
Année scolaire 2025-2026

RAPPORT DE PROJET ETUDE & RECHERCHE

Étude Métabolique de la Cité Médicale les Aghlabides

KOUAKOU Yves Emmanuel Phamien
Promo 65

United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat)

Octobre 2025 – Décembre 2025

Sous la direction de :

Nom Prénom, Maître de stage : Ryadh HENTATI

Nom Prénom, Tuteur Ecole EIVP : Daniel LERALLEC

Remerciements

Sommaire

Remerciements	1
Liste des illustrations	4
Liste des tableaux	4
Glossaire	5
Introduction	6
Partie 1	12
1. DIAGNOSTIC DU TERRITOIRE ET DU SITE.....	12
1.1. Présentation générale du territoire et du site d’implantation.....	12
1.2. Contexte socio-économique et dynamiques territoriales	14
1.3. Enjeux d’aménagement et contraintes physiques du site.....	16
1.3.1. Contraintes climatiques et hydrique.....	16
1.3.2. Topographie et morphologie du site	17
1.3.3. Accessibilité et connectivité territoriale.....	18
1.3.4. Disponibilité foncière et phasage	19
Partie 2	20
2. FONCTIONNEMENT DE LA CITÉ MÉDICALE	20
2.1. Définition et principes d’une cité médicale.....	20
2.2. Acteurs, gouvernance et structuration institutionnelle du projet.....	22
Partie 3	23
3. ANALYSE DU MÉTABOLISME URBAIN	23
3.1. Cadre méthodologique appliqué au projet	23
3.1.1. Périmètre du système étudié	24
3.1.2. Données d’entrée et hiérarchie des sources.....	24
3.2. Métabolisme des ressources humaines	25
3.3. Métabolisme de l’eau	26
3.3.1. Consommation liée à la population résidente.....	27
3.3.2. Consommation liée aux activités tertiaires, universitaires et administratives.....	27
3.3.3. Spécificité des usages hospitaliers (pôle santé).....	28
3.4. Métabolisme énergétique	29
3.4.1. Poste hospitalier (hypothèse : 500 lits)	30
3.4.2. Ordre de grandeur du reste du projet (variante 3) : approche au m2.....	30
3.5. Métabolisme des déchets.....	31
3.5.1. Estimation quantitative du pôle hospitalier (hypothèse de 500 lits).....	31

3.5.2.	Déchets assimilables aux déchets urbains	32
3.5.3.	Enjeux de gestion et implications métaboliques	32
3.6.	Métabolisme de la mobilité	33
3.6.1.	Intensité des flux quotidiens	33
3.6.2.	Spécificité hospitalière	34
3.6.3.	Flux internes et organisation spatiale	34
Partie 4		35
4.	ANALYSE DU MÉTABOLISME URBAIN	35
4.1.	Lecture transversale du métabolisme urbain	35
4.2.	Mise en perspective territoriale et contraintes structurelles	36
4.2.1.	Stress hydrique confirmé à l'échelle locale	36
4.2.2.	Pression énergétique et dépendance au réseau	37
4.2.3.	Enjeux logistiques et capacité territoriale	37
4.3.	Lecture systémique du projet et enjeux de gouvernance	37
Conclusion		39
Bibliographie/Webographie-Sitographie		41

Annexes

Annexe I : Rapport n_1 de la phase 1 Etude de faisabilité Technico-_conomique- Version provisoire-octobre-IndA-V3	43
--	----

Liste des illustrations

Liste des tableaux

Glossaire

Introduction

1. Mise en contexte générale

« Il existe une relation directe entre les performances des clusters et leur emplacement : en zone urbaine, ceux-ci peuvent atteindre leurs plus hauts niveaux, car la ville est le lieu le plus apte au développement de l'innovation économique et sociale. »
(Patrizia Ingallina, *Défis et opportunités de la ville écosoutenable*, 2019)

Les transformations contemporaines des villes s'inscrivent dans un contexte global marqué par l'intensification des échanges, la montée en puissance de l'économie de la connaissance et la nécessité de répondre simultanément aux défis économiques, sociaux et environnementaux. L'espace urbain ne se limite plus à un simple support physique d'activités humaines, mais devient un système complexe au sein duquel circulent en permanence des flux multiples : flux de personnes, de ressources, d'informations, de capitaux et de savoirs. Cette complexification progressive du fonctionnement urbain confère à la ville un rôle central dans les processus d'innovation et de développement territorial.

Dans cette perspective, de nombreux travaux soulignent l'émergence de nouveaux modèles urbains fondés sur la connaissance, l'innovation et la coopération entre acteurs. Comme le met en évidence Patrizia Ingallina, la ville constitue aujourd'hui le milieu le plus favorable à la performance des clusters innovants, en raison de la densité des interactions qu'elle rend possibles. Les systèmes urbains offrent en effet un environnement propice à la rencontre et à la mise en réseau des universités, des centres de recherche, des entreprises et des institutions publiques, favorisant ainsi la production et la diffusion de connaissances. Cette dynamique conduit à considérer les villes les plus performantes comme de véritables « hubs » de la connaissance, capables de capter et de valoriser des flux d'idées à grande échelle. L'exemple le plus emblématique de cette dynamique reste celui de la Silicon Valley, souvent considérée comme l'archétype des territoires *knowledge-based*. Ce cluster, fondé sur l'interaction étroite entre universités, centres de recherche, entreprises innovantes et capitaux, concentre aujourd'hui des entreprises dont la capitalisation boursière cumulée est estimée à environ 14 300 milliards de dollars en 2024 (Joint Venture Silicon Valley, *Silicon Valley Index*, 2024). Cet ordre de grandeur illustre de manière concrète la capacité des systèmes urbains fondés sur la connaissance à générer une valeur économique majeure à l'échelle mondiale. Ce mode de développement, qualifié de *knowledge-based*, s'étend aujourd'hui à de nombreux territoires à travers le monde. Il repose sur la création de plateformes collaboratives et sur des stratégies de clustering territorial dans lesquelles les universités et les institutions de recherche jouent un rôle central. Ces formes de croissance urbaine visent à capter le plus grand nombre de flux d'idées afin de stimuler l'innovation dans l'ensemble des domaines, en particulier dans les secteurs à forte intensité scientifique et technologique. Elles s'accompagnent de nouvelles formes de planification urbaine, fondées notamment sur le concept de *Knowledge-Based Urban Development* (KBUD), qui propose un nouveau paradigme de développement à l'ère de la connaissance. Le KBUD ambitionne de concevoir des villes capables d'encourager et de faciliter la production et la circulation du « travail abstrait », tout en recherchant un équilibre entre prospérité économique, durabilité environnementale et justice sociale. Selon Ingallina, il s'agit de structurer l'organisation socio-spatiale des villes de manière « juste », afin d'établir une économie

sécurisée dans un environnement humain durable. La ville devient alors non seulement un lieu de production économique, mais également un espace de construction sociale et de bien-être collectif.

Par ailleurs, ces transformations s'inscrivent dans un contexte de numérisation croissante des sociétés contemporaines. Les villes sont de plus en plus définies comme *smart*, mettant en avant le rôle central des nouvelles technologies de l'information et de la communication dans la gestion urbaine et l'accès aux services. Les sociétés actuelles, qualifiées d'« hyperconnectées », dépendent largement du numérique, qui permet un accès facilité et rapide à l'information, aux services de santé, à l'éducation ou encore à l'assistance médicale. Le numérique devient ainsi un élément structurant de la vie quotidienne et participe à la reconfiguration des espaces urbains.

Toutefois, la notion de *smart city* demeure ambivalente et fait l'objet de débats dans la littérature scientifique. Si les technologies intelligentes sont souvent présentées comme des leviers d'amélioration de la qualité de vie et de l'efficacité des services urbains, elles peuvent également être instrumentalisées à des fins de marketing territorial. Comme le rappelle Kunzmann, cité par Ingallina, « la smart city est à la fois une promesse et une tentation », soulignant l'existence d'une face à la fois positive et plus problématique de ce paradigme. Cette ambivalence invite à dépasser une approche strictement technologique et à adopter une lecture critique des modèles urbains contemporains.

Dans ce contexte, la ville contemporaine apparaît comme un espace de convergence entre connaissance, innovation, numérique et durabilité. Elle est caractérisée par une intensification des flux humains, matériels et immatériels qui redéfinissent profondément son fonctionnement. Comprendre ces flux et leurs interactions devient alors un enjeu majeur pour la conception de projets urbains complexes, notamment dans des secteurs stratégiques tels que la santé et la recherche médicale. C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail, qui propose d'analyser le projet de la Cité Médicale Les Aghlabides à travers une approche systémique fondée sur le métabolisme urbain.

2. Présentation du projet de la cité médicale les Aghlabides

Le projet de la Cité Médicale Les Aghlabides s'inscrit dans une stratégie nationale portée par l'État tunisien visant à renforcer durablement le système de santé, à améliorer l'accès aux soins et à repositionner la Tunisie comme un pôle régional de référence dans les domaines du soin, de la formation médicale et de la recherche scientifique. Lancé à l'initiative du Président de la République tunisienne, ce projet répond à plusieurs constats structurels mis en évidence au cours des dernières décennies, notamment les inégalités territoriales d'accès aux soins, la dépendance vis-à-vis de l'étranger pour des prises en charge médicales spécialisées, ainsi que la nécessité de mieux valoriser le potentiel humain et scientifique du pays.

Dans ce contexte, la création d'une cité médicale apparaît comme une réponse structurante et prospective aux enjeux sanitaires, sociaux et territoriaux auxquels la Tunisie est confrontée. L'ambition affichée par les autorités publiques est de concevoir un pôle médical d'excellence capable de concentrer, sur un même site, des établissements de soins de haut niveau, des structures de formation médicale et paramédicale, ainsi que des activités de recherche et d'innovation en santé. Ce regroupement vise à améliorer la qualité des soins dispensés à la population, à renforcer la formation des professionnels de santé et à favoriser le développement de la recherche biomédicale, tout en contribuant à limiter le recours aux soins à l'étranger, coûteux tant pour l'État que pour les ménages.

Le projet de la Cité Médicale Les Aghlabides présente également une forte dimension d'aménagement du territoire. Implantée à Menzel Mhiri, la cité médicale est appelée à jouer un rôle de levier de développement pour les populations locales et régionales. Au-delà de l'amélioration de l'offre de soins, le projet vise à générer des retombées socio-économiques significatives, notamment en matière de création d'emplois qualifiés, d'attractivité territoriale et de dynamisation des activités connexes (services, logement, commerce, logistique). Il s'inscrit ainsi dans une logique de rééquilibrage territorial, destinée à réduire certaines disparités régionales et à renforcer la cohésion sociale.

La définition du projet s'appuie notamment sur un rapport d'étude de faisabilité technico-économique, réalisé par le bureau d'étude SCET, à la demande des autorités politiques tunisiennes et de l'établissement public en charge du projet. Cet établissement, constitué sous la forme d'une société de projet (*Special Purpose Vehicle* - SPV), a été créé par l'État tunisien afin d'assurer le portage, la structuration et le pilotage de la future Cité Médicale Les Aghlabides. Le rapport de faisabilité constitue le document de référence ayant permis de définir les grandes orientations programmatiques, fonctionnelles et économiques du projet. Ce document présente la cité médicale comme un ensemble structuré et cohérent, regroupant établissements de soins, fonctions d'enseignement et activités de recherche, ainsi que des résidences destinées à accueillir les étudiants, les personnels médicaux et scientifiques, et, plus largement, les usagers appelés à séjourner de manière temporaire ou permanente sur le site. L'objectif n'est pas uniquement la juxtaposition d'équipements hospitaliers, mais la création d'un véritable écosystème médical intégré, fondé sur la proximité spatiale entre acteurs du soin, de la formation et de la recherche. Cette approche repose sur l'idée que la concentration et l'interaction des compétences constituent un facteur déterminant de performance, d'innovation et d'attractivité, en cohérence avec les modèles de clusters spécialisés observés à l'échelle internationale.

Par ailleurs, le projet s'inscrit dans un contexte de transformation profonde des systèmes de santé, marqué par l'évolution des pratiques médicales, l'essor des technologies numériques, le développement de la télémédecine et l'augmentation des besoins de soins liée aux transitions démographiques et épidémiologiques. La Cité Médicale Les Aghlabides est ainsi pensée comme une infrastructure évolutive, capable d'accompagner ces mutations sur le long terme, en offrant un cadre spatial et fonctionnel adaptable, performant et résilient.

Enfin, au-delà de ses enjeux nationaux et locaux, le projet participe d'une ambition plus large de positionnement stratégique de la Tunisie sur la scène régionale et internationale. En développant un pôle médical de haut niveau, le pays cherche à renforcer son attractivité en matière de coopération scientifique, de formation médicale et de tourisme de santé, tout en valorisant son capital humain. Cette dimension confère au projet une portée qui dépasse le cadre strictement local et justifie la nécessité d'une analyse approfondie de son fonctionnement futur. C'est dans cette perspective que le présent travail s'inscrit, en proposant une lecture systémique du projet à travers l'approche du métabolisme urbain, afin d'interroger la cohérence, la soutenabilité et la performance globale de la Cité Médicale Les Aghlabides.

