

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان –

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Architecture

Spécialité : Architecture et Nouvelle Technologie

Par : BENDJEFFEL Ali / DAHAOUI Mahammed Amin

Sujet

Conception d'un établissement hospitalier spécialisé en traumatologie intelligent à Tlemcen

Soutenu publiquement, le 21 / 06 / 2026 , devant le jury composé de :

Mme KORSO FECIANE FADIA	Architecte	Université de Tlemcen	Président
Mme BRIKCI Samira	MAA	Université de Tlemcen	Examineur
Mme MOUFFOK Malika	Architecte	Université de Tlemcen	Examineur
M HAMMA Walid	Pr	Université de Tlemcen	Encadrant

Année universitaire :2025/2026

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous exprimons avant tout notre reconnaissance à Allah le Tout-Puissant, qui nous a accordé la volonté, la patience et la force pour achever ce projet de fin d'études.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrant, Pr. HAMMA Walid, pour son encadrement bienveillant, ses précieux conseils et sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements au Bureau d'études Badis Abdesselam, pour nous avoir guidés dans les fondements de la conception des établissements de santé et pour nous avoir fourni les documents nécessaires à l'enrichissement de notre recherche.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail et de lui consacrer leur temps et leur expertise.

Nos remerciements vont aussi à l'ensemble du corps enseignant et administratif de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, et plus particulièrement au Département d'Architecture, pour la qualité de la formation dispensée tout au long de notre cursus.

Enfin, nous dédions ce travail à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents, dont l'amour inconditionnel, le soutien et les sacrifices m'ont accompagné tout au long de ce parcours. Je leur exprime ma profonde gratitude pour leur présence constante à chaque étape, qui a rendu cette réussite possible.

À mon cher frère et à ma chère sœur, j'adresse mes sincères remerciements pour leur soutien moral et émotionnel sans faille, leurs encouragements, ainsi que leur confiance en mes capacités.

Je remercie également tous mes amis pour leur compagnie et leur soutien, qui ont rendu cette expérience à la fois enrichissante et mémorable.

Enfin, j'exprime ma sincère gratitude à mon binôme pour sa collaboration, son soutien et sa précieuse contribution tout au long de ce travail.

Ce travail vous est dédié du fond du cœur.

BENDJEFFEL Ali

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, Pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours. Aucun mot ne saurait exprimer ma profonde reconnaissance pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

À mon cher frère et ma chère sœur, Pour leur présence, leur affection et leur soutien moral qui m'ont accompagné tout au long de ce chemin.

À ma chère grand-mère, Pour sa tendresse, ses prières et sa bienveillance qui ont toujours été une source de force et de réconfort.

À toute ma famille Pour leur amour et leurs encouragements qui ont illuminé mon chemin.

À mon cher binôme Pour sa patience, sa solidarité et son engagement tout au long de ce projet. Ce travail est autant le sien que le mien.

Ce travail vous est dédié du fond du cœur.

DAHAOUI Mahammed Amin

Résumé :

Ce mémoire porte sur la conception d'un Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) en traumatologie à Tlemcen, intégrant les technologies de bâtiment intelligent et l'intelligence artificielle. Face au nombre croissant de traumatismes en Algérie et au manque flagrant de centres spécialisés capables d'assurer une prise en charge rapide et efficace, ce projet propose un modèle architectural performant, centré sur le patient, capable d'optimiser les flux de soins, de réduire les délais d'intervention et d'améliorer la qualité globale de la prise en charge médicale. L'approche adoptée repose sur une analyse urbaine approfondie du contexte de Chetouane, une programmation fonctionnelle rigoureuse répondant aux normes sanitaires nationales et internationales, ainsi qu'une intégration de systèmes technologiques avancés tels que le BMS, l'IoT, le HVAC intelligent et des outils d'IA appliqués au diagnostic et à la gestion hospitalière. Le projet s'inspire également de références internationales en matière d'architecture hospitalière afin de garantir un environnement de soins humain, fonctionnel et durable.

Mots-clés : EHS, Traumatologie, Hôpital intelligent, Intelligence artificielle, BMS, Tlemcen

Abstract:

This thesis focuses on the design of a Specialized Hospital Establishment (EHS) for traumatology in Tlemcen, incorporating smart building technologies and artificial intelligence. Given the growing number of trauma cases in Algeria and the significant lack of specialized centers capable of ensuring rapid and effective patient care, this project proposes a high-performance, patient-centered architectural model aimed at optimizing care flows, reducing response times and improving the overall quality of medical care. The approach is based on an in-depth urban analysis of the Chetouane context, a rigorous functional programming that meets national and international health standards, as well as the integration of advanced technological systems such as BMS, IoT, smart HVAC and AI tools applied to diagnosis and hospital management. The project also draws inspiration from international references in hospital architecture to ensure a humane, functional and sustainable care environment.

Keywords : EHS, Traumatologie, Smart Hospital, Artificiel Intelligence, BMS, Tlemcen.

ملخص:

تتناول هذه المذكرة تصميم مستشفى متخصص في علاج الصدمات بمدينة تلمسان، مع دمج تقنيات البناء الذكي والذكاء الاصطناعي. في ظل تزايد حالات الصدمات في الجزائر وغياب المراكز المتخصصة القادرة على ضمان تكفل سريع وفعال بالمرضى، يقترح هذا المشروع نموذجاً معمارياً متكاملًا يركز على المريض، ويهدف إلى تحسين تدفق الرعاية الصحية وتقليص أوقات التدخل ورفع جودة الخدمات الطبية. يركز المنهج المعتمد على تحليل حضري معمق لسياق بلدية الشطوان، وبرمجة وظيفية دقيقة تستجيب للمعايير الصحية الوطنية والدولية، فضلاً عن دمج أنظمة تكنولوجية متقدمة كأنظمة إدارة المباني وإنترنت الأشياء وتكييف الهواء الذكي وأدوات الذكاء الاصطناعي المطبقة في التشخيص والتسيير المستشفى. كما يستلهم المشروع من المراجع الدولية في مجال العمارة الاستشفائية لضمان بيئة علاجية إنسانية ووظيفية ومستدامة.

الكلمات المفتاحية: مستشفى متخصص، الصدمات، المستشفى الذكي، الذكاء الاصطناعي، نظام إدارة المباني، تلمسان.

Table des matières

Remerciements	II
Dédicace	III
Résumé :	Error! Bookmark not defined.
Abstract:	Error! Bookmark not defined.
ملخص:	Error! Bookmark not defined.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction :	1
Choix du thème :	6
Corps d'étude.....	7
État de l'art :	8
Problématique :	9
Hypothèses :	10
Méthodologie	11
Outil de recherche.....	13
objectifs:	14

PARTIE THÉORIQUE :CHAPITRE 01

Introduction :	16
1.Définition de l'Équipement Sanitaire.....	17
2.Définition des établissements hospitaliers spécialisés (EHS).....	18
3. Définition des établissements hospitaliers spécialisés en Traumatologie.....	18
3.1. Fonctionnement d'un EHS en traumatologie	19
3.1.1Échelle et organisation spatiale.....	19
3.1.2. Capacité.....	19
3.1.3 Le parcours patient.....	20
3.1.4. Technologies-clés et contraintes techniques en traumatologie	20
4.Contexte historique des établissements hospitaliers	21
1. Évolution à l'échelle internationale	21
2. Évolution des établissements hospitaliers en Algérie.....	21
2.1. Phase de fondation et d'expansion (1962 – 1980)	22

2.2. Phase de spécialisation et de modernisation (1980 – 2000).....	22
2.3. Phase de numérisation et de transformation technologique (2000 – 2015)	22
2.4. Phase actuelle : vers des hôpitaux durables et intelligents (depuis 2015)	22
5.classification	23
6.Législation.....	23
7.Analyse des Exemples.....	25
7.1 R Adams Cowley Shock Trauma Cente	25
7.1.1. Justification du choix	25
7.1.2. Fiche technique	25
7.1.3. Description fonctionnelle et spatiale.....	26
7.1.4. Description Architectural.....	27
7.2 The Gandel Wing Hospital	30
7.2.1. Justification du choix	30
7.2.2. Fiche technique	30
7.2.3. Description fonctionnelle et spatiale.....	30
7.2.3. Description Architectural.....	34
7.2.4. Description technique	36
Bon Secours Hospital	36
7.3.1. Justification du choix	36
7.2.2. Fiche technique	37
7.3.3. Description fonctionnelle et spatiale.....	37
7.2.3. Description Architectural.....	38
7.1.4. Description technique	39
8.Comparaison entre les exemples :.....	40
Conclusion	41

PARTIE THÉORIQUE :CHAPITRE 02

Introduction.....	43
1.Définition bâtiment intelligent.....	44
2. Gestion intelligent	44
2.1. Les systèmes de gestion du bâtiment (BMS).....	44
2.2. Internet des objets (IoT)	46
2.3. Système HVAC (Gestion du CVC).....	46
2.4. Façade intelligente	46
3.Gestion intelligente des équipements sanitaires.....	47
3.1Systèmes intelligents de gestion prise en charge des patients	48

3.1.1 Planification automatisée des blocs opératoires et des patients hospitalisés	48
3.1.2 Support de triage par IA.....	48
3.1.3 Imagerie assistée par IA :.....	48
3.1.4 Systèmes de localisation en temps réel (RTLS).....	49
3.2Systèmes intelligents de traitement et de qualité.....	49
s3.2.1 Chirurgie robotisée	49
3.2.2 Pharmacies intelligentes/automatisées	50
3.2.3 Hôpital virtuel / plateformes d'IA pour soins aigus à distance.....	50
3.2.4 Impression 3D d'implants et de prothèses orthopédiques	50
4.Definition Artificial Intelligence (AI)	51
5.Techniques d'entraînement de l'IA.....	52
5.1 Algorithmes d'apprentissage automatique	52
5.2 Large Language Models (LLMs)	53
6.Implication de l'IA en architecture	53
6.2. Bâtiments intelligents et intégration de l'IoT	54
6.3. Optimisation de la construction et analyse énergétique	55
7. Cas d'étude	56
7.1. L'hôpital Johns Hopkins, Baltimore, États-Unis.....	56
7.1.1. Situation	56
7.1.2. Fiche technique	56
7.1.3. Gestion intelligente du bâtiment	56
7.2. The Crystal — Londres, UK.....	58
7.2.2. Fiche technique	59
7.2.3. Gestion intelligente du bâtiment :	59
7.3. The Edge — Amsterdam	61
7.3.1. Situation	61
7.3.3 Gestion intelligent du bâtiment :	62
Conclusion	65

CHAPITRE 03

1 Analyse urbain.....	67
1.1 SITUTAION	67
1.2 Limites, périmètre et surface	67
1.3 Environnement climatique	68
1.3.1 Ensoleillement.....	68
1.3.2 Vents dominants et saisonniers	68

1.3.3 Pluviométrie	69
1.3.4 Température	69
1.3.5 Humidité	70
1.4 Environnement naturel	70
1.4.1 Topographie	70
1.4.2 Nature du sol	71
1.4.3 Hydrographie	71
1.4.4 Végétation	71
1.4.5 Risques naturels	72
1.5 Environnement Bâti	73
1.5.1 Trame urbaine	73
1.5.2 Accessibilité et voirie	73
1.5.3 Typologie du bâti	74
1.5.4 Gabarit CES COS	75
1.5.5 Styles architecturaux	75
1.5.6 État du bâti	75
1.6 Carte d'état de fait	76
1.7 Problématiques urbaines	77
2) choix de la zone d'intervention	78
3) Programmation	79
3.1 identification des usagers	79
3.2 Capacité d'accueil	79
3.3 identification des fonctions et des activités	80
3.4 Programme de base	81
3.5 Identification des espaces et qualité	81
3.5 Programme spécifique :	83
4 choix et analyse du terrain d'implantation	85
5. Analyse du terrain	86
5.1 Situation et délimitation	86
5.2 Données climatiques	86
5.3 Accessibilité	87
5.4 morphologie du terrain	87
5.5 Environnement urbain	88
5.6 VRD	89
5.7 Contraintes et potentialités	89

CHAPITRE 04 : Conception architectural et technique

1.Introduction	91
2.Genèse de projet	92
3. Description architecturale du projet.....	95
3.1 Description de plan masse	95
3.2 Description de volume.....	96
3.3 Description des plans.....	96
4.1 Structure.....	98
4.2 Murs extérieurs et intérieurs	99
.....	99
4.3 Revêtements extérieurs et intérieurs.....	100
4.3.1 Revêtements extérieurs.....	100
4.3.2 Revêtements intérieurs.....	100
4.3.3 revêtements de sol.....	101
4.3.4 Revêtements des plafonds.....	101
4.4 Peinture	102
4.5 Menuiserie.	102
4.5.1 Portes techniques hospitalières	102
4.5.2 Fenêtres et façades vitrées	103
4.5.3 Façade double peau intelligente et protection solaire	105
4.6 Gestion intelligente des Corps d'État Secondaires (CES).....	106
4.6.1 Gestion intelligente de l'eau (AEP)	106
4.6.2 Gestion intelligente de l'énergie	106
4.6.3 Gestion intelligente du confort.....	108
4.6.4 Gestion intelligente du sécurité.....	110
4.6.5Gestion intelligente des télécommunications et des réseaux de gestion.....	111
4.7 VRD : voirie et réseaux divers	113
4.7.1 Voirie	113
4.7.2 Trottoirs.....	113
4.7.3 Assainissement.....	114
4.7.4 Éclairage extérieur	114
4.7.5 Raccordement des réseaux	115
5. Conclusion générale :.....	Error! Bookmark not defined.
5.1Conclusion :	117
5.2 Limites de projet :.....	117

5.3 proposition d'autre projet dans le même thème :	118
---	-----

LIST DES FIGURES

Figure 1 : Les différentes échelles des Établissements de santé en Algérie.....	4
Figure 2 : Évolution du réseau EHS en Algérie (1997-2023)	5
Figure 03 : Schéma fonctionnel des dimensions d'un établissement de santé.	17
Figure 04 : Parcours et circulation des patients dans un Trauma Center.....	20
Figure 05 : Vue extérieure du R Adams.....	25
Figure 06 : Vue aérienne et insertion urbaine de l'UMMC et de la Shock Trauma Tower.	27
Figure 07 : Analyse volumétrique et programmatique de la Shock Trauma Tower.	27
Figure 08 : Façade principale et accès de la Shock Trauma Tower.	28
Figure 09 : Plan de circulation et flux d'urgence	29
Figure 10 : Organigrammes fonctionnel et spatial des flux critiques et publics.....	29
Figure 11 : Vue d'ensemble du Gandel Wing Hospital.	30
Figure 12 : Plan RDC	31
Figure 13 : Niveau 02	32
Figure 14 : Niveau 04	32
Figure 15 : Logique des flux cliniques et séparation des circulations au rez-de-chaussée.	33
Figure 16 : Structure organisationnelle et interconnexions fonctionnelles de l'aile hospitalière. ...	33
Figure 18: Analyse volumétrie par niveaux	34
Figure 17 : Analyse de la fragmentation volumétrique et insertion urbaine.	34
Figure 19 : Analyse de la peau salutogénique et cinétique des façades.	35
Figure 20 : Vue perspective du Bon Secours Hospital Limerick.....	36
Figure 21 : Schéma de séparation des flux et circulations (Public, Personnel, Logistique).	38
Figure 22 : Composition volumétrique et distribution fonctionnelle des bâtiments.....	38
Figure 23 : Analyse des façades, matériaux et design biophilique.	39
Figure 24 : la structure porteuse et système constructif du bâtiment	40
Figure 25 : Schéma global d'un bâtiment intelligent et ses composantes de santé.	44
Figure 26 : Fonctionnement d'un BMS.....	45
Figure 27 : Architecture IoT dans un bâtiment intelligent	46
Figure 28 : Tours Al Bahar, Abu Dhabi façade intelligente à mashrabiya	47
Figure 29 : Schéma fonctionnel des dimensions d'un établissement de santé.	48

Figure 30 : Imagerie assistée par IA pour la détection des fractures.....	48
Figure 31 : Système de localisation en temps réel (RTLS) dans un hôpital	49
Figure 32 : Modèle CAO d'une prothèse de jambe sur la plateforme nTop.....	50
Figure 33 : Classification de l'IA : Intelligence Artificielle Étroite (ANI), Générale (AGI) et Superintelligence (ASI)	52
Figure 34 : Schéma du processus de l'intelligence artificielle	53
Figure 35 : Visualisation architecturale.....	54
Figure 36 : Pont MX3D Amsterdam — conception générative et impression 3D en acier	55
Figure 37 : Hôpital Johns Hopkins, Baltimore	56
Figure 38 : Plateforme FES de gestion centralisée du BMS à Johns Hopkins	56
Figure 39 : Robot de désinfection UVC à l'hôpital Johns Hopkins	57
Figure 40 : The Crystal, Londres.....	58
Figure 41 : Réseau KNX de The Crystal.....	60
Figure 42 : Façade vitrée de The Crystal et éclairage naturel	60
Figure 43 : Tableaux de bord interactifs et écrans tactiles dans The Crystal	61
Figure 44 : The Edge, Amsterdam	62
Figure 45 : Système ATES stockage thermique en aquifère de The Edge	63
Figure 46 : Jumeau numérique de The Edge.....	64
Figure 47: Carte de situation géographique de la wilaya de TLEMEN.	67
Figure 48: Carte des limites administratives et du périmètre d'étude.de la wilaya de TLEMEN. ..	67
Figure 48: Lever du soleil et coucher du soleil avec crépuscule à Tlemcen.	68
Figure 49: Direction du vent à Tlemcen.....	68
Figure 50: Pluviométrie mensuelle moyenne à Tlemcen.....	69
Figure 51: Température moyenne maximale et minimale à Tlemcen	69
Figure 52: Niveaux de confort selon l'humidité à Tlemcen.....	70
Figure 53 : Carte topographique.....	70
Figure 55 :Coupe AA	70
Figure 54 : Coupe BB.....	70
Figure 56 : Carte hydrographique..	71
Figure 57 : Carte végétation	72
Figure 58 : Carte des risques naturels.	72
Figure 59 : Carte de la trame urbain,.	73
Figure 60 : Carte d'accessibilité et voirie,.....	74
Figure 61 : Carte typologie de bâti.....	74
Figure 62 : Carte réseaux divers	76
Figure 63 : Carte d'état fait	77

Figure 64 : Carte problématique.....	77
Figure 65 : Carte des zones.....	78
Figure 66 : organigramme fonctionnelle	80
Figure 67 : carte des terrains.....	85
Figure 68 : carte situation et délimitation Algerie,Tlemcen,Chetoune.....	86
Figure 69 : carte d'ensollement	86
Figure 70 : carte d'accessibilité.....	87
Figure 71 : carte morphologie	87
Figure 72 : carte typologie.....	88
Figure 73 : carte gabarie	88
Figure 74 : carte VRD	89
Figure 75 : Diagramme illustrant le concept de « l'heure d'or » et le zonage du site basé sur les contraintes temporelles.....	92
Figure 76 : Diagramme illustrant les flux et les types de circulation dans l'hôpital EHS de traumatologie.	93
Figure 77: Zonage fonctionnel et stratégie d'implantation de l'hôpital EHS de traumatologie..	93
Figure 78: Diagramme illustrant la progression et l'évolution du concept formel de l'hôpital EHS de traumatologie.	94
Figure 79: Plan de masse.....	95
Figure 80 : Diagramme volumétrique axonométrique de l'EHS.....	96
Figure 81: Diagramme des flux de circulation dans le service d'urgence. Source Auteur	96
Figure 82 Diagramme Illustrant la Circulation Verticale.	97
Figure 83: Vue vertical du structure.....	99
Figure 85: Détail axonométrique éclaté du système de faux plafond suspendu intégré de l'hôpital de soins de santé.....	101
Figure 86: système des portes hospitalières intelligentes	103
Figure 87 : système de façade double peau	105
Figure 88 : Diagramme du Système Intégré de Traitement et de Recyclage des Eaux Grises et Pluviales	106
Figure 89 :CENTRALISÉ SYSTÈME DE CANALISATION DE GAZ MÉDICAUX (SGM)	107
Figure 90: Schéma CVC Intégré du Bâtiment	108
Figure 91: Schéma d'un Système à Flux d'Air Laminaire	108
Figure 92: Système de téléphonie PBX.....	111

LIST DES TABLEAUX

Tableau 01 : classification des établissements	23
Tableau 02 : Description fonctionnelle et spatiale de R Adams Cowley.....	26
Tableau 03 : Description fonctionnelle et spatiale de The Gandel Wing.....	30
Tableau 04 : Description fonctionnelle et spatiale de Bon Secours Hospital.....	37
Tableau 05 : tableau comparative entre les trois exemples	40
Tableau 06 : tableau comparative entre les trois zones	78
Tableau 07 : tableau identification des usages	79
Tableau 08 : tableau identification des fonctions est activités	80
Tableau 09 : Programme de base	81
Tableau 10 : identification des espaces et qualité	82
Tableau 11 : programme spécifique	85
Tableau 12 : tableau comparative entre les trois terrains.....	85
Tableau 13 : contraintes et potentialités	89
Tableau 14: Table des revêtement murales dans les différents espaces de l'hôpital EHS de traumatologie	100
Tableau 15 : Table des revêtement de sol dans les différents espaces de l'hôpital EHS de traumatologie	101
Tableau 16 : les spécifications techniques pour l'éclairage et la sécurité	110

LISTE DES ACRONYMES

AEP	Alimentation en Eau Potable	IA	Intelligence Artificielle
AGI	Intelligence Artificielle Générale	ICU	unité de Soins Intensifs
ANEAS	Agence Nationale des Équipements et Aménagements Sanitaires	IEC	International Electrotechnical Commission
ATES	Stockage d'Énergie Thermique en Aquifère	IP	Internet Protocol
BIM	Modélisation des Informations du Bâtiment	IRM	Imagerie par Résonance Magnétique
BMS	Système de Gestion Technique du Bâtiment	KNX	Protocole de Domotique et d'Automatisation du Bâtiment
BSL	Niveau de Biosécurité	LED	Diode Électroluminescente
CAO	Conception Assistée par Ordinateur	LLM	Grand Modèle de Langage
CES	Corps d'État Secondaires	ML	Apprentissage Automatique
CHU	Centre Hospitalier Universitaire	OMS	Organisation Mondiale de la Santé
CLCC	Centre de Lutte Contre le Cancer	PACS	Système d'Archivage et de Communication d'Images médicales
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment	PBX	Autocommutateur Téléphonique Privé
CTA	Centrale de Traitement d'Air	PDAU	Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
CVC	Chauffage, Ventilation et Climatisation	PMR	Personnes à Mobilité Réduite
DALI	Digital Addressable Lighting Interface	POS	Plan d'Occupation des Sols
DASRI	Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux	PWS	Système d'Alimentation en Eau Potable
DGS	Direction Générale de la Santé	RDC	Rez-de-Chaussée
DHOS	Direction de l'Hospitalisation et de l'Organisation des Soins	RIS	Système d'Information Radiologique
DTR	Document Technique Réglementaire	RTLS	Système de Localisation en Temps Réel
EHR	Dossier Patient Informatisé	SAMU	Service d'Aide Médicale Urgente
EHS	Établissement Hospitalier Spécialisé	SGM	Système de Gaz Médicaux
EHU	Établissement Hospitalier Universitaire	UV	Ultraviolet

EPH	Établissement Public Hospitalier	UVC	Ultraviolet C (Rayonnement germicide)
		VHP	Vapeur de Peroxyde d'Hydrogène (Décontamination)
		VR	Réalité Virtuelle
		VRD	Voirie et Réseaux Divers

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction :

Dans le monde actuel, où les maladies, les accidents et les urgences sanitaires sont devenus des occurrences quotidiennes, les établissements de santé constituent un élément essentiel de notre structure de vie, assurant les soins médicaux et protégeant la santé publique. Leur rôle dépasse largement la simple fonction d'un bâtiment ; ils représentent une composante clé du fonctionnement de la structure urbaine.

Avec les progrès technologiques, les établissements de santé deviennent plus performants et efficaces, améliorant ainsi la qualité de vie. Par conséquent, l'architecture hospitalière a évolué pour répondre aux nouveaux défis médicaux, sociaux et environnementaux.

Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), un établissement de santé est défini comme : « *toutes les structures officiellement reconnues qui fournissent des services de santé, incluant les structures de soins primaires, secondaires et tertiaires, qu'elles soient publiques ou privées, ainsi que les structures temporaires conçues pour des contextes d'urgence.* » ¹

Un établissement de santé ne se limite pas à un lieu de traitement ; il constitue un espace où se rencontrent l'architecture, la technologie et l'expérience humaine. Les hôpitaux intelligents illustrent comment l'efficacité, la flexibilité et la durabilité façonnent les soins modernes ². En s'appuyant sur les infrastructures numériques, l'automatisation et l'intelligence artificielle, ils améliorent les services tout en rendant les espaces plus sûrs, plus propres et plus confortables.

L'intelligence artificielle et les systèmes intelligents aident le personnel à travailler efficacement et à fournir des soins précis et personnalisés. Les données en temps réel et les dispositifs connectés permettent également de réduire la consommation d'énergie en gérant automatiquement l'éclairage, le chauffage et les équipements.

D'un point de vue architectural, concevoir de tels hôpitaux implique de planifier soigneusement les espaces, la technologie et les équipements afin de créer des espaces

¹ Organization, *WASH in Health Care Facilities: Global Report*.

² Magazine, « Le Smart Hospital Concept ».

performants, centrés sur l'humain, capables de s'adapter aux innovations futures tout en maintenant l'hygiène et la durabilité.

Les équipements sanitaires désignent l'ensemble des installations, infrastructures techniques et dispositifs médicaux nécessaires pour assurer la prévention, le diagnostic, le traitement et la réadaptation des patients au sein d'un établissement de santé.

Selon Neufert, un hôpital est un complexe bâti hautement organisé, structuré en secteurs fonctionnels spécialisés, soins, diagnostic et traitement, hébergement, gestion des déchets, administration et services techniques, garantissant une circulation interne courte et efficace. Pour citer Neufert : « *l'hôpital général s'organise en secteurs de soins, d'examen et de traitement, d'hôtellerie et d'élimination des déchets, d'administration et de technique* »³.

Au-delà de ces fonctions principales, l'hôpital peut également intégrer, lorsque nécessaire, des installations d'enseignement, de recherche et de logement, formant ainsi un système architectural et opérationnel intégré.

Les hôpitaux sont des entités complexes qui combinent plusieurs domaines d'étude. Ils deviennent de plus en plus difficiles à gérer et à anticiper en raison de l'évolution rapide des technologies médicales et de l'architecture. Malgré ces défis, l'architecte doit être capable d'anticiper et d'intégrer ces changements. Pour mieux comprendre, il convient de considérer les aspects suivants : organisation fonctionnelle, circulation (flux), flexibilité et évolutivité, hygiène et sécurité, conception centrée sur l'utilisateur, et avancées technologiques.

1.Organisation fonctionnelle :

se réfère à l'agencement stratégique des espaces hospitaliers afin de garantir l'efficacité, la sécurité et la qualité des soins. Les activités hospitalières doivent être regroupées en fonction de leurs similitudes fonctionnelles et de leurs exigences techniques spécifiques. Cette approche permet de clarifier le fonctionnement des différentes zones et leurs relations mutuelles :

- **Zones publiques** : conçues pour être accessibles, visibles et accueillantes, elles servent de premier point de contact pour les patients et les visiteurs.
- **Zones semi-publiques** : zones de transition reliant les espaces publics aux zones cliniques plus contrôlées, régulant les déplacements et protégeant les fonctions sensibles.

³ Neufert et Neufert, *Les Éléments des projets de construction*, 7^e éd. (Éditions Dunod, 2003).

- **Zones contrôlées / techniques** : zones strictement réglementées nécessitant un accès restreint, des normes d'hygiène strictes et des infrastructures spécialisées. Ces espaces doivent être isolés physiquement et fonctionnellement des flux publics afin d'éviter toute contamination et de protéger les opérations de soins critiques.

2.Circulation :

La circulation hospitalière se réfère à l'organisation et à la séparation des voies de déplacement afin d'assurer l'efficacité. Pour rester claire et contrôlée, la circulation doit suivre une hiérarchie définie:

2.1 Flux des patients : Les parcours des patients doivent être intuitifs, directs et alignés sur les priorités cliniques.

- Les patients nécessitant des soins immédiats doivent avoir un accès rapide à l'imagerie, à la chirurgie et aux soins critiques via des entrées dédiées et des trajets internes courts.
- Les patients externes doivent disposer de parcours simples et courts, avec une signalisation claire et une séparation totale des zones à risque élevé ou à forte gravité.
- Les patients hospitalisés ne doivent se déplacer que lorsque nécessaire, avec un minimum de transferts entre les services, les zones de diagnostic ou de traitement.

2.2 Flux du personnel : La circulation du personnel doit être rapide, protégée et totalement indépendante des flux publics.

- Des liens internes directs entre les postes infirmiers et les chambres des patients permettent une intervention rapide.
- Les ascenseurs, escaliers et couloirs réservés au personnel maintiennent l'efficacité opérationnelle.
- Une séparation claire des circulations patient et visiteur réduit les encombrements et améliore la sécurité.

2.3 Flux logistique : Les parcours logistiques doivent garantir une stricte séparation entre circuits propres et sales.

- Les circuits propres incluent les matériaux stériles, les fournitures médicales, les repas et le linge.
- Les circuits sales concernent les déchets, le linge utilisé et les instruments contaminés.

3. Les différents échelles de EHS :

Les établissements de santé diffèrent considérablement par leur forme et leur fonction. Chaque type, selon sa taille, sa capacité, sa vocation, son niveau de technicité et la qualité des soins qu'il dispense, pose des problèmes architecturaux, techniques et fonctionnels spécifiques. Par ailleurs, chaque échelle répond au contexte urbain dans lequel elle s'insère. La connaissance de ces échelles et typologies permet de mieux comprendre comment notre projet peut s'y intégrer et interagir.

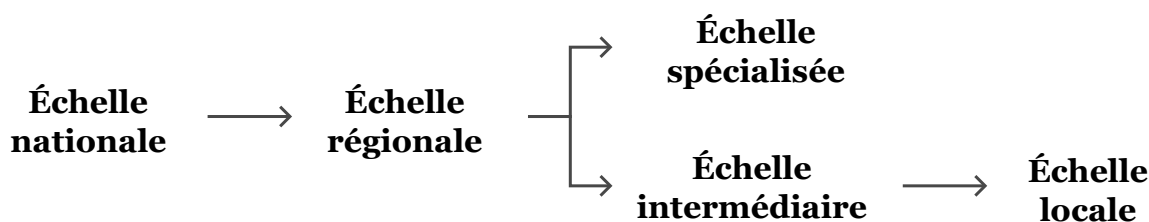


Figure 1 : Les différentes échelles des Établissements de santé en Algérie **Source :** Auteur

3.1 Échelle nationale / régionale :

CHU et EHU : grands complexes intégrant soins avancés, enseignement et recherche. Architecture flexible, technologies intelligentes et équipements de pointe.

3.2 Échelle régionale / spécialisée :

CHU et EHS : structures modernes dédiées aux soins spécialisés et à la recherche, jouant un rôle de pôles urbains favorisant innovation et efficacité énergétique.

3.3 Échelle intermédiaire :

EPH : hôpitaux publics assurant soins généraux et spécialisés, relais entre structures locales et centres tertiaires. Malgré du matériel parfois obsolète, ils restent essentiels pour l'urgence et la continuité des soins.

3.4 Échelle locale :

Centres de santé et polycliniques : soins primaires, prévention et orientation. Architecture simple et accessible pour répondre aux besoins des communautés.

Au sein de la hiérarchie des établissements de santé, l'Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) représente une structure de haut niveau, combinant des soins médicaux hautement spécialisés avec une efficacité énergétique intelligente propre aux bâtiments intelligents.

Un Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) est une institution publique à caractère administratif qui comprend une ou plusieurs unités dédiées au traitement d'une maladie spécifique, d'un système corporel particulier ou d'une tranche d'âge déterminée. Selon la loi du 28 août 1998 relative aux établissements hospitaliers, un EHS est défini comme « ***tout hôpital répondant aux besoins spécifiques de certains soins diagnostiques et thérapeutiques ou de conditions particulières*** »⁴.

Fonctionnellement, il assure les missions de prévention, de diagnostic, de traitement, de réadaptation et d'hospitalisation dans son domaine de spécialité. Chaque EHS est conçu pour répondre aux besoins spécifiques des patients en combinant expertise spécialisée, équipements adaptés et suivi personnalisé.

L'évolution des Établissements Hospitaliers Spécialisés (EHS) en Algérie reflète la modernisation progressive ⁵du système national de santé. L'une des premières institutions spécialisées fut le Centre Pierre-et-Marie-Curie à Alger, inauguré en 1959, marquant le début des soins oncologiques spécialisés dans le pays. Toutefois, la création officielle et la définition des EHS en tant que catégorie juridique et administrative ne sont intervenues qu'avec le Décret exécutif n° 97-465 du 2 décembre 1997, qui a établi leur organisation et leur fonctionnement.

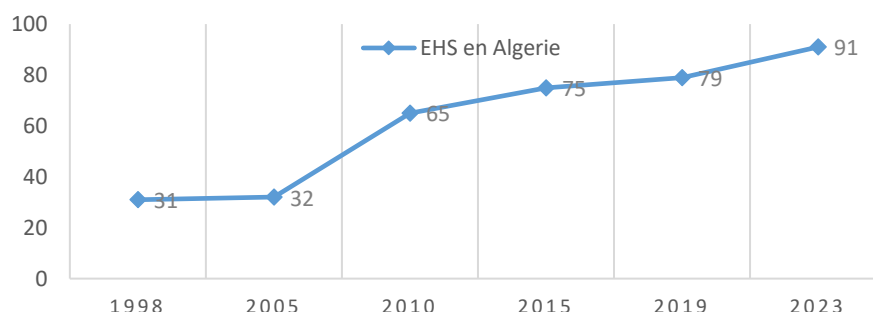


Figure 2 : Évolution du réseau EHS en Algérie (1997-2023)

Depuis leur création, le réseau des Établissements Hospitaliers Spécialisés (EHS) s'est étendu pour atteindre environ 32 structures en 2005 ⁶, couvrant les principales spécialités médicales : oncologie, cardiologie, psychiatrie, traumatologie et rééducation. En 2023, de nouveaux EHS ont été approuvés dans plusieurs wilayas, dont Batna, Annaba,

⁴ Algérienne, « Décret exécutif n° 97-465 du 2 décembre 1997 ».

⁵ Fortaki, M.; Brahimia, « Analyse des causes d'hospitalisation et de décès dans la région sanitaire de l'Est algérien (Année 2015-2016) ».

⁶ Santé, *Rapport Biennal OMS Algérie 2022–2023*.

Oran, Alger et Tlemcen ⁷, témoignant de la volonté de l'État de poursuivre la décentralisation des soins et de garantir un accès équitable aux services spécialisés à l'échelle nationale

Les Établissements Hospitaliers Spécialisés (EHS) se distinguent des autres établissements de santé par leur expertise médicale ciblée, leurs technologies avancées et leur architecture spécialement conçue, permettant des soins spécialisés soutenus par la recherche et la formation.

4. Principales caractéristiques des EHS :

1. **Spécialisation clinique** : Dédiés à une discipline spécifique ou à des pathologies connexes (cardiologie, oncologie, psychiatrie, traumatologie, rééducation), ils permettent des soins hautement spécialisés, des diagnostics avancés et une recherche ciblée.
2. **Expertise de haut niveau** : Le personnel est composé de médecins, infirmiers et techniciens spécialisés. Les EHS agissent souvent comme centres de référence, recevant des cas complexes provenant d'autres hôpitaux.
3. **Plateforme technique avancée** : Équipés de technologies adaptées à leur spécialité (par exemple, radiothérapie, imagerie spécialisée), leur architecture intègre des zones fonctionnelles respectant des normes techniques strictes.
4. **Recherche et formation** : Ils contribuent à la recherche médicale et à la formation professionnelle continue, souvent en collaboration avec les universités et les CHU
5. **Intégration au réseau de soins** : Ils coopèrent avec les EPH, CHU et centres locaux pour assurer l'orientation des patients et la continuité des soins, en particulier pour les cas complexes ou de longue durée.
6. **Efficacité intelligente** : Ils utilisent l'intelligence artificielle et des systèmes de bâtiment intelligent pour optimiser les parcours de soins, la gestion des patients et l'utilisation des ressources, tout en améliorant le confort, la sécurité et la durabilité.

Choix du thème :

Cette mémoire se concentre sur la conception d'un hôpital spécialisé en traumatologie intégrant l'intelligence artificielle afin d'améliorer la rapidité et l'efficacité des soins. Ce

⁷ Statistique, *Évolution des établissements hospitaliers en Algérie*.

choix est motivé par le déficit d'infrastructures sanitaires avancées en Algérie et par le nombre élevé de cas de traumatismes recensés à l'échelle nationale.

- L'Algérie enregistre chaque année plus de 79 000 blessures liées à la circulation routière⁸, 60 000 accidents domestiques et 50 000 accidents du travail⁹(INSP, 2023). Un EHS spécialisé en traumatologie offre des soins plus rapides et mieux coordonnés que les hôpitaux généraux, améliorant ainsi les taux de survie et de récupération.
- Actuellement, seuls quelques EHS prennent en charge la traumatologie (Alger, Mascara, Oran¹⁰, ainsi que de petites unités à Tipaza et Béchar), ce qui est insuffisant au regard des besoins nationaux. La création de centres spécialisés supplémentaires renforcerait la capacité de réponse et réduirait les délais.
- Un EHS de traumatologie assure une intervention rapide durant la première heure suivant la blessure, période cruciale pour sauver des vies et limiter les complications à long terme.
- Un EHS agit également comme un maillon intermédiaire entre les hôpitaux locaux et les centres de niveau supérieur, améliorant les parcours de référence et la coordination de la prise en charge des traumatismes.
- Le système de santé algérien reste largement traditionnel. Un EHS de traumatologie intelligent, intégré à l'IA, permettrait de moderniser la prestation de soins, d'optimiser les ressources et de constituer un modèle national d'efficacité et d'innovation technologique.

L'ensemble de ces éléments souligne la nécessité de créer un hôpital spécialisé en traumatologie en Algérie, combinant expertise médicale et technologies avancées pour mieux répondre au fardeau croissant des traumatismes dans le pays.

Corps d'étude

La wilaya de Tlemcen a été choisie pour l'implantation de l'EHS de traumatologie en raison de sa position stratégique, de son accès rapide aux principaux axes routiers et de l'absence de services spécialisés en traumatologie dans la région. Cela en fait un site idéal pour un centre

⁸ Routière, *Accidents de la route en Algérie 2023*.

⁹ Routière, « Risque routier et sécurité routière en Algérie ».

¹⁰ Santé, « Réseau EHS Algérie 1997-2023: évolution ».

de référence moderne capable d'améliorer la prise en charge des patients tout en soutenant la formation médicale et l'innovation.

- Les traumatismes restent l'une des principales causes d'hospitalisation et de mortalité dans l'est de l'Algérie ¹¹, en particulier au sein de la population active âgée de 15 à 44 ans. Les hôpitaux généraux sont surchargés et ne disposent pas de services spécialisés en traumatologie.
- L'est de l'Algérie compte très peu d'EHS de traumatologie. La création d'un établissement à Tlemcen permettrait de réduire les délais, d'alléger la pression sur les hôpitaux existants et de fournir des services spécialisés à Tlemcen, Aïn Témouchent, Sidi Bel Abbès et Naâma.
- Tlemcen accueille des branches universitaires médicales, des laboratoires et des unités de recherche capables de soutenir l'EHS. Cela permet un partage des ressources, une recherche clinique intégrée et des opportunités de formation, transformant l'EHS en un pôle à la fois de soins et académique.
- En tant que grande ville dotée d'infrastructures développées, Tlemcen assure un accès rapide aux urgences et un transport efficace des patients, bénéficiant à la fois à la ville et aux wilayas environnantes.
- Les hôpitaux sont de grands consommateurs d'énergie. L'utilisation de Tlemcen comme étude de cas permet de concevoir un hôpital intelligent assisté par IA, optimisant la consommation énergétique, réduisant les déchets et améliorant l'efficacité opérationnelle.

Dans l'ensemble, Tlemcen combine un besoin médical élevé, une accessibilité stratégique, un soutien académique et des conditions idéales pour le développement d'un hôpital intelligent, en faisant le site le plus pertinent et le plus impactant pour un EHS de traumatologie.

État de l'art :

Pour comprendre le fonctionnement des hôpitaux intelligents, plusieurs références internationales sont analysées. Ces exemples illustrent soit des modèles avancés de smart

¹¹ Publique, *Statistiques des traumatismes en Algérie*.

Hospital, soit des solutions innovantes d'efficacité énergétique et d'optimisation du parcours patient. Quatre cas seront étudiés :

3.1 R Adams Cowley Shock Trauma Center :

Premier hôpital au monde entièrement dédié à la traumatologie. Fondé par le Dr R. Adams Cowley, il a introduit le concept de la « Golden Hour » et reste une référence internationale en matière de prise en charge rapide et coordonnée des traumatismes graves.

3.2 The Gandel Wing Hospital

La Gandel Wing (Cabrini Malvern, Melbourne) est une clinique ultramoderne inaugurée en 2019. Elle intègre des services aigus, des flux cliniques optimisés et des dispositifs axés sur le patient, améliorant les soins traumatologiques, chirurgicaux et médicaux, tout en maximisant confort, contrôle des infections et efficacité opérationnelle.

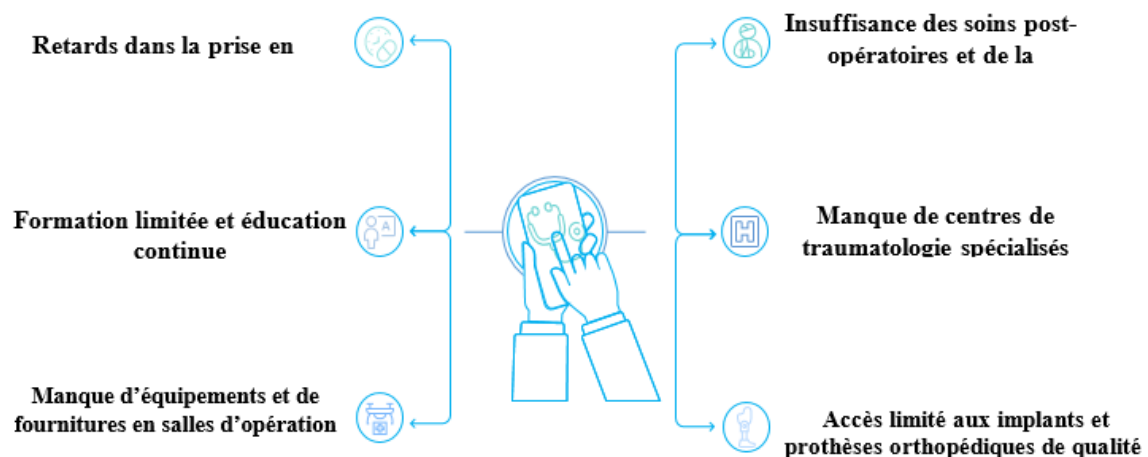
3.3 Bon Secours Hospital

Le Bon Secours Limerick Hospital est un établissement compact et moderne regroupant consultation, ambulatoire et hospitalisation dans des espaces soigneusement organisés. Il met en avant un design biophilique, incluant un toit-jardin, pour renforcer le bien-être des patients.

Problématique :

Le système de santé algérien fait face à d'importants défis liés à des infrastructures hospitalières souvent obsolètes, insuffisantes et mal équipées. Malgré environ 3 190 établissements, beaucoup fonctionnent de manière inefficace, peinent à intégrer des technologies modernes et offrent des soins tardifs ou inadaptés.

La situation est encore plus préoccupante en traumatologie. Bien que le nombre de blessures annuelles soit élevé, les centres spécialisés restent très peu nombreux, limitant l'accès à une



prise en charge rapide pendant « l'heure d'or », essentielle pour la survie et la récupération. Les délais d'attente prolongés sont accentués par le manque de personnel qualifié et l'insuffisance d'équipements modernes, réduisant la capacité du pays à répondre efficacement aux urgences traumatiques.

Ces insuffisances systémiques se traduisent par plusieurs problèmes concrets qui affectent directement la prise en charge des patients et leurs résultats cliniques.

Dans ce cadre, et en tenant compte des spécificités climatiques, urbaines et sociales de Chetouane (Tlemcen), une question centrale se pose :

Comment concevoir un établissement hospitalise spécialisée intelligent en traumatologie à Tlemcen ?

Hypothèses :

Après avoir analysé les défis auxquels est confronté le système de soins traumatologiques en Algérie, en particulier dans la région Est , allant du manque de centres spécialisés à l'obsolescence des technologies et des équipements , il devient évident que la solution réside dans :

La conception d'un établissement hospitalier spécialisé à Tlemcen grâce à l'intégration d'immatiques avancées pour améliorer la prise en charge des patients.

La réalisation de cette hypothèse nécessite l'intégration de systèmes intelligents spécifiques ainsi que la mise en place de stratégies de conception innovantes :

Conception centrée sur l'utilisateur : Se concentre sur les besoins des patients, du personnel et des visiteurs, rendant les espaces hospitaliers et les systèmes intelligents intuitifs, fonctionnels et efficaces.

Intelligence artificielle : L'IA optimise les flux hospitaliers, anticipe l'affluence, gère le matériel médical, permet des diagnostics précoces et des traitements personnalisés, et soutient la prise de décision basée sur les données.

Systèmes HVAC intelligents : Contrôlés par IA, ils assurent des conditions optimales d'air, de température et d'humidité, favorisant le confort, la récupération, la prévention des infections et l'efficacité énergétique.

Gestion opérationnelle et logistique

- Logistique automatisée (robots et convoyeurs)
- Planification intelligente (chirurgies, personnel, ressources)

Méthodologie

La méthodologie adoptée dans ce travail repose sur une approche analytique et orientée vers la conception. Elle vise à comprendre, évaluer et intégrer les principes du bâtiment intelligent ainsi que l'intelligence artificielle dans la conception architecturale d'un Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) en traumatologie à Tlemcen.

7.1 Approche urbaine

L'approche urbaine se concentre sur l'analyse du contexte de la Wilaya de Tlemcen afin d'identifier les facteurs influençant l'implantation et le fonctionnement d'un hôpital spécialisé en traumatologie.

Cette étape examine :

- L'accessibilité routière et les délais d'intervention en urgence,
- La connectivité avec les wilayas voisines,
- La disponibilité des terrains et l'adéquation du site,
- Les infrastructures existantes,
- Les besoins régionaux en matière de soins de traumatologie.

Cette analyse permet de déterminer un site approprié et d'assurer une intégration cohérente dans le tissu urbain :

L'EHS de Tlemcen sera intégré de manière stratégique afin de maximiser l'accessibilité, la fonctionnalité et l'impact régional. Situé à proximité des principales voies de transport, il permettra un accès rapide en cas d'urgence tout en réduisant la congestion locale.

L'hôpital sera connecté de manière fluide aux routes, aux transports en commun et aux chemins piétonniers, garantissant une circulation aisée des patients, du personnel et des fournitures. Les espaces verts et ouverts environnants amélioreront l'environnement urbain et favoriseront l'intégration communautaire.

La proximité de la Faculté de Médecine et des centres de recherche créera un pôle combiné de soins et de connaissances, renforçant le rôle double de l'hôpital dans le traitement et l'enseignement

7.2 Approches thématiques

L'approche thématique explore les concepts clés liés aux hôpitaux intelligents, notamment :

- les flux fonctionnels de l'hôpital (patients, personnel, logistique),
- les programmes et espaces... recommandations et normes
- la sécurité, l'hygiène et les normes de qualité de l'air
- les systèmes immotiques, les capteurs et les réseaux IoT
- l'intelligence artificielle appliquée à la gestion, au diagnostic et à l'efficacité énergétique.

Elle inclut également l'étude d'études de cas internationales afin d'identifier des stratégies efficaces pouvant être adaptées au contexte algérien.

L'EHS de Tlemcen comprendra des programmes pour les soins d'urgence, la chirurgie, les consultations externes et la recherche, conçus pour optimiser les flux de travail et l'expérience des patients. Les systèmes intelligents et l'IA les soutiendront en gérant les ressources, en guidant les déplacements et en garantissant sécurité et hygiène.

En s'inspirant des cas internationaux, l'hôpital adaptera des stratégies efficaces au contexte algérien, combinant programmes et technologies pour offrir des soins de traumatologie de qualité tout en soutenant l'éducation et la recherche.

7.3 Approche architectural

L'approche architecturale s'appuie sur les analyses urbaines et thématiques pour développer un modèle spatial et technique adapté à un hôpital moderne spécialisé en traumatologie.

Elle se concentre sur :

- l'organisation fonctionnelle (urgences, soins intensifs, blocs opératoires)
- la séparation et l'optimisation des flux de circulation
- la flexibilité du bâtiment et son adaptabilité future
- l'intégration de systèmes intelligents (IA, CVC optimisée, automatisation)
- la performance énergétique et le confort environnemental

7.4 Approche technique

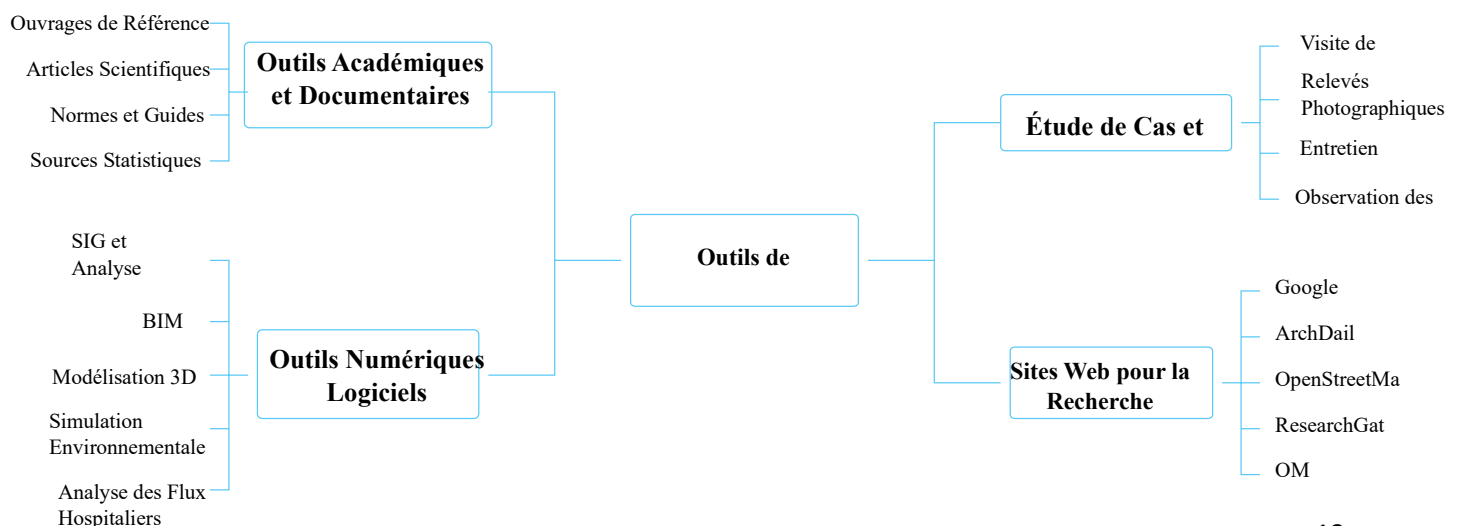
L'approche technique se concentre sur l'intégration des technologies de bâtiment intelligent et des systèmes immotiques au sein de l'EHS de Tlemcen afin d'améliorer le fonctionnement de l'hôpital, la prise en charge des patients et la sécurité. Cela inclut :

- Les systèmes de gestion du bâtiment (BMS) pour le contrôle automatisé du CVC, de l'éclairage et de l'énergie, garantissant un environnement confortable et sûr pour les patients et le personnel,
- Les systèmes immotiques et les réseaux IoT pour surveiller en temps réel les équipements médicaux, les déplacements des patients et les conditions environnementales,
- Les systèmes pilotés par IA pour optimiser les flux de travail, anticiper les besoins de maintenance et gérer efficacement les ressources,
- Les dispositifs médicaux intelligents et les plateformes numériques intégrées pour soutenir le diagnostic, la surveillance des patients et la prise de décision clinique.

Ces technologies permettront d'améliorer l'efficacité opérationnelle, de réduire les délais d'intervention, de garantir les normes d'hygiène et de sécurité, et de créer une expérience fluide pour les patients, le personnel et les visiteurs. La combinaison de la conception de bâtiments intelligents, des systèmes immotiques et de l'IA rendra l'hôpital plus réactif, durable et efficace dans la prise en charge des traumatismes.

Outil de recherche

Les outils de recherche mobilisés combinent des approches analytiques, techniques et conceptuelles. Ils permettent d'étudier les besoins sanitaires, le contexte urbain de Tlemcen, les références d'hôpitaux intelligents et de définir un modèle architectural adapté pour un EHS traumatologique intégrant l'IA :



objectifs:

- **Améliorer les soins aux patients** : Ce modèle vise à optimiser la qualité et l'efficacité des soins prodigués aux patients victimes de traumatismes, en garantissant une prise en charge rapide et personnalisée.
- **Identifier les besoins en traumatologie** : Il permet d'analyser et de déterminer précisément les besoins régionaux en matière de traumatologie afin de mieux planifier les services et les ressources hospitalières.
- **Étudier et intégrer l'IA dans les hôpitaux** : Le projet explore l'utilisation de l'intelligence artificielle pour automatiser la gestion des données, améliorer la prise de décision médicale et renforcer la performance globale des établissements de santé.
- **Moderniser le système de santé algérien** : Ce modèle contribue à la transformation du système de santé national en introduisant des technologies avancées et des pratiques innovantes pour répondre aux besoins contemporains.
- **Réduire la consommation énergétique** : Grâce à l'intégration de systèmes intelligents et de bâtiments connectés, il vise à diminuer la consommation d'énergie tout en maintenant un environnement hospitalier confortable et durable.

PARTIE THÉORIQUE

CHAPITRE 01

Caractéristiques de l'Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) en traumatologie

Introduction :

L'architecture de santé représente l'un des domaines les plus complexes de la conception spatiale, où l'édifice ne se limite plus à une simple enveloppe physique, mais devient un instrument technologique au service de la vie. Un équipement sanitaire est défini comme un ensemble d'espaces architecturaux et de moyens techniques dédiés à la prévention, au traitement et à la réadaptation, fonctionnant sous le régime du service public tout en respectant des normes rigoureuses d'hygiène, de sécurité et d'efficacité fonctionnelle.¹²

Dans le sillage des avancées médicales contemporaines, l'émergence des Établissements Hospitaliers Spécialisés (EHS) répond à une nécessité de prise en charge hautement ciblée. Le complexe hospitalier spécialisé en traumatologie s'inscrit dans cette dynamique, traitant des pathologies liées aux lésions physiques lourdes résultant d'accidents de la circulation ou d'incidents industriels. L'efficacité de cette typologie architecturale repose sur une organisation spatiale optimale, favorisant une réponse chirurgicale immédiate et une gestion fluide des flux critiques. Cette recherche se propose d'analyser les fondements fonctionnels et techniques de ces structures, en explorant leur évolution historique vers des modèles d'« hôpitaux intelligents » capables d'intégrer les technologies numériques pour optimiser les parcours de soins.

