83
Figure IV 20Etape 1 de la Composition Géométrique	83
Figure IV 23 : Etape 3 de la Composition Géométrique	83
Figure IV 22 : Etape 3 de la Composition Géométrique	83
Figure IV 24 : Etape 4 de la Composition Géométrique	84
Figure IV 25 : Les axes	85
Figure IV 26 : l'accessibilité	85
Figure IV 27 : L'alternative d'implantation.....	86
Figure IV 28 : La forme (sur le plan de masse).....	87
Figure IV 29: Modèle 3D de la chambre d'hospitalisation	88
Figure IV 30: Etape 1 de la simulation.....	88
Figure IV 32: Etape 2 de la simulation.....	89
Figure IV 31: Etape 2 de la simulation.....	89
Figure IV 33: Etape 3 de la simulation.....	90
Figure IV 34: Etape 4 de la simulation.....	90
Figure IV 35: Etape 4 de la simulation.....	91
Figure IV 36: Etape 5 de la simulation.....	91
Figure IV 37: Résultat de flux d'air	92
Figure IV 38: Résultat de flux d'air en été	
Figure IV 39: Résultat de flux d'air en hiver.....	92

Liste de tableaux

Tableau II 1 : Programme de CHU de Strasbourg.....	36
--	----

Tableau II 2 : Programme de l'hôpital Saintonge	42
Tableau II 3 : programme de l'hôpital Ibn Rochd.....	47
Tableau II 4 : Tableau comparatif des programmes des exemples analysés.....	52
Tableau II 5 : Programme proposé	54

Liste des abréviations

HQE : Haute Qualité Environnementale

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

CVC : Chauffage, Ventilation, Climatisation

EHS : Établissement Hospitalier Spécialisé

EPH : Établissement Public Hospitalier

EPSP : Établissement Public de Santé de Proximité

DASRI : Déchets d'Activité de Soins à Risques Infectieux

ACV : Analyse du Cycle de Vie

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

MOA : Maître d'Ouvrage

MOE : Maîtrise d'Œuvre

RE2020 : Réglementation Environnementale 2020

EPO : Évaluation Post-Occupation

AMO : Assistance à Maîtrise d'Ouvrage

Introduction générale :

Les enjeux environnementaux mondiaux, tels que le réchauffement climatique, la raréfaction des ressources naturelles et la pollution sous ses diverses formes, ont des répercussions directes sur la santé publique et la qualité de vie des populations. Ces défis, amplifiés par l'urbanisation rapide et la forte demande en infrastructures, appellent à des réponses innovantes, fondées sur les principes du développement durable.

La santé, définie par Gro Harlem Brundtland comme un « état de complet bien-être physique, mental et social, et non seulement l'absence de maladie ou d'infirmité », est étroitement liée aux fondements du développement durable. La Déclaration de Rio de 1992 affirme à cet égard que « les êtres humains sont au centre des préoccupations relatives au développement durable et ont droit à une vie saine et productive en harmonie avec la nature ». Ces principes trouvent leur origine dans le rapport Brundtland de 1987, intitulé *Notre avenir à tous*, qui a introduit la notion moderne de développement durable. Ce rapport souligne l'importance de répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs, en conciliant trois dimensions interdépendantes : économique, sociale et environnementale.

Dans cette perspective, la préservation des ressources naturelles, la réduction des inégalités sociales et le recours à l'innovation technologique apparaissent comme des leviers essentiels pour garantir une qualité de vie durable. La performance énergétique des bâtiments et des infrastructures urbaines s'inscrit pleinement dans cette dynamique. Elle vise à réduire les impacts environnementaux tout en améliorant les conditions de vie et de santé des populations.

La démarche de Haute Qualité Environnementale (HQE), développée en France dans les années 1990, concrétise ces ambitions. Elle repose sur plusieurs axes tels que l'éco-construction (utilisation de matériaux durables et locaux), l'éco-gestion (optimisation des consommations d'eau et d'énergie), et la maîtrise des impacts environnementaux (réduction des émissions de gaz à effet de serre). En intégrant santé, bien-être et durabilité dans les politiques d'aménagement et de construction, la HQE contribue à la mise en œuvre des recommandations du rapport Brundtland.

Les villes, bien qu'elles soient les moteurs du développement économique et social, représentent aussi les principaux foyers de consommation énergétique et d'émissions de gaz à

effet de serre. L'urbanisation rapide, notamment dans les pays du Sud comme l'Algérie, accentue la pression sur les ressources et aggrave les déséquilibres environnementaux. Les bâtiments urbains, et en particulier les infrastructures publiques, sont responsables d'environ 30 % des impacts environnementaux liés à leur construction, leur exploitation et leur entretien (Hetzel, 2007). La performance énergétique, définie comme la capacité d'un bâtiment à utiliser efficacement les ressources pour remplir ses fonctions tout en minimisant son empreinte écologique, devient un enjeu central pour la construction de villes durables.

Le secteur de la santé est particulièrement concerné par ces enjeux. Les hôpitaux, en raison de leurs besoins techniques spécifiques (climatisation, ventilation, équipements médicaux), consomment d'importantes quantités d'énergie et génèrent des déchets spécifiques, notamment biomédicaux. En Algérie, de nombreuses infrastructures hospitalières sont anciennes et énergivores, dans un contexte marqué par une hausse des coûts de l'énergie et un approvisionnement parfois incertain. De plus, la santé publique est déjà fragilisée par des facteurs environnementaux tels que la pollution de l'air ou le manque d'espaces verts en milieu urbain, ce qui renforce l'urgence d'agir sur la qualité des infrastructures.

La démarche HQE, structurée autour de 14 cibles (ADEME, 2005), accorde une attention particulière à la gestion de l'énergie, à la qualité de l'air intérieur et à la performance des équipements techniques. Ces enjeux sont particulièrement cruciaux dans les établissements hospitaliers, où la réduction des consommations énergétiques contribue à la maîtrise des coûts, à l'amélioration du confort et à la qualité des soins.

Toutefois, l'application de la HQE dans les hôpitaux algériens se heurte à plusieurs obstacles : des budgets limités qui freinent l'investissement dans des technologies durables, un manque de sensibilisation et de formation des acteurs, et des référentiels souvent mal adaptés aux réalités locales, notamment climatiques. Par exemple, les solutions standardisées issues des contextes européens ne tiennent pas toujours compte du climat aride de nombreuses régions d'Algérie, où les besoins en refroidissement sont prioritaires.

Malgré ces contraintes, des opportunités existent. Le développement des énergies renouvelables, comme l'énergie solaire dans le sud du pays, ou encore l'usage de matériaux locaux à faible impact environnemental, offrent des perspectives intéressantes pour moderniser les hôpitaux de manière durable. Des projets en cours, comme la construction de

nouveaux CHU à Oran ou Constantine, intègrent déjà partiellement ces dimensions, posant ainsi les bases d'une transition énergétique dans le secteur de la santé.

Ce mémoire se propose d'analyser les interactions entre ville, santé publique, HQE et performance énergétique, à travers des études de cas, des retours d'expérience et des recommandations pratiques. L'objectif est d'accompagner les acteurs algériens dans l'intégration des principes de durabilité dans les projets de construction et de rénovation hospitalière. En plaçant la performance énergétique au cœur de cette réflexion, il s'agit de contribuer à une transition écologique et sanitaire des villes algériennes, tout en améliorant durablement la qualité de vie de leurs habitants.

Problématique

Le secteur du bâtiment joue un rôle crucial dans la réduction de l'empreinte environnementale et la promotion du bien-être des usagers. Dans cette optique, la démarche de Haute Qualité Environnementale (HQE) se distingue comme un cadre stratégique pour intégrer les principes du développement durable dans la construction et la gestion des bâtiments. Une des cibles principales de la HQE est la **qualité de l'air intérieur**, un facteur clé pour garantir un environnement sain et confortable.

La qualité de l'air dans les bâtiments impacte directement la santé des occupants, en réduisant les risques de maladies respiratoires, d'allergies et autres pathologies liées à la pollution intérieure. Dans les bâtiments hospitaliers, où les exigences en matière de santé et de sécurité sont particulièrement strictes, la gestion de la qualité de l'air devient une priorité. L'air intérieur doit non seulement répondre à des normes de pureté, mais également être adapté aux besoins spécifiques des différents espaces hospitaliers (salles de soins, chambres, zones de traitement). Cela implique l'utilisation de matériaux non polluants, des systèmes de ventilation efficaces et des stratégies d'évacuation des polluants. Ces mesures contribuent à améliorer le confort des patients et à soutenir leur rétablissement tout en offrant un environnement de travail agréable pour le personnel hospitalier.

Cependant, la mise en œuvre de ces principes en Algérie, et en particulier à Guelma, se heurte à plusieurs défis. Le climat méditerranéen semi-aride de Guelma, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers relativement doux, influe directement sur la gestion de l'air intérieur et l'application des principes de la HQE. Les températures estivales élevées

nécessitent des stratégies de ventilation et de refroidissement adaptées, tandis que l'humidité faible rend la gestion de la qualité de l'air plus complexe, notamment pour éviter la concentration de polluants et maintenir une bonne aération. Ces contraintes climatiques rendent d'autant plus crucial le choix des matériaux et des systèmes de ventilation, qui doivent être conçus pour minimiser la consommation d'énergie tout en garantissant une qualité de l'air optimale.

Problématique principale

Comment la démarche Haute Qualité Environnementale (HQE) peut-elle être appliquée pour améliorer la qualité de l'air intérieur dans les infrastructures hospitalières de Guelma, tout en prenant en compte les spécificités climatiques locales ?

Questions de recherche

1. Quelles cibles HQE influencent directement la qualité de l'air intérieur dans les établissements hospitaliers, et comment peuvent-elles être appliquées efficacement dans un climat méditerranéen semi-aride comme celui de Guelma ?
2. Comment le climat de Guelma influence-t-il les choix des matériaux et des systèmes de ventilation pour améliorer la qualité de l'air intérieur des hôpitaux ?

Hypothèses

L'application des cibles de la Haute Qualité Environnementale (HQE) permettra à l'hôpital de répondre aux défis environnementaux tout en assurant un cadre de vie agréable pour les patients.

L'intégration des cibles HQE liées à la gestion de l'énergie, à la qualité de l'air intérieur, à l'utilisation de matériaux écologiques et à la gestion de l'humidité contribuera à améliorer significativement la qualité de l'air intérieur dans les hôpitaux.

Un entretien régulier des systèmes de ventilation et une gestion efficace des déchets permettront de maintenir durablement une bonne qualité de l'air et de réduire les risques sanitaires liés à la pollution intérieure.

La mise en œuvre de ces principes créera un environnement sain et confortable pour les patients et le personnel tout en répondant aux enjeux environnementaux actuels.

Objectifs

L'objectif principal de cette étude est de comprendre comment les principes de la HQE peuvent être appliqués pour améliorer la qualité de l'air intérieur dans les établissements hospitaliers et urbains en Algérie.

Méthodologie de recherche

Afin de trouver des réponses à la problématique, de confirmer ou d'infirmer les hypothèses prédéfinies, et de concrétiser nos objectifs de travail, nous avons opté pour la méthodologie suivante :

Une étude théorique des concepts liés à la Haute Qualité Environnementale (HQE), permettant de poser les bases conceptuelles de notre recherche.

Une démarche d'analyse architecturale à travers des exemples d'hôpitaux internationaux, afin d'identifier les bonnes pratiques en matière de durabilité.

Une analyse ciblée du secteur de la santé dans la wilaya de Guelma, afin d'évaluer les potentialités d'application locale de la démarche HQE.

Enfin, une synthèse des résultats issus de ces différentes étapes nous a permis de formuler des recommandations adaptées au contexte local pour la réalisation de notre projet.

Structure du mémoire

Le présent mémoire est organisé en quatre chapitres principaux, construits de manière progressive afin d'assurer une analyse rigoureuse et une compréhension approfondie de la problématique étudiée.

L'introduction établit le cadre général de la recherche en exposant la problématique relative à l'intégration des principes du développement durable, et plus spécifiquement de la démarche Haute Qualité Environnementale (HQE), dans les établissements sanitaires en Algérie. Elle définit clairement les objectifs de l'étude ainsi que la méthodologie adoptée, qui combine des

approches qualitatives et quantitatives, des outils analytiques pertinents et une revue documentaire ciblée.

Chapitre 1 : La démarche HQE dans les établissements sanitaires : revue critique de la littérature

Ce chapitre présente une analyse approfondie de la littérature scientifique et technique relative à la HQE, avec un accent particulier sur son application dans le secteur hospitalier. Il détaille les fondements conceptuels de la démarche, les quatorze cibles qui la composent, ainsi que les enjeux spécifiques liés à la durabilité dans les environnements de soins.

Chapitre 2 : Analyse comparative des établissements sanitaires à l'échelle internationale

À travers une série d'études de cas internationales, ce chapitre propose une analyse comparative des pratiques exemplaires en matière de durabilité des infrastructures hospitalières. Il met en lumière les innovations, les succès et les limites rencontrés, afin d'en tirer des enseignements pertinents pour le contexte algérien.

Chapitre 3 : Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air intérieur par simulation numérique

Ce chapitre présente une évaluation rigoureuse des conditions de confort thermique et de qualité de l'air intérieur au sein des établissements de santé. Cette évaluation est réalisée à l'aide d'outils de simulation numérique, notamment ENVI-met, afin d'identifier les conditions environnementales actuelles et de mesurer l'impact potentiel de la mise en œuvre des solutions HQE sur le bien-être des occupants.

Chapitre 4 : Présentation du site d'étude et proposition d'une démarche conceptuelle durable

Ce dernier chapitre décrit le site d'étude, localisé à Guelma en Algérie, en mettant en exergue ses caractéristiques géographiques, climatiques et morphologiques. Il propose une démarche conceptuelle intégrant les principes de la HQE adaptés au contexte local, et formule des recommandations opérationnelles pour leur application dans les projets de construction et de rénovation hospitalière.

Le mémoire s'achève par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats, évalue les limites de la recherche, et propose des perspectives pour le développement futur de la conception durable dans le secteur hospitalier algérien.

Chapitre I : La démarche HQE dans les établissements sanitaires : revue critique de la littérature

Introduction

Face aux défis climatiques, à l'épuisement des ressources naturelles et à la dégradation continue des écosystèmes, le secteur du bâtiment se retrouve au cœur des préoccupations environnementales mondiales. Les établissements sanitaires, tels que les hôpitaux, cliniques et centres de soins, occupent une place particulière dans ce paysage : leur fonctionnement continu, leur complexité technique et leur vocation vitale en font des infrastructures à la fois indispensables et particulièrement énergivores.

Alors que ces établissements sont appelés à offrir des soins de qualité dans un environnement sécurisé et hygiénique, ils doivent désormais intégrer une dimension environnementale forte, en cohérence avec les principes du développement durable. Dans ce contexte, la démarche Haute Qualité Environnementale (HQE) émerge comme une réponse structurée et efficace pour concevoir, rénover ou exploiter des bâtiments de santé plus responsables.

En s'appuyant sur une approche globale du cycle de vie du bâtiment, la HQE vise à réduire l'impact écologique des constructions tout en garantissant le confort, la santé et la sécurité des usagers. Elle repose sur une série de cibles environnementales et de bonnes pratiques adaptées aux spécificités du secteur hospitalier, répondant ainsi aux exigences fonctionnelles tout en anticipant les enjeux écologiques futurs.

Ce chapitre se propose d'explorer les fondements, les objectifs et les modalités de mise en œuvre de la démarche HQE dans les établissements sanitaires, en tenant compte des contraintes propres à ce domaine et en mettant en lumière des exemples concrets d'application.

I.1 Contexte environnemental et enjeux dans le secteur de la santé

Le secteur de la santé, bien qu'essentiel au bien-être et à la survie des populations, est paradoxalement un contributeur significatif à la dégradation de l'environnement. En effet, les **établissements de santé** – hôpitaux, cliniques, centres de soins – figurent parmi les infrastructures les plus **énergivores** et **productrices de déchets**. À l'échelle mondiale, selon *Health Care Without Harm* (2019), le secteur de la santé est responsable de près de **4,4 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre**, ce qui équivaut à la cinquième plus grande économie du monde si ce secteur était un pays.

Chapitre I

La Démarche Haute Qualité Environnementale dans les Établissements Sanitaires ; une revue littéraire

En France, les bâtiments hospitaliers représentent une **part importante de la consommation énergétique des bâtiments publics**, en raison de leur fonctionnement 24h/24, de la technicité des équipements médicaux, et des contraintes fortes en matière de confort et d'hygiène. Par ailleurs, ils génèrent des **déchets spécifiques et potentiellement dangereux**, comme les déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI), nécessitant un traitement particulier.

Les **enjeux environnementaux** dans ce secteur sont donc multiples :

- **Réduction de la consommation énergétique** (chauffage, climatisation, éclairage, appareils médicaux).
- **Gestion durable de l'eau**, tant pour les usages sanitaires que pour la stérilisation ou le refroidissement.
- **Réduction et valorisation des déchets**, notamment biomédicaux.
- **Amélioration de la qualité de l'air intérieur**, essentielle pour les patients fragiles.
- **Intégration du bâtiment dans un environnement urbain plus durable**.

De plus, les établissements de santé doivent aujourd'hui répondre à des **exigences réglementaires** croissantes en matière de performance énergétique (RE2020, décret tertiaire) et s'inscrire dans des stratégies nationales ou internationales de transition écologique.

Dans ce contexte, la **démarche Haute Qualité Environnementale (HQE)** constitue une réponse pertinente. Elle permet d'intégrer les objectifs environnementaux dès la conception ou la rénovation des bâtiments de santé, tout en assurant un **cadre de soins optimal** pour les usagers et les professionnels de santé.

Consommation d'énergie dans le secteur des soins de santé

• Où et Quand

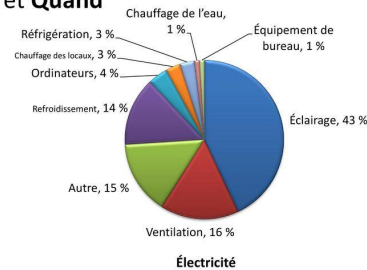


Figure I. 1 : Consommation d'énergie dans le secteur de santé

Source : <https://slideplayer.fr>

I.2. Intérêt de la HQE pour les établissements de soins

Les établissements de soins présentent des exigences spécifiques en matière de performance, de sécurité et de confort, liées à la diversité de leurs fonctions : soins médicaux, hébergement, logistique, recherche, etc. La **démarche Haute Qualité Environnementale (HQE)**, en proposant une approche globale et adaptable, offre des **avantages stratégiques et opérationnels** pour répondre à ces exigences tout en réduisant l'impact environnemental.

I.2.1. Un outil de pilotage pour un bâtiment plus durable

La HQE propose un cadre méthodologique structurant qui permet aux maîtres d'ouvrage et équipes de conception de :

- Prendre en compte les **enjeux environnementaux dès la phase de programmation**.
- Optimiser les choix architecturaux, techniques et énergétiques.
- Suivre des **indicateurs de performance mesurables** (consommation d'énergie, gestion des eaux usées, qualité de l'air, etc.). Cela favorise une **gestion proactive** des impacts environnementaux tout au long du cycle de vie du bâtiment.

I.2.2. Amélioration du confort et de la santé des occupants

Dans un environnement hospitalier, le bien-être des patients et du personnel est essentiel. La HQE intègre des objectifs relatifs :

- à la **qualité de l'air intérieur**, limitant les polluants et les particules fines,
- au **confort thermique et acoustique**, important pour le repos et la récupération des patients,
- à la **lumière naturelle** et au confort visuel, qui influent sur le moral et le rythme biologique.

Ces critères sont particulièrement pertinents pour les publics fragiles (patients en longue hospitalisation, enfants, personnes âgées).

I.2.3. Réduction des coûts de fonctionnement

Un bâtiment HQE est conçu pour être plus **économe en énergie, en eau et en maintenance**, ce qui se traduit par :

Chapitre I

La Démarche Haute Qualité Environnementale dans les Établissements Sanitaires ; une revue littéraire

- une **maîtrise des coûts d'exploitation**,
- une **réduction des dépenses énergétiques** grâce à l'efficacité thermique et à l'automatisation des équipements,
- une **durabilité accrue** des matériaux et équipements choisis.

I.2.4. Un engagement institutionnel

Adopter la démarche HQE permet aux établissements de santé de :

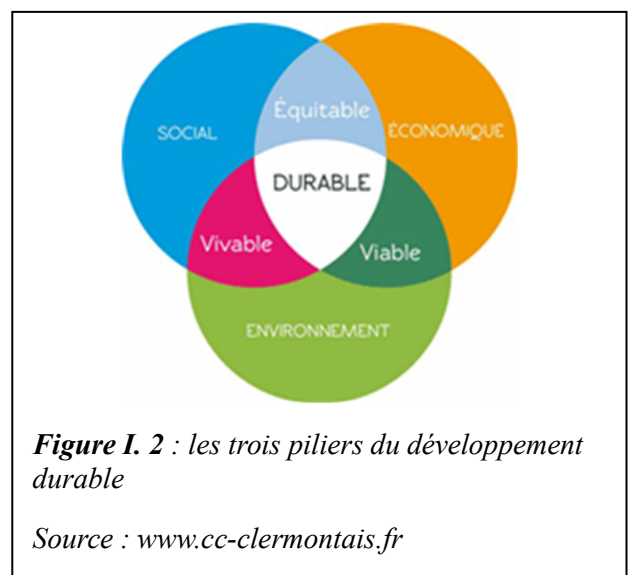
- Valoriser leur **engagement pour le développement durable**, auprès des usagers, du personnel et des financeurs,
- Se conformer aux **règlementations environnementales récentes** (décret tertiaire, RE2020),
- Renforcer leur **image institutionnelle** en tant qu'acteurs responsables de la santé... et de la planète.

L'intérêt de la démarche HQE dans les établissements de soins réside donc dans sa capacité à **concilier qualité des soins, performance environnementale et efficacité économique**, en cohérence avec les attentes des politiques publiques de santé et de transition écologique.

I.3. Principes Généraux de la Démarche HQE

I.3.1. Définition et origines de la HQE

La Haute Qualité Environnementale (HQE) est une démarche volontaire française, développée au début des années 1990 sous l'impulsion de l'Association HQE, en collaboration avec le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Elle s'inscrit dans la lignée des principes du développement durable définis au Sommet de la Terre de Rio (1992), et vise à réduire l'impact environnemental du secteur du bâtiment tout en améliorant la qualité de vie des usagers (Association HQE, 2010).



Chapitre I

La Démarche Haute Qualité Environnementale dans les Établissements Sanitaires ; une revue littéraire

La HQE propose une approche systémique du bâtiment en intégrant les préoccupations environnementales dès la conception et jusqu'à la gestion en exploitation, en s'appuyant sur un système de management environnemental. Ce système permet de définir des objectifs clairs, d'adapter les solutions techniques aux contraintes du projet, et d'évaluer les résultats en continu (ADEME, 2020).

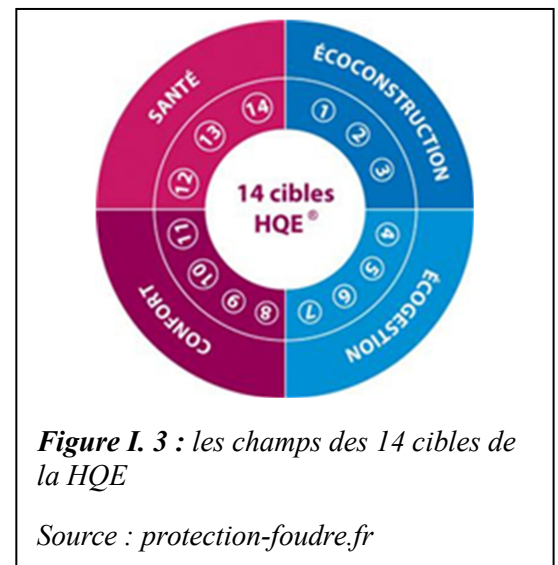
Si la démarche HQE a d'abord concerné les logements collectifs et les bâtiments tertiaires, elle a rapidement été adaptée à des secteurs spécifiques comme les établissements de santé, pour tenir compte de leurs contraintes sanitaires, énergétiques et fonctionnelles spécifiques (CERTIVEA, 2023).

I.3.2. Les 14 cibles HQE : synthèse et logique globale

Le cœur méthodologique de la HQE repose sur 14 cibles regroupées en quatre grandes thématiques : éco-construction, éco-gestion, confort et santé (QUALITEL, 2021). Cette classification permet d'aborder la qualité environnementale de manière pertinente et d'adapter les priorités en fonction du contexte de chaque projet.

Les cibles sont regroupées en quatre familles principales :

1. **Éco-construction** : Cette famille concerne l'intégration des bâtiments dans leur environnement naturel et urbain, avec un accent sur la préservation des écosystèmes, des paysages et de la biodiversité. Elle inclut également l'usage de matériaux écologiques et l'optimisation de l'implantation du bâtiment.
2. **Éco-gestion** : se concentre sur la gestion durable des ressources, notamment l'énergie, l'eau et les matériaux tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Cette famille vise à réduire la consommation d'énergie, à maximiser l'efficacité énergétique et à intégrer des solutions comme les énergies renouvelables.
3. **Confort et bien-être** : L'objectif ici est de garantir des conditions de vie et de travail optimales à l'intérieur du bâtiment. Cela comprend le confort thermique, acoustique, visuel et olfactif, ainsi que la



qualité de l'air intérieur. La gestion de la qualité de l'air est essentielle, notamment pour les bâtiments hospitaliers où des normes strictes sont nécessaires pour garantir la santé des occupants.

4. **Santé et sécurité** : Cette 'intéresse à la réduction des risques sanitaires et à l'amélioration de la qualité de vie des usagers. Cela inclut la prévention des risques liés à la pollution de l'air intérieur, l'utilisation de matériaux non toxiques et la gestion des déchets.