3. Problématique de recherche

La conception d'un projet urbain d'envergure tel que la Cité Médicale Les Aghlabides soulève des enjeux complexes qui dépassent largement la seule définition programmatique ou architecturale. Si le rapport d'étude de faisabilité technico-économique permet de poser un cadre stratégique et de définir

les grandes orientations du projet, il demeure intrinsèquement limité dans sa capacité à anticiper le fonctionnement réel et quotidien d'un système urbain aussi complexe. En effet, un projet de cette nature ne peut être appréhendé uniquement à travers une juxtaposition de fonctions ou une approche sectorielle des équipements. La cité médicale est appelée à accueillir une diversité d'acteurs et d'utilisateurs (personnels médicaux et administratifs, étudiants, chercheurs, patients, visiteurs) dont les pratiques, les temporalités et les besoins diffèrent fortement. Cette diversité engendre des flux multiples et interdépendants : flux humains, flux de mobilité, flux d'eau, d'énergie, de matières et de déchets. Or, ces flux constituent le socle du fonctionnement quotidien du site et conditionnent directement sa performance, sa soutenabilité et son intégration territoriale. Ne pas les analyser de manière systémique dès la phase amont du projet expose celui-ci à des risques de dysfonctionnements, de surdimensionnement ou, au contraire, d'insuffisance des infrastructures.

Dans le cas de la Cité Médicale Les Aghlabides, cette question est d'autant plus centrale que le projet s'inscrit dans un contexte prospectif, sur un site appelé à se structurer autour d'un nouvel équipement majeur. Les choix effectués en matière de programmation, d'implantation et d'organisation spatiale auront des effets durables sur les usages, les consommations de ressources et les impacts environnementaux du site. Dès lors, se pose la question de la capacité du projet à répondre, sur le long terme, aux objectifs sanitaires, sociaux et territoriaux qui lui sont assignés par les autorités publiques. La problématique centrale de ce travail peut ainsi être formulée de la manière suivante : **Comment anticiper et évaluer le fonctionnement futur de la Cité Médicale Les Aghlabides, au-delà des intentions programmatiques, afin d'en apprécier la cohérence, la soutenabilité et la performance globale ?**

Cette interrogation conduit à s'intéresser non seulement à la nature des équipements projetés, mais surtout aux interactions entre les différentes composantes du site et aux flux qu'elles génèrent. Elle implique d'adopter une approche transversale, capable de relier les dimensions humaines, techniques, environnementales et territoriales du projet. Dans cette perspective, l'enjeu du présent travail est de dépasser une lecture descriptive du projet pour proposer une analyse critique et systémique de son fonctionnement potentiel, susceptible d'éclairer les décisions futures en matière de conception et de mise en œuvre.

4. Justification du choix de l'approche par le métabolisme urbain

"The metabolic requirements of a city can be defined as all the materials and commodities needed to sustain the city's inhabitants at home, at work and at play. (...) The metabolic cycle is not completed until the wastes and residues of daily life have been removed and disposed of with a minimum of nuisance and hazard." (Abel Wolman, *The Metabolism of Cities*, 1965, p. 157)

Cette définition fondatrice proposée par Abel Wolman constitue le point de départ théorique de l'approche dite du métabolisme urbain. En assimilant la ville à un organisme vivant, traversé par des flux continus de ressources et de rejets, Wolman met en évidence le fait que le fonctionnement urbain ne peut être compris indépendamment des processus matériels, énergétiques et techniques qui permettent de soutenir la vie quotidienne des populations. La ville n'est plus appréhendée comme un simple assemblage d'équipements ou de formes bâties, mais comme un système complexe d'entrées, de transformations et de sorties, dont l'équilibre conditionne directement la qualité de vie, la performance et la durabilité. Appliquée à un projet de grande ampleur tel que la Cité Médicale Les Aghlabides, cette approche apparaît particulièrement pertinente. Comme tout système urbain

spécialisé, une cité médicale génère des flux importants et spécifiques : consommation d'eau élevée, besoins énergétiques continus, production de déchets médicaux et non médicaux, flux quotidiens de populations aux profils variés, logistique médicale, alimentaire et technique. Ces flux, s'ils ne sont pas anticipés de manière cohérente et intégrée, peuvent rapidement devenir sources de dysfonctionnements, de surcoûts et de pressions accrues sur le territoire d'implantation.

Or, les documents issus de la phase de faisabilité technico-économique, bien qu'essentiels pour poser les bases programmatiques et financières du projet, adoptent principalement une lecture sectorielle et fonctionnelle. Ils définissent les infrastructures nécessaires, dimensionnent les équipements et évaluent la viabilité économique globale, sans toutefois analyser de manière approfondie les interactions entre les différents flux générés par la cité médicale et leur inscription dans un cycle global. Cette limite justifie le recours à une approche complémentaire, capable de dépasser la simple addition de composantes techniques pour interroger le fonctionnement systémique du projet.

Le métabolisme urbain permet précisément de répondre à cette exigence. En s'intéressant aux flux d'entrées (eau, énergie, matériaux, personnes), aux processus de transformation internes (soins, formation, recherche, logistique) et aux flux de sorties (eaux usées, déchets, émissions, mobilités), cette approche offre un cadre d'analyse transversal et dynamique. Elle permet d'identifier les points de tension, les pertes, les dépendances critiques et les opportunités de mutualisation ou de circularité, contribuant ainsi à une meilleure maîtrise des ressources et à une réduction des impacts environnementaux. Dans le contexte tunisien, marqué par des enjeux forts en matière de gestion de l'eau, d'énergie et d'équité territoriale, cette lecture systémique revêt une importance particulière. Adopter une approche métabolique pour la Cité Médicale Les Aghlabides, c'est chercher à anticiper non seulement les besoins immédiats du projet, mais également ses effets à long terme sur les ressources locales, les infrastructures existantes et les populations environnantes. Il s'agit ainsi de passer d'une logique de projet conçu comme une entité autonome à celle d'un système ouvert, en interaction permanente avec son territoire.

En définitive, le choix du métabolisme urbain comme cadre d'analyse ne relève pas d'un simple positionnement théorique, mais d'une volonté d'éclairer le projet sous un angle opérationnel et prospectif. Cette approche permet de compléter utilement les études existantes, en proposant une lecture globale du fonctionnement de la future cité, susceptible d'alimenter la réflexion des décideurs publics et des acteurs du projet en matière de durabilité, de gouvernance des flux et de performance territoriale.

5. Objectifs scientifiques et opérationnels du travail

À la lumière du contexte théorique, institutionnel et territorial présenté précédemment, le présent travail poursuit un ensemble d'objectifs articulant étroitement une démarche de recherche appliquée et une finalité opérationnelle. Il ne s'agit pas uniquement d'analyser un projet urbain à venir, mais de produire un cadre de lecture susceptible d'éclairer la conception, la mise en œuvre et le fonctionnement futur de la Cité Médicale Les Aghlabides.

Sur le plan scientifique, l'objectif principal de ce travail est de mobiliser l'approche du métabolisme urbain afin d'analyser le fonctionnement potentiel d'un projet urbain spécialisé, avant sa réalisation. En s'inscrivant dans la continuité des travaux fondateurs d'Abel Wolman et des développements contemporains du métabolisme urbain, cette étude vise à montrer en quoi l'analyse des flux constitue

un outil pertinent pour comprendre les dynamiques internes d'un système urbain complexe. Il s'agit ainsi de contribuer à la réflexion académique sur l'application du métabolisme urbain à des projets sectoriels, en particulier dans le domaine de la santé, encore relativement peu exploré dans la littérature.

Ce travail cherche également à enrichir la compréhension des interactions entre les différentes composantes d'une cité médicale (soins, formation, recherche, résidences, services) en mettant en évidence les liens qui existent entre les usages, les temporalités et les consommations de ressources. L'analyse vise à dépasser une lecture statique du projet pour proposer une approche dynamique, attentive aux cycles, aux dépendances et aux points de tension susceptibles d'émerger dans le fonctionnement quotidien du site. Sur le plan opérationnel, l'objectif du travail est d'évaluer la cohérence globale du projet à travers l'étude de ses flux humains, matériels et énergétiques. Cette évaluation a pour finalité d'identifier les enjeux majeurs liés à la gestion de l'eau, de l'énergie, des déchets, des mobilités et des espaces naturels, ainsi que les interactions entre ces différents flux. Elle permet d'anticiper les besoins futurs, de repérer les risques de dysfonctionnement et de mettre en évidence des marges d'optimisation, tant du point de vue environnemental qu'organisationnel. Un autre objectif opérationnel consiste à proposer des éléments d'aide à la décision à destination des acteurs du projet. En formulant des analyses transversales et des recommandations fondées sur l'approche métabolique, ce travail vise à compléter utilement le rapport de faisabilité technico-économique existant. Il ne s'agit pas de remettre en cause les orientations retenues, mais de les enrichir en apportant un éclairage systémique sur le fonctionnement futur de la cité médicale, notamment en matière de soutenabilité et de gouvernance des flux.

Enfin, ce travail ambitionne de montrer que l'intégration précoce d'une approche métabolique dans la conception d'un grand projet urbain peut constituer un levier stratégique pour améliorer la robustesse du projet à long terme. En anticipant les interactions entre flux, usages et territoire, l'étude contribue à inscrire la future cité dans une logique de développement durable, adaptée aux contraintes locales et aux ambitions nationales portées par les autorités tunisiennes.

6. Démarche adoptée et organisation du travail

Le présent travail s'inscrit dans une démarche de recherche appliquée visant à analyser le fonctionnement futur de la Cité Médicale Les Aghlabides à travers une lecture systémique fondée sur l'approche du métabolisme urbain. En complément des études existantes, et notamment du rapport de faisabilité technico-économique, il propose une analyse transversale des flux générés par le projet afin d'en apprécier la cohérence, la soutenabilité et l'intégration territoriale. L'étude repose sur un ensemble d'hypothèses nécessaires à l'analyse d'un projet encore non réalisé. Ces hypothèses concernent principalement les usages, les populations présentes et les besoins en ressources associés, et s'appuient sur les documents existants, la littérature scientifique et des ordres de grandeur issus de projets comparables. La méthodologie adoptée combine des analyses qualitatives et quantitatives, appliquées aux principaux flux constitutifs du métabolisme urbain.

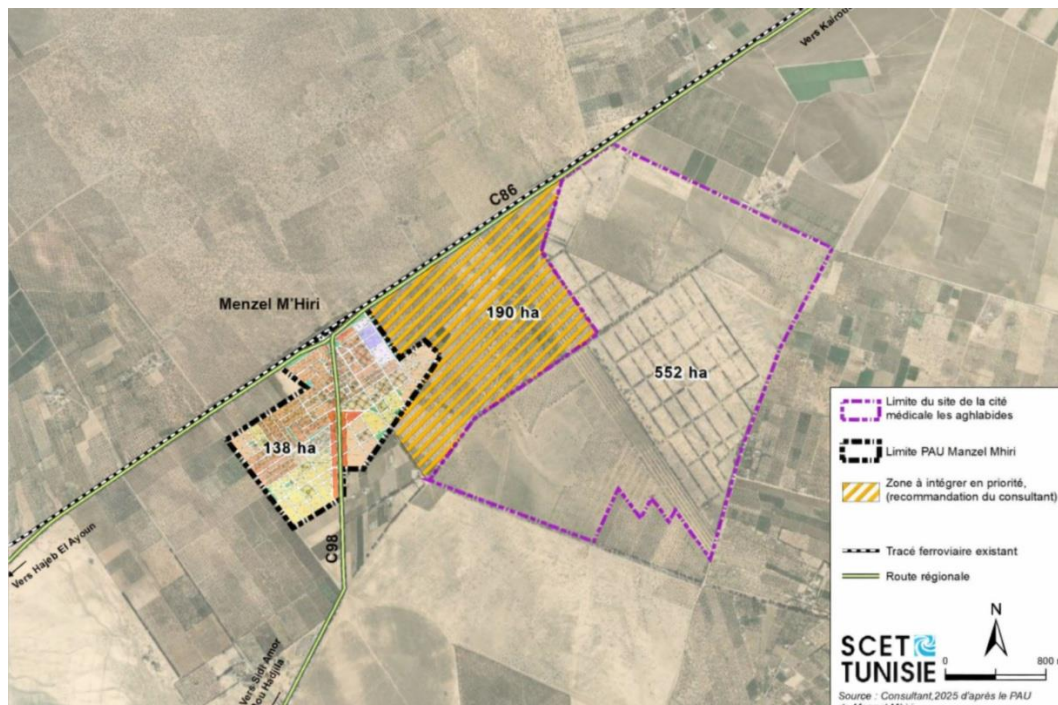
Le rapport est structuré de manière progressive, en allant du contexte général vers l'analyse détaillée, puis vers la synthèse et la discussion critique. Cette organisation vise à conduire le lecteur, de façon logique, vers le cœur de l'étude : l'analyse du métabolisme urbain de la Cité Médicale Les Aghlabides, considérée comme un système urbain complexe en interaction avec son territoire.

Partie 1

1. DIAGNOSTIC DU TERRITOIRE ET DU SITE

1.1. Présentation générale du territoire et du site d'implantation

Le projet de la Cité Médicale Les Aghlabides s'implante en Tunisie, dans la région du Centre-Ouest, au sein du gouvernorat de Kairouan, et plus précisément sur le territoire de la commune de Menzel Mhiri. Cette localisation confère au projet une portée territoriale particulière, tant par sa position géographique que par les dynamiques socio-économiques et spatiales qui caractérisent cette partie du pays.