¹² Neufert et Neufert, *Les Éléments des projets de construction*, 7^e éd. (Éditions Dunod, 2003).

1.Définition de l'Équipement Sanitaire

Un équipement sanitaire désigne l'ensemble des infrastructures, espaces architecturaux et dispositifs techniques dédiés à la prévention, la protection, le rétablissement et la promotion de la santé. Relevant du service public, il est conçu pour accueillir, traiter et accompagner les patients tout en respectant des normes strictes d'hygiène, de sécurité, d'accessibilité et d'efficacité fonctionnelle.¹³

C'est un espace organisé pour délivrer les soins en conciliant exigences techniques, besoins humains et contraintes spatiales. Sa conception, circulations, éclairage, matériaux, systèmes techniques, conditionne la qualité des soins et le confort des usagers¹⁴. Élément essentiel du réseau de santé, il structure également le territoire en garantissant équité et continuité des services.¹⁵

Le fonctionnement d'un établissement de santé repose sur trois dimensions étroitement inter-reliées : les systèmes médicaux et cliniques, administratifs et logistiques, ainsi que techniques et environnementaux.

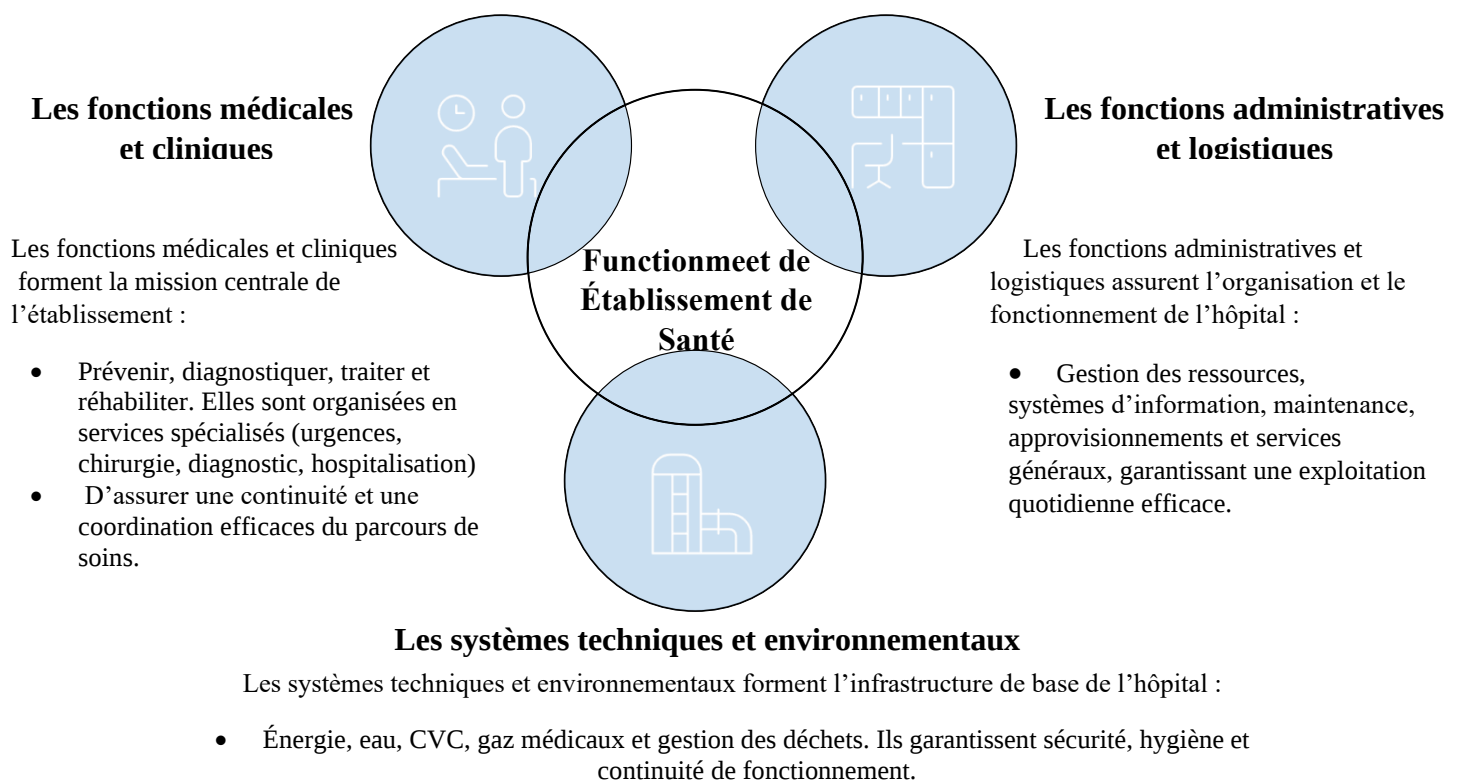


Figure 03 : Schéma fonctionnel des dimensions d'un établissement de santé.

Source : Auteur

¹³ Facility Guidelines Institute, « Facility Guidelines Institute ».

¹⁴ Ulrich et al., « A Review of the Research Literature on Evidence-Based Healthcare Design ».

¹⁵ World Health Organization, *Progress on WASH in health care facilities 2000-2021: Special focus on infection prevention and control*.

2. Définition des établissements hospitaliers spécialisés (EHS)

EHS sont des structures de santé dédiées à des soins de haute complexité ciblant une pathologie, un organe ou un groupe de patients précis.¹⁶ Ils rassemblent des compétences cliniques, techniques et organisationnelles avancées : équipes multidisciplinaires, équipements de pointe et protocoles normalisés. Leur reconnaissance officielle, fondée sur des critères médicaux et de performance, garantit une prise en charge coordonnée ainsi que la qualité et la continuité des soins.

Ces établissements s'insèrent dans le dispositif national de régulation hospitalière, où ils sont distingués des hôpitaux généraux par une logique de spécialisation et de légitimation, visant à répondre à des besoins de santé spécifiques tout en participant à la planification territoriale des soins.

Chaque EHS est conçu pour répondre à des besoins spécifiques, en mobilisant une expertise spécialisée, des équipements adaptés et un suivi personnalisé.¹⁷ Parmi les principaux types d'Établissements Hospitaliers Spécialisés, on distingue :

- **EHS Oncologie** : spécialisé dans la prise en charge du cancer.
- **EHS Cardiologie** : centré sur les pathologies cardiaques.
- **EHS Psychiatrie** : dédié aux soins de santé mentale et psychiatriques.
- **EHS Pédiatrie** : spécialisé dans la santé des enfants.
- **EHS Traumatologie** : consacré au diagnostic et au traitement des traumatismes
- **EHS Rééducation** : orienté vers la physiothérapie,

3. Définition des établissements hospitaliers spécialisés en Traumatologie

Un **Établissement Hospitalier Spécialisé en Traumatologie** est une structure hospitalière dédiée à la **prise en charge des traumatismes physiques graves**, tels que les accidents de la route, les chutes, les blessures industrielles ou sportives, et les polytraumatismes. Son rôle

¹⁶ Algérienne, « Décret exécutif n° 97-465 du 2 décembre 1997 ».

¹⁷ Organisation mondiale de la Santé, *Strengthening health systems: the role and promise of policy and systems research*.

principal est d'assurer un **diagnostic rapide, un traitement chirurgical adapté et une rééducation efficace** des patients victimes de traumatismes.¹⁸

Un EHS est conçu pour **favoriser la rapidité d'intervention et la continuité des soins**. Il regroupe, dans un même espace fonctionnel, les services d'urgences, de radiologie, de réanimation, de chirurgie et d'hospitalisation post-opératoire. La proximité entre ces unités est essentielle pour réduire les délais de transfert et améliorer la survie des patients.¹⁹

3.1. Fonctionnement d'un EHS en traumatologie

L'analyse du fonctionnement d'un Établissement Hospitalier Spécialisé en Traumatologie consiste à étudier les facteurs qui conditionnent l'efficacité des soins, la fluidité des parcours des patients et du personnel, ainsi que l'organisation spatiale et technique.

3.1.1 Échelle et organisation spatiale

L'échelle d'un EHS en traumatologie dépend de sa mission, de la population desservie et de son rôle dans le réseau hospitalier. Il peut être un pavillon autonome ou une unité spécialisée au sein d'un CHU.

Son organisation spatiale doit garantir proximité fonctionnelle des unités critiques, circulation efficace, séparation des zones de soins et logistiques, modularité, intégration technique, et confort et sécurité pour patients et personnel

3.1.2. Capacité

La capacité d'un Établissement Hospitalier Spécialisé en Traumatologie dépend de son rôle au sein du système de santé. Il fonctionne comme un centre de transferts interhospitaliers, prenant en charge des cas graves.

Son envergure et sa capacité dépendent de ces cas ainsi que de la population qu'il dessert. Le nombre de lits dans un hôpital spécialisé est généralement fixé par des réglementations tenant compte des besoins régionaux et de la population concernée.

¹⁸ Cowley, « The Resuscitation and Stabilization of Major Multiple Trauma Patients in a Trauma Center Environment ».

¹⁹ American College of Surgeons — Committee on Trauma, « Resources for Optimal Care of the Injured Patient ».

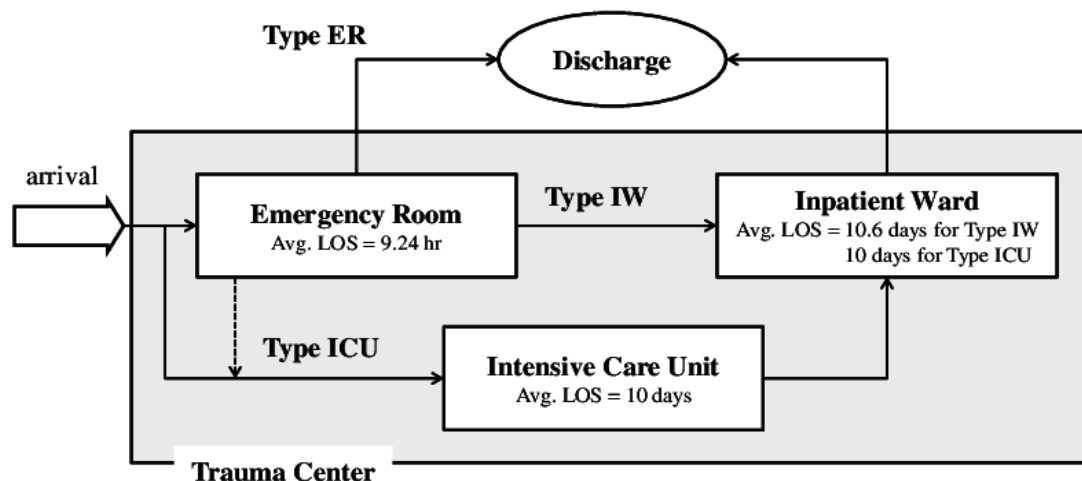


Figure 04 : Parcours et circulation des patients dans un Trauma Center.

(Source : <https://www.umms.org/ummc/health-services/shock-trauma>)

Le nombre de blocs opératoires et de lits en salle de réveil détermine directement la capacité globale de l'hôpital, qui doit rester adaptée au volume de patients, à la complexité des interventions et aux exigences de rapidité et de sécurité des soins.

3.1.3 Le parcours patient.

Le parcours et la circulation des patients sont des éléments cruciaux dans le fonctionnement d'un Établissement Hospitalier Spécialisé en Traumatologie (EHS), car ils doivent suivre une hiérarchie stricte. Des cheminements correctement conçus permettent d'éviter l'encombrement et le mauvais placement des patients, ce qui est essentiel pour réduire les délais de prise en charge et a un impact direct sur les chances de survie.

3.1.4. Technologies-clés et contraintes techniques en traumatologie

La prise en charge rapide des patients traumatisés repose sur des technologies avancées. Leur efficacité dépend d'infrastructures hospitalières adaptées, garantissant performance, sécurité et continuité des soins.²⁰

Technologies et contraintes :

- **Scanner (CT)** : accès rapide, blindage radiologique, antivibrations, sols renforcés.
- **Angiographie / Hybrid-OR** : traitement d'air renforcé, alimentation électrique redondante, accès optimisé au patient et aux instruments.
- **Échographie point-of-care (POCUS)** : mobilité, prises accessibles, stockage sécurisé des sondes.
- **Laboratoires POC** : analyses rapides, ventilation spécifique, accès direct, transmission connectée des résultats.

²⁰ Balogh et al., « Advances and Future Directions for Management of Trauma Patients with Musculoskeletal Injuries ».

- **Robotique chirurgicale** : sols renforcés, espace libre pour manœuvre, alimentation dédiée, ventilation adaptée.
- **Monitoring continu et IoT médical** : réseau fiable et redondant, cyber sécurité renforcée, surveillance en temps réel.²¹

Contraintes générales : blindage IRM/CT, alimentation stable et redondante, refroidissement et traitement d'air, charges au sol élevées, espaces serveurs et télécoms pour EHR et télémédecine.

4. Contexte historique des établissements hospitaliers

L'évolution des établissements hospitaliers reflète les transformations scientifiques, sociales et technologiques qu'a connues la médecine au cours des derniers siècles. L'hôpital est progressivement passé d'un lieu d'assistance et de charité à une infrastructure médicale hautement spécialisée intégrant des technologies avancées et des organisations spatiales complexes.

1. Évolution à l'échelle internationale

Jusqu'au XVIIIe siècle, les hôpitaux étaient principalement destinés à l'accueil des pauvres et des malades. Avec les avancées scientifiques du XIXe siècle, notamment en hygiène et en lutte contre les infections, ils deviennent progressivement de véritables espaces de soins médicaux.²² Cette évolution a influencé l'architecture hospitalière à travers le développement du modèle pavillonnaire favorisant la ventilation, l'éclairage naturel et la séparation des patients. Au XXe siècle, les progrès médicaux ont conduit à la création d'espaces spécialisés comme les blocs opératoires et les unités de soins intensifs²³. Depuis le XXIe siècle, l'intégration des technologies numériques et de l'intelligence artificielle a donné naissance au concept d'« hôpital intelligent », visant à améliorer la gestion des patients, des ressources et de l'énergie.

2. Évolution des établissements hospitaliers en Algérie

Après l'indépendance en 1962, l'Algérie a hérité d'un système de santé colonial caractérisé par une forte concentration des infrastructures hospitalières dans les grandes villes, notamment

²¹ Al-Azzam et Al-Omari, « Artificial intelligence in hospital management and quality improvement ».

²² Thompson et Goldin, *The Hospital: A Social and Architectural History*.

²³ Verderber et Fine, *Healthcare Architecture in an Era of Radical Transformation*.

Alger, Oran et Constantine. Les régions rurales et sahariennes disposaient alors de très peu d'équipements sanitaires, ce qui a conduit l'État à engager un vaste programme de reconstruction du système de santé national.

2.1. Phase de fondation et d'expansion (1962 – 1980)

Après l'indépendance, l'Algérie a développé de nombreux hôpitaux et centres de santé afin d'assurer l'accès aux soins pour toute la population. L'architecture hospitalière s'inspirait du modèle pavillonnaire français, favorisant la ventilation naturelle, l'éclairage et la séparation des fonctions médicales.

2.2. Phase de spécialisation et de modernisation (1980 – 2000)

À partir des années 1980, la création des CHU marque une phase de spécialisation regroupant soins, enseignement et recherche. Les hôpitaux adoptent des structures plus compactes et verticales avec une généralisation du béton armé et des équipements techniques comme la ventilation et la climatisation.

2.3. Phase de numérisation et de transformation technologique (2000 – 2015)

Au début des années 2000, les établissements hospitaliers introduisent les systèmes d'information et les dossiers médicaux électroniques afin d'améliorer la gestion et la coordination des services. Cette évolution entraîne l'intégration de nouvelles infrastructures techniques et numériques dans l'architecture hospitalière.

2.4. Phase actuelle : vers des hôpitaux durables et intelligents (depuis 2015)

Depuis 2015, les projets hospitaliers intègrent progressivement les principes du développement durable à travers l'efficacité énergétique, l'énergie solaire et l'optimisation du confort thermique. L'utilisation des systèmes BMS, de la digitalisation et de la modélisation BIM reflète l'évolution vers des hôpitaux plus intelligents et performants²⁴. Ainsi, l'évolution des hôpitaux en Algérie montre une transition progressive d'un système centré sur l'accès aux soins

²⁴ Santé, *Rapport Biennal OMS Algérie 2022–2023*.

vers des établissements intégrant les technologies modernes, la durabilité et l'amélioration du confort des usagers.

5.classification

Type d'établissement	Fonctions principales	Spécialisation	Niveau de soins	Structure organisationnelle	Capacité
Centre Hospitalo-Universitaire (CHU)	Soins complexes, formation médicale et paramédicale, recherche clinique et fondamentale	Pluridisciplinaire, prise en charge des cas graves/rares, interventions hautement spécialisées	Tertiaire	Organisation modulable, services spécialisés, unités critiques, plateau technique complet,	Très grande capacité, hôpital de référence régional/national
Établissement Hospitalier Universitaire (EHU)	Soins spécialisés, formation, recherche ciblée selon les disciplines enseignées	Spécialisé ou surspécialisé, diagnostics et actes thérapeutiques complexes	Tertiaire	Grande capacité mais plus compacte qu'un CHU	Grande capacité mais plus compacte qu'un CHU
Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS)	Soins spécialisés dans une seule discipline (trauma, cardio, onco, pneumo, etc.)	Spécialité médicale précise, plateau technique orienté (blocs dédiés, imagerie spécialisée, laboratoires spécifiques)	Secondaire	Organisation centrée sur la spécialité, circuits adaptés, plateau technique renforcé	Taille intermédiaire à grande, selon la spécialité et la population desservie
Établissement Public Hospitalier (EPH)	Soins courants, hospitalisation générale, urgences, chirurgie standard	Polyvalent, pathologies fréquentes, prise en charge généraliste et interventionnelle courante	Secondaire	Organisation linéaire, services polyvalents, circuits simplifiés facilitant l'orientation du patient	Capacité modérée, adaptée à la population locale
Établissement Public de Santé de Proximité (EPSP)	Soins de premier niveau, prévention, médecine générale, suivi continu	Médecine générale, soins essentiels, programmes de prévention	Primaire	Organisation simple, compacte, parcours linéaire, proximité avec la population	Petite taille

Tableau 01 : classification des établissements

Les structures hospitalières diffèrent par leur échelle, fonction et niveau de soins. Du CHU, pour les cas complexes et la recherche, à l'EPSP, centré sur les soins de proximité, chaque type a un rôle spécifique. L'échelle influence organisation, équipements, capacité et spécialisation, comme présenté dans les sections suivantes²⁵

6.Législation

L'acte de bâtir en milieu hospitalier est conditionné par une double exigence : la conformité aux lois de l'urbanisme et la réponse aux protocoles médicaux rigoureux.

²⁵ Organisation mondiale de la Santé, *Strengthening health systems: the role and promise of policy and systems research*.

1. Hiérarchisation et Tutelle Administrative

L'établissement doit s'insérer dans la carte sanitaire nationale selon la **Loi n° 18-11**.²⁶

- **Statut juridique** : En tant qu'EHS (Établissement Hospitalier Spécialisé), il jouit d'une autonomie de gestion tout en étant sous la tutelle du Ministère de la Santé.
- **Capacité et Zone de Rayonnement** : Le programme doit justifier le nombre de lits par rapport au bassin de population couvert et aux besoins spécifiques en traumatologie.

2. Normes d'Accessibilité et de Flux (Les Circuits)

La législation impose une séparation stricte des flux pour garantir l'hygiène hospitalière :

- **Circuit Patient** : Distinction entre les patients valides, les patients en brancard (urgences) et les patients infectieux.
- **Circuit Médical** : Zones d'asepsie progressive (zone publique, zone protégée, zone stérile pour le bloc opératoire).
- **Circuit Logistique** : Séparation absolue entre le circuit "propre" (repas, linge propre, matériel stérile) et le circuit "sale" (déchets médicaux DASRI, linge sale).
- **Accessibilité PMR** : Conformité aux dimensions des rampes (pente < 5%), largeur des couloirs (minimum 2.40m pour le croisement de deux brancards) et dimensions des ascenseurs mont-malades.

3. Réglementation Sécurité Incendie (ERP de type U)

Le projet doit répondre aux normes des établissements recevant du public, catégorie "U" (Soins) :

- **Compartimentage** : Division du bâtiment en zones isolées pour permettre une évacuation horizontale (transférer les patients d'un compartiment à un autre sans changer d'étage).
- **Dégagements** : Largeurs minimales des issues de secours calculées en fonction du nombre de lits par unité de soins.
- **Systèmes de sécurité** : Obligation d'installation de colonnes sèches, de détecteurs de fumée et d'un éclairage de sécurité autonome.

4. Normes d'Hygiène et Environnementales

²⁶ Loi n° 18-11 du 2 juillet 2018 relative à la santé.

- **Traitement de l'air** : Les blocs opératoires doivent respecter les normes de filtration (Hepa) et de renouvellement d'air pour maintenir une pression positive (prévention des bactéries extérieures).
- **Matériaux de revêtement** : Obligation d'utiliser des matériaux lisses, non poreux, fongicides et résistants aux détergents chimiques (ex: sols en PVC soudés à chaud avec plinthes à gorges).
- **Éclairage Naturel** : La réglementation impose un accès direct à la lumière naturelle pour toutes les chambres d'hospitalisation afin de favoriser la guérison.²⁷

5. Protection Radiologique (Zone Imagerie)

Dans le cas d'un service de radiologie ou scanner (indispensable en traumatologie) :

- **Blindage** : Protection des parois par des feuilles de plomb (cloisons plombées) et vitrages plombés conformes aux normes de radioprotection.
- **Signalétique** : Installation obligatoire de voyants lumineux "Rayons X" à l'entrée des salles d'examen.²⁸

7. Analyse des Exemples

7.1 R Adams Cowley Shock Trauma Center

7.1.1. Justification du choix

Pionnier mondial dans la prise en charge des chocs et traumatismes, le R Adams Cowley Shock Trauma Center constitue le modèle de référence des systèmes de traumatologie modernes. Sa performance repose sur une organisation verticale compacte

qui optimise les flux critiques en reliant directement l'héliport, la trauma bay,

l'imagerie, le bloc opératoire et la réanimation, réduisant ainsi les délais de transfert pour accélérer les interventions lors des minutes vitales.²⁹

7.1.2. Fiche technique



Figure 05 : Vue extérieure du R Adams
(Source : <https://www.umms.org/ummc/health-services/shock->

²⁷ Sehulster et Chinn, « Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities ».

²⁸ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, *Radiation Protection in Diagnostic Radiology: European Guidelines*.

²⁹ Lerner et Moscati, « The Golden Hour: Scientific Fact or Medical "Urban Legend"? »

- **Le nom :** R. Adams Cowley Shock Trauma Center
- **Localisation :** Baltimore, Maryland, États-Unis (Université de Maryland Medical Center)
- **Architectes :** le cabinet Ballinger.
- **Année :** Fondé / créé : autour de 1973. L'édifice moderne (nouvelle tour "Critical Care Tower") : inauguration en 2013
- **Surface totale :** 22 760 m²
- **Capacité :** Plus de **100 lits**
- **Typologie :** Centre de traumatisme / trauma hospitalier.

7.1.3. Description fonctionnelle et spatiale

La Shock Trauma Critical Care Tower est une extension verticale et compacte intégrée au campus médical dense de l'Université du Maryland. Conçue pour optimiser les flux et la rapidité de prise en charge, cette tour de 9 niveaux dispose d'un rez-de-chaussée ouvert pour un accès ambulancier direct. Elle regroupe de manière hautement fonctionnelle 64 chambres de soins intensifs, 10 blocs opératoires, une unité de réanimation traumatologique et un hélipad pouvant accueillir 4 hélicoptères.³⁰

Fonctions	Activité	Espaces	Surface (m ²)
Accueil (triage Hélicopt)	Réception des patients, orientation rapide	Hall d'entrée, zone de triage, salles d'attente	400 m ²
	Réception et départ rapide des patients par hélicoptère	Hélipad, zone d'accès hélicoptère, ascenseurs dédiés	800 m ²
Trauma Resuscitation Unit (TRU)	Prise en charge initiale des patients polytraumatisés	Salles de réanimation, bureaux infirmiers, stock	500 m ²
Imagerie	Examens rapides (CT, RX, échographie)	Salle CT, salle IRM, salle échographie, zone contrôle	400 m ²
Opération	Chirurgie d'urgence	10 salles d'opération, salles de préparation, vestiaires	1 500 m ²
Soins Intensifs (ICU)	Surveillance et soins critiques	64 chambres ICU, postes infirmiers, zones techniques	3 000 m ²
Services annexes	Stockage, pharmacie, laboratoires, technique	Laboratoires, pharmacie, locaux techniques	1 000 m ²
Circulation et accueil famille	Déplacement interne, orientation	Couloirs, escaliers, ascenseurs, halls, espaces visiteurs	1 200 m ²
Administration / Staff	Gestion, bureaux du personnel	Bureaux, salles réunion, locaux techniques personnels	700 m ²
Services techniques	Support technique et médical, distribution d'énergie et fluides médicaux	Locaux techniques : chaufferie, générateurs, compresseurs O ₂ , air médical, réservoirs d'eau, HVAC, plomberie, électricité, systèmes IT et sécurité	1500 m ²

Tableau 02 : Description fonctionnelle et spatiale de R Adams Cowley

³⁰ American College of Surgeons — Committee on Trauma, « Resources for Optimal Care of the Injured Patient ».

7.1.4. Description Architectural.

a. Analyse des volumes :

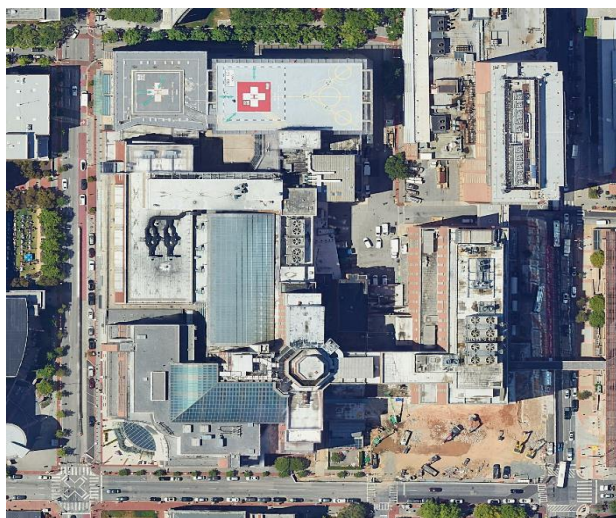


Figure 06 : Vue aérienne et insertion urbaine de l'UMMC et de la Shock Trauma Tower.

Le complexe hospitalier articule deux entités architecturales distinctes : l'Hôpital Universitaire d'origine (UMMC) et la nouvelle Shock Trauma Tower. L'UMMC se structure autour d'un noyau central en forme de croix qui ordonne les volumes secondaires, avec une façade sculptée (jeux de retraits, porte-à-faux et atrium vitré en saillie) servant de repère urbain et de transition fluide vers l'intérieur. À l'inverse, la Shock Trauma Tower s'affirme par une identité High-Tech (métal et verre) pensée comme une « machine à sauver des vies ». Son volume vertical et compact est optimisé pour un flux médical descendant ultra-rapide reliant

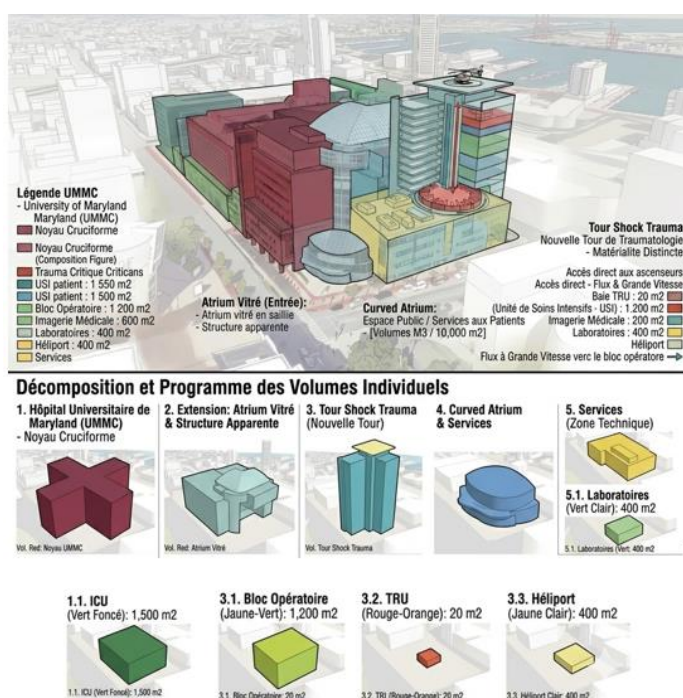


Figure 07 : Analyse volumétrique et programmatique de la Shock Trauma Tower.

b. Analyse des façades :

L'expression architecturale du complexe oppose la monumentalité urbaine de l'UMMC à l'identité High-Tech de la Shock Trauma Tower. Cette dernière exprime

visuellement sa fonction de « machine à sauver des vies » à travers deux composants majeurs de son élévation :

- **Le corps du bâtiment** : Il associe robustesse et technicité par une façade rythmée qui alterne des panneaux de béton, du métal et de larges vitrages. Cette composition est équilibrée par une trame verticale régulière et des bandeaux horizontaux marquant les différents niveaux, projetant une image d'efficacité opérationnelle.
- **Le couronnement** : Marqué par une ligne supérieure nette, il intègre les installations techniques ainsi qu'une hélisurface sommitale. Cet élément fonctionnel crucial devient le signal architectural fort du complexe, affirmant sa vocation de centre d'urgence et de traumatologie à haute réactivité.



Figure 08 : Façade principale et accès de la Shock Trauma Tower.

(Source : <https://www.umms.org/ummc/health-services/shock-trauma>)

c. Analyse des plans :

L'organisation des circulations au sein du complexe repose sur une sectorisation stricte et une hiérarchisation des flux afin d'optimiser l'efficacité clinique :

Flux d'urgence (Zone Nord) : Concentrés le long de la façade nord, les accès urgences et Shock Trauma débouchent sur un corridor protégé. Cet axe sécurisé garantit un acheminement

ultra-rapide vers les soins et les ascenseurs dédiés, tout en assurant une étanchéité totale vis-à-vis du public.

Circulations horizontales : Structurées par une colonne vertébrale principale orientée Est-Ouest, elles se ramifient en parcours secondaires vers les diagnostics et consultations. Ce schéma améliore la lisibilité spatiale et minimise les croisements de flux.

Circulations verticales : Divisées en plusieurs noyaux d'ascenseurs spécialisés, elles séparent distinctement les urgences/traumatismes, le public, les patients externes et le personnel médical, évitant ainsi tout encombrement fonctionnel.

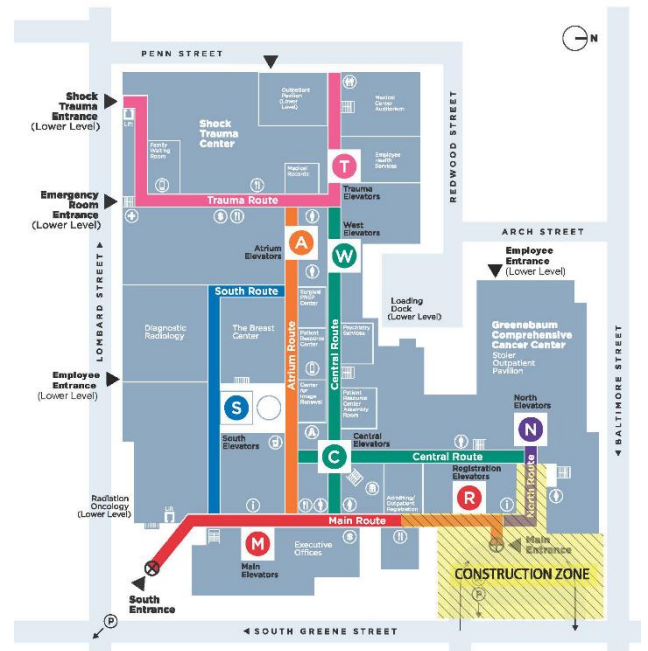
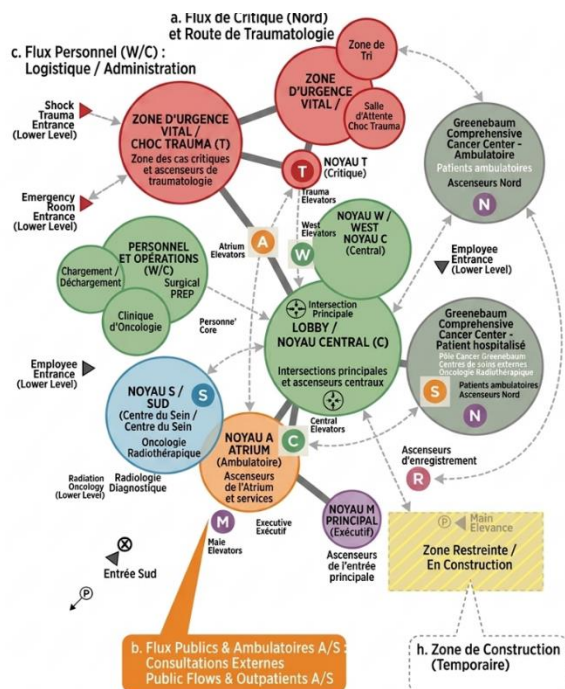


Figure 09 : Plan de circulation et flux d'urgence .

Organigramme fonctionnel



Organigramme spatial

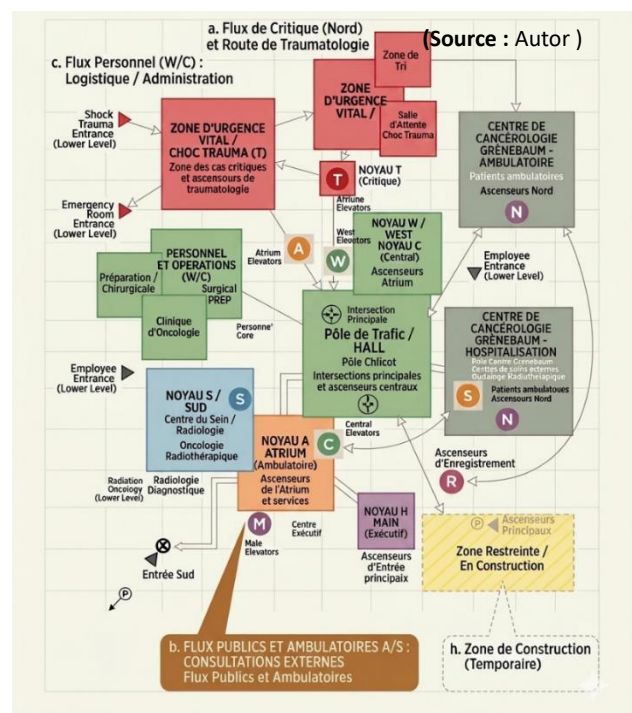


Figure 10 : Organigrammes fonctionnel et spatial des flux critiques et publics.

7.2 The Gandel Wing Hospital

7.1.1. Justification du choix

- Le Gandel Wing Hospital (Bates Smart) regroupe maternité, pédiatrie, soins intensifs, rééducation, hébergement et espaces pour les familles, illustrant la gestion efficace des flux de patients, du personnel et des visiteurs.

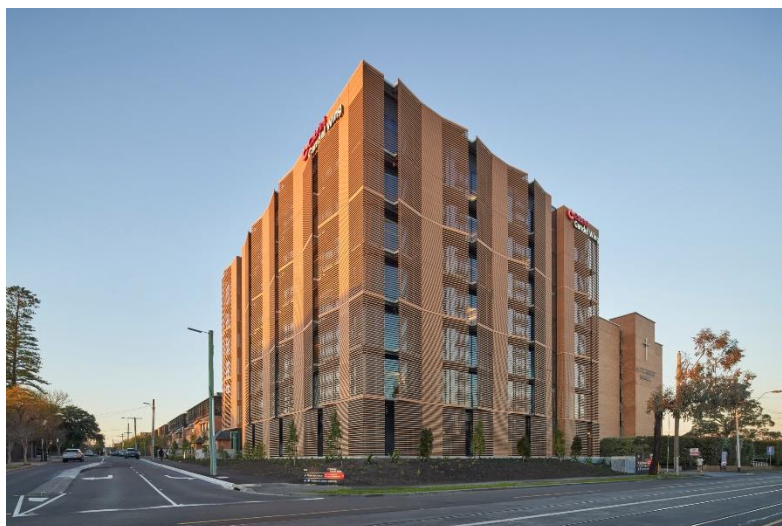


Figure 11 : Vue d'ensemble du Gandel Wing Hospital.

(Source : <https://www.archdaily.com -wing-hospital-bates-smart>)

- L'hôpital intègre des technologies numériques tout au long du parcours patient, avec suivi

électronique et conception centrée sur le confort et le bien-être.

- Ce modèle peut être adapté au contexte algérien, offrant modularité, durabilité adaptée au climat semi-aride et humanisation des soins pour un futur EHS de traumatologie intelligent.

7.2.2. Fiche technique

- Le nom :** The Gandel Wing of Cabrini Hospital
- Localisation :** Melbourne, Australie
- Architectes :** Bates Smart
- Année :** 2019
- Surface totale :** 16 000 m²
- Capacité :** 154 lits
- Typologie :** Extension hospitalière (hôpital privé)

7.2.3. Description fonctionnelle et spatiale

Fonction	Activité	Espaces	Surface (m ²)
Fonction médicale	Soins spécialisés et hospitalisation (oncologie, obstétrique, soins intensifs, chirurgie)	Unités de soins, blocs opératoires, maternité, urgences	7500m ²
Fonction d'hébergement	Accueil et confort des patients	Chambres individuelles, suites maternité, espaces familiaux	5500m ²
Fonction technique et logistique	Gestion et support des opérations hospitalières	Locaux techniques, maintenance, réseaux, zones de stockage	3500m ²
Fonction sociale et de bien-être	Soutien psychologique et confort des usagers	Espaces de repos, jardins intérieurs, zones d'attente, circulations éclairées naturellement	2500m ²
Fonction administrative et éducative	Gestion et formation du personnel	Bureaux, salles de réunion, espaces d'apprentissage	1000m ²

Tableau 03 : Description fonctionnelle et spatiale de The Gandel Wing

c. Analyse des plans :

L'organisation interne du **Gandel Wing** suit une logique de planification hospitalière moderne dite « centrée sur le patient », tout en optimisant l'efficacité clinique. Les plans révèlent une structure claire basée sur la séparation des flux et la flexibilité des plateaux.

1. Composition Typologique : Le Plan en Couronne

Comme l'indiquent les plans des niveaux supérieurs (Maternity et Oncology), le bâtiment adopte une organisation en **couronne** autour d'un **noyau central massif**:

- **Le Noyau Central** : Regroupe les circulations verticales (ascenseurs, escaliers), les zones de services logistiques, et les postes de soins (Nurse Stations). Cette centralité permet de réduire les distances de marche pour le personnel médical.
- **La Périphérie** : Réservée exclusivement aux espaces de soins et aux chambres des patients pour garantir un accès maximal à la lumière naturelle et aux vues extérieures.

2. Distribution par Niveau :



Figure 12 : Plan RDC . (Source : <https://www.archdaily.com/943254/the-gandel-wing-hospital-bates-smart>)

Le Rez-de-chaussée: Le plan montre une perméabilité importante avec des entrées distinctes. L'espace est fragmenté en box de soins rapides (Short Stay) et zones d'examen, organisés pour un flux unidirectionnel évitant les croisements de patients.

Niveau 02 :



Figure 13 : Niveau 02

(Source : <https://www.archdaily.com/943254/the-gandel-wing-hospital-bates-smart>)

Distribution est plus cloisonnée pour offrir une intimité totale. Les chambres individuelles sont disposées le long des façades ondulées, créant des espaces apaisants et sécurisés.

Niveau 04 : Le plan révèle un plateau plus ouvert (Open-plan) avec des compartiments de traitement disposés de manière radiale autour du noyau de contrôle, favorisant une surveillance visuelle constante par les infirmiers.



Figure 14 : Niveau 04

(Source : <https://www.archdaily.com/943254/the-gandel-wing-hospital-bates-smart>)

3. Gestion des Flux et Accessibilité

- **Séparation des Flux** : Les plans mettent en évidence une distinction nette entre les circulations publiques (ascenseurs visiteurs) et les circulations cliniques/logistiques (ascenseurs de service), minimisant ainsi les nuisances sonores et visuelles dans les zones de repos.
- **Flexibilité Spatiale** : La structure poteaux-dalles permet de libérer les plateaux de toute contrainte porteuse interne, facilitant ainsi les réaménagements futurs³¹ face aux évolutions des technologies médicales.

4. La Chambre Individuelle comme Unité de Base

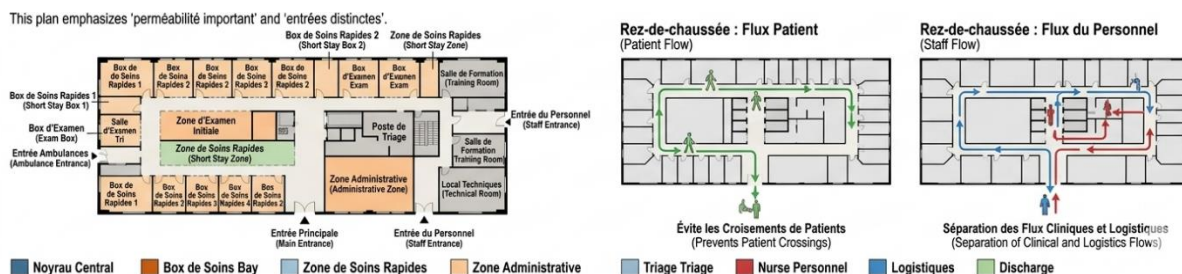


Figure 15 : Logique des flux cliniques et séparation des circulations au rez-de-chaussée.
(Source : Auteur)

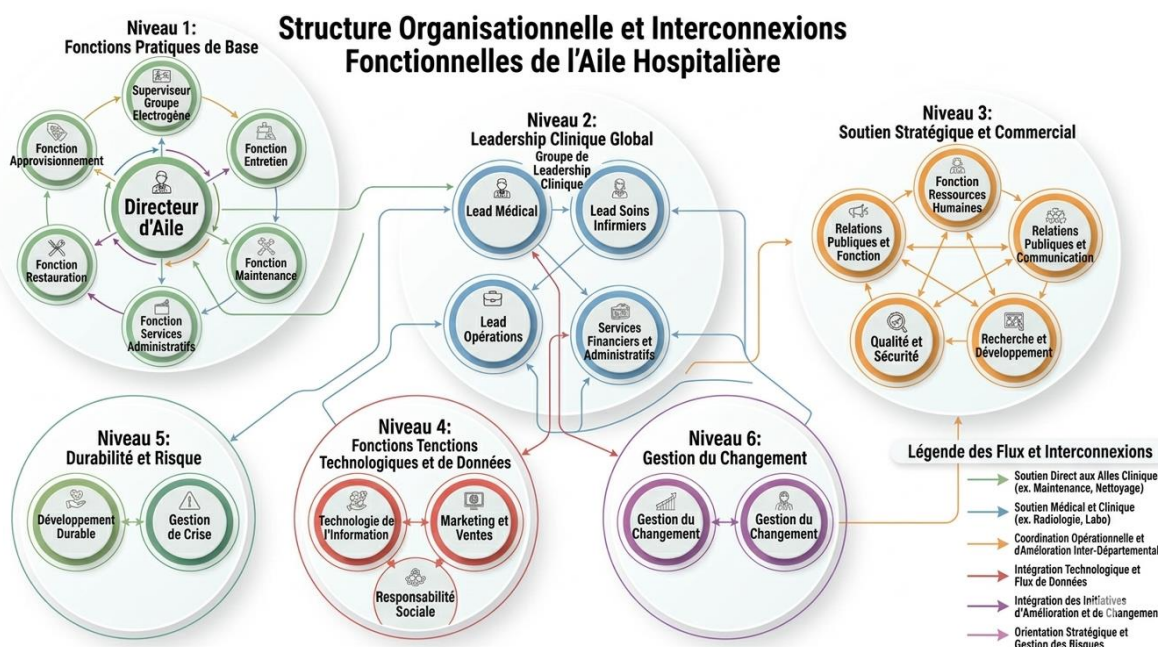


Figure 16 : Structure organisationnelle et interconnexions fonctionnelles de l'aile hospitalière.
(Source : Auteur)

³¹ Carthey et al., « Flexibility: Beyond the Buzzword — Practical Findings from a Systematic Literature Review ».

L'analyse du détail des plans montre que chaque chambre est traitée comme une suite privée. La disposition des lits est orientée vers la fenêtre, intégrant le paysage extérieur comme élément thérapeutique (Design Biophilique).³²

7.2.3. Description Architectural.

a. Analyse des volumes :

L'analyse morphologique du Gandel Wing démontre une composition urbaine stratégique visant à fragmenter la masse hospitalière pour l'intégrer harmonieusement à son environnement. Cette démarche s'articule autour de quatre principes :

- **Fragmentation volumétrique** : Des retraits stratégiques par rapport à l'alignement de la rue rompent l'effet monolithique du bâti, créant un geste d'accueil adapté à l'échelle résidentielle voisine.
- **Volume signal** : Situé à l'intersection urbaine, ce volume angulaire prédominant sert de repère visuel majeur ; il affirme l'institution tout en minimisant l'impact de sa masse au niveau du piéton.
- **Stratification verticale** : Le zonage isole la radiothérapie et la technique en sous-sol, ouvre le rez-de-chaussée aux flux publics et aux urgences, et réserve les étages supérieurs aux unités de soins pour maximiser la lumière et le calme.
- **Articulation connectique** : Un volume de liaison vertical unifie l'extension moderne à l'existant, optimisant les flux critiques inter-bâtiments tout en préservant leur autonomie architecturale.

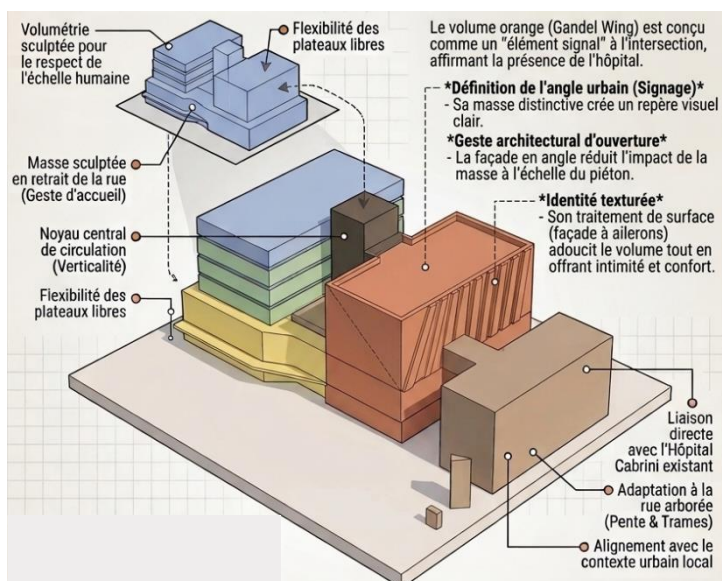


Figure 17 : Analyse de la fragmentation volumétrique et insertion urbaine. (Source : Auteur)

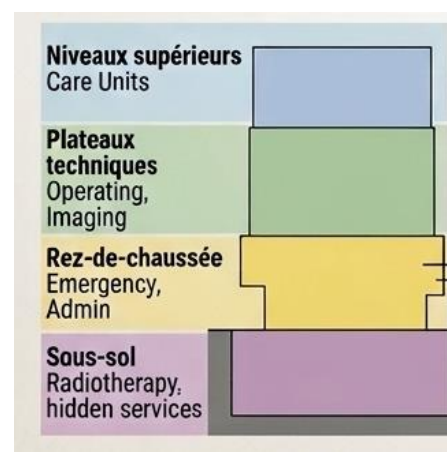


Figure 18 : Analyse volumétrique par niveaux (Source : Auteur)

³² Ulrich, « View through a Window May Influence Recovery from Surgery ».

b. Analyse des façades :

La façade du bâtiment se distingue par une expression contemporaine qui équilibre transparence et opacité à travers un rythme horizontal régulier. Cette composition reflète directement la stratification fonctionnelle interne : les larges bandes transparentes enveloppent les unités de soins et les chambres pour maximiser l'éclairage naturel et les vues, tandis que les portions opaques abritent les locaux techniques. Conçue comme **une peau salutogénique** et dynamique, l'enveloppe utilise des matériaux de haute technicité (verre feuilleté performant, aluminium anodisé, double vitrage low-e à contrôle solaire) dont l'alternance génère une façade visuellement « vivante » au fil de la journée. De plus, ces façades intelligentes sont connectées à une Gestion Technique du Bâtiment (BMS) qui régule automatiquement l'ensoleillement via des stores motorisés, ajuste la ventilation naturelle et contrôle la température par zone fonctionnelle

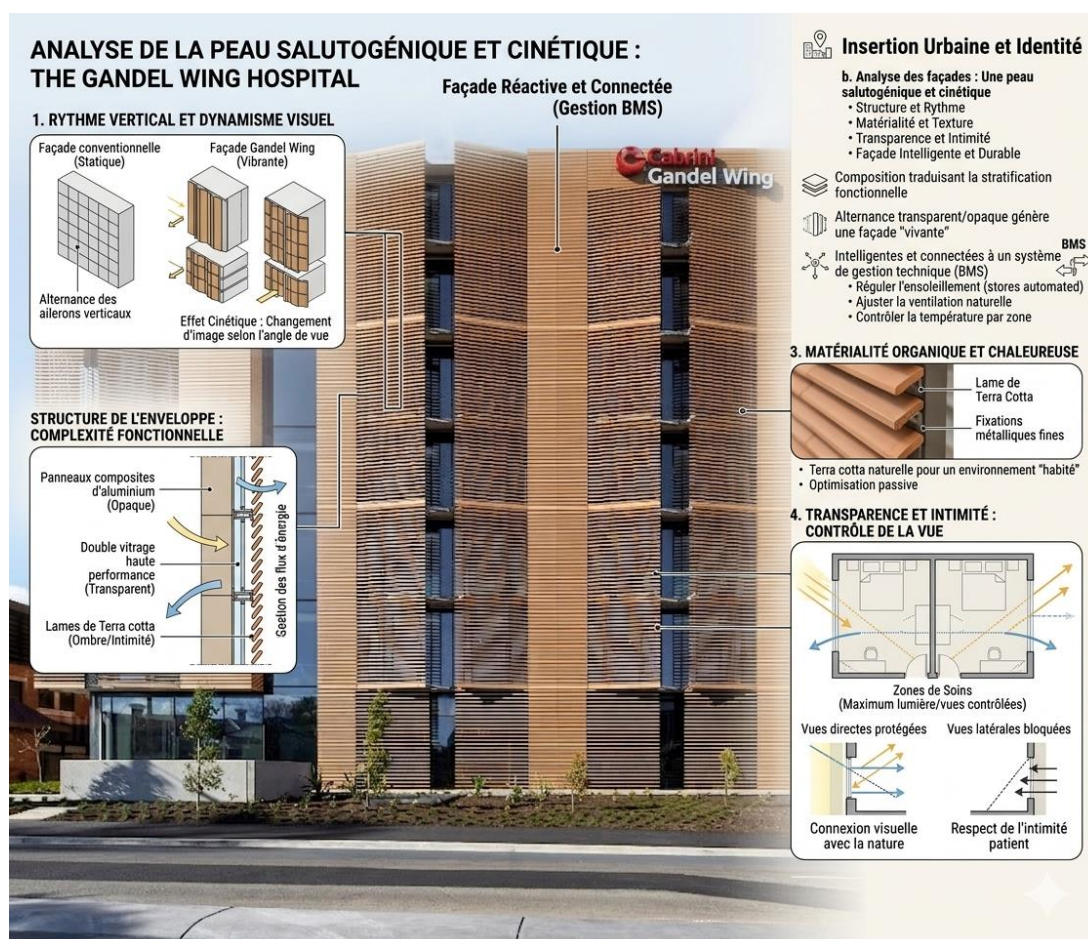


Figure 19 : Analyse de la peau salutogénique et cinétique des façades.

(Source : Auteur)

7.2.4. Description technique

Le système constructif du Gandel Wing Hospital est pensé comme un support évolutif mettant en synergie trois aspects structurels majeurs :

Typologie structurelle mixte (Béton/Acier) : Le bâtiment associe des noyaux en béton armé (circulations verticales, locaux techniques) qui assurent la rigidité latérale et la stabilité sismique, à une ossature horizontale en acier (poutres et planchers). Ce choix permet de libérer de grandes portées sans poteaux intermédiaires, offrant la flexibilité nécessaire aux réaménagements technologiques futurs.

Trame modulaire régulatrice : L'organisation portante adopte une trame régulière de 8 à 9 mètres, idéalement calibrée sur le gabarit des couloirs et des chambres types. Ce maillage rationalise la distribution des charges, favorise la répétition des éléments porteurs et optimise la mise en œuvre de composants préfabriqués.

Performance et rôle des matériaux : Le béton armé est réservé aux infrastructures (fondations), aux dalles lourdes et au contreventement, tandis que l'acier structure les franchissements horizontaux et les interfaces de façade. Les éléments d'enveloppe (verre et aluminium), bien que non porteurs, sont techniquement articulés à ce système global pour en préserver l'intégrité face aux déformations.

Bon Secours Hospital

7.3.1. Justification du choix

Compacité et maîtrise de l'échelle : Développant une capacité d'environ 96 lits, cet établissement s'affirme comme un modèle de structure de santé compacte. Son échelle intermédiaire correspond parfaitement aux ambitions dimensionnelles et



programmatiques de notre projet d'EHS. **Figure 20 :** Vue perspective du Bon Secours Hospital Limerick.

(Source : <https://reddyarchitecture.com/projects/bon-secours-hospital-limerick>)

Haute technicité et gestion des flux : L'hôpital se caractérise par une intégration poussée des technologies numériques et médicales de pointe (imagerie haute performance, blocs opératoires de dernière génération), le tout soutenu par une sectorisation optimisée du parcours et des flux de patients.