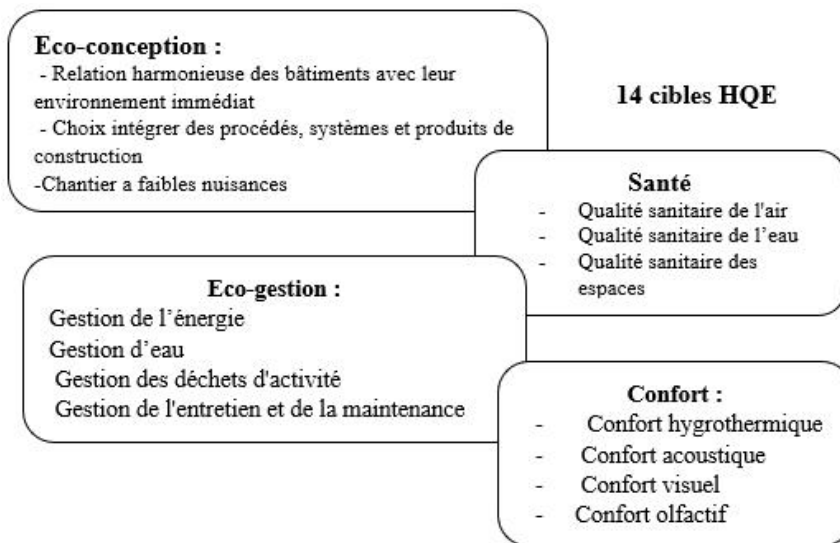


Figure I. 4 : les champs des 14 cibles de la HQE

Source : novoceram.fr

I.3.3. Acteurs impliqués dans la mise en œuvre

La réussite d'une démarche HQE repose sur l'implication coordonnée de plusieurs acteurs aux rôles complémentaires, mobilisés tout au long du cycle de vie du bâtiment, de sa conception à son exploitation. Dans le cas des établissements sanitaires, ces rôles sont d'autant plus cruciaux que les exigences de performance environnementale doivent s'articuler avec des contraintes de sécurité sanitaire, de continuité de service et de confort.

Le maître d'ouvrage (MOA)

Chapitre I

La Démarche Haute Qualité Environnementale dans les Établissements Sanitaires ; une revue littéraire

Le maître d'ouvrage, qu'il s'agisse d'un établissement hospitalier public (comme un CHU) ou d'un acteur privé (clinique, groupe mutualiste), est le principal porteur de la démarche HQE. Il est responsable :

- de la formulation des objectifs environnementaux du projet,
- du choix d'un référentiel HQE adapté (ex. : NF HQE™ Santé),
- de l'intégration de la HQE dans le cahier des charges dès la programmation.

Selon CERTIVEA (2023), l'engagement fort du MOA dès les premières phases conditionne largement le niveau de qualité environnementale atteint à la livraison.

B. L'équipe de maîtrise d'œuvre (MOE)

Les architectes, bureaux d'études techniques, ingénieurs HQE ou AMO environnement jouent un rôle central dans la traduction opérationnelle des cibles HQE :

- conception bioclimatique, choix des matériaux, performance énergétique,
- intégration des exigences réglementaires (RE2020, décret tertiaire),
- simulations thermiques dynamiques, études de cycle de vie (ACV).

Ces professionnels doivent être formés aux référentiels environnementaux pour garantir leur pertinence dans le cadre hospitalier (ADEME, 2020).

C. Les exploitants et services techniques

Les équipes techniques en charge de l'entretien, du nettoyage, de la gestion de l'énergie ou des fluides médicaux participent activement à la phase exploitation du bâtiment. La démarche HQE insiste sur la nécessité d'une gestion durable dans la durée :

- maintenance préventive,
- suivi des consommations,
- gestion des déchets (notamment DASRI et déchets pharmaceutiques).

Leur implication est essentielle pour maintenir les performances prévues en phase de conception (HQE-GBC France, 2022).

D. Les usagers

Dans un établissement de santé, les usagers ne sont pas de simples bénéficiaires : ils interagissent avec le bâtiment au quotidien. Le personnel médical est sensible au confort de travail, à la qualité de l'air, à l'acoustique, tandis que les patients ont besoin d'un environnement rassurant et sain pour faciliter la guérison.

L'adhésion des usagers à la démarche HQE peut être favorisée par des actions de sensibilisation et de formation à l'éco-gestion (économie d'eau, tri, aération...), notamment dans les services à long séjour (Association HQE, 2010).

I.4. Spécificités des Établissements Sanitaires

I.4.1. Contraintes techniques et fonctionnelles (hygiène, flux, sécurité, etc.)

Les établissements de santé, en particulier les hôpitaux, sont des structures complexes et spécifiques, dont le fonctionnement continu, les exigences sanitaires strictes et la grande diversité fonctionnelle imposent des défis particuliers pour la mise en œuvre de démarches telles que la Haute Qualité Environnementale (HQE). Ces contraintes doivent être prises en compte pour concevoir des bâtiments écologiques et efficaces, sans compromettre la qualité des soins ni la sécurité des patients.

I.4.1.1. Un fonctionnement continu et énergivore

Les établissements de santé fonctionnent 24h/24, 7j/7, ce qui les rend particulièrement énergivores. Ils doivent être équipés de systèmes de chauffage, ventilation, climatisation (CVC) puissants pour garantir des conditions de confort et de sécurité en tout temps. L'utilisation des énergies renouvelables et des systèmes intelligents de gestion de l'énergie peut réduire la consommation, mais la complexité des installations, notamment pour les zones critiques comme les blocs opératoires, représente un défi (Boudjema et al. 2018).

Selon l'étude de l'ADEME (2021), la consommation énergétique des hôpitaux représente près de 5% de la consommation totale d'énergie des bâtiments en France, et la mise en place

d'objectifs HQE doit intégrer cette réalité, en équilibrant exigences écologiques et besoins vitaux des établissements.

I.4.1.2. Des exigences sanitaires strictes

Les bâtiments sanitaires doivent respecter des normes sanitaires rigoureuses, en particulier dans des zones telles que les blocs opératoires, les services de soins intensifs et les services d'isolement pour patients immunodéprimés. Cela nécessite une conception de l'air et des surfaces qui minimise les risques de contamination. Les matériaux utilisés doivent être non poreux, faciles à nettoyer et à désinfecter, et les systèmes de ventilation doivent être adaptés pour assurer une qualité de l'air optimale. Cela limite souvent l'usage de certains matériaux écologiques, qui peuvent ne pas répondre aux exigences strictes d'hygiène (Tanguy et al. 2019). L'étude de Pommier et Giraud (2020) note que l'air intérieur doit être constamment renouvelé, ce qui nécessite des installations de ventilation particulièrement performantes et coûteuses. Par ailleurs, les zones à fort trafic, comme les urgences, doivent gérer la circulation de l'air avec des systèmes sophistiqués pour empêcher la propagation d'agents pathogènes.

I.4.1.3. Des circuits logistiques complexes

Les hôpitaux sont des lieux où circulent de nombreux flux : patients, personnel soignant, visiteurs, matériel médical, et déchets médicaux (DASRI). La gestion des circuits logistiques dans un environnement hospitalier est un enjeu majeur, car ces flux doivent être strictement séparés pour éviter toute contamination croisée. Cela complique l'optimisation des espaces et des installations, car des zones spécifiques doivent être dédiées aux différents types de flux (Fischer et Lemoine, 2018).

Les systèmes de gestion des déchets dans les hôpitaux, notamment les déchets infectieux ou pharmaceutiques, doivent respecter des normes spécifiques, ce qui influence directement la conception des bâtiments et les choix en matière d'équipements de tri et de stockage (Cohn et al. 2017).

I.4.1.4. Une grande hétérogénéité fonctionnelle

Un hôpital est une cité fonctionnelle qui regroupe des usages très variés : zones de soins, bureaux, laboratoires, restauration, hébergement, etc. Chaque zone a des besoins techniques distincts, tant en termes de température, d'acoustique que de gestion des flux. Par exemple, un

bloc opératoire nécessite une régulation stricte de la température et de l'humidité, tandis que des bureaux de médecins nécessitent une ambiance calme et confortable. L'approche HQE doit prendre en compte cette diversité pour garantir la performance de chaque zone sans sacrifier la flexibilité des espaces (Pommier et Giraud, 2020).

En outre, l'adaptabilité du bâtiment à long terme est un élément crucial, car les besoins des établissements de santé peuvent évoluer en fonction des avancées médicales et des nouvelles pratiques de soins (Boudjema et al. 2018).

I.4.1.5. Contrainte budgétaire et réglementaire

Les établissements de santé sont soumis à des contraintes budgétaires strictes, et bien que l'adoption de la démarche HQE puisse entraîner un surcoût initial, elle présente un retour sur investissement à long terme, notamment grâce à des économies d'énergie et de maintenance. Cependant, cette démarche doit également tenir compte des réglementations très exigeantes concernant la sécurité incendie, l'accessibilité, et la gestion des risques sanitaires, qui peuvent parfois limiter les choix écologiques dans les projets (Fischer et Lemoine, 2018).

I.4.2 Besoins spécifiques des usagers (patients, personnel médical, visiteurs)

La démarche HQE dans les établissements sanitaires ne se limite pas à la seule performance environnementale ; elle doit également prendre en compte les besoins spécifiques des usagers, qu'ils soient patients, membres du personnel médical ou visiteurs. Ces usagers interagissent quotidiennement avec l'environnement bâti et leurs attentes en termes de confort, de sécurité et de bien-être influencent largement la conception et l'aménagement des espaces. De plus, les attentes des patients et du personnel médical peuvent parfois entrer en conflit avec les objectifs écologiques ou les contraintes techniques.

I.4.2.1. Besoins des patients : confort et sécurité

Les patients, qui sont les principaux usagers des établissements de santé, ont des besoins particuliers en termes de confort, de sécurité et de qualité de l'environnement. L'ambiance du bâtiment joue un rôle crucial dans leur processus de guérison et dans leur perception des soins reçus. Une étude de Kohler et al. (2020) montre que l'environnement hospitalier peut affecter la durée de séjour des patients et leur rétablissement, notamment en raison de facteurs tels que :

Chapitre I

La Démarche Haute Qualité Environnementale dans les Établissements Sanitaires ; une revue littéraire

- L'acoustique (réduction du bruit ambiant, indispensable pour le confort),
- L'éclairage naturel (souvent lié à une amélioration de l'état émotionnel et physique des patients),
- La qualité de l'air intérieur (facteur influençant la santé et la récupération).

Les patients hospitalisés, en particulier ceux en soins intensifs ou en réanimation, nécessitent également des conditions strictes en termes de ventilation et d'hygiène. L'application de la démarche HQE dans ce contexte doit intégrer des solutions techniques qui garantissent ces niveaux de confort tout en respectant les impératifs sanitaires (Huisman et al. 2018).

I.4.2.2. Besoins du personnel médical : ergonomie et fonctionnalité

Pour le personnel médical les besoins en termes de confort et de sécurité sont également essentiels. Ils passent principalement par :

- L'ergonomie des espaces de travail, notamment les salles de soins et les blocs opératoires, qui doivent permettre une circulation fluide et sécurisée tout en offrant un accès optimal aux équipements médicaux.
- La réduction du stress et de la fatigue grâce à un environnement calme et fonctionnel, avec des espaces bien conçus et adaptés à leurs activités spécifiques (Marquardt et al. 2014).
- La gestion des risques : des matériaux et équipements permettant de réduire les risques d'accidents, de contamination, ou d'épuisement.

Les zones de travail doivent également être conçues pour minimiser les déplacements inutiles et maximiser l'efficacité des équipes, ce qui influence directement la productivité et la qualité des soins. Une étude de Chaudhury et al. (2019) a démontré que l'optimisation des espaces de travail et la gestion des flux de patients peuvent significativement réduire la charge de travail et améliorer l'efficacité du personnel.

I.4.2.3. Besoins des visiteurs : accueil et convivialité

Les visiteurs, qu'il s'agisse de proches des patients ou de professionnels externes, ont également des besoins à prendre en compte dans la conception des établissements sanitaires. Ils recherchent avant tout :

- Un accueil chaleureux et rassurant, avec des espaces d'attente agréables et bien éclairés.
- Des informations claires pour faciliter leur orientation à travers le bâtiment, notamment grâce à des signalétiques intuitives et des technologies interactives (Jung et al. 2019).
- Des espaces de détente ou de restauration, permettant de réduire le stress lié à la situation de soins, et favorisant une expérience plus humaine et apaisée au sein de l'établissement.

I.4.2.4. La conciliation des besoins et des objectifs environnementaux

L'un des principaux défis de la démarche HQE dans le cadre des établissements de santé est de concilier les besoins des usagers avec les objectifs environnementaux. Par exemple, la nécessité de réduire la consommation énergétique en limitant l'usage des systèmes de chauffage ou de climatisation doit être équilibrée avec le confort thermique des usagers. De même, la gestion des déchets dans un établissement hospitalier doit être réalisée dans des conditions qui garantissent l'hygiène et la sécurité sans nuire à l'environnement (Durand et Lemoine, 2022).

Les solutions bioclimatiques et l'utilisation des énergies renouvelables sont des leviers intéressants, mais doivent être étudiées de manière à ce qu'elles n'entraînent pas de compromis sur le confort des usagers. L'acoustique, la ventilation et l'éclairage naturel doivent être des éléments primordiaux de la réflexion pour garantir un environnement propice à la guérison, tout en respectant les objectifs écologiques.

I.5. Limites et leviers d'adaptation de la HQE aux contraintes sanitaires

Bien que la démarche Haute Qualité Environnementale (HQE) soit un levier puissant pour améliorer la performance environnementale des bâtiments, son application dans les établissements sanitaires rencontre plusieurs limites, principalement dues aux contraintes techniques et réglementaires spécifiques à ce secteur. Cependant, des leviers d'adaptation existent pour concilier les exigences écologiques avec les impératifs sanitaires, énergétiques et fonctionnels propres à ces structures.

1.5.1. Concilier performance environnementale et exigences sanitaires

L'une des principales limites de la démarche HQE dans les établissements de santé réside dans la compatibilité de certaines solutions écologiques avec les exigences sanitaires strictes. Par exemple, l'utilisation de matériaux écologiques peut entrer en contradiction avec les besoins d'hygiène élevés dans des zones sensibles comme les blocs opératoires ou les unités de soins intensifs, où des matériaux non poreux, faciles à désinfecter, sont impératifs. Selon Miller et White (2019), certains matériaux naturels, comme le bois, bien qu'écologiques, sont difficilement acceptables dans ces environnements en raison de leur porosité et de leur capacité à retenir les agents pathogènes.

De plus, la gestion de la qualité de l'air intérieur est un défi majeur dans les établissements sanitaires. Les systèmes de ventilation nécessaires à maintenir une qualité de l'air optimale pour les patients doivent parfois utiliser des technologies coûteuses et énergivores, ce qui peut être difficile à intégrer dans une démarche HQE visant la réduction des consommations énergétiques (Clarke et al. 2021).

1.5.2. Adaptation des cibles HQE aux spécificités des établissements sanitaires

Malgré ces contraintes, plusieurs leviers d'adaptation permettent de rendre la démarche HQE compatible avec les besoins des établissements sanitaires. Par exemple, l'adaptation de certaines cibles HQE en fonction des besoins spécifiques des établissements de santé est essentielle. La cible 12 (qualité de l'air intérieur) et la cible 13 (qualité de l'eau) sont particulièrement importantes dans ces structures, et leur mise en œuvre peut nécessiter des systèmes de filtration avancés, des traitements de l'air et de l'eau spécifiques, ainsi que des solutions de gestion des déchets hospitaliers (Viguiet et Pires, 2020).

Une étude menée par Durand et Lemoine (2022) montre qu'il est possible de combiner énergies renouvelables et exigences sanitaires à travers des technologies comme les systèmes de récupération de chaleur pour les installations de ventilation, qui permettent de réduire la consommation énergétique tout en maintenant des niveaux de qualité d'air adaptés. En outre, des systèmes d'énergie géothermique ou des panneaux photovoltaïques peuvent être intégrés dans les bâtiments hospitaliers pour répondre aux objectifs de performance énergétique de la HQE tout en minimisant l'impact environnemental.

I.5.3. La gestion des déchets médicaux : un enjeu majeur

La gestion des déchets médicaux, en particulier les DASRI (Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux), reste un autre défi majeur. Bien que la cible HQE 6 (gestion des déchets) puisse encourager le tri et la réduction des déchets, la spécificité des déchets hospitaliers (infectieux, radioactifs, pharmaceutiques) impose des solutions de gestion distinctes. Les systèmes de traitement des déchets doivent être à la fois performants, sécurisés et conformes aux normes sanitaires très strictes. Selon Bouvier et al. (2021), l'application des principes HQE dans ce domaine nécessite souvent des investissements importants pour mettre en place des infrastructures adéquates.

Cependant, des solutions innovantes peuvent être adoptées, telles que l'utilisation de dispositifs de recyclage des déchets non infectieux, ou l'optimisation de la logistique de collecte et de stockage, permettant de réduire l'empreinte écologique de l'établissement tout en garantissant une hygiène irréprochable (Viguié et Pires, 2020).

I.5.4. Conception modulable et flexible : un levier pour l'adaptation à long terme

Un autre levier d'adaptation réside dans la conception modulable et flexible des bâtiments. Les établissements de santé évoluent constamment, et les besoins fonctionnels peuvent changer au fil du temps. Adopter une approche HQE qui permet d'adapter facilement les espaces aux nouvelles exigences, qu'elles soient liées à des avancées médicales ou à l'évolution démographique, est crucial pour garantir la pérennité des investissements (Lemoine et Giraud, 2022).

La flexibilité peut notamment être intégrée dans la répartition des zones fonctionnelles, les systèmes d'énergie et la gestion des flux d'air et d'eau, pour permettre une réadaptation des espaces en fonction des changements futurs sans compromettre les objectifs écologiques à long terme. Cette approche répond à l'un des grands principes du développement durable : garantir un fonctionnement optimal sur le long terme avec un minimum d'impact sur l'environnement (Fischer et Lemoine, 2018).

I.6. Consommations énergétiques et production de déchets spécifiques

Les établissements sanitaires figurent parmi les bâtiments publics les plus énergivores et les plus générateurs de déchets spécifiques. En effet, leurs besoins continus en énergie pour assurer la sécurité des soins, la conservation des médicaments, l'usage d'appareils médicaux ou encore la climatisation, combinés à la production importante de déchets à risque, posent des défis majeurs pour la mise en œuvre d'une démarche Haute Qualité Environnementale (HQE). Comprendre ces consommations et ces flux est essentiel pour proposer des stratégies de réduction compatibles avec les exigences sanitaires.

I.6.1. Des consommations énergétiques structurellement élevées

Un hôpital fonctionne 24h/24 et 7j/7, ce qui induit une demande énergétique constante pour :

- les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC),
- les équipements biomédicaux à haute consommation (IRM, blocs opératoires, stérilisateurs, etc.),
- l'éclairage, souvent prolongé et généralisé,
- les services techniques (ascenseurs, cuisines, buanderies hospitalières, etc.).

Selon une étude de ADEME (2021), les consommations énergétiques d'un hôpital peuvent représenter jusqu'à 400 kWh/m²/an, soit environ deux fois plus qu'un bâtiment tertiaire classique. De plus, la part d'énergie thermique (chauffage, eau chaude sanitaire) reste dominante, même si l'électricité représente une part croissante, en lien avec la multiplication des équipements médicaux.

La démarche HQE cherche à réduire ces consommations par plusieurs leviers :

- Isolation thermique performante pour limiter les déperditions (Abdelouahed et al. 2020),
- Optimisation des systèmes CVC, notamment via des systèmes à récupération d'énergie,
- Pilotage intelligent de l'énergie (smart building),
- Utilisation d'énergies renouvelables (solaire, géothermie) dans les zones non critiques (Toitot et Lemoine, 2022).

I.6.2. Une production de déchets très spécifique et à fort impact

Contrairement à d'autres secteurs, les établissements de santé génèrent une grande quantité de déchets dangereux, notamment :

- DASRI (Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux),
- Déchets chimiques, médicamenteux ou radioactifs,
- Déchets anatomiques ou sensibles,
- ainsi que des déchets banals assimilables aux ordures ménagères (restauration, bureaux...).

Les DASRI, par exemple, doivent être traités selon un circuit réglementé de collecte, stockage, transport et incinération, ce qui implique un coût environnemental important (Bouvier et al., 2021). En France, la production de DASRI est estimée à 700 g par patient hospitalisé et par jour (Ministère de la Santé, 2020).

L'application de la HQE dans ce contexte vise à :

- Limiter les déchets à la source (réduction des emballages, gestion optimisée des stocks médicaux),
- Améliorer le tri et la valorisation, notamment pour les déchets non infectieux (plastiques, cartons, papier),
- Mettre en place des filières locales de traitement adaptées (Viguier & Pires, 2020)

I.6.3. Les limites structurelles et les possibilités d'optimisation

La compatibilité entre la réduction de la consommation énergétique et les exigences sanitaires est parfois complexe. Les salles blanches, les blocs opératoires et les laboratoires exigent des conditions de température, d'hygrométrie et de renouvellement d'air très strictes, peu compatibles avec une logique de sobriété énergétique (Clarke et al., 2021). De même, les protocoles de désinfection entraînent une forte consommation d'eau chaude et de produits chimiques.

Cependant, des solutions émergent :

- Des procédures numériques de suivi (GTC, GTB) permettent une meilleure gestion des flux énergétiques en temps réel (Durand & Lemoine, 2022),

Chapitre I

La Démarche Haute Qualité Environnementale dans les Établissements Sanitaires ; une revue littéraire

- Le recours à des techniques de stérilisation basse énergie (ex. vapeur à basse température),
- Des procédures de tri et de collecte automatisées, limitant les erreurs humaines et améliorant la traçabilité.

Enfin, l'intégration de labels complémentaires à la HQE, comme BREEAM Health ou LEED for Healthcare, apporte un regard croisé sur les enjeux de santé et d'environnement.

I.7. Études de Cas et Retours d'Expérience

La mise en œuvre de la démarche HQE dans les établissements de santé prend tout son sens lorsqu'elle est évaluée à travers des **retours d'expérience concrets**. L'analyse d'hôpitaux certifiés permet de **mesurer les écarts entre objectifs initiaux et résultats réels**, d'identifier les freins, et de tirer des enseignements utiles pour les projets futurs.

I.7.1 Exemple d'un hôpital certifié HQE : Le Centre Hospitalier de Chambéry (France)

Le Centre Hospitalier Métropole Savoie de Chambéry, inauguré en 2015, constitue un exemple emblématique d'établissement hospitalier ayant intégré la démarche HQE dès la phase de conception. Le projet a été labellisé HQE niveau "Très performant" sur plusieurs cibles : énergie, confort hygrothermique, gestion de l'eau, déchets, et maintenance (Jallet et al. 2017). Parmi les éléments notables du projet :

- ✓ Une architecture compacte et bioclimatique, limitant les pertes thermiques ;
- ✓ Un recours à des matériaux à faible impact environnemental ;
- ✓ Un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur ;
- ✓ Des espaces intérieurs pensés pour le bien-être des patients (lumière naturelle, orientation des chambres, acoustique).



Figure I. 5 : Le Centre Hospitalier de Chambéry

Source : google photo

La gestion du chantier a également respecté des principes HQE : réduction des nuisances, tri des déchets, et utilisation de matériaux locaux (Certivéa, 2021).

Chapitre I

La Démarche Haute Qualité Environnementale dans les Établissements Sanitaires ; une revue littéraire

I.7.2 Analyse des résultats : gains, difficultés, enseignements

Gains observés :

- ✓ Économie d'énergie : réduction de 30 % des consommations par rapport à un hôpital classique (ADEME, 2021) ;
- ✓ Amélioration du confort : retour positif des patients sur la qualité de l'air, la température et l'éclairage naturel (Chazal et al. 2021) ;
- ✓ Facilité d'exploitation grâce à des systèmes techniques automatisés (GTB, supervision énergétique).

Difficultés rencontrées :

- ✓ Coûts initiaux plus élevés (environ +10 % en phase de construction) ;
- ✓ Complexité de coordination entre les intervenants HQE et les contraintes hospitalières (Durand & Lemoine, 2022) ;
- ✓ Temps d'appropriation des outils par le personnel technique.

Enseignements :

- ✓ L'intégration précoce de la HQE dans la phase de programmation est un facteur clé de succès ;
- ✓ La formation du personnel est indispensable pour garantir la pérennité des performances ;
- ✓ La souplesse du cadre HQE permet une adaptation aux exigences médicales spécifiques (Boudghène Stambouli & Benamara, 2020).

I.7.3 Évaluation Post-Occupation (EPO)

L'Évaluation Post-Occupation (EPO) permet de mesurer les performances réelles d'un bâtiment après sa mise en service, en analysant aussi bien les indicateurs techniques que la satisfaction des usagers. Dans le cas du CH de Chambéry, une EPO a été menée trois ans après l'ouverture (Martin et al. 2019).

Résultats de l'Évaluation Post-Occupation :

Chapitre I

La Démarche Haute Qualité Environnementale dans les Établissements Sanitaires ; une revue littéraire

- ✓ Performance énergétique confirmée, avec un écart de seulement 5 % par rapport aux prévisions ;
- ✓ Satisfaction élevée des personnels soignants sur le confort acoustique et visuel ;
- ✓ Des ajustements nécessaires sur la gestion de l'eau et des circuits logistiques, moins performants que prévu.

Selon Royer et al. (2021), l'EPO est un outil indispensable pour :

- ✓ ajuster les systèmes techniques (CVC, éclairage, GTB),
- ✓ corriger les dysfonctionnements d'usage,
- ✓ et alimenter les retours d'expérience dans une logique d'amélioration continue.