Source : SCET Tunisie

La Tunisie présente une organisation territoriale marquée par de forts contrastes entre les régions littorales, historiquement plus développées et mieux équipées, et les régions de l'intérieur, longtemps en retrait des grandes dynamiques d'investissement et de planification. Le gouvernorat de Kairouan illustre pleinement cette dualité territoriale : situé à l'écart des principaux pôles métropolitains et économiques du pays, il dispose d'un potentiel humain, culturel et foncier important, mais reste confronté à des enjeux structurels en matière d'accès aux services, d'emploi qualifié et d'équipements de niveau supérieur. Dans ce contexte, l'implantation de la Cité Médicale Les Aghlabides ne relève pas d'un choix neutre. Elle s'inscrit dans une logique de rééquilibrage territorial portée par l'État tunisien, visant à doter les régions de l'intérieur d'équipements structurants capables de générer des dynamiques de développement à long terme. Le projet est ainsi appelé à jouer un rôle de pôle d'attractivité régional, en attirant des flux humains, économiques et scientifiques qui dépassent

largement l'échelle communale. Du point de vue géographique, le site d'implantation se situe dans un environnement majoritairement ouvert, caractéristique des périphéries urbaines en développement. Il bénéficie d'une disponibilité foncière importante, condition indispensable à l'accueil d'un projet de grande ampleur, dont la superficie totale est estimée à environ 552 hectares selon les éléments issus de l'étude de faisabilité.

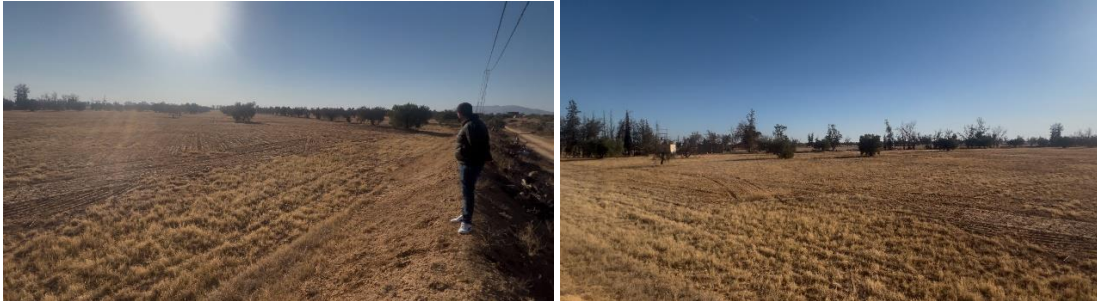


Image prise lors d'une visite sur site

Cette emprise foncière exceptionnelle permet d'envisager une organisation spatiale d'ensemble, intégrant non seulement les équipements médicaux et universitaires, mais également les fonctions résidentielles, les infrastructures techniques, les espaces publics et les espaces naturels nécessaires au fonctionnement global de la cité médicale. Le site se trouve à proximité de la ville de Kairouan, centre urbain majeur du gouvernorat, reconnu à la fois pour son importance historique et culturelle et pour son rôle administratif. Cette proximité constitue un atout stratégique : elle permet d'inscrire la future cité médicale dans un système urbain existant, tout en évitant une implantation trop centrale qui aurait limité les possibilités d'extension et généré des contraintes foncières et fonctionnelles fortes. Le projet s'inscrit ainsi dans une logique de développement maîtrisé en périphérie, avec l'ambition de créer un nouveau pôle urbain spécialisé, connecté mais distinct du tissu urbain historique.

Sur le plan des infrastructures et des réseaux, le territoire présente des niveaux d'équipement contrastés. Les axes routiers régionaux assurent une connexion avec les principales villes du centre tunisien, mais l'accessibilité reste perfectible, notamment en ce qui concerne les transports collectifs et les liaisons interurbaines structurantes. Cette situation confère au projet un double enjeu : s'appuyer sur les infrastructures existantes tout en constituant un levier pour leur amélioration et leur renforcement. La Cité Médicale est ainsi susceptible de devenir un moteur d'investissement dans les réseaux de transport, les réseaux techniques et les équipements publics à l'échelle territoriale. Le contexte environnemental du site est également un élément central du diagnostic. Situé dans une région soumise à des contraintes climatiques marquées, notamment en matière de ressource en eau et de stress hydrique, le territoire impose une attention particulière à la gestion des ressources naturelles. La faible disponibilité en eau, la variabilité des précipitations et la sensibilité des milieux récepteurs constituent des facteurs déterminants pour la conception et le fonctionnement futur du projet. Ces contraintes environnementales renforcent la pertinence d'une approche par le métabolisme urbain, qui permet d'analyser de manière intégrée les flux de ressources et leurs impacts sur le territoire.

Par ailleurs, le choix du nom « Les Aghlabides » confère au projet une dimension symbolique forte. Il renvoie à l'héritage historique de la région de Kairouan, marquée par des figures majeures de la médecine et par des réalisations techniques avancées, notamment en matière de gestion de l'eau. Cette référence historique participe à l'ancrage territorial du projet et à la construction d'une identité forte, en lien avec la vocation scientifique et médicale de la future cité.



Source (Image 1) : UNESCO

Source (Image 2) : Image prise lors d'une visite sur site montrant la grande Mosquée de Kairouan, la plus ancienne mosquée du Maghreb

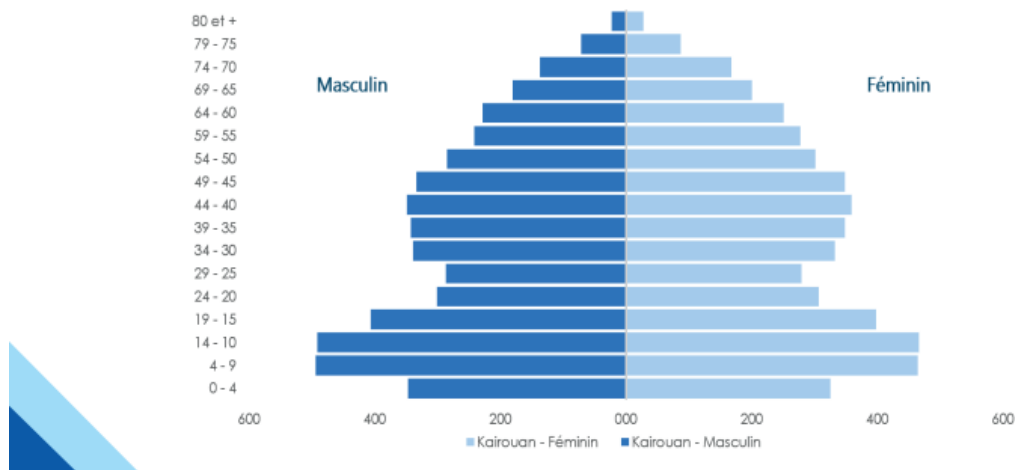
Ainsi, à l'issue de cette première lecture territoriale, le site d'implantation de la Cité Médicale Les Aghlabides apparaît comme un territoire à forts enjeux et à fort potentiel. Son positionnement géographique, sa disponibilité foncière, son contexte socio-économique et ses contraintes environnementales en font un espace particulièrement pertinent pour accueillir un projet structurant de cette ampleur, à condition que son fonctionnement futur soit finement anticipé et intégré aux dynamiques territoriales existantes. Cette analyse constitue le socle indispensable pour aborder, dans les sections suivantes, le diagnostic socio-économique, les usages et, in fine, l'étude détaillée du métabolisme urbain de la future cité médicale.

1.2. Contexte socio-économique et dynamiques territoriales

Le gouvernorat de Kairouan s'inscrit dans un contexte socio-économique caractéristique des régions de l'intérieur tunisien, marqué par des fragilités structurelles mais également par un potentiel humain important encore insuffisamment valorisé. Contrairement aux régions littorales, qui concentrent l'essentiel des investissements, des emplois qualifiés et des infrastructures de haut niveau, le centre du pays demeure confronté à des déséquilibres persistants en matière de développement économique et d'accès aux services.

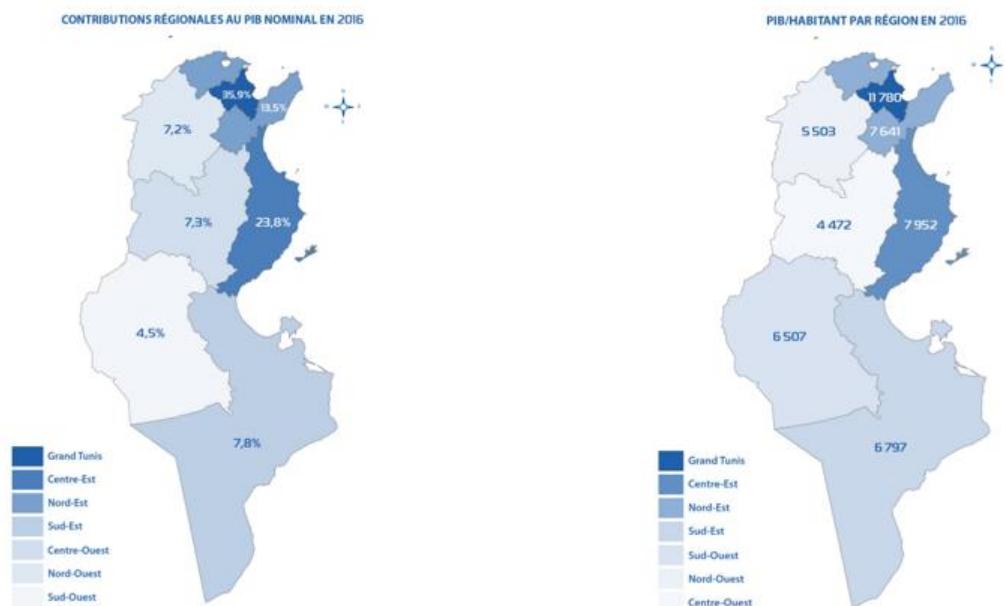
Sur le plan démographique, la région présente une population relativement jeune, avec une part importante de personnes en âge de travailler. Cette structure démographique constitue à la fois un atout et un défi. Si elle représente un potentiel significatif en termes de main-d'œuvre et de dynamisme futur, elle se heurte néanmoins à une offre d'emploi localement limitée, en particulier dans les secteurs à forte valeur ajoutée. Cette situation contribue à des taux de chômage élevés, touchant plus particulièrement les jeunes diplômés, et alimente des dynamiques d'exode vers les grandes villes, notamment Tunis et les pôles côtiers.

Pyramide d'âge du gouvernorat de Kairouan en 2024 (% par rapport au total)



Source : Statistiques Tunisie

L'économie locale repose historiquement sur des activités agricoles et para-agricoles, ainsi que sur un tissu de petites et moyennes entreprises peu diversifié. Les activités industrielles et tertiaires supérieures y sont relativement peu développées, ce qui limite les opportunités d'emplois qualifiés et freine la montée en compétence du territoire. Dans ce contexte, l'absence de pôles structurants capables de capter et de retenir les compétences constitue un facteur majeur de fragilisation socio-économique. Les inégalités territoriales se traduisent également par un accès différencié aux équipements et aux services, notamment dans le domaine de la santé. Les populations des régions de l'intérieur doivent fréquemment se déplacer vers la capitale ou les grandes villes littorales pour accéder à des soins spécialisés, générant des coûts économiques et sociaux importants pour les ménages. Cette situation accentue le sentiment de relégation territoriale et renforce les disparités entre régions.



Source : Statistiques Tunisie

L'implantation de la Cité Médicale Les Aghlabides à proximité de Menzel Mhiri s'inscrit précisément dans ce contexte. Le projet est conçu comme un levier de transformation socio-économique, capable de modifier en profondeur les dynamiques locales. En concentrant des activités de soins, de formation et de recherche, la cité médicale est appelée à créer des emplois qualifiés, directs et indirects, et à favoriser l'émergence d'un écosystème économique plus diversifié. Elle offre également la perspective de retenir localement des compétences formées sur place, contribuant ainsi à limiter les flux migratoires internes. Au-delà de l'emploi, le projet est susceptible de produire des effets d'entraînement sur l'ensemble du tissu socio-économique local. Le développement de fonctions résidentielles, de services, de commerces et d'activités connexes peut générer une dynamique de requalification territoriale, bénéficiant aux populations locales. Toutefois, ces effets positifs potentiels s'accompagnent également de risques, notamment en matière de pression foncière, de hausse des coûts du logement ou de déséquilibres entre populations locales et nouvelles populations attirées par le projet. Ces enjeux soulignent l'importance d'une intégration fine de la cité médicale dans son environnement socio-économique.

Enfin, la dimension symbolique et identitaire du projet joue un rôle non négligeable dans les dynamiques territoriales. En s'appuyant sur l'héritage historique et scientifique de la région, la Cité Médicale Les Aghlabides participe à une stratégie de revalorisation de l'image du territoire, tant à l'échelle nationale qu'internationale. Cette reconnaissance potentielle constitue un levier important pour renforcer la fierté territoriale, attirer des investissements et inscrire durablement la région dans les réseaux de la connaissance et de l'innovation en santé.

Ainsi, le contexte socio-économique du territoire d'implantation de la Cité Médicale Les Aghlabides met en évidence des besoins forts en matière de développement, mais également des opportunités majeures. Le projet apparaît comme un outil structurant susceptible de répondre à ces enjeux, à condition que ses impacts socio-économiques soient anticipés, maîtrisés et accompagnés par des politiques publiques adaptées. Cette lecture constitue une étape essentielle pour comprendre les usages futurs du site et les flux qu'il générera, qui seront analysés dans les sections suivantes du diagnostic.