Durabilité et intelligence du bâti : Le projet démontre qu'une haute performance environnementale est indissociable d'un hôpital intelligent. Cela se traduit par une enveloppe thermique optimisée en façade, un éclairage LED généralisé et des systèmes de climatisation à haute efficacité énergétique, garantissant une exploitation éco-responsable

7.2.2. Fiche technique

- **Le nom :** Bon Secours Hospital Limerick
- **Localisation :** Limerick, Ireland
- **Architectes :** HOK & Reddy Architecture + Urbanism
- **Année :** 2025
- **Surface totale :** 23,050 m²
- **Capacité :** 96 lits (extensible à 100)
- **Typologie :** Hôpital privé à petite échelle, soins aigus, chirurgie, imagerie et Oncologie

7.3.3. Description fonctionnelle et spatiale

Fonction	Activité	Espaces	Surface (m ²)
Chirurgie	Chirurgies programmées et ambulatoires (blocs opératoires, interventions ophtalmologiques, petits actes).	Bloc opératoire (4 salles), salle d'ophtalmologie dédiée, unité de chirurgie ambulatoire (20 postes), salle de réveil pré/post-opératoire, locaux d'anesthésie et de stérilisation.	≈ 3 000 (estimation, partie des 11 610 m ² cliniques)
Imagerie diagnostique	Imagerie avancée (scanner CT, IRM, imagerie diagnostique...) et dépistage : TDM, IRM, radiographies, échographies, DEXA, mammographie, et premier PET-CT régional.	Salles d'imagerie médicale spécialisées (salle CT, salle IRM, salle PET-CT, salles RX fixes et mobiles, salles d'échographie, salle DEXA, mammographie), locaux de commande et traitement d'images, vestiaires techniques.	≈ 2 000 (estimation, partie des 11 610 m ² cliniques)
Consultations externes / HAU	Consultations ambulatoires et unités de court-séjour : consultations spécialistes, cliniques externes, hospitalisation de jour. Unité d'Accès Hospitalier (admission GP, évaluation 24h).	Salles de consultation et d'examen (consultants médicaux), laboratoire d'analyses, Unité d'Accès Hospitalier (10 lits d'observation), services de radiologie/examens CSH. (Bâtiment annexe <i>Clinical Services Hub</i> lié au bâtiment principal).	– (intégré au pôle ambulatoire et d'imagerie)
Hospitalisation (In-patient)	Soins sur lit : prises en charge hospitalières (médecine interne, gériatrie, oncologie, etc.), suites post-opératoires longues.	75 chambres individuelles en suite (toutes privées), unités de soins (placettes infirmières, halls), unité d'observation spéciale (4 lits), zones de vie familiale.	≈ 2 500 (estimation, partie des 11 610 m ² cliniques)
Cardiologie – Cath Lab	Diagnostics et interventions cardiovasculaires (angiographie, cathétérisme coronarien, cardiologie interventionnelle).	Salle de cathétérisme (cath lab de pointe), équipements d'imagerie cardiaque, salles de préparation et de récupération cardiovasculaire.	– (surface incluse dans l'aile diagnostic/chirurgicale)
Endoscopie	Examens endoscopiques (digestion, ORL, bronchoscopie, etc.) en hôpital de jour.	3 salles d'endoscopie, 20 postes de réveil endoscopique (récupération patientes), salles de préparation et stérilisation dédiées.	– (non précisé)
Support clinique & logistique	Fonctions support : pharmacie hospitalière, biologie médicale, stérilisation, approvisionnements, restauration, administration, etc..	Pharmacie (dispensation/médicament), laboratoires d'analyses médicales, service de stérilisation (CSSD), cuisine centrale, cafétéria et restaurant, oratoire, bureaux administratifs et locaux techniques.	4 482 (total services supports)

Tableau 04 : Description fonctionnelle et spatiale de Bon Secours Hospital

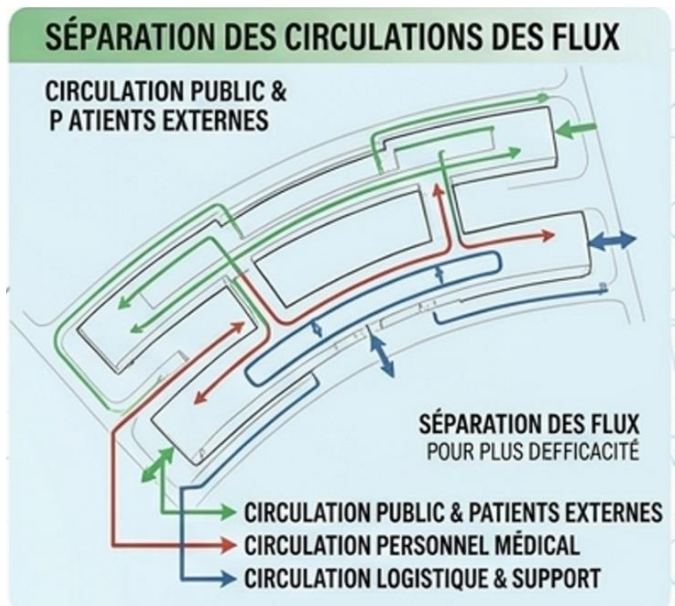
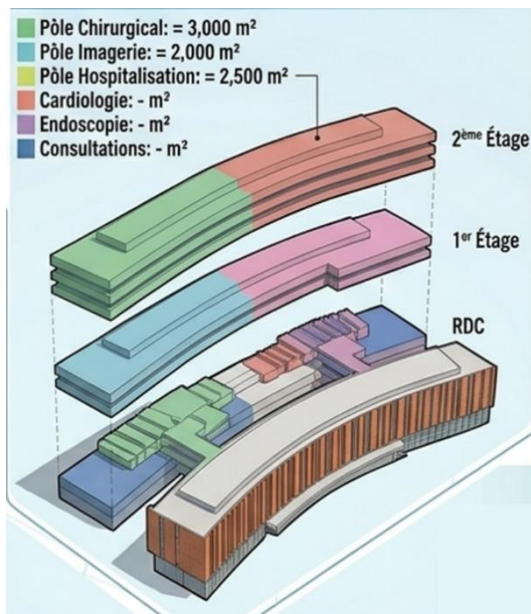


Figure 21 : Schéma de séparation des flux et circulations (Public, Personnel, Logistique).

(Source : Auteur)

7.2.3. Description Architectural.

a. Analyse des volumes :

L'établissement est divisé en deux volumes, séparés par une série de cours extérieures et reliés par des passerelles vitrées. Le bâtiment courbe accueille un hall principal, les consultations externes, les services de chirurgie ambulatoire et les chambres des patients hospitalisés, les services hospitaliers étant situés aux deuxième et troisième étages et disposés en arc afin d'offrir une vue panoramique sur le paysage environnant.

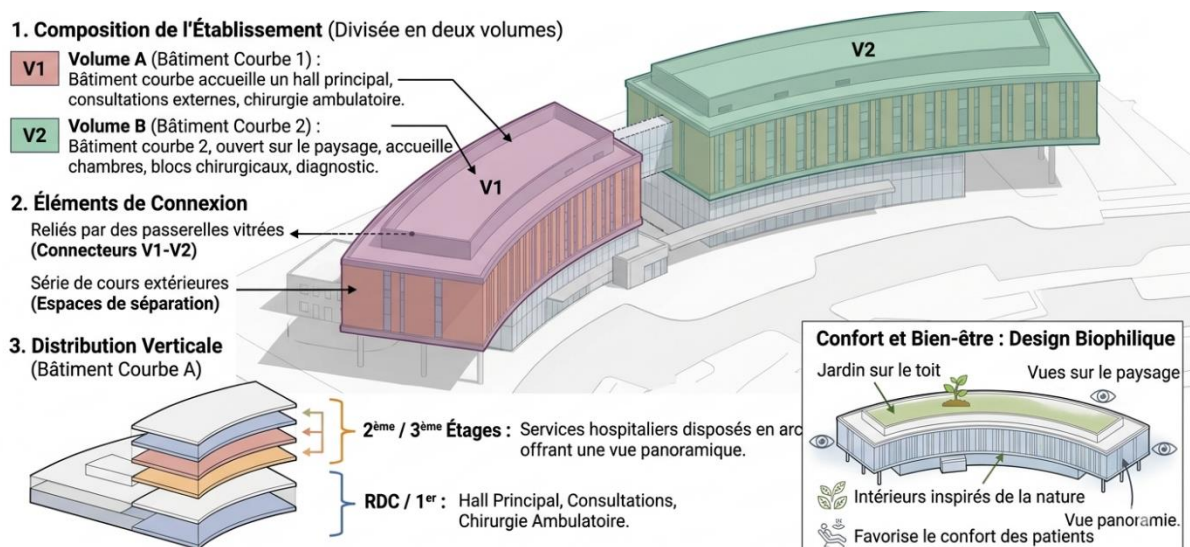


Figure 22 : Composition volumétrique et distribution fonctionnelle des bâtiments.

(Source : Auteur)

Le second bâtiment courbe, ouvert sur le paysage, accueille chambres, blocs chirurgicaux et zones de diagnostic, tout en restant connecté aux installations de soutien. Son design biophilique, avec jardin sur le toit et intérieurs inspirés de la nature, favorise confort et bien-être.

Analyse des façades :

La façade principale, en briques de terre cuite à motif rythmique, délimite les chambres et crée une atmosphère chaleureuse et apaisante, tout en mettant en valeur le design et l'équilibre des deux volumes principaux.

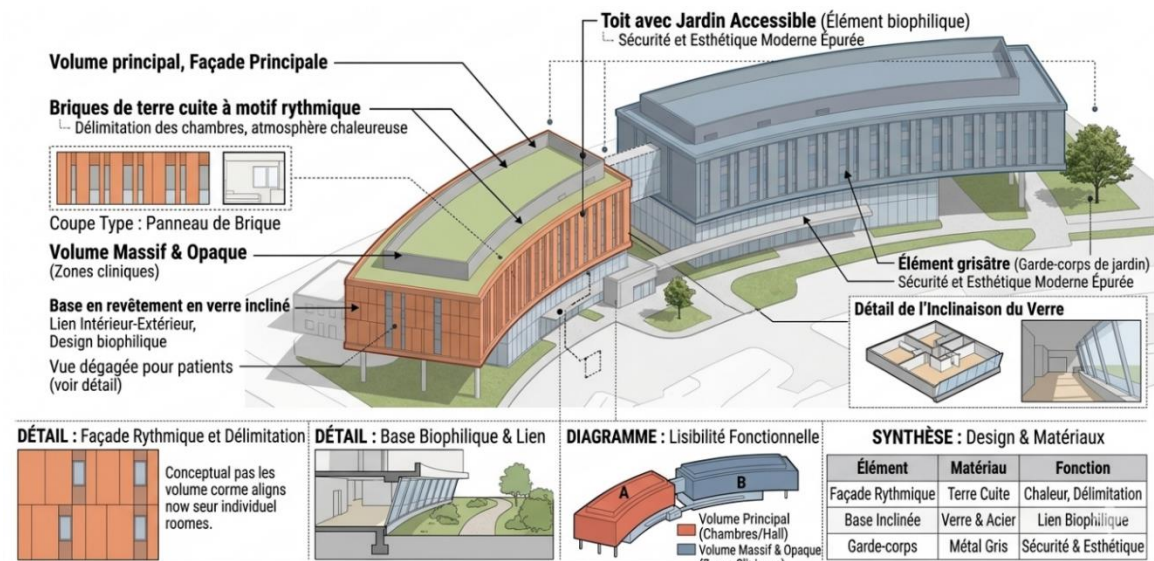


Figure 23 : Analyse des façades, matériaux et design biophilique. (Source : Auteur)

La base présente un revêtement en verre incliné, reliant l'intérieur à l'extérieur et renforçant le design biophilique. Les volumes plus massifs et opaques symbolisent les zones cliniques, distinguant clairement les fonctions tout en maintenant une lisibilité architecturale

Le toit présente des éléments grisâtres servant de garde-corps pour le jardin accessible, assurant la sécurité tout en préservant l'esthétique moderne et épurée du bâtiment.

7.1.4. Description technique

a. Type de structure

L'organisation constructive et fonctionnelle du Bon Secours Limerick Hospital repose sur une double exigence de performance physique et d'efficacité médicale :

Système constructif hybride : L'ossature principale privilégie une structure en béton armé (poteaux, poutres, dalles) indispensable pour garantir la robustesse, la sécurité incendie et l'amortissement des vibrations nécessaires aux équipements de haute précision. En complément, une ossature métallique légère est employée pour le cloisonnement intérieur,

offrant une grande flexibilité spatiale pour reconfigurer ou étendre facilement les services selon les évolutions médicales futures.

Performance clinique et haute technologie : Conçu selon les standards des hôpitaux modernes, l'établissement optimise le parcours de soins pour permettre des examens et des traitements ambulatoires (le jour même ou le lendemain). Cette réactivité est soutenue par un plateau technique d'imagerie médicale de pointe regroupant des systèmes de radiographie, scanner, IRM et échographie, garantissant un diagnostic rapide et précis.

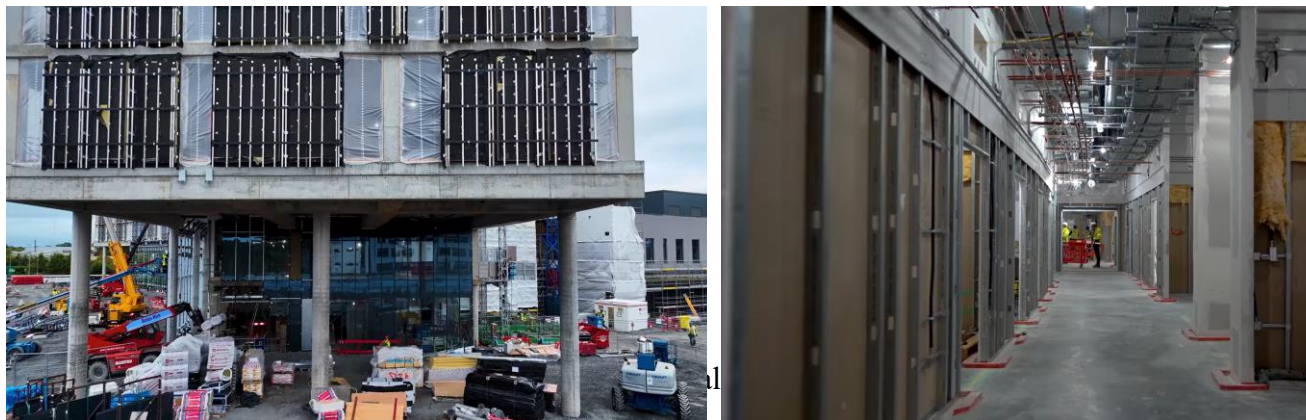


Figure 24 : la structure porteuse et système constructif du bâtiment
 (Source : <https://reddyarchitecture.com/projects/bon-secours-hospital-limerick>)

8.Comparaison entre les exemples :

Critère de comparaison	R Adams Cowley Shock Trauma	Gandel Wing Hospital	Bon Secours Hospital
Typologie	Centre de traumatologie critique (Modèle vertical compact)	Extension hospitalière privée (Design biophilique)	Hôpital privé de proximité (Compact et technologique)
Philosophie de conception	"Machine à sauver des vies" (Forme suit la fonction)	Conception centrée sur le patient et le bien-être	Haute technicité et performance environnementale
Flux et circulations	Flux verticaux ultra-rapides (Héliport vers blocs)	Séparation stricte des flux publics et cliniques	Parcours patients optimisés pour la chirurgie ambulatoire
Intégration technologique	Unités de réanimation et imagerie intégrées (TRU)	Façade intelligente connectée au système BMS	Imagerie de pointe et premier Cath Lab privé

Tableau 05 : tableau comparative entre les trois exemples .

L'analyse montre que si le centre **R Adams Cowley** privilégie la vitesse d'intervention vitale par une organisation verticale rigoureuse, le **Gandel Wing** met l'accent sur l'environnement thérapeutique à travers le design biophilique et la gestion intelligente du bâtiment (BMS). De son côté, **Bon Secours** illustre parfaitement l'efficacité d'une structure à petite échelle capable

d'intégrer une technologie de pointe dans un volume compact et durable. Ces trois modèles offrent des leçons complémentaires pour la conception d'un EHS moderne en Algérie.³³

Conclusion

En conclusion, l'évolution des structures hospitalières montre une transition du modèle pavillonnaire vers des centres médico-techniques modernes et interconnectés. Les exemples internationaux démontrent que la qualité architecturale repose sur une conception centrée sur le patient et sur une organisation efficace des circulations afin d'assurer la rapidité des interventions d'urgence.

Aujourd'hui, les hôpitaux spécialisés en traumatologie nécessitent l'intégration de technologies avancées comme le BMS et le BIM, tout en accordant une attention particulière au confort psychologique grâce au design biophilique. Ainsi, l'hôpital moderne ne constitue plus seulement un espace de soins, mais un véritable écosystème thérapeutique adaptable, humain et performant.

³³ Kirk Hamilton et Watkins, *Evidence-Based Design for Multiple Building Types*.

PARTIE THÉORIQUE :

CHAPITRE 02

Caractéristiques du bâtiment intelligent

Introduction :

Les bâtiments intelligents marquent une transition décisive d'une architecture statique centrée sur l'équipement vers des environnements dynamiques pilotés par les données qui perçoivent, raisonnent et réagissent en continu. Dans des contextes à haut risque et à forte complexité tels que les hôpitaux spécialisés en traumatologie, cette évolution ne concerne pas seulement le confort ou l'efficacité mais aussi la résilience, la sécurité des patients et la capacité à assurer des réponses cliniques rapides. En intégrant des réseaux de capteurs, d'actionneurs et de plateformes de contrôle interopérables, les bâtiments intelligents contemporains permettent un suivi en temps réel et une coordination automatisée des systèmes critiques tels que l'éclairage, le HVAC, la production et le stockage de l'énergie, les dispositifs de sécurité et les équipements cliniques, de sorte que l'environnement bâti devienne un acteur actif de la prise en charge.

Au cœur opérationnel de ces environnements se trouvent les systèmes de gestion technique du bâtiment (BMS), les architectures de l'Internet des Objets (IoT) et les stratégies de contrôle intelligentes renforcées par l'intelligence artificielle. Ensemble, ils assurent des fonctions stratifiées telles que la supervision centralisée et l'autonomie locale pour le contrôle environnemental, la maintenance prédictive et la détection des défaillances, l'optimisation des espaces et des équipements grâce au RTLS, ainsi que le soutien clinique via l'imagerie assistée par IA, le triage et la planification. Des éléments adaptatifs tels que les façades intelligentes, les systèmes de stockage climatique et les jumeaux numériques étendent ces capacités à la résilience énergétique et à la simulation de scénarios, tandis que des technologies propres au milieu hospitalier telles que les systèmes automatisés de pharmacie, la robotique chirurgicale et les plateformes de soins virtuels ou hybrides traduisent l'intelligence du bâtiment en bénéfices cliniques pour les parcours en traumatologie.

Ce chapitre rassemble les dimensions technologiques et opérationnelles nécessaires à la conception d'un EHS intelligent dédié à la traumatologie. Il définit d'abord les notions clés — BMS, IoT, HVAC, façades intelligentes — puis examine les méthodes d'IA et leurs apports dans les flux de patients et l'organisation des soins. Il s'appuie ensuite sur des études de cas internationales pour illustrer des stratégies de mise en œuvre. L'objectif est de fournir le cadre conceptuel et les principes de conception permettant d'intégrer infrastructure numérique, flux cliniques et systèmes architecturaux dans un modèle cohérent, sûr et performant de centre de traumatologie.

1. Définition bâtiment intelligent

Un bâtiment intelligent est un environnement architectural doté de systèmes interconnectés et automatisés capables de collecter et d'exploiter des données en temps réel pour optimiser son fonctionnement. Grâce à des capteurs, actionneurs, réseaux numériques et plateformes de gestion avancée.³⁴

« Un bâtiment intelligent implique l'installation et l'utilisation de systèmes technologiques avancés et intégrés au bâtiment. Ces systèmes comprennent l'automatisation du bâtiment, la sécurité incendie, les télécommunications, les systèmes utilisateurs et les systèmes de gestion des installations. »³⁵

Selon cela, un bâtiment intelligent est un type de bâtiment qui repose sur l'interconnexion de divers sous-systèmes (éclairage, CVC, sécurité, surveillance, réseaux informatiques, etc.) grâce à l'automatisation, à l'Internet des objets et à l'intelligence artificielle.

2. Gestion intelligente

2.1. Les systèmes de gestion du bâtiment (BMS)

« Les systèmes de gestion du bâtiment (BMS), également appelés systèmes d'automatisation du bâtiment (BAS), sont des systèmes informatisés installés dans les bâtiments pour contrôler et surveiller les équipements mécaniques et électriques du bâtiment, tels que le CVC, l'éclairage, l'énergie, les systèmes incendie et les systèmes de sécurité. »³⁶

Il s'agit d'un système de contrôle intelligent qui optimise l'énergie et le confort en analysant les données de nombreux capteurs. Il permet de gérer

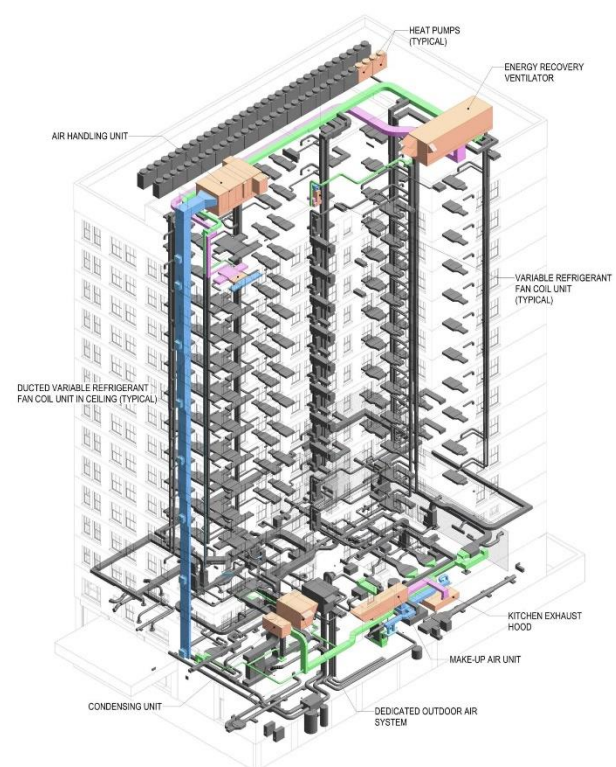


Figure 25 : Schéma global d'un bâtiment intelligent et ses composantes de santé.
(Source : https://www.researchgate.net/figure/Typical-building-management-system-BMS-infrastructure_fig1_322319275)

³⁴ Wong et al., « Intelligent Building Research: A Review ».

³⁵ Clements-Croome, *Intelligent Buildings: Design, Management and Operation*.

³⁶ Levermore, *Building Energy Management Systems: Application to Low Energy HVAC and Natural Ventilation Control*.

avec précision plusieurs composants essentiels du bâtiment,³⁷ notamment :

- Gestion du CVC (HVAC system)
- Contrôle de l'eau chaude et du chauffage
- Supervision de l'eau glacée
- Contrôle de l'éclairage
- Suivi de la consommation électrique
- Surveillance de la sécurité incendie
- Gestion des systèmes de sécurité

Comment fonctionne un système de gestion de bâtiment (BMS) ?

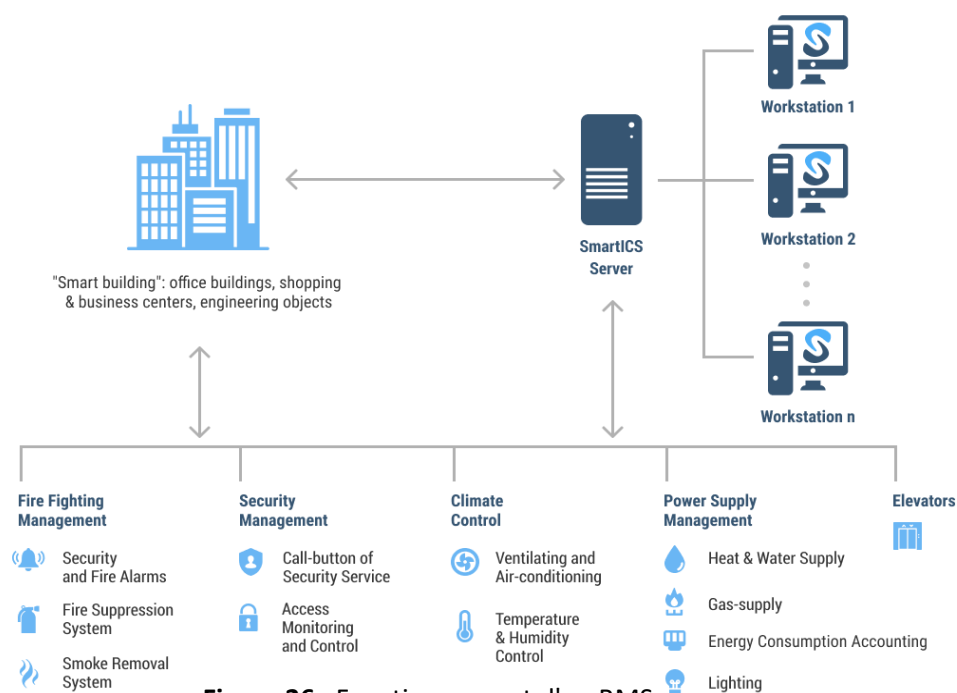


Figure 26 : Fonctionnement d'un BMS

(Source : <https://knowyourbuilding.com/what-is-a-building-management-system-how-does-it-work/>)

Un Building Management System (BMS) fonctionne en collectant les données des capteurs et équipements du bâtiment, en les traitant via des serveurs spécialisés, puis en envoyant des commandes pour contrôler les systèmes selon les réglages et les exigences. Il peut également exploiter l'IA et les données recueillies pour prendre des décisions autonomes, comme illustré dans la figure, ce processus nécessite à la fois des composants matériels et des composants logiciels :

- **Composants matériels :** panneau de contrôle, capteurs, serveurs, actionneurs, compteurs.
- **Composants logiciels :** logiciel BMS, contrôleurs, interface utilisateur.

³⁷ Dounis et Caraiscos, « Advanced Control Systems Engineering for Energy and Comfort Management in a Building Environment ».

2.2. Internet des objets (IoT) : désigne un réseau de dispositifs, capteurs et systèmes interconnectés dans un bâtiment ou un environnement urbain, capables de collecter, échanger et utiliser des données pour optimiser la performance, l'efficacité et l'expérience utilisateur.³⁸

Dans les bâtiments intelligents modernes, l'IoT relie capteurs, caméras de sécurité et dispositifs de surveillance à un système central de gestion du bâtiment. Cela permet la collecte de données en temps réel et leur traitement centralisé, assurant le contrôle automatique du HVAC, de l'éclairage, de la sécurité, de l'énergie et de la maintenance pour optimiser consommation, confort, sécurité et efficacité opérationnelle.³⁹

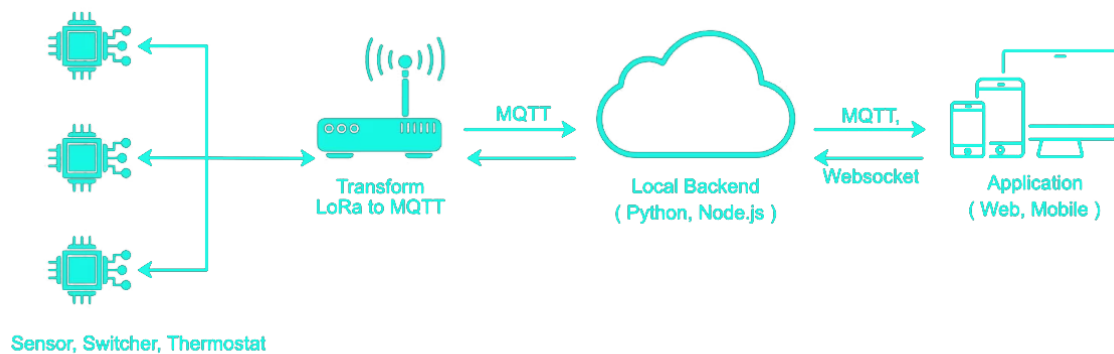


Figure 27 : Architecture IoT dans un bâtiment intelligent

(**Source :** <https://www.researchgate.net/figure/The-basic-architecture-of-an-IoT-platform-in-a-smart->

2.3. Système HVAC (Gestion du CVC) : Un système HVAC (chauffage, ventilation et climatisation) désigne l'ensemble intégré d'équipements techniques assurant le confort thermique, une ventilation adéquate et une qualité d'air contrôlée dans un bâtiment. Il régule la température, l'humidité et la filtration.

Il est considéré comme « intelligent » uniquement lorsqu'il est intégré à un BMS (Gestion Technique du Bâtiment). Le HVAC fait partie de la gestion des bâtiments intelligents lorsqu'il est :

- Connecté à un BMS/GTB pour une supervision et un contrôle centralisé.
- Équipé de capteurs IoT (température, humidité, CO₂, occupation, etc.) pour optimiser automatiquement la consommation énergétique et le confort.

2.4. Façade intelligente : il s'agit d'une enveloppe de bâtiment intelligente qui s'adapte aux conditions environnementales telles que l'ensoleillement, la température, le flux d'air et

³⁸ Zanella et al., « Internet of Things for Smart Cities ».

³⁹ Islam et al., « The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey ».

l'occupation, afin d'améliorer la performance énergétique, le confort et l'efficacité opérationnelle. Elle intègre des capteurs, des actionneurs et des matériaux réactifs pour optimiser en continu l'interaction du bâtiment avec son environnement.

Une façade intelligente permet d'économiser de l'énergie en contrôlant la quantité de chaleur, de lumière et d'air qui pénètre ou sort du bâtiment.⁴⁰



Figure 28 : Tours Al Bahar, Abu Dhabi façade intelligente à mashrabiya

Un exemple majeur de l'utilisation de tels systèmes est celui des tours Al Bahar,

(Source :https://www.researchgate.net/publication/267822695_AI_Bahar_Towers_Abu_Dhabi_Responsive_building_facade)

qui disposent d'une façade à mashrabiya intelligente. Ce système d'ombrage adaptatif bloque près de 50 % de la lumière solaire, entraînant une économie d'énergie annuelle de 40 % et une réduction de 1 750 tonnes d'émissions de CO₂.⁴¹

3. Gestion intelligente des équipements sanitaires

Dans les établissements de santé, les systèmes intelligents optimisent la performance, la sécurité et l'efficacité hospitalière. Ils surveillent et contrôlent en temps réel les fonctions critiques, améliorent l'évaluation des patients et créent des environnements adaptatifs répondant aux besoins du personnel et des patients.

Dans les centres de traumatologie, cet écosystème comprend, sans s'y limiter, l'imagerie diagnostique avancée :

1. Surveillance automatisée des patients
2. Salles opératoires intelligentes
3. Intégration des données en temps réel
4. analytics
5. Prise de décision assistée par l'IA
6. Appareils médicaux connectés
7. Systèmes intelligents de gestion des flux de patients

⁴⁰ Attia et al., « Future Trends and Main Concepts of Adaptive Façade Systems ».

⁴¹ Khidmat et al., « Al Bahar Towers Responsive Facade: Analytical Study of Adaptive Solar Shading ».

3.1 Systèmes intelligents de gestion prise en charge des patients

3.1.1 Planification automatisée des blocs opératoires et des patients hospitalisés

Les systèmes de planification automatisée des blocs opératoires et des patients hospitalisés utilisent l'IA et l'analyse prédictive pour optimiser l'utilisation des lits, des salles opératoires et du personnel hospitalier.⁴² Ils permettent de planifier de manière plus efficace les interventions chirurgicales, les sorties et les admissions des patients. Parmi les systèmes utilisés, on trouve : LeanTaaS, iQueue.

3.1.2 Support de triage par IA : Le support de triage par IA est un logiciel qui aide le personnel des services d'urgence à déterminer rapidement l'urgence de l'état d'un patient. Les systèmes de triage par IA utilisent les données fournies par le personnel pour accéder à leur base de données et évaluer la priorité d'un cas. Ils reçoivent ensuite des retours du personnel afin d'apprendre en continu et d'améliorer leur précision.

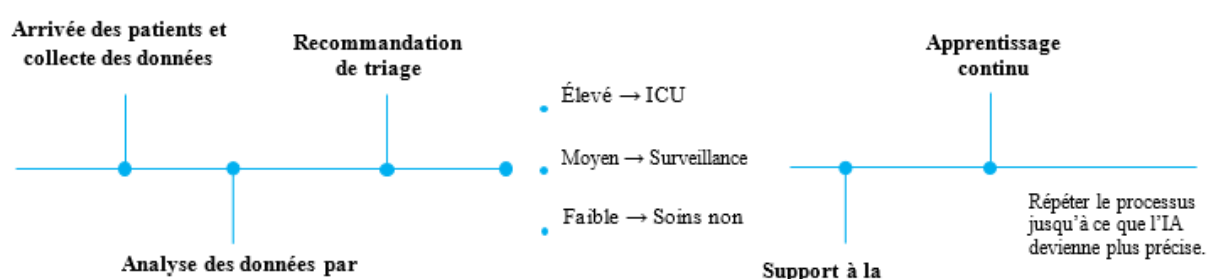


Figure 29 : Schéma fonctionnel des dimensions d'un établissement de santé. (Source : Autor)

3.1.3 Imagerie assistée par IA :

L'imagerie assistée par IA est un système qui analyse automatiquement les images médicales afin de détecter les conditions urgentes, aidant les radiologues à prioriser les cas critiques et à accélérer le diagnostic en traumatologie.⁴³

En Norvège, les données de plus de 35 000 patients provenant de quatre hôpitaux ont été collectées et intégrées

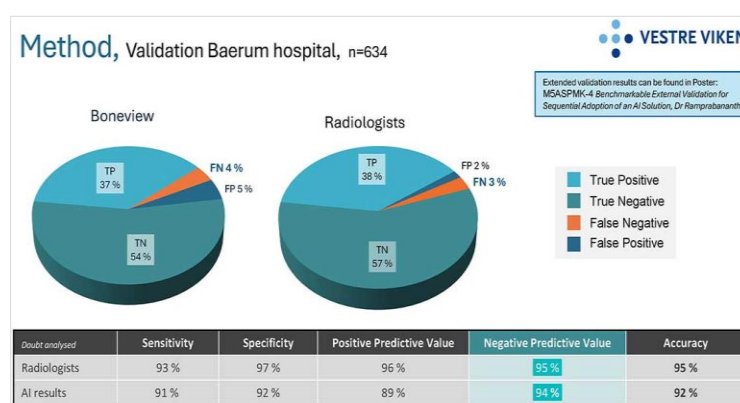


Figure 30 : Imagerie assistée par IA pour la détection des fractures

(Source : <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.211785>)

⁴² Kolker, « Process Modeling of Emergency Department Patient Flow: Effect of Patient

⁴³ Lindsey et al., « Deep Neural Network Improves Fracture Detection by Clinicians ».

dans un système d'IA (voir Figure 2). Grâce à cela, 8 500 patients sans fractures ont pu être libérés plus tôt, réduisant le temps d'attente total de 250 jours.

Cela illustre l'efficacité et l'amélioration de la qualité des soins rendues possibles par l'imagerie assistée par IA.

3.1.4 Systèmes de localisation en temps réel (RTLS)

Un RTLS est un réseau de capteurs et d'étiquettes qui suit en continu la position des patients, du personnel et des équipements dans l'hôpital (voir figure), permettant une réponse plus rapide, un flux patient plus fluide et une meilleure efficacité opérationnelle. Il accélère les interventions, organise les déplacements et sécurise le matériel.⁴⁴

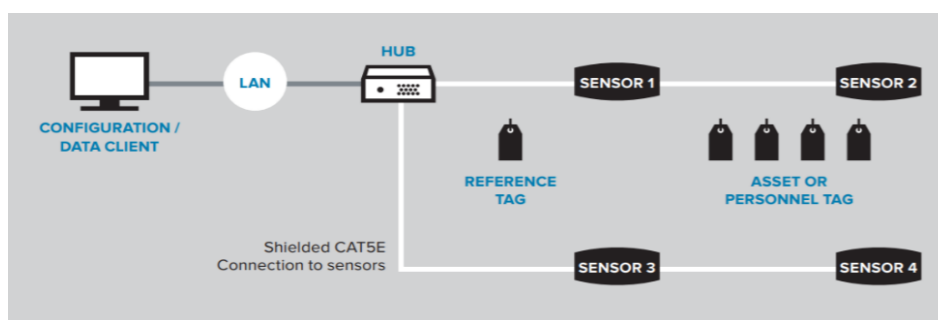


Figure 31 : Système de localisation en temps réel (RTLS) dans un hôpital

(Source : <https://www.nordichealthtech.com/>)

Un RTLS fonctionne grâce à des tags ou dispositifs émettant un identifiant via RFID, Wi-Fi, infrarouge ou ultrasons. Les capteurs captent ces signaux, offrant une visualisation et une gestion en temps réel.

3.2 Systèmes intelligents de traitement et de qualité

s3.2.1 Chirurgie robotisée : Technique chirurgicale assistée par ordinateur où le chirurgien opère via une interface robotique, permettant des interventions mini-invasives de haute précision grâce à une visualisation améliorée, une stabilité des instruments et une mise à l'échelle des mouvements.⁴⁵

La chirurgie robotique et mini-invasive réduit largement le recours à la chirurgie ouverte grâce à de petites incisions, des instruments flexibles et des outils guidés par caméra. Ces systèmes

⁴⁴ Maguire, « RTLS Technology in Hospitals: A Systematic Review of Patient and Staff Tracking Applications ».

⁴⁵ Pugin et al., « History of Robotic Surgery: From AESOP and ZEUS to da Vinci ».

diminuent le risque d'erreurs en stabilisant les gestes, en filtrant les tremblements et en offrant une meilleure visibilité.⁴⁶

3.2.2 Pharmacies intelligentes/automatisées

Technologies informatisées ou robotiques utilisées en milieu hospitalier pour stocker, préparer, distribuer et tracer les médicaments avec une grande précision.

Elles s'appuient sur la robotique, la vérification par code-barres/RFID, la gestion d'inventaire en temps réel et l'intégration au dossier médical électronique (EHR) afin de réduire les erreurs médicamenteuses, optimiser le flux de travail, assurer la traçabilité et améliorer la sécurité du patient.

3.2.3 Hôpital virtuel / plateformes d'IA pour soins aigus à distance : Système numérique permettant d'étendre les soins hospitaliers au domicile ou dans un environnement distant.

Il combine surveillance continue, support décisionnel assisté par IA, télémedecine et alertes intelligentes pour gérer des patients en soins aigus hors de l'hôpital.

Ces plateformes combinent le suivi post-opératoire et post-hospitalisation en traumatologie grâce au suivi assisté par IA et à la rééducation à domicile, permettant une détection précoce des complications, moins de réadmissions et une récupération plus sûre.

3.2.4 Impression 3D d'implants et de prothèses orthopédiques : L'essor de l'impression 3D

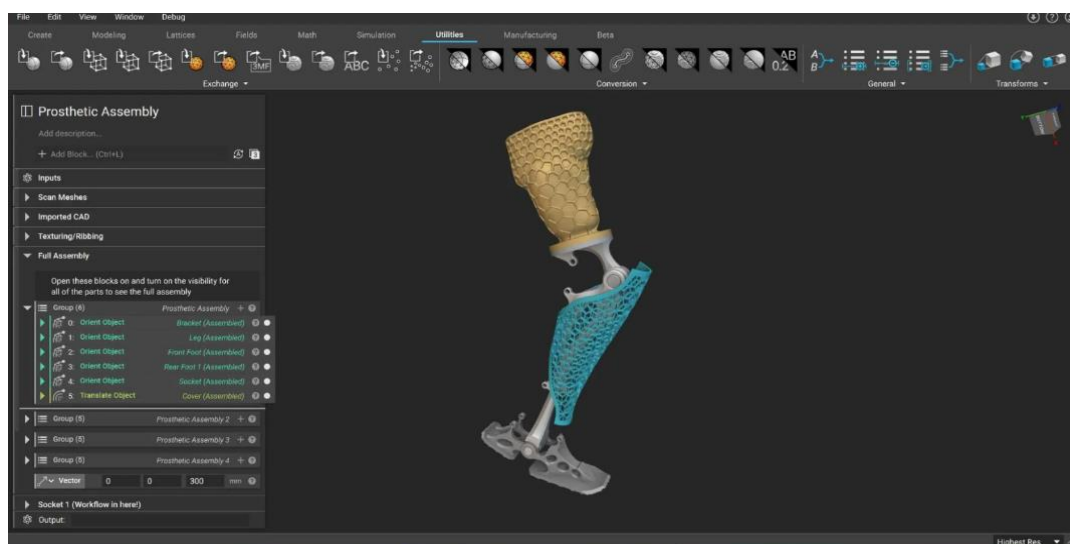


Figure 32 : Modèle CAO d'une prothèse de jambe sur la plateforme nTop

(Source : <https://www.ntop.com/case-studies/3d-printed-orthopedic-implants/>)

⁴⁶ Lanfranco et al., « Robotic Surgery: A Current Perspective ».

permet aux chirurgiens de produire des implants personnalisés, adaptés précisément à l'anatomie du patient à partir d'images IRM ou CT. Cette approche accélère les interventions, améliore les résultats cliniques et réduit les complications liées aux implants standards.

Fonctionnement : Une image 3D de l'implant est générée à partir des données DICOM issues du scanner ou de l'IRM. Ces données sont converties en modèle CAD, où les ajustements nécessaires sont effectués pour garantir un ajustement exact. L'implant est ensuite imprimé couche par couche avec des matériaux biocompatibles, produisant un dispositif parfaitement adapté au traumatisme du patient.

Le système d'impression 3D des implants prothétiques permet de :

- Formes complexes
- Efficacité économique
- Implants personnalisés
- Production rapide.
- Matériaux bioactifs et résorbables

4. Définition Artificial Intelligence (AI)

L'intelligence artificielle (IA) désigne des systèmes informatiques capables d'accomplir des tâches nécessitant habituellement l'intelligence humaine. Selon John Kelleher, l'IA est « ***ce domaine de recherche qui se concentre sur le développement de systèmes informatiques capables d'exécuter des tâches et activités normalement considérées comme requérant l'intelligence humaine*** ». ⁴⁷

L'IA peut reproduire plusieurs capacités cognitives humaines, comme la perception, le raisonnement, l'apprentissage, la résolution de problèmes et la prise de décision. Elle analyse de grandes quantités de données via des algorithmes pour détecter des motifs, prédire ou agir, sans instructions détaillées pour chaque situation.

L'IA peut être classée selon ses capacités et son stade de développement, allant de systèmes conçus pour des tâches spécifiques et limitées à des formes plus avancées visant à reproduire des aspects plus larges de l'intelligence humaine (voir figure). ⁴⁸

⁴⁷ Kelleher, *Deep Learning*.

⁴⁸ LeCun et al., « Deep Learning ».

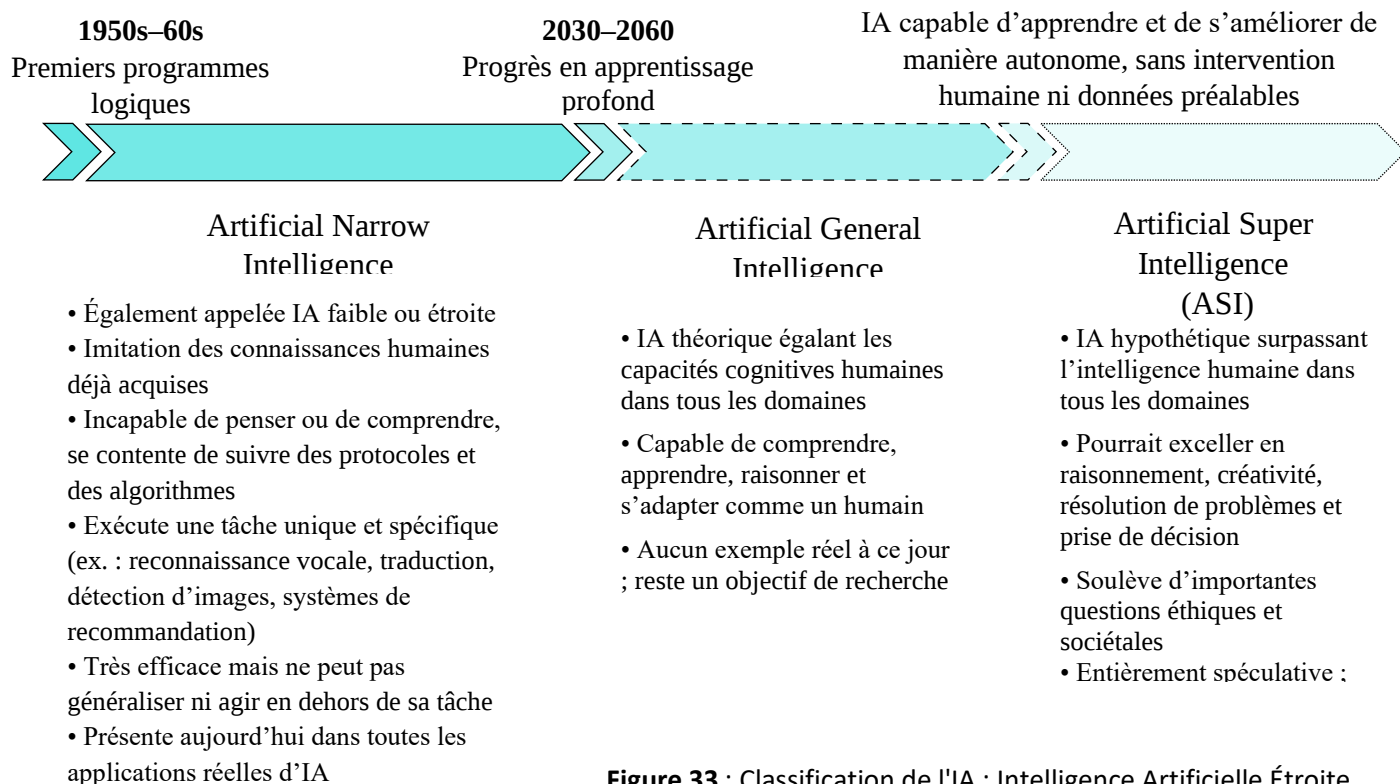


Figure 33 : Classification de l'IA : Intelligence Artificielle Étroite (ANI), Générale (AGI) et Superintelligence (ASI)

(Source : Autor)

5. Techniques d’entraînement de l’IA

5.1 Algorithmes d’apprentissage automatique

L’intelligence artificielle (IA) désigne un ensemble d’algorithmes et de systèmes capables d’apprendre, de raisonner et de prendre des décisions à partir de données. L’IA moderne repose souvent sur l’apprentissage automatique, une sous-discipline qui permet aux systèmes d’améliorer leurs performances au fil du temps grâce à l’expérience.

Les algorithmes d’apprentissage automatique s’entraînent sur de grands ensembles de données, parfois des millions d’images ou d’éléments étiquetés selon l’objectif. Comme le souligne Stuart Russell :

*« L’apprentissage est une capacité clé pour l’intelligence artificielle moderne. L’apprentissage automatique a toujours été une sous-discipline de l’IA, et signifie simplement améliorer sa capacité à bien agir grâce à l’expérience. »*⁴⁹

Ce processus permet à l’IA d’élargir sa base de connaissances, de reconnaître des motifs et de faire des prédictions de plus en plus précises sans nécessiter de programmation explicite pour chaque scénario.

⁴⁹ Russell et Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*.

5.2 Large Language Models (LLMs)

Les modèles de langage de grande taille (LLM) sont des IA capables de comprendre, générer et manipuler le langage humain. Ils traitent de vastes textes pour prédire des mots, répondre à des questions, résumer, traduire ou écrire du code. Apparues vers 2018, ces technologies, comme la série GPT d'OpenAI, sont rapidement devenues des standards.⁵⁰

Contrairement à l'apprentissage automatique classique, les LLM utilisent surtout du texte. Ils sont d'abord entraînés en auto-supervision sur des données non étiquetées, puis affinés par apprentissage semi-supervisé pour optimiser leurs performances sur des tâches spécifiques, comme le dialogue.

6.Implication de l'IA en architecture

6.1. Assistance à la conception

- L'IA peut aider à visualiser les idées et concepts dès la phase de conception, gagnant du

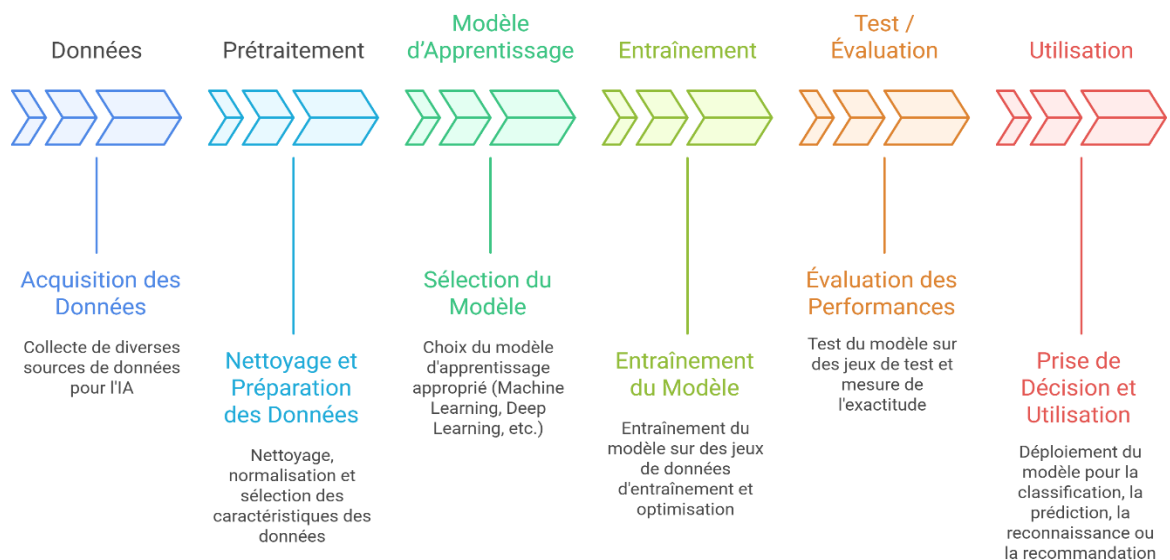


Figure 34 : Schéma du processus de l'intelligence artificielle (Source : Autor)

temps et permettant d'explorer rapidement des alternatives, tester différentes approches et affiner les concepts avant le développement détaillé.

- Elle analyse des données variées (climat, occupation, comportement des utilisateurs) pour proposer des solutions architecturales plus efficaces et réactives.

⁵⁰ Vaswani et al., « Attention Is All You Need ».

- L'IA améliore la visualisation en générant rapidement des images réalistes (voir figure), offrant un retour en temps réel, des visites VR/AR et des schémas BIM clairs, facilitant la communication et la prise de décision.⁵¹
- Elle évalue les plans pour l'efficacité, l'ergonomie et la fonctionnalité, suggérant des améliorations de circulation, d'éclairage ou de disposition des pièces.



Figure 35 : Visualisation architecturale

(Source : <https://www.archdaily.com/981498/house-of-concrete-experiments-samira-rathod-design-associates>)

- L'IA étudie les flux de circulation pour anticiper et proposer des itinéraires optimisés, réduisant la congestion et améliorant le confort des utilisateurs.
- Elle optimise l'aménagement des espaces selon la circulation, l'adjacence et le comportement des utilisateurs, et automatise les tâches répétitives comme la planification.

6.2. Bâtiments intelligents et intégration de l'IoT :

- L'IA optimise les bâtiments intelligents en analysant les données IoT pour améliorer la consommation énergétique, automatiser les systèmes et le confort des occupants.
- Elle peut anticiper la maintenance, ajuster les conditions environnementales en temps réel et adapter le bâtiment aux variations d'occupation ou aux conditions extérieures, le rendant plus sûr et réactif.
- L'IA exploite les données climatiques historiques et en temps réel pour piloter les façades intelligentes, ajustant stores, lames orientables ou vitrages électrochromiques pour réguler chaleur, lumière et flux d'air, tout en assurant confort et efficacité énergétique.

⁵¹ Sacks et al., *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*.

6.3. Optimisation de la construction et analyse énergétique

- L'IA optimise la construction en analysant plannings, matériaux et logistique, réduisant déchets et retards.
- Elle simule des scénarios de conception et de construction pour identifier les méthodes les plus efficaces et sécurisées, assurant stabilité et conformité aux normes.
- L'analyse énergétique pilotée par l'IA prédit la consommation d'un bâtiment, guidant vers des stratégies durables et économiques.
- En surveillant énergie et conditions environnementales en temps réel, l'IA recommande des ajustements pour le HVAC, l'éclairage et les opérations, garantissant efficacité.
- Elle détecte précocement les problèmes structurels via capteurs, modèles 3D et IoT, permettant des interventions proactives.

L'IA améliore l'architecture paramétrique en générant des conceptions efficaces basées sur structure, lumière et matériaux, optimisant formes et fabrication.⁵² Le pont MX3D illustre l'usage de la conception générative et paramétrique pour produire une structure en acier imprimée en 3D économiquement efficiente.



Figure 36 : Pont MX3D Amsterdam — conception générative et impression 3D en acier

(Source : <https://mx3d.com/projects/mx3d-bridge/>)

⁵² Oxman, « Thinking Difference: Theories and Models of Parametric Design Thinking ».

7. Cas d'étude

7.1. L'hôpital Johns Hopkins, Baltimore, États-Unis

7.1.1. Situation :

L'hôpital est situé dans l'est de Baltimore, intégré au campus médical Johns Hopkins. Il s'insère dans un tissu urbain dense, entouré de bâtiments de recherche, d'enseignement et cliniques, et est relié au campus par des passerelles surélevées et des infrastructures souterraines.



Figure 37 : Hôpital Johns Hopkins, Baltimore

(Source : <https://www.hopkinsmedicine.org/johns-hopkins-bayview/about-us/maps-directions>)

7.1.2. Fiche technique

- **Le nom :** L'hôpital Johns Hopkins
- **Localisation :** Baltimore, Maryland, États-Unis
- **Architectes :** Original : John Rudolph Niernsee / Cabot & Chandler
Nouveau bâtiment clinique majeur (2012) : Perkins+Will — Sheikh Zayed Tower, Charlotte R. Bloomberg Children's Center
- **Année :** 2012
- **Surface totale :** 148 645 m²
- **Typologie :** Centre médical universitaire / hôpital tertiaire / centre de traumatologie de niveau

7.1.3. Gestion intelligente du bâtiment :

Système avancé de gestion du bâtiment (BMS) – HVAC et éclairage :

L'infrastructure de l'hôpital repose sur l'automatisation avancée des bâtiments sur les campus Nord et Sud. Les centrales produisent de l'eau glacée, de la vapeur à haute pression et de l'électricité, tous gérés de manière centralisée par un Building Management System (BMS).