I.8. Ouverture vers d'autres labels environnementaux

Si la HQE constitue un cadre reconnu en France, d'autres référentiels environnementaux sont adoptés à l'international, avec des objectifs proches mais des approches méthodologiques différentes :

- LEED for Healthcare (États-Unis) : développé par U.S. Green Building Council, ce label met l'accent sur l'efficacité énergétique, la qualité de l'environnement intérieur et l'innovation en design. Il est largement utilisé en Amérique du Nord.
- BREEAM Healthcare (Royaume-Uni) : centré sur l'évaluation de la durabilité globale d'un bâtiment, incluant les impacts sur l'écosystème, le cycle de vie des matériaux et la résilience climatique.
- WELL Building Standard : de plus en plus intégré dans les bâtiments de santé, ce label valorise le bien-être des occupants (qualité de l'air, lumière, confort mental et physique).

Ces référentiels, tout en ayant des points communs avec la HQE, permettent une ouverture comparative utile pour les établissements souhaitant intégrer des pratiques internationales ou obtenir des certifications combinées.

Un avenir durable pour le secteur hospitalier passera nécessairement par l'hybridation intelligente de ces démarches, adaptées aux contextes culturels, climatiques et institutionnels propres à chaque pays (Royer et al. 2021 ; GhaffarianHoseini et al. 2018).

Conclusion

La mise en œuvre de la Haute Qualité Environnementale (HQE) dans les établissements sanitaires représente une démarche technique et réglementaire : c'est une véritable transformation de la manière de concevoir, construire, gérer et habiter les espaces de soin. L'analyse des spécificités hospitalières montre que la démarche HQE peut aider à répondre aux enjeux de performance énergétique, de confort des usagers, de gestion durable des ressources et de réduction de l'impact environnemental, tout en garantissant la qualité des soins. Les études de cas comme celles du Centre Hospitalier de Chambéry ou de l'hôpital de Saint-Nazaire confirment que, malgré des coûts initiaux parfois plus élevés, les bénéfices à long terme (économiques, environnementaux, humains) sont significatifs. Cependant, des défis persistent : la nécessité d'une coordination renforcée entre acteurs, une formation adaptée des utilisateurs, et une évaluation continue des performances réelles après mise en service.

Ainsi, la démarche HQE s'impose aujourd'hui comme une référence pertinente pour les établissements de santé qui souhaitent conjuguer exigence sanitaire et efficacité énergétique.

CHAPITRE II : Établissements sanitaires, analyse des exemples

Introduction

Dans un contexte mondial marqué par des enjeux croissants en matière de santé publique, de durabilité environnementale et d'innovation architecturale, les établissements sanitaires, en particulier les hôpitaux universitaires, occupent une place centrale dans les systèmes de soins. Ces infrastructures ne se limitent plus à offrir des services médicaux : elles incarnent désormais des lieux stratégiques de formation, de recherche et de développement durable.

Ce chapitre propose une analyse comparative des établissements sanitaires à l'échelle internationale, en mettant en lumière les pratiques exemplaires en matière de conception durable et de performance énergétique. Il s'intéresse ensuite au cas algérien, en exposant les dynamiques actuelles et les défis liés à la modernisation des hôpitaux universitaires. L'exemple de la ville de Guelma, en pleine expansion universitaire avec la création d'une faculté de médecine, est présenté comme une opportunité majeure pour développer un hôpital universitaire durable. Ce projet pourrait constituer un modèle régional alliant innovation, respect de l'environnement et amélioration de l'offre de soins.

II.1. Aperçu sur les établissements sanitaires dans le monde

Les établissements sanitaires, notamment les hôpitaux universitaires, sont des infrastructures majeures combinant soins, formation et recherche (WHO, 2017). Dans les pays développés, ces établissements sont souvent conçus selon des standards élevés intégrant des normes environnementales et énergétiques strictes, telles que la démarche Haute Qualité Environnementale (HQE) en Europe ou LEED en Amérique du Nord (Smith & al., 2019).

Ces établissements s'orientent vers la réduction de leur empreinte écologique en optimisant la consommation énergétique, en améliorant la qualité de l'air intérieur et en intégrant des matériaux durables (Jones et al., 2020). Par exemple, l'hôpital universitaire de Heidelberg (Allemagne) a adopté des technologies de pointe en matière de ventilation et d'isolation thermique, contribuant à une réduction significative de ses émissions de gaz à effet de serre (Müller, 2018).

Dans les pays en développement, les défis sont plus complexes. Les infrastructures existantes sont souvent insuffisantes ou obsolètes, et les ressources financières limitées freinent les

modernisations (World Bank, 2021). Néanmoins, plusieurs projets récents ont démontré l'importance d'intégrer les principes du développement durable dans la construction et la rénovation des hôpitaux, contribuant à une meilleure qualité des soins et à une gestion plus efficiente des ressources (Khan & al., 2019).

II.2. Les hôpitaux universitaires en Algérie

L'Algérie dispose d'un réseau étendu d'hôpitaux universitaires qui sont au cœur du système sanitaire national (Ministère de la Santé, 2020). Ces établissements, en lien direct avec les facultés de médecine, assurent non seulement les soins spécialisés mais aussi la formation des futurs professionnels de santé.

Cependant, nombreux sont ceux confrontés à des infrastructures anciennes et énergivores, avec un impact environnemental et économique important (Bensaid et al., 2017). La modernisation, intégrant les démarches HQE, demeure un enjeu majeur pour réduire les consommations énergétiques, améliorer la qualité des espaces intérieurs et optimiser la gestion des déchets et de l'eau (Benali, 2019).

Le plan national de développement hospitalier (2021-2025) prévoit d'intégrer des critères de performance énergétique et environnementale dans les nouveaux projets, notamment dans les hôpitaux universitaires des grandes villes (Ministère de la Santé, 2021).

II.3. Guelma, l'opportunité de l'hôpital universitaire pour la faculté de médecine en gestation

Guelma, située dans le Nord-Est algérien, connaît un développement universitaire important avec la création récente d'une faculté de médecine (Université de Guelma, 2022). Ce développement ouvre la perspective de création d'un hôpital universitaire qui répondrait aux besoins de santé avancés de la région tout en constituant un centre d'enseignement et de recherche.

Ce projet représente une opportunité unique d'intégrer les principes HQE dès la conception, en adoptant des solutions modernes d'éco-construction, de gestion énergétique et d'amélioration de la qualité de l'air intérieur (Ould Amar, 2023). Un tel établissement pourrait devenir un modèle régional, illustrant comment durabilité et innovation peuvent se conjuguer pour améliorer la santé publique.

II.4. Analyse des exemples :

II.4.1. CHU de Strasbourg (Nouvel Hôpital Civil), France

II.4.1.1. Présentation de projet :

Nom du projet : Nouvel Hôpital Civil (NHC), Strasbourg

Maître d'ouvrage : CHRU de Strasbourg

Architectes : Art & Build, autre équipe d'architectes associés

Surface : 100 000 m²

Année de construction : 2019

II.4.1.2. Situation géographique :

Le Nouvel Hôpital Civil se situe dans le centre-ville de Strasbourg, dans le quartier de Neudorf, à proximité du centre-ville historique et du Parc de l'Hôpital Civil. Il bénéficie d'une accessibilité optimale grâce à une position centrale.

II.4.1.3. Analyse des caractéristiques externes du projet :

Plan de masse Environnement immédiat, accessibilité et orientation :

L'hôpital est très accessible grâce aux transports en commun et des parkings souterrains pour les visiteurs et le personnel.

La circulation autour de l'hôpital est également fluide, avec des voies d'accès principales directement reliées à l'hôpital.

Le bâtiment est orienté pour tirer parti de la lumière naturelle, tout en garantissant des espaces intérieurs protégés des nuisances extérieures.



Figure II 1 : *CHU de Strasbourg*

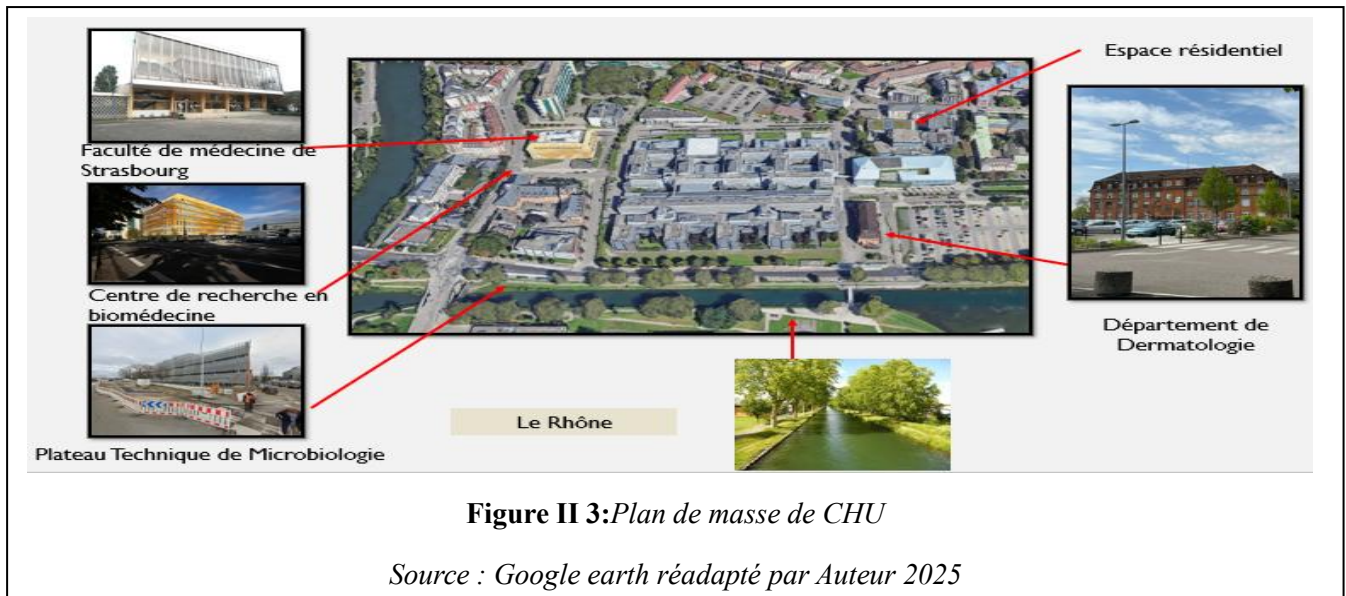
Source : Google photo



Figure II 2 : *Plan de masse de CHU de Strasbourg*

Source : Google earth réadapté par Auteur 2025

Implantation dans un quartier urbain bien connecté aux infrastructures de la ville.



Forme et Volumétrie :

Forme géométrique rigide : Le NHC présente une forme angulaire et géométrique.

Volumétrie empilée : Le bâtiment est organisé en plusieurs volumes superposés, qui s'élèvent verticalement.

II.4.1.4. Analyse des caractéristiques internes du projet :

Le Nouvel Hôpital Civil (NHC) de Strasbourg est organisé sur plusieurs niveaux, chacun abritant des services spécifiques.

Chaque niveau est desservi par des ascenseurs identifiés par des lettres (A, B, C, D), facilitant l'accès aux différents services.

Des passages et des entrées spécifiques, notamment



l'entrée principale pour les visiteurs et le personnel, ainsi que l'entrée ouest pour les urgences.

Analyse des façades :

La façade du Nouvel Hôpital Civil de Strasbourg combine fonctionnalité et modernité à travers l'usage de brise-soleil, de vitrages performants et de matériaux contemporains comme le béton lisse, le verre et l'acier inoxydable. La régularité des ouvertures et l'alternance d'éléments verticaux et horizontaux créent une composition rythmée et structurée, alliant performance énergétique et esthétique sobre.



Figure II 5 : *CHU de Strasbourg*

Source : <https://www.chru-strasbourg.fr>

Le Programme de l'exemple :

Spécialités	Nombre de lit
Médecine	851
Chirurgie	575
Gynécologie obstétrique	146
Total court séjour *MCO*	1572
Psychiatrie	86
Hémodialyse	-
Réadaptation personne âgées	82
soins de Longue durée	124
Maison de retraite	72

Tableau II 1 : *Programme de CHU de Strasbourg*

Source : <https://www.chru-strasbourg.fr>

Synthèse :

Le Nouvel Hôpital Civil de Strasbourg se distingue par son style architectural moderne et fonctionnel. Il intègre les nouvelles technologies dès sa conception, notamment par l'utilisation de vitrages à haute performance énergétique. Une attention particulière est portée aux besoins des personnes âgées, avec la réadaptation et l'intégration d'une maison de retraite dans le programme du CHU de Strasbourg. Enfin, l'hôpital bénéficie d'une accessibilité optimale grâce à sa position centrale, à proximité immédiate de la faculté de médecine.

II.4.2. Le CHU de Saintonge (France)

II.4.2.1. Présentation de projet :

Maîtrise d'ouvrage : Centre hospitalier de Saintonge (Saintes)

Maîtrise d'œuvre : Michel Beauvais

Situation : se situe sur le site des arènes, sur la voie romaine

Surface : 30 414 m²

Nombre de lits : 6 00 lits

II.4.2.2. Situation géographique :

Le projet est en situation périurbaine, en articulation entre un quartier de la ville et une zone naturelle, aménagée à terme en parc urbain et relié au site des Arènes par une coulée verte.

II.4.2.3 Analyse des caractéristiques externes du projet :

Plan de masse Environnement immédiat, accessibilité et orientation :

Routes et parkings bien aménagés, incluant des espaces réservés aux ambulances et aux visiteurs.

Le terrain est situé sur le versant Sud du vallon des Arènes, sur un plateau qui marque une déclivité de 10m



Figure II 6 : CHU de Saintonge (France)

Source : Google photo

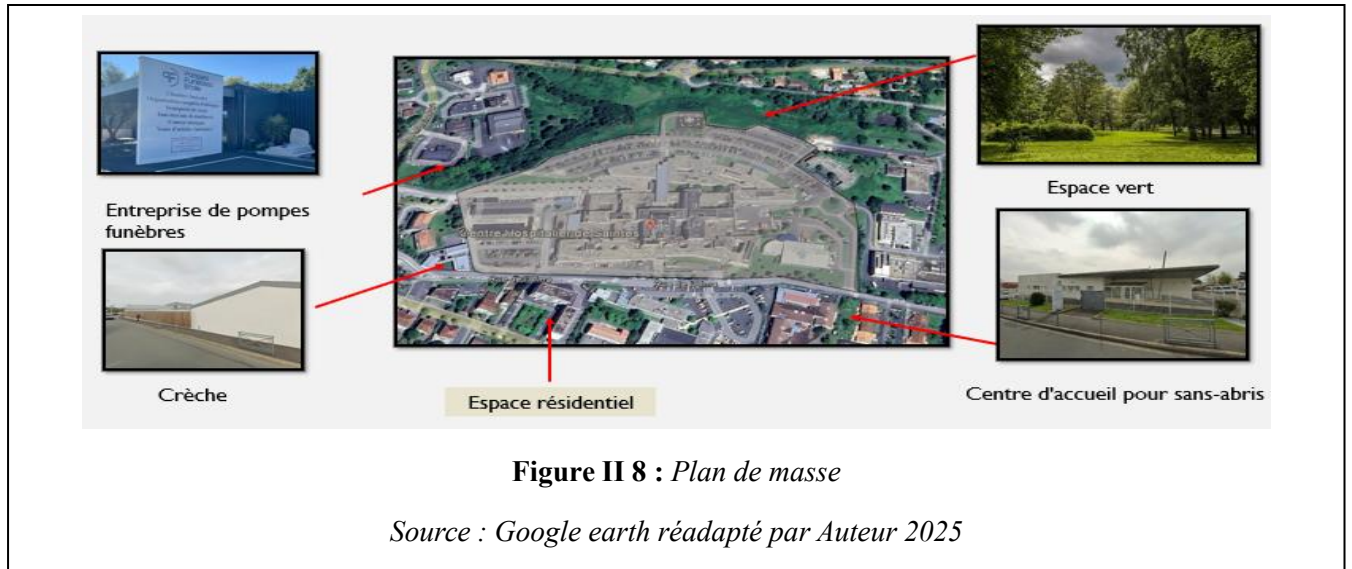


Figure II 7 : Plan de masse

Source : Google earth réadapté par Auteur 2025

dans le sens Sud-Nord.

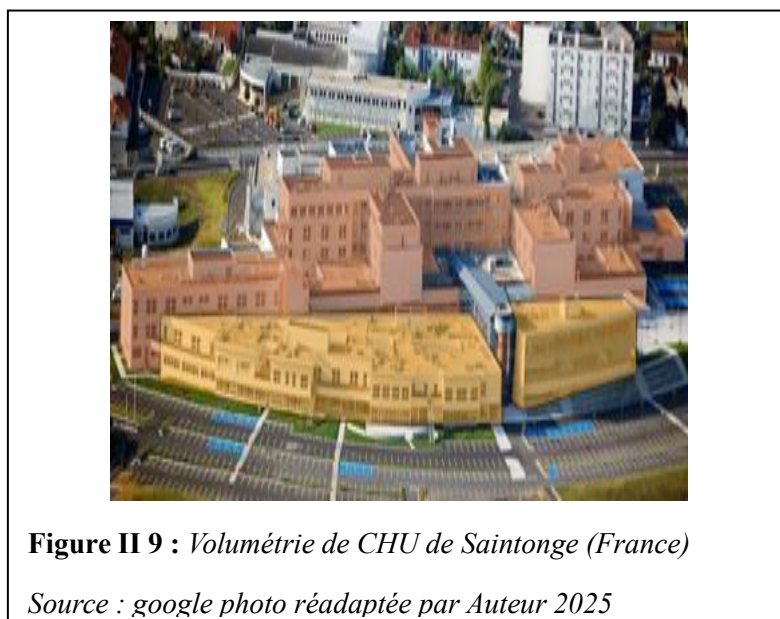
Implantation dans un quartier urbain bien connecté aux infrastructures de la ville.



Forme et Volumétrie :

Forme géométrique rigide : Le CHU présente une forme angulaire et géométrique.

Volumétrie empilée : Le bâtiment est organisé en plusieurs volumes superposés, qui s'élèvent verticalement.



II.4.2.4. Analyse des caractéristiques internes du projet

Le Niveau R.D.C : Horizontalité optimale. Flux séparés. Contiguïté des secteurs « protégés ».

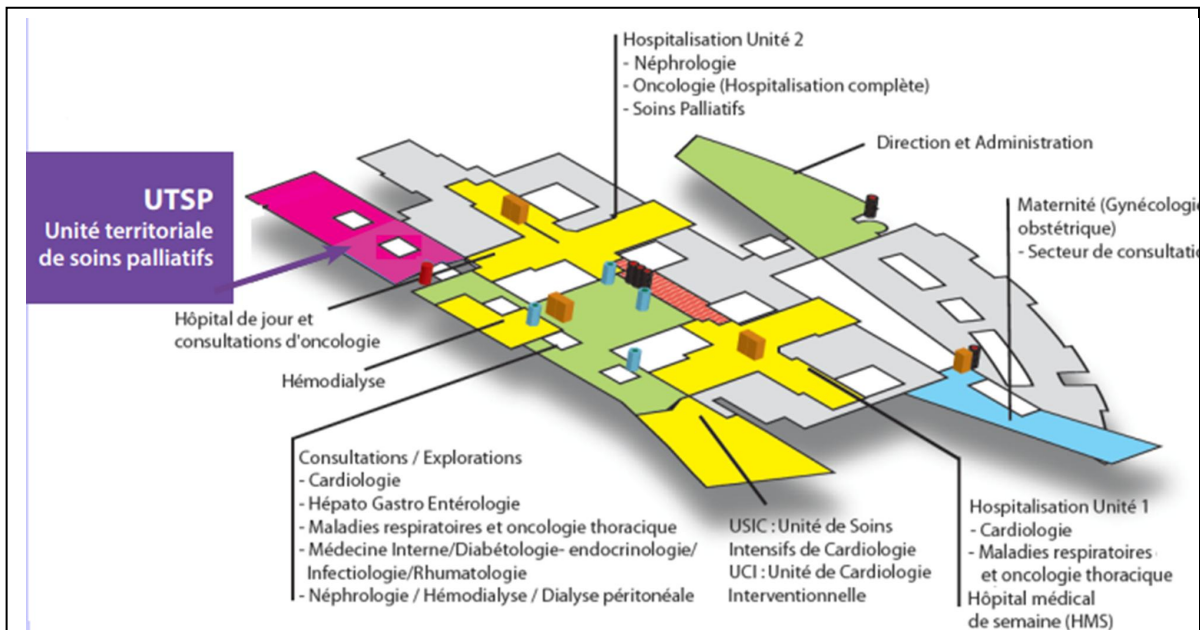


Figure II 10 : plan niveau rdc

Source : <https://www.journees-ihf.com/Media/archives/ihf-2013/ateliers/atelier3.pdf>

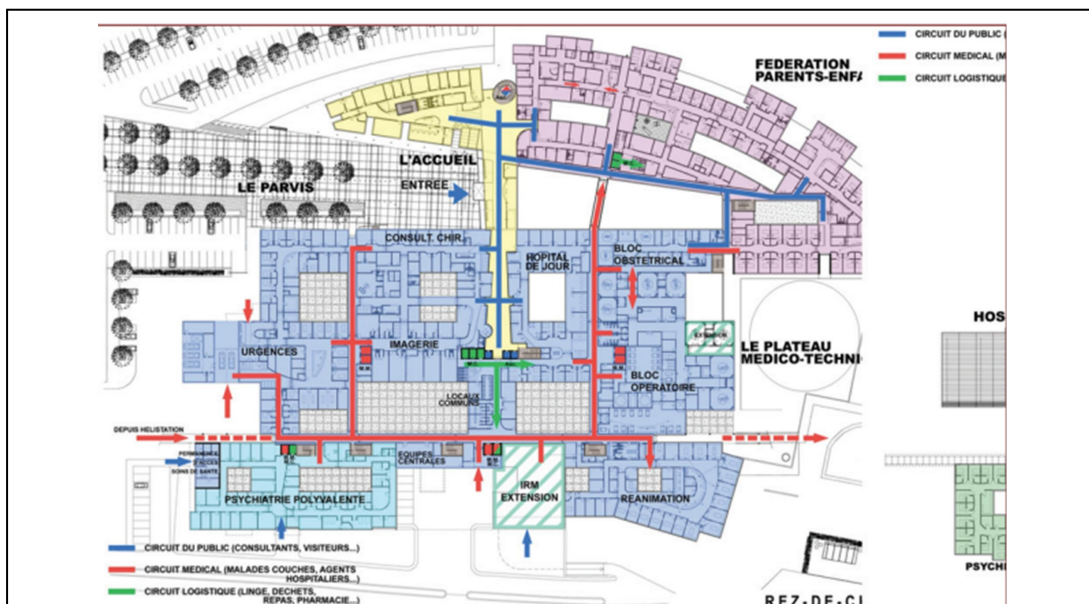
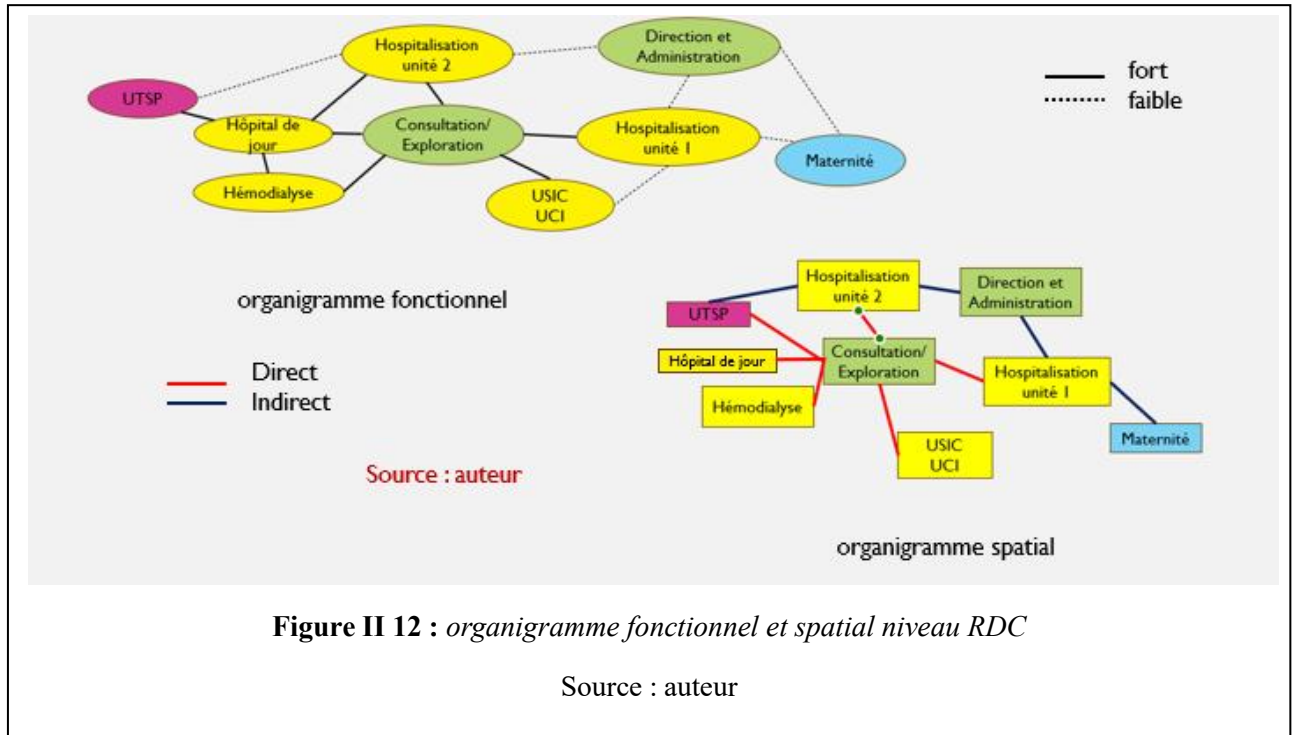


Figure II 11 : plan niveau rdc

Source : <https://www.journees-ihf.com/Media/archives/ihf-2013/ateliers/atelier3.pdf>



Analyse des façades :

La façade du CHU de Saintonge se distingue par une approche sobre et fonctionnelle, marquée par l'usage de brise-soleil limitant l'éblouissement et améliorant le confort intérieur. Les murs rideaux en verre, principalement situés aux entrées et dans les espaces publics, renforcent l'impression de transparence et d'accessibilité. Les fenêtres, alignées en bandes horizontales, favorisent une ventilation naturelle efficace tout en structurant la composition. L'accent mis sur l'horizontalité, combiné à une palette sobre, confère à l'ensemble une harmonie visuelle et une lecture claire, équilibrant esthétique et efficacité architecturale.