1.3. Enjeux d'aménagement et contraintes physiques du site

L'implantation de la Cité Médicale Les Aghlabides sur un site d'environ 552 hectares à proximité de Menzel Mhiri offre une opportunité rare de planification à grande échelle. Toutefois, cette emprise foncière importante ne constitue pas uniquement un avantage ; elle implique également une responsabilité forte en matière d'aménagement, de gestion des ressources et d'intégration territoriale.

1.3.1. Contraintes climatiques et hydrique

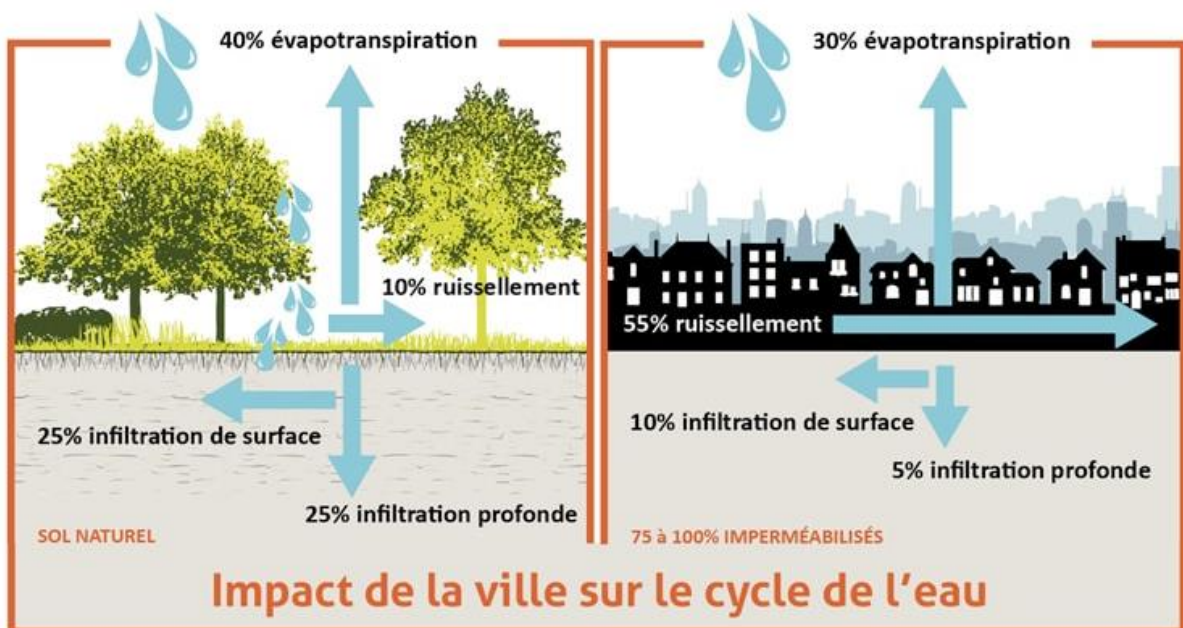
Le gouvernorat de Kairouan est caractérisé par un climat semi-aride, marqué par :

- une pluviométrie irrégulière et faible (pluviométrie estimée à 290,6 millimètres en 2023, selon Statistiques Tunisie)

- des épisodes de fortes chaleurs estivales avec des températures atteignant les 49°C en 2023 (Statistiques Tunisie)
- une variabilité interannuelle importante des précipitations.

Ces éléments ont un impact direct sur la gestion de l'eau, ressource particulièrement sensible dans le contexte tunisien. Le développement d'un projet de cette ampleur implique une augmentation significative des consommations en eau potable (soins hospitaliers, laboratoires, résidences, restauration, espaces verts), ainsi qu'une production accrue d'eaux usées. La contrainte hydrique constitue donc un enjeu structurant pour la conception du projet. Il ne s'agit pas seulement d'assurer un approvisionnement suffisant, mais de garantir une gestion durable du cycle de l'eau à l'échelle du site : récupération des eaux pluviales, infiltration, limitation du ruissellement, réutilisation des eaux traitées.

D'un point de vue hydrologique, l'urbanisation d'un site de grande superficie modifie profondément le bilan hydrique local : augmentation des surfaces imperméabilisées, accroissement du ruissellement, réduction de l'infiltration naturelle et risque accru d'inondations ponctuelles. Comme le montrent les principes du bilan hydrique, toute modification des surfaces et des usages entraîne une recomposition des flux entre précipitations, évapotranspiration, infiltration et débit de surface.



Source : CAUE 37 – Indre-et-Loire

1.3.2. Topographie et morphologie du site

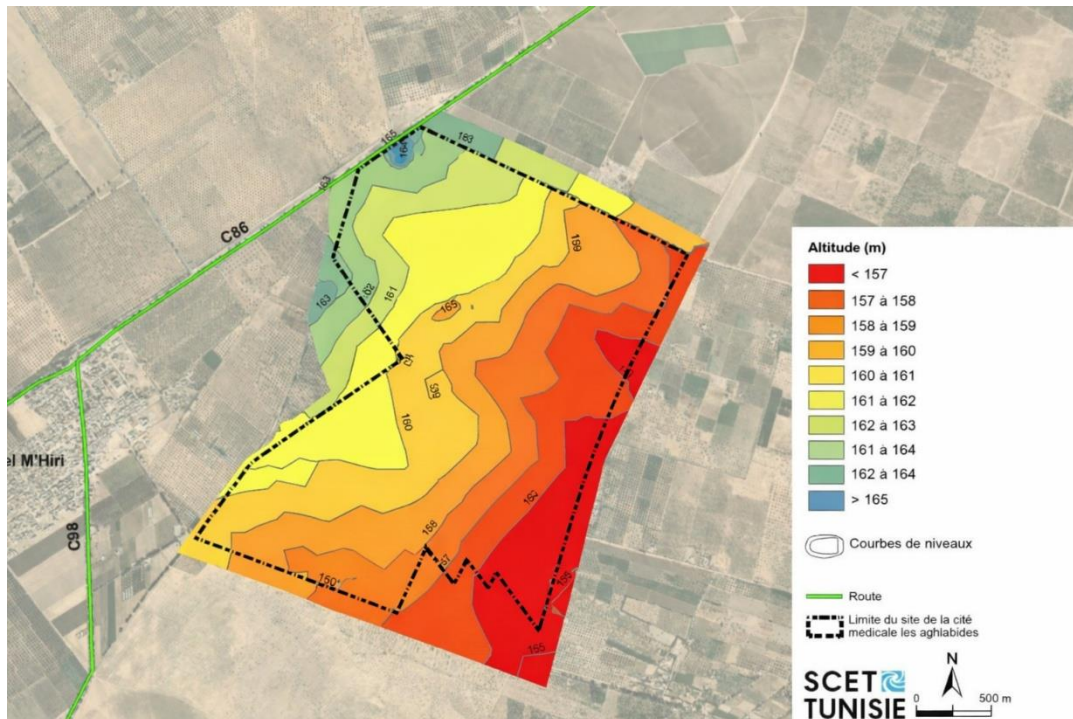
La morphologie du site joue un rôle déterminant dans la structuration future de la cité médicale. L'analyse topographique permet d'identifier :

- les zones basses susceptibles d'accumuler les eaux pluviales,
- les lignes de crête ou axes structurants,
- les éventuelles contraintes liées à la stabilité des sols.

Dans un projet de cette ampleur, la topographie conditionne :

- l'implantation des bâtiments,
- la gestion gravitaire des réseaux,
- les coûts d'infrastructure,
- et la qualité paysagère globale.

Une lecture fine du relief est donc indispensable pour éviter des surcoûts liés aux terrassements ou à des réseaux trop contraints. Elle permet également d'envisager une intégration paysagère cohérente, notamment par la création de noues, bassins paysagers ou trames vertes structurantes.



Source : Rapport de faisabilité (SCET Tunisie)

1.3.3. Accessibilité et connectivité territoriale

L'implantation d'un équipement hospitalo-universitaire de cette ampleur modifie profondément les dynamiques de circulation à l'échelle locale et régionale. La Cité Médicale Les Aghlabides ne sera pas un simple générateur de déplacements ponctuels : elle produira des flux continus, quotidiens, différenciés selon les profils d'utilisateurs et les temporalités.

Le site bénéficie aujourd'hui d'une desserte routière régionale satisfaisante, notamment via les axes structurants reliant Kairouan aux principales villes du centre tunisien. Toutefois, ces infrastructures ont été dimensionnées pour des usages essentiellement résidentiels et agricoles. L'arrivée d'un pôle hospitalier et universitaire susceptible d'accueillir plusieurs milliers de personnes par jour modifiera l'intensité et la nature des flux.

Il convient notamment de distinguer plusieurs catégories de mobilités :

- les déplacements liés aux urgences médicales, nécessitant une fluidité et une priorité absolue
- les flux réguliers du personnel médical, administratif et universitaire
- les déplacements des étudiants et des résidents
- les mobilités des patients programmés et des visiteurs
- les flux logistiques (approvisionnement, gestion des déchets médicaux, maintenance).

Ces flux n'ont ni les mêmes exigences de temps, ni les mêmes contraintes de sécurité. Leur hiérarchisation constituera un enjeu majeur dans l'organisation du site. Une absence de séparation fonctionnelle pourrait générer des conflits d'usage, des congestions et des situations critiques, notamment pour les services d'urgence. La réflexion sur les mobilités ne peut donc se limiter à la capacité des voiries existantes. Elle doit intégrer la structuration interne du site, l'articulation avec la ville de Kairouan, ainsi que la possibilité d'introduire des mobilités alternatives (navettes internes, cheminements piétons sécurisés, circulation cyclable). L'accessibilité constitue ainsi un paramètre déterminant du futur métabolisme du projet.

1.3.4. Disponibilité foncière et phasage

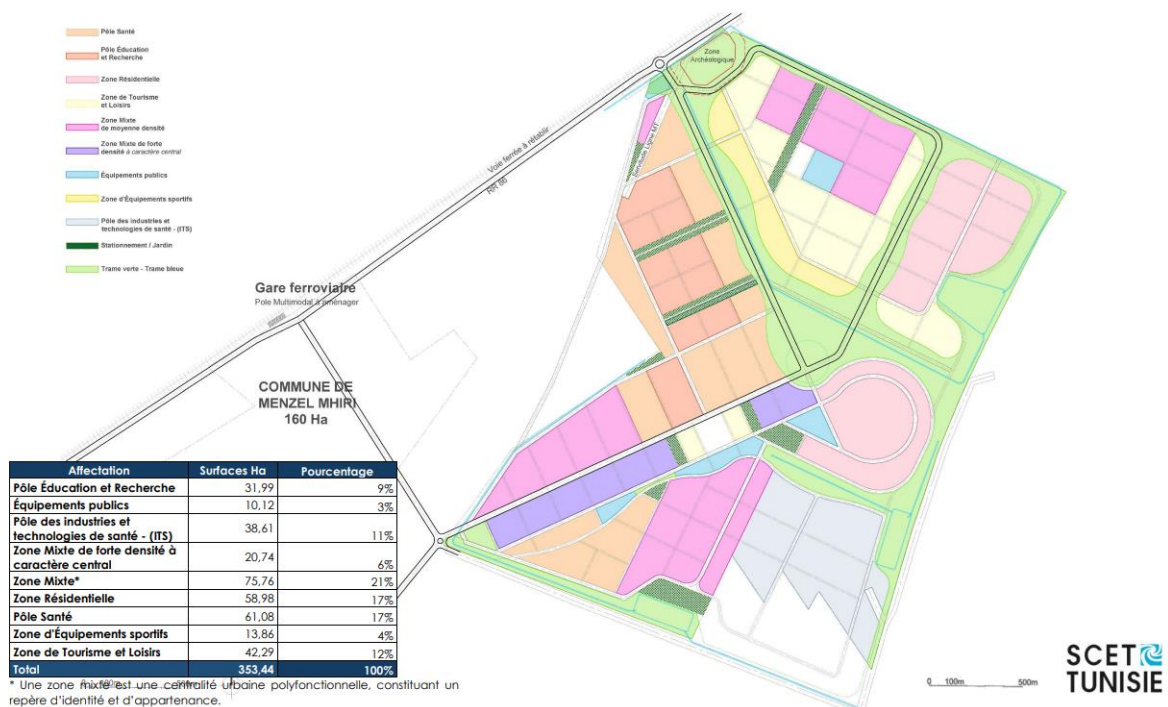
Avec une emprise d'environ 552 hectares, le site de la Cité Médicale Les Aghlabides se distingue par une disponibilité foncière rare à l'échelle nationale. Cette ampleur offre une liberté de composition et d'organisation difficilement envisageable dans des contextes urbains plus contraints.

Cependant, cette liberté impose une responsabilité particulière. Un projet de cette taille ne peut être pensé comme une opération figée. Il doit intégrer dès l'origine une capacité d'évolution. Les besoins hospitaliers, universitaires et technologiques évoluent rapidement ; les infrastructures conçues aujourd'hui devront pouvoir s'adapter à des usages futurs encore incertains.

Le foncier disponible permet d'envisager :

- une organisation en pôles fonctionnels distincts mais connectés
- des réserves foncières pour extensions futures
- une gradation des densités selon les usages
- l'intégration d'espaces tampon entre fonctions sensibles (logistique / résidences / soins).

La question du phasage devient alors centrale. Un développement progressif, articulé autour de priorités claires, permettrait d'ajuster les infrastructures aux besoins réels et d'éviter des surdimensionnements initiaux coûteux. À l'inverse, un déploiement trop rapide pourrait créer des déséquilibres temporaires, notamment en matière de réseaux et de services.