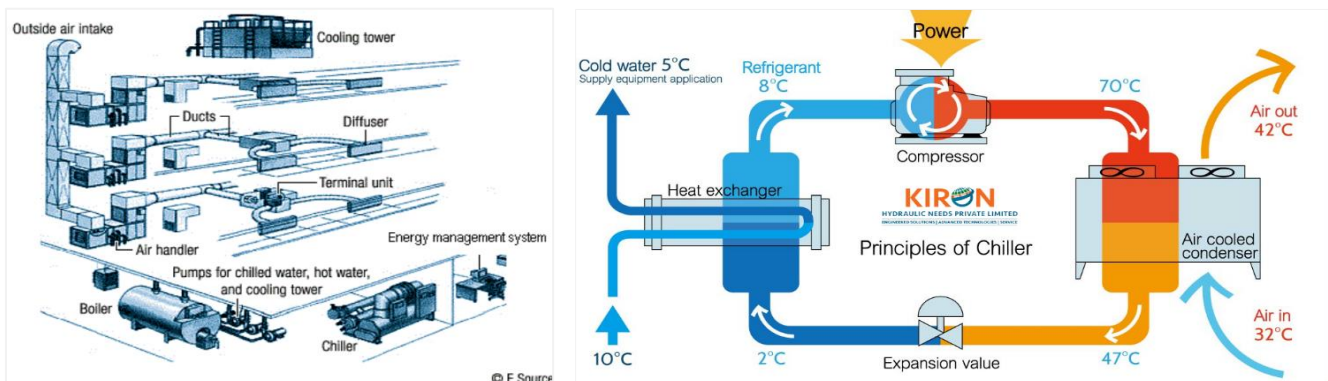


Figure 38 : Plateforme FES de gestion centralisée du BMS à Johns Hopkins

(Source : <https://engineering.jhu.edu/iae/news-events/smart-hospital-systems/>)

Le système utilise une plateforme Facility Engineering Services (FES) qui intègre refroidisseurs, pompes, tours de refroidissement et chaudières dans un réseau de contrôle unifié. Cela permet d'ajuster en temps réel la production de chauffage et de climatisation, améliorant ainsi l'efficacité énergétique et les performances.

Cette centrale intelligente fonctionne de manière automatique, améliorant l'efficacité énergétique, maintenant des conditions intérieures stables et réduisant les coûts d'exploitation.

Robotique et automatisation

Johns Hopkins a été pionnier en robotique clinique pour améliorer soins et efficacité :

- Les roboticiens de JHU ont créé le robot chirurgical « Transformer-Hierarchy », capable, après apprentissage sur vidéos, d'exécuter de manière autonome des phases clés d'ablation de la vésicule biliaire.
- En réanimation, des robots de téléprésence ont permis pendant la COVID-19 de contrôler ventilateurs et équipements à distance, économisant des EPI et réduisant le risque d'infection.
- L'hôpital utilise aussi des robots chirurgicaux commerciaux (ex. : da Vinci) et des systèmes de pharmacie automatisés, dont un ventilateur télécommandé, concentrant les cliniciens sur les soins aux patients.

Systèmes intelligents de contrôle des infections

L'hôpital Hopkins utilise des robots avancés de désinfection UV-C pour stériliser les chambres entre les patients. Ces unités mobiles émettent une lumière ultraviolette C à haute intensité qui détruit l'ADN/ARN des bactéries et virus, les empêchant de se reproduire. Elles se déplacent de manière autonome pour assurer une exposition uniforme des surfaces et de l'air, offrant une stérilisation rapide et sans contact.

Hopkins a également testé le peroxyde d'hydrogène vaporisé (VHP) pour la décontamination des chambres et du matériel médical. Un projet pilote en 2015 a permis de stériliser du matériel de bloc opératoire coûteux et a reçu le prix environnemental « Trailblazer » pour son efficacité.

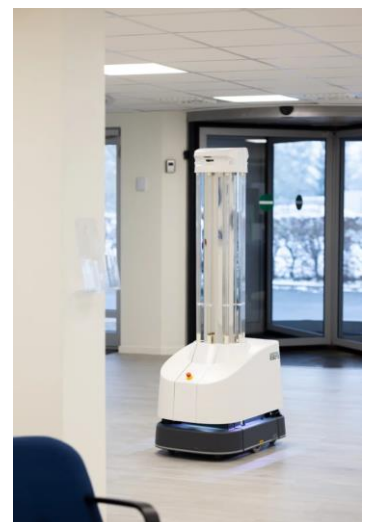


Figure 39 : Robot de désinfection UVC à l'hôpital Johns Hopkins

(Source : <https://www.blue-ocean-robotics.com/>)

- **Jumeaux numériques et environnements de simulation** : Hopkins utilise des modèles virtuels pour optimiser soins et opérations. Pour les patients, des cœurs 3D personnalisés, comme « Geno-DT » pour l'arythmie génétique (ARVC), prédisent les rythmes dangereux et guident les interventions. Pour les infrastructures, un Command Center alimenté par IA agit comme un jumeau numérique de l'hôpital, analysant les données en temps réel.
- **Cybersécurité et gouvernance des données** : La sécurité des données est assurée par un Chief Information Security Officer et une équipe dédiée, réalisant audits HIPAA et évaluations de risques. L'authentification multifactorielle et le chiffrement complet protègent les dossiers patients.
- **Systèmes de localisation en temps réel (RTLS)** : Hopkins suit plus de 14 000 équipements et 4 000 badges de personnel, améliorant les démarrages de blocs opératoires d'environ 25 % et doublant la productivité du nettoyage. Les alertes de détresse renforcent la sécurité, et les flux automatisés surveillent chariots et équipements sur le campus.⁵³
- **Recherche et outils IA/ML** : L'hôpital développe des outils IA comme TREWsre pour le sepsis et AI Scribe pour transcrire et rédiger les notes cliniques, libérant les médecins pour plus d'interactions avec les patients. L'IA est également explorée en imagerie et génomique, tandis que le système de sepsis et AI Scribe sont déjà déployés pour améliorer le suivi et l'efficacité.

7.2. The Crystal — Londres, UK

7.2.1. Situation :

The Crystal est situé à l'extrémité du Royal Victoria Dock dans l'Est de Londres, à côté du téléphérique Emirates Air Line et proche de la station DLR Royal Victoria. Son emplacement en bord de quai et son



Figure 40 : The Crystal, Londres

(Source : <https://www.thecrystal.org/>)

⁵³ Maguire, « RTLS Technology in Hospitals: A Systematic Review of Patient and Staff Tracking Applications ».

environnement dégagé en font un repère très visible dans la zone de régénération des Royal Docks.⁵⁴

7.2.2. Fiche technique

- **Le nom :** The Crystal
- **Localisation :** Royal Victoria Dock, Londres, Angleterre
- **Architectes :** WilkinsonEyre (conception), intérieurs et aménagements d'exposition par Pringle Brandon Perkins + Will
- **Année :** 2012
- **Surface totale :** 6300 m²
- **Typologie :** Centre urbain de durabilité / lieu d'exposition et de conférences

7.2.3. Gestion intelligente du bâtiment :

Système intégré de gestion du bâtiment (BMS) – Surveillance centrale et analyse

- **BMS intelligent centralisé :** La durabilité de The Crystal est assurée par un BMS centralisé basé sur des contrôleurs BACnet PX avec une interface Siemens Desigo qui intègre la CVC, les pompes, les variateurs, les pieux énergétiques et les systèmes de traitement de l'eau sur un seul réseau.⁵⁵

- **Optimisation en temps réel :** Tous les équipements transmettent en continu leur état, permettant au BMS d'appliquer des analyses en temps réel pour optimiser le confort, la consommation d'énergie et l'efficacité du système.⁵⁶

- **Panneaux de contrôle utilisateur :** Les occupants peuvent ajuster l'éclairage, la température, les stores et la ventilation via des panneaux locaux tandis que les algorithmes du BMS calculent les consignes idéales en temps réel.

- **Surveillance complète des performances :** Tous les systèmes énergétiques et hydrauliques sont mesurés pour le LEED/BREEAM, offrant aux gestionnaires un tableau de bord unique qui signale rapidement les problèmes et maintient une performance ultra-faible en carbone.

Automatisation/Infrastructure de contrôle des bâtiments basée sur KNX

The Crystal dispose d'un réseau KNX de plus de 2 500 dispositifs offrant un contrôle intelligent local de l'éclairage, des stores et de la CVC. Entièrement intégré au BMS central, chaque dispositif envoie son état en temps réel et reçoit des commandes, permettant des actions

⁵⁴ Siemens, « The Crystal — Smart Building Case Study ».

⁵⁵ Siemens AG, *The Crystal: One of the World's Most Sustainable Buildings*.

⁵⁶ Buckman et al., « What is a Smart Building? »

coordonnées comme l'atténuation automatique des lumières ou le réglage des stores pour optimiser l'éclairage naturel et l'efficacité énergétique.

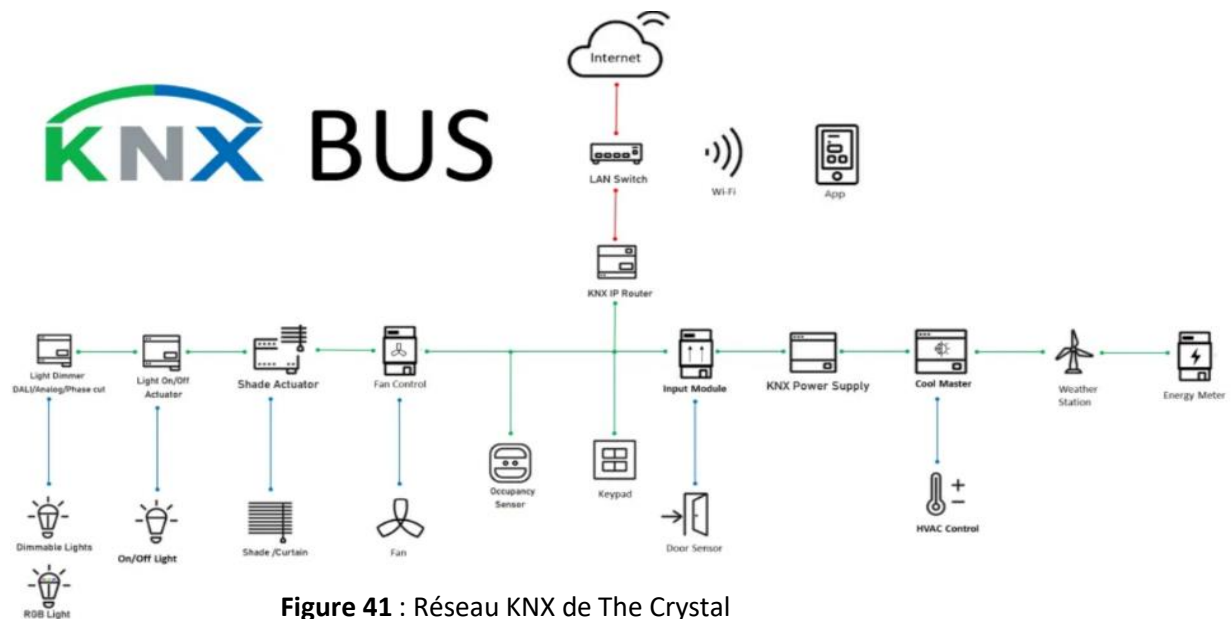


Figure 41 : Réseau KNX de The Crystal

(Source : <https://www.siemens.com/global/en/products/buildings/designo-building-automation.html>)

Chaque capteur ou actionneur KNX (mouvement, interrupteurs, température,) communique via le bus KNX-IP, assurant un contrôle décentralisé par pièce. Le contrôle local s'aligne ainsi sur les stratégies globales du bâtiment, optimisant énergie et lumière naturelle.

Intégration incendie, sécurité et protection des personnes via le BMS :

Les systèmes de sécurité de The Crystal sont entièrement intégrés au BMS, qui relie les alarmes incendie, détecteurs de fumée, interfaces d'urgence et analyses CCTV pour détecter instantanément tout incident. Lors d'une alarme, le système ferme automatiquement les registres, déverrouille les portes et déclenche l'éclairage ainsi que les alertes.

Éclairage intelligent, récupération de lumière naturelle et contrôle des stores

L'éclairage de The Crystal est entièrement automatisé et adapté à la lumière du jour. Environ un tiers des luminaires sont des LED, le reste des fluorescents haute efficacité. Tous sont adressables via DALI et reliés à

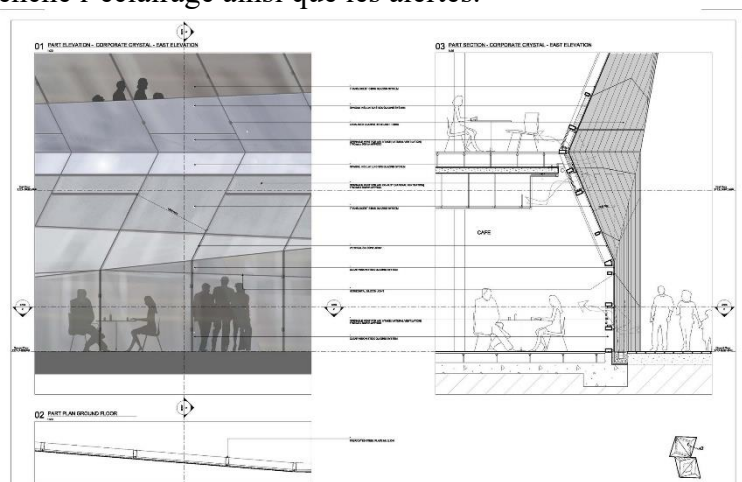


Figure 42 : Façade vitrée de The Crystal et éclairage naturel

(Source : <https://www.wilkinsoneyre.com/projects/the-crystal>)

des capteurs de lumière et de présence, fonctionnant uniquement lorsque les espaces sont sombres ou occupés.

La façade en verre facetté contribue à l'éclairage naturel : six types de vitrages laissent passer ~70 % de la lumière visible tout en bloquant ~30 % de la chaleur solaire.

Stores et ventilation sont automatisés via KNX. Le BMS les ouvre pour exploiter la lumière naturelle ou la ventilation, et les ferme en cas de gain solaire excessif, pluie ou vent, assurant confort et économie d'énergie

Data Display & Interactive Analytics

Le bâtiment de 6 300 m² comprend de nombreuses installations interactives et tableaux de bord. Plus de 50 écrans tactiles et jeux permettent aux visiteurs d'explorer l'urbanisme et l'utilisation des ressources.

Ces dispositifs sont pilotés par un système de gestion de contenu .The Crystal affiche toutes les données BMS des capteurs et de la station météo sur le toit, présentées sur deux niveaux :

1. exposition éducative publique avec calculateurs de durabilité en temps réel,
2. tableau de bord opérationnel pour les ingénieurs, offrant un retour immédiat.

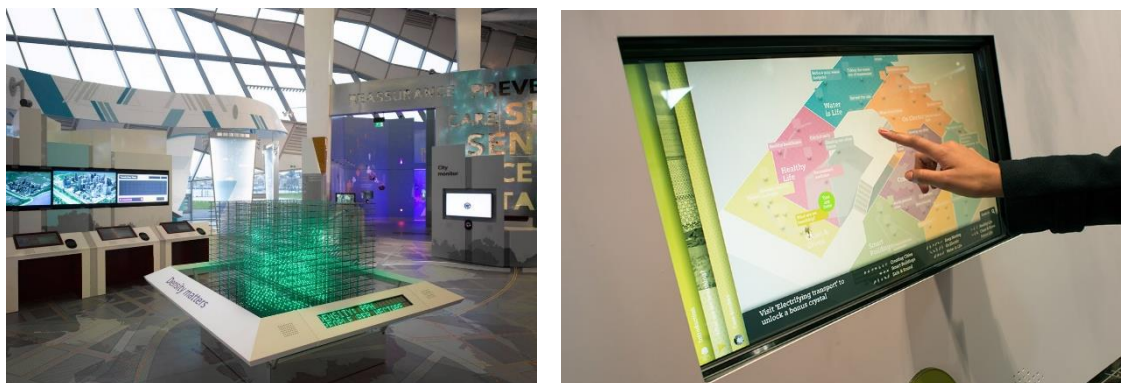


Figure 43 : Tableaux de bord interactifs et écrans tactiles dans The Crystal

(Source : <https://www.siemens.com/uk/en/company/topic-areas/smart-infrastructure/case-studies/the-crystal.html>)

7.3. The Edge — Amsterdam

7.3.1. Situation :

The Edge est situé dans le quartier d'affaires Zuidas à Amsterdam, le long de Gustav Mahlerlaan, entouré de sièges sociaux et de nouveaux projets à forte densité. Le site est bien desservi par les transports en commun et s'intègre dans une zone urbaine en pleine expansion, axée sur la durabilité, l'innovation et les infrastructures de bureaux modernes.⁵⁷

⁵⁷ PLP Architecture, « The Edge — Amsterdam ».

7.3.2. Fiche technique

- **Le nom :** The Edge
- **Localisation :** Gustav Mahlerlaan 2970, Zuidas, Amsterdam, Pays-Bas
- **Architectes :** PLP Architecture
- **Année :** 2014
- **Surface totale :** 40000 m²
- **Typologie :** Bâtiment de bureaux haute performance et intelligent / smart office



7.3.3 Gestion intelligent du bâtiment :

Réseau de capteurs IoT

The Edge utilise plus de 28 000 capteurs répartis dans les plafonds, luminaires et nœuds pour suivre l'occupation, les niveaux de lumière, la température l'humidité, la présence infrarouge et la qualité de l'air.⁵⁸

Toutes les données des capteurs sont adressables en IP et transmises en continu vers la plateforme de données du bâtiment pour des analyses et un contrôle quasi en temps réel.

Comme les capteurs sont intégrés au réseau d'éclairage, ce dernier sert de réseau principal de détection, fournissant au bâtiment des données spatiales et temporelles très détaillées pour l'optimisation énergétique et l'analyse de l'utilisation des espaces.

Building Management System

Un BMS centralisé collecte les données des capteurs et luminaires, appliquant des stratégies de contrôle pour l'éclairage, la CVC et les stores tout en fournissant des tableaux de bord aux opérateurs. Intégré aux plateformes des fournisseurs et aux outils d'analyse, il ajuste les systèmes selon l'occupation réelle et la lumière du jour, optimisant de manière coordonnée énergie, confort et performance du bâtiment.

Smart HVAC

The Edge dispose d'un système CVC haute efficacité combinant pompes à chaleur, chauffage/refroidissement par le sol, plafonds climatiques et stockage thermique saisonnier par aquifère (ATES). Connecté à plus de 28 000 capteurs IoT, il conditionne uniquement les zones occupées, réduisant la consommation énergétique.

Figure 44 : The Edge, Amsterdam

(Source : <https://www.plparchitecture.com/projects/the-edge/>)

⁵⁸ Vries et Donovan, « The Edge Amsterdam: A Case Study in Smart Building Technology ».

Il utilise également des commandes prédictives intégrant prévisions météo, occupation et production PV en temps réel pour optimiser l'opération des pompes à chaleur et le chargement/déchargement de l'ATES. Les journées ensoleillées permettent de pré-refroidir les espaces ou de stocker l'excédent thermique, réduisant la demande sur le réseau.⁵⁹

ATES (Aquifer Thermal Energy Storage)

L'ATES est un système souterrain saisonnier qui stocke chaleur ou froid dans des aquifères naturels. À The Edge, il capture l'excès de refroidissement en été et stocke la chaleur pour le chauffage hivernal, réduisant la dépendance aux systèmes CVC conventionnels. Il fonctionne comme une grande batterie thermique saisonnière utilisant des nappes d'eau souterraines.

The Edge utilise deux puits d'aquifère un chaud et un froid pour l'échange thermique saisonnier, avec des températures d'eau typiques de 10–18 °C (froid) et 18–28 °C (chaud). Les pompes à chaleur ajustent ensuite le confort intérieur.

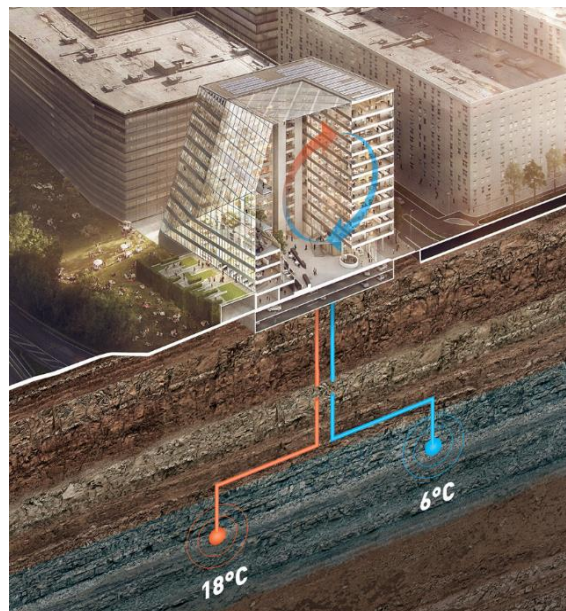


Figure 45 : Système ATES stockage thermique en aquifère de The Edge

(Source : <https://www.plparchitecture.com/projects/the-edge/>)

Jumeau numérique / Plateforme de données du bâtiment (plateforme Deloitte)

Un jumeau numérique est un modèle virtuel du bâtiment, reproduisant structure, CVC, éclairage, capteurs et activités des occupants. À The Edge, il permet :

- Optimisation énergétique : simule les interactions entre systèmes (PV solaire, ATES, éclairage, CVC) et ajuste en temps réel pour réduire la consommation.
- Planification de la maintenance : les données des capteurs permettent une maintenance prédictive en modélisant les performances et en anticipant les pannes.
- Gestion de l'espace : suit l'usage des bureaux et salles pour optimiser l'aménagement et le hot-desking.

⁵⁹ Afroz et al., « Modeling Techniques Used in Building HVAC Control Systems: A Review ».

- Prise de décision : source unique fiable pour propriétaires, locataires et équipes techniques, facilitant les décisions opérationnelles et stratégiques en temps réel.

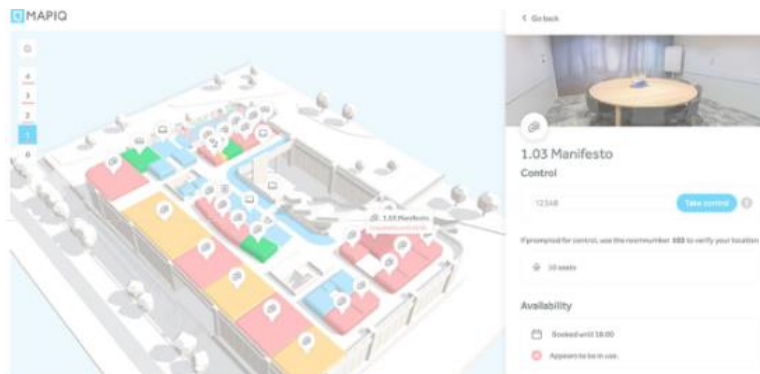


Figure 46 : Jumeau numérique de The Edge

(Source : <https://www.linkedin.com/pulse/role-smart-glass-energy-efficient-building-design-mohammed-munir-vhs1f>)

Système d'éclairage LED intelligent (PoE – Power over Ethernet)

The Edge utilise un système d'éclairage LED entièrement en réseau, où de nombreux luminaires intègrent des capteurs pour la présence, la lumière du jour et les conditions environnementales. L'alimentation et les données transitent par les mêmes câbles Ethernet (PoE), ce qui réduit la complexité du câblage et permet un contrôle individuel de chaque luminaire.

Application de bureau basée sur smartphone

the Edge fournit aux employés une application smartphone connectée aux systèmes intelligents du bâtiment. Agissant comme interface « human-in-the-loop », elle permet de contrôler en temps réel l'éclairage, la température, l'usage des espaces et la navigation.

L'application offre :

- Réservation de bureaux et salles : consulter et réserver les espaces disponibles.
- Contrôle du confort personnel : ajuster l'éclairage et la température du poste dans des limites prédéfinies.
- Orientation et navigation : localiser collègues, salles et places de parking.
- Données de présence en temps réel : signaler l'occupation pour alimenter les systèmes de gestion énergétique.

Gestion des espaces basée sur l'occupation

Aucun employé de The Edge n'a de bureau attribué. Chacun utilise l'application personnalisée Mapiq pour réserver son espace de travail selon ses tâches du jour. Ce système flexible permet au bâtiment d'accueillir efficacement 2 850 employés avec seulement 1 080 bureaux

Mapiq est une plateforme de smart office permettant aux employés de réserver bureaux tout en fournissant aux gestionnaires des données pour optimiser l'espace et le travail hybride.

Système de parking intelligent

Les places sont surveillées et l'application guide les conducteurs vers les emplacements libres. Les systèmes d'entrée transmettent les arrivées à la plateforme du bâtiment, optimisant flux et demande, réduisant circulation et émissions, et pouvant déclencher des actions comme la précondition d'un poste de travail.

Consommation énergétique

The Edge vise une performance quasi neutre en énergie grâce à des panneaux photovoltaïques sur toit et façade, un stockage thermique efficace et des contrôles intelligents. Le système ATES, associé à pompes à chaleur et plafonds climatiques, réduit les besoins en chauffage et climatisation. Plus de 28 000 capteurs IoT et des contrôles basés sur l'occupation permettent au BMS d'optimiser éclairage et HVAC en temps réel pour un fonctionnement net-zéro.

Conclusion

L'écosystème des bâtiments intelligents repose sur la mise en réseau de capteurs, d'actionneurs, d'IoT et d'une Gestion Technique du Bâtiment (BMS), optimisés en temps réel par l'IA, pour créer un environnement architectural dynamique et adaptatif. Transposée au domaine hospitalier et à la traumatologie, cette intelligence technologique transcende la simple gestion énergétique pour devenir un vecteur de performance clinique:

- **Optimisation clinique :** L'IA accélère le diagnostic par imagerie, les systèmes RTLS fluidifient les flux critiques et le personnel, tandis que HVAC intelligent et le zonage automatisé maximisent la sécurité microbiologique .
- **Mutation de la conception architecturale :** Pour le concepteur, l'hôpital ne se définit plus comme une structure figée, mais comme une infrastructure numérique modulable. Cela impose d'intégrer dès l'esquisse des layouts flexibles, une épine dorsale (backbone) numérique robuste et des espaces évolutifs capables de supporter les innovations technologiques et d'assurer une prise en charge d'urgence d'excellence.

PARTIE THÉORIQUE :

CHAPITRE 03

Choix de la zone d'intervention et programmation

1 Analyse urbain :

1.1 SITUTAION :

La wilaya de Tlemcen est située à l'extrême Nord-Ouest de l'Algérie. Elle occupe une position stratégique grâce à sa proximité avec la frontière marocaine et son ouverture sur la façade méditerranéenne. Cette situation lui confère un rôle important dans les échanges économiques, culturels et territoriaux de la région ouest du pays.

La wilaya est limitée :

- Au Nord : mer Méditerranée
- À l'Est par la wilaya de Sidi Bel Abbès
- Au Nord-Est par la wilaya d'Aïn Témouchent
- Au Sud par la wilaya de Naâma
- À l'Ouest par le Maroc.

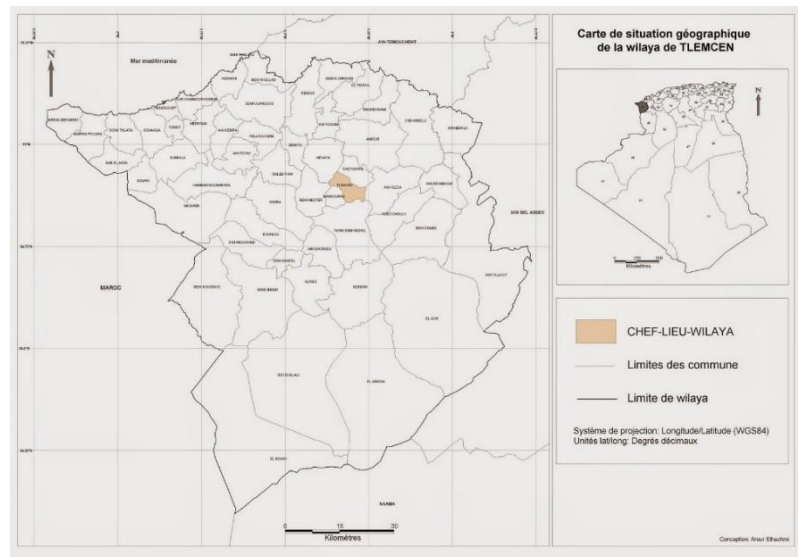


Figure 47: Carte de situation géographique de la wilaya de TLEMCEM.

Source : <https://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/2014/10/cartegeographiqueTLEMCEM.html>

1.2 Limites, périmètre et surface :

Le périmètre d'étude correspond au groupement intercommunal composé des communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Béni Mester. Cet espace est situé au centre de la wilaya de Tlemcen et couvre une superficie totale de 19 828 ha, soit environ 2,19 % de la superficie de la wilaya.

La répartition des surfaces est la suivante :

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| • Tlemcen : 4 011 ha ; | • Mansourah : 2 700 ha ; |
| • Chetouane : 4 500 ha ; | • Béni Mester : 8 617 ha. |

Cet espace se caractérise par une continuité urbaine importante entre les différentes communes, ce qui renforce son rôle de pôle urbain majeur dans la wilaya.

1.3 Environnement climatique :

1.3.1 Ensoleillement :

Tlemcen profite d'un fort taux d'ensoleillement durant la majeure partie de l'année. L'ensoleillement est particulièrement important en été, ce qui favorise l'éclairage naturel mais nécessite également des dispositifs de protection solaire afin de limiter les surchauffes.

L'orientation Sud et Sud-Est est généralement privilégiée pour assurer un bon apport solaire en hiver tout en contrôlant l'exposition estivale.

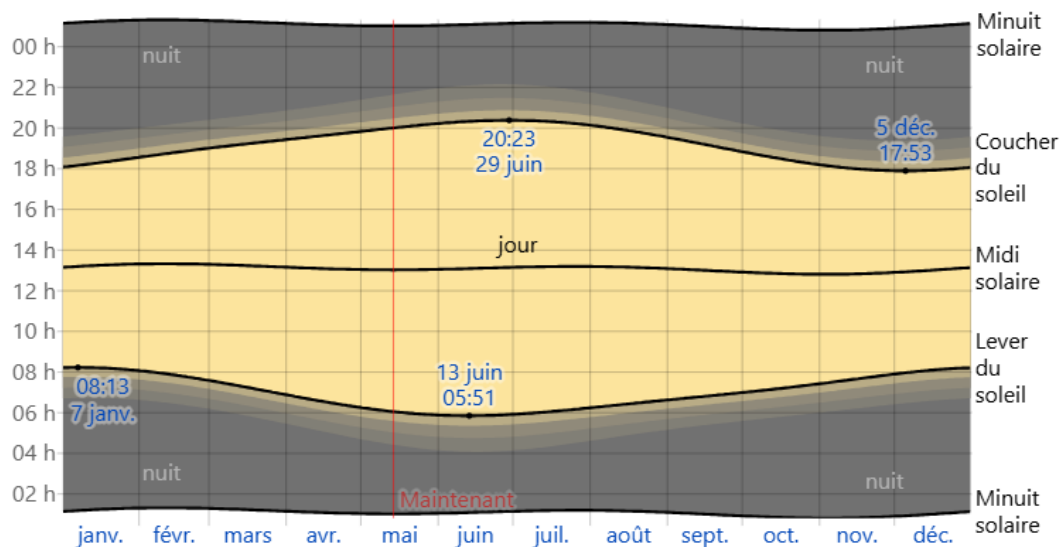


Figure 48: Lever du soleil et coucher du soleil avec crépuscule à Tlemcen.

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

1.3.2 Vents dominants et saisonniers:

Les vents dominants proviennent principalement du Nord-Ouest et de l'Ouest. En hiver, les vents humides apportent fraîcheur et précipitations, tandis qu'en été des vents chauds et secs peuvent apparaître depuis les zones intérieures.

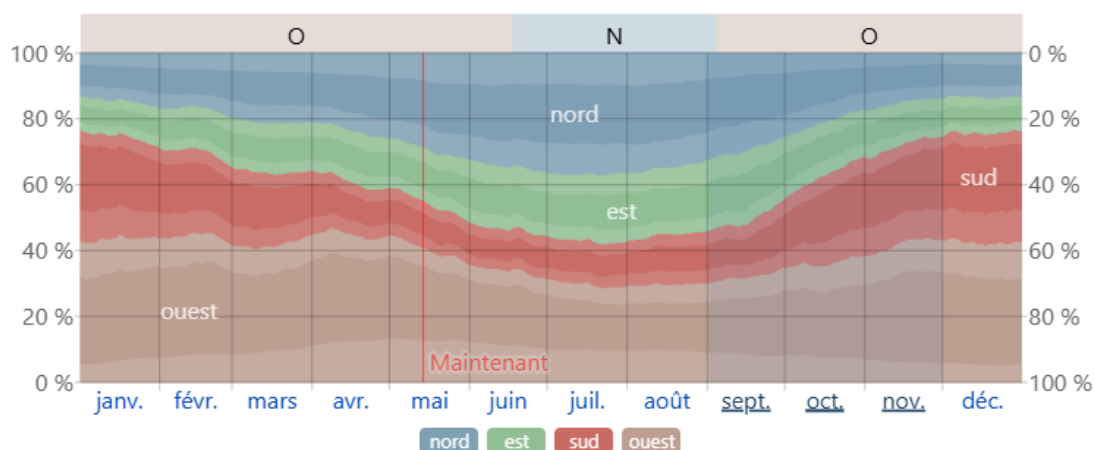


Figure 49: Direction du vent à Tlemcen

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

Ces vents influencent l'aération naturelle et la ventilation des espaces urbains et bâtis.

1.3.3 Pluviométrie:

La pluviométrie est relativement importante durant la saison hivernale, avec des précipitations concentrées entre novembre et mars. Les périodes estivales sont généralement sèches.

Cette répartition saisonnière nécessite une bonne gestion des eaux pluviales et du drainage urbain

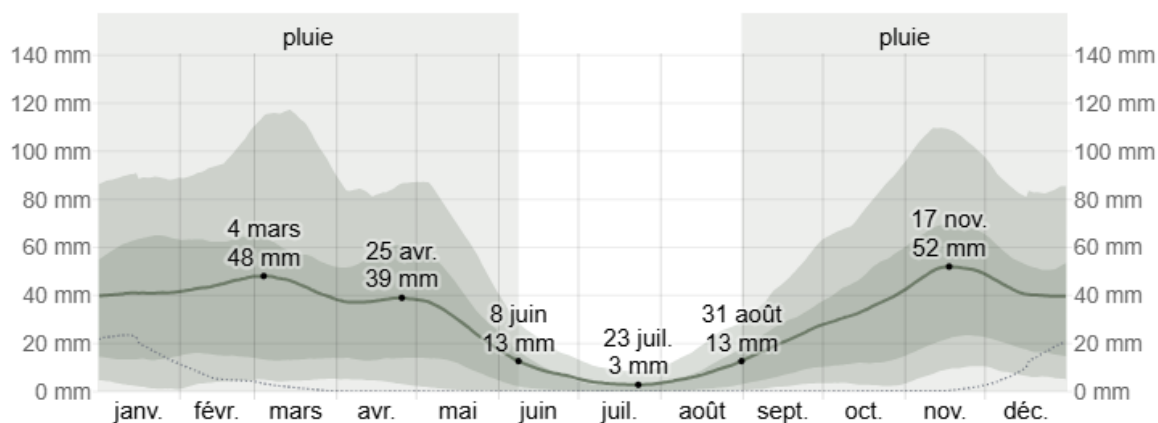


Figure 50: Pluviométrie mensuelle moyenne à Tlemcen

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

1.3.4 Température:

Les températures varient selon les saisons :

Été : températures élevées avec des moyennes pouvant dépasser 30°C ;

Hiver : températures modérées à fraîches pouvant descendre en dessous de 10°C.

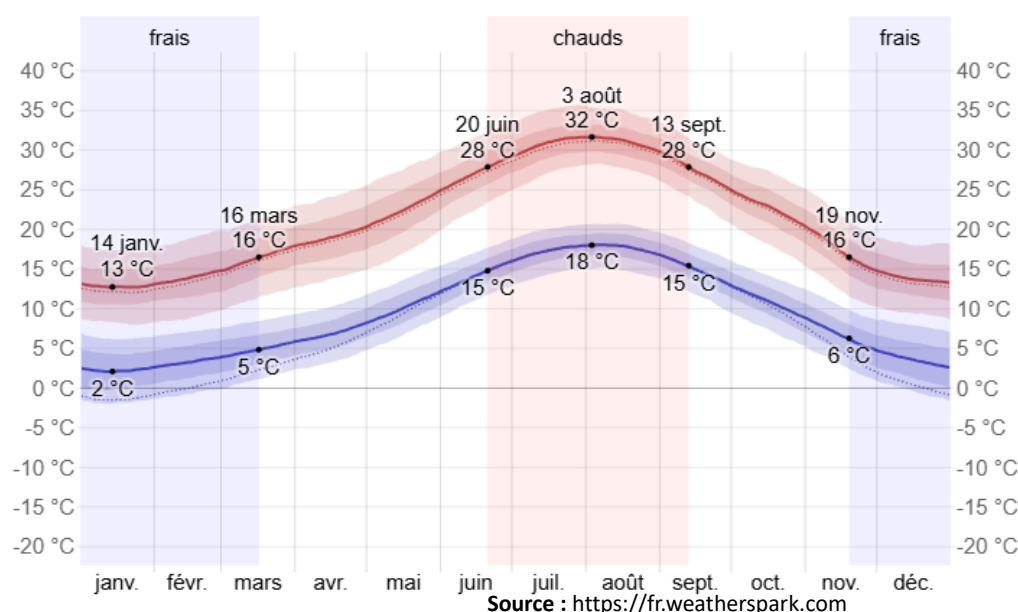


Figure 51: Température moyenne maximale et minimale à Tlemcen

Cette variation thermique influence directement les solutions bioclimatiques et les matériaux utilisés dans la conception architecturale.

1.3.5 Humidité:

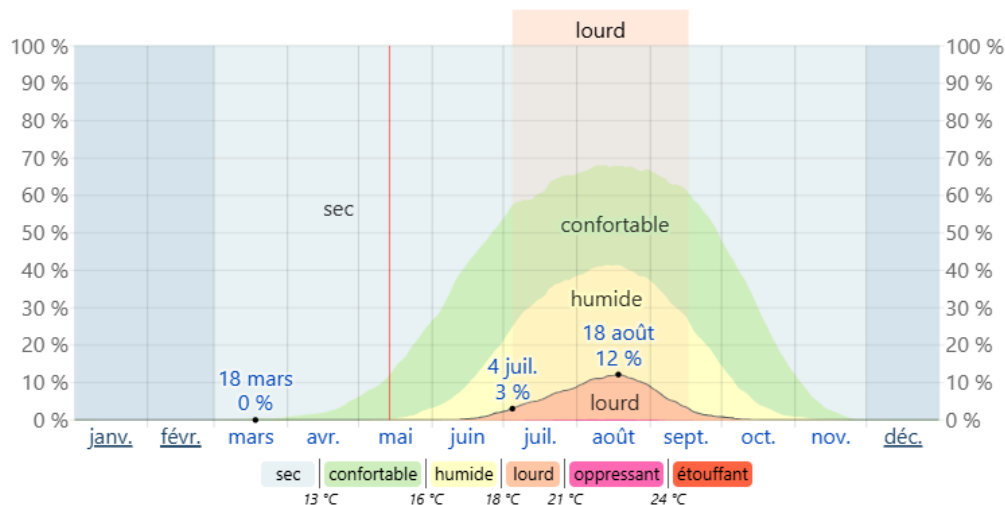


Figure 52: Niveaux de confort selon l'humidité à Tlemcen

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

L'humidité est généralement plus élevée en hiver sous l'effet des précipitations et des influences maritimes, alors qu'elle diminue durant l'été. Ce facteur participe au confort climatique et impacte la ventilation naturelle des bâtiments.

1.4 Environnement naturel :

1.4.1 Topographie :

La commune de Chetouane présente une topographie variée caractérisée par des zones relativement planes au niveau des espaces urbanisés et des reliefs plus accentués vers les périphéries. Le site est marqué par des pentes modérées influençant l'implantation urbaine, le réseau viaire ainsi que les possibilités d'extension.

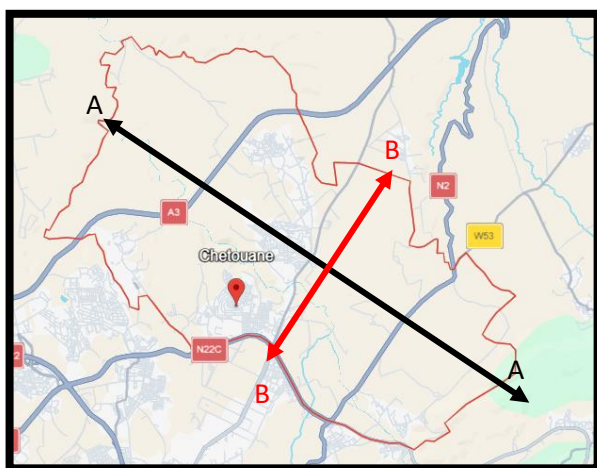


Figure 53 : Carte topographique.



Figure 54 : Coupe BB.

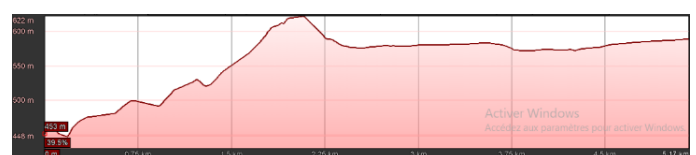


Figure 55 : Coupe AA .

Source : Google earth Pro

Le relief constitue un élément déterminant dans l'organisation spatiale de la commune et dans la gestion des eaux pluviales.

1.4.2 Nature du sol:

Le territoire de Chetouane se compose principalement de sols marneux et calcaires avec certaines zones présentant des contraintes géotechniques liées aux glissements de terrain et aux tassements, ces caractéristiques influencent les techniques de fondation et les conditions de constructibilité, notamment dans les secteurs à fortes pentes.

1.4.3 Hydrographie:

Le réseau hydrographique de Chetouane est marqué par la présence de plusieurs oueds et talwegs participant à l'écoulement des eaux pluviales. Ces éléments naturels jouent un rôle important dans la structuration du territoire mais représentent également des zones sensibles aux risques d'inondation.

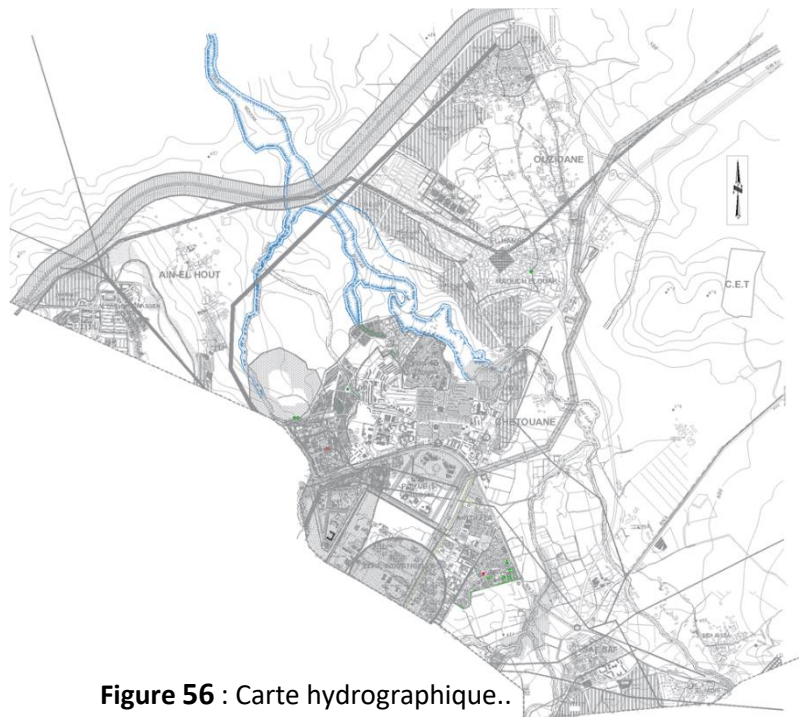


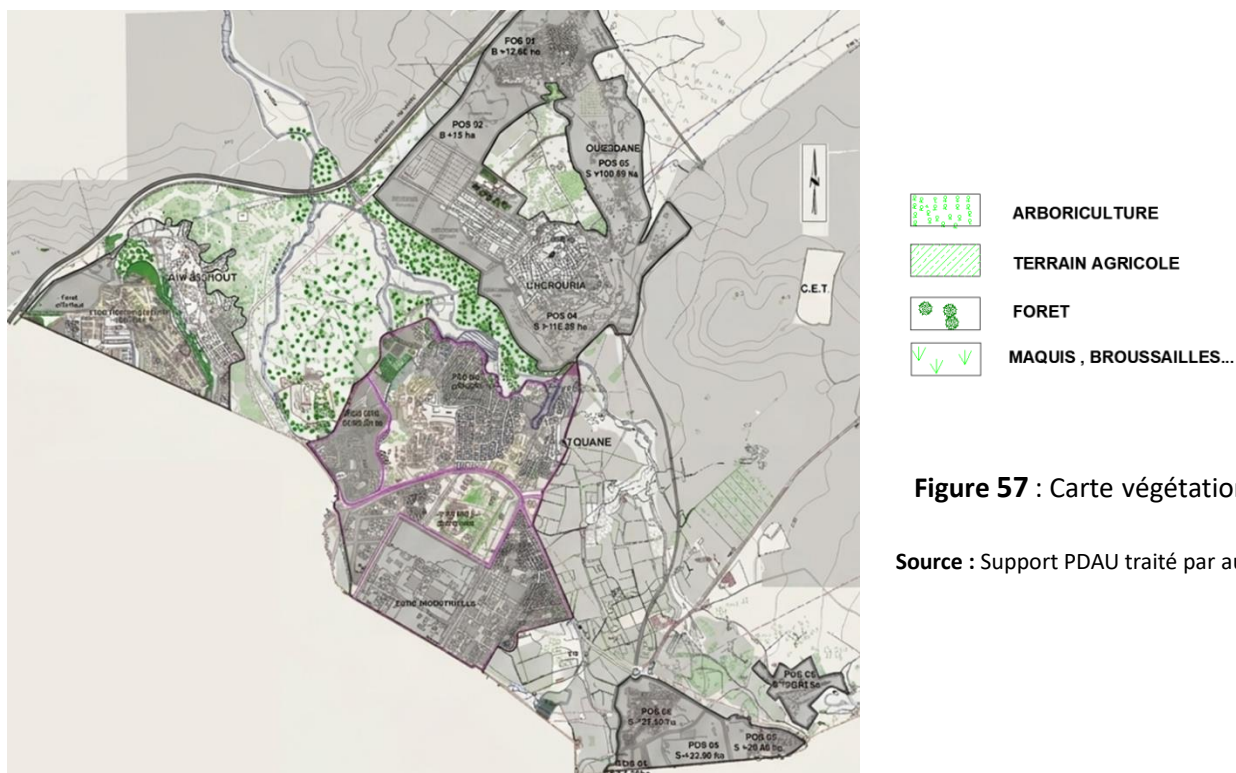
Figure 56 : Carte hydrographique..

Source : Support PDAU traité par auteur

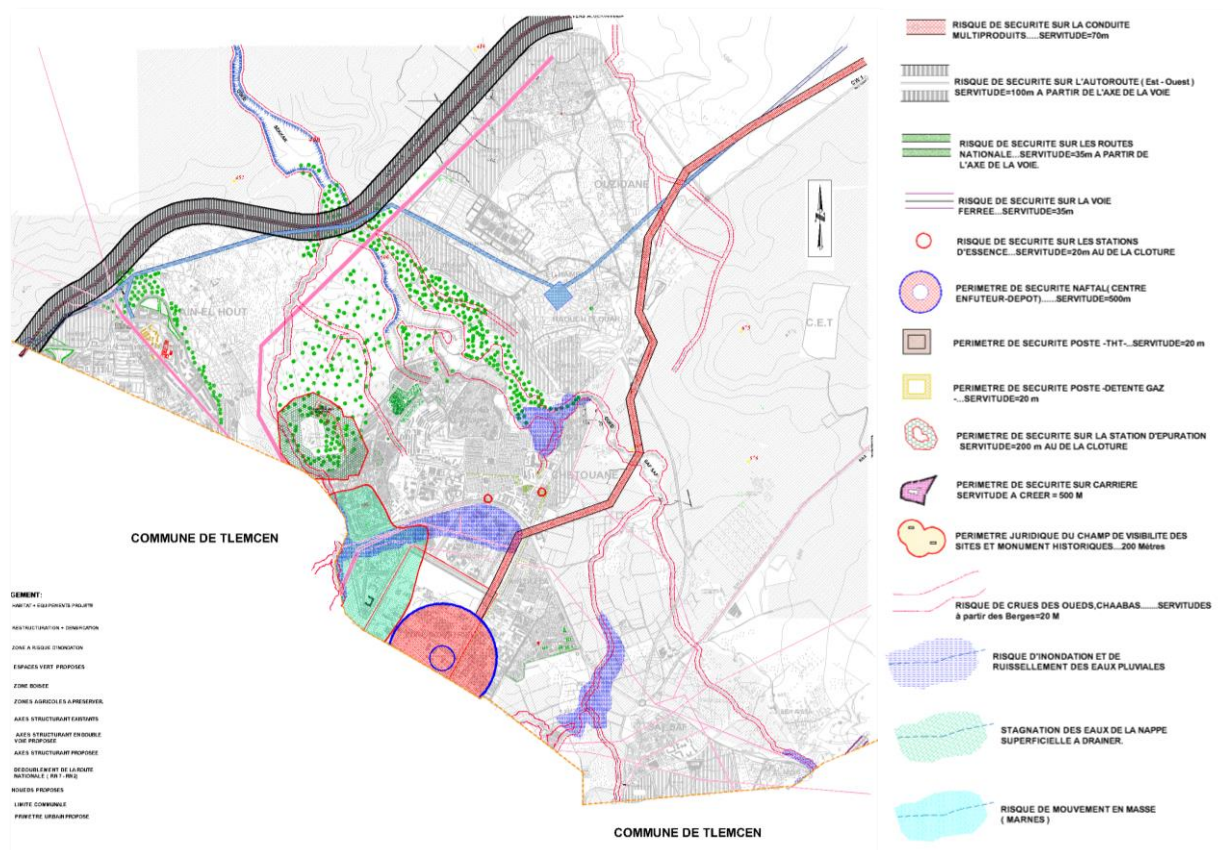
1.4.4 Végétation:

L'environnement naturel de Chetouane comprend des espaces agricoles, des zones végétalisées ainsi que quelques formations forestières situées dans les secteurs périphériques. Cette couverture végétale contribue à l'équilibre écologique et à l'amélioration du cadre paysager

Les terres agricoles représentent également une composante importante du territoire et doivent être préservées face à l'expansion urbaine.



1.4.5 Risques naturels:



Le territoire de Chetouane est exposé à plusieurs risques naturels, principalement :

- Les risques d'inondation au niveau des oueds ;
- Les glissements de terrain sur les zones en pente ;
- Les contraintes géotechniques liées à la nature du sol.

Ces risques constituent des contraintes majeures pour l'urbanisation et nécessitent une prise en compte dans les opérations d'aménagement.

1.5 Environnement Bâti :

1.5.1 Trame urbaine:

La trame urbaine de Chetouane se caractérise par une organisation mixte combinant un tissu ancien relativement compact et des extensions récentes plus ouvertes. Le découpage parcellaire varie selon les secteurs, avec des îlots réguliers dans les zones planifiées et un tissu plus spontané dans certaines périphéries

Cette configuration reflète les différentes phases de croissance urbaine de la commune



Figure 59 : Carte de la trame urbain,.

Source : Support PDAU traité par auteur

1.5.2 Accessibilité et voirie:

La commune bénéficie d'une accessibilité importante grâce à sa proximité avec la ville de Tlemcen et sa connexion aux principaux axes routiers. Le réseau viaire est structuré autour d'axes principaux assurant les liaisons intercommunales et d'un réseau secondaire desservant les quartiers résidentiels. Cependant, certaines zones connaissent des problèmes de congestion et un manque d'organisation de la circulation.

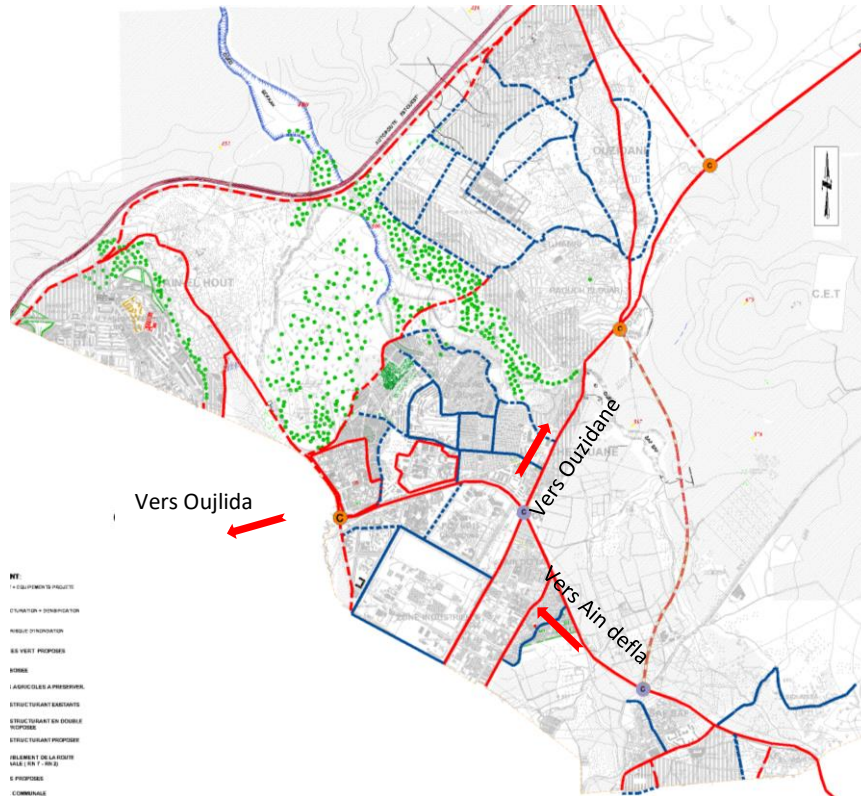


Figure 60 : Carte d'accessibilité et voirie,.

Source : Support PDAU traité par auteur

1.5.3 Typologie du bâti:

Le tissu bâti de Chetouane est dominé par la fonction résidentielle, accompagnée d'équipements administratifs, éducatifs et commerciaux. Les principales typologies rencontrées sont :

- Habitat individuel .
- Habitat collectif .
- Équipements publics .
- Équipements sanitaires.