Figure II 13 : Façade du CHU de Saintonge

Source : google photo

Le Programme de l'exemple :

Service	Spécialités	Nombre de lit
Mère-enfant	Hôpital de jour de pédiatrie	4
	Urgences pédiatriques	4
	Néonatalogie	14
	Soins intensifs	4
	Obstétrique	24
Psychiatrie	Psychiatries adultes et infranto-juvenile	40
Urgences	Urgences	8
	UPU(unité post-urgences)	7
Médecine	Médecine et soins critiques	175
Chirurgie	Chirurgie	78
Hôpital de jour	Hôpital de jour médico- chirurgical	19
	Oncologie	14
	Hémodialyse -dialyse péritonéale	16
Hospitalisation		72
USDL	Unité de soins de Longue durée	45
Réadaptation	Soin de suite	10

Tableau II 2 : Programme de l'hôpital Saintonge

Source : <https://www.ch-saintonge.fr/>

Synthèse :

Le Nouvel Hôpital Civil de Strasbourg illustre un mélange réussi de modernisme fonctionnel, alliant esthétique et efficacité. Ses façades régulières offrent une harmonie visuelle grâce à un choix cohérent de matériaux et de couleurs. L'organisation spatiale a été pensée de manière à optimiser les flux, avec des circuits bien séparés pour le public, les patients, les malades couchés et la logistique. Les murs-rideaux en verre renforcent l'impression de transparence et d'accessibilité du bâtiment. Enfin, les routes et parkings sont soigneusement aménagés, incluant des espaces dédiés aux ambulances et aux visiteurs, facilitant ainsi l'accès au site

II.4.3. CHU ibn Rochd ANNABA**II.4.3.1. Présentation de projet :**

Nom : CHU Ibn Rochd.

Lieu : Situé dans la cité Zaafrania, Annaba, Algérie.

Date de réalisation : Construit entre 1953 et 1959 pendant la colonisation française, puis converti en Centre Hospitalier Universitaire (CHU) après l'indépendance de l'Algérie.

Surface totale : 40 000 m².

II.4.3.2. Situation géographique :

Le CHU Ibn Rochd est stratégiquement implanté dans la cité Zaafrania, un quartier d'Annaba bénéficiant d'une accessibilité optimale et d'un cadre urbain dense.



Figure II 14 : CHU Ibn Rochd

Source : Google photo

II.4.3.3. Analyse des caractéristiques externes du projet :

Plan de masse Environnement immédiat, accessibilité et orientation :

Bonne accessibilité avec des routes et parkings bien aménagés.

- L'autoroute se prolonge jusqu'aux plages.

Implantation dans un quartier urbain bien connecté aux infrastructures de la ville.

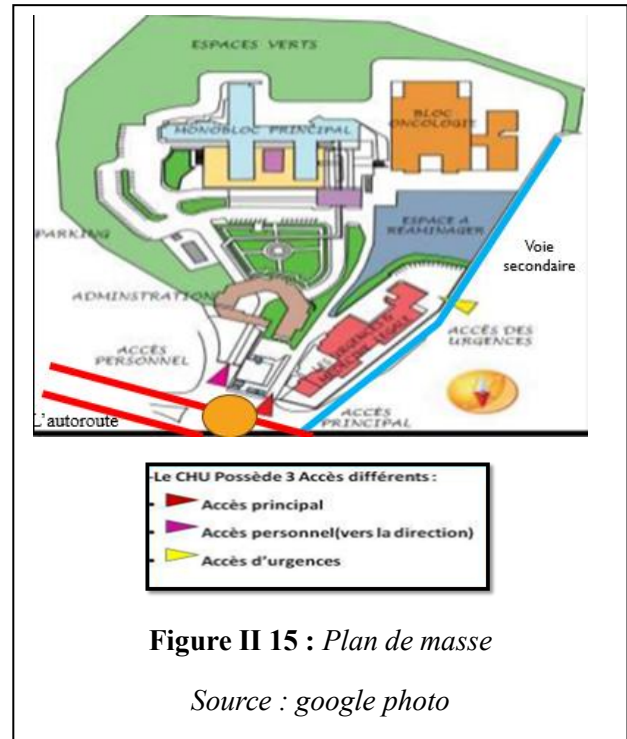


Figure II 15 : Plan de masse

Source : google photo

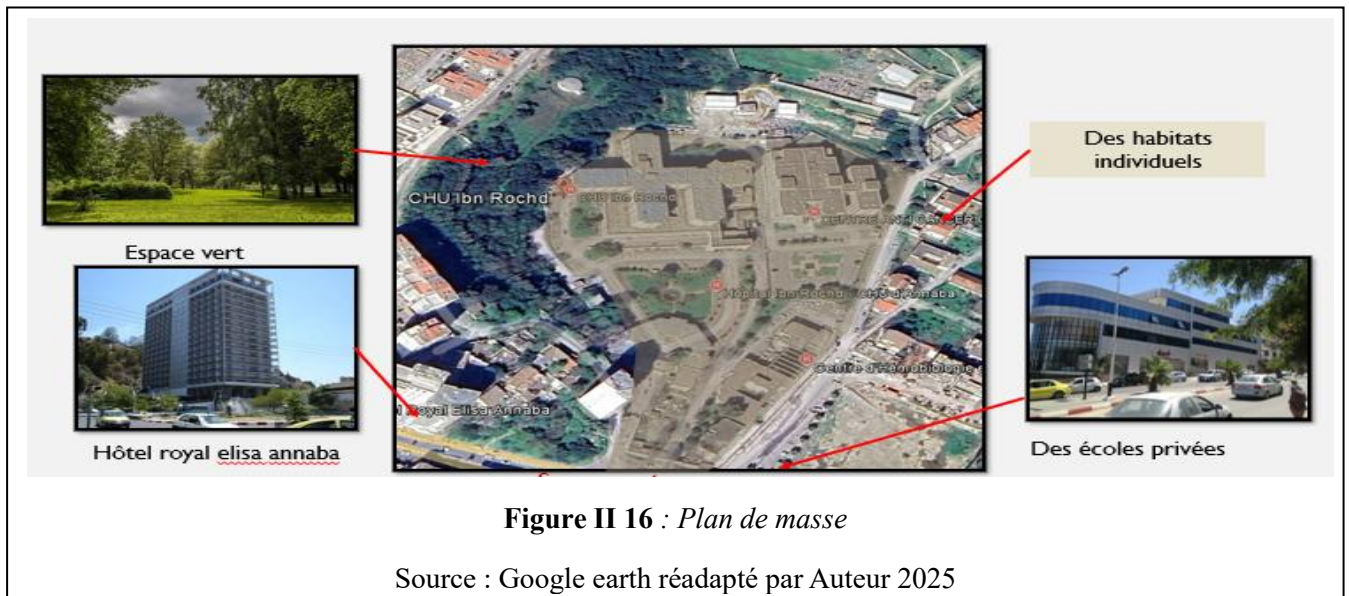


Figure II 16 : Plan de masse

Source : Google earth réadapté par Auteur 2025

Forme et Volumétrie :

L'hôpital Ibn Rochd se compose de 3 volumes :

- Les Urgences.
- L'Administration.
- Le Monobloc Central.

1. Les Urgences : C'est le plus simple et le plus petit volume de l'hôpital il s'agit de deux parallélépipèdes d'une hauteur de 6m se situe à l'entrée principale.

2. L'Administration : Débouche sur l'entrée secondaire du personnel d'une hauteur de 6m, elle est composée de 3 volumes en forme de polygones extrudés et surélevés en laissant la circulation mécanique traverse au-dessous en forme de (y).

3. Le Monobloc Central : c'est le plus grand et le plus riche de l'hôpital nous distinguons 3 blocs associés : Un soubassement qui comporte les 2 premiers niveaux, où sont placés les locaux techniques et l'étage de l'usine. Le bloc inférieur comporte l'accueil, l'imagerie médicale, laboratoires et la bibliothèque Le bloc supérieur comporte l'hébergement, salles d'opérations, ce bloc suit la même forme linéaire que celle déterminé par le bloc inférieur et s'élève de 14m (plus haut que les autres blocs).



Figure II 17 : *l'unité d'urgence*

Source : Google image

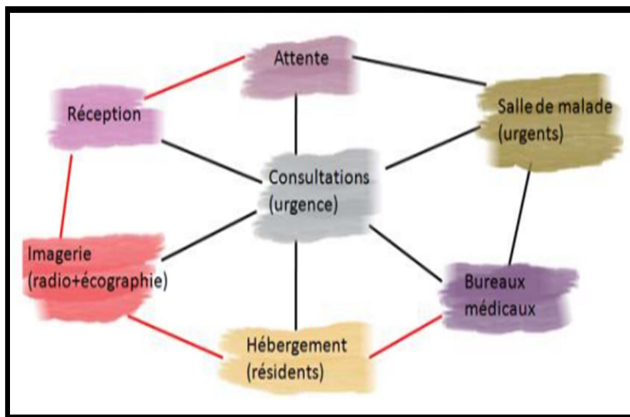


Figure II 18 : *le monobloc de Ibn Rochd*

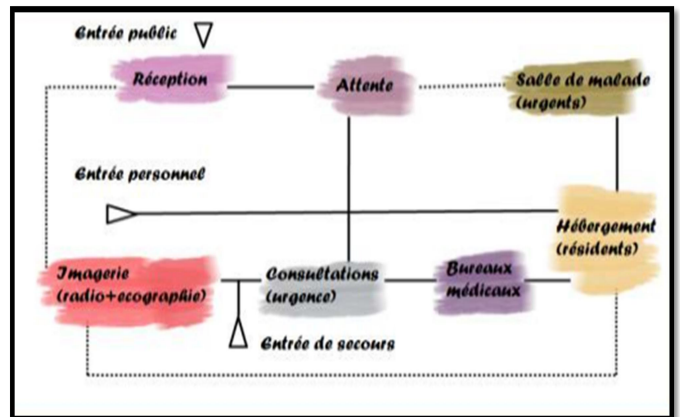
Source : google photo

II.4.3.4. Analyse des caractéristiques internes du projet

Espaces publics accessibles (accueil, salles d'attente) distincts des zones privées (blocs opératoires, services spécialisés).



Organigramme fonctionnel



Organigramme spatial

Figure II 20 : organigramme fonctionnel et spatial des urgences

Source : auteur

Analyse des façades :

La façade du CHU d'Annaba reflète une architecture sobre et fonctionnelle, adaptée au climat méditerranéen. Le rapport plein/vide tend vers une prééminence du plein, garantissant une bonne protection solaire et thermique. Les fenêtres sont disposées de manière régulière et répétitive, souvent en bandes horizontales, ce qui traduit une logique de rationalité dans l'organisation des espaces intérieurs. Le béton armé, matériau prédominant, est utilisé pour sa robustesse et sa durabilité, tandis que l'esthétique générale reste minimaliste et harmonieuse, avec peu d'ornementation. L'horizontalité marquée dans la composition de la façade contribue à une lecture claire et ordonnée du bâtiment, soulignant une



Figure II 21 : façade du CHU de Saintonge

Source : google photo

volonté d'efficacité, de lisibilité et d'équilibre visuel propre à l'architecture hospitalière des années modernes.

Spécialités	Nombre de lit
Chirurgie générale	82
Urologie	38
Orthopédie/traumato	74
Neurochirurgie	28
Urgence chirurgie	37
Chirurgie réparatrice	16
Gynécologie obstétrique	32
Maternité	93
Néonatalogie	16
Pédiatrie	40
Rea anesthésie	10

Tableau II 3 : *programme de l'hôpital Ibn Rochd*

Source : direction de santé –Annaba

Le

Programme de l'exemple :

Synthèse :

L'hôpital Ibn Rochd adopte un style moderne et fonctionnel, répondant aux exigences spécifiques du domaine hospitalier. Ses façades harmonieuses, composées de matériaux contemporains, favorisent l'optimisation de la lumière naturelle, créant ainsi un environnement accueillant. L'organisation interne repose sur une répartition claire des espaces, avec des zones distinctes pour les patients, les visiteurs et le personnel, assurant une circulation fluide. L'établissement bénéficie d'une bonne accessibilité grâce à des routes et des parkings bien aménagés. Implanté dans un quartier urbain bien connecté aux infrastructures de la ville, l'hôpital est également entouré d'espaces verts pensés pour le bien-être des patients et du personnel.

Synthèse globale :

Les hôpitaux modernes, tels que le Nouvel Hôpital Civil de Strasbourg, adoptent un style architectural contemporain et fonctionnel, parfaitement adapté aux exigences hospitalières actuelles. L'organisation des espaces repose sur une distinction claire entre les zones destinées aux patients, aux visiteurs et au personnel, avec des circuits bien séparés pour optimiser la circulation des différents flux, qu'il s'agisse du public, des malades couchés ou de la logistique. Leur implantation centrale dans des zones urbaines bien connectées garantit une accessibilité optimale, renforcée par des routes et parkings aménagés, incluant des espaces dédiés aux ambulances et aux visiteurs. Soucieux du bien-être des usagers, ces établissements intègrent également des espaces verts, favorisant un environnement apaisant et humain, tout en tenant compte des besoins spécifiques, notamment ceux des personnes âgées. Sur le plan technologique et environnemental, ils intègrent des équipements de pointe comme des vitrages à haute performance énergétique et privilégient des matériaux durables. Enfin, l'esthétique architecturale, marquée par l'utilisation de murs-rideaux en verre, contribue à créer une atmosphère de transparence et de sérénité, essentielle dans un cadre de soin.

Synthèse des programmes

Entité	Exemple 01	Exemple 02	Exemple 03

Accueil et Réception	• Admissions • Gestion administrative • Orientation des patients		
Direction et Administration	• Gestion hospitalière • Comptabilité • Ressources humaines		
Hôpital de jour	• Soins ambulatoires • Chimiothérapie • Dialyse • Rééducation fonctionnelle	• Hôpital de jour médico-chirurgical • Oncologie • Hémodialyse - dialyse péritonéale	• Chirurgie réparatrice
Mère-enfant	• Gynécologie-Obstétrique • Néonatalogie • Pédiatrie	• Hôpital de jour de pédiatrie • Urgences pédiatriques • néonatalogie • Soins intensifs • Obstétrique	• Maternité • Néonatalogie • Pédiatrie • Gynécologie • Obstétrique

Service Radiologie	Radiologie, Échographie, IRM, Scanner, Médecine nucléaire		
Consultation	Consultations générales et spécialisées (Cardiologie, Pneumologie, Néphrologie, Dermatologie, etc.)		• Orthopédie /traumato
Urgence	• Médecine d'urgence • Soins immédiats • Unité d'Hospitalisation de Courte Durée (UHCD)	• Urgences • UPU(unité post-urgences)	
Psychiatrie	• Psychiatrie adulte • Psychiatrie infantile • Psychologie clinique	• Psychiatrie adultes et infranto-juvenile	

Unité de Soins de Longue Durée	• Gériatrie • Rééducation • Soins palliatifs	• Soins de suite	• Rea anesthésie
Maladies Infectieuses	• Maladies infectieuses • et tropicales • Microbiologie		
Médecine Interne	• Pathologies générales complexes • Endocrinologie • Maladies auto-immunes		
Unité d' Hospitalisation de Courte Durée (UHCD)	• Observation et stabilisation des patients en soins temporaires		
Bloc Opératoire	• Chirurgie cardiaque • Chirurgie thoracique et vasculaire • Chirurgie digestive • Endoscopie	Chirurgie	

	• Anesthésie		
Restauration	• Boutique/Cafétéria • Nutrition hospitalière		

Tableau II 4 : *Tableau comparatif des programmes des exemples analysés*

Synthèse générale des exemples analysés

L'analyse comparative des trois établissements hospitaliers – le CHU de Strasbourg, le CHU de Saintonge et le CHU Ibn Rochd d'Annaba – a permis de dégager plusieurs constantes et particularités en matière de conception hospitalière durable.

Ces projets se distinguent par :

- **Une organisation fonctionnelle rigoureuse** des flux (patients, personnel, logistique), avec une séparation claire entre les zones propres et les zones à risques.
- **Une intégration contextuelle** réussie au tissu urbain environnant, tout en respectant les contraintes topographiques.
- **L'attention portée à la lumière naturelle**, à la ventilation naturelle et aux espaces de respiration (jardins intérieurs, patios).
- **Un recours croissant à des matériaux durables** et à des systèmes techniques performants (ventilation, gestion de l'eau, production énergétique).

Le tableau comparatif (Tableau II.4) met en évidence les différences et les similitudes entre les programmes fonctionnels, les principes d'implantation et les stratégies environnementales. Il permet ainsi de tirer des enseignements concrets pour la conception du projet de Guelma.

Programme proposé

Entité Fonctionnelle	Espace	Surface moyenne (m ²)
- Zone d'accueil et de tri	Hall d'accueil	100 - 200
	Salle d'attente	50-100
	Salle de triage	20-50
- Salles de soins et d'examen	Salle de soins d'urgence	100 - 300
	Box de réanimation	30-50 /box
	Salle de plâtre et pansement	20-40
- Unité d'observation courte durée	Chambres d'observation (6-10 lits)	200 - 300
- Unité de déchoquage	Box de réanimation lourde	30 - 50 / box
Chambres d'hospitalisation	Chambre simple	15 - 20 / chambre
	Chambre double	25 - 30 / chambre
	Chambre d'isolement	25 - 35
- Espaces communs	Salle de soins par étage	20 - 40
	Salle de garde personnel	20 - 50
	Bureau infirmier	10 - 20
- Bloc opératoire	Salle d'opération standard	35 - 50
	Salle d'opération aseptique	50 - 70
	Salle d'induction anesthésique	20 - 40
	Salle de réveil	100 - 200

- Stérilisation centrale	Zone de décontamination	50 - 100
	Zone de stérilisation	100 - 200
- Imagerie Médicale	Salle de radiologie conventionnelle	50 - 70
	Salle de scanner	80 - 120
	Salle IRM	100 - 150
	Salle d'échographie	25 - 40
Laboratoires	Biologie médicale	400 - 600
	Salle de prélèvements	50 - 100
Pharmacie hospitalière	Zone de stockage	150 - 250
	Préparation de chimiothérapie	100 - 200
- Consultations externes	Bureaux de consultation	15 - 20 / cabinet
	Salles d'attente	50 - 150
Services spécialisés	Oncologie, cardiologie, neurologie, etc.	300 - 600 / unité
- Rééducation	Kinésithérapie et balnéothérapie	200 - 400
- Administration	Bureaux de gestion	500 - 1000
- Hygiène et maintenance	Zone de désinfection	300 - 500
	Entretien technique	200 - 400
Restauration	Cuisine et stockage	600 - 1200
	Salles de restauration	400 - 800
- Blanchisserie	Zone de lavage et séchage	400 - 800
- Accueil principal	Hall, réception	800 - 1500
- Circulations	Couloirs et escaliers	30-40% de la surface totale

- Espaces verts	Jardins et patios	1000 - 3000
-----------------	-------------------	-------------

Tableau II 5 : Programme proposé

Conclusion

Ce chapitre a mis en lumière le rôle stratégique des hôpitaux universitaires dans le monde et en Algérie, ainsi que les défis auxquels ils font face en termes de durabilité. L'analyse des exemples du Nouvel Hôpital Civil de Strasbourg et de l'hôpital Ibn Rochd a permis d'identifier des principes clés en matière d'architecture hospitalière moderne : un style fonctionnel et contemporain, une organisation spatiale optimisée avec des circuits différenciés, une accessibilité renforcée, l'intégration d'espaces verts favorisant le bien-être, ainsi que l'usage de technologies durables et de matériaux performants. Ces éléments témoignent d'une volonté de créer des environnements de soins à la fois efficaces, humains et respectueux de l'environnement. Dans ce contexte, la ville de Guelma offre une opportunité prometteuse pour la création d'un hôpital universitaire innovant, intégrant les démarches HQE (Haute Qualité Environnementale). Cette dynamique s'inscrit dans une perspective plus large d'extension universitaire durable, avec un impact positif tant sur le plan sanitaire que socio-économique pour la région.

Chapitre III : Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

Introduction

L'amélioration de la qualité de l'environnement intérieur dans les établissements de santé constitue un enjeu essentiel pour garantir le bien-être des usagers, patients comme personnel. Dans cette optique, la simulation environnementale constitue un outil déterminant pour l'évaluation prédictive du confort thermique, de la qualité de l'air, de la ventilation naturelle et de l'efficacité énergétique des bâtiments. Ce chapitre présente la méthodologie et les résultats issus de simulations réalisées à l'aide du logiciel ENVI-met, à la fois à l'échelle architecturale et urbaine, dans le but d'évaluer les performances environnementales d'un projet hospitalier à Guelma.

III.1. La qualité d'air intérieur

III.1.1. Les sources de pollution :

Les polluants de l'air intérieur peuvent provenir de diverses sources :

Produits de construction : matériaux, isolants, revêtements, etc.

Équipements : mobilier, systèmes énergétiques, production d'eau chaude.

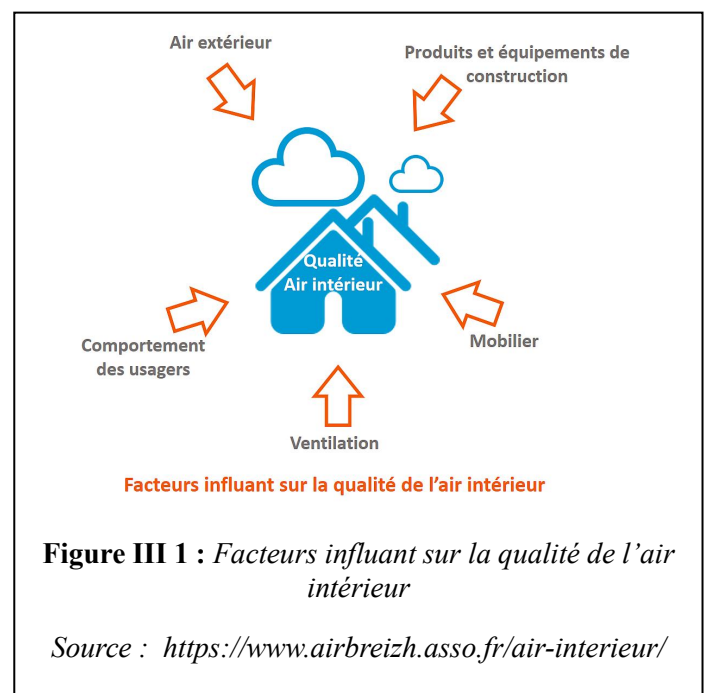
Activités humaines : entretien, travaux, occupation.

Environnement extérieur : radon, pollution du sol et de l'air.

Usagers : par leurs comportements et activités.

Les polluants peuvent être :

Gazeux (COV, formaldéhyde, CO, NOx, ozone, radon).



Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

Particulaires (poussières, fibres, fumée de tabac).

Biologiques (moisissures, bactéries, allergènes).

Métalliques (plomb).

III.1.1.1. Définition :

La qualité de l'air décrit le niveau des polluants atmosphériques dans une certaine région. Ces polluants peuvent être dangereux pour la santé humaine lorsque la population est sensible à des concentrations élevées de polluants ou est exposée à ces derniers pendant de longues périodes. Pour réduire les risques, la population doit savoir quand les polluants sont présents et quelle est leur concentration.

III.1.1.2. Le cadre général de la qualité de l'air :

La qualité de l'air se mesure par le contenu plus ou moins important en éléments nocifs ou gênants : gaz, particules inertes ou vivantes, etc. Quand on parle de « qualité de l'air » il s'agit implicitement de l'air intérieur, la détérioration de l'air extérieur étant désignée sous le terme plus général de « pollution », les éléments nocifs ou gênants étant désignés comme les « polluants ».

III.1.1.3. Les effets sur la santé d'une mauvaise qualité de l'air intérieur :

Les nombreux polluants de l'air intérieur peuvent générer plusieurs types d'effets sur la santé, qui peuvent aller de la simple gêne olfactive à une irritation des yeux, de la peau, voire de l'appareil respiratoire, en passant par des problèmes de somnolence.

Les divers problèmes de santé ou symptômes rencontrés en lien avec la mauvaise qualité de l'air intérieur incluent l'asthme, certaines manifestations allergiques et irritatives, des symptômes non spécifiques (maux de tête, nausées, etc.), des intoxications chroniques et aiguës, et même des cancers. Globalement.

III.1.1.4. Source des contaminants dans l'air intérieur :

Les polluants de l'air des locaux peuvent être produits à l'intérieur ou provenir de l'extérieur puisque dans la plupart des édifices, il y a des échanges d'air continus avec l'extérieur. À

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

défaut de contrôler les sources de contaminants, des problèmes de QAI sont susceptibles de surgir. L'air à l'intérieur peut être contaminé par une multitude de particules, fibres, champignons, spores de moisissures, bactéries et gaz.

Il existe différentes mesures pour réduire la présence de contaminants dans l'air intérieur, l'élimination ou la réduction à la source étant sans aucun doute celle à envisager en premier lieu.

Donc dans la conception des bâtiments de la santé, il faut tenir compte des contaminants chimiques et microbiologiques.