Source : Plan de zoning de la variante d'aménagement N°1 (rapport de faisabilité technico-économique)

Partie 2

2. FONCTIONNEMENT DE LA CITÉ MÉDICALE

2.1. Définition et principes d'une cité médicale

Dans la littérature internationale en urbanisme de la santé, une "medical city" (cité médicale) est définie comme un « ensemble territorial intégré regroupant des infrastructures hospitalières, des établissements d'enseignement médical et des centres de recherche biomédicale, organisés de manière à favoriser les synergies fonctionnelles entre soins, formation et innovation » (Yigitcanlar, T., Baum, S., & Horton, S., 2007, *Attracting and retaining knowledge workers in knowledge cities*, Journal of Knowledge Management)

Historiquement, les grands pôles hospitalo-universitaires ont joué un rôle structurant dans le développement des villes. Ils concentrent des flux importants de populations, mobilisent des ressources significatives et génèrent des dynamiques économiques indirectes. Une cité médicale peut ainsi être analysée comme un cluster sectoriel, au sens des travaux sur les territoires spécialisés : elle agrège compétences, infrastructures et services autour d'une même thématique, en l'occurrence la santé.

La Cité Médicale Les Aghlabides s'inscrit dans cette logique. Selon les orientations définies dans le rapport de faisabilité technico-économique, elle vise à regrouper sur un même site :

- établissements hospitaliers spécialisés,
- structures universitaires de formation médicale et paramédicale,
- unités de recherche,
- résidences étudiantes et logements pour le personnel,
- équipements de services et de soutien (restauration, maintenance, logistique).

Cette organisation repose sur un principe de proximité fonctionnelle : la concentration spatiale des activités est censée favoriser les synergies entre soins, enseignement et recherche. Elle permet également d'optimiser certains équipements mutualisés (laboratoires, amphithéâtres, plateformes techniques).

Cependant, cette concentration implique également une intensité élevée de flux. Contrairement à un hôpital isolé, une cité médicale fonctionne sur plusieurs temporalités simultanées :

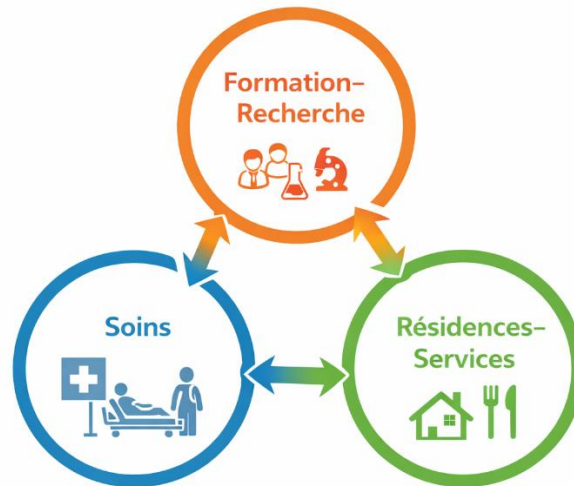
- temporalité continue des soins hospitaliers (24h/24),
- temporalité académique (semestres universitaires),
- temporalité de recherche (cycles de projets),
- temporalité résidentielle (occupation permanente).

La superposition de ces temporalités complexifie l'organisation du site. Elle implique une gestion fine des espaces, des réseaux et des circulations.

D'un point de vue fonctionnel, on peut distinguer trois grands sous-systèmes au sein d'une cité médicale :

1. Le système de soins, comprenant les services hospitaliers, les urgences, les plateaux techniques et les unités spécialisées.
2. Le système académique et scientifique, incluant les facultés, laboratoires, bibliothèques et espaces pédagogiques.
3. Le système résidentiel et de services, regroupant logements, restauration, commerces, maintenance et logistique.

Ces sous-systèmes sont interdépendants. Leur articulation conditionne l'efficacité globale du site.



Dans le cas spécifique de la Cité Médicale Les Aghlabides, la volonté affichée par les autorités tunisiennes est de créer un pôle d'excellence à vocation nationale et régionale. Cette ambition confère au projet une échelle supérieure à celle d'un hôpital régional classique. Elle suppose une capacité d'accueil importante, une qualité d'infrastructure élevée et une organisation spatiale capable d'absorber des flux variés. Avant même d'entrer dans l'analyse métabolique détaillée, il apparaît que la cité médicale doit être appréhendée comme un système complexe, combinant fonctions sanitaires, académiques et urbaines. Cette lecture systémique constitue le point de départ nécessaire à l'étude des acteurs impliqués et à l'estimation des populations présentes sur le site.

2.2. Acteurs, gouvernance et structuration institutionnelle du projet

La Cité Médicale est un projet d'initiative étatique inscrit dans une stratégie nationale visant à renforcer les capacités sanitaires et scientifiques de la Tunisie. Son lancement à l'échelle présidentielle lui confère un statut stratégique, dépassant le cadre d'un simple projet d'équipement hospitalier. Il s'agit d'une opération structurante destinée à produire des effets à la fois sanitaires, économiques et territoriaux.

Afin d'assurer le portage opérationnel du projet, l'État tunisien a créé une entité dédiée : l'Établissement de la Cité Médicale Les Aghlabides, constitué sous la forme d'une Special Purpose Vehicle (SPV). Cette structure a pour mission de piloter le développement du projet, de coordonner les études, de structurer les marchés publics et de préparer les phases ultérieures de réalisation. Dans le cadre des prérogatives qui lui ont été confiées, la SPV a notamment passé un marché avec le bureau d'étude SCET Tunisie pour la réalisation de l'étude de faisabilité technico-économique. Ce document constitue la base programmatique et stratégique du projet, définissant les orientations fonctionnelles, les hypothèses de dimensionnement et les premières estimations financières. Le choix d'un montage institutionnel via une SPV traduit une volonté de centraliser la gouvernance du projet, d'en assurer la

cohérence et de lui conférer une capacité de contractualisation spécifique. Cette structuration permet une certaine souplesse administrative et une autonomie de gestion par rapport aux circuits décisionnels classiques de l'administration centrale. Toutefois, elle soulève également des enjeux importants en matière d'articulation entre la phase de conception, la phase de réalisation et la future phase d'exploitation.

En effet, la future cité ne fonctionnera pas comme une entité unique et homogène. Elle regroupera, à terme, des établissements hospitaliers, des structures universitaires, des unités de recherche et des services supports, chacun relevant de logiques institutionnelles propres. La question centrale n'est donc pas uniquement celle de la construction du site mais celle de sa gouvernance future. Cette gouvernance devra s'organiser à plusieurs échelles simultanément :

- À l'échelle nationale, où s'inscrivent les orientations stratégiques, les arbitrages budgétaires et les priorités sectorielles en matière de santé et d'enseignement supérieur.
- À l'échelle régionale, où le projet devra s'intégrer aux dynamiques territoriales existantes, aux infrastructures locales et aux politiques d'aménagement.
- À l'échelle locale, où son implantation transformera les équilibres socio-économiques et spatiaux de la commune de Menzel Mhiri.
- À l'échelle interne, enfin, où la coordination quotidienne entre soins, formation, recherche et logistique conditionnera la fluidité du site.

Cette dimension multi-échelle est déterminante. Un projet de cette ampleur peut devenir un levier de transformation territoriale s'il est intégré de manière cohérente aux différentes strates décisionnelles. À l'inverse, une coordination insuffisante entre niveaux institutionnels pourrait générer des tensions comme par exemple la surcharge des infrastructures locales, l'inadéquation entre besoins et capacités régionales ou la fragmentation des responsabilités internes. Dans une perspective métabolique, la gouvernance influence directement la gestion des flux. La manière dont seront organisés les circuits logistiques, la mutualisation des équipements, la gestion des consommations énergétiques ou encore la planification des mobilités dépendra moins des seules infrastructures que de la capacité des acteurs à coopérer et à partager une vision commune du fonctionnement du site.

Partie 3

3. ANALYSE DU MÉTABOLISME URBAIN

3.1. Cadre méthodologique appliqué au projet

L'étude du métabolisme urbain vise à analyser le fonctionnement matériel d'un système urbain à travers les flux de ressources qu'il mobilise, transforme et rejette. Sabine Barles rappelle que le métabolisme urbain désigne l'ensemble des processus par lesquels les villes « mobilisent, consomment et transforment » matières et énergie, avec des conséquences en amont (prélèvements) et en aval

(rejets) sur les milieux. (Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte environnementale des villes, RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT N° 52 OCTOBRE 2008, 2008). Dans cette perspective, la Cité Médicale Les Aghlabides est considérée comme un système urbain spécialisé. Bien qu'elle soit située sur un territoire plus large, elle constitue une entité fonctionnelle suffisamment structurée pour être étudiée sous l'angle de ses flux.

3.1.1. Périmètre du système étudié

Le périmètre retenu correspond à l'emprise globale du projet telle que programmée par l'étude de SCET Tunisie, soit un site de référence de 552 ha (surface totale du terrain), décliné en variantes d'affectation et de constructibilité. Parmi les scénarios étudiés, la variante 3 a été retenue à l'issue des arbitrages institutionnels. Elle a fait l'unanimité lors des discussions techniques et a été validée par l'Établissement de la Cité Médicale Les Aghlabides, ainsi que par le Ministère de l'Équipement et de l'Habitat de la République de Tunisie. En conséquence, ce sont exclusivement les hypothèses programmatiques et spatiales de la variante 3 qui serviront de base à la présente analyse métabolique.

Pour cette variante, les hypothèses spatiales structurantes sont :

- Surface de projet : 374,71 ha (surface nette hors voies de desserte)
- Surface constructible : 317,28 ha
- Droit à construire : 606,07 ha.

Ce périmètre inclut les pôles fonctionnels (dont le pôle santé), les voiries internes, les espaces ouverts, les réseaux et les espaces supports indispensables au fonctionnement.

3.1.2. Données d'entrée et hiérarchie des sources

La méthodologie s'appuie sur une hiérarchie explicite des sources :

1. Données projet du rapport de faisabilité de la SCET Tunisie : projections démographiques et surfaces par affectation, notamment pour la variante 3. Pour cette variante, le rapport de faisabilité fournit trois grandeurs clés utilisées comme base de calcul des flux :
 - Population résidente : 120 817
 - Population employée : 202 405 (incluant étudiants et chercheurs)
 - Population en transit : 95 977 (toute population non-résidente)

Projections Démographiques

Constat: Bien que l'hypothèse adoptée est que 30% des personnes qui travaillent ou étudient dans la citée ne soient pas résidents, il apparaît une plus forte disparité entre emploi et résidents. Cela est expliqué par une forte dominance en équipement de santé pour lequel l'hypothèse est que: 50 patients ambulatoires/1000m2 de planchers viennent de l'extérieur de la cité.

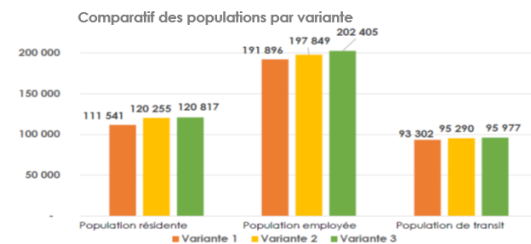
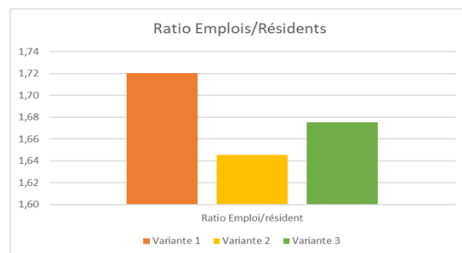
Défi: la mise en place d'un réseau de transport en commun efficace est un incontournable pour l'accès aux patients venant des régions voisines

	Surfaces Ha	Surface constructible (ou vendable) Ha*	Droit à construire Ha	Population Résidente	Population employée**	Population en Transit***
Variante 1	353,44	301,56	559,54	111 541,32	191 895,53	93 302,21
Variante 2	365,29	311,89	587,54	120 255,01	197 849,09	95 290,27
Variante 3	371,59	317,28	606,07	120 817,18	202 404,81	95 976,90

* Surface nette hors voies de desserte

** Y compris étudiants et chercheurs

*** Toute population non-résidente



2. Ratios techniques et bibliographie : lorsque le rapport de faisabilité ne détaille pas certains sous-flux (par exemple consommation d'eau par lit, déchets médicaux par activité), on mobilise des ratios issus de références techniques reconnues.

Cette hiérarchie garantit que les résultats restent cohérents avec la programmation officielle du projet, tout en conservant une capacité d'analyse métabolique.

3.2.Métabolisme des ressources humaines

L'analyse du métabolisme humain constitue le socle de l'étude des flux générés par la future cité. Les volumes d'eau consommés, l'énergie mobilisée, les déplacements produits ou encore les déchets générés dépendent directement du nombre et du profil des personnes présentes sur le site. L'estimation des populations projetées permet donc d'évaluer l'intensité fonctionnelle du système urbain étudié. Selon les projections établies par le rapport de la SCET Tunisie pour la variante 3, le projet atteindrait à maturité une population résidente de 120 817 personnes, une population employée de 202 405 personnes incluant étudiants et chercheurs et une population en transit de 95 977 personnes, correspondant à l'ensemble des individus non-résidents fréquentant le site. Ces données concernent l'intégralité du périmètre programmé et traduisent l'ampleur du dispositif urbain envisagé. La structure démographique projetée met en évidence une forte vocation productive du site. Le nombre d'emplois dépasse largement le nombre de résidents, avec un ratio d'environ 1,67 emploi par habitant. Cette configuration implique une attractivité quotidienne importante et une dépendance significative aux flux entrants depuis les territoires environnants. La population employée et la

population en transit représentent ensemble près de 300 000 personnes liées au fonctionnement du site, ce qui traduit une intensité d'activité particulièrement élevée.