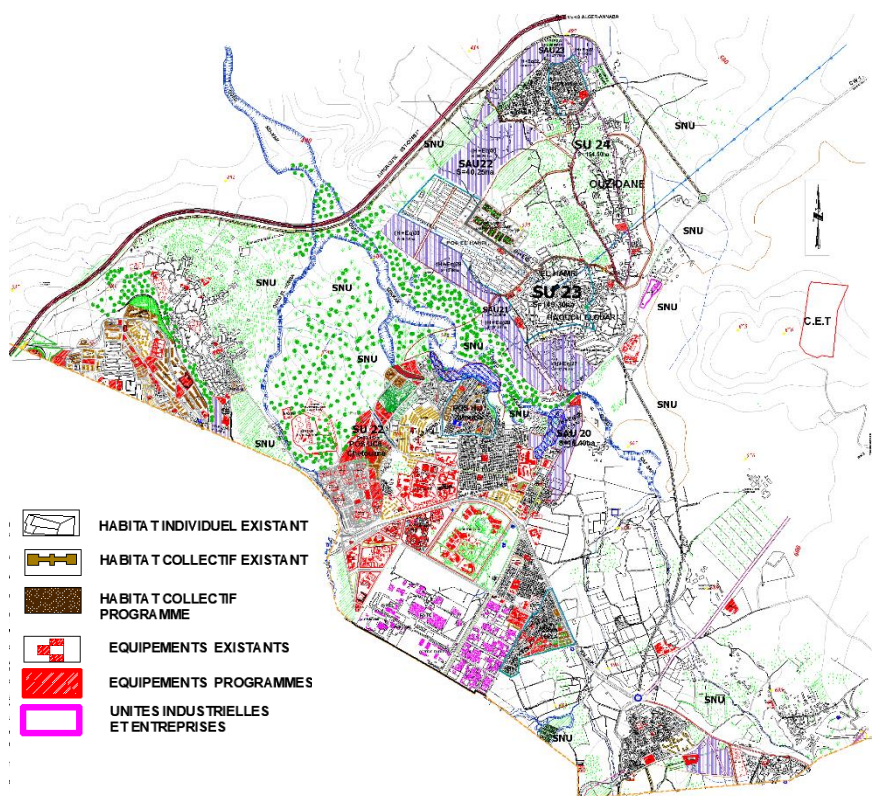


Figure 61 : Carte typologie de bâti

Source : Support PDAU traité par auteur

L'architecture de Chetouane présente une diversité de styles liée à l'évolution historique et urbaine de la commune. On retrouve :

- Une architecture traditionnelle caractérisée par l'usage de matériaux locaux ;
- Une architecture contemporaine dans les extensions récentes ;
- Des constructions spontanées avec une qualité architecturale variable.

Cette diversité fonctionnelle participe à la dynamique urbaine de la commune.

1.5.4 Gabarit CES COS:

Le gabarit du bâti varie selon les quartiers :

- **Habitat individuel** : généralement R+1 à R+2 .
- **Habitat collectif** : entre R+3 et R+5 dans les zones les plus denses .
- **Équipements publics** : gabarit variable selon la fonction.

Les coefficients d'occupation et d'emprise présentent des valeurs moyennes adaptées au caractère résidentiel de la commune :

- CES : entre 0.30 et 0.60 .
- COS : entre 1.2 et 3 selon la densité et la vocation des secteurs.

Les zones centrales présentent généralement des valeurs plus élevées en raison de la concentration du bâti et des activités urbaines, tandis que les zones périphériques gardent une densité plus faible.⁶⁰

1.5.5 Styles architecturaux:

L'architecture de Chetouane présente une diversité de styles liée à l'évolution historique et urbaine de la commune. On retrouve :

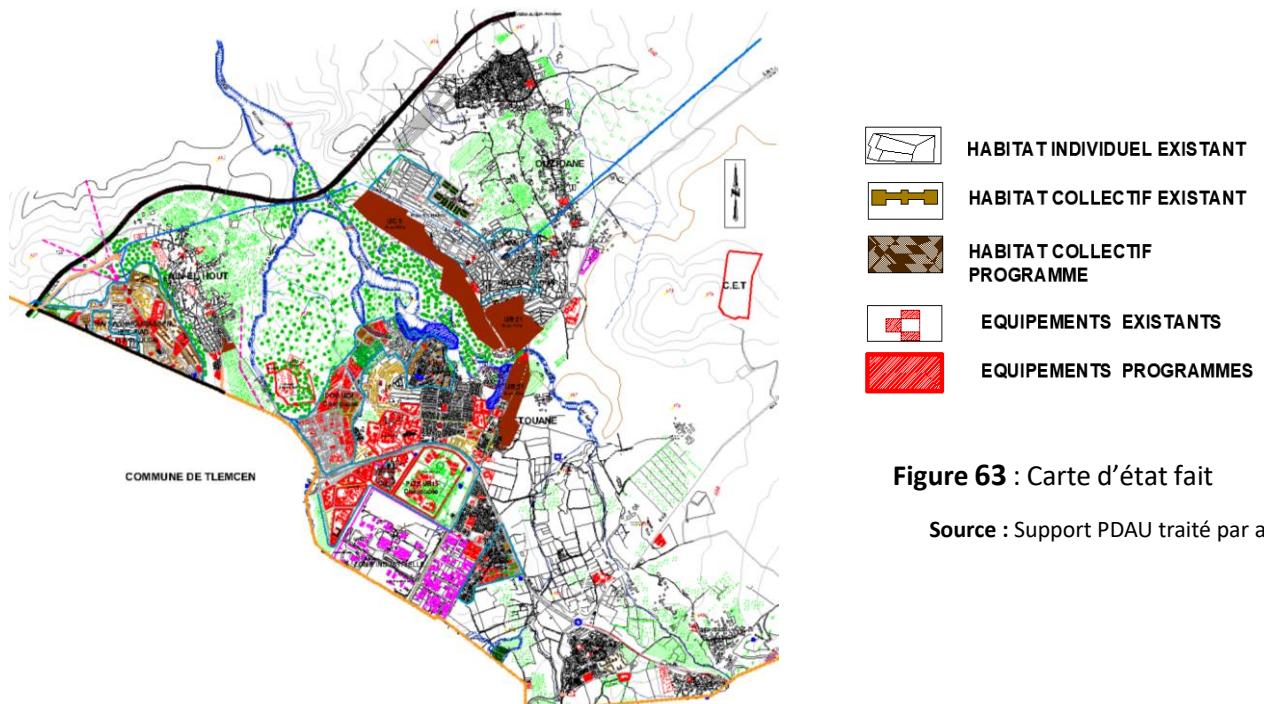
- Une architecture traditionnelle caractérisée par l'usage de matériaux locaux .
- Une architecture contemporaine dans les extensions récentes .
- Des constructions spontanées avec une qualité architecturale variable.

1.5.6 État du bâti:

L'état du bâti dans la commune de Chetouane est globalement moyen à bon, notamment dans les quartiers récents et les nouvelles extensions urbaines. Les zones anciennes présentent

⁶⁰ URBAT Unité de Tlemcen, *Révision du PDAU Intercommunal des communes de Tlemcen – Chetouane – Mansourah – Beni Mester*.

- Les équipements publics en cours de réalisation ou prévus par les instruments d'urbanisme.



1.7 Problématiques urbaines:

La commune de Chetouane connaît une dynamique urbaine importante liée à sa proximité avec la ville de Tlemcen et à son rôle dans l'extension de l'agglomération. Cependant, cette évolution génère plusieurs problématiques urbaines influençant le fonctionnement et l'organisation du territoire.

- Étalement urbain et consommation des terres agricoles ;
- Congestion du réseau routier et problèmes de circulation ;

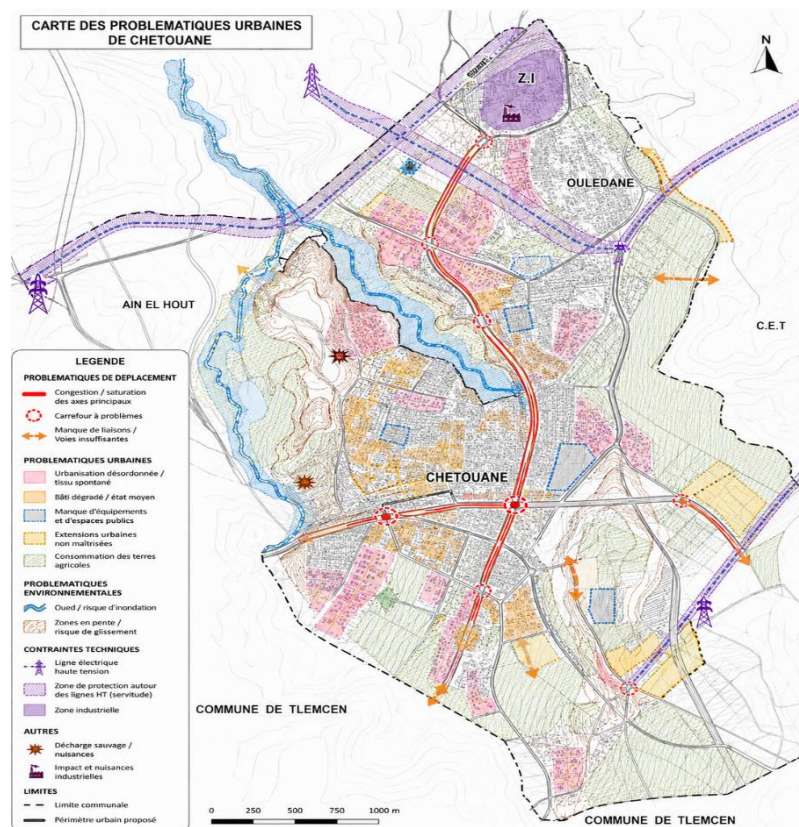


Figure 64 : Carte problématique

- Insuffisance de certains équipements et espaces publics ;
- Contraintes naturelles : pentes, risques d'inondation ;
- Présence des lignes électriques à haute tension dans la partie ouest et la zone industrielle ;
- Dégradation de certains secteurs bâtis ;
- Nuisances liées aux activités industrielles.

2) choix de la zone d'intervention :

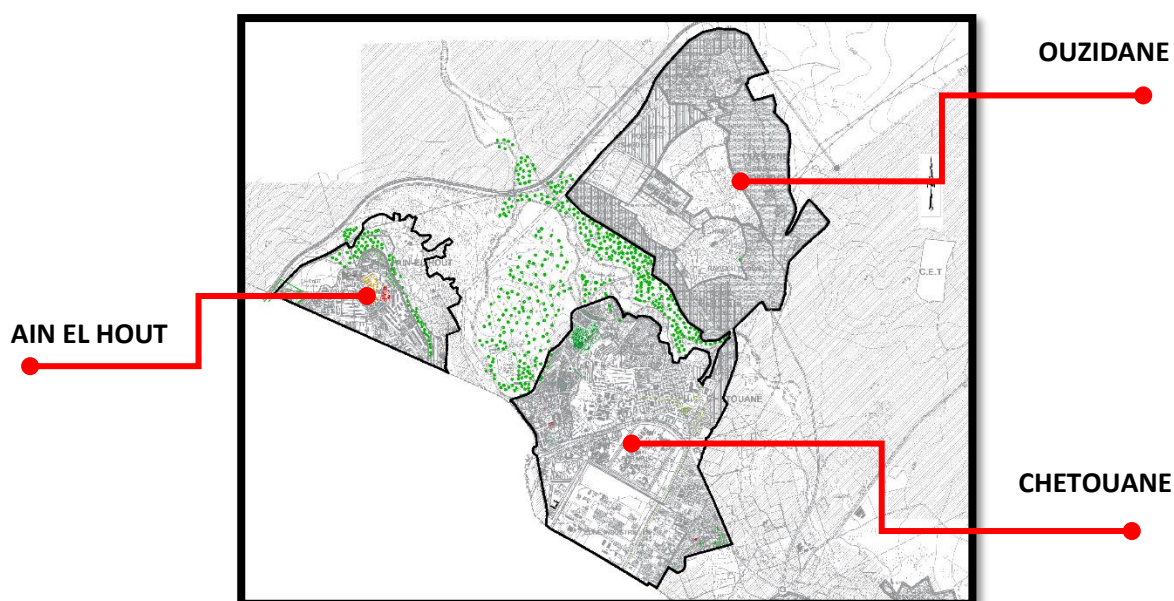


Figure 65 : Carte des zones

Source : Support PDAU traité par auteur

	Délimitation	Surface	Avantages	Inconvénients
OUZIDANE	Partie Nord-Est de Chetouane	249,25 ha	Disponibilité foncière et proximité du CW01	Urbanisation dispersée et terres agricoles
AIN EL HOUT	Partie Nord de Chetouane	76,55 ha	Environnement naturel intéressant et faible densité	Risque d'inondation et accessibilité limitée
CHETOUNE	Partie centrale de la commune	234,95 ha	Bonne accessibilité, centralité et présence d'équipements	Congestion routière et forte densité urbaine

Tableau 06 : tableau comparative entre les trois zones .

Après analyse comparative des différentes zones, le choix s'est porté sur la zone de Chetouane Hai Zitoun grâce à sa position stratégique, sa bonne accessibilité et son potentiel de développement urbain et fonctionnel.

3) Programmation:

3.1 identification des usagers:

		Besoins	Espaces
Utilisateurs	Les gestionnaires	Gérer, organiser, superviser, assurer la coordination	Administration, bureaux, salle de réunion, salle d'archives
	Personnel médical (chirurgiens, urgentistes, anesthésistes)	Diagnostiquer, intervenir, analyser, assurer le suivi médical	Bloc opératoire, salles de consultation, salle de staff, bureaux médicaux
	Personnel paramédical (infirmiers, manipulateurs radio, techniciens)	Préparer, assister, manipuler, suivre les protocoles	Salles de soins, imagerie médicale, postes infirmiers, laboratoires
	Agents de maintenance et logistique	Contrôler, entretenir, nettoyer, gérer les flux	Locaux techniques, stockage, maintenance, lingerie
Usagers	Patients adultes	Être accueillis, rassurés, soignés rapidement	Hall d'accueil, urgences, chambres, salles de soins
	Patients en urgence	Recevoir une prise en charge immédiate	Service des urgences, salle de déchocage, imagerie
	Accompagnateurs et visiteurs	Attendre, s'informer, accompagner les patients	Espaces d'attente, cafétéria, circulations publiques

Tableau 07 : tableau identification des usages .

3.2 Capacité d'accueil:

Compte tenu que l'objectif de cette étude consiste en la conception d'un EHS régional spécialisé en traumatologie, et en se référant aux dispositions du **décret exécutif 97-465** régissant l'organisation et le fonctionnement des établissements de santé en Algérie, la capacité d'accueil de l'établissement a été estimée à environ **90 lits**.

Cette capacité permet d'assurer la conformité aux normes sanitaires nationales tout en répondant efficacement aux besoins croissants en soins spécialisés de traumatologie à l'échelle régionale. Elle garantit également une prise en charge optimale des patients, une organisation fonctionnelle adaptée ainsi que de bonnes conditions d'hospitalisation et d'urgence.

3.3 identification des fonctions et des activités:

L'organisation fonctionnelle de l'EHS de traumatologie repose sur plusieurs fonctions principales assurant la prise en charge médicale, l'accueil des usagers ainsi que le bon fonctionnement de l'établissement.

Fonction	Activités principales
Accueil	Orientation, réception, information, attente, admission des patients
Imagerie médicale	Radiologie, scanner, IRM, échographie, diagnostic médical
Urgences	Triage, premiers soins, déchocage, prise en charge rapide des patients
Consultation	Examens médicaux, diagnostic, suivi des patients, consultations spécialisées
Hébergement	Hospitalisation, surveillance médicale, soins quotidiens, repos des patients
Rééducation	Kinésithérapie, réadaptation fonctionnelle, suivi post-traumatique
Administration et recherche	Gestion administrative, formation, réunions, recherche médicale et scientifique

Tableau 08 : tableau identification des fonctions est activités .

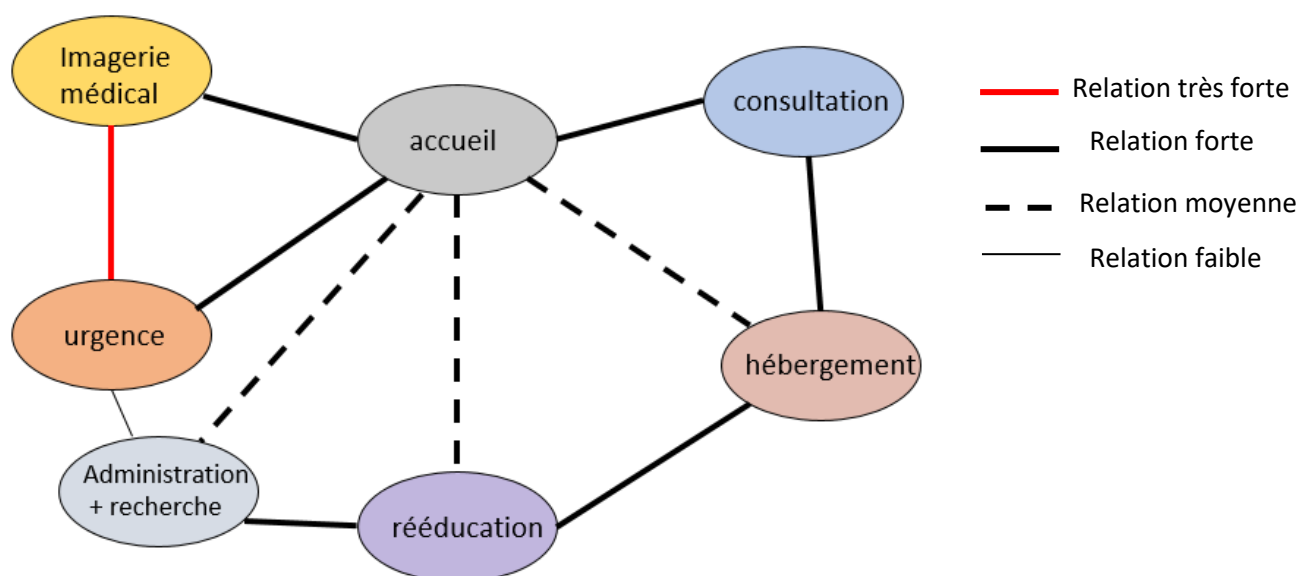


Figure 66 : organigramme fonctionnelle

Source : auteurs

3.4 Programme de base :

Fonction	Surface (m ²)
Accueil	426.5
Imagerie médicale	349.5
Urgence	1087.6
Analyse	188.6
Consultation	612.5
Rééducation	824.7
Hébergement	2068.6
Recherche	617
Administration	375.2
Restauration	483.2
Médecine légale	175
Stérilisation Centrale	199.2
Blanchisserie Centrale	192.1
technique	675

Tableau 09 : Programme de base .

3.5 Identification des espaces et qualité :

Espace	Qualité
Salle opératoire	Espace le plus exigeant de l'établissement, la salle opératoire impose un environnement stérile à flux laminaire et en surpression par rapport aux locaux adjacents. Toutes les surfaces sol, murs, plafond doivent être parfaitement lisses et sans joints pour permettre une désinfection totale. L'éclairage associe un éclairage ambiant puissant à un scialytique chirurgical sans ombre. En traumatologie, elle intègre obligatoirement un système d'amplification de brillance pour le contrôle peropératoire des fractures et des implants.
Salle scanner CT	Intégrée à proximité du bloc pour le contrôle peropératoire des réductions et la vérification de la pose d'implants, cette salle impose une radioprotection plombée sur toutes les parois. Elle doit être climatisée de façon indépendante pour compenser la

	chaleur dégagée par l'équipement. Son gabarit doit permettre l'entrée d'un patient en brancard directement depuis le couloir du bloc.
Salle de plâtre	Spécifique à la traumatologie, cet espace est dédié à la pose et l'ablation des immobilisations plâtrées. Il nécessite une table réglable en hauteur, un point d'eau raccordé à un siphon anti-colmatage pour l'évacuation des résidus, et une ventilation suffisante contre les poussières de plâtre. Les surfaces doivent être facilement nettoyables.
Salle de petites chirurgies	Réservée aux actes mineurs sous anesthésie locale (sutures, réductions simples, ponctions articulaires), elle impose des surfaces intégralement lisses et lessivables avec une ventilation contrôlée. L'éclairage chirurgical et l'alimentation en oxygène sont obligatoires. Le mobilier est réduit au minimum pour faciliter la désinfection entre chaque acte.
Salle de rééducation / kinésithérapie	Espace central de la récupération fonctionnelle, il doit être vaste avec un sol antidérapant et légèrement amortissant pour sécuriser les patients en reprise d'appui. L'éclairage naturel est recommandé. Des barres de maintien murales, des miroirs pour l'autocontrôle gestuel et des tables réglables en hauteur sont indispensables au bon déroulement des séances.
Salle des serveurs	Espace technique centralisé hébergeant l'ensemble des infrastructures numériques de l'EHS : dossiers patients, imagerie PACS/RIS, monitoring et IA d'aide au diagnostic. Il exige une climatisation dédiée, une alimentation secourue (UPS), une protection contre l'humidité et les champs électromagnétiques, et un système d'extinction incendie à gaz inerte. L'accès est strictement restreint au personnel autorisé.
Poste de gestion technique du bâtiment (GTB)	Local de supervision centralisée des équipements techniques : climatisation, éclairage, sécurité, fluides médicaux et énergie. Intégrant des outils d'IA, il permet l'optimisation automatique des consommations et la détection préventive des anomalies. Il doit être occupé en permanence ou supervisé à distance avec alertes automatiques.

Tableau 10 : identification des espaces et qualité .

3.5 Programme spécifique :

Fonction	Les Espaces	Surface unitaire (m ²)	NB	Surface T des espaces	Surface T de fonction	désignation	Les normes
Accueil	Hall d'accueil	251	1	251	426.5	RDC	• Hall d'accueil : 2-3m²/personne, flux séparés entrée/sortie • Réception : accès direct, comptoir à 90 cm de hauteur (accessibilité PMR) • Salle d'attente : 1.5-2m²/siège, éclairage naturel recommandé • Poste de sécurité : visibilité totale sur les entrées
	Réception	37	1	37			
	Salle d'attente	65.3	1	65.3			
	Poste de sécurité	44	1	44			
	Sanitaires	14.6	2	29.2			
Imagerie médical	Salle d'attente	74.2	1	74.2	349.5	RDC	• Salle scanner CT : min. 40m², blindage plomb selon puissance (1-2mmPb) • Salle IRM : min. 50m², cage de Faraday obligatoire, zone de sécurité 4 zones (IEC 62232) • Salle radiologie RX : min. 20m², blindage réglementaire (ASNCRSA) • Salle d'attente : séparée zone active/passive, 1.5m²/patient
	Salle scanner CT	48	1	48			
	Salle IRM	58.5	1	58.5			
	Salle de radiologie RX	37.7	1	37.7			
	Local de stockage des équipements	35.6	1	35.6			
	Bureaux de radiologie	14.7	1	14.7			
	Salle de traitement	12.2	2	24.4			
	Salle de traitement	20.9	2	41.8			
	sanitaires	7.3	2	14.6			
Urgence	Hall d'urgence	32.7	1	32.7	1087.6	1 ^{er} étage	• Hall urgence : flux séparés ambulatoire/SAMU, min. 6m de largeur pour brancards • Zone de triage : visibilité totale sur l'entrée, min. 12m² • Soins intensifs : 12-16m²/lit, distance lit-lit min. 2.4m • Bloc opératoire (urgence) : min. 36m², salle ISO 5 / classe B (EN ISO 14644) • Zone Scrub : min. 6m² par salle, ventilation pression positive • Salle de réveil : min. 2 places/salle opératoire, 7-8m²/place • Salle de préparation : min. 20m², circuit propre/sale strict
	Zone de triage	58.4	1	58.4			
	Unité réanimation	72.7	1	72.7			
	Soins intensifs	34.8	4	139.2			
	Salle de radiologie interventionnelle	46.2	1	46.2			
	Salle de contrôle et d'observation	17.5	1	17.5			
	Salle de préparation	3.2	2	6.4			
	Zone de préparation (Scrub)	15.8	2	31.6			
	Salle de réveil post-opératoire	4.0	2	8.0			
	Bloc opératoire	34.6	2	69.2			
	Salle de surveillance continue	25.1	2	50.2			
	Stockage des médicaments et du matériel technique	21.5	2	43			
	Poste de sécurité	14.5	1	14.5			
	Salle de repos du personnel soignant	15.8	2	31.6			
	sanitaires	10.7	4	42.8			
Analyse	Laboratoire	66.5	1	66.5	188.6	1 ^{er} étage	• Laboratoire : min. 50m², paillasse min. 0.9m de largeur, ventilation aspirée • Zone de traitement du sang : zone à risque biologique classe 2 (BSL-2) • Banque de sang : température contrôlée +4°C ± 2°C, alarme de rupture froide • Don du sang : fauteuils à 1.2m d'écart, espace de repos post-don obligatoire
	Réserve de laboratoire	13.3	1	13.3			
	Zone de traitement du sang	39.2	1	39.2			
	Réserve de Banque de sang	14.7	1	14.7			
	Don du sang	54.9	1	54.9			
Consultation	Salle d'attente	51.5	2	103	612.5	1 ^{er} étage	• Salle de consultation : min. 12-15m², éclairage naturel, insonorisation • Salle de soins : min. 12m², point d'eau intégré obligatoire • Salle de petites chirurgies : min. 20m², sol non poreux, évacuations spécifiques • Salle de plâtre : min. 14m², évacuation plâtre en siphon spécial • Salle d'attente : 1.5-2m²/siège, séparation hommes/femmes recommandée • Pharmacie : accès sécurisé, stockage T°C contrôlée, min. 30m²
	Salle de consultation	20	6	120			
	Salle de soins	23	2	46			
	Salle de petites chirurgies	24.2	1	24.2			
	Salle de plâtre	18	2	36			
	Salle scanner CT	50.7	1	50.7			
	Salle radiographie RX	23.8	1	23.8			
	Pharmacie	36.6	1	36.6			
	Salle de préparation des médicaments	24.3	1	24.3			
	Locaux des personnels	20	2	40			
	Stockage	6.5	2	13			
	Stockage propre	11	2	22			
	Stockage sale	5.4	2	10.8			
	Reserve de pharmacie	17.1	1	17.1			
	sanitaires	9	5	45			
	Salle rééducation	92.5	1	92.5			• Salle de rééducation : min. 30m², dégagements >2.5m, sols antidérapants • Piscine de rééducation : eau T°C 32-34°C,
	Piscine de rééducation	300	1	300			
	Salle kinésithérapie	30.2	2	60.4			
	Salle thérapie	31.2	2	62.4			

Rééducation	Gymnase polyvalent	94.3	1	94.3	824.7	2 ^{ème} étage	• Salle kinésithérapie : min. 20 m²/thérapeute, distance entre tables min. 1.2m • Gymnase polyvalent : hauteur libre min. 4.5m, sol amortissant (norme sportive) Réf : Norme NF S 61-930 / Guide ANAES rééducation / OMS accessibilité
	Salle de repos du personnel	13.6	1	13.6			
	Locaux du personnel	18	1	18			
	Locaux ergothérapie	68.5	1	68.5			
	Stockage	31.7	2	63.4			
	Vestiaires	13.8	2	27.6			
	sanitaires	2	12	24			
Hébergement	Bureaux d'information	21	3	63	2068.6	3 ^{ème} étage	• Chambre patient : min. 12m² (individuelle) • Chambre soins intensifs intermédiaires : min. 14-16m²/lit • Poste infirmier central : visibilité sur toutes les chambres, max 20-25 lits/poste • Chambre de garde : min. 12m², proximité poste infirmier Réf : Norme HFN Algérie / Réglementation hospitalière EN ISO 1186 / Guide DHOS France
	Chambre patient	22.3	60	1338			
	Salle de garde personnel	19.8	6	118.8			
	Chambre de soins intensifs intermédiaires	56	5	280			
	Poste infirmier central	19.7	3	59.1			
	Accueil	19.3	1	19.3			
	Bureau secrétariat	17.6	1	17.6			
	Bureau chef gestion	22	1	22			
	Salle de réunion	27.3	1	27.3			
	Local à linge propre	11.6	3	34.8			
	Local à linge sale	7	3	21			
	Sanitaires	6.77	10	67.7			
	reception	74	1	74			
Recherche	Accueil	33	1	33	617	1 ^{er} étage	Laboratoire : ventilation aspirée, zone BSL-2 si manipulation biologique Amphithéâtre : acoustique traitée, min. 1 m ² /siège, accessibilité PMR Salles de réunion/formation : min. 2 m ² /personne, équipement audiovisuel Réf : Guide des établissements de santé – Ministère de la Santé Algérie
	Bureau de secrétariat	16	1	16			
	Bureau de chef d'urgence	24	1	24			
	Salle d'archive	37	1	37			
	Laboratoire de recherche	80.4	1	80.4			
	Amphithéâtre	146.5	1	146.5			
	Salle de réunion	30.4	2	60.8			
	Salle de formation polyvalente	33	1	33			
	Salle de conférence	48.3	1	48.3			
	Espace de repos	37	1	37			
	Sanitaires	7	4	28			
	Réception	47	1	47			
	Bureau de secrétariat	10.6	1	10.6			
Administration	Bureau de directeur	26.6	1	26.6	375.2	1 ^{er} étage	Bureaux individuels : min. 9-20m ² , confidentialité acoustique Espace bureaux ouverts : min. 10 m ² /poste, éclairage 500 lux Centre de commandement : alimentation secourue (UPS), accès restreint, connexion GTB Réf : Code du travail Algérien – Décret exécutif n° 91-05 , Guide GTB / Smart Building – CSTB France
	Bureau de directeur adjoint	21.3	1	21.3			
	Bureau de directeur financier	22.7	1	22.7			
	Salle d'archive	65.7	1	65.7			
	Salle de réunion	30.5	1	30.5			
	Espace des bureaux ouvert	70	1	70			
	Centre de commandement et de contrôle hospitalier	25.2	1	25.2			
	Kitchenette	11.6	1	11.6			
	Stockage des équipements	30	1	30			
	sanitaires	7	2	14			
	Cuisine centrale	18.5	1	18.5			
	Chambre froide	13.6	1	13.6			
	Reserve sèche	11.4	1	11.4			
restauration	Vestiaires	6.6	2	13.2	483.2	1 ^{er} étage	Cuisine centrale : circuit marche en avant strict, HACCP obligatoire, ventilation par hottes Chambres froides : 0 à +4°C (frais)/ - 18°C (surgelés), alarme rupture froide Cafétéria : min. 1.5m ² /place, accessibilité PMR Réf : Guide de la restauration collective hospitalière – Ministère de la Santé Algérie
	Cafeteria	260	1	260			
	Salle d'Autopsie	29	1	29			
	Salle de lavage mortuaire	13	1	13			
	Salle de conservation des corps	34.1	1	34.1			
Médecine Légale	Bureau du Personnel	11.2	1	11.2	175	Sous-sol	Salle d'autopsie : ventilation en dépression, surfaces lessivables, éclairage 1000 lux Conservation des corps : 0 à +4°C, alarme rupture froide, accès contrôlé Circuit familles séparé du circuit technique obligatoirement Réf : Guide technique des locaux mortuaires – Ministère de la Santé France
	Salle d'attente des familles	36	1	36			
	Locaux du personnel	24	2	48			
	Local déchets biomédicaux	3.7	1	3.7			
	Réception Sale	10.5	1	10.5			
	Tri et pre-disinfection	10.5	1	10.5			
	Zone Decontamination	56	1	56			
Sterilisation Centrale	Sterilisation (Autoclaves)	53.4	1	53.4	199.2	Sous-sol	Circuit unidirectionnel sale → propre → stérile, sans croisement Autoclaves : 134°C / 18min, validation des cycles obligatoire Stockage stérile : surpression, hygrométrie < 60% Réf : Guide de stérilisation en établissement de santé – DHOS, NF EN ISO 17665-1, Norme EN 554
	Atelier de Maintenance	42.3	1	42.3			
	Stockage stérile	17	1	17			
	Distribution	9.5	1	9.5			

Blandissier e Centrale	Réception & tri du linge sale	27.1	1	27.1	192.1	Sous-sol	Circuit linge sale / linge propre strictement séparé Zone de lavage : dépression, température > 70°C pour désinfection thermique Stockage linge propre : hygrométrie contrôlée, emballage fermé Réf : Circulaire DGS/DHOS relative à la gestion du linge en établissement de santé, Norme NF S 98-030		
	Zone de Lavage	1209	1	1209					
	Stockage des produits chimiques	6.6	1	6.6					
	Stockage & distribution du linge propre	37.5	1	37.5					
Technique	Local Groupe Froid	83.3	1	83.3	675	Sous-sol	Locaux séparés et ventilés pour chaque équipement (chaudière, groupe froid, pompes) Groupe électrogène : autonomie min. 72h, démarrage automatique Réf : Réglementation algérienne sur le traitement des eaux usées – Décret exécutif n° 06-141, Norme NF C 15-100, DTR C3-2 Algérie		
	Local chaudière	192	1	192					
	Local Pompes	15.16	1	15.16					
	Station de traitement des eaux grises (STEG)	103.4	1	103.4					
	RESERVOIR D'EAU DOMESTIQUE	53.4	2	106.8					
	RESERVOIR D'EAU INCENDIE	15	2	30					
	Local Déchets	76.8	1	76.8		Extérieur			
	Local transformateur HT/MT	70	1	70					
	Groupe électrogène	100	1	100					
Stationneme nt	Parking public	125(25*5)	60	750	1500	Extérieur			
	Parking employé	125(25*5)	22	275					
	Parking médecins	125(25*5)	35	437.5		Sous-sol			
	Parking ambulance	18(6*3)	3	54					
Surface terrain = 24285m²		Surface bâti = 5304m²		surface non bâti = 18981m²		CES = 0.21		COS = 0.3	

Tableau 11 : programme spécifique .

4 choix et analyse du terrain d'implantation

4.1 inspection des terrains d'implantation:

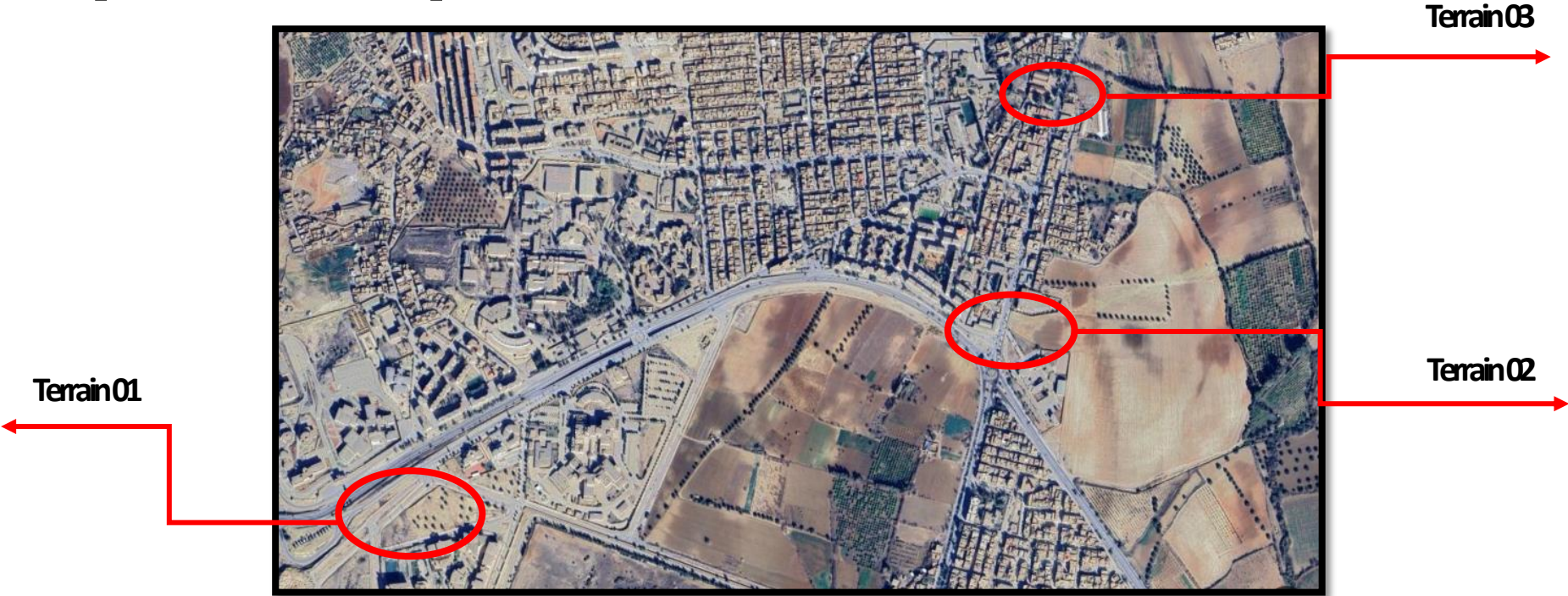


Figure 67 : carte des terrains Source : Google earth

	Délimitation	Surface	Accessibilité	Visibilité	Point de repère	Environnement	Morphologie	Nature juridique	Avantages	Inconvénients
Terrain 01	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★
Terrain 02	★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★	★ ★	★ ★	★ ★
Terrain 03	★ ★ ★	★ ★	★	★	★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★	★ ★ ★

Tableau 12 : tableau comparative entre les trois terrains

Suite à une analyse comparative multicritères menée entre les trois terrains potentiels, notre choix s'est porté sur **le terrain N°01**. Ce site présente les caractéristiques optimales pour l'implantation de notre Établissement Hospitalier Spécialisé, notamment en termes d'accessibilité, de morphologie et d'environnement.

5. Analyse du terrain :

5.1 Situation et délimitation :

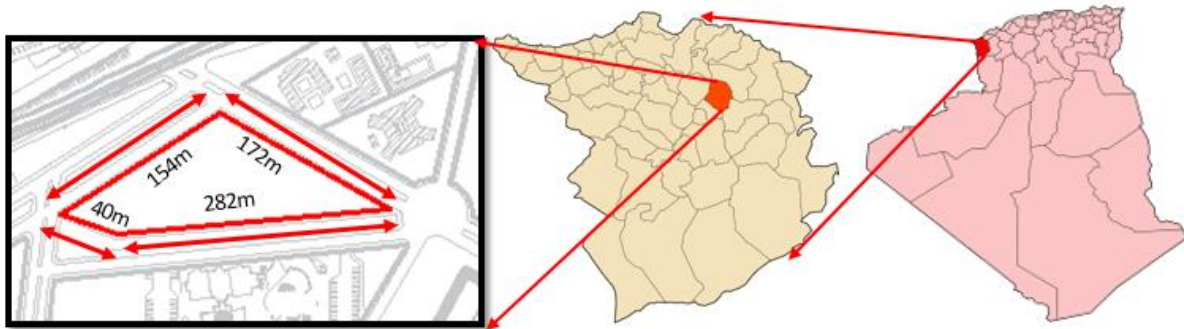


Figure 68 : carte situation et délimitation Algerie,Tlemcen,Chetoune

Source : wikipédia ,support POS traité par auteurs

Le terrain d'implantation est situé dans la commune de Chetouane, wilaya de Tlemcen, au niveau du quartier Hai Zitoun, à proximité immédiate du carrefour principal de la commune. Il présente une forme trapézoïdale d'une superficie de **24 285 m²**, délimitée par une voie artérielle principale au Nord et des voies secondaires sur les autres façades, avec des dimensions variant entre **40 m et 282 m** et une profondeur de **154 m à 172 m**.

5.2 Données climatique :

Le site bénéficie d'un fort ensoleillement, particulièrement en été. L'orientation Sud et Sud-Est est privilégiée pour optimiser les apports solaires en hiver tout en limitant la surchauffe estivale par des dispositifs de protection adaptés. Les vents dominants proviennent du Nord-Ouest et de l'Ouest. Cette donnée oriente l'implantation des façades et des ouvertures afin d'assurer une ventilation naturelle efficace des espaces intérieurs.

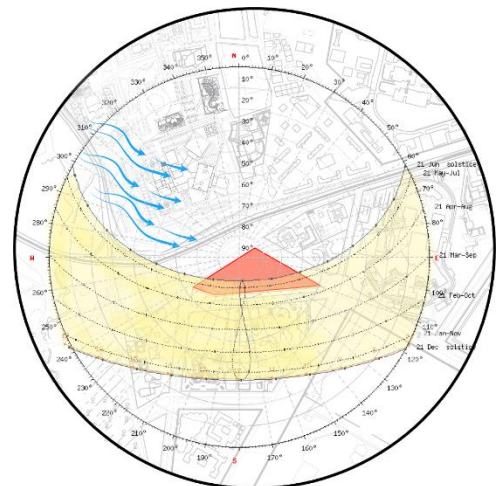


Figure 69 : carte d'ensoleillement

Source : support POS traité par auteurs

5.3 Accessibilité :

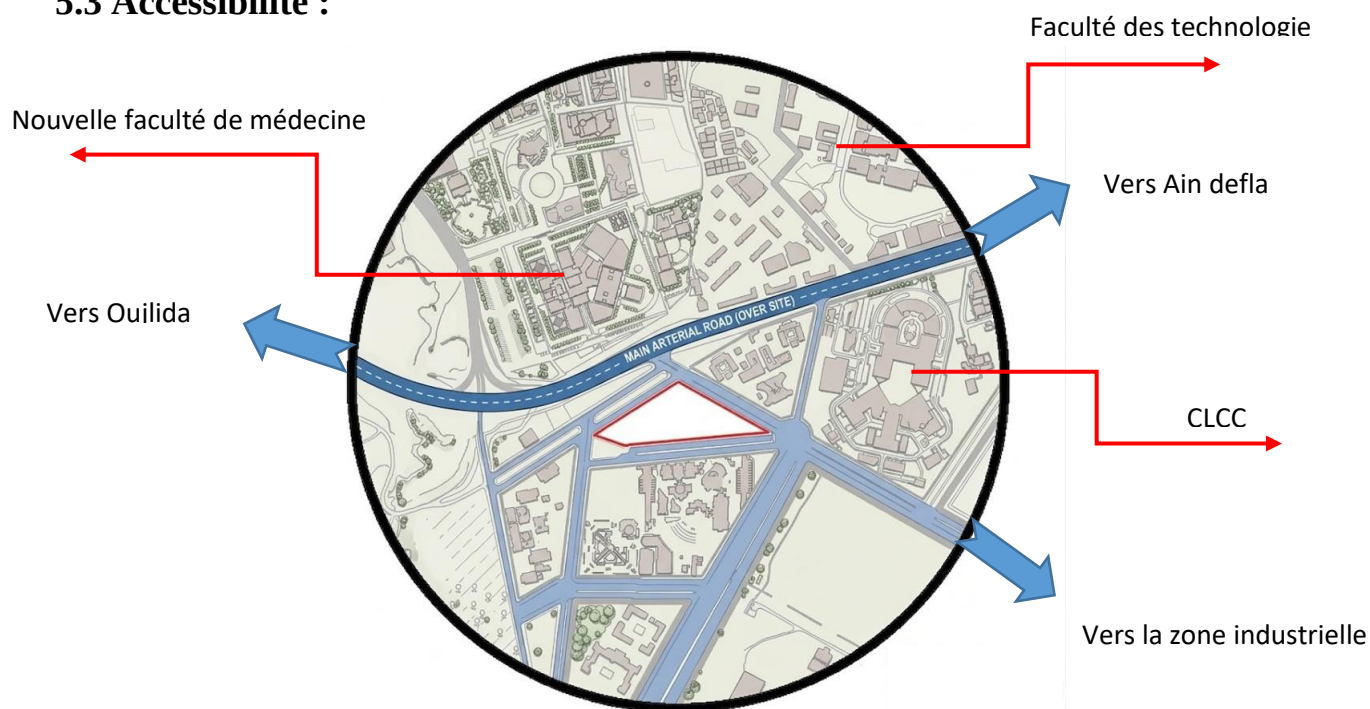


Figure 70 : carte d'accessibilité

Source : support POS traité par auteurs

Le terrain bénéficie d'une accessibilité remarquable grâce à sa position au niveau d'un carrefour stratégique desservant plusieurs directions : vers le centre de Tlemcen via la voie artérielle principale au Nord, vers Aïn Defla et la Faculté des Technologies à l'Est, vers Oujlida et la nouvelle Faculté de Médecine à l'Ouest, et vers la zone industrielle au Sud. Cette configuration garantit une desserte optimale pour les patients, le personnel et les véhicules d'urgence.

5.4 morphologie du terrain :

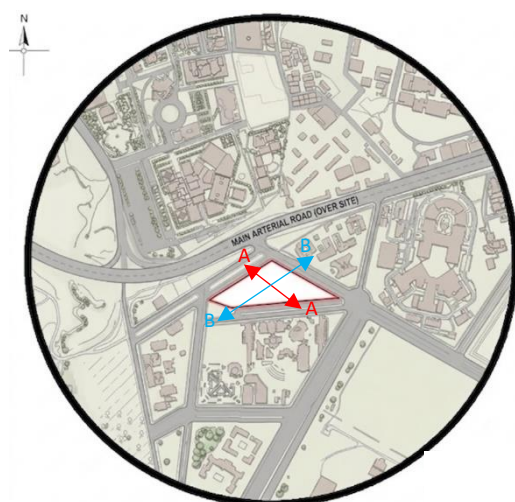
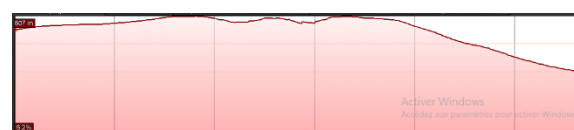
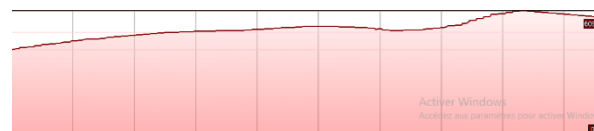


Figure 71 : carte morphologie



Coupe AA



Coupe BB

Source : support POS traité par auteurs ,Google earth pro

Le terrain présente une topographie relativement plane avec une légère pente orientée du Nord vers le Sud. Cette configuration facilite l'organisation fonctionnelle du projet et limite les contraintes techniques liées aux travaux de terrassement. La morphologie du site permet une implantation rationnelle des différents blocs fonctionnels de l'EHS.

5.5 Environnement urbain :

L'environnement immédiat du terrain présente une diversité fonctionnelle avec la présence de **la Faculté des Technologies, de la nouvelle Faculté de Médecine et du CLCC** à proximité directe, renforçant la vocation médicale et universitaire du secteur. L'habitat collectif et individuel environnant assure une demande de soins de proximité.

Le bâti environnant varie entre **R+1** et **R+5**. Le projet s'inscrit dans cette logique avec un gabarit de **R+3** à **R+4**, assurant une intégration cohérente dans le paysage urbain tout en répondant aux exigences fonctionnelles de l'établissement.



Figure 72 : carte typologie

Source : support POS traité par auteurs

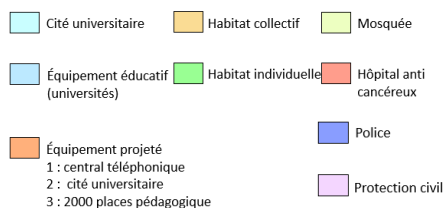


Figure 73 : carte gabarie

Source : support POS traité par auteurs



5.6 VRD :



Figure 74 : carte VRD **Source** : support POS traité par auteurs

5.7 Contraintes et potentialités :

Contraintes	Potentialités
Congestion possible sur la voie principale	Accès multi-directionnel, desserte par axes majeurs
Proximité zone industrielle	Voisinage universitaire et médical (CLCC, faculté de médecine)
Ensoleillement estival intense	Orientation favorable Sud/Sud-Est pour apports solaires hivernaux
Légère déclivité Nord-Sud	Forme régulière facilitant la conception
Présence réseaux à adapter	Réseaux AEP et gaz existants en bordure du terrain

Tableau 13 : contraintes et potentialités

PARTIE THÉORIQUE :

CHAPITRE 04

Conception architecturale et technique

1.Introduction:

Ce chapitre constitue l'aboutissement de l'ensemble du travail de recherche et d'analyse mené tout au long de ce mémoire. Il présente la concrétisation architecturale et technique du projet d'Établissement Hospitalier Spécialisé en traumatologie à Chetouane, Tlemcen.

En s'appuyant sur les enseignements tirés de l'analyse urbaine, des références internationales et des principes des bâtiments intelligents, ce chapitre expose les choix conceptuels, volumétriques, fonctionnels et techniques qui ont guidé la conception du projet. Il détaille l'organisation spatiale des différents blocs, les systèmes constructifs adoptés, les matériaux utilisés ainsi que l'intégration des technologies intelligentes au sein de l'établissement.

L'objectif est de proposer un EHS performant, centré sur le patient, capable de répondre efficacement aux urgences traumatologiques tout en offrant un environnement de soins sûr, confortable et durable.

2.Genèse de projet

Le concept de notre hôpital de traumatologie EHS est un **système compact et orienté vers le temps**, figure 01 où le temps de réponse est privilégié par rapport à la distance physique, intégrant **l'IA et des technologies intelligentes** pour améliorer l'efficacité et la rapidité, tout en adoptant une approche de design biophilique afin de créer un environnement apaisant qui favorise le rétablissement des patients.

En utilisant la vitesse moyenne de déplacement en situation d'urgence (1,2–1,8 m/s) comme référence, le site est organisé selon des zones concentriques temporelles définies par les niveaux d'urgence et les exigences d'accessibilité. figure 75

Afin de traduire ce concept en une expression spatiale cohérente, la conception évolue à travers un processus progressif de développement formel, suivant les étapes présentées

ci-dessous :

2.1 Première étape : Définition des axes de composition et approche du site :

En raison de la pente de 11 % à l'ouest et de la nécessité de réduire les différences de niveaux dans un hôpital de traumatologie, le bâtiment est implanté sur la partie est, plus plane, présentant une pente d'environ 2 %.

La route principale adjacente améliore l'accessibilité et la visibilité, influençant la forme et la façade du bâtiment, tout en générant des nuisances sonores pouvant affecter le confort des patients.

Ces contraintes définissent les axes de composition, suivant la morphologie naturelle du terrain afin d'organiser les circulations, l'implantation spatiale et les perspectives visuelles.

2.2 Deuxième étape : Organisation fonctionnelle et zonage spatial : Afin d'assurer une organisation spatiale claire et efficace, le programme du projet est structuré en quatre principales zones fonctionnelles :

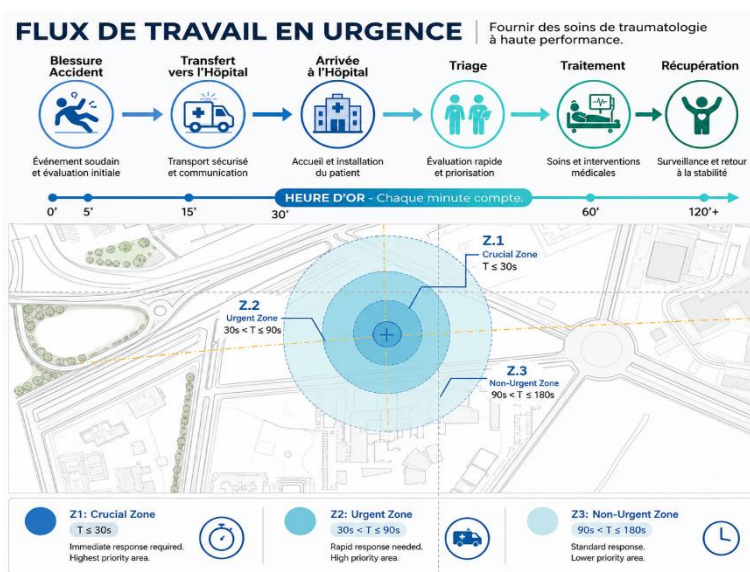


Figure 75 : Diagramme illustrant le concept de « l'heure d'or » et le zonage du site basé sur les contraintes temporelles.

Source : Auteur.

- Unité des urgences
- Consultation et hospitalisation
- Centre de rééducation
- Recherche et administration

L'analyse des flux de circulation entre ces zones Figure 02 permet de clarifier les relations fonctionnelles et la hiérarchie des espaces, d'identifier les proximités essentielles et de séparer les circulations incompatibles entre le public, les patients, le personnel et les services, tout en minimisant les déplacements

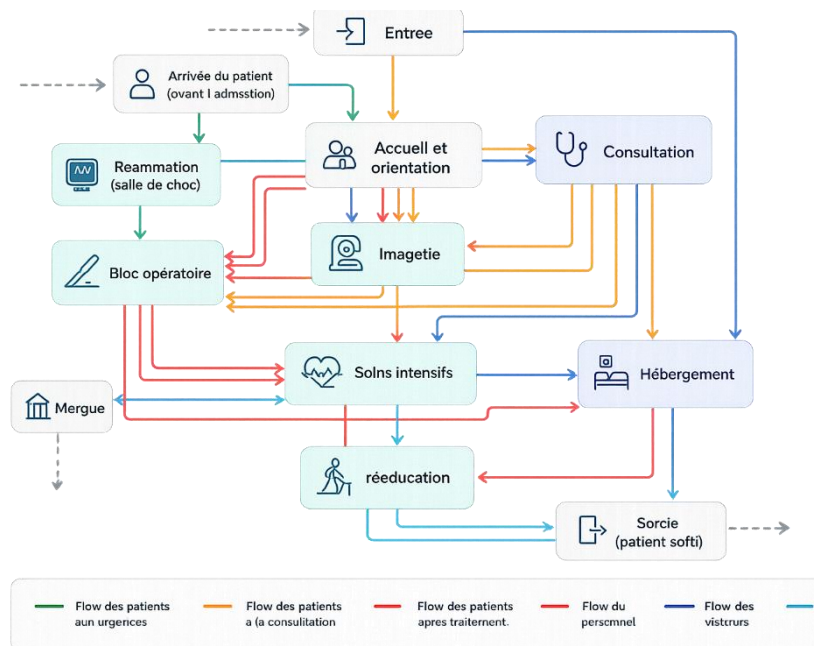


Figure 76 : Diagramme illustrant les flux et les types de circulation dans l'hôpital EHS de traumatologie.

Source : Auteur.

À partir de cette analyse, la structure de zonage Figure 03 est définie et organisée selon une composition spatiale cohérente répondant aux relations fonctionnelles, à la logique des circulations et à l'efficacité opérationnelle.

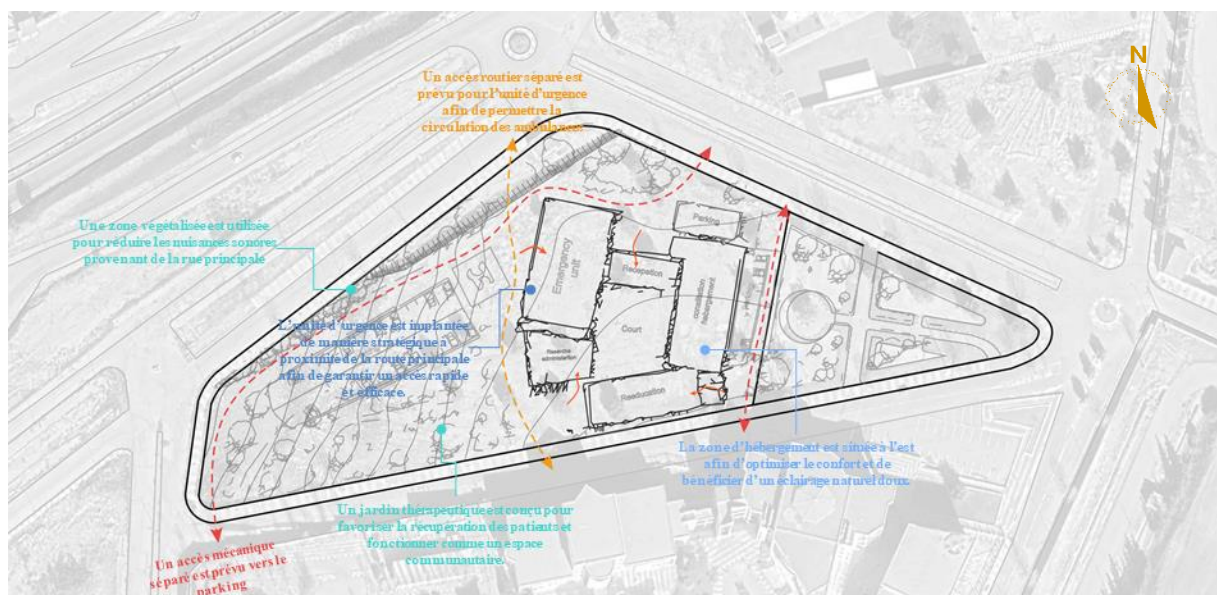


Figure 77: Zonage fonctionnel et stratégie d'implantation de l'hôpital EHS de traumatologie..