III.1.1.5. Différents paramètres de l'air :

Traitement	Effet	Paramètre physique	Unité de mesures	Instruments de mesures	moyens techniques d'obtention
Filtration	*Élimination de particules.	*Classe d'empoussièrement.	*Concentration particulaire.	*Compteur de particule (0.5µm et 5µm).	*filtre
	Élimination des microorganismes.	*classe bactériologique.	* UFC unité formant colonie	*appareil à filtration ou impaction sur milieu gélosé	*système de renouvellement d'air
Sufflation et /ou Aspiration	changement de pression de la pièce par rapport à la pression atmosphérique	Pression	Bar, pa	Manomètre capteur de pression	VMC
	Maîtrise des flux d'air	Classe d'empoussièrement et bactériologique	Concentration particulaire et UFC		Hotte, système de soufflage
Humidification	Condensation de l'eau	Hygrométrie Taux d'hygrométrie	Hygrométrie		Humidificateur

Tableau III 1 : Paramètres de l'air

III.2. La qualité de l'air et la ventilation :

Quand on parle de « qualité de l'air » il s'agit implicitement de l'air intérieur. Cette qualité se mesure par le contenu plus ou moins important en éléments nocifs ou gênants. Pour éviter le terme « polluants », généralement réservé à la pollution extérieure, nous appelons ici « contaminants » ces éléments nocifs ou gênants « intérieurs ». Il s'agit de gaz neutre sou

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

radioactifs ou de particules inertes ou vivantes. La détérioration de la qualité de l'air intérieur des locaux « humains » à généralement deux origines :

- L'occupation humaine d'une part, à travers ses propres dégagements et à travers ceux directement liés à son activité normale ou à l'air extérieur utilisé pour la respiration,
- D'autre part les dégagements de contaminants par des produits spécifiques :
 - matériaux de construction, d'aménagement ou mobilier (peintures incluses),
 - produits extérieurs introduits accessoirement : produits de nettoyage, produits de toilette, etc.

Il est logique, et souhaitable pour de multiples raisons :

- De traiter les sources liées à l'occupation au travers des ventilations,
- De traiter ce qui est lié à l'usage de produits spécifiques au travers d'une discipline de ces produits.

II.2.1. Rôle des systèmes de ventilation :

- **Pourquoi ventiler ?**

Le renouvellement d'air peut avoir d'être :

- rafraichir en été : aérer
- assainir l'air : ventiler, pour éliminer les polluants et renouveler l'oxygène.
- accessoirement, brasser l'air, sans apport d'air neuf, pour améliorer la sensation de confort physiologique des occupants.

Un système de ventilation bien conçu permettra d'assurer un environnement confortable pour les occupants. il doit également être efficace du point de vue énergétique. Il a été reconnu que la ventilation à elle seule consomme de 30 à 60% des besoins énergétiques des bâtiments.

Ils existent deux méthodes pour l'élimination des polluants chimique ou biologique. Il s'agit soit d'éliminer à la source même par un système de captation tel une hotte ou soit par l'utilisation de la ventilation générale.

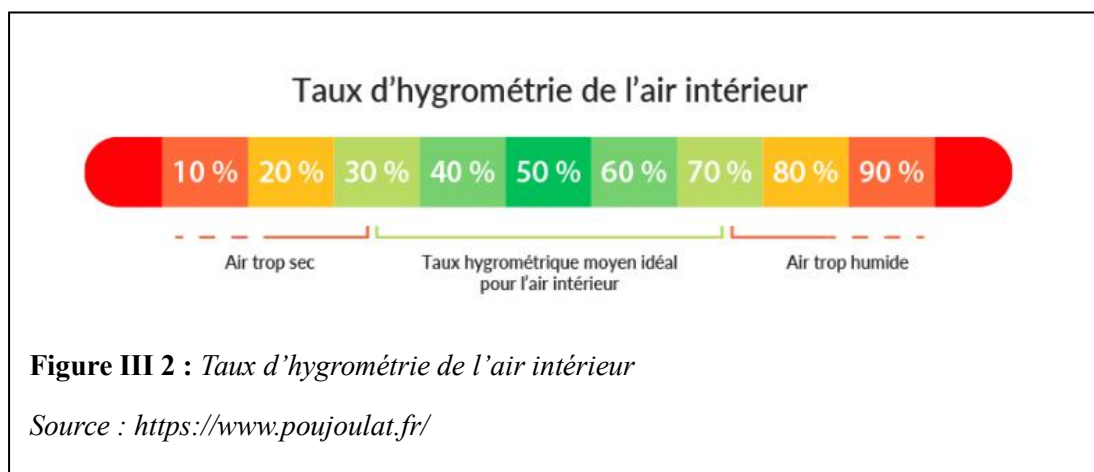
Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

II.2.2. Ventilation et confort :

Une bonne ventilation restera toujours indispensable dans une construction présentant une bonne étanchéité à l'air, en effet la circulation de l'air est devrait être le principal vecteur du confort intérieur. C'est elle peut permettre de transférer la chaleur et la fraîcheur d'un point à autre, il ne s'agit plus alors de faire pénétrer de l'air dans le bâtiment et transporter l'énergie à l'intérieur en fonction des besoins, le système de ventilation dimensionne selon deux critères indépendants :

- Le renouvellement hygiénique de l'air : est directement proportionnel au nombre d'occupants, il peut être régulé par une mesure du taux d'humidité, soit par du taux de CO_2
- Les besoins de transfert d'énergie.



III.3. Évaluation de la qualité de l'air

III.3.1. Critères d'évaluation de la qualité de l'air intérieur :

Un système de ventilation a pour fonction première de fournir de l'air frais aux occupants de l'espace occupé et d'évacuer les contaminants, la chaleur et l'humidité. Il est possible de quantifier les performances d'un système de ventilation à accomplir ces tâches par des critères quantitatifs. Une ventilation efficace est une ventilation qui assure un débit de renouvellement

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

d'air neuf suffisant au regard de l'activité se déroulant dans le local, qui assure la maîtrise des débits et de la température de l'air soufflé et sa distribution uniforme dans le local.

Les facteurs comme le temps d'arrêt et départ et les filtres utilisés peuvent aussi influencer l'efficacité d'un système de ventilation. On a quelques critères. Pour déterminer l'efficacité des systèmes de ventilation en termes de qualité de l'air intérieur.

III.3.1.1. Âge de l'air :

L'âge de l'air est défini comme étant le temps qu'il faut à une molécule d'air pour aller de la grille de soufflage à point précis de coordonnées $P(x,y,z)$ dans la pièce étudiée. C'est un critère utile pour identifier les régions où les zones qui sont moins bien ventilées. Les endroits où l'âge de l'air est faible correspondent aux zones où l'air de soufflage remplace rapidement l'air vicié. Dans les zones où l'âge de l'air est élevé, l'air est stagnant et son temps de séjour dans la pièce est élevé. La concentration de contaminants gazeux et particulaires risque d'être plus élevée dans ces régions.

III.3.1.2. Indices de qualité de l'air dans un local :

L'indice de qualité de l'air comme étant un indice qui mesure l'efficacité d'un système de ventilation à éliminer les polluants. Cet indice est déterminé lorsque l'état permanent est atteint dans la pièce et plus sa valeur est élevée, plus le système de ventilation élimine efficacement les polluants dans la pièce.

III.3.1.3. Nombre de changement d'air :

Le nombre de changements d'air par heure (CAH) est un facteur important dans le domaine de ventilation. Les normes la qualité de l'air dans les bâtiments commerciaux et institutionnels et les normes qui s'applique dans le secteur des établissements de santé, utilisent le concept du nombre de changement d'air à l'heure pour leurs recommandations sur les débits de ventilation à fournir. Le CAH recommandé par ces normes varie en fonction du type de pièce à ventiler et dans certains cas en fonction de la densité d'occupation de la pièce exprimé en nombre d'occupant par mètre carré de plancher. En connaissant le volume d'une pièce, on peut fixer le débit de soufflage de l'air qui doit être acheminé aux grilles d'entrée d'air.

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

III.3.1.4. II Efficacité de ventilation :

Un système de ventilation déplace une quantité d'air frais par les grilles de soufflage à l'intérieur de l'édifice. Il garantit l'extraction de l'air pollué par les grilles de sortie d'air. La qualité de l'air intérieur dépend de l'efficacité du système de ventilation. Ce dernier paramètre est défini comme étant le pourcentage d'air neuf, introduit par les grilles d'entrée d'air, qui atteint effectivement les occupants d'un local. Les chercheurs Rim et Novoselac de l'Université du Texas ont publié un article à propos l'efficacité de la ventilation (Rim et Novoselac, 2008) dans une chambre de volume. Ils ont constaté qu'un facteur élevé de l'efficacité de ventilation indique une meilleure élimination des particules fines ($1\mu\text{m}$). Les deux chercheurs utilisent l'efficacité de renouvellement de l'air pour évaluer l'efficacité de ventilation. L'efficacité de renouvellement de l'air mesure la rapidité avec laquelle le système de ventilation remplace l'air

ambient de la pièce en se basant sur l'âge de l'air. L'efficacité de ventilation dépend étroitement des paramètres suivants :

- Opération du système de ventilation.
- Stratégie de ventilation.
- Propriétés des gaz et des particules.
- Type de source polluante (équipement, tapis, occupants, etc.).

III.3.15. Les filtres :

Il y a toute une série de filtres dans le marché. Ils sont utilisés dans un système de ventilation pour capter et éliminer les contaminants externes et internes. Le choix des filtres est fait selon la taille des contaminants à capter. Dans le secteur hospitalier, les filtres HEPA sont largement utilisés. Le terme HEPA (High efficiency particulate air filter) s'applique à tout filtre capable de capter 99,97% des particules possédant un diamètre supérieur ou égal à $0,3\mu\text{m}$.

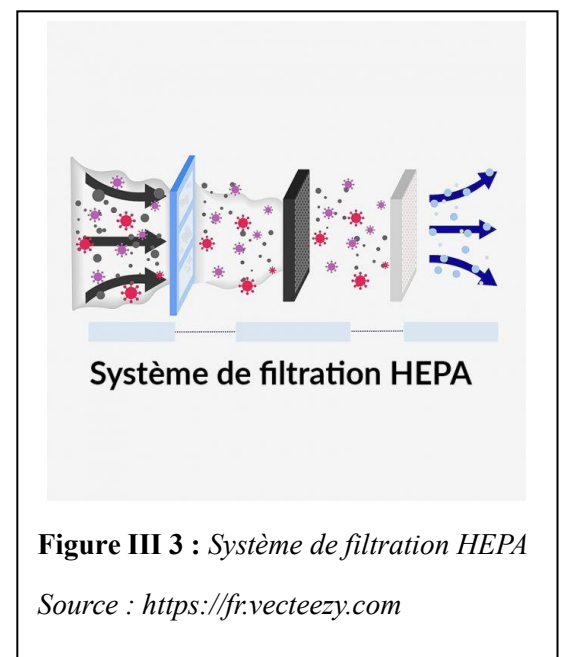


Figure III 3 : Système de filtration HEPA

Source : <https://fr.vecteezy.com>

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

III.3.2. Objectifs

L'évaluation poursuit plusieurs objectifs opérationnels :

Identifier les zones à risque : repérer les espaces susceptibles d'accumuler des polluants (zones confinées, locaux techniques, chambres mal ventilées).

Optimiser les systèmes de ventilation : vérifier la performance réelle des systèmes (mécaniques ou naturels) et corriger les dysfonctionnements.

Réduire les sources de pollution : cibler les matériaux ou équipements émetteurs afin d'adapter les choix constructifs et les protocoles d'entretien.

Garantir le confort et la sécurité sanitaire : s'assurer que les conditions intérieures respectent les normes et les attentes des usagers, en particulier les patients immunodéprimés ou vulnérables.

III.3.3. Programmation

La mise en place d'une campagne d'évaluation exige une programmation rigoureuse :

Définition des espaces sensibles : salles d'opération, chambres d'isolement, blocs techniques, zones d'accueil.

Sélection des polluants cibles : COV (composés organiques volatils), CO₂, particules fines (PM_{2.5}, PM₁₀), formaldéhyde, ozone, etc.

Choix des techniques de mesure : en fonction de la précision souhaitée et du budget (capteurs instantanés, tubes passifs, prélèvements actifs, etc.).

Fréquence et durée d'évaluation : mesures en continu, en campagne ponctuelle (matin/soir), ou sur des périodes longues (7 à 30 jours), selon les usages des espaces.

III.3.4. Techniques d'évaluation

Plusieurs méthodes sont combinées pour obtenir un diagnostic complet :

Mesures ponctuelles (capteurs) : capteurs portables ou fixes permettant des mesures instantanées de CO₂, température, humidité, PM_{2.5}/PM₁₀. Utiles pour une première cartographie.

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

Campagnes longues durées : analyse de l'évolution des polluants dans le temps, corrélée aux taux d'occupation et aux cycles de ventilation. Ces mesures permettent d'identifier les variations journalières et hebdomadaires.

Audits CVC (chauffage, ventilation, climatisation) : vérification de la conformité des installations techniques, inspection des réseaux, contrôle des filtres, détection des fuites ou points de stagnation.

Modélisation numérique : simulation CFD (Computational Fluid Dynamics) pour étudier les flux d'air, la diffusion des polluants, et tester virtuellement différentes configurations de ventilation.

III.4. La simulation à l'échelle urbaine et architecturale

III.4.1. Définition de la simulation environnementale

La simulation environnementale est une méthode numérique qui vise à reproduire virtuellement des environnements urbains ou architecturaux afin de prédire leurs performances thermiques, énergétiques et environnementales. Cette technique permet d'analyser les interactions complexes entre climat, végétation, morphologie urbaine et matériaux de construction. Elle joue un rôle essentiel dans la planification urbaine durable, en facilitant l'évaluation de divers scénarios d'aménagement et en appuyant les décisions en matière de confort thermique, de qualité de l'air et d'efficacité énergétique.

III.4.2. Objectifs

Les objectifs principaux de la simulation environnementale sont :

Évaluer le confort thermique : analyser les conditions de température, d'humidité et de rayonnement pour assurer le bien-être des occupants.

Anticiper la qualité de l'air : modéliser la dispersion des polluants et identifier les zones à risque.

Tester différentes solutions architecturales : comparer l'impact de diverses configurations de bâtiments, matériaux et aménagements paysagers.

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

Mesurer les impacts du climat local : étudier l'effet des conditions météorologiques spécifiques sur l'environnement bâti.

III.5. Méthodes et outils de simulation

Plusieurs logiciels sont utilisés selon les besoins :

- **ENVI-met** pour la modélisation microclimatique intégrée, combinant thermique, aérodynamique et pollution.
- **CONTAM** pour la qualité de l'air intérieur, modélisant les flux d'air et la ventilation mécanique.
- **OpenFOAM** pour les calculs de mécanique des fluides complexes.
- **Radiance** et **DIALux** pour la simulation de l'éclairage naturel et artificiel.

III.5.1. Simulation de l'environnement lumineux (éclairage naturel et artificiel)

La simulation lumineuse permet de :

- Calculer la distribution de la lumière naturelle selon les orientations et configurations architecturales.
- Identifier les zones d'ombre et les potentiels d'éclairage naturel insuffisant.
- Modéliser les apports d'éclairage artificiel pour compléter ou corriger l'ambiance lumineuse.
- Favoriser un confort visuel optimal, important pour le rythme circadien des patients et du personnel (OMS, 2021).

III.5.2. Méthodologie de simulation de la qualité de l'air

La simulation suit :

- Modélisation des sources de pollution extérieure (trafic, industrie) et intérieure (produits, activités humaines).
- Calcul des flux d'air par ventilation naturelle ou mécanique, intégrant la topographie et morphologie urbaine.
- Simulation de la dispersion et concentration des polluants dans le temps et l'espace.

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

Paramètres intégrés dans la simulation

Concentrations initiales des polluants (PM2.5, NO₂, COV).

Débit et renouvellement d'air (ventilation naturelle/mécanique).

Interaction avec les surfaces (adsorption, émission).

Influence de la végétation urbaine sur la filtration des particules.

III.5.3. Simulation performative du comportement thermique extérieur

1-Choisir l'emplacement :

Commune de Guelma Latitude

36,47 Longitude 7,43

2-Ajuster les paramètres du modèle de grille

Figure III 4 : Etape 1 et 2 de la simulation

Source : Auteur 2025.

3-Choisir les paramètres des matériaux

Figure III 5: Etape 3 de la simulation

Source : Auteur 2025

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale



Figure III 6: Etape 4 de la simulation

Source : Auteur 2025

4-Créer un fichier (.bmp) à partir d'un modèle AutoCAD 2D

5- Importer la figure (.bmp) comme entrée pour l'outil ENVI-met spaces

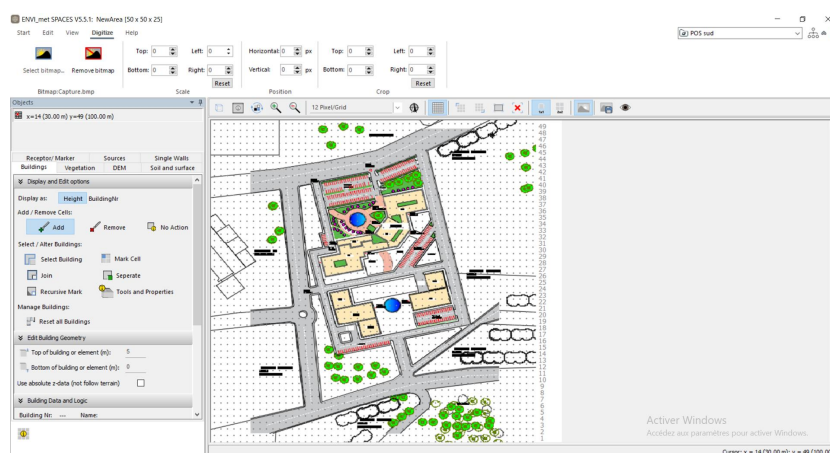


Figure III 7 : Etape 5 de la simulation

Source : Auteur 2025

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

6- Générer le modèle tridimensionnel en utilisant les paramètres du bâtiment, de la végétation et du sol.

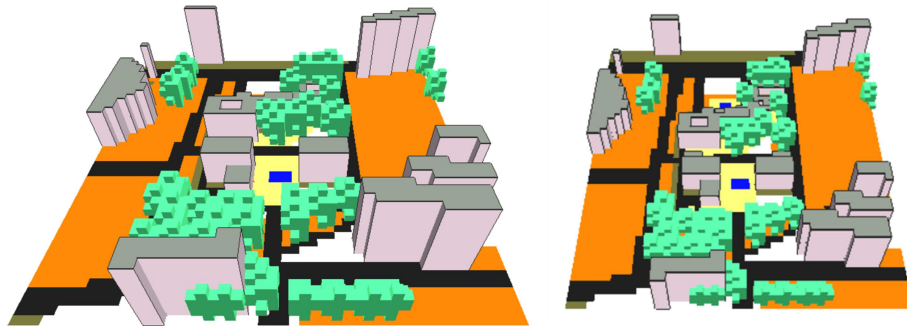


Figure III 8: Etape 6 de la simulation

Source : Auteur 2025

7- Exporter la figure (INX) en sortie pour l'outil de guidage ENVI-met

8- Via l'outil guide ENVI-met les paramètres généraux du fichier météo

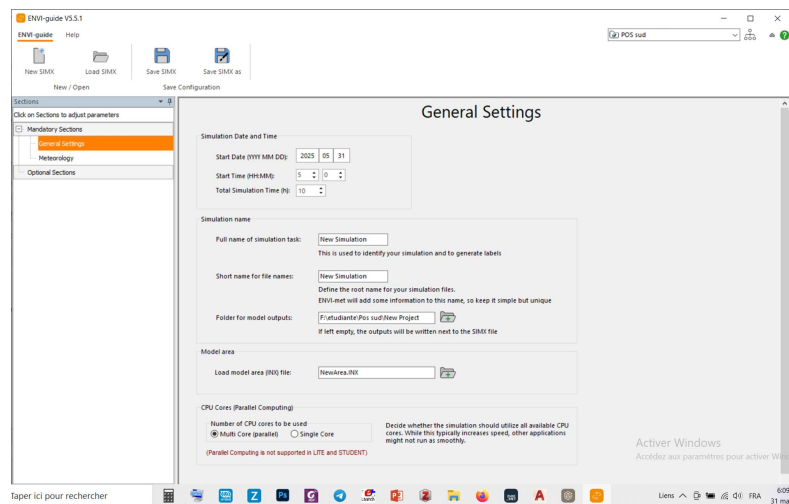


Figure III 9: Etape 8 de la simulation

Source : Auteur 2025

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

9- Grâce à l'outil guide ENVI-met, le schéma météorologique est choisi

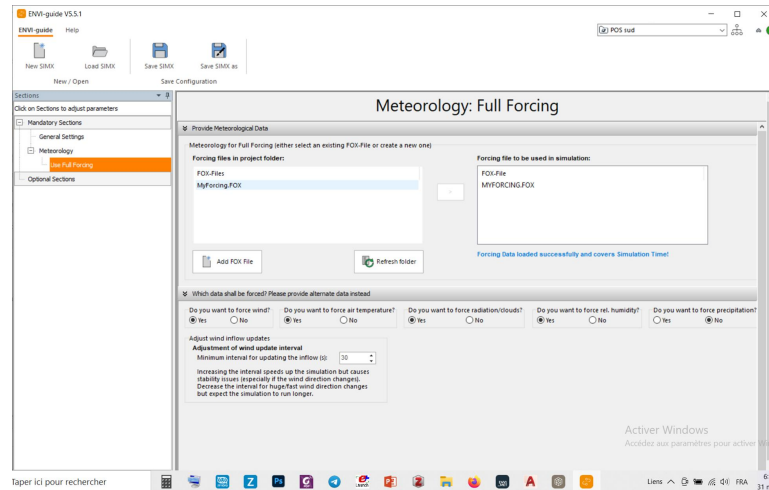


Figure III 10: Etape 9 de la simulation

Source : Auteur 2025

10- Le type choisi est Schéma de forçage complet

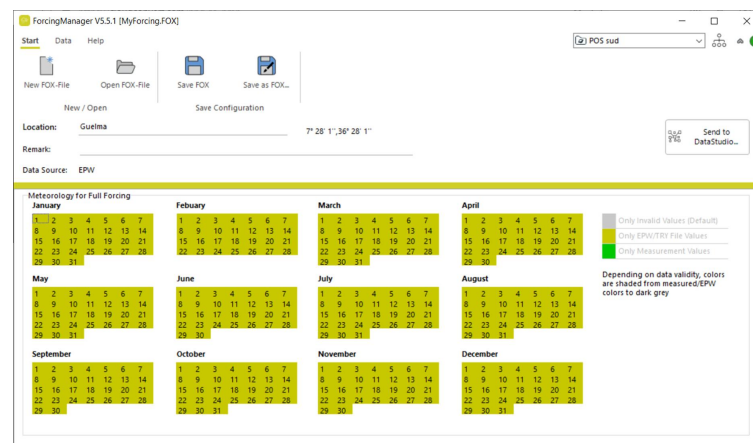


Figure III 11: Etape 10 de la simulation

Source : Auteur 2025

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

11- Export the meteorology scheme as an (SIMX) file for ENVI-met core simulation.

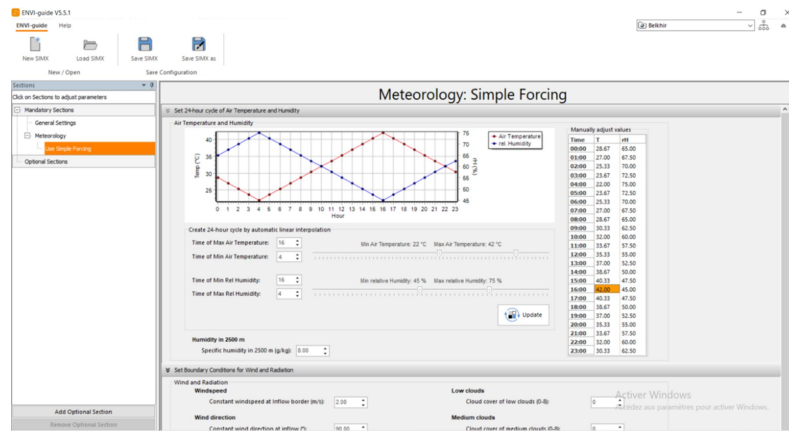


Figure III 12: Etape 11 de la simulation

Source : Auteur 2025

III.6.Critère de choix de logiciel ENVIMET

ENVI-met est un logiciel de simulation tridimensionnelle du microclimat urbain, conçu pour modéliser les interactions complexes entre les bâtiments, la végétation et l'atmosphère. Il est particulièrement adapté pour :

- Analyser les effets des interventions urbaines sur le microclimat, comme l'ajout de végétation ou la modification des matériaux de surface.
- Évaluer le confort thermique extérieur en calculant des indices tels que le PET ou l'UTCI.
- Étudier la dispersion des polluants atmosphériques en milieu urbain.
- Visualiser les flux d'air et les températures à différentes hauteurs et surfaces.[oneclicklca.com+1ENVI-met+1](https://oneclicklca.com/envi-met/)

III.6.1. Fonctionnalités principales du logiciel ENVI-met

Simulation 3D du microclimat urbain : modélisation des interactions entre les éléments construits et naturels.

Calcul du confort thermique extérieur : évaluation de la perception thermique des usagers en fonction des conditions climatiques.

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

Analyse des flux d'air et des températures : étude des mouvements d'air et des variations de température dans l'espace urbain.

Visualisation spatiale des effets des interventions : cartographie des impacts des



Figure III 13 : *Fonctionnalités principales du logiciel ENVI-met*

modifications urbaines sur le microclimat.[ENVI-metWikipédia+1ENVI-met+1](#)

III.6.2. Caractéristiques techniques clés

- **Résolution spatiale** : comprise entre 0,5 m et 10 m.
- **Modélisation physique** : basée sur les équations de Navier-Stokes (mécanique des fluides).
- **Intégration de scénarios climatiques futurs** : prise en compte des projections climatiques pour évaluer l'efficacité des interventions à long terme.
- **Adapté aux études de quartier** : permet l'analyse détaillée d'espaces urbains à différentes échelles.