Il convient toutefois de distinguer la population permanente des flux journaliers. Les résidents constituent une présence stable, générant des consommations régulières. Les populations employées et en transit produisent quant à elles des mouvements quotidiens variables selon les rythmes d'activité. Les fonctions hospitalières impliquent une présence continue, tandis que les activités universitaires, administratives et tertiaires se concentrent majoritairement en journée. Cette superposition de temporalités entraîne des variations intra-journalières significatives qui devront être prises en compte dans l'évaluation des besoins en infrastructures. Le pôle santé représente 30 hectares dans la variante 3. Les données disponibles ne détaillent pas la répartition exacte des populations par secteur fonctionnel. L'estimation spécifique des flux humains liés aux activités médicales nécessitera donc une analyse fondée sur les surfaces affectées et sur les ratios programmatiques propres aux établissements hospitaliers et universitaires. Cette étape permettra d'isoler la contribution du pôle santé dans l'ensemble du métabolisme du site.



Carte de zonage de la variante d'aménagement n°3 (SCET-Tunisie)

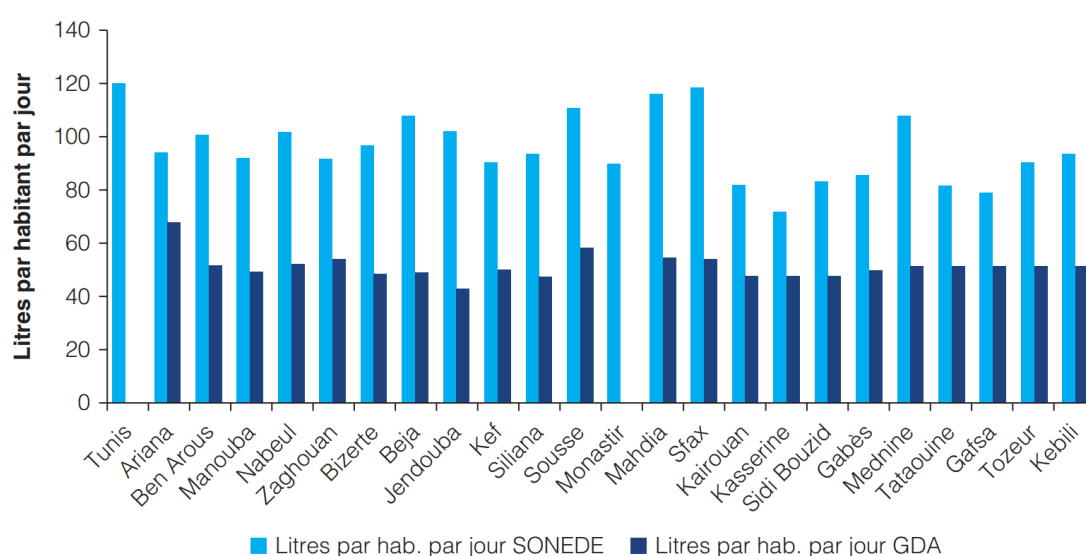
3.3. Métabolisme de l'eau

La gestion de l'eau constitue un paramètre structurant du métabolisme de la cité médicale Les Aghlabides. Dans un contexte tunisien marqué par une disponibilité limitée de la ressource, l'estimation des besoins hydriques du site revêt une importance particulière. L'analyse repose sur les projections démographiques de la variante 3 et sur des ratios de consommation adaptés aux différents types d'usage.

3.3.1. Consommation liée à la population résidente

Les données de la Banque mondiale sur la consommation journalière par habitant montrent des disparités importantes selon les gouvernorats : pour Kairouan, la consommation moyenne des usagers SONEDE se situe autour de 80 - 85 L / hab / jour tandis que plusieurs gouvernorats se rapprochent ou dépassent les 100 - 120 L / hab / jour.

Figure 3.6 : Volume (en litres) par habitant par jour consommé par les usagers de la SONEDE et les GDA par gouvernorat, 2015



Source : Banque Mondiale

En parallèle, l'OMS retient des seuils de référence indiquant qu'un niveau autour de 100 L/hab/jour correspond à un accès "optimal" au regard des usages domestiques et de l'hygiène.

Dans le cas de la Cité Médicale Les Aghlabides, l'objectif du projet est de mettre en place un ensemble urbain moderne, doté d'équipements collectifs et de services structurants. Les consommations attendues ont donc vocation à être supérieures aux niveaux actuels observés dans un gouvernorat où la consommation peut être contrainte par les conditions socio-économiques et l'accès effectif au service. Par prudence, une hypothèse de 130 L/hab/jour est retenue pour la population résidente, valeur supérieure au seuil OMS "optimal" tout en restant réaliste pour un tissu urbain équipé.

Sur la base des projections de la variante 3, soit 120 817 résidents, la consommation résidentielle journalière est estimée à :

$$120\,817 \times 130\text{ L} = 15\,706\,000\text{ L/jour, soit }15\,706\text{ m}^3/\text{jour.}$$

3.3.2. Consommation liée aux activités tertiaires, universitaires et administratives

Pour les bâtiments tertiaires, la consommation est principalement portée par les sanitaires, l'entretien, et la restauration collective. Le guide de référence *OFFICE BUILDINGS WATER EFFICIENCY GUIDE* de Mohamed Chebaane et Bill Hoffman donne des ordres de grandeur utilisables. Un guide dédié aux immeubles de bureaux indique une consommation moyenne d'environ 32 litres par employé et par jour.

Dans le secteur hospitalier, le rapport *Environment and sustainability Health Technical Memorandum 07-04: Water management and water efficiency – best practice advice for the healthcare sector* (référentiel NHS) du Department of Health of United Kingdom (Département de la Santé du Royaume-Uni) publié en 2013, distingue plusieurs situations et indiquent par exemple 25–50 L/personne/jour pour un employé sans cantine et 40–90 L/personne/jour avec cantine (ce qui est pertinent pour un grand campus).

Compte tenu du caractère “campus” du projet (étudiants, chercheurs, services), et afin d'intégrer la restauration et les usages collectifs, une hypothèse opérationnelle de 50 L/personne/jour est retenue pour la population employée (incluant étudiants et chercheurs).

Sur la base de 202 405 personnes employées :

$202\,405 \times 50\text{ L} = 10\,120\,000\text{ L/jour}$, soit $10\,120\text{ m}^3/\text{jour}$.

Remarque : la catégorie “population employée” du rapport de faisabilité inclut des personnes qui peuvent également être résidentes. Le calcul ci-dessus doit donc être interprété comme un ordre de grandeur d'activité et sera affiné lors des calculs détaillés (dé-doublonnage éventuel selon scénarios).

3.3.3. Spécificité des usages hospitaliers (pôle santé)

Les usages hospitaliers sont nettement plus intensifs que les usages tertiaires. Deux types de ratios sont utilisés dans la littérature des :

- ratios par patient
- ratios par lit.

Le référentiel NHS indique, comme ordre de grandeur, environ 450 L/jour pour un patient hospitalisé. Par ailleurs, une revue de données sur les hôpitaux européens mentionne des consommations typiques de l'ordre de 500 à 1000 L/jour/lit (avec variabilité selon services, blanchisserie, espaces verts, technicité).

Dans le rapport de faisabilité transmis, le nombre de lits n'est pas précisé à ce stade, ce qui empêche de chiffrer directement le poste hospitalier. La méthode retenue consiste donc à exprimer la consommation hospitalière sous forme de formule, puis à tester des scénarios de capacité lorsque la programmation sera précisée :

Consommation hospitalière = $N\text{ lits} \times (500 \text{ à } 1000\text{ L/lit/jour})$.

Exemple de scénarios (à ajuster quand le programme médical sera connu) :

- 500 lits = 250 à 500 m^3/jour
- 1 000 lits = 500 à 1 000 m^3/jour
- 2 000 lits = 1 000 à 2 000 m^3/jour

Ces ordres de grandeur sont cohérents avec des établissements fortement technicisés et intègrent implicitement des usages tels que la stérilisation, les laboratoires, la blanchisserie et le nettoyage.

À ce stade, hors poste hospitalier chiffré finement, l'ordre de grandeur journalier est :

- Résidentiel : 15 706 m³/jour
- Tertiaire / universitaire : 10 120 m³/jour

Soit un sous-total d'environ 25 826 m³/jour, auquel s'ajoute le poste hospitalier, estimé selon scénarios à quelques centaines à quelques milliers de m³/jour selon la capacité en lits.

Même dans une hypothèse hospitalière prudente, la consommation totale dépasse 26 000 m³ par jour, soit l'équivalent de la consommation quotidienne d'une ville moyenne. Un tel volume implique un dimensionnement robuste de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement, ainsi qu'une stratégie de sobriété et de réutilisation (notamment pour l'arrosage et certains usages techniques), afin de limiter la pression sur la ressource.

Poste de consommation	Population / Hypothèse	Ratio retenu	Volume journalier estimé
Résidentiel	120 817 habitants	130 L/hab/j	15 706 m ³ /j
Tertiaire / Universitaire	202 405 personnes	50 L/pers/j	10 120 m ³ /j
Hospitalier (scénario bas)	500 lits	500 L/lit/j	250 m ³ /j
Hospitalier (scénario moyen)	1 000 lits	700 L/lit/j	700 m ³ /j
Hospitalier (scénario haut)	2 000 lits	1 000 L/lit/j	2 000 m ³ /j

Tableau récapitulatif

3.4. Métabolisme énergétique

Le métabolisme énergétique décrit les besoins en électricité et en énergie thermique nécessaires au fonctionnement de la future cité. Les consommations sont principalement portées par le rafraîchissement/ventilation, l'éclairage, les équipements techniques (notamment hospitaliers) et la production d'eau chaude. Le climat impose une charge importante liée au refroidissement, tandis que les fonctions de soins exigent une continuité de service 24h/24 et des conditions d'hygiène renforcées, ce qui augmente significativement les intensités énergétiques.

Pour la variante 3, le rapport de faisabilité indique une construction sur de 374 ha. Faute de ventilation fine par affectation, l'approche adoptée consiste à isoler le poste hospitalier sur une hypothèse de 500 lits, puis à encadrer le reste du projet par scénarios.

3.4.1. Poste hospitalier (hypothèse : 500 lits)

Les consommations énergétiques hospitalières peuvent être approchées par des ratios “par lit”.

L'étude de Alfonso González González, Justo García-Sanz-Calcedo et David Rodríguez Salgado intitulé *Évaluation de la consommation d'énergie dans les hôpitaux allemands : analyse comparative dans le secteur public* publié le 30 Août 2018, cite, à partir de données Fraunhofer, une moyenne d'environ 7 786 kWh d'électricité par lit et par an et 24 670 kWh de chaleur par lit et par an.

En appliquant ces ratios à un hôpital de 500 lits, on obtient :

- Électricité : $500 \times 7\,786 = 3\,893\,000$ kWh/an = 3,9 GWh/an
- Chaleur : $500 \times 24\,670 = 12\,335\,000$ kWh/an = 12,3 GWh/an
- Total (électricité et chaleur) : 16,2 GWh/an

Ces ordres de grandeur sont cohérents avec le fait que l'hôpital est l'un des types de bâtiments les plus énergivores. Une autre étude sur des hôpitaux chinois donne, pour la tranche 100 - 500 lits, une consommation d'électricité d'environ 6 515,9 kWh/lits/an, soit 3,26 GWh/an pour 500 lits, ce qui confirme l'ordre de grandeur de la partie électrique. (*Étude et évaluation de la performance énergétique des bâtiments hospitaliers en Chine*, Ru Ji et Shilin Qu, 21 Mars 2019)

3.4.2. Ordre de grandeur du reste du projet (variante 3) : approche au m²

Pour encadrer le reste du projet, on peut mobiliser une approche par intensité énergétique au m². L'article *Analyse et caractérisation de la consommation énergétique des établissements de santé aux États-Unis* de Khaled Bawaneh, Farnaz Ghazi Nezami, Md. Rasheduzzaman et Brad Deken publié le 04 octobre 2019 donne des valeurs typiques d'intensité énergétique annuelle de l'ordre de 738,5 kWh/m²/an pour les hôpitaux contre environ 246 kWh/m²/an pour un bâtiment de bureaux “typique”.

Comme le projet est un mix d'usages (logements, tertiaire, université, services, etc.) on retient une intensité moyenne globale par scénarios appliquée à l'emprise de construction (hors pôle de santé) :

- Scénario bas : 150 kWh/m²/an
- Scénario moyen : 200 kWh/m²/an
- Scénario haut : 250 kWh/m²/an

On obtient alors, pour l'ensemble du bâti (hors double comptage éventuel) :

- Bas : $3\,449\,700 \times 150 = 517\,455\,000$ kWh/an = 517 GWh/an
- Moyen : $3\,449\,700 \times 200 = 689\,940\,000$ kWh/an = 689 GWh/an
- Haut : $3\,449\,700 \times 250 = 862\,425\,000$ kWh/an = 862 GWh/an

Même en restant sur une hypothèse hospitalière modérée (500 lits), l'hôpital représente un poste continu et stratégique (sécurité d'alimentation, secours, continuité de service). L'essentiel de l'énergie du projet sera toutefois porté par le volume total de bâti et surtout par les besoins de

rafraîchissement/ventilation, compte tenu du climat. Cela justifie, dès la conception, une attention particulière à la réduction de la demande (orientation, protections solaires, enveloppes performantes, réduction des surfaces minérales, végétalisation), ainsi qu'au pilotage et à la diversification du mix (notamment solaire), afin de limiter la dépendance externe et la facture d'exploitation.