Source : Auteur.

2.3 Troisième étape : Développement de la forme (Figure 04)

1. **Site et topographie :** Implantation du bâtiment sur la partie la plus plane du site afin de réduire l'excavation et d'améliorer l'accès aux urgences.

2. **Implantation de base** : Forme géométrique simple occupant environ 25 % du site, implantée selon les axes principaux.

3. **Division du programme** : Répartition en quatre pôles médicaux :

- Urgences
- Rééducation
- Hospitalisation
- Administration et Recherche

4. **Déplacement des masses** : Rotation et déplacement des volumes selon la géométrie du site, les flux et les relations fonctionnelles.

5. **Connexion et intégration** : Liaison des masses fragmentées en une entité cohérente avec un espace central de distribution reliant urgences et hospitalisation.

6. **Développement vertical** : Ajout de niveaux selon les besoins du programme, créant une hiérarchie des hauteurs et des façades.

7. **Soustraction des masses** : Ajout et retrait de volumes afin d'enrichir la composition et créer des terrasses.

8. **Terrasses et espaces de respiration** : Création d'ouvertures favorisant l'éclairage naturel et la ventilation.

9. **Forme architecturale finale** : Intégration des façades et traitements architecturaux exprimant l'identité médicale du projet.

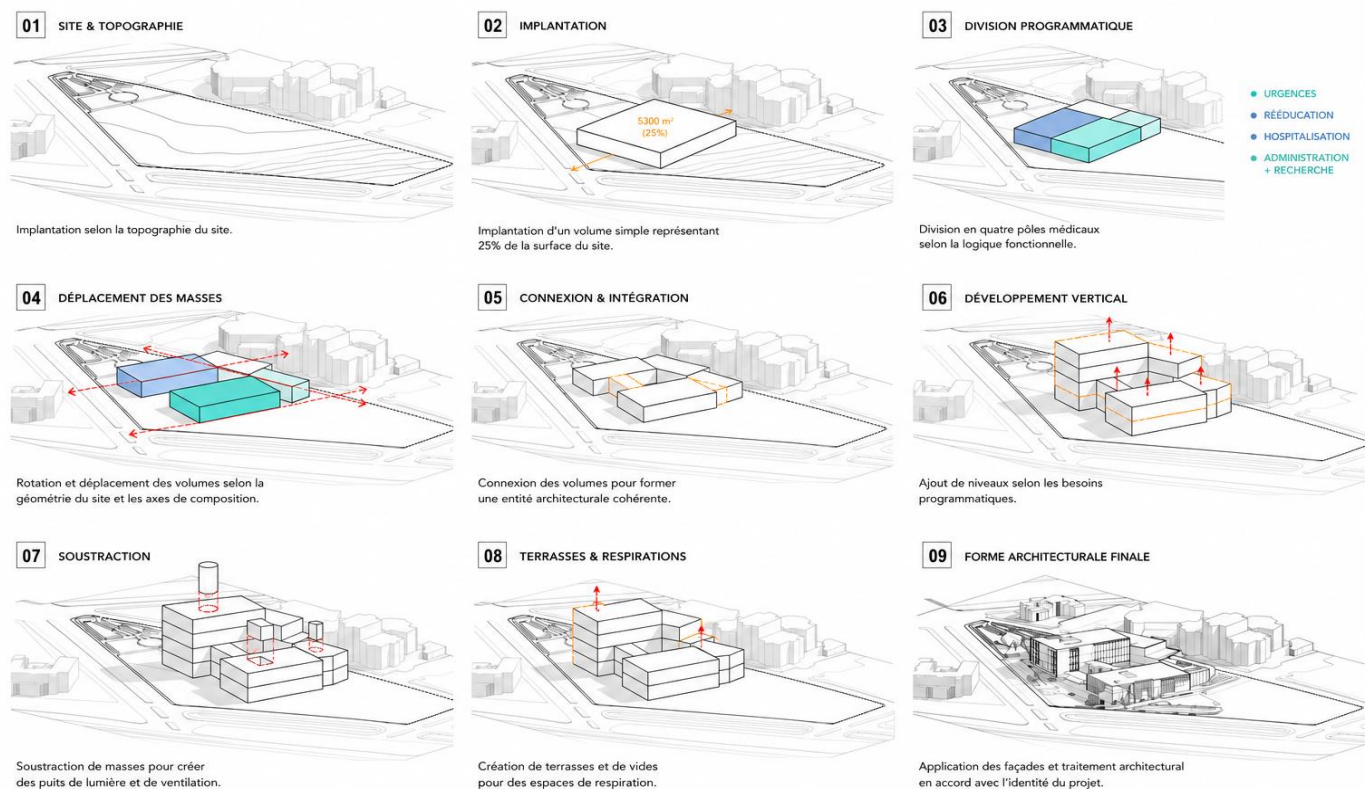


Figure 78: Diagramme illustrant la progression et l'évolution du concept formel de l'hôpital EHS de traumatologie.

Source : Auteur.

3. Description architecturale du projet

3.1 Description de plan masse :

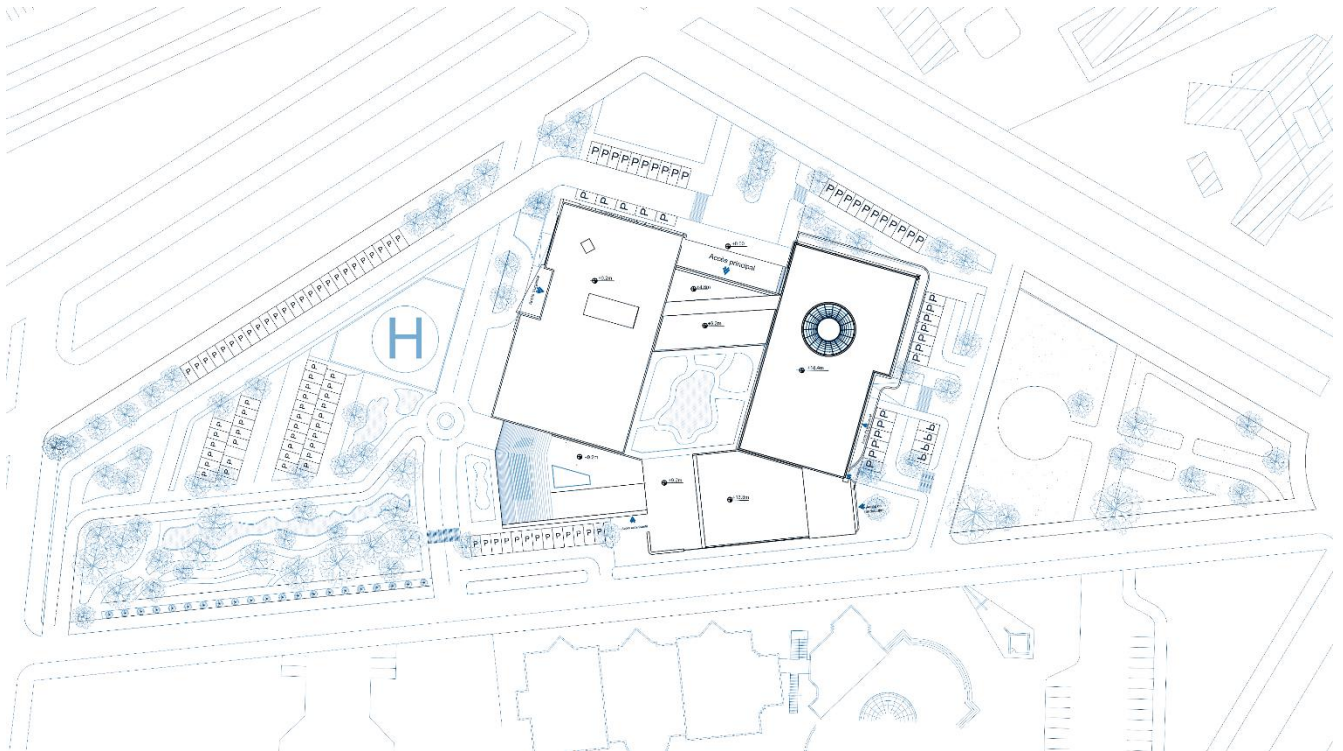


Figure 79: Plan de masse

Source: Auteur

L'accessibilité au site est assurée par une entrée principale pour les circulations piétonnes et véhicules, un accès secondaire pour le parking du personnel avec une sortie à proximité, ainsi qu'une entrée dédiée aux urgences pour les ambulances et les véhicules prioritaires.

Le bâtiment est desservi par sept accès : une entrée principale publique vers le hall de réception reliant les urgences et les consultations, une entrée dédiée aux ambulances, deux entrées pour le personnel, ainsi que des accès séparés pour l'administration, la recherche et le centre de rééducation.

Le rez-de-chaussée couvre 5 300 m² sur une surface totale de site de 20 987 m², soit un taux d'emprise au sol de 25,3 %. La surface totale construite atteint 14 770 m², correspondant à un coefficient d'exploitation de 70,4 %.

Ces valeurs traduisent une emprise modérée, laissant suffisamment d'espace pour les aménagements paysagers, le stationnement, les circulations piétonnes et les jardins, tout en créant un écran végétal contre les nuisances sonores et en favorisant des jardins thérapeutiques pour la récupération des patients.

3.2 Description de volume :

Le projet est composé de quatre volumes principaux Figure 5 organisés autour d'une cour intérieure centralisée, créant une forte hiérarchie spatiale définissant à la fois la forme générale et l'identité volumétrique du bâtiment.

L'élément le plus haut, situé au nord-ouest, prolonge l'impact visuel de la topographie du site, renforçant le terrain naturel et constituant l'ancrage principal du projet.

Une forme courbe douce au sud du bâtiment distingue les zones de recherche et d'administration tout en maintenant la continuité et la fluidité spatiale de l'ensemble du projet.

Des éléments verticaux de façade sont intégrés à la composition afin de souligner la hiérarchie des volumes

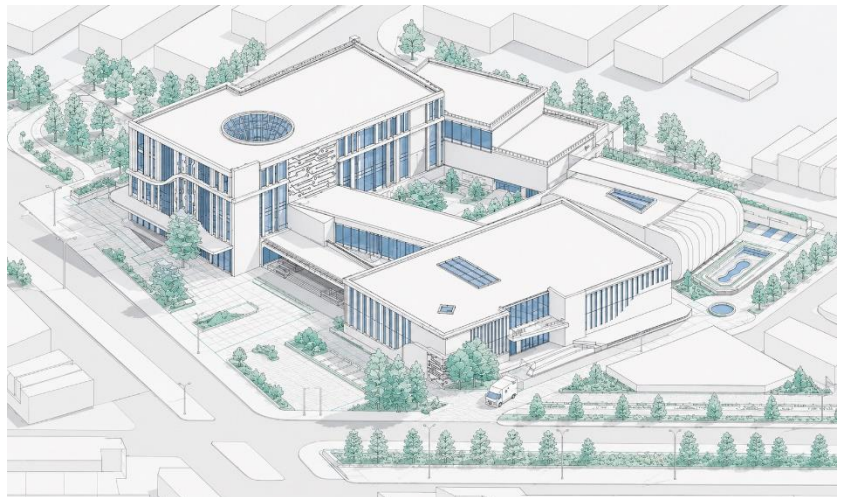


Figure 80 : Diagramme volumétrique axonométrique de l'EHS

Source: Auteur.

3.3 Description des plans:

3.3.1 Rez-de-chaussée:

Le rez-de-chaussée accueille les services des urgences et des consultations, accessibles via un hall de réception commun pour les usagers, tandis que les cas d'urgence sont pris en charge directement par le dépose-ambulance. Les deux services sont organisés selon deux axes principaux structurant la circulation, séparant les flux et améliorant la rapidité ainsi que l'efficacité opérationnelle

La fonction des urgences est organisée selon une logique de triage qui priorise les patients en fonction de la gravité de leur état, afin de les orienter vers le parcours de soins adapté dans les plus brefs délais. Figure 81



Figure 81: Diagramme des flux de circulation dans le service d'urgence. Source Auteur

Les centres de recherche et de rééducation disposent d'accès séparés, garantissant une meilleure accessibilité pour le personnel, les chercheurs, les stagiaires et les patients en rééducation.

3.3.2 Premier étage

L'organisation des urgences se prolonge au premier étage, avec l'ajout de la banque de sang et du laboratoire, améliorant l'efficacité et la qualité des soins. Ce niveau comprend également des espaces administratifs, des bureaux médicaux et des salles de réunion.

Les unités et chambres d'hospitalisation débutent au premier étage et sont accessibles par escaliers, ascenseurs et une rampe adaptée aux personnes à mobilité réduite Figure 08, garantissant une accessibilité facile.

Toutes les chambres des patients sont disposées le long des façades extérieures afin de maximiser l'éclairage naturel et la ventilation naturelle. Chaque Aile d'hospitalisation est équipée d'un poste de soins dédié assurant une surveillance continue et une prise en charge efficace des patients.

En raison de la forte relation spatiale entre les unités d'hospitalisation et le centre de rééducation, un escalier dédié relie directement le premier étage à l'unité de rééducation, assurant une continuité fluide des soins. Enfin, l'administration est située au-dessus du centre de recherche et assure la gestion des opérations de l'hôpital. Elle abrite également le centre de télécommunication, où l'ensemble des systèmes

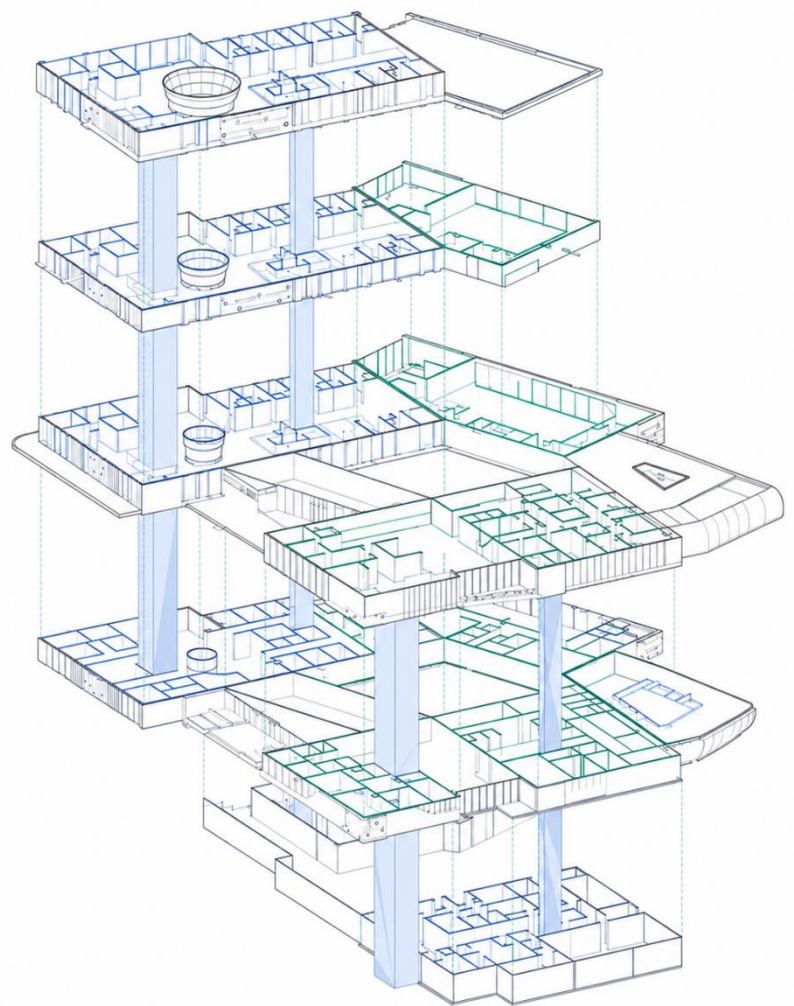


Figure 82 Diagramme Illustrant la Circulation Verticale.

Source: Auteur.

intelligents et des données sont supervisés et contrôlés.

3.3.3 Deuxième et troisième étage

Les niveaux supérieurs sont dédiés aux unités d'hospitalisation et aux chambres des patients, conçus pour offrir un environnement de soins calme, soutenu par des postes de soins stratégiquement répartis assurant une surveillance continue.

Les jardins en terrasse et les espaces communs prolongent l'environnement thérapeutique au-delà du cadre clinique, favorisant l'interaction avec la nature, le mouvement, le repos et les échanges sociaux afin de réduire le stress et de soutenir la récupération.

4. Description technique de projet

4.1 Structure :

Le projet adopte un système structurel hybride combinant un noyau en béton armé et une ossature principale en éléments métalliques, couramment utilisé en architecture high-tech, permettant des espaces flexibles, de grandes portées et une circulation efficace dans l'ensemble de l'hôpital.

Le béton armé est utilisé pour les noyaux structurels, accueillant les escaliers, ascenseurs et gaines techniques, ainsi que pour les dalles de plancher.

Les poutres et poteaux en acier sont utilisés pour optimiser la rapidité et l'efficacité de construction, tout en facilitant l'intégration des réseaux techniques grâce à une réduction de l'épaisseur structurelle par rapport au béton armé traditionnel. Cela permet d'intégrer les services techniques dans un faux plafond pour les systèmes intelligents du bâtiment, tout en maintenant des hauteurs sous plafond confortables et fonctionnelles.

La trame structurelle du projet est irrégulière et varie selon les besoins spatiaux et fonctionnels, allant de portées de 6 m pour les espaces réduits à 12 m pour les grands espaces.

Sur cette base et conformément aux normes en vigueur, le prédimensionnement des poteaux a été réalisé de manière appropriée

$$h \approx L/20 = 1200\text{mm}/20 = 600\text{mm}$$

4.2 Murs extérieurs et intérieurs

4.2.1 Mur extérieur : Les murs extérieurs sont non porteurs et servent de séparation entre les espaces intérieurs et extérieurs, offrant une flexibilité dans la conception des façades. Ils sont composés d'un système en double paroi en briques (15 cm à l'extérieur et 10 cm à l'intérieur) avec une isolation de 5 cm, assurant performance thermique et acoustique, durabilité et résistance à l'incendie.

4.2.2 Mur intérieurs

a- La paroi du bloc opératoire est composée de trois couches :

un mur en maçonnerie de 10 cm avec isolation acoustique, une cavité technique pour les réseaux de gaz médicaux et électriques, et un revêtement intérieur hygiénique empêchant le développement microbien.

b- Les murs des salles de radiologie sont constitués d'un voile en béton armé de 15 cm offrant des performances acoustiques, structurales et de résistance au feu, complété par un blindage en plomb et une cavité technique de 5 cm.

c- Les autres locaux hospitaliers utilisent des murs en maçonnerie de 20 cm avec isolation acoustique afin d'assurer le confort, l'intimité et la réduction des nuisances sonores

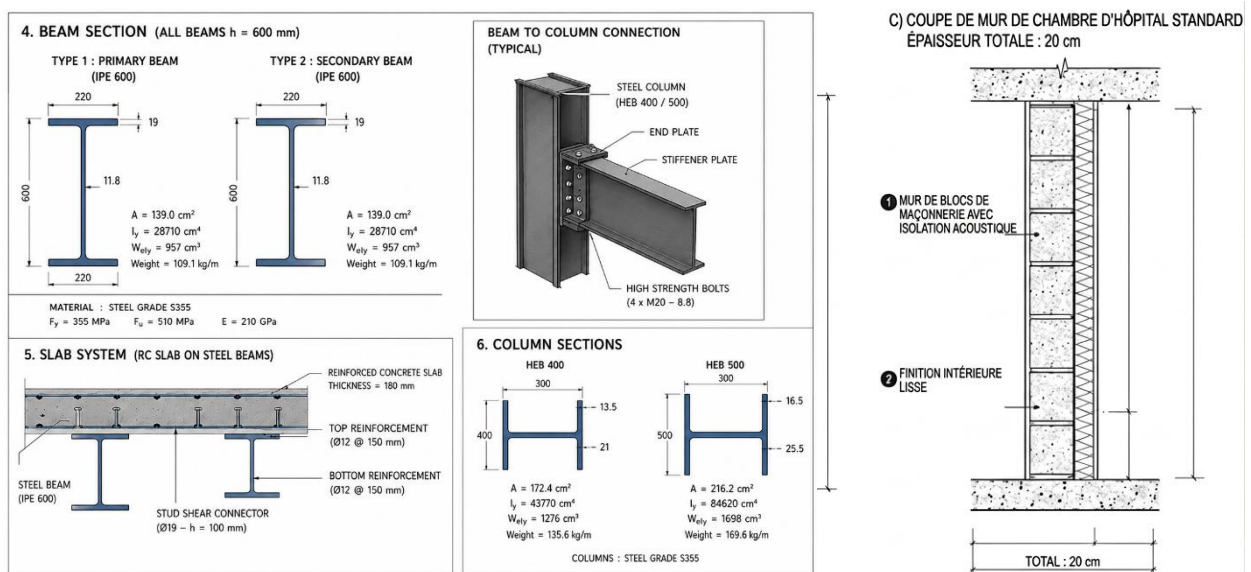
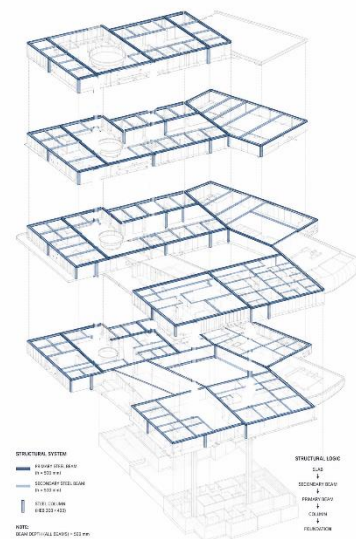


Figure 83: Vue vertical du structure.

Source: Auteur.

4.3 Revêtements extérieurs et intérieurs

4.3.1 Revêtements extérieurs

L'enveloppe extérieure est composée de pierre claire et de panneaux en béton texturé, assurant durabilité, inertie thermique et résistance aux intempéries.

Des panneaux en aluminium intégrés à une façade double peau améliorent le contrôle solaire et l'efficacité énergétique globale. Les volumes courbes aux angles et à l'entrée des urgences sont traités avec un bardage métallique nervuré.

Enfin, des surfaces vitrées à haute performance maximisent l'éclairage naturel tout en garantissant le confort thermique grâce à un traitement de contrôle solaire.

4.3.2 Revêtements intérieurs

a- Pour les zones critiques (bloc opératoire) et semi-critiques, la revêtement choisie est une peinture polyuréthane de qualité hospitalière, reconnue pour sa durabilité, sa résistance chimique et ses performances hygiéniques. Elle forme un revêtement continu et non poreux limitant l'adhérence microbienne et adapté aux désinfections fréquentes. Le système comprend une couche d'apprêt et deux couches de finition polyuréthane assurant adhérence, uniformité et durabilité.

Épaisseur totale : 0,20 mm

- Couche d'apprêt : 0,06 mm
- 1ère couche polyuréthane : 0,08 mm

Zone	Système de revêtement	Caractéristiques techniques	Épaisseur du système	Objectif fonctionnel
Chambres des patients	Peinture lavable acrylique / vinylique	Surface lisse, faible porosité, entretien facile, rendu visuel doux	0,10 – 0,20 mm	Hygiène + confort visuel + maintenance facile
Circulations et couloirs	Peinture acrylique haute résistance lavable	Résistante aux chocs, adaptée au trafic intensif et nettoyages fréquents	0,10 – 0,18 mm	Durabilité + résistance aux impacts + facilité de nettoyage
Laboratoires	Revêtement en résine époxy ou polyuréthane	Surface continue, non poreuse, haute résistance chimique et aux désinfectants	0,30 – 1,00 mm	Résistance chimique + contrôle d'hygiène strict
Buanderie & cuisine centrale	Système de résine époxy anti-humidité	Résistant à l'humidité, anti-odeur, surface hygiénique étanche	0,50 – 1,20 mm	Résistance à l'humidité + contrôle des odeurs + hygiène renforcée
Locaux techniques (stockage, locaux techniques)	Peinture sur enduit cimentaire	Solution simple, durable, résistante à la poussière et aux usages techniques	0,08 – 0,15 mm	Protection fonctionnelle + durabilité mécanique

Tableau 14: Table des revêtement murales dans les différents espaces de l'hôpital EHS de traumatologie

4.3.3 revêtements de sol figure 12

Zone	Système de revêtement de sol	Caractéristiques techniques	Épaisseur du système	Objectif fonctionnel
Salles d'opération et zones critiques	Revêtement PVC homogène hospitalier avec joints soudés	Surface continue, antibactérienne, non poreuse, résistante aux produits chimiques, antidérapante, adaptée aux environnements stériles	2 – 3 mm	Contrôle de l'hygiène + prévention des infections + facilité d'entretien
Urgences et circulations	Revêtement vinyle hétérogène	Haute résistance aux chocs et à l'abrasion, trafic intense, entretien facile, confort acoustique	2 – 3,5 mm	Durabilité + confort de circulation + résistance à l'usage intensif
Chambres des patients	Revêtement vinyle acoustique	Surface souple, absorption acoustique, aspect chaleureux, finition hygiénique et lavable	2 – 4 mm	Confort des patients + performance acoustique + hygiène
Radiologie et laboratoires	Résine époxy	Surface continue sans joints, haute résistance chimique et aux taches	2 – 5 mm	Résistance chimique + performance hygiénique
Centre de rééducation	Vinyle et caoutchouc pour espaces de rééducation, dalles céramiques antidérapantes autour des bassins d'hydrothérapie	Surface amortissante, antidérapante, hygiénique et adaptée aux activités de rééducation et milieux humides	4 – 8 mm	Sécurité des usagers + confort de mobilité + absorption des chocs + prévention des glissades
Sanitaires et zones humides	Carrelage céramique antidérapant	Résistant à l'eau, surface antidérapante, facile d'entretien, résistant à l'humidité	8 – 12 mm	Protection contre l'humidité + sécurité
Locaux techniques et services	Béton surfacé avec revêtement époxy	Haute résistance mécanique, contrôle des poussières, support des charges techniques	3 – 5 mm (revêtement)	Durabilité mécanique + entretien facilité
Bureaux administratifs et salles de réunion	Dalles vinyles ou plancher technique surélevé	Confort de marche, intégration des réseaux techniques	3 – 6 mm	Flexibilité + confort acoustique + accessibilité technique

Tableau 15 : Table des revêtement de sol dans les différents espaces de l'hôpital EHS de traumatologie

4.3.4 Revêtements des plafonds

Pour les plafonds, le principe adopté est celui d'un faux plafond suspendu en panneaux PVC à performances acoustiques, conçu pour absorber les résonances et améliorer le confort sonore des patients et des usagers.

Dans les zones stériles comme les blocs opératoires et les circulations, des systèmes de plafonds modulaires hygiéniques en acier inoxydable, aluminium ou acier galvanisé avec revêtement antibactérien assurent une surface non poreuse et facilement nettoyable. 1

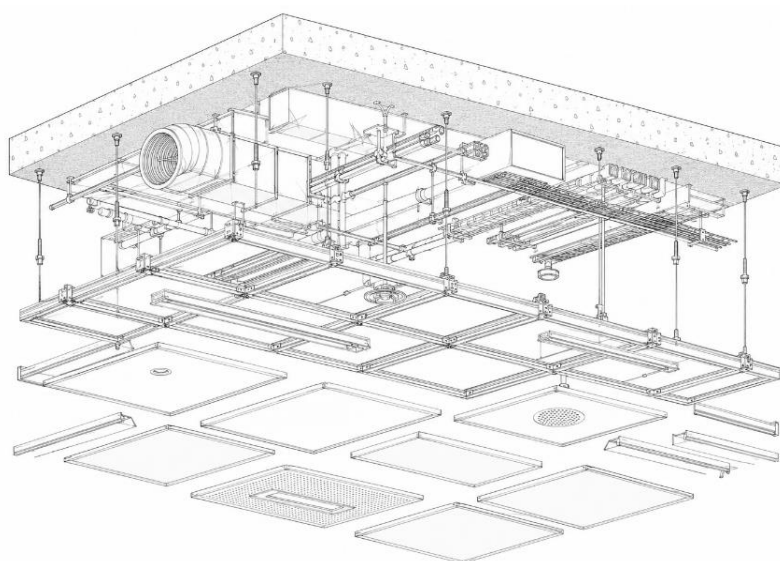


Figure 85: Détail axonométrique éclaté du système de faux plafond suspendu intégré de l'hôpital de soins de santé.

Source: Auteur.

Ce système modulaire permet également un accès facile aux réseaux CVC Figure 5, aux gaz médicaux et aux installations électriques pour la maintenance sans interruption du fonctionnement, tandis que sa structure légère de 0,5 à 0,8 mm garantit efficacité et durabilité.

4.4 Peinture

Le traitement architectural des espaces intérieurs et extérieurs repose sur une approche thérapeutique visant à améliorer le confort psychologique et le bien-être des patients.

Les peintures et matériaux sélectionnés contribuent à créer une ambiance apaisante, moderne et adaptée aux exigences hospitalières.

À l'extérieur, l'utilisation de teintes neutres et élégantes telles que le blanc cassé, le beige sable et le gris perle permet d'assurer une image architecturale sobre et accueillante tout en valorisant les volumes du bâtiment.

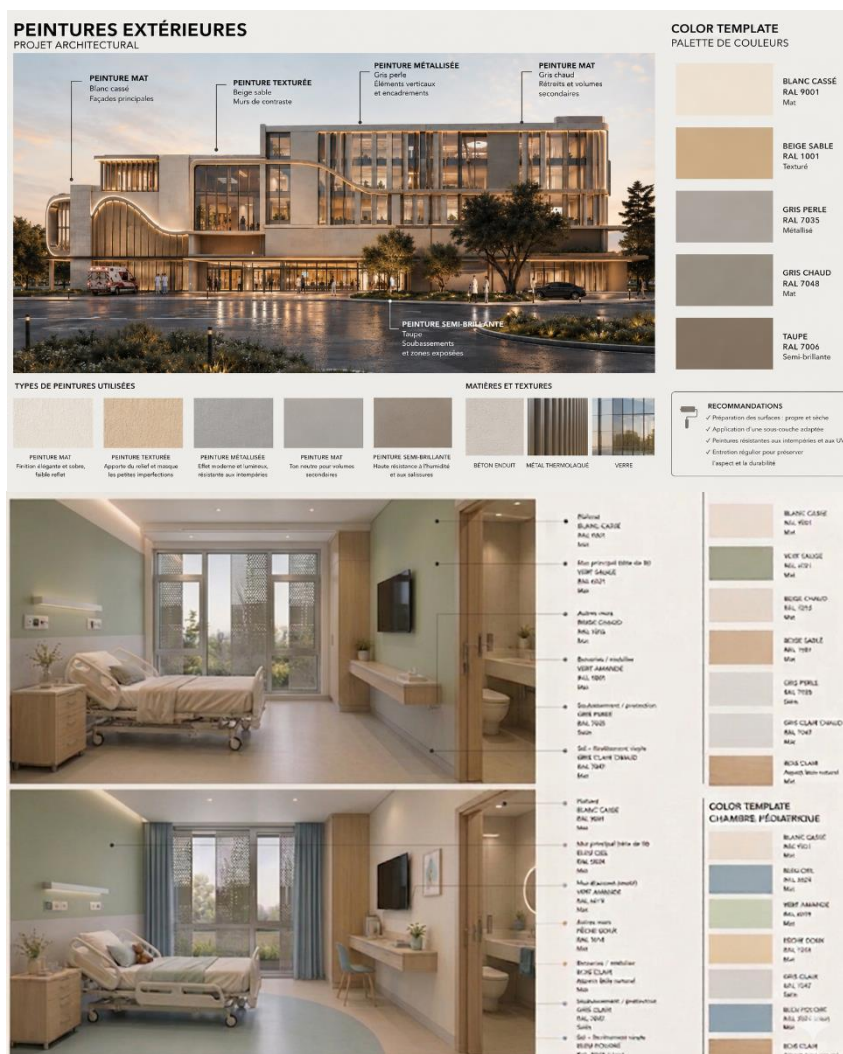
À l'intérieur, les chambres des enfants ont été conçues selon la psychologie des couleurs afin de favoriser la récupération et réduire le stress.

La chambre adulte adopte des couleurs douces et naturelles créant une atmosphère calme et rassurante, tandis que la chambre pédiatrique utilise des tons lumineux et ludiques stimulant la positivité et le confort émotionnel des enfants.

4.5 Menuiserie.

4.5.1 Portes techniques hospitalières

L'hôpital intègre des systèmes de portes intelligentes adaptés à la hiérarchie fonctionnelle et aux exigences de circulation d'un établissement de santé intelligent.



Des portes coulissantes automatiques sont installées aux entrées principales et dans les zones d'urgence afin d'assurer une circulation rapide et fluide, commandées par capteurs et intégrées au BMS pour le contrôle et le mode d'urgence Figure 86.

Les zones sensibles telles que les laboratoires, les locaux techniques, les centres de données, l'administration et le stockage pharmaceutique sont équipées de portes à contrôle d'accès électronique avec lecteurs de badges intégrés au réseau de l'hôpital Figure 3.

Les matériaux et la fonction, comme indiqué dans la figure, ainsi que les dimensions (sections, longueurs et hauteurs) des portes dépendent de leur usage fonctionnel, comme illustré dans la Figure 86.

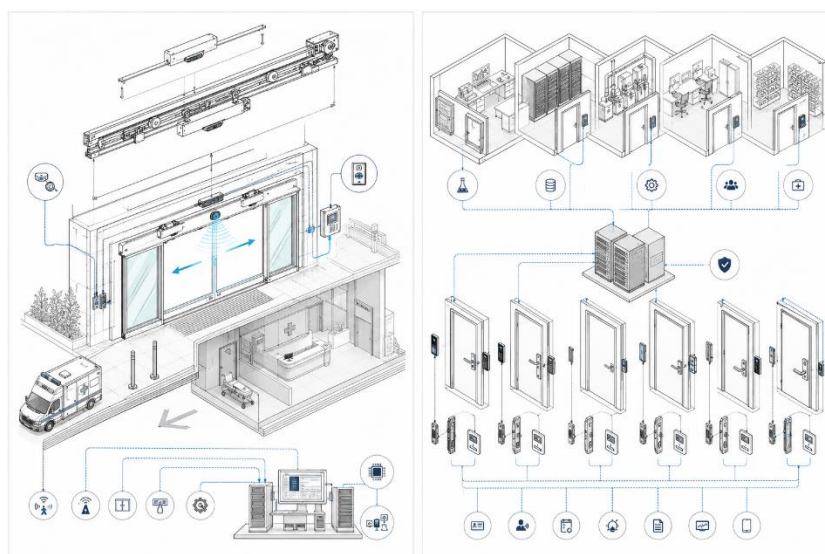


Figure 86: système des portes hospitalières intelligentes

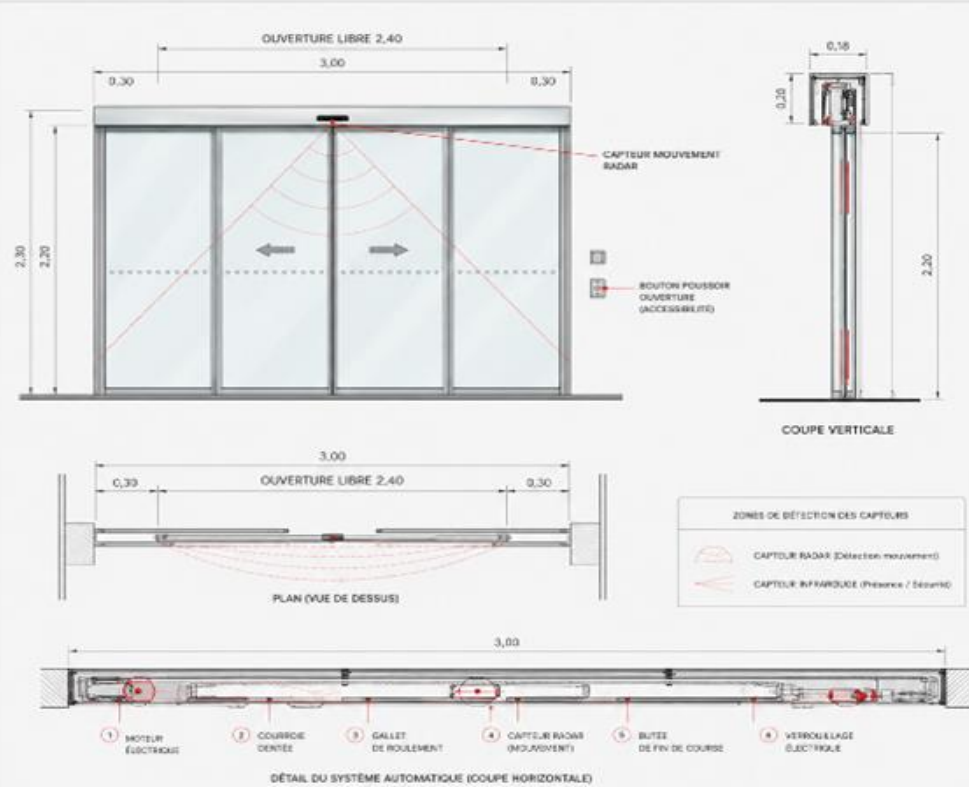
Source: Auteur.

4.5.2 Fenêtres et façades vitrées

Les fenêtres et façades vitrées sont conçues pour maximiser l'éclairage naturel, améliorer le confort thermique et acoustique, et renforcer l'efficacité énergétique du bâtiment.

Le projet utilise un double vitrage isolant à haute performance avec traitement Low-E et contrôle solaire, réduisant les gains thermiques et les nuisances sonores tout en conservant une bonne transmission lumineuse.

Les menuiseries en aluminium à rupture de pont thermique assurent durabilité, étanchéité et facilité d'entretien. Certaines ouvertures sont connectées au système BMS pour permettre une gestion intelligente de la ventilation et du confort intérieur



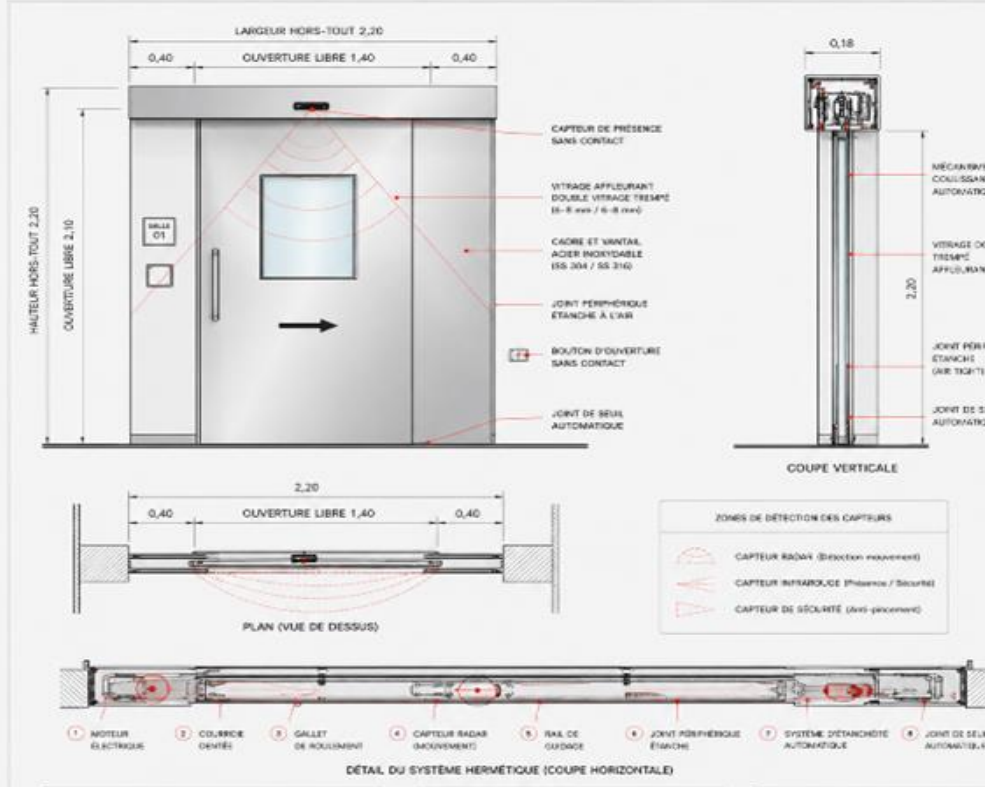
MATÉRIAUX & SPÉCIFICATIONS		FONCTIONS & INTÉGRATION		CAPTEURS & SÉCURITÉ	
CADRE	Aluminium anodisé ou thermolaqué	• Ouverture et fermeture automatiques sans contact	• Capteur radar pour détection de mouvement	• Capteur radar (détection mouvement)	
VITRAGE	Vitre trempée de sécurité 10-12 mm ou verre feuilleté 6-8 mm	• Capteurs infrarouges de sécurité (anti-encastrement)	• Intégration contrôle d'accès (badge, code, biométrie)	• Capteurs infrarouges (présence / sécurité)	
FINITION	Anodisé argent / Thermolaqué RAL au choix	• Connexion BMS (Building Management System)	• Mode issue de secours (ouverture d'urgence)	• Capteur de sécurité (anti-encastrement)	
ÉTANCHÉITÉ	Joint silicone + joints EPDM	• Réglage vitesse d'ouverture / fermeture	• Fonction maintien ouvert (régulable)		
OUVERTURE LIBRE	Jusqu'à 2,40 m				
HAUTEUR LIBRE	2,20 m (standard)				
ALIMENTATION	230 V AC - 50/60 Hz				

P2

PORTE COULISSANTE AUTOMATIQUE
 ENTRÉES - URGENCES - ZONES CRITIQUES

OUVERTURE LIBRE
 JUSQU'À 2,40 m

SYSTÈME AUTOMATIQUE
 CONTACTLESS & SÉCURISÉ



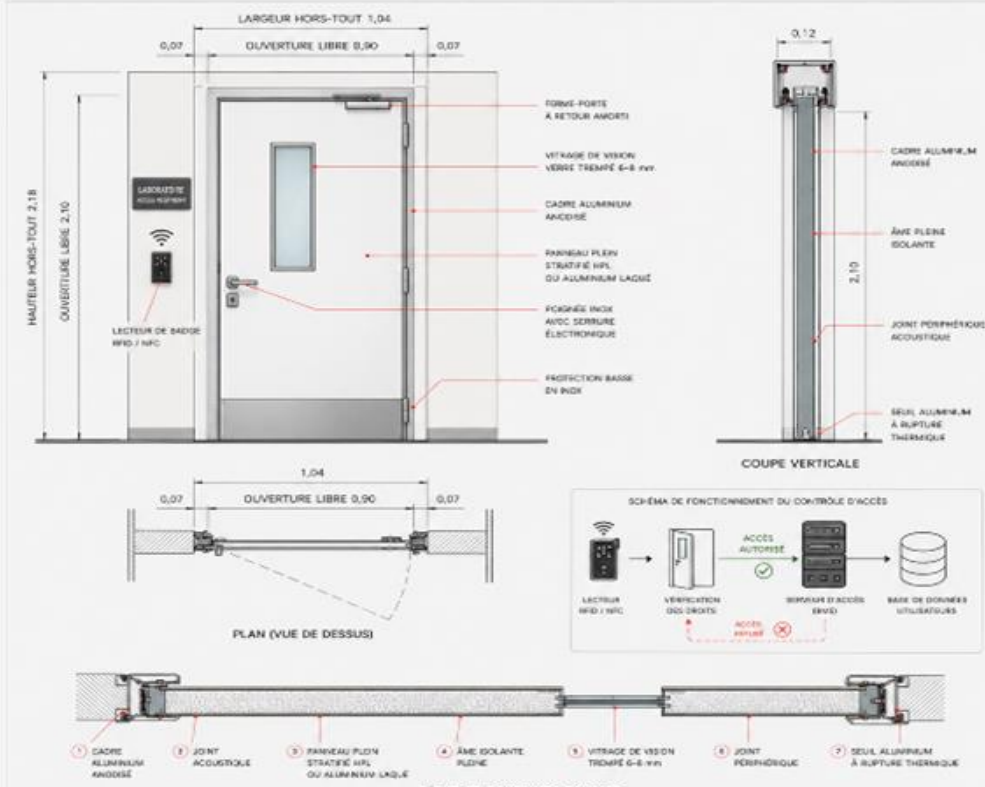
MATÉRIAUX & SPÉCIFICATIONS		FONCTIONS & INTÉGRATION		CAPTEURS & SÉCURITÉ	
CADRE & VANTAIL	Acier inoxydable SS 304 / SS 316	• Ouverture et fermeture automatiques sans contact	• Capteurs radar et infrarouges de sécurité	• Capteur radar (détection mouvement)	
VITRAGE	Double vitrage trempé isolé 6-8 mm par couche (lifféant)	• Maintien de l'étanchéité à l'air en position fermée	• Intégration au contrôle de pression et au CVC (HVAC)	• Capteurs infrarouges (présence / sécurité)	
FINITION	Brushed satiné / Anti-reflets	• Connexion BMS (Building Management System)	• Système d'interverrouillage (interlock)	• Capteur de sécurité (anti-encastrement)	
JOINT PÉRIMÉRIQUE	Cauchoïde EPDM continu, étanche à l'air	• Contrôle d'accès (badge, code, biométrie)	• Fonction mode urgence / évacuation		
JOINT DE SEUL	Automatique, étanche à l'air	• Réglage vitesse d'ouverture / fermeture	• Fonction maintien ouvert (régulable)		
OUVERTURE LIBRE	Jusqu'à 1,40 m (standard)				
HAUTEUR LIBRE	2,10 m (standard)				
ALIMENTATION	230 V AC - 50/60 Hz				

P3

PORTE HERMÉTIQUE (ÉTANCHE À L'AIR)
 BLOCS OPÉRATOIRES - ISOLEMENT - ZONES STÉRILES

OUVERTURE LIBRE
 JUSQU'À 1,40 m

ÉTANCHEITÉ À L'AIR
 CONTRÔLE DES INFECTIONS
 ENVIRONNEMENT STÉRILE



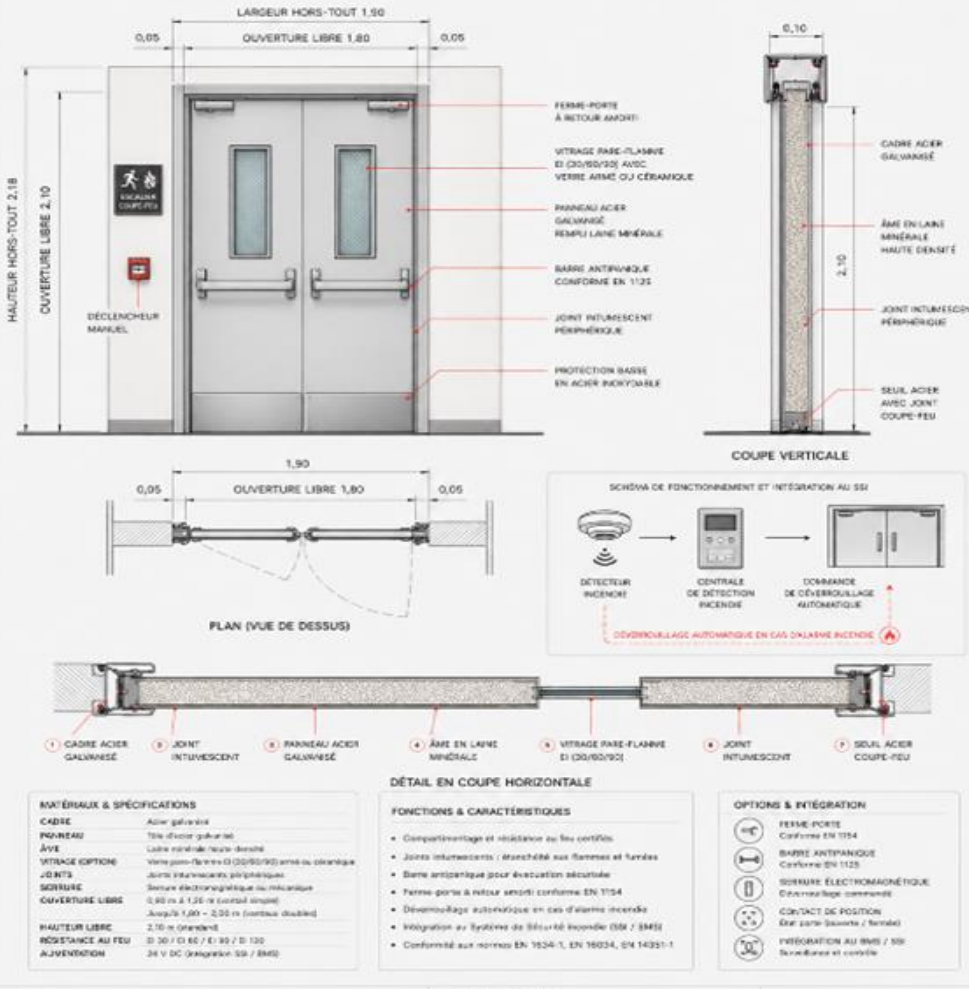
MATÉRIAUX & SPÉCIFICATIONS		FONCTIONS & CARACTÉRISTIQUES		OPTIONS DE CONTRÔLE D'ACCÈS	
CADRE	Aluminium anodisé	• Contrôle d'accès sécurisé par badge, code PIN ou biométrie	• Connexion temps réel avec le serveur BMS	• LECTEUR RFID / NFC	
PANNEAU	Stratifié HPL ou aluminium laqué	• Automatisation et journalisation des accès	• Gestion des droits utilisateurs et plages horaires	• CLAVIER À CODE PIN	
ÂME	Plaque isolante (laine minérale)	• Alertes en cas de tentative d'effraction non autorisée	• Intégration avec interphone vidéo (voir interlock)	• LECTEUR BIOMÉTRIQUE	
VITRAGE (OPTION)	Vitre trempée 6-8 mm	• Fonction mode urgence / évacuation	• Conformité sécurité & confidentialité des données	• RECONNAISSANCE FACIALE	
JONTS	Joints périphériques acoustiques				
SERRURE	Serrure électronique à clé				
OUVERTURE LIBRE	0,90 m (standard simple)				
HAUTEUR LIBRE	2,10 m (standard)				
ALIMENTATION	12/24 V DC (batterie d'appoint)				

P5

PORTE À CONTRÔLE D'ACCÈS
 SÉCURITÉ - TRAÇABILITÉ - CONTRÔLE

OUVERTURE LIBRE
 0,90 m - 1,20 m

SÉCURITÉ RENFORCÉE
 INTÉGRATION BMS
 SURVEILLANCE & TRAÇABILITÉ

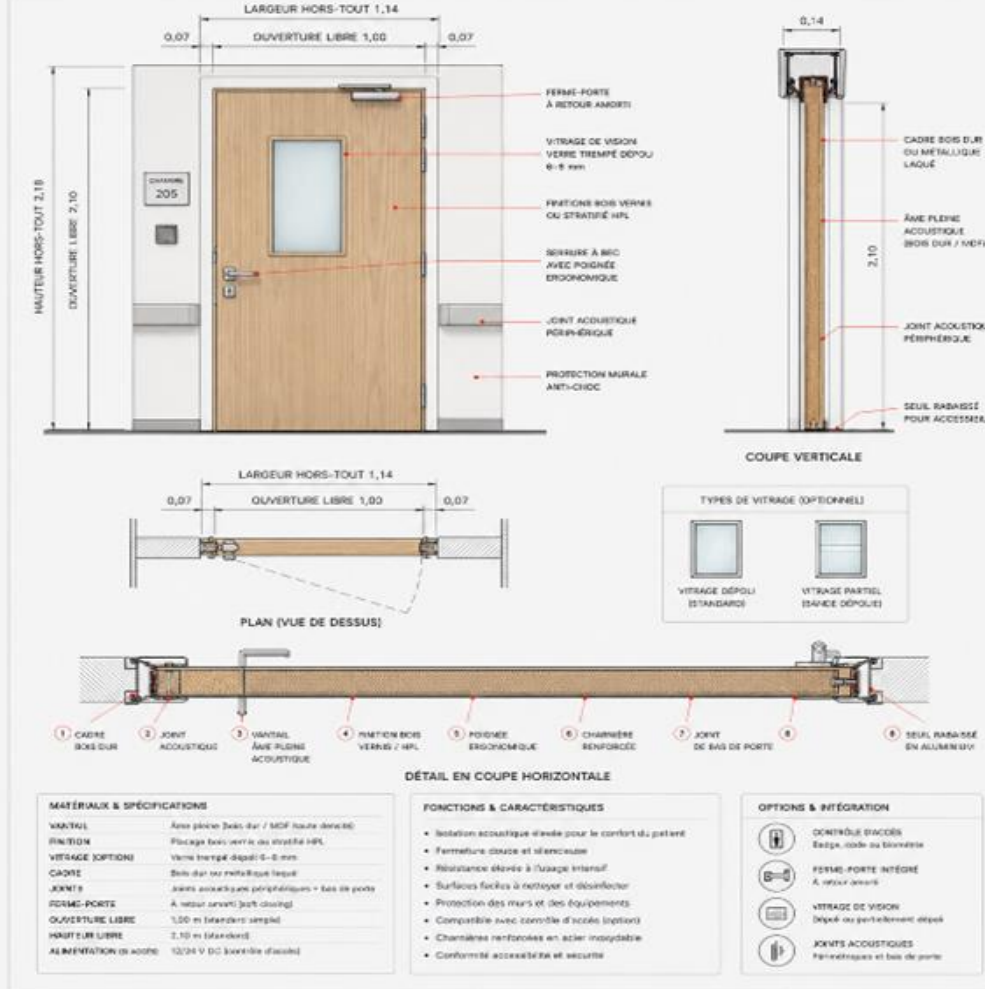


P6

PORTE COUPE-FEU
 SÉCURITÉ - COMPARTIMENTAGE - ÉVACUATION

OUVERTURE LIBRE
 0,90 m - 1,20 m
 (VANTAIL SIMPLE)
 JUSQU'À 1,80 - 2,00 m
 (VANTAIL DOUBLES)

RÉSISTANCE AU FEU
 EI 30 / EI 60 / EI 90 / EI 120
 INTÉGRATION SDI / BMS
 SURVEILLANCE & TRAÇABILITÉ

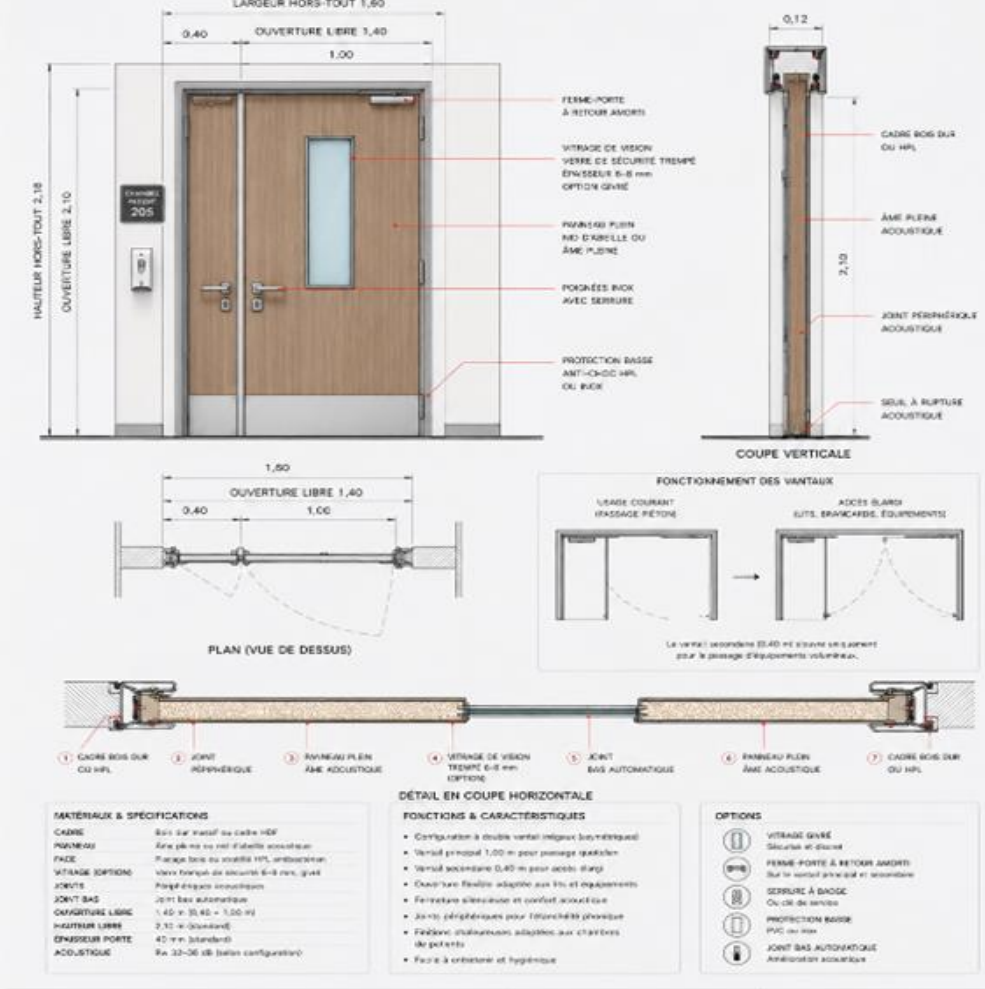


P4

PORTE CHAMBRE PATIENT (FINITION BOIS)
 CONFORT - INTIMITÉ - ACOUSTIQUE - DURABILITÉ

OUVERTURE LIBRE
 1,00 m (SIMPLE)
 1,40 - 1,60 m (DOUBLE)

CONFORT DU PATIENT
 INTIMITÉ & ACOUSTIQUE
 FONCTIONNALITÉ CLINIQUE



P7

PORTE CHAMBRE PATIENT - DOUBLE VANTAIL INÉGAL
 CONFORT - ACCESSIBILITÉ - FLEXIBILITÉ

OUVERTURE LIBRE
 1,40 m (S4) - 1,20 m (S6)
 HAUTEUR LIBRE
 2,10 m

USAGE
 CHAMBRES DE PATIENTS
 SOINS & CONFORT
 ACCESSIBILITÉ ÉQUIPEMENTS

4.5.3 Façade double peau intelligente et protection solaire

La façade intelligente est composée d'une double peau intégrant des panneaux métalliques perforés coulissants permettant de filtrer, rediriger et contrôler dynamiquement la lumière naturelle selon l'orientation solaire. Ce système crée une zone tampon thermique entre l'enveloppe intérieure vitrée et la peau extérieure mobile, contribuant à la réduction des gains solaires, à la limitation des pertes énergétiques et à l'amélioration du confort thermique et visuel des espaces intérieurs.