III.6.3. Schéma de workflow dans ENVI-met

Le processus de simulation avec ENVI-met comprend les étapes suivantes :

1. **Définition des données d'entrée** : géométrie, végétation, conditions météorologiques.
2. **Génération du modèle** : création du fichier d'entrée principal (.INX).
3. **Définition de la tâche de simulation** : configuration du fichier de simulation (.SIMX).
4. **Exécution de la simulation** : production des résultats sous forme de fichiers EDX (atmosphère, biométéo, bâtiment, sol).

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

5. **Visualisation des résultats** : analyse des données dans ENVI-met LEONARDO (cartes, graphiques).

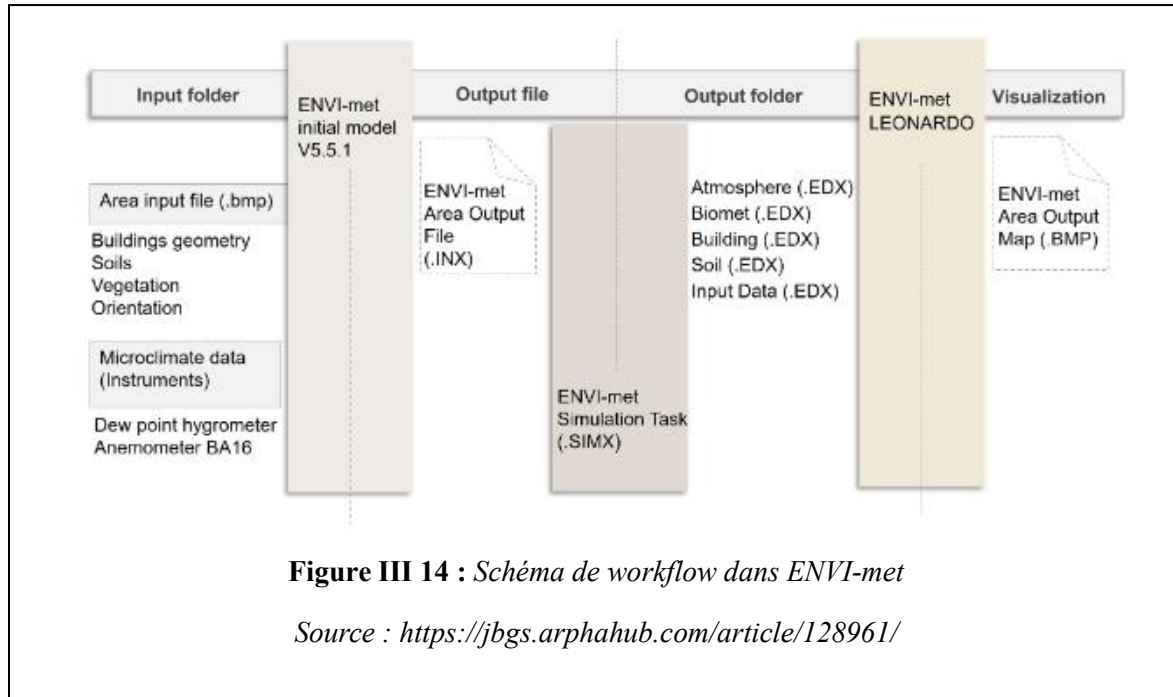


Figure III 14 : Schéma de workflow dans ENVI-met

Source : <https://jbgs.arphahub.com/article/128961/>

Conclusion

L'évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air intérieur à travers la simulation numérique a permis de mettre en évidence les principaux facteurs influençant le bien-être dans les espaces hospitaliers. L'usage d'outils comme ENVI-met a montré que l'environnement extérieur (orientation, vents, ombrage) joue un rôle déterminant sur le microclimat intérieur.

Les résultats obtenus soulignent l'importance :

d'un positionnement stratégique des ouvertures pour favoriser la ventilation naturelle,

de choix de matériaux adaptés au climat semi-aride de Guelma,

et de dispositifs de contrôle thermique (protections solaires, végétation, systèmes passifs).

Chapitre III :

Évaluation du confort thermique et de la qualité de l'air par la simulation à l'échelle urbaine et architecturale

Ces conclusions renforcent la pertinence d'une approche HQE, centrée sur l'adaptation climatique, la réduction des besoins énergétiques et l'amélioration de la qualité de l'air. Elles orientent la conception vers une architecture hospitalière plus performante, à la fois en termes de santé publique et de durabilité environnementale .

CHAPITRE IV : Aire d'intervention et démarche conceptuelle

IV. Analyse de l'aire d'étude

IV.1 Données géographiques

IV.1.1 Présentation de la ville de Guelma

Guelma se situe géométriquement au Nord-Est de l'Algérie, à 60 Km au sud de la Méditerranée à 110 Km à l'Est de Constantine et à 150 Km à l'Ouest de la frontière tunisienne. Elle occupe une position géographique stratégique, en sa qualité de carrefour dans la région nord-est de l'Algérie, reliant le littoral des Wilaya de Annaba, El Taraf et Skikda, aux régions intérieures telles que les Wilaya de Constantine, Oum El Bouagui et Souk-Ahras



Figure IV 2 : Situation de la ville de Guelma Google earth



Figure IV 1 : Situation de la ville de Guelma Google earth

IV.2 Données climatiques

IV.2.1 : Le climat de la ville de Guelma

Le climat de Guelma est de type méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Les températures estivales peuvent atteindre jusqu'à 35°C, tandis que les hivers voient des températures moyennes autour de 10°C. Les précipitations sont principalement concentrées entre les mois d'octobre et de mars, avec des chutes de neige occasionnelles sur les hauteurs environnantes. Ce climat favorable contribue à l'agriculture prospère de la région et offre un environnement agréable pour les habitants et les visiteurs.

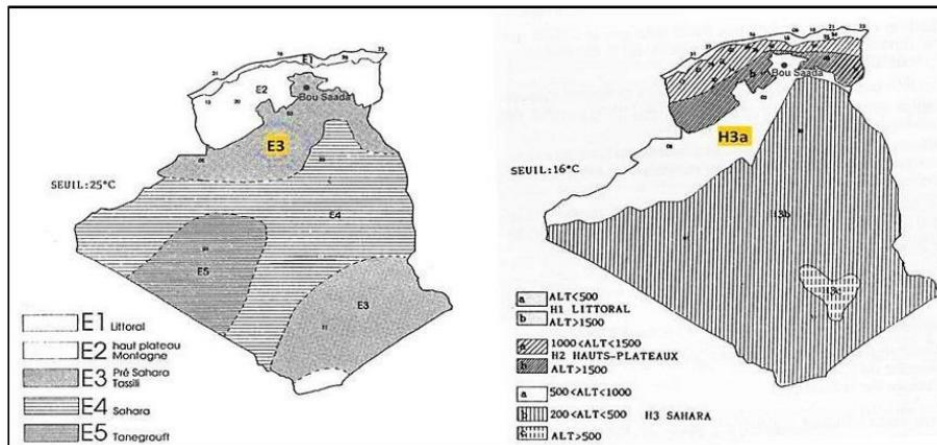


Figure IV 3 : La classification du climat de la ville de Guelma.

Source : Cour (Introduction aux climat) Mme BENHARRA

IV.2.2 Température

La ville de Guelma bénéficie d'une température moyenne annuelle de 14 °C, avec des variations saisonnières marquées. Les températures annuelles maximales peuvent grimper jusqu'à 34°C, tandis que les minimales peuvent chuter jusqu'à -7°C. Le mois le plus chaud de l'année est généralement juillet, avec des pics de chaleur atteignant jusqu'à 37°C. En revanche, les mois les plus froids sont ceux d'avril, où les températures peuvent descendre jusqu'à -7°C, entraînant parfois des effets de gel. Cette amplitude thermique caractérise le climat de Guelma, offrant des étés chauds et des hivers modérément froids.

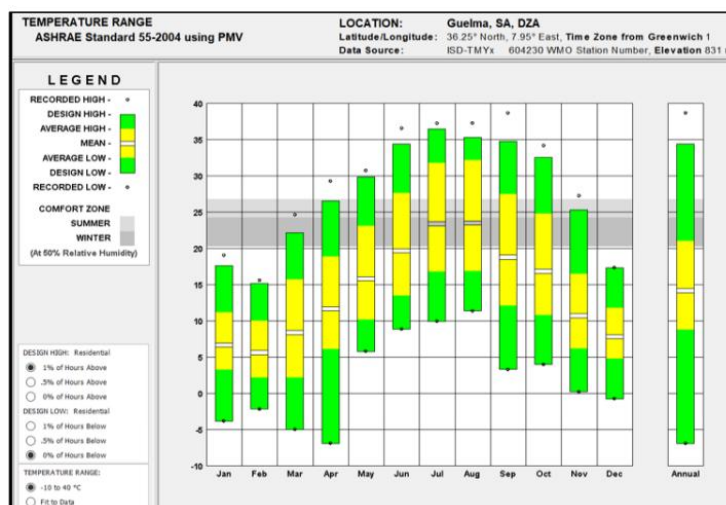


Figure IV 4 : Graphe des variations des températures mensuelles et annuelles de Guelma (climat consultant 6.0)

IV.2.3 Précipitations

La répartition des précipitations à Guelma se caractérise par une saison sèche pendant l'été, avec un minimum de seulement 2,6 mm enregistré en juillet. Les autres saisons connaissent des précipitations considérables, avec un total annuel de 688,3 mm et un maximum de 137,7 mm enregistré en décembre. Près de 57% de cette pluviométrie est enregistrée pendant la saison humide. Cette distribution des précipitations contribue à soutenir l'agriculture locale et à maintenir la biodiversité de la région.

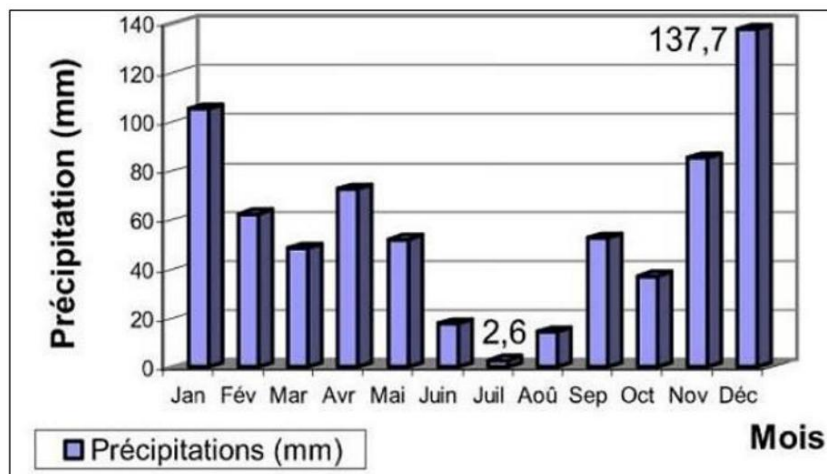


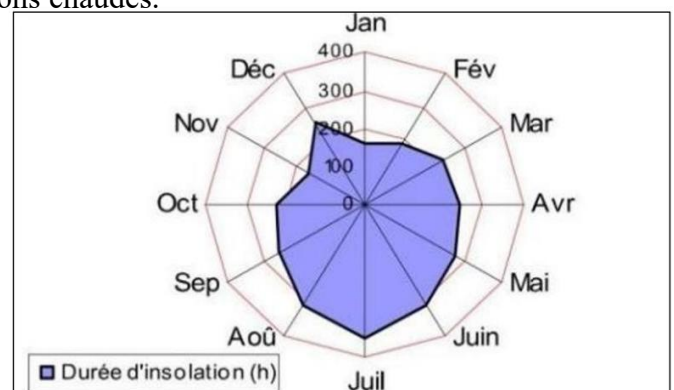
Figure IV 5 : Graphe de variations des précipitations mensuelles. Thèse Ghechi Imane

IV.2.4 Insolation

Le nombre d'heures d'ensoleillement pendant les périodes chaudes dépasse généralement les 10 heures par jour à Guelma. L'insolation totale mensuelle est considérable, avec une moyenne de 243,3 heures de soleil par mois. Le minimum est enregistré en janvier, avec 160,9 heures, tandis que le maximum est atteint en juillet, avec 353 heures d'ensoleillement. Cette abondance de lumière solaire contribue à la chaleur estivale caractéristique de la région et favorise la croissance des cultures pendant les saisons chaudes.

Figure IV 6 : Variation de durée d'insolation mensuelle

Thèse Ghechi Imane 2018.



IV.2.5 Diagramme solaire de Guelma

Pour déterminer la trajectoire annuelle apparente du soleil dans la ville de Guelma, on se réfère au diagramme solaire, ce qui nous permet d'obtenir des résultats variables en fonction des hauteurs et des azimuts solaires.

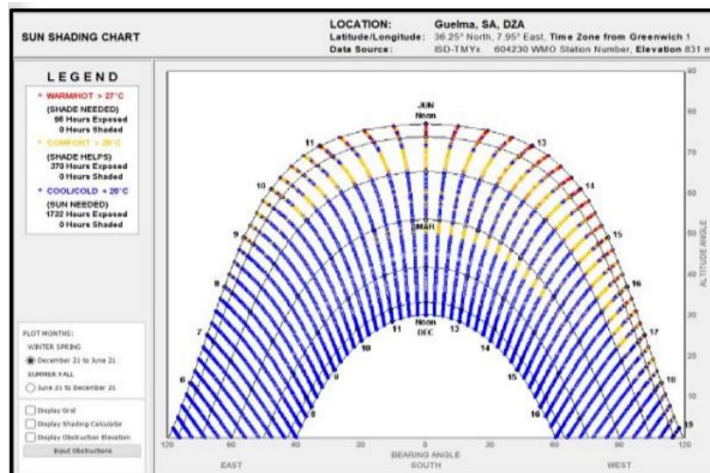


Figure IV 7 : Diagramme solaire de Guelma période Hiver/Printemps.Climat consultant6.0

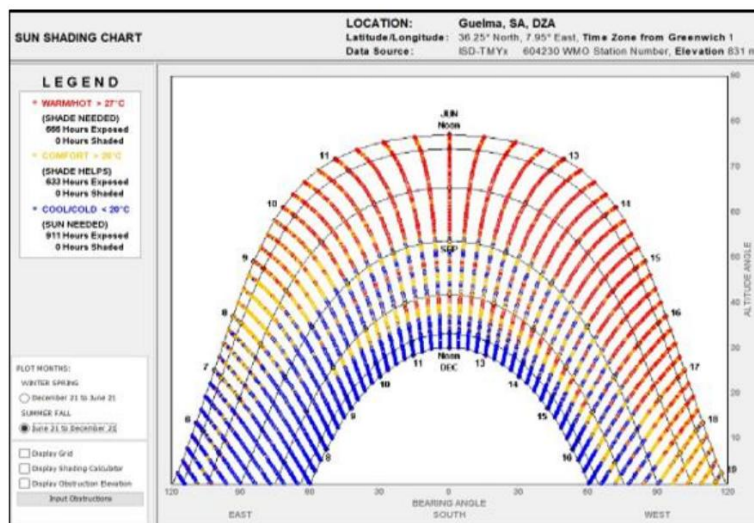


Figure IV 8 : Diagramme solaire de Guelma période été/automne. « Climat consultant 6.0 »

- Les deux graphiques précédents représentent les cartes d'ombrage du soleil dans la ville de Guelma pendant les périodes hiver/printemps et été/automne. Voici les observations :
- Pendant la période hiver/printemps, la plupart des températures sont inférieures à 20°C. Il est donc nécessaire de maximiser la capture des rayons solaires pour atteindre la zone de confort thermique.

- Pendant la période été/automne, la plupart des températures dépassent les 27°C. Il est donc essentiel de se protéger au maximum des rayons solaires pour maintenir un niveau de confort thermique optimal.

IV.2.6 Température de sol

Dans cette représentation, on observe une corrélation entre la profondeur sous terre et la température du sol tout au long de l'année :

- En été, la température du sol est plus élevée à des profondeurs plus importantes.
- En hiver, la température du sol diminue avec une profondeur moindre.

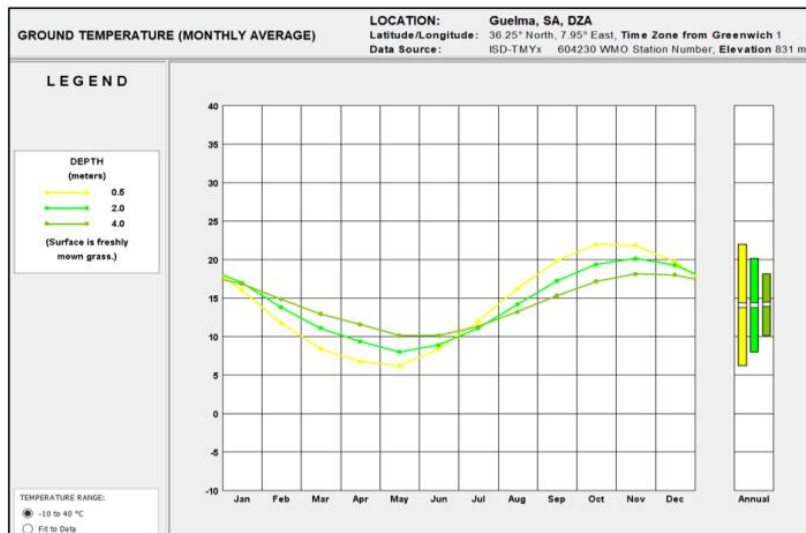


Figure IV 9 : Graphe de variations mensuelles de la température du sol. « Climat consultant 6.0 »

IV.2.7 Vitesse et direction de vents

Le graphe illustre l'intervalle de la vitesse du vent dans la ville de Guelma au cours de l'année, avec les données suivantes :

- La vitesse moyenne annuelle est d'environ 4 m/s.
- La vitesse maximale enregistrée est de 7 m/s.
- La vitesse minimale est de 1 m/s.

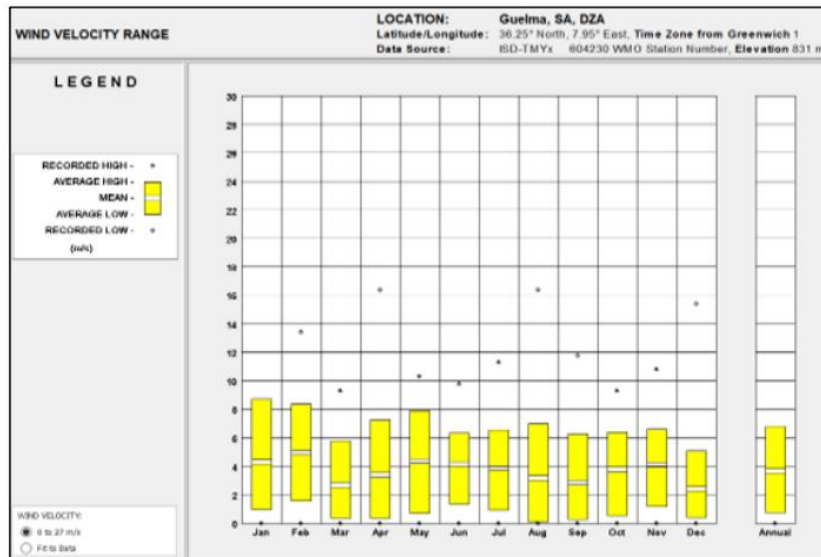


Figure IV 10 : Graphe de variation de vitesse des vents mensuelle « Climat consultant 6.0 »

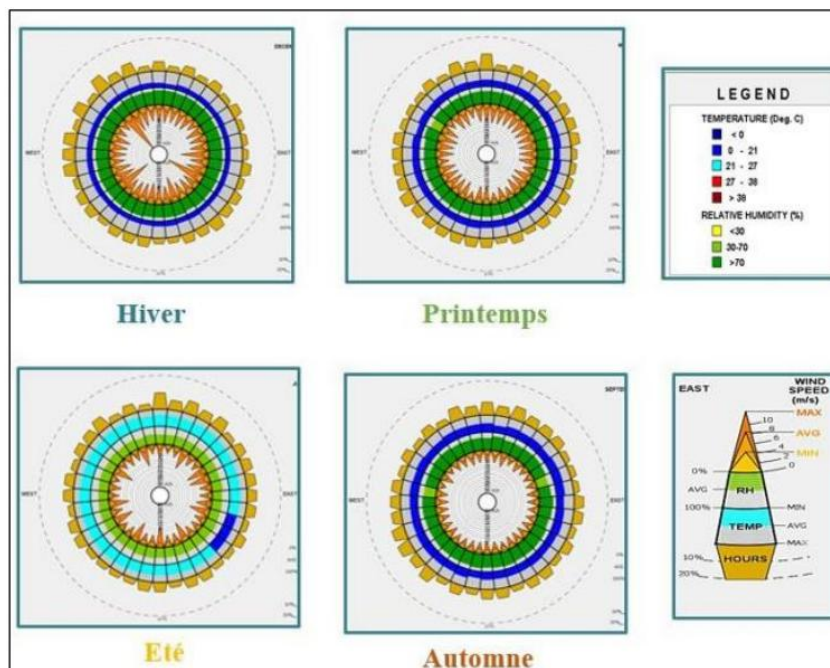


Figure IV 11 : La rose du vent dans les 4 saisons de la wilaya de Guelma « Climat consultant 6.0)

Ces graphes fournissent un résumé du mouvement des vents à travers les quatre saisons dans la ville de Guelma :

- En hiver : Les vents dominants proviennent principalement de l'Ouest et du Nord-Ouest, avec des températures variantes entre 0°C et 21°C. L'humidité relative est généralement supérieure à 70%, accompagnée d'une vitesse de vent importante atteignant des valeurs maximales.

- Au printemps : Les vents viennent de toutes les directions, avec des températures variantes également entre 0°C et 21°C. L'humidité relative reste élevée, dépassant souvent les 70%, et la vitesse du vent est en moyenne.
- En été : Les vents dominants proviennent principalement du Nord et du Nord-Est, ainsi que du Nord-Ouest, avec des températures variantes entre 21°C et 27°C. L'humidité relative est généralement comprise entre 30% et 70%, et la vitesse du vent est moyenne.
- En automne : Les vents viennent également de toutes les directions, avec des températures oscillantes entre 0°C et 21°C. L'humidité relative est modérée, entre 30% et 70%, et la vitesse du vent est minimale.

IV.3. Analyse du Terrain :

IV.3.1. Présentation et limitation de terrain :

Le terrain d'étude est situé au Sud-ouest du pos sud de Guelma

Il est limité comme suit :

Au Nord : Terrain vierge

Au Est : Terrain vierge et habitat collectif.

A l'Ouest : la Faculté de Médecine et terrain réservé pour équipement
Au Sud : Habitats collectifs et forêt



Figure IV 12 : Situation du terrain par rapport à la ville

Source : Google earth réadapté par Auteur 2025

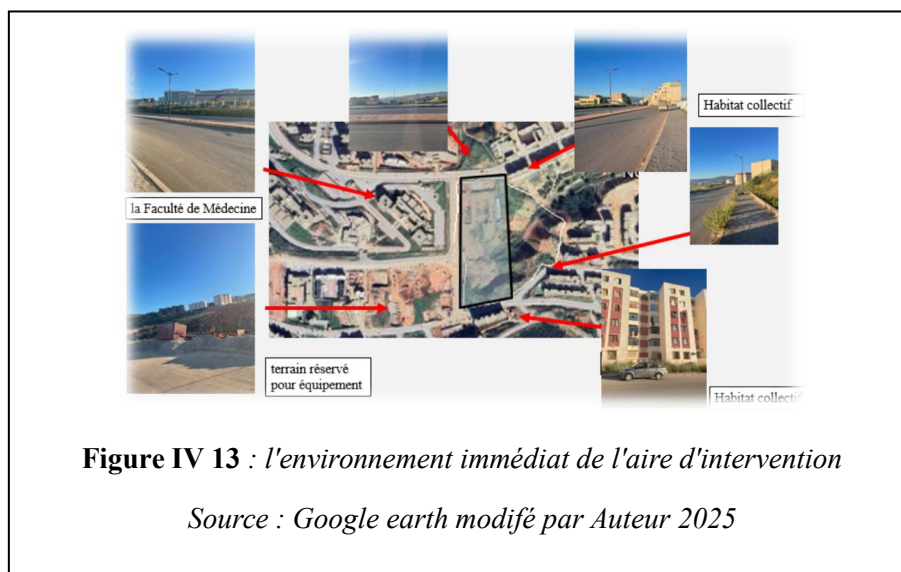


Figure IV 13 : l'environnement immédiat de l'aire d'intervention

Source : Google earth modifié par Auteur 2025

1. Voies et Accessibilité

Le terrain est accessible et limité par plusieurs Voies

Il y a trois types de voies: principale, secondaire et tertiaire

2. Flux

La voie mécanique (principale) qui accède à notre terrain a un flux mécanique très important

Les voies secondaires ont un flux faible

Un flux piéton faible

IV.4. Analyse du milieu physique du terrain :

Forme de terrain : irrégulière

Surface total : 53 025,97 m²

Périmètres : 1 089,92 m

Nature du sol : Argiles

IV.5. Caractéristiques naturelles :

IV.5.1. Topographie et morphologie – coupe transversale

On remarque que le terrain présente une pente moyenne de -15,5 %, avec une altitude qui varie entre 385 m comme valeur minimale et 427 m comme valeur maximale.

IV.5.2. Topographie et morphologie – coupe longitudinale

On remarque que le terrain présente une pente moyenne de 15,5 %, dont l'altitude varie entre 408 m comme valeur minimale et 460 m comme valeur maximale.