Poste	Hypothèse	Résultat
Hôpital – électricité	500 lits × 7 786 kWh/lit/an	3,9 GWh/an
Hôpital – chaleur	500 lits × 24 670 kWh/lit/an	12,3 GWh/an
Hôpital – total	élec + chaleur	16,2 GWh/an
Projet (bâti total) – bas	3 449 700 m ² × 150 kWh/m ² /an	517 GWh/an
Projet (bâti total) – moyen	3 449 700 m ² × 200 kWh/m ² /an	689 GWh/an
Projet (bâti total) – haut	3 449 700 m ² × 250 kWh/m ² /an	862 GWh/an

Tableau récapitulatif

3.5. Métabolisme des déchets

Le métabolisme des déchets correspond à l'ensemble des flux de matières rejetées par le système urbain étudié, depuis leur production jusqu'à leur collecte, leur traitement et leur élimination finale. Dans le cas d'une cité médicale, cette question revêt une importance particulière en raison de la coexistence de déchets assimilables aux déchets urbains classiques et de déchets issus des activités de soins présentant un risque infectieux ou chimique.

Selon l'Organisation mondiale de la Santé, les établissements de santé produisent en moyenne 1 à 3 kg de déchets par lit et par jour, dont environ 85 % sont assimilables à des déchets non dangereux et 15 % relèvent de déchets dangereux ou à risque infectieux (Organisation mondiale de la Santé, *Safe management of wastes from health-care activities*, 2014). Cette répartition constitue un repère méthodologique largement utilisé dans les analyses de gestion des déchets hospitaliers.

3.5.1. Estimation quantitative du pôle hospitalier (hypothèse de 500 lits)

Dans le cadre de ce mémoire, l'hypothèse retenue est celle d'un établissement hospitalier de 500 lits. Afin de rester prudent, un ratio médian de 1,5 kg de déchets par lit et par jour est appliqué, valeur fréquemment retenue dans les travaux de la Banque mondiale sur la gestion des déchets médicaux (Banque mondiale, *Health Care Waste Management Guidance Note*, 2005).

La production journalière estimée est donc :

$$500 \text{ lits} \times 1,5 \text{ kg/lit/jour} = 750 \text{ kg/jour}$$

En appliquant la répartition moyenne observée par l'OMS :

- Part non dangereuse (85 %) = 637,5 kg/jour
- Part dangereuse ou infectieuse (15 %) = 112,5 kg/jour

La production annuelle correspondante est :

$750 \text{ kg/jour} \times 365 \text{ jours} = 273\,750 \text{ kg/an}$, soit 273,75 tonnes/an

Ces volumes confirment que le poste hospitalier, bien que minoritaire à l'échelle urbaine globale, constitue un flux sensible nécessitant une gestion spécifique.

3.5.2. Déchets assimilables aux déchets urbains

Au-delà du pôle hospitalier, la future cité générera également des déchets comparables à ceux d'un tissu urbain classique. En Tunisie, la production moyenne de déchets ménagers se situe généralement autour de 0,8 à 1 kg par habitant et par jour selon les données de l'Agence Nationale de Gestion des Déchets (ANGED). En appliquant une hypothèse prudente de 0,9 kg/habitant/jour à la population résidente projetée (120 817 habitants), la production journalière résidentielle serait :

$120\,817 \times 0,9 \text{ kg} = 108\,735 \text{ kg/jour}$, soit 108,7 tonnes/jour

Ce volume illustre que, à l'échelle globale du projet, le flux de déchets urbains classiques dépasse largement le flux hospitalier spécifique.

3.5.3. Enjeux de gestion et implications métaboliques

La gestion des déchets hospitaliers repose sur des principes stricts de tri à la source, de conditionnement sécurisé et de traitement adapté. En France, les déchets infectieux sont regroupés sous la catégorie des DASRI (Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux), dont la gestion est encadrée par des règles spécifiques (Ministère des Solidarités et de la Santé, *Guide technique relatif aux DASRI*, 2016). Même si le projet est situé en Tunisie, cette structuration permet de clarifier les exigences organisationnelles applicables à un établissement hospitalier moderne : circuits séparés, zones de stockage dédiées, logistique distincte et filières spécialisées.

À l'échelle métabolique, trois enjeux apparaissent structurants :

Le premier concerne la séparation des flux. Une mauvaise qualité de tri augmente artificiellement la part de déchets dangereux, renchérit les coûts et accroît l'impact environnemental.

Le deuxième concerne l'organisation logistique interne. Les flux de déchets doivent être séparés des flux publics et intégrés dans un schéma fonctionnel cohérent avec les circuits d'approvisionnement et d'urgence.

Le troisième concerne la filière de traitement externe. Le projet dépendra de la capacité régionale ou nationale à traiter les déchets médicaux spécifiques, ce qui introduit une dépendance territoriale dans le métabolisme du système.

Indicateur	Valeur
Déchets hospitaliers totaux	750 kg/jour
Déchets dangereux (15 %)	112,5 kg/jour
Déchets non dangereux (85 %)	637,5 kg/jour
Production annuelle hospitalière	273,75 tonnes/an
Déchets résidentiels estimés	108,7 tonnes/jour

Tableau récapitulatif

3.6. Métabolisme de la mobilité

Le métabolisme de la mobilité correspond à l'ensemble des flux de déplacements potentiels que pourrait générer la future cité, qu'ils soient quotidiens, logistiques ou exceptionnels. Contrairement aux flux d'eau ou d'énergie, les flux de mobilité ne sont pas consommés puis rejetés ; ils structurent l'organisation spatiale du site et conditionnent son fonctionnement opérationnel. Dans le cas d'un projet de grande échelle, intégrant activités hospitalières, universitaires, résidentielles et économiques, la mobilité devient un déterminant central du métabolisme urbain.

Les projections démographiques issues de l'étude de faisabilité technico-économique de la SCET-Tunisie indiquent, pour la variante 3 retenue, une population résidente de 120 817 personnes, une population employée de 202 405 personnes (incluant étudiants et chercheurs) et une population en transit de 95 977 personnes. Ces données traduisent l'intensité potentielle des flux quotidiens.

3.6.1. Intensité des flux quotidiens

La population employée et la population en transit représentent ensemble 298 382 personnes. Même si ces catégories ne correspondent pas à une présence simultanée et peuvent inclure des recouvrements, elles donnent un ordre de grandeur de la pression exercée sur les infrastructures de transport. À titre indicatif, si l'on considère un scénario où 60 % de la population employée effectue un déplacement quotidien domicile - travail motorisé individuel, cela représenterait :

$202\,405 \times 0,60 = 121\,443$ déplacements entrants et autant de déplacements sortants en fin de journée.

On obtient ainsi environ 242 886 mouvements journaliers liés au seul poste “emploi”. Ce chiffre ne comprend ni les résidents internes, ni les visiteurs hospitaliers, ni les flux logistiques.

Même en intégrant une part significative de transport collectif ou de mobilité douce, l'intensité des déplacements reste élevée et impose un dimensionnement robuste des voiries, des accès et des interfaces avec le réseau régional.

3.6.2. Spécificité hospitalière

Le pôle santé génère des flux particuliers qui ne relèvent pas uniquement de la mobilité pendulaire. On distingue :

- les patients hospitalisés (flux faibles mais permanents)
- les consultations externes (pics diurnes)
- les urgences (flux imprévisibles)
- les livraisons médicales et pharmaceutiques
- l'évacuation des déchets hospitaliers.

Avec une hypothèse de 500 lits, et en considérant un taux d'occupation élevé propre à un établissement structurant, les flux d'accompagnants et de visiteurs peuvent représenter plusieurs centaines de déplacements supplémentaires par jour. À cela s'ajoutent les équipes médicales en rotation, ce qui crée une activité continue sur 24 heures.

Cette configuration implique une hiérarchisation claire des flux : accès urgences distinct, circuits logistiques séparés et gestion différenciée des flux publics et professionnels.

3.6.3. Flux internes et organisation spatiale

À l'échelle interne du site, la mobilité ne se limite pas aux déplacements motorisés. La distance entre pôles (santé, enseignement, résidentiel, ITS, loisirs) suppose l'organisation d'un maillage cohérent favorisant :

- la marche pour les courtes distances
- les mobilités douces
- les navettes internes si nécessaire.

La superficie totale de 374,71 hectares correspond à un territoire d'environ 3,7 km². Une telle échelle rend indispensable une réflexion sur la proximité fonctionnelle et la réduction des distances quotidiennes. Sans organisation adaptée, le projet risquerait de générer une dépendance excessive à la voiture individuelle.

La mobilité constitue un flux indirectement énergétique. Chaque déplacement motorisé induit une consommation de carburant ou d'électricité, ainsi que des émissions associées. Le métabolisme de la mobilité est donc intimement lié au métabolisme énergétique du projet.

Trois enjeux majeurs se dégagent :

- la capacité du réseau d'accès à absorber plusieurs centaines de milliers de mouvements quotidiens
- la nécessité de séparer les flux critiques (urgences, logistique médicale) des flux ordinaires
- l'intégration de solutions de mobilité durable afin de limiter l'empreinte carbone et la congestion.

Partie 4

4. ANALYSE DU MÉTABOLISME URBAIN

4.1. Lecture transversale du métabolisme urbain

L'analyse du métabolisme urbain de la future cité met en évidence un système à forte intensité matérielle et fonctionnelle. Les flux quantifiés dans la partie précédente permettent de dépasser une lecture sectorielle du projet pour en proposer une vision globale. Les résultats obtenus montrent que le site, tel que programmé dans la variante 3 du rapport de faisabilité technico-économique, atteindrait à maturité :

- une consommation d'eau supérieure à 25 000 m³ par jour
- une consommation énergétique annuelle de 705,2 GWh
- une production hospitalière de déchets de 273,75 tonnes par an (hypothèse 500 lits)
- des flux de mobilité journaliers potentiellement supérieurs à 200 000 mouvements

Ces ordres de grandeur positionnent le projet à l'échelle d'une agglomération de taille moyenne. La cité médicale ne peut donc être considérée comme un simple équipement spécialisé ; elle fonctionne comme un véritable système urbain.

La lecture transversale révèle plusieurs caractéristiques structurantes.

D'abord, la concentration spatiale des fonctions sur 374,71 hectares génère une densité de flux élevée. Cette concentration favorise les synergies entre pôles (santé, recherche, résidentiel, innovation), mais elle entraîne également une accumulation des consommations sur un périmètre restreint.

Ensuite, les flux apparaissent fortement interdépendants. L'augmentation des besoins en eau entraîne une augmentation de la consommation énergétique liée au pompage, au traitement et à la distribution. La mobilité quotidienne influence indirectement la demande énergétique globale. La gestion des déchets hospitaliers dépend d'infrastructures logistiques et de filières spécialisées extérieures au site. Aucun flux ne fonctionne de manière isolée.

Enfin, l'analyse montre que le pôle hospitalier, bien que stratégique et continu dans son fonctionnement, ne représente pas le principal poste de consommation énergétique du projet. L'essentiel des flux est porté par la masse bâtie globale et par la diversité des affectations urbaines. Cette observation nuance l'idée selon laquelle la performance environnementale du projet reposerait uniquement sur la conception hospitalière.

La Cité Médicale apparaît ainsi comme un système intégré, caractérisé par :

- une forte intensité de ressources
- une concentration des flux
- une dépendance aux réseaux externes
- et une complexité organisationnelle élevée

Cette lecture transversale constitue le point de départ d'une analyse critique plus approfondie, notamment au regard des contraintes territoriales et environnementales.

4.2. Mise en perspective territoriale et contraintes structurelles

L'analyse des flux réalisée dans la partie précédente prend une dimension particulière lorsqu'elle est replacée dans le contexte territorial tunisien, et plus spécifiquement dans celui du gouvernorat de Kairouan.

4.2.1. Stress hydrique confirmé à l'échelle locale

La consommation d'eau estimée pour la Cité Médicale dépasse 25 000 m³ par jour à maturité. Ce volume doit être analysé au regard de la situation hydrique régionale. La Tunisie est classée parmi les pays en situation de stress hydrique structurel. Cette tension ne relève pas uniquement d'indicateurs nationaux mais elle est confirmée localement. Lors d'un échange, le Secrétaire général de la commune de Kairouan a lui-même souligné les difficultés d'approvisionnement et les tensions croissantes sur la ressource en eau dans la région.

Dans ce contexte, l'implantation d'un projet urbain à forte intensité hydrique constitue un enjeu stratégique. La question n'est pas uniquement celle du dimensionnement technique du réseau d'alimentation, mais celle de l'équilibre territorial entre besoins existants et nouveaux besoins induits. L'analyse métabolique met ainsi en évidence une tension potentielle entre les ambitions

programmatiques, la disponibilité réelle de la ressource et la soutenabilité à long terme. La viabilité du projet suppose donc une stratégie claire de réduction des consommations unitaires et de réutilisation des eaux traitées.

4.2.2. Pression énergétique et dépendance au réseau

La consommation énergétique annuelle estimée à 705,2 GWh place le projet à un niveau comparable à celui d'une agglomération moyenne.