Les panneaux coulissants s'adaptent en temps réel aux conditions climatiques afin de contrôler l'ensoleillement, réduire l'éblouissement et optimiser l'apport de lumière naturelle tout en préservant la transparence de la façade. Connectée au système BMS grâce à des capteurs de température, d'ensoleillement et de vent ainsi qu'à des dispositifs motorisés, la façade ajuste automatiquement les protections solaires, la ventilation naturelle et les ouvertures selon les besoins énergétiques et le confort des occupants, renforçant ainsi l'efficacité énergétique et l'intelligence environnementale du bâtiment.



Figure 87 : système de façade double peau

Source: Auteur

4.6 Gestion intelligente des Corps d'État Secondaires (CES)

4.6.1 Gestion intelligente de l'eau (AEP)

Le système intelligent de gestion de l'eau (PWS) assure le contrôle, la surveillance et l'optimisation de la consommation d'eau au sein de l'hôpital.

Il repose sur des capteurs, des compteurs intelligents et des dispositifs automatisés intégrés au système de gestion technique du bâtiment (BMS), permettant la détection des fuites, le suivi en temps réel de la consommation et l'optimisation de l'efficacité hydrique.

Ce système permet de réduire le gaspillage d'eau, d'améliorer les opérations de maintenance et d'assurer une alimentation continue en eau dans les zones critiques de l'hôpital.

Les eaux pluviales et les eaux grises, collectées à partir de sources non contaminées, sont traitées par des systèmes de filtration et de désinfection Figure avant d'être réutilisées pour l'irrigation des espaces verts et l'entretien des aménagements paysagers, réduisant ainsi la consommation d'eau potable grâce au recyclage durable.

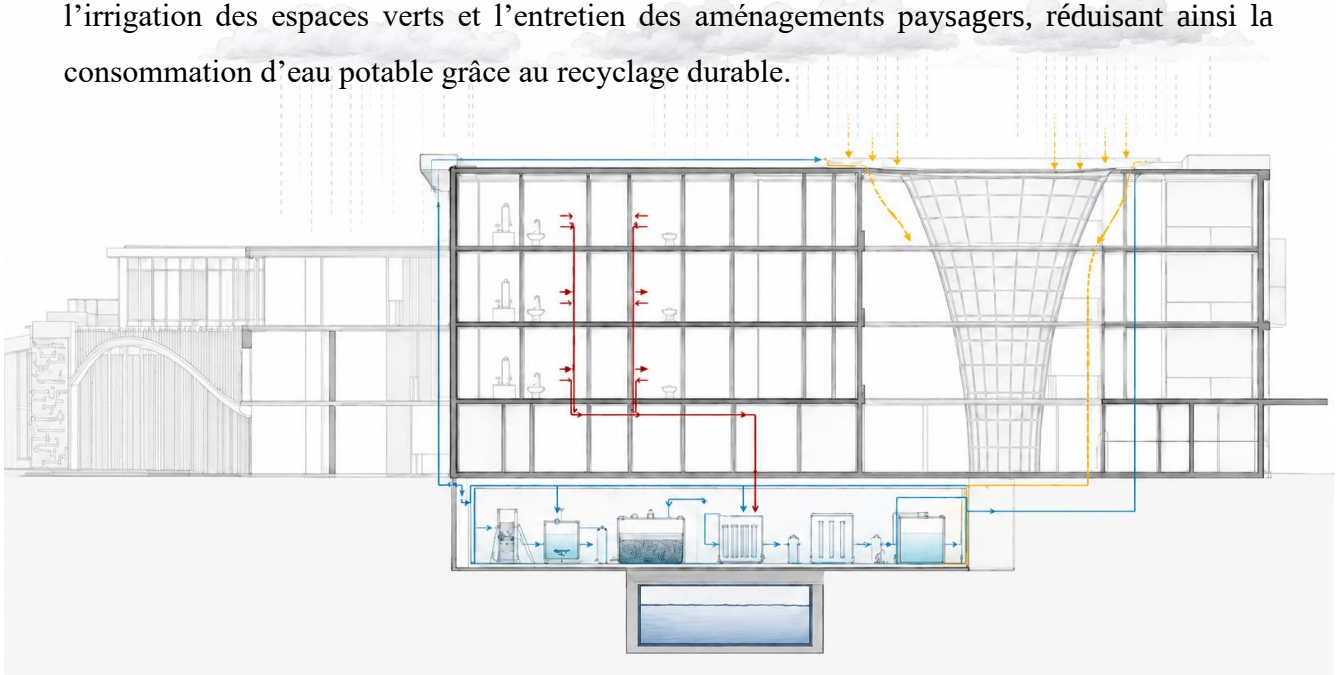


Figure 88 : Diagramme du Système Intégré de Traitement et de Recyclage des Eaux Grises et Pluviales

Source: Auteur.

4.6.2 Gestion intelligente de l'énergie

a- Électricité

En intégrant des compteurs intelligents, des capteurs et un système de gestion technique du bâtiment (BMS/GTB), la surveillance énergétique en temps réel et l'optimisation des charges sont assurées, permettant la détection précoce des anomalies et une meilleure gestion de l'énergie.

En cas de panne électrique, les systèmes UPS et les groupes électrogènes sont automatiquement activés, avec un délestage priorisant les zones médicales critiques telles que les blocs opératoires et les unités de soins intensifs, garantissant la continuité de l'alimentation et la sécurité des patients.

b- Gaz

Système intelligent de gaz naturel

Le système de gaz naturel alimente principalement la cuisine centrale pour la préparation des repas. Il est également utilisé dans les locaux techniques, les chaudières, les équipements de blanchisserie et la production d'énergie de secours en cas d'urgence.

Il intègre des capteurs de détection de gaz, des régulateurs de pression, des vannes de contrôle et des compteurs intelligents connectés au BMS pour une surveillance et un contrôle en temps réel.

En cas de fuite, le système la détecte automatiquement, alerte le BMS et déclenche une coupure automatique pour garantir la sécurité. Il améliore également l'efficacité énergétique et permet la maintenance prédictive grâce à l'analyse des données.

Système intelligent de gaz médicaux

Au lieu de bouteilles individuelles, un réseau centralisé de gaz médicaux alimente tous les services depuis une source unique, assurant la production, le stockage et la distribution via un réseau fixe.

Il fournit l'oxygène (O₂), l'air médical, le protoxyde d'azote, le vide, le CO₂ pour usage chirurgical et l'azote pour les équipements. L'intégration intelligente permet le contrôle continu de la pression, la qualité des gaz, le suivi de la consommation, les systèmes d'alarme et la commutation automatique entre

l'alimentation

principale et de secours, le tout connecté au BMS.

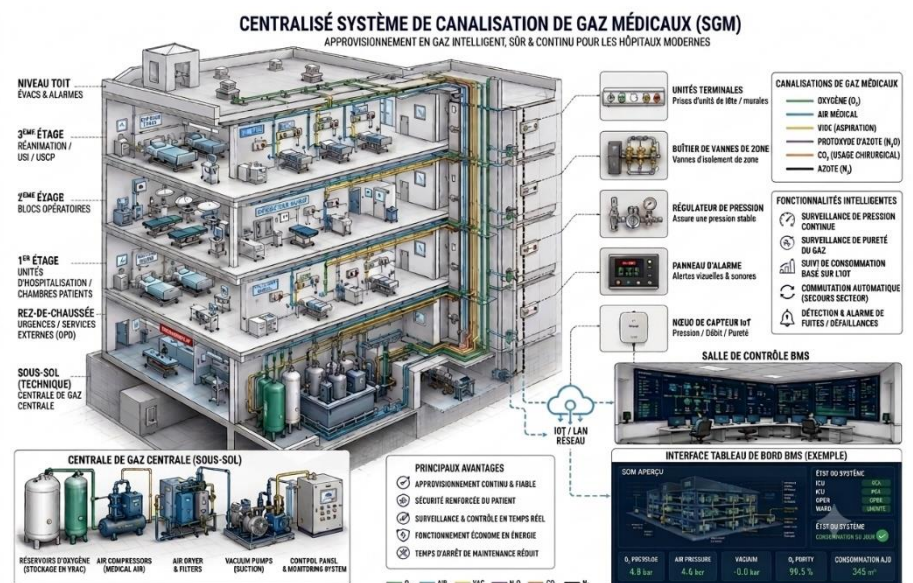


Figure 89 :CENTRALISÉ SYSTÈME DE CANALISATION DE GAZ MÉDICAUX (SGM)

Source: Auteur.

4.6.3 Gestion intelligente du confort

a- Climatisation

Le bâtiment adopte un système CVC centralisé assurant un contrôle précis de la température, de l'humidité et de la qualité de l'air. Il est zoné selon les différents espaces et contrôlé localement afin de répondre aux besoins des patients. Son intégration au BMS permet une optimisation en temps réel et une meilleure efficacité énergétique.

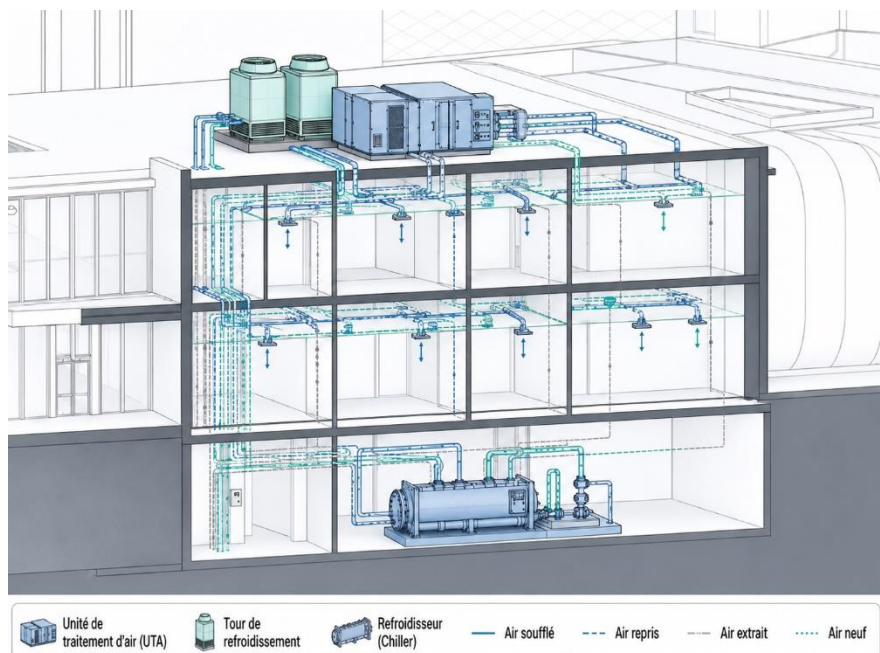


Figure 90: Schéma CVC Intégré du Bâtiment

Source: Auteur.

b- Chauffage

Le système de chauffage est intégré au réseau CVC afin d'assurer le confort thermique durant les périodes froides. Il distribue la chaleur selon les besoins fonctionnels et les taux d'occupation des différentes zones du bâtiment.

La chaleur est produite par des chaudières centrales intégrées au système CVC et diffusée via des gaines d'air en fonction de la demande. La température est régulée par des thermostats et le système de gestion technique du bâtiment (BMS), garantissant un confort intérieur stable, contrôlé et efficace.

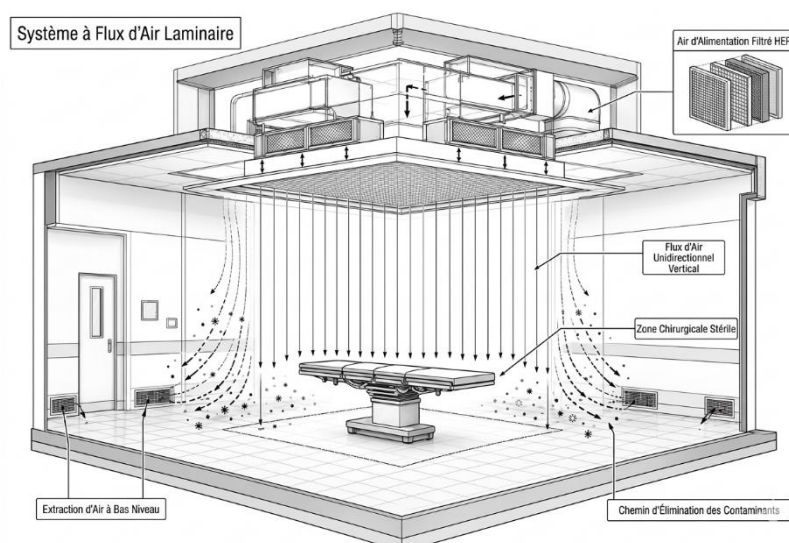


Figure 91: Schéma d'un Système à Flux d'Air Laminaire

Source: Auteur.

c -Ventilation Le bloc opératoire utilise un système CVC à flux laminaire pour maintenir un environnement stérile figure 01. L'air filtré par HEPA est diffusé depuis le plafond en flux vertical descendant, créant un rideau d'air

propre au-dessus de la zone chirurgicale et repoussant les contaminants vers des points d'extraction bas, afin de réduire les risques d'infection et garantir la stérilité opératoire.

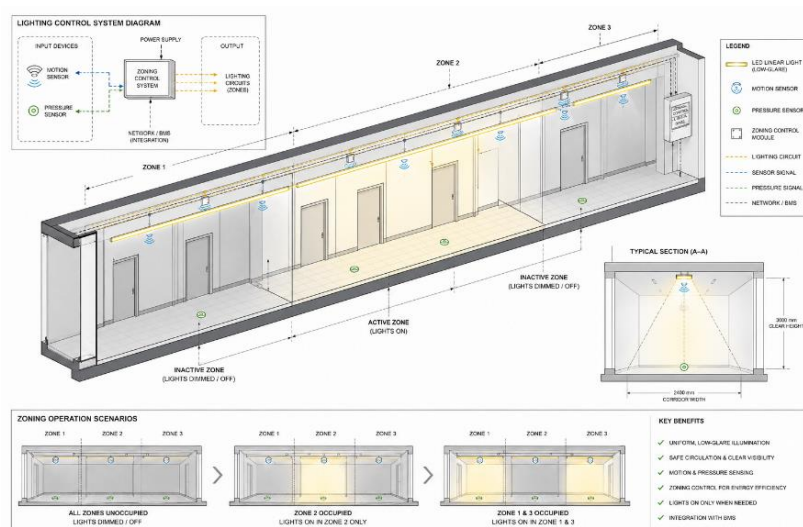
Le système CVC assure une ventilation mécanique des espaces fermés sans ventilation naturelle, notamment le parking souterrain, garantissant le renouvellement de l'air et l'évacuation des polluants pour une qualité d'air conforme aux normes.

Les centrales de traitement d'air (CTA/AHU) assurent le conditionnement et la distribution de l'air dans tout l'établissement, en régulant température, humidité, filtration et débit afin de garantir confort thermique et qualité sanitaire de l'air.

d- Luminosité

Bloc opératoire : Les blocs opératoires utilisent un système d'éclairage contrôlé combinant éclairage général et lampes chirurgicales focalisées, assurant une grande précision et une visibilité sans ombre. Les niveaux d'éclairage sont réglables afin de garantir un confort visuel optimal et des conditions opératoires sûres.

Chambres des patients : L'éclairage des chambres des patients est géré par un système intelligent intégré KNX, contrôlé via des panneaux locaux. Il utilise des capteurs de lumière naturelle, des données temporelles et un contrôle assisté par IA pour optimiser les niveaux d'éclairage, en maximisant l'apport de lumière naturelle et en réduisant l'usage de l'éclairage artificiel lorsque cela n'est pas nécessaire.



Circulation : L'éclairage des couloirs de circulation est conçu pour offrir un niveau d'éclairement uniforme et sans éblouissement, garantissant une circulation sûre et une bonne visibilité. Des capteurs de mouvement et de pression, associés à un système de gestion par zones, permettent d'optimiser la consommation énergétique en n'activant l'éclairage qu'en fonction de l'occupation, tout en assurant confort et sécurité des usagers.

Le tableau suivant résume les niveaux d'éclairage recommandés, les températures de couleur et l'ambiance lumineuse :

Espace	Illuminance (Lux)	Température de couleur (K)	Ambiance / Caractère lumineux
Bloc opératoire	1 000 – 10 000 lux (jusqu'à 100 000 lux au niveau du champ opératoire)	4 000 – 5 000 K	Environnement stérile, contrôlé, sans ombre, orienté vers la précision
Couloirs de circulation	100 – 200 lux	3 000 – 4 000 K	Éclairage uniforme et sans éblouissement assurant une circulation sûre et une bonne visibilité
Chambres des patients	100 – 300 lux (ajustable)	2 700 – 3 500 K	Ambiance calme et confortable, adaptée au repos, aux soins et à la lecture

Tableau 16 : les spécifications techniques pour l'éclairage et la sécurité source : auteur

3.6.4 Gestion intelligente de la sécurité

4.6.4 Gestion intelligente du sécurité

a- Vidéosurveillance

L'hôpital est équipé d'un système de vidéosurveillance centralisé basé sur IP, assurant un suivi continu de la sécurité et un contrôle opérationnel de l'ensemble du bâtiment. Des caméras CCTV haute définition sont stratégiquement placées aux entrées, dans les couloirs de circulation, aux accès d'urgence, dans les parkings, les locaux techniques et les zones médicales sensibles afin d'assurer une couverture complète et d'éliminer les angles morts.

Le système fonctionne via un réseau numérique sécurisé relié à une salle de contrôle centralisée diffusant les flux en direct vers plusieurs postes de sécurité. Les enregistrements vidéo sont stockés sur des serveurs dédiés avec des cycles de sauvegarde et de mise à jour périodiques afin d'assurer la continuité du service et une gestion optimisée des données.

b- Lutte contre l'incendie

La stratégie de sécurité incendie repose sur la détection précoce, la réponse rapide et le contrôle compartimenté afin de protéger les patients, le personnel et les infrastructures critiques.

La détection et la surveillance sont assurées par des détecteurs de fumée, des capteurs thermiques et des systèmes de vidéosurveillance connectés au système de gestion technique du bâtiment (BMS), permettant l'identification précoce des risques d'incendie.

La propagation de la fumée et du feu est contrôlée grâce aux systèmes d'extraction de fumée, au compartimentage incendie, aux zones à pression contrôlée et à l'arrêt automatique de la ventilation mécanique afin d'isoler les zones affectées.

Un réseau dédié de lutte contre l'incendie, alimenté par des réservoirs et des pompes, assure l'alimentation des systèmes automatiques de sprinklers dans l'ensemble du bâtiment pour une extinction rapide.

Les zones critiques telles que les centres de données, les locaux électriques et les unités d'imagerie sont protégées par des systèmes d'extinction à agents propres (CO₂ ou gaz inertes) afin d'éviter les dommages aux équipements.

4.6.5 Gestion intelligente des télécommunications et des réseaux de gestion

a- Réseau téléphonique

Le système de téléphonie est un réseau téléphonique privé qui gère les appels internes au sein de l'organisation et les redirige vers les lignes externes grâce à l'utilisation d'un système PBX .figure 04 Il connecte tous les téléphones via un réseau interne fermé.

Ce système permet la communication interne entre les départements, le personnel et les services, ainsi que la communication externe avec le réseau téléphonique public.

L'hôpital intègre également un système de ligne téléphonique interne reliant directement les chambres des patients aux postes infirmiers afin d'assurer une réponse rapide et une surveillance continue des patients. Lors de son activation, le système déclenche automatiquement des alertes sonores et visuelles au poste infirmier, permettant une intervention immédiate et une prise en charge rapide du patient.

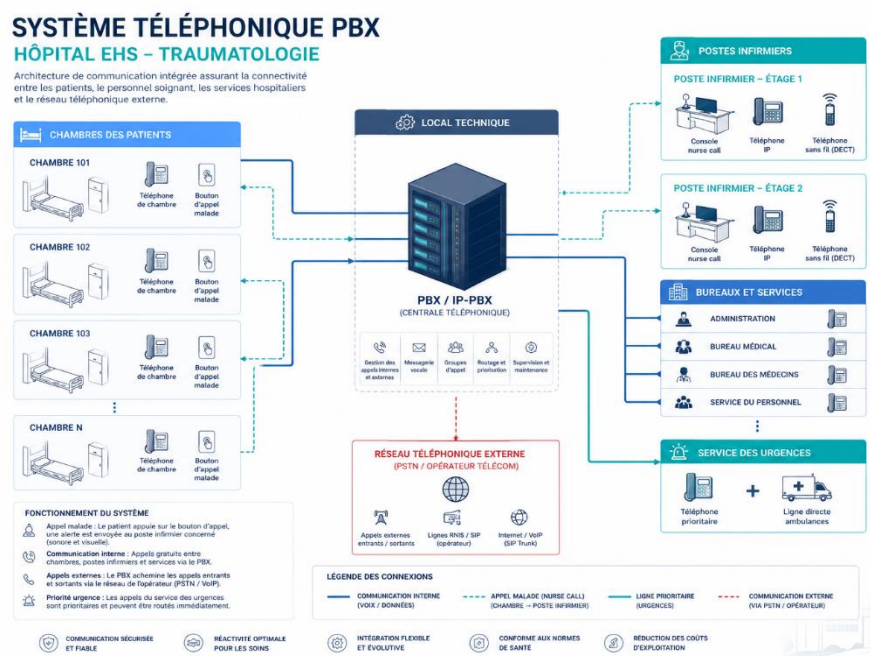


Figure 92: Système de téléphonie PBX

Source: Auteur.

b- Réseau Wi-Fi

Wi-Fi de l'hôpital est un réseau sans fil privé permettant la connexion sécurisée des utilisateurs et des équipements au sein de l'établissement. Il repose sur une infrastructure centrale de points d'accès reliés à un réseau filaire principal et gérés par un contrôleur réseau.

Le réseau Wi-Fi est également intégré aux systèmes numériques de l'hôpital afin de faciliter la mobilité du personnel médical, l'accès rapide aux informations patients et la coordination entre les différents départements, tout en garantissant un niveau élevé de sécurité et de contrôle des accès.

figure

Les espaces techniques comprennent les locaux électriques, les locaux CVC, les salles de gaz médicaux, les salles serveurs, les stations de traitement et de pompage d'eau, les locaux de protection incendie, les ateliers de maintenance et les zones de gestion des déchets.

Les systèmes de chaudières et de refroidissement fonctionnent avec le réseau CVC afin d'assurer le chauffage et le refroidissement de l'hôpital. L'eau est chauffée ou refroidie dans la centrale technique avant d'être distribuée à travers le système CVC pour garantir le confort thermique et certains usages domestiques.

Le projet intègre également un réservoir d'eau de secours assurant une alimentation continue en cas d'urgence ou d'interruption du réseau, ainsi qu'un réservoir d'eau résistant au feu connecté au système de lutte contre l'incendie afin de renforcer la sécurité de l'hôpital.

Le système de gestion des eaux grises collecte les eaux provenant de sources non contaminées, les traite par filtration et désinfection UV, puis les stocke et les réutilise pour



l'irrigation paysagère et l'entretien extérieur, réduisant ainsi la consommation d'eau potable et favorisant une gestion durable de l'eau. Enfin, le local électrique intègre des générateurs et des systèmes de batteries UPS garantissant une alimentation électrique ininterrompue, assurant un secours immédiat en cas de panne et le fonctionnement continu des systèmes hospitaliers critiques.

4.7 VRD : voirie et réseaux divers

4.7.1 Voirie

Les voiries sont conçues pour assurer une séparation fonctionnelle claire entre les accès publics, la circulation des urgences et les déplacements du personnel.

La voie d'accès principale mène directement à l'entrée principale et est connectée aux zones de stationnement, facilitant l'arrivée et la sortie des patients. Un point d'accès contrôlé régule et distribue les flux entre les zones publiques et celles du personnel, améliorant la sécurité et la clarté opérationnelle.

La topographie du site permet une séparation verticale entre la circulation publique et celle des urgences. La voie publique est positionnée à un niveau supérieur, tandis que l'accès des urgences est situé en contrebas, isolant la circulation des ambulances du trafic général et garantissant une intervention d'urgence plus rapide.

Les portails des urgences sont équipés de systèmes intelligents à capteurs capables de détecter automatiquement les véhicules d'urgence autorisés et de déclencher une ouverture instantanée sans intervention manuelle.

4.7.2 Trottoirs

La toiture de l'hôpital EHS de traumatologie est conçue avec une pente de 1,2 % afin d'assurer une collecte efficace des eaux pluviales et un drainage naturel sur l'ensemble des surfaces de toiture. Toutes les eaux de ruissellement sont dirigées vers un réservoir centralisé, où elles sont stockées et réutilisées après traitement.

La toiture accueille également les principales infrastructures CVC, notamment les centrales de traitement d'air (CTA/AHU) et les systèmes de tours de refroidissement, stratégiquement positionnés à proximité des gaines techniques afin d'assurer une distribution directe vers les espaces hospitaliers à travers un réseau intégré de gaines d'air.



4.7.3 Assainissement

Le réseau d'assainissement du projet est conçu selon un système séparatif distinguant les eaux usées des eaux pluviales, conformément aux normes hospitalières en vigueur.

Eaux usées :

Les eaux usées domestiques et hospitalières sont collectées par un réseau de canalisations intérieures raccordées au réseau d'assainissement urbain. Les effluents issus des zones à risque (blocs opératoires, laboratoires, zones de stérilisation) sont préalablement traités par une station de prétraitement interne (neutralisation, désinfection) avant rejet dans le réseau public, conformément aux exigences sanitaires et environnementales applicables aux établissements de santé.

Eaux pluviales :

Les eaux pluviales collectées en toiture via la pente de 1,2 % sont acheminées vers un réservoir centralisé de stockage, où elles sont traitées par filtration et désinfection UV avant d'être réutilisées pour l'irrigation paysagère et l'entretien extérieur, réduisant ainsi la consommation en eau potable. Les surfaces extérieures sont équipées de caniveaux et de noues de drainage assurant l'évacuation des ruissellements vers ce même système de collecte.

L'ensemble du réseau d'assainissement est intégré au BMS pour une surveillance continue des débits et une détection précoce des anomalies ou obstructions.

4.7.4 Éclairage extérieur

L'éclairage extérieur du site est conçu pour assurer la sécurité, la lisibilité et le confort visuel de l'ensemble des usagers, qu'il s'agisse des patients, du personnel ou des visiteurs.

Le système adopte un éclairage LED basse consommation, intégré au BMS, permettant une gestion automatisée en fonction de la luminosité ambiante et de l'occupation des espaces extérieurs. Trois niveaux d'éclairage sont définis :

Voiries et accès principaux : éclairage fonctionnel à haute intensité assurant la sécurité des déplacements nocturnes et des interventions d'urgence.

Parkings et zones de stationnement : éclairage moyen avec détecteurs de présence pour optimiser la consommation énergétique.

Espaces verts et cheminements piétonniers : éclairage d'ambiance doux favorisant le bien-être et l'orientation des usagers.

L'ensemble du système est connecté au BMS, permettant une programmation horaire, une détection automatique des pannes et une réduction progressive de l'intensité lumineuse durant les heures creuses, contribuant ainsi à l'efficacité énergétique globale de l'établissement.

4.7.5 Raccordement des réseaux

Le raccordement aux réseaux urbains est assuré conformément aux prescriptions techniques en vigueur et aux exigences spécifiques d'un établissement hospitalier spécialisé.

Réseau d'alimentation en eau potable (AEP) : Le projet est raccordé au réseau public d'eau potable via un branchement principal dimensionné pour répondre aux besoins médicaux, sanitaires et techniques de l'établissement. Un réservoir de stockage d'eau de secours est intégré afin de garantir la continuité d'alimentation en cas d'interruption du réseau.

Réseau d'assainissement : Les eaux usées sont collectées et évacuées vers le réseau public d'assainissement. Un prétraitement est prévu pour les effluents hospitaliers afin de respecter les normes environnementales en vigueur. Les eaux pluviales sont gérées séparément via un réseau dédié orienté vers un système de rétention et de réutilisation.

Réseau électrique : Le raccordement au réseau électrique public est complété par un groupe électrogène de secours et un système UPS garantissant une alimentation continue des équipements médicaux critiques en cas de coupure.

Réseau gaz naturel : Le branchement au réseau de gaz naturel alimente principalement les équipements de restauration et les systèmes de chauffage, avec des dispositifs de sécurité automatiques intégrés au BMS.

Réseau télécom et fibre optique : Le site est raccordé aux réseaux de télécommunication permettant l'intégration des systèmes numériques, du dossier médical électronique et des plateformes de télémédecine.

Conclusion générale

Conclusion :

Ce mémoire a porté sur la conception d'un Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) en traumatologie intelligent à Tlemcen, s'inscrivant dans une démarche architecturale contemporaine qui allie performance médicale, technologies intelligentes et bien-être humain.

À travers les différentes phases de la recherche de l'analyse typologique des établissements hospitaliers spécialisés en Algérie, à l'exploration des apports de l'intelligence artificielle dans le domaine médical, jusqu'à la traduction conceptuelle et architecturale du projet — nous avons tenté de répondre à une problématique centrale : comment concevoir un hôpital de traumatologie qui soit à la fois réactif, efficient et humain ?

Le concept directeur de « l'heure d'or », organisé selon des zones concentriques temporelles basées sur la vitesse de déplacement en situation d'urgence, a permis de structurer l'ensemble du projet autour d'une logique de temps de réponse plutôt que de distance physique. Cette approche innovante, combinée à un design biophilique et à une intégration poussée des systèmes intelligents (BMS, IA, IoT, KNX), a abouti à un projet qui répond aux exigences spécifiques de la traumatologie contemporaine.

Sur le plan architectural, le projet développe une organisation fonctionnelle claire articulée autour de quatre pôles : urgences, hospitalisation, rééducation, recherche et administration reliés par un espace de distribution central garantissant fluidité et efficacité des circulations. Les choix constructifs, techniques et environnementaux traduisent une ambition de durabilité, d'adaptabilité et d'excellence dans la prise en charge des patients traumatisés.

Ce travail constitue ainsi une contribution académique et pratique à la réflexion sur l'architecture hospitalière intelligente en Algérie, un domaine encore peu exploré malgré les enjeux sanitaires considérables que connaît le pays.

5.2 Limites de projet :

- **Limites techniques & d'échelle** : Le projet en reste au stade conceptuel et architectural. Les calculs (structure, hydraulique) ne sont que des pré-dimensionnements et requièrent des études d'ingénierie approfondies (BET).
- **Limites réglementaires** : La réglementation hospitalière algérienne actuelle n'est pas encore adaptée aux exigences des "hôpitaux intelligents", ce qui peut freiner le déploiement du BMS et de l'IoT médical.

-
- **Limites économiques** : Le coût des technologies proposées (façade double peau, IA, etc.) dépasse largement les budgets publics habituels en Algérie, rendant nécessaire une étude financière approfondie.
 - **Limites du site** : Les données (topographie, climat, réseaux) proviennent de sources secondaires. Des relevés de terrain et des études géotechniques réels sont indispensables pour l'exécution.
 - **Limites humaines** : L'exploitation et la maintenance de ces technologies avancées nécessitent une main-d'œuvre hautement qualifiée, actuellement rare sur le marché local.

5.3 proposition d'autre projet dans le même thème :

- **Maillage territorial numérique** : Étendre le concept à l'échelle régionale en créant un réseau d'EHS interconnectés via une plateforme de coordination des soins et des transferts en temps réel.
- **Spécialisation post-traumatique (CRFI)** : Concevoir un centre de rééducation intégrant la robotique (exosquelettes) et la réalité virtuelle, tout en misant sur le design biophilique pour la guérison.
- **Modularité d'urgence** : Développer des structures hospitalières préfabriquées et déployables rapidement pour répondre aux catastrophes naturelles et urgences humanitaires en Algérie.
- **Maternité HQE & Intelligente** : Adapter les principes du mémoire à un programme de maternité axé sur la Haute Qualité Environnementale, le bien-être psychologique et la lutte contre les infections.
- **CHU de Nouvelle Génération** : Appliquer ces concepts à un Centre Hospitalier Universitaire complet, doté d'une gouvernance numérique centralisée et d'une structure architecturale capable d'évoluer dans le temps.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages :

- [3] Neufert, E. et Neufert, P., Les Éléments des projets de construction, 7e éd., Éditions Dunod, 2003.
- [22] Thompson, J.D. et Goldin, G., The Hospital: A Social and Architectural History, Yale University Press, 1975.
- [23] Verderber, S. et Fine, D.J., Healthcare Architecture in an Era of Radical Transformation, Yale University Press, 2000.
- [33] Kirk Hamilton, D. et Watkins, D.H., Evidence-Based Design for Multiple Building Types, John Wiley & Sons, 2008.
- [35] Clements-Croome, D., Intelligent Buildings: Design, Management and Operation, Thomas Telford Publishing, 2004.
- [36] Levermore, G.J., Building Energy Management Systems: Application to Low Energy HVAC and Natural Ventilation Control, 2e éd., E & FN Spon, 1999.
- [47] Kelleher, J.D., Deep Learning, The MIT Press, 2019.
- [49] Russell, S. et Norvig, P., Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4e éd., Pearson, 2020.
- [51] Sacks, R., Eastman, C., Lee, G. et Teicholz, P., BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling, 3e éd., John Wiley & Sons, 2018.
- [55] Siemens AG, The Crystal: One of the World's Most Sustainable Buildings, Siemens AG, 2014.

Articles Scientifiques :

- [5] Fortaki, M. et Brahimia, A., « Analyse des causes d'hospitalisation et de décès dans la région sanitaire de l'Est algérien », Revue Algérienne de Santé Publique, 2018.
- [14] Ulrich, R.S. et al., « A Review of the Research Literature on Evidence-Based Healthcare Design », HERD: Health Environments Research & Design Journal, vol. 1, n° 3, 2008, p. 61–125.
- [18] Cowley, R.A., « The Resuscitation and Stabilization of Major Multiple Trauma Patients in a Trauma Center Environment », Clinical Medicine, 1977.
- [20] Balogh, Z.J. et al., « Advances and Future Directions for Management of Trauma Patients with Musculoskeletal Injuries », The Lancet, 2012.
- [21] Al-Azzam, M. et Al-Omari, A., « Artificial intelligence in hospital management and quality improvement », Journal of Hospital Administration, vol. 9, n° 2, 2020.

-
- [27] Schulster, L. et Chinn, R.Y.W., « Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities », *MMWR Recommendations and Reports*, vol. 52, n° RR-10, 2003.
- [29] Lerner, E.B. et Moscati, R.M., « The Golden Hour: Scientific Fact or Medical 'Urban Legend'? », *Academic Emergency Medicine*, vol. 8, n° 7, 2001, p. 758–760.
- [31] Carthey, J. et al., « Flexibility: Beyond the Buzzword — Practical Findings from a Systematic Literature Review », *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, vol. 4, n° 2, 2011.
- [32] Ulrich, R.S., « View through a Window May Influence Recovery from Surgery », *Science*, vol. 224, 1984, p. 420–421.
- [34] Wong, J.K.W. et al., « Intelligent Building Research: A Review », *Automation in Construction*, vol. 14, n° 1, 2005, p. 143–159.
- [37] Dounis, A.I. et Caraiscos, C., « Advanced Control Systems Engineering for Energy and Comfort Management in a Building Environment — A Review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, 2009.
- [38] Zanella, A. et al., « Internet of Things for Smart Cities », *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, n° 1, 2014, p. 22–32.
- [39] Islam, S.M.R. et al., « The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey », *IEEE Access*, vol. 3, 2015, p. 678–708.
- [40] Attia, S. et al., « Future Trends and Main Concepts of Adaptive Façade Systems », *Energy and Buildings*, vol. 179, 2018, p. 216–234.
- [41] Khidmat, R.P. et al., « Al Bahar Towers Responsive Facade: Analytical Study of Adaptive Solar Shading », *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, vol. 8, 2014.
- [42] Kolker, A., « Process Modeling of Emergency Department Patient Flow: Effect of Patient Length of Stay on ED Diversion », *Journal of Medical Systems*, vol. 32, 2008, p. 389–401.
- [43] Lindsey, R. et al., « Deep Neural Network Improves Fracture Detection by Clinicians », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, n° 45, 2018.
- [44] Maguire, C., « RTLS Technology in Hospitals: A Systematic Review of Patient and Staff Tracking Applications », *Journal of Healthcare Engineering*, 2019.
- [45] Pugin, J. et al., « History of Robotic Surgery: From AESOP and ZEUS to da Vinci », *Journal of Visceral Surgery*, vol. 148, n° 5, 2011.
- [46] Lanfranco, A.R. et al., « Robotic Surgery: A Current Perspective », *Annals of Surgery*, vol. 239, n° 1, 2004, p. 14–21.
- [48] LeCun, Y. et al., « Deep Learning », *Nature*, vol. 521, 2015, p. 436–444.

[50] Vaswani, A. et al., « Attention Is All You Need », *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 30, 2017.

[52] Oxman, R., « Thinking Difference: Theories and Models of Parametric Design Thinking », *Design Studies*, vol. 52, 2017, p. 4–39.

[56] Buckman, A.H. et al., « What is a Smart Building? », *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 3, n° 2, 2014, p. 92–109.

[58] Vries, B. de et Donovan, M., « The Edge Amsterdam: A Case Study in Smart Building Technology », *Building and Cities*, 2018.

[59] Afroz, Z. et al., « Modeling Techniques Used in Building HVAC Control Systems: A Review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 83, 2018, p. 64–84.

Rapports, Normes et Textes Réglementaires :

[1] Organisation mondiale de la Santé (OMS), *WASH in Health Care Facilities: Global Report*, Genève, OMS, 2019.

[6] Organisation mondiale de la Santé (OMS), *Rapport Biennal OMS Algérie 2022–2023*, Alger, OMS Algérie, 2023.

[7] Office National des Statistiques (ONS), *Évolution des établissements hospitaliers en Algérie*, Alger, ONS, 2021.

[8] Centre National de Prévention et de Sécurité Routière (CNPSR), *Accidents de la route en Algérie 2023*, Alger, 2023.

[11] Ministère de la Santé Publique, *Statistiques des traumatismes en Algérie*, Alger, 2022.

[15] Organisation mondiale de la Santé (OMS), *Progress on WASH in Health Care Facilities 2000–2021: Special Focus on Infection Prevention and Control*, Genève, OMS, 2022.

[17] Organisation mondiale de la Santé (OMS), *Strengthening Health Systems: The Role and Promise of Policy and Systems Research*, Alliance for Health Policy and Systems Research, 2004.

[19] American College of Surgeons — Committee on Trauma, *Resources for Optimal Care of the Injured Patient*, 6e éd., Chicago, ACS, 2014.

[26] République Algérienne Démocratique et Populaire, *Loi n° 18-11 du 2 juillet 2018 relative à la santé*, *Journal Officiel*, n° 46, Alger, 2018.

[28] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), *Radiation Protection in Diagnostic Radiology*, 2004.

[4] République Algérienne Démocratique et Populaire, *Décret exécutif n° 97-465 du 2 décembre 1997 fixant les conditions de création, d'organisation et de fonctionnement des établissements hospitaliers spécialisés*, *Journal Officiel*, Alger, 1997.

. Sites Web et Documents :

[2] Siemens Healthineers Magazine, « Le Smart Hospital Concept », disponible sur : <https://www.siemens-healthineers.com>, [consulté en 24/12/2025].

[9] Centre National de Prévention et de Sécurité Routière (CNPSR), « Risque routier et sécurité routière en Algérie », disponible sur : <https://www.cnpsr.org.dz>, [consulté en 16/1/2026].

[10] Ministère de la Santé, « Réseau EHS Algérie 1997-2023 : évolution », disponible sur : <https://www.sante.gov.dz>, [consulté en 16/1/2026].

[13] Facility Guidelines Institute (FGI), « Guidelines for Design and Construction of Hospitals », disponible sur : <https://www.fgiguuidelines.org>, [consulté en 16/1/2026].

[54] Siemens AG, « The Crystal — Smart Building Case Study », disponible sur : <https://www.siemens.com/crystal>, [consulté en 27/4/2026].

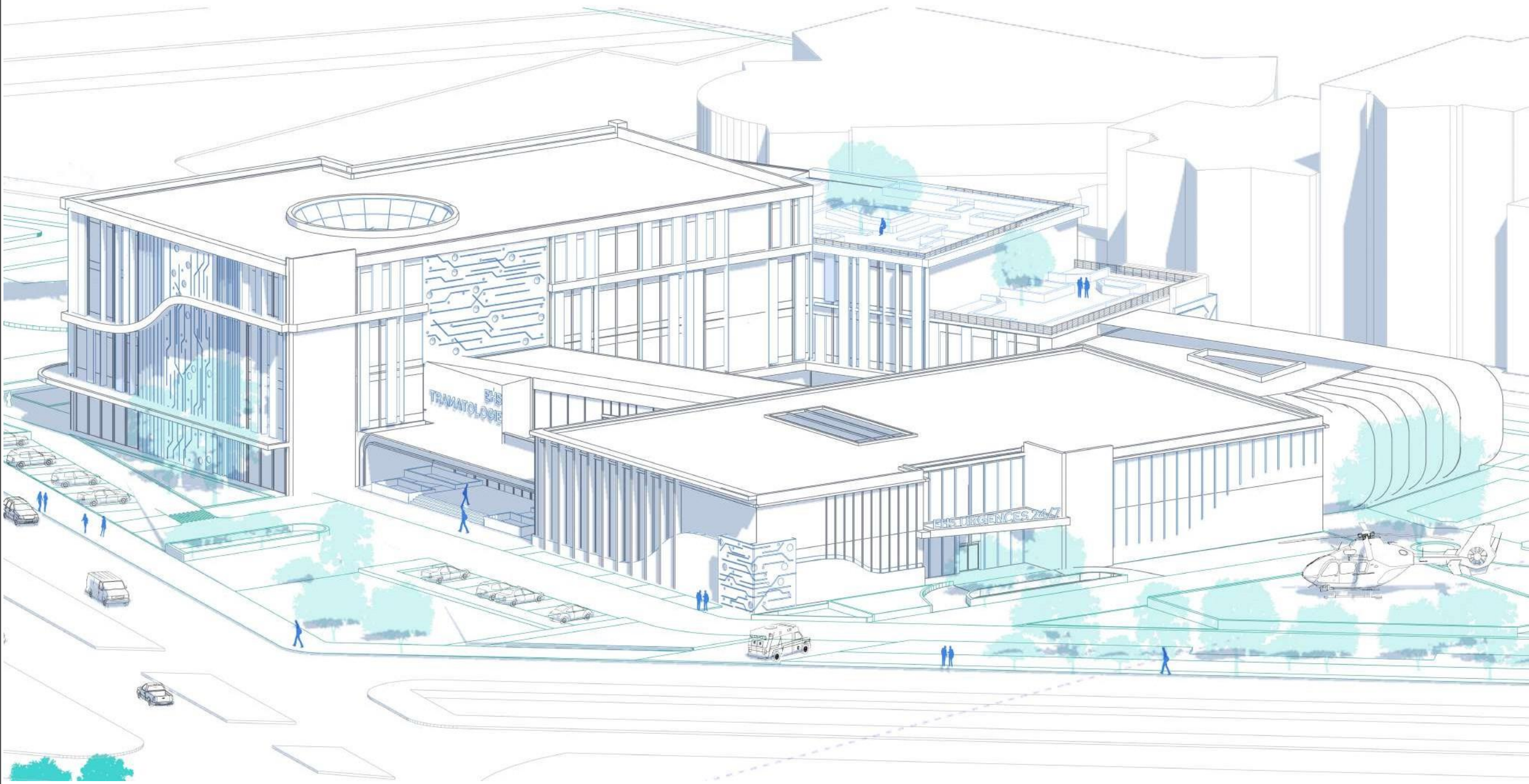
[57] PLP Architecture, « The Edge — Amsterdam », disponible sur : <https://www.plparchitecture.com>, [consulté en 27/4/2026].

[PDAU] URBAT Unité de Tlemcen, Révision du PDAU Intercommunal des communes de Tlemcen – Chetouane – Mansourah – Beni Mester, Édition Finale, Direction de l'Urbanisme, de l'Architecture et de la Construction (DUAC) – Wilaya de Tlemcen, Mars 2021.

Dossier graphique

Abstract du Pr

Ce projet vise la conception d'un Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) en traumatologie à Tlemcen, pensé comme une infrastructure performante, intelligente et intégrée à son contexte, Ce projet vise la conception d'un Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) en traumatologie à Tlemcen, pensé comme une infrastructure performante, intelligente et intégrée à son contexte



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan

Abstract du Projet

Réalisé par

BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin

Échelle : Graphique

0 1 2 5 10

FORMAT

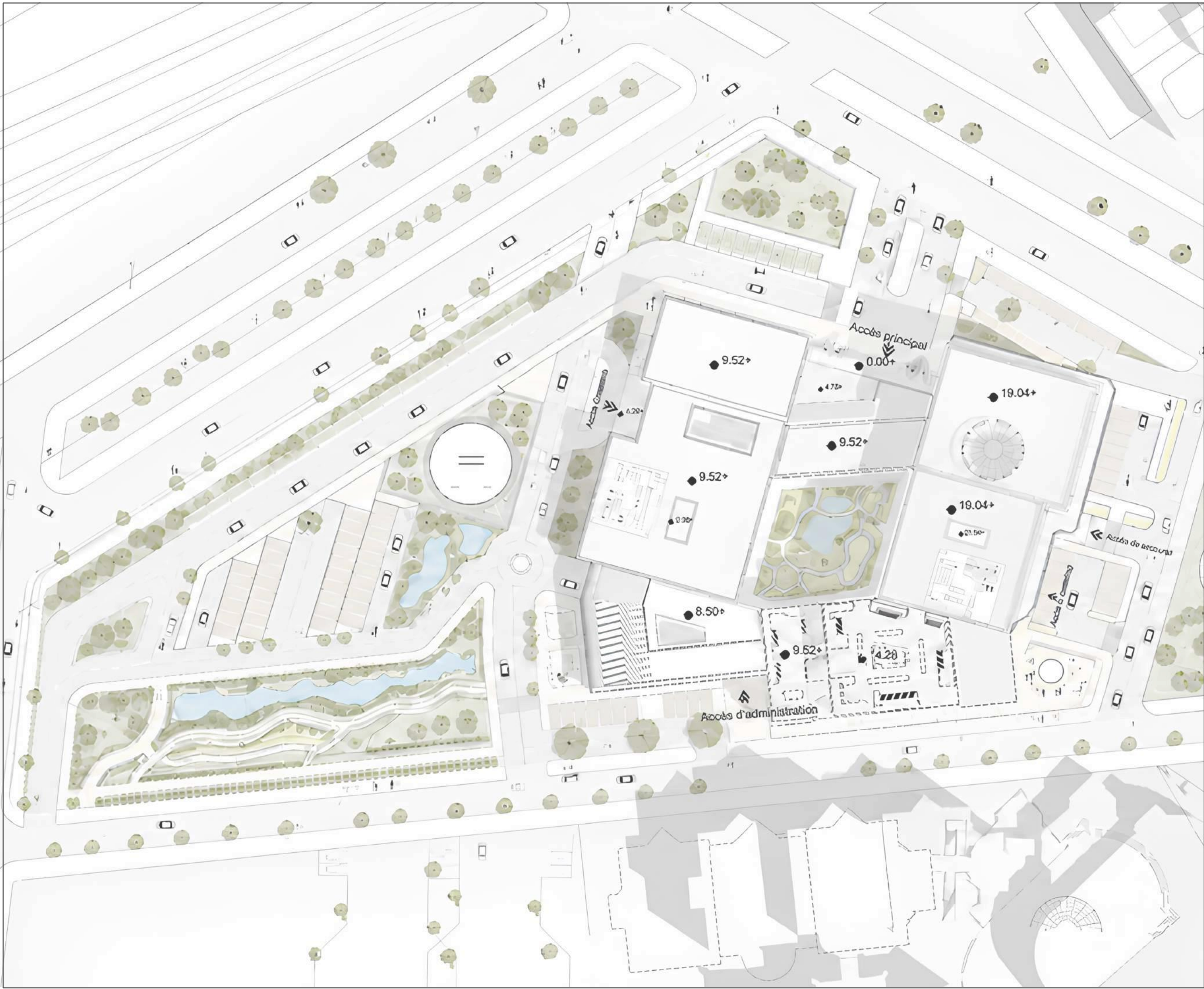
A3

DATE

28/06/2026

N° DE FEUILLE

PAGE 1/16



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé Traumatologie	
Titre du plan	
PLAN DE MASSE	
Réalisé par	
BENDJEFFEL Ali DAHAOUI Mahammed Amin	
Échelle : Graphique	
012510	
FORMAT	A3
DATE	28/06/2026
N° DE FEUILLE	PAGE 2/16

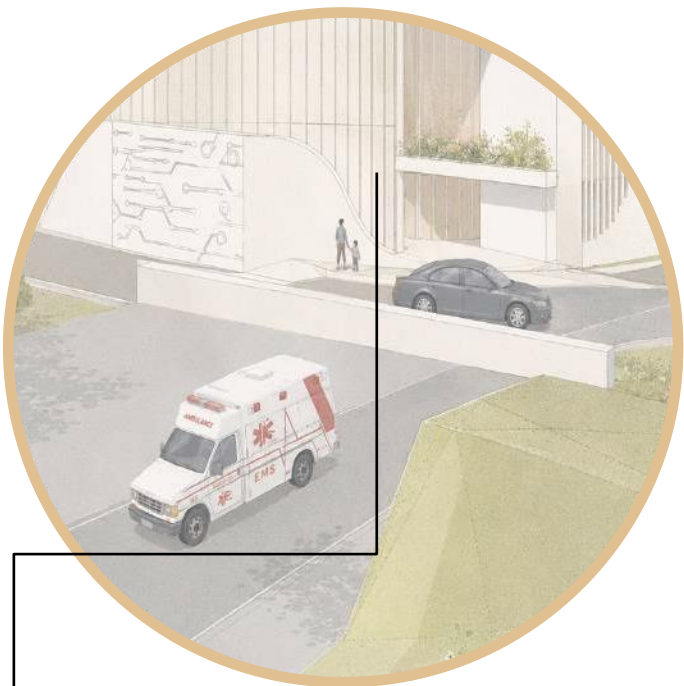
Aménagement extérieur

Le site est desservi par une entrée principale, un accès d'urgence dédié et une entrée secondaire pour le personnel, assurant une circulation fluide. Le bâtiment comprend sept accès distincts pour le public, les ambulances, le personnel, l'administration, la recherche et le centre de rééducation. Avec une emprise au sol de 25,3 %, le projet préserve de vastes espaces verts et jardins thérapeutiques favorisant le bien-être des patients.