Figure IV 14 : Réseau Viaire

Source : Google earth réadapté par l'auteur 2025



Figure IV 15 : La forme du terrain

Source : Google earth réadapté par l'auteur 2025

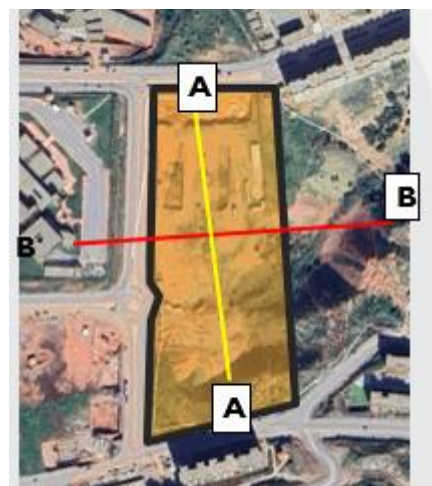


Figure IV 16: Les coupes du terrain

Source : Google earth réadapté par l'auteur

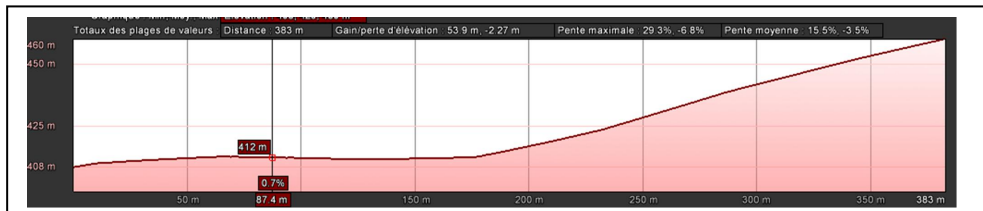


Figure IV 18: Coupe longitudinale A-A

Source : Google earth réadapté par l'auteur 2025.

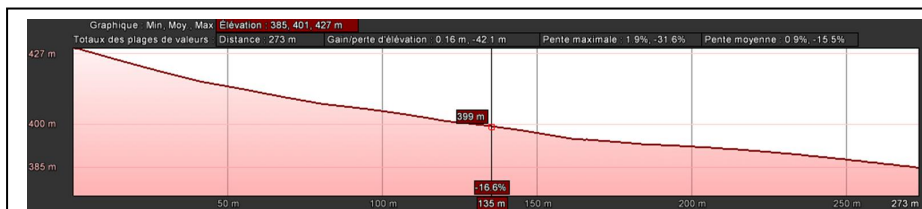


Figure IV 17: Coupe transversale B-B

Source : Google earth réadapté par l'auteur 2025.

IV.6. Étude climatique :

IV.6.1. L'ensoleillement :

Le terrain pourrait bénéficier d'un ensoleillement direct pendant une grande partie de la journée

IV.6.2. Vents dominants :

Les vents dominants Froid dans le terrain sont de direction Nord-ouest en hiver, Et Sud –est en été qui Caractérisé par des vents chauds

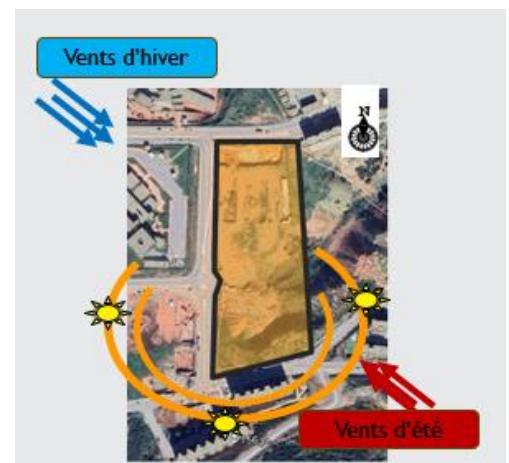
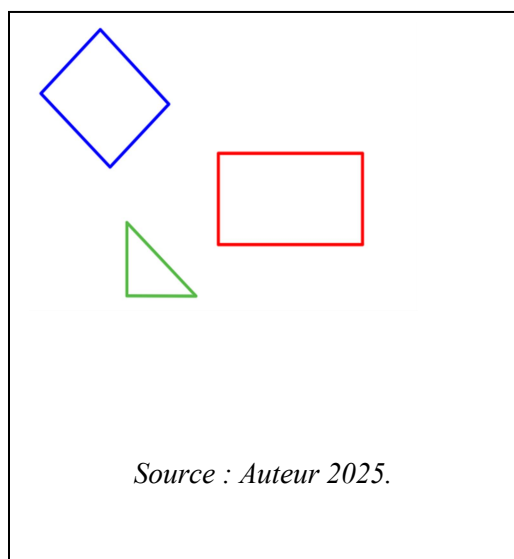


Figure IV 19: L'ensoleillement et Vents dominants

Source : Google earth réadapté par l'auteur 2025.

IV.7. La genèse de la forme :



➤ Différentes formes géométriques

IV.7.1. SCHEMA DE PRINCIPE

Figure IV 20 Etape 1 de la Composition Géométrique

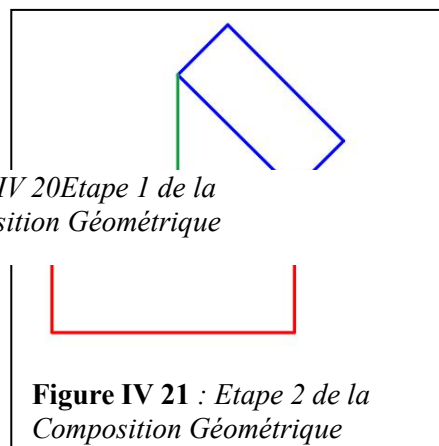
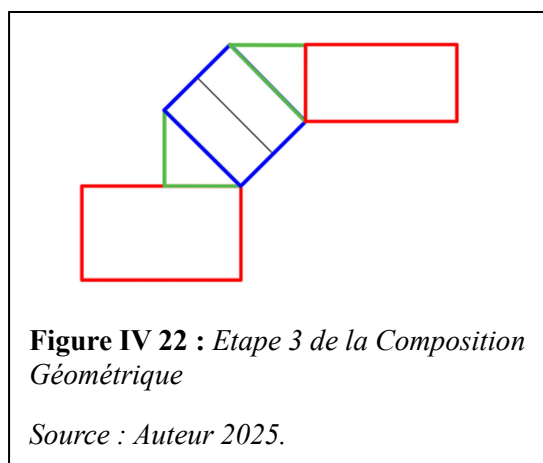


Figure IV 21 : Etape 2 de la Composition Géométrique

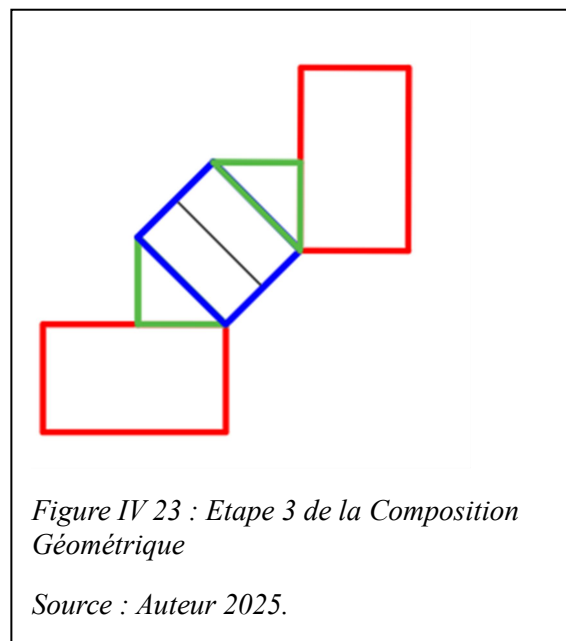
Sou

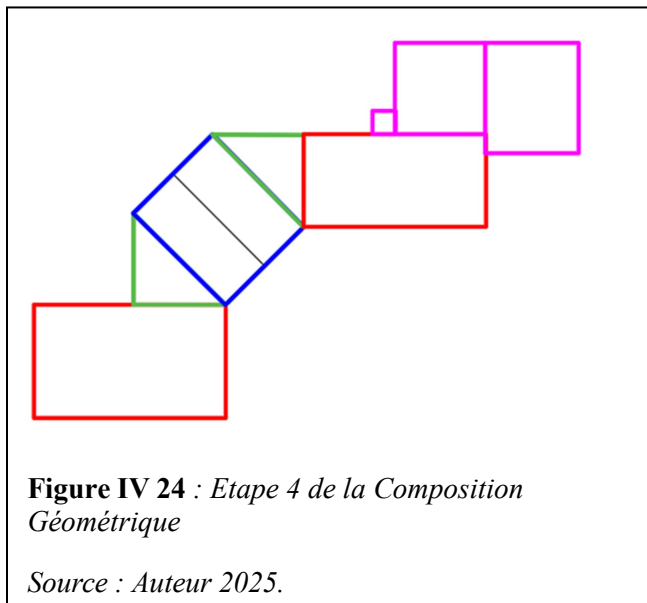
➤ Rotation

➤ Composition des formes et Assemblage des formes



➤ Créer un axe de symétrie





- Composition des formes et Assemblage des formes

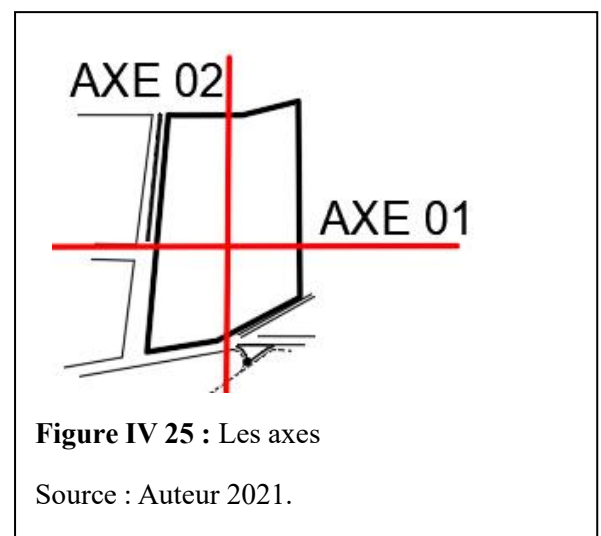
Comme mon projet est un Centre Hospitalier Universitaire (CHU), il englobe presque toutes les activités principales exercées par les citoyens, qu'elles soient médicales, administratives, pédagogiques ou sociales. Le projet s'inspire de la forme géométrique générale du site, en tirant parti des éléments existants (voiries, végétation, espaces bâtis) pour en faire un projet cohérent et fonctionnel. La forme finale du CHU a ainsi évolué par ajouts, soustractions et groupements des composants initiaux, pour répondre aux exigences spatiales et fonctionnelles.

Les étapes sont :

- La première étape : Les axes
- La deuxième étape : l'accessibilité
- La troisième étape : L'alternative d'implantation
- La quatrième étape : Organisation spatiale
- La cinquième étape : La forme et la volumétrie

Étape 1 : Les axes

Ce sont les axes majeurs et intersection de deux axes c'est emplacement de l'implantation de notre projet.



Étape 2 : L'accessibilité

Le projet accorde une grande importance à l'accessibilité :

- Les entrées principales sont orientées vers les voies routières principales et les parkings.
- Des cheminements piétons clairs et arborés relient les différents pôles (hospitalier, administratif, recherche).
- Les services d'urgence disposent d'un accès dédié et direct, garantissant la fluidité du transport des patients.

L'objectif est d'assurer une circulation fluide et sécurisée, aussi bien pour les patients, le personnel, les visiteurs que les véhicules.

Étape 3 : L'alternative d'implantation

Différentes hypothèses d'implantation ont été étudiées, en tenant compte de :

- La topographie du site
- La proximité des fonctions sensibles (services médicaux spécialisés, urgences, logistique)
- L'ensoleillement et l'ouverture sur les espaces verts

La solution retenue repose sur une implantation modulaire des bâtiments autour d'espaces verts centraux et de bassins, créant un cadre de soin apaisant et fonctionnel.

Étape 4 : Organisation spatiale

Le CHU est structuré en plusieurs pôles :

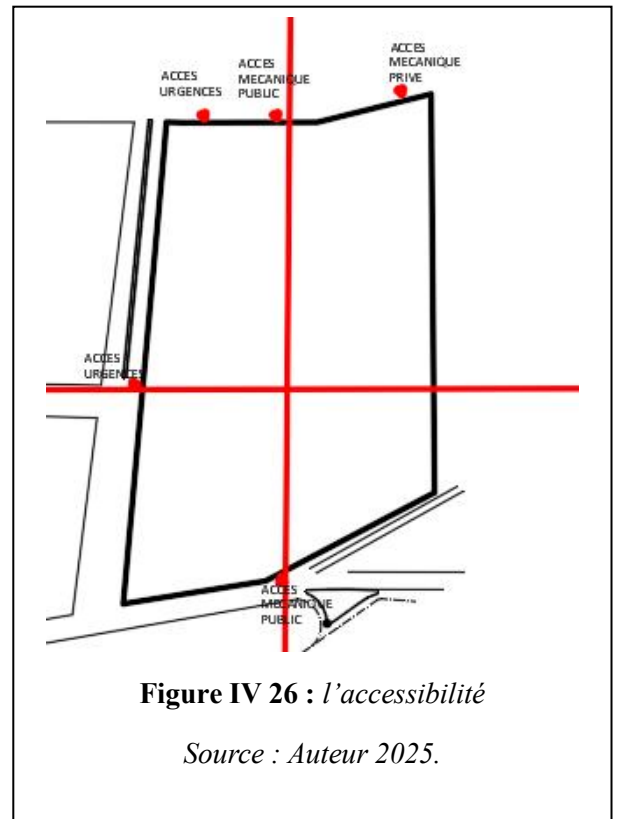


Figure IV 26 : l'accessibilité

Source : Auteur 2025.

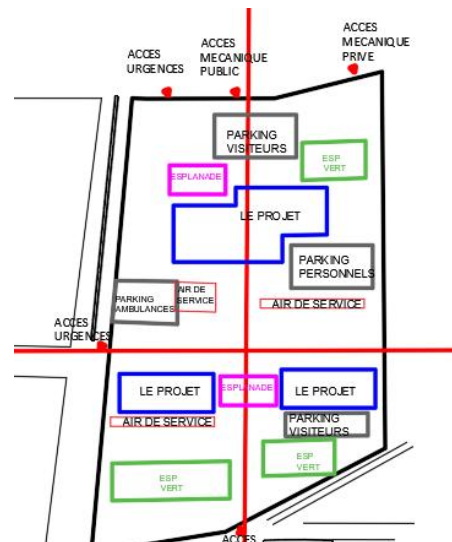


Figure IV 27 : L'alternative d'implantation

Source : Auteur 2025.

- Pôle hospitalier (consultations, hospitalisation, urgences)
- Pôle recherche et enseignement
- Pôle spécialité
- Espaces extérieurs intégrant des jardins thérapeutiques et de détente

Les bâtiments sont reliés par des coursives, patios et passerelles, favorisant la fluidité de la circulation tout en dissociant les flux patients, personnel et logistique.

Étape 5 : Forme et volumétrie

La forme du CHU a été générée par une composition géométrique rigoureuse, enrichie par :

- Des ajouts volumétriques pour les blocs techniques ou spécialisés
- Des soustractions pour créer des patios, des entrées ou des respirations visuelles
- Des regroupements fonctionnels par pôles pour renforcer la lisibilité du site

La volumétrie est variée, adaptée à chaque fonction (bâtiments plus bas pour les soins, plus hauts pour l'administration ou la recherche), tout en gardant une cohérence esthétique et fonctionnelle.

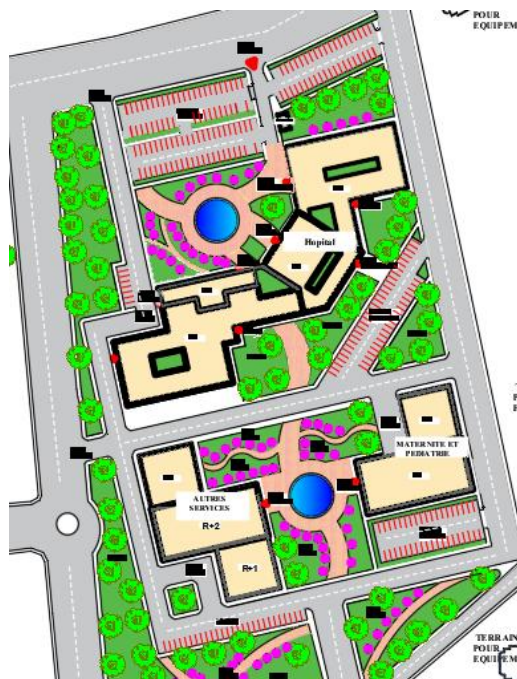


Figure IV 28 : La forme (sur le plan de masse)

Source : Auteur 2025.

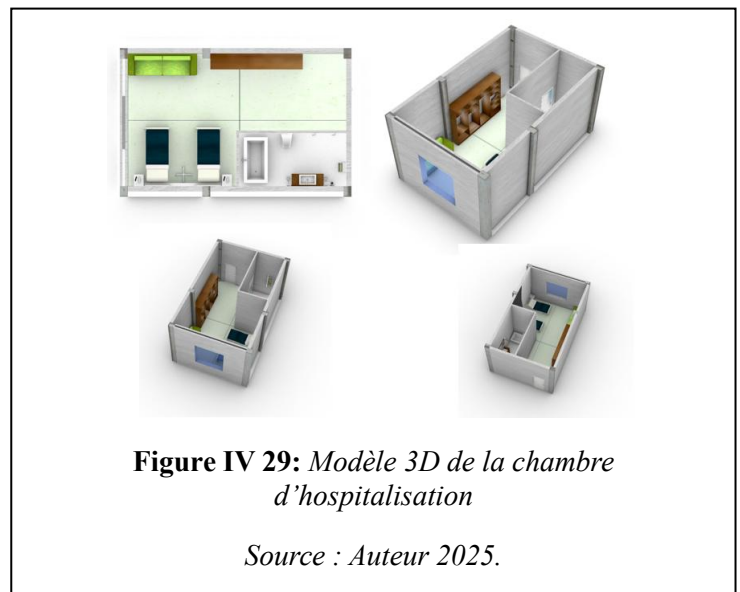
IV.8. Modélisation

IV.8.1. Objectif de simulation

La présente simulation a pour objectif d'analyser le comportement de la circulation de l'air dans une **chambre d'hospitalisation** située dans un Centre Hospitalier Universitaire (CHU). Ce type d'espace est particulièrement sensible aux conditions de ventilation, car il héberge des patients dont la santé dépend fortement de la qualité de l'air, du confort thermique, ainsi que de la maîtrise des flux microbiens. Dans le cadre d'une démarche de **réduction de la consommation énergétique**, cette simulation vise à **optimiser les conditions de ventilation naturelle ou assistée**, en tenant compte des conditions climatiques estivales et hivernales.

IV.8.2. Le choix de l'espace a simulé

Le choix de simuler une chambre d'hospitalisation au sein du CHU repose sur des considérations sanitaires, énergétiques et architecturales. En effet, ce type d'espace est à occupation constante, avec des enjeux cruciaux de **confort thermique, qualité de l'air intérieur et réduction de la consommation énergétique**. Sa configuration offre un bon terrain pour tester différentes stratégies de ventilation naturelle, mécanique ou hybride.



IV.8.3. Méthode de simulation

La simulation numérique du flux d'air dans la chambre d'hospitalisation a été réalisée selon un processus structuré en plusieurs étapes :

1. Importation du modèle 3D

Le modèle tridimensionnel de la chambre a été conçu dans **SketchUp 2023**, puis exporté au format compatible pour être importé dans **Rhinoceros 8**. Cette étape permet de visualiser

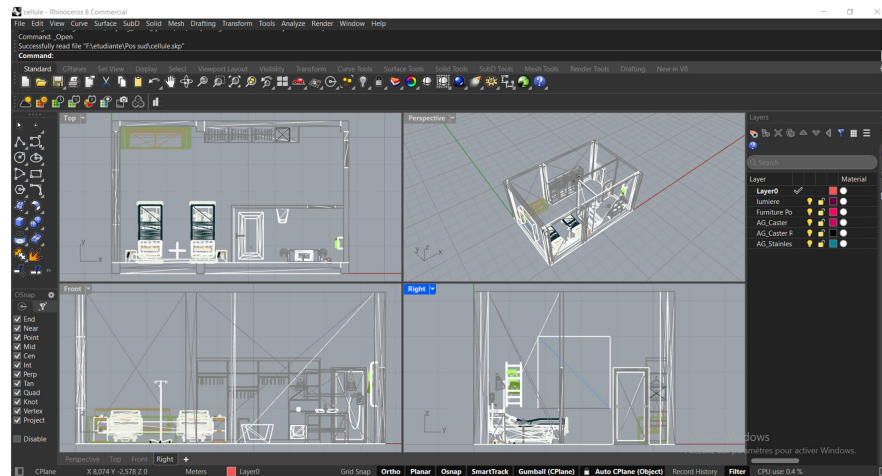


Figure IV 30: Etape 1 de la simulation

Source : Auteur 2025

l'espace intérieur dans un environnement adapté à la simulation paramétrique et à la ation des volumes d'air

2. Scripting dans Grasshopper À l'aide de l'environnement **Grasshopper**, les composants nécessaires à la simulation ont été scriptés. Le **plugin Butterfly** (interface avec OpenFOAM)

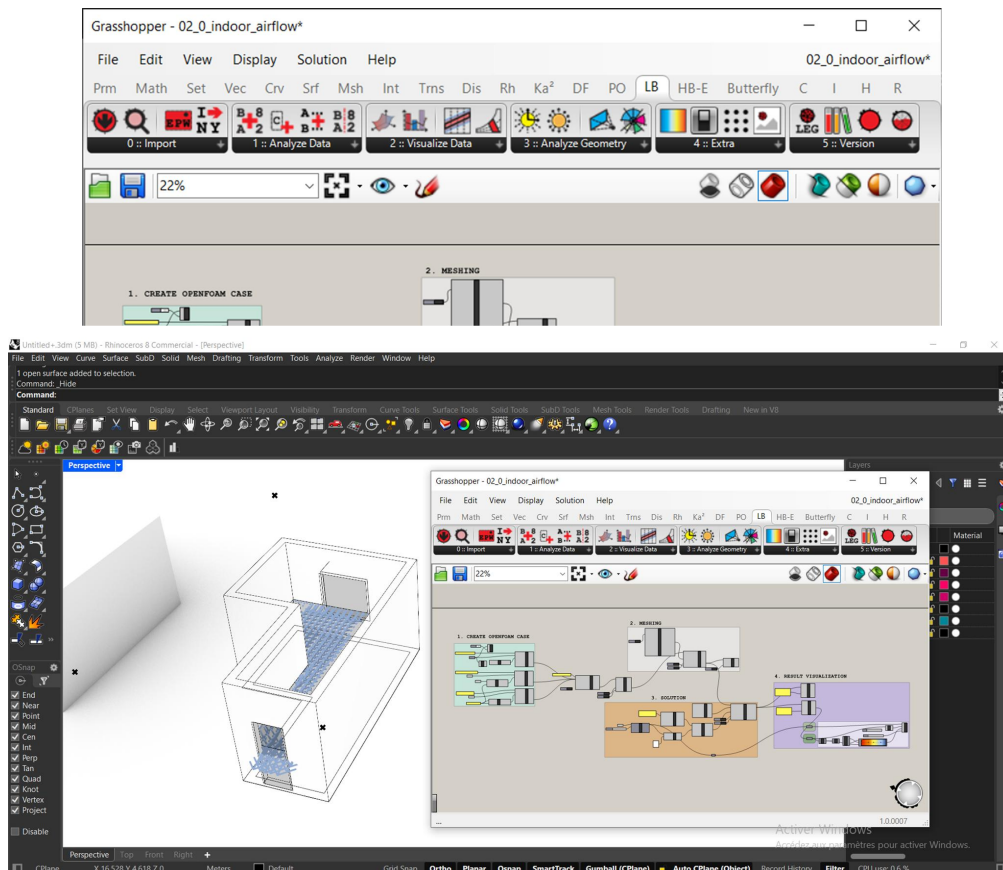


Figure IV 32: Etape 2 de la simulation

Source : Auteur 2025

a été utilisé pour générer les éléments de simulation.