Dans un système énergétique national marqué par des contraintes structurelles et une dépendance aux importations d'énergie, l'ajout d'une telle charge nécessite une réflexion approfondie sur la capacité du réseau à absorber la demande, la sécurisation de l'alimentation pour les fonctions hospitalières et la diversification des sources de production. L'hôpital, en particulier, exige une continuité de service absolue. Une interruption énergétique aurait des conséquences critiques. Cela implique des dispositifs de secours, mais également une réflexion plus large sur la production locale et la résilience du système.

4.2.3. Enjeux logistiques et capacité territoriale

La production annuelle estimée de déchets hospitaliers (273,75 tonnes) impose l'existence de filières spécialisées capables d'assurer un traitement conforme aux normes sanitaires. La question n'est pas uniquement quantitative, elle concerne aussi la capacité régionale à absorber ces flux sans rupture de chaîne. De même, les flux de mobilité générés par le projet exerceront une pression sur les infrastructures routières existantes. L'accessibilité régionale devient un facteur déterminant du bon fonctionnement du site.

En somme, la future cité s'inscrira dans un système régional dont elle mobilisera intensément les ressources. Le projet possède un potentiel structurant majeur pour le développement économique et sanitaire du territoire. Toutefois, son intégration réussie dépendra de la compatibilité entre besoins projetés et capacités existantes, de la planification des infrastructures en amont, de la capacité des acteurs publics à anticiper les effets cumulés des flux et des plans d'économie circulaire. Il en ressort donc une tension fondamentale entre ambition nationale et contraintes locales.

4.3. Lecture systémique du projet et enjeux de gouvernance

Le rapport de faisabilité technico-économique de la Cité Médicale définit un projet ambitieux, structuré autour d'une forte concentration fonctionnelle et d'une articulation entre santé, enseignement, innovation et résidentiel. L'approche métabolique développée dans ce mémoire ne constitue pas une remise en cause de cette programmation. Elle en propose une lecture

complémentaire, centrée sur les flux matériels et énergétiques qui conditionneront le fonctionnement réel du site. Les estimations réalisées montrent que le projet mobilisera des volumes significatifs de ressources : plus de 25 000 m³ d'eau par jour, 705,2 GWh d'énergie par an, plusieurs centaines de tonnes de déchets hospitaliers annuels et des flux de mobilité importants. Ces ordres de grandeur ne traduisent pas une anomalie. Ils reflètent l'ampleur du projet et sa vocation structurante. La programmation dense retenue dans le rapport de faisabilité présente des avantages en termes de mutualisation des infrastructures et de limitation de l'étalement urbain. La concentration des fonctions sur un périmètre maîtrisé peut favoriser l'efficacité des réseaux techniques et la proximité entre activités complémentaires. Cette organisation peut, si elle est accompagnée d'une conception adaptée, contribuer à une meilleure performance globale.

Cependant, l'analyse systémique met en évidence que la réussite du projet dépendra moins de la seule qualité des bâtiments que de la coordination des flux à l'échelle du système. Les réseaux d'eau, d'énergie, d'assainissement et de mobilité devront fonctionner de manière intégrée. Une approche sectorielle isolée risquerait de limiter les gains potentiels liés à la mutualisation.

Les enjeux de gouvernance apparaissent alors déterminants. La gestion des différents flux implique des acteurs multiples : opérateurs énergétiques, services de l'eau, collectivités territoriales, autorités sanitaires, gestionnaires hospitaliers. La cohérence du projet suppose une coordination efficace entre ces acteurs et une capacité à anticiper les interactions entre infrastructures.

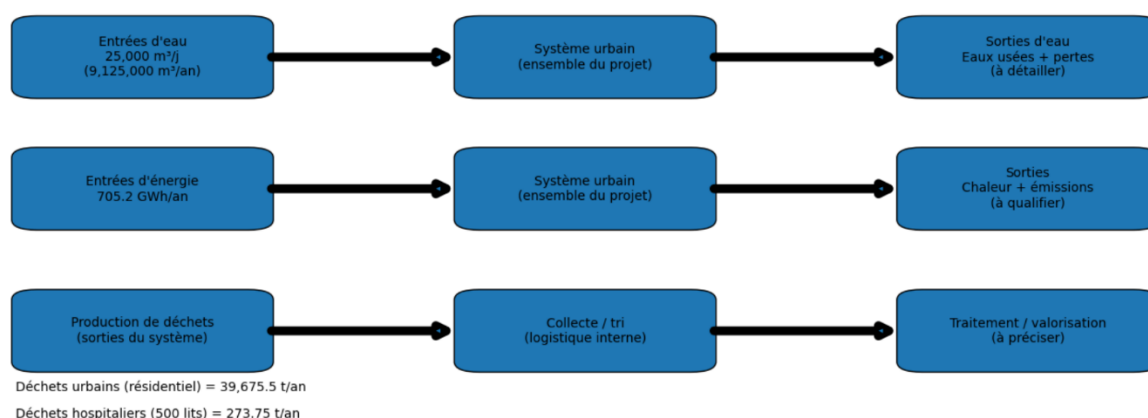
Par ailleurs, l'ampleur des consommations estimées souligne l'importance d'une stratégie d'optimisation dès la phase de conception. La réduction des consommations unitaires, l'intégration de production énergétique locale, la réutilisation des eaux traitées et l'organisation rationnelle des flux logistiques constituent des leviers qui relèvent autant de la décision institutionnelle que de la technique. L'approche métabolique montre ainsi que la performance du projet ne dépendra pas uniquement des investissements initiaux, mais également des choix de gestion à long terme. La capacité à piloter les flux, à suivre les consommations et à ajuster les pratiques sera un facteur clé de durabilité.

Conclusion

La Cité Médicale Les Aghlabides constitue un projet structurant à l'échelle régionale et nationale. Conçue comme un pôle intégré de santé, d'enseignement, de recherche et d'innovation, elle répond à une ambition forte de développement territorial et de modernisation du système de soins. L'objectif de ce mémoire n'était pas d'évaluer la pertinence programmatique du projet, mais d'en analyser le fonctionnement à travers le prisme du métabolisme urbain. Cette approche a permis d'appréhender la cité médicale non seulement comme une opération d'aménagement, mais comme un système de flux interconnectés.

L'analyse quantitative a mis en évidence l'ampleur des ressources mobilisées. La consommation d'eau dépasse 25 000 m³ par jour. La consommation énergétique annuelle atteint 705,2 GWh dans le scénario moyen retenu. Le pôle hospitalier de 500 lits génère à lui seul plus de 270 tonnes de déchets par an. Les flux de mobilité projetés traduisent une intensité fonctionnelle élevée. Ces résultats montrent que la future cité fonctionnera à l'échelle d'un véritable système urbain. Sa réussite dépendra de la capacité à maîtriser ces flux et à assurer la cohérence des infrastructures qui les supportent.

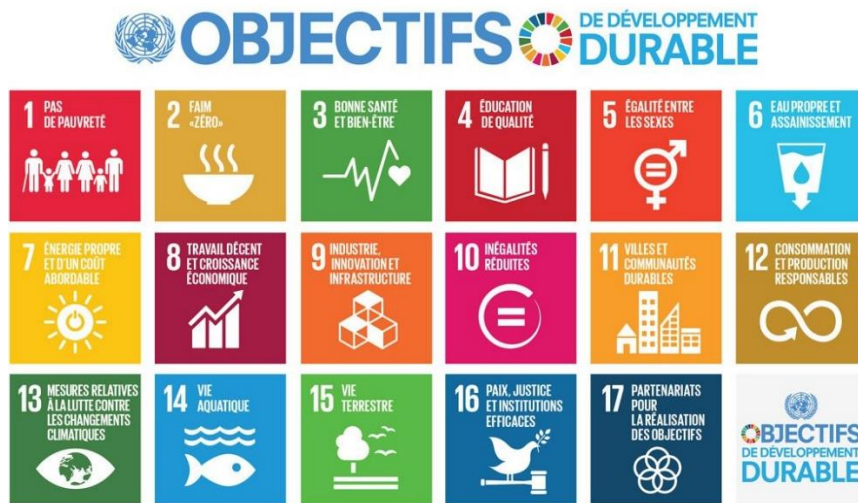
Schéma simplifié des flux - Cité Médicale Les Aghlabides (scénario moyen)



Note : Schéma indicatif (ordres de grandeur). Sorties détaillées à préciser selon filières et réseaux.

La mise en perspective territoriale renforce cette lecture. Dans un contexte marqué par un stress hydrique structurel confirmé localement, ainsi que par des contraintes énergétiques nationales, la question n'est pas uniquement technique. Elle est stratégique. Le projet mobilise des ressources significatives et s'inscrit dans un système régional dont il dépend. L'approche métabolique a également permis de mettre en évidence l'interdépendance des flux. L'eau, l'énergie, la mobilité et les déchets ne peuvent être traités séparément. Toute décision sur un flux influence les autres. Cette dimension systémique constitue l'un des apports majeurs de l'analyse. Le rapport de faisabilité technico-économique définit un cadre cohérent et structuré pour la mise en œuvre du projet. L'analyse développée dans ce mémoire en constitue un prolongement, en éclairant les implications matérielles et environnementales de cette programmation.

En définitive, la Cité Médicale Les Aghlabides peut être envisagée comme un projet à fort potentiel structurant, dont la durabilité dépendra de la capacité des acteurs à intégrer une gestion coordonnée des flux dès la phase de conception et tout au long de l'exploitation. L'approche par le métabolisme urbain ne propose pas une alternative au projet. Elle en révèle plutôt les conditions de robustesse, de résilience et d'efficacité à long terme. Elle rappelle que l'ambition territoriale doit s'accompagner d'une maîtrise rigoureuse des ressources mobilisées. Dans cette perspective, l'intégration d'une gestion durable de l'eau, de l'énergie, des déchets et des mobilités permettrait d'inscrire le projet dans une dynamique plus large de transition écologique. Une telle orientation contribuerait à aligner le développement de la cité médicale avec plusieurs Objectifs de Développement Durable (ODD) définis par les Nations Unies.



Source : Organisation des Nations Unies

Bibliographie/Webographie-Sitographie

- Agence nationale de gestion des déchets (ANGED) *Données sur la production des déchets ménagers en Tunisie*. République tunisienne.
- Banque mondiale. (2005). *Health care waste management guidance note*. World Bank.
- Banque mondiale. (2017). *Beyond scarcity: Water security in the Middle East and North Africa*. World Bank.
- Barles, S. (2005). *L'invention des déchets urbains*. Champ Vallon.
- Barles, S. (2008). Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte environnementale des villes. *Responsabilité & Environnement*, (52), 21–26.
- Bawaneh, K., Ghazi Nezami, F., Rasheduzzaman, M., & Deken, B. (2019). Analyse et caractérisation de la consommation énergétique des établissements de santé aux États-Unis. <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/19/3775>
- Chebaane, M., & Hoffman, B. (n.d.). *Office buildings water efficiency guide*. <https://static1.squarespace.com/static/5671433fc647ad9f55531f40/t/56c474c960b5e94c66063818/1455715709953/Office-Buildings-Water-Efficiency-Guide-EN.pdf>
- Department of Health (United Kingdom). (2013). *Health Technical Memorandum 07-04: Water management and water efficiency – Best practice advice for the healthcare sector*. NHS. https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads/2021/05/HTM_07-04_Final.pdf
- Eurostat. (n.d.). *Material flow accounts and environmental data*. Commission européenne.
- González González, A., García-Sanz-Calcedo, J., & Rodríguez Salgado, D. (2018). Évaluation de la consommation d'énergie dans les hôpitaux allemands : analyse comparative dans le secteur public. <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/9/2279>
- Ingallina, P. (2019). *Défis et opportunités de la ville écosoutenable*.
- Ji Ru, & Qu Shilin (2019). Étude et évaluation de la performance énergétique des bâtiments hospitaliers en Chine. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/6/1724>
- Joint Venture Silicon Valley. (2024). *Silicon Valley index 2024*. <https://jointventure.org/download-the-2024-index>
- Ministère des Solidarités et de la Santé. (2016). *Guide technique relatif aux déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI)*. République française.
- Organisation mondiale de la santé. (2014). *Safe management of wastes from health-care activities* (2e éd.). World Health Organization.

- Organisation mondiale de la santé. (2003). *Domestic water quantity, service level and health*. World Health Organization.
- Organisation mondiale de la santé. (2017). *Guidelines on drinking-water quality*. World Health Organization.
- SCET-Tunisie. (2025). *Étude de faisabilité technico-économique de la Cité Médicale Les Aghlabides*. Rapport réalisé pour l'Établissement de la Cité Médicale Les Aghlabides et le Ministère de l'Équipement et de l'Habitat de la République tunisienne.
- Statistiques Tunisie. (2023). *Données climatiques et démographiques du gouvernorat de Kairouan*. Institut national de la statistique.
- Wolman, A. (1965). The metabolism of cities. *Scientific American*, 213(3), 157.
<https://irows.ucr.edu/cd/courses/10/wolman.pdf>
- Yigitcanlar Tan, Baum Scott, & Horton Stephen (2007). Attracting and retaining knowledge workers in knowledge cities. *Journal of Knowledge Management*, 11(5), 6-17.
https://www.researchgate.net/publication/27474139_Attracting_and_retaining_knowledge_workers_in_knowledge_cities

Annexes

Annexe I : Rapport n_1 de la phase 1 Etude de faisabilit_ Technico-_conomique- Version provisoire-octobre-IndA-V3