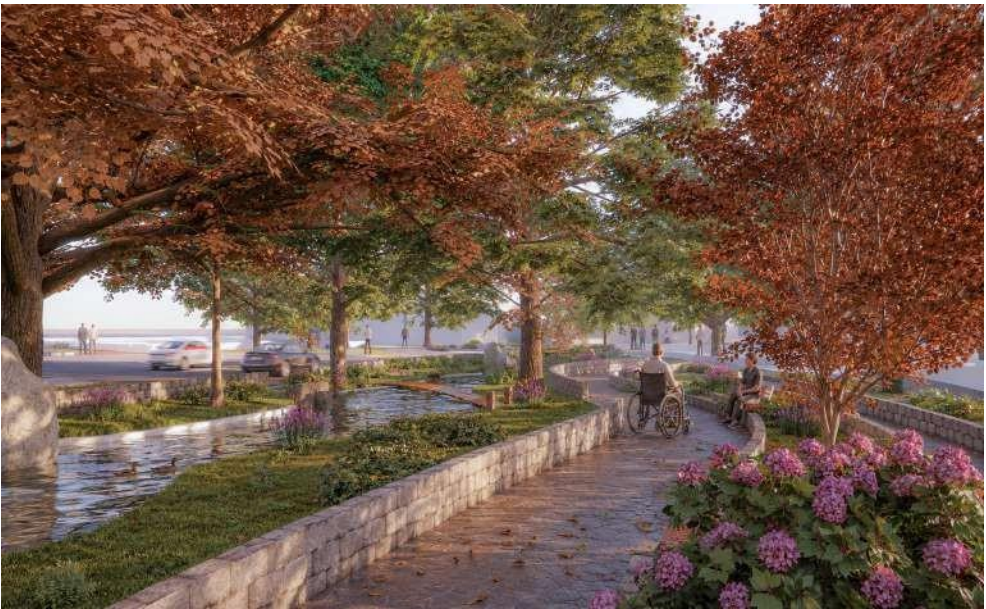
Organisation des jardins thérapeutiques

Création d'un espace commun apaisant pour les patients



Accessibilité d'Urgence et Flux Véhiculaires

Hiérarchisation des accès par niveau



Accès public secondaire
Voie menant au parking public principal.

Jardin Thérapeutique
Un jardin conçu pour améliorer le bien-être mental des patients tout en offrant un espace communautaire favorisant la détente, l'interaction sociale et le rétablissement.

Accès d'urgence
Voie d'accès indépendante réservée aux ambulances et aux interventions d'urgence

Parking Administratif
Zone de stationnement réservée au personnel administratif et aux services de gestion de l'hôpital.

Accès personnel
Accès privé réservé au personnel médical et aux livraisons de service.

Intervention sur la placette existante
Réaménagement de la place publique existante avec l'intégration de paysages naturels en lien avec le projet.

Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé Traumatologie

Titre du plan

Aménagement extérieur

Réalisé par

BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin

Échelle : Graphique



FORMAT

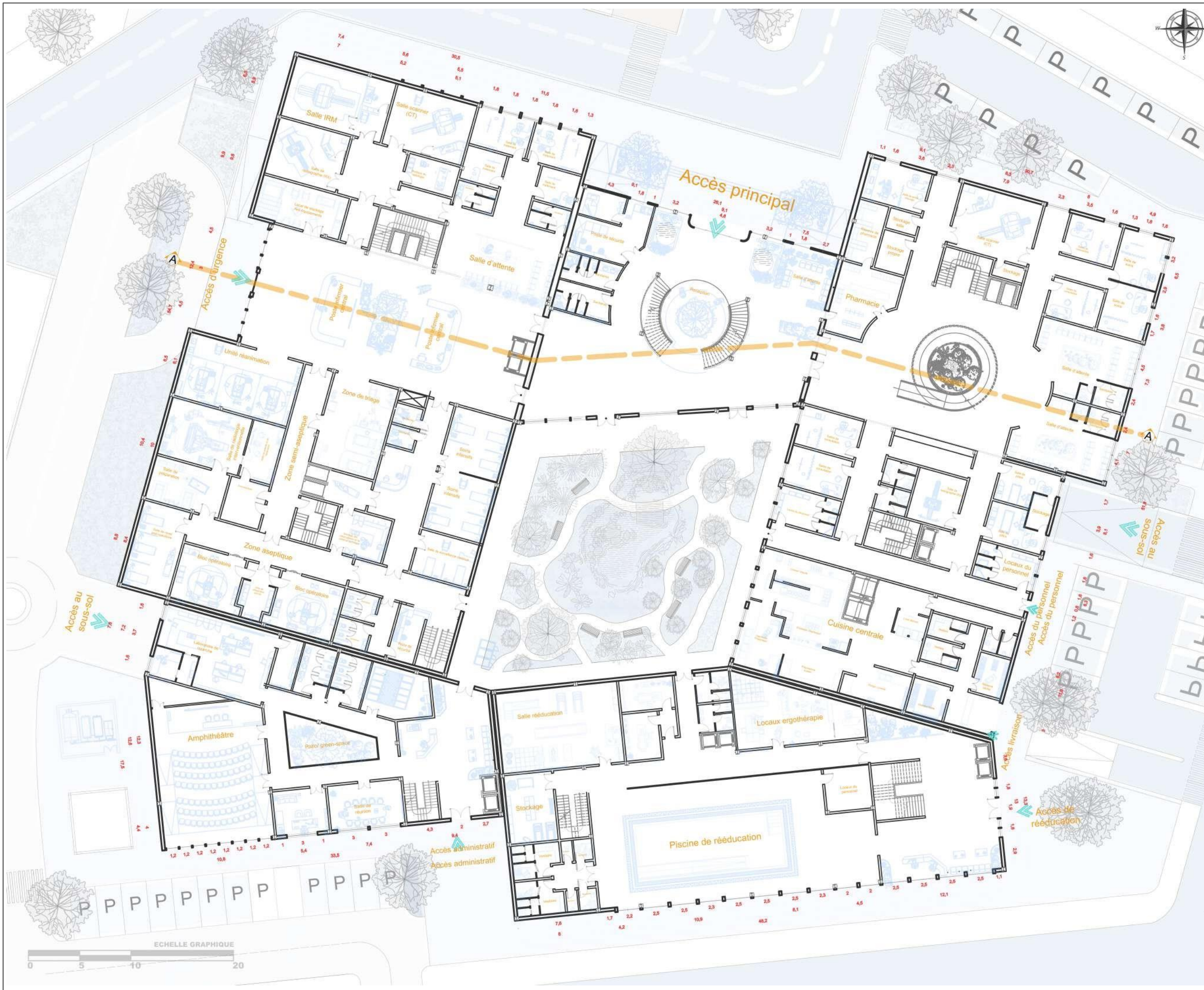
A3

DATE

28/06/2026

N° DE FEUILLE

PAGE 3/16



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan
**PLAN DU
REZ-DE-CHAUSSÉE**

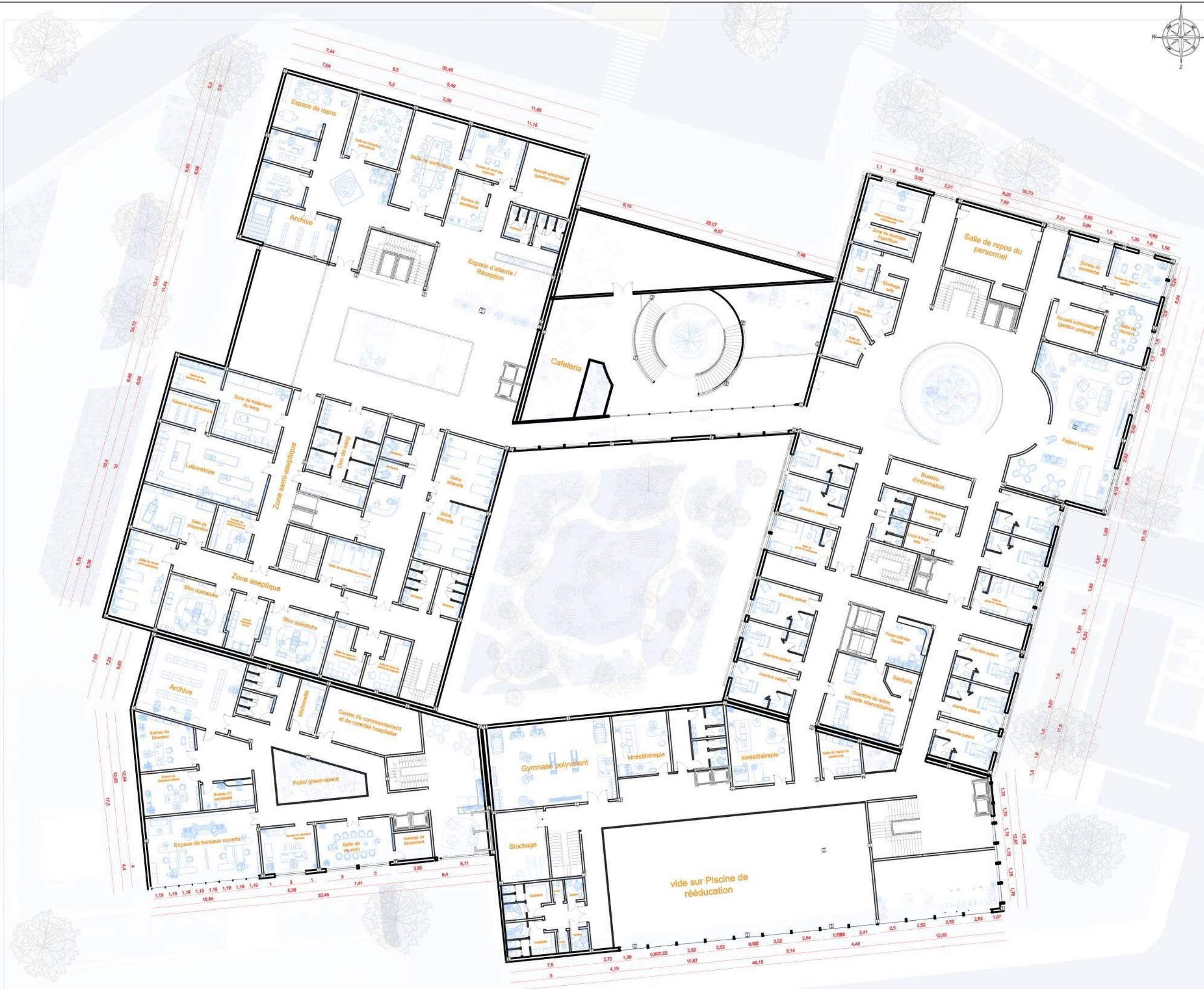
Réalisé par
**BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin**

Échelle : Graphique

FORMAT
A3

DATE
28/06/2026

N° DE FEUILLE
PAGE 4/16



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan

PLAN DU 1ER ETAGE

Réalisé par

BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin

Échelle : Graphique



FORMAT

A3

DATE

28/06/2026

N° DE FEUILLE

PAGE 5/16



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan

PLAN DU 2E ETAGE

Réalisé par

BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin

Échelle : Graphique

FORMAT

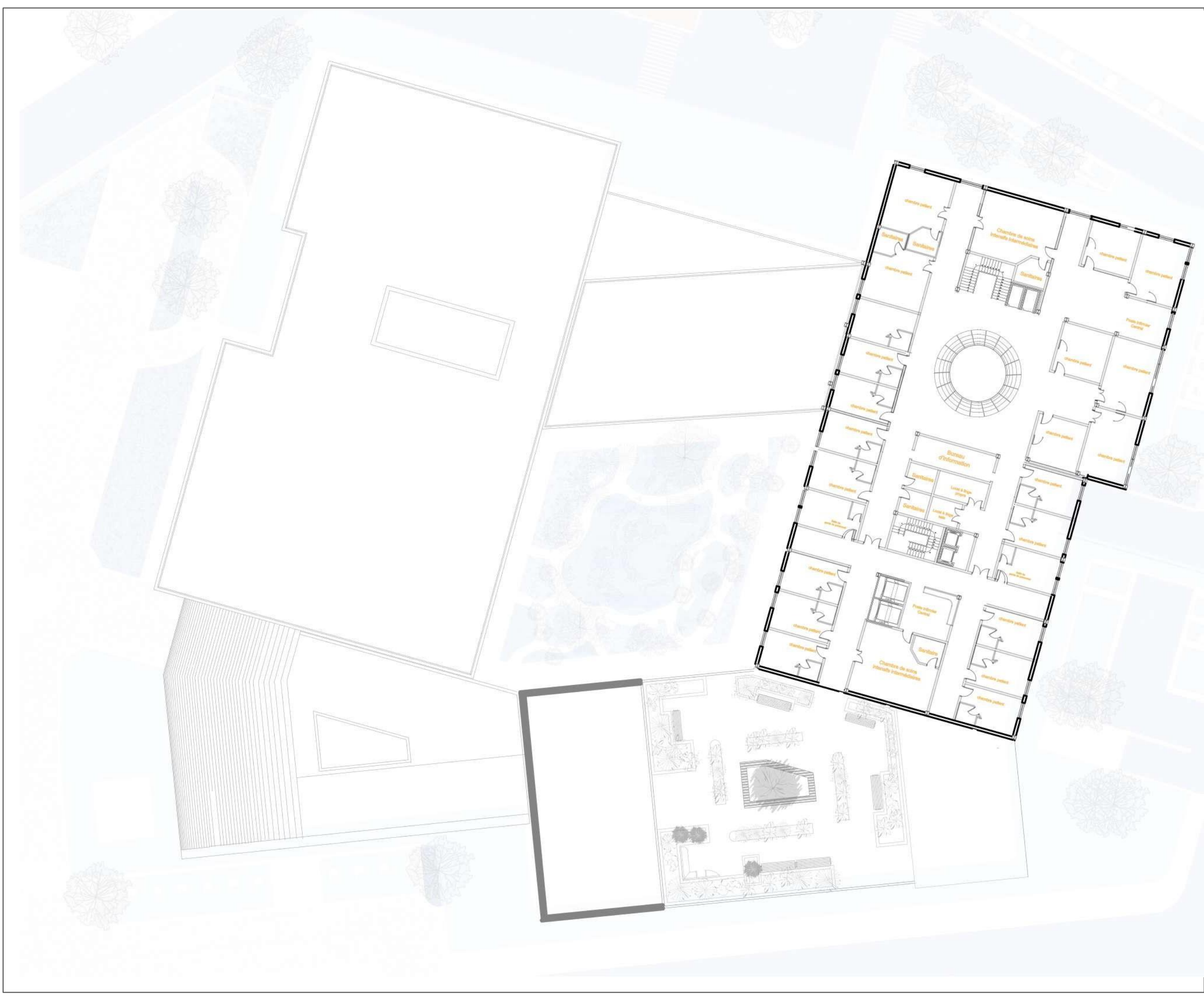
A3

DATE

28/06/2026

N° DE FEUILLE

PAGE 6/16



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan

**PLAN DU
3E ETAGE**

Réalisé par

**BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin**

Échelle : Graphique



FORMAT

A3

DATE

28/06/2026

N° DE FEUILLE

PAGE 7/16



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan

PLAN DU SOUS-SOL

Réalisé par

BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin

Échelle : Graphique



FORMAT

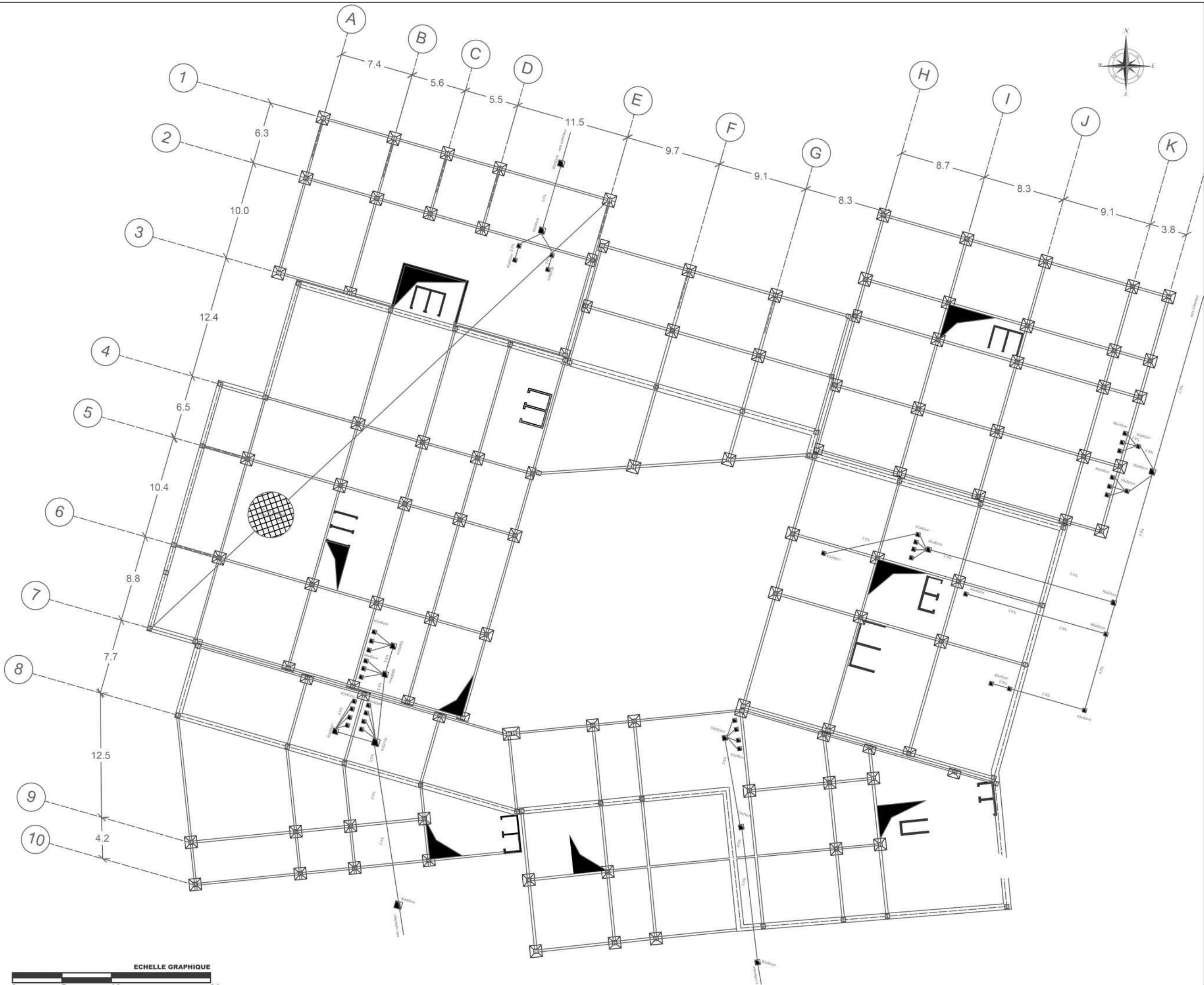
A3

DATE

28/06/2026

N° DE FEUILLE

PAGE 8/16



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan

PLAN DU FONDATION

Réalisé par

BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin

Échelle : Graphique



FORMAT

A3

DATE

28/06/2026

N° DE FEUILLE

PAGE 9/16



FACADE PRINCIPALE - NORD



FACADE SECONDAIRE - OUEST

Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan

ELEVATIONS

Réalisé par

BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin

Échelle : Graphique

0 1 2 5 10

FORMAT

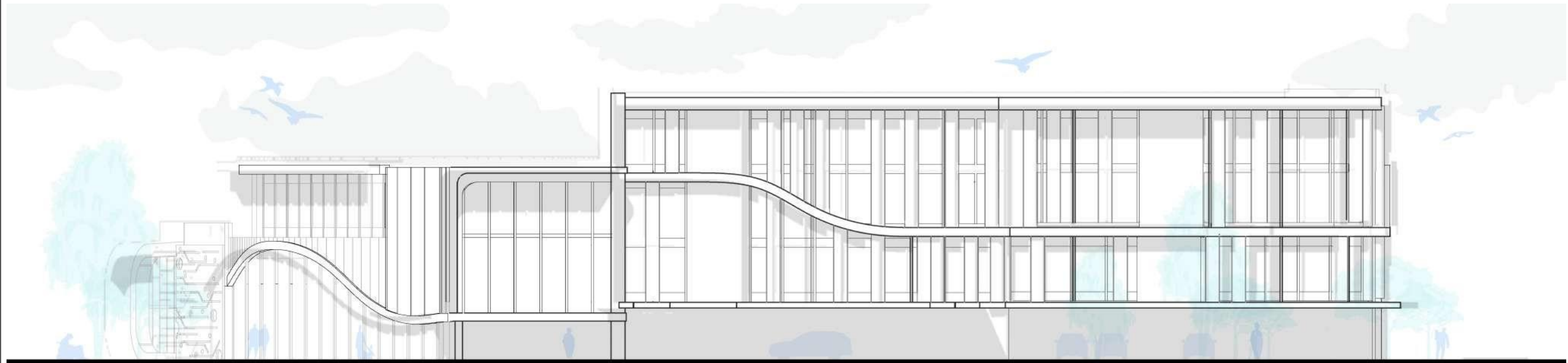
A3

DATE

28/06/2026

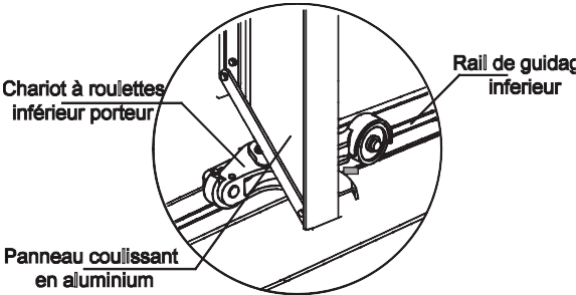
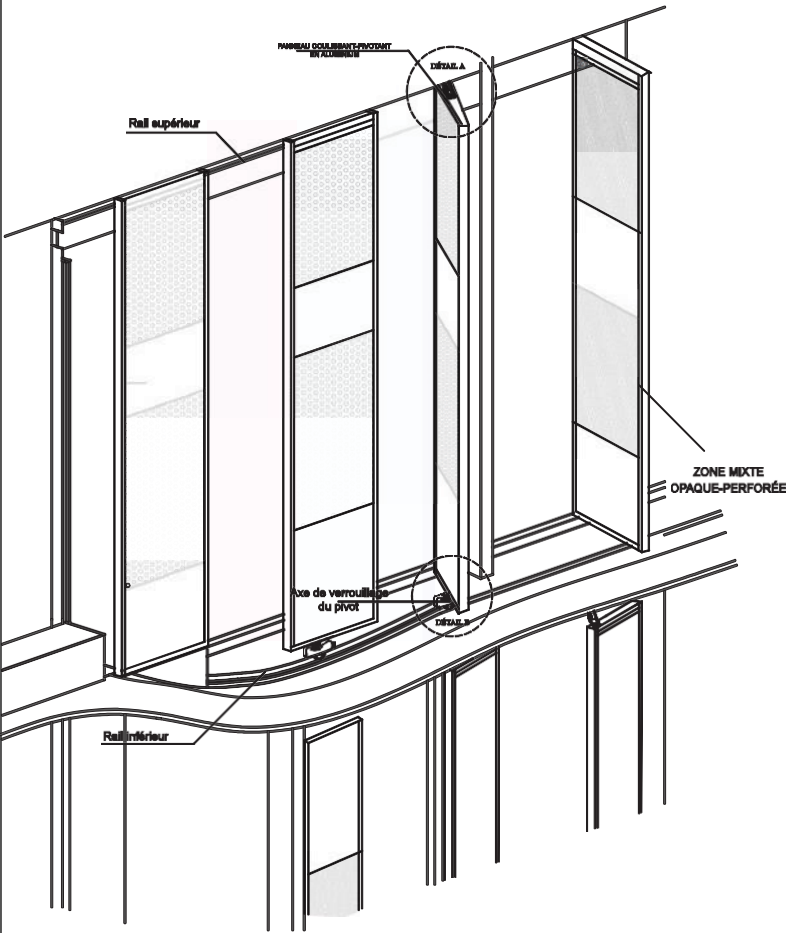
N° DE FEUILLE

PAGE 10/16

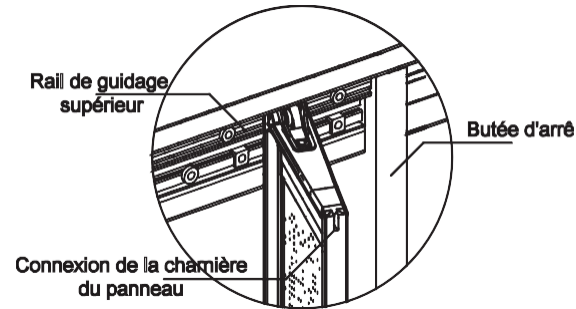


3

FACADE EST

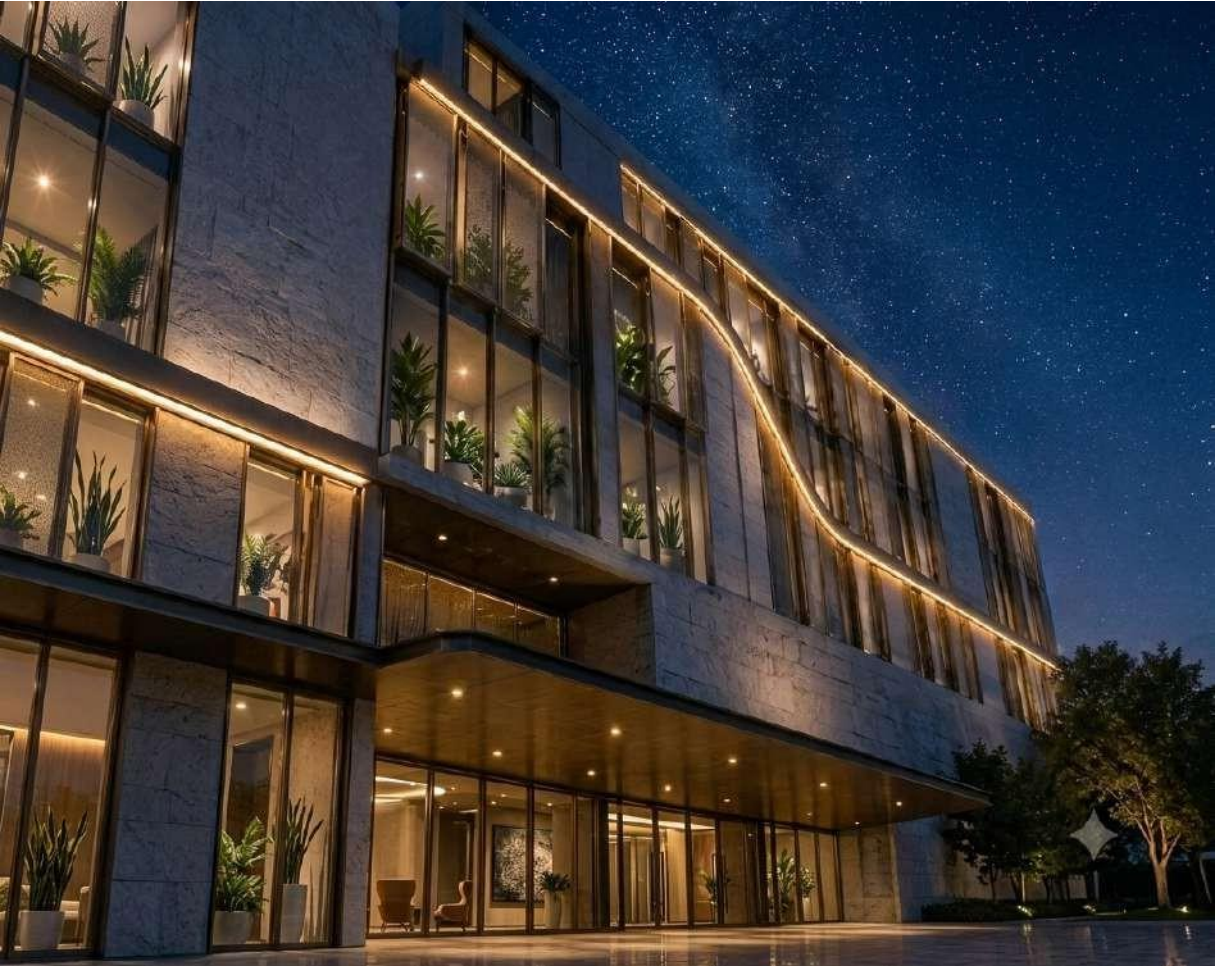


DÉTAIL A : ASSEMBLAGE DU RAIL DE ROULEMENT INFÉRIEUR



DÉTAIL B : ASSEMBLAGE DE LA SUSPENSION SUPÉRIEURE

DETAIL DE COMPOSITION DE FACADE



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé Traumatologie

Titre du plan

ELEVATIONS

Réalisé par

BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin

Échelle : Graphique



FORMAT

A3

DATE

28/06/2026

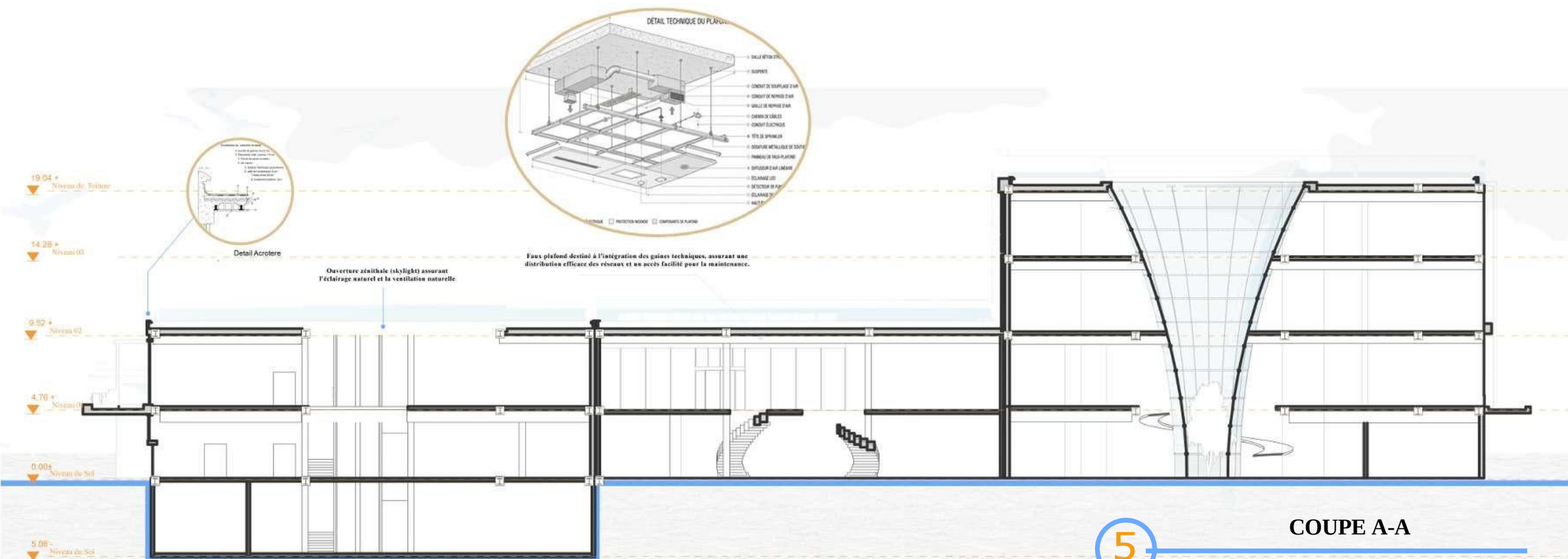
N° DE FEUILLE

PAGE 11/16



4

FACADE SUD



5

COUPE A-A

Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan

ELEVATIONS ET COUPE

Réalisé par

BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin

Échelle : Graphique



FORMAT

A3

DATE

28/06/2026

N° DE FEUILLE

PAGE 12/16



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan

RENDU EXTERIEUR ET INTERIEUR

Réalisé par

BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin

Échelle : Graphique

0 1 2 5 10

FORMAT

A3

DATE

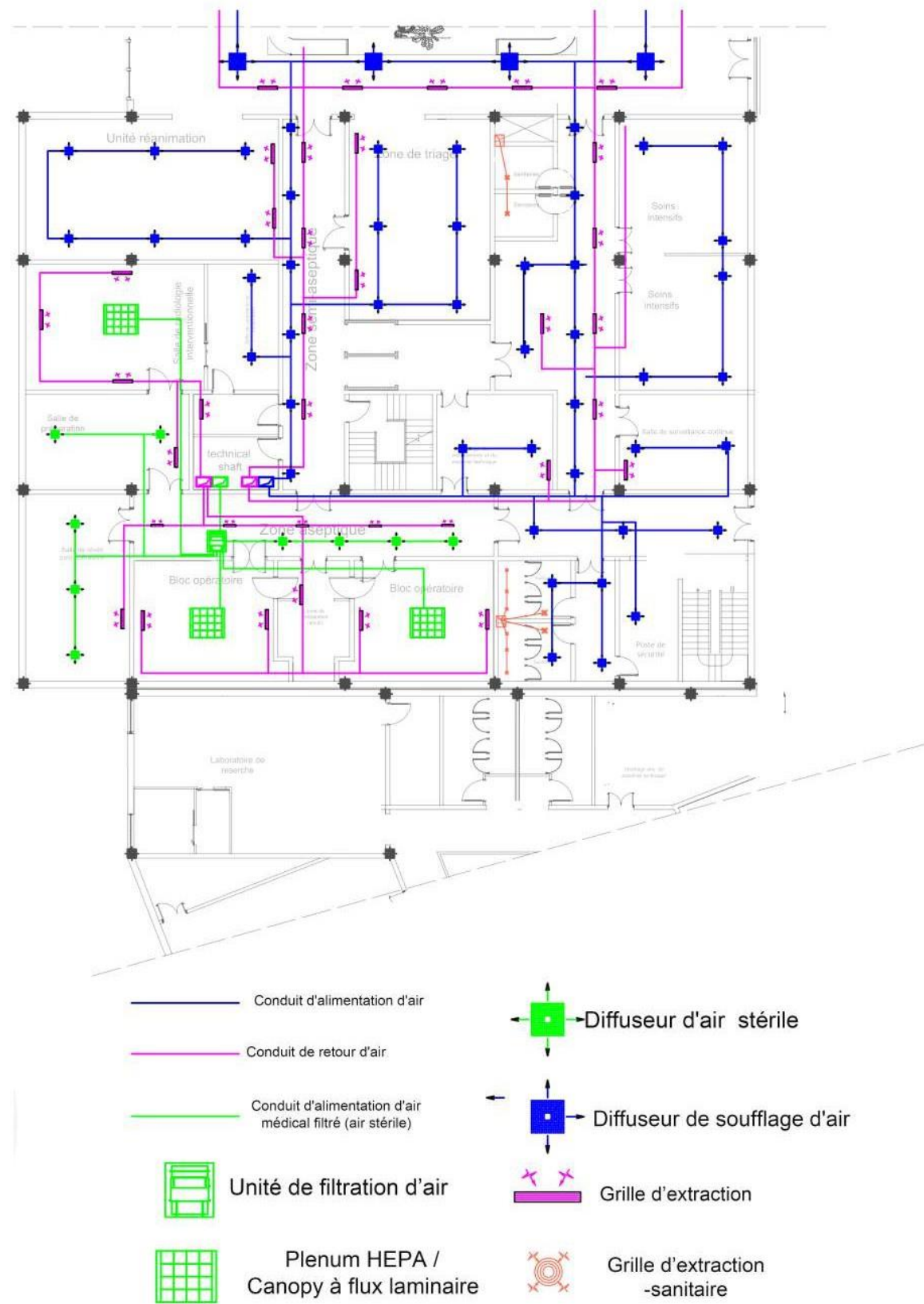
28/06/2026

N° DE FEUILLE

PAGE 13/16

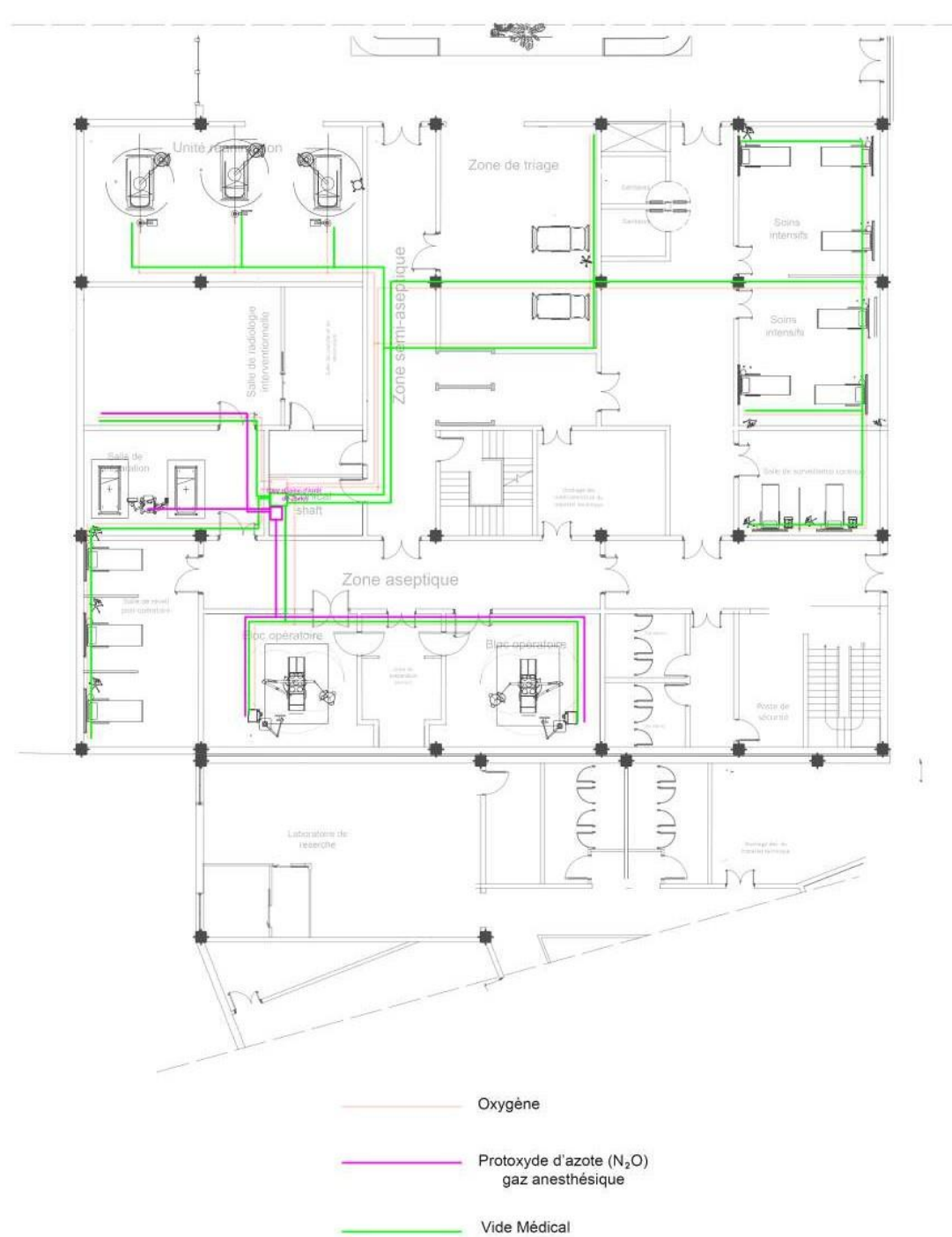
7

PLAN DE SYSTEM CVC



8

PLAN DU SYSTEME CANALISATION DES GAZ MEDICAUX



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan

**CORPS ETAT
SECONDAIRES**

Réalisé par

**BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin**

Échelle : Graphique



FORMAT

A3

DATE

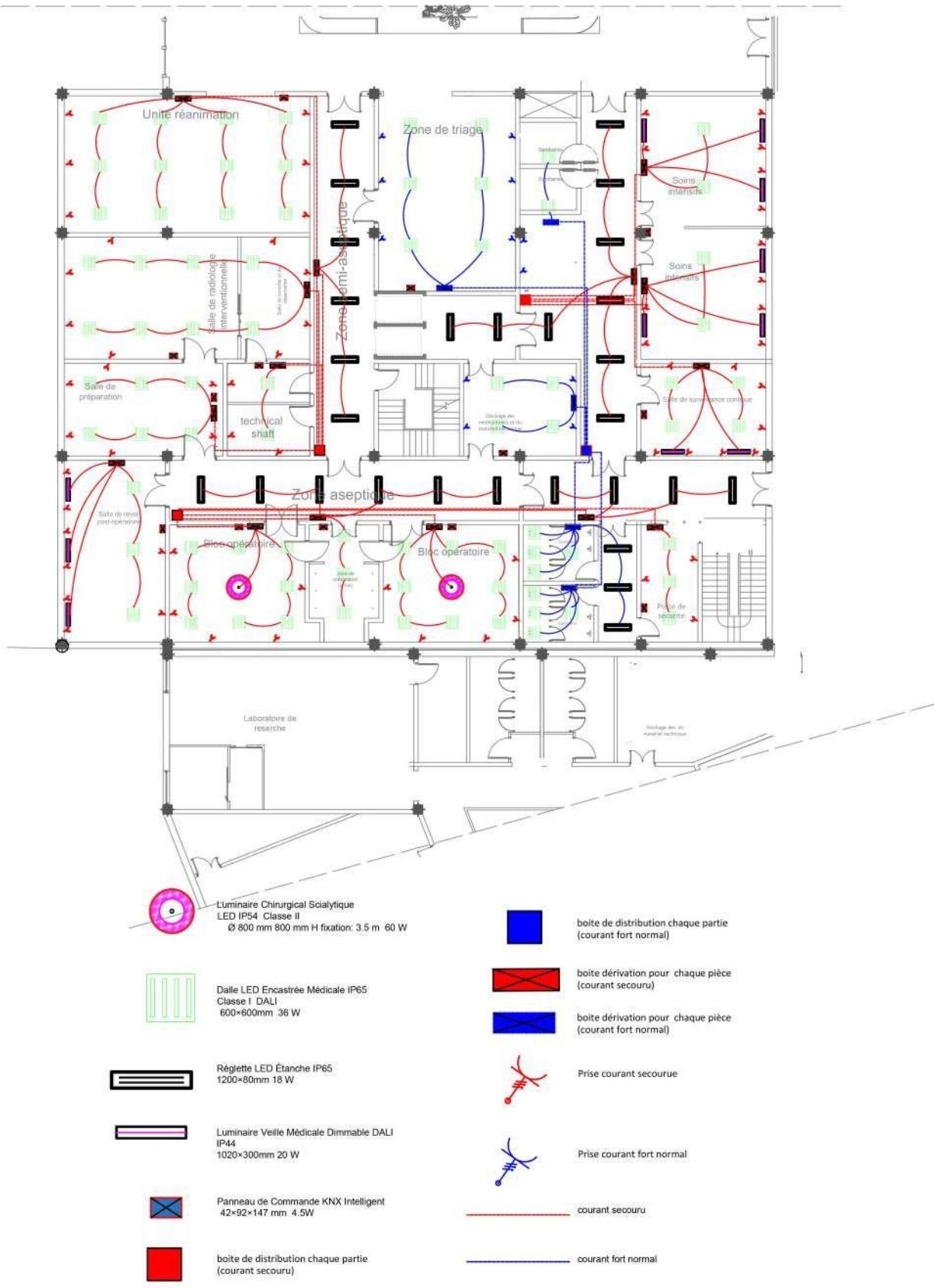
28/06/2026

N° DE FEUILLE

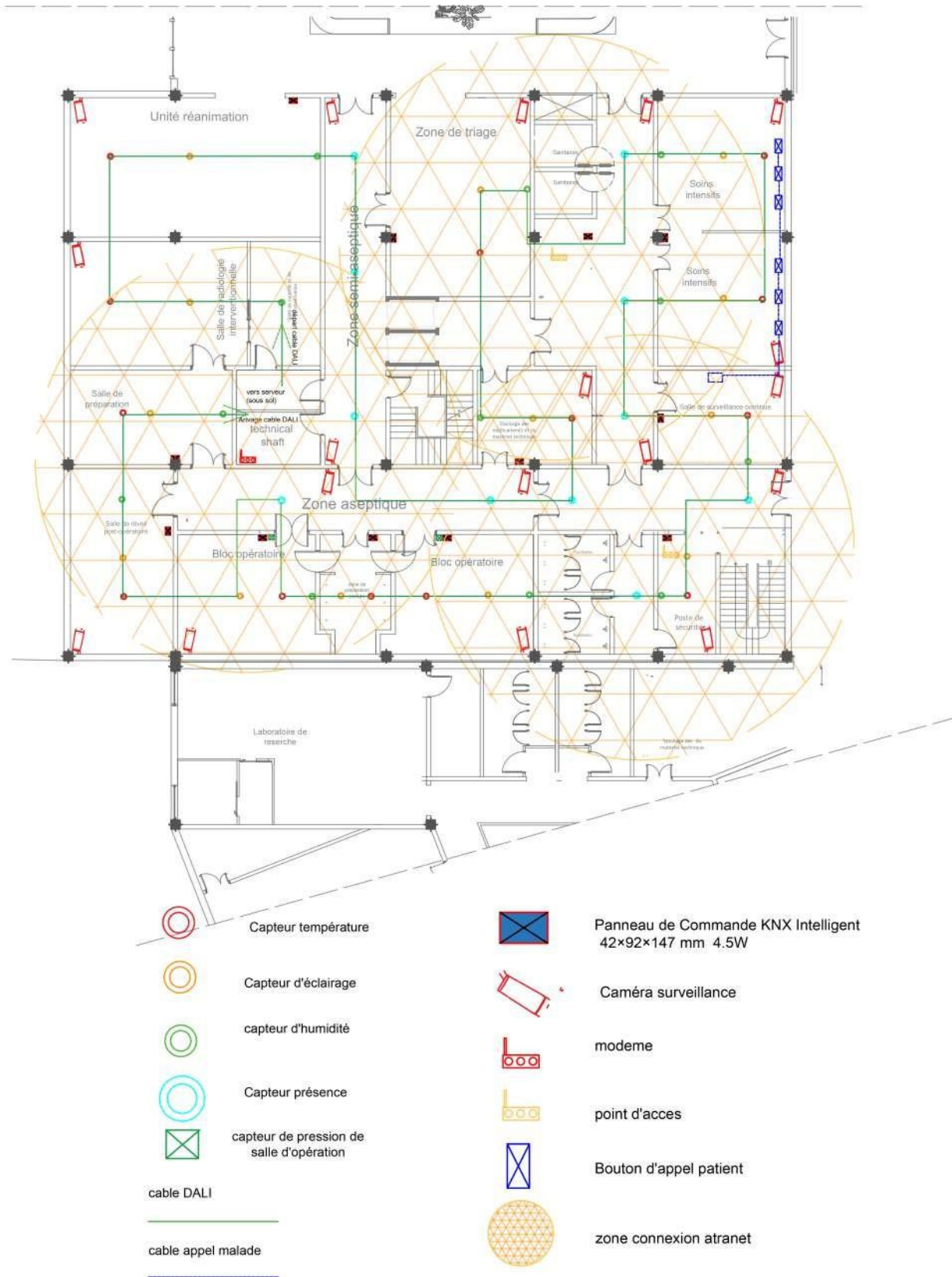
PAGE 14/16



PLAN DES INSTALLATIONS ELECTRIQUES



PLAN DES COURANTS FAIBLES



Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé Traumatologie

Titre du plan

CORPS ETAT
SECONDAIRES

Réalisé par

BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin

Échelle : Graphique



FORMAT

A3

DATE

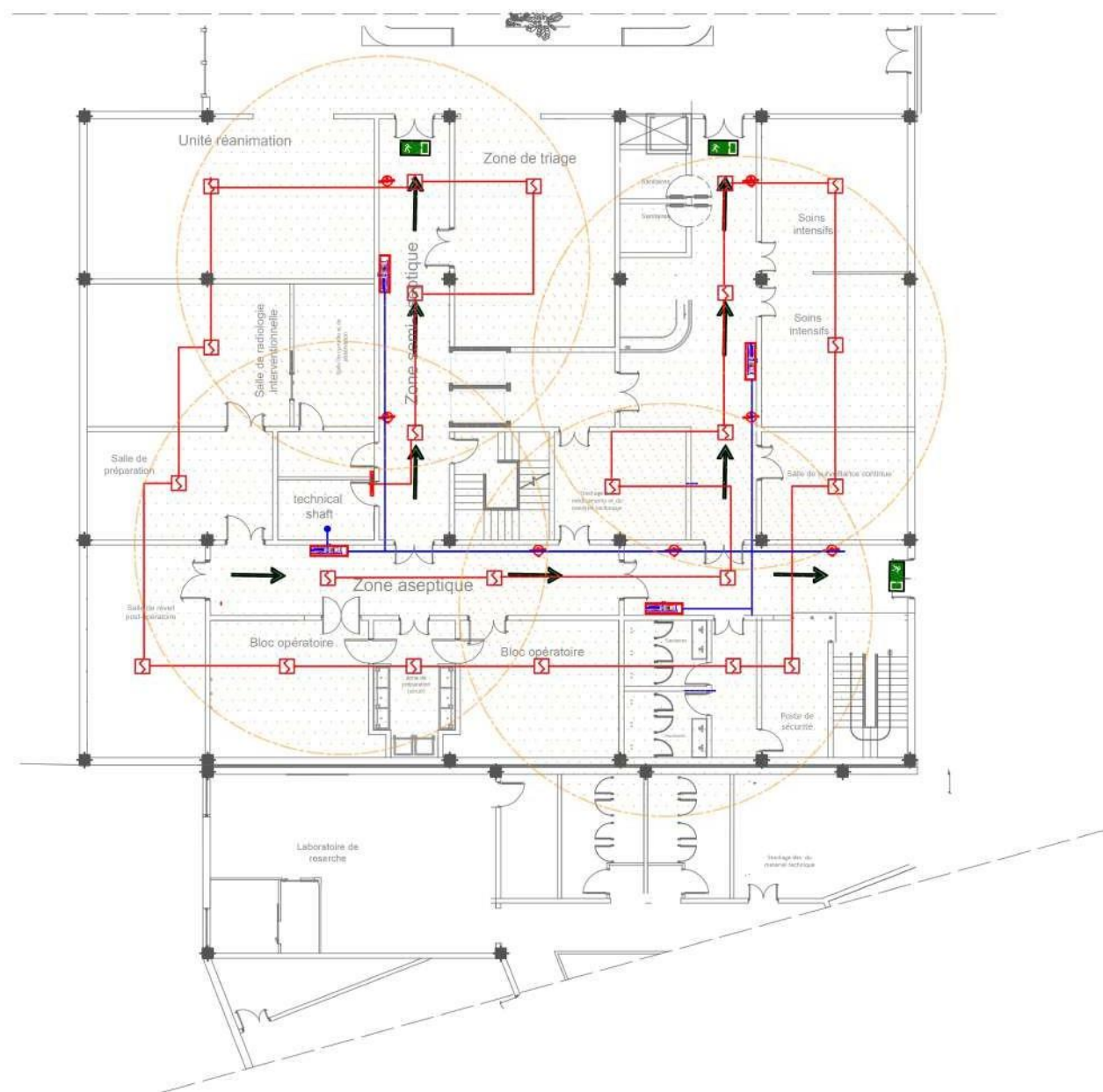
28/06/2026

N° DE FEUILLE

PAGE 15/16



PLAN DE SECURITE INCENDIE



issue de secours



direction d'évacuation



extincteur CO2



boite centrale alarme



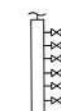
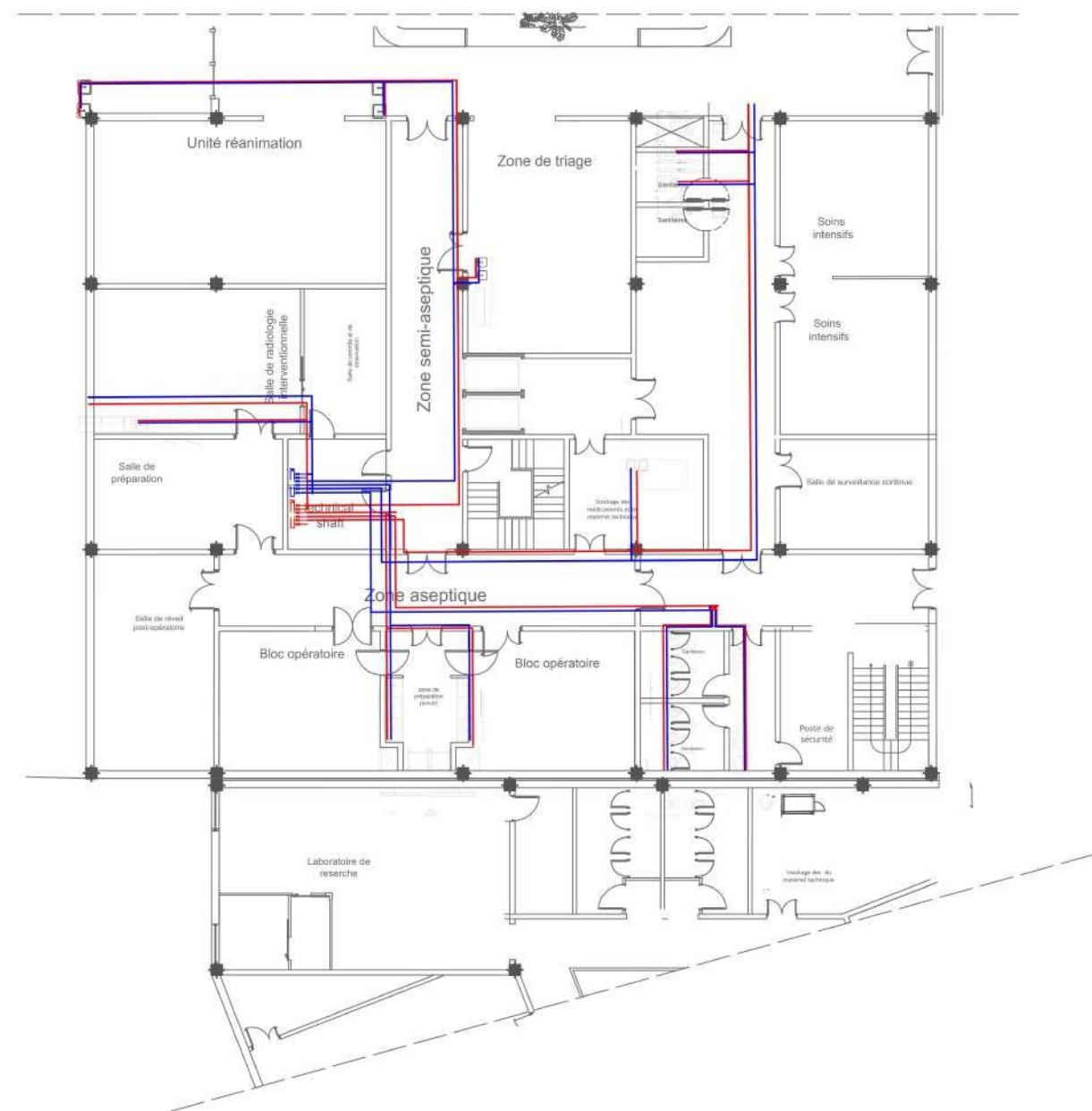
detecteur de fumer



RIA 30m



PLAN DE AEP



Nourrice d'alimentation d'eau



Eau froide



Eau chaude

Projet : Etablissement Hospitalier Spécialisé
Traumatologie

Titre du plan

**CORPS ETAT
SECONDAIRES**

Réalisé par

**BENDJEFFEL Ali
DAHAOUI Mahammed
Amin**

Échelle : Graphique



FORMAT

A3

DATE

28/06/2026

N° DE FEUILLE

PAGE 16/16