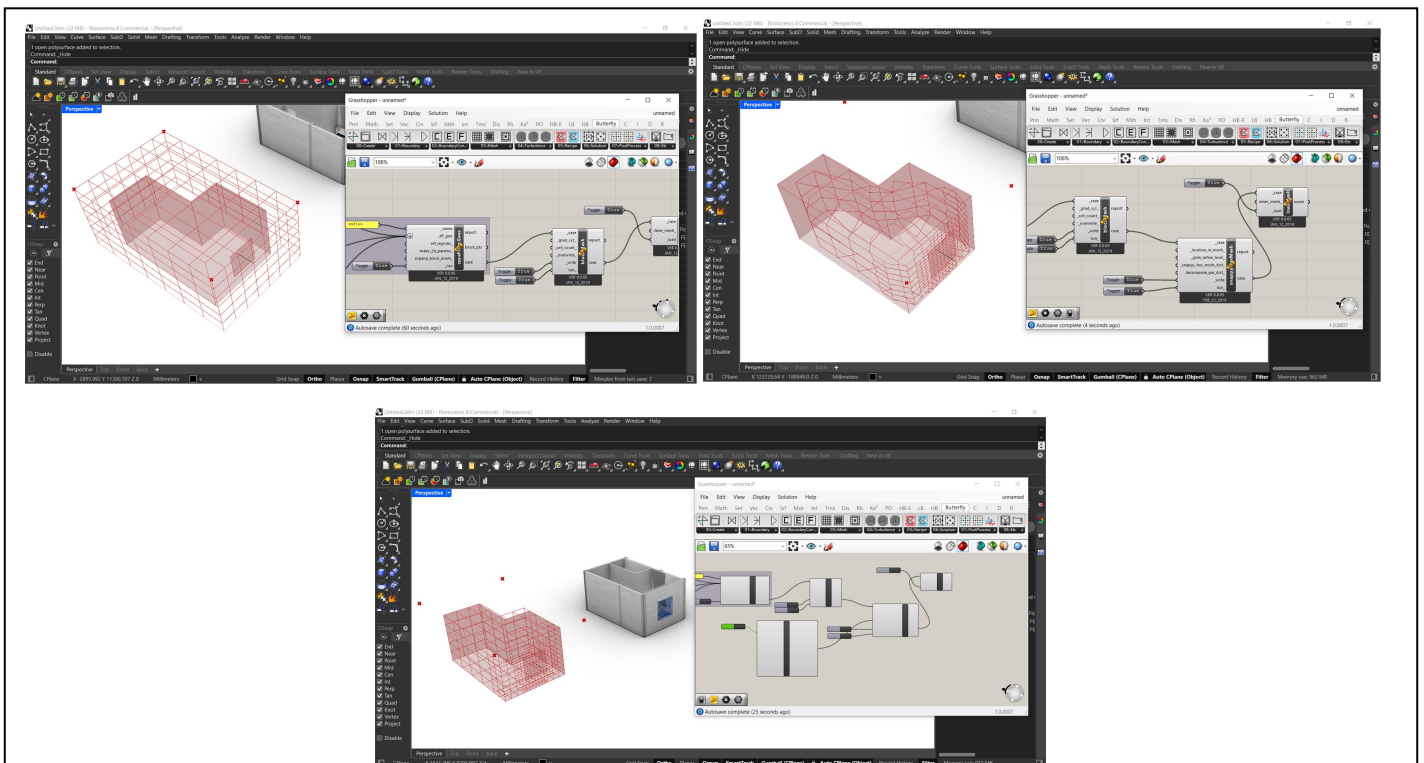
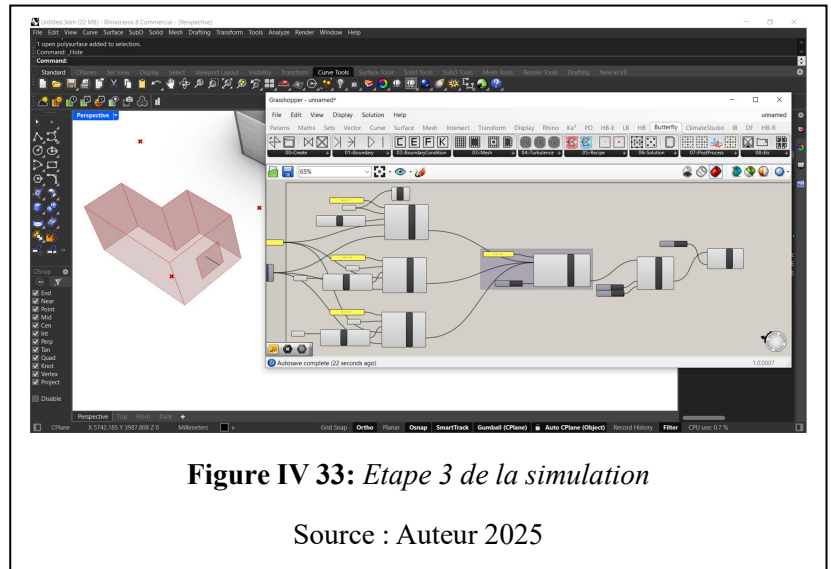
3. Création des surfaces Butterfly

Les **surfaces Butterfly** ont été définies à l'intérieur du modèle pour délimiter le **domaine de calcul**. Cela inclut la zone d'air intérieur, les entrées et sorties d'air, ainsi que les surfaces de parois actives.

4. Maillage (Meshing)

Le processus de maillage s'est déroulé en deux phases principales :

- **BlockMesh** : génération d'un maillage de base structuré, simple et rapide.
- **SnappyHexMesh** : affinement du maillage autour des objets géométriques complexes



(murs, mobilier, ouvertures) pour une précision accrue.

Un soin particulier a été porté à la **préparation de la grille (grid)** afin d'assurer une résolution adéquate dans les zones critiques comme les bouches d'aération ou les coins stagnants.

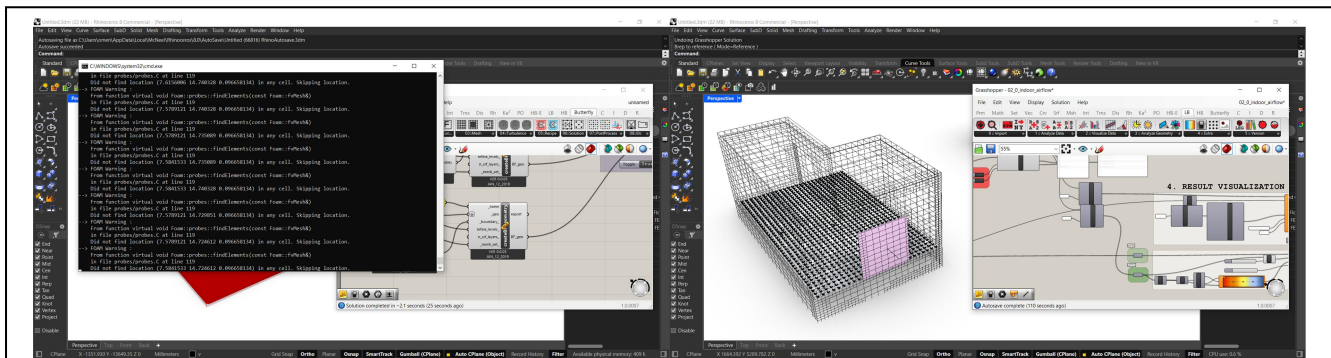


Figure IV 35: *Etape 4 de la simulation*

Source : Auteur 2025

5. Lancement de la solution

Une fois le domaine maillé et les **conditions aux limites** définies (vitesses, températures, pression, etc.), le solveur CFD de **OpenFOAM** a été lancé depuis Grasshopper/Butterfly. Le solveur utilise les équations de Navier-Stokes pour modéliser la dynamique de l'air à

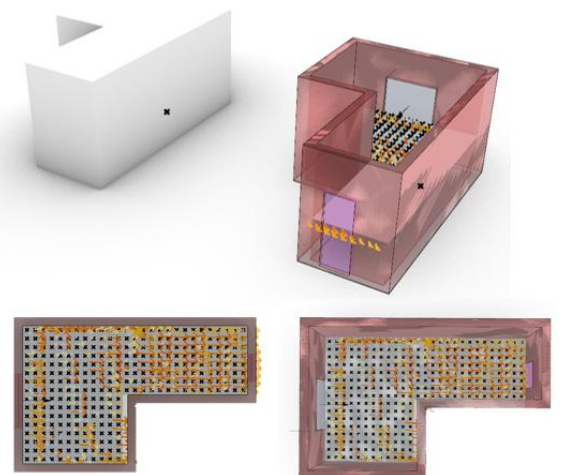
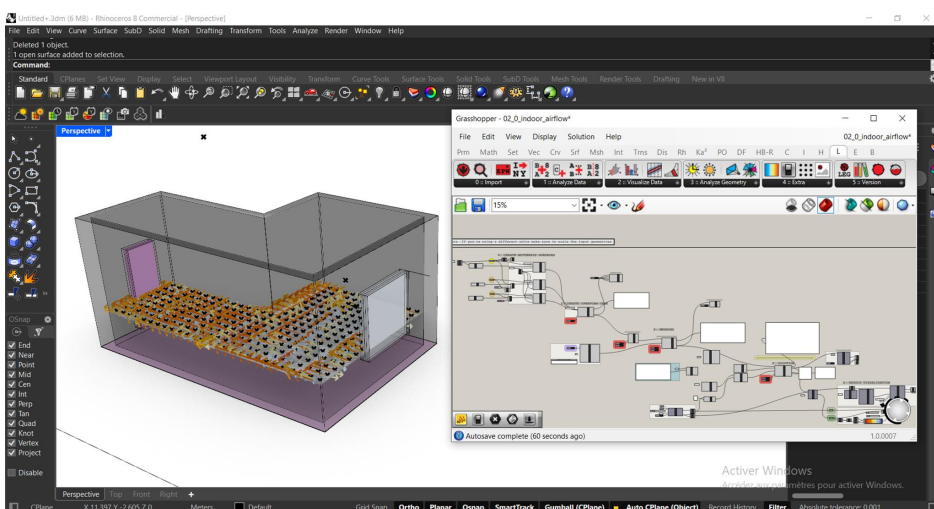


Figure IV 36: *Etape 5 de la simulation*

Source : Auteur 2025

l'intérieur de la pièce.

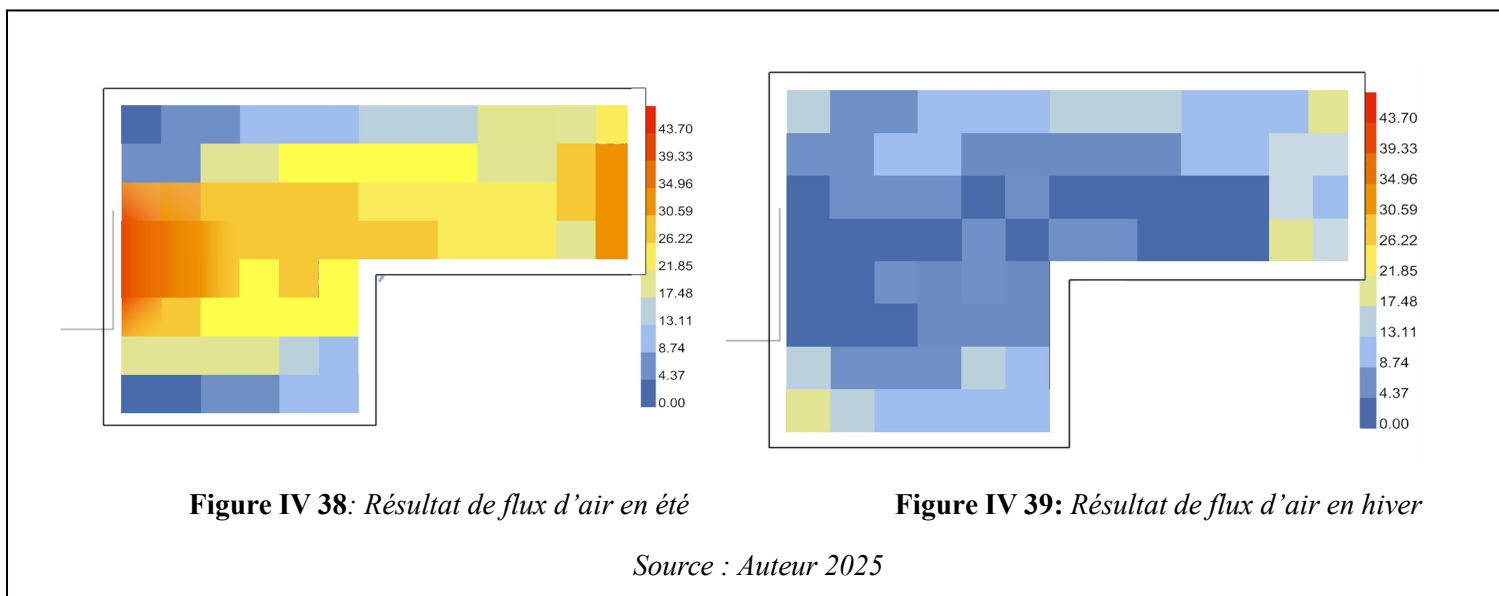
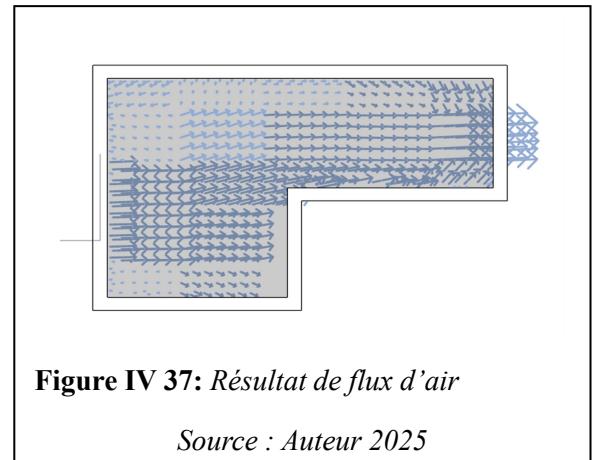
6. Visualisation des résultats

Les résultats ont été visualisés sous forme de :

- **Champs vectoriels** montrant la direction et la vitesse de l'air,
- **Lignes de courant**,
- **Cartes de température.**

Deux scénarios climatiques ont été simulés :

- **Scénario estival** (été) : pour observer l'efficacité de la ventilation naturelle sous chaleur.
- **Scénario hivernal** (hiver) : pour identifier les zones de stagnation et les pertes thermiques.



IV.8.3. Réglage des paramètres

Les paramètres de simulation ont été établis pour deux périodes climatiques contrastées :

- **Été** : avec des températures élevées et des vitesses de vent modérées, simulant la nécessité d'une ventilation naturelle ou d'un rafraîchissement passif.

- **Hiver** : avec des températures basses, simulant les pertes thermiques et les zones de stagnation de l'air chaud.

Les données météorologiques ont été importées via **Ladybug**, qui permet de connecter les fichiers EPW (EnergyPlus Weather) au modèle numérique.

IV.8.4. Réglage des matériaux et autres paramètres

Les propriétés thermiques des matériaux composant les parois, le sol et le plafond ont été intégrées :

- Conductivité thermique,
- Capacité calorifique,
- Densité et inertie thermique.

Ces paramètres influencent fortement les échanges thermiques et le comportement de l'air intérieur.

IV.8.5. Configuration des ouvertures extérieures

Les ouvertures (fenêtres, portes, grilles) ont été positionnées selon leur situation réelle, avec des scénarios de ventilation naturelle transversale. Les états d'ouverture (fermée, partiellement ouverte, totalement ouverte) ont été modélisés pour tester leur effet sur le renouvellement d'air.

IV.8.6. Configuration des parois extérieures et intérieures

Les parois ont été définies en fonction de leur exposition, épaisseur, et capacité à isoler ou transmettre la chaleur. Les parois intérieures jouent un rôle dans la distribution de l'air, tandis que les parois extérieures déterminent les pertes ou gains thermiques par conduction.

Conclusion

L'analyse détaillée de l'aire d'étude à Guelma a permis de dégager les principaux paramètres environnementaux influençant la conception d'un établissement hospitalier, notamment le climat, la topographie, l'orientation et l'ensoleillement. Ces éléments constituent des données

de base essentielles pour guider les choix de conception, qu'il s'agisse de l'implantation du bâtiment, de son organisation spatiale ou encore de la gestion des apports naturels.

La simulation de la ventilation dans un espace hospitalier a permis d'illustrer de manière concrète l'impact de ces paramètres sur le confort des usagers, en particulier en ce qui concerne la qualité de l'air et le contrôle thermique. Ce travail met en évidence l'importance de prendre en compte, dès les premières étapes de la conception, les conditions environnementales du site pour garantir un fonctionnement optimal des espaces hospitaliers.

Ainsi, cette étude de site ne se limite pas à une simple description du contexte, mais constitue une étape stratégique dans le processus de conception, en fournissant des repères concrets pour adapter le projet aux spécificités locales. Elle permet d'anticiper certaines contraintes et d'en tirer parti pour améliorer la qualité spatiale, fonctionnelle et technique de l'établissement à venir.

Ce chapitre s'inscrit donc pleinement dans la logique d'un projet hospitalier rigoureux et contextualisé, où la compréhension fine du territoire constitue un levier de réussite pour une implantation cohérente, durable et performante.

Conclusion générale :

Ce mémoire a porté sur la problématique de la conception et de l'implantation des hôpitaux universitaires dans une perspective de durabilité, en prenant appui sur les démarches HQE (Haute Qualité Environnementale) et en analysant leur rôle stratégique dans le développement sanitaire et territorial. À travers une analyse croisée entre exemples internationaux et contextes nationaux, ce travail a mis en évidence l'importance d'une approche intégrée, où architecture, fonctionnalité, environnement et humanité coexistent harmonieusement pour répondre aux enjeux contemporains des systèmes de santé.

Dans un premier temps, nous avons examiné le rôle crucial que jouent les hôpitaux universitaires dans les systèmes de santé modernes. À la fois lieux de soins, de recherche et de formation, ces établissements sont confrontés à une double exigence : répondre aux besoins croissants en matière de santé publique tout en s'inscrivant dans une logique de durabilité environnementale, sociale et économique. Cette double mission impose des choix architecturaux et urbanistiques cohérents, innovants et responsables.

L'étude comparative d'hôpitaux de référence, comme le Nouvel Hôpital Civil de Strasbourg et l'hôpital Ibn Rochd, a permis de dégager des principes clés applicables à tout projet hospitalier contemporain : un style architectural moderne et fonctionnel, une organisation spatiale rationnelle avec séparation des flux (patients, visiteurs, personnel, logistique), une accessibilité optimale, l'intégration d'espaces verts pour le bien-être, l'utilisation de technologies de pointe et de matériaux durables, ainsi qu'une attention particulière à l'esthétique et à l'ambiance des lieux. Ces éléments, loin d'être purement esthétiques ou techniques, participent activement à la qualité des soins, à l'efficacité des services et au confort global des usagers.

Dans un second temps, l'étude s'est focalisée sur le cas de la ville de Guelma, identifiée comme un territoire à fort potentiel pour l'implantation d'un hôpital universitaire durable. Guelma, par sa position géographique, son évolution démographique, ses infrastructures en développement et la présence d'un pôle universitaire en croissance, réunit plusieurs conditions favorables à l'accueil d'un tel projet structurant. La création d'un hôpital universitaire à Guelma ne répondrait pas uniquement à des besoins sanitaires locaux, mais s'inscrirait dans une dynamique de développement territorial intégré, en renforçant les capacités de formation médicale, en créant de l'emploi, en améliorant la qualité de vie, et en positionnant la ville comme un pôle de santé régional.

Ce mémoire a ainsi démontré que la conception d'un hôpital universitaire ne peut plus être abordée uniquement sous l'angle médical ou architectural, mais doit s'inscrire dans une vision globale, interdisciplinaire et durable. Il s'agit d'un projet de société, impliquant de multiples acteurs – urbanistes, architectes, ingénieurs, médecins, autorités locales – et nécessitant une gouvernance concertée.

En conclusion, ce travail ouvre plusieurs perspectives. D'un point de vue opérationnel, il fournit un ensemble de recommandations et de principes pour guider la programmation d'un hôpital universitaire HQE à Guelma. D'un point de vue théorique, il invite à poursuivre la réflexion sur l'hôpital du futur : un lieu de soins certes, mais aussi un espace de vie, d'innovation, d'apprentissage et d'échange, au service de la santé et du développement durable.

Bibliographique

Ouvrages et Rapports Institutionnels

1. ADEME. (2021). *Bâtiments hospitaliers performants : retours d'expérience HQE*. Paris : Agence de la Transition Écologique.
2. ADEME. (2021). *Les bâtiments hospitaliers et la transition énergétique : bilan et perspectives*. Rapport de l'ADEME.
3. ADEME. (2021). *Consommation énergétique des établissements de santé en France*. Rapport technique.
4. BRE Group. (2020). *BREEAM for Healthcare Buildings – Technical Manual*. London : BRE Global Ltd.
5. Certivéa. (2021). *Référentiel HQE bâtiments de santé – Méthodologie et indicateurs*. Paris : CSTB.
6. Certivéa. (2021). *Bâtiments de santé HQE – Fiches de retours d'expérience*. Paris : CSTB.
7. IWBI. (2022). *WELL Building Standard – Healthcare pilot program*. New York : International WELL Building Institute.
8. Ministère de la Santé. (2020). *Gestion des déchets hospitaliers en France : Données clés et recommandations*. Paris : DGS.
9. Ministère de la Transition écologique. (2020). *Guide HQE pour les bâtiments hospitaliers*. Paris : DHUP.
10. USGBC. (2021). *LEED v4.1 for Healthcare*. Washington DC : U.S. Green Building Council.

Articles Scientifiques et Techniques (Français & Internationaux)

1. Abdelouahed, A., Mouhouche, B., & Sadi, S. (2020). Stratégies d'optimisation énergétique dans les hôpitaux algériens : État des lieux et perspectives HQE. *Revue Énergie & Santé*, 15(2), 56–70.
2. Boudghène Stambouli, A., & Benamara, A. (2020). Défis de la performance énergétique dans les hôpitaux en Méditerranée. *Revue Énergie & Santé*, 13(2), 88–96.

3. Boudjema, M., Darbouche, A., & Zermane, D. (2018). La performance énergétique des établissements de santé : défis et solutions. *Revue des Énergies Renouvelables*.
4. Bouvier, S., Tanguy, D., & Giraud, R. (2021). La gestion des déchets médicaux dans un cadre HQE. *Revue des Déchets Hospitaliers*, 18(1), 45–60.
5. Chaudhury, H., Mahmood, A., & Valente, M. (2019). Hospital design and its impact on medical staff efficiency and patient care: A comprehensive review. *Journal of Sustainable Healthcare*, 17(1), 72–85.
6. Chazal, S., Lefèvre, D., & Poulin, M. (2021). Confort hospitalier et HQE : Analyse croisée en France et au Canada. *Journal Architecture Santé*, 22(3), 77–91.
7. Clarke, G., Johnson, P., & Morris, F. (2021). Ventilation systems in healthcare buildings: Balancing energy efficiency with safety and comfort. *Environmental Building Journal*, 45(3), 237–250.
8. Cohn, D., Giraud, R., & Tanguy, V. (2017). Les enjeux écologiques dans la gestion des déchets médicaux. *Revue de l'Écologie et de la Santé*.
9. Durand, C., & Lemoine, S. (2022). Innovations in sustainable energy for healthcare facilities: Combining renewable energy with health requirements. *Energy for Sustainable Development*, 39, 123–135.
10. Durand, C., & Lemoine, S. (2022). Smart buildings in healthcare: Practical lessons from HQE-certified hospitals. *Revue Technologies Hospitalières*, 11(4), 31–44.
11. Durand, C., & Lemoine, S. (2022). Sustainability and waste management in healthcare facilities: Challenges and solutions. *Environmental Healthcare Review*, 10(2), 54–67.
12. Durand, C., & Lemoine, S. (2022). Sustainability and energy management in hospitals: Integrating smart systems into HQE frameworks. *Smart Healthcare Environments*, 11(2), 33–49.
13. Fischer, S., & Lemoine, S. (2018). La gestion des flux et des déchets dans les hôpitaux : un enjeu pour l'optimisation des bâtiments. *Journal de la Construction Hospitalière*.
14. Fischer, S., & Lemoine, S. (2018). Flexibilité et conception durable dans les hôpitaux : Réflexions pour une adaptation à long terme. *Éditions Durables*.
15. GhaffarianHoseini, A., et al. (2018). Sustainability and healthcare facilities: A review of LEED and BREEAM assessment frameworks. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1505–1513.

16. Huisman, E., Morales, E., & de Looze, M. (2018). Designing hospital environments for well-being: Considerations for patients and medical staff. *Journal of Architecture and Health*, 35(3), 222–235.
17. Jallet, C., Martin, F., & Sauvé, M. (2017). Le CH de Chambéry : un exemple de démarche HQE intégrée. *Dossier Hospitalier*, 16(1), 40–50.
18. Jung, C., Pires, R., & Bouvier, S. (2019). Designing visitor-friendly hospital spaces: The role of hospital architecture in improving patient and visitor experiences. *Health Facility Management*, 23(4), 114–128.
19. Marquardt, G., Schmieg, P., & Kuhlmann, M. (2014). Ergonomics and healthcare: A review of the impact of hospital design on medical staff performance. *Health Design Journal*, 7(1), 15–28.
20. Martin, G., Rousseau, A., & Bianchi, P. (2019). Évaluation post-occupation dans un hôpital HQE : le cas de Chambéry. *Environnement Bâti & Santé*, 10(2), 58–67.
21. Miller, T., & White, K. (2019). Material selection for healthcare buildings: Challenges and solutions. *Journal of Sustainable Architecture*, 12(4), 198–210.
22. Moya, S., Berrada, S., & Hiba, A. (2019). Architecture hospitalière et durabilité : principes bioclimatiques appliqués aux zones chaudes. *Environnement & Santé*, 8(1), 21–34.
23. Ohler, D., Schoutens, M., & Melder, J. (2020). Impact de l'environnement hospitalier sur le rétablissement des patients : une revue de la littérature. *Journal of Healthcare Environment*, 13(2), 45–58.
24. Pommier, S., & Giraud, R. (2020). Les défis sanitaires et environnementaux des hôpitaux : étude de cas et pratiques. *Éditions Santé Durable*.
25. Royer, M., Giraud, S., & Lemarchand, V. (2021). EPO et performance hospitalière : quelles leçons pour les projets futurs ?. *Revue Construction Durable*, 18(2), 93–109.
26. Royer, M., Giraud, S., & Lemarchand, V. (2021). Comparaison des démarches HQE, BREEAM et LEED dans les hôpitaux européens. *Revue Construction Durable*, 18(2), 93–109.
27. Toitot, A., & Lemoine, F. (2022). Énergies renouvelables dans les établissements de santé : contraintes et opportunités HQE. *Techniques Hospitalières*, 76(4), 90–104.
28. Viguié, J., & Pires, R. (2020). La gestion des déchets dans les établissements de santé : Contraintes et solutions écologiques. *Revue de la Gestion Durable*, 25(2), 75–89.

29. Viguier, J., & Pires, R. (2020). La gestion durable des déchets dans les hôpitaux : Vers une approche intégrée. *Revue de la Gestion Durable*, 25(2), 75–89.